

CONSORZIO PER L'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI BARI

Via delle Dalie, 5 - Z.I. - 70026 - Modugno (Ba)

080.964.16.00-fax080.990.43.06 P.I./C.F.:00830890729

PROGETTO DEFINITIVO

DATA

27/ 10/2016

Interventi di salvaguardia idraulica della zona ASI di Molfetta

Affidamento progettazione
Deliberazione CdA n. 146 del
29/07/2016

CODICE ELABORATO

D.4

SCALA

Relazione Idrologica

IL PROGETTISTA :

Ing. Simone Milella

Assistenza e Supporto progettazione :

Ing. Salvatore Vernole

(Deliberazione presidenziale n. 268 del 05/08/2016)

Arch. Ottavio Felice Morea

(Deliberazione presidenziale n. 312 del 30/09/2016)

Ing. Michele Vitti

(Deliberazione presidenziale n. 331 del 12/10/2016)

Per presa visione
IL R.U.P.:

Ing. Giuseppe A. LATROFA

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	3
3. ANALISI MORFOLOGICA E INDIVIDUAZIONE DEI BACINI SCOLANTI.....	6
3.1 <i>Modello digitale del terreno</i>	6
3.2 <i>Individuazione dei bacini tributari e loro parametri caratteristici</i>	8
3.3 <i>Calcolo della suscettività al ruscellamento dei suoli del bacino secondo il metodo SCS-CN</i>	10
4. ANALISI IDROLOGICA.....	13
4.1 <i>Analisi pluviometrica generale</i>	13
4.2 <i>Applicazione del modello afflussi – deflussi : Metodo SCS-CN</i>	19
4.3 <i>Calcolo degli idrogrammi di piena e delle portate al picco per i bacini completi</i>	20
4.4 <i>Evento alluvionale del 16 luglio 2016</i>	23
4.5 <i>Analisi pluviometrica dell'evento del 16 luglio 2016</i>	26
4.5.1. <i>Dati disponibili</i>	26
4.5.2. <i>Test Statistico e Curve di Possibilità Pluviometrica</i>	31
4.5.3. <i>Metodo VaPi Puglia</i>	34

1. PREMESSA

Il progetto della realizzazione delle opere di salvaguardia impone una approfondita conoscenza di tutti quei fenomeni che a partire dall'afflusso di acqua come precipitazione, interagendo con la morfologia del territorio e del relativo substrato litologico, portano alla formazione delle piene con le quali progettare gli interventi di messa in sicurezza in funzione dei tempi di ritorno previsti dalle norme.

Lo studio di tali fenomeni interconnessi, viene descritto nella presente relazione idrologica che analizza tutti i processi, parametrizzando i dati, al fine di determinare i parametri di progetto (idrogrammi di piena) necessari alla progettazione dell'opera.

Lo studio idrologico è stato eseguito secondo l'applicazione delle metodologie indicate dall'Autorità di Bacino della Puglia, simulando la propagazione dei deflussi pluviometrici che ricadono nei topoi di riferimento dei bacini tributari, per eventi con tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

La complessità dello studio svolto ha dato luogo allo sviluppo di più fasi che vengono nel seguito elencate:

Fase Preliminare

- Indagine conoscitiva preliminare dell'area di esame;
- verifica ed analisi del reticolo idrografico;
- delimitazione dei bacini idrografici;
- attività di campo e ricognizione dei luoghi;
- individuazione preliminare delle principali criticità presenti sul territorio studiato;
- acquisizione dei dati geometrici e topografici delle sezioni di interesse sull'area oggetto di studio.

Analisi Idrologica

- Applicazione della Metodologia VAPI;
- definizione delle curve di possibilità pluviometrica;
- Implementazione dei modelli afflussi-deflussi;
- calcolo dei volumi di deflusso nell'area oggetto di studio;

Nella relazione idraulica si analizzano gli effetti al suolo degli idrogrammi individuati verificando l'opera dimensionata che dovrà essere in grado di collettare i deflussi intercettati verso il canale in condizioni di sicurezza idraulica.

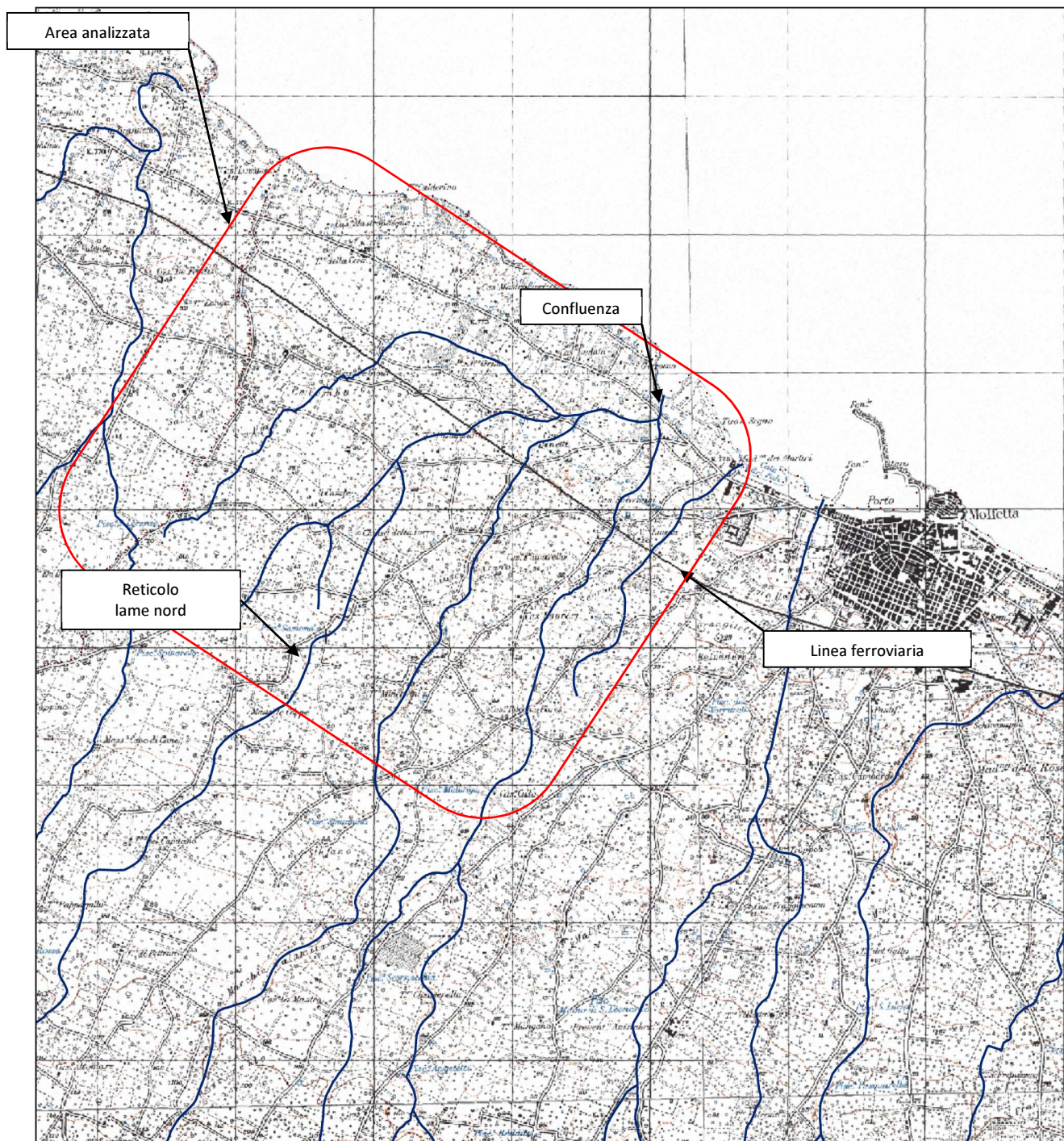
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

L'area oggetto del presente studio riguarda la porzione del territorio comunale di Molfetta investita dalle cosiddette lame nord, ossia da ovest verso est la *lama Dell'Aglio*, la *lama Savorelli*, la *lama Marcinase* e la *lama Scorbeto*.

I fenomeni di piena che investono dette lame riguardano l'intera area industriale che va dai confini comunali con Bisceglie sino alla città di Molfetta, compresa la zona PIP.

