

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA



UNIVERSITA' DELLA CALABRIA

Dipartimento di Ingegneria Informatica, Modellistica, Elettronica e Sistemistica

**Dottorato di Ricerca in**  
Ingegneria Civile e Industriale

**CICLO**  
XXXI

**TITOLO TESI**

Analisi di eventi pluviometrici ad elevata intensità nel sud Italia

**Settore Scientifico Disciplinare**

ICAR/02 – COSTRUZIONI IDRAULICHE E MARITTIME E IDROLOGIA

**Coordinatore:**

Ch.mo Prof. Franco Furgiuele

Firma

**Supervisore/Tutor:**

Ch.mo Ing. Davide Luciano De Luca

Firma

**Dottorando: Dott. Aldo Greco**

Firma

---

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPITOLO 1 .....</b>	<b>8</b>
<b>IDENTIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEGLI EVENTI ...</b>	<b>8</b>
1.1. Descrizione morfologica e pluviometrica dell'area di studio .....	8
1.2. Analisi dei dati .....	10
1.3. Selezione degli eventi.....	12
1.4. Delimitazione spaziale .....	16
1.4.1 IDW .....	17
1.4.2 Spline .....	18
1.4.3 Kriging.....	20
1.4.4 Aree d'influenza.....	24
1.5. Delimitazione temporale .....	28
1.6. Caratteristiche finali .....	35
1.7. Zone di Allertamento .....	35
<b>CAPITOLO 2 .....</b>	<b>38</b>
<b>CARATTERIZZAZIONE DEI MASSIMI .....</b>	<b>38</b>
2.1. Massimi Puntuali .....	38
2.1.1 Massimi puntuali per Zone di Allertamento .....	45
2.2. Massimi Areali .....	50
<b>CAPITOLO 3 .....</b>	<b>55</b>
<b>CLUSTERIZZAZIONE DEGLI EVENTI.....</b>	<b>55</b>
3.1. Cenni di meteorologia.....	55
3.2. Eventi meteorici estremi nel Mediterraneo.....	59

---

3.2.1 Cicloni frontali.....	59
3.2.2 Sistemi convettivi alle medie latitudini .....	62
3.2.3 Uragani mediterranei .....	63
3.3. Criteri per raggruppare gli eventi .....	65
3.4. Caratteristiche dei cluster .....	70
3.4.1 Caratteristiche dei cluster per Zone di Allertamento .....	77
<b>CAPITOLO 4 .....</b>	<b>81</b>
<b>ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE .....</b>	<b>81</b>
4.1. Procedura statistica.....	81
4.1.1 Identificazione della variabile casuale.....	81
4.1.2 Distribuzione di Weibull.....	82
4.1.3 Stima dei parametri $\alpha$ e $\beta$ .....	83
4.1.4 Confronto grafico.....	85
4.1.5 Calcolo dei frattili.....	86
4.2. Piogge marginali .....	86
4.2.1 Analisi globale.....	87
4.2.2 Analisi per tipologia d'evento.....	92
4.3. Piogge condizionate .....	103
4.3.1 Analisi globale.....	103
4.3.2 Analisi per tipologia d'evento.....	112
4.4. Risultati ottenuti e possibili sviluppi futuri.....	133
<b>CAPITOLO 5 .....</b>	<b>135</b>
<b>ANALISI TEMPORALE E SPAZIALE DEGLI EVENTI .....</b>	<b>135</b>
5.1. Modellazione dell'evoluzione spazio-temporale di alcune caratteristiche in corso d'evento .....	135
5.1.1 Applicazione ai casi di studio .....	136
5.1.2 Descrizione dei BSC piú frequenti.....	144
5.2. Analisi statistica delle caratteristiche geometriche.....	154

---

5.2.1 Distribuzione Esponenziale.....	154
5.2.2 Distribuzione Normale .....	156
5.2.3 Distribuzione Log-Normale .....	157
5.2.4 Applicazione ai casi di studio .....	158
5.2.5 Descrizione delle grandezze geometriche.....	163
5.3. Risultati ottenuti.....	175
<b>CAPITOLO 6 .....</b>	<b>176</b>
<b>FORZANTE PLUVIOMETRICA LOCALE .....</b>	<b>176</b>
6.1. Scenari d'evento .....	176
6.2. Forzante pluviometrica per Soverato .....	178
6.2.1 Fenomeni pluviometrici locali .....	179
6.2.2 Analisi statistica delle grandezze geometriche.....	183
6.2.3 Analisi temporale delle grandezze geometriche .....	186
6.2.4 Ietogrammi per scenario meteorico evolutivo.....	190
6.2.5 Confronto cumulate per ietogrammi .....	196
6.3. Sintesi dei risultati ottenuti .....	200
<b>CAPITOLO 7 .....</b>	<b>201</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>201</b>
<b>APPENDICE A .....</b>	<b>205</b>
<b>APPENDICE B .....</b>	<b>232</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>288</b>

## INTRODUZIONE

L'area del Mediterraneo è caratterizzata da vari fenomeni meteorologici avversi, e tra questi si vuole focalizzare l'attenzione sui nubifragi, cioè piogge particolarmente violente che possono provocare allagamenti, esondazioni, frane con conseguenti danni alle infrastrutture e perdite di vite umane, incidendo anche in modo negativo sulle opportunità di sviluppo socio-economico dei territori coinvolti. A tal proposito in Italia, in base ai dati dell'ultimo rapporto ISPRA sul dissesto idrogeologico (Trigila et al., 2018), i comuni interessati da aree a pericolosità da frana P3 e P4 (media e medio/alta – PAI) e/o idraulica P2 (media) sono 7.275, pari al 91,1% dei comuni italiani, e la superficie interessata da tali aree ammonta complessivamente a 50.117 km<sup>2</sup> pari al 16,6% del territorio nazionale. Il Sistema Informativo delle Catastrofi Idrogeologiche (<http://sici.irpi.cnr.it/>), che fornisce dati e informazioni sul dissesto idrogeologico in Italia, in particolare su frane e inondazioni, riporta, nel periodo compreso fra il 1279 ed il 2002, 4.521 eventi calamitosi, che hanno causato 30.786 morti, 4.631 feriti e 206 dispersi.

Viene dunque richiesta un'attenta previsione di tali eventi, al fine di eseguire opportune misure di messa in sicurezza delle popolazioni coinvolte, attraverso azioni che ricadono anche nell'ambito della protezione civile.

Tuttavia, nonostante la ricerca abbia reso più affidabili i modelli previsionali, e sebbene negli ultimi anni vi sia stato un miglioramento ed incremento delle reti di sensori atte a misurare e monitorare tutti i parametri coinvolti nei processi fisici di interesse, è necessario fornire una descrizione sempre più accurata della variabilità spaziale e temporale di tali eventi.

Ciò è particolarmente vero andando a consultare il quinto report dell'IPCC (Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico), cioè il Climate Change 2013 – The Physical Sciences Basis, che cita testualmente *“a partire dal 1950 circa, sono stati osservati cambiamenti per molti eventi meteorologici e climatici estremi...È probabile che siano più numerose le terre emerse in cui il numero di eventi di intensa precipitazione è aumentato di quelle in cui è diminuito. La frequenza o l'intensità degli eventi di forte precipitazione è probabilmente aumentato in Nord America e in Europa”*, e per quanto riguarda gli scenari futuri si asserisce che *“Sulla maggior parte delle aree terrestri alle*

*medie latitudini e delle regioni umide tropicali, gli eventi estremi di precipitazione saranno molto probabilmente più intensi e più frequenti entro la fine di questo secolo, all'aumentare della temperatura superficiale media globale".*

Si tratta di uno scenario che descrive un aumento del rischio, già in atto da diversi anni, che potrebbe ulteriormente incrementarsi a causa dei cambiamenti climatici. Concentrando l'attenzione sul Mediterraneo, vari studi, concernenti i trend di precipitazione relativi al secolo scorso, convergono su una diminuzione della quantità di pioggia totale in diverse aree compresa la penisola italiana (Piervitali et al., 1998; Klein-Tank et al., 2002; Douguèdroit e Norant, 2003; Brunetti et al., 2006) e la Calabria (Brunetti et al., 2012). Nonostante ciò, in Alpert et al. (2002), si dimostra un aumento della frequenza delle piogge estreme in Italia, mentre Brunetti et al. (2004) individuano un sostanziale incremento delle intensità di precipitazione. Altri studi, sempre relativi all'area mediterranea, dimostrano invece la non sussistenza di trend significativi per quanto riguarda le piogge estreme (De Luca D.L. e Galasso, 2018).

La tematica in questione è dunque prioritaria, visto il fortissimo impatto che tali fenomeni hanno sulla società, e viste che le conseguenze rientrano nelle posizioni di vertice per quel che concerne la questione dei rischi naturali.

Il presente lavoro si è incentrato su un'analisi spazio temporale approfondita di eventi pluviometrici molto intensi verificatisi in Calabria (Sud Italia).

In particolare:

- nel primo capitolo si illustrano i criteri con cui sono stati selezionati i suddetti eventi e valutate diverse caratteristiche degli stessi. In dettaglio, per ogni evento sono stati determinati il campo spaziale di precipitazione, la durata, i massimi valori puntuali relativi all'intensità e alla pioggia cumulata, ed altre caratteristiche descritte nel prosieguo. Il tutto finalizzato ad una completa caratterizzazione dei fenomeni pluviometrici.
- Nel secondo capitolo l'attenzione si è focalizzata sull'analisi dei massimi puntuali ed areali, in termini sia di intensità che di valori cumulati sull'intera durata di ogni specifico evento.
- In relazione alle differenti strutture meteorologiche che generano piogge estreme nel Mediterraneo, si è proceduto, nel terzo capitolo, ad una suddivisione degli eventi in tre diversi cluster, distinguibili in base a vari parametri ricavati in precedenza.

- Il quarto capitolo è dedicato all'analisi statistica delle serie storiche continue registrate durante gli eventi selezionati. In particolare si è studiato il comportamento della pioggia, sia senza condizionamenti dalla precipitazione immediatamente precedente (distribuzioni marginali) e sia in funzione di quanto registrato negli intervalli temporali antecedenti (distribuzioni condizionate). Tale analisi è stata anche ulteriormente dettagliata per eventi suddivisi in cluster meteorologici. Il presente studio può risultare utile per la realizzazione e/o il perfezionamento di modelli di previsione delle piogge a breve termine.
- Quanto esposto nel capitolo 5 riguarda la modellazione dell'evoluzione spazio temporale delle caratteristiche investigate nei capitoli precedenti. Tale analisi è stata particolareggiata per ogni cluster e stagionalità, compatibilmente con la dimensione campionaria disponibile.
- Nel sesto capitolo si fornisce un esempio di applicazione, finalizzato alla definizione di una forzante pluviometrica di progetto.
- Nelle conclusioni, sono stati richiamati alcuni dei risultati conseguiti ed elencati possibili sviluppi futuri della ricerca nell'ambito delle piogge estreme.

# Capitolo 1

## IDENTIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEGLI EVENTI

L'obiettivo è la selezione di eventi pluviometrici spazio temporali particolarmente intensi, verificatisi nel territorio calabrese in un preciso periodo di tempo (paragrafo 1.3). Per ognuno di essi sono state ricavate: la delimitazione spaziale, attraverso la valutazione dei campi di precipitazione e delle aree d'influenza (paragrafo 1.4); la durata (paragrafo 1.5); altre caratteristiche quali ad esempio valori medi e di picco in termini di intensità e cumulata (Appendice A – Tabella A.2).

### 1.1. Descrizione morfologica e pluviometrica dell'area di studio

L'area oggetto di studio è la Calabria (Figura 1.1), ricadente nella zona compresa tra 37°50' e 40°05' di latitudine nord e tra 15°30' e 17°30' di longitudine est. La costa occidentale della regione è delimitata dal Mar Tirreno mentre la costa orientale e sud dal Mar Ionio. La superficie totale è pari a 15.222 km<sup>2</sup>; essa si presenta in prevalenza collinare per il 49,2% e montuosa per il 41,8% del territorio. Gli Appennini corrono da nord a sud lungo la penisola, e in tal contesto le principali catene montuose, che raggiungono altezze fino a 2 km, sono: Pollino, Catena Costiera, Sila, Serre, Aspromonte. La regione è larga mediamente 50 km nella direzione ovest-est e 300 km nella direzione nord-sud. La pianura comprende circa il 9% del territorio, vi sono tre principali valli situate vicino al mare, cioè la Piana di Gioia Tauro, la Piana di Sant'Eufemia e la Piana di Sibari, ove sono localizzati i principali siti agricoli e industriali. L'idrografia comprende corsi d'acqua ripidi e a carattere torrentizio, dette fiumare, a causa della forma stretta e allungata della regione, i bacini più importanti sono quelli del Crati, Neto e Tacina. I principali laghi artificiali si trovano sull'Altopiano della Sila e sono l'Ampollino, l'Arvo e il Cecita.

Il clima è generalmente di tipo Mediterraneo, ma, data la complessità dell'orografia, si possono individuare tanti climi diversi che si differenziano per la distanza dalla costa e l'altitudine, in particolare nelle zone litoranee e nei versanti che si affacciano sul mare si registrano inverni miti ed estati calde e siccitose, con l'aumentare dell'altitudine gli inverni diventano più freddi e piovosi e le estati meno calde e con qualche pioggia.





Invece, i cicloni provenienti dal Nord Africa e dai Balcani sono meno frequenti e interessano principalmente il versante ionico.

In generale nella parte ovest della Calabria si hanno i quantitativi maggiori di pioggia mentre nella parte est si verificano gli eventi più estremi, in quanto esposta a cicloni più intensi (Federico et al., 2008).

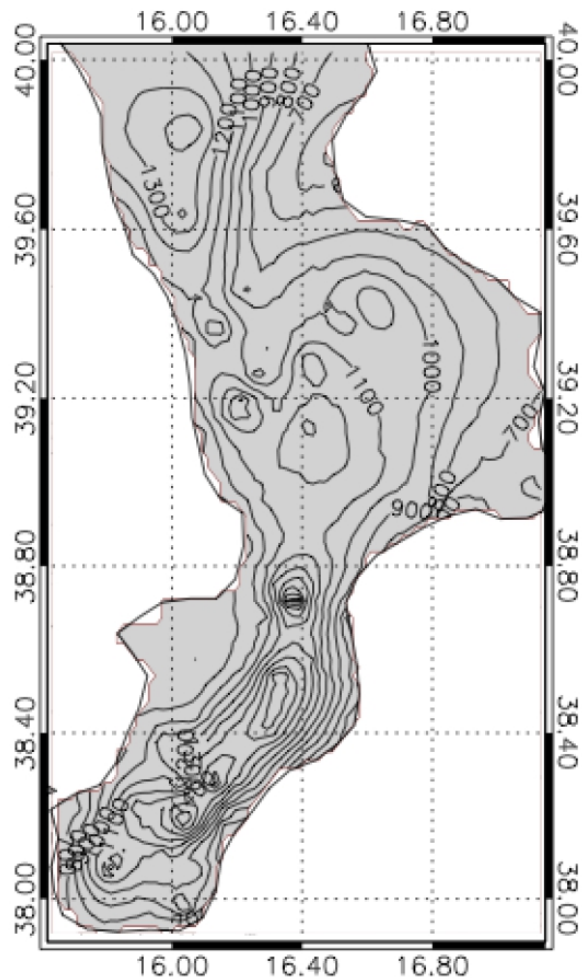


Figura 1.2 – Pioggia media annua sulla Calabria dal 1970 al 2006 (Federico et al., 2010)

## 1.2. Analisi dei dati

I pluviometri forniscono una misurazione diretta delle precipitazioni, e quindi costituiscono la fonte e il riferimento fondamentale per gli studi sulle piogge, nonostante le inevitabili incertezze (McMillian et al., 2012; Sun et al., 2018).

In questo studio sono stati utilizzati i dati pluviometrici, forniti dal Centro Funzionale Multirischi (CFM) – ARPACAL ([www.cfd.calabria.it](http://www.cfd.calabria.it)), provenienti da 155 pluviometri situati nel territorio calabrese (Figure 1.3a – 1.3b). I dati relativi alle altezze di pioggia (mm) hanno una risoluzione temporale pari a 5 minuti ed una precisione di 0,2 mm; è stato analizzato il periodo temporale che va dal 1990 al 2015, ed è stata utilizzata l'aggregazione temporale di 20 minuti.

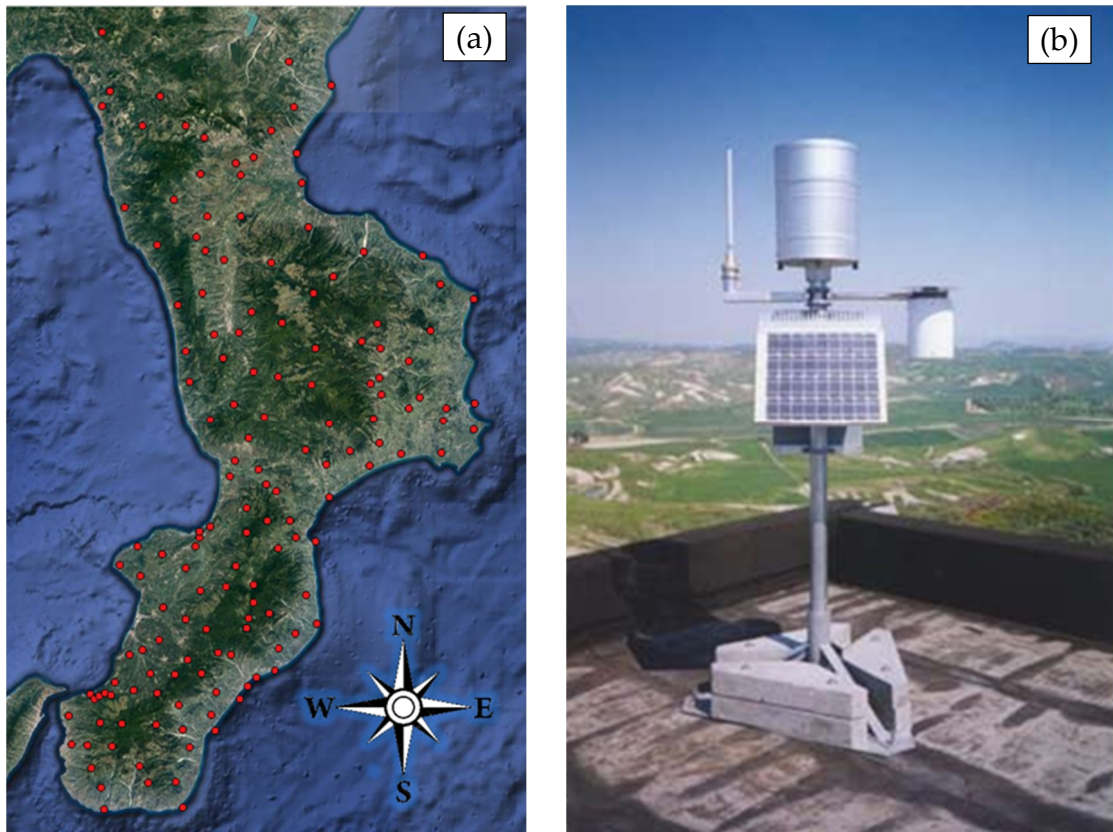


Figure 1.3 – a) Distribuzione spaziale stazioni pluviometriche. b) Pluviometro in telemisura

La scelta di utilizzare delle serie di piogge a risoluzione  $\Delta t$  elevata è motivata dal fatto che, soprattutto nel bacino del Mediterraneo, le precipitazioni sono caratterizzate da una elevata variabilità spazio-temporale (Lionello et al., 2006), e pertanto l'informazione sub-oraria è utile nel dettagliare il più possibile determinate caratteristiche degli eventi.

Al fine di lavorare con un database di densità pluviometrica consistente, si è proceduto, a scala annuale e relativamente al periodo 1990÷2015, ad analizzare il numero di pluviometri funzionanti presenti nel dominio territoriale di interesse (Figura 1.4).

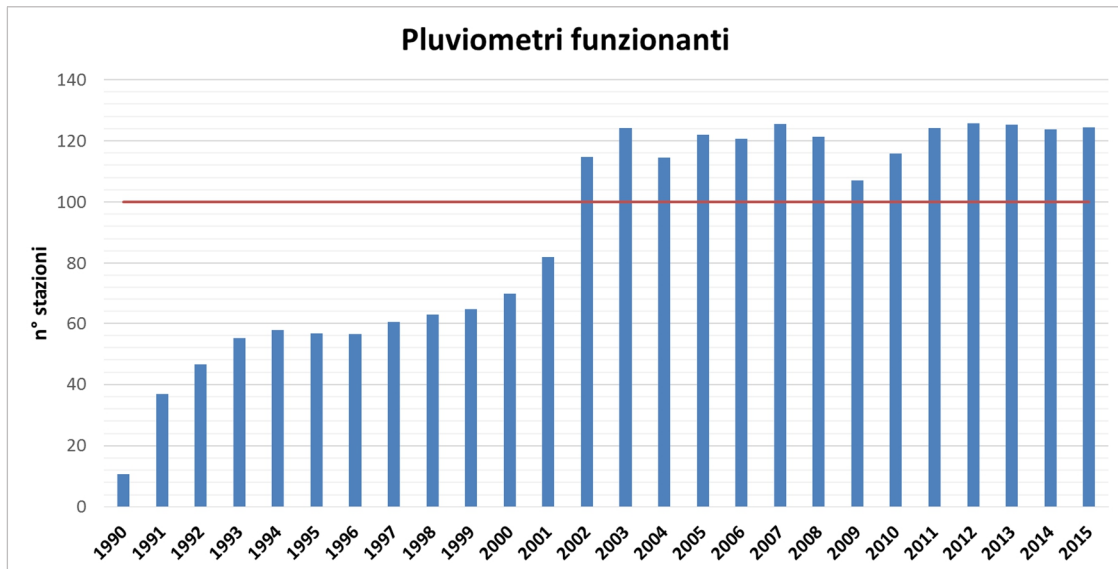


Figura 1.4 – Numero di pluviometri funzionanti in Calabria (1990÷2015)

Considerando che la superficie della Calabria è di circa 15.000 km<sup>2</sup>, sono stati presi in considerazione i soli dati dal 2002 al 2015, in cui sono risultati funzionanti almeno 100 pluviometri in telemisura. In questo modo si ha una densità per la rete di misura di almeno 1 stazione ogni 150 km<sup>2</sup>.

L'elenco completo delle stazioni è riportato nell'Appendice A – Tabella A.1, con l'indicazione del codice CFM, coordinate cartografiche Gauss-Boaga, quota altimetrica, nome pluviometro, provincia, anni di funzionamento (2002÷2015) e Zona di Allertamento (vedi paragrafo 1.7).

### 1.3. Selezione degli eventi

Al fine di selezionare eventi pluviometrici particolarmente intensi si è utilizzato un criterio a soglia; in particolare si è osservato che quantità di pioggia superiori a 0,8 mm/min possono creare problemi ai collegamenti radio (Vilar e Burgueño, 1991) e analogamente una pioggia può considerarsi di origine convettiva se eccede i 48-50 mm/h (LLasat, 2001).

Detto ciò, avendo scelto dati con risoluzione temporale pari a 20 minuti, si stabilisce che un evento si verifica quando l'intensità di pioggia misurata da almeno un pluviometro supera i 16 mm/20 min (soglia d'evento - I<sub>EVE</sub>).

Per ogni evento è stata innanzitutto determinata una durata di prima approssimazione, durante la quale si registrano significative intensità pluviometriche. In particolare, si è assunto che un evento, caratterizzato da una intensità puntuale massima di almeno 16 mm/20 min (I<sub>EVE</sub>):

- inizia quando almeno un pluviometro, presente nel dominio territoriale, registra valori superiori a  $I_{MIN} = 5 \text{ mm}/20 \text{ min}$  (soglia minima) e nelle 6 ore precedenti nessuna stazione raggiunge la predetta soglia.
- Finisce quando, successivamente al picco di pioggia ( $\geq I_{EVE}$ ), tutti i pluviometri presenti nel dominio territoriale, registrano valori inferiori a  $I_{MIN} = 5 \text{ mm}/20 \text{ min}$  (soglia minima) e nelle 6 ore successive nessuna stazione registra valori superiori a  $I_{MIN}$ .

L'intertempo tra due eventi pluviometrici è stato assunto pari ad almeno 6 ore, per come definito da Wischmeier e Smith (1978).

Nelle Figure 1.5-1.6 sono illustrati due esempi di durata e separazione d'eventi nell'ipotesi di coinvolgimento di una singola stazione pluviometrica.

Sulla base dei criteri a soglia sopra descritti vengono individuati 459 eventi pluviometrici nel periodo tra il 2002 e il 2015; di essi si riportano nel seguito gli istogrammi di frequenza mensili (Figura 1.7) e stagionali (Figura 1.8) con relative tabelle (Tabelle 1.1, 1.2).

La durata di prima approssimazione così determinata è stata oggetto di revisione, per come descritto nel paragrafo 1.5.

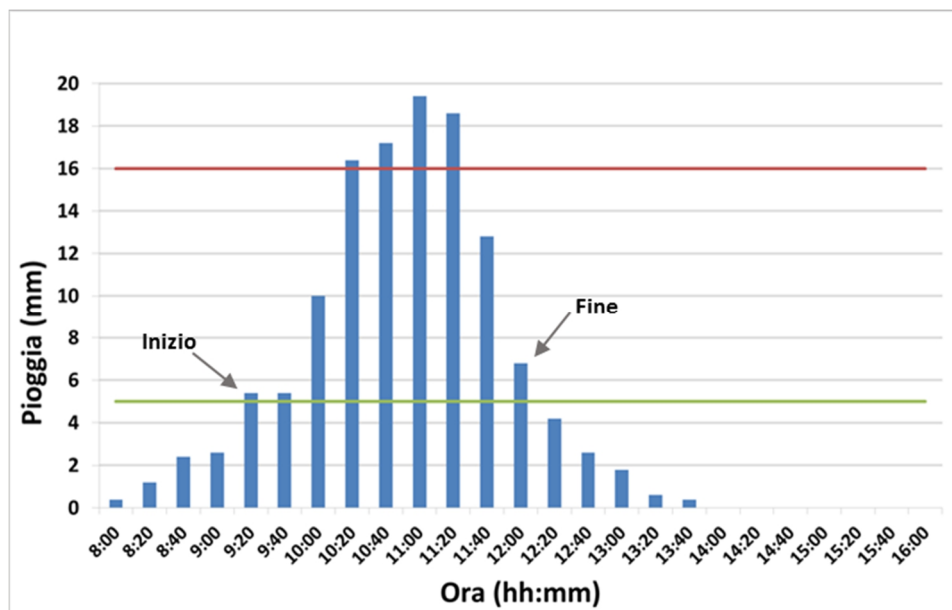


Figura 1.5 – Schema per durata di prima approssimazione

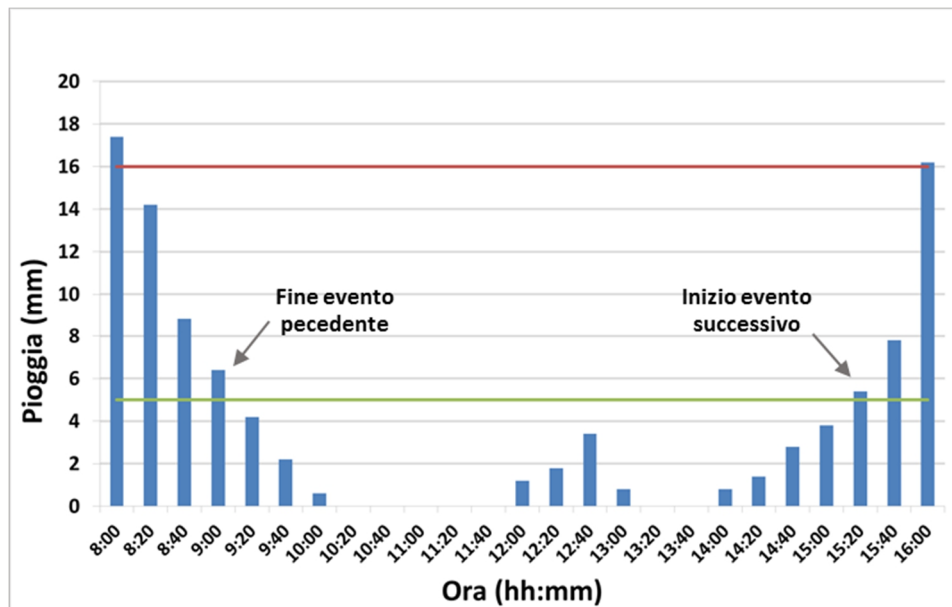


Figura 1.6 – Schema di separazione tra 2 eventi (pioggia <math>I\_{MIN} - \Delta t > 6</math> ore)

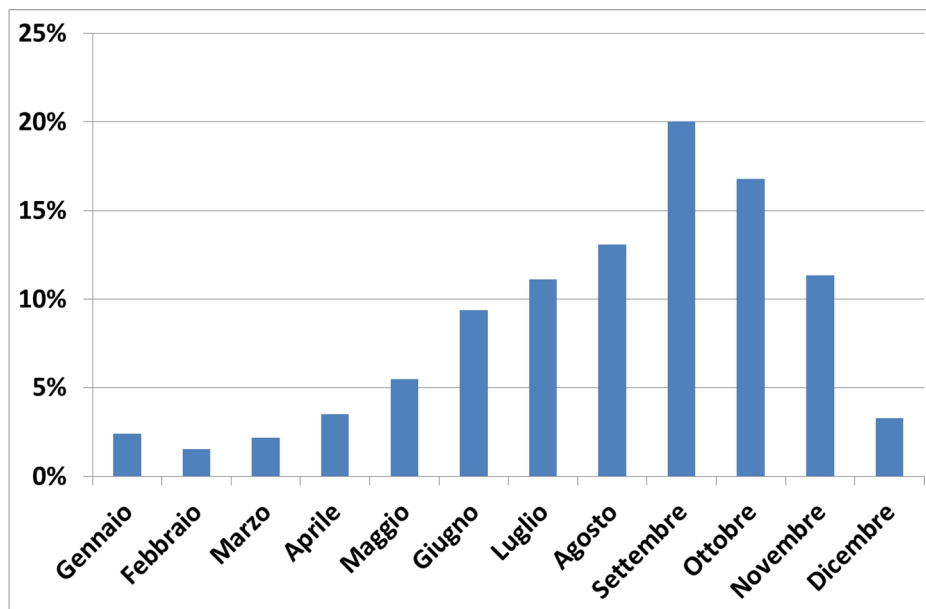


Figura 1.7 – Frequenza mensile degli eventi

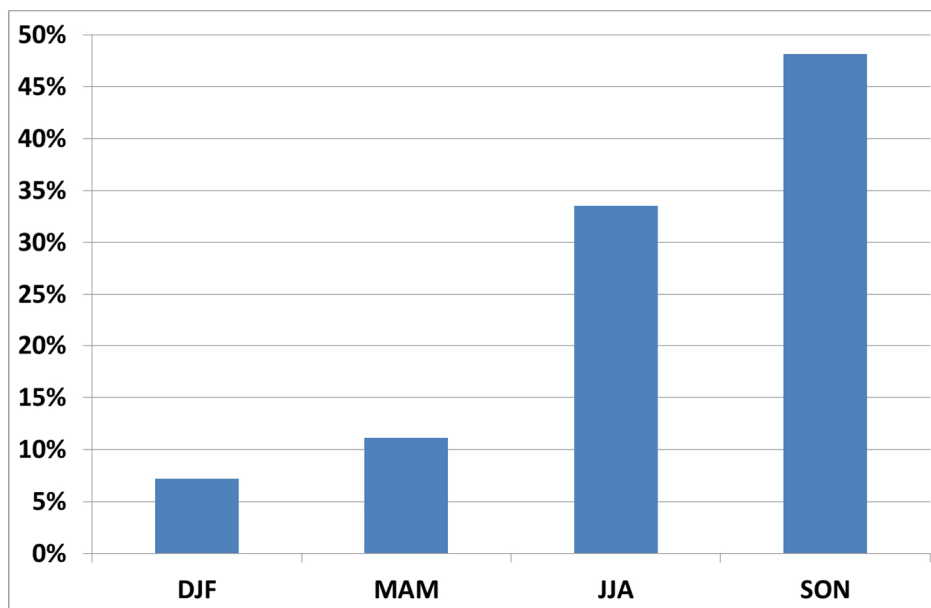


Figura 1.8 - Frequenza stagionale degli eventi (DJF = inverno, MAM = primavera, JJA = estate, SON = autunno; da classificazione MetOffice - [www.metoffice.gov.uk](http://www.metoffice.gov.uk))

MESI	Numero	%
Gennaio	11	2%
Febbraio	7	2%
Marzo	10	2%
Aprile	16	3%
Maggio	25	5%
Giugno	43	9%
Luglio	51	11%
Agosto	60	13%
Settembre	92	20%
Ottobre	77	17%
Novembre	52	11%
Dicembre	15	3%
<b>TOT</b>	<b>459</b>	<b>100%</b>

Tabella 1.1 – Numero eventi per mese

STAGIONI	Numero	%
DJF	33	7%
MAM	51	11%
JJA	154	34%
SON	221	48%
<b>TOT</b>	<b>459</b>	<b>100%</b>

Tabella 1.2 – Numero eventi per stagione

Si è osservato che le stagioni maggiormente interessate da eventi intensi sono state l'Estate e l'Autunno, con una prevalenza per i mesi di Settembre e Ottobre. Quest'ultimo risultato ha trovato conferma in diversi studi (Federico et al. 2008, Mastrangelo et al. 2011) attestanti il fatto che, nel bacino del Mediterraneo, tra l'ultima parte della stagione estiva e l'inizio dell'autunno, si sviluppa un ambiente favorevole alla convezione e quindi all'innescò di eventi di pioggia particolarmente gravosi. In particolare la temperatura della superficie (SST) del Mar Mediterraneo raggiunge il suo massimo, ciò provoca l'incremento di aria umida e dunque del moto verticale di tali masse d'aria che, a contatto con aria più fresca delle correnti atlantiche, danno vita precipitazioni intense ed abbondanti. Il meccanismo appena descritto viene ulteriormente favorito dalle caratteristiche orografiche del territorio calabrese; difatti gli ostacoli orografici prospicienti alla costa possono forzare meccanicamente il moto verso l'alto favorendo la precipitazione sul lato sopravvento delle montagne.

#### 1.4. Delimitazione spaziale

Per gli eventi individuati si è proceduto al calcolo dei campi di precipitazione relativi alla durata. A partire dai valori di pioggia cumulata per ogni stazione funzionante (valori puntuali), il ragguglio spaziale può essere effettuato utilizzando vari metodi di interpolazione che possono suddividersi in:

- tecniche deterministiche;
- tecniche geostatistiche.

Le tecniche deterministiche valutano superfici interpolanti senza effettuare stime di errore sul risultato ottenuto, mentre le tecniche geostatistiche valutano sia superfici interpolanti che superfici d'errore, fornendo informazioni sull'attendibilità della stima.

I metodi più utilizzati per tracciare i campi di pioggia sono certamente quello della media pesata con l'inverso della distanza (es. Garcia et. al, 2008) e la spline (es. Hutchinson 1998a, 1998b) relativamente alle tecniche deterministiche, il kriging ordinario (es. Prudhomme e Reed, 1999) relativamente alle tecniche geostatistiche.

Vengono nel seguito descritte le metodologie d'interpolazione appena citate.



### 1.4.1 IDW

Il metodo di interpolazione Inverse Distance Weighting, proposto da Shepard (1968), assume che ogni misura abbia un'influenza locale che diminuisce con la distanza, assegnando ai dati utilizzati nell'interpolazione un peso che decresce all'allontanarsi del punto incognito.

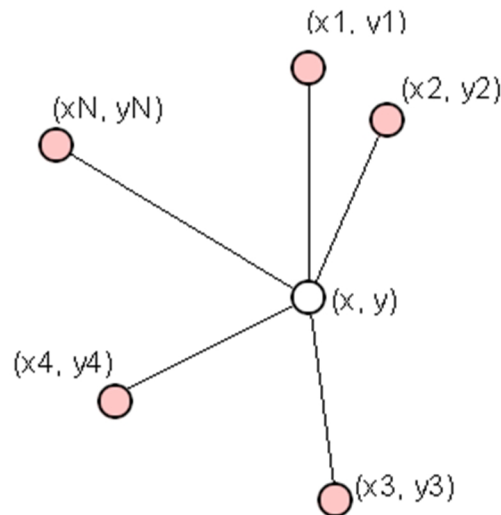


Figura 1.9 – Punti con valori noti attorno ad un punto di valore incognito  
([http://www.quantdec.com/SYSEN597/GTKAV/section9/chapter\\_29b.htm](http://www.quantdec.com/SYSEN597/GTKAV/section9/chapter_29b.htm))

E' possibile valutare il valore di un punto sconosciuto calcolando una media pesata dei punti noti, attraverso la seguente espressione generale:

$$Z(x, y) = \sum_{i=1}^N w_i * Z(x_i, y_i) \quad (1.1)$$

dove:

- $Z(x, y)$  è il valore interpolato nel punto incognito;
- $Z(x_i, y_i)$  è il valore nell' $i$ -esimo punto noto, il numero di tali punti è pari ad  $N$ ;
- $w_i$  è il valore del peso associato all' $i$ -esimo punto noto, esso è inversamente proporzionale alla distanza di tra il punto incognito e l' $i$ -esimo punto noto.

$$w_i = \frac{1/d_i^n}{\sum_{i=1}^N 1/d_i^n} \quad (1.2)$$

dove

- $d$  è la distanza di tra il punto incognito e l' $i$ -esimo punto noto;
- $n$  è l'esponente applicato a  $d$ ;
- il denominatore dell'espressione (1.2) indica la sommatoria dell'inverso delle distanze tra tutti gli  $N$  punti noti ed il punto incognito.

Viene posto il seguente vincolo sui pesi al fine di mantenere inalterata la media globale:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (1.3)$$

Dunque il peso del punto noto decresce all'aumentare della distanza  $d$  dal punto incognito su cui si effettua l'interpolazione. Tanto maggiore è l'esponente  $n$  applicato a  $d$ , tanto maggiore è l'influenza del valore distanza sul risultato e viceversa. Difatti per  $n=0$  tutti i punti noti vengono pesati allo stesso modo indipendentemente dalla distanza dal punto incognito, ricadendo nel caso di media mobile semplice, invece per  $n$  tendente all'infinito il peso viene interamente attribuito al punto noto più vicino al punto incognito, ricadendo nel caso dei poligoni di influenza. Di norma viene posto  $n=2$ , da qui il nome di metodo dell'inverso della distanza al quadrato.

Un artefatto tipico dell>IDW è la produzione di superfici con i cosiddetti "bull eyes", cioè aree circolari attorno a osservazioni note che non trovano giustificazioni naturali.

### 1.4.2 Spline

Il metodo di interpolazione Spline, ampiamente utilizzato in Scienze della Terra, esegue una stima dei valori attraverso una funzione matematica che minimizza la curvatura, dando origine ad una superficie molto smussata (detta anche liscia). E' quindi adatto per superfici con ridotta variabilità spaziale (al contrario eventi di pioggia particolarmente localizzati creano superfici caratterizzate da bruschi cambiamenti di valore nello spazio).

Si tratta in realtà di una famiglia di interpolatori caratterizzati da funzioni di base diverse: "thin plate spline", "spline with tension", "completely regularized spline", "multiquadric function", "inverse multiquadric spline" ecc.

In tale sezione viene descritta una metodologia appartenente alla prima tra le categorie sopra citate, denominata "Surface Spline" (Yu, 2001) ed utilizzata per l'interpolazione delle piogge.

A partire dalla conoscenza delle coordinate spaziali  $(x_i, y_i, h_i)$ ,  $i=1,2,\dots,N$  dove  $N$  è il numero di pluviometri in telemisura, ed indicando con  $h_i$  l'altezza di pioggia (in tal contesto pioggia cumulata) relativa all' $i$ -esima stazione, l'espressione teorica della surface spline con dominio 2D riferita all'altezza pluviometrica  $h(x,y)$  nel generico punto  $(x,y)$ , è la seguente:

$$h(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + \sum_{i=1}^N F_i r_i^2 \ln r_i^2 \quad (1.4)$$

in cui  $\sum_{i=1}^N F_i = 0$ ,  $\sum_{i=1}^N x_i F_i = 0$ ,  $\sum_{i=1}^N y_i F_i = 0$ ,  $r_i^2 = (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2$ ;  $F_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ),  $a_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  sono  $N+3$  incognite.

Per generare una nuova superficie di pioggia, passante per gli  $N$  punti  $(x_i, y_i, h_i)$ , i termini  $r_i^2 \ln r_i^2$  possono essere sostituiti da  $r_i^2 \ln(r_i^2 + \varepsilon)$ , ottenendo:

$$h(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + \sum_{i=1}^N F_i r_i^2 \ln(r_i^2 + \varepsilon) \quad (1.5)$$

dove il parametro  $\varepsilon$  assume valori compresi tra  $10^{-2}$  e  $10^{-6}$ , in funzione del grado di curvatura della superficie.

Le  $N+3$  incognite vengono stimate attraverso la risoluzione del seguente sistema lineare:

$$\left\{ \begin{array}{l} h(x, y) = a_0 + a_1 x + a_2 y + \sum_{i=1}^N F_i r_i^2 \ln(r_i^2 + \varepsilon) \\ \sum_{i=1}^N F_i = 0 \\ \sum_{i=1}^N x_i F_i = 0 \\ \sum_{i=1}^N y_i F_i = 0 \end{array} \right. \quad (1.6)$$

in cui  $r_{ij}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2$

Dunque in teoria per ogni evento si ha che le soluzioni del sistema lineare 1.6, ovvero il vettore  $[F_1, F_2, \dots, F_N, a_0, a_1, a_2]$ , dovrebbero essere utilizzate per ogni punto del dominio  $(x, y)$  stimando la pioggia interpolata  $h(x, y)$  e quindi il campo di pioggia.

### 1.4.3 Kriging

In tale metodologia si ha che, ogni punto dello spazio  $x_0$ , assume valori casuali  $Z(x_0)$ , in base alla seguente espressione:

$$Z'(x_0) = \mu + \varepsilon(x) \quad (1.7)$$

dove:

- $Z'(x_0)$  è la variabile generalizzata;
- $\mu$  è la media globale;
- $\varepsilon(x)$  è la variabile stocastica.

Per lo studio delle variabili generalizzate si utilizza la funzione *semivariogramma*  $\gamma(h)$  definita nel seguente modo:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n (Z(x_i + h) + Z(x_i))^2 \quad (1.8)$$

dove:

- $h$  è una classe di distanza tra punti di misurazione;
- $Z(x_i)$  è un valore misurato in un certo punto;
- $n(h)$  è il numero di coppie di punti relativi alla distanza  $h$ .

Si valuta in primis il *semivariogramma sperimentale*, fatto ciò bisogna stabilire quale *semivariogramma teorico* (lineare, esponenziale o gaussiano) interpola meglio i punti sperimentali, per farlo è necessaria la minimizzazione della funzione obiettivo:

$$F = \sum_{i=1}^n (\gamma_{sperim} - \gamma_{teorico})^2 \quad (1.9)$$

Il miglior  $\gamma_{teorico}$  è quello che fornisce il minimo errore di stima.

Detto ciò si giunge al cuore della procedura Kriging, si deve innanzitutto scegliere quale tipologia applicare, ricordando che ne esistono tre:

- Kriging Semplice, avente media nota e costante;
- Kriging Ordinario, avente media ignota ma costante;
- Kriging Universale, avente media ignota e non costante.

Si applica il Kriging Ordinario, dove la generica grandezza nel punto incognito  $Z'(x_0)$  (pioggia in tal caso) la si valuta attraverso una formulazione simile a quella utilizzata nel metodo IDW:

$$Z'(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i * Z(x_i) \quad (1.10)$$

dove:

- $N$  è il numero di stazioni pluviometriche;
- $Z(x_i)$  sono le piogge note nelle singole stazioni pluviometriche;
- $\lambda_i$  sono i pesi associati alle singole stazioni pluviometriche.

La principale differenza con l'IDW sta proprio nella valutazione dei pesi, che nel precedente metodo venivano valutati in modo deterministico in funzione dell'inverso della distanza al quadrato, invece nel Kriging Ordinario i pesi sono valutati in modo da minimizzare la varianza dell'errore di stima:

$$\text{Var}[Z'(x_0) - Z(x_0)] = \min \quad (1.11)$$

dove:

- $Z'(x_0)$  valore di stima;
- $Z(x_0)$  valore noto.

Attraverso una serie di passaggi matematici si arriva alle equazioni del Kriging Ordinario:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N \lambda_i * \gamma(x_i - x_j) + \mu = \gamma(x_i - x_0) \\ \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \end{array} \right. \quad (1.12)$$

Si tratta del sistema risolutore del Kriging Ordinario risolvibile attraverso la seguente forma matriciale:

$$\bar{A} * \bar{\lambda} = \bar{b} \quad (1.13)$$

dove:

- $\bar{A}$  è la matrice delle semivarianze tra le varie stazioni pluviometriche;

- $\bar{\lambda}$  è il vettore dei pesi delle singole stazioni (incognite);
- $\bar{b}$  è il vettore delle semivarianze tra le varie stazioni ed il punto incognito (termini noti).

Si valuta dunque la pioggia nel punto incognito attraverso l'espressione 1.10.

Dopodiché è necessario testare la validità del modello scelto (es. il gaussiano), cioè come esso si adatta ai dati noti. Si utilizza dunque la *cross validation*, che si riassume come nel seguito:

- si sottopongono gli N dati al Kriging;
- si elimina un dato e si riapplica il Kriging agli N-1 dati rimanenti;
- si stima un nuovo valore di pioggia in quel punto e si calcola l'errore di stima confrontandolo col dato effettivo;
- si ripete la procedura per tutti i dati sperimentali.

Vengono così valutati per ogni modello (lineare, esponenziale e gaussiano) tre indici di errore che "pesano" la bontà della stima, in particolare il miglior modello avrà i seguenti valori:

$$U = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - Z'_i) \approx 0 \quad (1.14)$$

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Z_i - Z'_i}{\sigma_i} \right)^2 \approx 1 \quad (1.15)$$

$$U = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z'_i)^2} \approx \min \quad (1.16)$$

Il primo indice verifica che il modello non produca errori sistematici, il secondo verifica che l'errore  $Z_i - Z'_i$  sia coerente con la deviazione standard  $\sigma_i$  e il terzo verifica che l'errore quadratico medio sia minimo.

#### 1.4.4 Aree d'influenza

I campi di precipitazione per i 459 eventi selezionati sono stati determinati utilizzando il metodo **IDW**. La scelta è ricaduta su tale tecnica di interpolazione per i seguenti motivi:

- minor onere computazionale fra le metodologie descritte in precedenza;
- maggior attitudine dell'IDW a mettere in evidenza gli eventi localizzati (es. De Luca C., 2012).

I 459 campi di pioggia sono stati mappati utilizzando il software GIS open source Quantum-GIS. A titolo di esempio, nella Figura 1.10 si illustra la mappa relativa all'evento n°36 (verificatosi in data 08/11/2002).

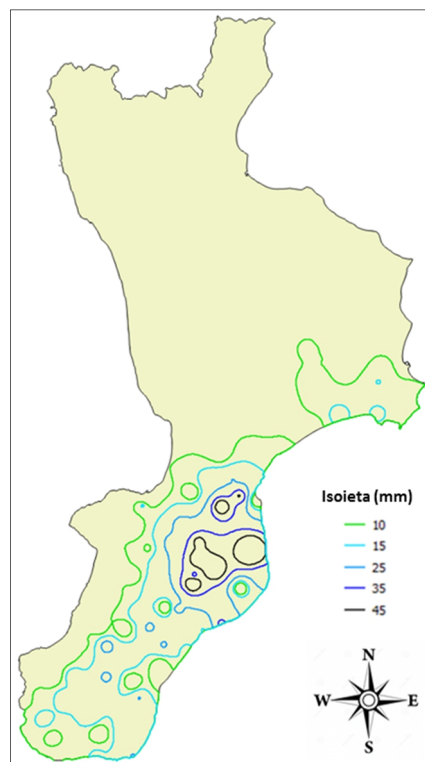


Figura 1.10 – Mappa di pioggia evento n°36 (08/11/2002)

Così facendo, per ogni evento è stato possibile conoscere la distribuzione spaziale della precipitazione, con evidenza delle aree in cui le isoiete (linee di equal pioggia) risultano avere valori più elevati, e dunque maggior piovosità.



Una volta ottenuti i vari campi di pioggia, si è voluto ricavare **un'area d'influenza** per ogni evento. Il criterio utilizzato è stato quello di considerare, come area d'evento, quella porzione del campo di pioggia in cui i valori delle precipitazioni risultano superiori ad una certa pioggia minima, che è stata ricavata stabilendo una soglia minima d'intensità giornaliera di precipitazione.

In tal contesto, un riferimento è stato trovato nei bollettini di avviso di condizioni meteorologiche avverse del Centro Funzionale della Regione Veneto (<https://www.regione.veneto.it/web/protezione-civile/cfd>), dove vengono elencate le relative classi di precipitazione giornaliera (Tabella 1.3).

Si sceglie dunque di utilizzare come soglia minima  $I_{CUM} = 20$  mm/giorno, cioè l'area di un evento deve escludere quelle zone in cui la pioggia può definirsi come scarsa.

Per comprendere come si è proceduto da un punto di vista strettamente pratico, viene illustrato un esempio di calcolo d'area relativamente all'evento n°36 a cui è stata attribuita una durata  $d_{EVE}$ . La pioggia minima  $P_{MIN}$  da utilizzare per la valutazione dell'area è stata calcolata dalla seguente proporzione:

$$I_{CUM} : 24 h = P_{MIN} : d_{EVE} \quad (1.17)$$

In poche parole  $P_{MIN}$  rappresenta quel valore di pioggia corrispondente a  $I_{CUM}$  in relazione alla durata dell'evento  $d_{EVE}$  (nello specifico pari ad 8 ore). Si è ricavato  $P_{MIN} = 6,7$  mm e dunque è stata evidenziata quella superficie in cui le isoiete sono risultate maggiori di  $P_{MIN}$ , ovvero dove la pioggia interpolata è stata più elevata di  $P_{MIN}$ .

Classi di precipitazione in 24 ore	Pioggia (mm)
Scarsa	0 ÷ 20
Contenuta	20 ÷ 60
Abbondante	60 ÷ 100
Molto Abbondante	100 ÷ 150
Molto Elevata	> 150

Tabella 1.3 – Classi di pioggia (Protezione Civile Veneto)

Nella Figura 1.11 si illustra l'area ricavata per l'evento n°36:

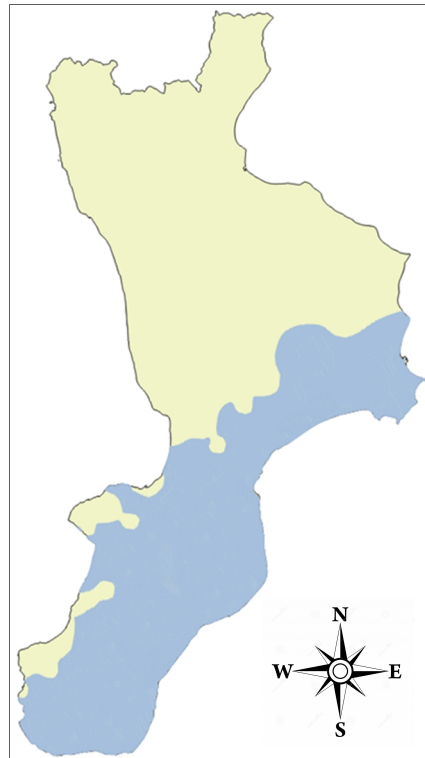


Figura 1.11 – Area evento n°36 (08/11/2002)

L'area è stata calcolata direttamente da Q-GIS ed in tale esempio è risultata pari a 5.985,8 km<sup>2</sup>. Può capitare che il campo di pioggia sia meno omogeneo rispetto all'esempio sopra esposto, da qui la necessità di suddividere l'area in più sub-aree. Vengono illustrati esempi di eventi con più aree nelle Figure 1.12, 1.13, 1.14.

A seguito del calcolo delle aree per tutti gli eventi in esame, è stato osservato che, la soglia minima oltre la quale la pioggia può definirsi non scarsa, e cioè  $I_{CUM} = 20$  mm/g, è risultata essere troppo bassa per eventi di breve durata che spesso sono anche molto localizzati, questo porterebbe alla stima di aree eccessive per tali tipologie. Ciò è anche confermato da Schroer et al. (2018), secondo cui quando si ricavano aree di pioggia tramite interpolazione IDW da rete pluviometrica, si ha una sovrastima di quelle aree caratterizzate da pioggia breve ed intensa. Pertanto, per correggere tale imperfezione, nei casi in cui la pioggia minima  $P_{MIN}$  risulti inferiore a 5 mm (dunque eventi di durata inferiore alle 6 ore), l'area è stata tracciata laddove le isoiete risultino maggiori di 5 mm. Ciò è anche in coerenza con l'utilizzo della soglia minima  $I_{MIN} = 5$  mm/20 min relativamente alla quale si è stabilito il criterio di durata degli eventi.

Si riporta l'esempio dell'evento n°102 di brevissima durata (20 minuti) che dunque ha una pioggia minima  $P_{\text{MIN}} = 0,3$  mm (Figure 1.15a e 1.15b). Si noti come alzando il valore di  $P_{\text{MIN}}$  a 5 mm si abbia una superficie molto più idonea.

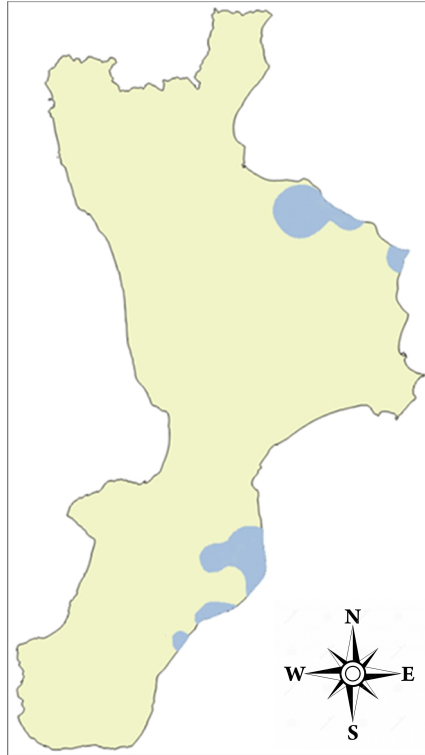


Figura 1.12 – Aree evento n°96 (20-21/09/2004) – 2 aree

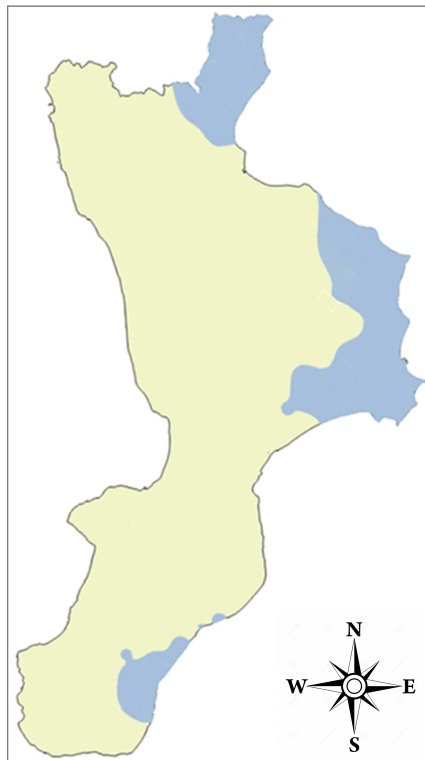


Figura 1.13 - Aree evento n°403 (04-06/10/2014) – 3 aree

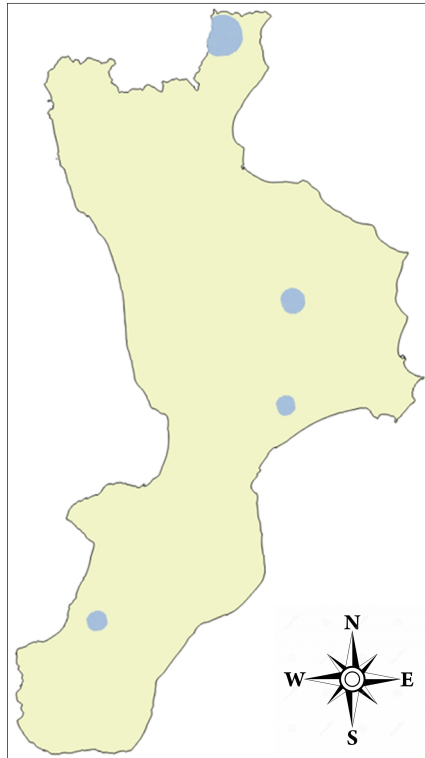


Figura 1.14 - Aree evento n°4 (26/06/2002) – 4 aree



Figure 1.15 Aree evento n°102 (15/10/2004). a)  $P_{\text{MIN}} = 0,3$  mm. b)  $P_{\text{MIN}} = 5$  mm

### 1.5. Delimitazione temporale

Il criterio che è stato utilizzato per stabilire una durata di prima approssimazione degli eventi (paragrafo 1.3) può provocarne delle sovrastime temporali.

Si pensi alla situazione in cui, una stazione pluviometrica distante dall'area di maggior piovosità, registri un valore superiore alla soglia minima  $I_{MIN}$ , mantenendo attivo un evento di fatto già esauritosi.

Per questo motivo si è proceduto alla costruzione degli istogrammi di pioggia media e pioggia media cumulata relativi alle sub-aree di ogni evento, così da avere un'idea sull'evoluzione temporale della precipitazione in una determinata zona (esempio area sud evento n°1 in Figure 1.16, 1.17, 1.18).

Sono stati dunque stabiliti dei criteri per il taglio delle code, in particolare:

- per istogramma delle piogge medie simmetrico, si è effettuato il taglio del 5% di volume di pioggia, ovvero sono state eliminate le code al di sotto del 2,5% e del 97,5% (vedasi esempio in Figure 1.19 e 1.20).
- Per istogramma delle piogge medie asimmetrico (coda allungata a destra o a sinistra), si è effettuato il taglio in caso di pendenza sub-orizzontale della curva cumulata (vedasi esempio in Figure 1.21 e 1.22).

In entrambi i contesti sopra descritti si è proceduto ad effettuare un taglio temporale dell'evento solo se la nuova durata risultava inferiore di almeno il 10% rispetto alla durata di prima approssimazione.

Nel caso in cui l'evento soggetto a riduzione temporale sia costituito da più aree e quindi più istogrammi di piogge medie e relative cumulate, la nuova durata è data dagli estremi esterni di taglio (vedasi esempio in Figure 1.23, 1.24, 1.25 e Tabella 1.4).

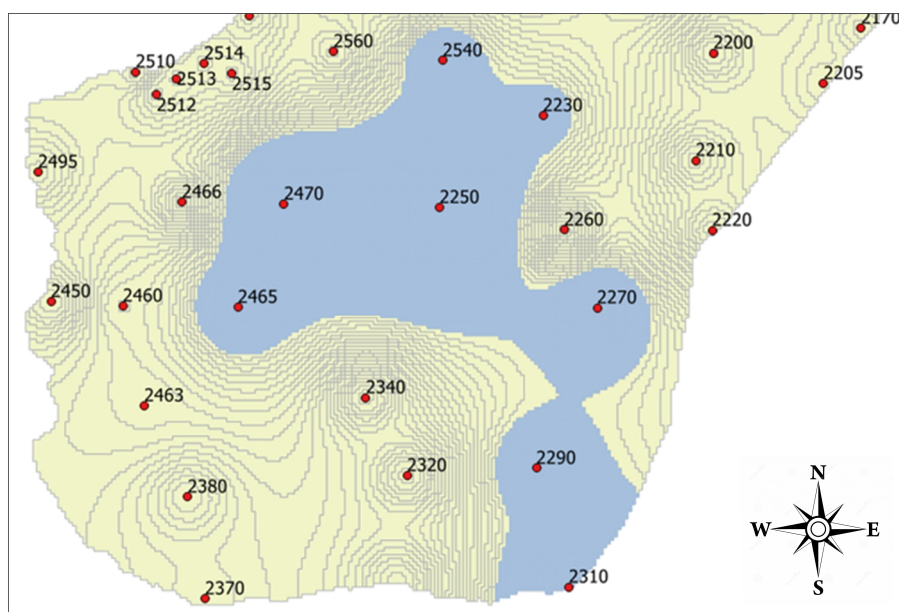


Figura 1.16 – Area sud evento n°1 (21-22/04/2002)

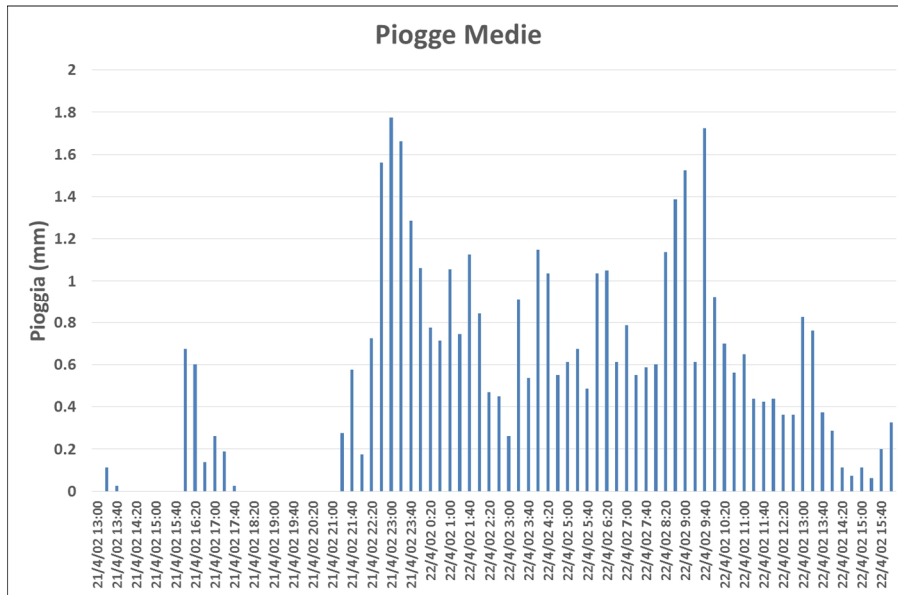


Figura 1.17 – Andamento pioggia media area sud evento n°1 (21-22/04/2002)

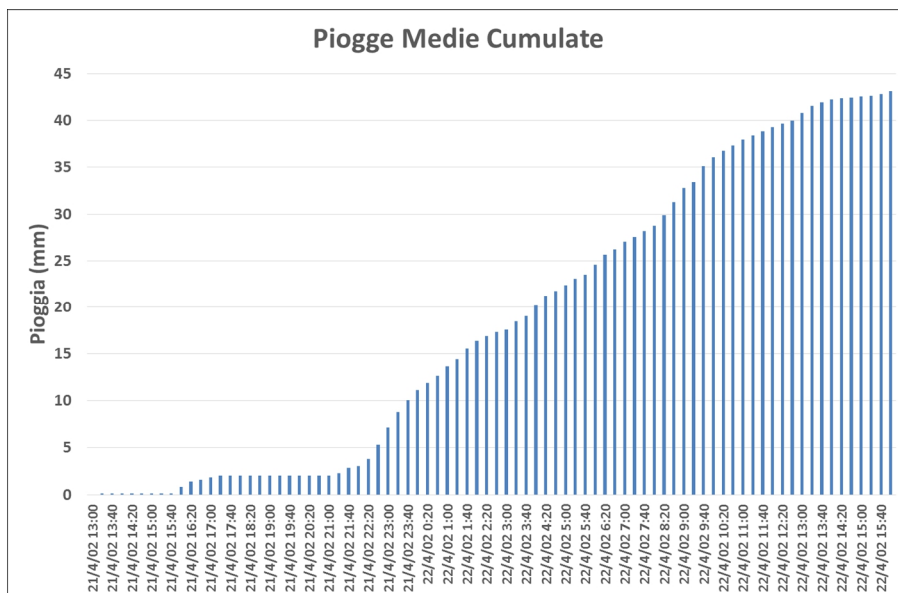


Figura 1.18 - Andamento pioggia media cumulata area sud evento n°1 (21-22/04/2002)

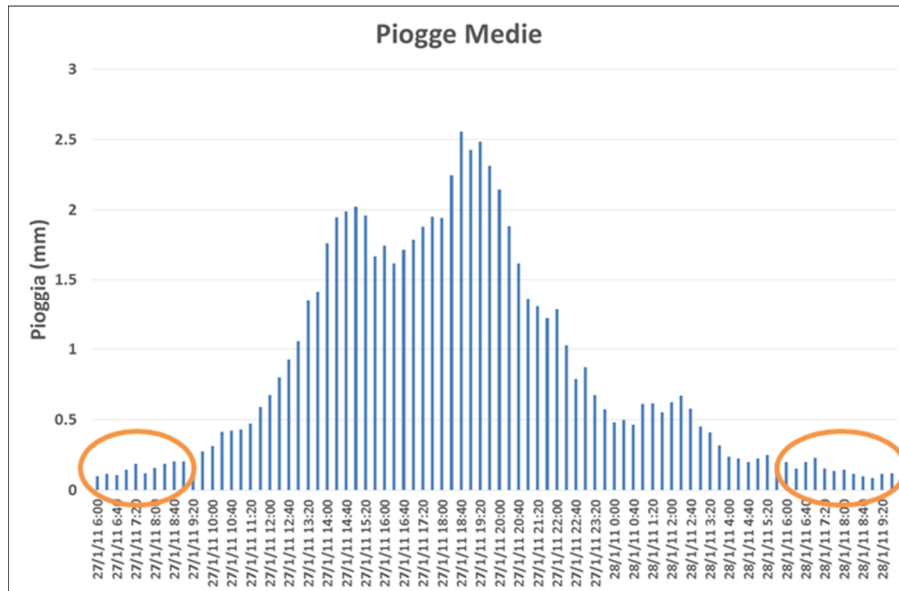


Figura 1.19 – Taglio simmetrico evento n°287 (27-28/01/2011) – piogge medie

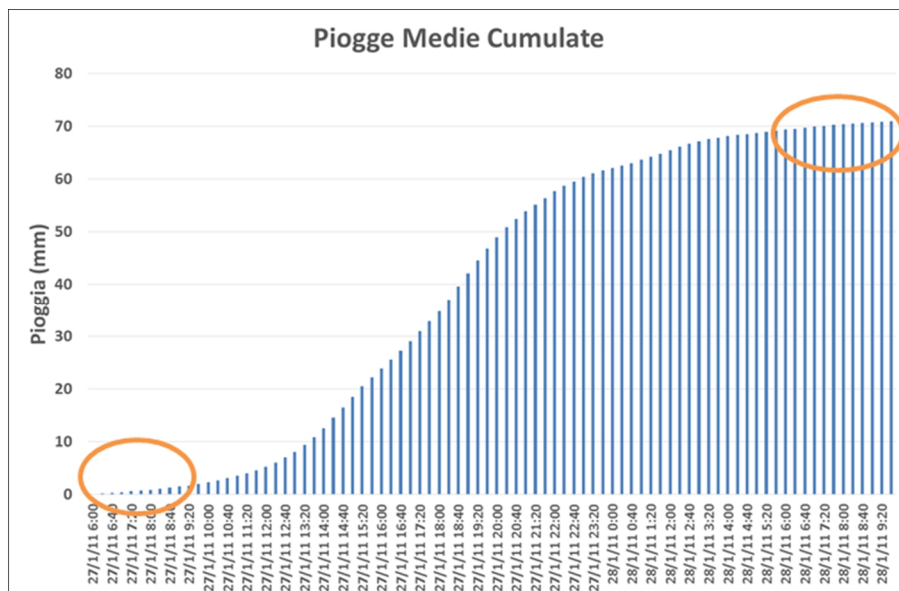


Figura 1.20 - Taglio simmetrico evento n°287 (27-28/01/2011) – piogge medie cumulate

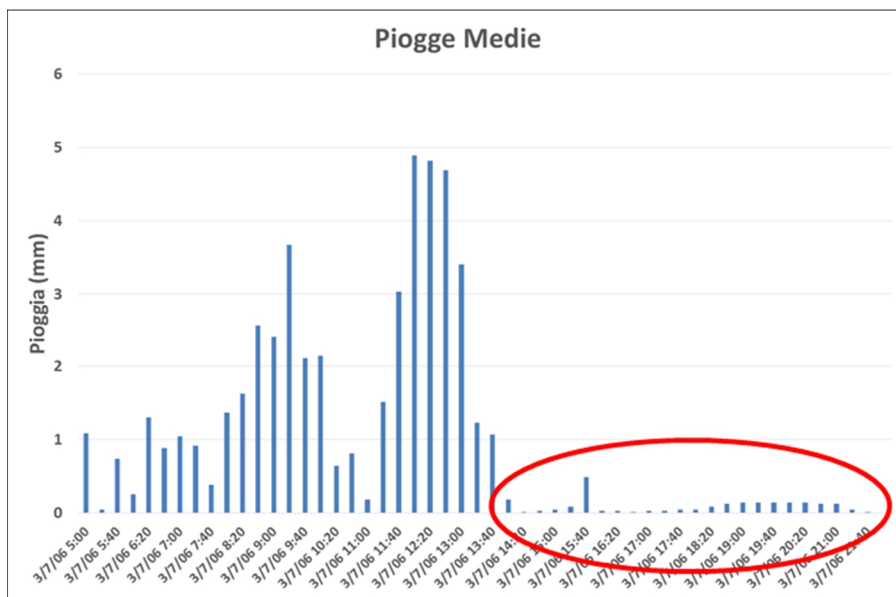


Figura 1.21 - Taglio asimmetrico evento n°146 (03/07/2006) – piogge medie

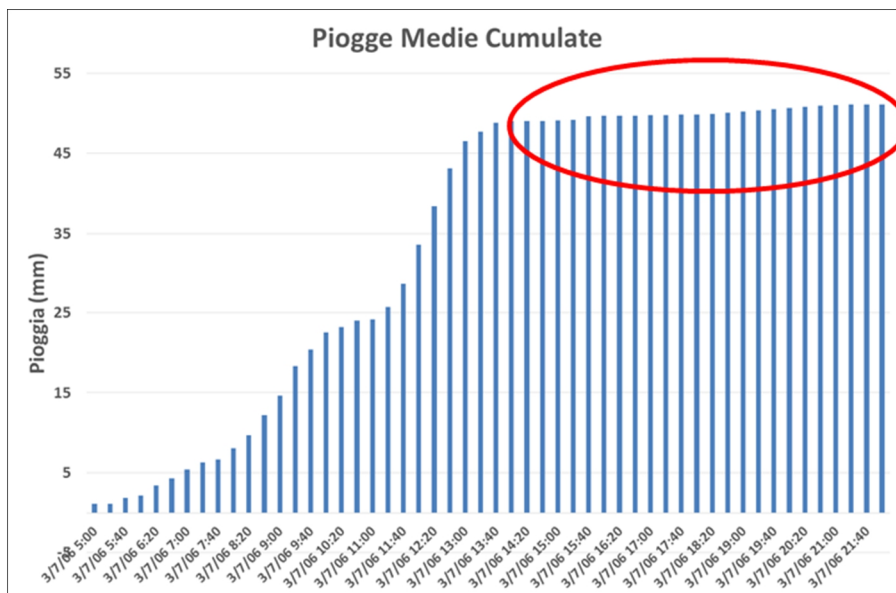


Figura 1.22 - Taglio asimmetrico evento n°146 (03/07/2006) – piogge medie cumulate



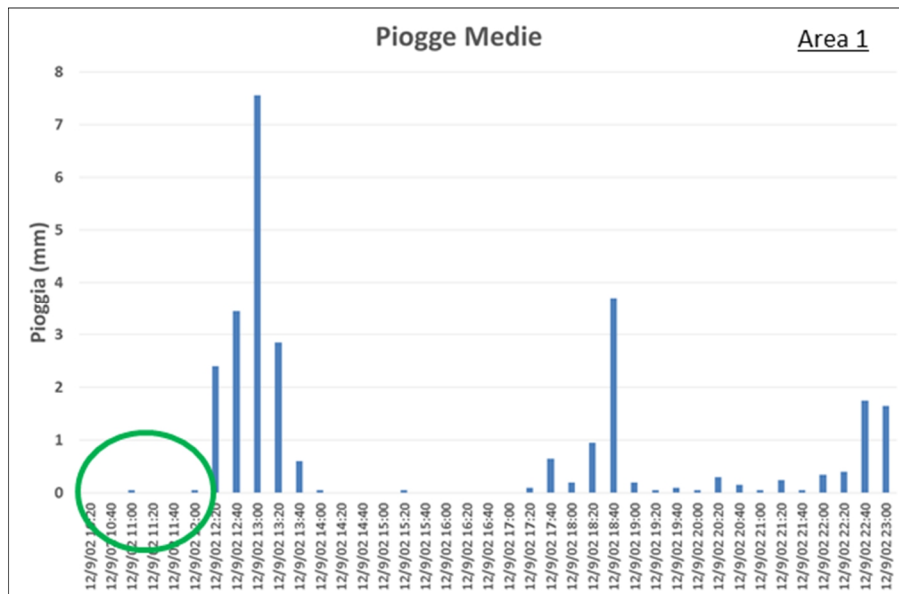


Figura 1.23 – Taglio area 1 evento n°26 (12/09/2002)

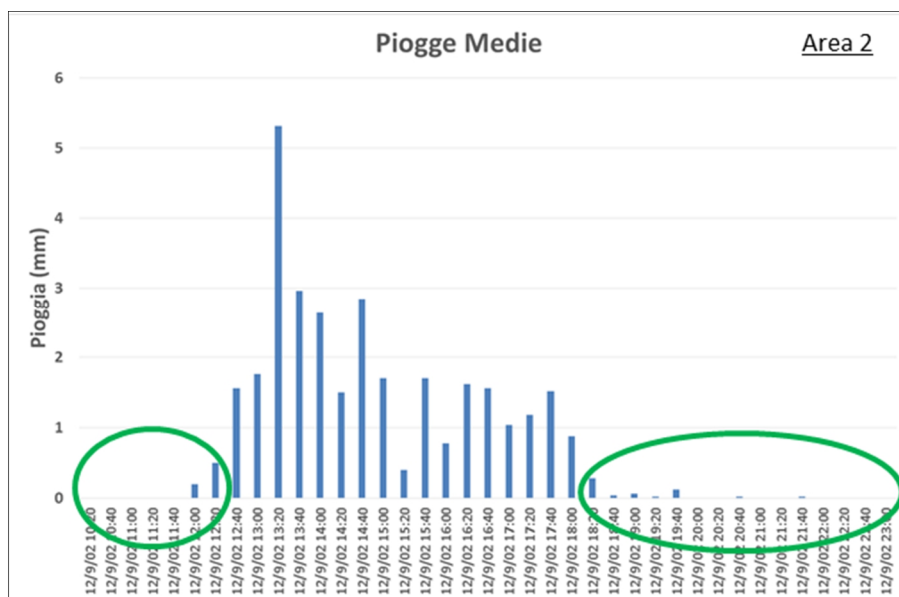


Figura 1.24 – Taglio area 2 evento n°26 (12/09/2002)

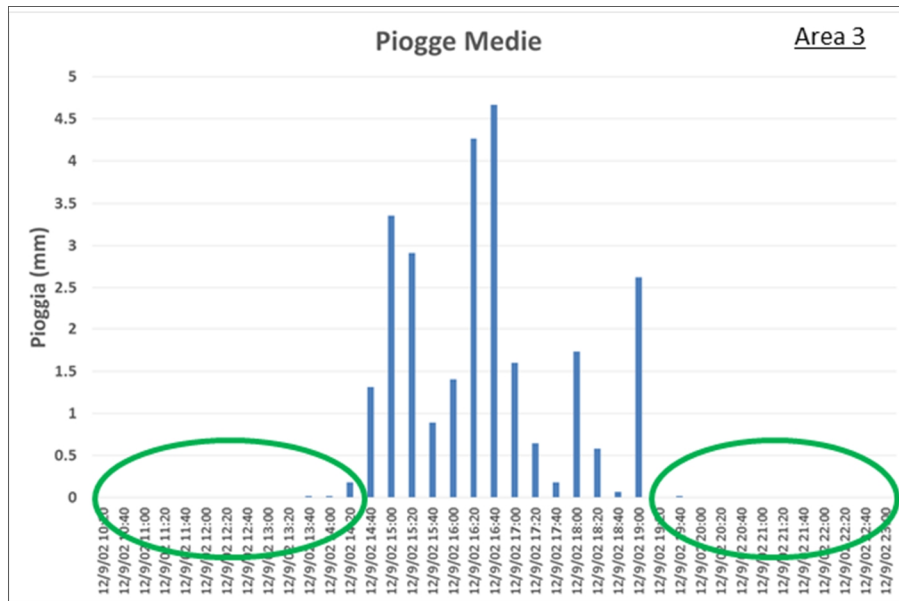


Figura 1.25 - Taglio area 3 evento n°26 (12/09/2002)

Zona	Inizio	Fine
Area 1	12/09/02 12:20	12/09/02 23:00
Area 2	12/09/02 12:40	12/09/02 18:00
Area 3	12/09/02 14:40	12/09/02 19:00
<b>Totale</b>	<b>12/09/02 12:20</b>	<b>12/09/02 23:00</b>

Tabella 1.4 – Taglio globale evento n°26 (12/09/2002)

Con la suddetta procedura sono stati tagliati 84 eventi pari a circa il 18% del totale, mentre i restanti 375 eventi hanno mantenuto la durata di prima approssimazione.

Per gli 84 eventi con una nuova durata sono stati rivalutati:

- la  $P_{MIN}$  con i medesimi criteri descritti in precedenza (paragrafo 1.4.4);
- la pioggia cumulata delle singole stazioni ( $P_{CUM,i}$ ) rientranti nelle aree d’influenza.

Sono pertanto stati messi da parte quei pluviometri che hanno registrato una  $P_{CUM,i} < P_{MIN}$  e che dunque, a rigore, andrebbero esclusi con conseguente ricalcolo dell’area. Tuttavia, sugli 84 eventi interessati da tale verifica, solo 16 hanno presentato stazioni di misura con tale caratteristica; in aggiunta, questa circostanza ha coinvolto un numero di pluviometri nettamente inferiore rispetto al totale delle stazioni ricadenti nell’area/e dell’evento (in media il 4%). In relazione ai numeri

appena citati, si è ritenuto non opportuno effettuare modifiche di aree in quanto non si avrebbe una ridefinizione spaziale sostanziale degli eventi in questione.

### 1.6. Caratteristiche finali

Attraverso le analisi effettuate in questa prima parte è stato possibile conoscere, per ogni evento, le seguenti caratteristiche:

- picco massimo puntuale (mm/20 min);
- pioggia massima cumulata puntuale (mm);
- pioggia media cumulata puntuale (mm);
- intensità massima media (mm/giorno) = pioggia massima cumulata puntuale/durata evento;
- campo di precipitazioni (distribuzione spaziale della pioggia);
- area d'influenza totale e singole sub-aree (km<sup>2</sup>);
- pioggia media totale ragguagliata (mm) = pioggia media tra le singole sub-aree;
- durata totale e delle singole sub-aree con precisione di 20 minuti (ore);
- data inizio e fine (periodo dell'anno).

Nell'Appendice A – Tabella A.2 vengono elencati i 459 eventi con informazioni relative al periodo, durata, picco massimo sui 20 minuti e picco di cumulata (valori e stazioni).

### 1.7. Zone di Allertamento

Come riportato dal D.G.R. Calabria 15 Novembre 2017, n. 535, in materia di "Sistema di allertamento regionale per il rischio meteo-idrologico ed idraulico in Calabria", ai fini delle attività di previsione e prevenzione, quest'ultima è stata suddivisa in ambiti territoriali significativamente omogenei, per tipologia e severità degli eventi attesi (meteorologici, idrologici ed idraulici intensi) e dei relativi effetti, oltre che sulla base dell'esperienza maturata dal 2007 sino ad oggi. Tali ambiti territoriali sono stati indicati come Zone di Allertamento.

Nella delimitazione delle Zone di Allertamento si sono tenuti in considerazione:

- le possibili tipologie di rischio presenti.
- Il naturale evolversi nello spazio e nel tempo degli eventi e dei relativi effetti.
- Le relazioni ed i vincoli geologici, idrologici, idraulici, infrastrutturali, amministrativi e socio-ambientali tra i diversi ambiti territoriali e tra i diversi bacini.
- Le indicazioni e risultanze presenti nei piani stralcio per la tutela del rischio idrogeologico di cui all'art. 1, comma 1, del decreto-legge n. 180/1998.
- La più generale pianificazione nazionale, regionale e provinciale in materia ed in particolare la suddivisione della regione Calabria in Contesti Territoriali omogenei volto alla programmazione di interventi in materia di riduzione del rischio ai fini di protezione civile, di cui alla D.G.R. del 24/10/2016, n. 408.

Ai fini dell'allertamento la regione Calabria è, pertanto, stata suddivisa in otto Zone di Allertamento, denominate rispettivamente:

- *Cala 1.* Versante Tirrenico Settentrionale;
- *Cala 2.* Versante Tirrenico Centro-Settentrionale;
- *Cala 3.* Versante Tirrenico Centro-Meridionale;
- *Cala 4.* Versante Tirrenico Meridionale;
- *Cala 5.* Versante Ionico Settentrionale;
- *Cala 6.* Versante Ionico Centro-Settentrionale;
- *Cala 7.* Versante Ionico Centro-Meridionale;
- *Cala 8.* Versante Ionico Meridionale;

Viene riportata la rappresentazione della Calabria con l'indicazione delle otto Zone di Allertamento (Figura 1.26).

In Appendice A – Tabella A.1 è stata associata, ad ogni stazione pluviometrica, una specifica Zona di Allertamento.

Diverse caratterizzazioni riguardanti gli eventi in esame verranno nel seguito specificate all'interno degli ambiti territoriali omogenei sopra descritti.



Figura 1.26 – Zone di Allertamento della Calabria

## Capitolo 2

### CARATTERIZZAZIONE DEI MASSIMI

Nel presente capitolo è stato effettuato uno studio approfondito sui valori massimi, considerando due tipologie:

- massima pioggia (sia puntuale che areale) registrata in 20 minuti;
- massima pioggia (sia puntuale che areale) registrata per tutta la durata d'evento (cumulate massime).

#### 2.1. Massimi Puntuali

Considerando i 459 eventi pluviometrici presenti nel database (Appendice A – Tabella A.2), è stato innanzitutto calcolato il numero di volte in cui ciascun pluviometro ha registrato una pioggia massima sui 20 minuti e una pioggia massima cumulata.

Così facendo sono state individuate aree più o meno soggette a certe tipologie di massimo di precipitazione, caratterizzandole così dal punto di vista spaziale.

Vengono nel seguito messe a confronto le mappe spaziali dei massimi puntuali per le due diverse tipologie sopra citate, sia relativamente a tutti gli eventi (Figure 2.1a, 2.1b) che stagionalmente (Figure 2.2a, 2.2b, 2.3a, 2.3b), limitando l'analisi ai periodi estivo ed autunnale in cui si verificano la maggior parte degli eventi (vedasi paragrafo 1.3 – Figura 1.8 e Tabella 1.2):

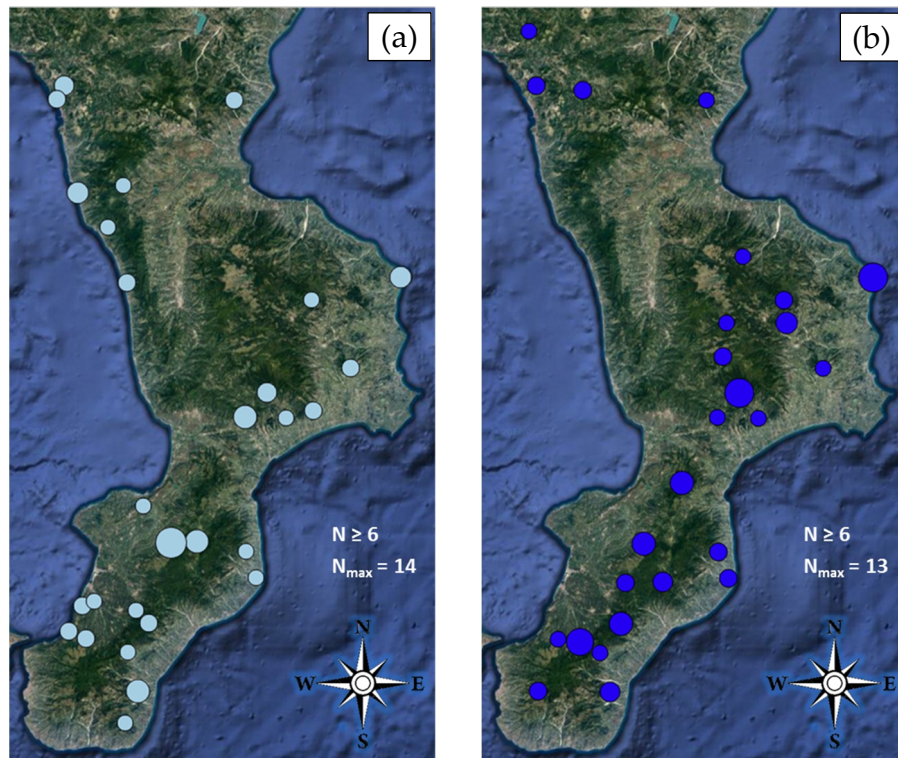


Figure 2.1 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate

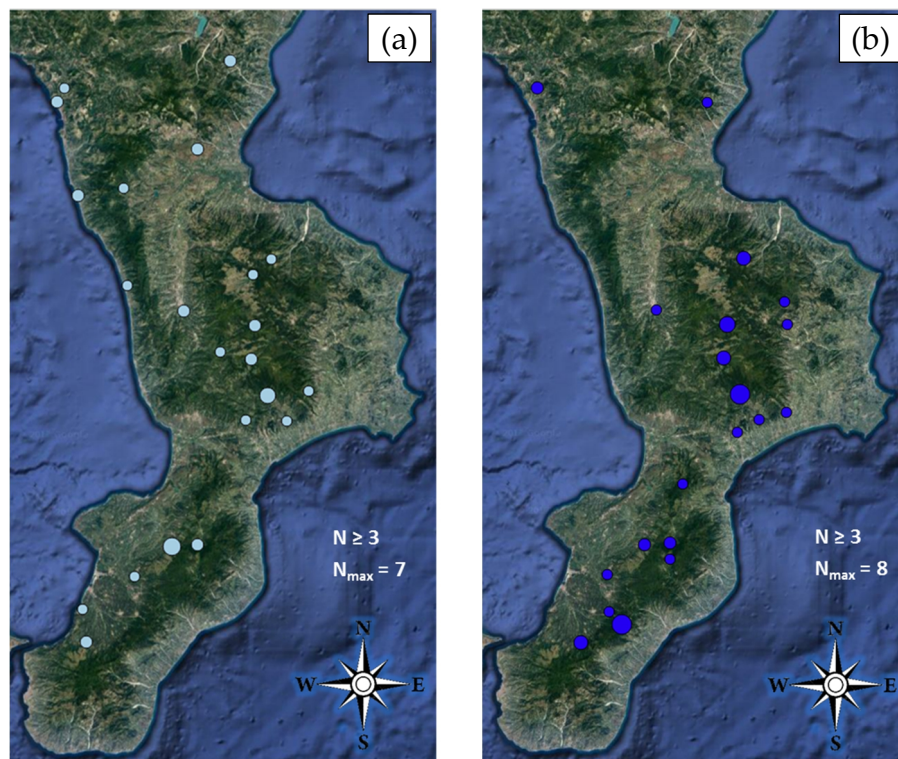


Figure 2.2 a) Massimi puntuali sui 20 min in estate. b) Massimi puntuali cumulate in estate

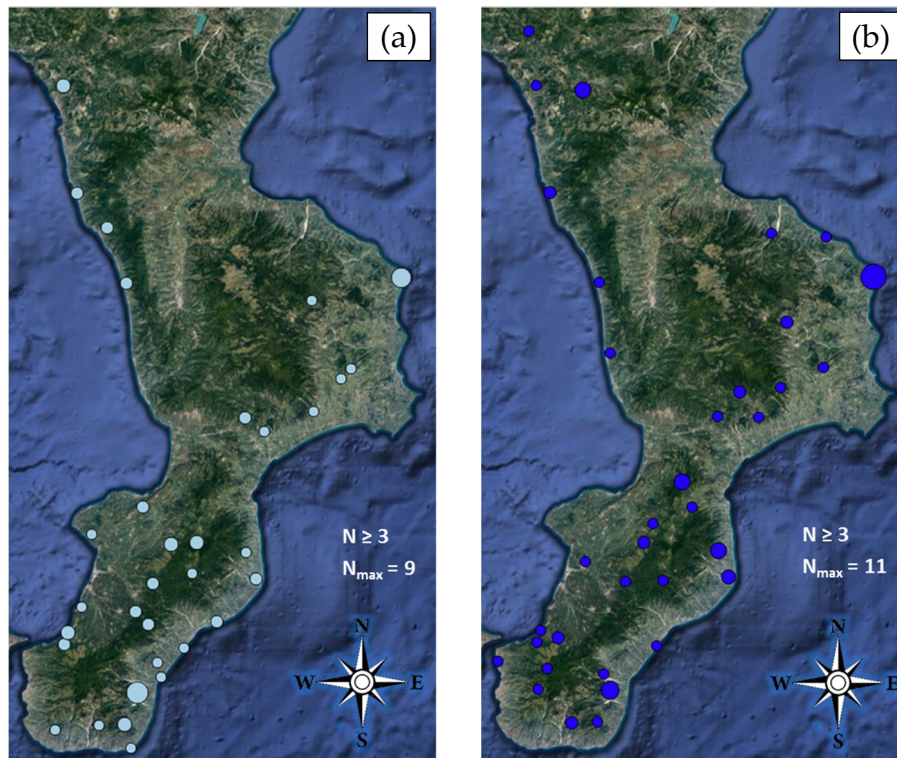


Figure 2.3 a) Massimi puntuali sui 20 min in autunno. b) Massimi puntuali cumulate in autunno

Si è osservato che:

- globalmente, i massimi su  $\Delta t = 20$  minuti sono distribuiti irregolarmente, invece i massimi delle cumulate si posizionano principalmente lungo la fascia ionica centro-meridionale collinare e montana (con locali picchi sulla costa). La stazione di Arena (VV) ha registrato un numero di massimi in  $\Delta t$  pari a 14, superiore agli altri pluviometri.
- Nella stagione estiva gli andamenti delle due tipologie si somigliano, evidenziando una concentrazione di massimi su zone montane e collinari dell'Aspromonte, delle Serre e della Sila. L'unica differenza è stata che massimi in  $\Delta t$  hanno interessato anche l'alto Tirreno, e per tale tipologia i conteggi massimi si sono avuti nelle stazioni di Arena (VV) ed Albi (CZ), rispettivamente pari a 7 e 6; invece per i massimi delle cumulate le stazioni di Antonimina - Canolo Nuovo (RC) ed Albi (CZ) hanno registrato entrambe un numero pari a 8.
- Nella stagione autunnale, i massimi tra le due tipologie sono analogamente distribuiti e per lo più nel sud della regione (al di sotto dell'istmo di Catanzaro), in secondo luogo sulla pre-Sila ionica e sulle coste dell'alto Tirreno. Si è notato come le stazioni di Cirò Marina – Punta Alice (KR) e di Sant'Agata del Bianco (RC) presentino un numero di massimi su durate  $\Delta t$



pari rispettivamente a 8 e a 9, e in termini di cumulate la prima abbia registrato un numero di massimi pari a 11, superiore agli altri pluviometri.

Il confronto è stato anche proposto suddividendo gli eventi per classi di durata (Tabella 2.1).

Classi di durata (h)	Numero eventi	% sul totale
$\leq 3$	83	18%
$(3 \div 6]$	102	22%
$(6 \div 12]$	104	23%
$(12 \div 24]$	95	21%
$> 24$	75	16%

Tabella 2.1 – Eventi per classi di durata

Tale suddivisione ha permesso di avere un numero comparabile di eventi per ogni classe, così da poterle oggettivamente raffrontare.

Nel seguito i confronti tra mappe suddivise nelle suddette classi (Figure 2.4a, 2.4b, 2.5a, 2.5b, 2.6a, 2.6b, 2.7a, 2.7b, 2.8a, 2.8b):

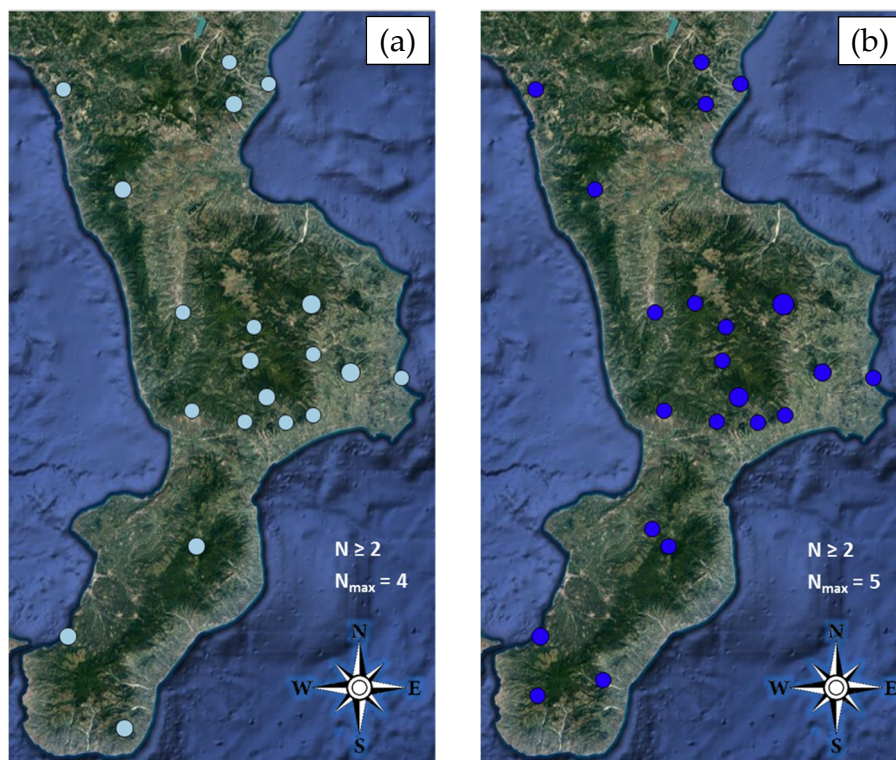


Figure 2.4 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate. Eventi  $d \leq 3$  ore

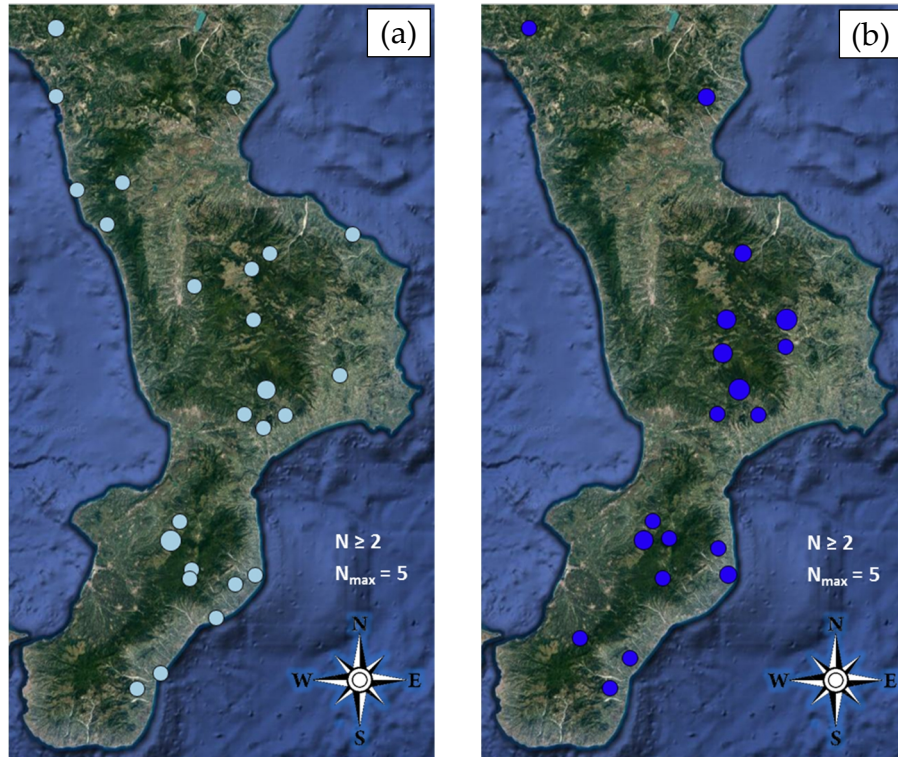


Figure 2.5 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate. Eventi d [3÷6] ore

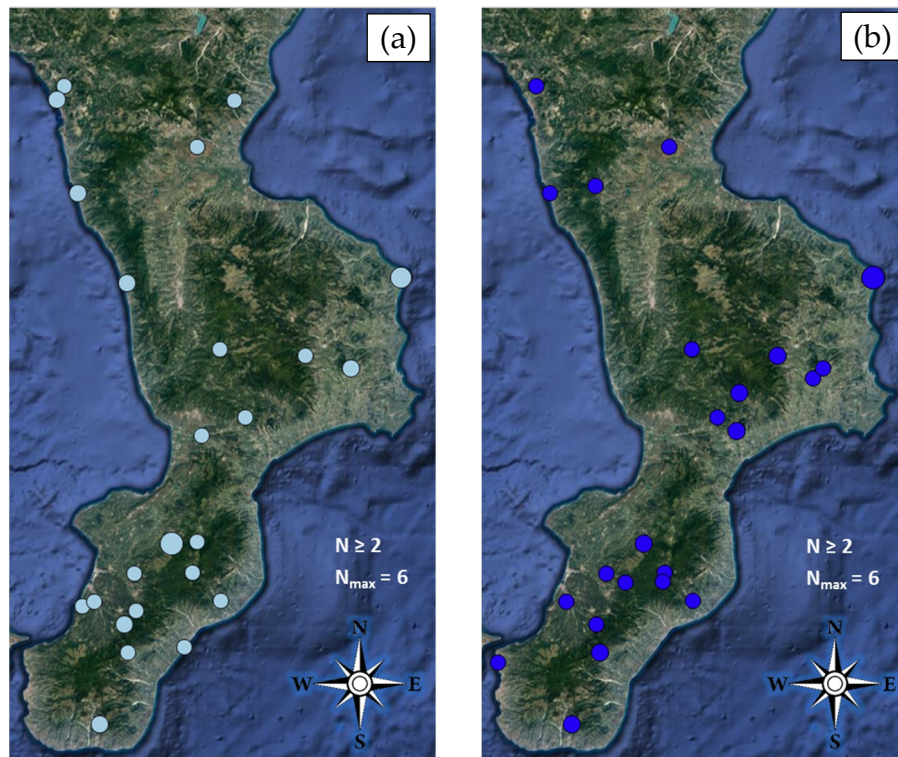


Figure 2.6 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate. Eventi d [6÷12] ore

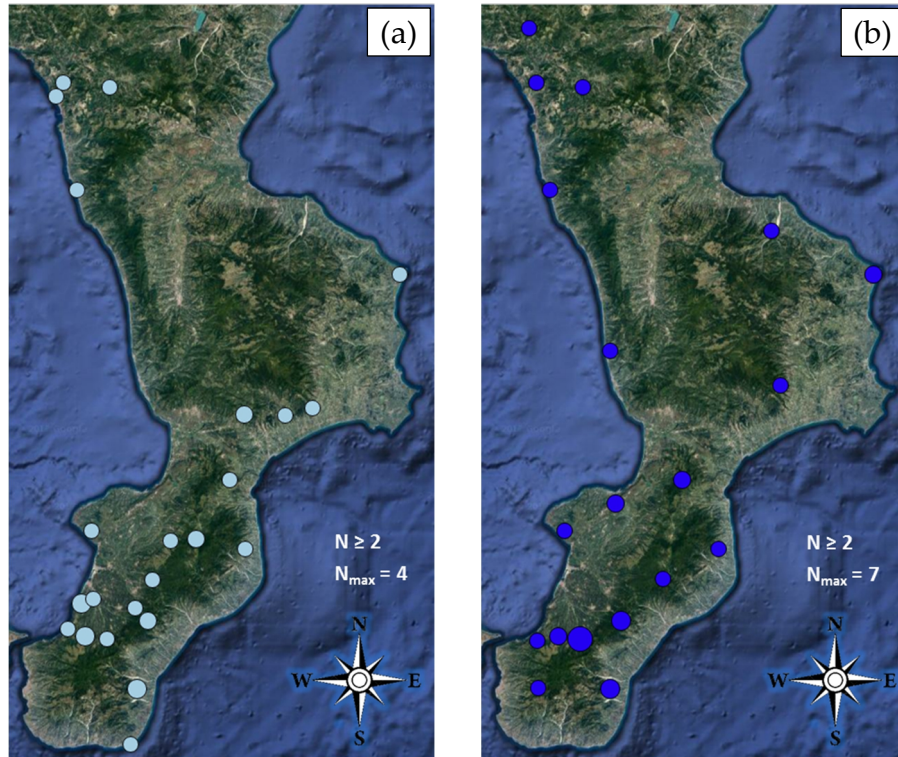


Figure 2.7 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate. Eventi d (12÷24] ore

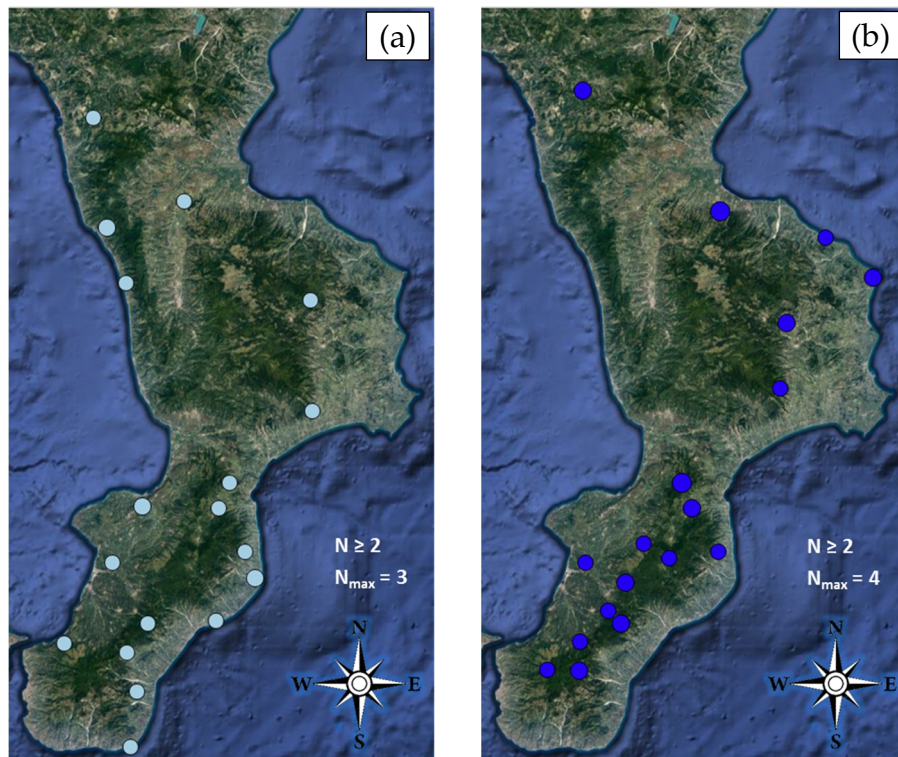


Figure 2.8 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate. Eventi d > 24 ore

Dalle figure di cui sopra è stato ricavato che:

- per eventi di brevissima durata ( $d \leq 3$  ore), dove quasi sempre la stazione che ha registrato il massimo in  $\Delta t$  registra anche il massimo in termini di cumulata, i massimi si sono concentrati principalmente nell'area comprendente la Sila Piccola, pre-Sila Piccola sud e ionica.
- Negli eventi di durata compresa fra le 3 e le 6 ore, i massimi si sono concentrati di più nella zona ionica dell'Aspromonte fino alla costa, nelle aree delle Serre e prospiciente costa ionica, Sila e pre-Sila ionica. In termini di massimi in  $\Delta t$ , alle suddette zone si è aggiunta qualche stazione nell'alto Tirreno cosentino.
- Per quanto riguarda gli eventi di durata compresa fra le 6 e le 12 ore, i massimi sono più concentrati nel sud della Calabria, per lo più in zone collinari e montane, ed in secondo luogo su pre-Sila sud-ionica e alto Tirreno cosentino (più che altro per i massimi in  $\Delta t$ ). Per ambo le tipologie di massimi se ne è verificato un buon numero nella stazione di Cirò Marina – Punta Alice (KR).
- Negli eventi di durata compresa fra le 12 e le 24 ore, rispetto alle classi precedenti, si è osservata più differenza spaziale tra massimi in  $\Delta t$  e massimi delle cumulate, sostanzialmente l'area sud della regione ha visto la più elevata concentrazione di massimi, con un maggior interesse delle aree tirreniche.
- La suddetta differenza incrementa per gli eventi di durata superiore al giorno, in tal contesto, i massimi in  $\Delta t$ , sono stati sempre più frequenti nell'area sud, ma rispetto alla precedente classe di durata sono state maggiormente interessate le stazioni in prossimità della costa ionica; invece, i massimi delle cumulate sono stati ubicati principalmente sulla fascia collinare e montana che va dall'Aspromonte alle Serre, in parte è stato anche interessato lo Ionio centrale.