L'area oggetto di studio è attualmente interessata da ampie perimetrazioni a diversa pericolosità idraulica del vigente PAI e anche da reticoli idrografici inseriti nella carta idrogeomorfologica della Regione Puglia.

Si rileva nell'area, anche la presenza di un canale artificiale che recapita a mare i deflussi del depuratore Ruvo-Terlizzi (denominato nel presente progetto "*Savanella*"), di cui si perde traccia al di sotto di alcuni stabilimenti edificati nel recente passato. Il canale in parola, che a valle dell'autostrada Adriatica – A14 abbandona il percorso della lama Dell'Aglio e si dirige verso la zona ASI di Molfetta, risulta essere stato realizzato esclusivamente per rilasciare a mare lo scarico del depuratore suddetto, presenta pertanto dimensioni poco significative per le portate di piena che viceversa riguardano le problematiche di difesa del suolo. Per questo motivo detto manufatto non verrà inserito come elemento monodimensionale nel dominio 2D che si descriverà nella relazione idraulica.



Inquadramento dell'area di interesse su base IGM 1:25000 con indicazione del reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica della Regione Puglia (linee blu)



Inquadramento dell'area su ortofoto con indicazione del reticolo idrografico riportato sulla Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia

3. ANALISI MORFOLOGICA E INDIVIDUAZIONE DEI BACINI SCOLANTI

L'approccio utilizzato per affrontare e risolvere le problematiche oggetto del presente studio parte da un'analisi a scala di bacino dei processi idrologici ed idraulici determinati dagli eventi meteorici estremi i cui effetti al suolo sono fortemente influenzati dallo stato dei luoghi, sia per l'aspetto della geomorfologia degli stessi sia dal punto di vista della loro destinazione d'uso.

Nel caso in esame dovendo verificare gli effetti di piogge intense sulla porzione di territorio residua rispetto al canale deviatore in progetto, si è considerato l'intero dominio a valle del canale deviatore costituito dall'insieme dei bacini residui di tutte le lame nelle figure precedenti indicate, ovvero l'intero bacino residuo chiuso a cala San Giacomo (lame Nord).

3.1 Modello digitale del terreno

Nel presente studio, al fine di ricavare un modello digitale del terreno sufficientemente dettagliato, si è fatto riferimento ai seguenti dati cartografici disponibili:

- Cartografia IGM in scala 1:25000;
- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:5000;
- Aerofotogrammetrico anno 2010 commissionato dal Consorzio ASI
- Rilievo di dettaglio dei manufatti presenti nell'area oggetto di studio, realizzato con strumentazione GPS di altissima precisione;
- Rilievo aereo Laser-Scanner (LIDAR) realizzato per l'occorrenza;
- Ortofoto.

La base di partenza per l'ottenimento dei bacini idrografici, grazie alle moderne tecnologie disponibili, è sicuramente il modello digitale del terreno. Quanto più il modello digitale del terreno approssima il reale andamento morfologico dei luoghi, tanto più simile alle situazioni reali saranno le determinazioni rinvenienti dall'analisi morfologica. Il livello di dettaglio del modello digitale del terreno è strettamente legato al tipo di "dato grezzo" di partenza ovvero maggiore è il livello di dettaglio della cartografia disponibile migliore sarà la qualità del modello digitale del terreno da essa derivato.

Nel caso in esame si può certamente affermare che il numero di elementi disponibili è congruo per una analisi approfondita ed esaustiva dei livelli di pericolosità idraulica presenti, nello specifico il rilievo topografico di dettaglio ha consentito di acquisire tutti quegli elementi quali attraversamenti, fabbricati, recinzioni, ecc., che intersecano il percorso idraulico dei deflussi di piena. Il rilievo Lidar ha fornito la base topografica uniforme ed estremamente dettagliata, indispensabile per la definizione topografica complessiva del dominio di calcolo.

L'elaborazione di tutti gli elementi suddetti ha permesso di ricostruire il Modello Digitale del Terreno. Il Modello Digitale del Terreno (DEM) è una rappresentazione tridimensionale georeferenziata della regione oggetto di studio.

I DEM possono essere di tipo Grid o di tipo TIN (Triangulated Irregular Network). I DEM sotto forma di Grid, grazie alla distribuzione uniforme di informazioni e alla possibilità che essi danno di trattare i dati direttamente in forma matriciale, sono preferibili rispetto ai TIN.

In tutti i modi al fine di generare una procedura standard di acquisizione dei dati e della loro elaborazione, si rende necessario un controllo preliminare sulla qualità delle informazioni di partenza per la loro utilizzazione successiva.

Per un'analisi geomorfologica del territorio, i dati di base relativi alle altimetrie possono essere elaborati per la generazione di un modello tridimensionale del territorio, tale da consentire analisi sulla morfologia della superficie.

In molti software commerciali come ARCINFO, sono disponibili varie procedure per la generazione del modello tridimensionale del terreno, che costituirà la base per successive elaborazioni ed analisi che prendano in considerazione non solo la localizzazione topografica dei punti ma anche la loro elevazione altimetrica: viene così generato un modello digitale del terreno che contiene una nuova informazione relativa alla quota.

La realizzazione del TIN parte dall'analisi dei punti quotati e delle curve di livello quotate in possesso. Grazie all'ausilio di specifici software è possibile elaborare i dati in modo da ottenere una superficie data da un'interpolazione di tipo lineare delle quote dei punti e delle curve di livello. Risulta ovvio come l'elaborazione effettuata su un numero di dati più fitti riduce sensibilmente l'approssimazione dovuta al tipo di interpolazione.

Ottenuto il TIN, utilizzando appositi algoritmi di conversione, è possibile passare al formato di rappresentazione matriciale o Grid. In alternativa, procedura adottata nel caso in esame, è possibile direttamente l'elaborazione dei dati topografici di partenza finalizzata alla restituzione del DEM formato Grid.

La modalità Grid permette di analizzare la superficie topografica in modo radicalmente più complesso rispetto alla modalità TIN. Come per ogni modulo di Arc/Info viene usata una modalità georelazionale per l'elaborazione dei dati geografici. La peculiarità sta nel fatto che nei Grid, l'elaborazione dei dati è basata sulla combinazione di un modello spaziale basato sulla suddivisione del territorio in porzioni quadrate di dimensioni che possono essere scelte in base alle necessità di dettaglio richieste, dette celle, e un modello correlato di attributi associati; in questo caso si è scelto di lavorare con celle di 5m di lato per le elaborazioni morfologiche ed idrauliche condotte, descritte più avanti.

Le celle sono posizionate nello spazio in base all'andamento della superficie topografica, e contengono un valore che descrive le caratteristiche del territorio secondo tematismi scelti in base alle necessità di analisi. Tali valori costituiscono un vero e proprio database associato alle singole celle, permettendo di analizzare la variazione dei parametri in modo continuo lungo la superficie topografica.

I valori degli attributi delle celle di un grid possono essere quindi elaborati in modo matematico o statistico, o ancora raggruppati in classi di valori discreti, garantendo comunque in ogni elaborazione la corretta georeferenziazione dei valori.