Dall'analisi appena svolta si è potuto facilmente dedurre che, al crescere della durata degli eventi ed in maniera graduale, è stata sempre più interessata da ambo le tipologie di massimi la parte sud della Calabria, cioè l'area al di sotto dell'istmo di Catanzaro, a scapito dell'area posta a nord di quest'ultimo. In conseguenza di ciò:

- le aree della Sila e pre-Sila ionica hanno registrato più massimi per eventi con durata inferiore alle 12 ore, con un netto calo per durate superiori.

- La fascia montana a sud della Calabria, ovvero l'area dell'Aspromonte e delle Serre, è stata caratterizzata da massimi più frequenti per eventi maggiori di 6 ore, in particolare per fenomeni di durata superiore al giorno le cumulate massime si sono disposte in modo netto sulle suddette catene montuose.

Altre caratteristiche spaziali dei massimi hanno riguardato:

- la costa ionica meridionale, in cui per eventi tra le 3 e le 6 ore si è registrato un buon numero di ambo le tipologie di massimi, invece per eventi maggiori di un giorno sono prevalsi i massimi in  $\Delta t$ .
- L'alto Tirreno cosentino, ove sono presenti buone concentrazioni di massimi in  $\Delta t$  per eventi che durano tra le 3 e le 12 ore, con invece un buon numero di cumulate massime per eventi che vanno dalle 12 alle 24 ore.
- La zona tirrenica meridionale, nella quale per eventi di durata dalle 6 alle 24 ore si è verificato il maggior numero di massimi, tra questi, per fenomeni al di sotto delle 12 ore, i suddetti massimi hanno interessato più le aree collinari e montane prospicienti, mentre i fenomeni superiori a 12 ore, hanno maggiormente riguardato le stazioni poste in prossimità della costa.

### ***2.1.1 Massimi puntuali per Zone di Allertamento***

In tale fase l'obiettivo è stato quello di confrontare il numero dei massimi puntuali (sia in  $\Delta t = 20$  minuti che in termini di cumulate) all'interno delle diverse Zone di Allertamento (nel seguito abbreviate come ZDA) in cui è stato suddiviso il territorio calabrese.

Per questo motivo sono state create delle mappe spaziali nelle quali, per ogni ambito territoriale omogeneo, è stato associato un colore ad ogni intervallo di frequenza dei massimi. Come nel paragrafo 2.1, l'analisi è stata effettuata per ambo le tipologie dei massimi, in primo luogo su tutti gli eventi ricavati nel presente lavoro (Figure 2.9a, 2.9b) e successivamente suddividendoli per stagione estiva (Figure 2.10a, 2.10b), stagione autunnale (Figure 2.11a, 2.11b) e classi di durata (Figure 2.12a, 2.12b, 2.13a, 2.13b, 2.14a, 2.14b, 2.15a, 2.15b, 2.16a, 2.16b).

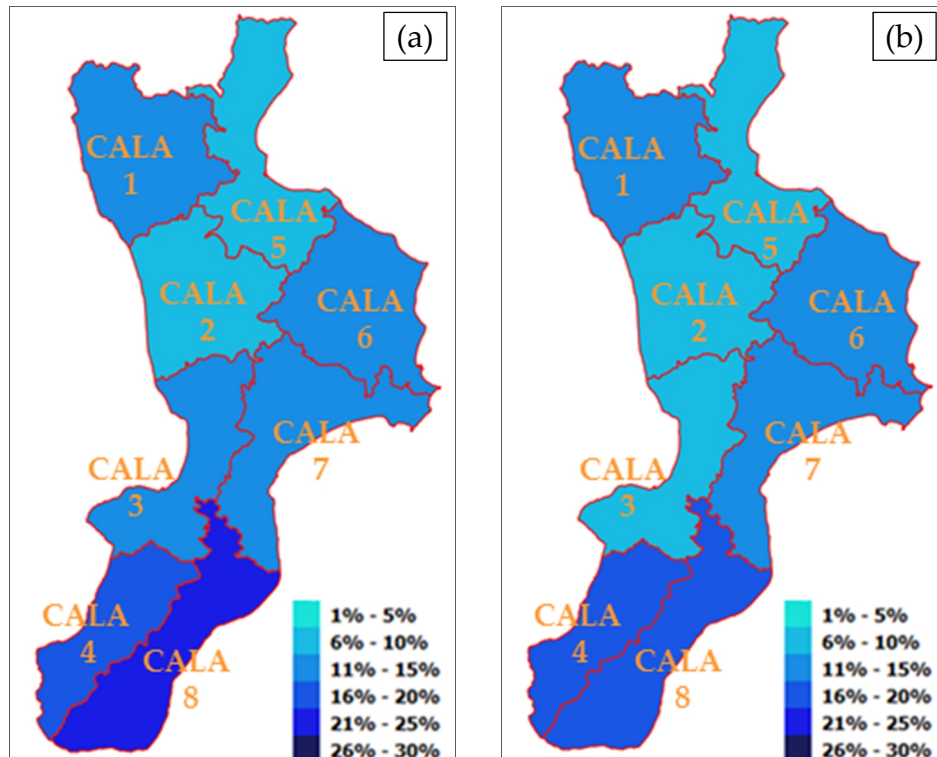


Figura 2.9 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate – ZDA

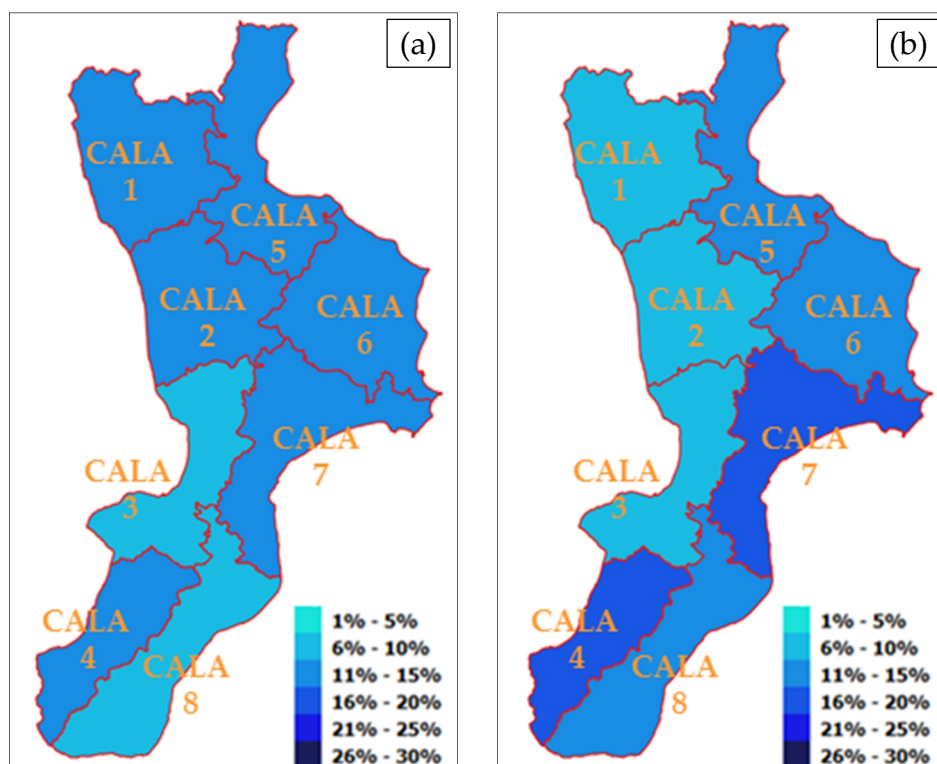


Figura 2.10 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate – Estate – ZDA

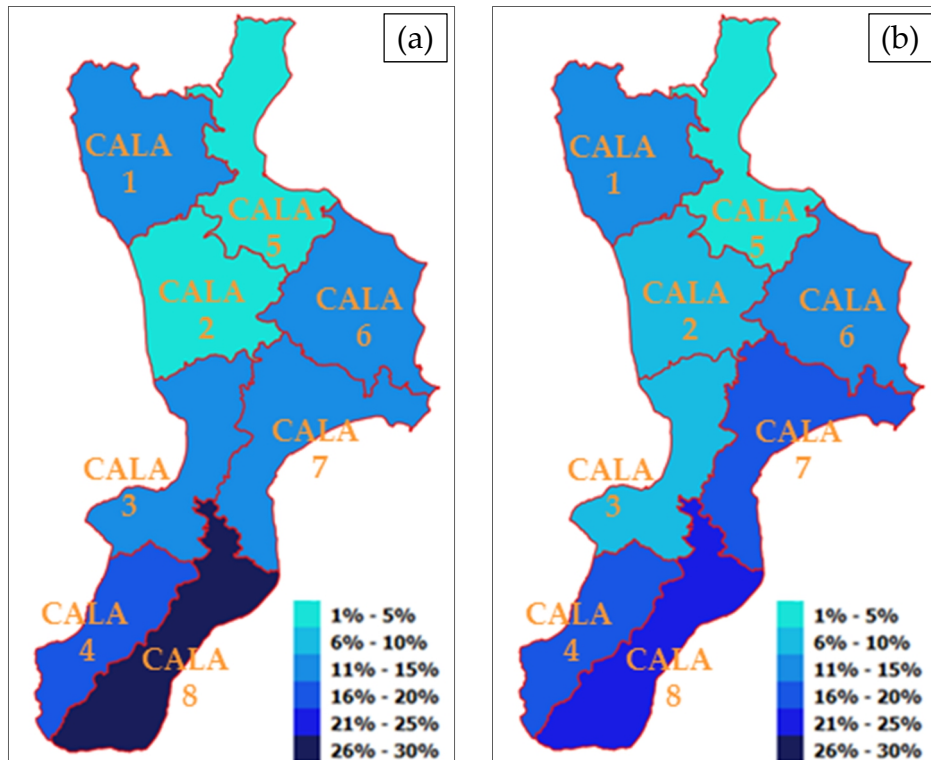


Figura 2.11 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate – Autunno – ZDA

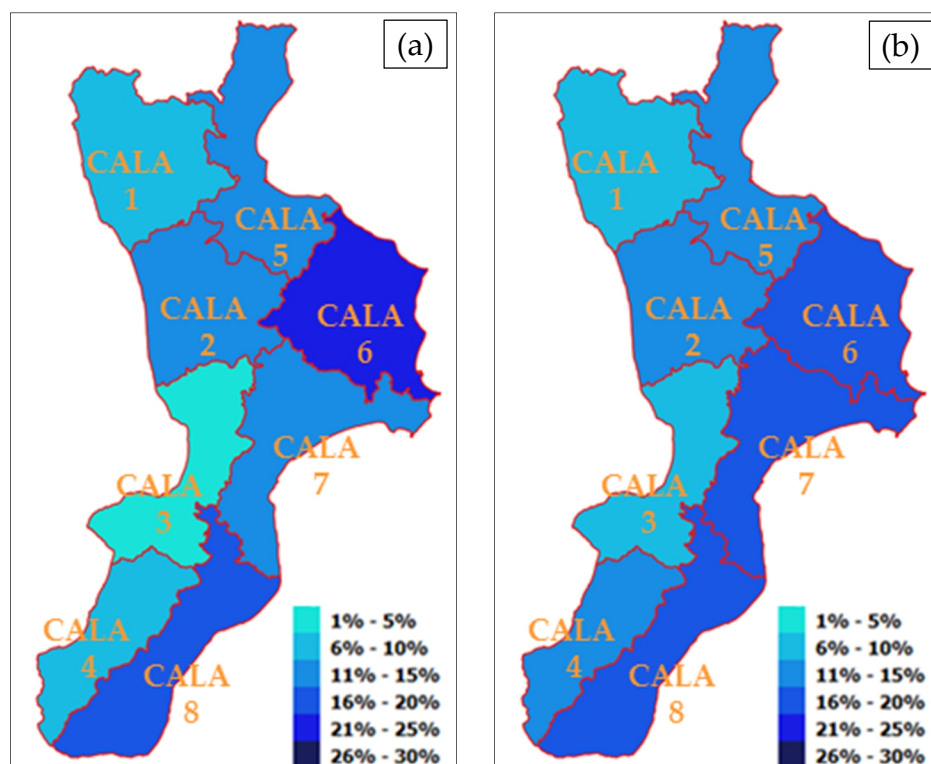


Figura 2.12 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate –  $d \leq 3$  ore – ZDA

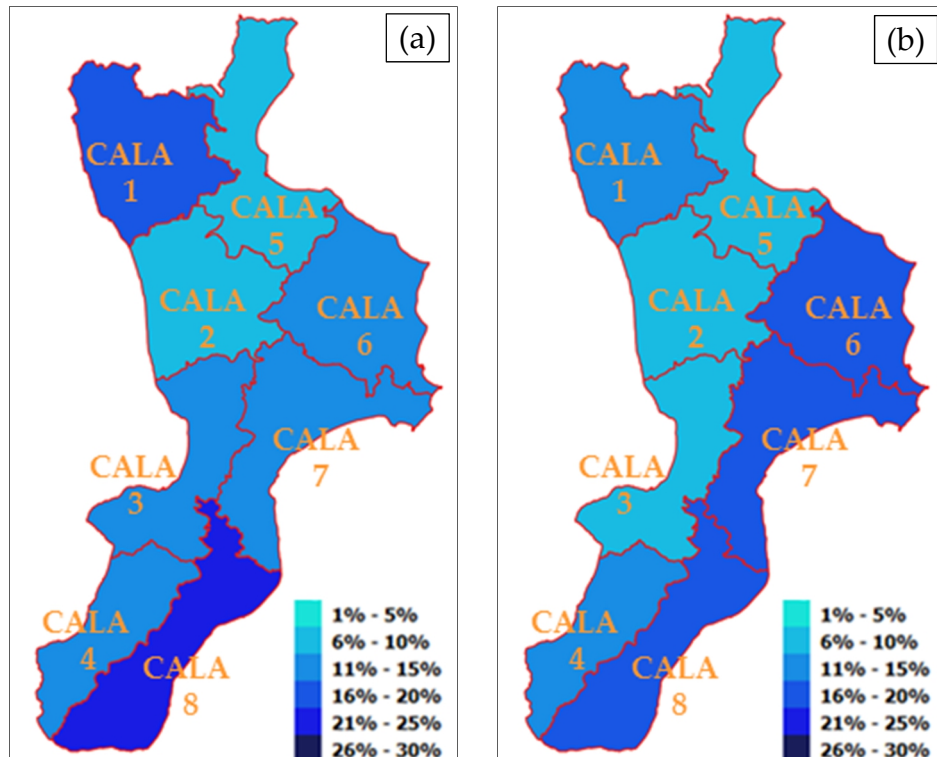


Figura 2.13 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate – d (3÷6] ore – ZDA

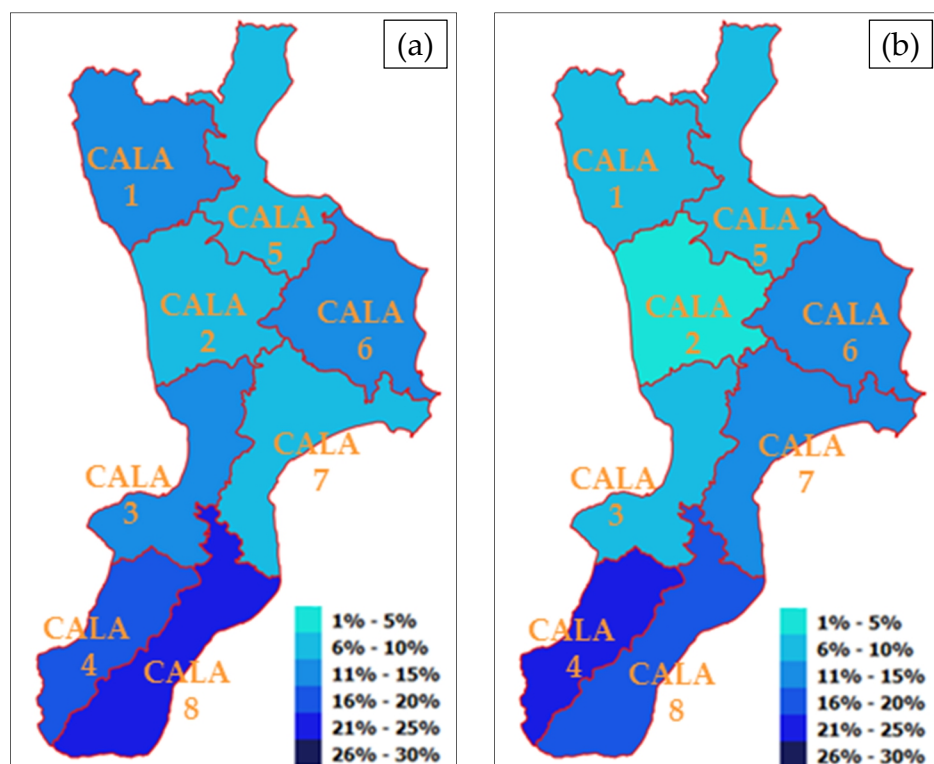


Figura 2.14 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate – d (6÷12] ore – ZDA



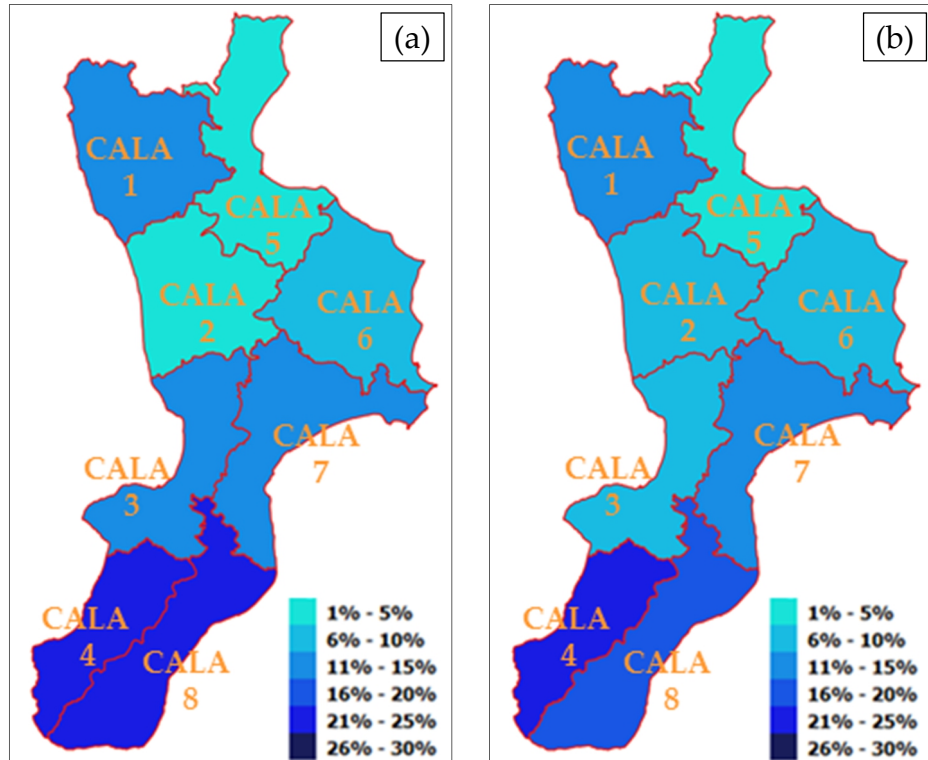


Figura 2.15 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate – d (12÷24] ore – ZDA

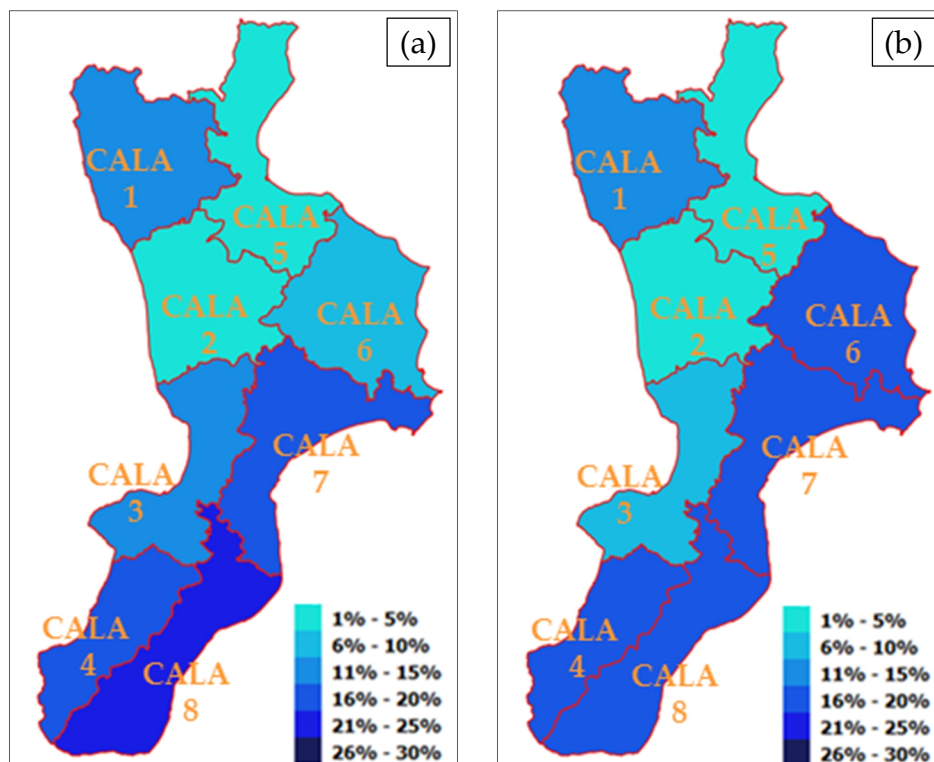


Figura 2.16 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate – d > 24 ore – ZDA

Per quel che concerne il verificarsi dei massimi puntuali in  $\Delta t = 20$  minuti, la maggior parte si sono registrati sul *Versante Ionico Meridionale (Cala 8)* (in particolare nella stagione autunnale), fatta eccezione per la stagione estiva e per gli eventi di brevissima durata, quest'ultimi hanno visto la prevalenza dei massimi nel *Versante Ionico Centro-Settentrionale (Cala 6)*. Invece i *Versanti Tirrenico Centro-Settentrionale* e *Ionico Settentrionale (Cala 2 e Cala 5)* hanno registrato in generale il minor numero di massimi, fatta eccezione per la stagione estiva e per gli eventi di brevissima durata.

Relativamente ai massimi puntuali in termini di cumulate, in generale, sui *Versanti Tirrenico Meridionale, Ionico Meridionale e Centro-Meridionale (Cala 4, Cala 8 e Cala 7)* se ne sono verificati la maggior parte (in particolare su *Cala 8* nella stagione autunnale), invece i *Versanti Tirrenico Centro-Settentrionale, Centro-Meridionale e Ionico Settentrionale (Cala 2, Cala 3 e Cala 5)* hanno in generale mostrato il minor numero di massimi. Ciò è risultato particolarmente vero su *Cala 5* nella stagione autunnale e per eventi duraturi.

Incrociando i risultati per ambo le tipologie dei massimi, si è evinto come il *Versante Ionico Meridionale (Cala 8)* sia stata l'area più interessata, al contrario i *Versanti Tirrenico Centro-Settentrionale e Ionico Settentrionale (Cala 2 e Cala 5)* sono risultate le aree meno colpite.

## 2.2. Massimi Areali

Per la valutazione dei massimi areali è stato necessario in primo luogo passare dalla pioggia puntuale alla pioggia ragguagliata su diverse risoluzioni spaziali.

A tal scopo si è utilizzato, come dominio di calcolo, un Digital Elevation Model della Calabria avente una risoluzione pari a 1 km x 1 km e relativamente al quale sono note le coordinate (X, Y, Z) dei centri di ogni cella, (esempio in Figura 2.17). In particolare:

- X rappresenta la longitudine (m);
- Y rappresenta la latitudine (m);
- Z rappresenta la quota (m s.l.m.).

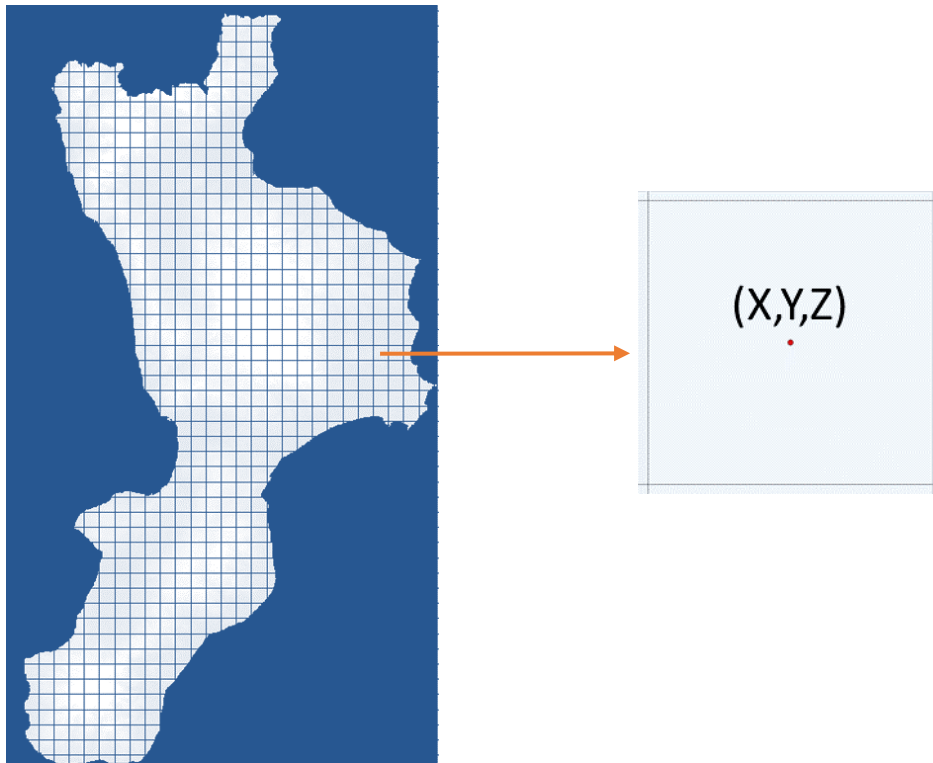


Figura 2.17 – Grigliato di celle ricoprente la Calabria (note le coordinate al centro di ogni cella)

Sempre attraverso la tecnica d'interpolazione IDW, è stata innanzitutto determinata la pioggia ragguagliata su tali celle, di risoluzione 1 km<sup>2</sup>.

I dati puntuali costituenti l'input di calcolo differiscono sulla base del fatto che si ragioni su piogge a  $\Delta t = 20$  minuti oppure su piogge cumulate:

- nel primo caso, è stata valutata una matrice di pioggia per ogni step temporale relativamente alla durata di ogni evento (quindi se l'evento ha avuto durata pari a 7 ore allora sono state valutate  $7 \cdot 3 = 21$  superfici).
- Nel secondo caso, si è valutata una sola matrice per ogni evento, essendo temporalmente unico il dato di pioggia cumulata per ogni pluviometro.

Successivamente, sono state considerate risoluzioni areali con dimensioni maggiori, utilizzando una procedura a finestra mobile; in particolare, a partire dalla pioggia ragguagliata su celle 1 km x 1 km, è stata valutata, per ogni cella, la pioggia media a diverse estensioni (5 km x 5 km, 10 km x 10 km, 20 km x 20 km, 50 km x 50 km) (esempio in Figura 2.18).

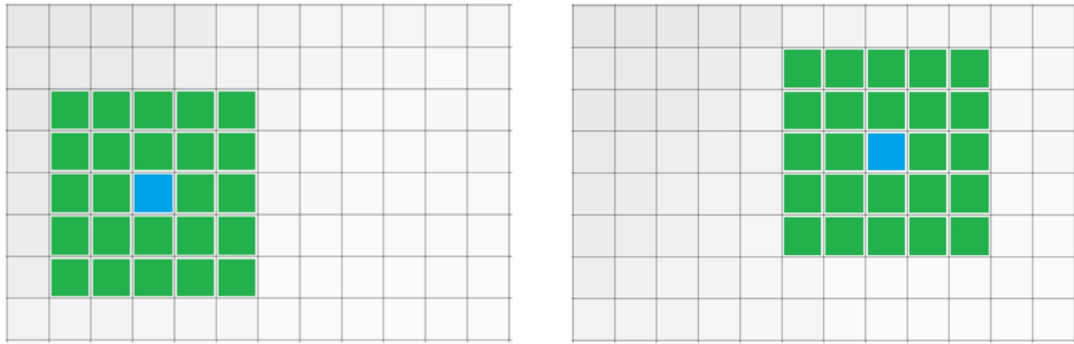


Figura 2.18 – Calcolo pioggia areale da celle 1 km x 1 km a 5 km x 5 km (finestra mobile)

Una volta ricavate per ogni evento le suddette piogge areali medie, sia per dati a  $\Delta t = 20$  minuti che per dati cumulati, sono stati estratti e diagrammati i seguenti massimi areali:

- massimo assoluto relativo alle celle 1 km x 1 km (area = 1 km<sup>2</sup>);
- massimo assoluto relativo alle celle 5 km x 5 km (area = 25 km<sup>2</sup>);
- massimo assoluto relativo alle celle 10 km x 10 km (area = 100 km<sup>2</sup>);
- massimo assoluto relativo alle celle 20 km x 20 km (area = 400 km<sup>2</sup>);
- massimo assoluto relativo alle celle 50 km x 50 km (area = 2.500 km<sup>2</sup>).

Pertanto ogni evento ha un totale di dieci massimi areali, cinque relativi alle piogge a  $\Delta t = 20$  minuti e cinque relativi alle piogge cumulate.

Considerando tutti i 459 eventi selezionati, per ognuna delle aggregazioni sopra elencate sono stati valutati il valore medio ed i percentili al 5% ed al 95% della pioggia massima normalizzata rispetto al valore puntuale (Figure 2.19-2.20, Tabelle 2.2-2.3):

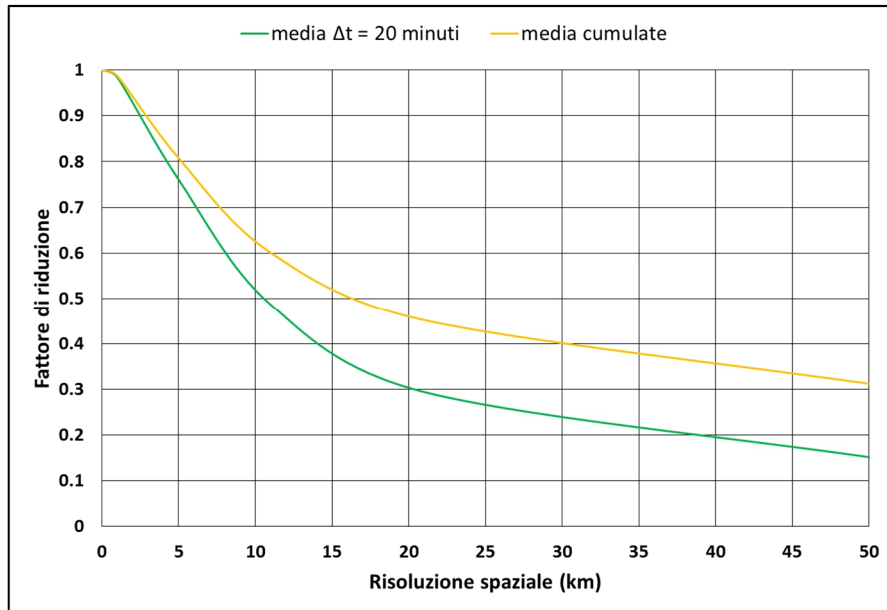


Figura 2.19 – Fattore di riduzione dei massimi in funzione della risoluzione spaziale

Tipologia max	Agregazione spaziale (km x km)					
	0	1 x 1	5 x 5	10 x 10	20 x 20	50 x 50
Pioggia Cumulata	1,00	0,99	0,81	0,60	0,45	0,31
Pioggia in 20 min	1,00	0,98	0,76	0,49	0,29	0,15

Tabella 2.2 – Valori del fattore di riduzione dei massimi

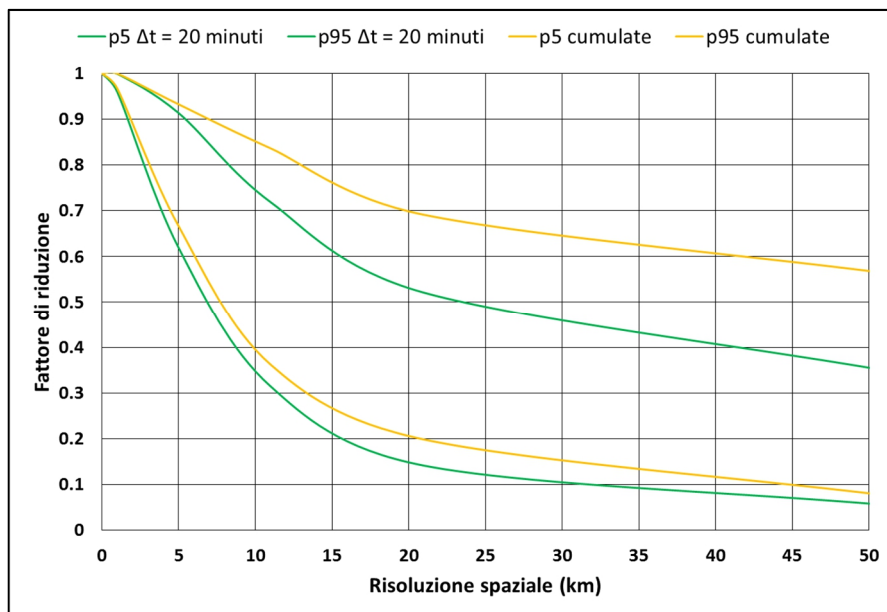


Figura 2.20 – Fattore di riduzione dei percentili dei massimi in funzione della risoluzione spaziale

Tipologia max	Aggregazione spaziale (km x km)					
	0	1 x 1	5 x 5	10 x 10	20 x 20	50 x 50
P5 cumulate	1,00	0,97	0,67	0,36	0,20	0,08
P95 cumulate	1,00	1,00	0,93	0,84	0,69	0,56
P5 in 20 min	1,00	0,96	0,62	0,31	0,14	0,06
P95 in 20 min	1,00	1,00	0,91	0,72	0,52	0,35

Tabella 2.3 – Valori del fattore di riduzione dei percentili al 5% e 95% dei massimi

La Figura 2.19, con relativa Tabella 2.2, indica che i massimi areali per piogge misurate ogni 20 minuti si abbattano maggiormente all'aumentare della risoluzione rispetto ai massimi delle piogge cumulate (relative alle diverse durate degli eventi).

La Figura 2.20, con relativa Tabella 2.3, sottolinea che i massimi areali per piogge misurate ogni 20 minuti hanno un campo di variazione più ristretto rispetto a quelli relativi alle piogge cumulate.

L'abbattimento dei massimi areali è risultato utile, in sede di raggruppamento degli eventi pluviometrici in pattern meteorologici, al fine di comprendere le differenze numeriche in termini di campi di precipitazione tra i diversi cluster ottenuti (vedasi Capitolo 3 – paragrafo 3.4).

## Capitolo 3

### CLUSTERIZZAZIONE DEGLI EVENTI

L'obiettivo del Capitolo 3 è stato quello di raggruppare gli eventi pluviometrici selezionati in cluster meteorologici. Ciò è stato possibile attraverso uno studio relativo alle basi della fisica atmosferica (paragrafo 3.1) ed alle differenti strutture meteoriche che generano piogge estreme nel Mediterraneo (paragrafo 3.2). Sono anche risultati utili diversi parametri ricavati nei capitoli precedenti (paragrafi 3.3 e 3.4).

#### 3.1. Cenni di meteorologia

Il processo di formazione delle precipitazioni è costituito dalle seguenti fasi (Moisello, 1999):

- evaporazione dell'acqua da oceani, mari, corsi d'acqua dolce, vegetazione e suolo.
- Il vapore acqueo, spinto verso l'alto da correnti ascensionali, si raffredda e giunge a condensazione, formando la nube, costituita da piccole particelle d'acqua e/o cristalli di ghiaccio di dimensioni tali da rimanere sospesi a seguito della turbolenza atmosferica.
- Le gocce più grandi inglobano quelle più piccole (coalescenza), aumentando di dimensioni al punto di vincere le spinte delle correnti ascensionali e precipitare al suolo sotto forma di pioggia.
- Continuo apporto di vapore acqueo laddove si è innescato il processo al fine di mantenere la precipitazione.

Dunque il sollevamento di masse d'aria umida è alla base dello sviluppo della precipitazione. Tale processo di risalita può verificarsi in diversi modi:

- convergenza (Figura 3.1a), ovvero scontro tra masse d'aria di diverse caratteristiche che creano un fronte. Si parla di fronte caldo se la massa d'aria calda scorre sopra una fredda provocando piogge estese, prolungate e modeste. Si ha un fronte freddo se la massa d'aria fredda si incunea sotto la calda provocando piogge meno estese e più intense. Infine la tipologia prefrontale si origina nel settore caldo di un sistema depressionario ben

sviluppato dopo il transito del fronte caldo e prima dell'arrivo del fronte freddo, ciò provoca piogge più violente delle due precedenti tipologie.

- Sollevamento orografico (Figura 3.1b), cioè presenza di ostacoli fisici (catene montuose) che inducono la risalita d'aria in quota, con maggiore piovosità sul versante esposto alle correnti umide.
- Convezione (Figura 3.2a), che si ha quando l'aria, nei livelli più bassi dell'atmosfera, viene riscaldata dal calore irradiato dal suolo ed inizia un moto ascendente, provocano piogge di elevata intensità e breve durata su aree ristrette.
- Avvezione (Figura 3.2b). In tal caso le correnti ascensionali sono provocate dallo scorrimento di aria fredda su superfici calde: un caso tipico è l'arrivo di correnti fresche sulla superficie calda del mare.

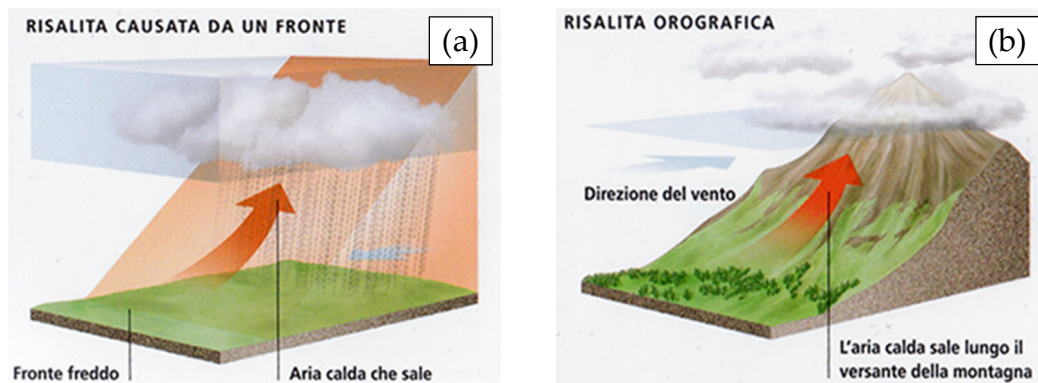


Figura 3.1 a) Risalita per convergenza. b) Risalita orografica

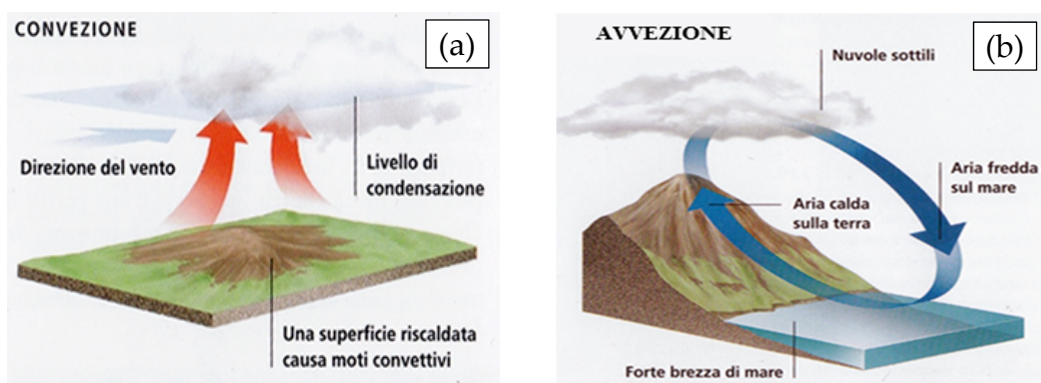


Figura 3.2 a) Risalita per convezione. b) Risalita per avvezione

(<https://sites.google.com/site/isegetidellaterra/l-atmosfera/il/10-nubi-e-precipitazioni/10-3-risalita-e-precipitazioni>)



In letteratura viene spesso riportata la distinzione tra precipitazione stratiforme e convettiva (Houze, 1997).

Le precipitazioni stratiformi sono di solito generate da nubi chiamate nembostrati (nubi basse e stratificate a medio sviluppo verticale), ricoprono aree estese e sono caratterizzate da intensità generalmente non elevate ma possono prolungarsi nel tempo.

Le precipitazioni convettive sono invece generate da nubi chiamate cumulonembi (nubi a forte sviluppo verticale con forti correnti ascensionali al loro interno), ricoprono aree ristrette e sono caratterizzate da elevate intensità e brevi durate.

Tuttavia, tutte le principali tipologie di precipitazioni osservate nel mondo possono essere combinazioni di queste due componenti piuttosto che semplicemente l'una o l'altra (Robert e Houze, 1981).

A seconda dei meccanismi che innescano il processo di sollevamento d'aria umida, possono esservi diversi sistemi di precipitazione, di seguito sintetizzate (Robert e Houze, 1981):

- cicloni extratropicali (o frontali) (Figura 3.3). Costituiscono la principale fonte di pioggia alle medie latitudini, sono caratterizzati da fronti che si estendono per migliaia di chilometri da un centro di bassa pressione formando dei flussi a spirale per effetto della rotazione terrestre.
- Sistemi convettivi alle medie latitudini (Figura 3.4). Sono generati da condizioni di instabilità atmosferica che creano moti verticali (wind shear), la loro struttura interna è formata da una o più "celle" costituenti l'unità convettiva base di tali sistemi.
- Sistemi tropicali. Si dividono in sistemi di origine prevalentemente convettiva (divisi in squall e non squall clusters) e cicloni tropicali (uragani – Figura 3.5).

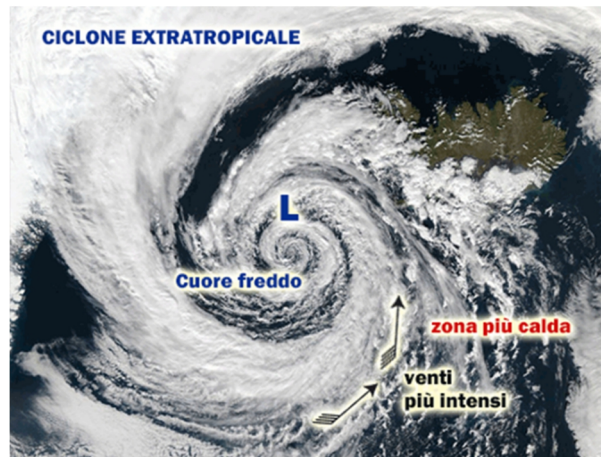


Figura 3.3 – Ciclone extratropicale (www.meteolanterna.net)

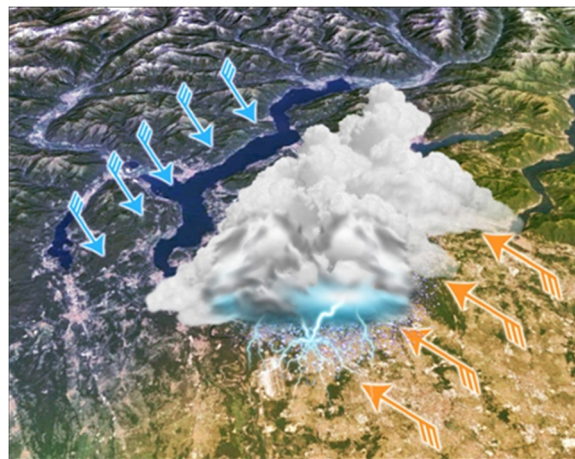


Figura 3.4 – Sistema a celle convettive (www.centrometeolombardo.com)

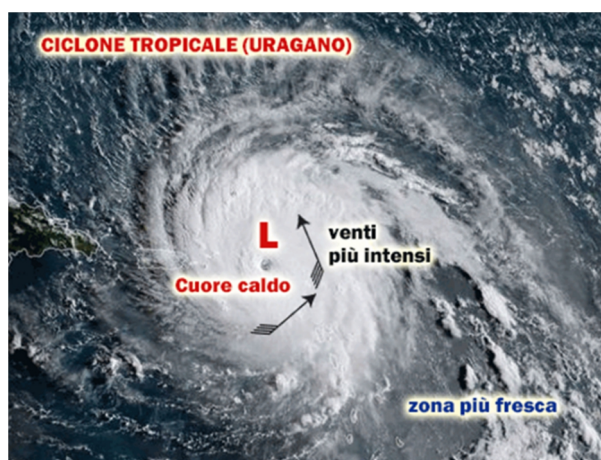


Figura 3.5 – Ciclone tropicale (www.meteolanterna.net)

### 3.2. Eventi meteorici estremi nel Mediterraneo

Le regioni Mediterranee sono caratterizzate da un'articolata morfologia, dovuta alla presenza di caratteristiche orografiche complesse, golfi, bacini, isole e penisole di varie dimensioni (Lionello et al. 2006, Figura 3.6).



Figura 3.6 – Caratteristiche geografiche del Mediterraneo (www.arpat.toscana.it)

Queste caratteristiche hanno importanti conseguenze sia sulla circolazione marina che su quella atmosferica, in quanto determinano una elevata variabilità spaziale e quindi la presenza di particolari peculiarità a piccole scale (Lionello et al., 2006).

In generale, il clima Mediterraneo è caratterizzato da inverni miti e piovosi, poiché in tale stagione si fronteggiano le masse d'aria calda sub-tropicale con quelle fredde e polari; al contrario l'estate è lunga e secca a causa dello spostamento verso nord degli anticicloni sub-tropicali.

Tuttavia, la principale influenza sul clima è rappresentata dalla chiusura del Mar Mediterraneo, che fornisce una fonte di energia e umidità per la formazione dei cicloni (Lionello et al., 2006).

Nel seguito vengono approfondite le diverse strutture meteorologiche che possono verificarsi nell'area Mediterranea generando forti piogge.

#### 3.2.1 Cicloni frontali

Presentano una struttura frontale ben definita, dove si individua un centro di bassa pressione, un fronte caldo, un fronte freddo ed un fronte occluso (dato dall'incontro tra fronte caldo e freddo).

All'interno dei fronti vi sono regioni di intensità di pioggia più elevata (*rainbands*), in particolare esistono sei tipologie di *rainbands* (Robert e Houze, 1981) che vengono sintetizzate in quattro da Bacchi e Conati (1996):

1. *warm frontal bands (bande da fronte caldo)*: sono bande parallele ai fronti caldi, situate all'interno della porzione principale del sistema frontale, hanno una larghezza di circa 50 km ed una lunghezza di centinaia di km, ad esse si associano piogge stratiformi, dunque poco intense (1-10 mm/ora) e di durata dell'ordine dell'ora.
2. *Narrow cold frontal bands (bande strette da fronte freddo)*: sono bande a cavallo dei fronti freddi, larghe pochi chilometri (~5 km), caratterizzate da veloci correnti ascensionali che generano piogge molto intense (10-50 mm/ora) e durata limitata.
3. *Wide cold frontal bands (bande larghe da fronte freddo)*: sono bande parallele ai fronti freddi, si trovano in posizione arretrata rispetto alle bande a cavallo del fronte, hanno una larghezza di qualche decina di km, ad esse si associano piogge poco intense (1-10 mm/ora) e di durata dell'ordine dell'ora.
4. *Post-frontal bands (bande post-frontali da fronte freddo)*: si tratta di linee di nubi convettive che si formano in presenza di aria instabile, sono parallele ma distanti dal fronte freddo.

Tali bande sono ben visibili nella Figura 3.7, tratta da Houze e Hobbs (1982), ridisegnata e semplificata da Bacchi e Conati (1996), nella quale si osserva come vi siano presenti nubi e ammassi nuvolosi di diversa natura, quindi strutture di precipitazione sia stratiformi che convettive; in generale all'interno delle bande sono distinguibili celle o aggregati di celle caratterizzate da maggior intensità di precipitazione (Waymire et al., 1984).

In Tabella 3.1 sono state riportate le principali caratteristiche dei diversi pattern di pioggia presenti nei cicloni extratropicali (Waymire et al., 1984).

I campi di precipitazione associati agli eventi frontali interessano aree estese dell'ordine di  $10^3 \div 10^4$  km<sup>2</sup> (Waymire et al., 1984) con durate da diverse ore (di solito > 12 ore) fino a più giorni. A tali eventi vengono associate intensità massime che di solito vanno dai 40 mm/g ai 140 mm/g (Rossi et al., 2016).

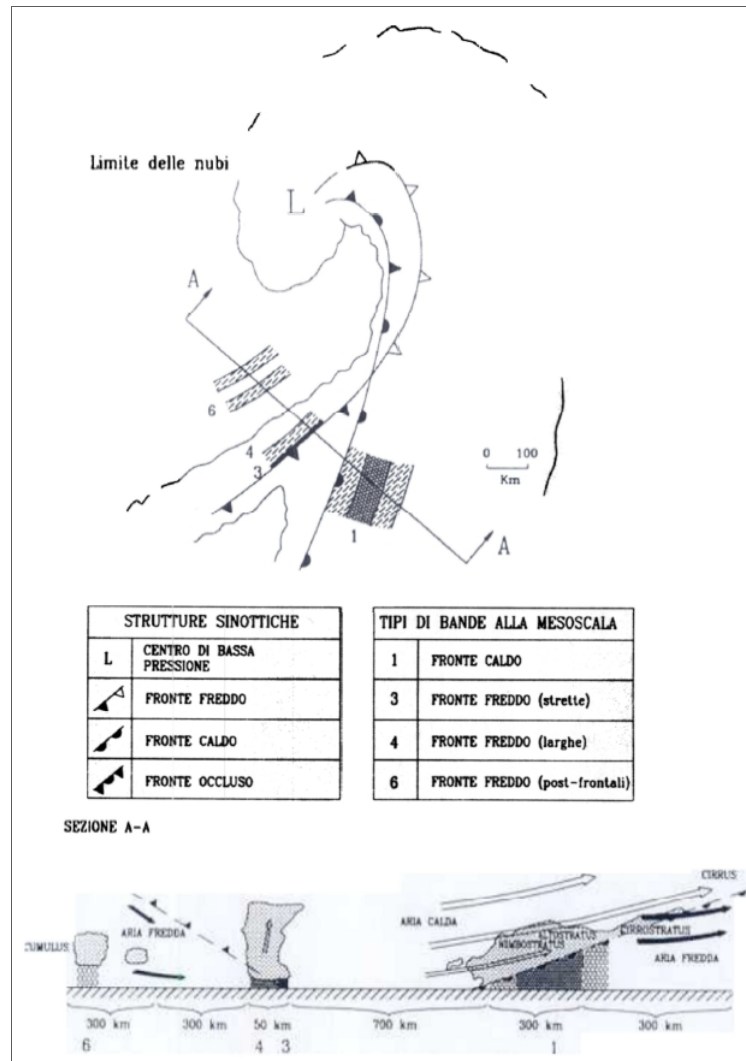


Figura 3.7 – Strutture tipiche dei campi di pioggia nei cicloni frontali (immagine di Houze e Hobbs, 1982, ridisegnata da Bacchi e Conati, 1996)

Storm Structure Characteristics	Extratropical Cyclone Systems (Synoptic)	Frontal Precipitation Areas or Rainbands	Cluster Potential (SMSA)	Rain Cells
Horizontal spatial scale, km <sup>2</sup>	> 10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	10-10 <sup>3</sup>	10-50
Duration scale, hours	> 12	1.5-4	0.5-4	0.7
Air motions	stratiform	stratiform	convective	convective
Shape	concave	concave	irregular	convex
Precipitation intensity, mm/h	0.5	4	8	10-100
Motion	from east in northern hemispheres	with fronts	same as cells	with wind at midcell level

Tabella 3.1 – Sintesi delle strutture di pioggia osservate nei cicloni frontali (Waymire et al., 1984)

### 3.2.2 Sistemi convettivi alle medie latitudini

Durante il periodo estivo, le precipitazioni alle medie latitudini sono dominate da eventi convettivi, in contrasto con i cicloni frontali a grande scala descritti nel paragrafo precedente (Houze e Hobbs, 1982). Possono genericamente definirsi “temporali” ed essere strutturalmente costituiti da una sola cella o da più celle.

La forma più semplice di un temporale si ha quando una singola cella segue il proprio ciclo di vita ma non si sviluppa nessuna cella adiacente o successiva per formare un complesso temporalesco più grande.

La cella ha un ciclo di vita che può dividersi in 3 stadi (Figura 3.8):

- sviluppo (o cumulo), cioè la fase in cui avviene la formazione del cumulo, dovuta a correnti ascendenti nell’atmosfera instabile, iniziano a formarsi le particelle di pioggia ma senza arrivare al suolo poiché sorrette dalle forti correnti ascensionali.
- Maturità, si ha quando le goccioline d’acqua si ingrandiscono al punto da vincere le correnti ascendenti dando luogo a correnti discendenti, vi è dunque una coesistenza tra queste due tipologie di correnti.
- Dissipazione, in tal caso si ha la cessazione delle correnti ascendenti mentre le correnti discendenti si indeboliscono fino a che la nube non si dissolve.

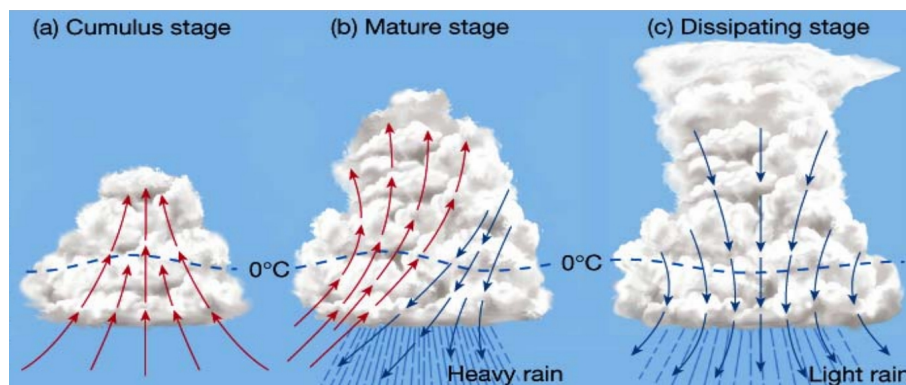


Figura 3.8 – Ciclo di vita della cella temporalesca

([https://www.enav.it/enavWebPortalStatic/meteo/Corsi\\_di\\_base/Meteorologia-ACC-partellIII\\_new.pdf](https://www.enav.it/enavWebPortalStatic/meteo/Corsi_di_base/Meteorologia-ACC-partellIII_new.pdf))

Si tratta dunque di un cumulonembo isolato, la cui insorgenza è difficile da prevedere. Producono piogge intense ma di durata sub-oraria.

I temporali a multi cella sono invece caratterizzati da più celle che si muovono in modo sistematico e organizzato, ogni cella si evolve attraverso le fasi di sviluppo, maturità e dissipazione (Figura 3.9 – Browning et al., 1976) come appena descritto.

La formazione di nuove celle avviene laddove le correnti discendenti fredde di una cella in dissipazione, distribuendosi ai livelli più bassi, aiutano la risalita dell'aria, così da far nascere nuove celle in prossimità delle vecchie, in maniera tale che il temporale possa mantenere le sue caratteristiche (Houze e Hobbs, 1982).

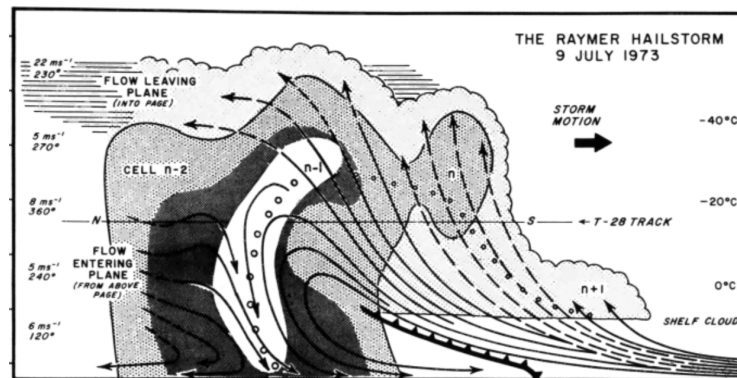


Figura 3.9 – Modello schematico di un temporale a multicella (Browning et al., 1976)

Tra le varie tipologie di temporali a multi cella si distinguono: a grappolo, a linee di groppo (squall line), sistemi convettivi alla mesoscala (MCS) e sistemi convettivi complessi (MCC), e queste ultime sono abbastanza rare in Europa.

### 3.2.3 Uragani mediterranei

Negli ultimi decenni sono stati studiati sull'area mediterranea dei fenomeni con caratteristiche comuni ai cicloni tropicali. Tali tipologie d'evento vengono indicate, nella letteratura scientifica, con il nome di "TLC" (Tropical Like Cyclones) o più recentemente "*medicanes*" (*Mediterranean Hurricanes*), poiché si tratta di cicloni a cuore caldo che si sviluppano nel mar Mediterraneo.

Essi vengono generati da un disequilibrio termodinamico tra mare e atmosfera, quando si verificano sono particolarmente pericolosi per le isole e le regioni costiere (Tous M. e Romero R., 2011).

Diversi studi (Tous M. e Romero R., 2011-2012; Cavicchia L. e Von Storch H., 2011; Miglietta et al., 2013) hanno messo in luce quelle che sono le caratteristiche comuni a vari TLC esaminati attraverso l'analisi di specifici casi con l'ausilio di dati radar, satellitari o analisi numerica:

- occhio ben definito e ben visibile per buona parte del ciclo di vita;
- sistema nuvoloso assial-simmetrico attorno all'occhio;
- struttura delle precipitazioni a bande, con piogge molto intense ed abbondanti;

- raggio compreso fra i 50 e i 200 km;
- distanze percorse fra i 700 e i 3000 km;
- forti venti fino a 180 km/h;
- durata minima pari a 6 ore, tali sistemi possono persistere fino anche a 5 giorni;
- la maggior parte si verificano nella tarda estate ed in autunno;
- le aree dove la genesi è più frequente sono il mar Ionio e il mare delle Baleari;
- temperatura superficiale del mare (SST) superiore a 15°C (invece i cicloni tropicali necessitano di una SST superiore a 26,5°C per potersi formare).

Nel seguito viene illustrata un'immagine dal satellite Meteosat dove è visibile un *medicane* verificatosi il 14/12/1982 (<http://meteorologia.uib.eu/medicanes/>).

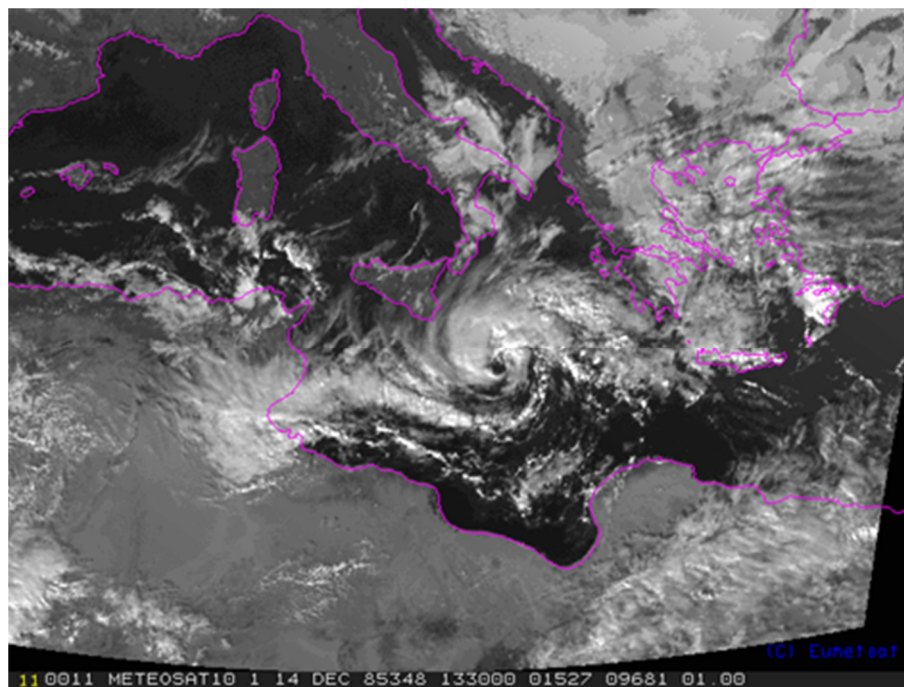


Figura 3.10 – *Medicane* del 14.12.1982 da satellite Meteosat

Tali fenomeni furono scoperti negli anni 80, attraverso studi basati quasi interamente su dati sparsi e in numero ridotto, relativi alla superficie marina e all'aria, mappe meteorologiche e immagini satellitari; proprio la mancanza di dati osservati è stata la ragione principale per cui questi cicloni a cuore caldo non venivano rilevati nel Mediterraneo (Reale e Atlas, 2001).



Sono tutt'ora dibattuti i meccanismi di genesi ed intensificazione dei TLC. Tuttavia studi maggiormente approfonditi per quel che concerne l'origine dei suddetti fenomeni sono stati eseguiti da Tous M. e Romero R. (2011), i quali hanno valutato che vi sono importanti parametri legati all'innescò dei *medicane*, ovvero: elevata umidità relativa nella media-troposfera, contributo diabatico significativo al livello superficiale equivalente alla temperatura potenziale, valori bassi della variazione di velocità del vento nella troposfera. Gli stessi ricercatori hanno inoltre testato alcuni indici di origine empirica, valutandoli come possibili precursori di un ambiente favorevole allo sviluppo dei TLC.

Davolio et al. (2009) hanno implementato un sistema relativo alla possibilità di previsione di tali fenomeni.

Allo stato attuale, le particolari caratteristiche dei *medicane* rendono molto complessa la loro identificazione, possibile solo attraverso l'analisi di dati meteorologici ad elevata risoluzione e fitte osservazioni marine (Tous M. e Romero R., 2011).

I campi di precipitazione associati a tali eventi interessano aree dell'ordine di  $10^2 \div 10^3$  km<sup>2</sup> (De Luca C. et al., 2012). A tali eventi vengono associate intensità massime che di solito vanno dai 50 mm/g ai 500 mm/g (Rossi et al., 2016).

### 3.3. Criteri per raggruppare gli eventi

Come riportato nei paragrafi precedenti, le principali strutture meteorologiche che interessano l'area Mediterranea sono essenzialmente due, ovvero i cicloni frontali, costituenti la struttura dominante, e le celle temporalesche isolate (intese come singole celle o piccoli aggregati di celle) a cui se ne aggiunge una terza, molto più rara, nota come *medicane* (De Luca C. et al., 2010).

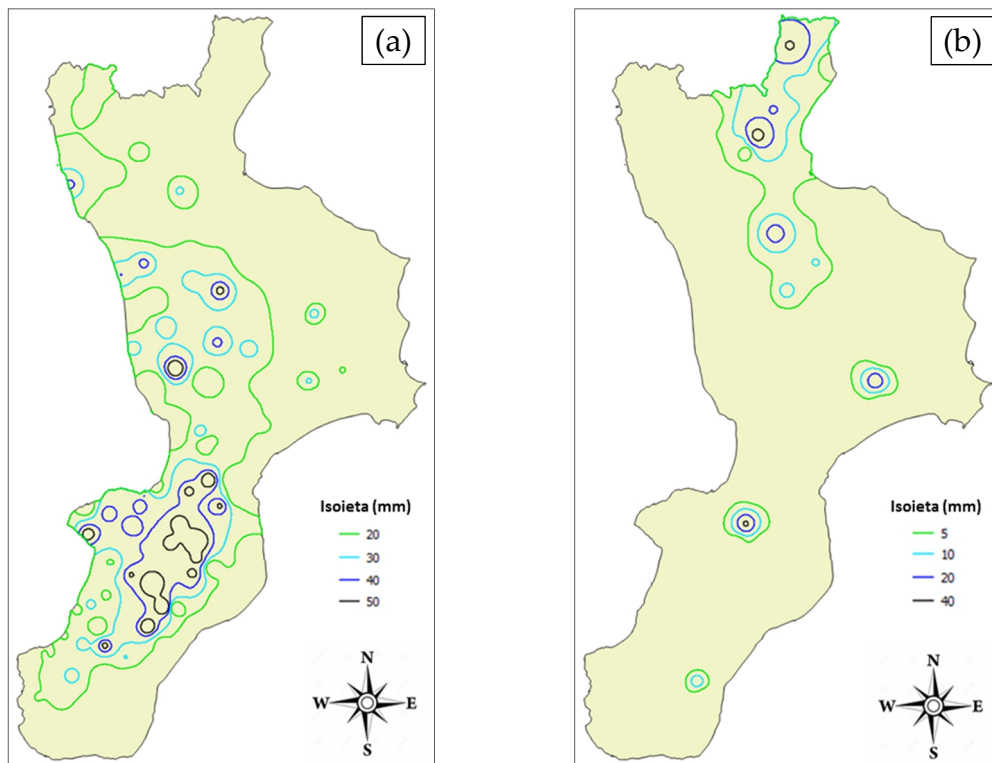
Quindi si è deciso, innanzitutto, di distinguere le prime due tipologie d'evento. A tal fine, sono state prese in considerazione le configurazioni spaziali dei campi di precipitazione; in particolare gli eventi frontali presentano mappe di pioggia che interessano aree abbastanza estese con ridotta variabilità spaziale, invece le celle temporalesche isolate presentano mappe di pioggia che interessano aree ridotte con estrema variabilità spaziale (De Luca C., 2012). In tal contesto si veda il confronto in Figura 3.11a e 3.11b, con annesse tabelle.

Tuttavia, a causa dell'eterogeneità del cluster ciclonico, è stata necessaria una ulteriore suddivisione di quest'ultimo, andando a considerare altre caratteristiche quali, la massima intensità media degli eventi  $I_{MAX}$  (calcolata come massima cumulata sulla durata), la durata  $d$  e nuovamente i campi di pioggia. In particolare,

rifacendosi alle caratteristiche dei sistemi frontali sovra citate (paragrafo 3.2.1), è stata effettuata la seguente suddivisione:

- **Cicloni ordinari**, aventi le caratteristiche tipiche dei sistemi frontali descritti nel paragrafo 3.2.1, ovvero intensità inferiori ai 140 mm/g, durate > 12 ore, campi di precipitazione estesi.
- **Cicloni straordinari**, aventi caratteristiche difformi dai sistemi frontali, ovvero intensità superiori ai 140 mm/g e/o durate < 12 ore e/o campi di precipitazione intermedi.

La scelta di quest'ultima terminologia è dovuta alla netta preponderanza della massima intensità media (più elevata rispetto ai cicloni ordinari) rispetto alle caratteristiche di durata e campi di pioggia.



3.11 Esempi campi di pioggia a) Ciclone ordinario. b) Celle temporalesche isolate

<b>Evento n°314 (22-24/05/2012)</b>	
Durata (h)	43,6
Cumulata Massima (mm)	88,0
Intensità Massima (mm/g)	48,4

Tabella 3.2 – Dati ciclone ordinario

<b>Evento n°440 (15/08/2015)</b>	
Durata (h)	6,0
Cumulata Massima (mm)	53,0
Intensità Massima (mm/g)	212,0

Tabella 3.3 – Dati evento a celle

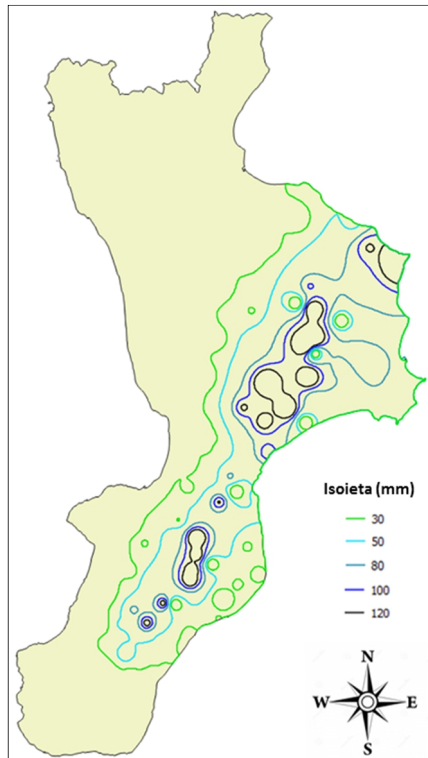


Figura 3.12 – Esempio campo di pioggia ciclone straordinario

<b>Evento n°373 (18-19/11/2013)</b>	
Durata (h)	12,3
Cumulata Massima (mm)	215,2
Intensità Massima (mm/g)	418,8

Tabella 3.4 – Dati evento ciclone straordinario

Per quel che concerne i *medicanes*, vista la particolarità del fenomeno, considerato che la genesi avviene in determinate condizioni fisiche tutt'ora dibattute e che la loro struttura è ben identificabile solo attraverso l'analisi di dati meteorologici ad elevata risoluzione e fitte osservazioni marine (Tous M. e Romero R., 2011), si è dedotta l'impossibilità di individuare un evento di questo tipo dalle sole osservazioni pluviometriche. Si è pertanto fatto ricorso ad una ricerca per comprendere quanti TLC abbiano effettivamente interessato il territorio calabrese relativamente al periodo d'indagine che va dal 2002 al 2015.

In particolare, le fonti utilizzate sono state abbastanza molteplici: oltre a varie pubblicazioni scientifiche sul tema, sono stati consultati il sito del gruppo di meteorologia del Dipartimento di Fisica dell'Università delle Isole Baleari [http://meteorologia.uib.eu/medicanes/medicanes\\_list.html](http://meteorologia.uib.eu/medicanes/medicanes_list.html) (con una lista ferma al 2008), il sito <http://medicanes.altervista.org/> e vari siti di approfondimento meteo.

Il risultato di tale ricerca ha portato all'individuazione di 3 *medicanes* che nel periodo temporale di riferimento hanno coinciso con 3 eventi ricavati nel presente studio, e nel seguito ne vengono illustrate le caratteristiche:

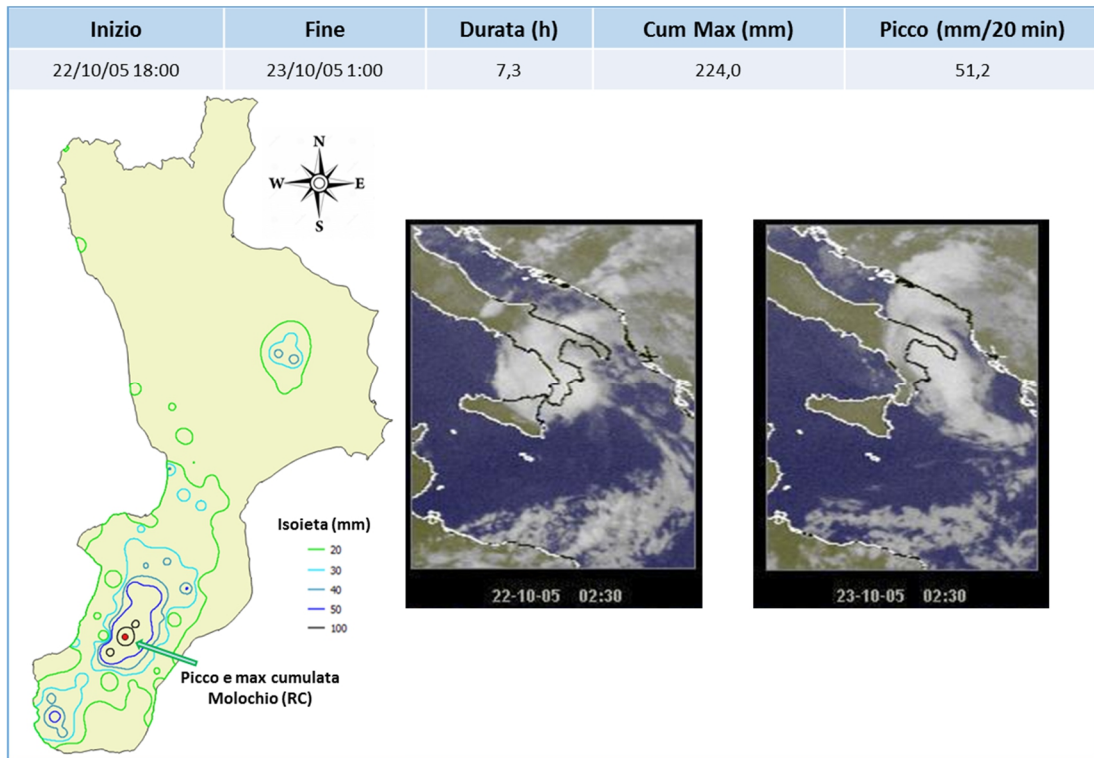


Figura 3.13 – Caratteristiche evento n°137 (*medicane*)

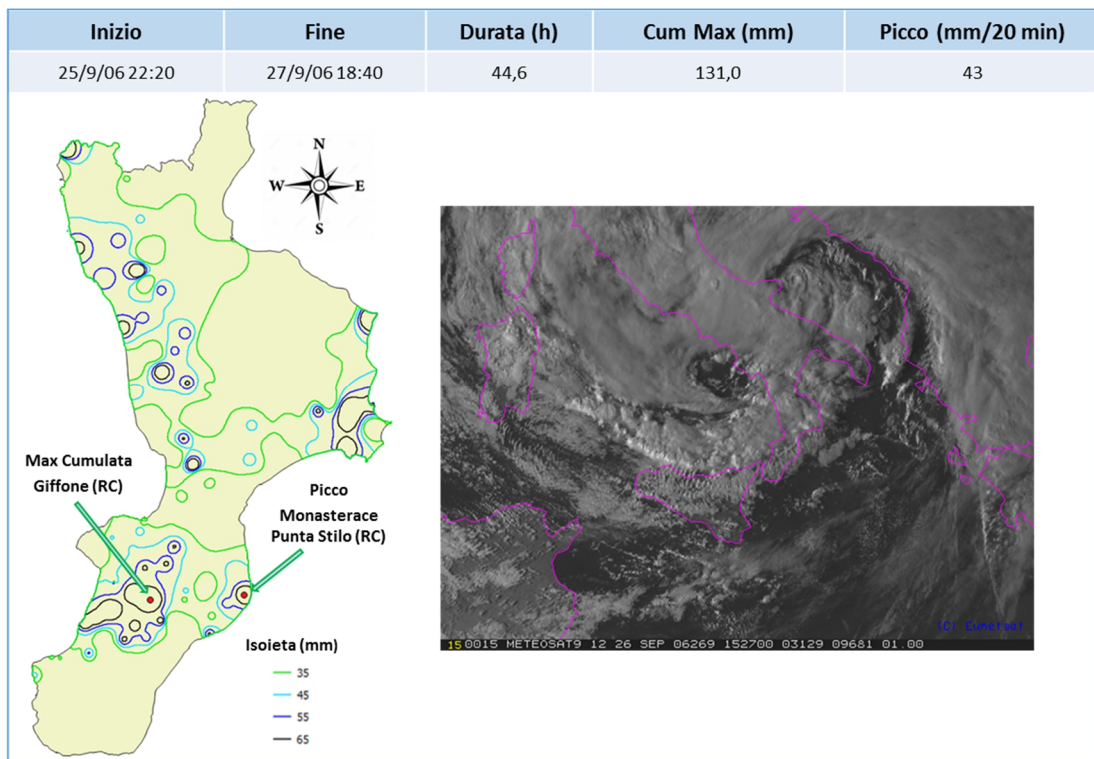


Figura 3.14 – Caratteristiche evento n°167 (*medicane*)

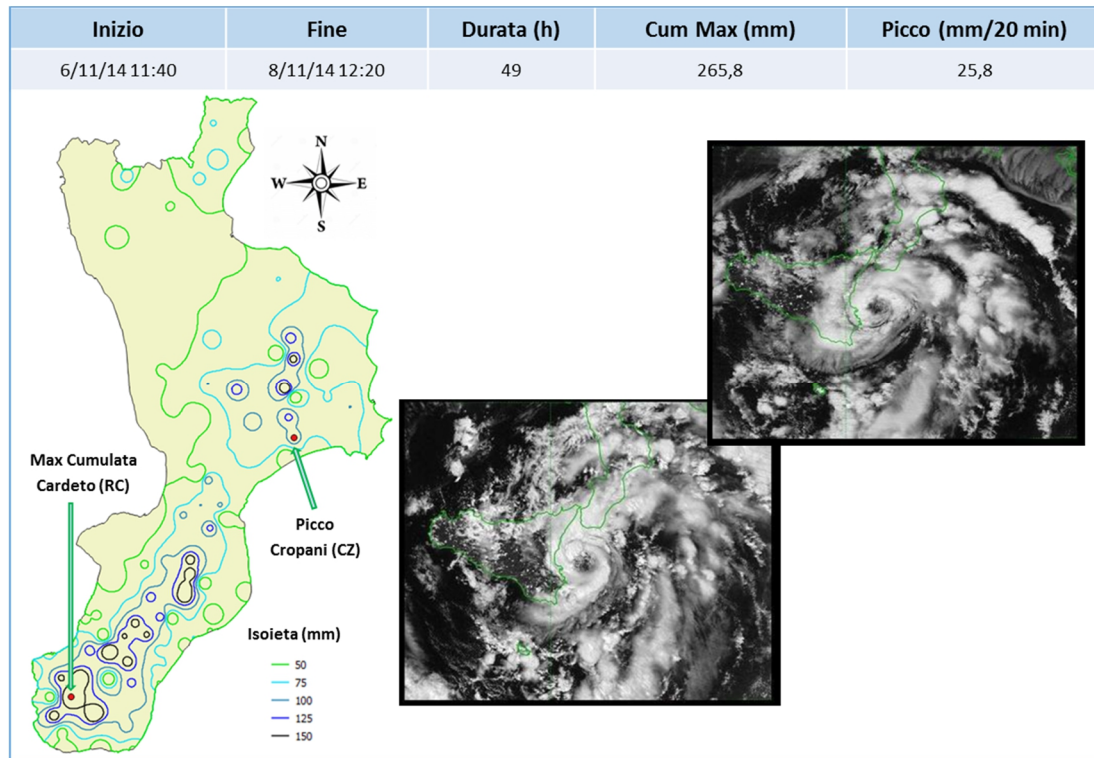


Figura 3.15 – Caratteristiche evento n°409 (*medicane*)

I *medicanes* analizzati si sono verificati nella stagione autunnale ed hanno prodotto cumulate puntuali importanti (>100 mm) e massime intensità sui 20 minuti nell'area interna reggina (zone aspromontane e pre-aspromontane) e/o in prossimità della costa ionica. Oltre a ciò è stato rispettato il criterio della durata minima di tali fenomeni pari a 6 ore (vedi paragrafo 3.2.3).

Si è quindi voluto comprendere se, questa tipologia di eventi, costituisca o meno un cluster a parte. A tal scopo, sono state messe a confronto le frequenze cumulate campionarie relative ai valori di pioggia cumulata massima e di pioggia cumulata media, comparando i *medicanes* con i cicloni straordinari (Figure 3.16 e 3.17).

Dalle suddette figure si è osservato che i *medicanes*, hanno occupato in ambo i casi la parte medio-alta della coda della distribuzione, cioè si sono classificati tra gli eventi con le più elevate probabilità di non superamento in termini di pioggia caduta. Tuttavia, tali caratteristiche non sono risultate difformi da diversi eventi appartenenti ai cicloni straordinari. Pertanto, i *medicanes*, sono stati inseriti in quest'ultimo raggruppamento.

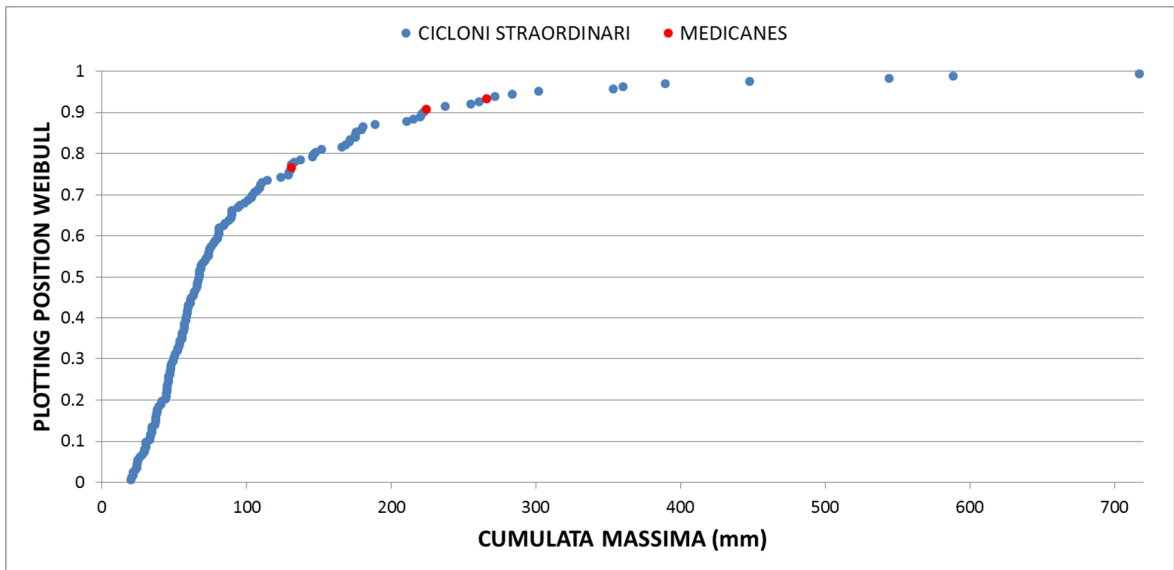


Figura 3.16 – C.D.F. dei cicloni straordinari e dei *medicanes* in termini di cumulate massime

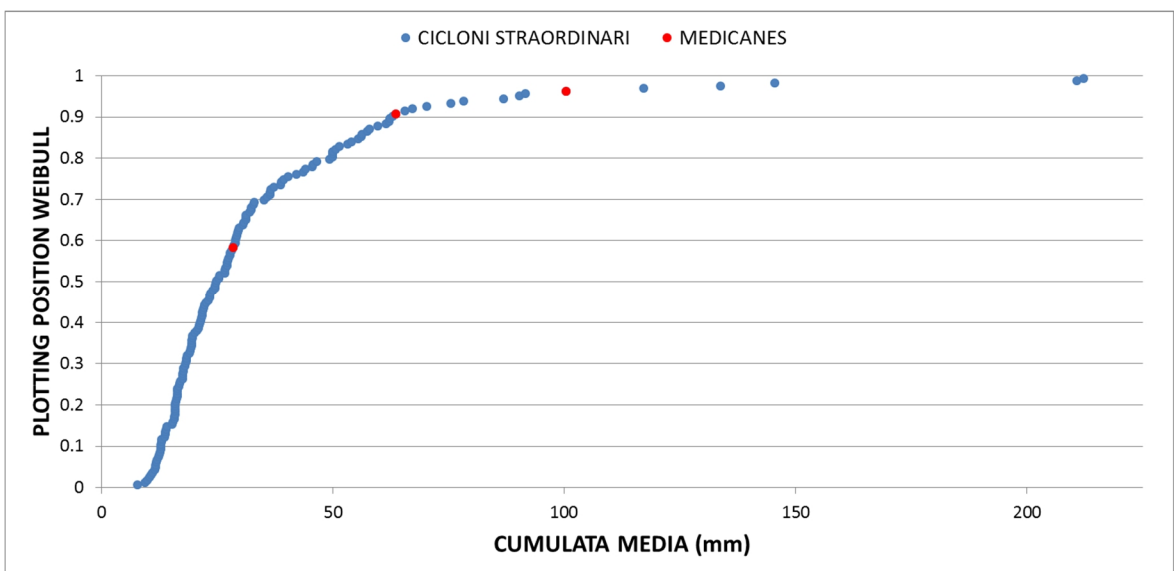


Figura 3.17 – C.D.F. dei cicloni straordinari e dei *medicanes* in termini di cumulate medie

### 3.4. Caratteristiche dei cluster

Un primo obiettivo è stato quello di comprendere l'effetto al suolo che ogni pattern meteorologico selezionato ha sul dominio territoriale in esame. Pertanto, andando a considerare le sole stazioni con un periodo di funzionamento superiore a 7 anni (cioè superiore al 50% del periodo di indagine pari a 14 anni), è stata calcolata la pioggia totale registrata in occasione degli eventi selezionati. In particolare per ogni pluviometro è stata sommata la pioggia relativa agli intervalli temporali in cui si

sono verificati gli eventi. Il valore totale è ovviamente dato dalle somme dei valori ricavati nelle singole stazioni pluviometriche. Allo stesso modo sono state valutate le piogge totali prodotte dai diversi cluster e rapportate alla pioggia totale degli eventi (Figura 3.18):

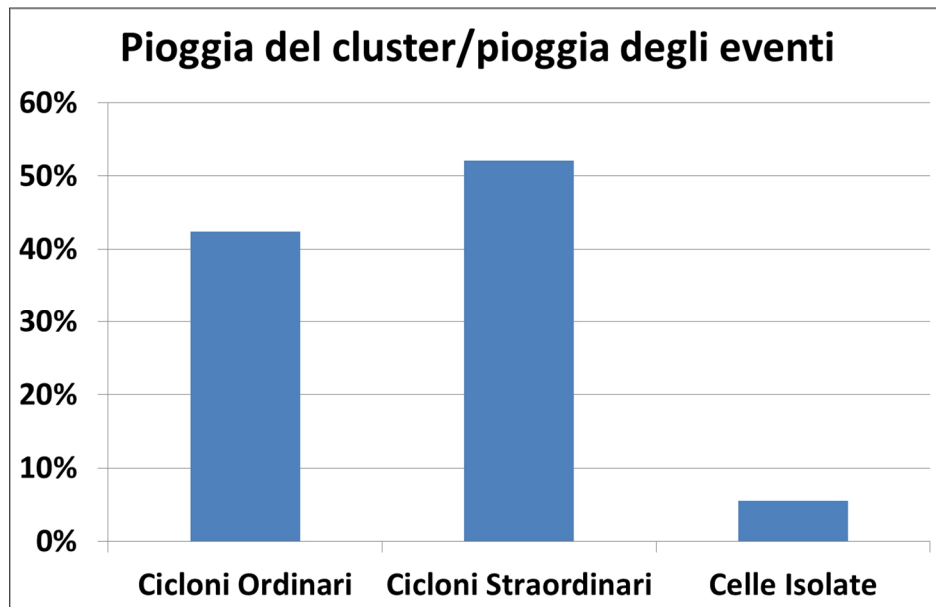


Figura 3.18 – Confronto tra la quantità di pioggia prodotte dai tre cluster

Dalla figura si evince che i cicloni ordinari sono responsabili del 42% della pioggia, i cicloni straordinari del 52% e le celle temporalesche isolate del 6%, il tutto relativamente agli eventi ottenuti nel presente studio.

Ciò che viene ricavato in termini di quantità di pioggia (Figura 3.18) è in accordo con quanto espresso da Robert e Houze (1981), cioè che i cicloni extratropicali rappresentano la principale fonte di pioggia alle medie latitudini, così come il prevalente numero di eventi a carattere ciclonico rispetto alle celle isolate concorda con De Luca C. et al. (2010), secondo cui, i cicloni frontali costituiscono la struttura meteorologia dominante nell'area Mediterranea.

Come anzidetto, i rapporti tra la pioggia prodotta dai cluster e la pioggia totale degli eventi (Pio/PioEve), prima di essere calcolati globalmente, sono stati valutati stazione per stazione e mappati per ogni tipologia d'evento (Figure 3.19, 3.20, 3.21). I cicloni ordinari, che si sono verificati all'interno degli eventi selezionati, hanno prodotto quantità maggiori di pioggia lungo tutta la fascia tirrenica (Figura 3.19), in particolare nell'alto Tirreno cosentino fino alla pre-Sila tirrenica, Pollino, Ionio nord (valori fino al 65%). Le quantità più basse sono state trovate sulla fascia ionica

centro-meridionale, dalla costa fino alle aree montane, in particolare sulla pre-Sila ionica e l'Aspromonte (valori di poco superiori al 22%).

I cicloni straordinari, che si sono verificati all'interno degli eventi selezionati, hanno prodotto quantità maggiori di pioggia lungo la fascia ionica centro-meridionale (Figura 3.20), dalla costa fino alle aree montane, in particolare sulla pre-Sila ionica ed l'Aspromonte (valori fino al 70%). Le quantità più basse sono state trovate lungo tutta la fascia tirrenica fino alla pre-Sila tirrenica ed il Pollino (valori di poco superiori al 32%).

Le celle temporalesche isolate, che si sono verificate all'interno degli eventi selezionati, producono quantità maggiori di pioggia in zone di alta montagna (Figura 3.21) quali Pollino, Sila Grande, Sila Piccola e Serre (valori che non superano il 15%). I valori sono molto bassi altrove, dunque è chiaro come l'effetto orografico influisca molto su tali tipologie di fenomeni.

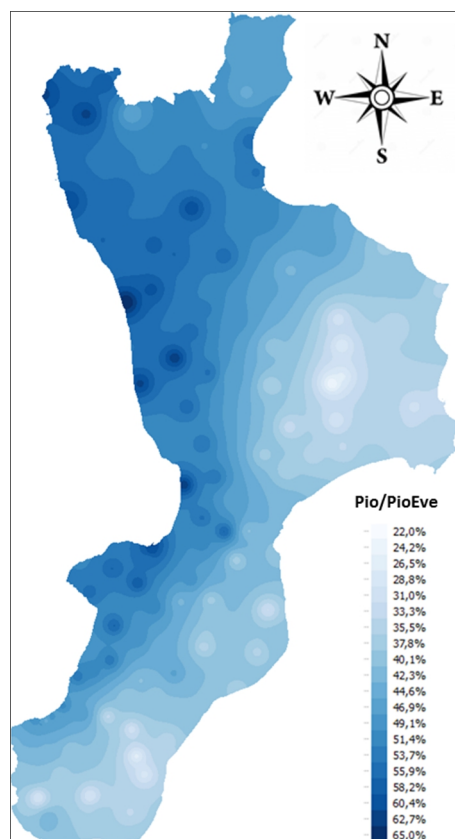


Figura 3.19 – Percentuale di pioggia prodotta da cicloni ordinari sul totale



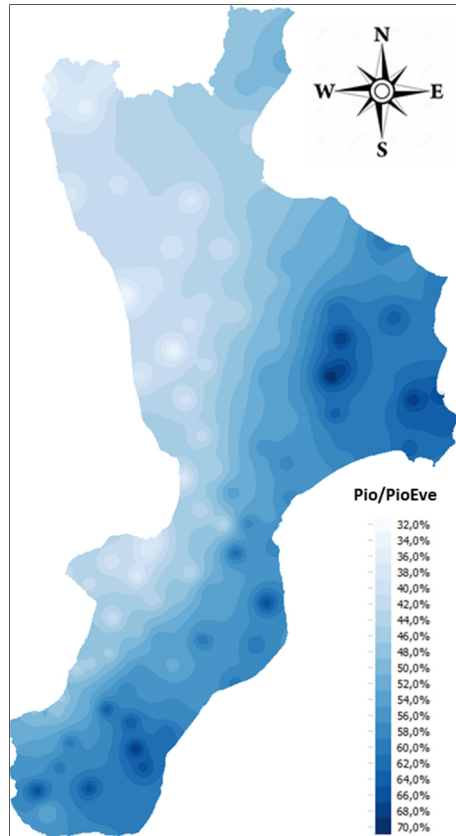


Figura 3.20 – Percentuale di pioggia prodotta da cicloni straordinari sul totale

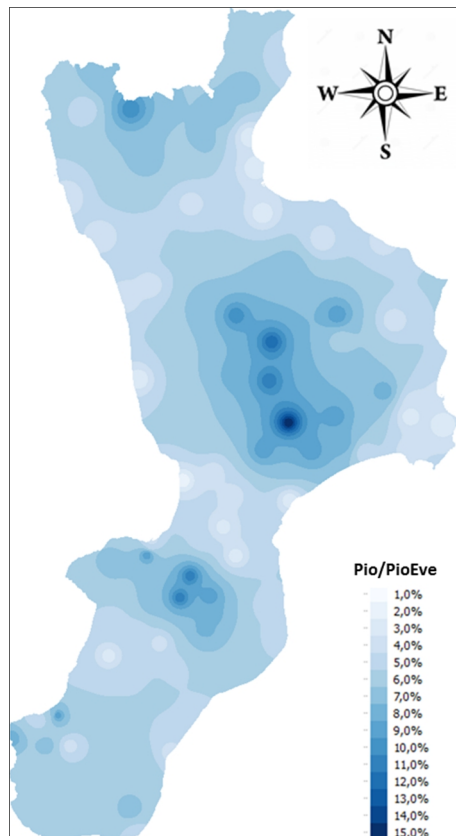


Figura 3.21 – Percentuale di pioggia prodotta da celle temporalesche isolate sul totale

Tra le tipologie di eventi ricavati e raggruppati come descritto nel paragrafo 3.3, quasi il 40% sono risultate essere celle temporalesche isolate, circa il 25% cicloni ordinari ed il 35% cicloni straordinari (Appendice B – Figura e Tabella B.1).

E' stata anche svolta un'analisi stagionale dei cluster, dalla quale è risultato che il 63% dei cicloni ordinari ed il 52% dei cicloni straordinari si sono verificati nella stagione autunnale, con elevata frequenza nei mesi di Settembre e Ottobre, invece nella stagione estiva si sono registrate poco più della metà delle celle temporalesche isolate, principalmente a Luglio ed Agosto (Appendice B – Figure e Tabelle B.2-B.7). Per ogni cluster è stata effettuata l'analisi dei massimi puntuali (sia nei 20 minuti che in termini di cumulate), finalizzata a comprenderne la caratterizzazione spaziale, calcolando il numero di volte in cui, in ogni stazione pluviometrica, si verifica un massimo per ogni evento (vedasi paragrafo 2.1).

Nei cicloni ordinari, i massimi a 20 minuti sono concentrati principalmente sul medio/basso ed alto Tirreno, mentre i massimi delle cumulate si localizzano sull'alto Tirreno e lungo la fascia montana dalle Serre all'Aspromonte (Figure 3.22a, 3.22b). Per quanto riguarda i cicloni straordinari, entrambi i massimi si distribuiscono maggiormente lungo la fascia ionica centrale e meridionale (Figure 3.23a, 3.23b). Relativamente alle celle temporalesche isolate, i massimi sono ubicati soprattutto su aree montane quali la Sila e le Serre (Figure 3.24a, 3.24b).

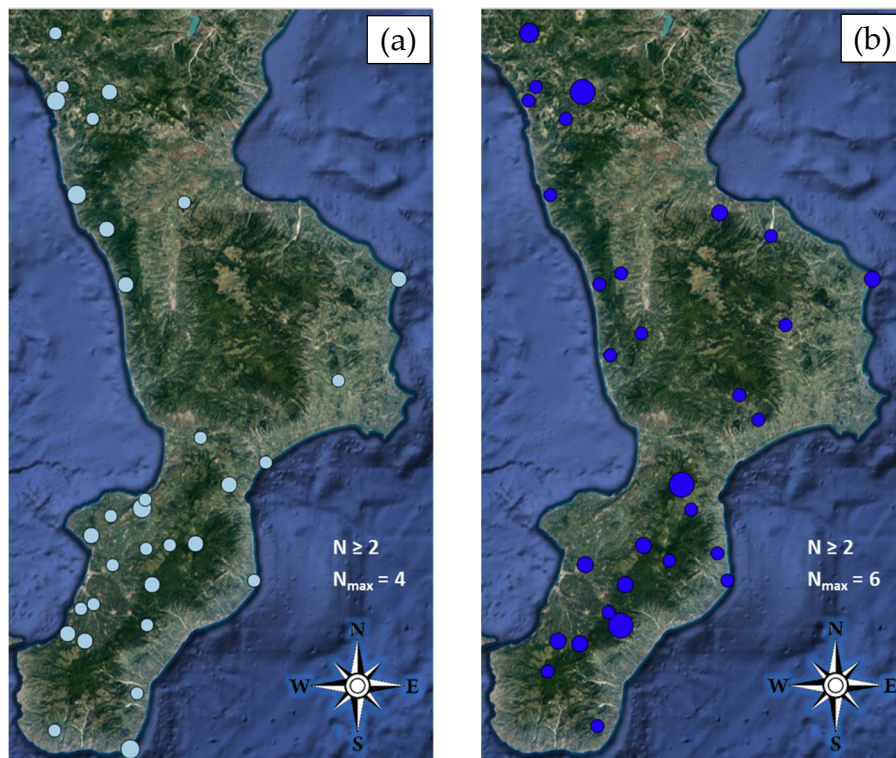


Figura 3.22 a) Massimi puntuali sui 20 minuti. b) Massimi puntuali cumulate. Cicloni ordinari

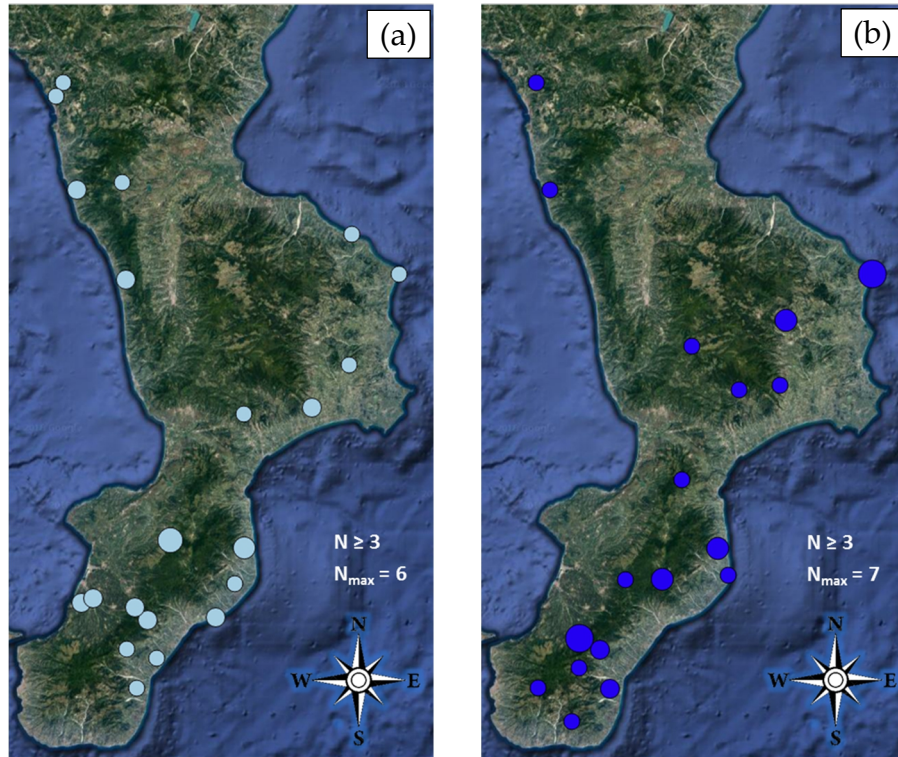


Figura 3.23 a) Massimi puntuali sui 20 minuti. b) Massimi puntuali cumulate. Ciclone straordinari

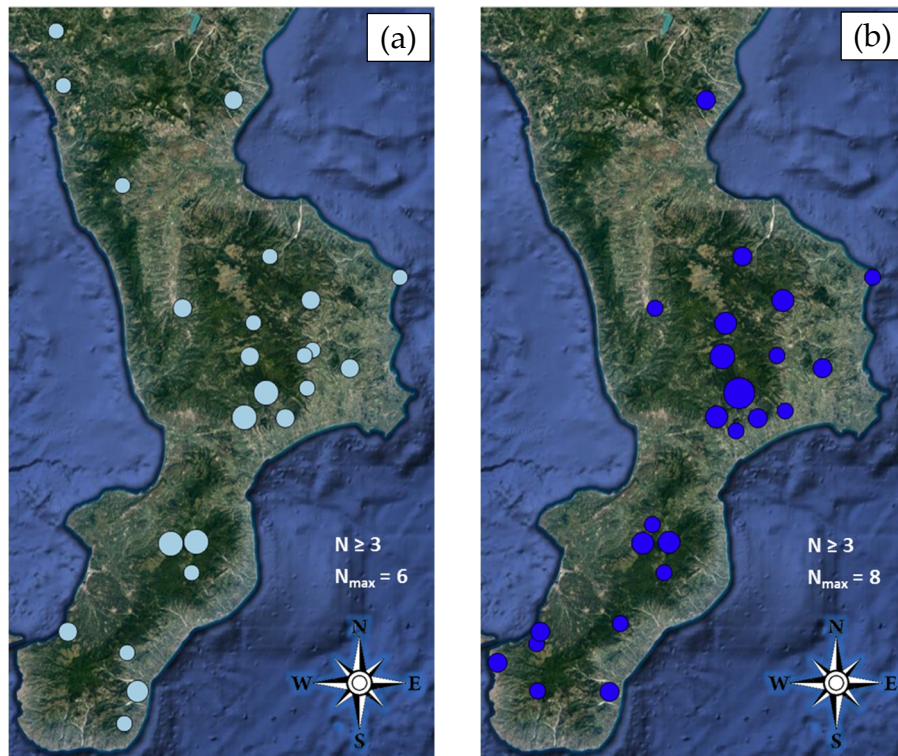


Figura 3.24 a) Massimi puntuali sui 20 min. b) Massimi puntuali cumulate. Celle isolate

Per quel che concerne i massimi areali per piogge cumulate, relativi ad aggregazioni spaziali pari a 1 km x 1 km, 5 km x 5 km, 10 km x 10 km, 20 km x 20 km, 50 km x 50 km, già estratti e diagrammati per tutti gli eventi (vedi paragrafo 2.2), sono stati mediati per ogni cluster così da comprendere l'abbattimento all'aumentare della risoluzione di tali massimi per ogni tipologia d'evento (Figura 3.25):

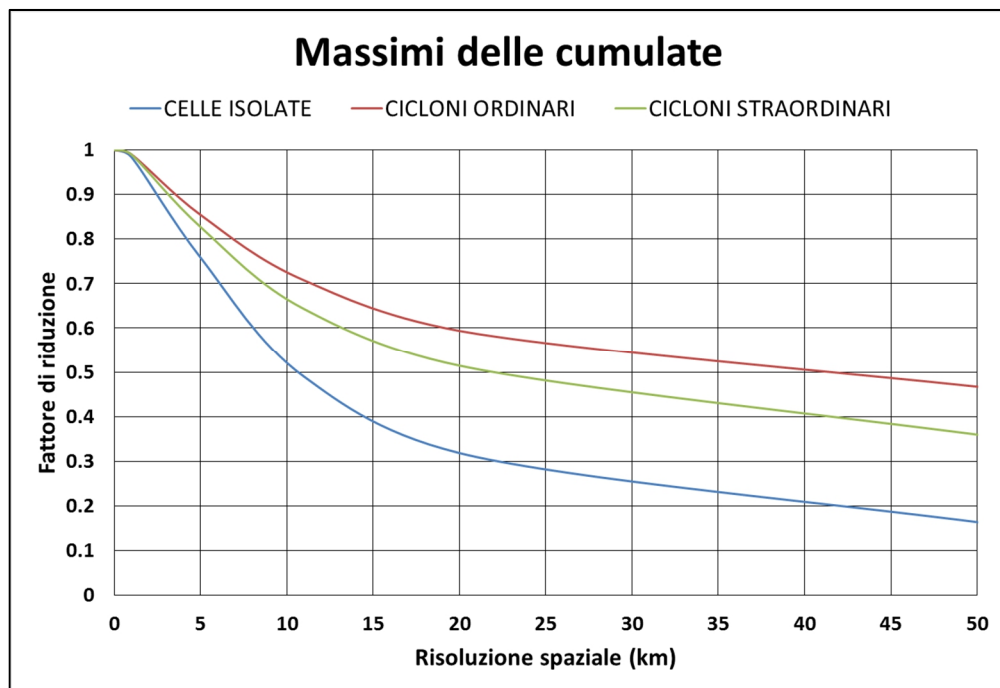


Figura 3.25 – Abbattimento con la distanza dei massimi delle cumulate per ogni cluster

Si osserva come i cicloni ordinari siano caratterizzati in media da un minor abbattimento dei massimi rispetto agli altri cluster, dovuto alla distribuzione spaziale abbastanza regolare di tali fenomeni.

Al contrario, le celle temporalesche isolate, essendo fenomeni fortemente concentrati spazialmente, presentano una forte decrescita dei massimi all'incrementare della risoluzione.

I cicloni straordinari si pongono in mezzo agli altri due cluster, anche se sono più prossimi ai cicloni ordinari che alle celle isolate, il che significa che mediamente i campi di pioggia che li caratterizzano sono meno regolari rispetto al cluster in rosso, e dunque si tratta di fenomeni che in determinate aree, se pur estese, presentano elevate intensità di pioggia rispetto ad altre zone.

Sono state anche valutate le medie delle durate e delle massime intensità degli eventi per cluster, che confermano l'attitudine delle celle isolate ad avere brevi durate ed elevate intensità rispetto alle altre due tipologie d'evento, mentre i cicloni

ordinari hanno registrato le durate più elevate a fronte di intensità inferiori e i cicloni straordinari si pongono a metà sia per durate che per intensità (Appendice B – Figure e Tabelle B.8-B.9).

### 3.4.1 Caratteristiche dei cluster per Zone di Allertamento

L'obiettivo è stato quello di confrontare le piogge totali prodotte dai diversi cluster rapportate alla pioggia totale degli eventi all'interno delle diverse Zone di Allertamento in cui è stato suddiviso il territorio calabrese.

In particolare sono stati valutati i valori medi  $\mu$  ed i coefficienti di variazione  $cv$  (pari al rapporto tra la deviazione standard e la media  $\sigma/\mu$ ) dei rapporti sopra descritti relativamente alle stazioni (con un periodo di funzionamento superiore al 50% del periodo di indagine) suddivise per ambito territoriale omogeneo (Tabella 3.5).

Zona Allertamento	CICLONI ORDINARI		CICLONI STRAORDINARI		CELLE ISOLATE	
	$\mu$	$cv$	$\mu$	$cv$	$\mu$	$cv$
<i>Cala 1</i>	56%	8%	39%	9%	5%	40%
<i>Cala 2</i>	54%	15%	40%	15%	6%	43%
<i>Cala 3</i>	54%	10%	41%	11%	5%	51%
<i>Cala 4</i>	44%	15%	51%	13%	5%	32%
<i>Cala 5</i>	48%	9%	47%	7%	5%	43%
<i>Cala 6</i>	32%	15%	62%	9%	6%	48%
<i>Cala 7</i>	36%	16%	58%	9%	6%	65%
<i>Cala 8</i>	35%	12%	59%	7%	6%	26%

Tabella 3.5 – Medie e coefficienti di variazione dei rapporti pioggia cluster su pioggia totale eventi ZDA

Nei cicloni ordinari, le aree tirreniche dall'estremo nord alla parte centro-meridionale (*Cala 1*, *Cala 2* e *Cala 3*) hanno registrato valori medi di pioggia caduta superiori al 50% della pioggia totale verificatosi negli eventi analizzati (con picchi puntuali fino al 65%), al contrario la fascia ionica centro-meridionale (*Cala 6*, *Cala 7* e *Cala 8*) ha valori che si sono attestati attorno al 30-35% (con minimi puntuali fino al 22%).

Nei cicloni straordinari, la fascia ionica centro-meridionale (*Cala 6*, *Cala 7* e *Cala 8*) ha registrato valori medi di pioggia caduta attorno al 55-60% della pioggia totale verificatosi negli eventi analizzati (con picchi puntuali fino al 70%), al contrario le aree tirreniche dall'estremo nord alla parte centro-meridionale (*Cala 1*, *Cala 2* e *Cala 3*) hanno valori che si sono attestati attorno al 40% (con minimi puntuali fino al 32%).

Per gli eventi ciclonici, la variabilità della pioggia caduta rispetto alla pioggia totale verificatosi negli eventi analizzati può considerarsi sostanzialmente bassa ed uniforme all'interno delle varie zone di allerta.

Nelle celle temporalesche isolate, data la breve durata dei fenomeni, le diverse aree di allertamento hanno presentato valori medi di pioggia caduta sostanzialmente uniformi che si attestano attorno al 5-6% della pioggia totale verificatosi negli eventi analizzati. Al contrario la variabilità della pioggia è risultata elevata ed ha presentato una certa eterogeneità all'interno dei vari ambiti territoriali, con le aree all'estremo sud aventi minori variazioni (*Cala 4 e Cala 8*), ciò è dovuto al fatto che tali fenomeni non si localizzano su una zona di allertamento in particolare ma in generale su aree montane.

Nell'Appendice B (Figure B.10-B.15) vengono inseriti i grafici relativi alle grandezze esposte nella Tabella 3.5, ove è possibile avere un confronto visivo tra le diverse Zone di Allertamento.

Sempre per i suddetti ambiti territoriali in esame, si è voluto confrontare il numero dei massimi puntuali (sia in  $\Delta t = 20$  minuti che in termini di cumulate) per diverse tipologie d'evento. Per questo motivo sono state create delle le mappe spaziali nelle quali, per ogni ZDA, è stato associato un colore ad ogni intervallo di frequenza dei massimi (Figure 3.27a, 3.27b, 3.28a, 3.28b, 3.29a, 3.29b).

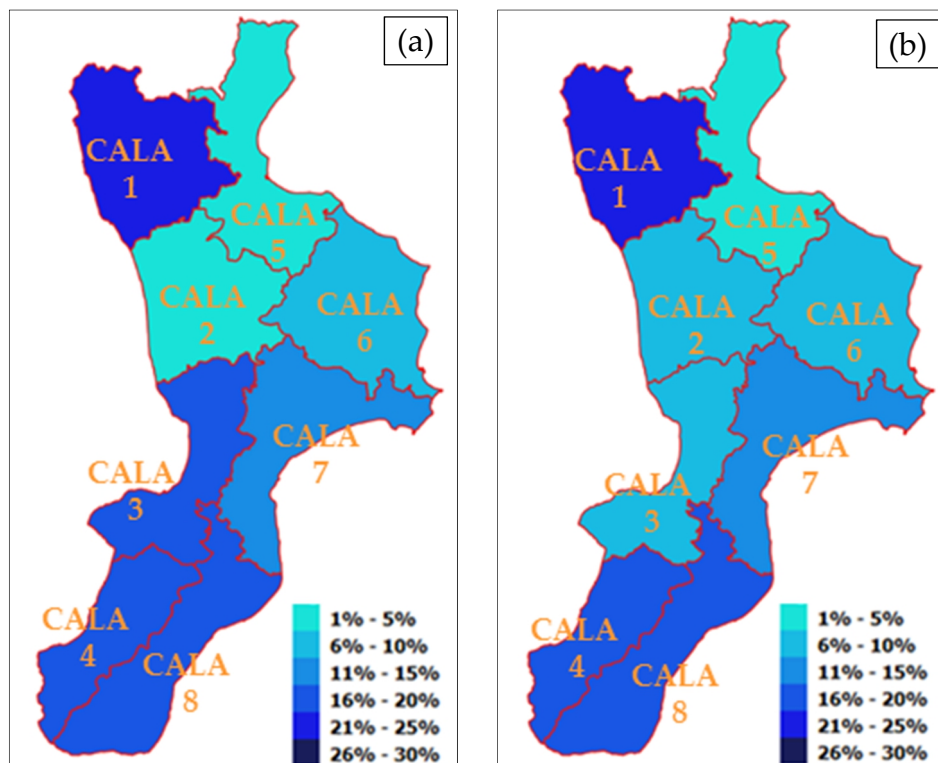


Figura 3.27 a) Max puntuali sui 20 min. b) Max puntuali cumulate – Cicloni ordinari – ZDA

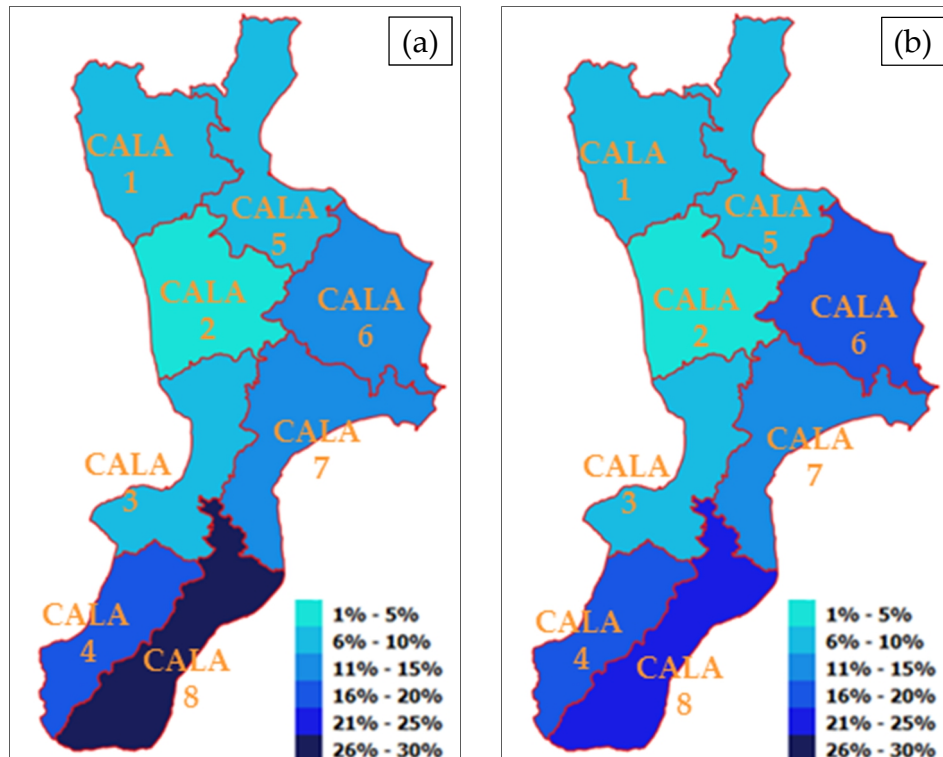


Figura 3.28 a) Max puntuali sui 20 min. b) Max puntuali cumulate – Cicloni straordinari – ZDA

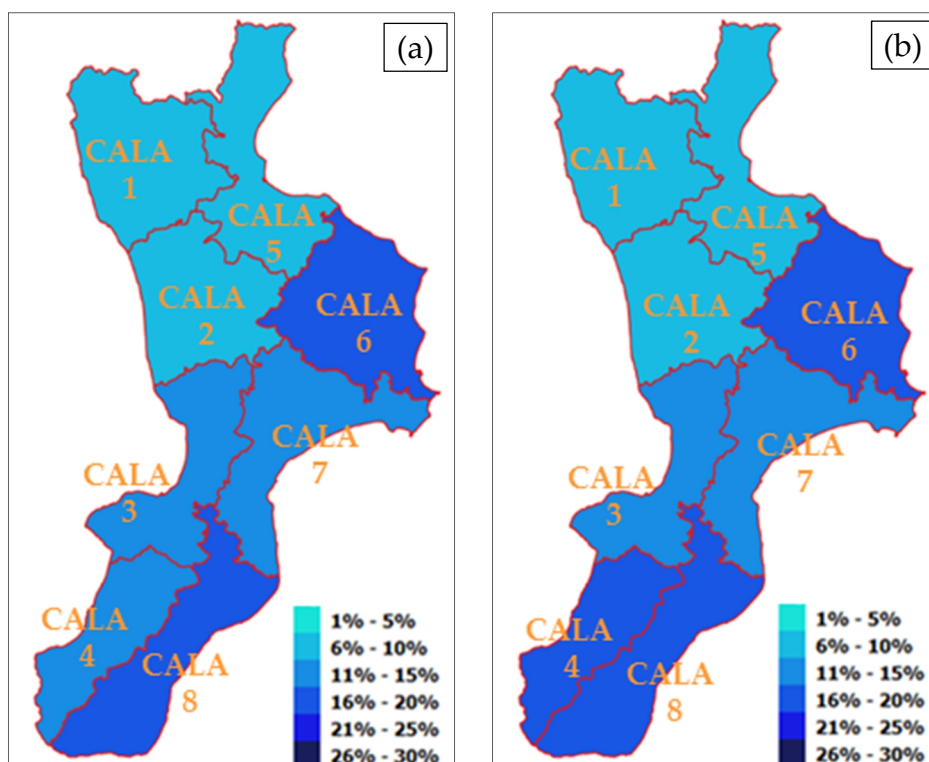


Figura 3.29 a) Max puntuali sui 20 min. b) Max puntuali cumulate – Celle temporalesche isolate – ZDA

Nei cicloni ordinari si sono registrati la maggior parte dei massimi sul *Versante Tirrenico Settentrionale (Cala 1)*, invece nel *Versante Ionico Settentrionale (Cala 5)* si è avuto il minor numero.

Nei cicloni straordinari si sono registrati la maggior parte dei massimi sul *Versante Ionico Meridionale (Cala 8)* soprattutto in  $\Delta t=20$  minuti, invece nel *Versante Tirrenico Centro-Settentrionale (Cala 2)* si è avuto il minor numero.

Nelle celle temporalesche isolate si sono registrati la maggior parte dei massimi sui *Versanti Ionico Centro-Settentrionale e Meridionale (Cala 6 e Cala 8)*, con una diffusione maggiormente distribuita rispetto ai cluster ciclonici.



## Capitolo 4

### ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE

#### 4.1. Procedura statistica

Al fine di identificare le caratteristiche pluviometriche dell'area di studio, innanzitutto è stata condotta un'analisi di tipo puntuale (ovvero a scala di singola stazione pluviometrica), articolata nelle seguenti fasi:

- identificazione della variabile casuale di interesse (nello specifico, sono state considerate variabili marginali e condizionate) (paragrafo 4.1.1);
- scelta del modello probabilistico (paragrafo 4.1.2);
- stima dei parametri del modello (paragrafo 4.1.3);
- verifica del modello, utilizzo del confronto grafico (paragrafo 4.1.4);
- calcolo dei frattili (paragrafo 4.1.5).

Tale analisi può risultare utile per la realizzazione e/o il perfezionamento di modelli di previsione delle piogge a breve termine (paragrafo 4.4).

#### 4.1.1 Identificazione della variabile casuale

La variabile casuale di interesse è la pioggia (mm/20min) verificatasi nell'arco temporale relativo agli eventi selezionati nel presente lavoro e registrata dalle stazioni maggiormente coinvolte in un determinato fenomeno pluviometrico, ovvero ricadenti nell'area d'influenza valutata come da paragrafo 1.4.4.

Nello specifico, la suddetta analisi è stata articolata per due tipologie di distribuzioni, ossia le marginali e le condizionate.

Per distribuzioni marginali si intende lo studio della pioggia (H) senza alcun condizionamento della pioggia verificatasi negli intervalli temporali precedenti.

Per distribuzioni condizionate si intende lo studio della pioggia (H) subordinata ai valori di pioggia verificatasi negli intervalli precedenti (Z). In particolare, la variabile casuale Z è stata assunta pari alla pioggia registrata nell'intervallo

temporale precedente, e in base ai valori da essa assunti, sono state considerate due tipologie di altezze H:

- $H_1$ , cioè H successiva a valori di Z  $[0 \div 1]$  mm;
- $H_2$ , cioè H successiva a valori di Z  $> 1$  mm.

Dunque, sia per le distribuzioni marginali che per le distribuzioni condizionate, il lavoro è stato articolato considerando in primis tutti gli eventi ricavati e poi gli stessi suddivisi in base alla tipologia. In entrambi i casi l'analisi è stata effettuata anche per le diverse Zone di Allertamento.

#### 4.1.2 Distribuzione di Weibull

Tra le varie distribuzioni che possono essere utilizzate nella modellazione delle serie continue di pioggia (ad esempio esponenziale e log-normale), si è scelto di utilizzare, come modello probabilistico, la distribuzione di **Weibull**, che in generale ben si adatta ad interpretare le serie di dati di precipitazione a bassa risoluzione temporale (es. Rao et al., 1974).

Una variabile casuale Weibull X si ottiene a partire da una variabile casuale esponenziale Y se viene definita una trasformazione di potenza, cioè:

$$Y = \alpha X^\beta \quad (4.1)$$

Ideata dal matematico svedese Weibull (1951), si tratta di una distribuzione di probabilità continua, definita su valori reali positivi e descritta dai due parametri  $\alpha$  (fattore di scala) e  $\beta$  (fattore di forma).

Nel seguito si elencano la funzione di probabilità cumulata (o funzione di ripartizione - CDF) e la funzione di densità di probabilità (PDF), rispettivamente 4.2, 4.3:

$$F_X(x) = 1 - e^{-\alpha x^\beta} \quad (4.2)$$

$$f_X(x) = \alpha \beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} \quad (4.3)$$

con  $x > 0$ ,  $\alpha > 0$ ,  $\beta > 0$ .

E' utile riportare le formulazioni relative ai momenti teorici della distribuzione, ovvero media, varianza, asimmetria e curtosi (rispettivamente 4.4, 4.5, 4.6, 4.7):

$$\mu_X = \frac{\Gamma(1 + 1/\beta)}{\alpha} \quad (4.4)$$

$$\sigma^2_X = \frac{1}{\alpha^{2/\beta}} [\Gamma(1 + 2/\beta) - \Gamma^2(1 + 1/\beta)] \quad (4.5)$$

$$\gamma_1 = \frac{\Gamma(1 + 3/\beta)/\alpha^3 - 3\mu_X\sigma^2_X - \mu^3_X}{\sigma^3_X} \quad (4.6)$$

$$\gamma_2 = \frac{\Gamma(1 + 4/\beta)/\alpha^4 - 4\gamma_1\mu_X\sigma^3_X - 6\mu^2_X\sigma^2_X - \mu^4_X}{\sigma^4_X} - 3 \quad (4.7)$$

#### 4.1.3 Stima dei parametri $\alpha$ e $\beta$

Le tecniche più comunemente utilizzate sono il metodo dei momenti, il metodo della massima verosimiglianza ed il metodo grafico. Viene descritto ed utilizzato quest'ultimo, nel quale si ipotizza che la relazione tra le variabili standardizzate ed osservate sia lineare. In primis si definisce, per i dati ordinati in senso crescente, la frequenza cumulata campionaria (ovvero la probabilità di non superamento), ottenuta tramite la plotting position di Weibull:

$$P_p = \frac{i}{N + 1} \quad (4.8)$$

in cui  $i$  indica il rank occupato dal dato.

Tale  $P_p$  va confrontata con la CDF teorica della distribuzione considerata su cartogramma probabilistico doppio esponenziale, cioè un diagramma con scale deformate, a seconda del tipo di distribuzione considerata, in modo tale che la funzione di probabilità cumulata sia rappresentata da una retta. Per la sua costruzione viene definita una nuova variabile  $Y$ , detta variabile ridotta, che abbia una relazione lineare con la variabile casuale  $X$ , se esiste tale relazione si dimostra che:

$$F_Y(y) = F_X(x) \quad (4.9)$$

Nel caso della distribuzione di Weibull, una relazione lineare è ottenibile se si considera:

$$Y = \ln(\alpha X^\beta) = \ln \alpha + \beta \ln X \tag{4.10}$$

in questo modo risulta:

$$F_Y(y) = 1 - e^{-e^y} \tag{4.11}$$

dalla quale si ottiene:

$$Y = \ln[-\ln(1 - F_Y(y))] \tag{4.12}$$

E' quindi possibile costruire il cartogramma considerando come asse orizzontale il  $\ln(X)$  e come assi verticali  $F_Y(y)$  e le corrispondenti  $Y$  (Tabella 4.1 – esempio di cartogramma in Figura 4.1):

$F_Y(y)$	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.995	0.998
$Y$	-2,250	-1,500	-0,367	0,476	0,834	1,097	1,364	1,667	1,827

Tabella 4.1 – Valori di  $Y$  corrispondenti a  $F_Y(y)$  selezionati per la distribuzione di Weibull

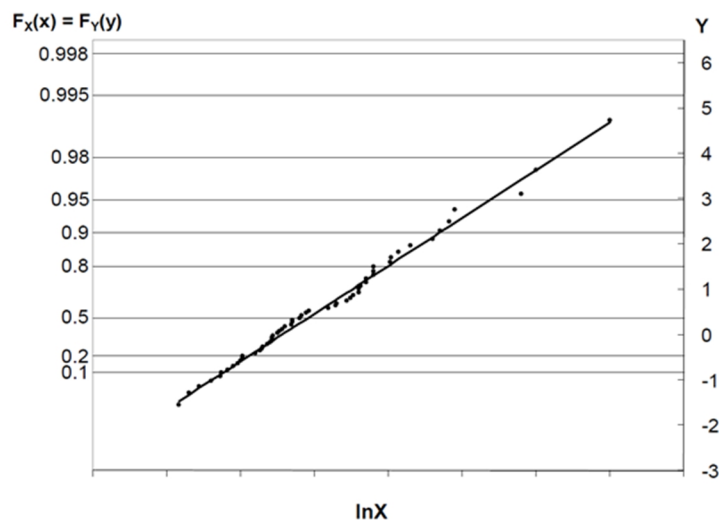


Figura 4.1 – Esempio di cartogramma probabilistico doppio esponenziale

I punti corrispondono ai valori della  $Y$  ottenuta dall'equazione 4.12 mentre, la retta interpolante, è ottenuta attraverso una regressione lineare utilizzando il metodo dei

minimi quadrati, essa presenta la seguente corrispondenza tra i coefficienti  $m$  (coefficiente angolare),  $q$  (intercetta) ed i parametri della distribuzione  $\alpha$  e  $\beta$ :

$$q = \ln(\alpha) \quad (4.13)$$

$$m = \beta \quad (4.14)$$

Tali uguaglianze sono facilmente deducibili dall'equazione 4.10, è dunque possibile ricavare i parametri della distribuzione di Weibull.

#### 4.1.4 Confronto grafico

Una valutazione circa l'attitudine di una funzione di distribuzione ad interpretare una serie di osservazioni si può ottenere attraverso un confronto grafico tra modello e dati. In particolare, su un cartogramma probabilistico come descritto nel precedente paragrafo, vengono confrontate la funzione di probabilità cumulata (CDF) e le frequenze cumulative relative ai dati sperimentali (plotting position), attraverso il calcolo del coefficiente di determinazione (noto anche come  $R^2$ ), definito, nelle regressioni lineari semplici (cioè caratterizzate da una variabile dipendente ed una variabile indipendente), come il quadrato del coefficiente di correlazione  $\rho_{XY}$ , ricavabile dalla seguente formulazione:

$$\rho_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X * \sigma_Y} \quad (4.15)$$

dove:

- $X$  e  $Y$  sono le variabili statistiche in esame;
- $\sigma_{XY}$  rappresenta la covarianza tra  $X$  e  $Y$ ;
- $\sigma_X$  rappresenta la deviazione standard di  $X$ ;
- $\sigma_Y$  rappresenta la deviazione standard di  $Y$ .

In particolare, la covarianza  $\sigma_{XY}$  è un indice di variabilità congiunta tra le due variabili e si ricava come:

$$\sigma_{XY} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y}) \quad (4.16)$$

Nella sovra scritta formulazione,  $n$  è il numero di osservazioni mentre  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  sono le medie delle variabili  $X$  e  $Y$ .

La deviazione standard ( $\sigma_X$  o  $\sigma_Y$ ), nota anche come scarto quadratico medio, è un indice di dispersione, ovvero una stima di variabilità attorno al valore medio (indice di posizione) di una variabile casuale. Viene illustrata la sola formula per valutare  $\sigma_X$ , dal momento che per valutare  $\sigma_Y$  è sufficiente cambiare la variabile in esame:

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4.17)$$

Come detto viene quindi valutato  $R^2$ :

$$R^2 = \rho_{XY}^2 \quad (4.18)$$

Tale indice varia tra 0 (totale mancanza di adattamento del modello ai dati osservati) ed 1 (il modello si adatta perfettamente ai dati osservati).

#### 4.1.5 Calcolo dei frattili

Per frattile si intende quel particolare valore che la variabile aleatoria  $x$  può assumere in corrispondenza di determinate probabilità di non superamento  $F_X(x)$ . Andando a considerare la distribuzione di Weibull, il frattile è ricavabile attraverso dei semplici passaggi matematici a partire dalla CDF (equazione 4.2), che portano alla seguente formulazione:

$$x = \left\{ \frac{-\ln[1 - F_X(x)]}{\alpha} \right\}^{1/\beta} \quad (4.19)$$

Come si evince, oltre che fissare  $F_X(x)$ , è necessario conoscere i parametri  $\alpha$  e  $\beta$  della distribuzione.

## 4.2. Piogge marginali

Come specificato nel paragrafo 4.1.1, tale analisi è condotta in primo luogo per l'intero campione d'eventi relativo al database del presente lavoro (analisi globale), in seconda istanza per eventi suddivisi in pattern meteorologici (analisi per

tipologia), fermo restando che, in ambo le circostanze, lo studio è stato esteso anche ai diversi ambiti territoriali omogenei (ZDA).

#### 4.2.1 Analisi globale

Sono stati ivi considerati tutti i 459 eventi selezionati. Si è proceduto alla raccolta dei dati campionari per ogni stazione pluviometrica, cioè sono stati messi insieme i valori di pioggia registrati a  $\Delta t = 20$  minuti (H), relativi a quegli eventi in cui essa ricade. Sono stati esclusi, ai fini di una maggior robustezza statistica, quei pluviometri aventi un numero di dati di pioggia ( $> 0$  mm) inferiore a 100, riducendo l'analisi da 155 a 143 stazioni. Per ognuna di esse è stata effettuata la stima dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  della distribuzione di Weibull, la verifica del modello ed il calcolo dei frattili ad F fissate pari a 0,8-0,9-0,95.

Per quel che concerne i parametri  $\alpha$  e  $\beta$ , sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche (Appendice B – Figura B.16 – Tabella B.10).

Procedendo al calcolo di  $R^2$ , come descritto nel paragrafo 4.1.4, il risultato ha portato a valori di quest'ultimo superiori a 0,95 per tutte le stazioni pluviometriche esaminate, denotando un'ottima capacità del modello di adattarsi ai dati osservati. Vengono illustrati, a titolo d'esempio, i cartogrammi probabilistici relativi ad 8 pluviometri, uno per ogni area d'allertamento (Figura 4.2).

Per quanto riguarda il frattile, nella presente analisi, esso rappresenta l'intensità di pioggia (mm/20min) che ha una certa probabilità di verificarsi in uno specifico pluviometro in occasione di eventi pluviometrici.

Sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche (Figura 4.3a – Tabella 4.1 – mappa per  $F = 0,9$ ).

STATISTICHE	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Minimo (mm/20min)	1,58	2,77	4,09
Massimo (mm/20min)	3,70	6,52	10,38
Media (mm/20min)	2,49	4,35	6,55
Deviazione Standard (mm/20min)	0,43	0,72	1,12
Coefficiente di Variazione (-)	0,17	0,17	0,17

Tabella 4.1 – Statistiche dei frattili – Marginali – Tutti gli eventi

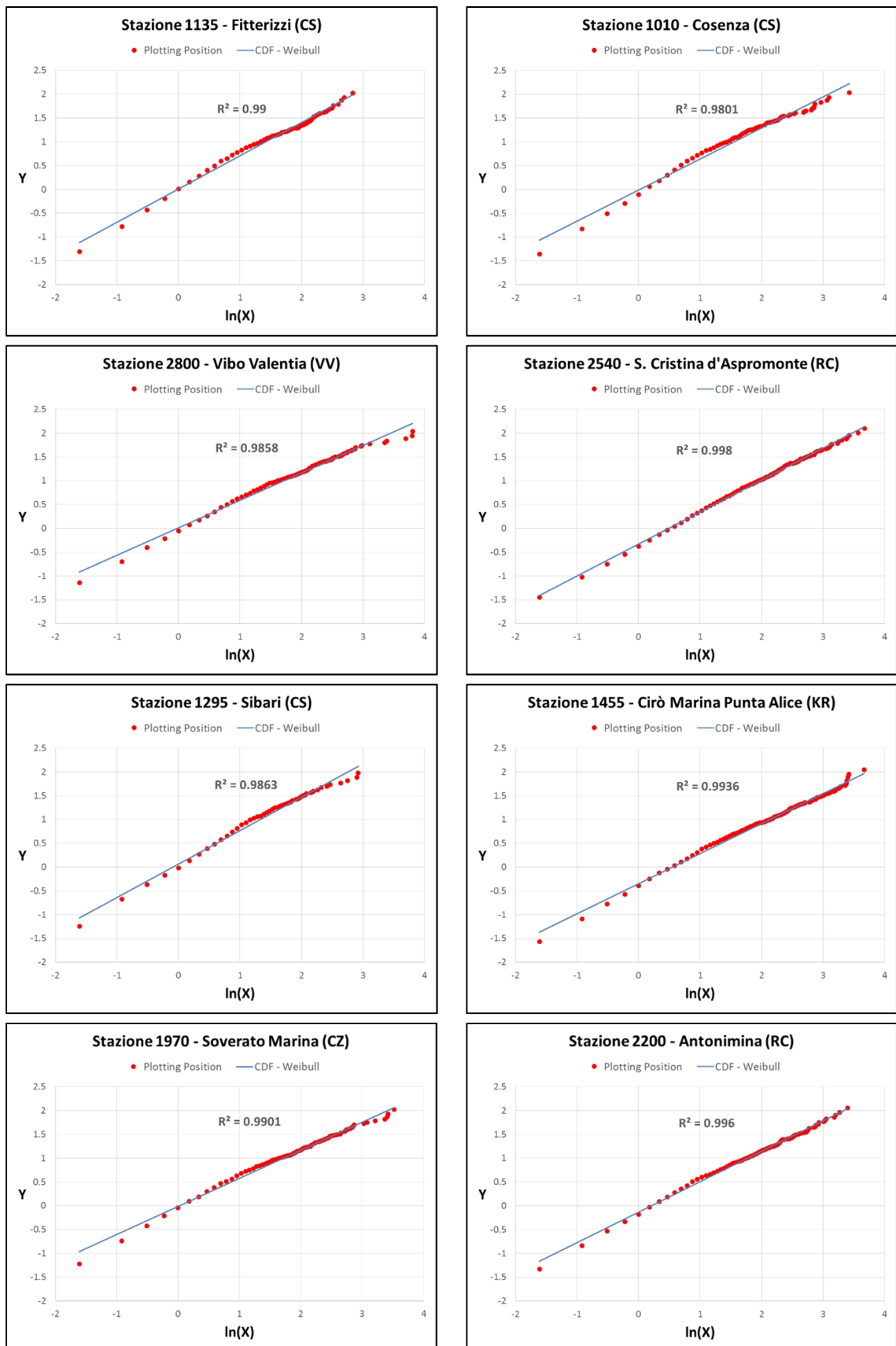


Figura 4.2 – Alcuni cartogrammi probabilistici – Marginali – Tutti gli eventi



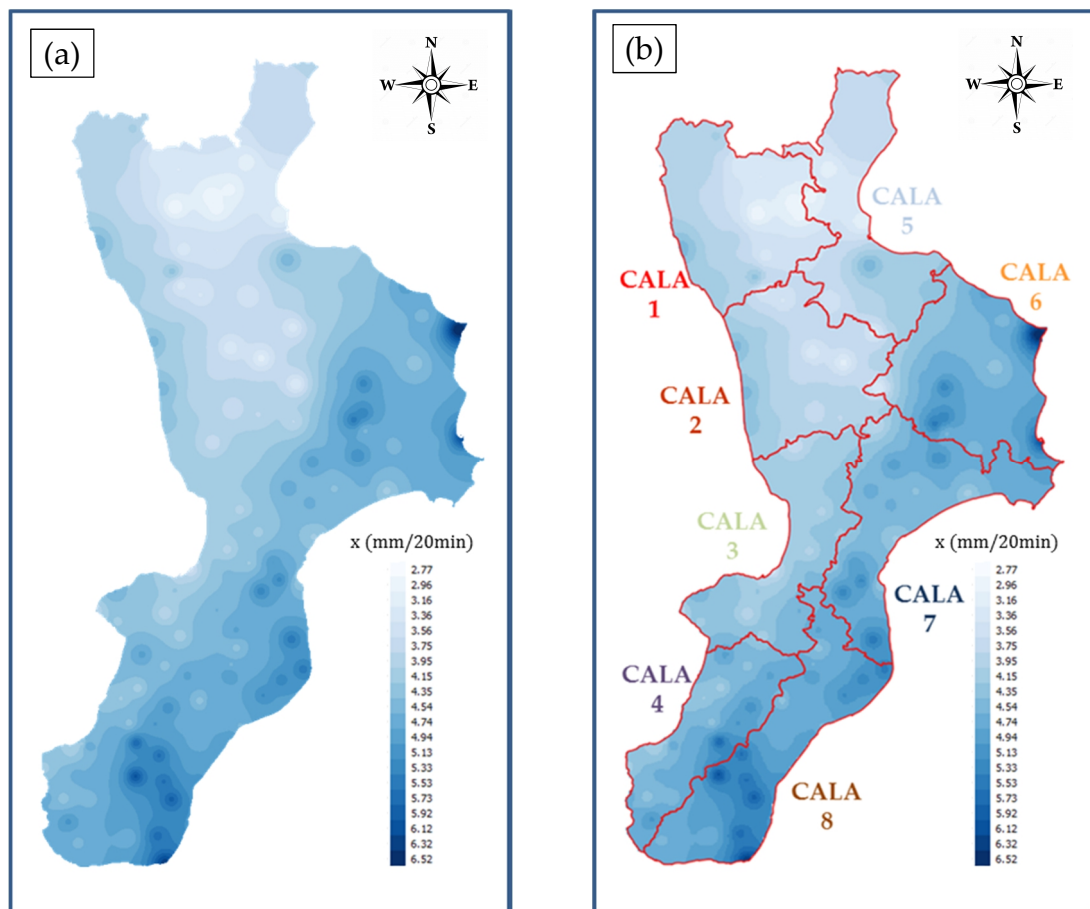


Figura 4.3 – Mappa frattili –  $F = 0,9$  – Marginali – Tutti gli eventi. a) Generale. b) ZDA

E' stata evinta una sostanziale differenza tra la fascia ionica centro meridionale (piogge più intense) e l'area compresa tra la Sila, il Pollino e lo Ionio nord (piogge meno intense).

Si è proseguito effettuando il calcolo delle statistiche sovraesposte per le diverse Zone di Allertamento in cui è stato suddiviso il territorio calabrese. E' stata illustrata sopra la mappa suddivisa per ZDA (Figura 4.3b). Nel seguito anche il grafico relativo ai percentili medi (Figura 4.4) ed i valori delle diverse statistiche (Tabella 4.2) sempre per le diverse aree d'allerta.

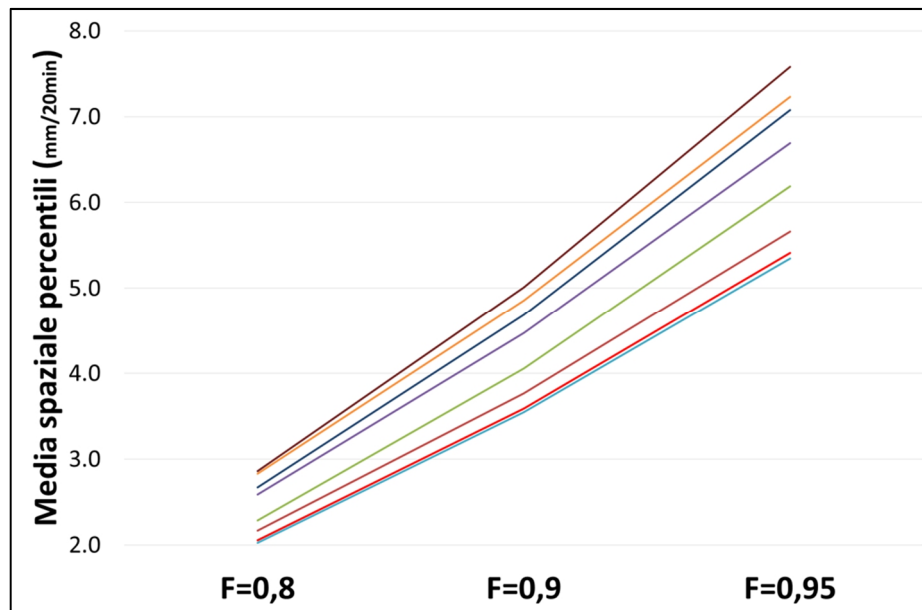


Figura 4.4 – Frattili medi – Marginali – Tutti gli eventi – ZDA

Zona di Allertamento	Statistiche	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Cala 1	$X_{min}$ (mm/20min)	1,60	2,77	4,09
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,06	3,59	5,41
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,58	4,66	7,26
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,32	0,60	1,00
	CV (-)	0,15	0,17	0,19
Cala 2	$X_{min}$ (mm/20min)	1,85	3,10	4,47
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,17	3,77	5,66
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,48	4,45	7,02
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,21	0,42	0,72
	CV (-)	0,10	0,11	0,13
Cala 3	$X_{min}$ (mm/20min)	1,84	3,45	5,20
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,29	4,06	6,19
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,57	4,55	7,16
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,17	0,30	0,53
	CV (-)	0,08	0,07	0,09
Cala 4	$X_{min}$ (mm/20min)	2,24	4,00	5,92
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,59	4,47	6,69
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,33	5,69	8,42
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,28	0,41	0,59
	CV (-)	0,11	0,09	0,09

Cala 5	$X_{min}$ (mm/20min)	1,58	2,89	4,35
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,03	3,55	5,35
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,58	4,48	6,71
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,28	0,48	0,73
	$CV$ (-)	0,14	0,14	0,14
Cala 6	$X_{min}$ (mm/20min)	1,86	3,18	4,71
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,83	4,86	7,23
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,70	6,52	9,88
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,41	0,74	1,17
	$CV$ (-)	0,15	0,15	0,16
Cala 7	$X_{min}$ (mm/20min)	2,23	4,10	6,13
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,67	4,68	7,07
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,26	5,43	8,04
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,32	0,42	0,53
	$CV$ (-)	0,12	0,09	0,08
Cala 8	$X_{min}$ (mm/20min)	2,43	4,27	6,11
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,86	5,01	7,58
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,66	6,23	10,38
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,31	0,50	0,89
	$CV$ (-)	0,11	0,10	0,12

Tabella 4.2 – Statistiche dei frattili – Marginali – Tutti gli eventi – ZDA

Per quel che concerne l'intensità di pioggia media (mm/20min) che può verificarsi in presenza di eventi pluviometrici, l'area che va dal *Versante Ionico Centro-Settentrionale* fino al *Versante Tirrenico Meridionale* (Cala 6, Cala 7, Cala 8 e Cala 4) ha presentato valori tra i più elevati; al contrario le zone comprese tra il *Versante Ionico Settentrionale* ed il *Versante Tirrenico Centro-Settentrionale* hanno registrato valori minori (Cala 5, Cala 1 e Cala 2). Il *Versante Tirrenico Centro-Meridionale* (Cala 3) è stato caratterizzato da valori intermedi tra i due raggruppamenti di aree sopra descritte. Passando alle variabilità spaziali dell'intensità di pioggia (mm/20min), ovvero al coefficiente di variazione, i valori più ampi si sono registrati nell'area nord tirrenica (Cala 1) e nella parte nord e centro-nord ionica (Cala 5 e Cala 6), al contrario variabilità più basse si sono avute nelle zone Cala 3 e Cala 7.

#### 4.2.2 Analisi per tipologia d'evento

Sono stati ivi considerati tutti gli eventi suddivisi in base alla tipologia (vedasi Capitolo 3). Si è proceduto alla raccolta dei dati campionari per ogni stazione pluviometrica, cioè sono stati messi insieme i valori registrati di pioggia a  $\Delta t = 20$  minuti relativi a quei cluster di eventi in cui essa ricade. Sono stati esclusi, ai fini di una maggior robustezza statistica, quei pluviometri aventi un numero di dati di pioggia ( $> 0$  mm) inferiore a 100, riducendo l'analisi da 155 a 134 stazioni per i cicloni ordinari, 137 stazioni per i cicloni straordinari e 24 stazioni per le celle temporalesche isolate. Quest'ultimo raggruppamento d'eventi è risultato avere un numero di dati, e quindi di stazioni, troppo basso per una robusta analisi statistica spaziale, pertanto sono state prese in considerazione le sole tipologie cicloniche.

Per ogni pluviometro di ogni cluster è stata effettuata la stima dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  della distribuzione di Weibull, la verifica del modello ed il calcolo dei frattili ad  $F$  fissate pari a 0,8-0,9-0,95.

Partendo dal cluster "**cicloni ordinari**", per quel che concerne i parametri  $\alpha$  e  $\beta$ , vengono mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche (Appendice B – Figura B.17 – Tabella B.11).

Procedendo al calcolo di  $R^2$ , come descritto nel paragrafo 4.1.4, il risultato ha portato a valori di quest'ultimo superiori a 0,94 per tutte le stazioni pluviometriche esaminate, denotando un'ottima capacità del modello di adattarsi ai dati osservati. Vengono illustrati, a titolo d'esempio, i cartogrammi probabilistici relativi ad 8 pluviometri, uno per ogni area d'allertamento (Figura 4.5).

Sono state mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei frattili (Figura 4.6a – mappa per  $F = 0,9$  – Tabella 4.3). Si è evinta una sostanziale differenza tra la costa ionica meridionale e tutta la costa tirrenica (piogge più intense) e le aree interne comprendenti l'Aspromonte, le Serre e soprattutto la Sila, il Pollino e lo Ionio nord (piogge meno intense).

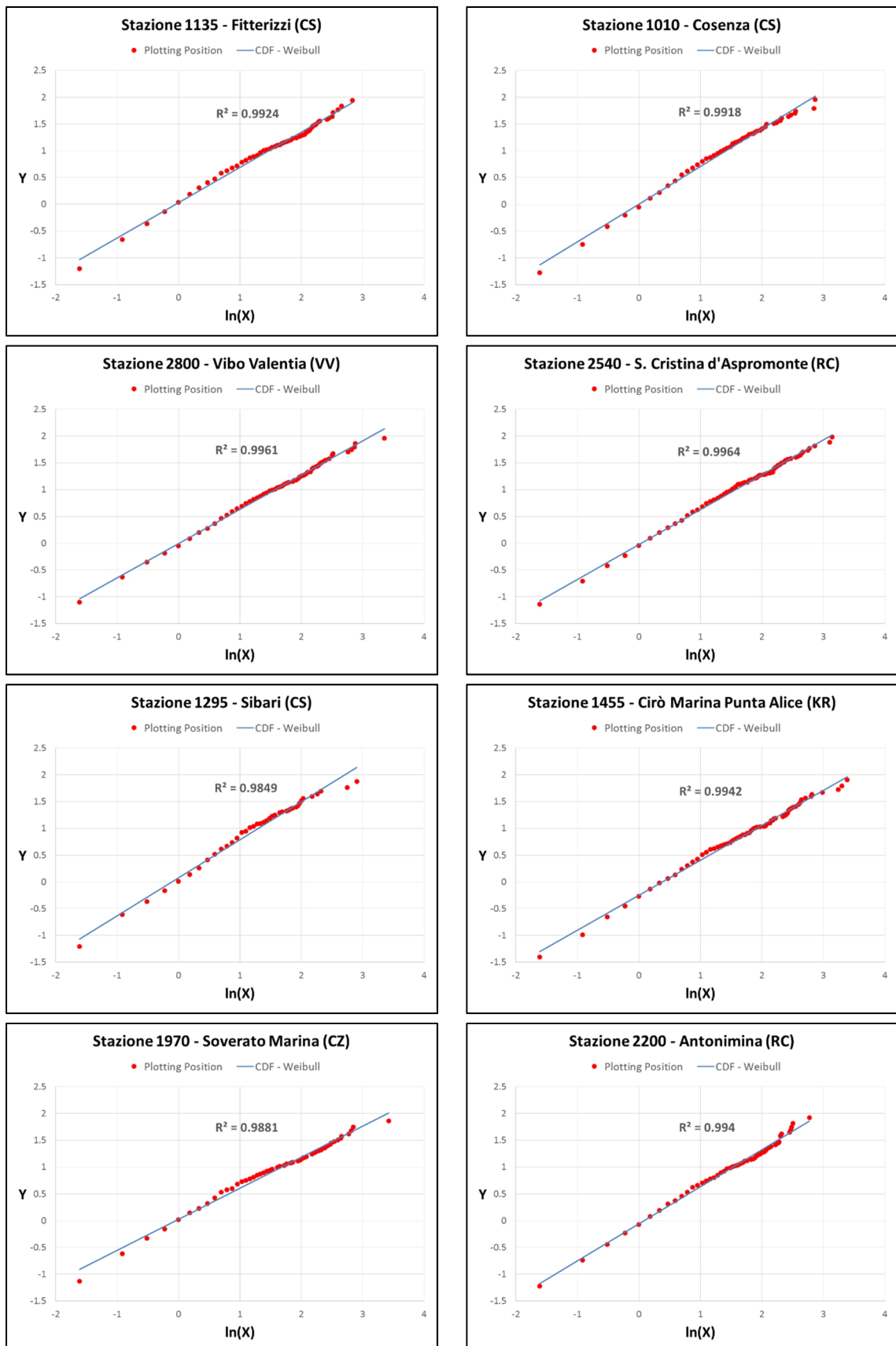


Figura 4.5 – Alcuni cartogrammi probabilistici – Marginali – Ciclone ordinari

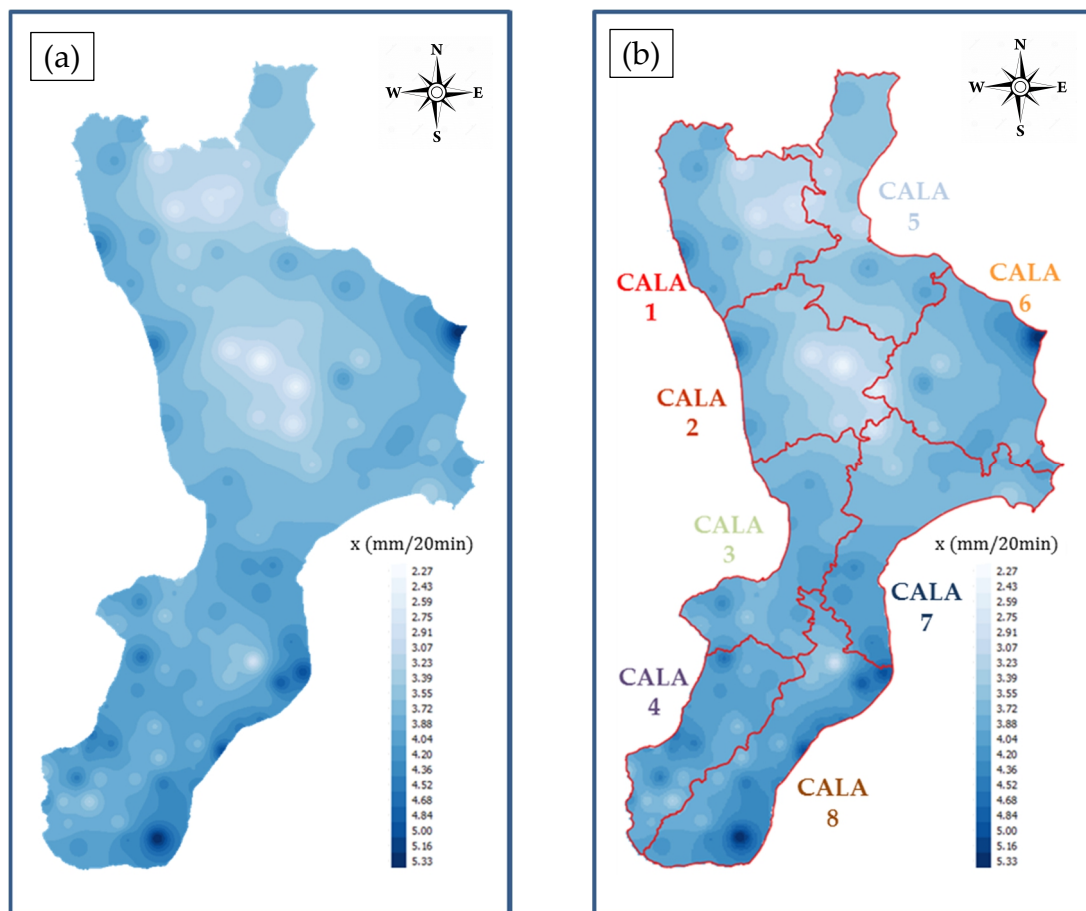


Figura 4.6 – Mappa frattili – F = 0,9 – Marginali – Cicloni ordinari. a) Generale. b) ZDA

STATISTICHE	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Minimo (mm/20min)	1,48	2,27	3,12
Massimo (mm/20min)	3,04	5,33	8,32
Media (mm/20min)	2,17	3,74	5,59
Deviazione Standard (mm/20min)	0,27	0,53	0,90
Coefficiente di Variazione (-)	0,12	0,14	0,16

Tabella 4.3 – Statistiche dei frattili – Marginali – Cicloni ordinari

E' stata illustrata sopra la mappa suddivisa per ZDA (Figura 4.6b). Nel seguito anche il grafico relativo ai percentili medi (Figura 4.7) ed i valori delle diverse statistiche (Tabella 4.4) sempre per le diverse aree d'allerta.

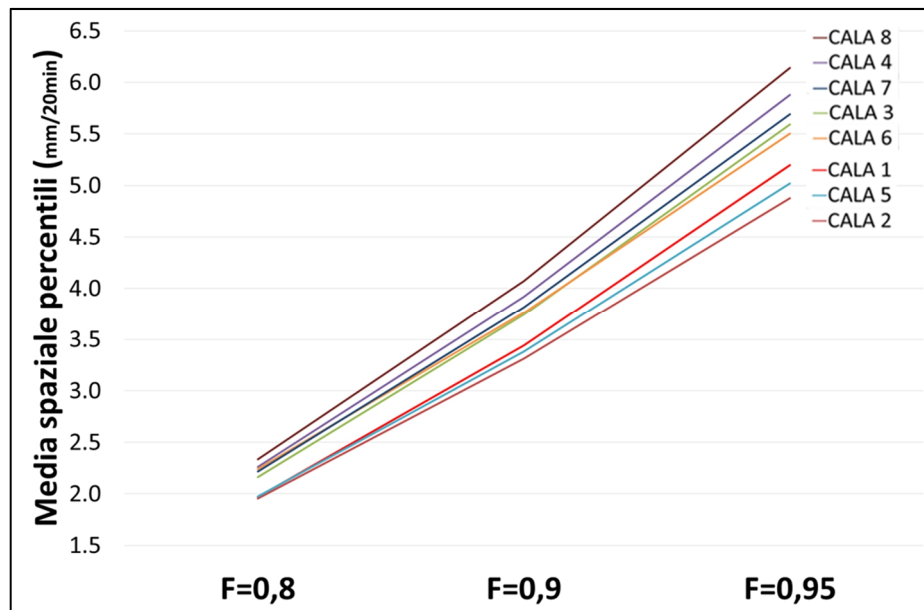


Figura 4.7 – Frattili medi – Marginali – Cicloni ordinari – ZDA

Zona di Allertamento	Statistiche	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Cala 1	$X_{min}$ (mm/20min)	1,53	2,68	4,05
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,97	3,44	5,20
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,28	4,40	7,15
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,26	0,52	0,90
	$CV$ (-)	0,13	0,15	0,17
Cala 2	$X_{min}$ (mm/20min)	1,48	2,27	3,12
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,96	3,31	4,88
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,50	4,50	6,93
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,30	0,63	1,06
	$CV$ (-)	0,15	0,19	0,22
Cala 3	$X_{min}$ (mm/20min)	1,95	3,38	5,01
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,16	3,74	5,59
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,46	4,27	6,41
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,13	0,23	0,40
	$CV$ (-)	0,06	0,06	0,07
Cala 4	$X_{min}$ (mm/20min)	2,00	3,23	4,59
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,26	3,92	5,88
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,60	4,56	7,10
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,17	0,36	0,66
	$CV$ (-)	0,08	0,09	0,11

Cala 5	$X_{min}$ (mm/20min)	1,58	2,85	4,22
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,98	3,38	5,02
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,33	3,94	5,79
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,21	0,34	0,53
	$CV$ (-)	0,11	0,10	0,11
Cala 6	$X_{min}$ (mm/20min)	1,54	2,40	3,33
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,24	3,76	5,50
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,04	5,26	7,87
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,32	0,61	0,99
	$CV$ (-)	0,14	0,16	0,18
Cala 7	$X_{min}$ (mm/20min)	1,86	3,21	4,67
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,22	3,82	5,69
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,58	4,37	6,44
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,20	0,33	0,53
	$CV$ (-)	0,09	0,09	0,09
Cala 8	$X_{min}$ (mm/20min)	1,80	2,81	3,89
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,33	4,07	6,14
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,91	5,33	8,32
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,27	0,60	1,08
	$CV$ (-)	0,12	0,15	0,18

Tabella 4.4 – Statistiche dei frattili – Marginali – Cicloni ordinari – ZDA

Per quel che concerne l'intensità di pioggia media (mm/20min) che può verificarsi in presenza di eventi pluviometrici, le aree del *Versante Tirrenico* che vanno da *Cala 3* a *Cala 4*, assieme a quelle del *Versante Ionico Centro-Meridionale* (*Cala 6*, *Cala 7* e *Cala 8*) hanno presentato valori tra i più elevati, al contrario le zone comprese tra il *Versante Ionico Settentrionale* ed il *Versante Tirrenico Centro-Settentrionale* hanno registrato valori minori (*Cala 5*, *Cala 1* e *Cala 2*).

Passando alle variabilità spaziali dell'intensità di pioggia (mm/20min), ovvero al coefficiente di variazione, i valori più ampi sono stati registrati nell'area centro-nord tirrenica (*Cala 2*) e nella parte centro-nord ionica (*Cala 6*), al contrario la variabilità più bassa si è avuta nella zona *Cala 3*.



Passando ora al cluster “**cicloni straordinari**”, per quel che concerne i parametri  $\alpha$  e  $\beta$ , sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche (Appendice B – Figura B.18 – Tabella B.12).

Procedendo al calcolo di  $R^2$ , come descritto nel paragrafo 4.1.4, il risultato ha portato a valori di quest’ultimo superiori a 0,93 per tutte le stazioni pluviometriche esaminate, denotando un’ottima capacità del modello di adattarsi ai dati osservati. Vengono illustrati, a titolo d’esempio, i cartogrammi probabilistici relativi ad 8 pluviometri, uno per ogni area d’allertamento (Figura 4.8).

Sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei frattili (Figura 4.9a – mappa per  $F = 0,9$  – Tabella 4.5). Si è evinta una netta differenza tra la fascia ionica centro meridionale (piogge più intense) e le rimanenti aree, in particolare le piogge meno intense si sono verificate lungo l’area compresa tra la parte settentrionale della Sila, il Pollino e lo Ionio nord.

Viene inoltre illustrata la mappa suddivisa per ZDA (Figura 4.9b). Nel seguito anche il grafico relativo ai percentili medi (Figura 4.10) ed i valori delle diverse statistiche (Tabella 4.6) sempre per le diverse aree d’allerta.

<b>STATISTICHE</b>	<b>F = 0,8</b>	<b>F = 0,9</b>	<b>F = 0,95</b>
Minimo (mm/20min)	1,55	2,56	3,69
Massimo (mm/20min)	4,41	6,97	10,51
Media (mm/20min)	2,61	4,47	6,65
Deviazione Standard (mm/20min)	0,58	0,95	1,43
Coefficiente di Variazione (-)	0,22	0,21	0,21

Tabella 4.5 – Statistiche dei frattili – Marginali – Cicloni straordinari

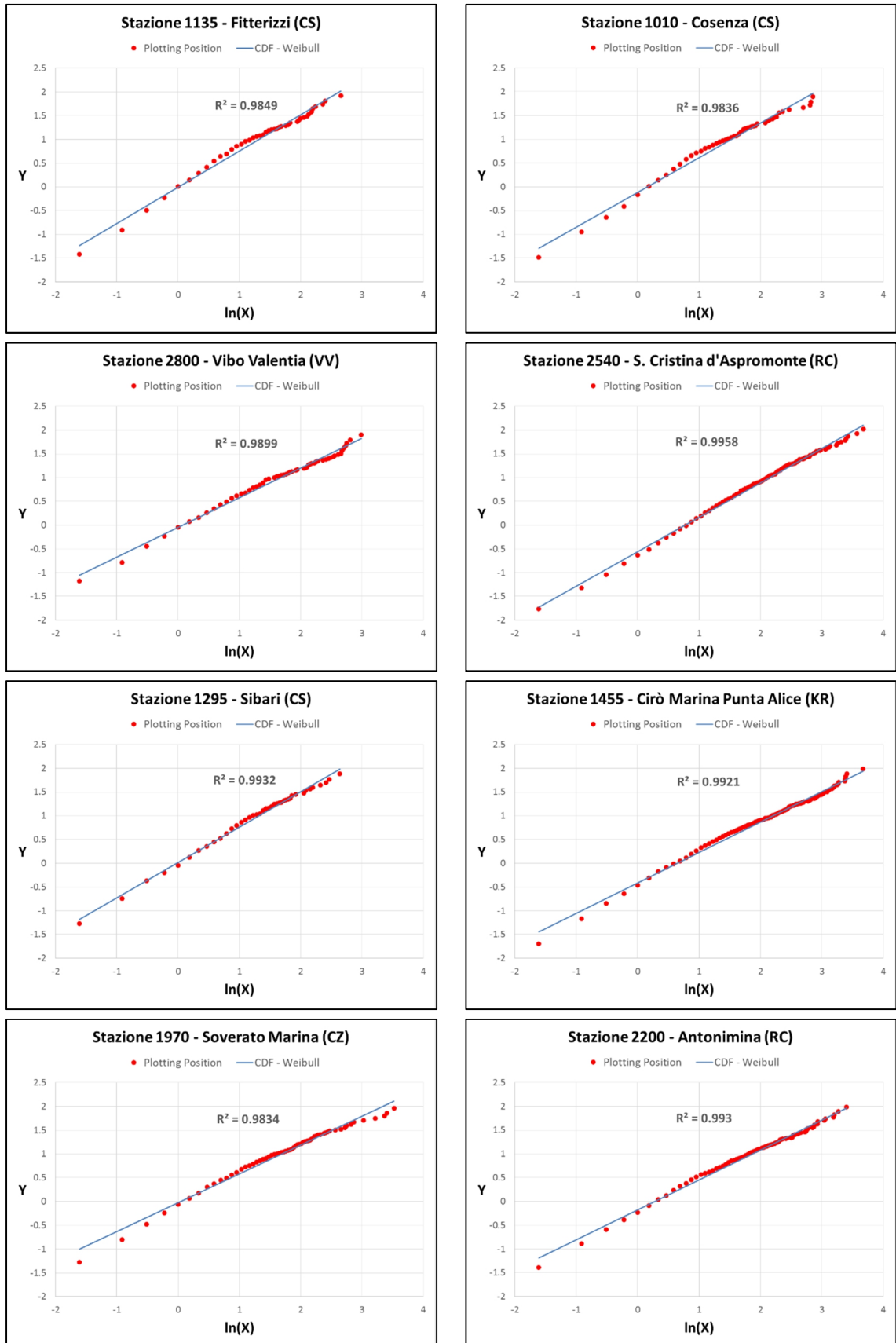


Figura 4.8 – Alcuni cartogrammi probabilistici – Marginali – Ciclone straordinari

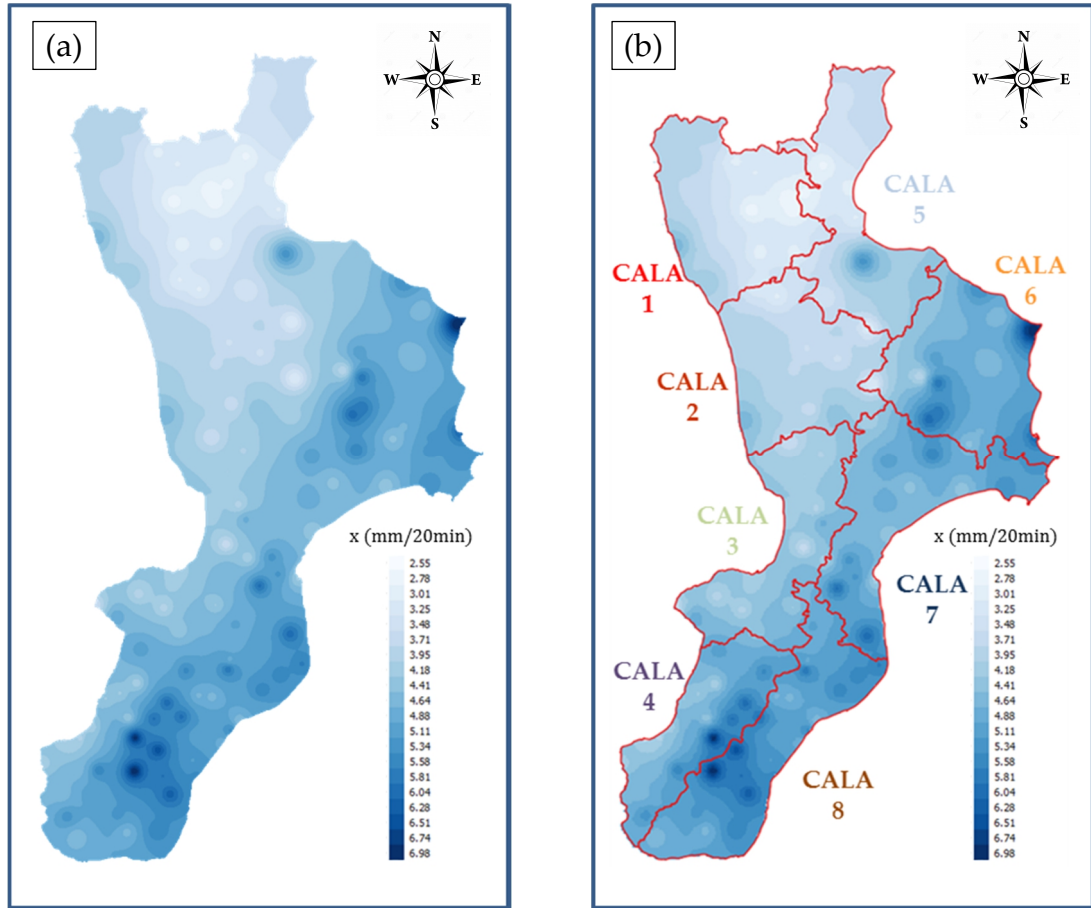


Figura 4.9 – Mappa frattili –  $F = 0,9$  – Marginali – Cicloni straordinari. a) Generale. b) ZDA

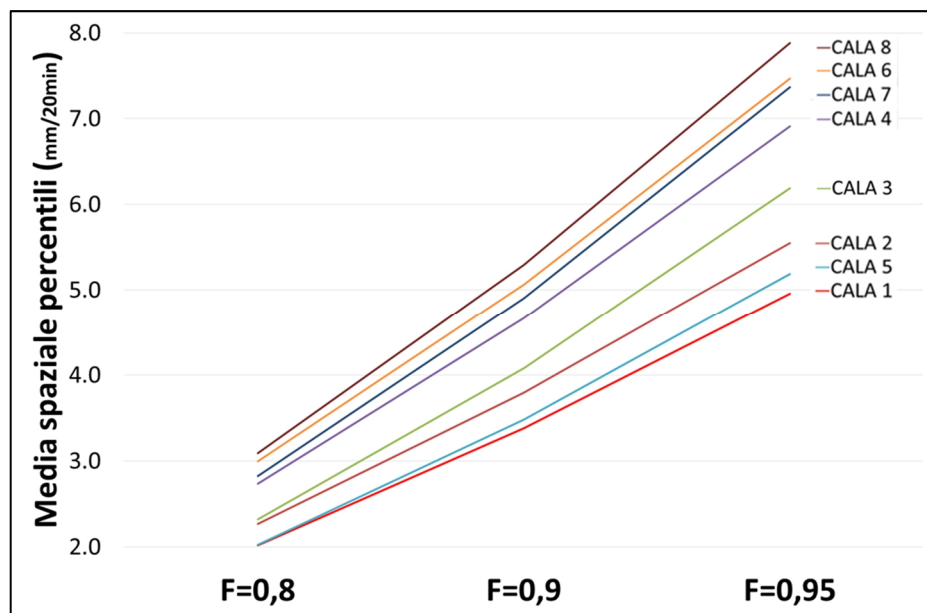


Figura 4.10 – Frattili medi – Marginali – Cicloni straordinari – ZDA

Zona di Allertamento	Statistiche	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Cala 1	$X_{min}$ (mm/20min)	1,55	2,56	3,69
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,02	3,38	4,95
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,00	4,99	7,26
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,40	0,74	1,16
	$CV$ (-)	0,20	0,22	0,24
Cala 2	$X_{min}$ (mm/20min)	1,75	2,99	4,44
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,27	3,80	5,55
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,68	4,59	6,81
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,24	0,42	0,68
	$CV$ (-)	0,11	0,11	0,12
Cala 3	$X_{min}$ (mm/20min)	2,01	3,49	4,86
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,32	4,08	6,19
	$X_{max}$ (mm/20min)	2,75	4,79	7,62
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,23	0,38	0,66
	$CV$ (-)	0,10	0,09	0,11
Cala 4	$X_{min}$ (mm/20min)	2,19	3,82	5,53
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,74	4,66	6,91
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,18	6,85	9,85
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,50	0,74	1,01
	$CV$ (-)	0,18	0,16	0,15
Cala 5	$X_{min}$ (mm/20min)	1,60	2,72	3,96
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,03	3,48	5,19
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,02	5,23	7,83
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,40	0,71	1,10
	$CV$ (-)	0,20	0,20	0,21
Cala 6	$X_{min}$ (mm/20min)	1,92	3,03	4,23
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,00	5,07	7,47
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,99	6,97	10,51
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,53	0,96	1,56
	$CV$ (-)	0,18	0,19	0,21
Cala 7	$X_{min}$ (mm/20min)	2,29	4,03	5,97
	$X_{med}$ (mm/20min)	2,83	4,91	7,37
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,50	5,91	8,74
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,42	0,58	0,77

	$CV (-)$	0,15	0,12	0,10
Cala 8	$X_{min} (mm/20min)$	2,41	4,43	6,44
	$X_{med} (mm/20min)$	3,09	5,29	7,88
	$X_{max} (mm/20min)$	4,41	6,96	9,74
	$\sigma_x (mm/20min)$	0,47	0,63	0,87
	$CV (-)$	0,15	0,12	0,11

Tabella 4.6 – Statistiche dei frattili – Marginali – Cicloni straordinari – ZDA

Per quel che concerne l'intensità di pioggia media (mm/20min) che può verificarsi in presenza di eventi pluviometrici, le aree del *Versante Tirrenico* che vanno da *Cala 3* a *Cala 4*, assieme a quelle del *Versante Ionico Centro-Meridionale* (*Cala 6*, *Cala 7* e *Cala 8*) hanno presentato valori tra i più elevati, al contrario le zone comprese tra il *Versante Ionico Settentrionale* ed il *Versante Tirrenico Centro-Settentrionale* hanno registrato valori minori (*Cala 5*, *Cala 1* e *Cala 2*).

Passando alle variabilità spaziali dell'intensità di pioggia (mm/20min), ovvero al coefficiente di variazione, i valori più ampi si sono registrati nell'area nord tirrenica (*Cala 1*) e nella parte nord ionica (*Cala 5*), al contrario la variabilità più bassa si è avuta nella zona *Cala 3*.

Volendo effettuare un confronto tra le distribuzioni marginali dei due cluster d'eventi, sono state in primis comparate le mappe, risultanti dall'analisi, relative all'intensità di pioggia (mm/20min) che ha una certa probabilità cumulata ( $F = 0,9$ ) nei cicloni ordinari e straordinari (Figure 4.11a, 4.11b). Per avere un raffronto di pioggia oggettivo è stata uniformata la scala dei colori per ambo le mappe.

Dalla suddetta analisi è risultato che, nei cicloni ordinari, l'intensità di pioggia (mm/20min) è generalmente meno elevata e più simile tra i due versanti rispetto ai cicloni straordinari, nei quali, diversamente, l'intensità è nettamente più marcata lungo la fascia ionica centro-meridionale.

Pertanto, i cicloni ordinari, pur essendo caratterizzati da maggiori cumulate lungo il versante tirrenico (paragrafo 3.4 – Figura 3.19), nella medesima area non registrano intensità (mm/20min) nettamente superiori rispetto ad altre aree della regione. Al contrario, i cicloni straordinari producono, sul versante ionico, sia cumulate (paragrafo 3.4 – Figura 3.20) che intensità decisamente più elevate che non sulle restanti zone. Le caratteristiche appena descritte si sono evinte anche dal confronto tra i percentili medi dei due cluster ciclonici ricavati per le Zone di Allertamento (Figura 4.12 – asse y uniformato).

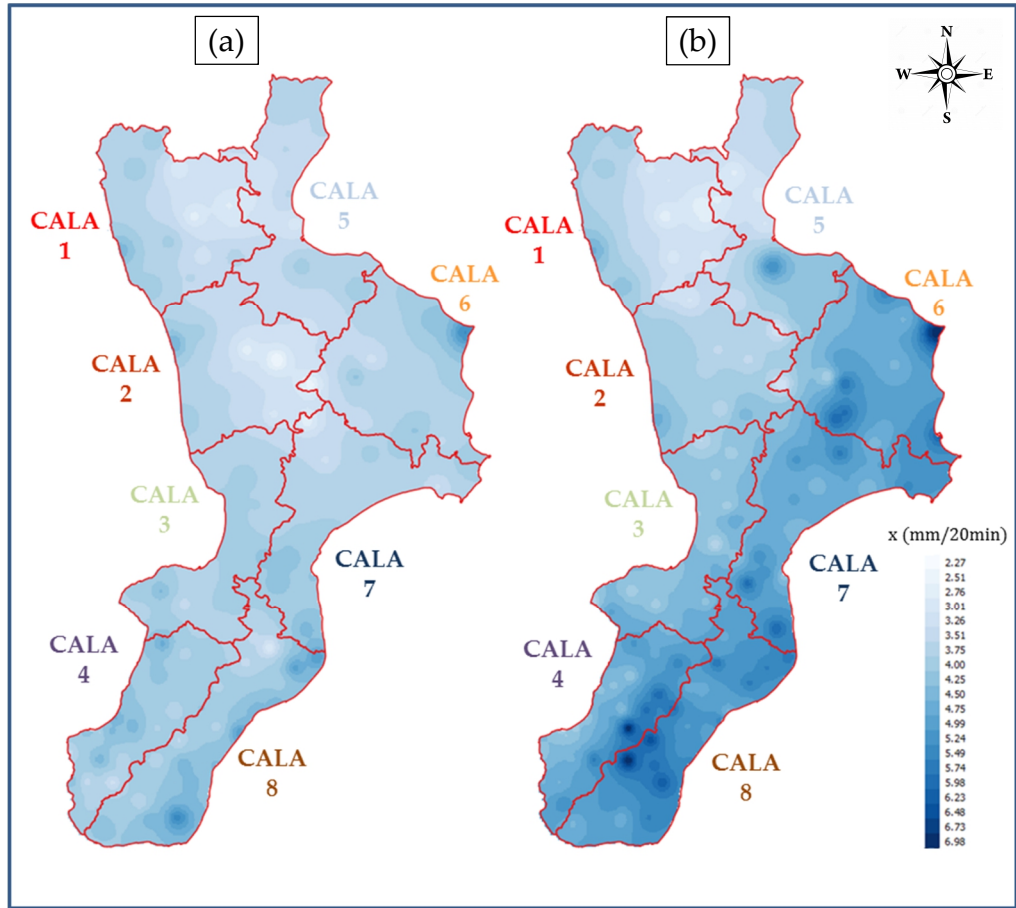


Figura 4.11 – Mappe frattili –  $F = 0,9$  – ZDA – Marginali – a) Cicloni ordinari. b) Cicloni straordinari

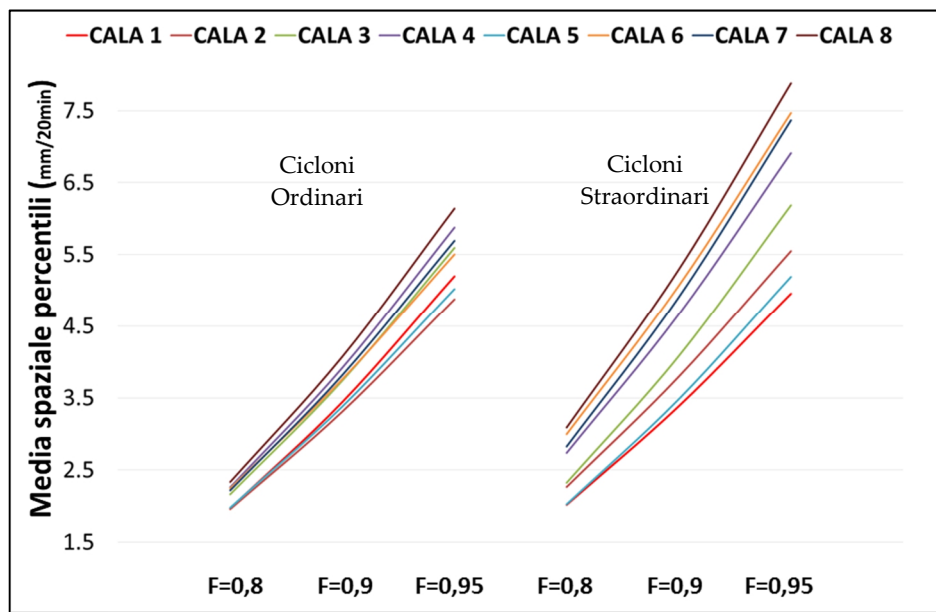


Figura 4.12 – Frattili medi – ZDA – Marginali – Cicloni ordinari e straordinari

### 4.3. Piogge condizionate

Come specificato nel paragrafo 4.1.1, tale analisi è stata condotta in primo luogo per l'intero campione d'eventi relativo al database del presente lavoro (analisi globale), in seconda istanza per eventi suddivisi in pattern meteorologici (analisi per tipologia), fermo restando che in ambo le circostanze lo studio è stato esteso anche ai diversi ambiti territoriali omogenei (ZDA).

#### 4.3.1 Analisi globale

Sono stati ivi considerati tutti i 459 eventi selezionati. Si è proceduto alla raccolta dei dati campionari per ogni stazione pluviometrica, pertanto, alla sopra citata  $H$ , già ricavata per l'analisi delle distribuzioni marginali, si è aggiunta  $Z$ , e quindi in base ai valori assunti da quest'ultima, sono state ricavate le variabili  $H_1$  e  $H_2$  (paragrafo 4.1.1).

Per ogni variabile, sono stati esclusi, ai fini di una maggior robustezza statistica, quei pluviometri aventi un numero di dati di pioggia ( $> 0$  mm) inferiore a 100, riducendo l'analisi da 155 a 137 stazioni. Per ognuna di esse è stata effettuata la stima dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  della distribuzione di Weibull, la verifica del modello ed il calcolo dei frattili ad  $F$  fissate pari a 0,8-0,9-0,95.

Prima di ciò, è stato fatto un confronto tra il numero di dati di pioggia ( $> 0$  mm) di  $H_1$  e di  $H_2$  (Figura 4.13), da cui si è evinto che, circa il 60% della pioggia che si è verificata all'interno degli eventi selezionati è successiva a pioggia nulla o di bassa intensità, invece il 40% è successiva a pioggia di media ed elevata intensità.

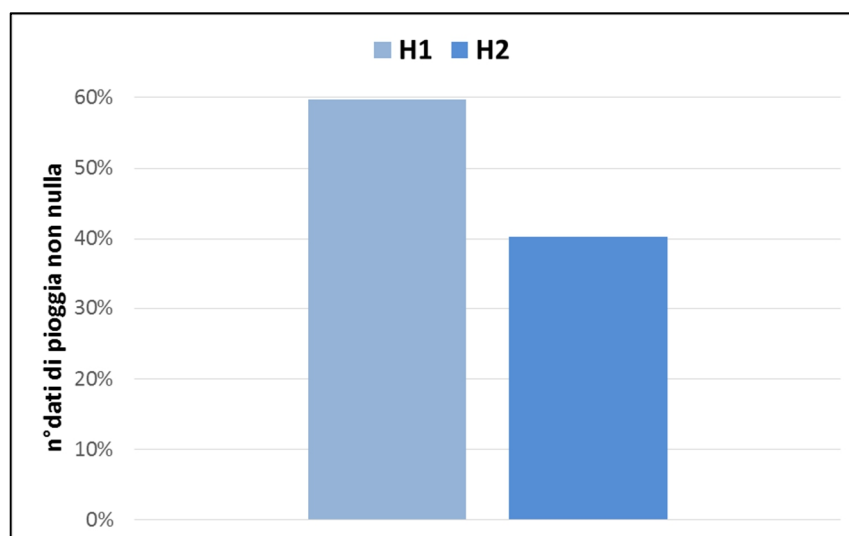


Figura 4.13 – Confronto dati variabili condizionate – Tutti gli eventi

Sempre relativamente ad ogni variabile, per quel che concerne i parametri  $\alpha$  e  $\beta$ , sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche (Appendice B – Figure B.19 e B.20 – Tabelle B.13 e B.14).

Procedendo al calcolo di  $R^2$ , come descritto nel paragrafo 4.1.4, il risultato ha portato a valori di quest'ultimo superiori a 0,91 ( $H_1$ ) e superiori a 0,93 ( $H_2$ ), per tutte le stazioni pluviometriche esaminate, denotando un'ottima capacità del modello di adattarsi ai dati osservati.

Partendo dalla variabile  $H_1$ , vengono illustrati, a titolo d'esempio, i cartogrammi probabilistici relativi ad 8 pluviometri, uno per ogni area d'allertamento (Figura 4.14).

Sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei frattili (Figura 4.15a – mappa per  $F = 0,9$  – Tabella 4.6). La pioggia successiva a pioggia nulla o di bassa intensità ( $H_1$ ) è risultata essere più intensa su quasi tutta la fascia tirrenica e in generale nel sud Calabria, toccando anche dei punti della costa ionica, al contrario si registrano valori bassi su Sila e Pollino.

Viene inoltre illustrata la mappa suddivisa per ZDA (Figura 4.15b). Nel seguito anche il grafico relativo ai percentili medi (Figura 4.16) ed i valori delle diverse statistiche (Tabella 4.7) sempre per le diverse aree d'allerta.

STATISTICHE	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Minimo (mm/20min)	0,95	1,75	2,66
Massimo (mm/20min)	1,93	3,91	6,57
Media (mm/20min)	1,37	2,59	4,14
Deviazione Standard (mm/20min)	0,18	0,35	0,60
Coefficiente di Variazione (-)	0,13	0,13	0,14

Tabella 4.6 – Statistiche dei frattili –  $H_1$  – Tutti gli eventi



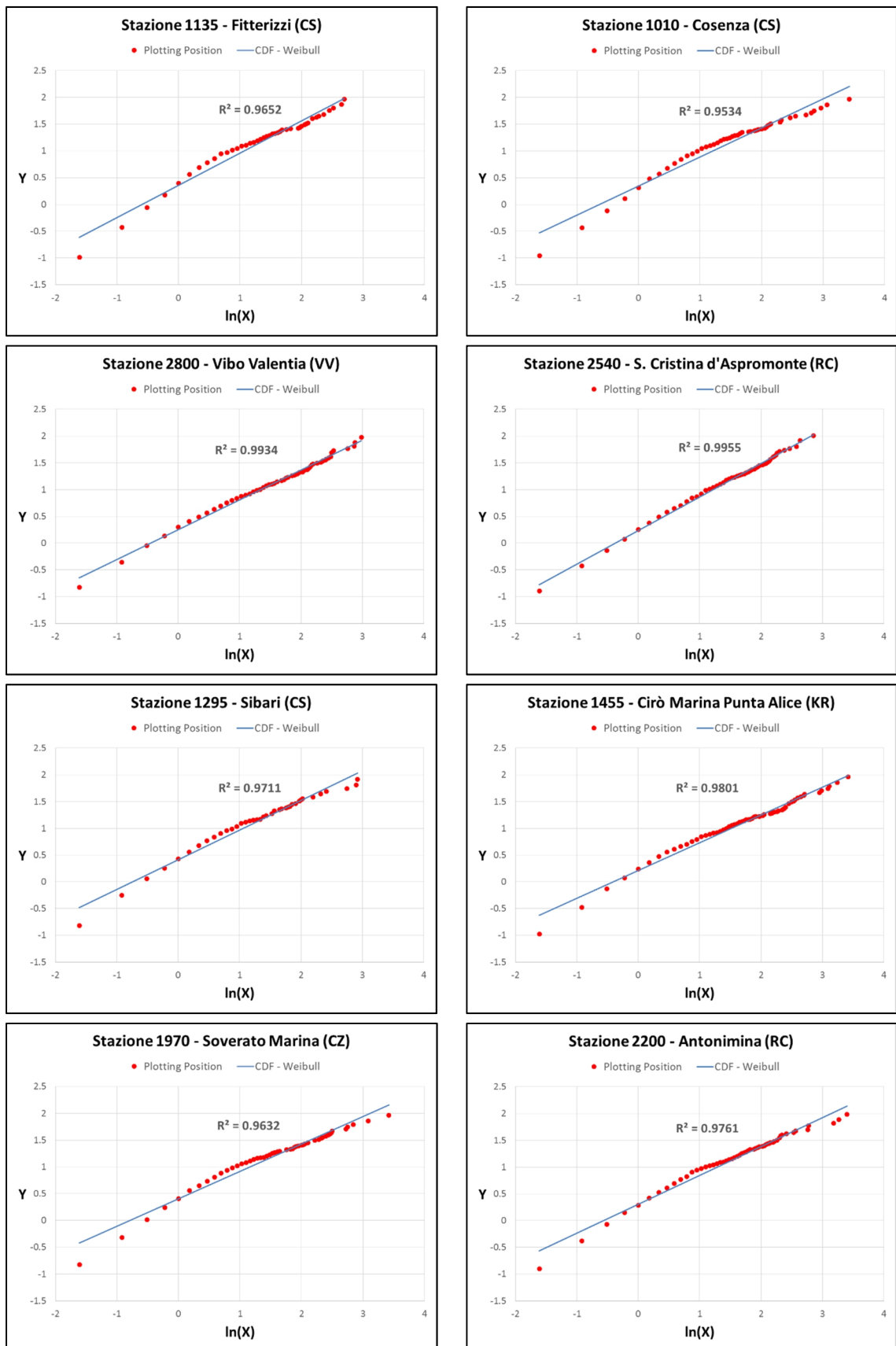


Figura 4.14 – Alcuni cartogrammi probabilistici – H<sub>1</sub> – Tutti gli eventi

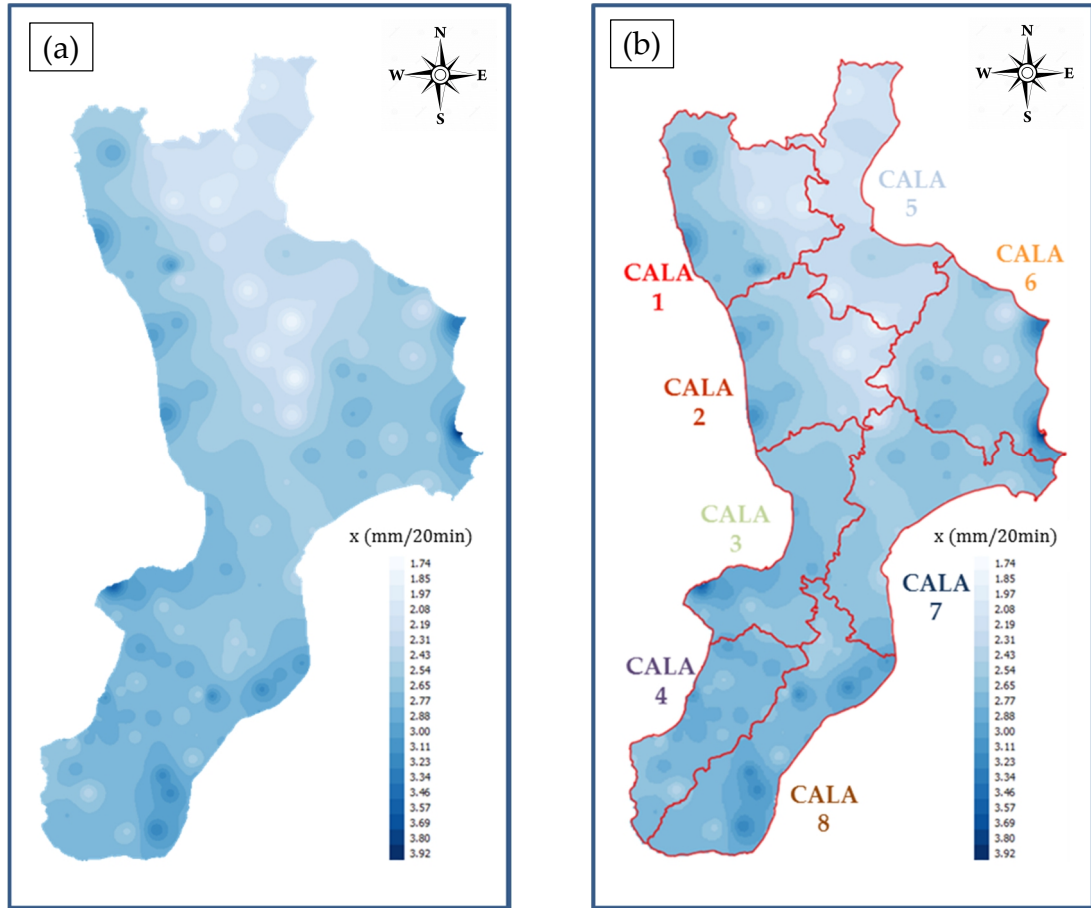


Figura 4.15 – Mappa frattili –  $F = 0,9$  –  $H_1$  – Tutti gli eventi. a) Generale. b) ZDA

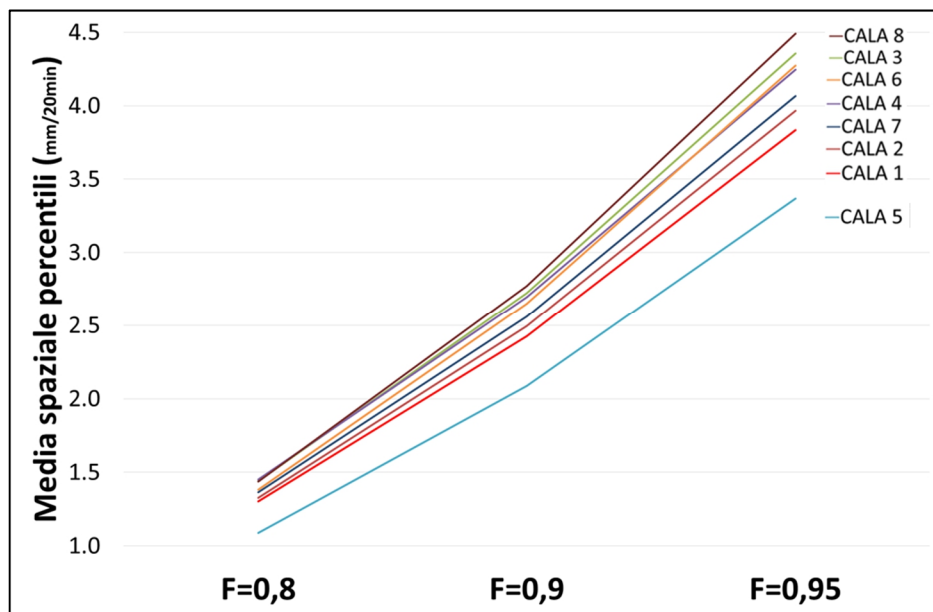


Figura 4.16 – Frattili medi –  $H_1$  – Tutti gli eventi – ZDA

Zona di Allertamento	Statistiche	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Cala 1	$X_{min}$ (mm/20min)	1,03	1,89	2,94
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,30	2,42	3,83
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,68	3,12	5,35
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,19	0,38	0,66
	$CV$ (-)	0,15	0,16	0,17
Cala 2	$X_{min}$ (mm/20min)	1,07	1,89	2,89
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,33	2,49	3,97
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,66	3,09	4,88
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,18	0,36	0,62
	$CV$ (-)	0,13	0,15	0,16
Cala 3	$X_{min}$ (mm/20min)	1,27	2,42	3,67
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,44	2,72	4,35
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,81	3,58	5,91
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,12	0,25	0,48
	$CV$ (-)	0,08	0,09	0,11
Cala 4	$X_{min}$ (mm/20min)	1,28	2,35	3,58
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,45	2,69	4,25
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,57	3,02	4,88
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,09	0,17	0,32
	$CV$ (-)	0,06	0,06	0,08
Cala 5	$X_{min}$ (mm/20min)	0,95	1,75	2,69
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,09	2,09	3,37
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,29	2,44	3,89
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,09	0,17	0,30
	$CV$ (-)	0,08	0,08	0,09
Cala 6	$X_{min}$ (mm/20min)	1,00	1,75	2,66
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,38	2,65	4,27
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,93	3,91	6,57
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,22	0,49	0,87
	$CV$ (-)	0,16	0,18	0,20
Cala 7	$X_{min}$ (mm/20min)	1,15	2,32	3,86
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,36	2,56	4,07
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,52	2,75	4,42
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,10	0,13	0,16

	$CV (-)$	0,08	0,05	0,04
Cala 8	$X_{min} (mm/20min)$	1,25	2,37	3,80
	$X_{med} (mm/20min)$	1,44	2,77	4,49
	$X_{max} (mm/20min)$	1,70	3,20	5,49
	$\sigma_x (mm/20min)$	0,13	0,26	0,47
	$CV (-)$	0,09	0,09	0,10

Tabella 4.7 – Statistiche dei frattili – H<sub>1</sub> – Tutti gli eventi – ZDA

Per quel che concerne l'intensità di pioggia media (mm/20min) successiva a pioggia nulla o di bassa intensità (H<sub>1</sub>), l'area del *Versante Ionico Settentrionale* (Cala 5) ha presentato valori generalmente meno elevati rispetto alle rimanenti zone, le quali hanno registrato intensità abbastanza simili tra loro.

Passando alle variabilità spaziali dell'intensità di pioggia (mm/20min), ovvero al coefficiente di variazione, i valori più ampi si sono registrati nelle aree nord e centro-nord tirreniche (Cala 1 e Cala2) e nella parte centro-nord ionica (Cala 6), al contrario la variabilità più bassa si è avuta nella zona Cala 7.

Passando alla variabile H<sub>2</sub>, vengono illustrati, a titolo d'esempio, i cartogrammi probabilistici relativi ad 8 pluviometri, uno per ogni area d'allertamento (Figura 4.17). Sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei frattili (Figura 4.18a – mappa per F = 0,9 – Tabella 4.8).

Viene inoltre illustrata la mappa suddivisa per ZDA (Figura 4.18b). Nel seguito anche il grafico relativo ai percentili medi (Figura 4.19) ed i valori delle diverse statistiche (Tabella 4.9) sempre per le diverse aree d'allerta.

La pioggia successiva a pioggia di elevata intensità (H<sub>2</sub>) è risultata essere più intensa sulla fascia ionica centro-meridionale, con valori bassi su Sila, Pollino, alto Ionio e medio alto Tirreno.

STATISTICHE	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Minimo (mm/20min)	2,85	4,09	5,16
Massimo (mm/20min)	6,23	9,48	12,91
Media (mm/20min)	4,34	6,52	8,81
Deviazione Standard (mm/20min)	0,67	1,08	1,57
Coefficiente di Variazione (-)	0,16	0,17	0,18

Tabella 4.8 – Statistiche dei frattili – H<sub>2</sub> – Tutti gli eventi

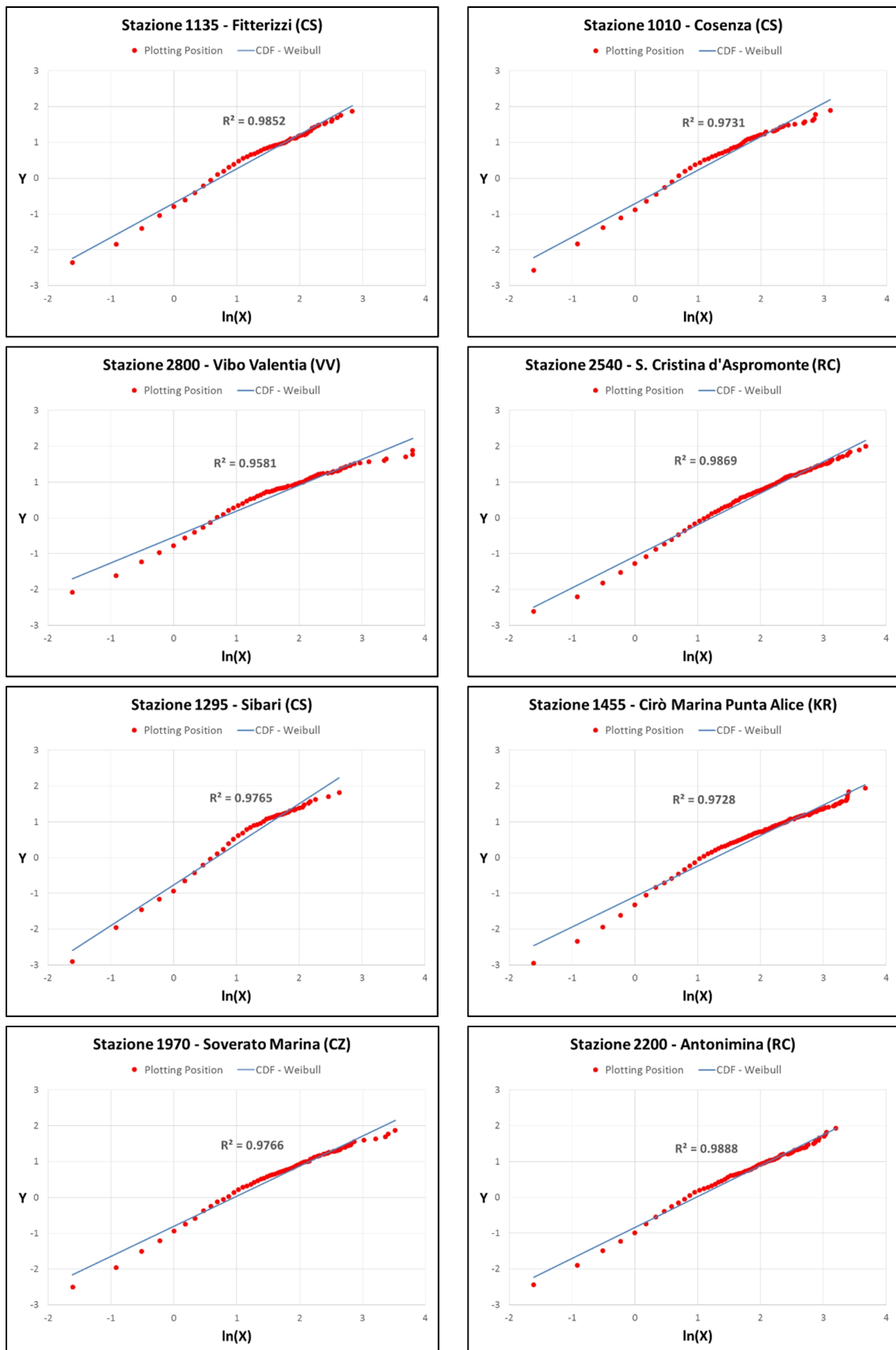


Figura 4.17 – Alcuni cartogrammi probabilistici –  $H_2$  – Tutti gli eventi

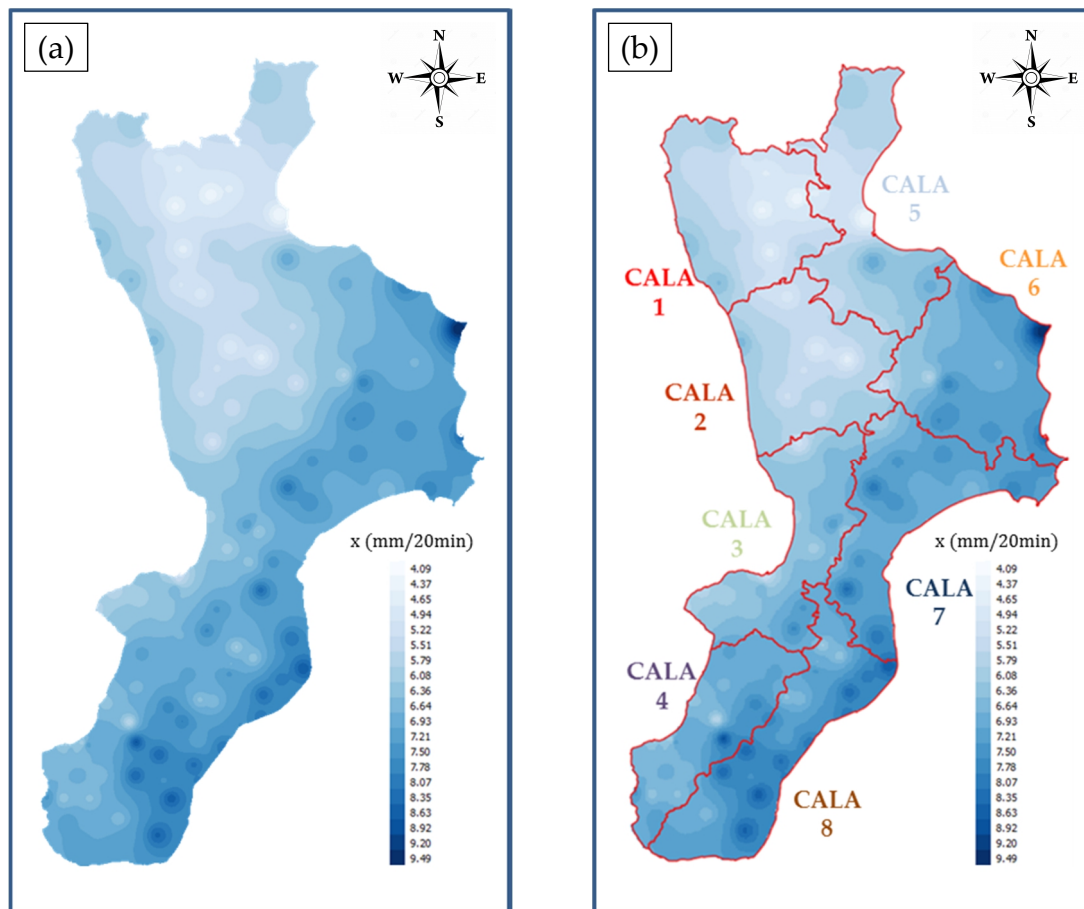


Figura 4.18 – Mappa frattili –  $F = 0,9$  –  $H_2$  – Tutti gli eventi. a) Generale. b) ZDA

Zona di Allertamento	Statistiche	$F = 0,8$	$F = 0,9$	$F = 0,95$
Cala 1	$X_{min}$ (mm/20min)	2,85	4,10	5,35
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,54	5,29	7,11
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,19	6,41	9,11
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,38	0,75	1,21
	$CV$ (-)	0,11	0,14	0,17
Cala 2	$X_{min}$ (mm/20min)	3,19	4,57	5,85
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,64	5,40	7,21
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,19	6,45	8,86
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,32	0,57	0,88
	$CV$ (-)	0,09	0,11	0,12
Cala 3	$X_{min}$ (mm/20min)	3,36	5,11	6,64
	$X_{med}$ (mm/20min)	4,02	6,16	8,44
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,74	7,56	10,75
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,36	0,66	1,06
	$CV$ (-)	0,09	0,11	0,13

Cala 4	$X_{min}$ (mm/20min)	3,85	5,57	7,14
	$X_{med}$ (mm/20min)	4,42	6,69	9,08
	$X_{max}$ (mm/20min)	5,78	8,67	11,69
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,40	0,62	0,91
	$CV$ (-)	0,09	0,09	0,10
Cala 5	$X_{min}$ (mm/20min)	2,98	4,09	5,16
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,80	5,54	7,31
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,62	6,84	9,13
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,49	0,77	1,07
	$CV$ (-)	0,13	0,14	0,15
Cala 6	$X_{min}$ (mm/20min)	3,59	5,19	6,80
	$X_{med}$ (mm/20min)	4,88	7,22	9,65
	$X_{max}$ (mm/20min)	6,23	9,48	12,91
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,55	0,96	1,45
	$CV$ (-)	0,11	0,13	0,15
Cala 7	$X_{min}$ (mm/20min)	4,17	6,24	8,39
	$X_{med}$ (mm/20min)	4,76	7,27	9,92
	$X_{max}$ (mm/20min)	5,42	8,16	11,38
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,38	0,55	0,78
	$CV$ (-)	0,08	0,08	0,08
Cala 8	$X_{min}$ (mm/20min)	4,25	6,04	7,83
	$X_{med}$ (mm/20min)	4,99	7,51	10,14
	$X_{max}$ (mm/20min)	5,79	8,60	12,23
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,43	0,77	1,23
	$CV$ (-)	0,09	0,10	0,12

Tabella 4.9 – Statistiche dei frattili – H<sub>2</sub> – Tutti gli eventi – ZDA

Per quel che concerne l'intensità di pioggia media (mm/20min) successiva a pioggia ad alta intensità (H<sub>2</sub>), è risultata essere meno gravosa nelle zone comprese tra il *Versante Ionico Settentrionale* ed il *Versante Tirrenico Centro-Settentrionale* (Cala 5, Cala 1 e Cala 2), i valori crescono nelle aree del *Versante Tirrenico* che vanno da Cala 3 a Cala 4, le piogge maggiormente elevate hanno riguardato il *Versante Ionico Centro-Meridionale* (Cala 6, Cala 7 e Cala 8).

Passando alle variabilità spaziali dell'intensità di pioggia (mm/20min), ovvero al coefficiente di variazione, i valori più ampi sono stati registrati nelle aree tra il

Versante Tirrenico Settentrionale ed il Versante Ionico Centro-Settentrionale (Cala 1, Cala 5 e Cala 6), al contrario la variabilità più bassa si è avuta nella zona Cala 7.

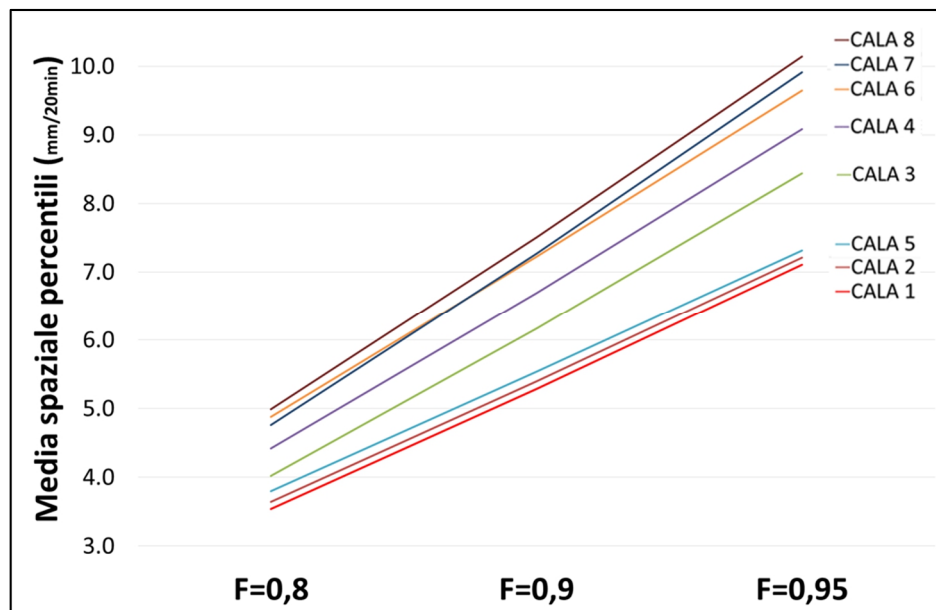


Figura 4.19 – Frattili medi – H<sub>2</sub> – Tutti gli eventi – ZDA

#### 4.3.2 Analisi per tipologia d'evento

Sono stati ivi considerati tutti gli eventi suddivisi in base alla tipologia (vedasi Capitolo 3). Per ogni cluster, si è proceduto alla raccolta dei dati campionari di ogni stazione pluviometrica, pertanto, alla sovra citata H, già ricavata per l'analisi delle distribuzioni marginali, si è aggiunta Z, e quindi, in base ai valori assunti da quest'ultima, sono state ricavate le variabili H<sub>1</sub> ed H<sub>2</sub>.

Per ogni variabile, l'analisi ha riguardato 134 stazioni per i cicloni ordinari, 137 stazioni per i cicloni straordinari, sono state escluse le celle temporalesche isolate, per le motivazioni viste nel paragrafo 4.2.2.

Dunque per ogni combinazione comprendente cluster-variabile-pluviometro, è stata effettuata la stima dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  della distribuzione di Weibull, la verifica del modello ed il calcolo dei frattili ad F fissate pari a 0,8-0,9-0,95.

Prima di ciò, è stato eseguito, per ogni tipologia d'evento, un confronto tra il numero di dati di pioggia (> 0 mm) di H<sub>1</sub> e di H<sub>2</sub> (Figura 4.20).