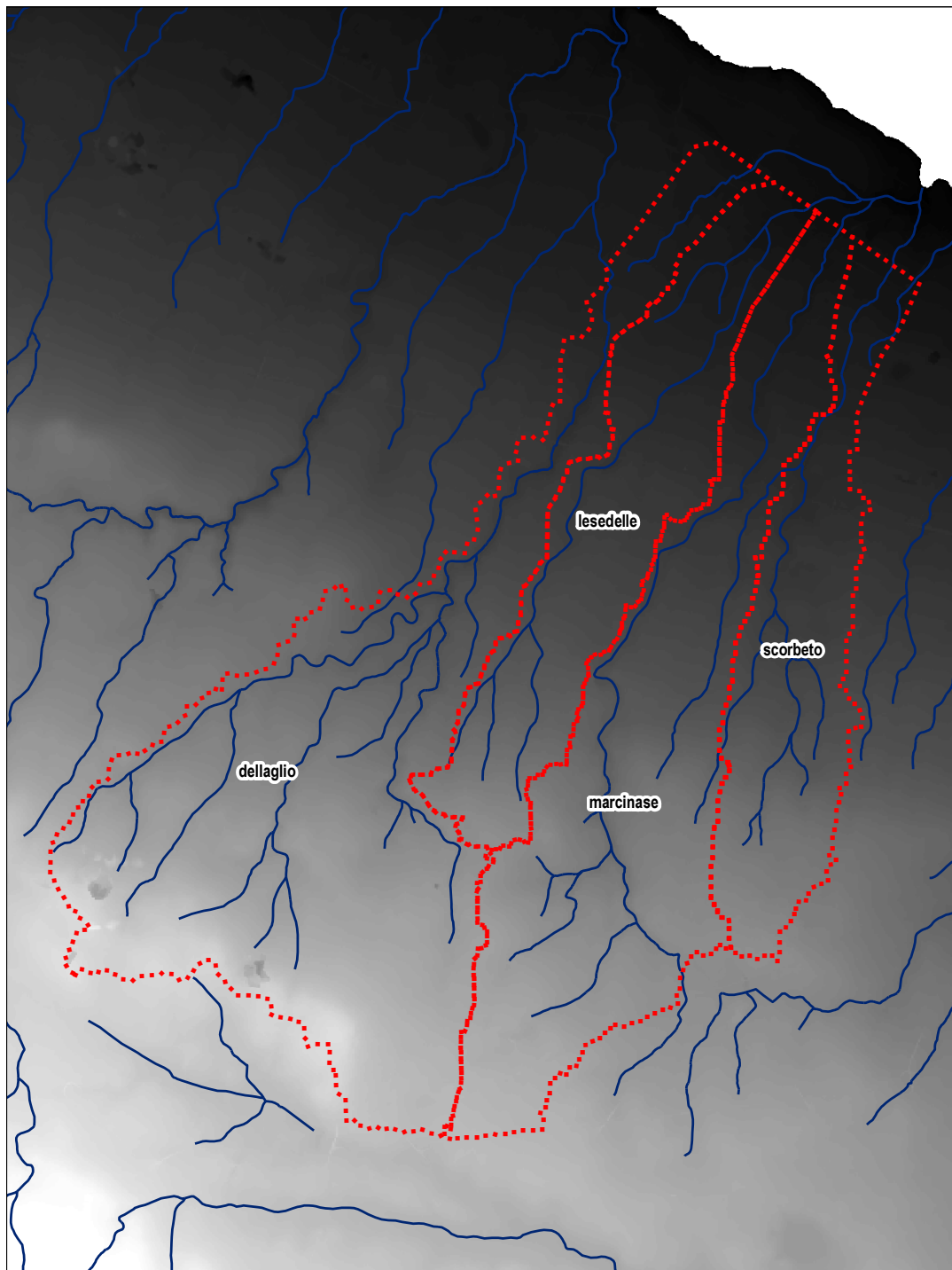
3.2 Individuazione dei bacini tributari e loro parametri caratteristici

L'individuazione del bacino scolante costituisce un passaggio fondamentale al fine di giungere alla determinazione delle portate al picco di piena. I parametri individuati da questo tipo di analisi costituiscono una parte dell'input dei modelli idrologici e idraulici applicati nel seguito. Per questo motivo è importante investire risorse sufficienti in modo da avere la maggiore certezza possibile sui risultati ottenuti.

La base dati principale sulla quale è basata l'analisi morfologica è rappresentata dal modello tridimensionale del terreno. Il modello del terreno, rappresentato nelle tre dimensioni, consente di effettuare valutazioni sull'altimetria dei luoghi, sulle pendenze, sul deflusso delle acque, ecc.; pertanto maggiore è la precisione del modello, intesa anche come densità di punti disponibili, e più attendibili sono le valutazioni che si possono fare.

Dall'analisi del modello digitale del terreno, determinato attraverso l'applicazione di software di elaborazione tipo GIS così come descritto nel paragrafo precedente, è stato possibile determinare il bacino idrografico afferente alla sezione di chiusura tirata in corrispondenza del sito di interesse per il presente studio e determinare le caratteristiche morfometriche di cui necessita l'elaborazione idrologica.

I bacini completi per tutte le lame che interessano la zona ASI e le loro caratteristiche morfometriche sono indicate nel seguito.



Rappresentazione dei bacini idrografici tributari alle sezioni di chiusura

nome	area_kmq	h_max_m	h_med_m	h_min_m	i_med_perc	flegth_km
dellaglio	27.173901	277.69199	174.468	19.6959	3.99435	22439.6
scorbeto	9.44071	189.373	108.188	18.232901	3.06288	13640.1
lesedelle	11.099	191.666	95.806198	15.8668	2.6962	16909.4
marcinase	18.522699	235.42	142.18201	14.7586	3.21379	21262.1

Caratteristiche fisiche dei bacini contribuenti completi

L'opera idraulica in progetto parzializza significativamente i bacini come è evidente nella figura sotto indicata. I bacini residui sono stati raggruppati in un'unica area scolante di cui si sono ricavati i parametri morfometrici.

3.3 Calcolo della suscettività al ruscellamento dei suoli del bacino secondo il metodo SCS-CN

Infine, fra le caratteristiche fondamentali da determinare per poter effettuare l'analisi idrologica, con specifico riferimento al metodo sviluppato dalla Soil Conservation Service, vi è il parametro "CN2" che individua, attraverso l'analisi geolitologica dei suoli del bacino, la capacità di risposta in termini di infiltrazione e ruscellamento a fronte di un evento di pioggia del bacino. Le caratteristiche geolitologiche sono state determinate facendo riferimento alla carta dei suoli redatta dall'IRSA CNR in scala 1:100.000, ed è stato possibile caratterizzare i suoli dal punto di vista della permeabilità secondo la classificazione SCS.

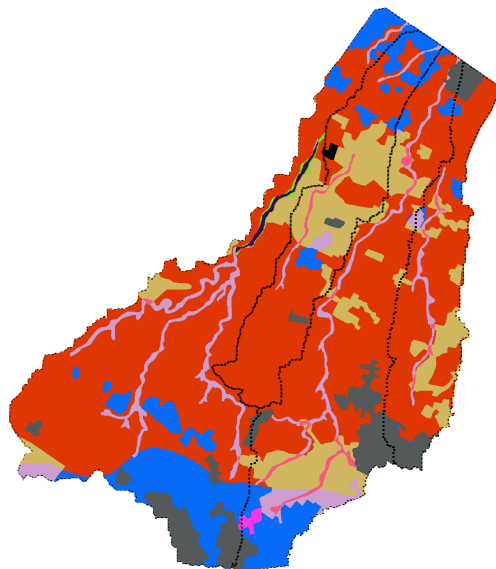
Gruppo A	Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde, con scarso limo ed argilla e ghiaie profonde, molto permeabili. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
Gruppo B	Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
Gruppo C	Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
Gruppo D	Potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

Gruppi geolitologici

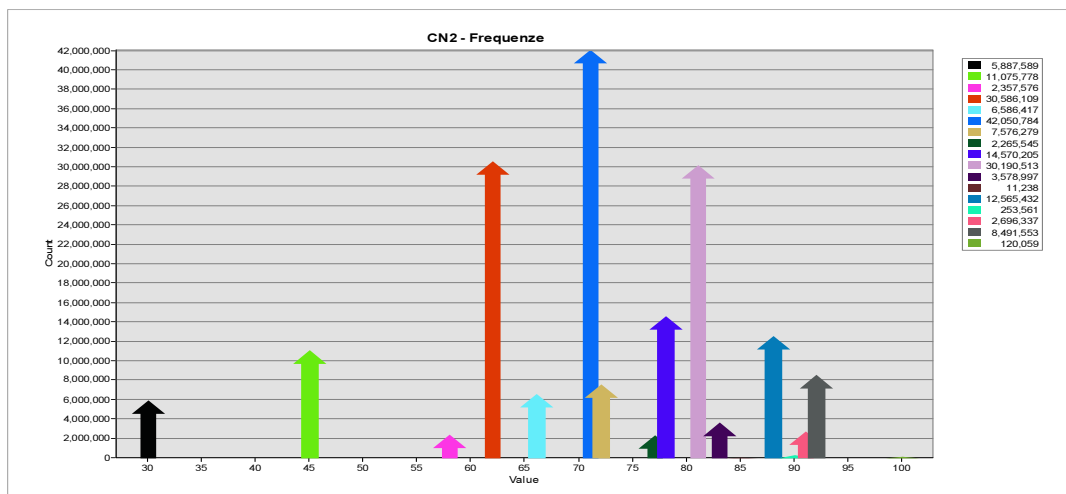
Nell'ambito delle differenti classi di permeabilità così individuate, attraverso un calcolo ponderale basato sui dati acquisiti dalla carta dell'uso del suolo, si distinguono e si individuano le classi di CN per ogni sottobacino analizzato. Nel caso in esame, come carta di uso del suolo, si è fatto riferimento allo studio ACLA condotto dal CHIEAM-BARI in cui sono state individuate le seguenti classi alle quali sono stati associati i parametri di CN riscontrati in letteratura scientifica.