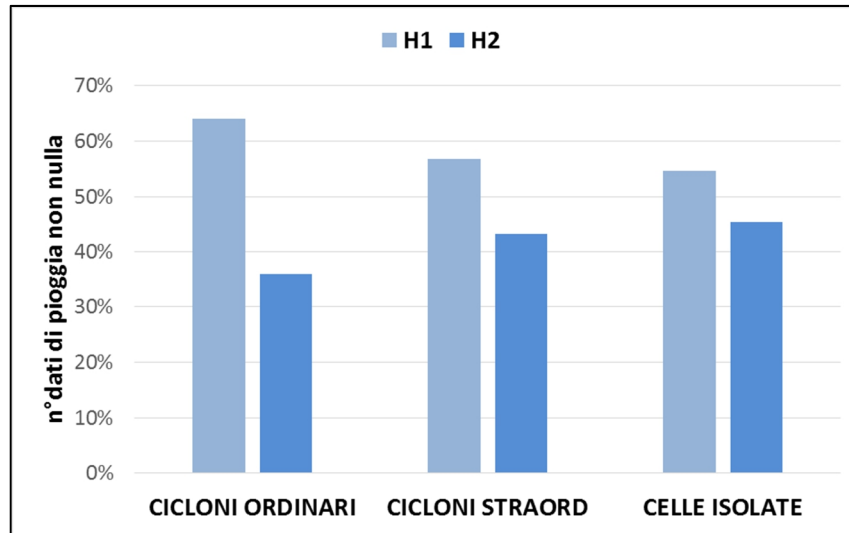


Figura 4.20 – Confronto dati variabili condizionate – Tipologia d'evento

Si è osservato come, il rapporto tra il numero di dati di pioggia successiva a pioggia di media ed elevata intensità ( $H_2$ ) ed il numero di dati di pioggia successiva a pioggia nulla o di bassa intensità ( $H_1$ ), aumenti gradualmente passando dai cicloni ordinari a quelli straordinari fino alle celle temporalesche isolate, con valori rispettivamente pari al 56%, 76% e 83%, confermando il noto concetto di elevata impulsività relativamente a quest'ultimo pattern meteorologico (es. De Luca C. et al., 2010).

Iniziando dal cluster “**cicloni ordinari**”, sempre per ogni variabile, sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  (Appendice B – Figure B.21 e B.22 – Tabelle B.15 e B.16).

Procedendo al calcolo di  $R^2$ , come descritto nel paragrafo 4.1.4, il risultato ha portato a valori di quest'ultimo superiori a 0,87 per  $H_1$  e superiori a 0,92 per  $H_2$ , relativamente a tutte le stazioni pluviometriche esaminate, denotando una buona capacità del modello di adattarsi ai dati osservati.

Partendo dalla variabile  $H_1$ , vengono illustrati, a titolo d'esempio, i cartogrammi probabilistici relativi ad 8 pluviometri, uno per ogni area d'allertamento (Figura 4.21). Sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei frattili (Figura 4.22a – mappa per  $F = 0,9$  – Tabella 4.10). La pioggia successiva a pioggia nulla o di bassa intensità ( $H_1$ ) è risultata essere più intensa su tutta la fascia tirrenica, con valori bassi su Sila e Pollino.

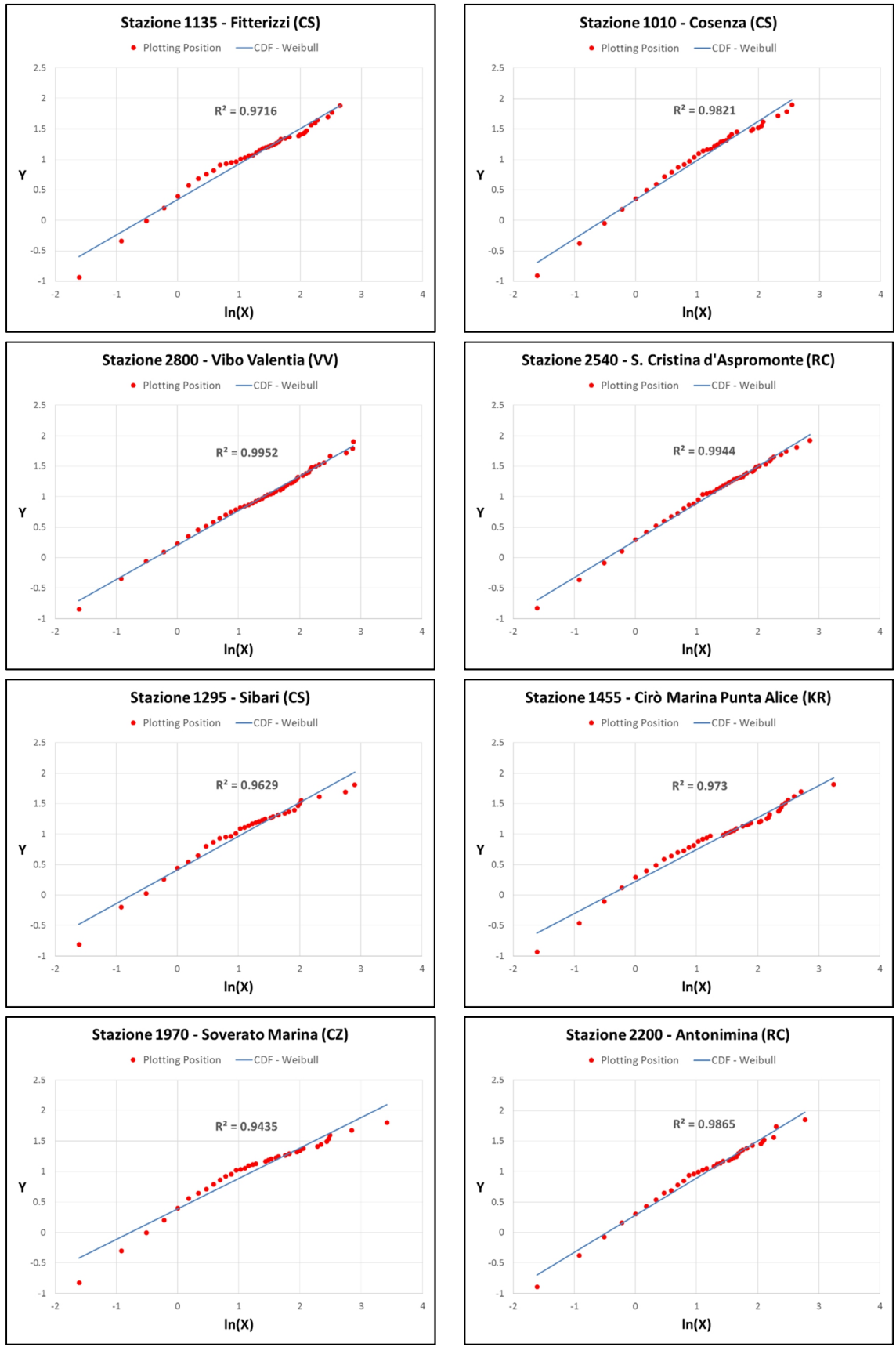


Figura 4.21 – Alcuni cartogrammi probabilistici –  $H_1$  – Cicloni ordinari

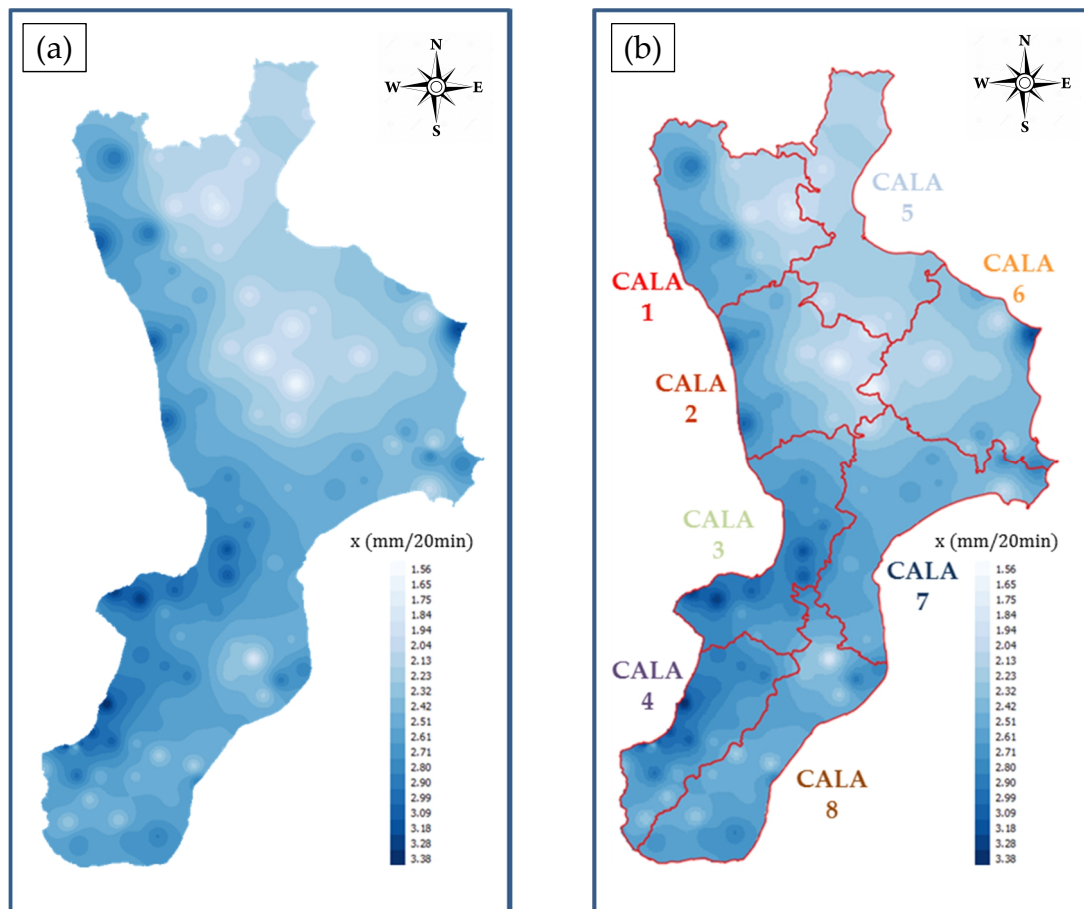


Figura 4.22 – Mappa frattili –  $F = 0,9$  –  $H_1$  – Cicloni ordinari. a) Generale. b) ZDA

STATISTICHE	$F = 0,8$	$F = 0,9$	$F = 0,95$
Minimo (mm/20min)	0,96	1,56	2,22
Massimo (mm/20min)	1,78	3,38	5,42
Media (mm/20min)	1,35	2,48	3,88
Deviazione Standard (mm/20min)	0,19	0,38	0,66
Coefficiente di Variazione (-)	0,14	0,15	0,17

Tabella 4.10 – Statistiche dei frattili –  $H_1$  – Cicloni ordinari

Sempre in merito ad  $H_1$ , è stata illustrata sopra la mappa suddivisa per ZDA (Figura 4.22b). Nel seguito anche il grafico relativo ai percentili medi (Figura 4.23) ed i valori delle diverse statistiche (Tabella 4.11) sempre per le diverse aree d'allerta.

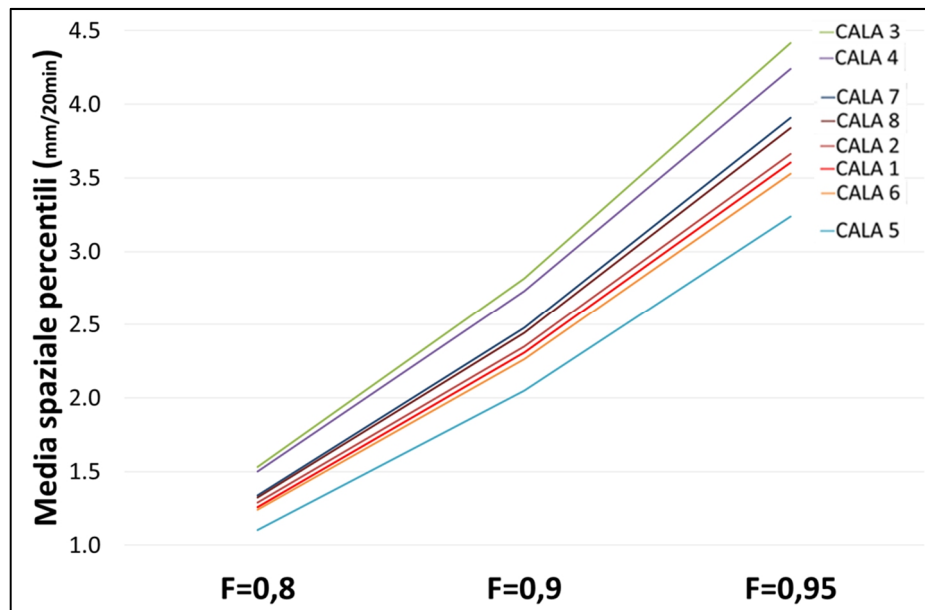


Figura 4.23 – Frattili medi – H<sub>1</sub> – Cicloni ordinari – ZDA

Zona di Allertamento	Statistiche	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Cala 1	$X_{min}$ (mm/20min)	0,96	1,69	2,46
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,26	2,31	3,60
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,60	3,09	5,14
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,20	0,41	0,71
	$CV$ (-)	0,16	0,18	0,20
Cala 2	$X_{min}$ (mm/20min)	1,00	1,61	2,29
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,29	2,35	3,66
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,61	3,03	5,04
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,18	0,43	0,80
	$CV$ (-)	0,14	0,18	0,22
Cala 3	$X_{min}$ (mm/20min)	1,35	2,47	3,75
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,53	2,82	4,42
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,73	3,29	5,42
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,12	0,24	0,48
	$CV$ (-)	0,08	0,09	0,11
Cala 4	$X_{min}$ (mm/20min)	1,24	2,24	3,40
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,50	2,73	4,24
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,78	3,38	5,40
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,14	0,31	0,57
	$CV$ (-)	0,09	0,11	0,13

Cala 5	$X_{min}$ (mm/20min)	1,02	1,77	2,60
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,10	2,05	3,24
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,22	2,25	3,56
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,06	0,13	0,26
	$CV$ (-)	0,06	0,07	0,08
Cala 6	$X_{min}$ (mm/20min)	0,97	1,56	2,22
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,24	2,26	3,53
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,62	3,20	5,27
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,17	0,39	0,73
	$CV$ (-)	0,14	0,17	0,21
Cala 7	$X_{min}$ (mm/20min)	1,07	2,01	3,20
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,34	2,48	3,91
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,55	2,79	4,45
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,12	0,17	0,30
	$CV$ (-)	0,09	0,07	0,08
Cala 8	$X_{min}$ (mm/20min)	1,04	1,78	2,65
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,32	2,45	3,84
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,59	2,84	4,63
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,12	0,25	0,47
	$CV$ (-)	0,09	0,10	0,12

Tabella 4.11 – Statistiche dei frattili – H<sub>1</sub> – Cicloni ordinari – ZDA

Per quel che concerne l'intensità di pioggia media (mm/20min) successiva a pioggia nulla o di bassa intensità (H<sub>1</sub>), le aree dei *Versanti Tirrenici Centrali e Meridionali* (Cala 3 e Cala 4) hanno presentato valori generalmente più elevati rispetto alle rimanenti zone, le quali hanno mostrato intensità abbastanza simili tra loro tranne che per il *Versante Ionico Settentrionale* (Cala 5) che ha registrato i valori più bassi.

Passando alle variabilità spaziali dell'intensità di pioggia (mm/20min), ovvero al coefficiente di variazione, i valori più ampi si sono registrati nelle aree nord e centro-nord tirreniche (Cala 1 e Cala 2) e nella parte centro-nord ionica (Cala 6), distaccandosi dalle rimanenti aree tra le quali Cala 5 che ha registrato la variabilità più bassa.

Passando alla variabile H<sub>2</sub>, vengono illustrati, a titolo d'esempio, i cartogrammi probabilistici relativi ad 8 pluviometri, uno per ogni area d'allertamento (Figura 4.24).

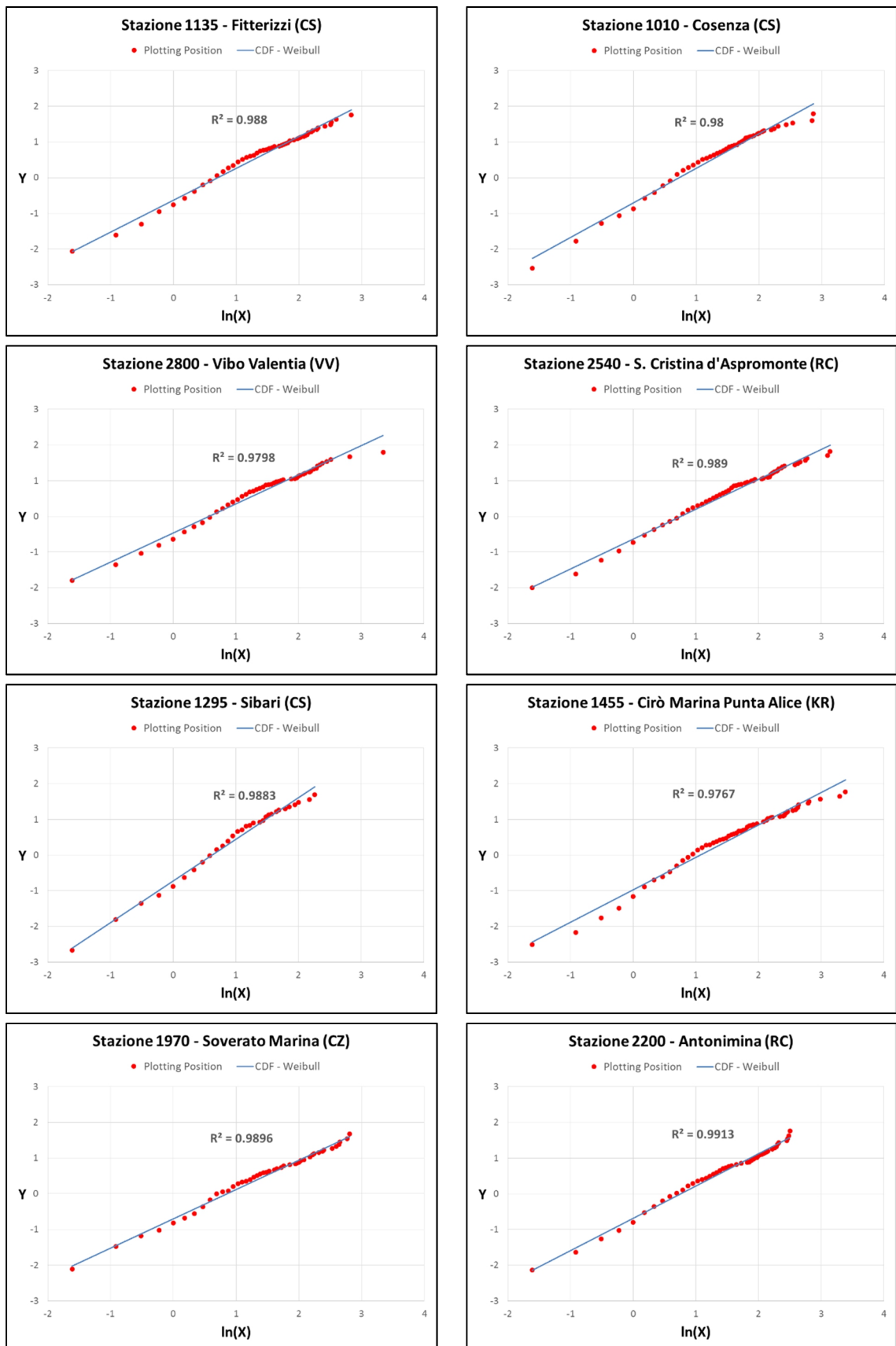


Figura 4.24 – Alcuni cartogrammi probabilistici – H<sub>2</sub> – Cicloni ordinari

Sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei frattili (Figura 4.25a – mappa per  $F = 0,9$  – Tabella 4.12). Viene inoltre illustrata la mappa suddivisa per ZDA (Figura 4.25b). Nel seguito anche il grafico relativo ai percentili medi (Figura 4.26) ed i valori delle diverse statistiche (Tabella 4.13) sempre per le diverse aree d'allerta.

La pioggia successiva a pioggia di media o elevata intensità ( $H_2$ ) è risultata essere più intensa sulla costa sud ionica, con valori bassi in particolare sulla Sila.

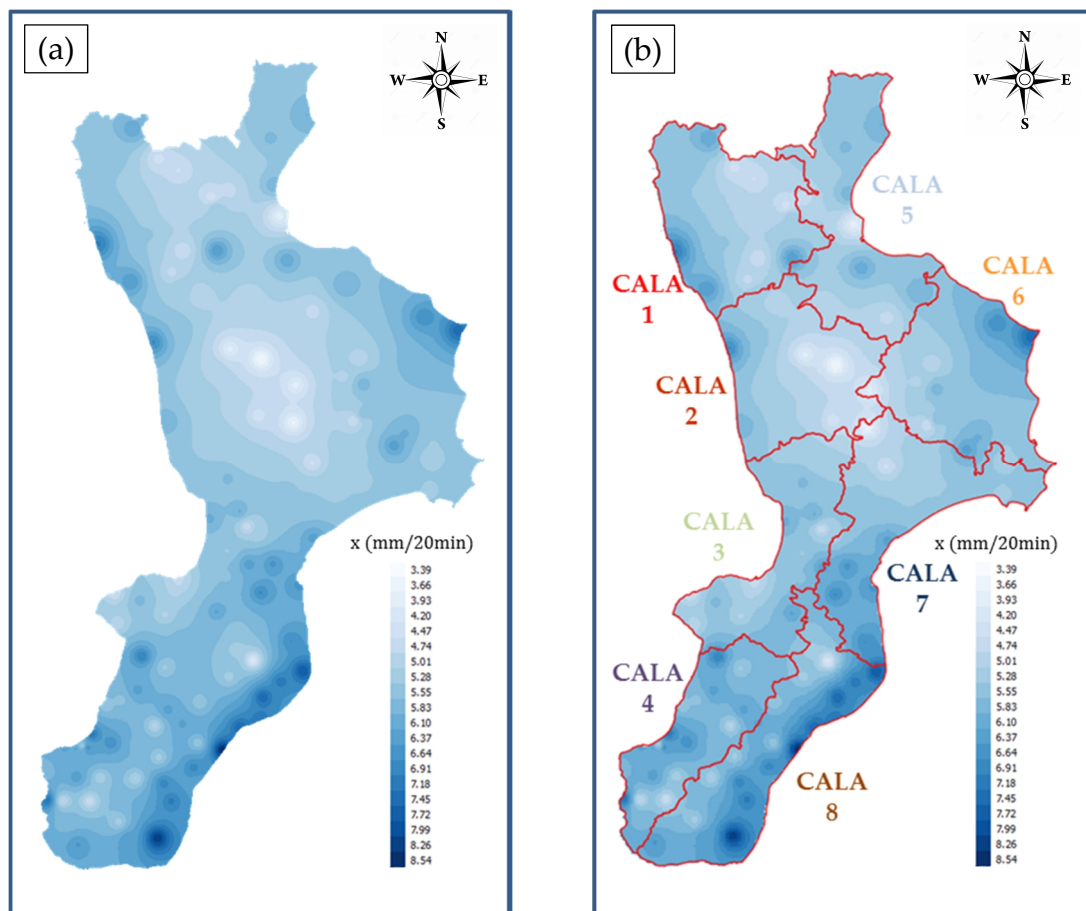


Figura 4.25 – Mappa frattili –  $F = 0,9$  –  $H_2$  – Cicloni ordinari. a) Generale. b) ZDA

STATISTICHE	$F = 0,8$	$F = 0,9$	$F = 0,95$
Minimo (mm/20min)	2,50	3,39	4,25
Massimo (mm/20min)	5,40	8,53	11,94
Media (mm/20min)	3,37	5,57	7,49
Deviazione Standard (mm/20min)	0,53	0,92	1,41
Coefficiente di Variazione (-)	0,14	0,17	0,19

Tabella 4.12 – Statistiche dei frattili –  $H_2$  – Cicloni ordinari

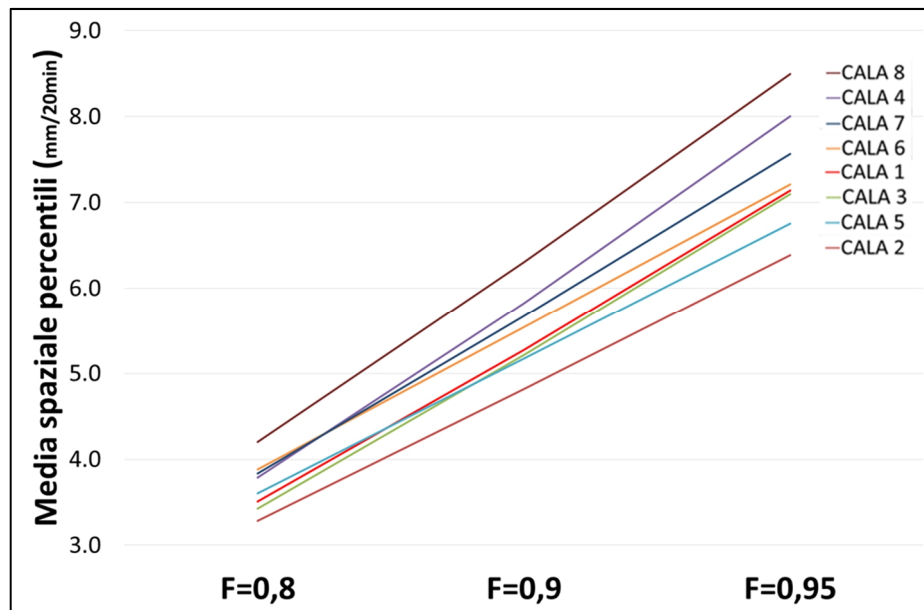


Figura 4.26 – Frattili medi – H<sub>2</sub> – Cicloni ordinari – ZDA

Zona di Allertamento	Statistiche	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Cala 1	$X_{min}$ (mm/20min)	3,02	4,30	5,57
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,51	5,28	7,14
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,13	6,95	10,34
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,34	0,79	1,39
	$CV$ (-)	0,10	0,15	0,19
Cala 2	$X_{min}$ (mm/20min)	2,50	3,39	4,25
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,29	4,82	6,39
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,37	6,67	9,11
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,53	0,94	1,41
	$CV$ (-)	0,16	0,19	0,22
Cala 3	$X_{min}$ (mm/20min)	2,93	4,47	6,06
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,43	5,21	7,10
	$X_{max}$ (mm/20min)	3,94	6,12	8,46
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,29	0,48	0,74
	$CV$ (-)	0,08	0,09	0,10
Cala 4	$X_{min}$ (mm/20min)	3,18	4,56	5,89
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,79	5,82	8,00
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,48	7,19	10,45
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,35	0,70	1,16
	$CV$ (-)	0,09	0,12	0,15



Cala 5	$X_{min}$ (mm/20min)	2,80	3,81	4,78
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,60	5,17	6,75
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,12	6,00	7,91
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,39	0,64	0,94
	$CV$ (-)	0,11	0,12	0,14
Cala 6	$X_{min}$ (mm/20min)	2,87	3,85	4,78
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,88	5,54	7,21
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,94	7,32	9,78
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,51	0,84	1,23
	$CV$ (-)	0,13	0,15	0,17
Cala 7	$X_{min}$ (mm/20min)	3,07	4,43	5,81
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,84	5,76	7,57
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,56	6,67	9,07
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,40	0,68	1,00
	$CV$ (-)	0,10	0,12	0,13
Cala 8	$X_{min}$ (mm/20min)	3,09	4,04	4,93
	$X_{med}$ (mm/20min)	4,20	6,30	8,50
	$X_{max}$ (mm/20min)	5,40	8,53	11,94
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,64	1,15	1,75
	$CV$ (-)	0,15	0,18	0,21

Tabella 4.13 – Statistiche dei frattili – H<sub>2</sub> – Cicloni ordinari – ZDA

Per quel che concerne l'intensità di pioggia media (mm/20min) successiva a pioggia ad alta intensità (H<sub>2</sub>), è risultata più gravosa nelle zone all'estremo sud (Cala 4 e Cala 8), le piogge meno elevate hanno riguardato il *Versante Tirrenico Centro-Settentrionale* (Cala 2), le rimanenti aree hanno registrato valori intermedi.

Passando alle variabilità spaziali dell'intensità di pioggia (mm/20min), ovvero al coefficiente di variazione, i valori più ampi si sono registrati nelle aree del *Versante Tirrenico Centro-Settentrionale* e del *Versante Ionico Meridionale* (Cala 2 e Cala 8), al contrario la variabilità più bassa si è avuta nella zona Cala 3.

Passando ora al cluster “**cicloni straordinari**”, sempre per ogni variabile, sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei parametri  $\alpha$  e  $\beta$  (Appendice B – Figure B.23 e B.24 – Tabelle B.17 e B.18).

Procedendo al calcolo di  $R^2$ , come descritto nel paragrafo 4.1.4, il risultato ha portato a valori di quest’ultimo superiori a 0,88 per  $H_1$  e superiori a 0,90 per  $H_2$ , relativamente a tutte le stazioni pluviometriche esaminate, denotando una buona capacità del modello di adattarsi ai dati osservati.

Partendo dalla variabile  $H_1$ , vengono illustrati, a titolo d’esempio, i cartogrammi probabilistici relativi ad 8 pluviometri, uno per ogni area d’allertamento (Figura 4.27).

Sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei frattili (Figura 4.28a – mappa per  $F = 0,9$  – Tabella 4.14). Viene inoltre illustrata la mappa suddivisa per ZDA (Figura 4.28b). Nel seguito anche il grafico relativo ai percentili medi (Figura 4.29) ed i valori delle diverse statistiche (Tabella 4.15) sempre per le diverse aree d’allerta.

La pioggia successiva a pioggia nulla o di bassa intensità ( $H_1$ ) è risultata essere più intensa su alto Tirreno, costa ionica meridionale e centrale, con valori bassi su Sila, Pollino ed alto Ionio.

STATISTICHE	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Minimo (mm/20min)	0,91	1,61	2,43
Massimo (mm/20min)	1,85	3,48	5,84
Media (mm/20min)	1,33	2,49	3,93
Deviazione Standard (mm/20min)	0,19	0,39	0,70
Coefficiente di Variazione (-)	0,14	0,16	0,18

Tabella 4.14 – Statistiche dei frattili –  $H_1$  – Cicloni straordinari

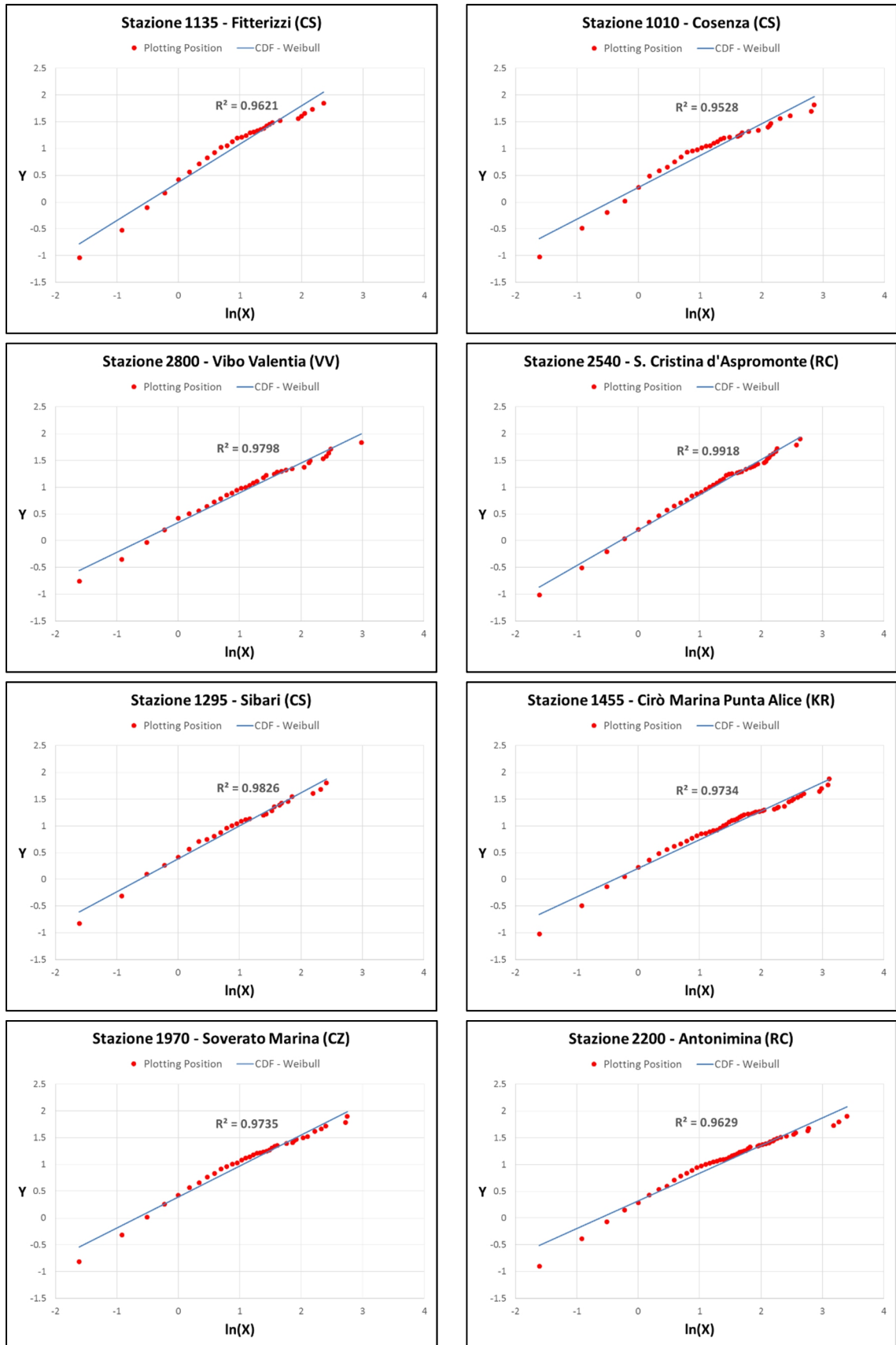


Figura 4.27 – Alcuni cartogrammi probabilistici – H<sub>1</sub> – Ciclone straordinari

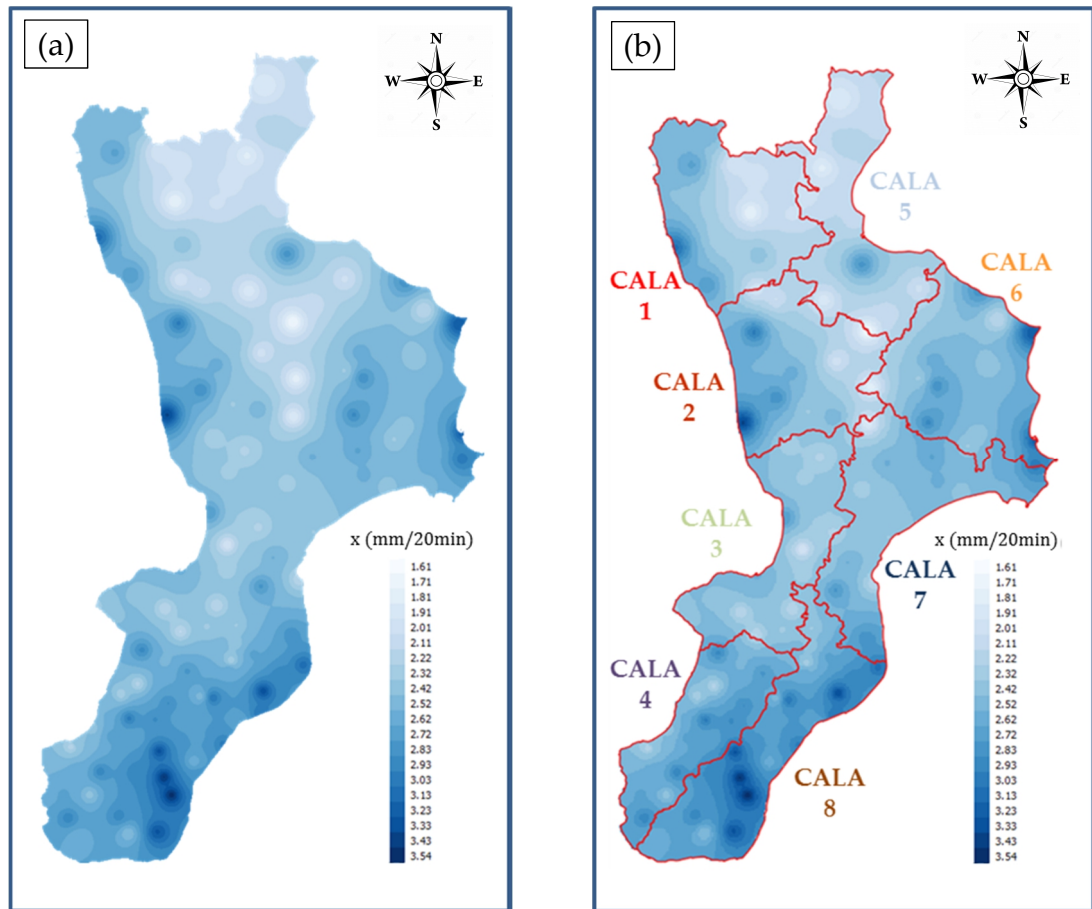


Figura 4.28 – Mappa frattili –  $F = 0,9$  –  $H_1$  – Cicloni straordinari. a) Generale. b) ZDA

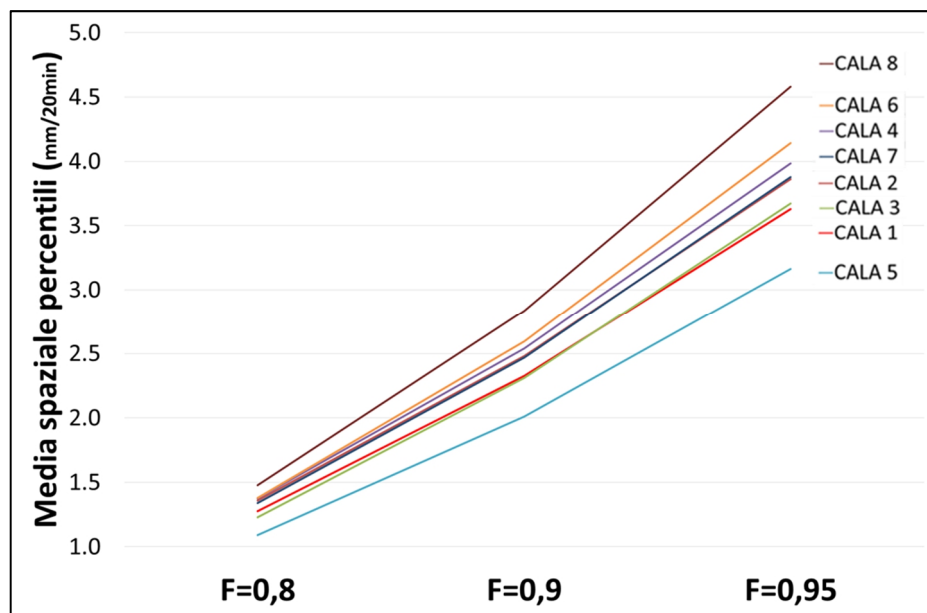


Figura 4.29 – Frattili medi –  $H_1$  – Cicloni straordinari – ZDA

Zona di Allertamento	Statistiche	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Cala 1	$X_{min}$ (mm/20min)	1,05	1,71	2,45
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,28	2,33	3,63
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,82	3,43	5,52
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,20	0,47	0,91
	CV (-)	0,16	0,20	0,25
Cala 2	$X_{min}$ (mm/20min)	1,04	1,83	2,78
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,36	2,48	3,86
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,78	3,35	5,33
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,22	0,43	0,71
	CV (-)	0,16	0,17	0,19
Cala 3	$X_{min}$ (mm/20min)	1,03	1,93	3,05
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,23	2,31	3,67
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,39	2,72	4,45
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,08	0,18	0,36
	CV (-)	0,07	0,08	0,10
Cala 4	$X_{min}$ (mm/20min)	1,08	2,11	3,19
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,38	2,54	3,98
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,65	2,96	4,74
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,15	0,24	0,40
	CV (-)	0,11	0,10	0,10
Cala 5	$X_{min}$ (mm/20min)	0,91	1,61	2,43
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,09	2,01	3,16
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,44	2,76	4,46
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,14	0,27	0,47
	CV (-)	0,13	0,13	0,15
Cala 6	$X_{min}$ (mm/20min)	1,03	1,76	2,62
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,38	2,59	4,14
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,65	3,22	5,84
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,17	0,39	0,77
	CV (-)	0,13	0,15	0,19
Cala 7	$X_{min}$ (mm/20min)	1,15	2,13	3,36
	$X_{med}$ (mm/20min)	1,34	2,47	3,88
	$X_{max}$ (mm/20min)	1,61	2,79	4,47
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,13	0,17	0,24

	$CV (-)$	0,10	0,07	0,06
Cala 8	$X_{min} (mm/20min)$	1,20	2,25	3,43
	$X_{med} (mm/20min)$	1,48	2,84	4,58
	$X_{max} (mm/20min)$	1,85	3,48	5,67
	$\sigma_x (mm/20min)$	0,18	0,35	0,62
	$CV (-)$	0,12	0,12	0,14

Tabella 4.15 – Statistiche dei frattili – H<sub>1</sub> – Cicloni straordinari – ZDA

Per quel che concerne l'intensità di pioggia media (mm/20min) successiva a pioggia nulla o di bassa intensità (H<sub>1</sub>), il *Versante Ionico Meridionale* (Cala 8) ha presentato valori generalmente più elevati rispetto alle rimanenti zone, le quali hanno mostrato intensità abbastanza simili tra loro tranne che per il *Versante Ionico Settentrionale* (Cala 5) che ha registrato i valori più bassi.

Passando alle variabilità spaziali dell'intensità di pioggia (mm/20min), ovvero al coefficiente di variazione, i valori più ampi sono stati registrati nelle aree nord e centro-nord tirreniche (Cala 1 in particolare e Cala2) e nella parte centro-nord ionica (Cala 6), a differenza le aree Cala 3 e Cala 7 hanno mostrato la variabilità più bassa.

Passando alla variabile H<sub>2</sub>, vengono illustrati, a titolo d'esempio, i cartogrammi probabilistici relativi ad 8 pluviometri, uno per ogni area d'allertamento (Figura 4.30). Sono stati mappati spazialmente e tabellate alcune statistiche dei frattili (Figura 4.31a – mappa per F = 0,9 – Tabella 4.16). Viene inoltre illustrata la mappa suddivisa per ZDA (Figura 4.31b). Nel seguito anche il grafico relativo ai percentili medi (Figura 4.32) ed i valori delle diverse statistiche (Tabella 4.17) sempre per le diverse aree d'allerta.

La pioggia successiva a pioggia di media o elevata intensità (H<sub>2</sub>) è risultata essere più intensa sulla fascia ionica centrale e meridionale, con valori bassi su Sila, Pollino, alto Ionio e medio alto Tirreno.

STATISTICHE	F = 0,8	F = 0,9	F = 0,95
Minimo (mm/20min)	0,91	1,61	2,43
Massimo (mm/20min)	1,85	3,48	5,84
Media (mm/20min)	1,33	2,49	3,93
Deviazione Standard (mm/20min)	0,87	1,39	1,99
Coefficiente di Variazione (-)	0,14	0,16	0,18

Tabella 4.16 – Statistiche dei frattili – H<sub>2</sub> – Cicloni straordinari

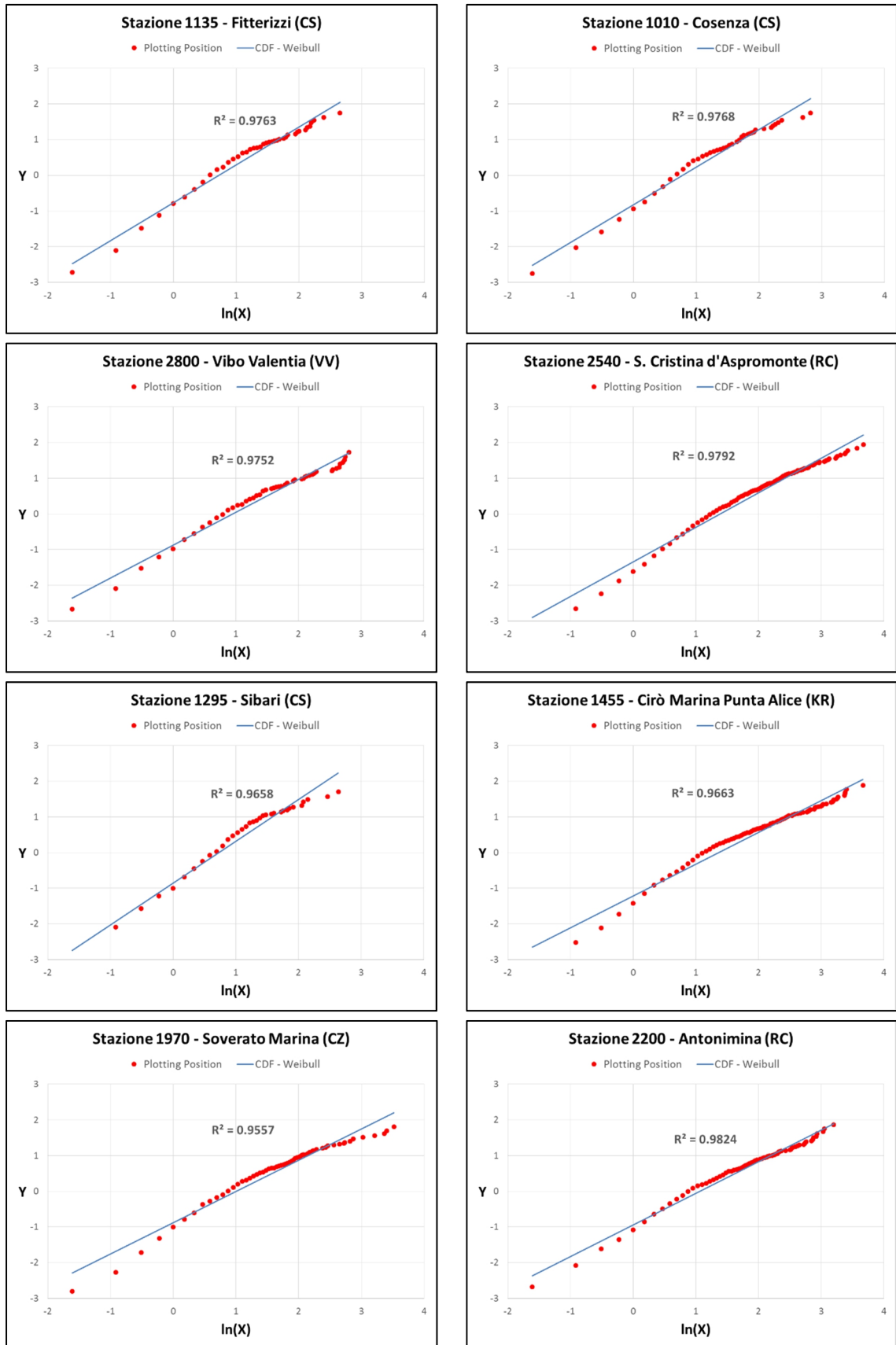


Figura 4.30 – Alcuni cartogrammi probabilistici – H<sub>2</sub> – Ciclone straordinari

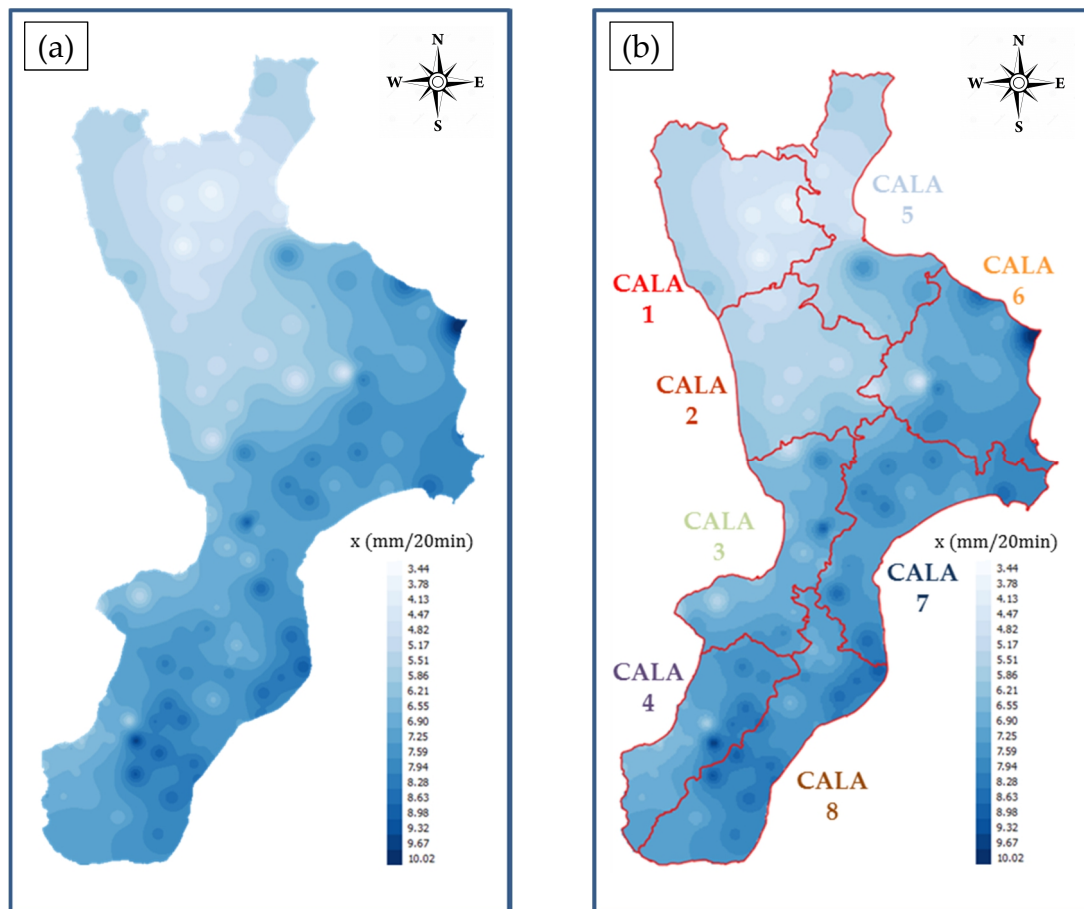


Figura 4.31 – Mappa frattili –  $F = 0,9$  –  $H_2$  – Cicloni straordinari. a) Generale. b) ZDA

Zona di Allertamento	Statistiche	$F = 0,8$	$F = 0,9$	$F = 0,95$
Cala 1	$X_{min}$ (mm/20min)	2,48	3,45	4,39
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,31	4,69	6,07
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,07	5,99	7,96
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,49	0,80	1,14
	$CV$ (-)	0,15	0,17	0,19
Cala 2	$X_{min}$ (mm/20min)	3,16	4,56	5,98
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,73	5,37	7,02
	$X_{max}$ (mm/20min)	4,58	6,55	8,87
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,40	0,60	0,86
	$CV$ (-)	0,11	0,11	0,12
Cala 3	$X_{min}$ (mm/20min)	3,49	4,70	5,84
	$X_{med}$ (mm/20min)	4,41	6,50	8,65
	$X_{max}$ (mm/20min)	5,67	8,76	12,06
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,53	0,96	1,50
	$CV$ (-)	0,12	0,15	0,17



Cala 4	$X_{min}$ (mm/20min)	3,81	5,54	7,29
	$X_{med}$ (mm/20min)	4,70	9,62	9,21
	$X_{max}$ (mm/20min)	6,56	9,51	12,48
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,61	0,92	1,27
	$CV$ (-)	0,13	0,13	0,14
Cala 5	$X_{min}$ (mm/20min)	3,01	4,24	5,30
	$X_{med}$ (mm/20min)	3,78	5,42	7,05
	$X_{max}$ (mm/20min)	5,18	7,59	10,06
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,66	1,05	1,48
	$CV$ (-)	0,18	0,19	0,21
Cala 6	$X_{min}$ (mm/20min)	3,35	4,41	5,26
	$X_{med}$ (mm/20min)	5,07	7,36	9,69
	$X_{max}$ (mm/20min)	6,70	10,01	13,45
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,81	1,39	2,03
	$CV$ (-)	0,16	0,19	0,21
Cala 7	$X_{min}$ (mm/20min)	4,21	6,10	8,01
	$X_{med}$ (mm/20min)	5,07	7,62	10,29
	$X_{max}$ (mm/20min)	5,81	8,58	11,44
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,50	0,72	1,00
	$CV$ (-)	0,10	0,09	0,10
Cala 8	$X_{min}$ (mm/20min)	4,38	6,19	7,79
	$X_{med}$ (mm/20min)	5,24	7,74	10,32
	$X_{max}$ (mm/20min)	6,46	9,04	12,48
	$\sigma_x$ (mm/20min)	0,52	0,84	1,30
	$CV$ (-)	0,10	0,11	0,13

Tabella 4.17 – Statistiche dei frattili – H<sub>2</sub> – Cicloni straordinari – ZDA

Per quel che concerne l'intensità di pioggia media (mm/20min) successiva a pioggia ad alta intensità (H<sub>2</sub>), l'area che va dal *Versante Ionico Centro-Settentrionale* fino al *Versante Tirrenico Meridionale* (Cala 6, Cala 7, Cala 8 e Cala 4) ha presentato valori tra i più elevati, le piogge meno elevate hanno riguardato il *Versante Tirrenico Settentrionale* (Cala 1), le rimanenti aree (Cala 2 e Cala 5) hanno mostrato valori intermedi. Passando alle variabilità spaziali dell'intensità di pioggia (mm/20min), ovvero al coefficiente di variazione, i valori più ampi si sono registrati nelle aree dei *Versanti Ionici Settentrionale e Centro-Settentrionale* (Cala 5 e Cala 6), al contrario la variabilità più bassa si è avuta nella zona *Cala 7*.

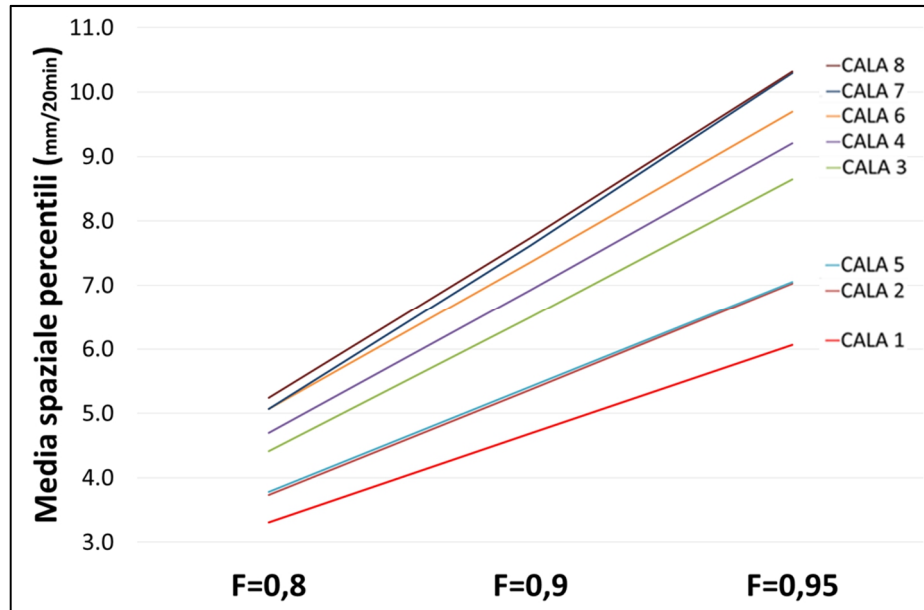


Figura 4.32 – Frattili medi – H<sub>2</sub> – Cicloni straordinari – ZDA

Volendo effettuare un confronto tra le distribuzioni condizionate dei due cluster d'eventi, sono state in primis comparate, per ogni variabile H<sub>1</sub> ed H<sub>2</sub>, le mappe relative all'intensità di pioggia (mm/20min) che ha una certa probabilità di verificarsi (F = 0,9) nei cicloni ordinari e straordinari (Figure 4.33a, 4.33b, 4.34a, 4.34b). Per avere un raffronto oggettivo di pioggia è stata uniformata la scala dei colori per ambo le mappe.

Si è illustrato anche un confronto, sempre per ogni variabile H<sub>1</sub> e H<sub>2</sub>, tra i percentili medi dei due cluster ciclonici ricavati per le Zone di Allertamento (Figure 4.35, 4.36 – asse y uniformato).

Per quanto riguarda l'intensità di pioggia media (mm/20min) successiva a pioggia nulla o di bassa intensità (H<sub>1</sub>) (Figura 4.33), è risultato comune, per entrambe le tipologie cicloniche, avere valori elevati sulla fascia tirrenica settentrionale e valori più bassi su Sila e Pollino. Al contrario, la differenza tra i due cluster è stata quella di avere valori più elevati sulla fascia tirrenica centro-meridionale per i cicloni ordinari e valori più elevati sulla fascia ionica meridionale per i cicloni straordinari.

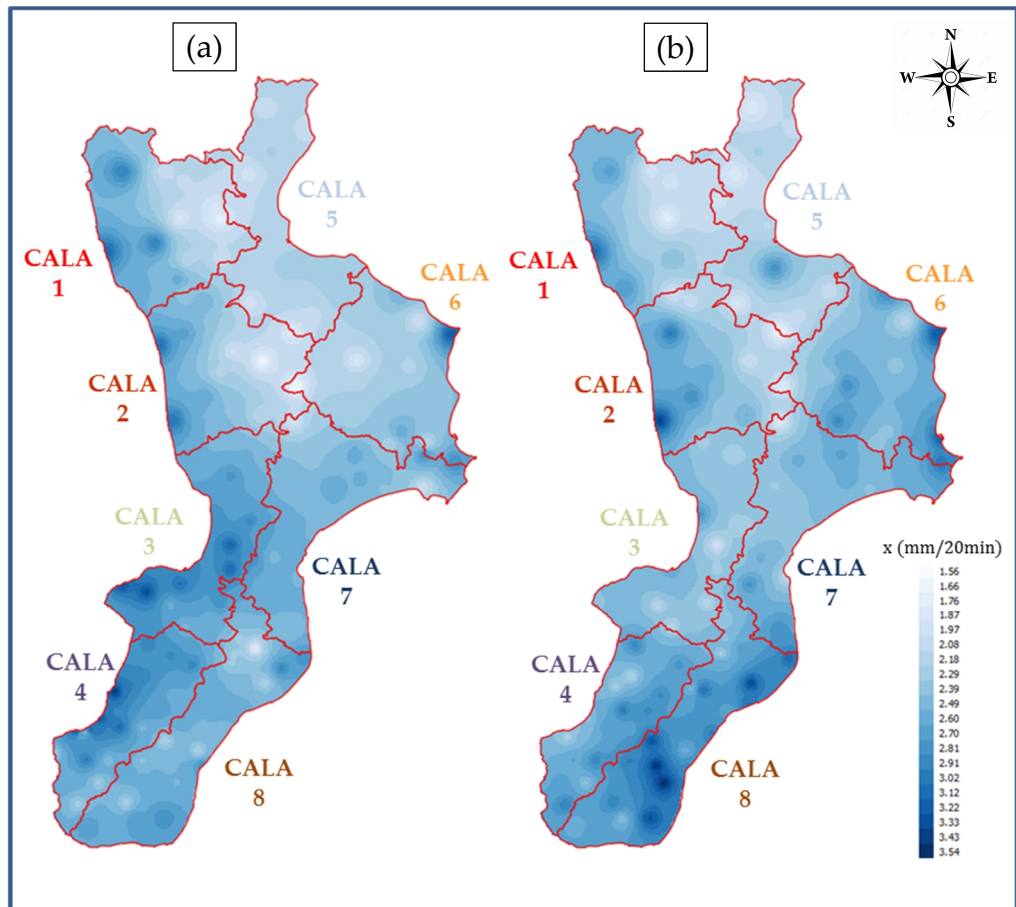


Figura 4.33 – Mappe frattili –  $F = 0,9$  – ZDA –  $H_1$  – a) Cicloni ordinari. b) Cicloni straordinari

Invece, relativamente all'intensità di pioggia media (mm/20min) successiva a pioggia ad alta intensità ( $H_2$ ) (Figura 4.34), è risultato comune, per entrambe le tipologie cicloniche, avere valori elevati sulla costa ionica meridionale. Al contrario la differenza tra i due cluster è stata quella di avere valori con più uniformità spaziale per i cicloni ordinari e valori elevati sulla fascia ionica centro meridionale per i cicloni straordinari.

Dal confronto tra i grafici dei percentili medi (Figure 4.35-4.36) è stata osservata una ristretta fascia di variazione per quanto riguarda  $H_1$ , cioè un'intensità di pioggia media abbastanza uniforme tra le ZDA. Al contrario per  $H_2$  si è registrata una più ampia variazione, ovvero un'intensità di pioggia media meno uniforme tra le ZDA. Si notino anche le differenze numeriche in termini di intensità di pioggia media (mm/20min) tra le due variabili (Figure 4.35-4.36).

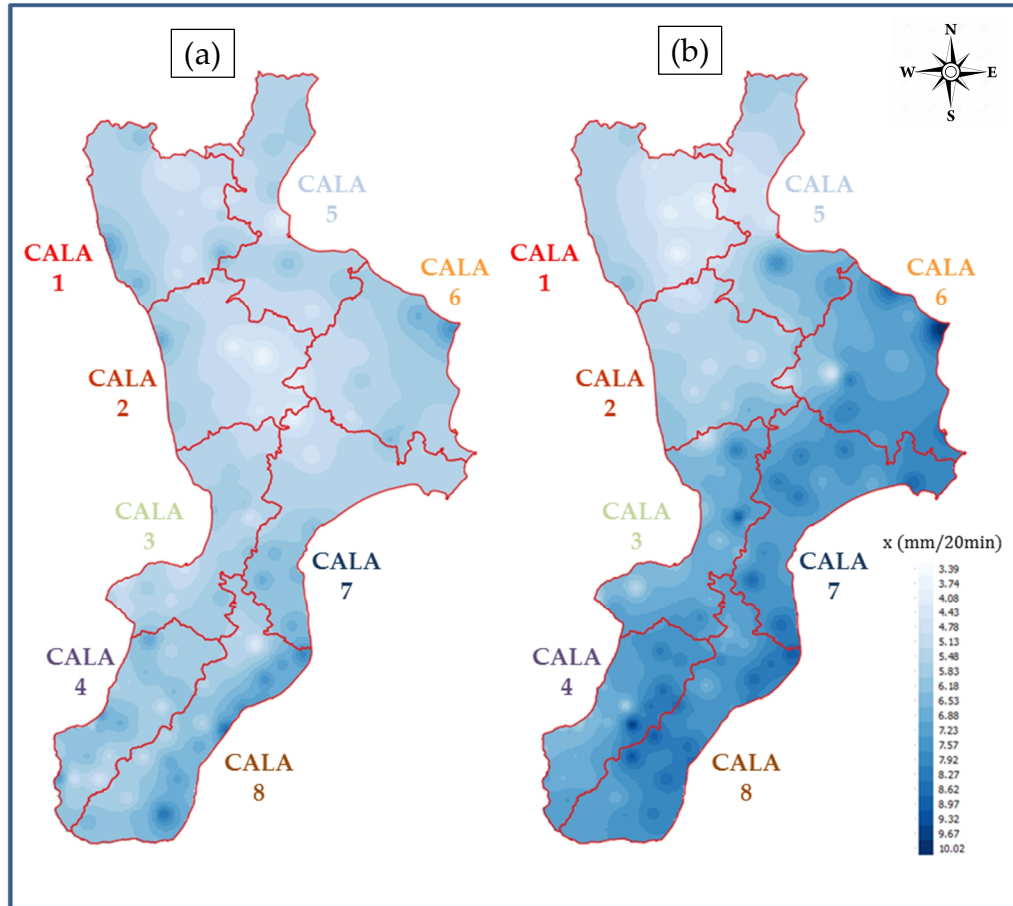


Figura 4.34 – F = 0,9 – ZDA – H<sub>2</sub> – a) Cicloni ordinari. b) Cicloni straordinari

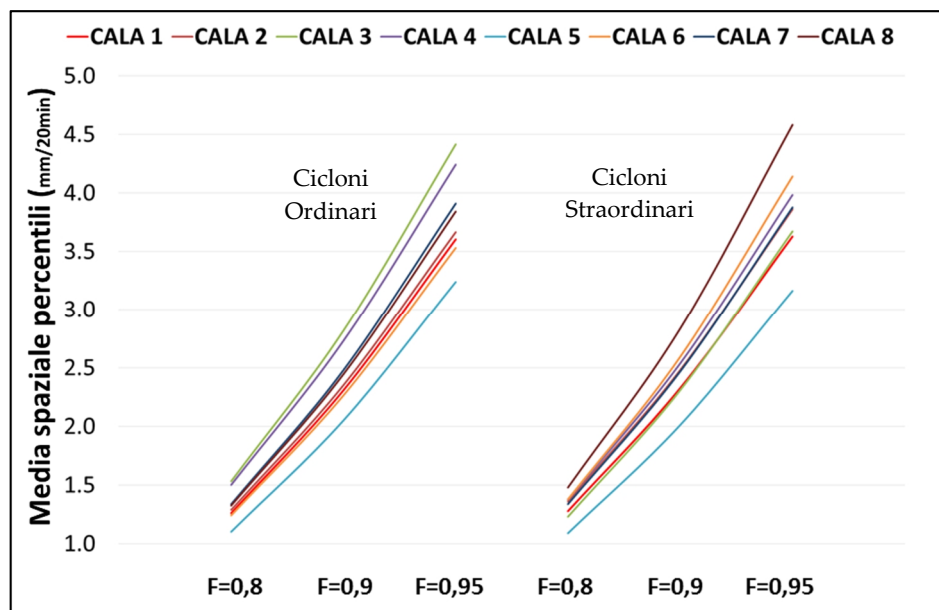


Figura 4.35 – Frattili medi – ZDA – H<sub>1</sub> – Cicloni ordinari e straordinari

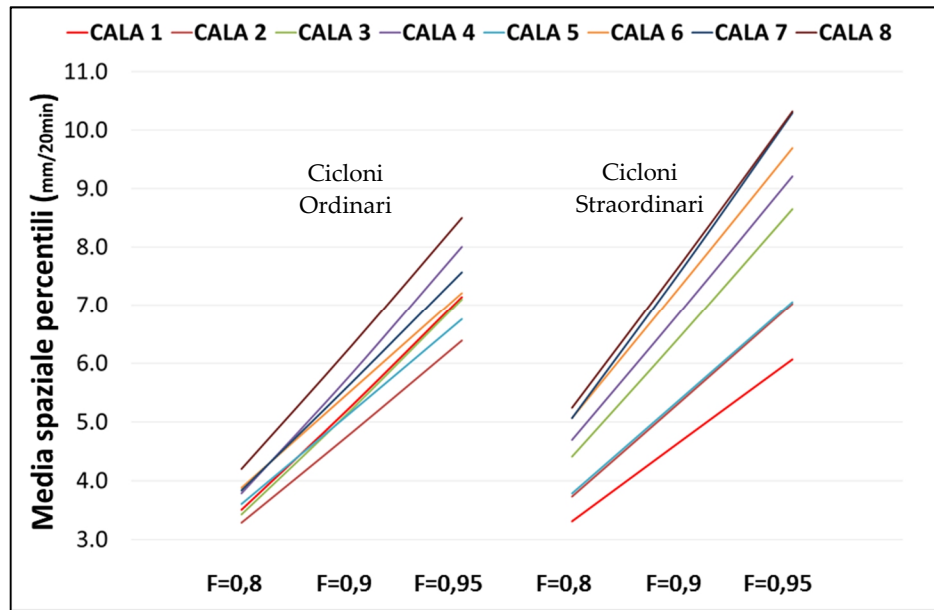


Figura 4.36 – Frattili medi – ZDA – H<sub>2</sub> – Cicloni ordinari e straordinari

#### 4.4. Risultati ottenuti e possibili sviluppi futuri

Sulla base di tutte le elaborazioni condotte ed illustrate nei paragrafi precedenti, è stato possibile dedurre le seguenti considerazioni:

- la tipologia meteorica a celle temporalesche isolate non è stata analizzata in quanto non si ha a disposizione un numero di dati sufficienti per poter effettuare una modellazione spaziale sull'intero dominio regionale.
- La fascia ionica centro-meridionale è risultata essere caratterizzata dalle più elevate intensità sub-orarie di pioggia, soprattutto in occasione di cicloni straordinari; in particolare, l'area di allertamento denominata *Cala 8* (vedasi Capitolo 1 - Figura 1.26) è risultata essere la zona con i valori dei percentili più elevati.
- Le aree relative all'altopiano della Sila, Pollino ed alto Ionio, hanno registrato valori di intensità sub-orarie di pioggia inferiori rispetto alle altre zone, indipendentemente dalla tipologia ciclonica considerata; in particolare, l'area di allertamento denominata *Cala 5* (vedasi Capitolo 1 - Figura 1.26) è risultata essere la zona con i valori dei percentili meno elevati.
- Andando a confrontare i due cluster ciclonici, per quanto riguarda quelli ordinari non si è evinta una marcata differenza tra versante tirrenico e ionico;

al contrario, per i cicloni straordinari, l'intensità è risultata nettamente più marcata lungo la fascia ionica centro-meridionale.

I risultati ottenuti possono indubbiamente costituire un riferimento per lo sviluppo e/o il perfezionamento di una modellistica spazio-temporale finalizzata alla previsione delle piogge in tempo reale. A riguardo, per la regione Calabria, sono stati sviluppati modelli stocastici puntuali (Sirangelo et al., 2007) e spazio temporali (Versace et al., 2009).

## Capitolo 5

### ANALISI TEMPORALE E SPAZIALE DEGLI EVENTI

Nel presente capitolo, a differenza del precedente, l'attenzione si è focalizzata non sulle singole stazioni pluviometriche ma sulle caratteristiche spazio-temporali degli eventi; pertanto il lavoro è stato articolato in due fasi:

- modellazione dell'evoluzione spazio-temporale di alcune caratteristiche in corso d'evento (paragrafo 5.1);
- analisi statistica dei valori finali assunti da tali grandezze considerando l'insieme complessivo degli eventi (paragrafo 5.2).

#### 5.1. Modellazione dell'evoluzione spazio-temporale di alcune caratteristiche in corso d'evento

A fini idrologici, riveste un ruolo fondamentale la conoscenza dell'evoluzione temporale della pioggia relativamente ad eventi di particolare importanza, i quali presentano una elevata variabilità a causa di numerosi fattori, tra cui si ricordano la fase di sviluppo, le dimensioni e la complessità dei pattern meteorologici, la tipologia di pioggia, l'ubicazione dell'area interessata rispetto al centro ed al moto dell'idrometeora (Huff, 1967).

In letteratura, la struttura temporale di un evento viene spesso descritta attraverso i profili standardizzati di pioggia (Standardized Rainfall Profiles, SRPs, Huff, 1967, 1990), ovvero sia le altezze cumulate di pioggia dell'evento in funzione della durata dell'evento stesso.

In particolare, al fine di identificare in maniera efficace la forma di un profilo descritto dall'SRP, è stato applicato il criterio di classificazione proposto da Terranova e Iaquina (2011), cioè il Binary Shape Code (BSC) (Figura 5.1), che, suddiviso l'asse temporale in quattro parti (Huff, 1967), ognuna pari al 25% della durata totale, per ciascuno di essi compara le aree sottese dalle SRPs ( $A_{SRP}$ ) con le corrispondenti aree sottese dalla SRP uniforme ( $A_{USRP}$ ) (cioè dalla linea che rappresenta un ideale incremento costante della SRP, Kottegoda e Kassim, 1991), assegnandone i seguenti valori:

- 1 nel caso in cui  $A_{SRP} > A_{USRP}$ ;

- 0 nel caso in cui  $A_{SRP} < A_{URSP}$ .

Tale codice è in grado di riassumere informazioni dall'utilizzo più immediato rispetto a quelle fornite da: distinzione in quartili (Huff, 1967), calcolo delle proprietà incrociate (Kottegoda e Kassim, 1991), riconoscimento di sei modelli temporali di pioggia (Chukwuma e Schwab, 1983).

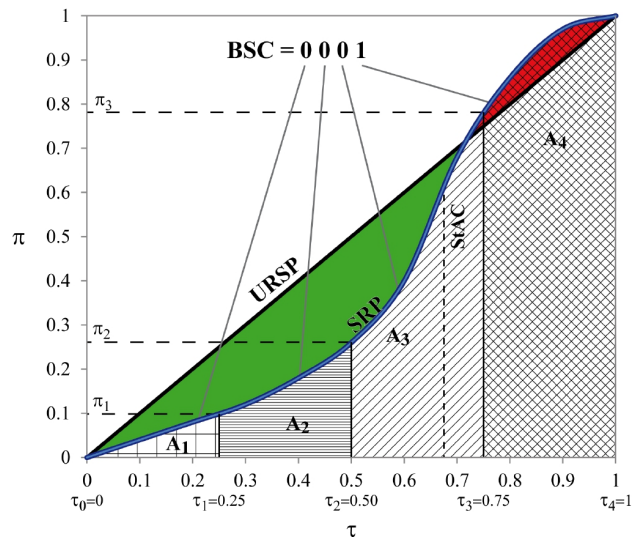


Figura 5.1 – Esempio BSC da SRP, l’asse verticale  $\pi$  rappresenta l’altezza cumulata normalizzata dell’evento mentre l’asse orizzontale  $\tau$  ne rappresenta la durata normalizzata (Terranova et al., 2014)

Pertanto, ogni evento analizzato dispone di un codice binario che, relativamente ad ogni quartile temporale, restituisce 0 oppure 1. Dunque sono possibili 16 configurazioni temporali dell’evento, tra queste sono state studiate solo quelle più frequenti. Per ogni configurazione, al fine di stabilire quali tra esse risulterà tra le più critiche e fermo restando la suddivisione per tipologia (celle temporalesche, cicloni straordinari ed ordinari), sono state valutate medie e deviazioni standard di importanti parametri (Terranova e Iaquina, 2011). Per ultimo, nel presente capitolo, un aspetto innovativo è consistito nel condurre l’analisi dell’evoluzione temporale, oltre che per il già citato SRP, anche per l’area d’influenza e la massima cumulata, sempre suddividendo l’evento in quartili.

### 5.1.1 Applicazione ai casi di studio

A partire dai 459 eventi selezionati in precedenza, sono state considerate le 820 aree d’influenza (paragrafo 1.4.5), di cui 368 associabili a celle temporalesche isolate, 264 a cicloni straordinari e 188 a cicloni ordinari.



Il calcolo della SRP per ogni area è stato effettuato, con risoluzione temporale pari a  $\Delta t = 20$  minuti, rapportando la somma delle piogge cumulate appartenenti alle stazioni che ricadono nell'area stessa con la somma relativa alle massime cumulate nelle medesime stazioni (normalizzazione) (Equazione 5.1):

$$SRP(t)_{NORM} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{cum,i}(\Delta t)}{\sum_{i=1}^N P_{cum,i}(\Delta t_{finale})} \quad (5.1)$$

dove  $i=1\dots N$  è il numero di pluviometri ricadenti in una determinata area d'influenza.

Così facendo si ottiene la curva relativa all'SRP di una singola area d'influenza (es. Figura 5.1).

Si è proceduto dunque al calcolo ed al confronto, per ogni quarto d'evento, delle suddette  $A_{SRP}$  ed  $A_{USR}$ . In questo modo è stato ottenuto il BSC (paragrafo 5.1) relativamente ad ogni area d'influenza. Vengono nel seguito riportati i grafici e la tabella relativi alle percentuali di BSC.

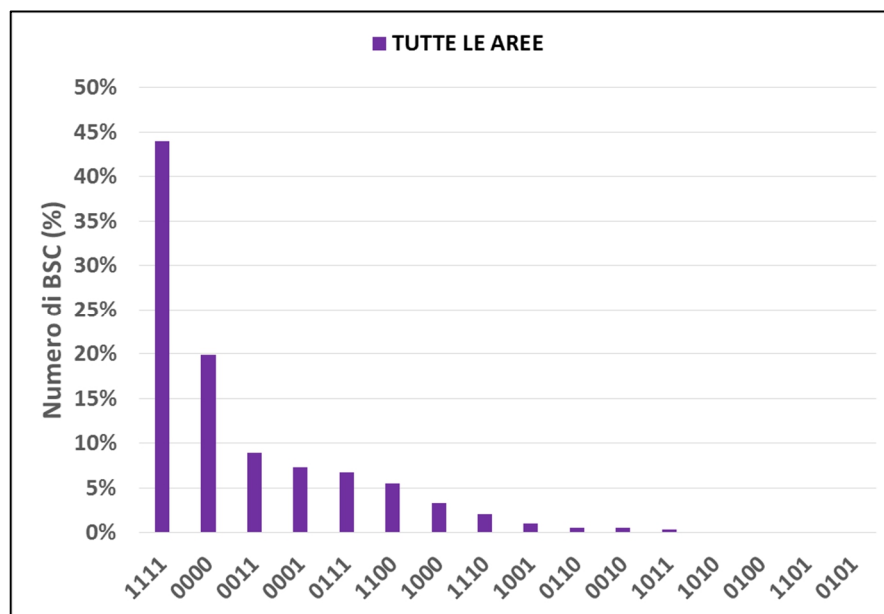


Figura 5.2 – Percentuali di BSC per tutte le aree

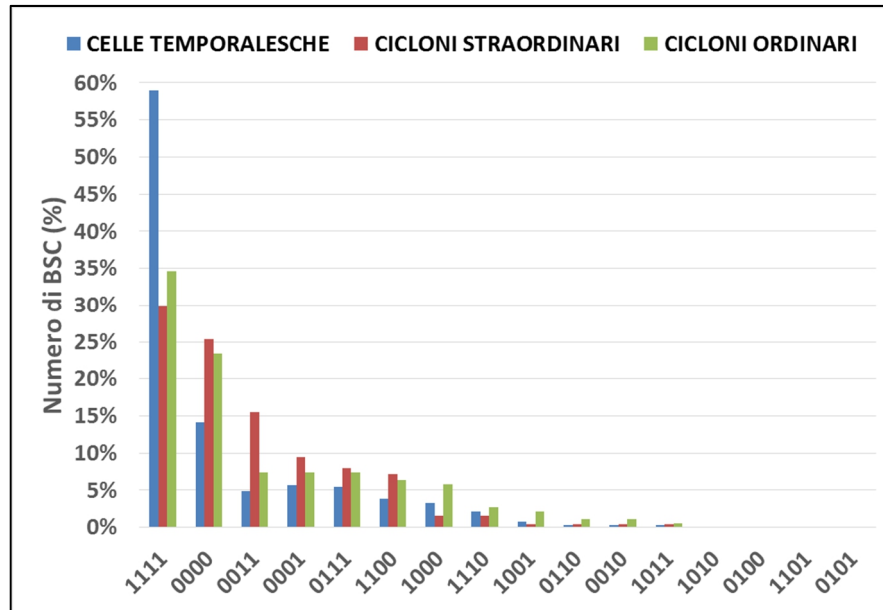


Figura 5.3 – Percentuali di BSC per tipologia d'evento

BSC	Aree (%)	Celle isolate (%)	Ciclone straordinario (%)	Ciclone ordinario (%)
1 1 1 1	44,0%	59,0%	29,9%	34,6%
0 0 0 0	19,9%	14,1%	25,4%	23,4%
0 0 1 1	8,9%	5,0%	15,5%	7,4%
0 0 0 1	7,3%	5,7%	9,5%	7,4%
0 1 1 1	6,7%	5,4%	8,0%	7,4%
1 1 0 0	5,5%	3,8%	7,2%	6,4%
1 0 0 0	3,3%	3,3%	1,5%	5,9%
1 1 1 0	2,1%	2,2%	1,5%	2,7%
1 0 0 1	1,0%	0,8%	0,4%	2,1%
0 1 1 0	0,5%	0,3%	0,4%	1,1%
0 0 1 0	0,5%	0,3%	0,4%	1,1%
1 0 1 1	0,4%	0,3%	0,4%	0,5%
1 0 1 0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
0 1 0 0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1 1 0 1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
0 1 0 1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>TOTALE</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Tabella 5.1 – Percentuali di BSC relative alle aree ed alla loro suddivisione per cluster

Sono state approfondite le sole configurazioni temporali che comprendano almeno il 5% delle aree, sia globalmente che per ogni cluster d'evento. Pertanto sono state prese in considerazione le prime 5 di esse (vedi Tabella 5.1), costituenti quasi l'87% del campione totale (circa 89% delle celle temporalesche isolate, 88% dei cicloni straordinari e più dell'80% dei cicloni ordinari). L'elevata frequenza del BSC 1111

(nettamente superiore alle altre configurazioni), nonché la buona frequenza dei BSC 0000, 0011, 0111 ha trovato conferma in Terranova Iaquina (2011).

Di queste configurazioni, al fine di stabilire quali tra esse risulterà essere tra le più critiche, sono state valutate le medie e le deviazioni standard di importanti parametri quali:

- StAC (*Storm Advancement Coefficient*, NERC, 1975), cioè il rapporto fra il tempo in cui si verifica la massima intensità dell'evento e la durata totale dello stesso, con precisione pari a  $\Delta t = 20$  minuti.
- $I_{max}$  (mm/20min), valore di massima intensità registrato tra i pluviometri ricadenti nelle diverse aree in cui è suddiviso l'evento.
- D (ore), durata dell'evento.
- Cum Max (mm), valore di massima cumulata puntuale, relativa alla durata dell'evento, registrata tra i pluviometri ricadenti in una determinata area.

Sono state tabellate le sovra elencate caratteristiche, sia per tutte le aree, che per le stesse suddivise nelle 5 configurazioni temporali più ricorrenti, tenendo sempre presente la suddivisione per tipologia d'evento (Tabelle 5.2-5.7).

TUTTE LE AREE	Num aree	StAC (-)		I max (mm/20min)		D (ore)		Cum Max (mm)	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>Celle Isolate</b>	368	0,51	0,33	22,6	6,5	2,7	2,2	31,4	20,9
<b>C. Straord.</b>	264	0,52	0,28	24,6	7,4	10,2	10,0	78,8	89,6
<b>C. Ordinari</b>	188	0,46	0,29	22,6	6,1	23,0	14,0	74,2	40,3
<b>TOTALI</b>	820	0,50	0,30	23,4	6,8	9,8	11,9	56,5	60,6

Tabella 5.2 – Media e deviazione standard di varie caratteristiche per tutte le aree

BSC 1111	Num aree	StAC (-)		I max (mm/20min)		D (ore)		Cum Max (mm)	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>Celle Isolate</b>	217	0,42	0,34	21,5	5,5	1,9	1,6	26,9	15,0
<b>C. Straord.</b>	79	0,29	0,24	25,3	7,8	10,0	10,5	71,1	77,3
<b>C. Ordinari</b>	65	0,22	0,14	24,1	7,0	23,1	13,7	73,9	38,5
<b>TOTALI</b>	361	0,35	0,30	22,9	6,6	7,4	11,1	45,1	46,9

Tabella 5.3 – Media e deviazione standard di varie caratteristiche per BSC 1111

BSC 0000	Num aree	StAC (-)		I max (mm/20min)		D (ore)		Cum Max (mm)	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>Celle Isolate</b>	52	0,80	0,15	26,0	9,0	3,9	1,9	41	31,6
<b>C. Straord.</b>	67	0,75	0,16	22,8	6,5	10,7	9,1	79,7	86,5
<b>C. Ordinari</b>	44	0,71	0,22	20,9	4,2	22,6	16,4	69,9	36,4
<b>TOTALI</b>	163	0,76	0,18	23,3	7,1	11,7	12,6	64,7	63,5

Tabella 5.4 – Media e deviazione standard di varie caratteristiche per BSC 0000

BSC 0011	Num aree	StAC (-)		I max (mm/20min)		D (ore)		Cum Max (mm)	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>Celle Isolate</b>	18	0,57	0,08	22,4	5,1	2,6	0,9	46,8	27,5
<b>C. Straord.</b>	41	0,54	0,14	25,3	7,1	8,3	7,6	90,1	94,5
<b>C. Ordinari</b>	14	0,50	0,09	23,2	4,8	22,5	10,0	81,7	32,5
<b>TOTALI</b>	73	0,54	0,12	24,3	6,5	9,6	9,8	77,8	75,7

Tabella 5.5 – Media e deviazione standard di varie caratteristiche per BSC 0011

BSC 0001	Num aree	StAC (-)		I max (mm/20min)		D (ore)		Cum Max (mm)	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>Celle Isolate</b>	21	0,69	0,07	25,9	8,5	3,9	2,2	39,6	21,4
<b>C. Straord.</b>	25	0,70	0,08	24,7	5,2	7,6	7,6	71,4	80,4
<b>C. Ordinari</b>	14	0,67	0,05	23,6	6,6	19,7	10,6	79,9	35,6
<b>TOTALI</b>	60	0,69	0,07	24,7	6,7	9,1	9,4	62,3	58,6

Tabella 5.6 – Media e deviazione standard di varie caratteristiche per BSC 0001

BSC 0111	Num aree	StAC (-)		I max (mm/20min)		D (ore)		Cum Max (mm)	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>Celle Isolate</b>	20	0,42	0,08	20,8	4,1	3,9	2,0	40,4	25,2
<b>C. Straord.</b>	21	0,40	0,09	24,7	8,8	13,4	13,2	91,4	77,3
<b>C. Ordinari</b>	14	0,36	0,10	18,4	2,8	21,2	16,0	86,1	67,7
<b>TOTALI</b>	55	0,39	0,09	22,3	7,1	11,9	13,4	71,5	65,1

Tabella 5.7 – Media e deviazione standard di varie caratteristiche per BSC 0111

Nel seguito, relativamente ad ogni BSC considerato, sono stati raffigurati gli istogrammi riepilogativi delle medie di ogni singolo parametro.

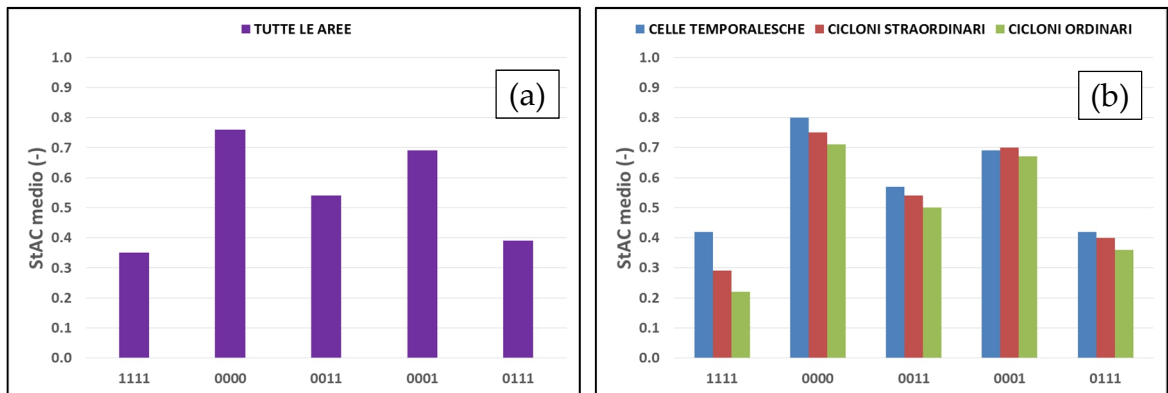


Figura 5.4 – Media di StAC in diversi BSC per a) tutte le aree, b) aree divise per tipologia d’evento

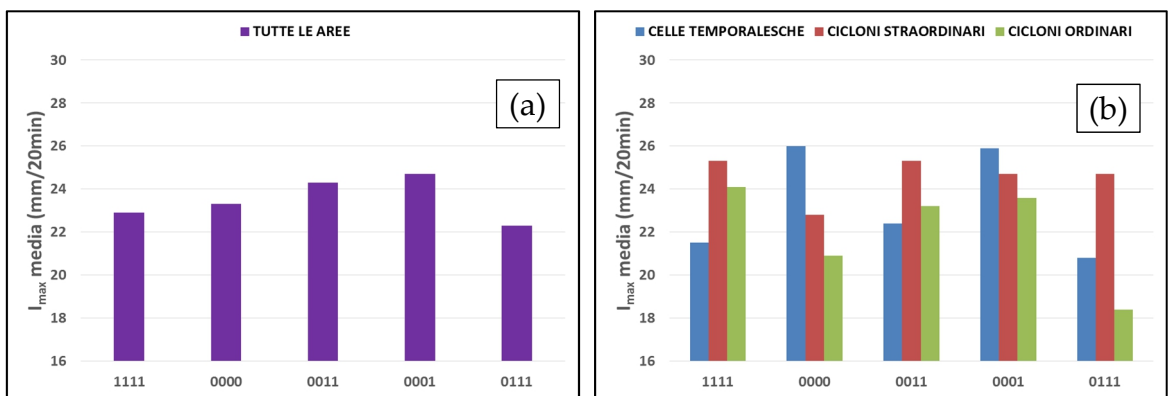


Figura 5.5 – Media della  $I_{max}$  in diversi BSC per a) tutte le aree, b) aree divise per tipologia d’evento

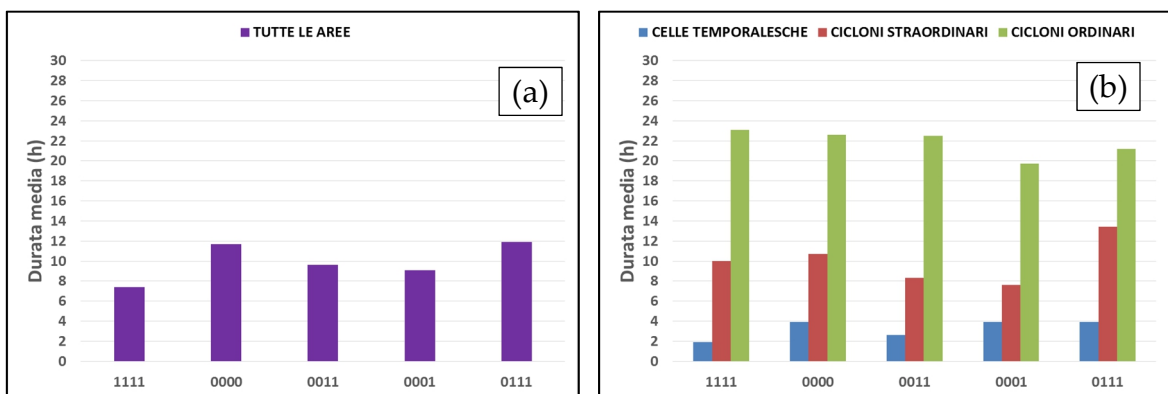


Figura 5.6 – Media della durata in diversi BSC per a) tutte le aree, b) aree divise per tipologia d’evento

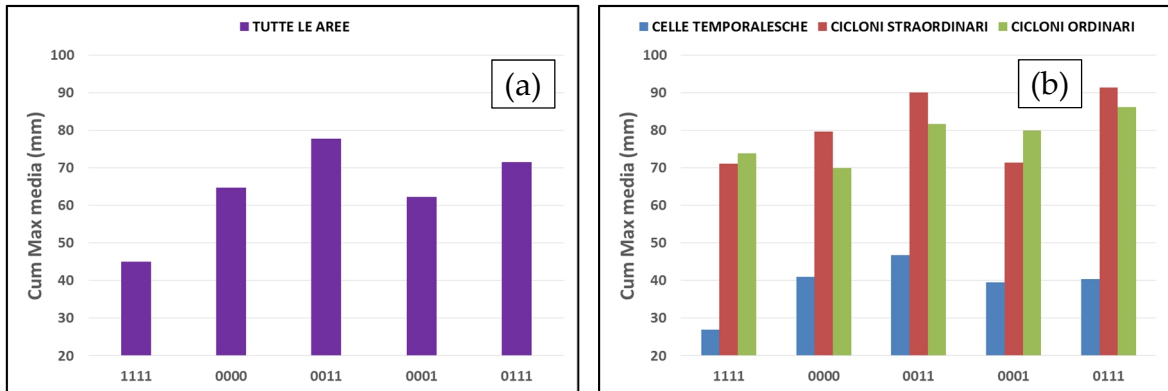


Figura 5.7 – Media della cumulata massima in diversi BSC per a) tutte le aree, b) aree divise per tipologia d’evento

E’ stato osservato che:

- per quel che concerne il parametro StAC, passando dai BSC 1111, 0111, 0011, 0001, 0000, l’intensità massima dell’evento si è gradualmente spostata dal 35% della durata fino al 75%.
- Non si è evinta una correlazione tra il tempo di accadimento della massima intensità (StAC) con il valore puntuale della stessa  $I_{max}$  (mm/20min), difatti essa è risultata diminuire in media passando dalle configurazioni 0001, 0011, 0000, 1111, 0111.
- Per quanto riguarda la durata, i valori maggiori sono stati quelli relativi al BSC 0111, mentre quelli inferiori al BSC 1111.
- La massima cumulata (mm) ha registrato valori mediamente più elevati nei BSC 0011, 0111, valori inferiori per 1111.

In generale, l’SRP può essere visto come la variazione temporale del volume di pioggia durante un evento pluviometrico. Nel presente studio, inoltre, un aspetto innovativo è consistito nell’analisi delle evoluzioni temporali dei seguenti parametri:

- area d’influenza (intesa come frazione di campo di pioggia caratterizzata da una buona intensità e non come estensione in sé del campo stesso – vedasi paragrafo 1.4.5);
- cumulata massima.

Nel dettaglio, per ognuna delle 820 “aree d’evento”, utilizzando una risoluzione temporale pari a  $\Delta t = 20$  minuti, sono state valutate le seguenti variazioni normalizzate (Equazioni 5.2, 5.3):

$$A(t)_{NORM} = \frac{A(\Delta t)}{A_{TOT}} \quad (5.2)$$

$$CumMax(t)_{NORM} = \frac{CumMax(\Delta t)}{CumMax_{TOT}} \quad (5.3)$$

Fatto ciò, per avere una corrispondenza per tali parametri in termini di quarti temporali, sono state elaborate due diverse procedure, in particolare:

- per le cumulate massime normalizzate, trattandosi di funzioni monotone crescenti, vengono semplicemente valutati, per ognuna delle 820 “aree d’evento”, i valori corrispondenti al 25%, 50%, 75%, 100% della durata di ogni evento.
- Per le aree normalizzate, essendo funzioni non necessariamente monotone, quindi spesso caratterizzate da andamenti misti, non si ritiene opportuna la procedura applicata alle cumulate massime normalizzate. Dunque, per ognuna delle 820 “aree d’evento”, vengono valutati quattro valori di area d’influenza normalizzata ( $A_{1\_NORM}$ ,  $A_{2\_NORM}$ ,  $A_{3\_NORM}$ ,  $A_{4\_NORM}$ ) corrispondenti ad ogni quarto temporale dell’evento stesso, come media dei valori ricadenti di ogni frazione pari al 25% dell’evento.

Pertanto, conoscendo gli eventi appartenenti ad ognuna delle 5 configurazioni prevalenti, sono state ricavate 5 configurazioni corrispondenti di variazione dell’area d’influenza e della cumulata massima; il tutto raggruppando gli eventi di diversa struttura temporale e mediando i valori associati ad ogni quarto temporale degli stessi.

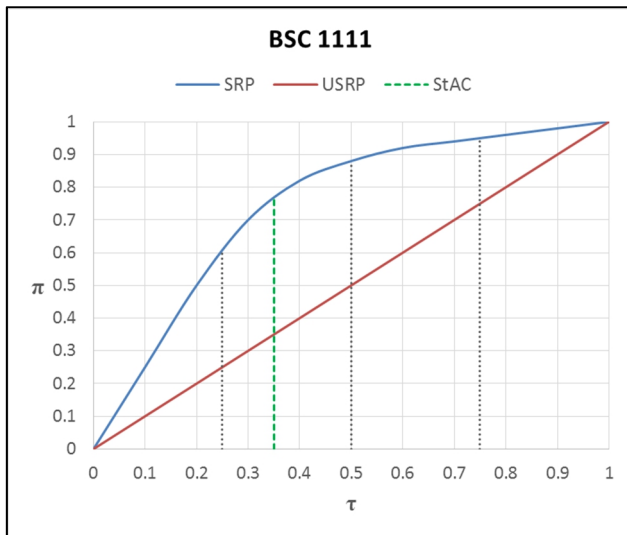
Dunque, per ogni BSC, che esprime una variazione volumetrica nel tempo della pioggia, si è a conoscenza delle corrispettive variazioni “geometriche”:

- in termini areali;
- in termini di altezza massima.

Nel proseguo sono state descritte dettagliatamente le 5 configurazioni temporali più ricorrenti ordinate per frequenza, cioè rispettivamente BSC 1111, 0000, 0011, 0001, 0111.

### 5.1.2 Descrizione dei BSC più frequenti

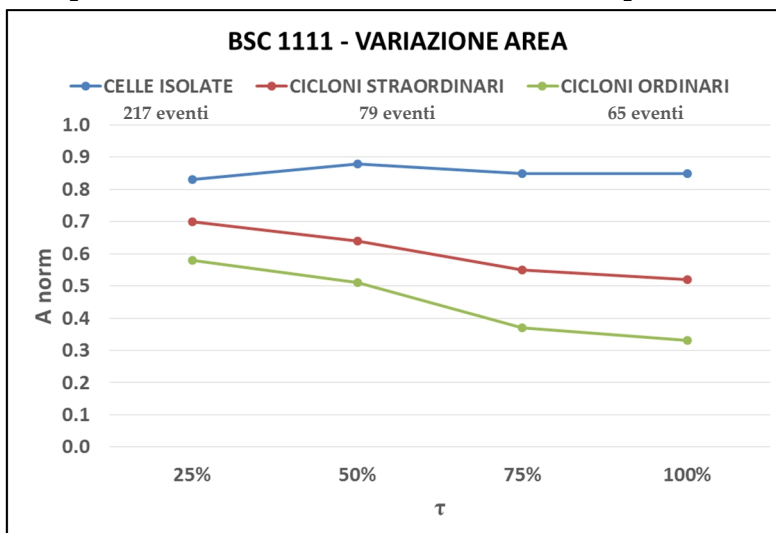
La configurazione temporale **BSC 1111** consiste in una quantità di pioggia che, a



partire dall’inizio, si mantiene per tutto l’evento, superiore ad un ideale incremento costante, le massime intensità si sono verificate in media a circa il 35% dell’evento (Figura 5.8). E’ risultata la configurazione più frequente con il 44% delle aree totali e, a livello di tipologia d’evento, il 59% delle celle, il 29,9% dei cicloni straordinari ed il 34,6% dei cicloni ordinari.

Figura 5.8 – Esempio di un evento con BSC 1111

Per quel che concerne la variazione nel tempo dell’area d’influenza, le celle hanno



mantenuto valori in percentuale elevati e costanti, invece i cluster ciclonici hanno registrato valori in media inferiori con tendenza a diminuire (più negli ordinari) (Figura 5.9 – Tabella 5.8).

Figura 5.9 – Variazione area d’influenza per BSC 1111



Riguardo alla variazione temporale della cumulata massima (Figura 5.10 – Tabella 5.8), i valori hanno registrato elevate percentuali, che sono risultate a livello di cluster superiori nelle celle e con una ridotta differenza nei cicloni.

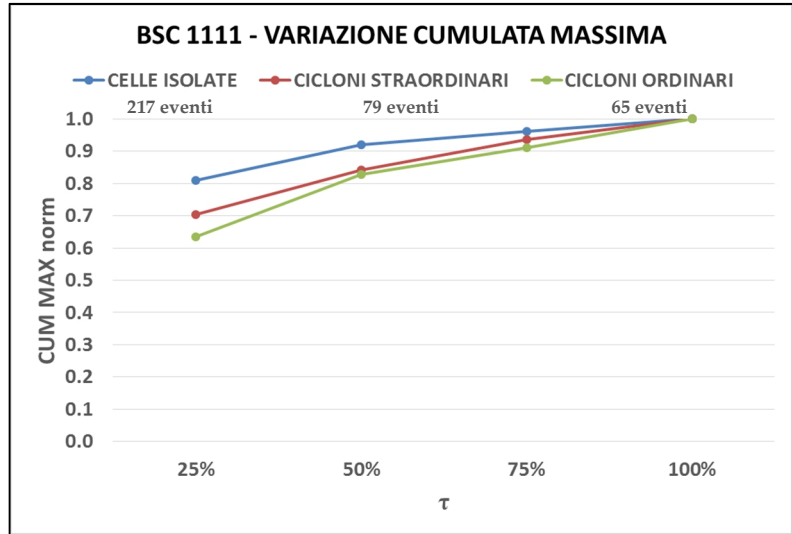


Figura 5.10 – Variazione cumulata massima per BSC 1111

BSC 1111	Area d'influenza				Cumulata Massima			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>Celle Isolate</b>	0,83	0,88	0,85	0,85	0,81	0,92	0,96	1
<b>Cicl. Straordinari</b>	0,70	0,64	0,55	0,52	0,70	0,84	0,94	1
<b>Cicl. Ordinari</b>	0,58	0,51	0,37	0,33	0,64	0,83	0,91	1
<b>Tutti gli eventi</b>	0,76	0,76	0,70	0,68	0,75	0,89	0,95	1

Tabella 5.8 – Valori medi temporali dei parametri per BSC 1111

La configurazione temporale **BSC 0000** presenta una quantità di pioggia che si mantiene, per tutto l'evento, inferiore ad un ideale incremento costante, le massime intensità si sono verificate in media verso l'inizio dell'ultimo quarto dell'evento (Figura 5.11).

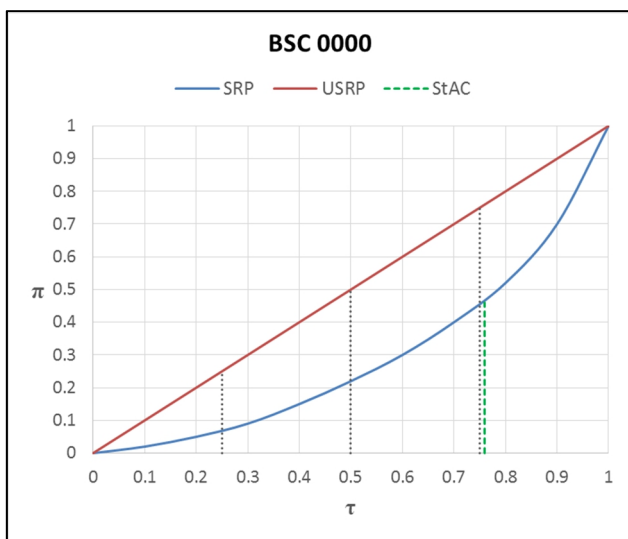
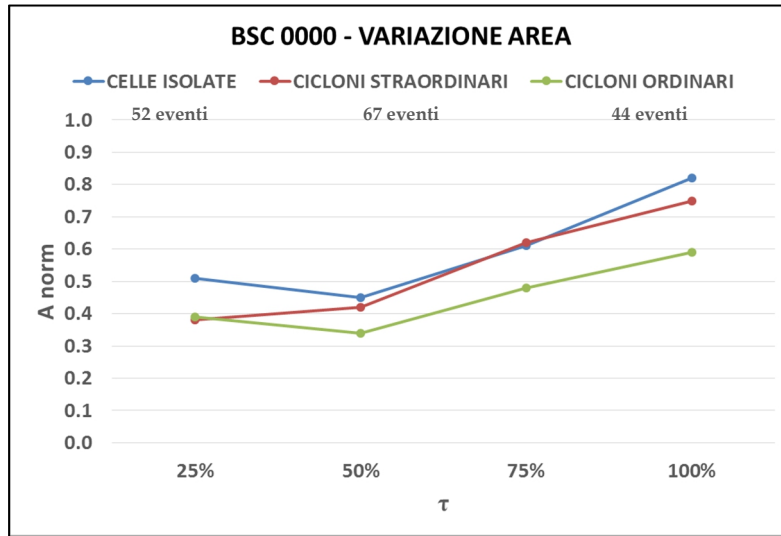


Figura 5.11 – Esempio di un evento con BSC 0000

Tale configurazione ha interessato il 19,9% delle aree totali e, a livello di tipologia d'evento, il 14,1% delle celle, il 25,4% dei cicloni straordinari ed il 23,4% dei cicloni ordinari.

Per quel che concerne la variazione nel tempo dell'area d'influenza, le celle ed i cicloni ordinari hanno registrato un lieve decremento nella prima metà dell'evento



ed un forte incremento nella seconda metà (con concavità verso l'alto e le dovute differenze in termini percentuali). Diversamente i cicloni straordinari hanno subito un lieve incremento nella prima metà ed un forte incremento nella seconda (Figura 5.12 – Tabella 5.9).

Figura 5.12 – Variazione area d'influenza per BSC 0000

Riguardo alla variazione temporale della cumulata massima (Figura 5.13 – Tabella

5.9), i valori hanno registrato percentuali ed andamenti nettamente differenti rispetto al precedente caso, con un incremento con concavità verso l'alto. A livello di cluster la differenza è contenuta in termini percentuali.

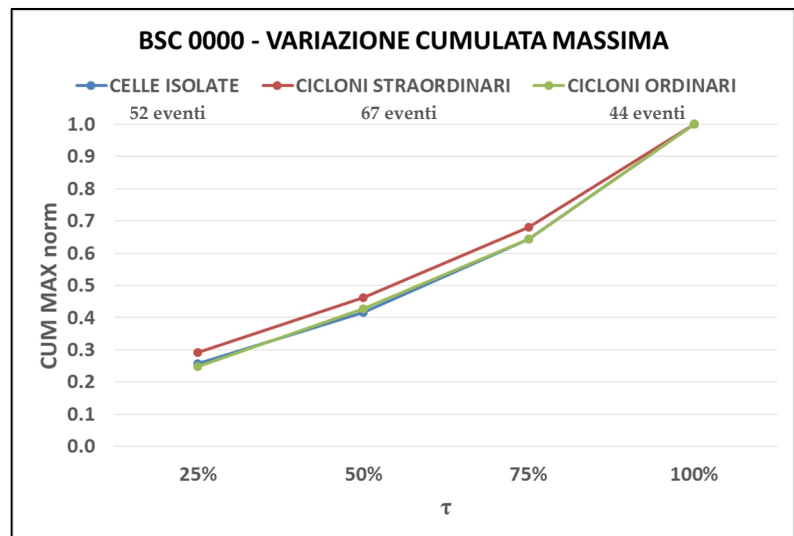
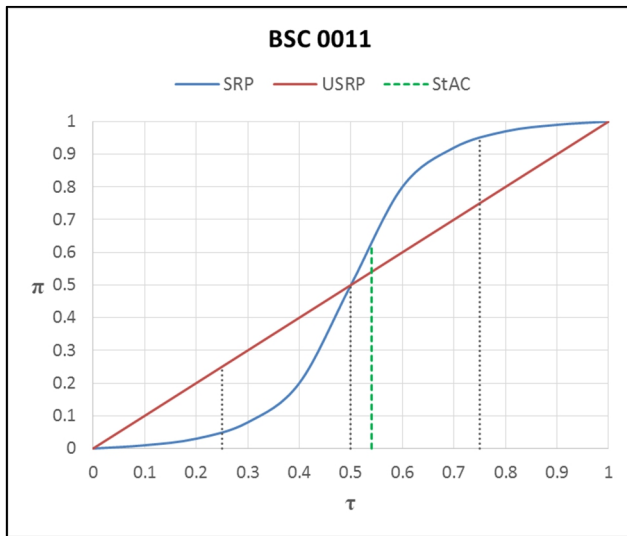


Figura 5.13 – Variazione cumulata massima per BSC 0000

BSC 0000	Area d'influenza				Cumulata Massima			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>Celle Isolate</b>	0,51	0,45	0,61	0,82	0,26	0,42	0,64	1
<b>Cicl. Straordinari</b>	0,38	0,42	0,62	0,75	0,29	0,46	0,68	1
<b>Cicl. Ordinari</b>	0,39	0,34	0,48	0,59	0,25	0,43	0,64	1
<b>Tutti gli eventi</b>	0,42	0,41	0,58	0,73	0,27	0,44	0,66	1

Tabella 5.9 – Valori medi temporali dei parametri per BSC 0000

La configurazione temporale **BSC 0011** è caratterizzata da una quantità di pioggia



che risulta inferiore ad un ideale incremento costante nella prima metà dell'evento e superiore nella seconda, le massime intensità si verificano in media a circa poco dopo metà evento (Figura 5.14).

Tale configurazione ha interessato l'8,9% delle aree totali e, a livello di tipologia d'evento, il 5% delle celle, il 15,5% dei cicloni straordinari ed il 7,4% dei cicloni ordinari.

Figura 5.14 – Esempio di un evento con BSC 0011

Per quel che concerne la variazione nel tempo dell'area d'influenza, tutti i cluster sono stati caratterizzati da un incremento relativo ai primi tre quarti d'evento, dopodiché si è avuto un repentino decremento dell'area (con concavità verso il basso e con le dovute differenze tra cluster in percentuale) (Figura 5.15 – Tabella 5.10).

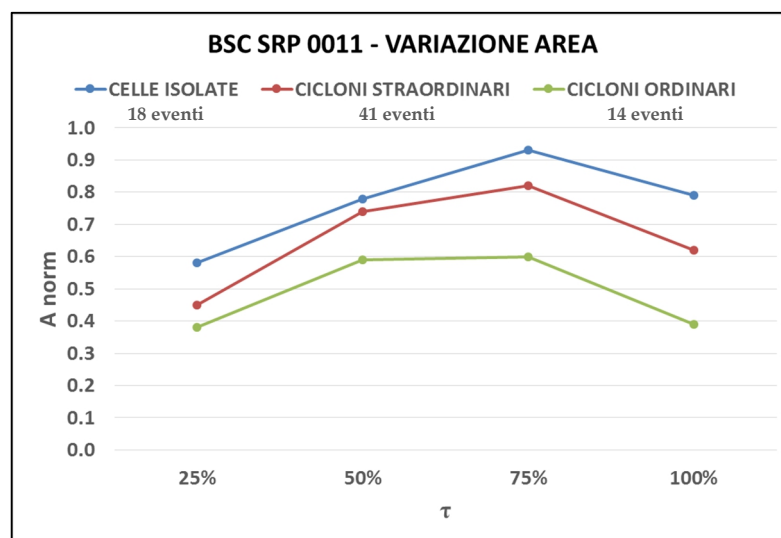


Figura 5.15 – Variazione area d'influenza per BSC 0011

Riguardo alla variazione temporale della cumulata massima (Figura 5.16 – Tabella 5.10), a livello di cluster la differenza è stata evidente, difatti, i cicloni straordinari, hanno percentuali più alte rispetto alle celle, invece i cicloni ordinari hanno valori simili alle celle nel primo quarto d’evento e seguono l’altro cluster ciclonico nei restanti quarti.

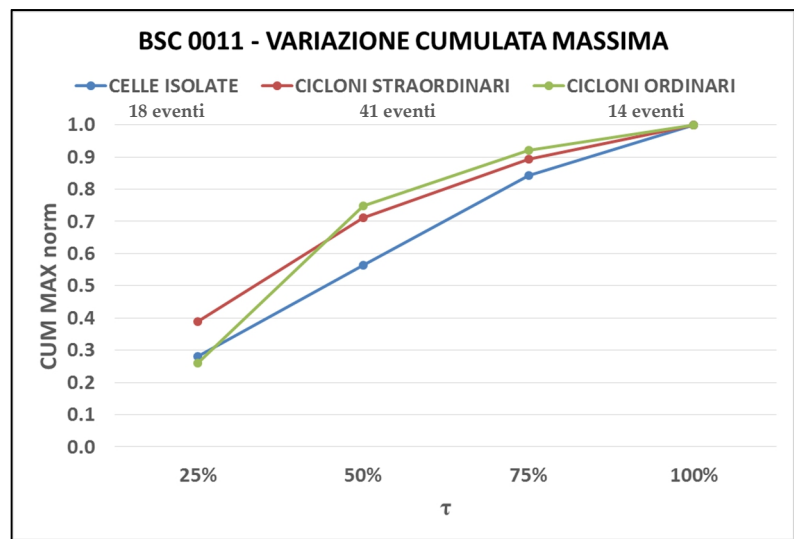


Figura 5.16 – Variazione cumulata massima per BSC 0011

BSC 0011	Area d’influenza				Cumulata Massima			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>Celle Isolate</b>	0,58	0,78	0,93	0,79	0,28	0,56	0,84	1
<b>Cicl. Straordinari</b>	0,45	0,74	0,82	0,62	0,39	0,71	0,89	1
<b>Cicl. Ordinari</b>	0,38	0,59	0,6	0,39	0,26	0,75	0,92	1
<b>Tutti gli eventi</b>	0,47	0,72	0,8	0,62	0,34	0,68	0,89	1

Tabella 5.10 – Valori medi temporali dei parametri per BSC 0011

La configurazione temporale **BSC 0001** è caratterizzata da una quantità di pioggia

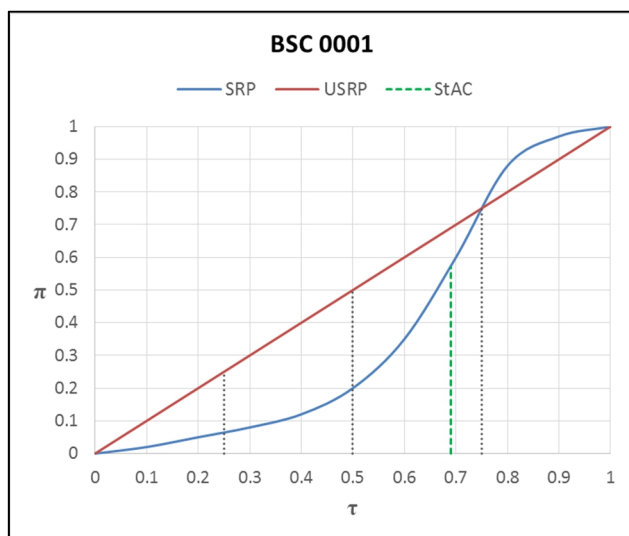
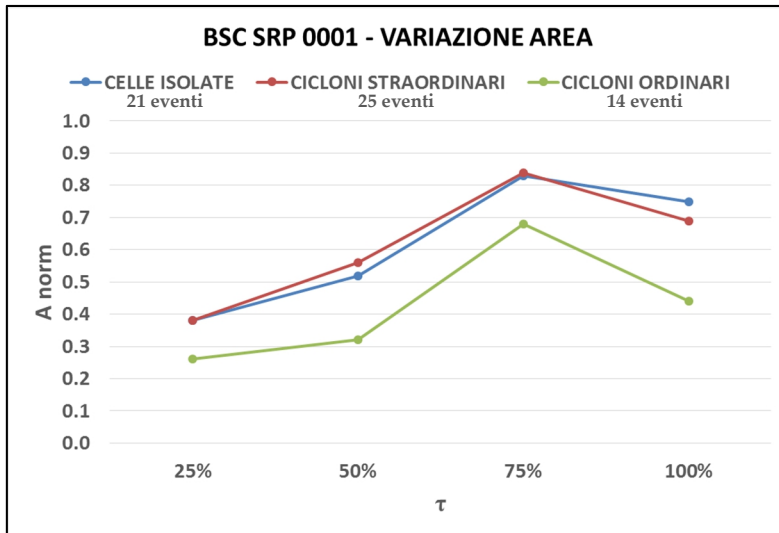


Figura 5.17 – Esempio di un evento con BSC 0011

che risulta inferiore ad un ideale incremento costante nei primi tre quarti dell’evento e superiore nell’ultimo quarto, le massime intensità si sono verificate in media intorno al 70% dell’evento (Figura 5.17).

Tale configurazione ha interessato il 7,3% delle aree totali e, a livello di tipologia d’evento, il 5,7% delle celle, il 9,5% dei cicloni straordinari ed il 7,4% dei cicloni ordinari.

Per quel che concerne la variazione temporale dell'area d'influenza, tutti i cluster



sono stati caratterizzati da un incremento (con concavità verso l'alto) per i primi tre quarti dell'evento, dopodiché si è registrato un repentino decremento (con celle e cicloni straordinari molto vicini in percentuale) (Figura 5.18 – Tabella 5.11).

Figura 5.18 – Variazione area d'influenza per BSC 0001

Riguardo alla variazione temporale della cumulata massima (Figura 5.19 – Tabella

5.11), un notevole aumento si è avuto nel terzo quarto dell'evento. A livello di cluster la sola tipologia dei cicloni straordinari ha mostrato un andamento di poco differente.

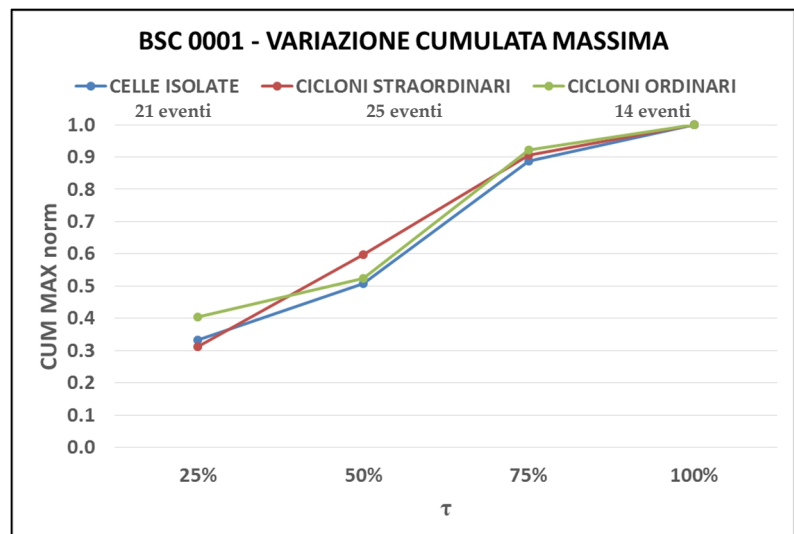
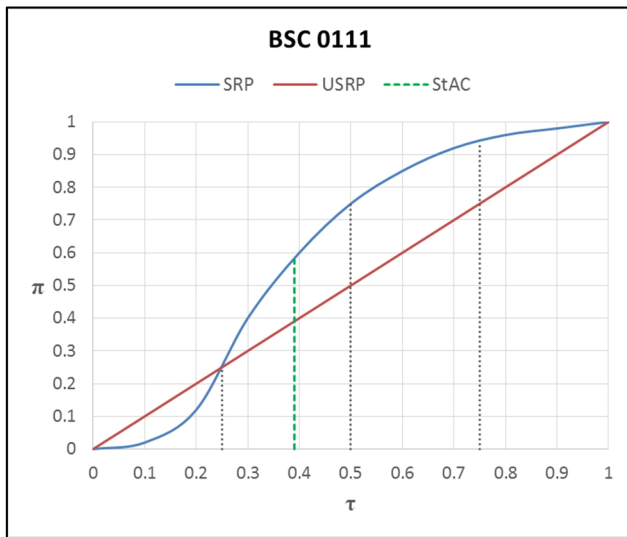


Figura 5.19 – Variazione cumulata massima per BSC 0001

BSC 0001	Area d'influenza				Cumulata Massima			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>Celle Isolate</b>	0,38	0,52	0,83	0,75	0,33	0,51	0,89	1
<b>Cicl. Straordinari</b>	0,38	0,56	0,84	0,69	0,31	0,60	0,90	1
<b>Cicl. Ordinari</b>	0,26	0,32	0,68	0,44	0,40	0,52	0,92	1
<b>Tutti gli eventi</b>	0,35	0,49	0,8	0,65	0,34	0,55	0,90	1

Tabella 5.11 – Valori medi temporali dei parametri per BSC 0001

La configurazione temporale **BSC 0111** consiste in una quantità di pioggia inferiore

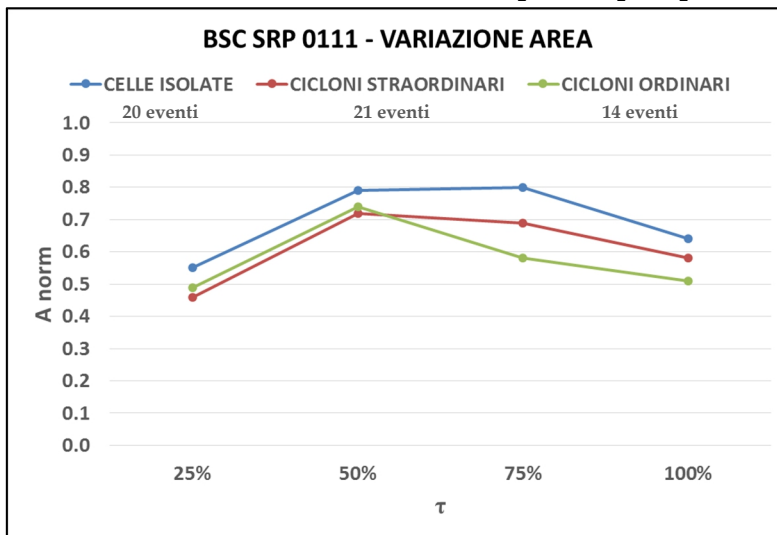


ad un ideale incremento costante per il primo quarto dell'evento e superiore per i rimanenti tre quarti, le massime intensità si sono verificate in media a circa il 40% dell'evento (Figura 5.20).

Tale configurazione ha interessato il 6,7% delle aree totali e, a livello di tipologia d'evento, il 5,4% delle celle, l'8% dei cicloni straordinari ed il 7,4% dei cicloni ordinari.

Figura 5.20 – Esempio di un evento con BSC 0011

Per quel che concerne la variazione temporale dell'area d'influenza, i cicloni straordinari e le celle hanno registrato un incremento nella prima metà dell'evento, un andamento costante nel terzo quarto per poi decrescere nell'ultimo quarto.



Invece nei cicloni ordinari il decremento parte da metà evento (Figura 5.21 – Tabella 5.12).

Figura 5.21 – Variazione area d'influenza per BSC 0111

Riguardo alla variazione temporale della cumulata massima (Figura 5.22 – Tabella 5.12), gli andamenti sono stati caratterizzati da una concavità verso il basso. A livello di cluster la differenza è risultata essere contenuta.

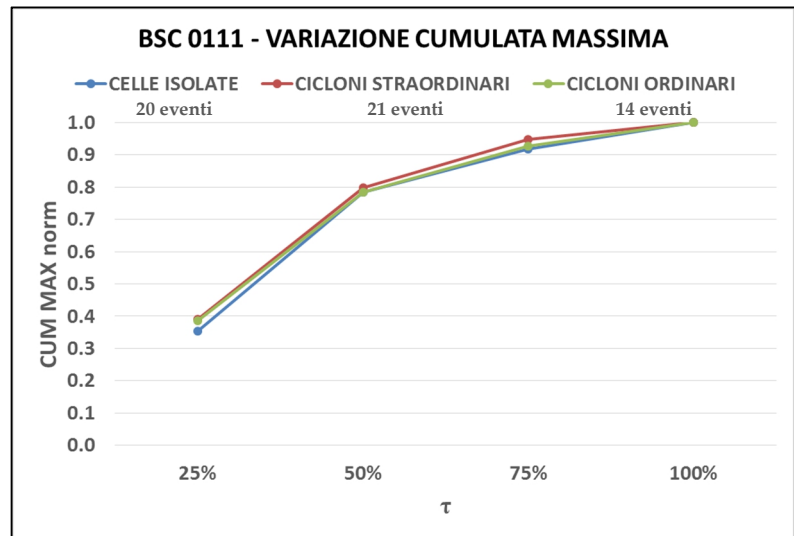


Figura 5.22 – Variazione cumulata massima per BSC 0111

BSC 0111	Area d’influenza				Cumulata Massima			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>Celle Isolate</b>	0,55	0,79	0,8	0,64	0,35	0,78	0,92	1
<b>Cicl. Straordinari</b>	0,46	0,72	0,69	0,58	0,39	0,80	0,95	1
<b>Cicl. Ordinari</b>	0,49	0,74	0,58	0,51	0,39	0,78	0,93	1
<b>Tutti gli eventi</b>	0,5	0,75	0,71	0,58	0,38	0,79	0,93	1

Tabella 5.12 – Valori medi temporali dei parametri per BSC 0111

Vengono dedotte, dalle informazioni sinora viste, le configurazioni più critiche per ogni tipologia d’evento, in base al criterio che almeno un parametro (intensità di pioggia nei 20 minuti, cumulata massima, intensità massima media cioè il rapporto cumulata massima e durata), deve presentare il valore più alto rispetto alle altre evoluzioni temporali. Nelle seguenti tabelle le configurazioni critiche sono indicate in grassetto per ogni cluster meteorico (Tabelle 5.13-5.14-5.15).

CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE – valori medi					
BSC	n° aree	I max (mm/20min)	Cum Max (mm)	Durata (ore)	I max med (mm/ore)
1111	217	21,5	26,9	1,9	14,2
<b>0000</b>	52	<b>26</b>	41	3,9	10,5
<b>0011</b>	18	22,4	<b>46,8</b>	2,6	<b>18</b>
0001	21	25,9	39,6	3,9	10,2
0111	20	20,8	40,4	3,9	10,3

Tabella 5.13 – Parametri per definire configurazioni più critiche – Celle temporalesche isolate

<b>CICLONI STRAORDINARI – valori medi</b>					
<b>BSC</b>	<b>n° aree</b>	<b>I max (mm/20min)</b>	<b>Cum Max (mm)</b>	<b>Durata (ore)</b>	<b>I max med (mm/ore)</b>
1111	79	25,3	71,7	10,0	7,2
0000	67	22,8	79,7	10,7	7,5
<b>0011</b>	41	<b>25,3</b>	90,1	8,3	<b>10,8</b>
0001	25	24,7	71,4	7,6	9,4
<b>0111</b>	21	24,7	<b>91,4</b>	13,4	6,8

Tabella 5.14 – Parametri per definire configurazioni più critiche – Cicloni straordinari

<b>CICLONI ORDINARI – valori medi</b>					
<b>BSC</b>	<b>n° aree</b>	<b>I max (mm/20min)</b>	<b>Cum Max (mm)</b>	<b>Durata (ore)</b>	<b>I max med (mm/ore)</b>
<b>1111</b>	65	<b>24,1</b>	73,9	23,1	3,2
0000	44	20,9	69,9	22,6	3,1
0011	14	23,2	81,7	22,5	3,6
0001	14	23,6	79,9	19,7	4,0
<b>0111</b>	14	18,4	<b>86,1</b>	21,2	<b>4,1</b>

Tabella 5.15 – Parametri per definire configurazioni più critiche – Cicloni ordinari

I risultati possono essere sintetizzati nel seguente modo.

Celle temporalesche isolate:

- 0011 (5%) si sono avute le più elevate cumulate ed intensità massime medie;
- 0000 (19,9%) si sono registrate le  $I_{max}$  (mm/20min) più elevate.

Cicloni straordinari:

- 0011 (15,5%) si sono registrate le  $I_{max}$  (mm/20min) più elevate oltre alle più alte intensità massime medie;
- 0111 (8%) si sono registrati i più elevati valori di cumulata massima.

Cicloni ordinari:

- 1111 (34,6%) si sono registrate le  $I_{max}$  (mm/20min) più elevate;
- 0111 (7,4%) si sono registrati i più elevati valori di cumulata massima oltre alle più alte intensità massime medie.



E' giusto osservare che la configurazione temporale BSC 1111 (la più frequente in assoluto) ha registrato valori di  $I_{max}$  (mm/20min) alti per i cluster ciclonici; tuttavia, tale risultato è compensato dalle massime cumulate ed intensità massime medie tra le più basse rispetto alle altre configurazioni temporali prevalenti.

Infine vale la pena notare come, tra i 9 eventi presenti in questo database segnalati e documentati dal Centro Funzionale Multirischi della Calabria (<http://www.cfd.calabria.it/index.php/pubblicazioni/voce-2>), dunque fenomeni importanti da un punto di vista pluviometrico e con notevoli effetti al suolo, ben 5 di essi hanno mostrato una configurazione temporale 0011 e solo 2 la configurazione prevalente 1111 (Tabella 5.16), mentre tra i 3 *medicanes*, ben 2 hanno registrato un BSC pari a 0111 (Tabella 5.17). Ciò nonostante la netta differenza di proporzione tra gli eventi appartenenti ai BSC 1111, 0000, che costituiscono circa il 65% degli eventi totali, e quelli ricadenti nei BSC 0011, 0111, che invece ne includono poco più del 15%. Questo conferma quanto su scritto relativamente alle configurazioni maggiormente critiche.

ID	Data Evento	BSC			
242	24-27/09/2009	1	1	1	1
256	09-10/03/2010	0	0	0	0
283	02/11/2010	0	0	1	1
284	03-04/11/2010	0	0	1	1
311	22-23/11/2011	0	0	1	1
373	18-19/11/2013	0	0	1	1
377	31/01/2014 - 02/01/2015	0	0	1	1
437	11-12/08/2015	1	1	1	1
456	30/10/2015 - 02/11/2015	1	1	0	0

Tabella 5.16 – BSC eventi segnalati dal Centro Funzionale Multirischi Calabria (cicloni straordinari)

ID	Data Evento	BSC			
137	24-27/09/2009	0	1	1	1
167	09-10/03/2010	1	1	1	1
409	02/11/2010	0	1	1	1

Tabella 5.17 – BSC “*medicanes*” (inseriti nei cicloni straordinari – vedasi Capitolo 3, paragrafo 3.3)

## 5.2. Analisi statistica delle caratteristiche geometriche

In questa parte del lavoro è stata condotta un'analisi statistica di alcune caratteristiche finali relative alle 820 aree d'influenza (paragrafo 1.4.5); tali proprietà sono state scelte in maniera tale da poter rappresentare delle grandezze geometriche, e per questo motivo sono state prese in considerazione:

- $A$  (km<sup>2</sup>), area d'influenza, vedi paragrafo 1.4.5;
- $H_{MAX}$  (mm), cumulata massima puntuale, valutata come valore più elevato di pioggia registrato tra le stazioni ricadenti in una determinata area d'influenza;
- $D$  (ore), durata (che non rappresenta una grandezza geometrica).

E' bene specificare che  $A$  può rappresentare una base ideale di un evento (in tal contesto di una sub-area dell'evento), mentre  $H_{MAX}$  l'altezza massima.

Suddivise le 820 aree d'influenza per tipologia d'evento (come visto nel paragrafo 5.1.1) ed ulteriormente per stagioni (quando la base numerica del campione è consistente), alle sovra elencate caratteristiche sono state applicate diverse distribuzioni di probabilità, tra cui: Weibull (già descritta nel precedente capitolo), Esponenziale, Normale e Log-Normale. Queste ultime vengono nel seguito brevemente richiamate.

### 5.2.1 Distribuzione Esponenziale

L'Esponenziale è una distribuzione di probabilità continua, definita su valori reali positivi e descritta dal parametro  $\lambda$ , cioè l'inverso del valore atteso relativo all'intervallo temporale tra due occorrenze consecutive di Poisson.

Nel seguito la funzione di probabilità cumulata (o funzione di ripartizione - CDF) e la funzione di densità di probabilità (PDF), rispettivamente 5.4, 5.5:

$$F_X(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (5.4)$$

$$f_X(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (5.5)$$

con  $x > 0$ ,  $\lambda > 0$ .

Vengono riportate le formulazioni relative ai momenti teorici della distribuzione, ovvero media, varianza, asimmetria e curtosi (rispettivamente 5.6, 5.7, 5.8, 5.9):

$$\mu_X = \frac{1}{\lambda} \quad (5.6)$$

$$\sigma^2_X = \frac{1}{\lambda^2} \quad (5.7)$$

$$\gamma_1 = 2 \quad (5.8)$$

$$\gamma_2 = 6 \quad (5.9)$$

Per la costruzione del cartogramma probabilistico, la variabile ridotta  $Y$  sarà:

$$Y = \lambda X \quad (5.10)$$

in questo modo risulterà:

$$F_Y(y) = 1 - e^{-y} \quad (5.11)$$

dalla quale si ottiene:

$$Y = -\ln(1 - F_Y(y)) \quad (5.12)$$

E' quindi possibile costruire il cartogramma considerando come asse orizzontale  $X$  e come assi verticali  $F_Y(y)$  e le corrispondenti  $Y$  (Tabella 5.18):

<b><math>F_Y(y)</math></b>	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.995	0.998
<b><math>Y</math></b>	0,105	0,223	0,693	1,609	2,303	2,996	3,912	5,298	6,215

Tabella 5.18 – Valori di  $Y$  corrispondenti a  $F_Y(y)$  selezionati per la distribuzione Esponenziale

Il coefficiente angolare della retta interpolante risulta pari al parametro  $\lambda$  della distribuzione:

$$m = \lambda \quad (5.13)$$

### 5.2.2 Distribuzione Normale

La Normale è una distribuzione di probabilità continua, definita sull'intero asse reale e descritta dai parametri  $\mu$  e  $\sigma$ , rispettivamente la media e la deviazione standard della variabile casuale.

Nel seguito la funzione di probabilità cumulata (o funzione di ripartizione - CDF) e la funzione di densità di probabilità (PDF), rispettivamente 5.14, 5.15:

$$F_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (5.14)$$

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.15)$$

con  $x \in (-\infty; +\infty)$ ,  $\mu \in (-\infty; +\infty)$ ,  $\sigma > 0$ .

Vengono riportate le formulazioni relative ai momenti teorici della distribuzione, ovvero media, varianza, asimmetria e curtosi (rispettivamente 5.16, 5.17, 5.18, 5.19):

$$\mu_X = \mu \quad (5.16)$$

$$\sigma^2_X = \sigma^2 \quad (5.17)$$

$$\gamma_1 = 0 \quad (5.18)$$

$$\gamma_2 = 0 \quad (5.19)$$

Per la costruzione del cartogramma probabilistico, si utilizza variabile ridotta  $Y$  standardizzata, avente media nulla e deviazione standard unitaria:

$$Y = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (5.20)$$

in questo modo risulterà:

$$F_Y(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (5.21)$$

dalla quale si ottiene:

$$Y = Q^{-1}(F_Y(y)) \tag{5.22}$$

dove  $Q^{-1}$  è l'inversa di  $Q$ , cioè l'inversa della funzione di probabilità cumulata normale standard.

E' quindi possibile costruire il cartogramma considerando come asse orizzontale  $X$  e come assi verticali  $F_Y(y)$  e le corrispondenti  $Y$  (Tabella 5.19):

$F_Y(y)$	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.95	0.98	0.995	0.998
$Y$	-1,282	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,645	2,053	2,576	2,878

Tabella 5.19 – Valori di  $y$  corrispondenti a  $F_Y(y)$  selezionati per la distribuzione Normale

### 5.2.3 Distribuzione Log-Normale

La Log-Normale è la distribuzione di una variabile aleatoria  $X$  la cui trasformata  $Y=\ln(X)$  è distribuita secondo legge Normale, viene descritta dai parametri  $\mu_y$  e  $\sigma_y$ , rispettivamente la media e la deviazione standard della variabile trasformata.

Nel seguito la funzione di probabilità cumulata (o funzione di ripartizione - CDF) e la funzione di densità di probabilità (PDF), rispettivamente 5.23, 5.24:

$$F_Y(xy) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} dy \tag{5.23}$$

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \tag{5.24}$$

con  $x>0$ ,  $\mu_y \in (-\infty; +\infty)$ ,  $\sigma_y > 0$ .

Vengono riportate le formulazioni relative ai momenti teorici della distribuzione, ovvero media, varianza, asimmetria e curtosi (rispettivamente 5.25, 5.26, 5.27, 5.28):

$$\mu_X = e^{\mu_y + \frac{1}{2}\sigma_y^2} \tag{5.25}$$

$$\sigma^2_X = e^{2\mu_y + 2\sigma_y^2} - e^{2\mu_y + \sigma_y^2} \tag{5.26}$$

$$\gamma_1 = (e^{\sigma_y^2} + 2)\sqrt{e^{\sigma_y^2} - 1} \quad (5.27)$$

$$\gamma_2 = e^{4\sigma_y^2} + e^{3\sigma_y^2} + e^{2\sigma_y^2} - 6 \quad (5.28)$$

La procedura per costruire il cartogramma probabilistico è identica a quella utilizzata per la distribuzione normale, con l'unica differenza che come asse orizzontale verrà utilizzato  $\ln(X)$  anziché  $X$ .

La scelta della migliore distribuzione di ogni caratteristica finale ( $H_{MAX}$ ,  $A$ ,  $D$ ), relativamente ad ogni configurazione tipologia d'evento-stagione-zona, è stata effettuata calcolando il coefficiente di determinazione  $R^2$  (vedi paragrafo 4.1.4) sui vari cartogrammi probabilistici relativi alle diverse distribuzioni applicate. Si ricorda che tale indice varia tra 0 (totale mancanza di adattamento della distribuzione ai dati osservati) ed 1 (la distribuzione si adatta perfettamente ai dati osservati).

#### 5.2.4 Applicazione ai casi di studio

A partire dalle 820 aree d'influenza, relative a 459 eventi, sono stati considerati campioni di cluster d'evento-stagione con almeno 50 dati. Per tale ragione sono state escluse a priori le stagioni invernale e primaverile.

Nel voler arrivare a configurazioni che tengano anche conto dell'ubicazione di un fenomeno, si è introdotta l'ipotesi che un certo evento si verifica in una determinata ZDA nel momento in cui la stazione che registra la massima cumulata si trovi nella medesima ZDA. E' ragionevole restringere tale approssimazione alle sole celle isolate, essendo molto localizzate, a differenza dei cicloni, i quali però, in relazione ai differenti effetti al suolo prodotti in termini di cumulate (Capitolo 3 – paragrafo 3.4), forniscono di già, in grandi linee, un'idea di suddivisione territoriale.

Per quanto riguarda le 368 celle temporalesche isolate, 216 si verificano nella stagione estiva e 110 nella stagione autunnale, tra le celle estive, 101 hanno il "centro" ricadente in una ZDA tirrenica, mentre 115 in una ZDA ionica, nelle celle autunnali la suddivisione Ionio-Tirreno non garantisce una numerosità campionaria adeguata.

Relativamente ai 264 cicloni straordinari, 137 si verificano nella stagione autunnale e 71 nella stagione estiva, invece per quel che concerne gli 188 cicloni ordinari, ben 122 si verificano nella stagione autunnale mentre solo 37 nella stagione estiva.

Vengono nel seguito elencate le combinazioni oggetto di analisi:

- celle temporalesche isolate (368);
- celle temporalesche isolate – estate (216);
- celle temporalesche isolate – estate – ZDA tirrenica (101);
- celle temporalesche isolate – estate – ZDA ionica (115);
- celle temporalesche isolate – autunno (110);
- cicloni straordinari (264);
- cicloni straordinari – estate (71);
- cicloni straordinari – autunno (137);
- cicloni ordinari (188);
- cicloni ordinari – autunno (122).

Per ognuna delle sovra elencate configurazioni, relativamente a ciascuna variabile aleatoria considerata ( $A$ ,  $H_{MAX}$ ,  $D$ ), vengono tabellati i risultati, in termini di  $R^2$ , delle varie distribuzioni probabilistiche utilizzate, con anche l'indicazione della migliore (o migliori) tra esse ed i corrispettivi valori dei parametri che la caratterizzano (Tabelle 5.20-5.39).

Variabile	$R^2$ (Log-Norm)	$R^2$ (Weibull)	$R^2$ (Norm)	$R^2$ (Exp)
A	<b>0,997</b>	0,943	0,561	0,853
$H_{MAX}$	<b>0,991</b>	0,912	0,760	0,947
D	0,972	<b>0,992</b>	0,925	<b>0,995</b>

Tabella 5.20 –  $R^2$  (celle temporalesche isolate)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		$\mu_y$	$\sigma_y$	$\alpha$	$\beta$	$\mu$	$\sigma$	$\lambda$
A	Log-Normale	5,40	1,19					
$H_{MAX}$	Log-Normale	3,28	0,57					
D	Esponenziale/Weibull			0,28	1,22			0,47

Tabella 5.21 – Parametri distribuzioni ottimali (celle temporalesche isolate)

Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	<b>0,994</b>	0,959	0,716	0,969
H <sub>MAX</sub>	<b>0,985</b>	0,912	0,692	0,870
D	0,980	0,985	0,904	<b>0,992</b>

Tabella 5.22 – R<sup>2</sup> (celle temporalesche isolate/estate)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Log-Normale	5,34	1,19					
H <sub>MAX</sub>	Log-Normale	3,22	0,55					
D	Esponenziale							0,49

Tabella 5.23 – Parametri distribuzioni ottimali (celle temporalesche isolate/estate)

Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	<b>0,988</b>	0,972	0,731	0,962
H <sub>MAX</sub>	<b>0,964</b>	0,888	0,562	0,767
D	0,984	0,981	0,909	<b>0,992</b>

Tabella 5.24 – R<sup>2</sup> (celle temporalesche isolate/estate/tirrenica)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Log-Normale	5,23	1,14					
H <sub>MAX</sub>	Log-Normale	3,20	0,55					
D	Esponenziale							0,49

Tabella 5.25 – Parametri distribuzioni ottimali (celle temporalesche isolate/estate/tirrenica)

Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	<b>0,993</b>	0,954	0,721	0,960
H <sub>MAX</sub>	<b>0,992</b>	0,940	0,894	0,982
D	<b>0,970</b>	<b>0,975</b>	0,852	0,960

Tabella 5.26 – R<sup>2</sup> (celle temporalesche isolate/estate/ionica)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Log-Normale	5,43	1,21					
H <sub>MAX</sub>	Log-Normale	3,25	0,54					
D	Weibull	0,60	0,82	0,32	1,21			

Tabella 5.27 – Parametri distribuzioni ottimali (celle temporalesche isolate/estate/ionica)



Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	<b>0,988</b>	0,906	0,501	0,793
H <sub>MAX</sub>	<b>0,990</b>	0,917	0,812	0,983
D	0,959	<b>0,983</b>	0,916	0,977

Tabella 5.28 – R<sup>2</sup> (celle temporalesche isolate/autunno)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Log-Normale	5,30	1,18					
H <sub>MAX</sub>	Log-Normale	3,37	0,60					
D	Weibull			0,30	1,08			

Tabella 5.29 – Parametri distribuzioni ottimali (celle temporalesche isolate/autunno)

Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	<b>0,974</b>	0,956	0,734	0,917
H <sub>MAX</sub>	<b>0,980</b>	0,878	0,616	0,904
D	<b>0,996</b>	0,951	0,747	0,965

Tabella 5.30 – R<sup>2</sup> (cicloni straordinari)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Log-Normale	6,98	1,71					
H <sub>MAX</sub>	Log-Normale	4,00	0,80					
D	Log-Normale	1,96	0,86					

Tabella 5.31 – Parametri distribuzioni ottimali (cicloni straordinari)

Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	<b>0,988</b>	0,951	0,645	0,919
H <sub>MAX</sub>	<b>0,975</b>	0,927	0,689	0,847
D	<b>0,975</b>	0,936	0,665	0,879

Tabella 5.32 – R<sup>2</sup> (cicloni straordinari/estate)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Log-Normale	6,28	1,51					
H <sub>MAX</sub>	Log-Normale	3,60	0,62					
D	Log-Normale	1,55	0,78					

Tabella 5.33 – Parametri distribuzioni ottimali (cicloni straordinari/estate)

Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	<b>0,973</b>	0,964	0,746	0,909
H <sub>MAX</sub>	<b>0,969</b>	0,868	0,607	0,876
D	<b>0,993</b>	0,959	0,719	0,949

Tabella 5.34 – R<sup>2</sup> (cicloni straordinari/autunno)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Log-Normale	7,05	1,67					
H <sub>MAX</sub>	Log-Normale	4,11	0,76					
D	Log-Normale	2,09	0,84					

Tabella 5.35 – Parametri distribuzioni ottimali (cicloni straordinari/autunno)

Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	<b>0,971</b>	0,964	0,717	0,961
H <sub>MAX</sub>	<b>0,995</b>	0,944	0,911	0,987
D	0,934	<b>0,996</b>	0,943	0,950

Tabella 5.36 – R<sup>2</sup> (cicloni ordinari)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Log-Normale	6,56	1,83					
H <sub>MAX</sub>	Log-Normale	4,17	0,53					
D	Weibull			0,01	1,61			

Tabella 5.37 – Parametri distribuzioni ottimali (cicloni ordinari)

Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	<b>0,963</b>	0,952	0,712	0,958
H <sub>MAX</sub>	<b>0,995</b>	0,959	0,928	0,984
D	0,924	<b>0,991</b>	0,973	0,884

Tabella 5.38 – R<sup>2</sup> (cicloni ordinari/autunno)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Log-Normale	6,43	1,94					
H <sub>MAX</sub>	Log-Normale	4,17	0,54					
D	Weibull			0,01	1,61			

Tabella 5.39 – Parametri distribuzioni ottimali (cicloni ordinari/autunno)

In Appendice B sono illustrate, per ogni variabile di ciascuna configurazione sopra elencata, i cartogrammi probabilistici per le diverse distribuzioni applicate (Figure B.25-B.54).

Si è osservato che:

- la distribuzione **Log-Normale** è quella che nella maggioranza dei casi meglio descrive le variabili geometriche considerate, eccezion fatta per la durata, che registra una situazione mista; in particolare, nelle configurazioni relative alle celle temporalesche isolate, essa è alternativamente descritta dalle distribuzioni Esponenziale e Weibull, nei cicloni straordinari dalla Log-Normale e nei cicloni ordinari dalla Weibull.
- La distribuzione Normale è risultata in generale quella che meno si adatta alle grandezze in esame.

### 5.2.5 Descrizione delle grandezze geometriche

Viene nel seguito descritto il comportamento delle diverse grandezze geometriche ( $A$ ,  $H_{MAX}$ ,  $D$ ) all'interno di ogni configurazione sopra esaminata.

Partendo dall'**area d'influenza (A)**, essa è stata sempre ben descritta dalla distribuzione Log-Normale. Considerando la suddivisione per tipologia d'evento, si è osservato come le celle isolate abbiano un'area d'influenza inferiore ai cluster ciclonici, all'interno dei quali gli straordinari presentano aree superiori, dunque maggiori estensioni di zone con pioggia ad elevata intensità (Figura 5.23).

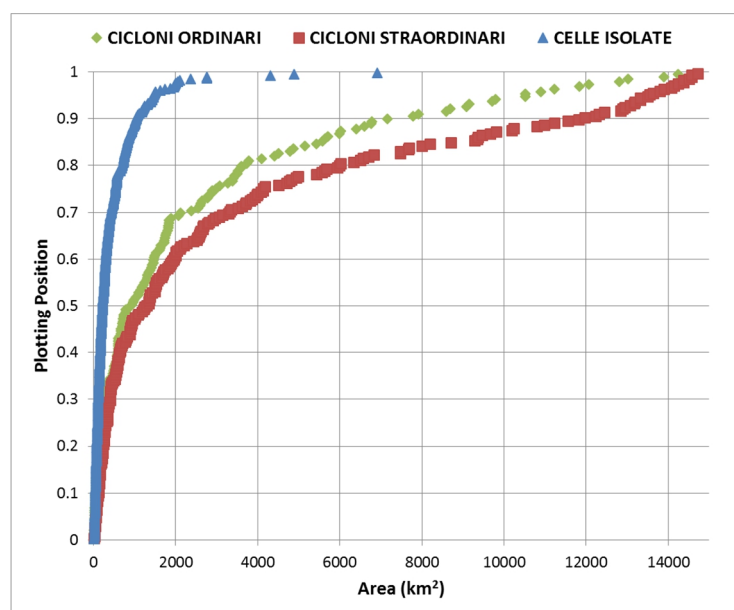


Figura 5.23 – Distribuzioni aree per cluster d'evento

Passando alla separazione stagionale (sempre internamente ad ogni pattern meteorologico), nelle celle temporalesche isolate non si è rilevata una marcata differenza tra le stagioni estiva ed autunnale (Figura 5.24); difatti i parametri della distribuzione che le descrivono sono risultati molto simili tra loro (vedi Tabelle 5.23 e 5.25). Al contrario, nei cluster ciclonici si sono registrate aree maggiori nella stagione autunnale (Figure 5.25 e 5.26).

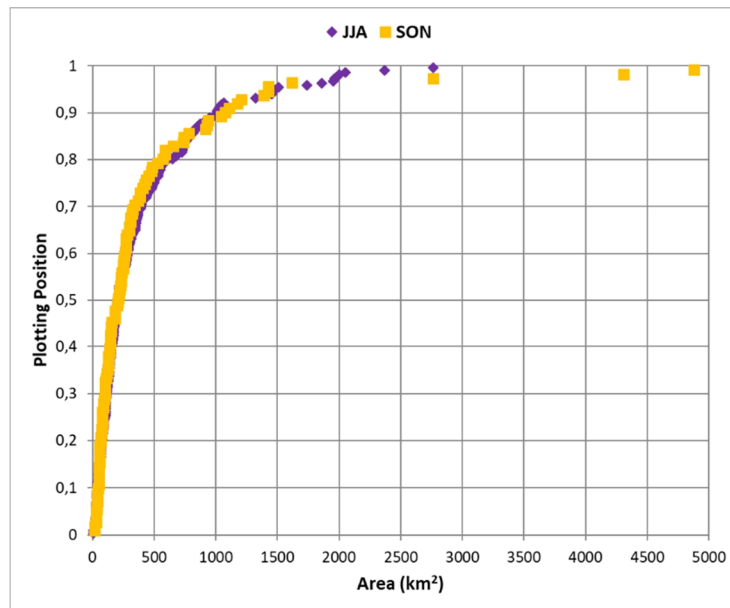


Figura 5.24 – Distribuzioni aree – celle temporalesche isolate – estate/autunno

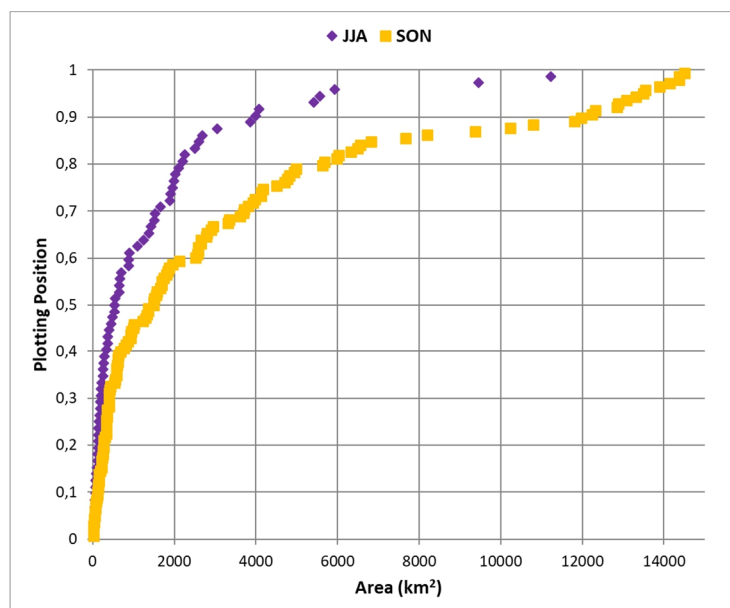


Figura 5.25 – Distribuzioni aree – cicloni straordinari – estate/autunno

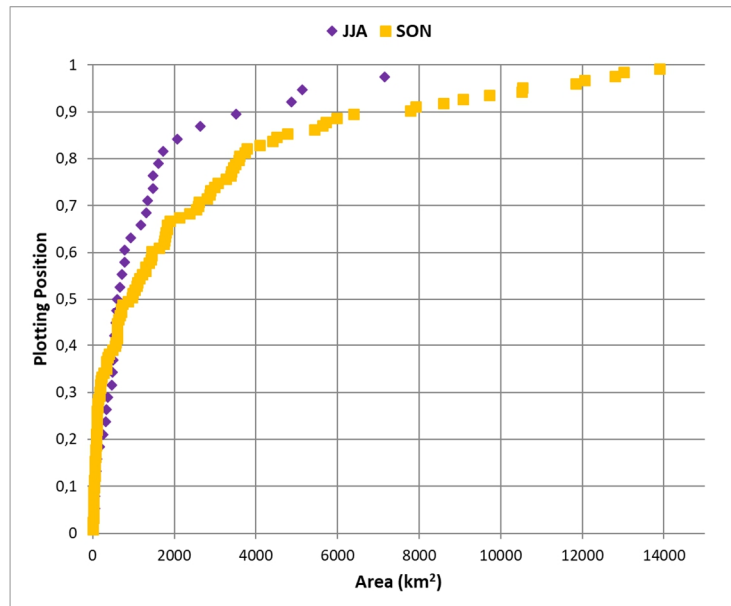


Figura 5.26 – Distribuzioni aree – cicloni ordinari – estate/autunno

Come visto nel precedente paragrafo, è stata considerata la suddivisione Ionio-Tirreno solo per il cluster relativo alle celle temporalesche isolate che si sono verificate in estate, osservando celle ubicate nelle ZDA ioniche aventi aree di poco superiori a quelle localizzate nelle ZDA tirreniche per elevate probabilità di non superamento ( $P > 0,7$  circa) (Figura 5.27).

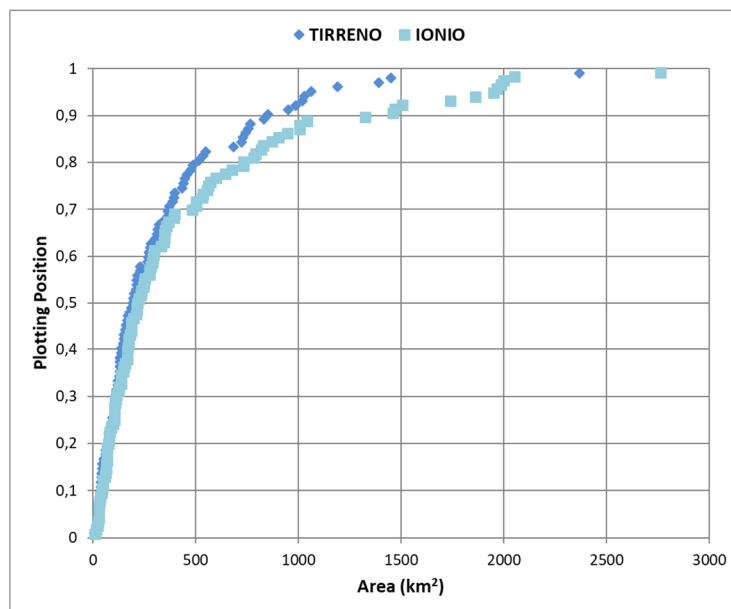


Figura 5.27 – Distribuzioni aree – celle temporalesche isolate – estate – Ionio/Tirreno

Considerando la **durata (D)**, come detto in precedenza, è stata alternativamente ben interpretata da Log-Normale, Weibull ed Esponenziale. Per tipologia d'evento è risultata netta la differenza, sia nei valori che negli andamenti probabilistici, tra celle (breve), cicloni ordinari (lunghi) e cicloni straordinari (intermedi) (Figura 5.28).

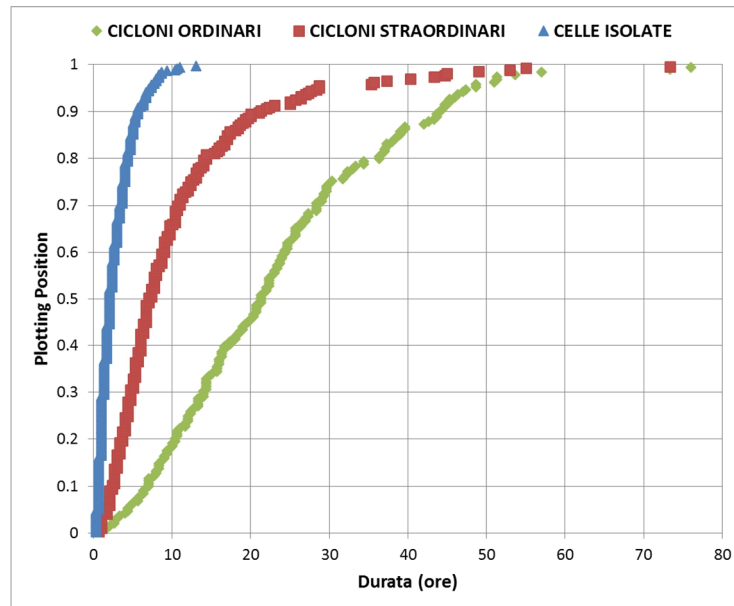


Figura 5.28 – Distribuzioni durate per cluster d'evento

Andando alla ulteriore separazione per stagioni, le celle temporalesche isolate autunnali sono risultate essere poco più durature di quelle estive per probabilità di non superamento  $P > 0,5$  circa (Figura 5.29).

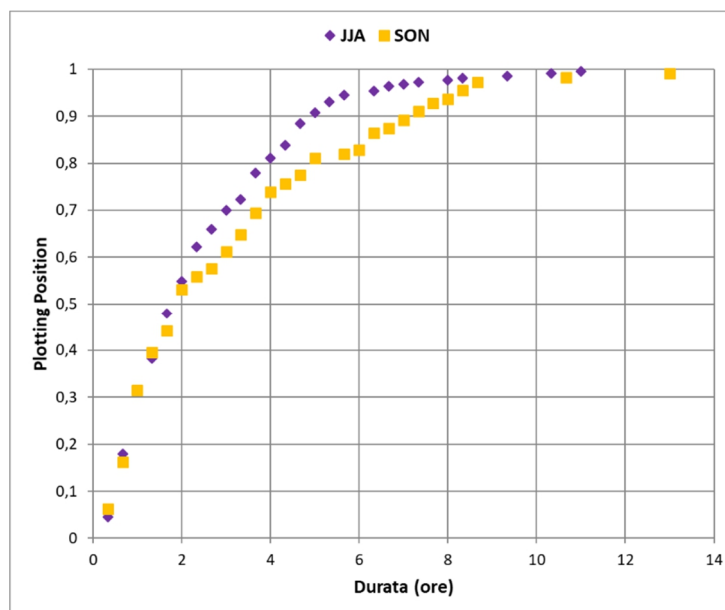


Figura 5.29 – Distribuzioni durate – celle temporalesche isolate – estate/autunno

I cicloni straordinari verificatisi in autunno sono stati nettamente più duraturi rispetto a quelli estivi (Figura 5.30).

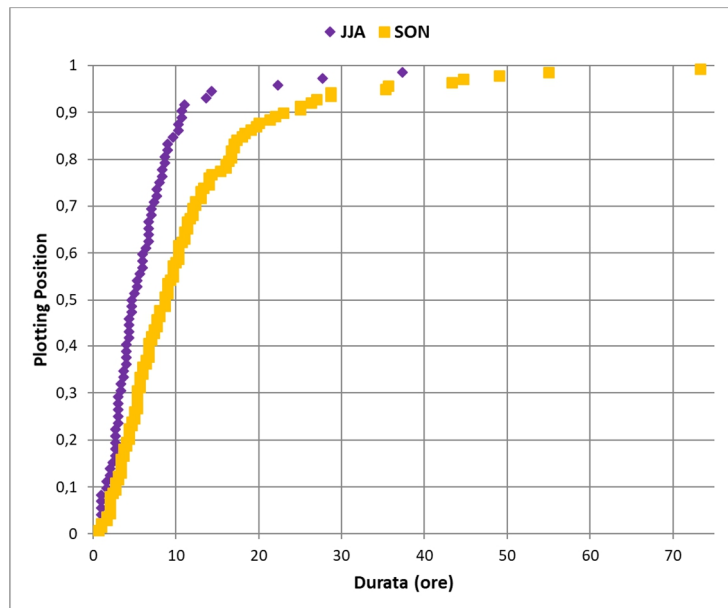


Figura 5.30 – Distribuzioni durate – cicloni straordinari – estate/autunno

Nei cicloni ordinari non vi è stata una chiara differenza in termini stagionali (Figura 5.31); si ricordi altresì che, la quantità di aree relative a quest'ultima tipologia di fenomeni che si verificano in estate, sono state ritenute numericamente non significative per essere interpretate da una distribuzione probabilistica.

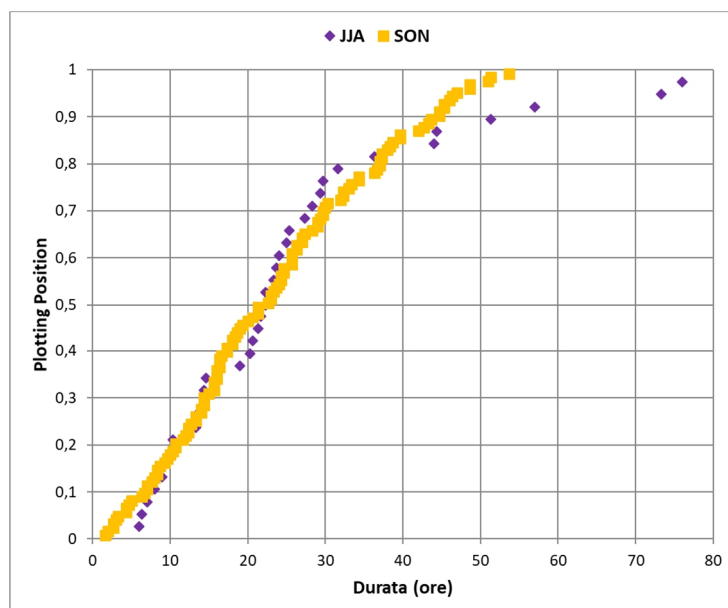


Figura 5.31 – Distribuzioni durate – cicloni ordinari – estate/autunno

Per ultimo, si è osservato che non vi è stata alcuna differenza sostanziale tra durate di eventi estivi a celle isolate verificatosi nelle ZDA tirreniche piuttosto che nelle ZDA ioniche (Figura 5.32).

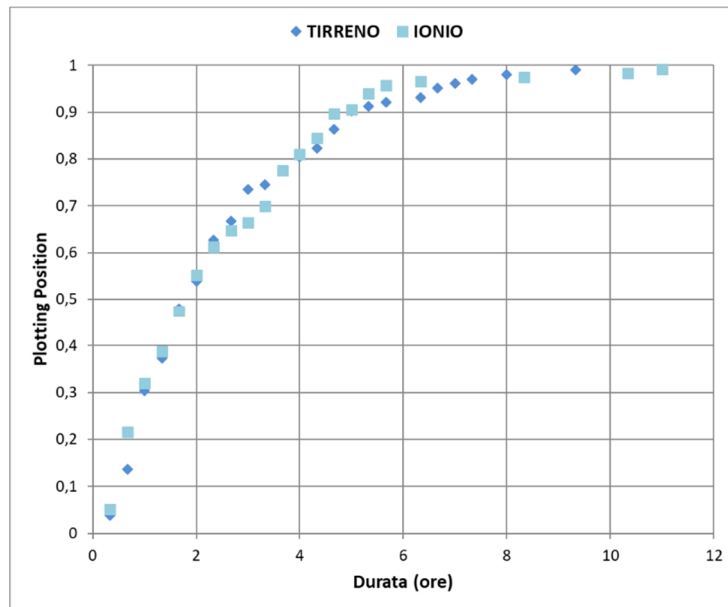


Figura 5.32 – Distribuzioni durate – celle temporalesche isolate – estate – Ionio/Tirreno

Si è analizzata, in ultima istanza, l'**altezza massima di pioggia** ( $H_{MAX}$ ), ben descritta in tutte le configurazioni esaminate dalla distribuzione Log-Normale.

Iniziando dalla separazione degli eventi per tipologia, i cicloni ordinari hanno presentato valori poco più alti rispetto ai cicloni straordinari per  $P < 0,8$  circa; invece, per probabilità di non superamento più elevate, le cumulate massime dei cicloni straordinari hanno raggiunto valori sempre più elevati rispetto agli ordinari. Le celle temporalesche isolate hanno registrato i valori minori (Figura 5.33).

Relazionando l'altezza massima con la durata, cioè esponendo i risultati in termini di intensità massima media di pioggia ( $I_{MAX}$ ), ovvero il rapporto tra cumulata massima e durata (mm/ora), si è osservato che le celle temporalesche isolate superano nettamente i cicloni ordinari, con gli straordinari che si collocano grossomodo a metà (Figure 5.34-5.35).



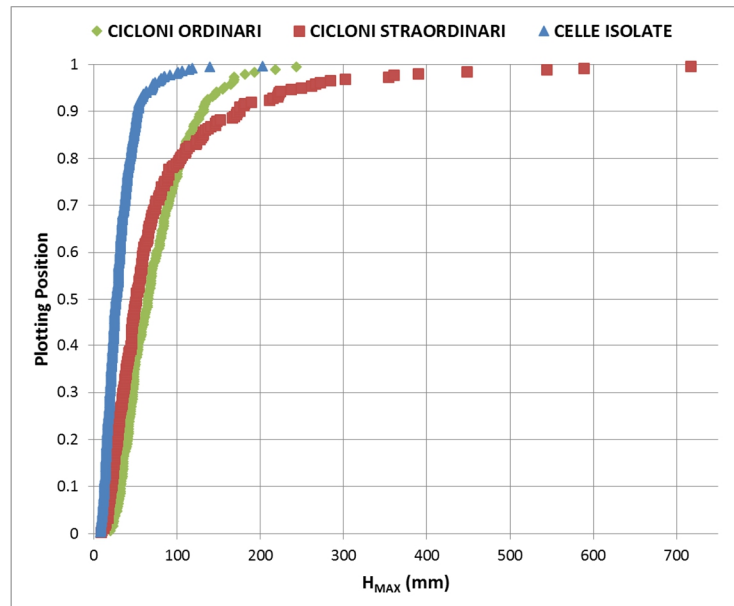


Figura 5.33 – Distribuzioni altezza massima di pioggia per cluster d’evento

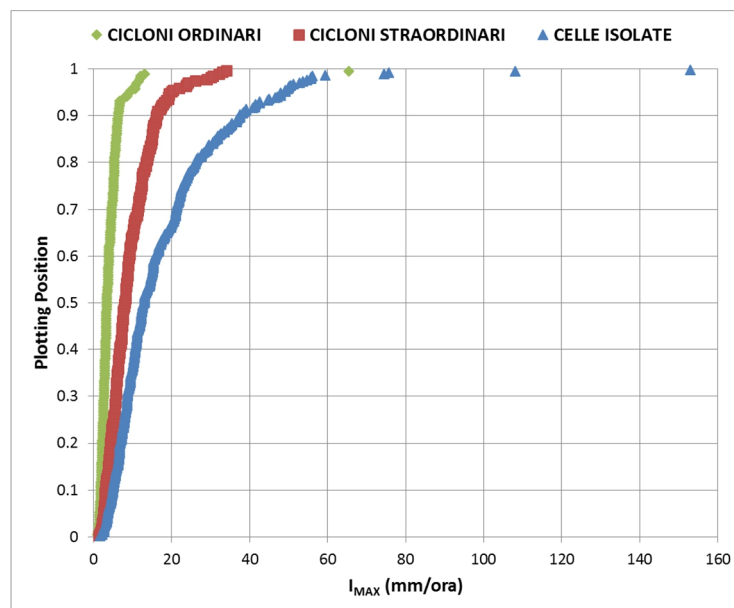


Figura 5.34 – Distribuzioni intensità massima media di pioggia per cluster d’evento

Allo scopo di mettere meglio in evidenza la differenza in termini di intensità massima oraria tra i cluster d’evento, viene riportato il medesimo grafico ma con l’asse delle ascisse in scala logaritmica (Figura 5.35).

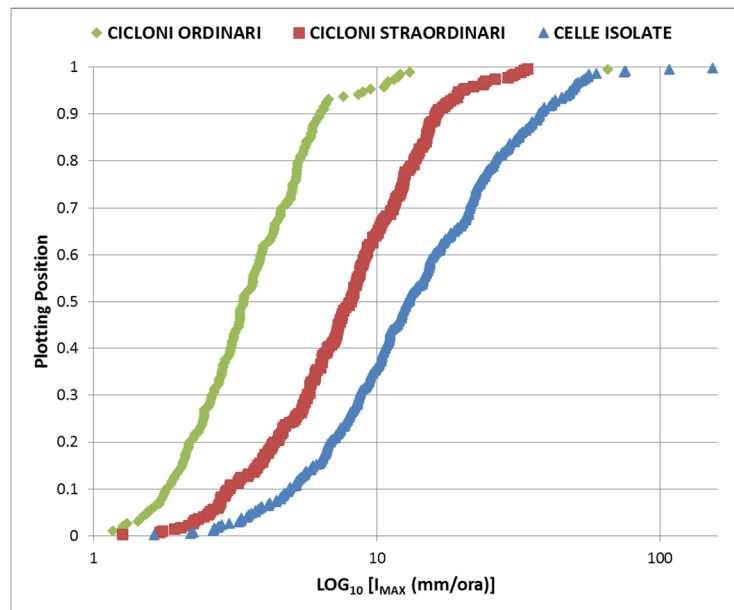


Figura 5.35 – Distribuzioni intensità massima media di pioggia per cluster d'evento – scala semilogaritmica

Passando all'ulteriore livello di stagionalità, le celle temporalesche isolate autunnali hanno registrato cumulate medie lievemente superiori a quelle estive, in termini di intensità massima media i valori sono invece risultati paragonabili (Figure 5.36-5.37).

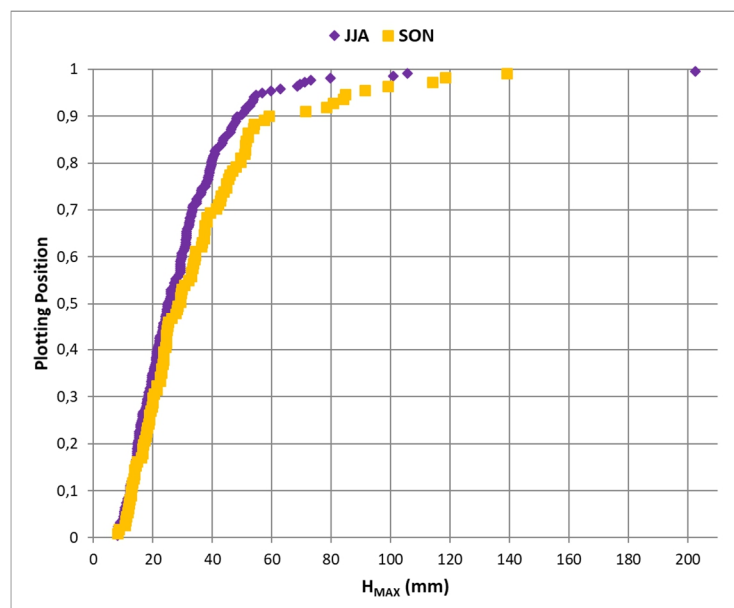


Figura 5.36 – Distribuzioni altezze max di pioggia – celle temporalesche isolate – estate/autunno

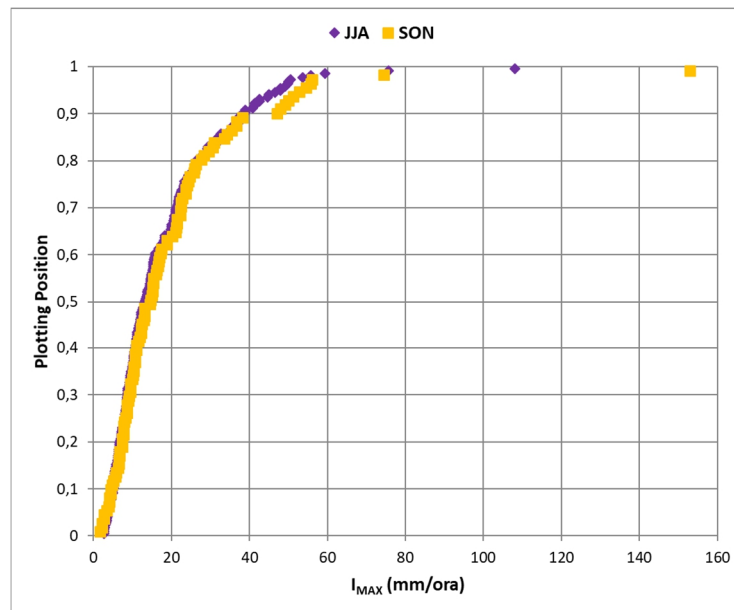


Figura 5.37 – Distribuzioni intensità massima media di pioggia – celle temporalesche isolate – estate/autunno

I cicloni straordinari della stagione autunnale hanno mostrato  $H_{MAX}$  più elevati rispetto a quelli della stagione estiva, invece in termini di  $I_{MAX}$  i valori sono stati abbastanza simili (Figure 5.38-5.39-5.40).

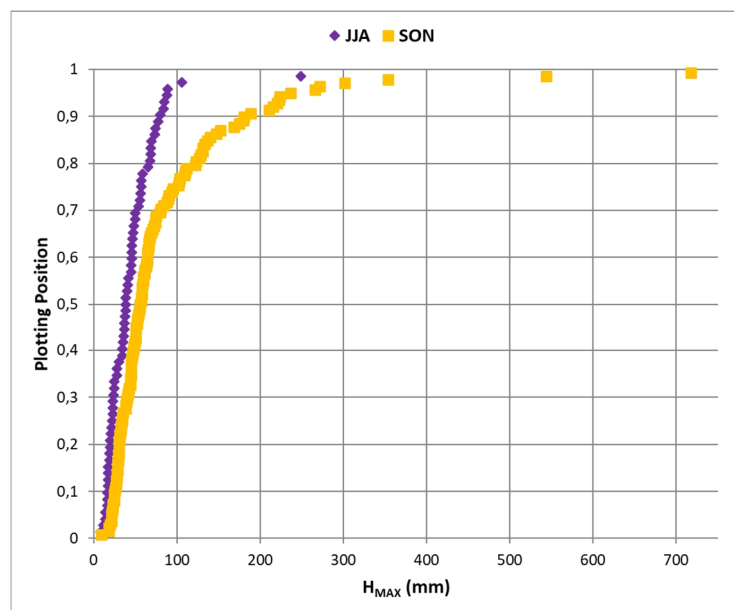


Figura 5.38 – Distribuzioni altezza massima di pioggia – cicloni straordinari – estate/autunno

In tal caso, per mettere in risalto la differenza di altezza massima tra le stagioni autunnale ed estiva all'interno dei cicloni straordinari, è stato riportato il medesimo grafico ma con l'asse delle ascisse ridotto, così da escludere qualche outliers (Figura 5.39).

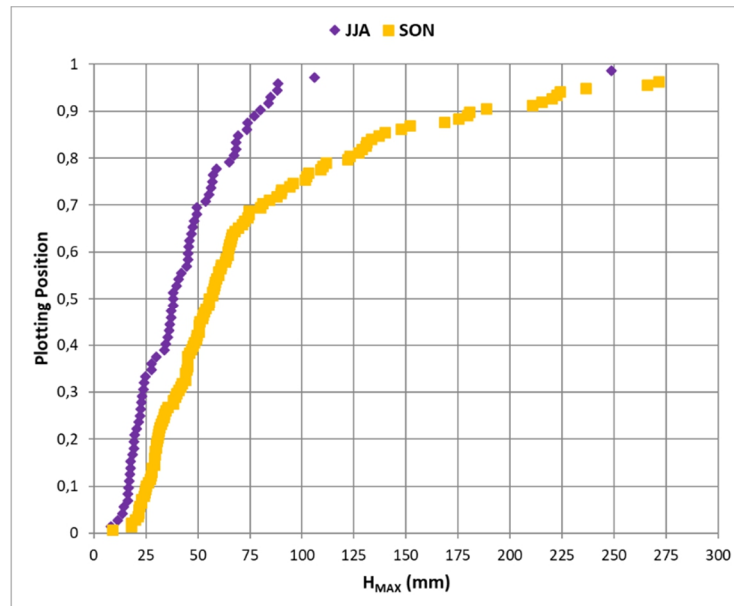


Figura 5.39 – Distribuzioni altezza massima di pioggia – cicloni straordinari – estate/autunno – asse x ridotto

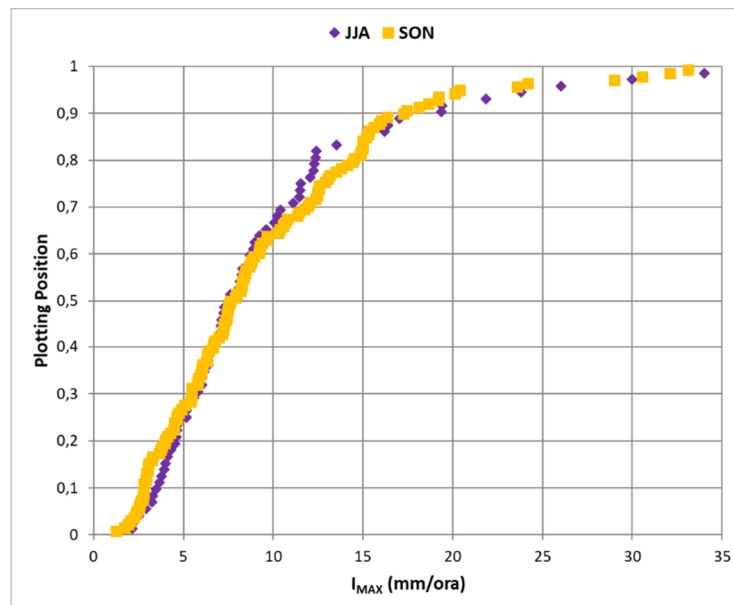


Figura 5.40 – Distribuzioni intensità massima media di pioggia – cicloni straordinari – estate/autunno

Nei cicloni ordinari, per quanto riguarda le cumulate massime, non si sono notate notevoli differenze tra le stagioni estiva ed autunnale; invece, per quanto riguarda le intensità massime medie, quelle autunnali sono risultate essere superiori a quelle estive per  $P > 0,4$  circa (Figure 5.41-5.42).

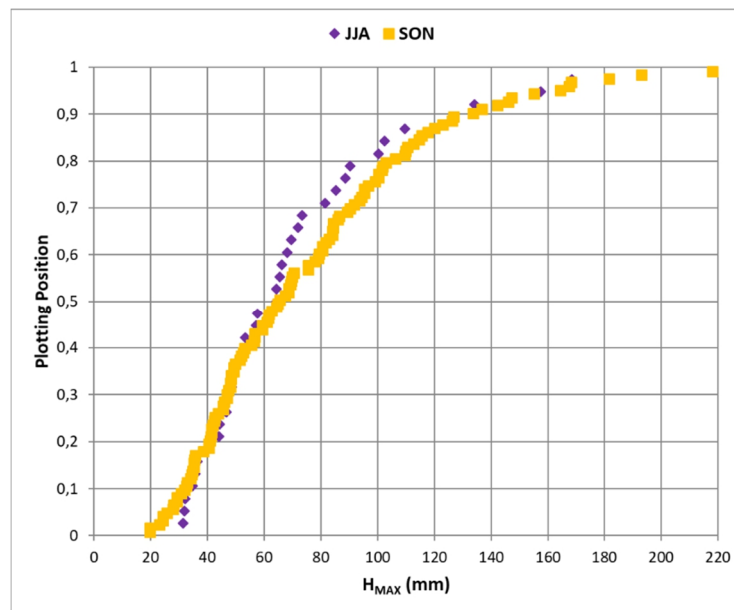


Figura 5.41 – Distribuzioni altezza massima di pioggia – cicloni ordinari – estate/autunno

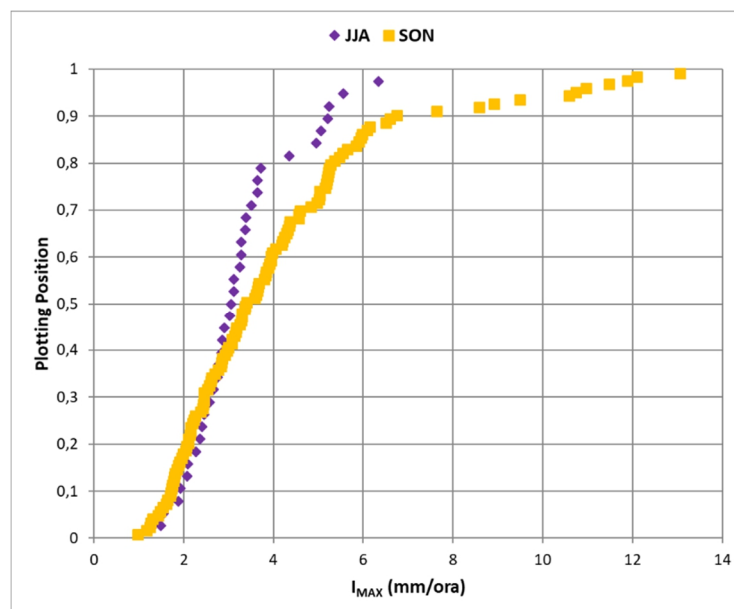


Figura 5.42 – Distribuzioni intensità massima di pioggia – cicloni ordinari – estate/autunno

Infine, non sono state osservate differenze significative sia tra cumulate che intensità massime medie relative ad eventi estivi a celle isolate verificatosi nelle ZDA tirreniche piuttosto che nelle ZDA ioniche (Figure 5.43-5.44).

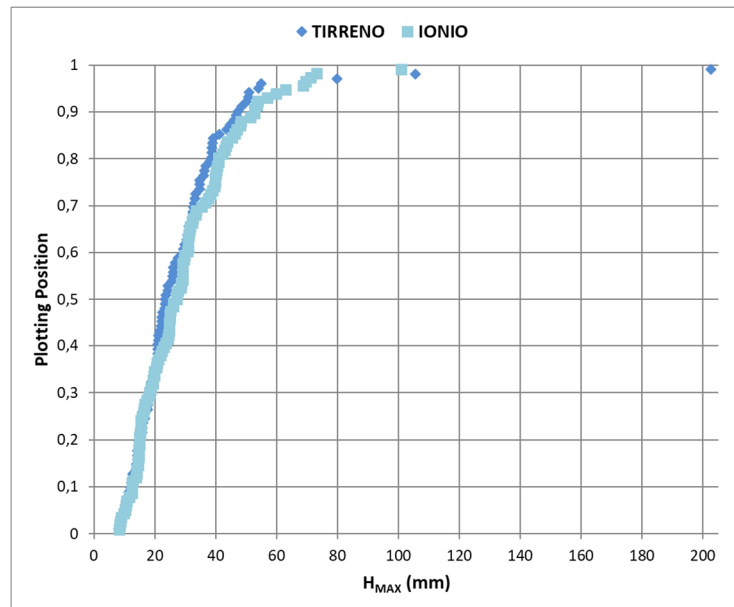


Figura 5.43 – Distribuzioni altezze massime di pioggia – celle temporalesche isolate – estate – Ionio/Tirreno

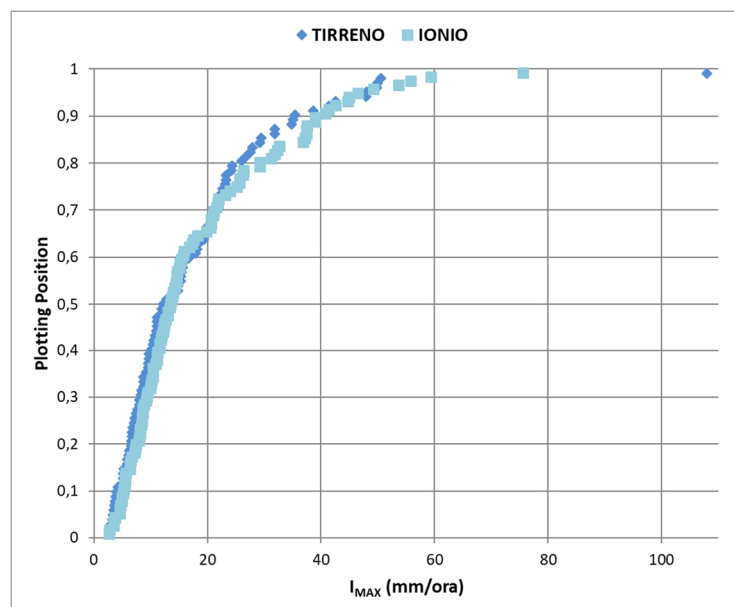


Figura 5.44 – Distribuzioni intensità massime medie di pioggia – celle temporalesche isolate – estate – Ionio/Tirreno

### 5.3. Risultati ottenuti

Sulla base delle elaborazioni relative alla modellazione spazio-temporale di alcune caratteristiche in corso d'evento, è stato possibile sintetizzare i risultati nel seguente modo:

- la configurazione temporale più frequente, tra gli eventi analizzati, è risultata essere la BSC 1111, che consiste in una cumulata di pioggia che, a partire dall'inizio, si mantiene, per tutto l'evento, superiore a quella che si otterrebbe con un incremento costante.
- Le strutture temporali generalmente più critiche in termini di cumulata massima, intensità massima media ed intensità di pioggia nei 20 minuti, sono state la BSC 0011 e la BSC 0111. Si è inoltre osservato che la maggior parte dei recenti eventi con effetti al suolo particolarmente gravosi, e per i quali il Centro Funzionale Multirischi ha stilato specifici rapporti d'evento (<http://www.cfd.calabria.it/index.php/pubblicazioni/voce-2> e Tabella 5.16), nonché gli eventi classificati come *medicane* (Tabella 5.17) presentano per lo più le suddette configurazioni.
- Un aspetto innovativo è consistito nel condurre l'analisi dell'evoluzione temporale, oltre che per il già citato SRP, anche per l'area d'influenza e la massima cumulata, sempre suddividendo l'evento in quartili.

Per quel che concerne l'analisi statistica delle caratteristiche geometriche finali degli eventi esaminati, è stato osservato che:

- nella maggior parte dei casi la distribuzione Log-Normale ha presentato le performance migliori per quanto riguarda la modellazione delle variabili sopra menzionate, alle quali si è aggiunta la durata, per la quale accettabili best-fitting sono stati ottenuti anche con le distribuzioni Esponenziale e Weibull. La distribuzione Normale è risultata in generale quella che meno si adatta alle grandezze in esame.
- Le celle temporalesche isolate conservano le medesime caratteristiche indipendentemente dalla stagionalità (estate o autunno) e dall'ubicazione (versante ionico e tirrenico).
- I cicloni straordinari presentano i valori più elevati di aree, durate e cumulate massime nella stagione autunnale rispetto a quella estiva. Diversamente le intensità massime medie sono state stagionalmente paragonabili.
- Nella stagione estiva la numerosità dei cicloni ordinari non è significativa a differenza della stagione autunnale e pertanto le grandezze finali relative a tale tipologia sono state modellate statisticamente per il solo periodo SON.

## Capitolo 6

### FORZANTE PLUVIOMETRICA LOCALE

#### 6.1. Scenari d'evento

Il glossario di protezione civile, consultabile sul sito del Dipartimento all'indirizzo <http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/glossario.wp>, definisce un evento come *“Fenomeno di origine naturale o antropica in grado di arrecare danno alla popolazione, alle attività, alle strutture ed infrastrutture del territorio”*.

Lo stesso definisce scenario d'evento *“l'evoluzione nello spazio e nel tempo del solo evento prefigurato, atteso e/o in atto, pur nella sua completezza e complessità”* (Dir. P.C.M. 27 Febbraio 2004 recante *“indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile”*).

Le indicazioni operative emanate dal Capo Dipartimento della Protezione Civile il 10 Febbraio 2016, contenenti *“Metodi e criteri per l'omogeneizzazione dei messaggi del Sistema di allertamento nazionale per il rischio meteo-idrologico e idraulico e della risposta del sistema di protezione civile”*, riportano scenari di evento predefiniti sulla base del manifestarsi di eventi meteorologici e dei relativi livelli di allerta e di criticità.

Nel rapporto *“criteri e metodi per la tipizzazione degli scenari d'evento”* (Versace, 2016), viene proposto un approccio per identificare gli scenari d'evento riguardanti inondazioni e frane. In particolare, nella costruzione dello scenario occorre distinguere una serie di elementi o di fattori che concorrono alla sua configurazione:

- forzante pluviometrica: intesa come la precipitazione che precede l'evento.
- Fenomeno indotto: cioè la variazione del deflusso in alveo e/o la variazione del regime delle acque sotterranee, generate dalla forzante pluviometrica.
- Fragilità del sistema: ovvero l'incapacità dello stesso nel fronteggiare il fenomeno indotto generato dalla forzante pluviometrica (ad esempio, considerando una piena fluviale, un alveo male arginato; nel caso di frana, lo



stato del versante). Il confronto tra le caratteristiche del fenomeno e la fragilità del sistema genera un evento.

- Evento: esondazione, frana, ecc.
- Contesto territoriale: caratteristiche di tutta l'area potenzialmente interessata dall'evento; ad esempio il livello di antropizzazione, il contesto orografico ecc.
- Scenario d'evento: la combinazione tra l'evento e il contesto territoriale nel quale si verifica.

In sintesi, seguendo lo schema sopra delineato, una forzante pluviometrica provoca un fenomeno indotto che, a seconda della fragilità del sistema, può produrre un evento. L'evento, in base al contesto territoriale nel quale accade, può delineare uno specifico scenario d'evento.

Nel presente lavoro, tra i vari elementi che concorrono alla formazione di uno scenario d'evento, l'attenzione è stata rivolta esclusivamente alla forzante pluviometrica. In particolare, a partire dall'analisi di fenomeni intensi di precipitazione condotta a scala regionale (territorio calabrese), viene proposto un esempio di applicazione che permetta la descrizione, in termini probabilistici, di una **forzante pluviometrica a scala locale**, in termini di:

- suddivisione in diverse strutture meteoriche, grazie alla preliminare caratterizzazione spaziale e temporale; analisi dei massimi puntuali ed areali del cluster predominante (paragrafo 6.2.1);
- analisi statistica dei valori assunti dalle grandezze che possono definire la geometria di un evento (area e cumulata massima puntuale, cui si aggiunge la durata) (paragrafo 6.2.2);
- evoluzione temporale delle prime due grandezze sopra menzionate (paragrafo 6.2.3);
- ietogrammi sintetici per scenario meteorico evolutivo critico (paragrafo 6.2.4).
- confronto tra curve di possibilità pluviometrica e cumulate relative allo scenario meteorico critico (paragrafo 6.2.5).

Nello specifico, l'applicazione ha riguardato il territorio di Soverato (CZ), descritto nel successivo paragrafo 6.2.

## 6.2. Forzante pluviometrica per Soverato

Soverato (CZ) è una cittadina costiera sita nel medio-basso Ionio calabrese (Figura 6.1), dove ricade il pluviometro dal codice CFM 1970 (Figura 6.2), il cui funzionamento, nei 14 anni di indagine (2002÷2015), è risultato essere superiore ai 12. Per tale ragione, il campione di dati è stato ritenuto accettabile per continuare con l'analisi locale.



Figura 6.1 – Ubicazione Soverato (CZ)

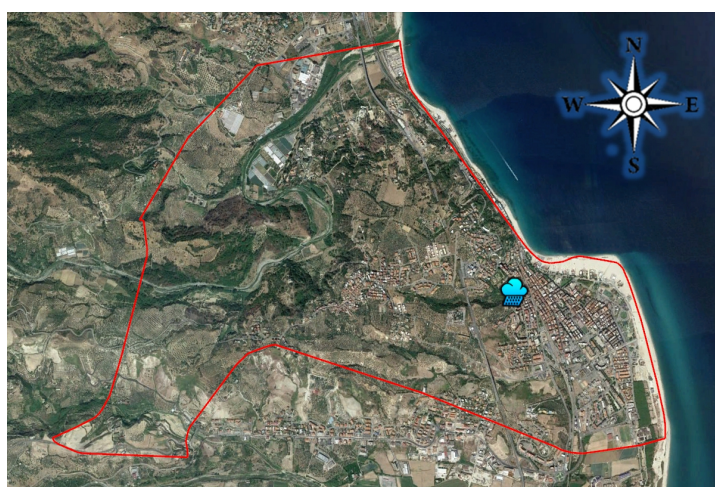


Figura 6.2 – Ubicazione pluviometro cod. 1970 – Soverato (CZ)

### 6.2.1 Fenomeni pluviometrici locali

Andando a considerare tutti i 459 eventi ricavati in tale studio, è stato valutato in quanti di essi, la suddetta stazione pluviometrica è ricaduta nelle relative aree d'influenza. Si è determinato il coinvolgimento del territorio di Soverato in 79 eventi, ed è stato effettuato un confronto con la stagionalità e le tipologie d'evento relative a tutti i fenomeni verificatosi in Calabria (Figure 6.3-6.5).

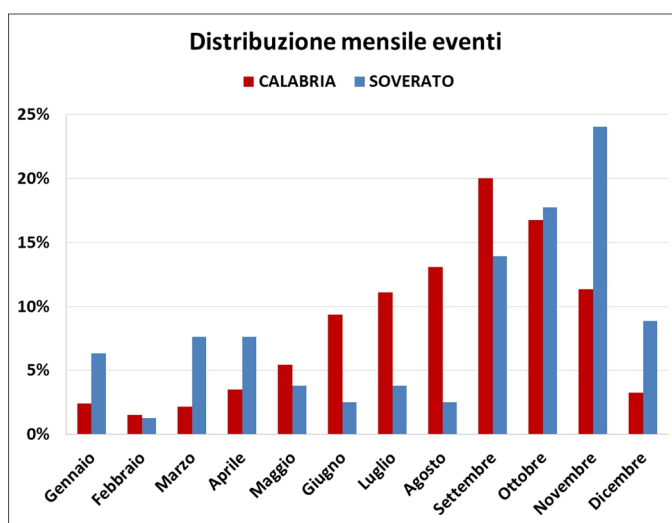


Figura 6.3 – Confronto frequenza mensile – eventi Soverato e Calabria

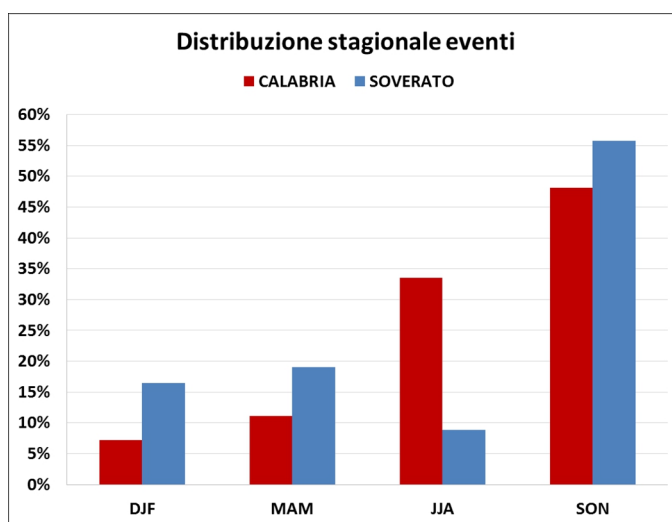


Figura 6.4 – Confronto frequenza stagionale – eventi Soverato e Calabria

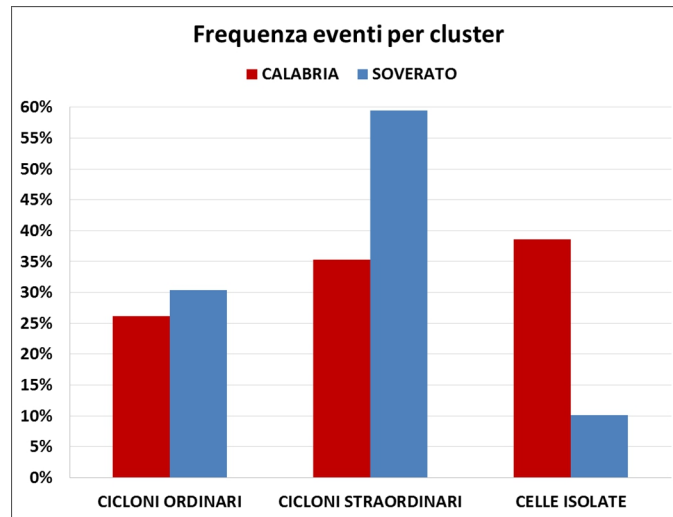


Figura 6.5 – Confronto frequenza cluster meteorici – eventi Soverato e Calabria

E' stata osservata, rispetto al database di eventi presenti sull'intero territorio regionale, una maggiore numerosità di fenomeni verificatisi nella stagione autunnale, in particolare nel mese di Novembre, nonché una minore numerosità di fenomeni estivi. Dunque, più tipologie di ciclone straordinario e meno di celle temporalesche isolate. Ciò è risultato essere una conferma della maggior attitudine, delle suddette classificazioni cicloniche, a colpire aree prospicienti alla fascia ionica, come del resto la propensione delle celle isolate verso le aree montane (vedasi Capitolo 3, Figure 3.20-3.21).

Viene nel seguito illustrato il dettaglio numerico in termini di cluster e stagionalità per i 79 eventi in questione (Tabella 6.1).

Tipologia	DJF	MAM	JJA	SON	TOTALE	TOTALE (%)
Ciclone straordinari	9	12	3	23	47	59,5%
Ciclone ordinari	4	3	1	16	24	30,4%
Celle temporalesche isolate	0	0	3	5	8	10,1%
<b>TOTALE</b>	13	15	7	44	79	100%

Tabella 6.1 – Numero di eventi suddivisi in cluster/stagioni – Soverato

Vi è stata quindi una netta preponderanza di cicloni straordinari (60% circa), a cui sono seguiti i cicloni ordinari (30% circa) e le celle temporalesche isolate (10% circa). In secondo luogo vengono confrontati, sempre per ogni cluster meteorico, il numero di eventi che hanno coinvolto Soverato rispetto al totale degli eventi verificatisi in Calabria (Tabella 6.2).

Tipologia	SOVERATO	CALABRIA	SOV/CAL (%)
Cicloni straordinari	47	162	29%
Cicloni ordinari	24	120	20%
Celle temporalesche isolate	8	177	5%
<b>TOTALE</b>	<b>79</b>	<b>459</b>	<b>17%</b>

Tabella 6.2 – Confronto eventi suddivisi in cluster Soverato/Calabria

Si nota che gli eventi che hanno interessato Soverato, rispetto al totale di quelli ricavati nel presente studio, sono stati: il 5% delle celle temporalesche isolate, il 20% dei cicloni ordinari e poco meno del 30% dei cicloni straordinari.

In riferimento alla tipologia più frequente che ha interessato il territorio di Soverato, ovvero i cicloni straordinari, vengono nel seguito messe a confronto le mappe spaziali dei massimi puntuali (vedasi Capitolo 2 – paragrafo 2.1) sia in termini di pioggia massima sui 20 minuti (Figura 6.6a) che di pioggia massima cumulata (Figura 6.6b).

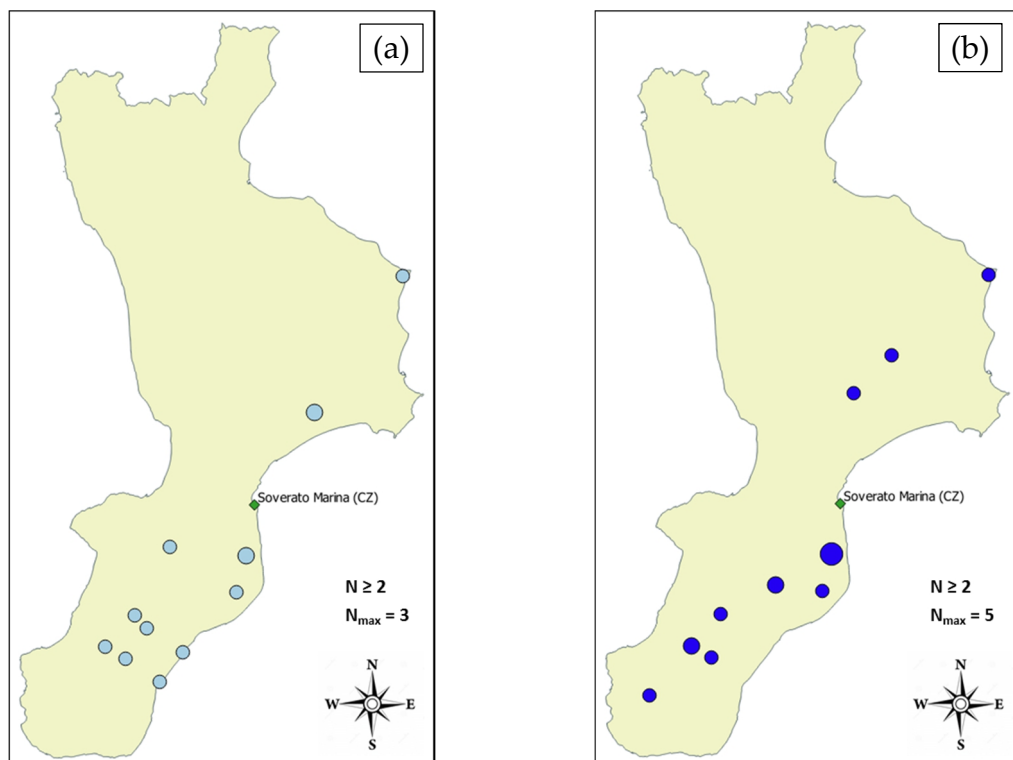


Figura 6.6 a) Massimi puntuali sui 20 minuti. b) Massimi puntuali cumulate.  
Cicloni straordinari (Soverato)

Per quel che concerne i massimi a 20 minuti, le stazioni che ne hanno registrato una numerosità più elevata sono ubicate lungo la costa ionica centro meridionale e localmente nelle aree interne del reggino.

I massimi delle piogge cumulate si sono localizzati principalmente su due fasce, una più gravosa che interessa stazioni aspromontane fino ad aree prospicienti alla costa ionica poste poco a sud di Soverato, l'altra è relativa alla pre-Sila ionica fino alla costa.

In entrambe le tipologie di massimi, la stazione di Santa Caterina dello Ionio (codice CFM 2025), ubicata a circa 17 km a sud rispetto a quella di Soverato, ne ha registrato il numero più elevato. Al contrario, il pluviometro sito nel territorio soveratese è risultato essere una sola volta un massimo a 20 minuti.

Per quel che concerne i massimi areali per piogge cumulate, relativi a risoluzioni spaziali pari a 1 km, 5 km, 10 km, 20 km e 50 km, già diagrammati per i diversi cluster meteorici (vedasi paragrafo 3.4 – Figura 3.25) ne è stato stimato l'abbattimento, all'aumentare della risoluzione, mediando i risultati relativi ai 47 cicloni straordinari (Figura 6.7 – Tabella 6.3):

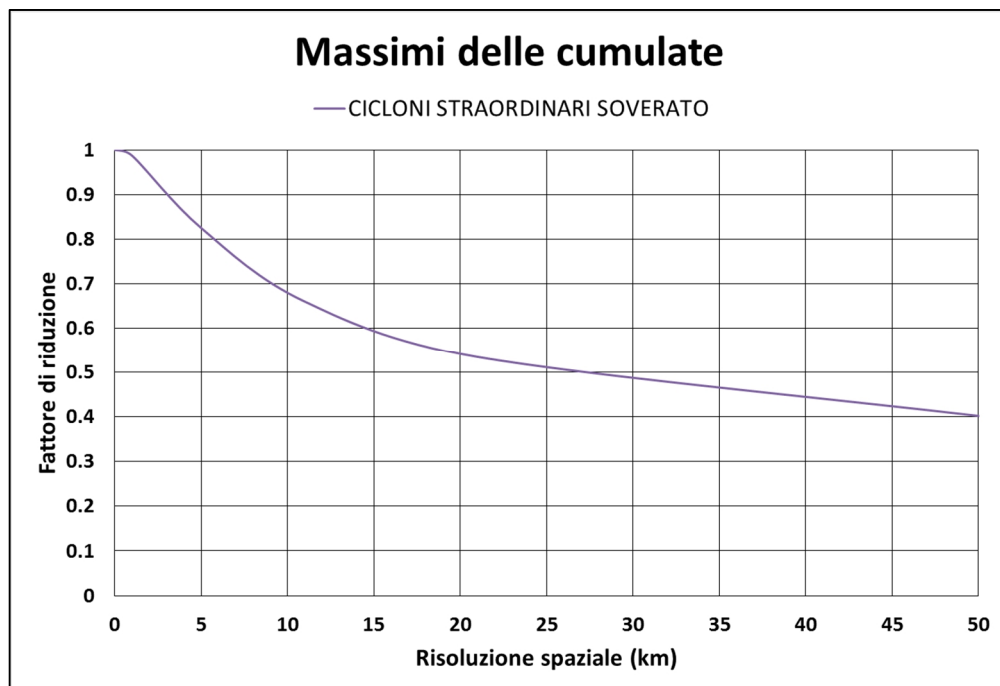


Figura 6.7 – Fattore di riduzione dei massimi delle cumulate in funzione della risoluzione spaziale per i cicloni straordinari/Soverato

<b>CICLONI STRAORDINARI - SOVERATO</b>						
<b>Estensione areale (km x km)</b>	0	1x1	5x5	10x10	20x20	50x50
<b>Fattore di riduzione</b>	1	0,98	0,82	0,66	0,53	0,40

Tabella 6.3 – Valori del fattore di riduzione delle massime cumulate per i cicloni straordinari/Soverato

### 6.2.2 *Analisi statistica delle grandezze geometriche*

In questo paragrafo, è stata condotta l'analisi statistica dei valori finali assunti dalle grandezze che definiscono la geometria di un evento (area  $A$ , altezza massima cumulata puntuale  $H_{MAX}$ ) nonché la durata  $D$ . È innanzitutto necessario valutare la numerosità degli eventi in questione all'interno di ogni cluster meteorico; a tal proposito si può condurre l'analisi su due livelli:

- livello 1: il numero di eventi è ritenuto statisticamente non significativo, e si usano le distribuzioni generali (ricavate per tutto il territorio regionale ed esposte nel paragrafo 5.2.4);
- livello 2: il numero di eventi è considerato statisticamente significativo, e si ricavano delle distribuzioni "ad hoc" per il sito in esame.

Nel contesto di Soverato, si è adottato un livello 1 per quel che concerne i cicloni ordinari e le celle temporalesche isolate, in quanto si sono avuti rispettivamente 24 e 8 eventi. Al contrario, è stato utilizzato un livello 2 per i 47 eventi appartenenti al cluster dei cicloni straordinari. In particolare:

- celle temporalesche isolate (livello 1): non essendoci stata una netta differenza numerica tra eventi estivi ed autunnali (Tabella 6.1), sono state considerate le distribuzioni ricavate per l'intero cluster (paragrafo 5.2.4 – Tabella 5.17).
- Cicloni ordinari (livello 1): per questa tipologia, circa i due terzi degli eventi si sono verificati nel periodo autunnale (Tabella 6.1), quindi è possibile considerare le distribuzioni del suddetto cluster per la stagione in questione (paragrafo 5.2.4 – Tabella 5.35). Tuttavia, vista la similarità in termini di distribuzioni e relativi parametri, è anche possibile l'utilizzo delle distribuzioni generali ricavate per la summenzionata tipologia d'evento (paragrafo 5.2.4 – Tabella 5.32). Si è scelto per quest'ultima soluzione.
- Cicloni straordinari (livello 2): nell'analisi statistica "ad hoc", è stata considerata un'ulteriore caratteristica, ovvero la cumulata massima locale registrata dal pluviometro di Soverato per ogni evento in questione ( $H_{SOV}$ ).

Pertanto, si è a conoscenza delle distribuzioni utilizzate con relativi parametri per i cicloni ordinari e per le celle temporalesche isolate. Al contrario, per i cicloni straordinari che hanno coinvolto Soverato, relativamente a ciascuna variabile aleatoria considerata ( $A$ ,  $H_{MAX}$ ,  $D$ ,  $H_{SOV}$ ), vengono tabellati i risultati, in termini di

R<sup>2</sup>, delle varie distribuzioni probabilistiche utilizzate, con anche l'indicazione della migliore (o migliori) tra esse ed i corrispettivi valori dei parametri che la caratterizzano (Tabelle 6.4-6.5).

Variabile	R <sup>2</sup> (Log-Norm)	R <sup>2</sup> (Weibull)	R <sup>2</sup> (Norm)	R <sup>2</sup> (Exp)
A	0,702	0,857	<b>0,912</b>	0,634
H <sub>MAX</sub>	0,955	0,858	0,770	<b>0,979</b>
D	<b>0,961</b>	0,858	0,730	0,953
H <sub>SOV</sub>	<b>0,991</b>	0,934	0,731	0,959

Tabella 6.4 – R<sup>2</sup> (cicloni straordinari/Soverato)

Variabile	Distribuzione Ottimale	Log-Norm		Weibull		Norm		Exp
		μ <sub>y</sub>	σ <sub>y</sub>	α	β	μ	σ	λ
A	Normale					9453,64	4458,60	
H <sub>MAX</sub>	Esponenziale							0,006
D	Log-Normale	2,42	0,76					
H <sub>SOV</sub>	Log-Normale	3,31	0,97					

Tabella 6.5 – Parametri distribuzioni ottimali (cicloni straordinari/Soverato)

In Appendice B sono illustrate, per ogni variabile, i relativi cartogrammi probabilistici per le diverse distribuzioni applicate (Figure B.55-B.58).

Ricavati i vari parametri delle distribuzioni (Tabella 6.5), per ogni cluster meteorico e per ciascuna variabile aleatoria considerata è stato possibile calcolare i relativi percentili di ogni distribuzione.

Poiché è già stata illustrata la formulazione relativa al frattile della distribuzione di Weibull (paragrafo 4.1.5 - equazione 4.19), sono state nel seguito riportate le espressioni relative alle rimanenti distribuzioni considerate:

- frattile distribuzione Esponenziale – parametro λ (paragrafo 5.2.1);

$$x = - \frac{\ln[1 - F_X(x)]}{\lambda} \tag{6.1}$$

- frattile distribuzione Normale – parametri μ e σ (paragrafo 5.2.2);

$$x = \mu + Z_p * \sigma \tag{6.2}$$



- frattile distribuzione Log-Normale – parametri  $\mu_y$  e  $\sigma_y$  (paragrafo 5.2.3);

$$x = e^{\mu_y + z_p \cdot \sigma_y} \quad (6.3)$$

Relativamente alle ultime due espressioni, si precisa che  $z_p$  è il valore assunto dalla variabile casuale normale standardizzata (Gilbert, 1987; Kottegoda e Rosso, 1997) (Tabella 6.6).

$F_X(x)$	$z_p$
0,1	-1,281
0,2	-0,842
0,3	-0,524
0,4	-0,253
0,5	0
0,6	0,253
0,7	0,524
0,8	0,842
0,9	1,281
0,95	1,645
0,98	2,054

Tabella 6.6 – Valori di  $z_p$  corrispondenti a determinate  $F_X(x)$

Vengono nel seguito tabellati i percentili di ogni variabile considerata, all'interno dei diversi cluster per le diverse probabilità  $F$ , considerate in prima istanza pari a 0,2-0,3-0,4-0,5-0,6-0,7-0,8-0,9-0,95-0,98 (Tabelle 6.7-6.8-6.9).