Uso del Suolo	A	B	C	D
<ul style="list-style-type: none"> Aree agricole con presenza di spazi naturali Seminativi in aree non irrigue Vigneti non irrigui Colture temporanee associate a colture permanenti Frutteti e frutti minori non irrigui 	62	71	78	81
Aree Urbane	92	92	92	92
Area residenziale	77	85	90	92
Bacini d'acqua	100	100	100	100
<ul style="list-style-type: none"> Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo Colture orticole a ciclo estivo Colture orticole a ciclo autunnale/primaverile Colture orticole a ciclo primaverile-estivo Frutteti e frutteti minori irrigui Oliveti irrigui Sistemi colturali e particellari complessi Vigneti irrigui Sistemi colturali e particellari complessi Vigneti irrigui 	72	81	88	91
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Zone Boscate	45	66	77	83

valori del CN in funzione del gruppo geolitologico e dell'uso del suolo



Rappresentazione delle classi del Curve Number dei bacini idrografici completi



Classi CN presenti nei bacini individuati con la relativa frequenza di copertura.

Bacino	BASINCN (AMC=II)
Dell'Aglio	67.505
Le Sedelle	66.582
Marcinase	69.689
Scorbeto	67.769

Valori del CN II per i bacini completi

Poiché lo studio è rivolto al calcolo delle portate di piena e considerato che in occasione di queste ultime è fondamentale la condizione di imbibimento del terreno, il metodo SCS-CN fa riferimento a tre diverse situazioni di umidità antecedenti all'evento considerato:

Classe AMC	Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)
I (Terreno secco)	0<P<50
II (Umidità media)	50<P<110

III (Terreno da mediamente umido a saturo)	P>110
---	-------

classi AMC (Antecedent Moisture Conditions)

I valori di CN corrispondenti alle classi AMCI e AMCIII si determinano dal valore del CN relativo alla classe AMCII applicando le seguenti relazioni:

$$FI = 0,3 + 0,00636CN \quad \text{valida per} \quad 20 \leq CN \leq 95$$

$$FIII = 3,4212 - 1,1999 \log CN$$

Per le valutazioni idrologiche, che verranno descritte più avanti nel dettaglio, si anticipa che si farà riferimento ad un doppio approccio in modo da poter simulare realisticamente le pericolosità residue a valle della realizzazione del primo e del secondo stralcio.

4. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica risulta di importanza fondamentale per il prosieguo dello studio in quanto consente di determinare le portate di ingresso, nelle sezioni di chiusura, che verranno indicate più avanti, da utilizzare come input nel modello di calcolo idraulico descritto nel paragrafo successivo.

In realtà in questo caso, vista la particolarità dei modelli idraulici che sono stati utilizzati, il dato di ingresso deve necessariamente essere l'idrogramma di piena in quanto l'analisi idraulica è condotta in moto vario.

Per l'analisi idrologica, così come riportato nella normativa vigente sulla difesa del suolo, è possibile far riferimento allo studio sulla Valutazione delle Piene (VAPI) che riguarda la Puglia effettuato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, conformemente al DPCM del 29/09/1998 e alla Relazione di Piano allegata al PAI approvato con delibera n.39 del 30/11/2005.

Nel VAPI l'analisi idrologica è basata sulla legge di distribuzione statistica TCEV (Rossi et al. 1984); la peculiarità di questo modello è quella di riuscire a considerare anche gli estremi idrologici, che sono di fatto gli eventi che inducono un livello di pericolosità più elevato, riconducendosi al prodotto di due funzioni di distribuzione di probabilità tipo Gumbel, una che riproduce l'andamento degli eventi ordinari e l'altra che riproduce l'andamento degli eventi eccezionali.

L'analisi idrologica effettuata viene affrontata effettuando le seguenti valutazioni:

- Analisi pluviometrica;
- Applicazione dei modelli afflussi-deflussi;

4.1 Analisi pluviometrica generale

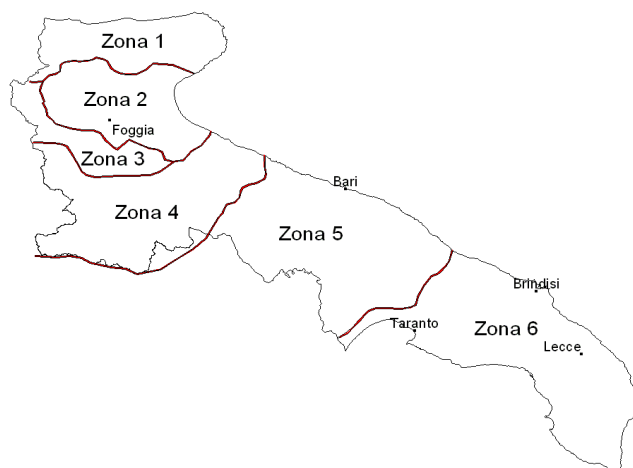
Al fine di calcolare gli idrogrammi di piena da utilizzare come input nei modelli di calcolo idraulici è necessario, in prima battuta, stabilire gli ietogrammi di pioggia che consentiranno di applicare i modelli afflussi-deflussi per la determinazione delle portate di piena. Per questo motivo è necessario effettuare un'analisi statistica degli eventi piovosi verificatisi in passato che, attraverso l'analisi di un campione significativo di dati storici, consente di determinare le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) dalle quali si determina lo ietogramma di pioggia.

Per far fronte alle indicazioni dell'Autorità di Bacino della Puglia, in linea tra l'altro con la normativa nazionale, in questo studio viene applicata la metodologia di analisi riportata nel VAPI Puglia, fondata sulla funzione di distribuzione di probabilità (fdp) TCEV che verrà brevemente descritta nel seguito.

La TCEV ha la caratteristica di conferire al modello idrologico maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle serie di dati disponibili, tuttavia occorre disporre di una serie storica di dati sufficientemente lunga per non incorrere in errori di campionatura. Per ovviare a questo problema il GNDCI

ha messo a punto una procedura di *regionalizzazione* (Beran et al. 1986) che ha permesso di determinare i parametri della TCEV su tutto il territorio pugliese estendendo, in questo modo, la lunghezza delle serie storiche.

In Puglia la procedura di regionalizzazione ha individuato 6 zone omogenee la cui individuazione è rappresentata nella figura seguente.



zone omogenee della Puglia

Le relazioni che regolano ognuna delle sei zone sono le seguenti:

$$\begin{aligned}
 \text{Zona 1: } & x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503 z)/3.178]} \\
 \text{Zona 2: } & x(t) = 22.23 t^{0.247} \\
 \text{Zona 3: } & x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0896+0.00531 z)/3.178]} \\
 \text{Zona 4: } & x(t) = 24.70 t^{0.256} \\
 \text{Zona 5: } & x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]} \\
 \text{Zona 6: } & x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}
 \end{aligned}$$

In particolare i bacini analizzati ricadono nella **zona omogenea numero 5**.

Pertanto, conformemente al DPCM 29/09/98 ed a quanto previsto dalla relazione di piano del PAI, si è provveduto a calcolare la CPP mediante l'applicazione della metodologia VaPi¹ (Valutazione Piene); tale nota applicazione si basa, come detto, sulla regionalizzazione dei dati pluviometrici attraverso una FDP di tipo TCEV (two components extreme value).

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato quindi adottato il modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito,

¹ Da **rapporto sintetico** sulla Valutazione Piene redatto dal CNR-GNDCI, a cui si rimanda per ogni opportuno approfondimento e confronto (<http://caronte.gndci.cs.cnr.it/GNDCI/rapporti/Bari.htm>)

in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al 1984). Il modello proposto ammette, che le due componenti quella straordinaria e quella ordinaria appartengano a popolazioni diverse, tuttavia interferiscono tra loro seguendo un processo poissoniano. Il processo individua una variabile X che rappresenta il massimo valore in una certa durata D , di una variabile casuale Y distribuita secondo la miscela di due esponenziali (Y_1 e Y_2) con funzione di probabilità cumulata (CDF):

$$FY(y) = [Y \leq y] = p(1 - e^{-y/\Theta_1}) + (1-p)(1 - e^{-y/\Theta_2}); \quad Y \geq 0 \quad 0 < p \leq 1$$

dove gli indici 1 e 2 si riferiscono alla componente ordinaria e straordinaria e p indica la proporzione della prima componente nella miscela.