<b>CICLONI STRAORDINARI (livello 2)</b>				
<b>Probabilità</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>H<sub>MAX</sub> (mm)</b>	<b>D (ore)</b>	<b>H<sub>SOV</sub> (mm)</b>
F=0,2	4932,6	37,2	5,9	12,1
F=0,3	6564,6	59,4	7,5	16,5
F=0,4	9351,8	85,1	9,3	21,4
F=0,5	10793	115,5	11,2	27,4
F=0,6	12238,5	152,7	13,6	35,0
F=0,7	12947,6	200,7	16,7	45,6
F=0,8	13498,6	268,2	21,2	62,0
F=0,9	14370,8	383,8	29,6	95,0
F=0,95	14574,1	499,3	39,0	135,2
F=0,98	14716,1	652,0	53,1	201,0

Tabella 6.7 – Frattili delle grandezze geometriche – Cicloni straordinari/Soverato

<b>CICLONI ORDINARI (livello 1)</b>			
<b>Probabilità</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>H<sub>MAX</sub> (mm)</b>	<b>D (ore)</b>
F=0,2	151,6	41,5	10,2
F=0,3	270,9	49,0	13,6
F=0,4	444,8	56,5	17,0
F=0,5	707,1	64,6	20,6
F=0,6	1124,1	73,8	24,5
F=0,7	1845,9	85,2	29,0
F=0,8	3298,3	100,6	34,8
F=0,9	7377,3	126,9	43,4
F=0,95	14341,7	153,6	51,1
F=0,98	14950,2	190,5	60,4

Tabella 6.8 – Frattili delle grandezze geometriche – Cicloni ordinari

<b>CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE (livello 1)</b>			
<b>Probabilità</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>H<sub>MAX</sub> (mm)</b>	<b>D (ore)</b>
F=0,2	81,4	16,5	0,8
F=0,3	118,8	19,7	1,2
F=0,4	164,1	23,0	1,6
F=0,5	222,0	26,6	2,1
F=0,6	300,3	30,7	2,6
F=0,7	414,9	35,8	3,3
F=0,8	605,6	42,9	4,2
F=0,9	1023,2	55,1	5,6
F=0,95	1578,0	67,7	6,9
F=0,98	2569,4	85,5	8,6

Tabella 6.9 – Frattili delle grandezze geometriche – Celle temporalesche isolate

### 6.2.3 Analisi temporale delle grandezze geometriche

Si è analizzata l'evoluzione temporale di importanti parametri che descrivono geometricamente un evento; in particolare, ai già citati A ed H<sub>MAX</sub>, si è aggiunta l'altezza locale di pioggia H<sub>sov</sub> (vedasi paragrafo 6.2.2).

In primo luogo, considerando i 79 eventi in questione, è stato ricavato il numero di quelli ricadenti in ognuna delle 5 configurazioni temporali prevalenti (vedasi paragrafi 5.1.1-5.1.2). Questi sono stati confrontati con il numero di eventi, per configurazione, considerando l'intera Calabria (Tabella 6.10 – Figura 6.8).

BSC				Soverato		Calabria	
				n° eventi	% eventi	n° eventi	% eventi
1	1	1	1	24	30,4%	361	44,0%
0	0	0	0	18	22,8%	163	19,9%
0	0	1	1	17	21,5%	73	8,9%
0	0	0	1	10	12,7%	60	7,3%
0	1	1	1	7	8,9%	55	6,7%
<b>TOT EVE</b>				<b>79</b>	<b>100%</b>	<b>820</b>	<b>100%</b>

Tabella 6.10 – BSC eventi Soverato/Calabria

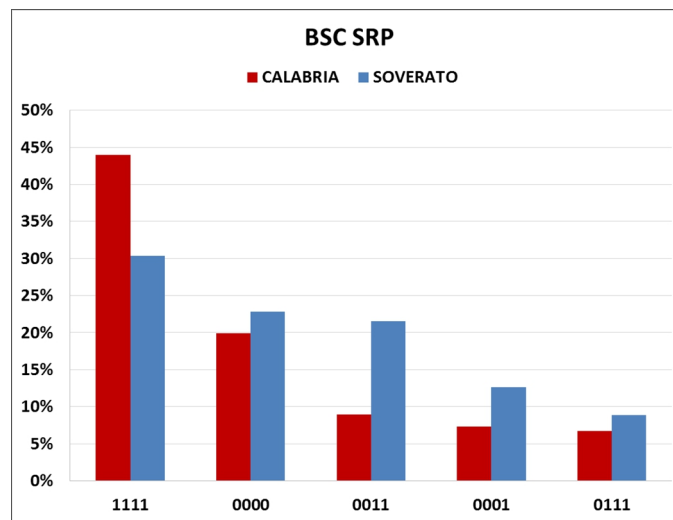


Figura 6.8 – Confronto BSC eventi Soverato/Calabria

Si è osservato che, per gli eventi che hanno interessato Soverato:

- la configurazione prevalente BSC 1111 (paragrafo 5.1.2) è risultata inferiore al valore regionale di circa il 15%.
- Le altre configurazioni sono state in percentuale superiori rispetto ai valori regionali, in particolare la BSC 0011 (paragrafo 5.1.2).

La prima considerazione è dovuta essenzialmente ai pochi eventi a cella temporalesca che hanno coinvolto il territorio soveratese; la seconda all'elevato numero di cicloni straordinari (vedasi paragrafo 5.1.1 – Figura 5.3 – Tabella 5.1).

Nel seguito il dettaglio della suddivisione per tipologia d'evento (Tabella 6.11).

BSC				Celle temporalesche isolate	Cicloni ordinari	Cicloni straordinari
1	1	1	1	4	11	9
0	0	0	0	2	6	10
0	0	1	1	2	3	<b>14</b>
0	0	0	1	0	2	8
0	1	1	1	2	1	4

Tabella 6.11 – BSC eventi Soverato per tipologia d’evento

Si tenga presente che, come anzi detto, il cluster meteorico più frequente per gli eventi di Soverato è stato quello dei cicloni straordinari, per i quali, la configurazione più ricorrente, cioè BSC 0011 (Tabella 6.11), è risultata essere anche tra quelle più critiche (vedasi paragrafo 5.1.2).

Per questi motivi, si è deciso di prendere in considerazione come scenario evolutivo prevalente la combinazione **cicloni straordinari-BSC 0011**, al fine di poter analizzare le variazioni temporali delle caratteristiche elencate ad inizio paragrafo. A causa della ridotta numerosità degli eventi appartenenti agli altri cluster meteorici, non è stata condotta per questi ultimi un’analisi per scenari evolutivi.

Sono quindi stati considerati i valori medi temporali normalizzati dei parametri per la suddetta combinazione, valutati per ogni quartile d’evento (Tabella 6.12, con valori estratti da paragrafo 5.1.2 - Tabella 5.10).

In particolare, per ogni parametro A,  $H_{MAX}$ ,  $H_{SOV}$ , l’evoluzione temporale è data dal percentile (relativo ad una assegnata F – vedasi Tabella 6.6) che moltiplica il valore medio normalizzato di ogni quartile (Tabella 6.12).

BSC 0011	Area d’influenza				Cumulata Massima			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
<b>Cicl. Straordinari</b>	0,45	0,74	0,82	0,62	0,39	0,71	0,89	1

Tabella 6.12 – Valori medi temporali normalizzati dei parametri per BSC 0011/Cicloni straordinari (estratti da Tabella 5.10 – paragrafo 5.1.2)

Vengono nel seguito tabellati e messi a grafico i valori relativi alle progressioni temporali delle caratteristiche d’evento (Tabelle 6.13-6.14-6.15).

<b>A (km<sup>2</sup>) – evoluzione temporale (BSC 0011-cicloni straordinari)</b>				
<b>Probabilità</b>	<b><math>\tau = 25\%</math></b>	<b><math>\tau = 50\%</math></b>	<b><math>\tau = 75\%</math></b>	<b><math>\tau = 100\%</math></b>
F=0,2	2219,7	3650,1	4044,7	3058,2
F=0,3	2954,1	4857,8	5383,0	4070,1
F=0,4	4208,3	6920,3	7668,5	5798,1
F=0,5	4856,9	7986,8	8850,3	6691,7
F=0,6	5507,3	9056,5	10035,6	7587,9
F=0,7	5826,4	9581,2	10617,0	8027,5
F=0,8	6074,4	9989,0	11068,9	8369,1
F=0,9	6466,9	10634,4	11784,1	8909,9
F=0,95	6558,3	10784,8	11950,8	9035,9
F=0,98	6622,2	10889,9	12067,2	9124,0

Tabella 6.13 – Valori temporali area – BSC 0011/Cicloni straordinari/Soverato

<b>H<sub>MAX</sub> (mm) – evoluzione temporale (BSC 0011-cicloni straordinari)</b>				
<b>Probabilità</b>	<b><math>\tau = 25\%</math></b>	<b><math>\tau = 50\%</math></b>	<b><math>\tau = 75\%</math></b>	<b><math>\tau = 100\%</math></b>
F=0,2	14,5	26,5	33,2	37,2
F=0,3	23,2	42,3	53,1	59,4
F=0,4	33,2	60,6	76,1	85,1
F=0,5	45,1	82,3	103,2	115,5
F=0,6	59,6	108,7	136,4	152,7
F=0,7	78,3	142,9	179,3	200,7
F=0,8	104,6	191,0	239,6	268,2
F=0,9	149,7	273,3	342,9	383,8
F=0,95	194,8	355,5	446,1	499,3
F=0,98	254,3	464,3	582,5	652,0

Tabella 6.14 – Valori temporali cumulata massima – BSC 0011/Cicloni straordinari/Soverato

<b>H<sub>sov</sub> (mm) – evoluzione temporale (BSC 0011-cicloni straordinari)</b>				
<b>Probabilità</b>	<b><math>\tau = 25\%</math></b>	<b><math>\tau = 50\%</math></b>	<b><math>\tau = 75\%</math></b>	<b><math>\tau = 100\%</math></b>
F=0,2	4,7	8,6	10,8	12,1
F=0,3	6,4	11,7	14,7	16,5
F=0,4	8,4	15,3	19,1	21,4
F=0,5	10,7	19,5	24,5	27,4
F=0,6	13,7	25,0	31,3	35,0
F=0,7	17,8	32,5	40,7	45,6
F=0,8	24,2	44,2	55,4	62,0
F=0,9	37,1	67,7	84,9	95,0
F=0,95	52,7	96,3	120,8	135,2
F=0,98	78,4	143,1	179,6	201,0

Tabella 6.15 – Valori temporali cumulata locale – BSC 0011/Cicloni straordinari/Soverato

Per quel che concerne la cumulata locale, ovvero quella registrata dal pluviometro di Soverato, nel definirne l'evoluzione temporale sono stati considerati, come moltiplicatori del frattile  $H_{SOV}$ , i valori medi normalizzati relativi alla cumulata massima (Tabella 6.12).

#### 6.2.4 Ietogrammi per scenario meteorico evolutivo

Per la costruzione dello **scenario meteorico evolutivo critico**, in riferimento alla tipologia dei cicloni straordinari con evoluzione temporale BSC 0011, sono state innanzitutto fissate delle probabilità di non superamento  $F$  relativamente ad ogni variabile considerata. Nel dettaglio, sono state considerate tre durate critiche  $t_{CR}$ , corrispondenti a  $F=0,2-0,5-0,9$  (con frattili pari rispettivamente a 6, 11, 30 ore – vedasi Tabella 6.6) e, relativamente alla pioggia massima cumulata  $H_{CUM}$ , vengono associati tre valori di probabilità cumulata  $F$  pari a  $0,9-0,95-0,98$ .

In relazione al valore da associare ad  $H_{CUM}$  sono state analizzate due situazioni:

- sito strumentato con stazione pluviometrica e dimensione campionaria adeguata;
- sito non strumentato o con una limitata serie campionaria derivante dalla stazione pluviometrica presente.

Nel primo caso  $H_{CUM}$  corrisponde alle altezze massime cumulate relative al pluviometro di interesse; nel caso specifico di Soverato essa sarà indicata anche con  $H_{SOV}$  (vedasi paragrafo 6.2.2). Pertanto, per ciascuna  $t_{CR}$ , sono state considerate le evoluzioni temporali di questa variabile per  $F=0,9-0,95-0,98$  (Tabella 6.13), discretizzandole in base alla durata critica in essere. A partire da tali valori di pioggia cumulata, per ciascuna combinazione  $F-t_{CR}$  è stato determinato lo ietogramma corrispondente. Viene illustrato, a titolo d'esempio, lo ietogramma per  $F = 0,95$  e  $t_{CR} = 11$  ore nell'Appendice B – Figura B.59.

Nel secondo caso,  $H_{CUM}$  deve essere stimata. A tal fine, sulla base delle mappe relative alle stazioni dove si sono verificati più massimi (Figure 6.6a e 6.6b), è ragionevole considerare, come centro della perturbazione, ovvero come luogo in cui si verifica con maggiore probabilità il valore più elevato di pioggia, la stazione ubicata a Santa Caterina dello Ionio, sita a poco più di 17 km a sud rispetto a Soverato. Per semplicità il centro di scroscio è stato considerato statico nel tempo.

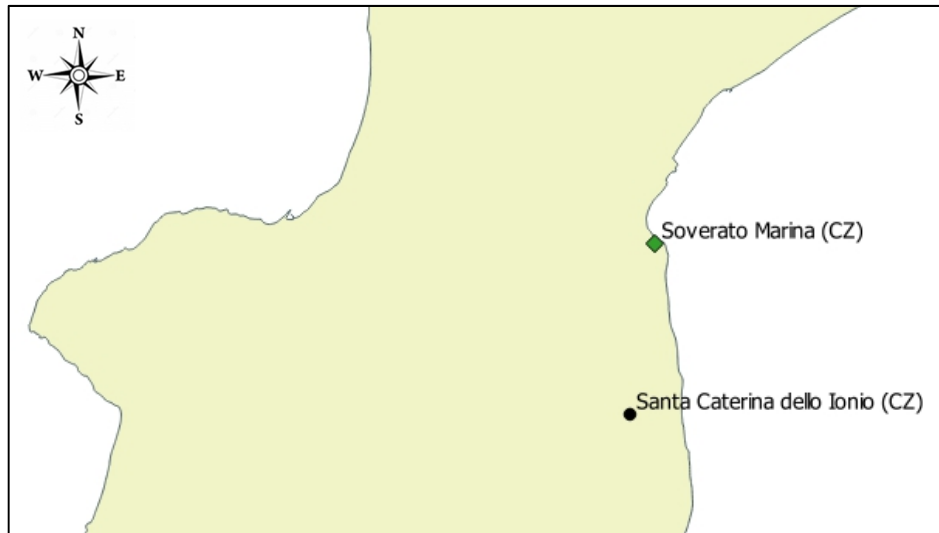


Figura 6.9 – Ubicazione pluviometri Soverato Marina e Santa Caterina dello Ionio

Inoltre, si è ipotizzato che l'intensità di pioggia abbia un abbattimento isotropo con la distanza (Figura 6.10), ovvero un coefficiente moltiplicativo  $r(\mathbf{d})$  compreso tra 0 e 1, da applicare alla pioggia riferita al punto di massimo (per rappresentare la precipitazione a distanza  $\mathbf{d}$  dal punto di massimo stesso), indipendentemente dalla direzione del vettore distanza. Nello specifico, per tale funzione di abbattimento sono state considerate le formule di tipo esponenziale negativo e gaussiano (rispettivamente 6.4 e 6.5).

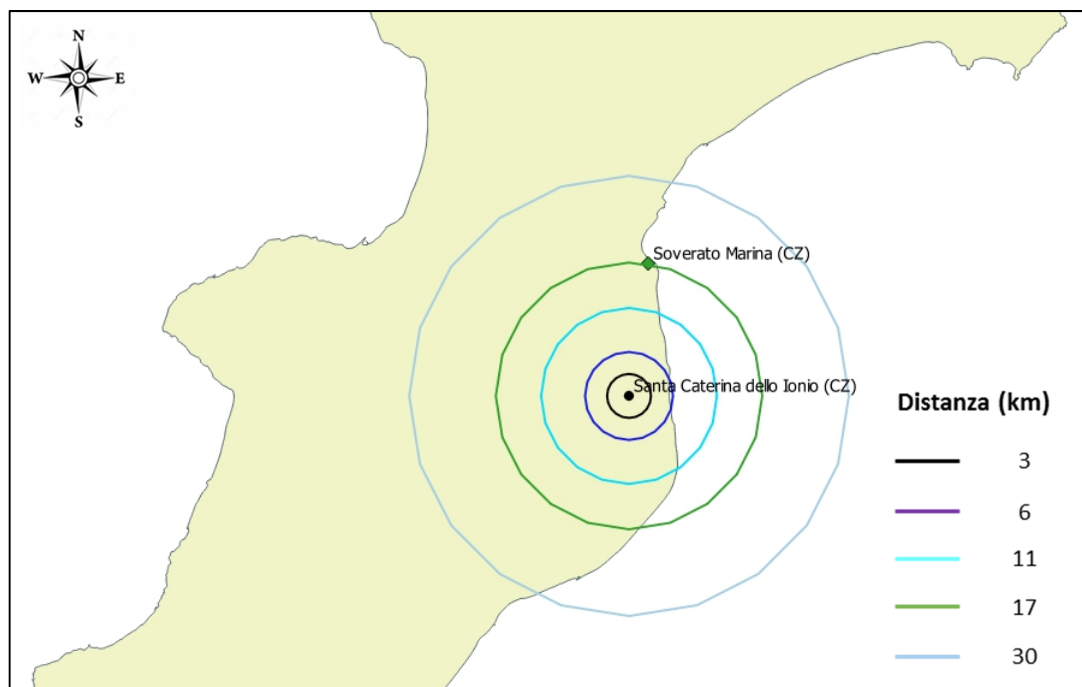


Figura 6.10 – Scenario con centro di scroscio a Santa Caterina dello Ionio – ipotesi di variazione isotropa delle piogge

$$r(d) = e^{-\alpha d} \quad (6.4)$$

$$r(d) = e^{-\alpha d^2} \quad (6.5)$$

dove  $\alpha$  è il parametro delle funzioni e  $d$  è la distanza tra il punto in cui si verifica il massimo ed il punto in cui lo si vuole stimare (vedasi Figura 6.10).

Entrambe le funzioni vengono sinteticamente illustrate da un punto di vista qualitativo nelle Figure 6.11a-6.11b.

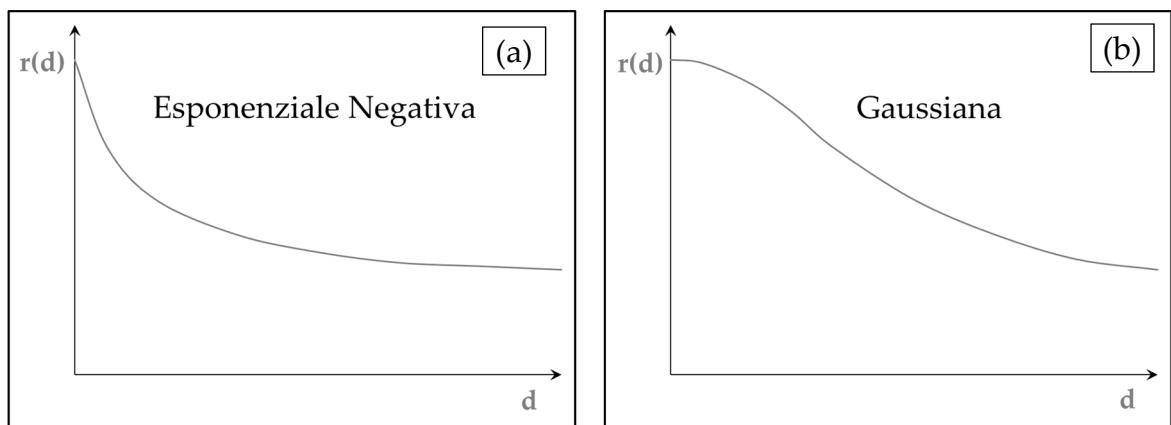


Figura 6.11 – Rappresentazione grafica semplificata delle funzioni a) esponenziale negativa e b) gaussiana

La stima del parametro  $\alpha$  è stata effettuata nel rispetto dell'equazione di conservazione del volume di pioggia di seguito illustrata:

$$\int_S r(\rho) dS = f(d) * S \quad (6.6)$$

dove:

- $S$  è la base assunta di forma circolare con centro nel punto di massima pioggia e raggio pari alla distanza  $d$ ;
- $f(d)$  è il fattore di riduzione areale argomentato nel paragrafo 6.2.1 (Figura 6.7 – Tabella 6.3) ed ancor prima nei Capitoli 2 e 3;
- $r(\rho)$  è l'abbattimento puntuale ( $0 \leq \rho \leq d$ ) che può seguire una legge esponenziale negativa o gaussiana (Equazioni 6.4-6.5).



Nello specifico, considerando diversi valori della distanza  $d$  (cioè i raggi corrispondenti alle estensioni areali riportate nella Tabella 6.3), si è proceduto, dall'Equazione 6.6, alla valutazione degli  $f^*(d, \alpha)$  come:

$$f^*(d, \alpha) = \frac{\int_S r(\rho) dS}{S} \quad (6.7)$$

Questi ultimi vengono messi a confronto con gli associati valori di  $f(d)$  (Figure 6.12-6.13).

Il parametro  $\alpha$  ottimale da adottare risulta quello per il quale la funzione obiettivo  $\Phi$ , definita dalla seguente relazione:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \{[f(d)] - [f^*(d, \alpha)]\}^2 \quad (6.8)$$

assume il valore minimo ( $n$  è il numero dei diversi valori della distanza utilizzati).

Da ciò sono risultati i seguenti valori ottimali del parametro in questione:

- $\alpha = 0,11$  per la funzione esponenziale negativa;
- $\alpha = 0,01$  per la funzione gaussiana.

Una volta ricavato il valore di  $\alpha$  ottimale, la scelta dell'equazione da applicare per il calcolo del massimo (6.4 oppure 6.5), risulta quella avente il valore più basso della funzione obiettivo  $\Phi$ . In tal contesto i risultati sono stati:

- $\Phi = 0,003$  per la funzione esponenziale negativa;
- $\Phi = 0,025$  per la funzione gaussiana.

Viene dunque scelta la funzione esponenziale negativa avente  $\alpha = 0,11$ . Tale conclusione appare evidente andando ad osservare i grafici di confronto tra gli abbattimenti dei massimi areali  $f(d)$  e gli abbattimenti  $f^*(d, \alpha)$ , valutati con la legge esponenziale negativa (Figura 6.12) e con la legge gaussiana (Figura 6.13).

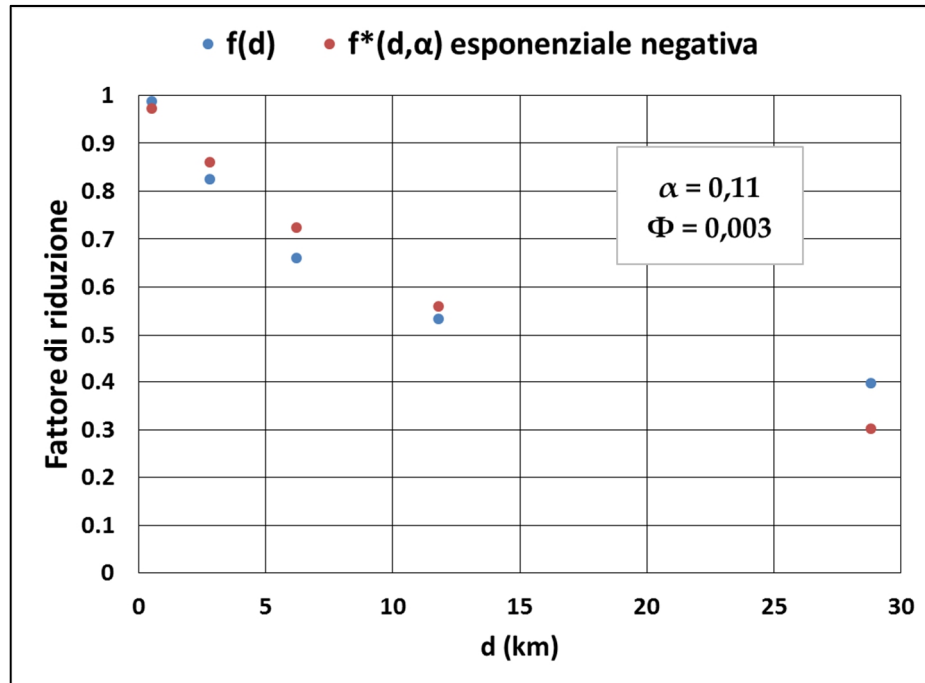


Figura 6.12 – Confronto tra  $f^*(d, \alpha)$  ricavati con legge esponenziale negativa e  $f(d)$

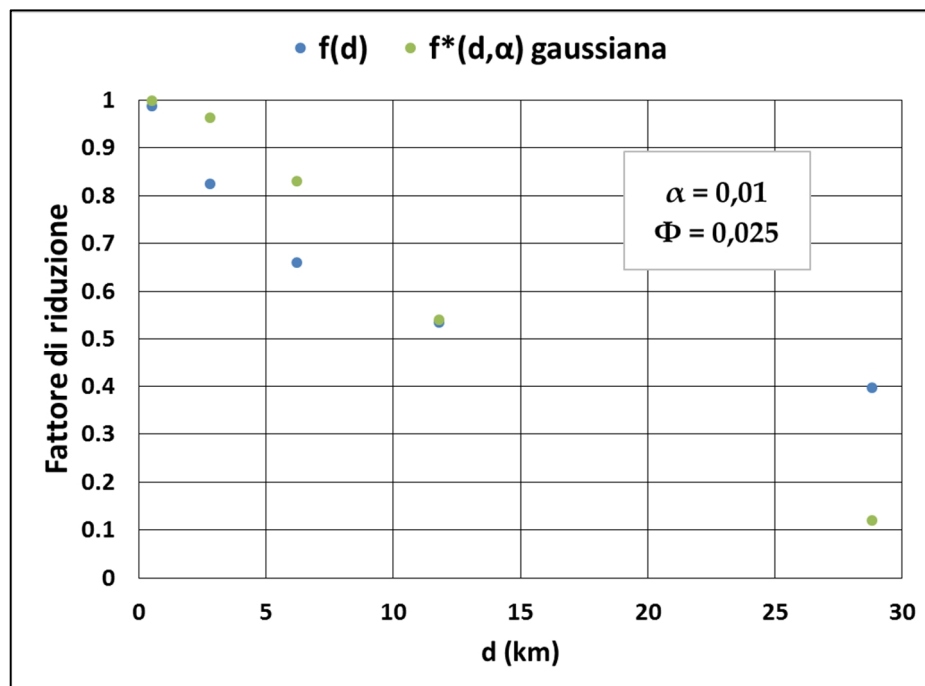


Figura 6.13 – Confronto tra  $f^*(d, \alpha)$  ricavati con legge gaussiana e  $f(d)$

A tal punto, visto che la distanza tra il centro dove è ubicato il massimo e Soverato, cioè la  $d$ , risulta pari a 17 km, conoscendo  $\alpha$  è possibile applicare l'equazione 6.4 per valutare la stima della percentuale del massimo a Soverato rispetto al massimo

assoluto. In tal contesto si è ottenuto 0,22, quindi la massima cumulata a Soverato è risultata mediamente del 22% rispetto a quella di Santa Caterina dello Ionio in cui si è considerato il verificarsi del massimo assoluto ( $H_{CUM} = 0,22 * H_{MAX}$ ).

Pertanto, come in precedenza, per ciascuna  $t_{CR}$ , sono state considerate le evoluzioni temporali di questa variabile per  $F=0,9-0,95-0,98$  (Tabella 6.16), discretizzandole in base alla durata critica in essere. A partire da tali valori di pioggia cumulata, per ciascuna combinazione  $F-t_{CR}$ , è stato determinato lo ietogramma corrispondente. Viene illustrato, a titolo d'esempio, lo ietogramma per  $F = 0,95$  e  $t_{CR} = 11$  ore nell'Appendice B – Figura B.60.

<b>0,22*H<sub>MAX</sub> (mm) – evoluzione temporale (BSC 0011-cicloni straordinari)</b>				
<b>Probabilità</b>	<b>τ = 25%</b>	<b>τ = 50%</b>	<b>τ = 75%</b>	<b>τ = 100%</b>
F=0,3	3,2	5,8	7,3	8,2
F=0,4	5,1	9,3	11,7	13,1
F=0,5	7,3	13,3	16,7	18,7
F=0,6	9,9	18,1	22,7	25,4
F=0,7	13,1	23,9	30,0	33,6
F=0,8	17,2	31,4	39,4	44,1
F=0,9	23,0	42,0	52,7	59,0
F=0,95	32,9	60,1	75,4	84,4
F=0,98	42,8	78,2	98,1	109,8

Tabella 6.16 – Valori temporali cumulata massima – BSC 0011/Cicloni straordinari/Soverato

Confrontando i rapporti  $H_{MAX}/H_{SOV}$  per diverse probabilità di non superamento  $F$ , si deduce che il valore ottenuto nella situazione di pluviometro non presente o con limitata dimensione campionaria, cioè  $r(d=17 \text{ km}, \alpha=0,11)$ , risulta accettabile in raffronto alla situazione di pluviometro funzionante, ovvero considerando i dati misurati della stazione di Soverato (Figura 6.14).

Si intende precisare in ultimo che, a livello teorico, nelle procedure di valutazione degli ietogrammi, andrebbero anche incluse le variazioni temporali dell'area d'influenza (esempio Tabella 6.13) (approssimando il centro di scroscio al centro dell'area di forma ipotizzata circolare). In particolare, se durante l'evoluzione temporale dovesse risultare che il sito in esame si trova al di fuori dell'area stessa, si deve porre pioggia zero in quel preciso intervallo  $\Delta t$ . Tuttavia, in questo specifico caso, trattandosi di cicloni straordinari, le aree sono molto estese (vedasi Tabella 6.13) e dunque, trovandosi Soverato a soli 17 km dal centro, verrà sempre inclusa nella suddetta area.

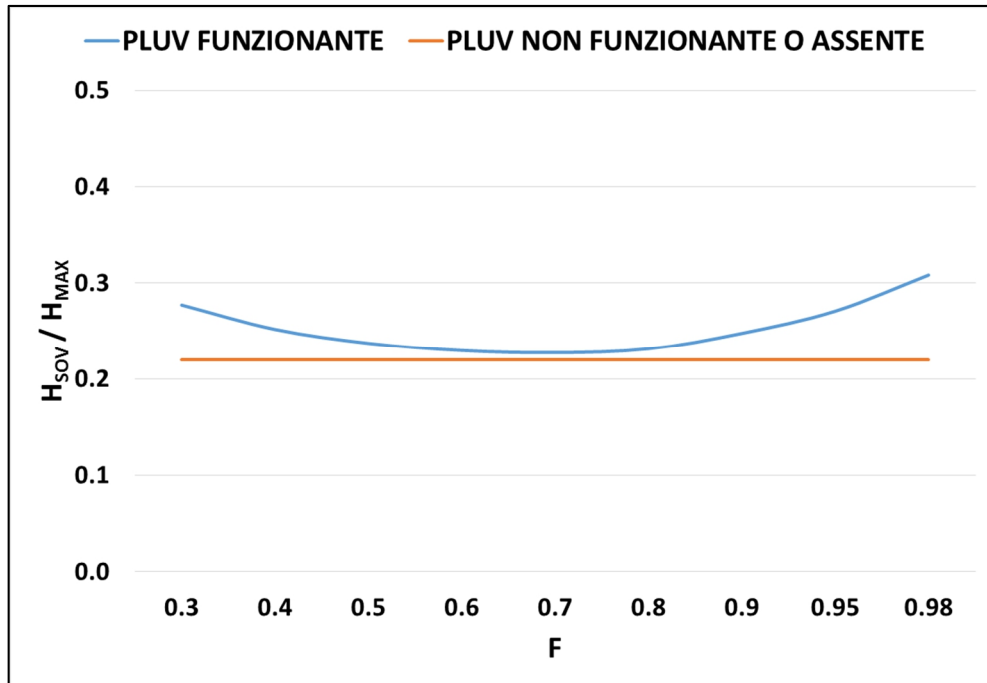


Figura 6.14 –  $H_{MAX}/H_{SOV}$  di diverse F per situazione di pluviometro funzionante e non funzionante o assente – Soverato

### 6.2.5 Confronto cumulate per ietogrammi

In questo paragrafo, si espone il confronto con le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP), ricavate con le usuali procedure di Idrologia, per le serie storiche di massimi annuali di pioggia di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore in riferimento alla stazione di Soverato (32 osservazioni - dati ricavati da <http://www.cfd.calabria.it/>). Nello specifico, è stata utilizzata la distribuzione probabilistica TCEV (Rossi et al., 1984), applicando il 1° livello di regionalizzazione per la valutazione dei parametri. Sono stati considerati i periodi di ritorno T pari a 5, 10, 20, 50, 100 anni. Infine, a partire dai ben noti coefficienti  $a$  ed  $n$  delle CPP, ricavati per ciascuna combinazione T- $t_{CR}$ , è stato determinato lo ietogramma corrispondente. Nell'Appendice B – Figura B.61 viene illustrato, a titolo d'esempio, lo ietogramma per T = 20 anni e  $t_{CR}$  = 11 ore.

In dettaglio, il confronto è innanzitutto avvenuto con le cumulate derivanti dallo scenario meteorico evolutivo cicloni straordinari-BSC 0011 nell'ipotesi di **pluviometro funzionante** (Figure 6.15-6.16-6.17). Si è osservato che, per elevati valori di probabilità di non superamento F, gli andamenti delle cumulate relative allo scenario cicloni straordinari-BSC 0011 vengono ad incrociarsi con la CPP classiche. Ciò è risultato più evidente al diminuire della durata critica considerata.

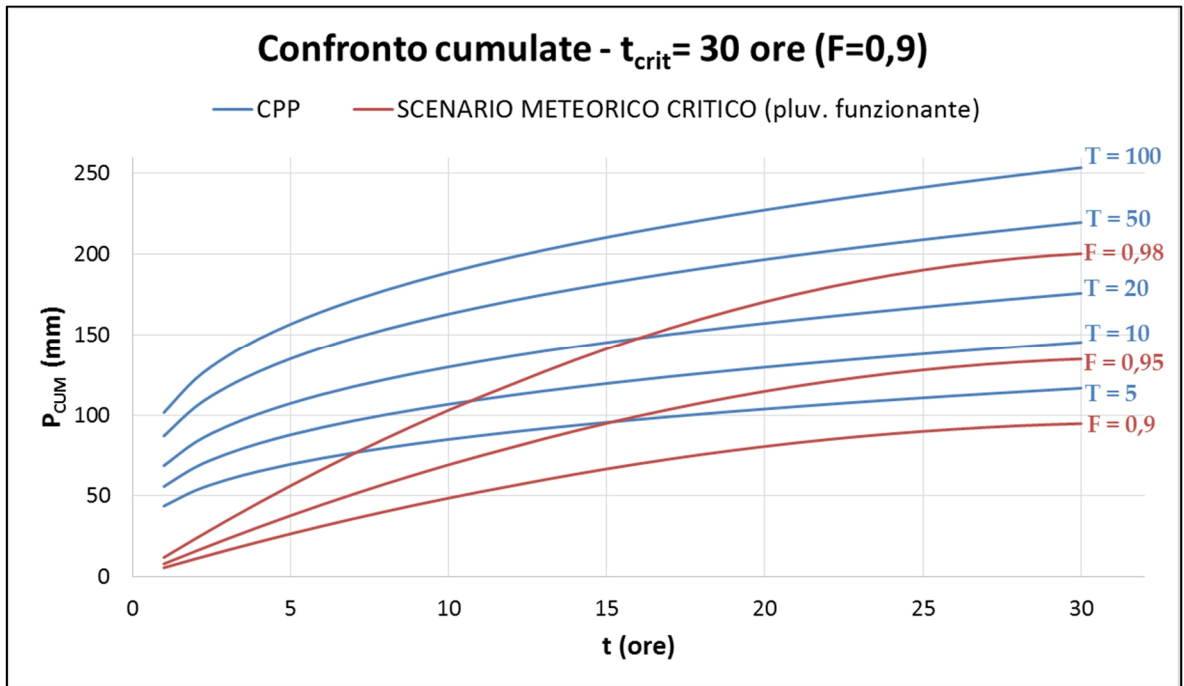


Figura 6.15 – Confronto CPP (blu) e cumulate da cicloni straordinari/BSC 0011 (pluviometro funzionante) (rosso) – durata critica 30 ore – Soverato

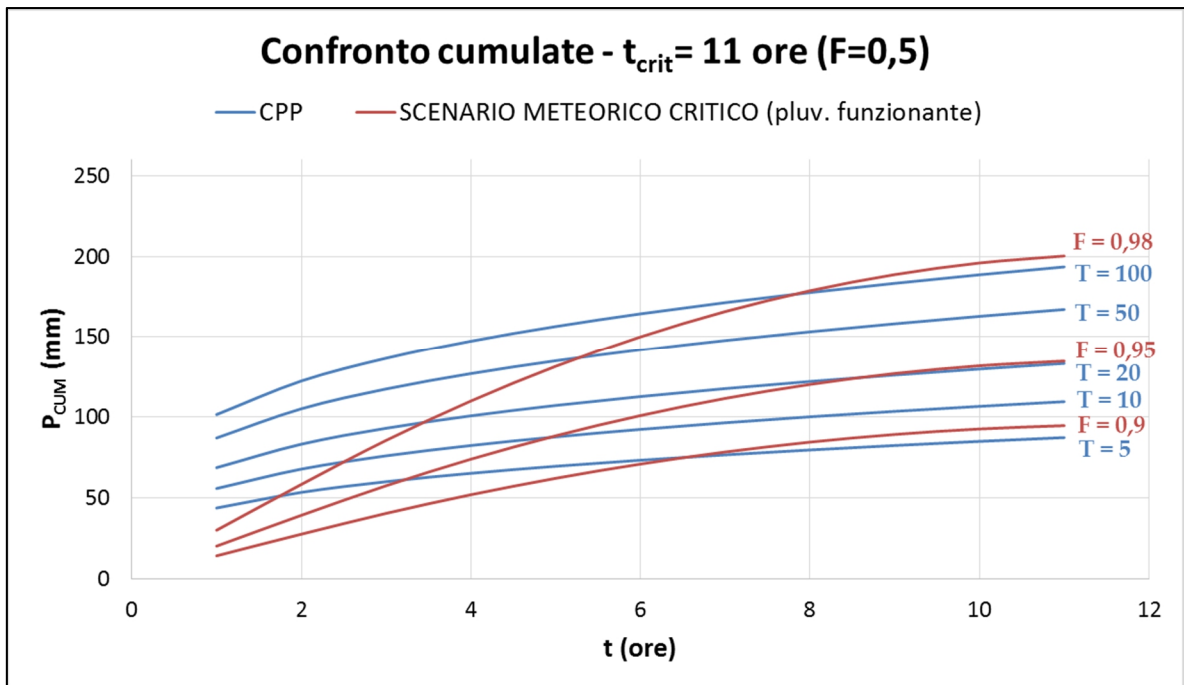


Figura 6.16 – Confronto CPP (blu) e cumulate da cicloni straordinari/BSC 0011 (pluviometro funzionante) (rosso) – durata critica 11 ore – Soverato

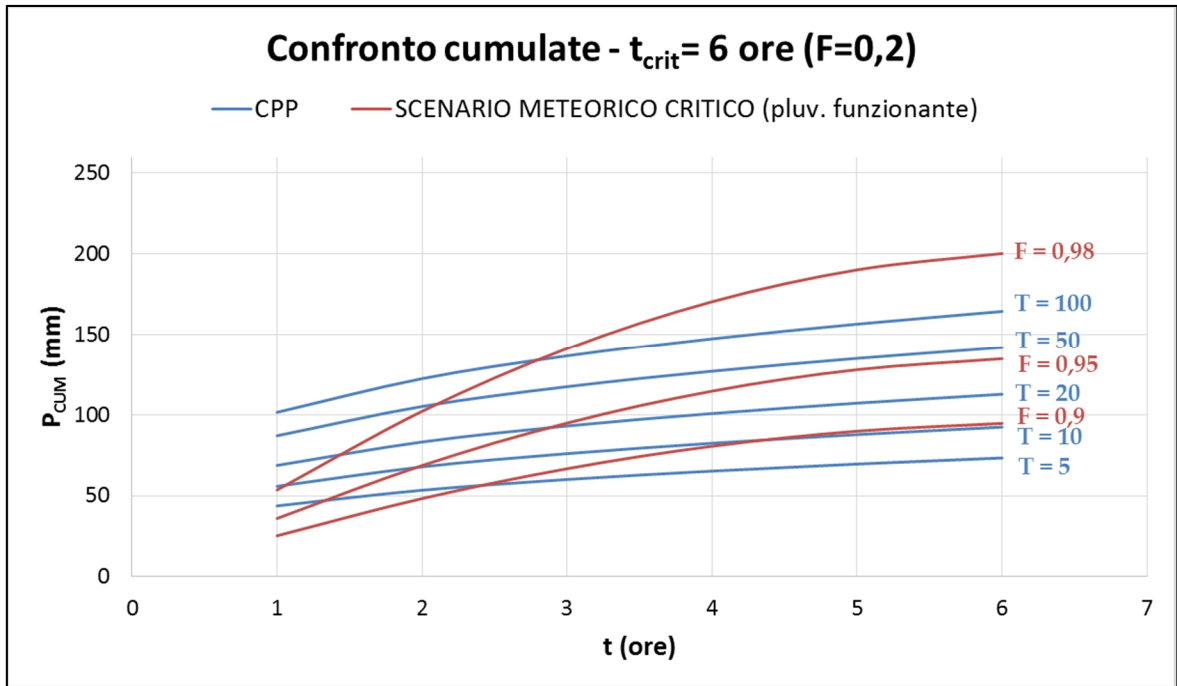


Figura 6.17 – Confronto CPP (blu) e cumulate da cicloni straordinari/BSC 0011 (pluviometro funzionante) (rosso) – durata critica 6 ore – Soverato

Successivamente il confronto è stato fatto con le cumulate relative allo scenario meteorico evolutivo cicloni straordinari-BSC 0011 nell'ipotesi di **pluviometro non funzionante o assente** (Figure 6.18-6.19-6.20).

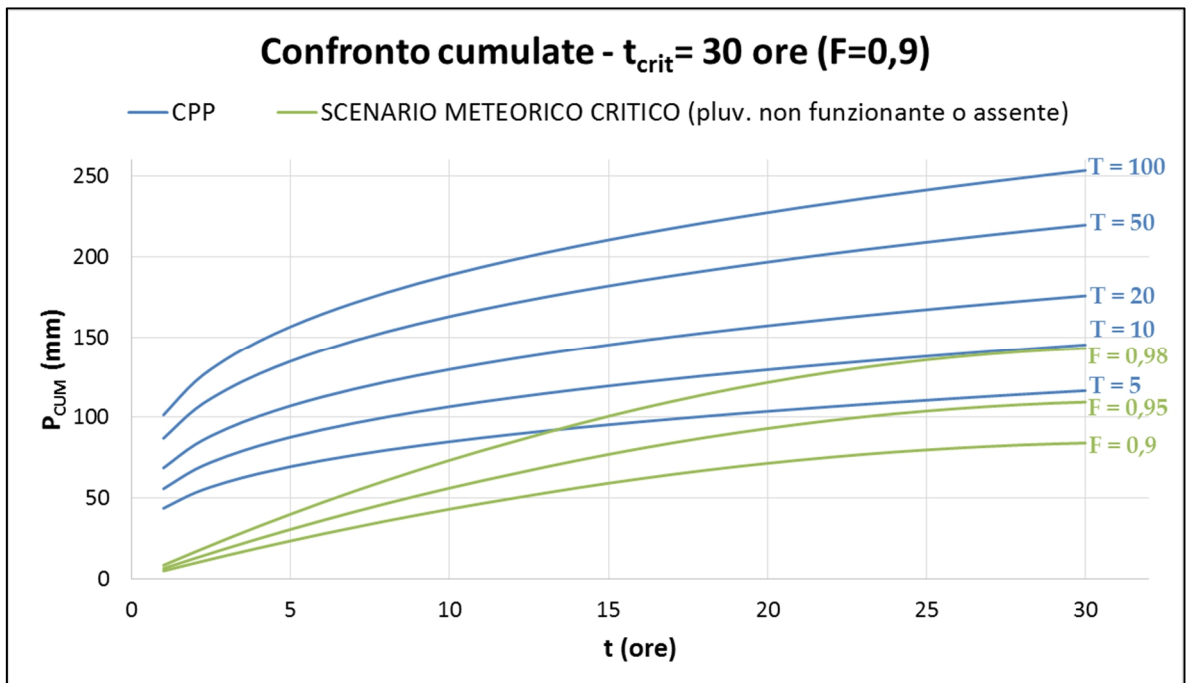


Figura 6.18 – Confronto CPP (blu) e cumulate da cicloni straordinari/BSC 0011 (pluviometro non funzionante o assente) (verde) – durata critica 30 ore – Soverato

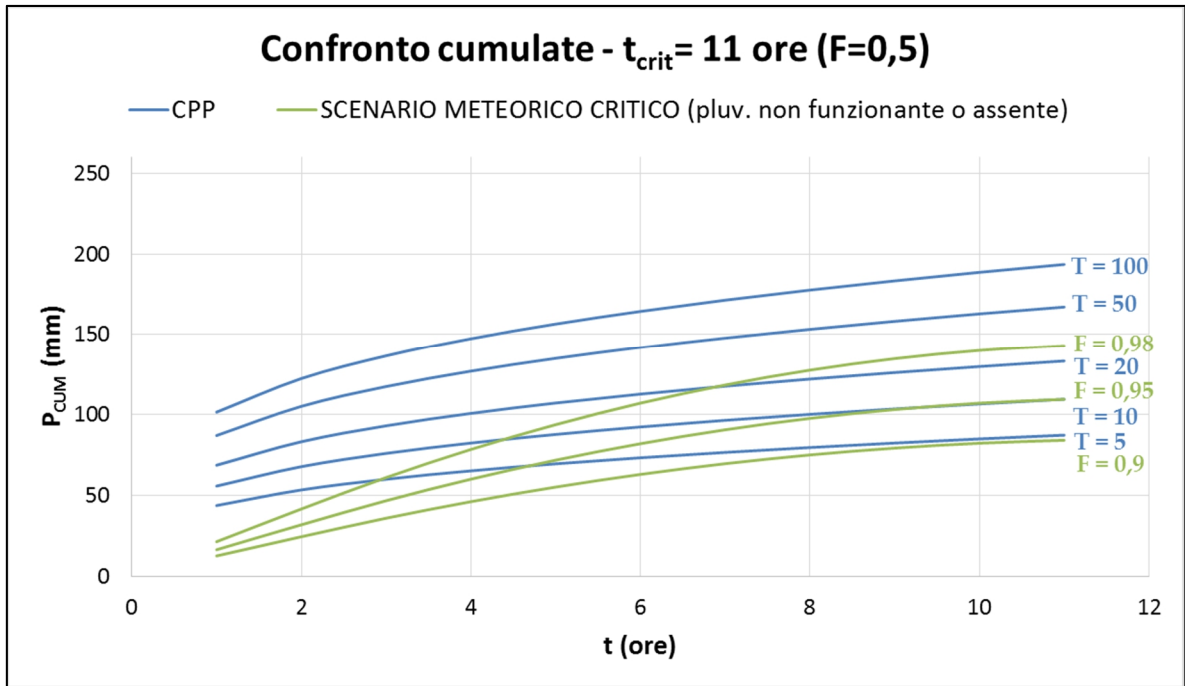


Figura 6.19 – Confronto CPP (blu) e cumulate da cicloni straordinari/BSC 0011 (pluviometro non funzionante o assente) (verde) – durata critica 11 ore – Soverato

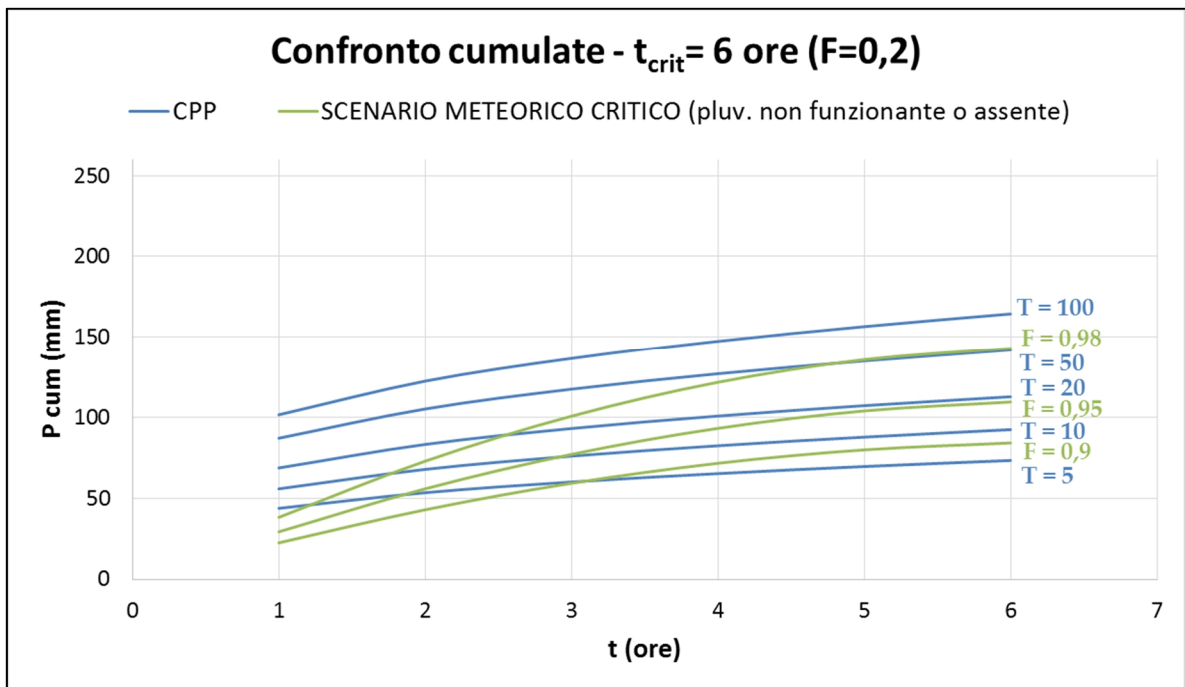


Figura 6.20 – Confronto CPP (blu) e cumulate da cicloni straordinari/BSC 0011 (pluviometro non funzionante o assente) (verde) – durata critica 6 ore – Soverato

C'è da sottolineare come, gli andamenti delle cumulate ricavati con quest'ultima ipotesi ( $H_{CUM} = 0,22 \cdot H_{MAX}$ ) siano risultati un po' meno cautelativi rispetto a quanto ottenuto con le misure in loco. Questo perché all'aumentare della probabilità F del

frattile considerato aumenta il rapporto campionario  $H_{MAX}/H_{SOV}$  (vedasi paragrafo 6.2.4 - Figura 6.14).

### **6.3. Sintesi dei risultati ottenuti**

La metodologia esposta nel presente capitolo consente di ricavare ietogrammi di progetto per un assegnato sito di interesse, sfruttando i risultati relativi alle procedure proposte nel presente lavoro. Ciò è possibile sia nel caso di pluviometro funzionante che nel caso di sito non strumentato (o con serie storica di dimensione campionaria non sufficiente).

Dal confronto con le CPP ricavate con le usuali procedure di Idrologia, che considerano serie storiche di massimi annuali di pioggia che possono derivare anche da tipologie meteorologiche diverse tra loro, è emerso che gli scenari pluviometrici proposti in questo lavoro possono anche interessare percentili di piogge cumulate con periodo di ritorno  $T$  crescente al tendere della durata al valore critico finale (Figure 6.15-6.20).

In generale, la procedura proposta può costituire sicuramente una metodologia alternativa nella definizione di scenari di evento indotti, in quanto si tiene conto della particolare tipologia meteorologica di origine.



## Capitolo 7

### CONCLUSIONI

La dissertazione ha riguardato l'analisi di fenomeni intensi di precipitazione, focalizzando l'attenzione sui dati registrati in Calabria. In particolare, è stato sviluppato un approccio metodologico, basato su:

- selezione e caratterizzazione spazio-temporale degli eventi pluviometrici;
- studio specifico dei massimi di precipitazione, sia in termini puntuali che areali;
- suddivisione degli eventi in differenti strutture meteoriche;
- analisi statistica dell'intensità sub-oraria di pioggia, sia in termini di distribuzioni marginali che condizionate;
- studio dell'evoluzione temporale degli eventi, e conseguentemente delle caratteristiche geometriche che li caratterizzano, e analisi statistica dei valori finali assunti dalle stesse;
- definizione di forzanti pluviometriche di progetto, sulla base dei risultati ottenuti negli step precedenti.

Diverse sono state le conclusioni ritenute significative ed in parte anche innovative.

In primo luogo (Capitolo 3), partendo dalla classica ripartizione, relativamente alle strutture meteoriche che generano eventi estremi nel Mediterraneo in cicloni frontali, celle temporalesche isolate e "*medicane*" (De Luca C. et al., 2010), è stata proposta:

- la suddivisione dei cicloni frontali in due cluster, ovvero cicloni ordinari e straordinari;
- l'inclusione dei *medicane* nei cicloni straordinari.

La prima scelta è dovuta alla chiara disomogeneità, nei cicloni stessi, in termini spaziali (campi di precipitazione), di massima intensità media, di durata. A tal proposito, tra le due nuove tipologie d'evento, si è anche osservata una diversa distribuzione territoriale della pioggia caduta, con una maggior attitudine dei cicloni straordinari ad interessare aree prospicienti alla fascia ionica, ed al contrario una propensione dei cicloni ordinari a colpire le aree tirreniche.

Per quel che concerne i *medicanes*, vista l'impossibilità di identificare un evento di questo tipo dalle sole osservazioni pluviometriche, si è fatto ricorso ad una ricerca "ad hoc" per comprendere quanti tra essi abbiano interessato il territorio calabrese nel periodo d'indagine. Ne sono stati individuati 3, tutti verificatisi nella stagione autunnale e caratterizzate da cumulate puntuali importanti (>100 mm) e massime intensità sui 20 minuti nell'area interna reggina (zone aspromontane e pre-aspromontane) e/o in prossimità della costa ionica. Considerato che gli stessi hanno esibito caratteristiche non difformi da diversi eventi inclusi nei cicloni straordinari, i *medicanes* non sono stati considerati come un cluster a parte.

L'analisi statistica della pioggia registrata su 20 minuti (Capitolo 4) ha messo in evidenza che per i cicloni ordinari non vi è una marcata differenza tra versante tirrenico e ionico, al contrario dei cicloni straordinari. In quest'ultimo caso, infatti, le aree relative alla fascia ionica centrale e meridionale, ed in particolare la zona di allertamento *Cala 8* (Figure 4.9-4.10, paragrafo 4.2.2) vengono caratterizzate da precipitazioni ad elevata intensità sub-oraria. Le aree relative all'altopiano della Sila, Pollino ed alto Ionio, hanno registrato valori di intensità sub-orarie di pioggia inferiori rispetto alle altre zone, indipendentemente dalla tipologia ciclonica considerata, in particolare la zona di allertamento *Cala 5*. La tipologia meteorica a celle temporalesche isolate non è stata analizzata statisticamente, visto il numero ridotto di dati per poter effettuare una modellazione spaziale sull'intero dominio regionale. I risultati ottenuti nel Capitolo 4 possono indubbiamente costituire un riferimento per lo sviluppo e/o il perfezionamento di una modellistica spazio-temporale finalizzata alla previsione delle piogge in tempo reale.

Relativamente alla modellazione spazio-temporale di alcune caratteristiche in corso d'evento (Capitolo 5) la configurazione temporale più frequente, tra gli eventi analizzati, è risultata la BSC 1111, che consiste in una quantità di pioggia cumulata che, a partire dall'inizio, si mantiene, per tutto l'evento, superiore ad un ideale

incremento costante. Tuttavia, le strutture temporali più critiche in termini di cumulata massima, intensità massima media ed intensità di pioggia nei 20 minuti, sono state la BSC 0011 e la BSC 0111. La prima è caratterizzata da una quantità di pioggia cumulata inferiore ad un ideale incremento costante nella prima metà dell'evento e superiore nell'altra metà; la seconda è caratterizzata da una quantità di pioggia cumulata inferiore ad un ideale incremento costante per il primo quarto dell'evento e superiore per i rimanenti tre quarti. Un aspetto innovativo è consistito nel condurre l'analisi dell'evoluzione temporale, oltre che per l'SRP (Standardized Rainfall Profiles - Huff, 1967, 1990), anche per l'area d'influenza e la massima cumulata.

Per quanto riguarda l'analisi statistica delle caratteristiche geometriche finali degli eventi esaminati, la distribuzione Log-Normale è stata quella che nella maggioranza dei casi ha meglio interpretato le variabili geometriche sopra menzionate. In più è stata analizzata la durata degli eventi, per la quale accettabili best-fitting sono stati ottenuti anche con le distribuzioni Esponenziale e Weibull. La distribuzione Normale è risultata in generale quella che meno si adatta alle grandezze in esame. Le celle temporalesche isolate conservano le medesime caratteristiche indipendentemente dalla stagionalità e dall'ubicazione. I cicloni straordinari presentano i valori più elevati di aree, durate e cumulate massime nella stagione autunnale. I cicloni ordinari sono poco frequenti nella stagione estiva.

I suddetti risultati, elaborati su di un ampio dominio di calcolo, hanno fornito gli strumenti per poter definire una forzante pluviometrica che abbia una certa probabilità di interessare una determinata area (Capitolo 6). In particolare tale analisi è terminata con la costruzione di ietogrammi relativi ad una particolare tipologia di precipitazione che segue una specifica evoluzione nel tempo. Questi si differenziano dagli ietogrammi ricavati con le metodologie dell'Idrologia classica che, al contrario, utilizzano dati di pioggia eterogenei, cioè appartenenti a fenomeni meteorologici diversi. Tale forzante costituisce un elemento imprescindibile alla formazione di uno scenario d'evento. Per tale ragione, lo studio proposto può fornire un contributo, sia pure parziale, all'ampio processo che porta alla definizione degli scenari stessi. Gli scenari d'evento, come è noto, descrivono i fenomeni che possono verificarsi, ne definiscono quantitativamente la magnitudo, localizzano le aree vulnerabili, quelle cioè che possono essere colpite dall'evento. I prevedibili effetti degli eventi identificati e descritti dagli scenari d'evento sugli

elementi esposti vengono descritti dagli scenari di rischio. Pertanto, tale tematica si inquadra in un contesto più esteso, relativo alle attività di allertamento, nonché di pianificazione e gestione delle emergenze ad esso connesse.

I possibili sviluppi futuri della ricerca potrebbero riguardare:

- una maggiore integrazione di informazioni meteorologiche e pluviometriche (ad esempio utilizzando mappe radar e/o dati da satellite) nella procedura di suddivisione degli eventi pluviometrici in cluster meteorici;
- analisi relative a territori più estesi di quello considerato, e con disponibilità di campioni più consistenti finalizzate a studi maggiormente dettagliati sui fenomeni di pioggia intensa, in particolare per le celle temporalesche isolate;
- individuazione di nuove espressioni relative al fattore di riduzione areale delle piogge provocate dalle diverse tipologie d'evento su di un determinato contesto territoriale;
- studio delle interazioni tra le diverse strutture meteoriche ed i possibili impatti al suolo, in termini di esondazioni, allagamenti, frane, smottamenti ecc.

# APPENDICE A

## ELENCO DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE

<b>Codice CFM</b>	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>	<b>Nome (Provincia)</b>	<b>2002÷2015 (anni)</b>	<b>Zona di Allerta</b>
865	2656919	4427531	151	Roseto Capo Spulico (CS)	13,62	Cala 5
870	2643735	4434362	450	Oriolo (CS)	12,98	Cala 5
900	2645489	4420435	810	Albidona (CS)	12,93	Cala 5
924	2638341	4413056	636	Cerchiara di Calabria (CS)	10,61	Cala 5
930	2646585	4406064	5	Villapiana Scalo (CS)	13,45	Cala 5
970	2632948	4404518	251	Cassano allo Ionio (CS)	12,86	Cala 5
1000	2624252	4341485	736	Domanico (CS)	11,72	Cala 2
1010	2629133	4349377	242	Cosenza (CS)	13,83	Cala 2
1020	2621288	4348636	620	Cerisano (CS)	4,28	Cala 2
1030	2633192	4355957	660	San Pietro in Guarano (CS)	13,50	Cala 2
1060	2617337	4361888	468	Montalto Uffugo (CS)	13,33	Cala 2
1092	2642680	4352831	1730	Camigliatello - Monte Curcio (CS)	12,66	Cala 2
1100	2652417	4362294	1180	Cecita (CS)	12,70	Cala 5
1120	2638882	4371771	750	Acri (CS)	13,03	Cala 5
1130	2624039	4372283	97	Torano Scalo (CS)	13,76	Cala 2
1135	2618066	4375152	185	Fitterizzi (CS)	12,52	Cala 1
1140	2629265	4386061	203	Tarsia (CS)	13,62	Cala 1
1145	2624483	4376735	75	Mongrassano Scalo (CS)	0	Cala 2
1170	2617377	4410635	722	Morano Calabro (CS)	4,28	Cala 1
1180	2627433	4402490	353	Castrovillari (CS)	13,12	Cala 1
1185	2628999	4398910	82	Castrovillari - Camerata (CS)	10,86	Cala 1
1195	2616312	4399141	570	Lungro (CS)	11,24	Cala 1
1220	2618752	4385985	264	Roggiano Gravina (CS)	2,90	Cala 1
1230	2608180	4391015	404	San Sosti (CS)	13,79	Cala 1
1260	2615439	4379449	430	San Marco Argentano (CS)	2,62	Cala 1
1295	2648311	4396694	6	Sibari (CS)	13,79	Cala 5
1324	2650590	4383067	219	Corigliano Calabro (CS)	13,59	Cala 5
1360	2658568	4367528	770	Longobucco (CS)	13,13	Cala 5
1380	2668248	4375432	367	Cropalati (CS)	13,54	Cala 5
1410	2686818	4374635	10	Cariati Marina (CS)	13,62	Cala 6

<b>Codice CFM</b>	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>	<b>Nome (Provincia)</b>	<b>2002-2015 (anni)</b>	<b>Zona di Allerta</b>
1440	2692489	4365807	367	Crucoli (KR)	9,53	Cala 6
1455	2703128	4361578	10	Ciro' Marina - Punta Alice (KR)	13,85	Cala 6
1470	2668025	4347405	1050	San Giovanni in Fiore (CS)	3,67	Cala 6
1500	2653327	4344911	1315	Nocelle - Arvo (CS)	13,27	Cala 6
1570	2672845	4352994	964	Savelli (KR)	13,25	Cala 6
1580	2673914	4345200	663	Cerenzia (KR)	13,27	Cala 6
1590	2683010	4341458	330	Belvedere di Spinello (KR)	1,87	Cala 6
1610	2694901	4338013	183	Rocca di Neto (KR)	0,08	Cala 6
1640	2689702	4351316	576	San Nicola dell'Alto (KR)	13,76	Cala 6
1670	2694425	4322777	169	Cutro (KR)	13,51	Cala 7
1675	2695426	4326775	156	Crotone - Papanice (KR)	13,61	Cala 6
1680	2704316	4328598	5	Crotone (KR)	13,70	Cala 6
1695	2704089	4320292	162	Crotone - Salica (KR)	13,78	Cala 6
1700	2694100	4312384	90	Isola di Capo Rizzuto - Campolongo (KR)	13,84	Cala 7
1724	2673843	4335988	530	Cotronei (KR)	13,72	Cala 6
1730	2674572	4330598	434	Petilia Policastro (KR)	0,91	Cala 6
1733	2683422	4326405	49	Roccabernarda - Serrarossa (KR)	13,71	Cala 6
1735	2672219	4322892	889	Petronà (CZ)	12,86	Cala 7
1740	2686802	4330149	288	San Mauro Marchesato (KR)	13,20	Cala 6
1755	2671097	4333961	802	Petilia Policastro - Pagliarelle (KR)	12,99	Cala 6
1760	2681090	4311928	18	Botricello (CZ)	13,83	Cala 7
1780	2674208	4315063	347	Cropani (CZ)	13,85	Cala 7
1800	2671195	4307795	30	Sellia Marina (CZ)	1,93	Cala 7
1820	2665071	4312589	366	Soveria Simeri (CZ)	13,87	Cala 7
1825	2652543	4333395	1270	Spineto (CS)	13,73	Cala 2
1830	2658350	4320929	710	Albi (CZ)	11,77	Cala 7
1850	2657511	4308078	334	Catanzaro (CZ)	13,86	Cala 7
1865	2658719	4297853	8	Borgia - Roccelletta (CZ)	13,79	Cala 7
1935	2638902	4289840	1013	Serralta (CZ)	12,97	Cala 7
1940	2646259	4289951	480	Palermi (CZ)	13,32	Cala 7
1955	2648229	4284759	0	Petrizzi (CZ)	2,20	Cala 7
1960	2642566	4281247	714	Chiaravalle Centrale (CZ)	13,75	Cala 7
1970	2654388	4283451	6	Soverato Marina (CZ)	12,28	Cala 7
1980	2634982	4269360	790	Serra San Bruno (VV)	13,63	Cala 8
2025	2651867	4266474	459	Santa Caterina dello Ionio (CZ)	13,54	Cala 7
2040	2655452	4257295	70	Monasterace - Punta Stilo (RC)	13,55	Cala 8

<b>Codice CFM</b>	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>	<b>Nome (Provincia)</b>	<b>2002-2015 (anni)</b>	<b>Zona di Allerta</b>
2050	2640182	4260528	1050	Stilo - Ferdinanda (RC)	3,36	Cala 8
2072	2648707	4254022	395	Stignano (RC)	10,45	Cala 8
2086	2635067	4263821	921	Mongiana (VV)	13,80	Cala 8
2090	2633433	4258692	948	Fabrizia (VV)	13,87	Cala 8
2120	2643284	4249281	275	Caulonia (RC)	4,36	Cala 8
2130	2642374	4242423	5	Roccella Ionica (RC)	13,85	Cala 8
2140	2627952	4247214	250	Mammola (RC)	3,09	Cala 8
2150	2632872	4255665	970	Fabrizia - Cassari (VV)	13,87	Cala 8
2160	2636285	4240063	125	Gioiosa Ionica (RC)	13,66	Cala 8
2170	2633588	4237028	7	Siderno Marina (RC)	2,70	Cala 8
2180	2618553	4241153	880	Antonimina - Canolo Nuovo (RC)	13,83	Cala 8
2200	2623284	4235296	310	Antonimina (RC)	13,77	Cala 8
2205	2630967	4233166	10	Locri (RC)	13,87	Cala 8
2210	2622037	4227811	250	Ardore Superiore (RC)	12,76	Cala 8
2220	2623188	4222945	46	Bovalino Marina (RC)	10,86	Cala 8
2230	2611390	4230934	310	Plati' (RC)	12,40	Cala 8
2250	2604183	4224532	786	San Luca - Santuario di Polsi (RC)	3,23	Cala 8
2260	2612867	4222966	250	San Luca (RC)	10,86	Cala 8
2270	2615164	4217548	380	Sant'Agata del Bianco (RC)	13,64	Cala 8
2290	2610919	4206304	550	Staiti (RC)	13,71	Cala 8
2310	2613188	4198031	48	Capo Spartivento (RC)	13,78	Cala 8
2320	2601910	4205792	905	Bova Superiore (RC)	9,74	Cala 8
2330	2601207	4198459	8	Bova Marina (RC)	1,41	Cala 8
2340	2599035	4211220	930	Roccaforte del Greco (RC)	11,46	Cala 8
2370	2587812	4197218	7	Melito di Porto Salvo (RC)	2,38	Cala 8
2380	2586604	4204305	470	Montebello Ionico (RC)	13,55	Cala 8
2450	2577069	4217981	15	Reggio Calabria (RC)	13,40	Cala 4
2460	2582088	4217674	573	Reggio Calabria - Arasi' (RC)	13,55	Cala 4
2463	2583574	4210656	440	Reggio Calabria - Rosario (RC)	13,44	Cala 4
2465	2590105	4217586	670	Cardeto (RC)	13,73	Cala 4
2466	2586210	4224896	548	Sant'Alessio in Aspromonte (RC)	10,77	Cala 4
2470	2593328	4224770	1300	Gambarie d'Aspromonte (RC)	12,49	Cala 4
2495	2576171	4226993	6	Reggio Calabria - Catona (RC)	10,61	Cala 4
2510	2582978	4233977	73	Scilla (RC)	13,76	Cala 4
2512	2584449	4232407	590	Scilla - Villaggio del Pino (RC)	8,95	Cala 4

<b>Codice CFM</b>	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>	<b>Nome (Provincia)</b>	<b>2002-2015 (anni)</b>	<b>Zona di Allerta</b>
2513	2585841	4233497	595	Scilla - Piano delle Aquile (RC)	9,56	Cala 4
2514	2587752	4234555	560	Scilla - Tagli (RC)	8,95	Cala 4
2515	2589700	4233881	620	Scilla - Solano (RC)	9,03	Cala 4
2520	2590919	4237917	170	Bagnara Calabria (RC)	12,22	Cala 4
2530	2595397	4246746	248	Palmi (RC)	12,98	Cala 4
2540	2604400	4234760	510	Santa Cristina d'Aspromonte (RC)	13,56	Cala 4
2544	2599679	4248381	30	Gioia Tauro (RC)	13,84	Cala 4
2560	2596780	4235388	502	Sinopoli (RC)	13,86	Cala 4
2570	2602194	4240897	189	Oppido Mamertina - Castellace (RC)	2,19	Cala 4
2580	2610177	4240586	310	Molochio (RC)	13,40	Cala 4
2600	2614160	4245441	407	Cittanova (RC)	13,68	Cala 4
2610	2604839	4251501	114	Rizziconi (RC)	10,46	Cala 4
2635	2606177	4261945	26	Sbarretta (RC)	1,00	Cala 4
2650	2629060	4275345	275	Pizzoni (VV)	13,37	Cala 3
2665	2617939	4267431	75	Dinami - San Pietro di Caridà (RC)	13,69	Cala 4
2670	2626027	4268891	450	Arena (VV)	13,84	Cala 3
2690	2613210	4258299	160	Feroleto della Chiesa (RC)	12,11	Cala 4
2700	2620039	4255289	594	Giffone (RC)	13,69	Cala 4
2710	2623885	4247687	800	Mammola - Limina C.C. (RC)	13,54	Cala 4
2730	2613228	4274504	368	Mileto (VV)	12,54	Cala 3
2740	2606162	4261814	61	Rosarno (RC)	13,85	Cala 4
2760	2598841	4271893	185	Joppolo (VV)	13,50	Cala 3
2770	2597811	4281123	51	Tropea (VV)	3,82	Cala 3
2780	2605535	4278785	578	Zungri (VV)	9,66	Cala 3
2800	2616243	4281550	498	Vibo Valentia (VV)	13,78	Cala 3
2802	2617371	4284397	170	Vibo Valentia - Longobardi (VV)	8,24	Cala 3
2804	2617543	4286116	20	Vibo Marina (VV)	9,01	Cala 3
2810	2620942	4287808	107	Pizzo Calabro (VV)	3,63	Cala 3
2815	2592170	4275280	30	Capo Vaticano (VV)	13,68	Cala 3
2820	2632362	4286096	372	Monterosso Calabro (VV)	10,34	Cala 3
2830	2632305	4293929	550	Filadelfia (VV)	13,32	Cala 3
2870	2637556	4322824	780	Decollatura (CZ)	2,61	Cala 3
2890	2650843	4312699	690	Tiriolo (CZ)	13,83	Cala 7
2902	2636114	4306071	39	Lamezia - Licciardi (CZ)	13,86	Cala 3
2924	2641715	4299264	516	Cortale (CZ)	10,85	Cala 3
2940	2632550	4315981	400	Nicastro - Bella (CZ)	13,74	Cala 3
2950	2638401	4301391	300	Maida (CZ)	2,68	Cala 3



<b>Codice CFM</b>	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>	<b>Nome (Provincia)</b>	<b>2002-2015 (anni)</b>	<b>Zona di Allerta</b>
2955	2626958	4303728	24	Lamezia Terme - Palazzo (CZ)	13,69	Cala 3
2960	2628569	4308810	25	Sant'Eufemia Lamezia (CZ)	0	Cala 3
2990	2641760	4335598	830	Parenti (CS)	12,68	Cala 2
3000	2634011	4337161	650	Rogliano (CS)	13,30	Cala 2
3010	2627845	4326917	440	Martirano (CZ)	10,84	Cala 3
3020	2620289	4321649	250	Nocera Terinese (CZ)	1,39	Cala 3
3040	2613870	4333897	54	Amantea (CS)	13,76	Cala 2
3050	2612438	4343414	220	Fiumefreddo Bruzio (CS)	2,30	Cala 2
3060	2609773	4358056	160	Paola (CS)	13,25	Cala 2
3090	2602855	4376607	416	Cetraro Superiore (CS)	12,00	Cala 1
3100	2592788	4388193	10	Belvedere Marittimo (CS)	13,26	Cala 1
3150	2603378	4423160	250	Laino Borgo (CS)	13,37	Cala 1
3155	2587573	4424721	92	C.le Castrocuoco (PZ)	6,56	Cala 1
3160	2611377	4414166	965	Campotenese (CS)	13,66	Cala 1
3161	2585232	4419990	12	Tortora (CS)	10,93	Cala 1
3180	2597853	4414063	238	Papasidero (CS)	10,31	Cala 1
3210	2584925	4442935	666	Lagonegro (PZ)	6,41	Cala 1

Tabella A.1 – Elenco delle stazioni pluviometriche

ELENCO EVENTI CON DURATE E MASSIMI

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
1	21/4/02 16:00	22/4/02 13:40	22,0	23,8	Capo Spartivento	109,6	San Luca - Santuario di Polsi
2	8/5/02 6:40	8/5/02 11:20	5,0	36,0	Cerenzia	46,0	Cerenzia
3	24/5/02 12:20	25/5/02 12:40	24,7	26,4	Arena	131,8	Arena
4	26/6/02 9:00	26/6/02 17:00	8,3	16,2	San Giovanni in Fiore	21,8	Oppido Mamertina - Castellace
5	17/7/02 9:40	17/7/02 17:20	8,0	17,6	Tortora	34,8	C.le Castrocuco
6	26/7/02 8:40	27/7/02 9:40	25,3	18,2	San Nicola dell'Alto	102,4	Ciro' Marina - Punta Alice
7	28/7/02 6:40	29/7/02 3:00	20,7	16,0	Palmi	75,6	Crotone
8	29/7/02 13:00	29/7/02 20:40	8,0	22,8	Arena	47,4	Arena
9	30/7/02 12:00	30/7/02 19:40	8,0	25,4	Staiti	54,8	Dinami - San Pietro di Caridà
10	31/7/02 13:40	31/7/02 14:20	1,0	24,6	San Mauro Marchesato	29,2	San Mauro Marchesato
11	11/8/02 3:00	11/8/02 11:40	9,0	20,2	C.le Castrocuco	80,0	C.le Castrocuco
12	17/8/02 11:40	17/8/02 16:40	5,3	30,2	Tiriolo	61,6	Tiriolo
13	18/8/02 12:20	18/8/02 17:20	5,3	28,6	Arena	39,6	Arena
14	19/8/02 12:20	19/8/02 16:40	4,7	25,0	Catanzaro	39,8	Catanzaro
15	20/8/02 13:20	20/8/02 17:20	4,3	20,2	Sant'Agata del Bianco	41,2	Spineto
16	21/8/02 14:00	21/8/02 17:20	3,7	31,6	Longobucco	51,4	Longobucco
17	23/8/02 13:00	23/8/02 17:20	4,7	20,6	Cotronei	40,4	Petilia Policastro - Pagliarelle
18	28/8/02 12:40	30/8/02 8:40	44,3	26,0	Antonimina - Canolo Nuovo	126,6	Antonimina - Canolo Nuovo
19	31/8/02 13:20	1/9/02 19:20	30,3	23,8	Dinami - San Pietro di Caridà	91,8	Serralta

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
20	2/9/02 12:00	2/9/02 18:40	7,0	36,4	Tiriolo	118,4	Tiriolo
21	3/9/02 14:20	3/9/02 16:00	2,0	24,6	Cropani	49,4	Cropani
22	5/9/02 15:40	5/9/02 15:40	0,3	17,6	Monasterace - Punta Stilo	17,6	Monasterace - Punta Stilo
23	6/9/02 7:40	6/9/02 10:20	3,0	26,8	Bagnara Calabria	45,4	Bagnara Calabria
24	7/9/02 1:40	8/9/02 3:00	25,7	24,6	C.le Castrocuoco	48,2	Tortora
25	10/9/02 23:40	11/9/02 23:20	24,0	24,8	Bagnara Calabria	86,0	Bagnara Calabria
26	12/9/02 12:20	12/9/02 23:00	11,0	23,6	Paola	65,6	San Nicola dell'Alto
27	13/9/02 14:20	15/9/02 4:40	38,7	22,2	Roccabernarda - Serrarossa	55,0	Cariati Marina
28	22/9/02 16:20	22/9/02 16:40	0,7	19,8	C.le Castrocuoco	21,4	C.le Castrocuoco
29	23/9/02 19:40	24/9/02 12:00	16,7	17,8	San Marco Argentano	86,4	San Marco Argentano
30	24/9/02 19:20	24/9/02 22:20	3,3	27,0	Roccella Ionica	49,6	Roccaforte del Greco
31	27/9/02 15:40	28/9/02 11:40	20,3	16,8	Vibo Valentia	41,0	Vibo Valentia
32	5/10/02 11:40	5/10/02 19:20	8,0	19,8	Ciro' Marina - Punta Alice	49,2	Ciro' Marina - Punta Alice
33	7/10/02 8:20	7/10/02 22:20	14,3	22,2	Antonimina - Canolo Nuovo	45,4	Antonimina - Canolo Nuovo
34	9/10/02 22:20	10/10/02 4:20	6,3	17,2	Petilia Policastro	42,6	Petilia Policastro
35	11/10/02 2:00	11/10/02 19:40	18,0	16,0	Petronà	48,0	Petronà
36	8/11/02 9:40	8/11/02 17:20	8,0	17,8	Santa Caterina dello Ionio	95,6	Santa Caterina dello Ionio
37	18/11/02 12:40	18/11/02 20:00	7,7	17,8	Fabrizia	40,4	Soveria Simeri
38	21/11/02 6:00	21/11/02 14:40	9,0	22,0	Lamezia - Licciardi	130,6	Maida
39	26/11/02 11:40	27/11/02 22:40	35,3	18,0	Plati'	210,8	San Luca - Santuario di Polsi
40	11/1/03 7:20	11/1/03 21:00	14,0	35,6	Gioia Tauro	90,0	Gioia Tauro
41	18/1/03 14:00	18/1/03 16:00	2,3	18,0	Gioiosa Ionica	37,6	Gioiosa Ionica

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
42	4/2/03 17:00	5/2/03 1:40	9,0	20,6	Albidona	59,6	Morano Calabro
43	18/4/03 14:00	18/4/03 16:20	2,7	20,4	Tiriolo	58,8	Tiriolo
44	28/5/03 6:00	28/5/03 22:40	17,0	25,0	Soveria Simeri	98,8	Vibo Valentia
45	31/5/03 11:40	31/5/03 17:00	5,7	20,8	Fabrizia - Cassari	49,0	Fabrizia - Cassari
46	3/6/03 13:20	3/6/03 15:20	2,3	22,2	Cosenza	32,0	Cosenza
47	5/6/03 13:20	5/6/03 15:20	2,3	19,4	Spineto	34,6	Camigliatello - Monte Curcio
48	6/6/03 16:00	6/6/03 16:40	1,0	25,8	Cecita	53,6	Cecita
49	9/6/03 13:20	9/6/03 18:40	5,7	19,2	Laino Borgo	32,2	San Pietro in Guarano
50	14/6/03 15:40	14/6/03 16:40	1,3	16,8	Fabrizia	24,8	Fabrizia
51	16/6/03 13:20	16/6/03 17:40	4,7	20,2	Cassano allo Ionio	40,6	Cotronei
52	19/6/03 9:00	19/6/03 19:40	11,0	26,8	Tortora	48,6	Longobucco
53	23/6/03 15:00	23/6/03 15:20	0,7	20,0	Nocelle - Arvo	28,4	Nocelle - Arvo
54	24/6/03 13:00	24/6/03 16:40	4,0	26,2	San Pietro in Guarano	33,4	Nocelle - Arvo
55	10/7/03 13:20	10/7/03 17:40	4,7	26,6	Petilia Policastro - Pagliarelle	46,2	Cerenza
56	31/7/03 14:40	3/8/03 15:40	73,3	32,2	Tiriolo	168,4	Corigliano Calabro
57	8/8/03 15:40	8/8/03 16:40	1,3	24,2	San Sosti	39,2	San Sosti
58	24/8/03 15:00	24/8/03 17:00	2,3	19,8	Oriolo	39,6	Albi
59	26/8/03 1:20	26/8/03 5:00	4,0	19,2	Sinopoli	24,6	Santa Cristina d'Aspromonte
60	26/8/03 13:40	27/8/03 11:40	22,3	22,2	Crotone - Papanice	73,4	Antonimina - Canolo Nuovo
61	8/9/03 8:40	8/9/03 14:00	5,7	22,8	Tortora	44,6	Tortora
62	9/9/03 23:20	10/9/03 15:00	16,0	20,0	C.le Castrocuco	69,8	Torano Scalo
63	12/9/03 15:20	13/9/03 4:00	13,0	23,6	Sant'Agata del Bianco	34,2	Sant'Agata del Bianco

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
64	25/9/03 13:40	25/9/03 18:40	5,3	20,2	Fabrizia	51,4	Fabrizia
65	27/9/03 14:00	27/9/03 15:20	1,7	22,0	Staiti	78,4	Staiti
66	29/9/03 2:00	29/9/03 7:20	5,7	17,0	San Sosti	52,2	Laino Borgo
67	5/10/03 15:40	6/10/03 4:20	13,0	22,2	C.le Castrocuco	109,0	C.le Castrocuco
68	14/10/03 12:40	15/10/03 18:00	29,7	38,0	Petronà	237,0	Petronà
69	19/10/03 0:20	19/10/03 6:00	6,0	25,4	Fabrizia	50,6	Fitterizzi
70	29/10/03 3:20	29/10/03 6:40	3,7	26,8	Lagonegro	42,0	Lagonegro
71	29/10/03 23:20	30/10/03 17:20	18,3	36,4	Lagonegro	95,2	Lagonegro
72	1/11/03 11:00	1/11/03 14:00	3,3	17,8	Albi	30,4	Stilo - Ferdinandea
73	22/11/03 3:20	22/11/03 11:00	8,0	27,0	San Luca - Santuario di Polsi	139,2	Santa Cristina d'Aspromonte
74	26/11/03 6:00	26/11/03 17:00	11,3	34,6	Albi	168,4	Albi
75	10/12/03 8:40	10/12/03 14:20	6,0	27,2	Fabrizia - Cassari	53,6	Fabrizia - Cassari
76	11/12/03 0:00	13/12/03 4:40	53,0	28,6	Antonimina - Canolo Nuovo	588,2	San Luca - Santuario di Polsi
77	11/1/04 5:00	11/1/04 5:40	1,0	26,0	Albidona	33,6	Albidona
78	7/3/04 9:20	8/3/04 4:20	19,3	21,2	Ardore Superiore	175,4	Stilo - Ferdinandea
79	4/4/04 14:00	4/4/04 17:00	3,3	16,4	Giffone	34,8	Giffone
80	19/4/04 20:00	21/4/04 0:00	28,3	20,8	Joppolo	132,0	Mongiana
81	17/5/04 2:20	17/5/04 5:40	3,7	16,2	Gioia Tauro	29,2	Mammola - Limina C.C.
82	3/6/04 7:00	3/6/04 11:20	4,7	17,8	C.le Castrocuco	105,6	C.le Castrocuco
83	4/6/04 3:40	4/6/04 14:20	11,0	17,0	Crotone - Papanice	58,6	Serralta
84	5/6/04 1:40	5/6/04 11:40	10,3	16,0	Cittanova	44,6	Fabrizia - Cassari
85	17/6/04 15:20	18/6/04 5:20	14,3	32,2	Mammola	107,4	Longobucco

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
86	24/7/04 17:00	24/7/04 17:20	0,7	16,6	Oriolo	21,8	Oriolo
87	26/7/04 6:40	27/7/04 6:00	23,7	29,6	Sinopoli	72,0	Santa Cristina d'Aspromonte
88	27/7/04 14:20	27/7/04 21:20	7,3	16,2	Serra San Bruno	25,0	Serra San Bruno
89	29/7/04 7:20	29/7/04 7:40	0,7	16,6	Bagnara Calabria	23,6	Bagnara Calabria
90	6/8/04 4:20	6/8/04 14:20	10,3	25,0	Paola	32,2	Paola
91	5/9/04 13:40	5/9/04 19:00	5,7	16,8	Stilo - Ferdinanda	43,8	Albi
92	7/9/04 15:20	7/9/04 17:40	2,7	16,2	Tiriolo	22,8	Tiriolo
93	8/9/04 6:00	8/9/04 12:40	7,0	18,4	Cittanova	29,2	Cittanova
94	16/9/04 14:00	16/9/04 14:20	0,7	18,8	Savelli	32,0	Savelli
95	17/9/04 1:20	17/9/04 3:00	2,0	19,6	Serralta	30,6	Serralta
96	20/9/04 2:40	21/9/04 1:20	23,0	42,0	Cropalati	137,4	Monasterace - Punta Stilo
97	26/9/04 10:40	27/9/04 5:00	18,7	17,6	Giffone	61,4	Arena
98	27/9/04 16:00	27/9/04 23:00	7,3	19,6	Albidona	26,2	Albidona
99	28/9/04 10:20	29/9/04 2:40	16,7	16,2	Gioiosa Ionica	39,0	Vibo Valentia
100	11/10/04 23:00	12/10/04 15:00	16,3	28,6	Belvedere Marittimo	68,6	Belvedere Marittimo
101	13/10/04 11:20	14/10/04 2:40	15,7	39,6	Montebello Ionico	48,2	Montebello Ionico
102	15/10/04 21:00	15/10/04 21:00	0,3	24,8	Reggio Calabria	24,8	Reggio Calabria
103	27/10/04 3:20	27/10/04 8:20	5,3	18,8	Crotone - Papanice	45,2	Cutro
104	3/11/04 14:40	5/11/04 8:20	42,0	27,8	Tarsia	165,0	Tarsia
105	10/11/04 12:40	10/11/04 13:00	0,7	23,2	C.le Castrocuoco	37,4	C.le Castrocuoco
106	12/11/04 11:40	13/11/04 5:20	18,0	41,6	Decollatura	222,4	Parenti
107	13/11/04 17:20	14/11/04 15:40	22,7	17,8	Cerenza	55,6	Cropalati

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
108	15/11/04 8:00	16/11/04 1:00	17,3	20,4	Tropea	52,0	Giffone
109	9/12/04 12:40	10/12/04 4:00	15,7	33,8	Lamezia - Licciardi	221,2	Santa Cristina d'Aspromonte
110	11/12/04 16:20	12/12/04 18:20	26,3	17,4	Santa Caterina dello Ionio	145,8	San Luca - Santuario di Polsi
111	24/5/05 14:40	25/5/05 6:20	16,0	29,6	Oriolo	54,2	Pizzoni
112	29/5/05 12:20	29/5/05 19:20	7,3	23,6	Campotenese	41,4	Parenti
113	30/5/05 12:20	30/5/05 18:40	6,7	21,6	Fabrizia	62,6	Fabrizia
114	31/5/05 5:20	31/5/05 9:20	4,3	19,8	Tropea	33,4	Capo Vaticano
115	7/6/05 14:20	8/6/05 17:00	27,0	22,2	Paola	66,2	Antonimina - Canolo Nuovo
116	16/6/05 5:20	16/6/05 14:00	9,0	24,0	Lamezia - Licciardi	50,0	Albi
117	13/7/05 14:20	14/7/05 15:00	25,0	28,6	Vibo Valentia	64,4	Santa Cristina d'Aspromonte
118	4/8/05 20:00	5/8/05 6:40	11,0	25,8	Gioia Tauro	56,8	Sant'Alessio in Aspromonte
119	24/8/05 16:40	24/8/05 22:20	6,0	18,2	Petronà	41,8	Longobucco
120	25/8/05 6:00	25/8/05 16:00	10,3	22,6	Caulonia	29,2	Caulonia
121	30/8/05 15:00	30/8/05 22:40	8,0	19,8	Arena	65,2	Mammola - Limina C.C.
122	31/8/05 12:20	31/8/05 17:20	5,3	28,0	Lagonegro	55,8	Cropani
123	1/9/05 13:20	1/9/05 18:20	5,3	29,4	Pizzoni	50,8	Pizzoni
124	2/9/05 14:00	2/9/05 15:00	1,3	20,6	Fabrizia - Cassari	41,2	Fabrizia - Cassari
125	4/9/05 11:40	4/9/05 17:00	5,7	30,0	Bovalino Marina	53,2	Albi
126	5/9/05 12:40	5/9/05 21:00	8,7	33,8	Ardore Superiore	47,4	Cropalati
127	6/9/05 13:00	6/9/05 16:40	4,0	28,6	Arena	80,6	Arena
128	14/9/05 13:00	15/9/05 5:40	17,0	19,6	Joppolo	103,2	Joppolo
129	22/9/05 8:20	23/9/05 18:20	34,3	25,6	Giffone	67,4	Arena

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
130	26/9/05 10:20	26/9/05 18:20	8,3	16,6	Petilia Policastro - Pagliarelle	34,0	Petilia Policastro - Pagliarelle
131	30/9/05 5:40	1/10/05 2:40	21,3	22,6	Arena	78,0	Molochio
132	4/10/05 9:20	4/10/05 18:40	9,7	29,6	Ciro' Marina - Punta Alice	48,4	Fiumefreddo Bruzio
133	7/10/05 7:40	8/10/05 1:20	18,0	31,0	Botricello	105,4	Botricello
134	9/10/05 1:00	10/10/05 6:00	29,3	22,0	Sant'Agata del Bianco	79,0	Ciro' Marina - Punta Alice
135	12/10/05 14:20	12/10/05 16:20	2,3	18,6	Sant'Agata del Bianco	37,4	San Luca
136	14/10/05 14:20	14/10/05 19:00	5,0	23,4	Soveria Simeri	32,8	Soveria Simeri
137	22/10/05 18:00	23/10/05 1:00	7,3	51,2	Molochio	224,0	Molochio
138	7/11/05 4:20	7/11/05 18:20	14,3	19,8	Joppolo	47,8	Joppolo
139	2/1/06 1:00	2/1/06 6:00	5,3	47,4	Lagonegro	70,2	Lagonegro
140	7/2/06 5:00	7/2/06 6:00	1,3	16,6	Albidona	45,8	Albidona
141	20/2/06 13:00	20/2/06 14:40	2,0	16,0	San Mauro Marchesato	42,8	San Mauro Marchesato
142	21/4/06 13:20	21/4/06 16:00	3,0	16,8	Savelli	32,4	Savelli
143	29/4/06 13:20	29/4/06 18:40	5,7	24,4	Pizzoni	40,4	Vibo Valentia
144	11/6/06 19:20	12/6/06 18:40	23,7	26,2	Soveria Simeri	49,6	Soveria Simeri
145	1/7/06 14:20	1/7/06 16:00	2,0	16,6	Cerenzia	42,2	Cerenzia
146	3/7/06 5:00	3/7/06 14:00	9,3	45,0	Vibo Valentia	202,6	Vibo Valentia
147	4/7/06 13:20	4/7/06 21:40	8,7	19,8	Belvedere Marittimo	55,2	Borgia - Roccelletta
148	8/7/06 12:40	8/7/06 18:00	5,7	35,2	Roccabernarda - Serrarossa	69,6	Serra San Bruno
149	9/7/06 12:00	9/7/06 18:40	7,0	21,4	Cropani	46,8	Cropani
150	10/7/06 3:20	10/7/06 5:00	2,0	25,2	Zungri	50,6	Zungri
151	10/7/06 11:40	10/7/06 17:40	6,3	36,0	C.le Castrocuoco	41,2	Catanzaro



ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
152	11/7/06 12:00	11/7/06 17:40	6,0	17,8	Cardeto	26,8	Cardeto
153	12/7/06 6:20	12/7/06 17:20	11,3	19,4	Scilla	68,4	Scilla
154	15/7/06 15:40	15/7/06 15:40	0,3	16,6	Nicastro - Bella	16,6	Nicastro - Bella
155	27/7/06 13:00	27/7/06 16:00	3,3	25,0	Albi	31,6	Albi
156	28/7/06 13:40	28/7/06 17:20	4,0	24,6	Albi	68,6	Albi
157	30/7/06 4:00	30/7/06 18:00	14,3	26,2	Castrovillari	39,4	C.le Castrocuoco
158	4/8/06 12:20	5/8/06 7:00	19,0	23,8	Campotinese	46,6	Campotinese
159	5/8/06 15:20	5/8/06 17:40	2,7	20,6	Roseto Capo Spulico	36,6	Roseto Capo Spulico
160	9/8/06 16:40	10/8/06 20:40	28,3	22,4	Cetraro Superiore	68,2	Mongiana
161	13/8/06 12:40	13/8/06 18:40	6,3	18,0	Lagonegro	32,0	Lagonegro
162	12/9/06 14:00	12/9/06 17:40	4,0	26,8	Mileto	52,0	Reggio Calabria - Catona
163	16/9/06 0:20	16/9/06 16:40	16,7	31,6	Cardeto	66,6	Cardeto
164	17/9/06 3:40	17/9/06 8:20	5,0	27,8	Cetraro Superiore	58,8	San Marco Argentano
165	17/9/06 17:20	19/9/06 23:00	54,0	24,6	Scilla	75,4	Zungri
166	21/9/06 14:40	21/9/06 23:20	9,0	16,6	Caulonia	30,8	Caulonia
167	25/9/06 22:20	27/9/06 18:40	44,7	43,0	Monasterace - Punta Stilo	131,0	Giffone
168	5/10/06 16:00	6/10/06 6:00	14,3	17,4	Sant'Agata del Bianco	38,2	Sant'Agata del Bianco
169	12/10/06 14:20	12/10/06 17:40	3,7	21,8	Roccamandara - Serrarossa	47,8	Roccamandara - Serrarossa
170	14/10/06 18:40	15/10/06 21:40	27,3	27,0	Chiaravalle Centrale	110,6	Chiaravalle Centrale
171	20/10/06 0:00	21/10/06 12:40	37,0	27,6	Capo Spartivento	117,6	Filadelfia
172	22/10/06 1:00	22/10/06 17:00	16,3	20,6	Montalto Uffugo	70,6	Lagonegro
173	31/10/06 1:20	31/10/06 1:20	0,3	51,0	Torano Scalo	51,0	Torano Scalo

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
174	17/12/06 22:00	19/12/06 21:00	47,3	17,2	Cropani	132,2	Lagonegro
175	22/12/06 2:00	23/12/06 16:40	39,0	24,6	Palermi	243,2	Corigliano Calabro
176	10/2/07 4:40	10/2/07 22:40	18,3	16,2	Crucoli	77,4	Crucoli
177	29/3/07 23:20	30/3/07 4:40	5,7	18,0	Stignano	57,8	Savelli
178	26/4/07 11:00	26/4/07 15:00	4,3	28,8	Santa Caterina dello Ionio	50,4	Santa Caterina dello Ionio
179	27/4/07 3:20	27/4/07 13:40	10,7	18,4	Plati'	56,2	Plati'
180	28/4/07 14:00	28/4/07 16:00	2,3	16,0	Lamezia - Licciardi	25,8	Lamezia - Licciardi
181	1/5/07 8:20	1/5/07 13:40	5,7	16,2	Belvedere Marittimo	25,4	Camigliatello - Monte Curcio
182	17/5/07 8:20	18/5/07 6:20	22,3	19,4	Dinami - San Pietro di Caridà	67,8	Dinami - San Pietro di Caridà
183	27/5/07 21:40	28/5/07 11:20	14,0	33,4	Gioia Tauro	78,8	Castrovillari - Camerata
184	4/6/07 13:40	5/6/07 3:00	13,7	17,0	Longobucco	84,0	Cecita
185	2/9/07 14:00	2/9/07 21:20	7,7	17,2	Serra San Bruno	59,0	Albi
186	4/9/07 14:20	5/9/07 7:20	17,3	17,0	Laino Borgo	61,8	Laino Borgo
187	19/9/07 11:40	19/9/07 13:00	1,7	18,2	Montalto Uffugo	25,0	Montalto Uffugo
188	25/9/07 15:40	26/9/07 10:40	19,3	21,2	Capo Spartivento	101,4	Fabrizia - Cassari
189	7/10/07 1:40	7/10/07 17:20	16,0	30,0	Belvedere Marittimo	103,0	Belvedere Marittimo
190	8/10/07 4:20	9/10/07 3:00	23,0	20,4	Sant'Agata del Bianco	64,4	Ciro' Marina - Punta Alice
191	10/10/07 13:00	12/10/07 0:20	35,7	22,0	Scilla - Solano	151,8	Ciro' Marina - Punta Alice
192	13/10/07 11:40	13/10/07 17:40	6,3	18,8	Bova Superiore	24,4	Bova Superiore
193	19/10/07 5:00	19/10/07 20:40	16,0	18,0	Sinopoli	45,4	Reggio Calabria - Catona
194	23/10/07 6:00	23/10/07 12:00	6,3	18,4	Vibo Marina	38,2	Vibo Marina
195	25/10/07 16:20	26/10/07 2:00	10,0	28,2	Locri	63,0	Locri

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
196	1/11/07 7:00	1/11/07 16:00	9,3	19,8	Locri	42,6	Fabrizia
197	4/11/07 17:00	4/11/07 19:20	2,7	25,0	Reggio Calabria - Catona	38,6	Reggio Calabria - Catona
198	17/12/07 15:40	17/12/07 17:00	1,7	19,4	Crotone	20,2	Crotone
199	3/4/08 2:20	3/4/08 16:20	14,3	25,6	Mongiana	55,2	Serralta
200	4/6/08 3:40	4/6/08 14:20	11,0	21,6	Feroleto della Chiesa	80,8	Giffone
201	12/6/08 22:20	13/6/08 12:40	14,7	19,2	Tortora	53,4	Tortora
202	28/6/08 12:40	28/6/08 15:40	3,3	19,2	Nocelle - Arvo	31,0	Nocelle - Arvo
203	3/7/08 14:00	3/7/08 14:20	0,7	17,0	Savelli	31,0	Savelli
204	22/7/08 22:20	23/7/08 6:20	8,3	22,4	Montalto Uffugo	31,0	Catanzaro
205	2/8/08 14:20	2/8/08 16:40	2,7	16,6	Spineto	36,0	Spineto
206	27/8/08 14:40	27/8/08 18:00	3,7	17,6	Cortale	38,8	Santa Cristina d'Aspromonte
207	28/8/08 12:40	28/8/08 17:00	4,7	26,2	Cecita	32,4	Sant'Agata del Bianco
208	3/9/08 16:00	3/9/08 17:40	2,0	27,2	Campotenese	42,8	Campotenese
209	14/9/08 1:00	16/9/08 6:20	53,7	33,4	Cetraro Superiore	112,8	Amantea
210	16/9/08 12:40	16/9/08 23:20	11,0	19,6	Molochio	55,2	Ciro' Marina - Punta Alice
211	19/9/08 21:20	20/9/08 7:20	10,3	17,4	Scilla - Villaggio del Pino	66,0	Gambarie d'Aspromonte
212	23/9/08 17:00	26/9/08 15:20	70,7	19,4	Bovalino Marina	100,4	Sinopoli
213	1/10/08 20:00	1/10/08 23:00	3,3	17,0	Ardore Superiore	27,2	Ardore Superiore
214	28/10/08 18:40	28/10/08 23:00	4,7	56,8	Gioiosa Ionica	84,0	Gioiosa Ionica
215	29/10/08 7:20	29/10/08 7:40	0,7	16,6	Crotone	24,4	Crotone
216	5/11/08 17:00	6/11/08 3:40	11,0	30,2	Arena	145,4	Arena
217	7/11/08 4:20	7/11/08 9:20	5,3	18,6	Stignano	81,0	Stignano

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
218	14/11/08 23:40	16/11/08 1:40	26,3	20,6	Catanzaro	72,4	Cerenza
219	28/11/08 12:40	28/11/08 22:00	9,7	21,2	Antonimina - Canolo Nuovo	180,4	Petilia Policastro - Pagliarelle
220	3/12/08 16:20	4/12/08 12:20	20,3	20,0	Stignano	120,4	Cropalati
221	10/12/08 13:40	12/12/08 5:40	40,3	23,0	Spineto	389,2	Santa Cristina d'Aspromonte
222	9/1/09 15:40	10/1/09 0:40	9,3	25,4	Corigliano Calabro	165,8	Corigliano Calabro
223	13/1/09 3:20	13/1/09 22:20	19,3	21,2	Santa Cristina d'Aspromonte	283,8	Santa Cristina d'Aspromonte
224	12/4/09 16:20	12/4/09 23:40	7,7	16,6	Santa Cristina d'Aspromonte	59,4	Cardeto
225	20/4/09 20:40	20/4/09 23:20	3,0	22,8	San Sosti	50,4	San Sosti
226	27/4/09 23:00	28/4/09 2:40	4,0	17,4	Cariati Marina	34,8	Cariati Marina
227	2/5/09 14:00	2/5/09 17:40	4,0	18,6	Lungro	23,2	Lungro
228	28/5/09 18:40	28/5/09 21:20	3,0	32,2	Roseto Capo Spulico	48,0	Roseto Capo Spulico
229	29/5/09 13:40	29/5/09 15:20	2,0	21,8	Serra San Bruno	49,8	Serra San Bruno
230	21/6/09 5:40	25/6/09 5:20	96,0	33,6	Cassano allo Ionio	163,4	Antonimina - Canolo Nuovo
231	30/6/09 11:00	30/6/09 17:20	6,7	24,2	San Mauro Marchesato	59,0	Roccabernarda - Serrarossa
232	7/8/09 8:20	7/8/09 11:00	3,0	19,0	Bagnara Calabra	33,2	Bagnara Calabra
233	12/8/09 3:00	12/8/09 3:40	1,0	24,0	Sinopoli	50,0	Sinopoli
234	28/8/09 13:20	28/8/09 18:00	5,0	17,4	Serra San Bruno	25,6	Serra San Bruno
235	30/8/09 14:00	30/8/09 18:00	4,3	22,4	Torano Scalo	30,8	Cotronei
236	6/9/09 19:40	7/9/09 7:20	12,0	30,6	Sinopoli	59,6	Sinopoli
237	11/9/09 15:20	11/9/09 20:00	5,0	17,0	Reggio Calabria - Arasi'	23,6	Scilla
238	16/9/09 14:00	16/9/09 16:40	3,0	30,8	San Mauro Marchesato	49,0	Filadelfia
239	17/9/09 1:00	17/9/09 11:20	10,7	20,4	Joppolo	38,6	Monasterace - Punta Stilo

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
240	19/9/09 14:20	20/9/09 7:00	17,0	28,2	Paola	46,8	Paola
241	21/9/09 23:20	23/9/09 18:20	43,3	30,0	Santa Caterina dello Ionio	301,6	Santa Caterina dello Ionio
242	24/9/09 13:40	27/9/09 14:40	73,3	42,6	Chiaravalle Centrale	544,0	Petronà
243	1/10/09 23:20	2/10/09 2:20	3,3	26,2	Antonimina	34,6	Antonimina
244	2/10/09 14:40	3/10/09 4:20	14,0	21,6	Santa Caterina dello Ionio	61,0	Santa Caterina dello Ionio
245	4/10/09 12:20	4/10/09 15:00	3,0	20,0	Staiti	39,2	San Luca
246	22/10/09 14:00	22/10/09 17:20	3,7	25,0	Roccella Ionica	27,6	Monasterace - Punta Stilo
247	22/10/09 23:40	23/10/09 9:40	10,3	26,2	Ciro' Marina - Punta Alice	133,2	Ciro' Marina - Punta Alice
248	23/10/09 16:00	25/10/09 12:20	44,7	43,4	Monasterace - Punta Stilo	126,2	Monasterace - Punta Stilo
249	3/11/09 4:20	3/11/09 19:40	15,7	17,0	Serra San Bruno	80,6	Serralta
250	7/11/09 3:40	7/11/09 15:20	12,0	19,6	Palmi	57,0	Palmi
251	9/11/09 17:00	9/11/09 21:20	4,7	21,4	Cetraro Superiore	45,6	Cetraro Superiore
252	10/11/09 14:00	11/11/09 22:40	33,0	16,8	Rosarno	193,0	Rosarno
253	14/12/09 8:20	15/12/09 4:40	20,7	16,0	Santa Cristina d'Aspromonte	119,6	Santa Cristina d'Aspromonte
254	17/12/09 7:00	18/12/09 5:00	22,3	16,2	Palermi	107,8	Nicastro - Bella
255	26/1/10 18:40	27/1/10 20:00	25,7	25,0	Plati'	360,0	Fabrizia - Cassari
256	9/3/10 16:20	10/3/10 10:40	18,7	21,4	Cropani	260,8	Cotronei
257	29/4/10 10:20	29/4/10 16:40	6,7	19,2	Arena	37,2	Arena
258	21/5/10 21:40	22/5/10 10:20	13,0	27,2	Sinopoli	110,4	Sinopoli
259	24/5/10 11:20	24/5/10 15:40	4,7	20,2	Filadelfia	41,4	Filadelfia
260	4/6/10 3:00	4/6/10 19:40	17,0	16,6	Arena	38,2	Petronà
261	8/6/10 11:40	8/6/10 13:40	2,3	18,2	Cotronei	24,2	Savelli

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
262	22/6/10 19:40	23/6/10 8:40	13,3	16,8	Sinopoli	46,8	Antonimina - Canolo Nuovo
263	27/6/10 5:40	27/6/10 12:40	7,3	26,4	Monterosso Calabro	48,4	Monterosso Calabro
264	2/7/10 12:20	2/7/10 19:00	7,0	21,4	Cosenza	36,2	Cosenza
265	7/7/10 14:40	7/7/10 14:40	0,3	19,8	Albi	19,8	Albi
266	18/7/10 13:00	18/7/10 14:00	1,3	16,0	Spineto	32,4	Spineto
267	19/7/10 11:20	19/7/10 18:00	7,0	18,0	Feroletto della Chiesa	34,6	Feroletto della Chiesa
268	21/7/10 13:20	21/7/10 19:20	6,3	32,6	Petilia Policastro - Pagliarelle	45,4	Petilia Policastro - Pagliarelle
269	22/7/10 14:00	22/7/10 14:00	0,3	18,6	Soveria Simeri	18,6	Soveria Simeri
270	3/9/10 4:40	4/9/10 10:00	29,7	40,8	Reggio Calabria	155,0	San Mauro Marchesato
271	9/9/10 8:20	9/9/10 18:20	10,3	18,2	Giffone	59,8	Giffone
272	10/9/10 4:20	11/9/10 18:20	38,3	25,4	Rosarno	109,8	Palmi
273	12/9/10 1:40	12/9/10 13:20	12,0	21,2	Gioia Tauro	29,2	Gioia Tauro
274	14/9/10 7:20	15/9/10 7:40	24,7	22,0	Roccella Ionica	61,6	Sant'Agata del Bianco
275	15/9/10 16:00	15/9/10 16:20	0,7	23,8	Cardeto	34,2	Cardeto
276	22/9/10 18:00	22/9/10 22:40	5,0	30,0	Staiti	72,2	Ardore Superiore
277	6/10/10 5:40	6/10/10 23:20	18,0	20,8	Laino Borgo	101,8	Laino Borgo
278	11/10/10 2:00	11/10/10 14:40	13,0	18,2	Ciro' Marina - Punta Alice	94,0	Ciro' Marina - Punta Alice
279	13/10/10 10:40	13/10/10 20:00	9,7	23,2	Sant'Alessio in Aspromonte	109,8	Reggio Calabria
280	14/10/10 16:00	16/10/10 19:00	51,3	17,8	Vibo Valentia	84,2	Monterosso Calabro
281	17/10/10 3:40	17/10/10 9:20	6,0	20,4	Paola	44,0	Paola
282	18/10/10 12:20	19/10/10 20:20	32,3	30,4	Bagnara Calabra	218,0	Serralta
283	2/11/10 8:20	2/11/10 16:00	8,0	25,2	Gambarie d'Aspromonte	188,6	Rizziconi

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
284	3/11/10 19:00	4/11/10 1:40	7,0	34,0	Crotone	74,6	Crotone - Salica
285	7/11/10 23:40	9/11/10 12:20	37,0	24,6	Montebello Ionico	96,8	Laino Borgo
286	22/11/10 4:00	22/11/10 10:20	6,7	18,0	Paola	33,6	Fabrizia - Cassari
287	27/1/11 9:40	28/1/11 5:20	20,0	20,6	Santa Caterina dello Ionio	171,4	Fabrizia - Cassari
288	18/2/11 10:00	18/2/11 21:40	12,0	16,2	Zungri	66,2	Cardeto
289	1/3/11 1:20	1/3/11 18:20	17,3	32,0	Tiriolo	175,0	Spineto
290	5/3/11 3:40	5/3/11 15:40	12,3	20,8	Antonimina - Canolo Nuovo	104,0	Plati'
291	28/4/11 2:00	28/4/11 18:20	16,7	18,0	Tiriolo	78,2	Santa Cristina d'Aspromonte
292	2/6/11 11:20	2/6/11 17:40	6,7	22,8	Petronà	51,0	Mileto
293	14/6/11 10:00	14/6/11 14:20	4,7	22,4	Albidona	40,4	Albidona
294	15/6/11 11:00	15/6/11 18:00	7,3	31,8	Parenti	41,0	Antonimina - Canolo Nuovo
295	16/6/11 11:40	16/6/11 16:20	5,0	19,4	Cosenza	21,2	Soverato Marina
296	31/8/11 12:20	31/8/11 12:40	0,7	16,6	Albi	27,6	Albi
297	19/9/11 6:40	19/9/11 16:40	10,3	34,2	San Sosti	74,4	San Sosti
298	20/9/11 14:00	21/9/11 12:40	23,0	16,0	Cittanova	47,0	Sinopoli
299	25/9/11 15:00	25/9/11 20:20	5,7	29,6	Bovalino Marina	61,0	Rosarno
300	26/9/11 8:00	26/9/11 13:40	6,0	24,2	Catanzaro	52,4	Cerenzia
301	26/9/11 21:40	27/9/11 18:40	21,3	17,2	Roccabernarda - Serrarossa	65,4	Locri
302	6/10/11 13:40	6/10/11 15:40	2,3	21,8	Antonimina - Canolo Nuovo	36,4	Pizzoni
303	7/10/11 15:20	8/10/11 23:20	32,3	22,6	Vibo Valentia - Longobardi	81,8	Serralta
304	14/10/11 8:40	15/10/11 5:00	20,7	39,2	Ciro' Marina - Punta Alice	67,6	Sant'Agata del Bianco
305	23/10/11 4:20	23/10/11 18:20	14,3	25,6	Cariati Marina	85,0	Cariati Marina

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
306	26/10/11 9:20	26/10/11 20:20	11,3	16,0	Bova Superiore	101,4	Bova Superiore
307	9/11/11 3:00	9/11/11 16:40	14,0	30,0	Antonimina	147,6	Santa Caterina dello Ionio
308	10/11/11 5:40	11/11/11 6:20	25,0	17,8	Cariati Marina	220,2	Cariati Marina
309	11/11/11 14:40	12/11/11 2:40	12,3	26,8	Scilla - Tagli	114,2	Scilla - Solano
310	21/11/11 12:00	21/11/11 23:40	12,0	20,2	Catanzaro	57,0	Catanzaro
311	22/11/11 10:00	23/11/11 3:00	17,3	43,8	Cittanova	353,4	Cittanova
312	23/11/11 15:20	25/11/11 10:40	43,7	24,0	Capo Spartivento	136,8	Corigliano Calabro
313	7/3/12 21:40	8/3/12 3:20	6,0	29,4	Monasterace - Punta Stilo	80,8	Monasterace - Punta Stilo
314	22/5/12 14:40	24/5/12 10:00	43,7	17,2	Tarsia	88,0	Giffone
315	25/5/12 12:40	25/5/12 16:20	4,0	19,4	San Pietro in Guarano	32,4	Spineto
316	26/5/12 10:00	27/5/12 7:40	22,0	18,4	Cerchiara di Calabria	47,6	Albi
317	4/7/12 13:40	4/7/12 15:20	2,0	17,4	Serra San Bruno	21,2	Pizzoni
318	5/7/12 12:40	5/7/12 15:40	3,3	26,4	Mongiana	43,4	Mongiana
319	23/7/12 4:00	23/7/12 11:20	7,7	31,6	San Luca	73,8	San Luca
320	23/7/12 20:00	24/7/12 3:40	8,0	36,8	Oriolo	89,0	Oriolo
321	11/8/12 9:40	11/8/12 11:40	2,3	25,6	Cropani	39,0	Cropani
322	11/8/12 18:00	12/8/12 0:40	7,0	20,0	Isola di Capo Rizzuto - Campolongo	24,0	Reggio Calabria - Catona
323	1/9/12 14:40	1/9/12 17:40	3,3	32,8	Cittanova	46,2	Pizzoni
324	3/9/12 16:20	4/9/12 15:00	23,0	16,0	Serra San Bruno	48,4	Bovalino Marina
325	11/9/12 14:00	11/9/12 14:40	1,0	23,2	San Mauro Marchesato	23,6	San Mauro Marchesato
326	13/9/12 11:40	15/9/12 2:00	38,7	37,6	Cetraro Superiore	142,2	Cetraro Superiore



ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
327	18/9/12 17:00	18/9/12 17:00	0,3	16,4	Cotronei	16,4	Cotronei
328	8/10/12 10:00	8/10/12 10:40	1,0	21,0	Bagnara Calabria	22,4	Bagnara Calabria
329	9/10/12 15:20	11/10/12 0:20	33,3	20,2	Botricello	53,8	Serralta
330	13/10/12 2:40	13/10/12 4:20	2,0	26,8	Nicastro - Bella	52,0	Nicastro - Bella
331	16/10/12 0:40	16/10/12 2:00	1,7	21,6	Staiti	30,2	Bova Superiore
332	27/10/12 19:40	28/10/12 20:00	24,7	26,8	Papasidero	117,8	Laino Borgo
333	31/10/12 12:40	1/11/12 2:40	14,3	28,4	Locri	179,6	Stignano
334	12/11/12 6:00	12/11/12 7:40	2,0	17,0	Roccaforte del Greco	59,0	Roccaforte del Greco
335	15/11/12 12:00	16/11/12 18:00	30,3	21,4	Monasterace - Punta Stilo	168,2	Santa Caterina dello Ionio
336	17/11/12 0:40	18/11/12 22:20	46,0	27,0	Ciro' Marina - Punta Alice	167,4	Palermiti
337	19/11/12 12:20	21/11/12 16:20	52,3	17,6	Roseto Capo Spulico	182,8	Rosarno
338	28/11/12 5:00	29/11/12 5:40	25,0	31,6	Savelli	129,6	Savelli
339	21/2/13 15:00	21/2/13 23:40	9,0	18,6	Stignano	123,4	Roccamare - Serravalle
340	2/3/13 7:20	2/3/13 19:40	12,7	30,2	Soverato Marina	171,2	Santa Cristina d'Aspromonte
341	6/7/13 13:40	6/7/13 16:20	3,0	16,0	San Sosti	21,4	Papasidero
342	7/7/13 12:00	7/7/13 15:20	3,7	22,8	Arena	34,2	Campotenese
343	8/7/13 11:00	8/7/13 16:40	6,0	28,8	San Sosti	71,2	Nocelle - Arvo
344	9/7/13 11:20	9/7/13 14:40	3,7	23,6	Albi	31,0	Antonimina - Canolo Nuovo
345	10/7/13 10:00	10/7/13 15:00	5,3	28,4	Soveria Simeri	63,2	Soveria Simeri
346	11/7/13 12:20	11/7/13 14:20	2,3	21,2	Petronà	48,2	Petronà
347	12/7/13 11:20	12/7/13 15:20	4,3	22,4	Castrovillari - Camerata	26,0	Castrovillari - Camerata
348	21/7/13 13:00	21/7/13 16:40	4,0	18,0	Cecita	37,0	Cerenza

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
349	22/7/13 14:00	22/7/13 14:20	0,7	16,4	Serra San Bruno	16,6	Serra San Bruno
350	9/8/13 20:00	10/8/13 19:40	24,0	22,0	Palmi	81,4	Rosarno
351	16/8/13 8:40	16/8/13 14:00	5,7	16,2	Plati'	46,8	Spineto
352	18/8/13 13:40	18/8/13 14:00	0,7	18,4	Savelli	25,0	Savelli
353	20/8/13 12:40	20/8/13 16:40	4,3	28,8	Arena	46,0	Arena
354	21/8/13 10:40	21/8/13 20:00	9,7	30,6	Vibo Valentia - Longobardi	68,2	Feroleto della Chiesa
355	22/8/13 13:00	22/8/13 17:00	4,3	23,2	Campotinese	25,6	Martirano
356	28/8/13 5:40	28/8/13 6:40	1,3	16,0	Cetraro Superiore	20,0	Cetraro Superiore
357	30/8/13 11:20	30/8/13 15:20	4,3	17,2	Reggio Calabria	24,2	Reggio Calabria - Rosario
358	1/9/13 6:00	1/9/13 16:00	10,3	16,8	Borgia - Roccelletta	35,8	Soverato Marina
359	6/9/13 10:20	6/9/13 16:40	6,7	16,6	Tiriolo	37,2	Cortale
360	12/9/13 7:40	12/9/13 21:20	14,0	17,8	Cortale	64,2	Amantea
361	15/9/13 23:20	16/9/13 9:20	10,3	31,6	Bova Superiore	87,8	Bova Superiore
362	30/9/13 7:00	1/10/13 11:00	28,3	28,8	Zungri	84,2	Laino Borgo
363	6/10/13 7:20	6/10/13 17:00	10,0	18,6	San Nicola dell'Alto	63,6	Plati'
364	7/10/13 9:00	7/10/13 15:00	6,3	34,4	San Mauro Marchesato	99,2	San Mauro Marchesato
365	8/10/13 13:00	8/10/13 18:40	6,0	30,6	Ciro' Marina - Punta Alice	71,4	Ciro' Marina - Punta Alice
366	9/10/13 4:00	9/10/13 11:40	8,0	24,4	Belvedere Marittimo	73,8	Belvedere Marittimo
367	15/10/13 23:20	16/10/13 22:40	23,7	39,2	Palermi	90,4	Serralta
368	1/11/13 13:20	1/11/13 18:00	5,0	17,8	Vibo Valentia	29,2	Locri
369	5/11/13 6:20	6/11/13 7:40	25,7	27,0	Scilla - Solano	133,6	Gambarie d'Aspromonte
370	10/11/13 11:20	11/11/13 16:00	29,0	19,0	Lamezia - Licciardi	114,6	Domanico

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
371	12/11/13 20:40	14/11/13 12:00	39,7	30,6	Soverato Marina	109,6	Chiaravalle Centrale
372	15/11/13 12:40	16/11/13 17:20	29,0	22,6	Borgia - Roccelletta	146,0	Cerenzia
373	18/11/13 23:00	19/11/13 11:00	12,3	38,4	Serra San Bruno	215,2	Ciro' Marina - Punta Alice
374	20/11/13 6:40	21/11/13 16:40	34,3	17,4	Lamezia Terme - Palazzo	84,4	Montalto Uffugo
375	1/12/13 4:00	1/12/13 17:00	13,3	30,4	San Nicola dell'Alto	131,2	San Nicola dell'Alto
376	19/1/14 12:00	19/1/14 23:20	11,7	18,6	Laino Borgo	38,0	Laino Borgo
377	31/1/14 18:00	2/2/14 14:40	45,0	23,2	Palermi	447,6	Petilia Policastro - Pagliarelle
378	21/2/14 4:20	21/2/14 7:20	3,3	22,0	Scilla - Tagli	70,2	Scilla - Tagli
379	8/3/14 11:00	8/3/14 12:40	2,0	16,0	Crotone - Salica	24,8	Isola di Capo Rizzuto - Campolongo
380	27/3/14 2:40	27/3/14 7:40	5,3	23,8	Cariati Marina	80,4	Cerenzia
381	13/4/14 13:00	13/4/14 19:20	6,7	16,6	San Mauro Marchesato	26,2	San Mauro Marchesato
382	3/5/14 4:40	3/5/14 9:00	4,7	16,4	Tortora	33,6	Papasidero
383	3/5/14 15:40	3/5/14 19:20	4,0	28,8	Ciro' Marina - Punta Alice	49,0	Ciro' Marina - Punta Alice
384	15/5/14 13:20	16/5/14 16:20	27,3	16,2	Nicastro - Bella	114,2	Nicastro - Bella
385	31/5/14 23:40	1/6/14 6:00	6,7	21,0	Belvedere Marittimo	37,2	Belvedere Marittimo
386	12/6/14 12:20	12/6/14 16:40	4,7	17,0	Spineto	30,6	Spineto
387	13/6/14 11:40	13/6/14 13:40	2,3	20,4	Palermi	30,8	Antonimina - Canolo Nuovo
388	19/6/14 1:20	20/6/14 13:20	36,3	17,8	Paola	100,4	Giffone
389	14/7/14 14:00	16/7/14 9:40	44,0	26,6	Belvedere Marittimo	134,2	Cittanova
390	22/7/14 9:40	23/7/14 17:00	31,7	16,2	Rizziconi	90,2	Cittanova
391	6/8/14 13:00	6/8/14 17:00	4,3	16,8	Villapiana Scalo	20,4	Albidona

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
392	30/8/14 14:00	30/8/14 14:20	0,7	17,0	Camigliatello - Monte Curcio	27,6	Camigliatello - Monte Curcio
393	31/8/14 12:00	31/8/14 15:20	3,7	25,6	Albidona	36,4	Albidona
394	1/9/14 16:00	2/9/14 9:40	18,0	22,6	Vibo Valentia - Longobardi	106,2	Sinopoli
395	2/9/14 20:00	4/9/14 17:00	45,3	26,2	Serra San Bruno	79,4	Gambarie d'Aspromonte
396	5/9/14 4:40	7/9/14 5:00	48,7	24,6	Palmi	62,8	Paola
397	8/9/14 14:40	8/9/14 15:20	1,0	16,6	Albidona	24,2	Oriolo
398	9/9/14 12:20	9/9/14 14:40	2,7	20,0	Soveria Simeri	36,6	Soveria Simeri
399	13/9/14 4:00	13/9/14 8:00	4,3	39,0	Belvedere Marittimo	66,4	Belvedere Marittimo
400	24/9/14 23:40	25/9/14 12:40	13,3	19,6	Filadelfia	41,8	Staiti
401	25/9/14 23:20	26/9/14 14:00	15,0	28,2	Tiriolo	44,8	Amantea
402	3/10/14 6:20	4/10/14 2:00	20,0	24,6	Cropani	58,0	Cropani
403	4/10/14 13:40	6/10/14 2:40	37,3	22,2	Vibo Valentia	126,8	Crucoli
404	6/10/14 9:40	6/10/14 23:20	14,0	23,0	Scilla - Solano	49,8	Scilla - Solano
405	7/10/14 13:40	7/10/14 16:00	2,7	19,8	Cropalati	23,8	Cropalati
406	29/10/14 13:40	29/10/14 22:00	8,7	24,8	Capo Vaticano	33,6	Capo Vaticano
407	30/10/14 13:40	31/10/14 1:00	11,7	16,4	Arena	33,2	Ciro' Marina - Punta Alice
408	4/11/14 21:00	5/11/14 23:00	26,3	45,4	Roccella Ionica	271,4	Plati'
409	6/11/14 11:40	8/11/14 12:20	49,0	25,8	Cropani	265,8	Cardeto
410	11/11/14 4:40	12/11/14 9:00	28,7	18,0	Savelli	128,8	Cerenzia
411	12/11/14 19:20	13/11/14 20:40	25,7	21,6	Papasidero	84,4	Papasidero
412	3/12/14 9:40	3/12/14 13:40	4,3	16,6	Monasterace - Punta Stilo	21,4	Monasterace - Punta Stilo
413	15/12/14 21:40	16/12/14 18:00	20,7	19,6	Mammola - Limina C.C.	48,6	Mammola - Limina C.C.

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
414	22/1/15 14:20	23/1/15 9:40	19,7	18,0	Corigliano Calabro	76,2	Montalto Uffugo
415	17/3/15 18:20	18/3/15 0:20	6,3	18,2	Plati'	71,0	Plati'
416	9/5/15 13:20	9/5/15 17:00	4,0	22,8	Longobucco	50,4	Longobucco
417	26/5/15 21:20	28/5/15 12:00	39,0	29,6	Gioia Tauro	101,0	Gioia Tauro
418	5/6/15 13:00	5/6/15 15:00	2,3	20,0	Belvedere Marittimo	22,6	Cardeto
419	6/6/15 11:40	6/6/15 16:20	5,0	20,0	Amantea	31,2	Amantea
420	7/6/15 9:40	7/6/15 17:40	8,3	20,6	Parenti	67,4	Parenti
421	10/6/15 10:40	10/6/15 15:40	5,3	18,8	Serralta	35,4	Serralta
422	17/6/15 14:40	18/6/15 12:40	22,3	16,6	Palmi	56,4	Santa Cristina d'Aspromonte
423	21/6/15 10:00	21/6/15 20:40	11,0	19,4	Mongiana	73,2	Mongiana
424	26/6/15 7:00	26/6/15 10:20	3,7	18,2	Feroleto della Chiesa	19,0	Feroleto della Chiesa
425	28/6/15 13:20	28/6/15 19:20	6,3	20,4	Cassano allo Ionio	47,6	Cassano allo Ionio
426	22/7/15 13:00	22/7/15 15:20	2,7	30,8	Cosenza	39,0	Cosenza
427	23/7/15 11:00	23/7/15 17:00	6,3	24,8	Molochio	33,6	Molochio
428	24/7/15 10:20	24/7/15 14:00	4,0	27,4	Nocelle - Arvo	46,0	Nocelle - Arvo
429	3/8/15 20:20	3/8/15 21:40	1,7	35,0	Crucoli	53,8	Crucoli
430	4/8/15 9:40	4/8/15 19:40	10,3	16,6	Scilla - Piano delle Aquile	23,4	Reggio Calabria - Catona
431	5/8/15 12:00	5/8/15 17:00	5,3	24,4	Tiriolo	48,0	Tiriolo
432	6/8/15 12:00	6/8/15 18:40	7,0	21,0	Montebello Ionico	69,4	Montebello Ionico
433	7/8/15 12:00	7/8/15 14:40	3,0	24,2	Cittanova	45,6	Cittanova
434	8/8/15 12:20	8/8/15 16:20	4,3	27,4	Scilla - Solano	53,8	Albi
435	9/8/15 12:00	9/8/15 16:00	4,3	29,2	Arena	80,4	Arena

ID	Inizio	Fine	Dur (h)	Picco (mm/20min)	Stazione Picco	Max Cum (mm)	Stazione Max Cumulata
436	10/8/15 13:20	10/8/15 16:00	3,0	18,6	Longobucco	25,2	Longobucco
437	11/8/15 10:00	12/8/15 23:00	37,3	39,4	Oriolo	255,2	Corigliano Calabro
438	13/8/15 13:20	13/8/15 14:20	1,3	39,2	Plati'	100,8	Plati'
439	14/8/15 14:00	14/8/15 15:20	1,7	19,4	Parenti	29,8	Parenti
440	15/8/15 11:20	15/8/15 17:00	6,0	34,0	Cassano allo Ionio	53,0	Cassano allo Ionio
441	16/8/15 2:00	16/8/15 23:20	21,7	24,2	Tortora	65,6	San Sosti
442	26/8/15 13:40	26/8/15 15:20	2,0	20,0	Nocelle - Arvo	43,8	Nocelle - Arvo
443	28/8/15 14:20	28/8/15 15:20	1,3	17,6	Albi	37,6	Albi
444	9/9/15 5:20	10/9/15 13:00	32,0	29,0	Staiti	123,0	Staiti
445	20/9/15 11:20	21/9/15 7:00	20,0	37,2	Antonimina - Canolo Nuovo	176,0	Antonimina - Canolo Nuovo
446	25/9/15 21:00	26/9/15 3:00	6,3	21,0	Palmi	54,0	Gioia Tauro
447	26/9/15 11:00	26/9/15 15:40	5,0	17,4	Sant'Agata del Bianco	52,0	Sant'Agata del Bianco
448	28/9/15 5:40	28/9/15 15:00	9,7	19,8	Sant'Agata del Bianco	61,2	Sant'Agata del Bianco
449	2/10/15 2:20	2/10/15 20:20	18,3	26,0	Sant'Agata del Bianco	85,2	Sant'Agata del Bianco
450	7/10/15 6:40	7/10/15 18:00	11,7	38,4	Tortora	67,6	San Sosti
451	10/10/15 0:40	10/10/15 11:20	11,0	23,0	Arena	89,8	Tiriolo
452	15/10/15 7:40	15/10/15 12:00	4,7	19,6	Montebello Ionico	45,0	Santa Caterina dello Ionio
453	20/10/15 13:00	20/10/15 20:00	7,3	17,4	Ciro' Marina - Punta Alice	91,4	Ciro' Marina - Punta Alice
454	21/10/15 13:40	22/10/15 12:40	23,3	17,8	Bagnara Calabria	100,2	Domanico
455	29/10/15 9:00	30/10/15 2:40	18,0	19,4	Giffone	75,4	Papasidero
456	30/10/15 19:20	2/11/15 2:00	55,0	30,2	Ardore Superiore	717,2	Chiaravalle Centrale
457	6/11/15 10:20	6/11/15 18:20	8,3	22,8	Scilla - Solano	53,8	Scilla - Solano

<b>ID</b>	<b>Inizio</b>	<b>Fine</b>	<b>Dur (h)</b>	<b>Picco (mm/20min)</b>	<b>Stazione Picco</b>	<b>Max Cum (mm)</b>	<b>Stazione Max Cumulata</b>
458	24/11/15 15:40	25/11/15 17:40	26,3	23,4	Sant'Agata del Bianco	120,0	San Luca
459	9/12/15 20:40	10/12/15 17:20	21,0	16,2	Palmi	89,6	Palmi

Tabella A.2 – Elenco durate e massimi puntuali degli eventi

## APPENDICE B

### FREQUENZA DEGLI EVENTI SUDDIVISI IN CLUSTER

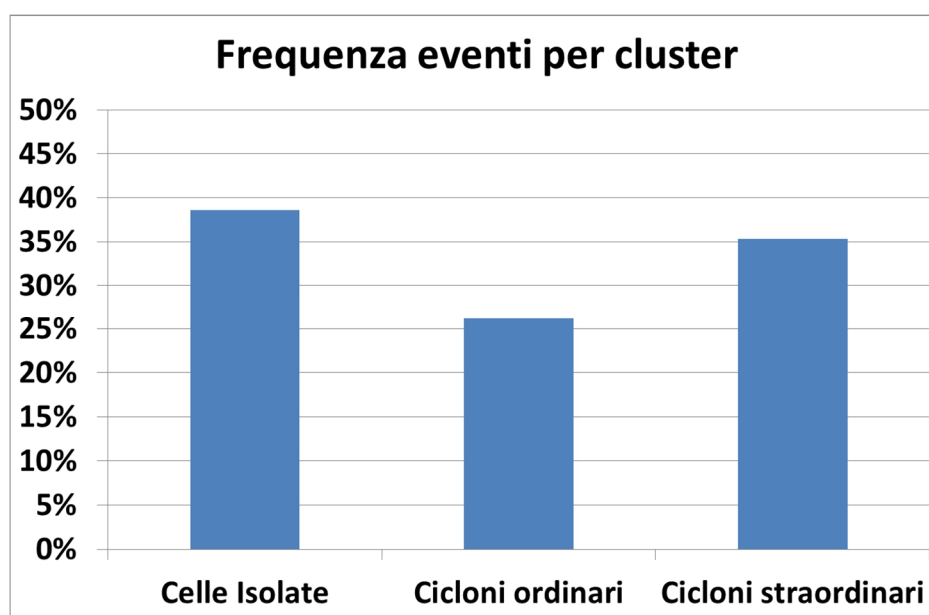


Figura B.1 – Confronto tra le frequenze delle diverse tipologie d’evento

<b>Tipo di evento</b>	<b>Numero eventi (%)</b>
Celle isolate	177 (39%)
Cicloni ordinari	120 (26%)
Cicloni straordinari	162 (35%)
<b>Totale</b>	<b>459 (100%)</b>

Tabella B.1 – Numero di eventi per ogni cluster



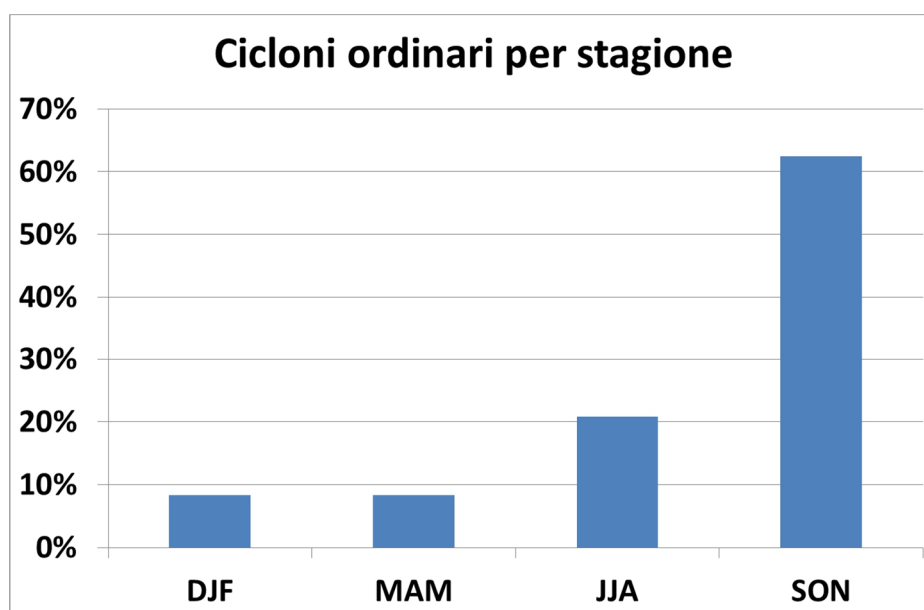


Figura B.2 – Frequenza stagionale dei cicloni ordinari

Stagione	Numero cicloni ordinari (%)
DJF	10 (8%)
MAM	10 (8%)
JJA	25 (21%)
SON	75 (63%)
<b>Totale</b>	<b>120 (100%)</b>

Tabella B.2 – Numero di cicloni ordinari per ogni stagione

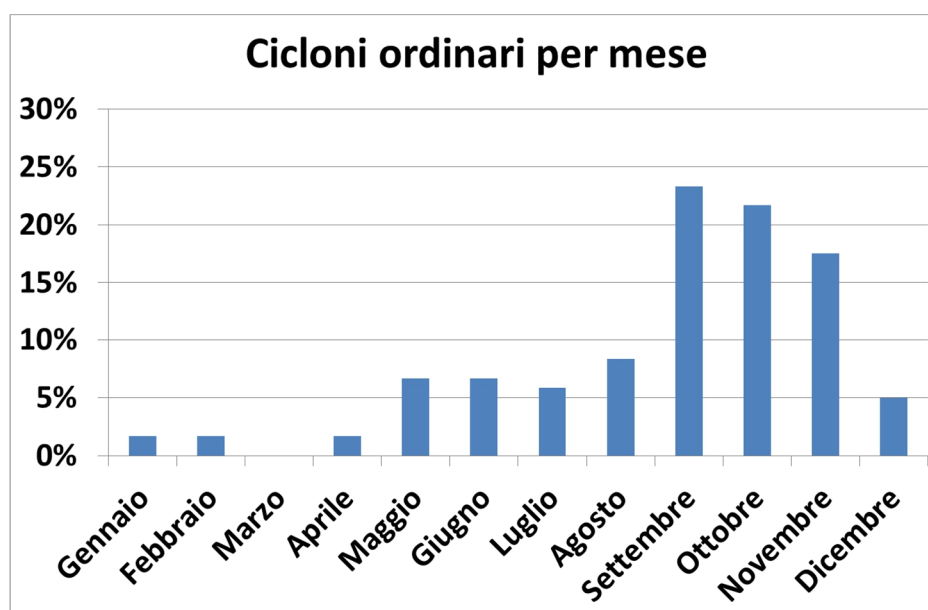


Figura B.3 – Frequenza mensile dei cicloni ordinari

Mese	Numero cicloni ordinari (%)
Gennaio	2 (1,7%)
Febbraio	2 (1,7%)
Marzo	0 (0,0%)
Aprile	2 (1,7%)
Maggio	8 (6,7%)
Giugno	8 (6,7%)
Luglio	7 (5,8%)
Agosto	10 (8,3%)
Settembre	28 (23,3%)
Ottobre	26 (21,7%)
Novembre	21 (17,5%)
Dicembre	6 (5,0%)
<b>Totale</b>	<b>120 (100%)</b>

Tabella B.3 – Numero di cicloni ordinari per ogni mese

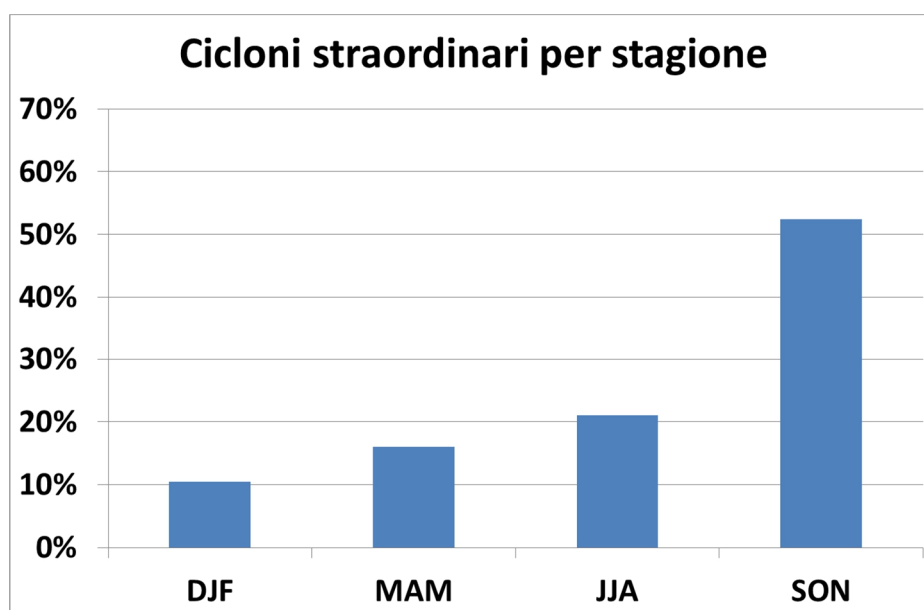


Figura B.4 – Frequenza stagionale dei cicloni straordinari

Stagione	Numero cicloni straordinari (%)
DJF	17 (10%)
MAM	26 (16%)
JJA	34 (21%)
SON	85 (52%)
<b>Totale</b>	<b>162 (100%)</b>

Tabella B.4 – Numero di cicloni straordinari per ogni stagione

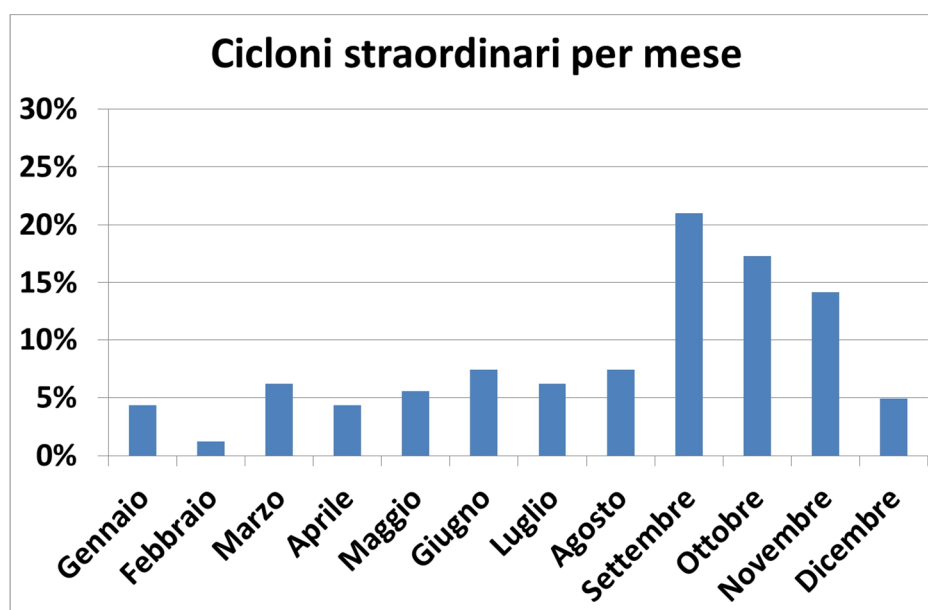


Figura B.5 – Frequenza mensile dei cicloni straordinari

Mese	Numero cicloni straordinari (%)
Gennaio	7 (4,3%)
Febbraio	2 (1,2%)
Marzo	10 (6,2%)
Aprile	7 (4,3%)
Maggio	9 (5,6%)
Giugno	12 (7,4%)
Luglio	10 (6,2%)
Agosto	12 (7,4%)
Settembre	34 (21,0%)
Ottobre	28 (17,3%)
Novembre	23 (14,2%)
Dicembre	8 (4,9%)
<b>Totale</b>	<b>162 (100%)</b>

Tabella B.5 – Numero di cicloni straordinari per ogni mese

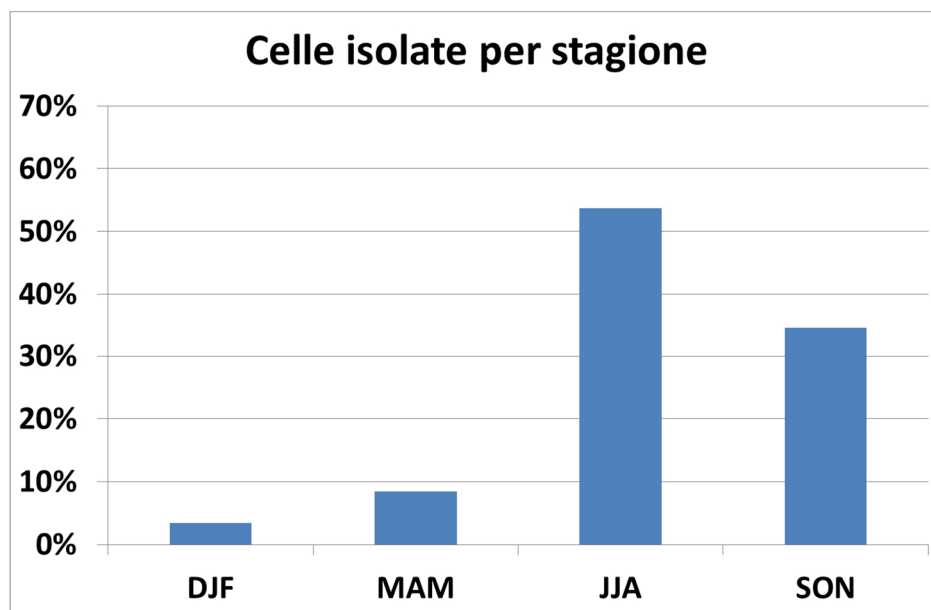


Figura B.6 – Frequenza stagionale delle celle temporalesche isolate

Stagione	Numero eventi a celle (%)
DJF	6 (3%)
MAM	15 (8%)
JJA	95 (54%)
SON	61 (34%)
<b>Totale</b>	<b>177 (100%)</b>

Tabella B.6 – Numero di celle isolate per ogni stagione

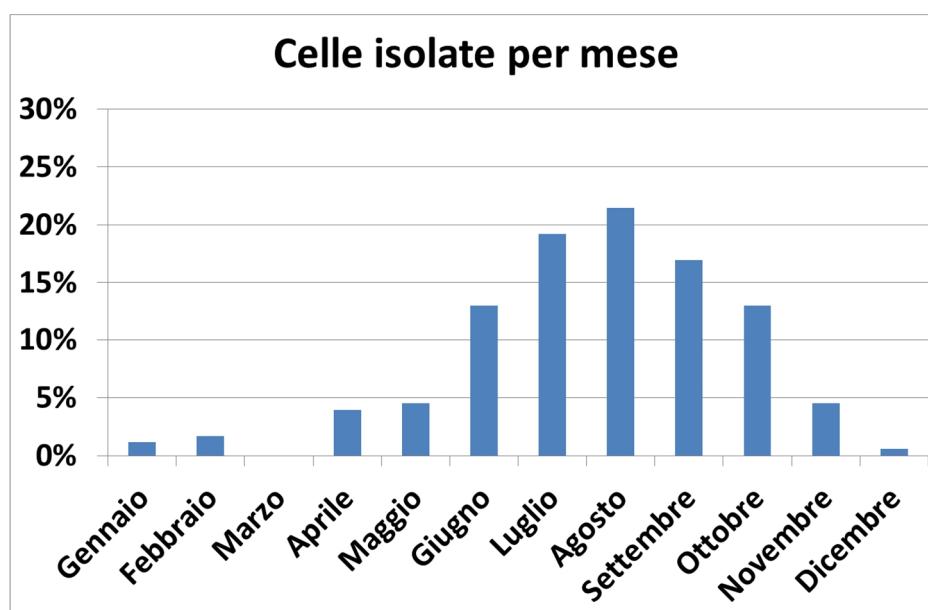


Figura B.7 – Frequenza mensile delle celle temporalesche isolate

Mese	Numero eventi celle (%)
Gennaio	2 (1,1%)
Febbraio	3 (1,7%)
Marzo	0 (0,0%)
Aprile	7 (4,0%)
Maggio	8 (4,5%)
Giugno	23 (13,0%)
Luglio	34 (19,2%)
Agosto	38 (21,5%)
Settembre	30 (16,9%)
Ottobre	23 (13,0%)
Novembre	8 (4,5%)
Dicembre	1 (0,6%)
<b>Totale</b>	<b>177 (100%)</b>

Tabella B.7 – Numero di celle isolate per ogni mese

MEDIA DURATE E MASSIME INTENSITA' PER CLUSTER

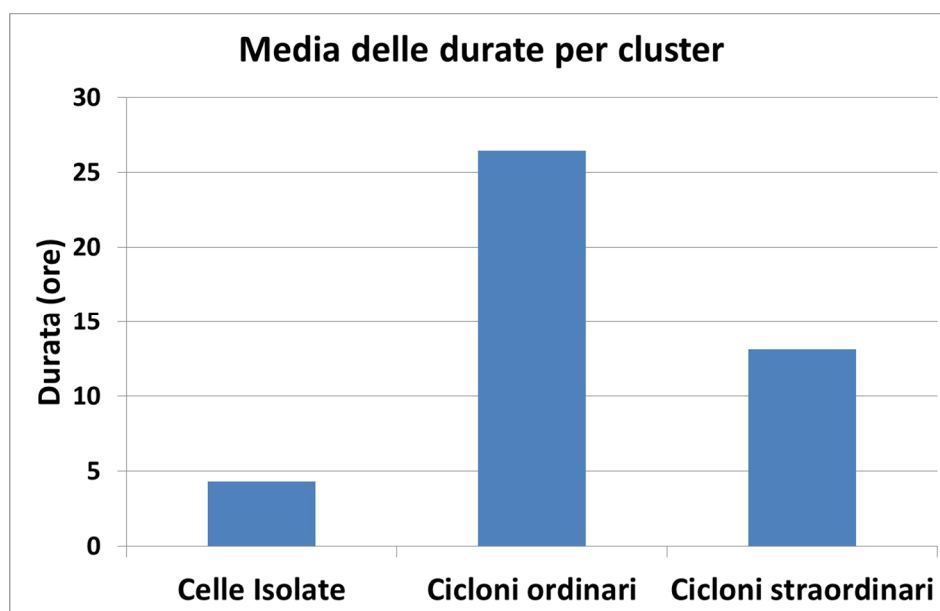


Figura B.8 – Confronto durata media tra le diverse tipologie d’evento

<b>Tipo di evento</b>	<b>Durata media (ore)</b>
Celle isolate	4,3
Cicloni ordinari	26,4
Cicloni straordinari	13,1

Tabella B.8 – Durata media degli eventi per cluster

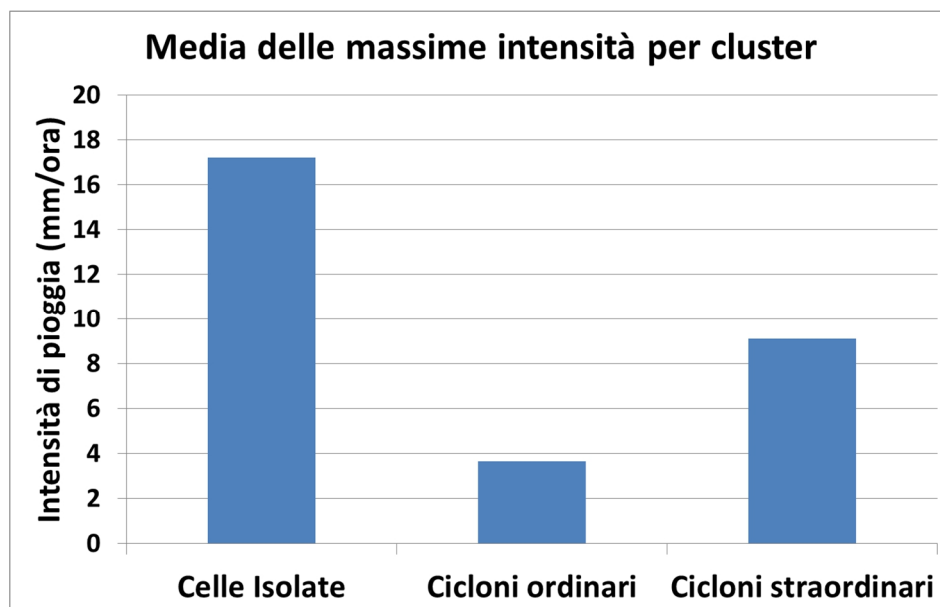


Figura B.9 – Confronto massima intensità media tra le diverse tipologie d'evento

<b>Tipo di evento</b>	<b>Massima intensità media (mm/ore)</b>
Celle isolate	17,2
Cicloni ordinari	3,6
Cicloni straordinari	9,1

Tabella B.9 – Massima intensità media degli eventi per cluster



MEDIE E COEFFICIENTI DI VARIAZIONE DELLA PIOGGIA PRODotta DAI CLUSTER PER LE DIVERSE ZONE DI ALLERTAMENTO

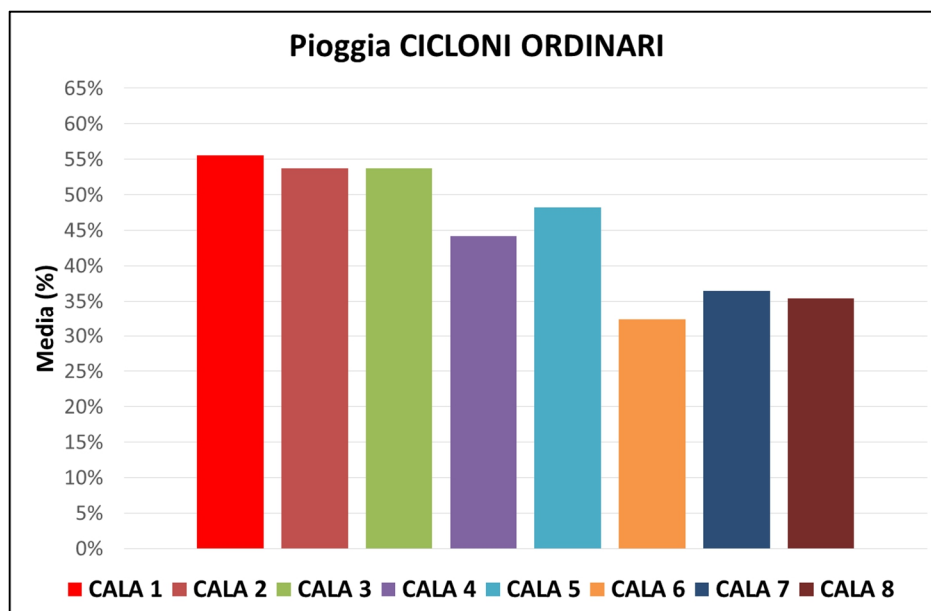


Figura B.10 – Media dei rapporti pioggia cluster su pioggia totale eventi – Cicloni ordinari – ZDA

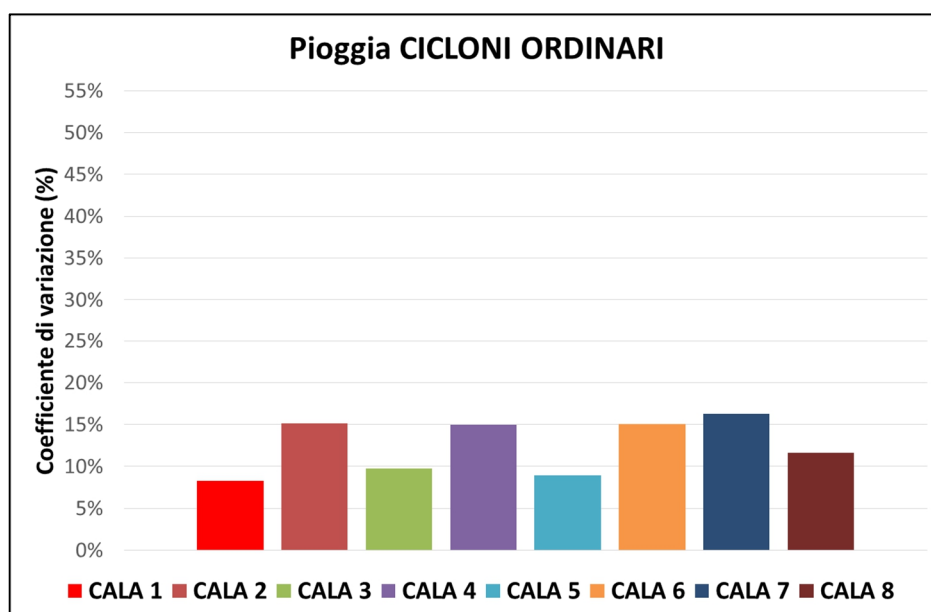


Figura B.11 – Coefficiente di variazione dei rapporti pioggia cluster su pioggia totale eventi – Cicloni ordinari – ZDA

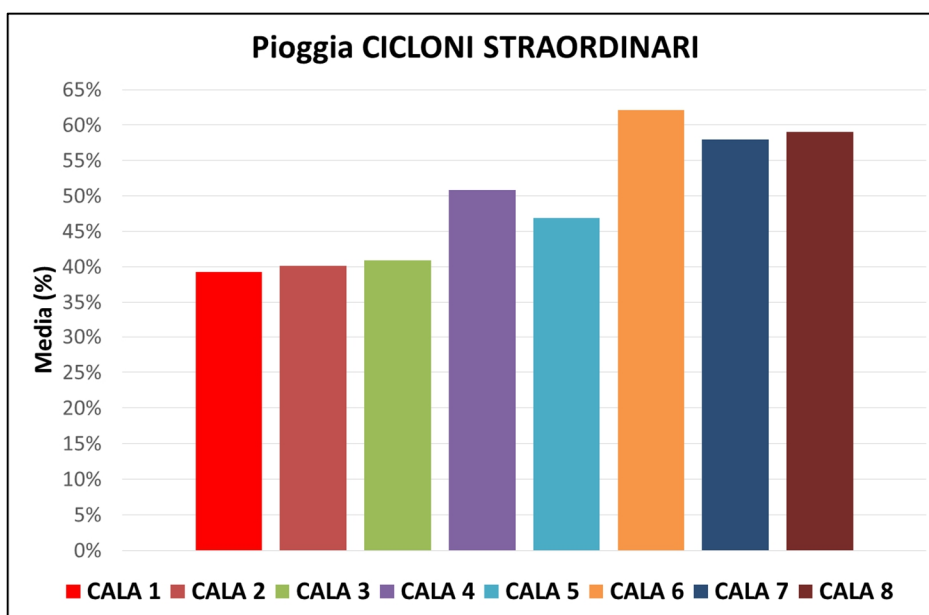


Figura B.12 – Media dei rapporti pioggia cluster su pioggia totale eventi – Cicloni straordinari – ZDA

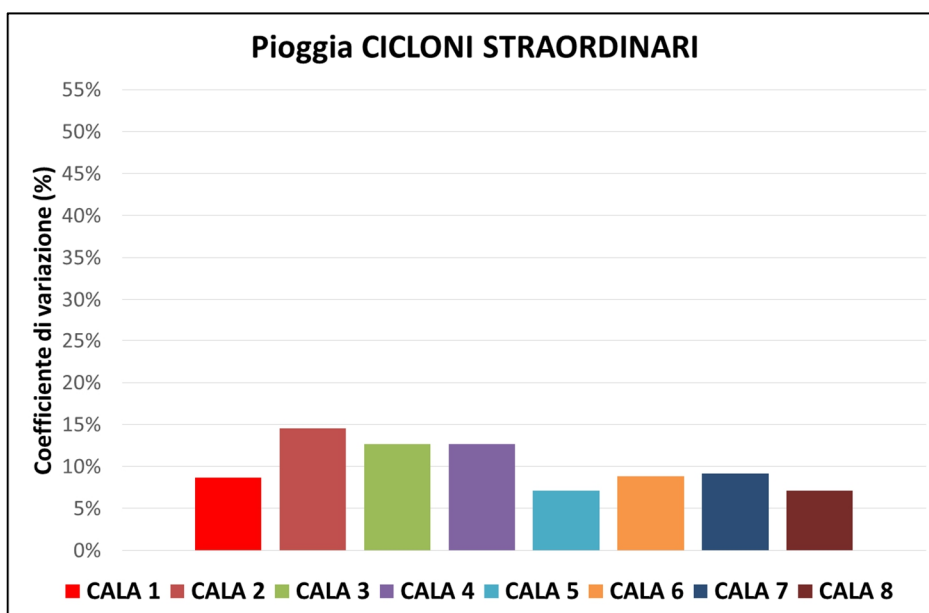


Figura B.13 – Coefficiente di variazione dei rapporti pioggia cluster su pioggia totale eventi – Cicloni straordinari – ZDA

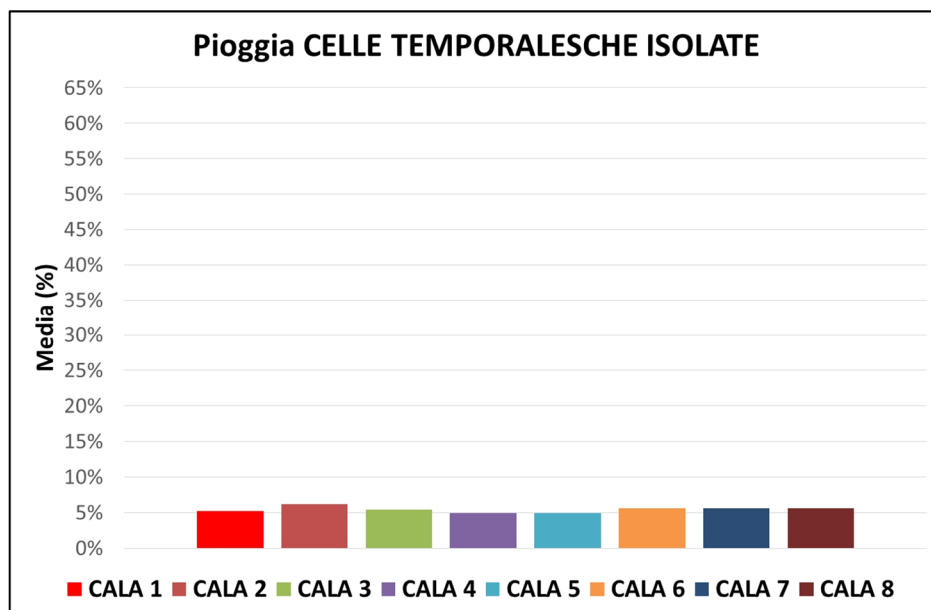


Figura B.14 – Media dei rapporti pioggia cluster su pioggia totale eventi – Celle temporalesche isolate – ZDA

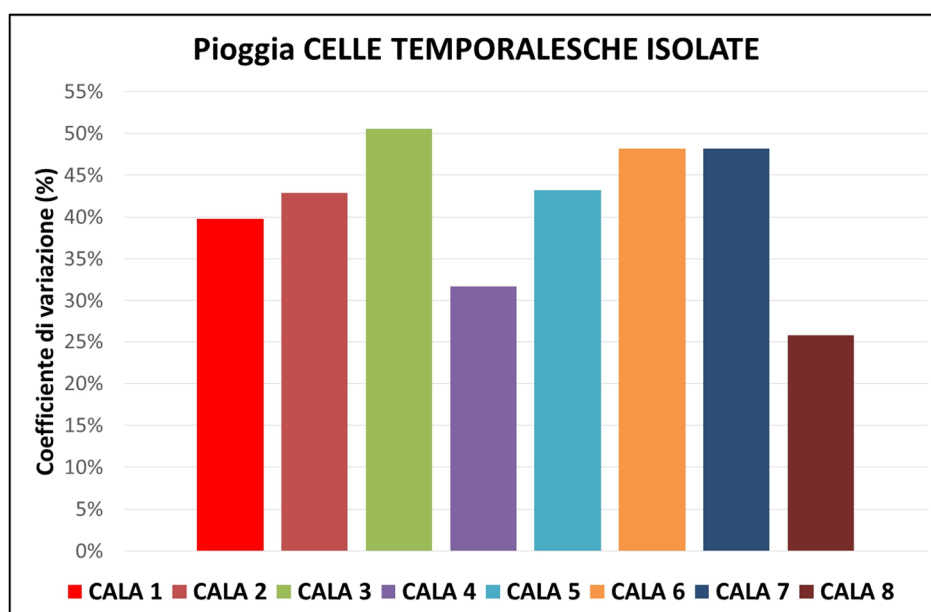


Figura B.15 – Coefficiente di variazione dei rapporti pioggia cluster su pioggia totale eventi – Celle temporalesche isolate – ZDA

PARAMETRI DELLA DISTRIBUZIONE DI WEIBULL – PIOGGE MARGINALI

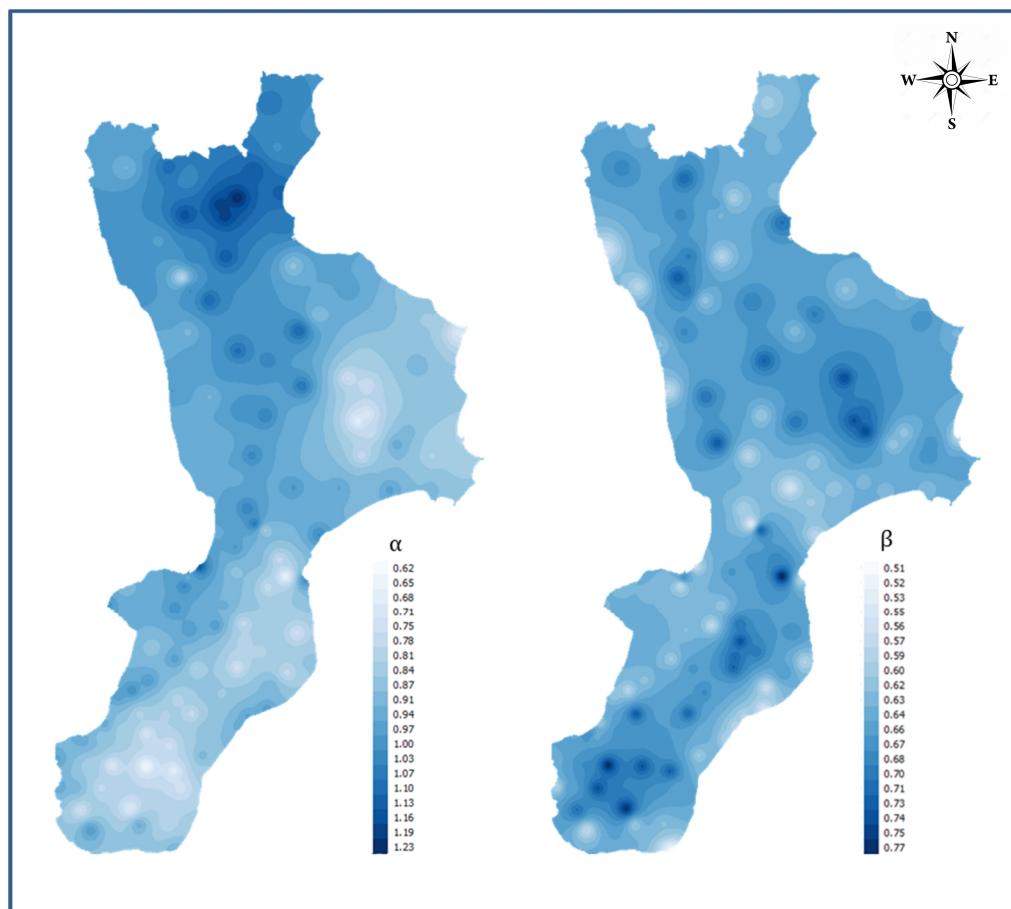


Figura B.16 – Mappe parametri di Weibull – Marginali – Tutti gli eventi

STATISTICHE	$\alpha$	$\beta$
Minimo	0,62	0,57
Massimo	1,22	0,77
Media	0,91	0,65
Coefficiente di Variazione	0,13	0,08

Tabella B.10 – Statistiche dei parametri di Weibull – Marginali – Tutti gli eventi

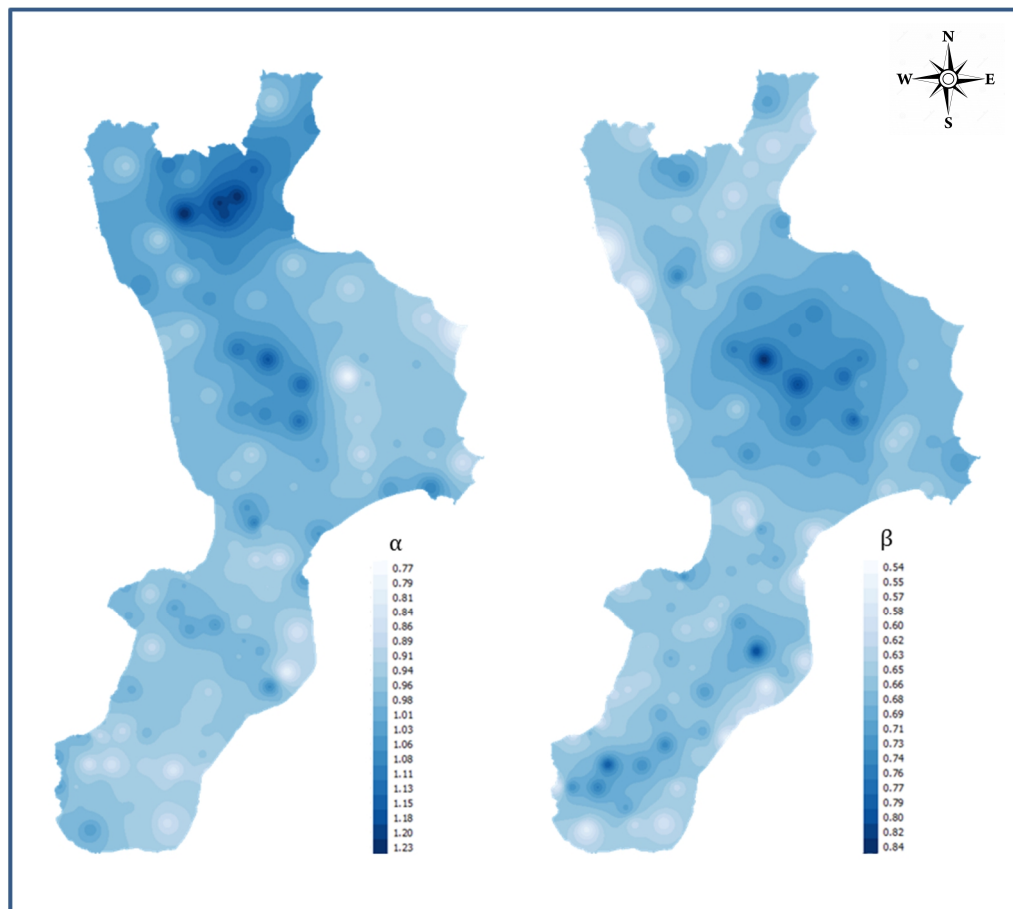


Figura B.17 – Mappe parametri di Weibull – Marginali – Cicloni ordinari

STATISTICHE	$\alpha$	$\beta$
Minimo	0,77	0,54
Massimo	1,23	0,84
Media	0,97	0,66
Coefficiente di Variazione	0,08	0,08

Tabella B.11 – Statistiche dei parametri di Weibull – Marginali – Cicloni ordinari

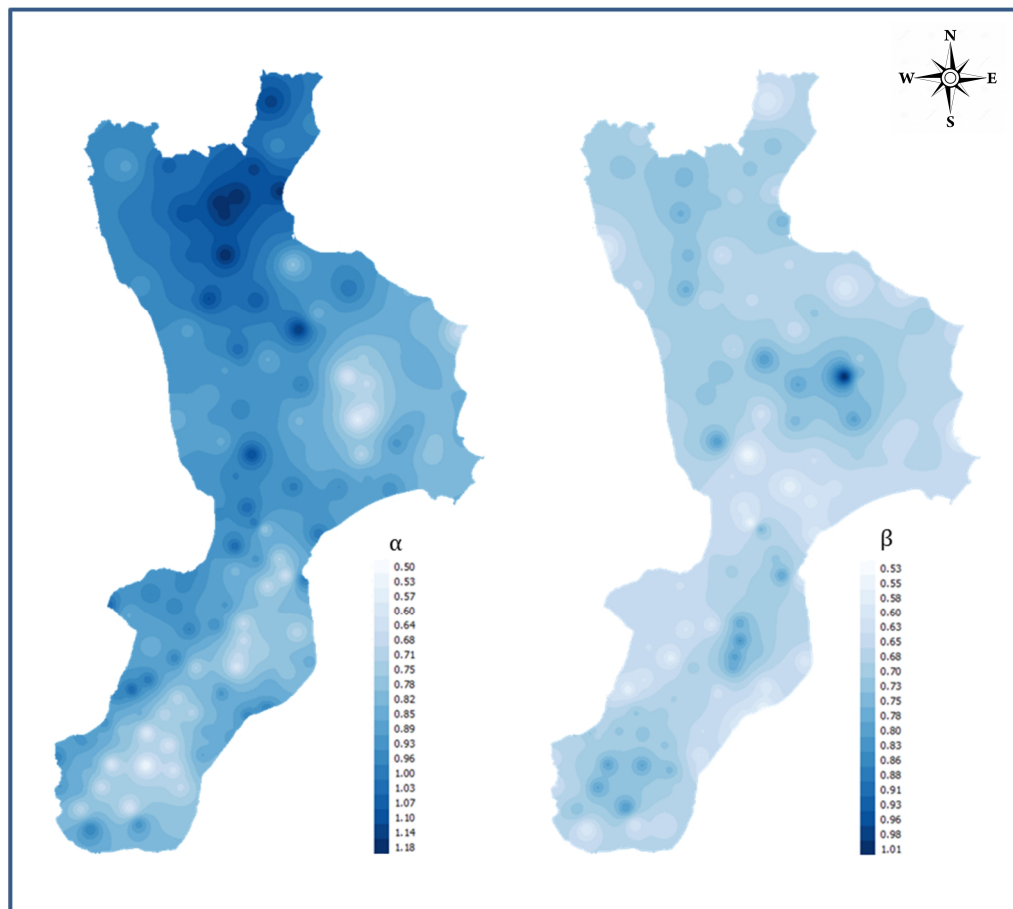


Figura B.18 – Mappe parametri di Weibull – Marginali – Cicloni straordinari

STATISTICHE	$\alpha$	$\beta$
Minimo	0,50	0,53
Massimo	1,18	1,01
Media	0,87	0,67
Coefficiente di Variazione	0,17	0,10

Tabella B.12 – Statistiche dei parametri di Weibull – Marginali – Cicloni straordinari

PARAMETRI DELLA DISTRIBUZIONE DI WEIBULL – PIOGGE  
CONDIZIONATE

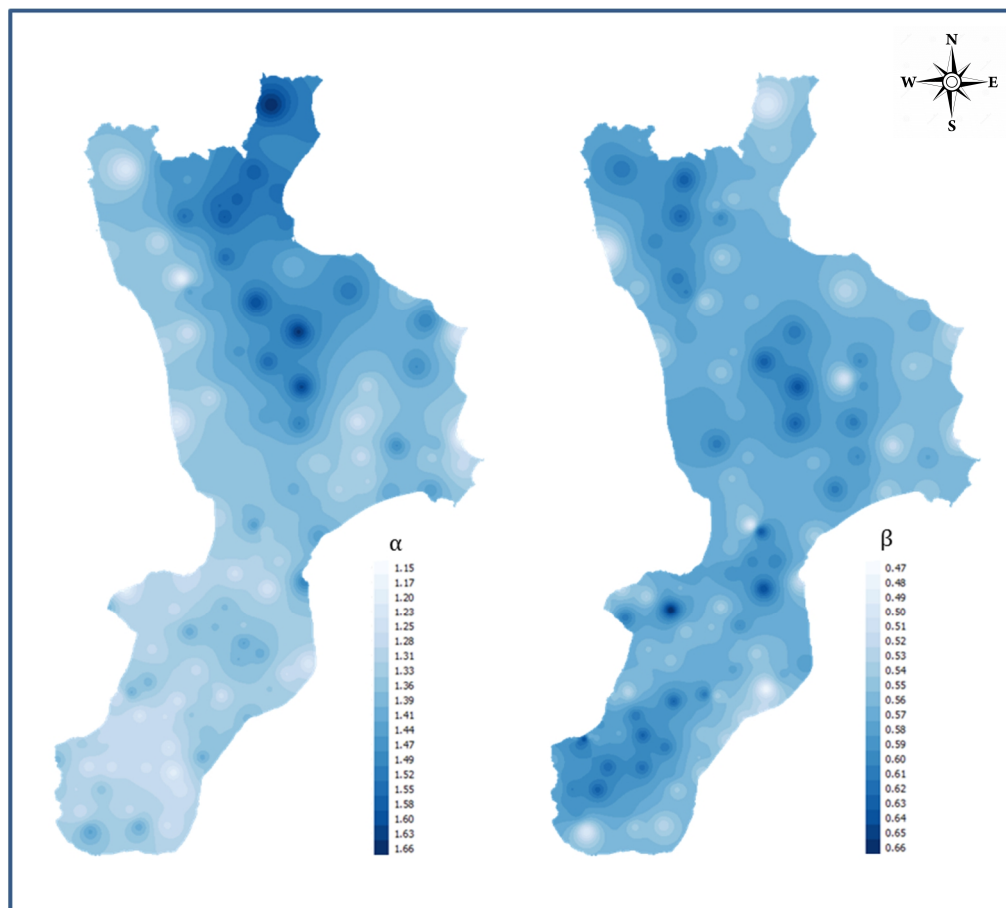


Figura B.19 – Mappe dei parametri di Weibull –  $H_1$  – Tutti gli eventi

STATISTICHE	$\alpha$	$\beta$
Minimo	0,15	0,47
Massimo	1,65	0,66
Media	1,36	0,57
Coefficiente di Variazione	0,08	0,06

Tabella B.13 – Statistiche dei parametri di Weibull –  $H_1$  – Tutti gli eventi

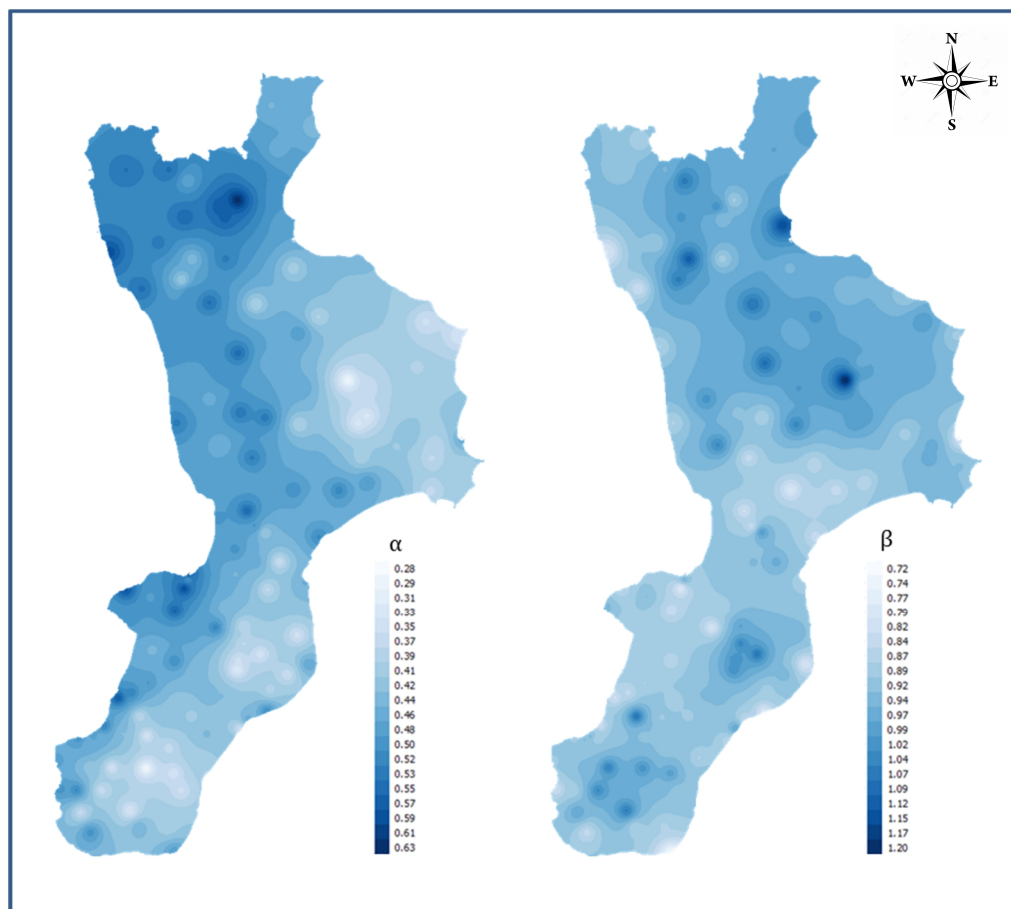


Figura B.20 – Mappe dei parametri di Weibull – H<sub>2</sub> – Tutti gli eventi

STATISTICHE	$\alpha$	$\beta$
Minimo	0,15	0,47
Massimo	1,65	0,66
Media	1,36	0,57
Coefficiente di Variazione	0,08	0,06

Tabella B.14 – Statistiche dei parametri di Weibull – H<sub>2</sub> – Tutti gli eventi



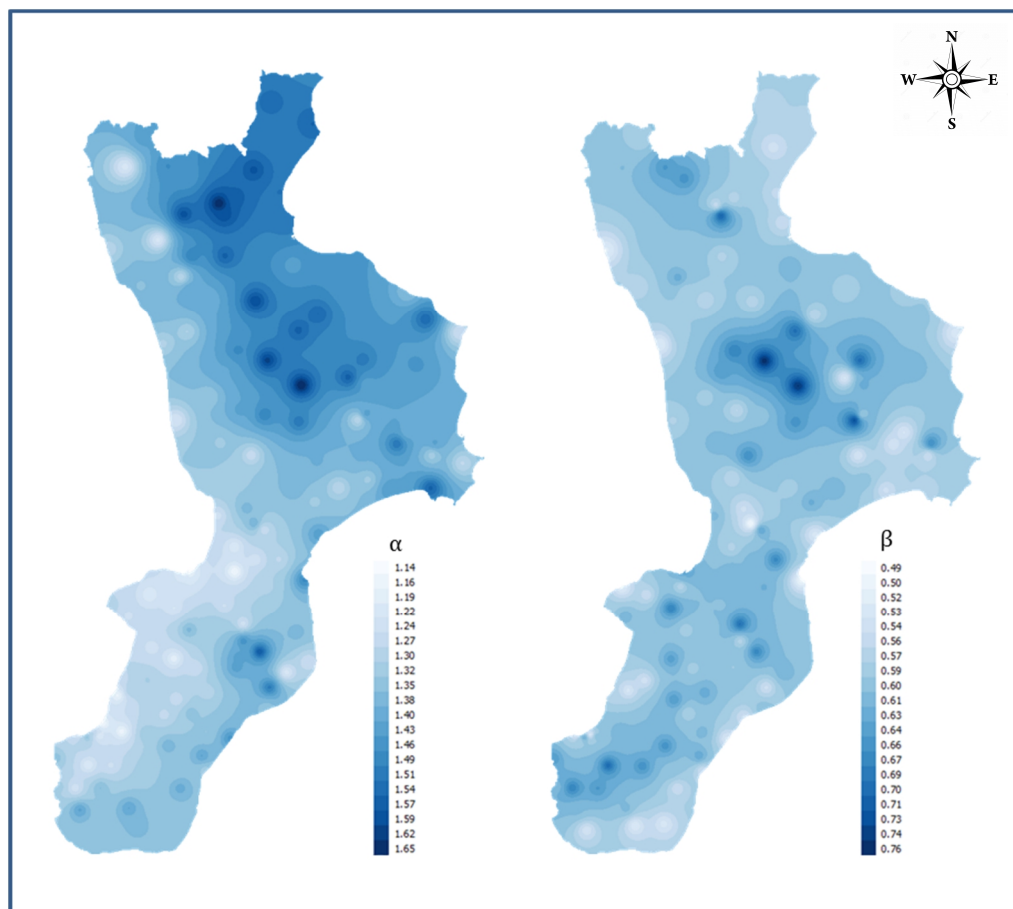


Figura B.21 – Mappe dei parametri di Weibull –  $H_1$  – Cicloni ordinari

STATISTICHE	$\alpha$	$\beta$
Minimo	0,14	0,49
Massimo	1,65	0,76
Media	1,36	0,59
Coefficiente di Variazione	0,08	0,08

Tabella B.15 – Statistiche dei parametri di Weibull –  $H_1$  – Cicloni ordinari

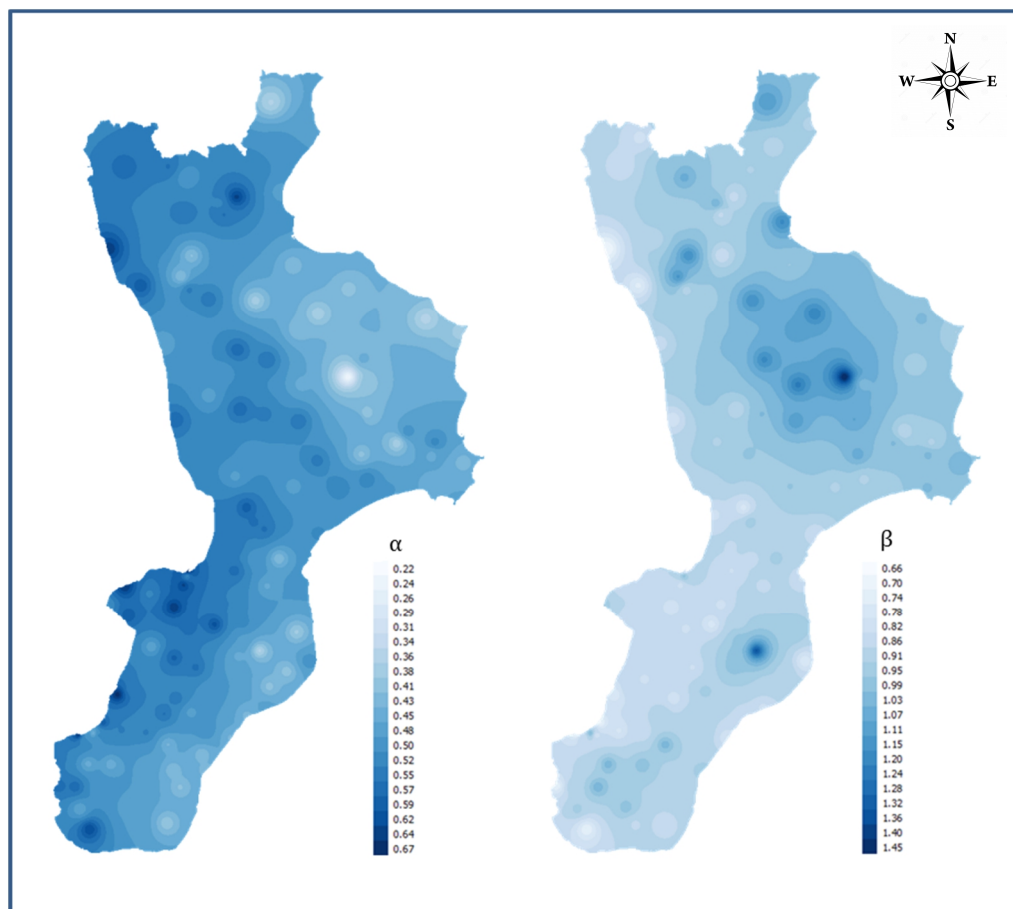


Figura B.22 – Mappe dei parametri di Weibull –  $H_2$  – Cicloni ordinari

STATISTICHE	$\alpha$	$\beta$
Minimo	0,22	0,66
Massimo	0,67	1,45
Media	0,49	0,92
Coefficiente di Variazione	0,15	0,13

Tabella B.16 – Statistiche dei parametri di Weibull –  $H_2$  – Cicloni ordinari

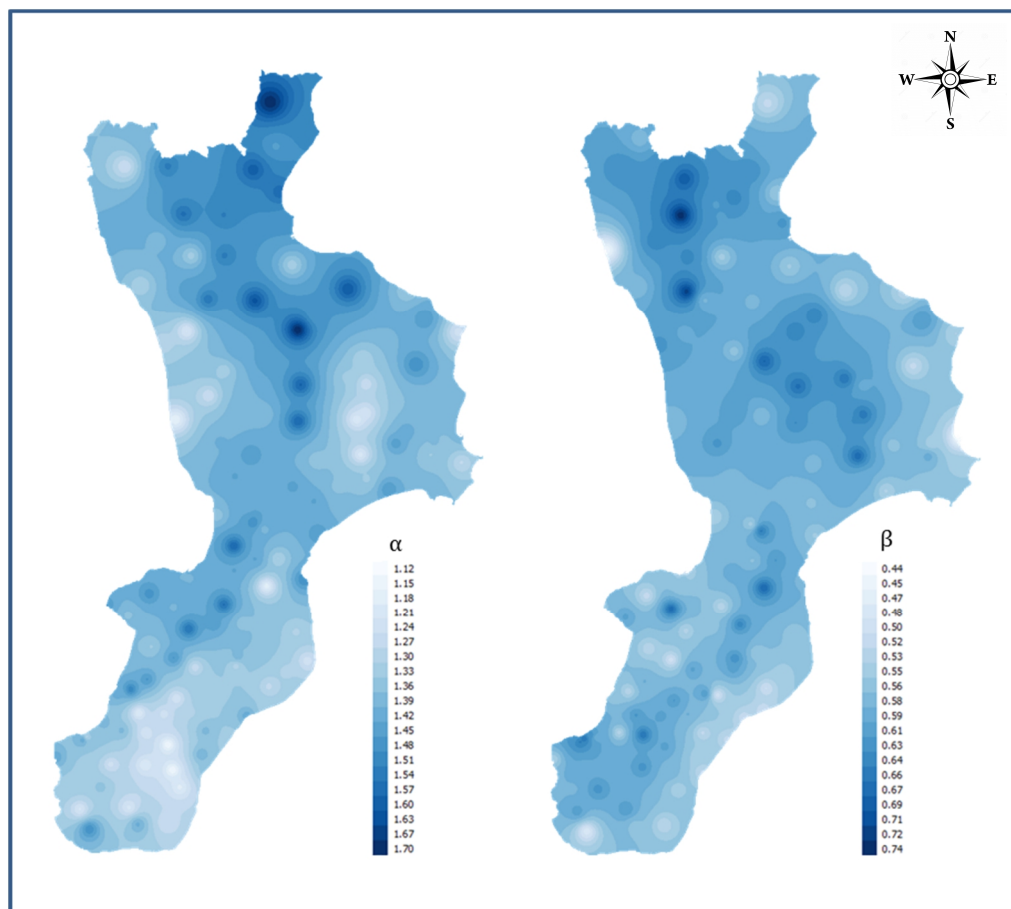


Figura B.23 – Mappe dei parametri di Weibull –  $H_1$  – Cicloni straordinari

STATISTICHE	$\alpha$	$\beta$
Minimo	1,12	0,44
Massimo	1,70	0,74
Media	1,37	0,58
Coefficiente di Variazione	0,08	0,08

Tabella B.17 – Statistiche dei parametri di Weibull –  $H_1$  – Cicloni straordinari

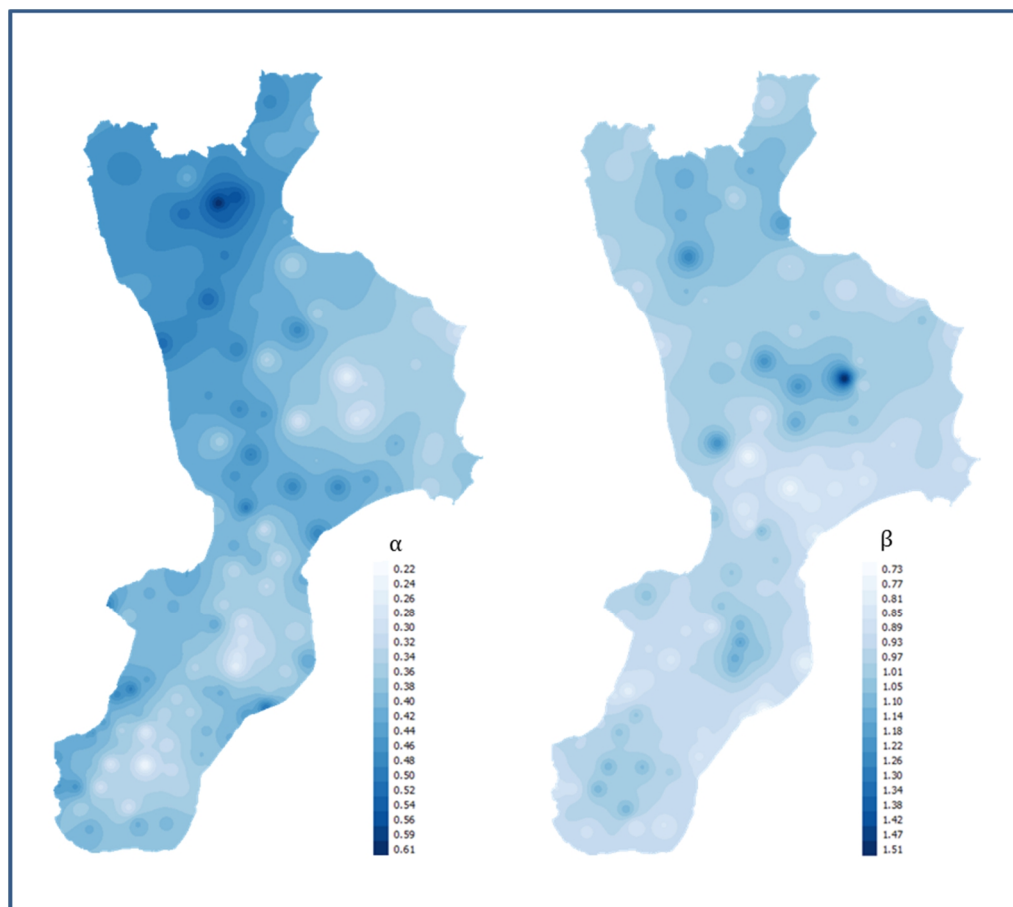


Figura B.24 – Mappe dei parametri di Weibull –  $H_2$  – Cicloni straordinari

STATISTICHE	$\alpha$	$\beta$
Minimo	1,12	0,44
Massimo	1,70	0,74
Media	1,37	0,58
Coefficiente di Variazione	0,08	0,08

Tabella B.18 – Statistiche dei parametri di Weibull –  $H_2$  – Cicloni straordinari

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
AREA

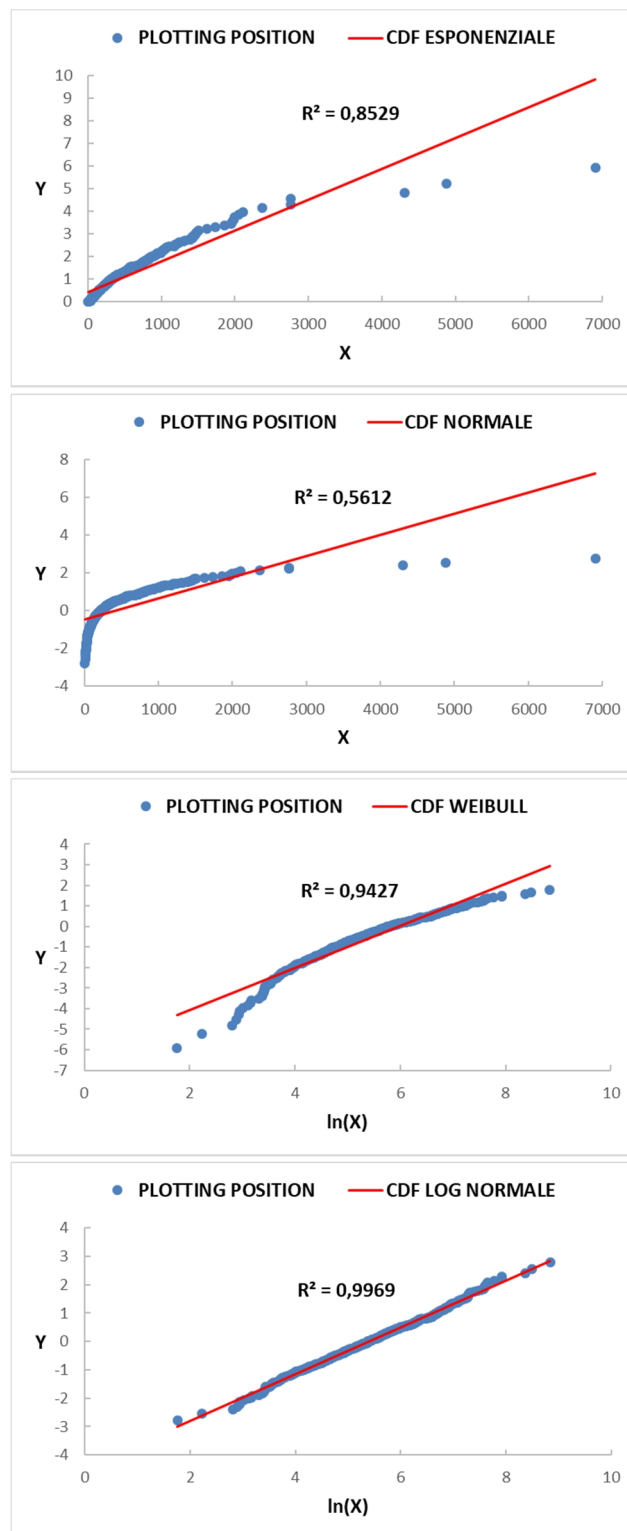


Figura B.25 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporaleschesche isolate – A (km<sup>2</sup>)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHES ISOLATE –  
ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

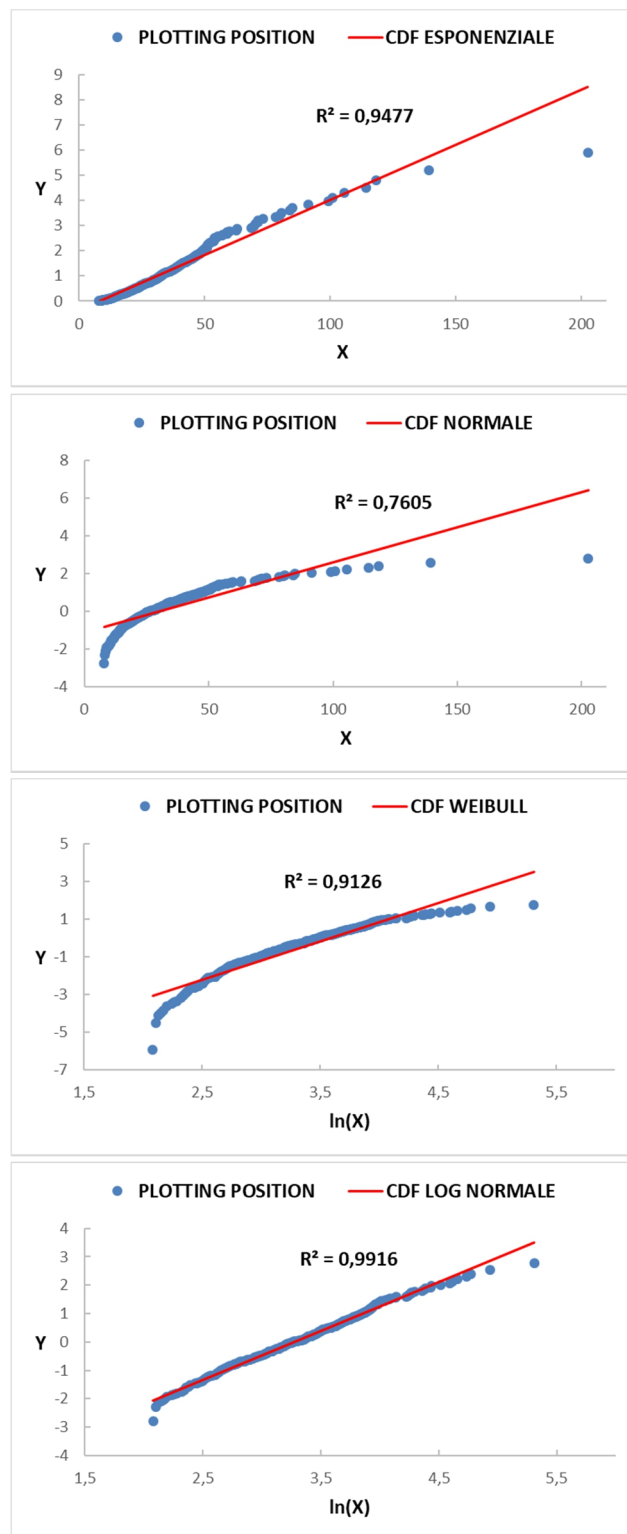


Figura B.26 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporesche isolate –  $H_{MAX}$  (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
DURATA

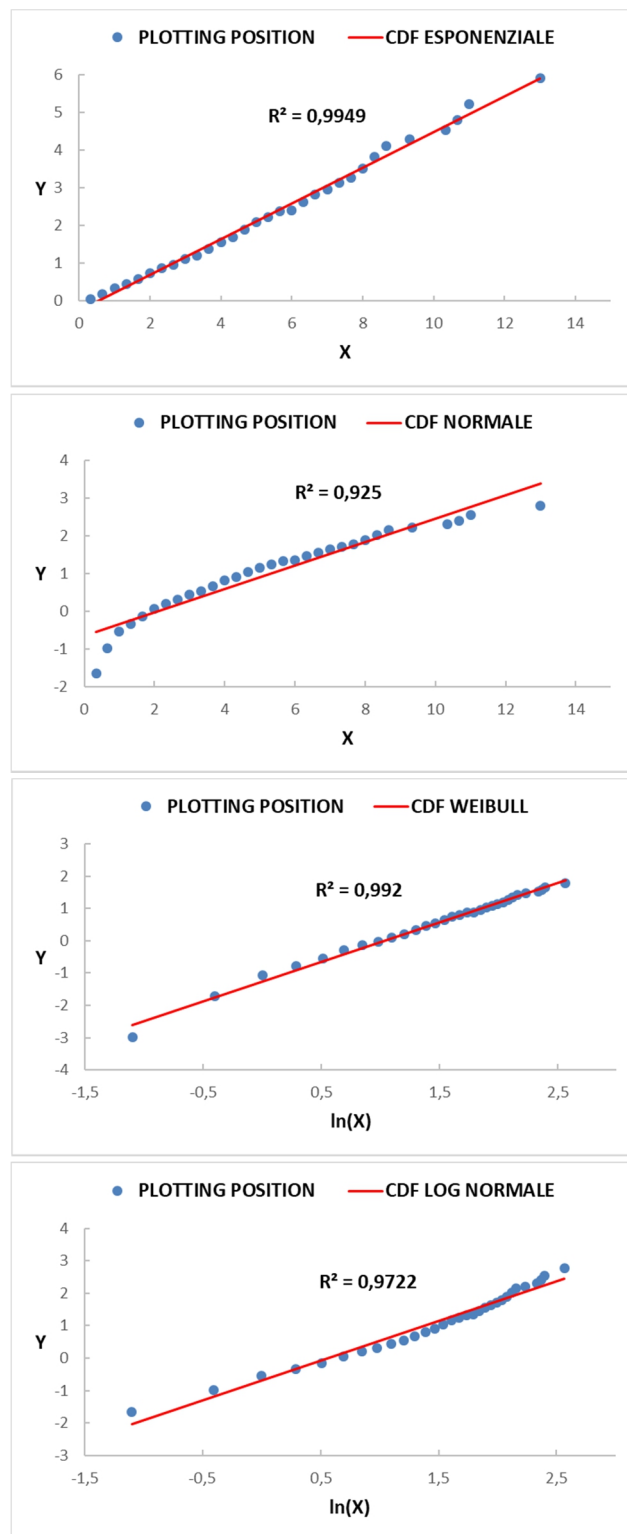


Figura B.27 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporalesche isolate – D (ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHES ISOLATE –  
ESTATE – AREA

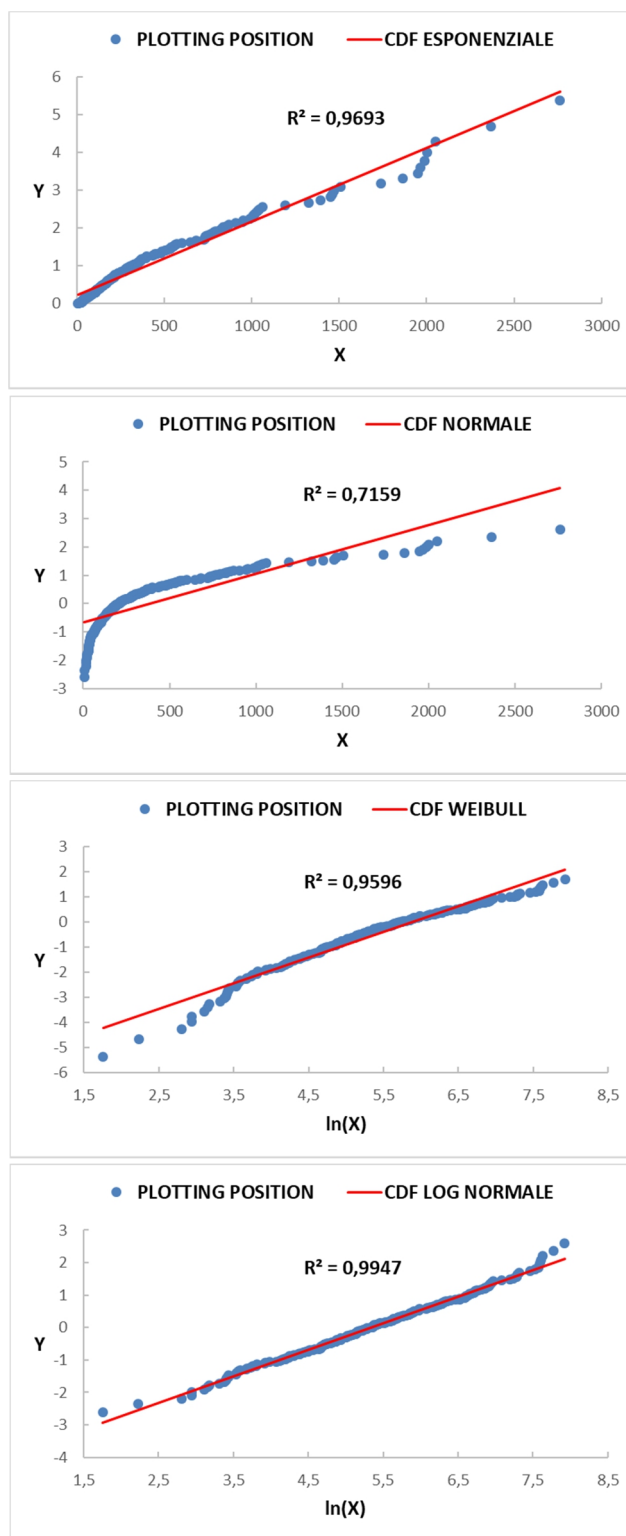


Figura B.28 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporesche isolate – Estate – A (km<sup>2</sup>)



CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
ESTATE – ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

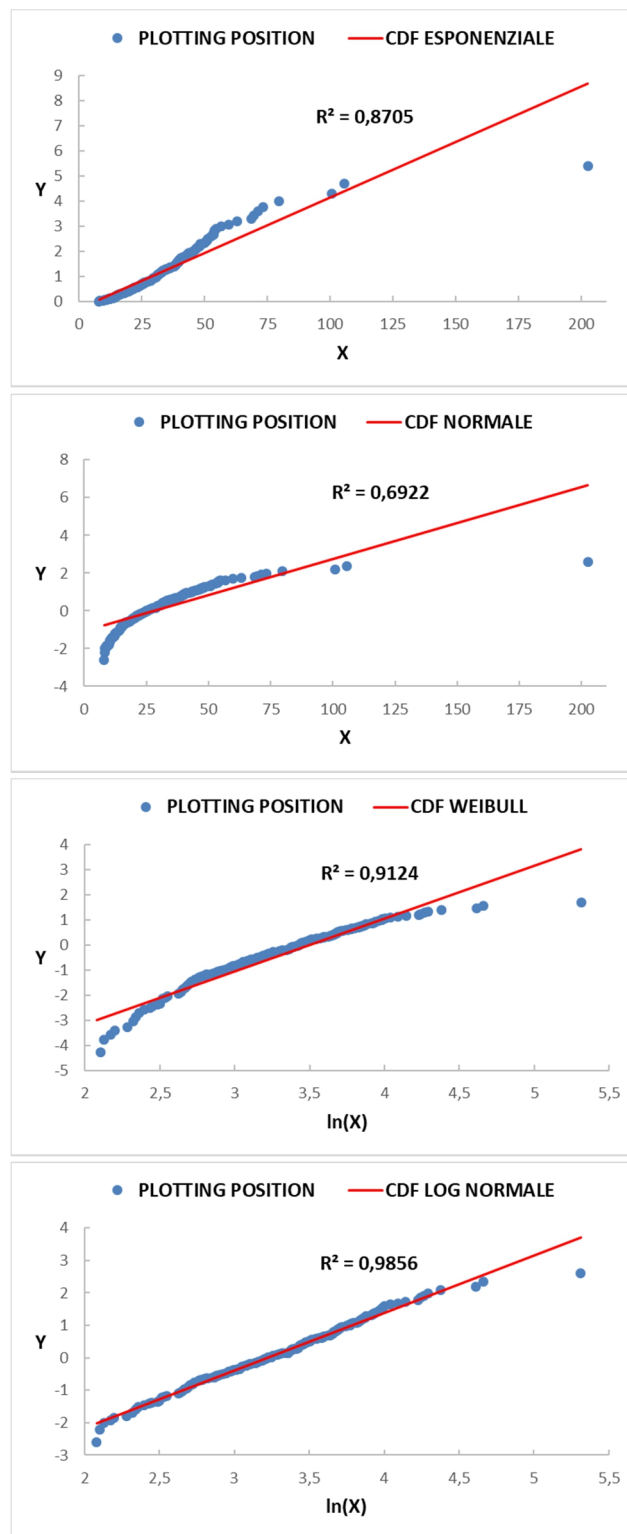


Figura B.29 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporaleschesche isolate – Estate –  $H_{MAX}$  (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHES ISOLATE –  
ESTATE – DURATA

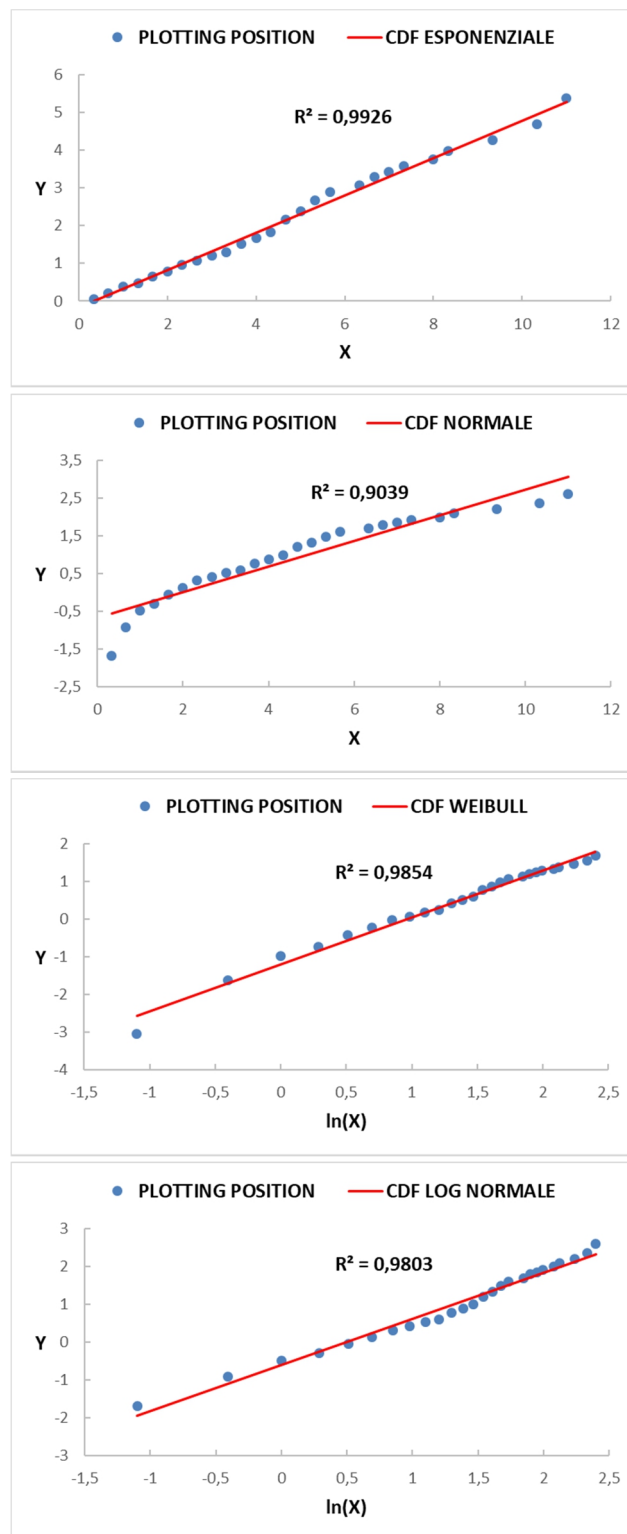


Figura B.30 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporalesche isolate – Estate – D (ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
ESTATE – TIRRENICA – AREA