Il numero di occorrenze K , cioè il numero di superamenti della variabile Y , in una durata D , è distribuito secondo la legge di Poisson con parametri uguali a Λ_1 e Λ_2 tali che:

$$\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 = E[Kt]$$

in cui Λ rappresenta la funzione parametro del processo, espressa come la media dei superamenti. Ipotizzando che Y_1 e Y_2 siano distribuite esponenzialmente con valori medi:

$$\Theta_1 = E[Y_1] \quad \Theta_2 = E[Y_2]$$

l'equazione diventa:

$$Fkt(k) = \exp [-\Lambda_1 \exp(-k/\Theta_1) - \Lambda_2 \exp(-k/\Theta_2)]$$

che definisce la distribuzione TCEV.

La probabilità p_2 che un certo valore della X provenga dalla componente straordinaria è espresso dalla relazione:

$$p_2 = -\Lambda_*/\Theta_* \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j / j! \Lambda_*^j \Gamma(j+1/\Theta_*)$$

nella quale Γ è la funzione speciale e:

$$\Theta_* = \Theta_2/\Theta_1, \quad \Lambda_* = \Lambda_2/(\Lambda_1^{1/\Theta_*})$$

Se si dispone di un campione $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ della variabile X (massimo annuale delle Y) osservato in n anni, la stima dei parametri della distribuzione può essere effettuata utilizzando le serie dei massimi annuali applicando il metodo della massima verosimiglianza (ML).

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria (G), quindi risultano costanti i due parametri Θ_* e Λ_* ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il

coefficiente di variazione, e quindi il parametro Λ_1 che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità della X e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento.

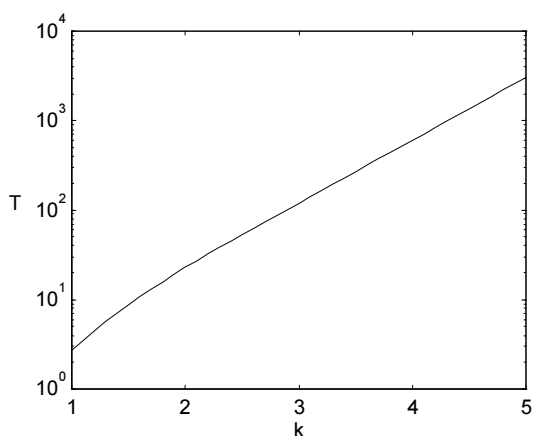
L'analisi condotta per l'intero territorio pugliese suggerisce la presenza di una unica zona omogenea di primo livello (cioè caratterizzate dalla costanza di Θ^* e Λ^*), comprensiva di tutte le stazioni della Puglia, e di due sottozone omogenee al secondo livello.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV (CV e G), è utile rappresentare la legge $F(Xt)$ della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata Xt come prodotto tra il suo valore medio $\mu(X_t)$ ed una quantità KT, t , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno T e della durata t , definito dal rapporto:

$$K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t) \quad (a)$$

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto (a) corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali, in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i tre parametri della TCEV.

E' possibile rappresentare graficamente la funzione $KT=KT(T)$ al variare del tempo di ritorno Tr ; si riporta nel grafico successivo tale legge di variazione.



Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

In alternativa alle rappresentazioni grafiche delle curve di crescita, il valore di KT può essere ricavato direttamente in funzione di Tr attraverso una approssimazione asintotica (Rossi e Villani, 1995) della legge di crescita. E' utile sottolineare che l'uso di questa approssimazione comporta una leggera sottostima del fattore di crescita, con valori che sono superiori al 5% solo per $T < 40$ anni. La relazione è la seguente:

$$K_T = a + b \ln T \quad (1)$$

in cui :

$$a = (\Theta_* \ln \Lambda_* + \ln \Lambda_1) / \eta$$

$$b = \Theta_* / \eta$$

$$\eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

T_0 è una funzione il cui valore è stato ottenuto grazie a un programma di calcolo iterativo.

Pertanto nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri a e b , e i relativi valori η e T_0 , che consentono di determinare nella forma (1) le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	T_0	η
Puglia centro-merid.	0.0183	0.6219	-0.8256	4.2673

Coefficienti utilizzabili per l'uso dell'espressione asintotica (1)

Le aree omogenee individuate al primo e secondo livello di regionalizzazione si parzializzano al terzo livello, nel quale si analizza la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica (Viparelli, 1964), per ciascuna stazione è stato possibile correlare il valore medio x_t dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$x_t = a \cdot t^n \quad (2)$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.

Si riporta la relazione tra l'altezza media di precipitazione al variare della durata, in dipendenza con la quota del sito oggetto dello studio:

$$x_t = a \cdot t^{\frac{(C \cdot h + D + \log \alpha - \log a)}{\log 24}} \quad (4)$$

dove:

a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di x_1 relativi alle serie con $N \geq 10$ anni ricadenti nella zona omogenea;

$\alpha = x_g / x_{24}$ è rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata $t=24$ ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misura. Per la Puglia il valore del coefficiente α è risultato in pratica costante sull'intera regione e pari a 0.89.

C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota del sito di riferimento.

I valori delle stime dei parametri sono riportati nel prospetto seguente:

α	a	C	D
0.89	33.7	0.0022	4.1223

Valori delle stime dei parametri utilizzati nella relazione (4)

L'area di interesse del presente studio si inquadra, nell'ambito dell'area pluviometrica omogenee individuata nel territorio regionale, in **zona 5**; pertanto l'equazione da applicare è la seguente:

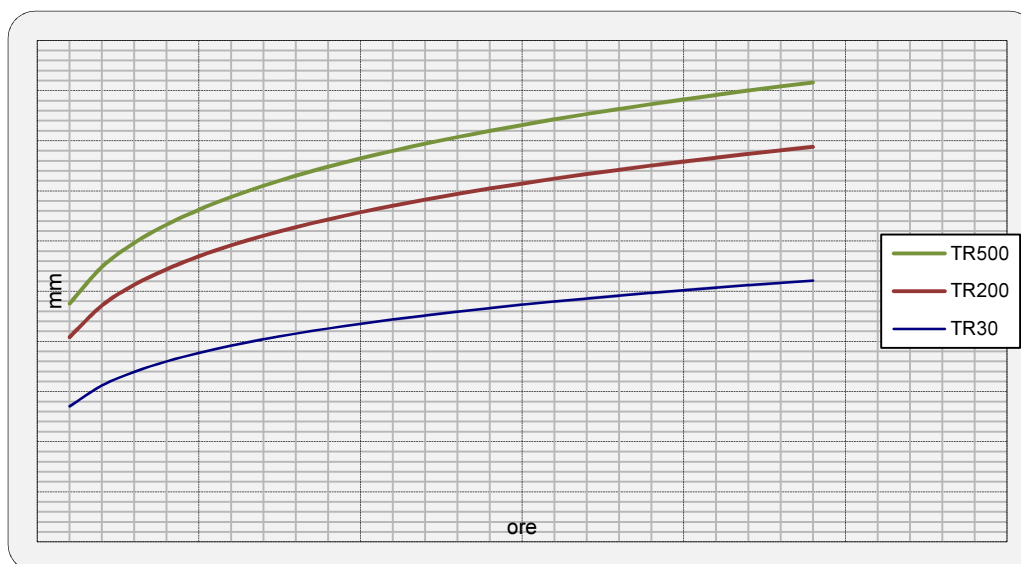
$$x(t, z) = 28.2 \cdot t^{\left(\frac{0.628 + 0.0002z}{3.178}\right)}$$

Tale equazione consente di valutare le altezze critiche per i differenti intervalli di precipitazione e per i vari tempi di ritorno prescelti, in funzione del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare.

Ai valori così ottenuti, vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al Fattore di Crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al Fattore di Riduzione Areale K_A (funzione della superficie del bacino espressa in kmq, e della durata dell'evento di progetto espressa in ore).

Determinando i valori di x per piogge di durata variabile da 1 a 24 ore è possibile costruire le curva di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

In considerazione della dipendenza della curva pluviometrica della zona 5 dal parametro "z" (quota) le CPP risultano diverse per ogni bacino analizzato in quanto varia la quota media di ognuno di essi. Sono state calcolate le CPP per ognuno dei bacini individuati sia complessivi che parziali. Nel seguito si riporta il grafico relativo alle tre CPP riferite, a scopo esemplificativo, al sol bacino complessivo della lama Marcinase.



Curve di Possibilità Pluviometrica per i tre tempi di ritorno di riferimento, relativi al bacino della lama Marcinase

VAPI zona 5	a	n	a	n	a	n	a	n
TR30	54.058	0.209	54.058	0.204	54.058	0.207	54.058	0.204
TR200	81.696	0.209	81.696	0.204	81.696	0.207	81.696	0.204
TR500	95.044	0.209	95.044	0.204	95.044	0.207	95.044	0.204

valori dei parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica per i bacini complessivi

4.2 Applicazione del modello afflussi – deflussi : Metodo SCS-CN

Il metodo SCS trova ormai larga diffusione nell'ambito delle applicazioni tecniche di questo tipo per qualunque tipologia di bacino ed è ampiamente diffuso anche in Italia.

Il metodo consente sia la semplice valutazione del volume della piena, o della sua portata al colmo, sia la ricostruzione dell'idrogramma. La stima dell'idrogramma di piena generato da un bacino, a seguito di una determinata precipitazione caratteristica, avviene attraverso l'analisi geomorfologica e di uso del suolo del bacino; l'idrogramma di piena viene valutato attraverso la preventiva acquisizione di diversi parametri tra cui quelli elencati nel seguito:

- CN (Curve Number);
- S grado di saturazione del terreno;
- IA (Initial Abstraction), grado di assorbimento iniziale del terreno;
- AMC (Antecedent Moisture Condition), grado di imbibizione precedente l'evento;
- TL (Time Lag), tempo di ritardo tra il centro del pluviogramma e quello dell'idrogramma;
- RL (Reach Lag), tempo impiegato dall'onda di piena per il trasferimento attraverso l'asta.

La metodologia si basa sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

con :

- V = volume di deflusso;
- P_n = Pioggia netta;
- W = volume idrico realmente invasato nel suolo;
- S = volume massimo che il suolo può immagazzinare.

La pioggia netta si può determinare sottraendo alla precipitazione totale il parametro Ia che tiene conto dell'accumulo di volumi idrici in superficie, dell'infiltrazione iniziale e superficiale nel suolo e dell'intercettazione operata dalla copertura vegetale.

In linea generale il valore di Ia può essere assunto, come è stato fatto per il presente studio secondo le indicazioni dell' SCS, pari a:

$$Ia = 0,2 S$$

Pertanto il volume di deflusso V può essere ricavato dalla seguente relazione:

$$V = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$$

La valutazione di S viene effettuata con l'ausilio della relazione seguente:

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

La portata al picco di piena è generalmente stimabile applicando la seguente relazione:

$$Q = 0,208 \cdot \left(\frac{V_A}{0,5} \cdot T_c + T_a \right)$$

dove:

- Q = portata al picco
- $T_a = 0,5 t_p + T_L$ (tempo di accumulo)
- T_p = tempo di pioggia;
- T_L = Time lag per cui $T_c = 1.67 t L$ (tempo di corrivazione)

Il parametro CN è denominato Curve Number esso indica l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima sulla base delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale. La stima del CN si effettua determinando il gruppo idrologico di appartenenza e, all'interno di ciascun gruppo, valutando la copertura d'uso del suolo; alle sottoclassi così determinate viene associato un valore di CN.

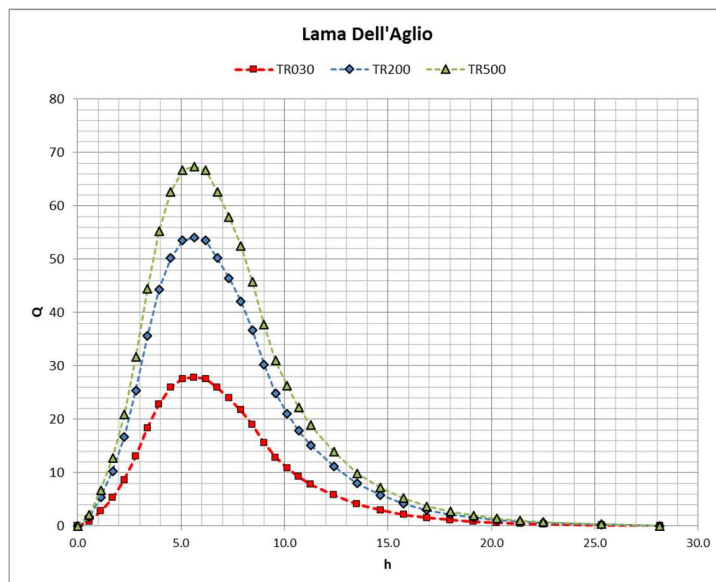
I valori del CN sono stati determinati per ogni bacino analizzato e sono quelli riportati in tabella nel capitolo precedente.

Nel presente studio, come ampiamente descritto nell'analisi pluviometrica, sono stati applicati i risultati rinvenienti dall'approccio VAPI. In questa analisi è stata ipotizzata una pioggia uniformemente distribuita sui bacini studiati, in funzione della zona omogenea considerata (zona 5). Per l'approccio dell'analisi idraulica a parametri concentrati è stato applicato uno ietogramma costante ricavato dall'analisi delle Curve di Possibilità Pluviometrica riferite ai tre tempi di ritorno di 30, 200 e 50 anni, e si è utilizzato uno $la=0,25$, una condizione antecedente all'evento di tipo AMC=III (CN3).

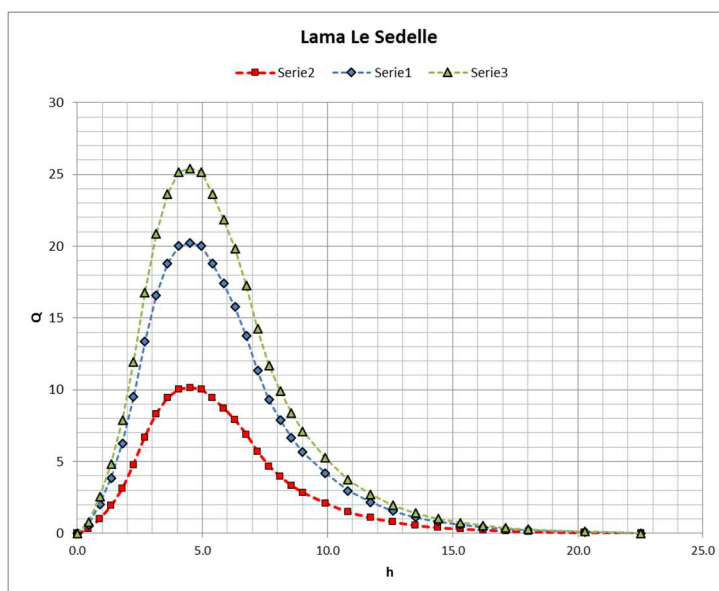
4.3 Calcolo degli idrogrammi di piena e delle portate al picco per i bacini completi

L'applicazione del modello idrologico ha consentito di determinare gli idrogrammi di piena riferiti ad eventi con tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

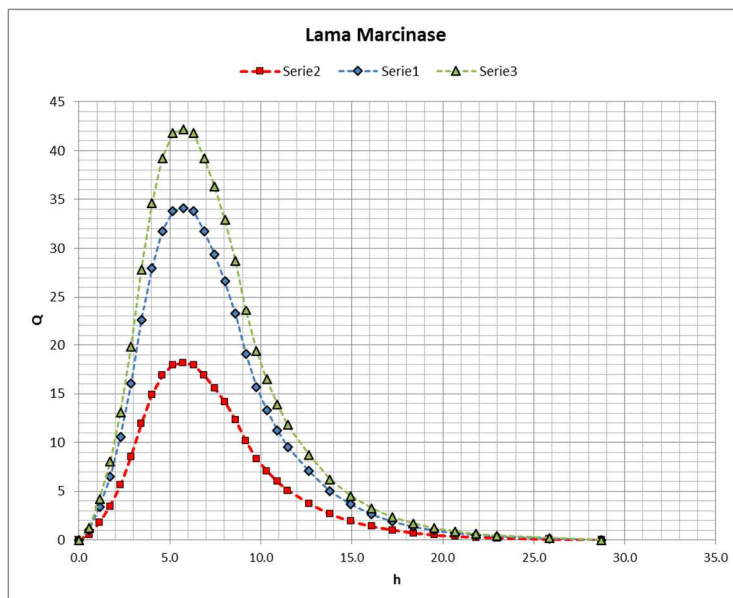
Si è fatto riferimento all'approccio di Mokus per la costruzione dell'idrogramma di piena. Il picco di piena è stato riferito al tempo di pioggia caratteristico o tempo di corrivazione, come suggerito dalla SCS, pari a $T_L/0,6$, tempo in cui la portata esprime il valore massimo; per la costruzione dell'idrogramma, invece, si è fatto riferimento al tempo di corrivazione medio dei bacini calcolato così come descritto nei paragrafi precedenti con l'approccio classico delle formule razionali.