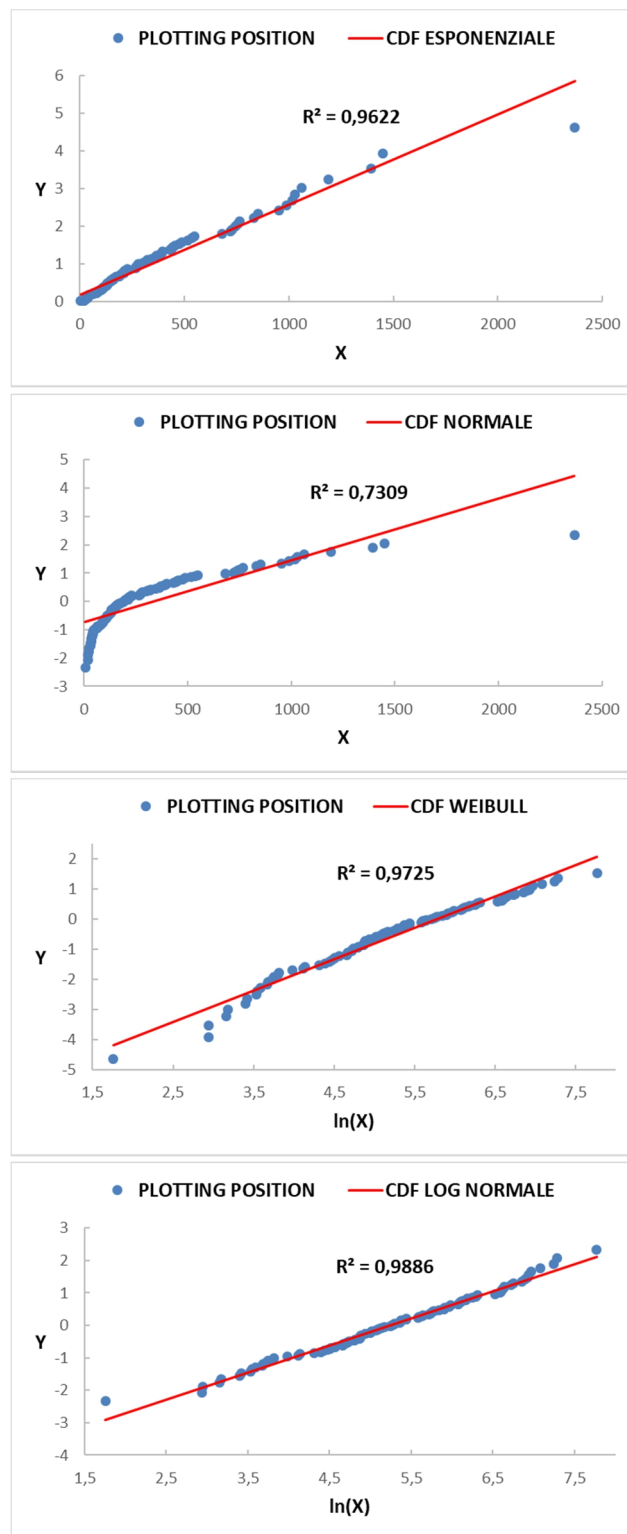


Figura B.31 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporalesche isolate – Estate – Tirrenica – A (km<sup>2</sup>)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
ESTATE – TIRRENICA – ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

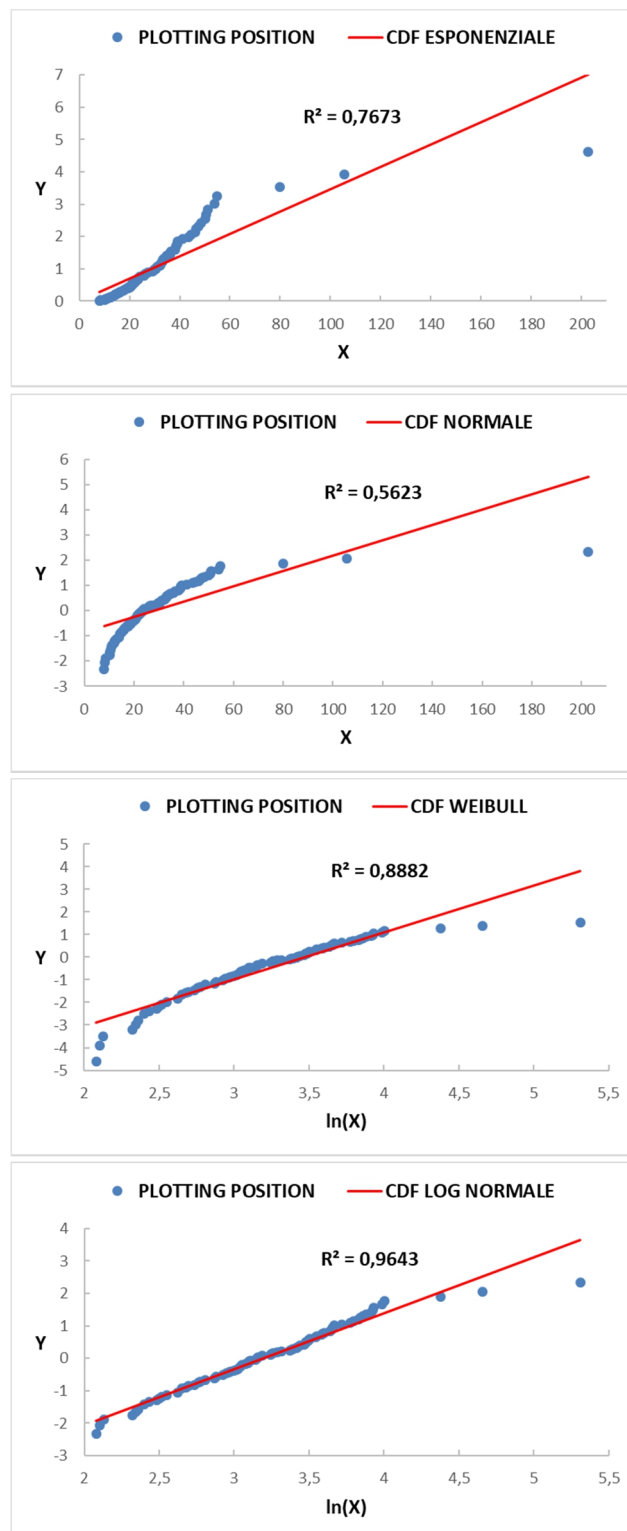


Figura B.32 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporalesche isolate – Estate – Tirrenica – H<sub>MAX</sub> (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHES ISOLATE –  
ESTATE – TIRRENICA – DURATA

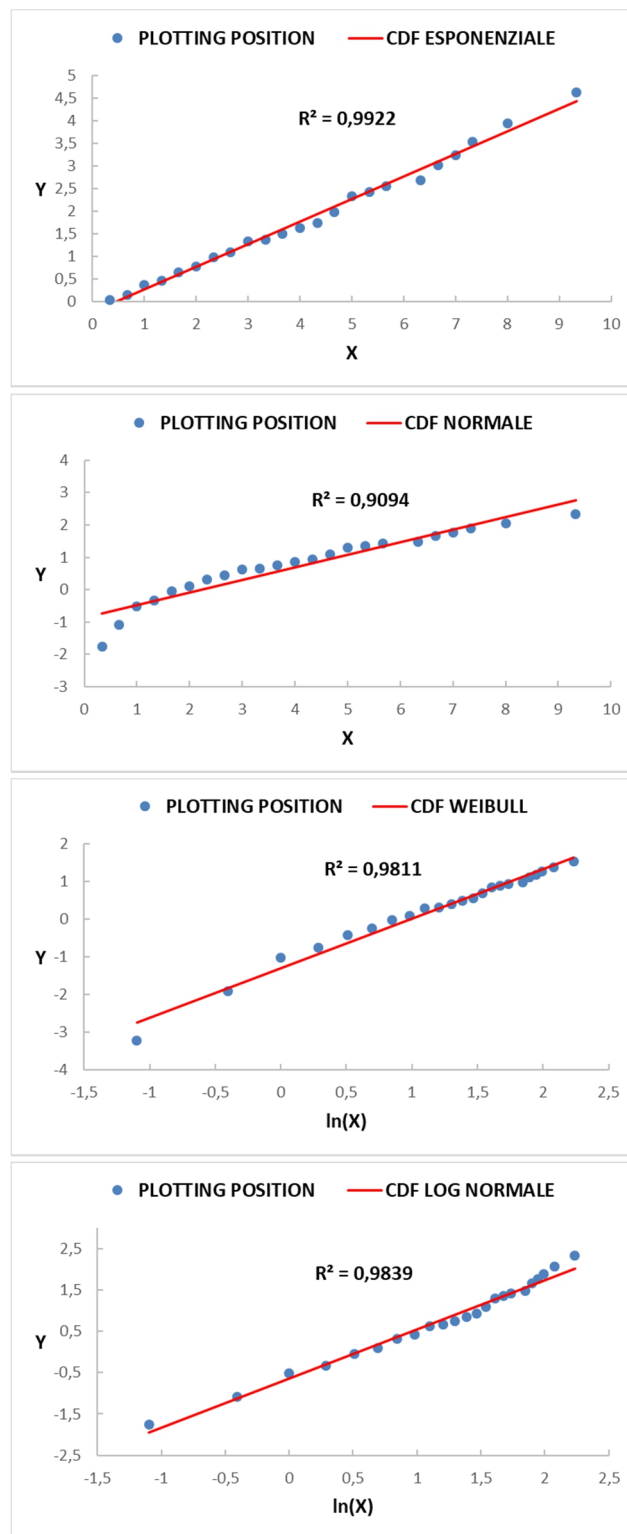


Figura B.33 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporalesche isolate – Estate – Tirrenica – D(ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
ESTATE – IONICA – AREA

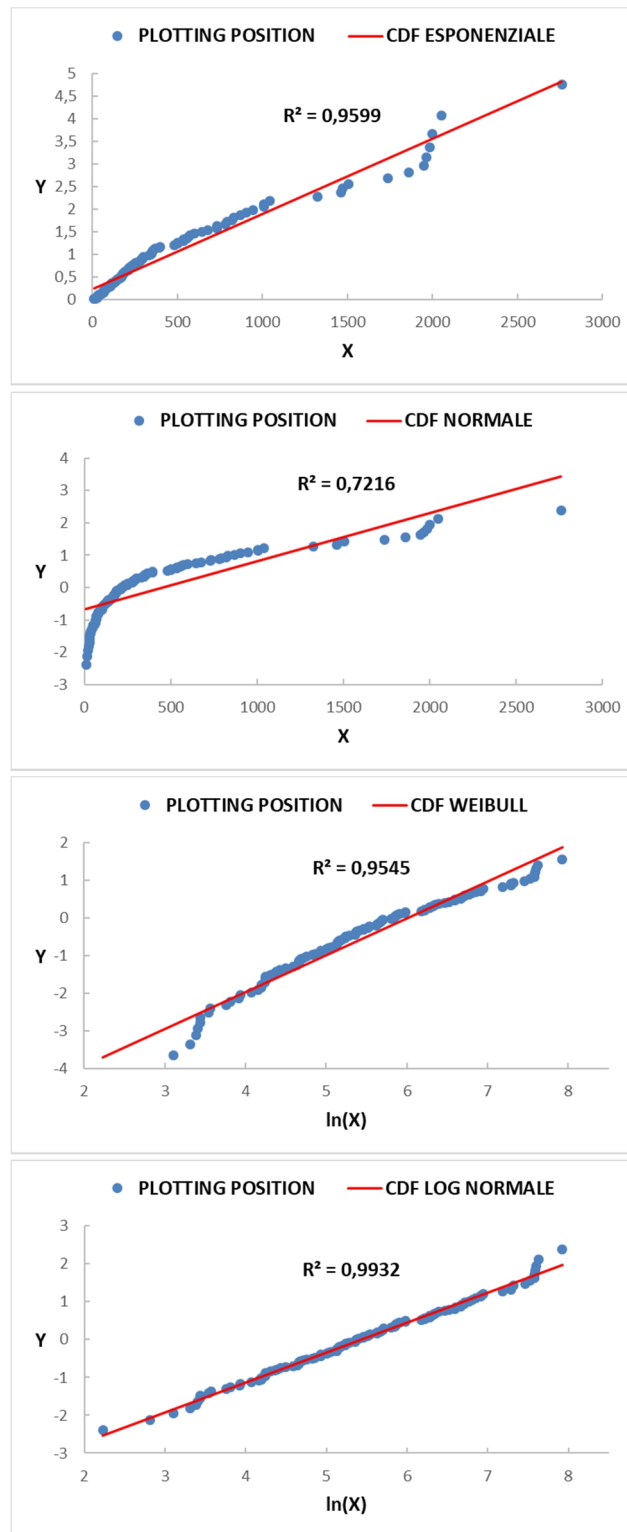


Figura B.34 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporalesche isolate – Estate – Ionica – A (km<sup>2</sup>)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
ESTATE – IONICA – ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

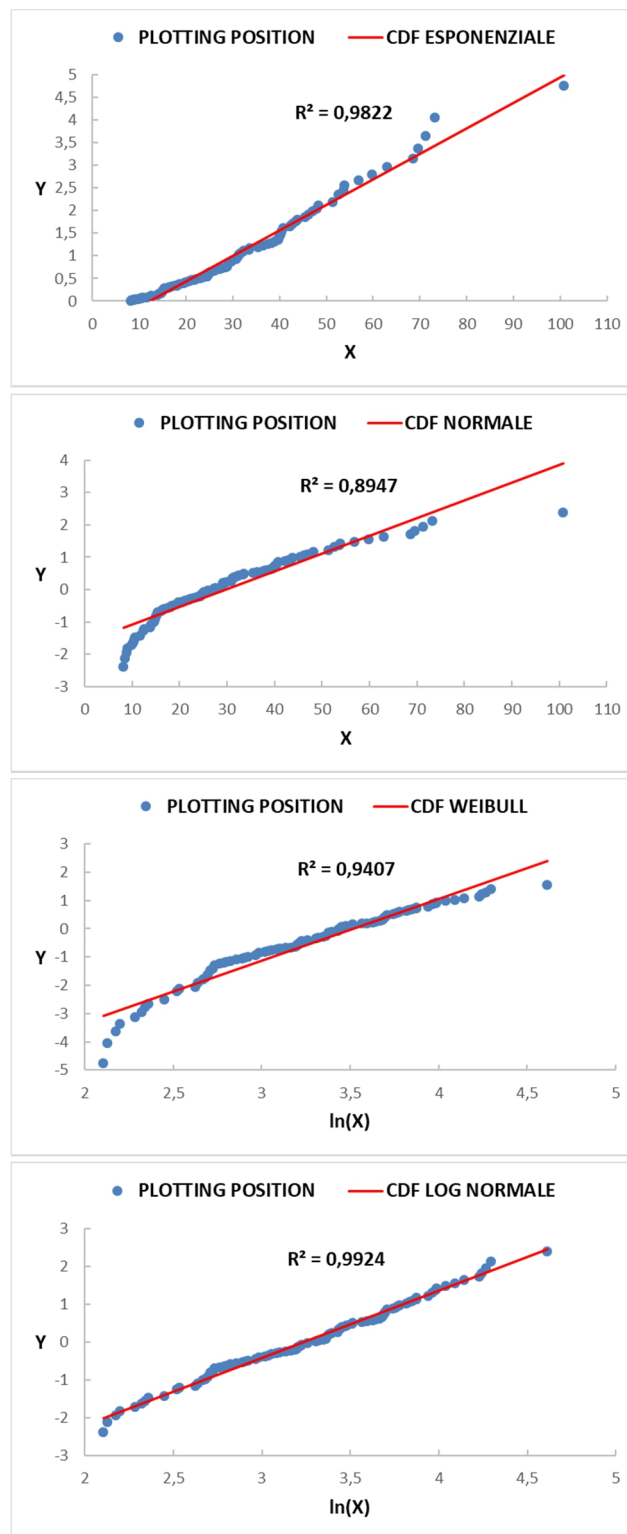


Figura B.35 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporalessche isolate – Estate – Ionica – H<sub>MAX</sub> (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
ESTATE – IONICA – DURATA

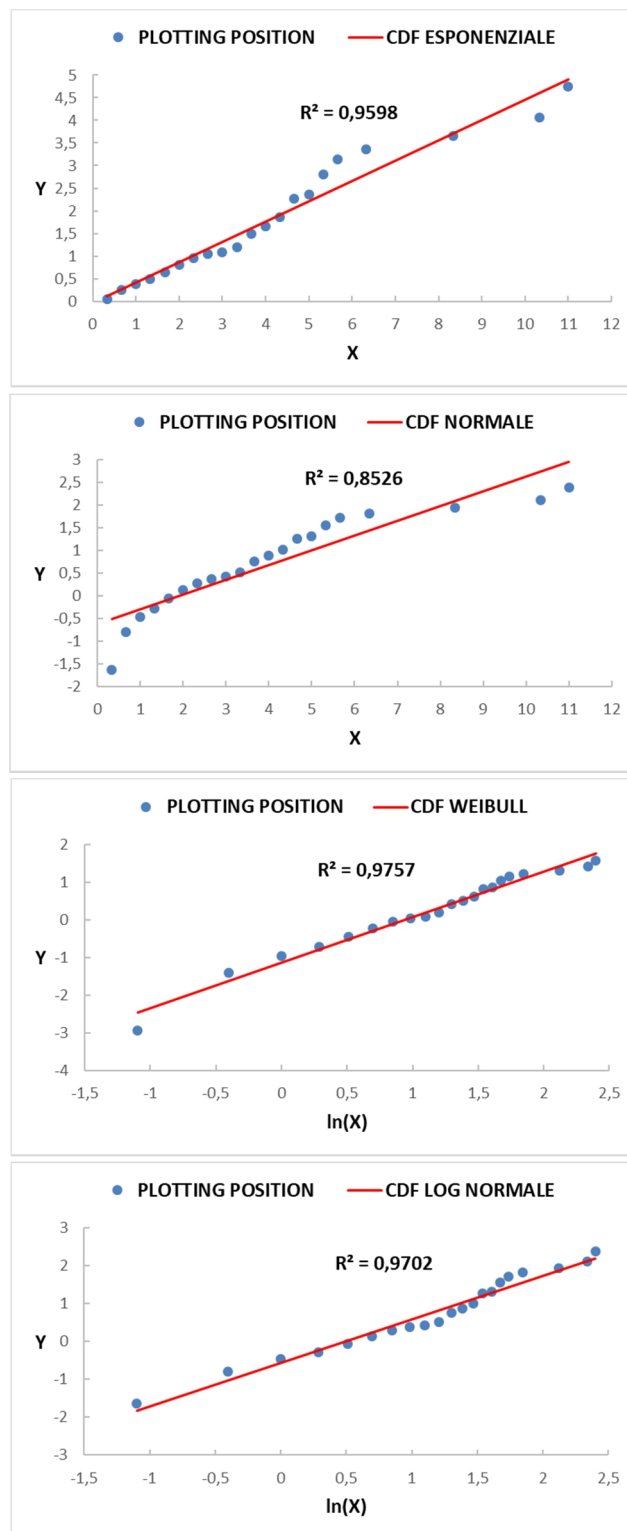


Figura B.36 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporalesche isolate – Estate – Ionica – D (ore)



CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
AUTUNNO – AREA

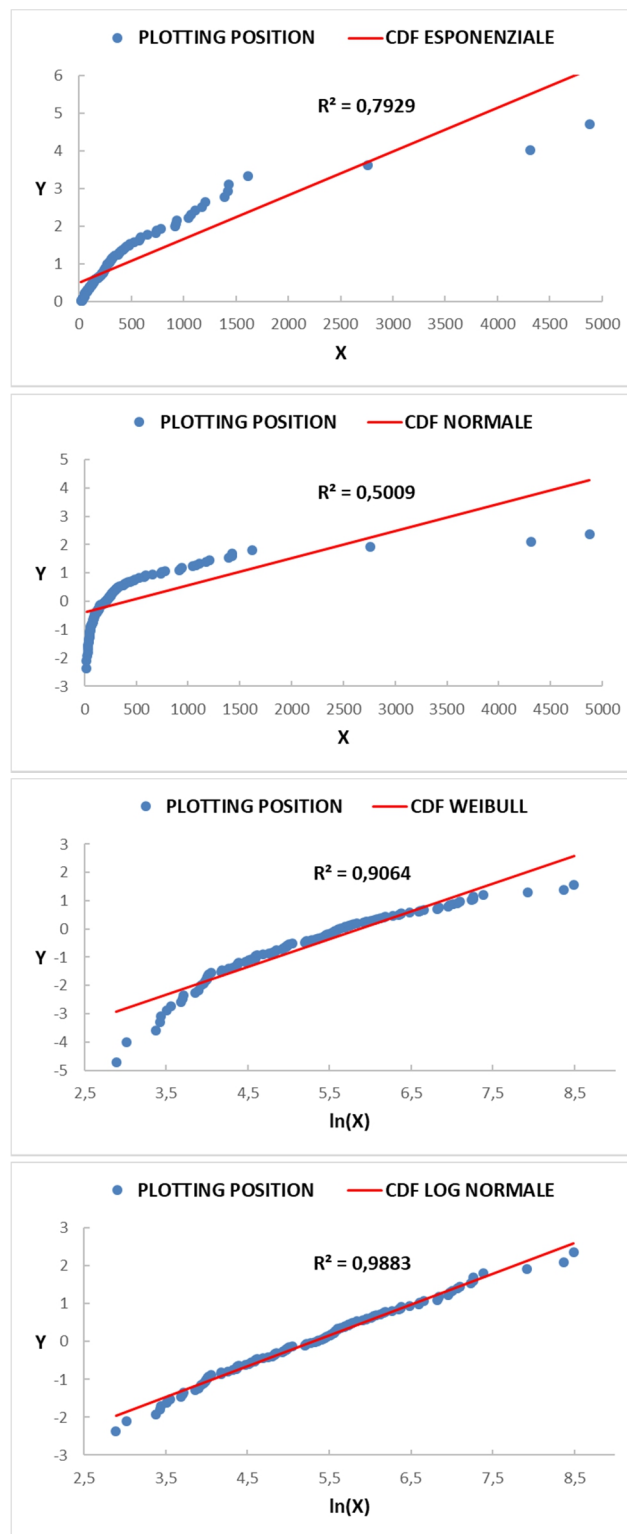


Figura B.37 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporesche isolate – Autunno – A (km<sup>2</sup>)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHESCHE ISOLATE –  
AUTUNNO – ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

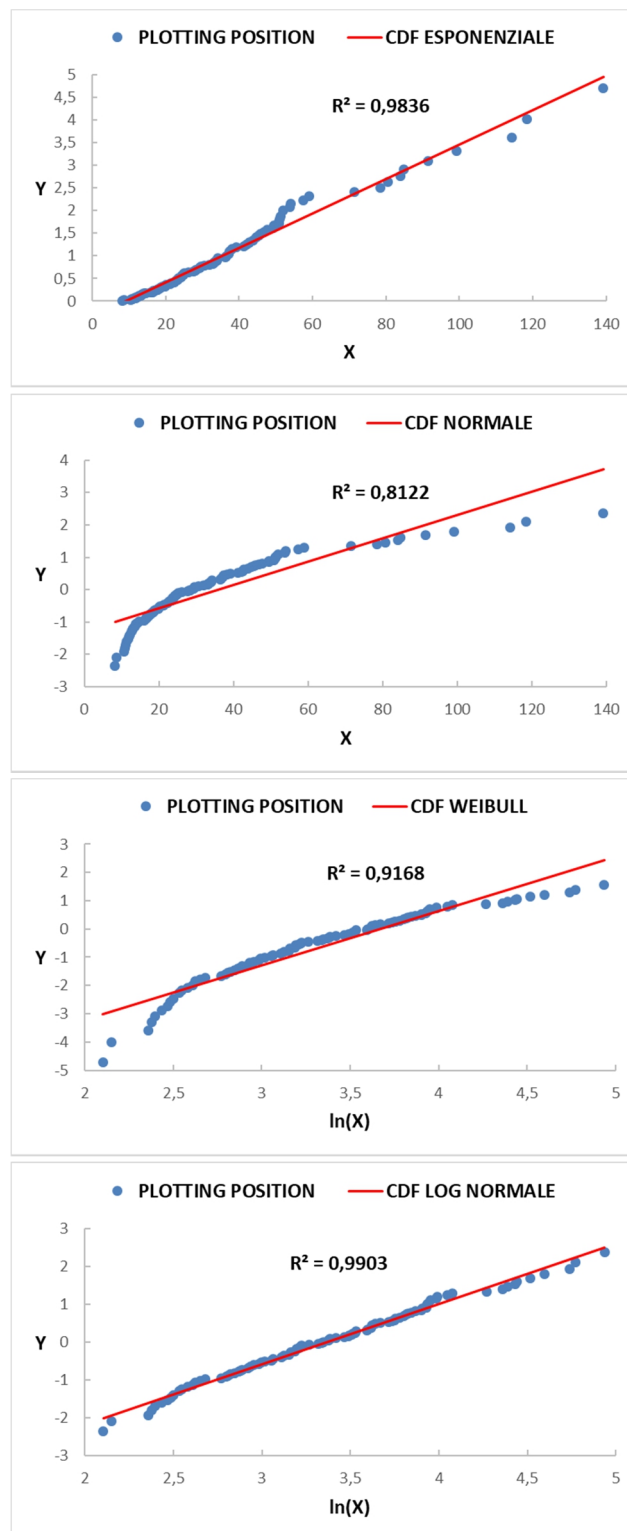


Figura B.38 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporalesche isolate – Autunno – H<sub>MAX</sub> (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CELLE TEMPORALESCHES ISOLATE –  
AUTUNNO – DURATA

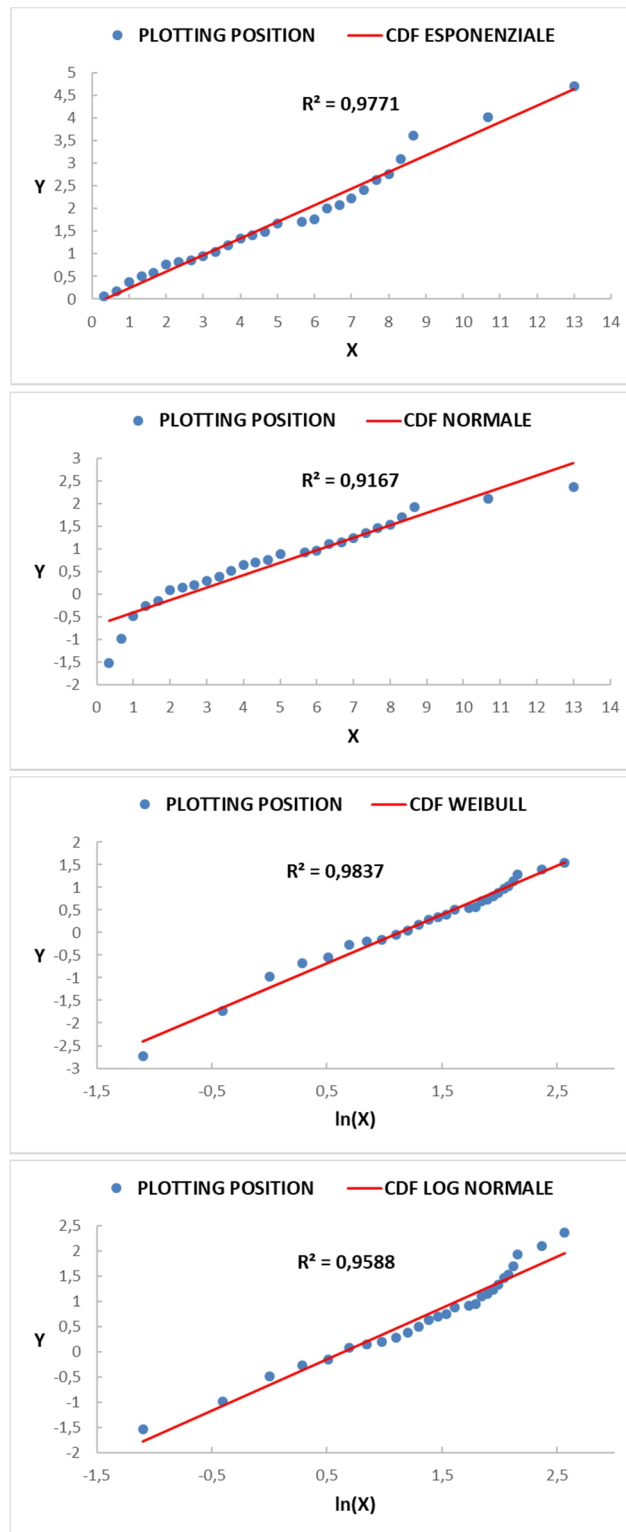


Figura B.39 – Cartogrammi probabilistici – Celle temporesche isolate – Autunno – D (ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – AREA

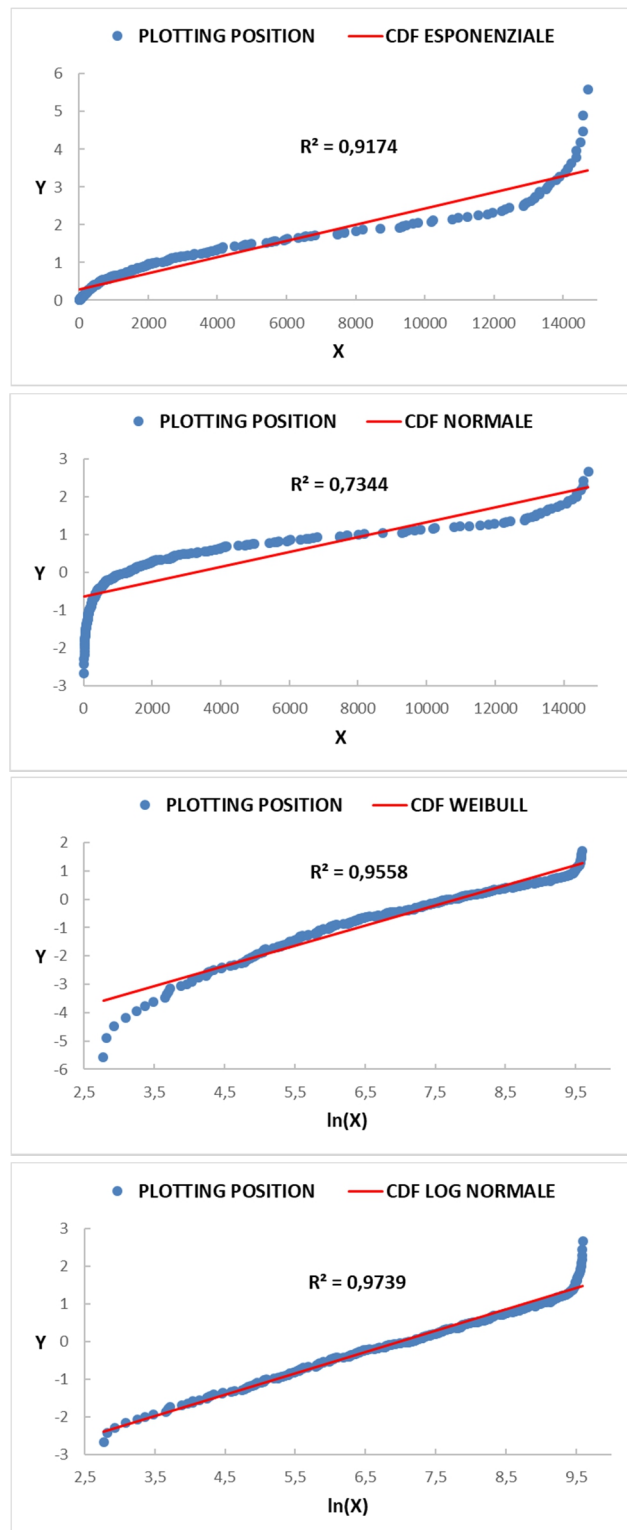


Figura B.40 – Cartogrammi probabilistici – Ciclone straordinari – A (km²)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

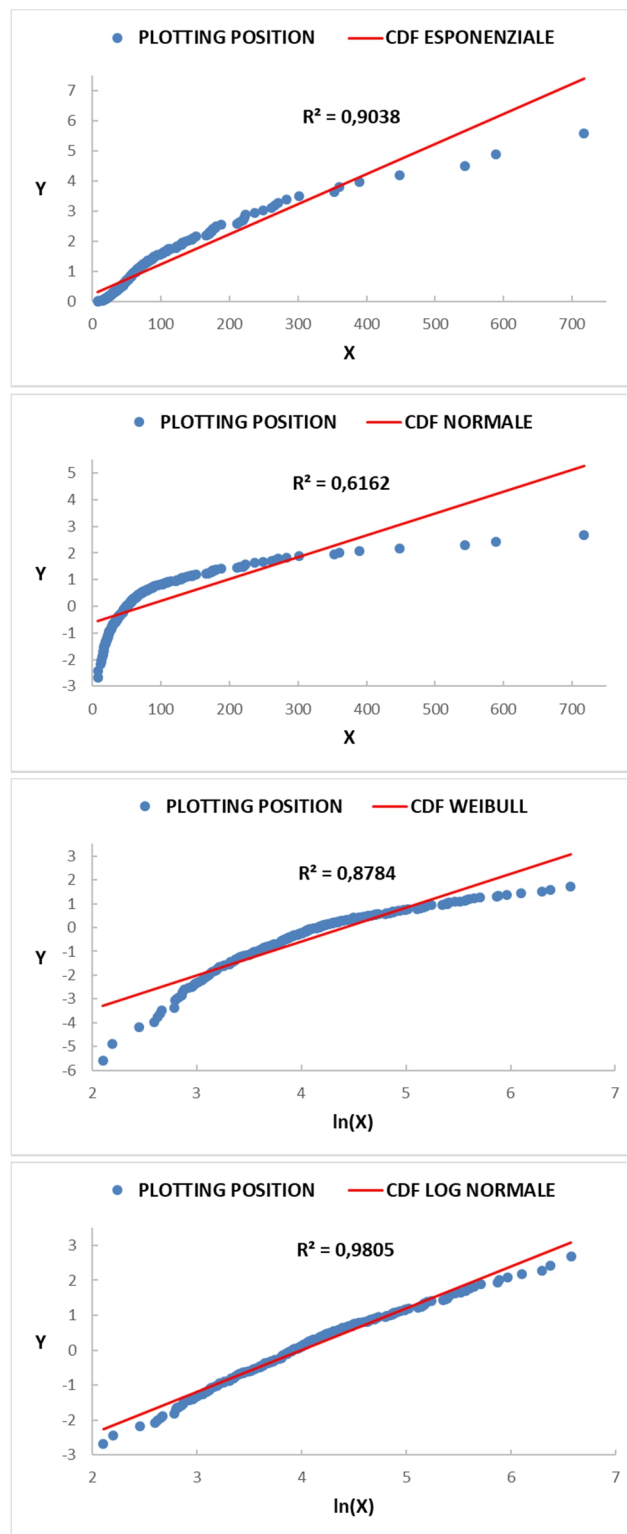


Figura B.41 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni straordinari –  $H_{MAX}$  (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – DURATA

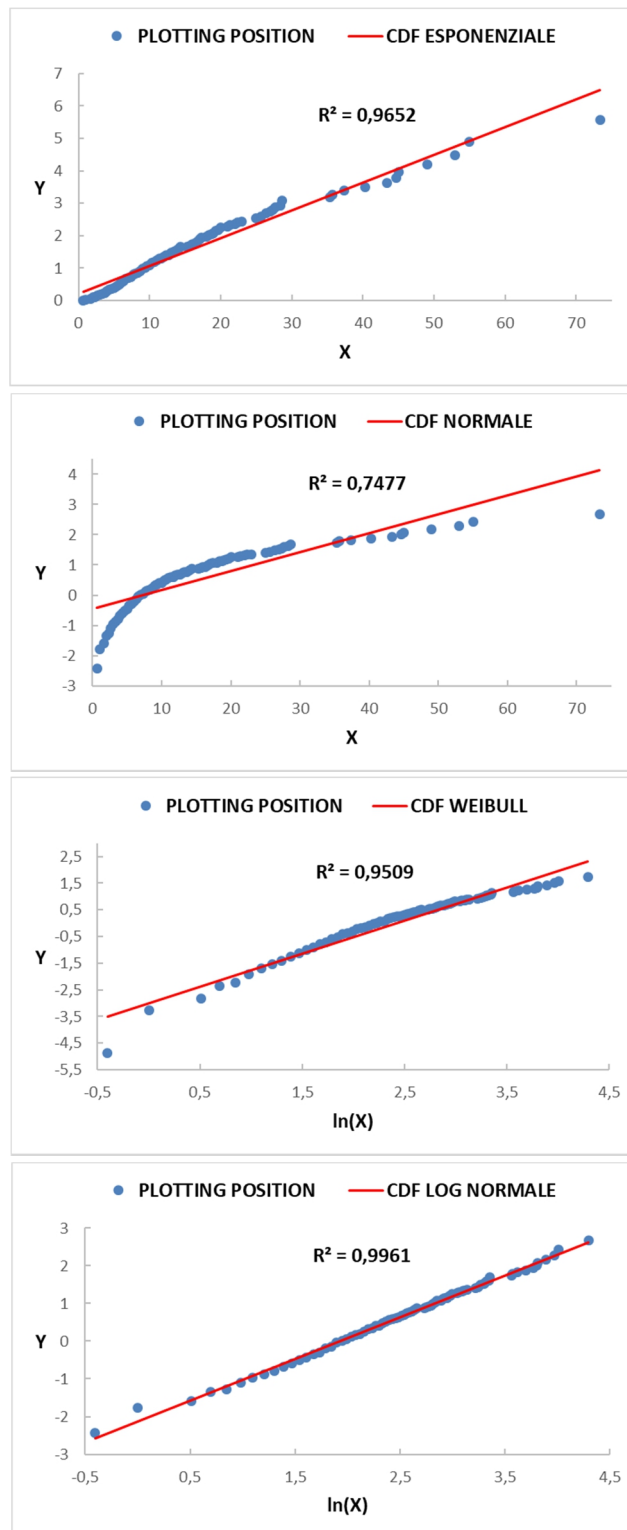


Figura B.42 – Cartogrammi probabilistici – Ciclone straordinari – D (ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – ESTATE –  
AREA

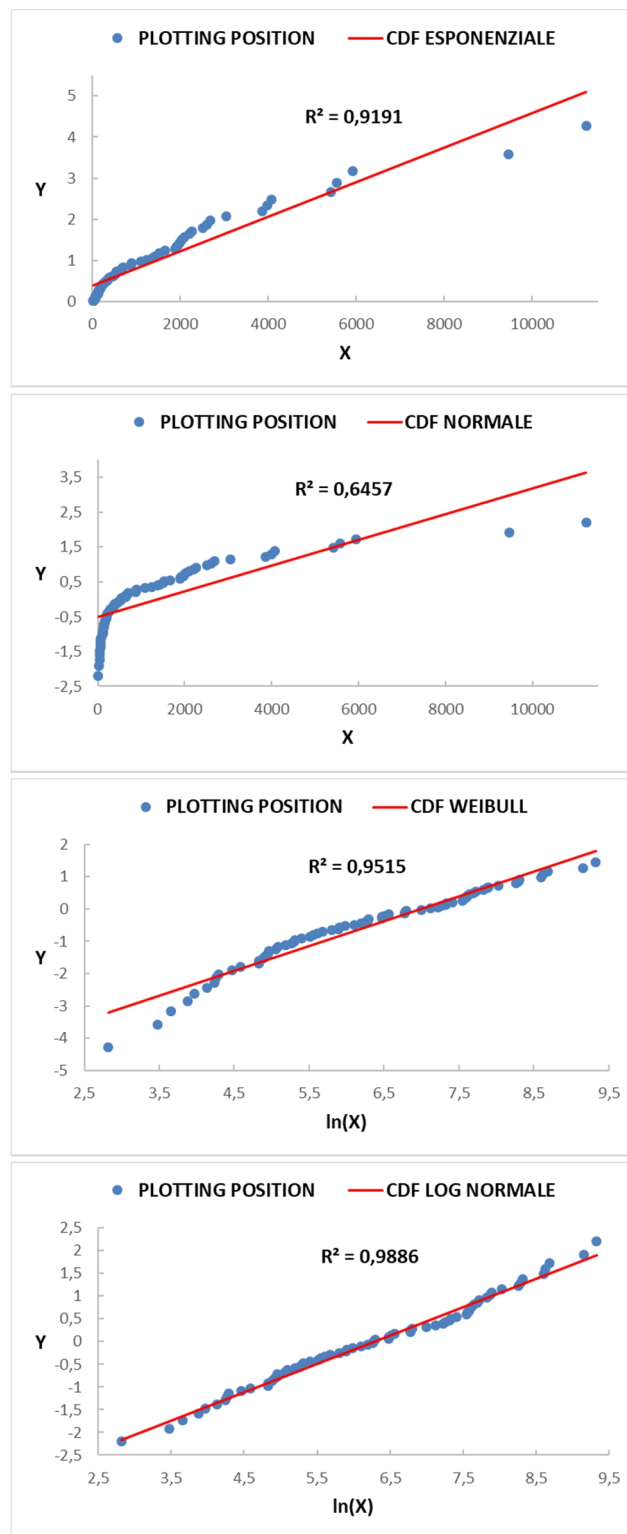


Figura B.43 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni straordinari – Estate – A (km<sup>2</sup>)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – ESTATE –  
ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

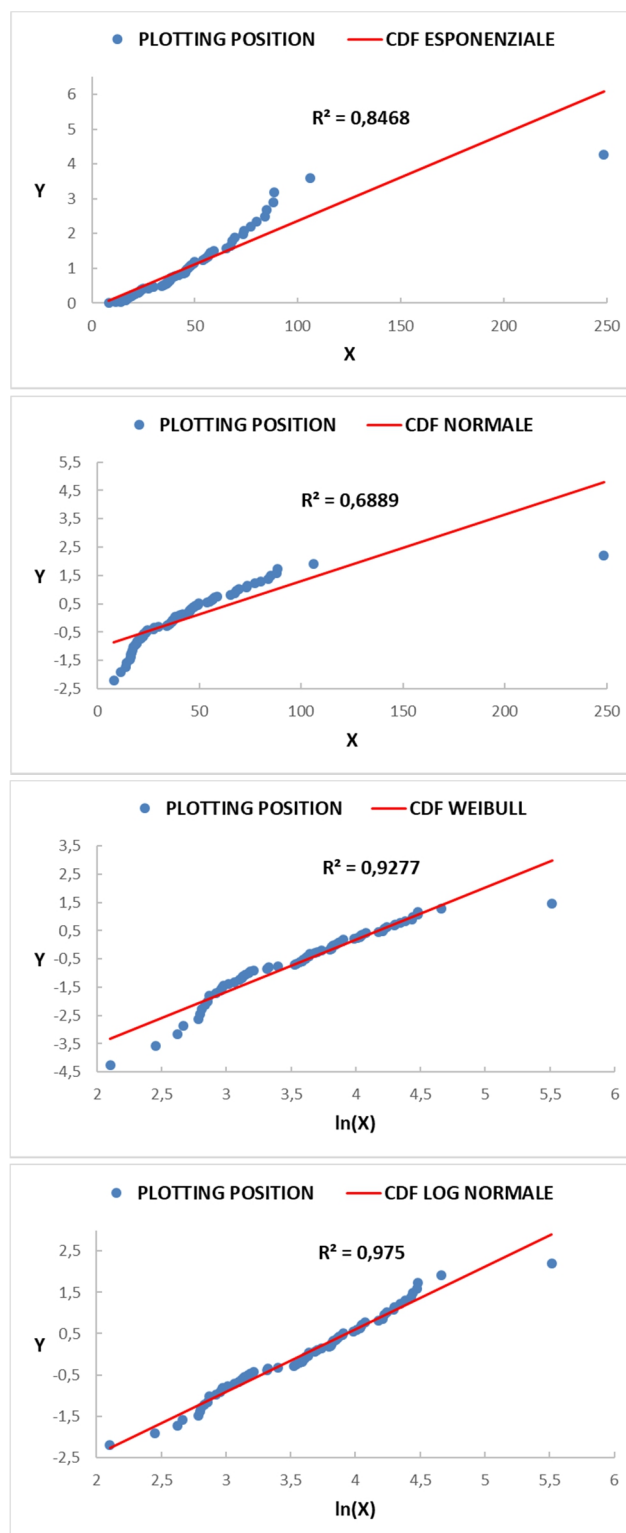


Figura B.44 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni straordinari – Estate – H<sub>MAX</sub> (mm)



CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – ESTATE –  
DURATA

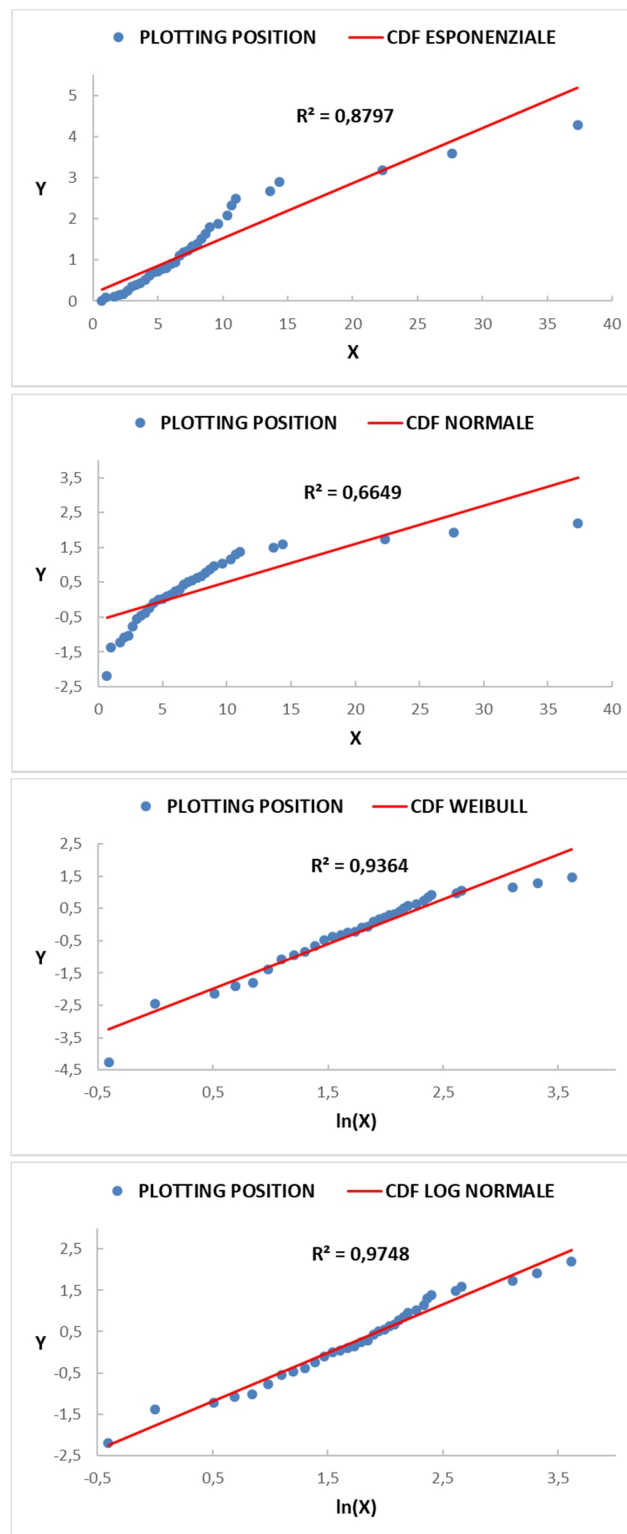


Figura B.45 – Cartogrammi probabilistici – Ciclone straordinari – Estate – D (ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – AUTUNNO –  
AREA

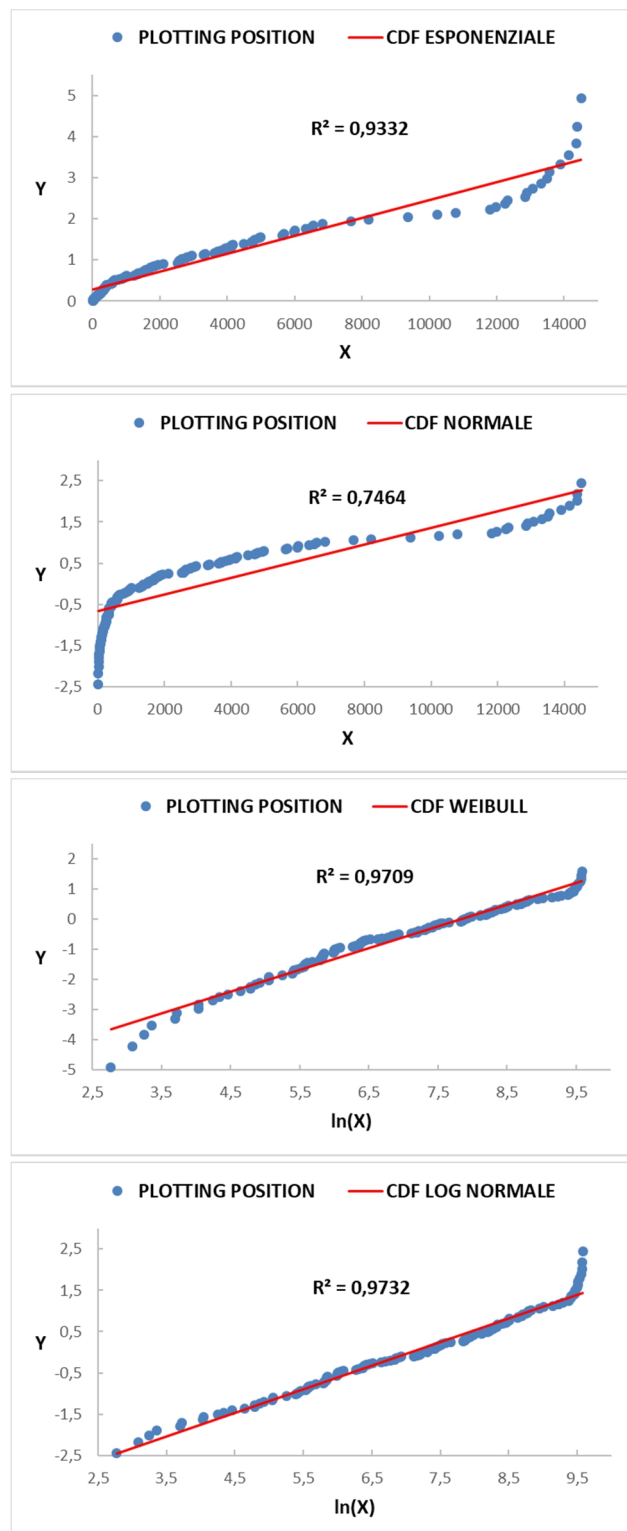


Figura B.46 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni straordinari – Autunno – A (km<sup>2</sup>)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – AUTUNNO –  
ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

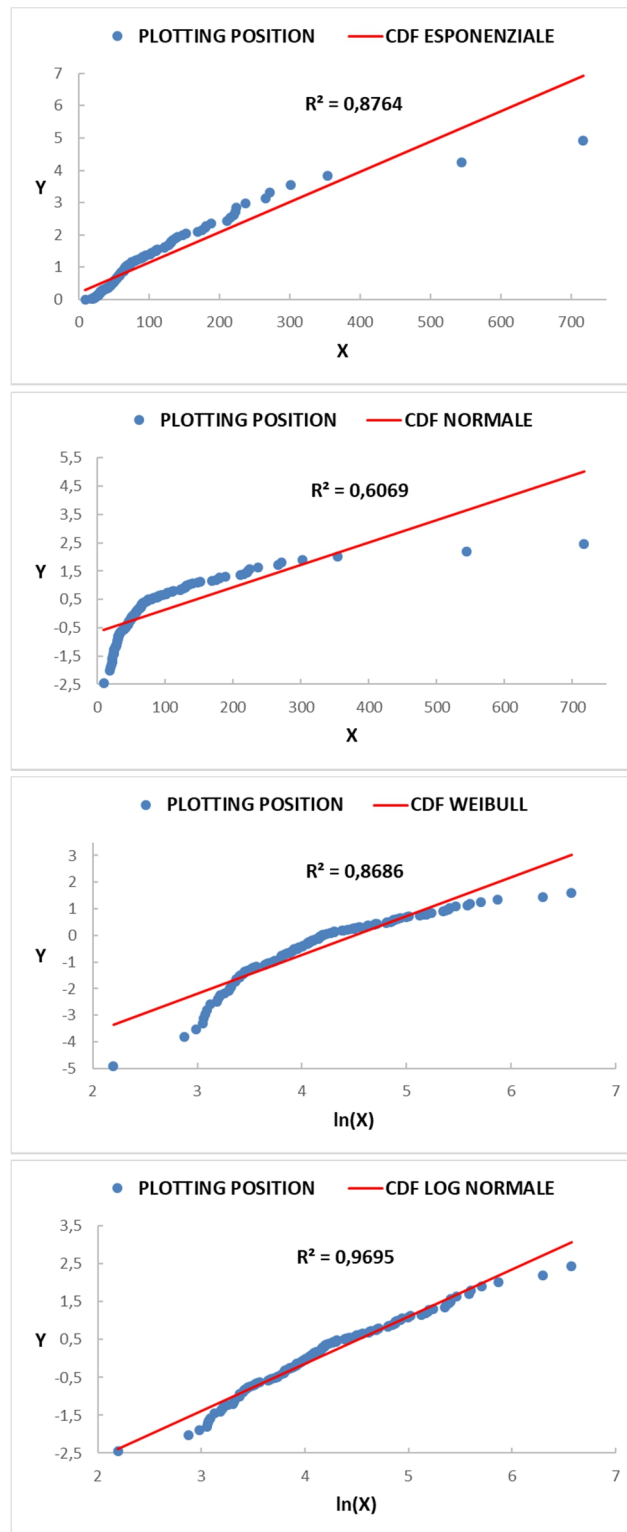


Figura B.47 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni straordinari – Autunno – H<sub>MAX</sub> (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – AUTUNNO –  
DURATA

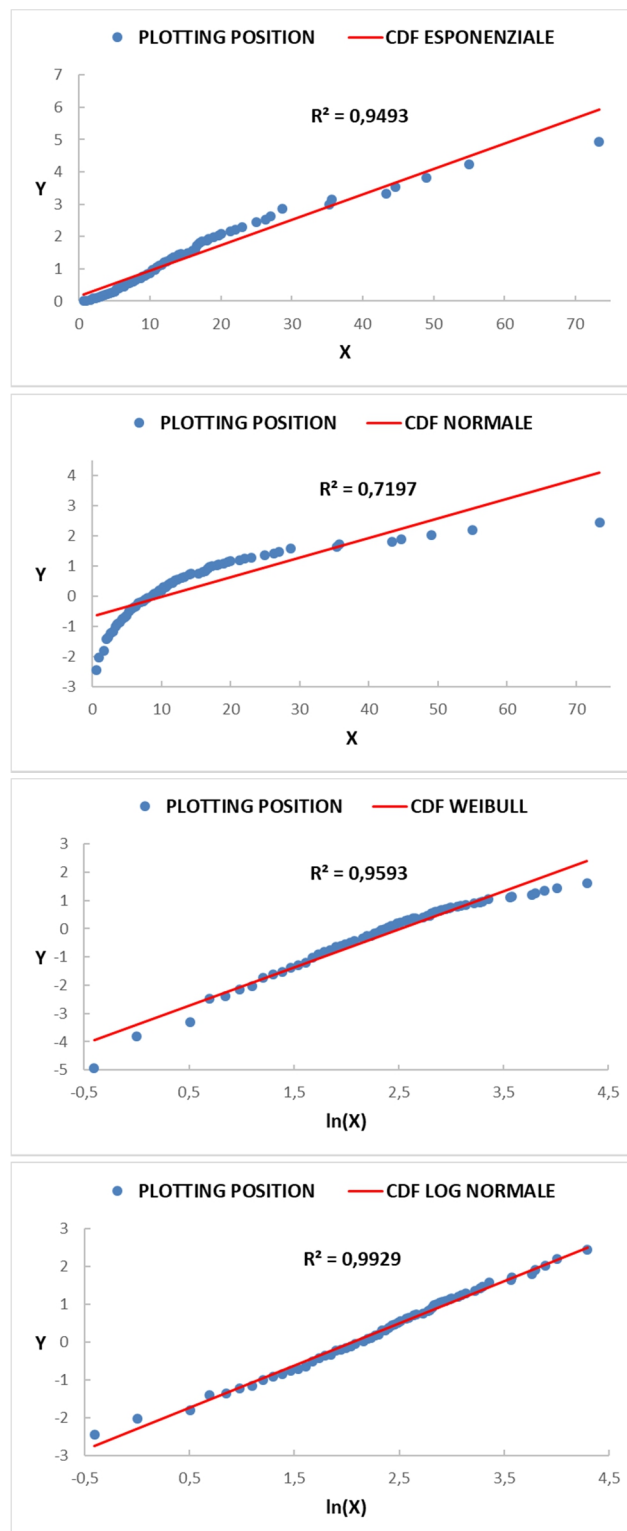


Figura B.48 – Cartogrammi probabilistici – Ciclone straordinario – Autunno – D (ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI ORDINARI – AREA

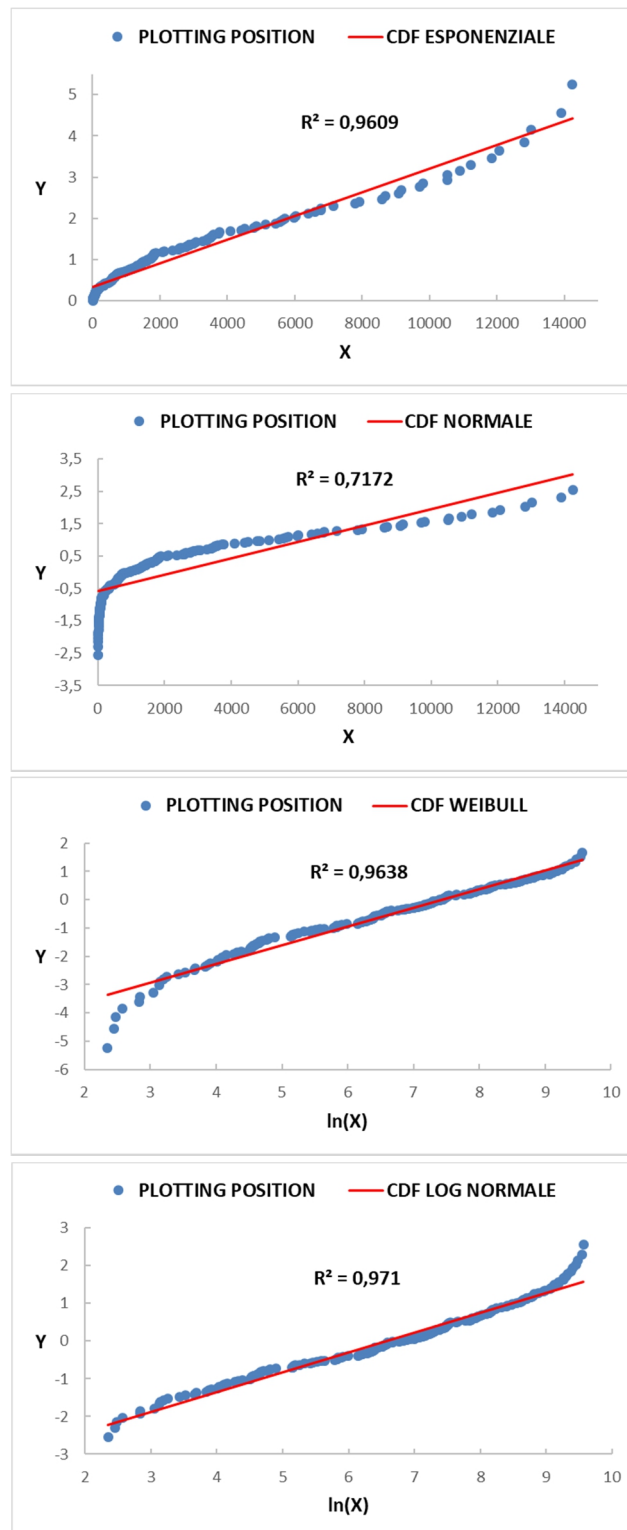


Figura B.49 – Cartogrammi probabilistici – Ciclone ordinari – A (km²)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI ORDINARI – ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

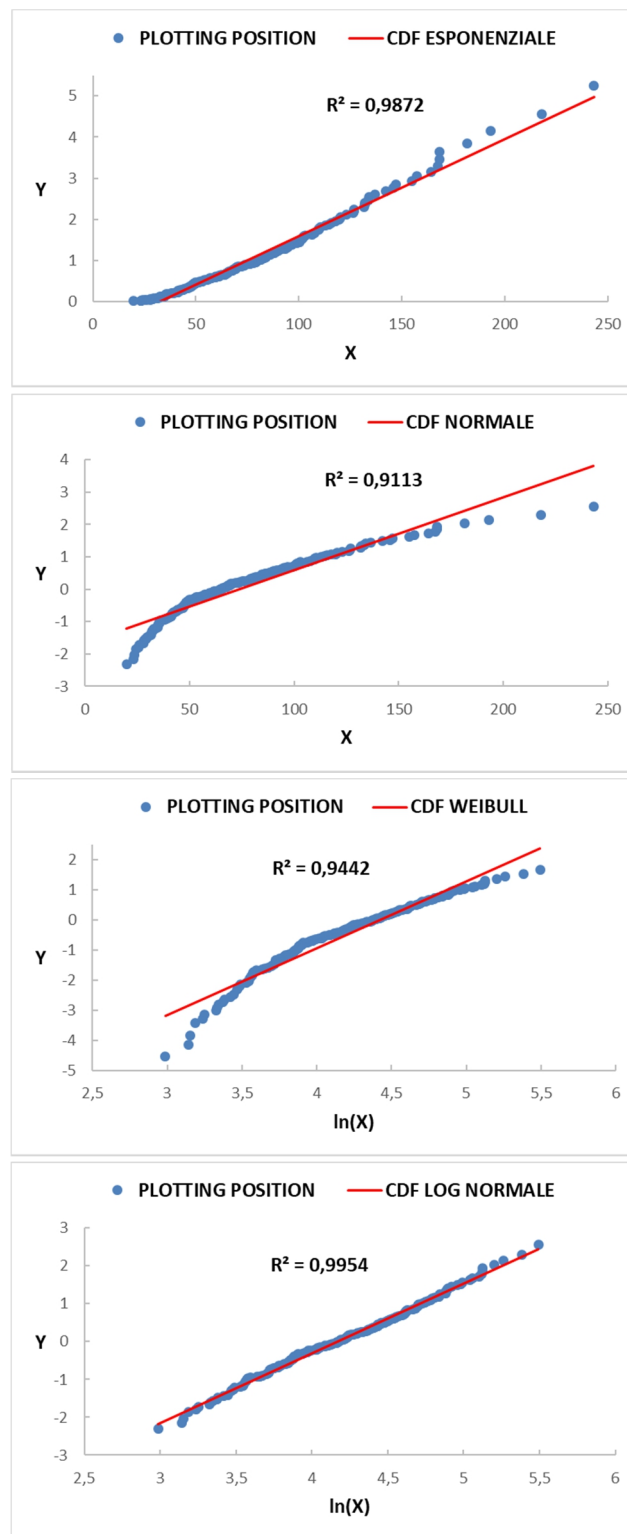


Figura B.50 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni ordinari –  $H_{MAX}$  (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI ORDINARI – DURATA

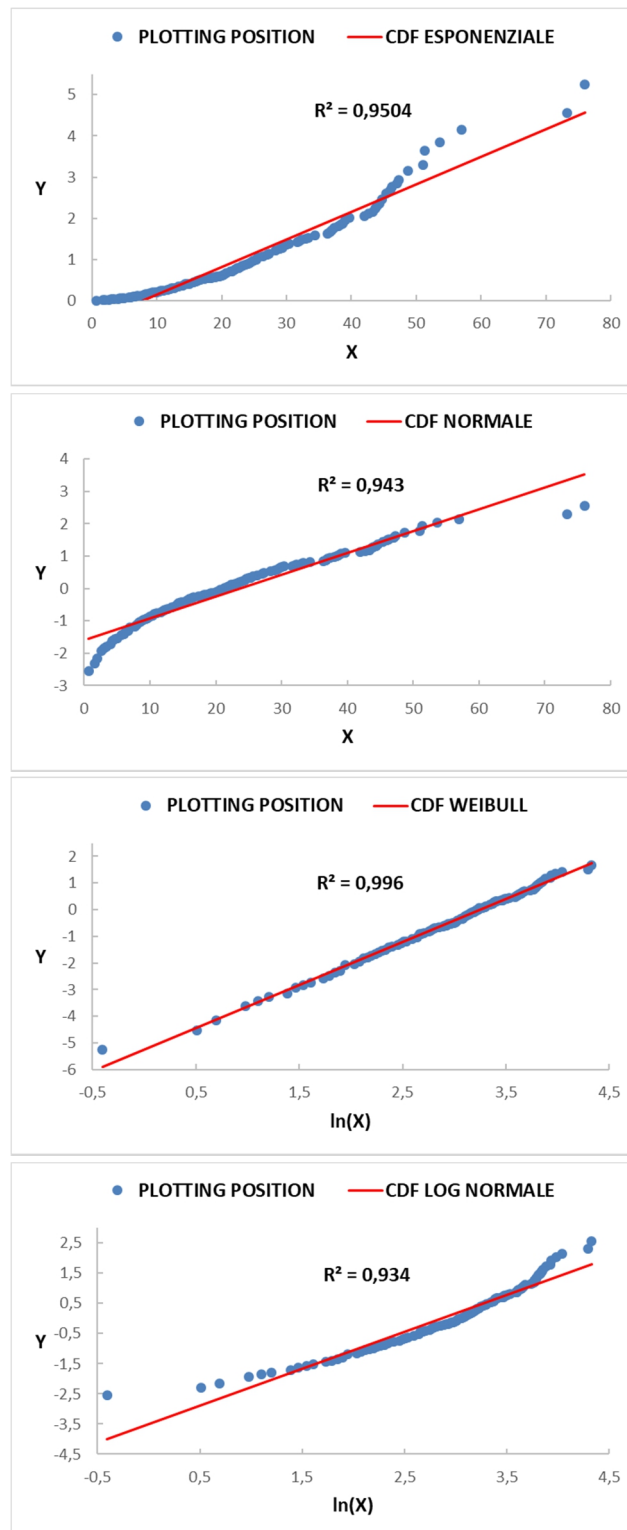


Figura B.51 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni ordinari – D (ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI ORDINARI – AUTUNNO –  
AREA

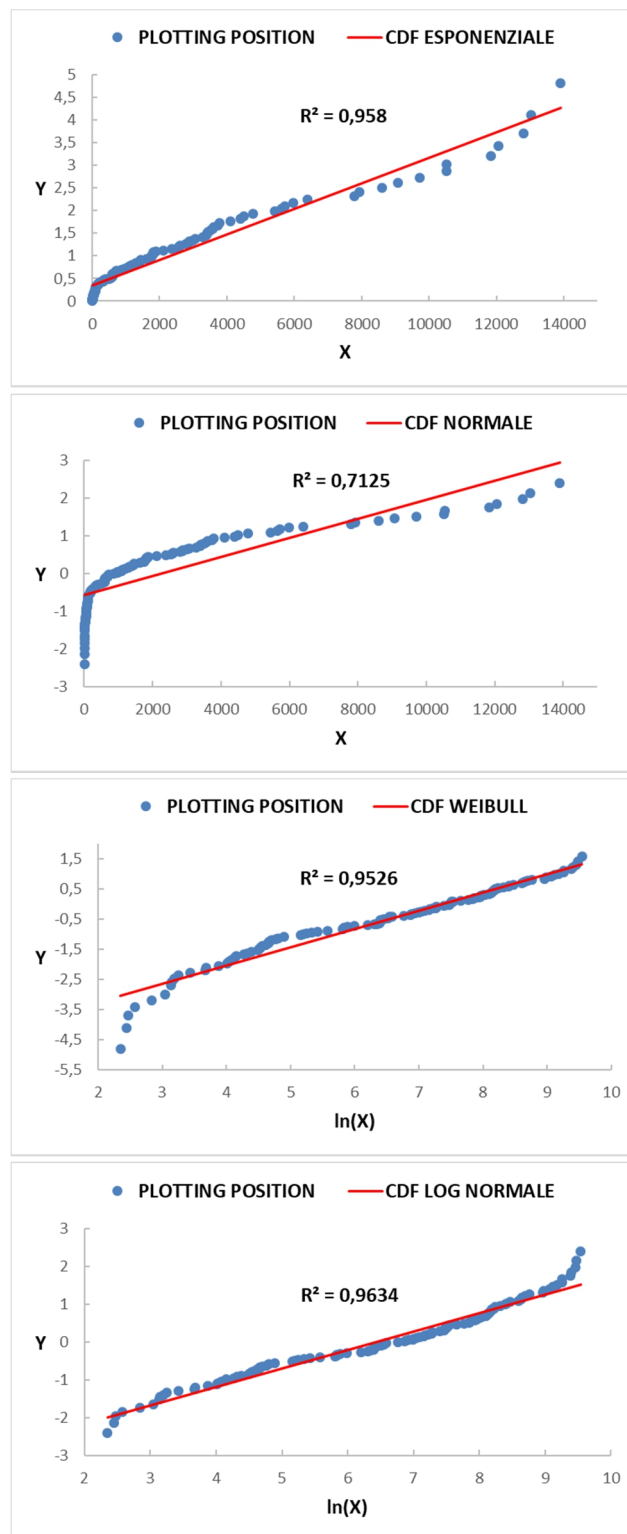


Figura B.52 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni ordinari – Autunno – A (km<sup>2</sup>)



CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI ORDINARI – AUTUNNO –  
ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

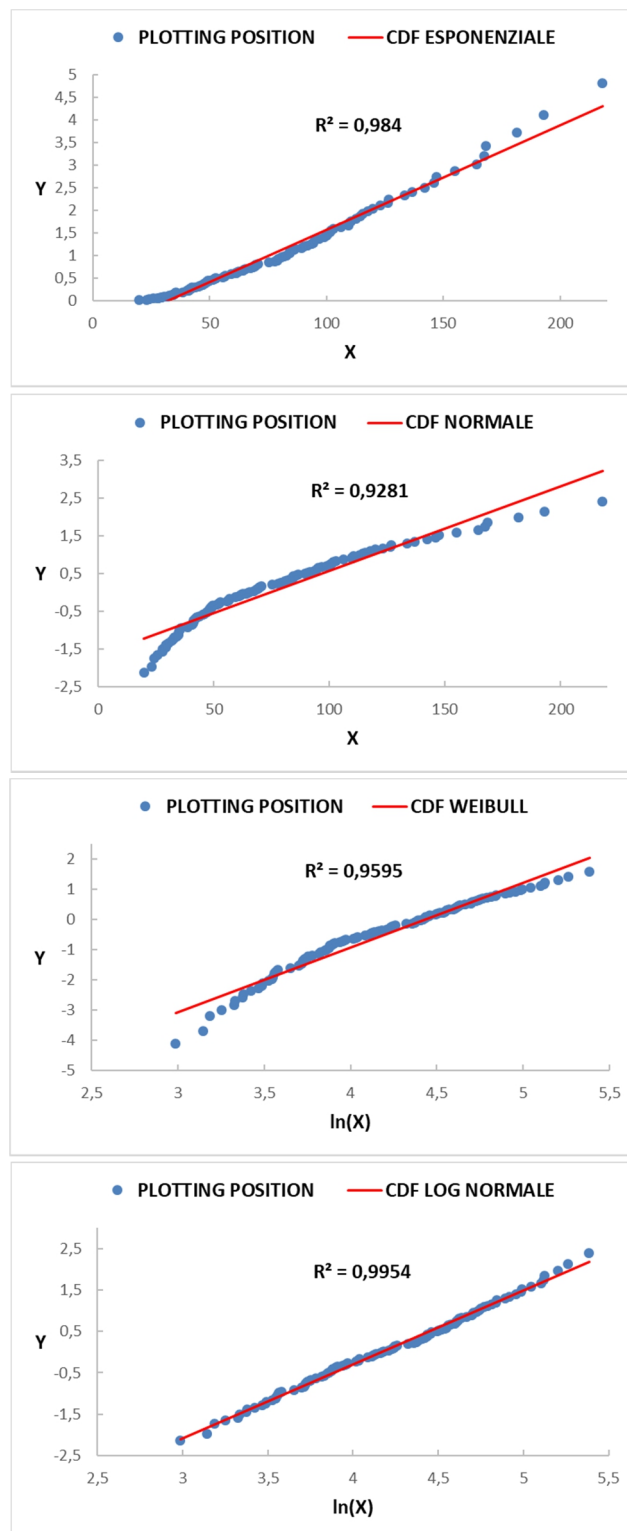


Figura B.53 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni ordinari – Autunno –  $H_{MAX}$  (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI ORDINARI – AUTUNNO –  
DURATA

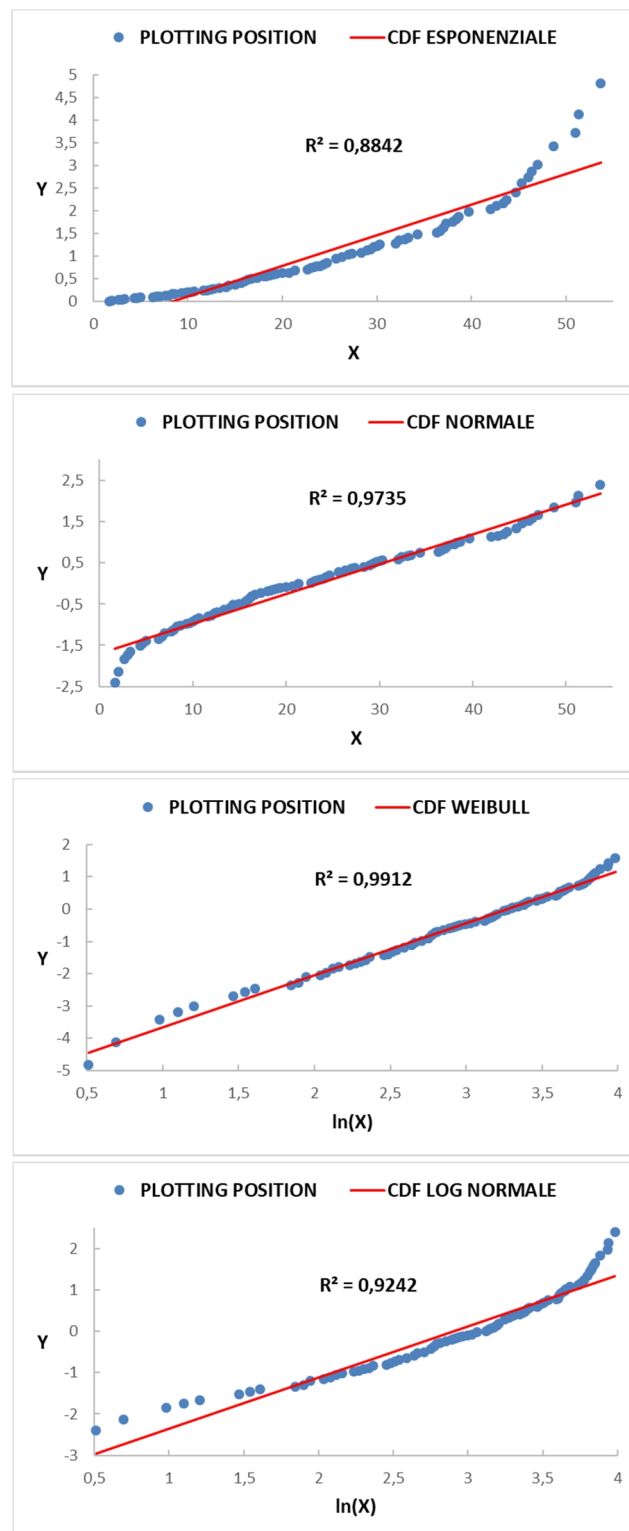


Figura B.54 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni ordinari – Autunno – D (ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – SOVERATO  
AREA

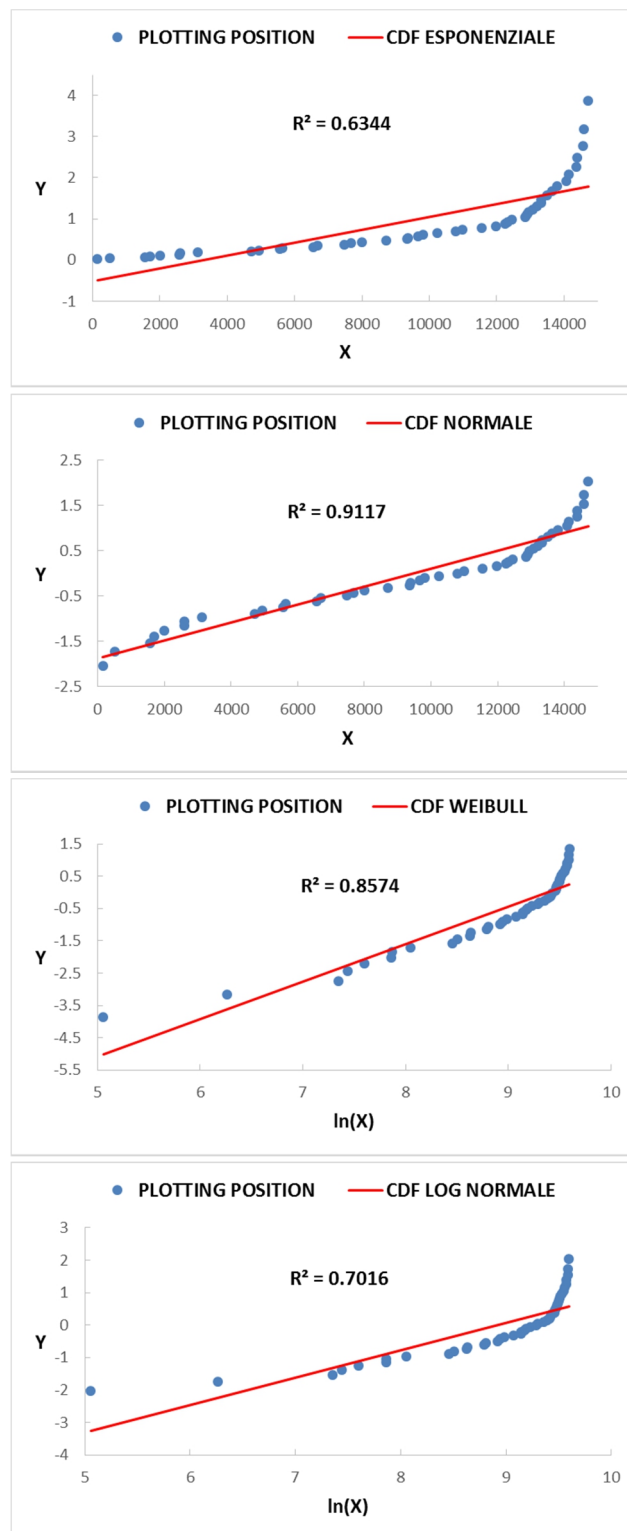


Figura B.55 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni straordinari – Soverato – A (km<sup>2</sup>)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – SOVERATO  
ALTEZZA MASSIMA DI PIOGGIA

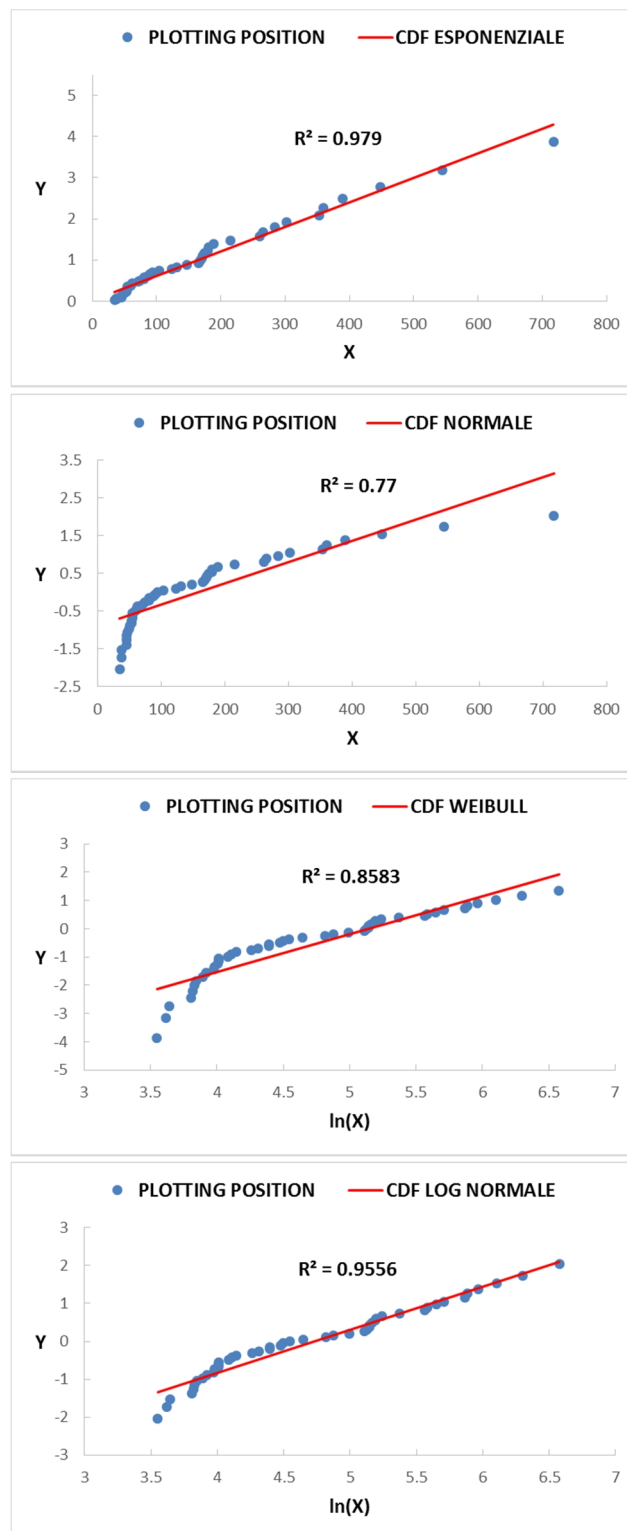


Figura B.56 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni straordinari – Soverato – H<sub>MAX</sub> (mm)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – SOVERATO  
DURATA

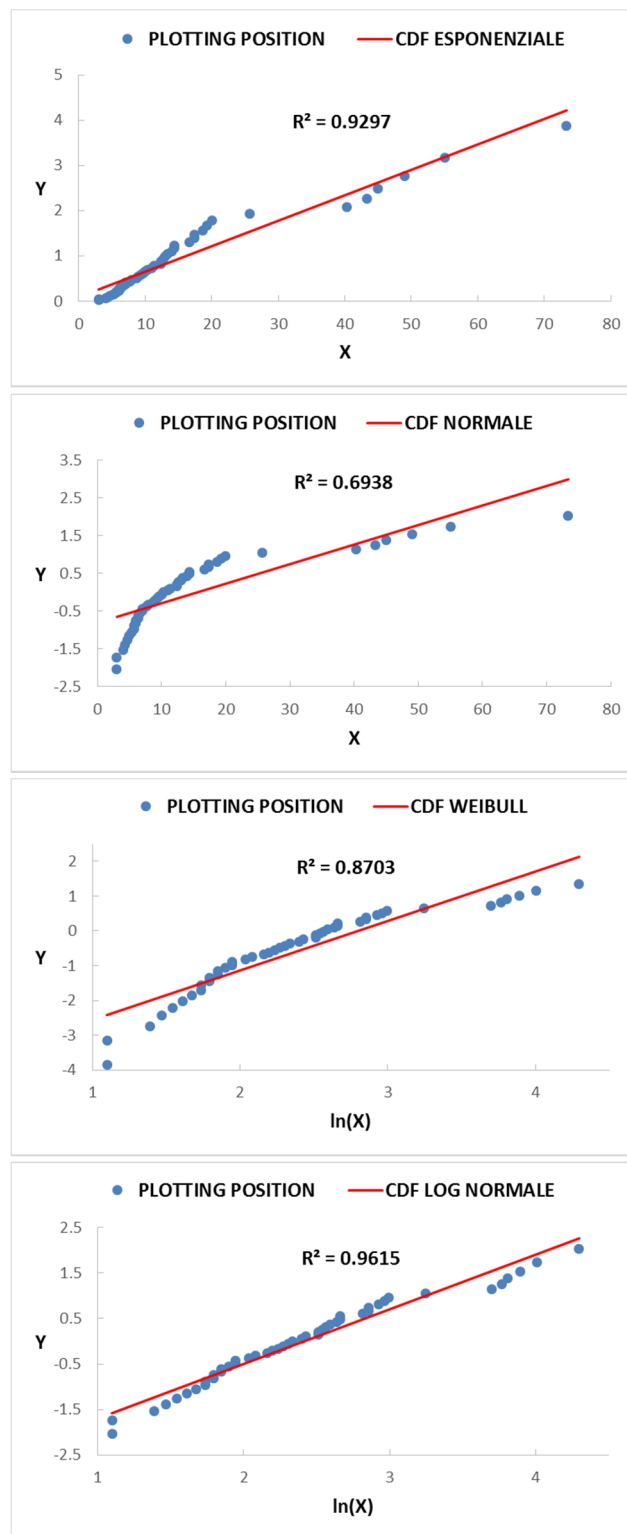


Figura B.57 – Cartogrammi probabilistici – Ciclone straordinario – Soverato – D (ore)

CARTOGRAMMI PROBABILISTICI – CICLONI STRAORDINARI – SOVERATO  
ALTEZZA LOCALE DI PIOGGIA

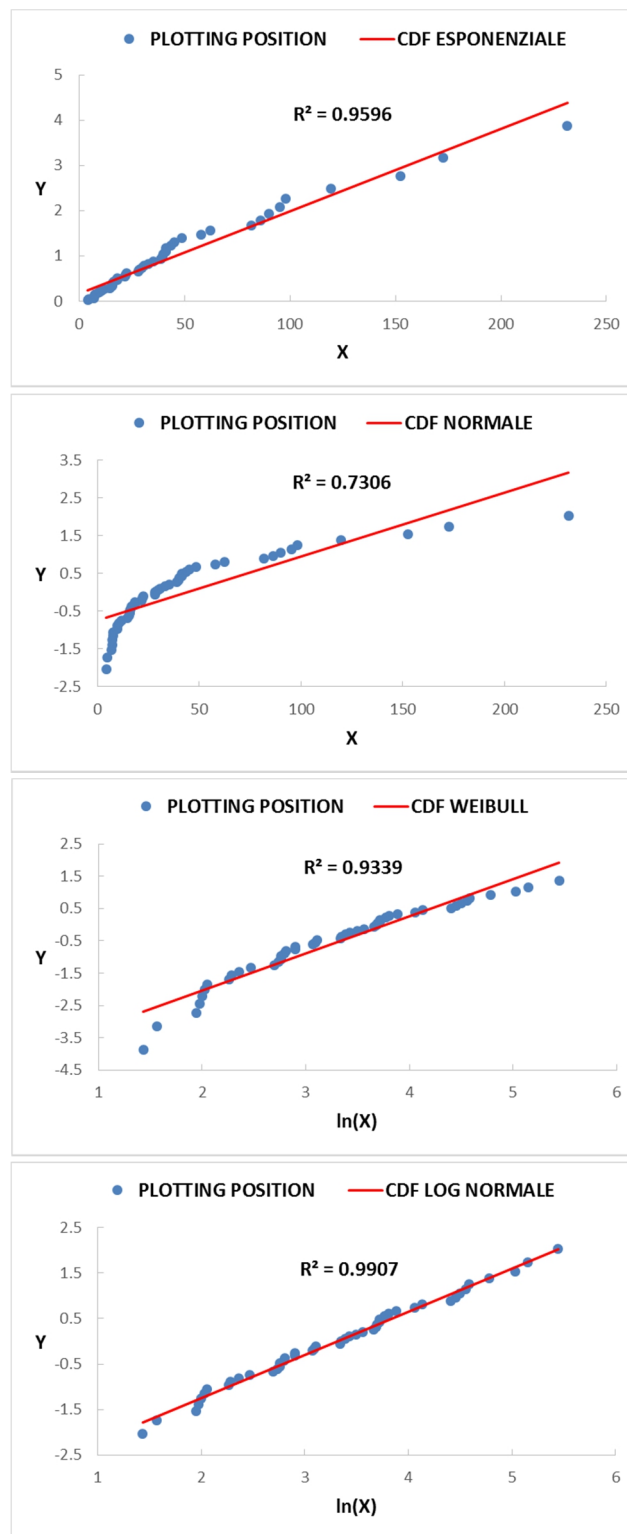


Figura B.58 – Cartogrammi probabilistici – Cicloni straordinari – Soverato –  $H_{\text{SOVERATO}}$  (mm)

**IETOGRAMMI SINTETICI**

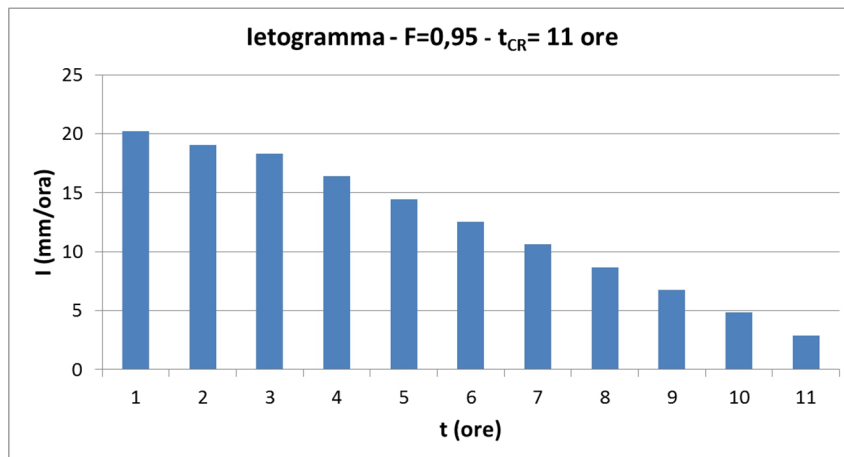


Figura B.59 – Ietogramma – Cicloni straordinari/BSC 0011 –  $F=0,95$  e  $t_{cr}=11$  ore – ipotesi pluviometro funzionante – Soverato

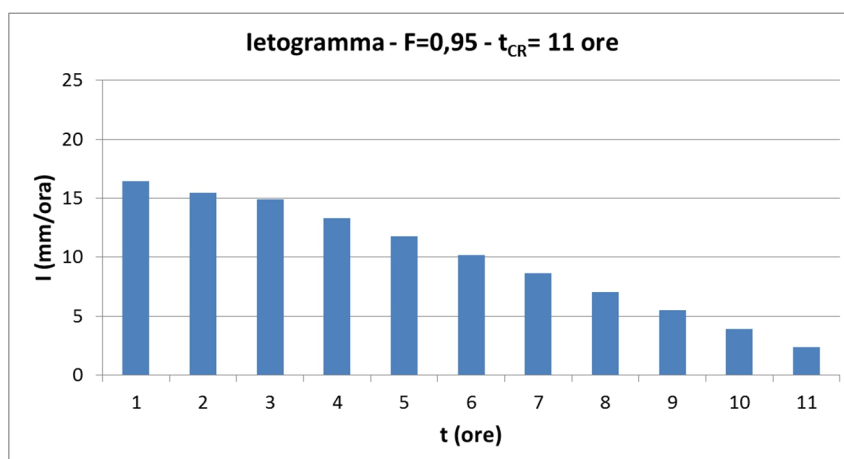


Figura B.60 – Ietogramma – Cicloni straordinari/BSC 0011 –  $F=0,95$  e  $t_{cr}=11$  ore – ipotesi pluviometro non funzionante o assente – Soverato

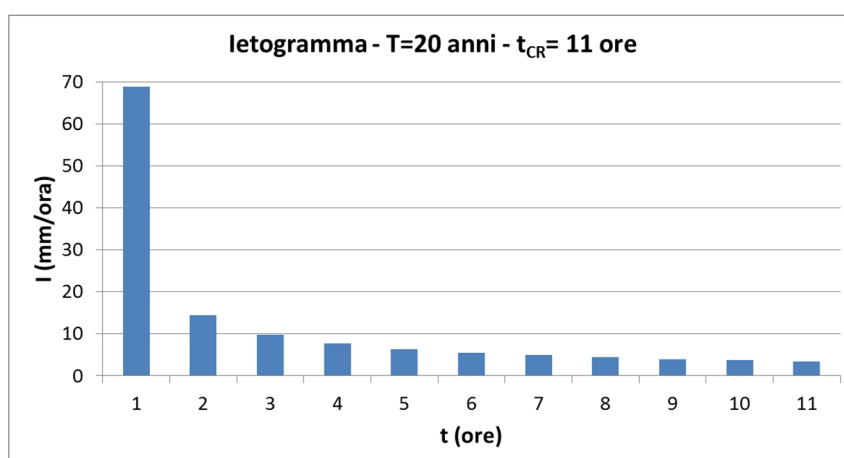


Figura B.61 – Ietogramma – Massimi annuali di precipitazione oraria –  $T=20$  anni e  $t_{cr}=11$  ore – Soverato

---

## BIBLIOGRAFIA

- Alpert P., Ben-Gai T., Baharad A., Benjamini Y., Yekutieli D., Colacino M., Diodato L., Ramis C., Homar V., Romero R., Michaelides S., Manes A. The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letter*, 29, 31-1–31-4, 2002.
- Bacchi B., Conati L. Estrapolazione spaziale delle piogge. In Bacchi B. (a cura di) *Metodi di ristrutturazione e progetto delle reti pluviometriche: 23-34*. Salerno: CNR – GNDICI, 1996.
- Browning K. A., Fankhauser J. C., Chalon F. P., Eccles P. J., Strauch R. C., Merrem F. H., Musil D. J., May E. L., and Sand W. R. Structure of an evolving hailstorm. Part V. Synthesis and implications for hail growth and hail suppression. *Mon. Weather Rev.* 104, 603-6 10, 1976.
- Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T. 2004. Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years. *Journal of Geophysical Research* 109: D05102, doi:10.1029/2003JD004296, 2004.
- Brunetti M., Buffoni L., Maugeri M., Nanni T. Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology* 26: 345–381, doi:10.1002/joc.1251, 2006.
- Brunetti M., Caloiero T., Coscarelli R., Gullà G., Nanni T., Simol C. Precipitation variability and change in the Calabria region (Italy) from a high resolution daily dataset. *International Journal of Climatology*, 32, 57–73, 2012.
- Cavicchia L., Von Storch H. The simulation of medicanes in an high-resolution regional climate model. *Clim Dyn* (2012) 39: 2273-2290, 2011.
- Chuckwuma G. O., Schwab, G. O. Procedure for developing design hyetographs for small watersheds, *Transactions ASAE*, 26(5), 1386–1389, 1983.
- D.L. 11 Giugno 1998, n. 180, in materia di “Misure urgenti per la prevenzione del rischio idro-geologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania”



- D.G.R. Calabria 24 Ottobre 2016, n. 408, in materia di “Prevenzione del rischio sismico – Adozione documento tecnico sui contesti territoriali e criteri di programmazione degli interventi”
- D.G.R. Calabria 15 Novembre 2017, n. 535, in materia di “Sistema di allertamento regionale per il rischio meteo-idrologico ed idraulico in Calabria”
- DIR. P.C.M. 27 Febbraio 2004 recante “indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile”
- Davolio S., Miglietta M.M., Moscatello A., Pacifico F., Buzzi A., Rotunno R. Numerical forecast and analysis of a tropical-like cyclone in the Ionian Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 551-562, 2009.
- De Luca C. Prevision and prevention of extreme hydrological events. *Tesi di dottorato*. Fisciano (SA), Italy, 2012.
- De Luca C., Furcolo P., Rossi F., Villani P., Vitolo C. Extreme Rainfall in Mediterranean. *International Workshop Advances In Statistical Hydrology*. Taormina, Italy, 2010.
- De Luca D.L., Galasso L. Stationary and Non-Stationay Frameworks for Extreme Rainfall Time Series in Southern Italy. *Water* 10(10):1477, doi: 10.3390/w10101477, 2018.
- Douguèdroit A, Norrant C. Annual and seasonal century-scale trends of the precipitation in the Mediterranean area during the twentieth century. *Mediterranean Climate-Variability and Trends*. Springer-Verlag: Berlin, 2003.
- Federico S., Avolio E., Pasqualoni L., Bellecci C. Atmospheric patterns for heavy rain events in Calabria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 1173–1186, 2008.
- Federico S., Avolio E., Pasqualoni L., De Leo L., Sempreviva A. M., Bellecci C. Preliminary results of a 30-year daily rainfall data base in southern Italy. *Atmospheric Research*, 94, 641-651, 2009.
- Federico S., Pasqualoni L., Avolio E., Bellecci C. Brief communication “Calabria daily rainfall from 1970 to 2006”. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 717–722, 2010.
- Garcia M., Peters-Lidard C.D., Goodrich D.C. Spatial interpolation of precipitation in a dense gauge network for monsoon storm events in the southwestern United States. *Water Resources Research*, (Vol. 44), W05S13, 2008.

- Gilbert R. O. Statistical methods for environmental pollution monitoring. *John Wiley & Sons*, New York, 1987.
- Houze R. A. Jr., Hobbs P.V. Organization and structure of precipitating cloud systems. *Advances in Geophysics* (Vol. 24): 225-315, 1982.
- Houze R. A., Jr. Structures of atmospheric precipitation systems – A global survey. *Radio Science*, 16, 671-689, 1981.
- Houze R. A. Jr. Stratiform precipitation in regions of convection: a meteorological paradox? *Bullettin of the American Meteorological Society* (Vol. 78, No. 10): 2179-2196, 1997.
- Huff F. A. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, 3, 1007–1019, 1967.
- Huff F. A. Time distributions of heavy rainstorms in Illinois. *Illinois State Water Survey, Champaign, Circular*, 173 pp., 1990.
- Hutchinson MF. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines: I two dimensional smoothing of data with short range correlation. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 2(2): 152-167, 1998a.
- Hutchinson MF. Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines: II analysis of topographic dependence. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 2(2): 168- 185, 1998b.
- Indicazioni Operative, Capo Dipartimento Protezione Civile, 10 Febbraio 2016, contenente “Metodi e criteri per l’omogeneizzazione dei messaggi del Sistema di allertamento nazionale per il rischio meteo-idrologico e idraulico e della risposta del sistema di protezione civile”
- IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi: 10.1017/CBO9781107415324, 2013.
- Kottegoda N. T., Kassim A. H. M. Classification of storm profiles using crossing properties. *Journal of Hydrology*, 127(1/4), 37–53, 1991.
- Kottegoda N. T., Rosso R. Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers. *McGraw-Hill*, 1997.

- Klein-Tank A.M., Winjgaard J.B., Können G.P., Böhm R., Demaree G., Gocheva A., Mileta M., Pashiardis S., Hejkrlik L., Kern-Hansen C., Heino R., Bessemoulin P., Müller-Westermeier G., Tzanakou M., Szalai S., Palsdottir T., Fitzgerald D., Rubin S., Capaldo M., Maugeri M., Leitass A., Bukantis A., Aberfeld R., Van Engelen A.F.V., Forland E., Mielus M., Coelho F., Mares C., Razuvaev V., Nieplova E., Cegnar T., Lopez J.A., Dahlstrom B., Moberg A., Kirchhofer W., Ceylan A., Pachaliuk O., Alexander L.V., Petrovic P. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology* 22: 1441–1453, doi:10.1002/joc.773, 2002.
- Lionello P., Malanotte-Rizzoli P., Boscolo R., Alpert P., Artale V., Li L., Luterbacher J., May W., Trigo W., Tsimplis M., Ulbrich U., Xoplaki E. The Mediterranean climate: an overview of the main characteristics and issues. In P. Lionello P., Malanotte-Rizzoli P., Boscolo R. (Eds) *Mediterranean Climate Variability*: 1-26, 2006.
- Llasat, M. C. An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features. Application to rainfall intensity in the north-east of Spain. *International Journal of Climatology*, 21, 1385-1400, 2001.
- Mastrangelo D., Horvat K., Riccio A., Miglietta M. M. Mechanism for convection development in a long lasting heavy precipitation event over southeastern Italy. *Atmospheric Research*, 10, 586-602, 2011.
- McMillian H., Krueger T., Freer J. Benchmarking observational uncertainties for hydrological: Rainfall, river discharge and water quality. *Hydrological Processes*, 26(26), 4078–4111. <https://doi.org/10.1002/hyp.9384>, 2012.
- Miglietta M. M., Laviola S., Malvaldi A., Conte D., Levizzani V., Prince C. Analysis of tropical-like cyclones over the Mediterranean sea through a combined modeling and satellite approach. *Geophysical Research Letters*, Vol.40, 2400-2405, 2013.
- Moisello U. *Idrologia Tecnica*. Pavia: La Goliardica Pavese s.r.l., 1999.
- Natural Environment Research Council (NERC): Flood Studies Report, Vol. 2, Meteorological studies, *Whitefriars Press Ltd.*, London, 81 pp., 1975.
- Piervitali E., Colacino M., e Conte M. Rainfall over the central-western Mediterranean basin in the period 1951– 1995, Part I: Precipitation trends, *Il Nuovo Cimento*, C21, 331– 344, 1998.

- Prudhomme C., Reed D.W. Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland. *International Journal of Climatology* 19: 1337-1356, 1999.
- Rao A.R., Chenchayya B.T. Probabilistic analysis and simulation of the short-term increment rainfall process. *Technical Report No. 55, Indiana Water Resources Research Center, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1974.*
- Reale O., Atlas R. Tropical Cyclone–Like Vortices in the Extratropics: Observational Evidence and Synoptic Analysis. *Weather and forecasting* (Vol. 16): 7-34, 2001.
- Rossi F., Fiorentino M., Vesace P. Two-component extreme value distribution for flood frequency analysis *Water Resources Research*, 20, 847-856, 1984.
- Rossi F., Scannapieco G., Villani P. Una proposta operativa per la rivalutazione del rischio idrogeologico di alluvione in Italia. *XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bologna, 14-16 Settembre, 2016.*
- Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data, *Proceedings of the 1968 ACM National Conference*, pp. 517-524, doi:10.1007/s00466-003-0532-2, 1968.
- Shroeer K., Kirchengast G., O S. Strong dependence of extreme convective precipitation intensities on gauge network density, *Geophysical Research Letters*, 45. <https://doi.org/10.1029/2018GL077994>, 2018.
- Sirangelo B., Versace P., De Luca D.L. Rainfall nowcasting by at site stochastic model P.R.A.I.S.E., *Hydrology and Earth System Science*, 11, doi:10.5194/hess-11-1341-2007, 2007.
- Sun, Q., Miao C., Duan Q., Ashour, H., Sorooshian S., Hsu K.-L. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56, 79–107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>, advanced online publication, 2018.
- Terranova O. G., Iaquina P. Temporal properties of rainfall events in Calabria (southern Italy), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 751–757, doi:10.5194/nhess-11-751-2011, 2011.
- Terranova O. G., Gariano S. L. Rainstorm able to induce flash floods in a Mediterranean-climate region (Calabria, southern Italy), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 2423–2434, doi:10.5194/nhess-14-2423-2014, 2014.

- Tous M., Romero R. Medicanes: cataloguing criteria and exploration of meteorological environments. *Journal of Mediterranean Meteorology & Climatology*: 53-61, 2011.
- Tous M., Romero R. Meteorological environments associated with medicane development. *International Journal of Climatology* 33: 1-14, 2012.
- Tous M., Romero R., Ramis C. Surface heat fluxes influence on medicane trajectories and intensification. *Atmospheric Research* 123, 400-411, 2012.
- Trigila A., Iadanza C., Bussetini M., Lastoria B. Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio. *ISPRA, Rapporti 287/2018* (ISBN 978-88-448-0901-0), 2018.
- Vilar E., Burgueño A. Analysis and modelling of time intervals between rain rate exceedances in the context of fade dynamics. *IEEE Transactions on Communications*, 39, 9, 1306-1312, 1991.
- Versace P. Criteri e metodi per la tipizzazione degli scenari di evento. *Accordo Dipartimento Protezione Civile-CAMILab*, 2016.
- Versace P., Sirangelo B., De Luca D.L. A space-time generator for rainfall nowcasting: the PRAISEST model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, doi:10.5194/hess-13-441-2009, 2009.
- Waymire E., Gupta V.K., Rodriguez-Iturbe I. A spectral theory of rainfall intensity at the meso-b scale. *Water Resources Research* (Vol. 20, No. 10): 1453-1465, 1984.
- Weibull W. A statistical distribution function of wide applicability, *Journal of Applied Mechanics* (Vol. 18, No. 3): 293-297, 1951.
- Wischmeier W. H., Smith D. D. Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning, Agricultural Handbook 537, USDA, *Agricultural Research Service*, Washington DC, 58 pp., 1978.
- Yu Z. W. Surface interpolation from irregularly distributed points using surface splines, with Fortran program. *Computers & Geosciences* 27, 877–882, 2001.