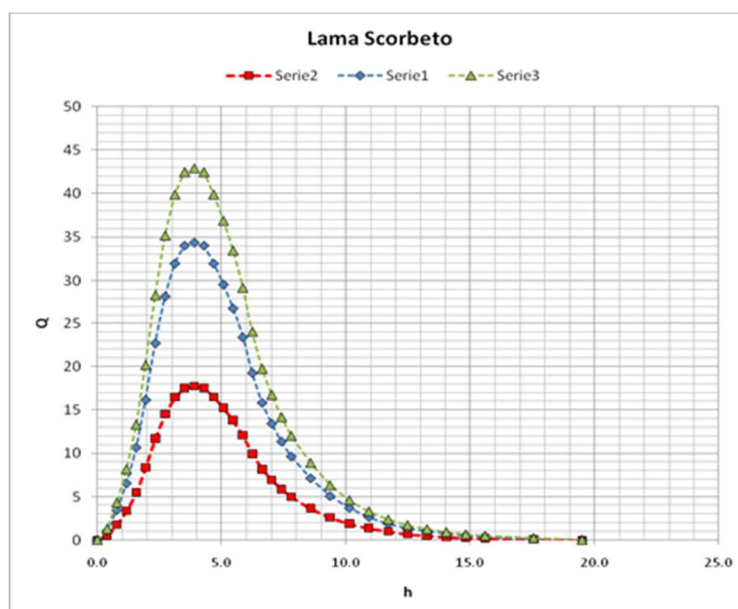
*Idrogrammi di piena relativi ai tre tempi di ritorno prefissati calcolati in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino della
lama Dell'Aglio*



*Idrogrammi di piena relativi ai tre tempi di ritorno prefissati calcolati in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino della
lama Savorelli*



Idrogrammi di piena relativi ai tre tempi di ritorno prefissati calcolati in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino della
lama Marcinase



Idrogrammi di piena relativi ai tre tempi di ritorno prefissati calcolati in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino della
lama Scorbeto

Nel seguito viene riportata la tabella delle portate al picco di piena per tutti i sottobacini individuati in funzione dei tre tempi di ritorno di riferimento.

Bacino	Q30 [m³/s]	Q200 [m³/s]	Q500 [m³/s]	V30 [m³]	V200 [m³]	V500 [m³]
Dell'Aglio	27.865	54.021	67.361	757795	1468543	1831898
Savorelli	10.137	20.222	25.419	194596.3	388194.5	487959.4
Marcinase	18.143	34.134	42.201	493403.2	928282.3	1147666.3
Scorbeto	17.694	34.387	42.909	339665.3	660114.9	823708.6

Portate al colmo di piena e volumi dell'idrogramma per i bacini analizzati

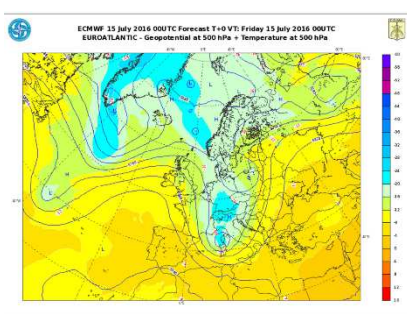
4.4 Evento alluvionale del 16 luglio 2016

Tra i numerosi eventi alluvionali accaduti negli ultimi anni e che hanno prodotto effetti nell'agglomerato industriale, è risultato significativo l'evento che si è verificato il 16 luglio 2016, caratterizzato da una particolare intensità e dal fatto che ha provocato numerosi danni a infrastrutture e manufatti.

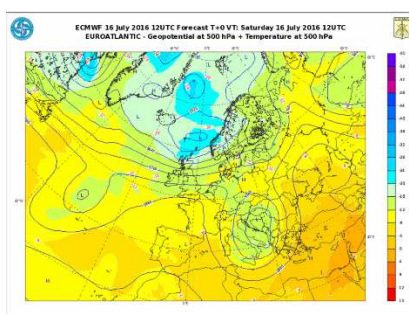
Dal "Rapporto d'evento delle precipitazioni del 15 – 16 luglio 2016" redatto dalla Protezione Civile regionale, di cui si ripropone un estratto, si può capire e inquadrare la situazione meteorologica del periodo in esame e identificare le circostanze per le quali si è verificato l'evento citato che, dal punto di vista degli effetti è stato uno dei più significativi.

Il giorno 15 luglio lo scenario europeo è caratterizzato dalla presenza di una profonda saccatura che dal flusso perturbato principale, che scorre intorno al parallelo 50°N, si sviluppa verso il Mediterraneo centro-meridionale.

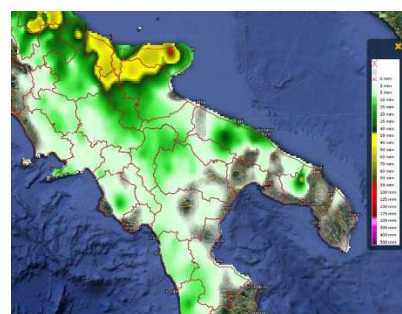
Due promontori, sul vicino Atlantico e sul Medio Oriente, producono avvezione di aria calda e umida ai margini della saccatura. La formazione di un minimo sul Tirreno centrale e le correnti fredde in quota generano diffuse condizioni di instabilità sul settore appenninico-adriatico ed una ventilazione sostenuta sulle regioni centro-meridionali.



Geopotenziale e temperatura a 500hPa:
campo di analisi della corsa delle 00.00 UTC
del 15 luglio 2016 del modello ECMWF.



Geopotenziale e temperatura a 500hPa:
campo di analisi della corsa delle 12.00 UTC
del 15 luglio 2016 del modello ECMWF.

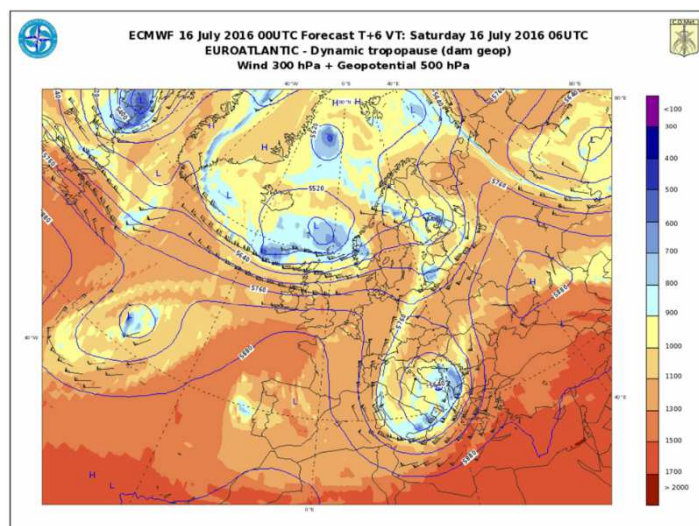


Campo di precipitazione cumulata tra le 12:00
del 15 luglio e le 00:00 del 16 luglio (ora
legale). Territorio regionale ripartito secondo
le Zone di allerta.

Il 16 luglio la configurazione sinottica europea resta pressoché invariata.

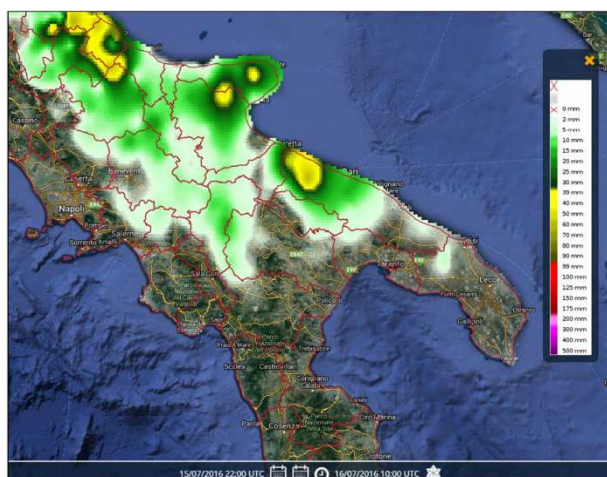
La traslazione del minimo in quota verso il settore balcanico favorisce il consolidamento del promontorio sulla penisola iberica, portando condizioni progressivamente più stabili sulle regioni settentrionali e su gran parte di quelle tirreniche; il settore adriatico centro-meridionale le rimanenti regioni meridionali sono invece interessate da una marcata e diffusa instabilità, a causa del forte richiamo di aria fredda da parte del minimo in quota e del consistente contributo dinamico della corrente a getto che, diretta dall'Europa continentale verso il Mediterraneo meridionale, ripiega decisamente verso i Balcani e l'Egeo.

I fenomeni precipitativi più rilevanti si manifestano sul versante adriatico centro-meridionale della penisola, accompagnati da una intensa ventilazione dai quadranti settentrionali.



Tropopausa dinamica e vento a 300hPa: mappa delle 06.00 UTC della corsa delle 00.00 UTC del 16 luglio 2016 del modello ECMWF

I giorni 15-16 luglio 2016 il territorio della regione Puglia è stato interessato da precipitazioni a carattere temporalesco molto intense che hanno generato fenomeni di dissesto idrogeologico di notevole entità nonché danni socio-economici e disagi alla popolazione.



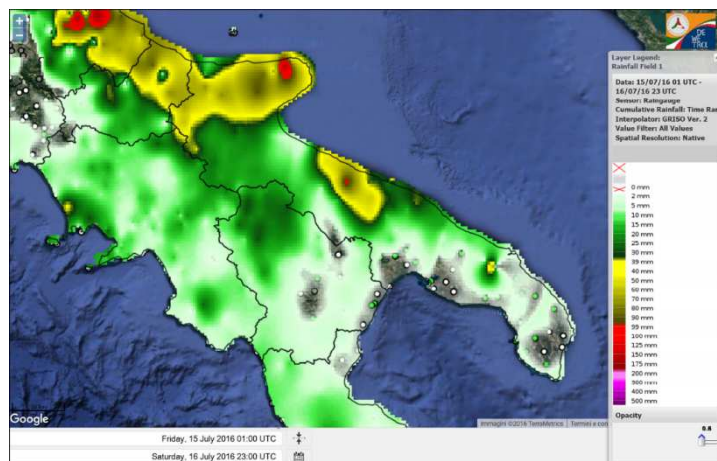
Campo di precipitazione cumulata tra le 00:00 e le 12:00 del 16 luglio (ora legale). Territorio regionale ripartito secondo le Zone di allerta.



Campo di precipitazione cumulata tra le 12:00 del 16 luglio e le 00:00 del 17 luglio (ora legale). Territorio regionale ripartito secondo le Zone di allerta.

L'ondata di maltempo, a cominciare dalla prima mattinata del 16 luglio 2016, ha interessato anche le Province di Bari e BAT ed in particolare i comuni di Ruvo di Puglia, Corato, Molfetta, Terlizzi, Bisceglie.

Le piogge hanno fatto registrare cumulati di circa 100 mm alla stazione di Ruvo di Puglia, 60 mm a Bisceglie, 50 mm a Corato in 24 ore.



Distribuzione spaziale delle precipitazioni occorse nelle giornate del 15 e 16 luglio

4.5 Analisi pluviometrica dell'evento del 16 luglio 2016

4.51. Dati disponibili

I sottobacini descritti nell'analisi morfologica, rientrano tutti nei topoieti relativi alle stazioni pluviometriche di Ruvo di Puglia (all'incirca per la parte a monte dell'Autostrada A14, per circa 50 kmq) e di Molfetta (per la porzione valliva dei sottobacini, e quindi - in maniera complementare alla precedente - dalla A14 alla costa, per circa 15 kmq).

Rispetto a queste due stazioni sono stati richiesti al Centro Funzionale Decentrato del Servizio Regionale di protezione Civile, i dati pluviometrici (registrati con step di 30 minuti) nel periodo che va dal 10.07 al 18.07 u.s. e quindi comprendenti l'evento occorso il 16 luglio 2016. Con nota del 04.10 u.s. (prot. Reg. 0010144) venivano trasmessi i dati relativi alle due stazioni pluviometriche per i giorni 15, 16 e 17 ottobre, con la precisazione che *"per i giorni dal 10/07/2016 al 14/07/2016 e per il giorno 18/07/2016 il quantitativo di pioggia giornaliero registrato da entrambe le stazioni di monitoraggio è pari a 0.0 mm."*

Di seguito si riportano (sotto forma di screenshot) i dati pluviometrici forniti; è possibile verificare che le precipitazioni di interesse per il caso in studio sono avvenute nella medesima finestra temporale, dalle 5.30 alle 13.30. A sua volta possono essere individuate delle fasi di scroscio di durata minore ma di notevole intensità:

- per Bisceglie dalle 5.30 alle 7.30 (20.6 mm in 2 ore) e dalle 11.00 alle 12.00 (21.2 mm in 1 ora).
- Per Ruvo di Puglia dalle 7.30 alle 9.30 (56.6 mm in 2 ore) e dalle 11.30 alle 13.30 (35.4 mm in 2 ore).

In sostanza le fasi di scroscio sono coeve, ed è quindi ipotizzabile supporre un fronte di perturbazione molto ampio che interessava l'intero areale; inoltre il tempo caratteristico per i bacini maggiori - come si vedrà più innanzi - è pari all'incirca a 3 ore, ossia compatibile con le tempistiche di scroscio, e ciò lascia presagire una convoluzione degli ietogrammi (e conseguentemente degli idrogrammi) in capo ai singoli topoieti.



PRESIDENZA DELLA GIUNTA REGIONALE
SEZIONE PROTEZIONE CIVILE



CENTRO FUNZIONALE DECENTRATO

Bisceglie

Osservazioni pluviometriche con dati semiorari (mm) Quantità di precipitazione caduta tra le h 00.00 e le h 24.00 ora solare

Data	Ora	PP	Data	Ora	PP	Data	Ora	PP
15/07/2016	00:00	0.0	16/07/2016	00:00	0.0	17/07/2016	00:00	0.0
15/07/2016	00:30	0.0	16/07/2016	00:30	0.0	17/07/2016	00:30	0.0
15/07/2016	01:00	0.0	16/07/2016	01:00	0.0	17/07/2016	01:00	0.0
15/07/2016	01:30	0.0	16/07/2016	01:30	0.0	17/07/2016	01:30	0.0
15/07/2016	02:00	0.0	16/07/2016	02:00	0.0	17/07/2016	02:00	0.0
15/07/2016	02:30	0.0	16/07/2016	02:30	0.0	17/07/2016	02:30	0.0
15/07/2016	03:00	0.0	16/07/2016	03:00	0.0	17/07/2016	03:00	0.0
15/07/2016	03:30	0.0	16/07/2016	03:30	0.0	17/07/2016	03:30	0.0
15/07/2016	04:00	0.0	16/07/2016	04:00	0.0	17/07/2016	04:00	0.0
15/07/2016	04:30	0.0	16/07/2016	04:30	0.0	17/07/2016	04:30	0.0
15/07/2016	05:00	0.0	16/07/2016	05:00	0.2	17/07/2016	05:00	0.0
15/07/2016	05:30	0.0	16/07/2016	05:30	6.0	17/07/2016	05:30	0.0
15/07/2016	06:00	0.0	16/07/2016	06:00	5.0	17/07/2016	06:00	0.0
15/07/2016	06:30	0.0	16/07/2016	06:30	4.4	17/07/2016	06:30	0.0
15/07/2016	07:00	0.0	16/07/2016	07:00	5.2	17/07/2016	07:00	0.0
15/07/2016	07:30	0.0	16/07/2016	07:30	0.4	17/07/2016	07:30	0.0
15/07/2016	08:00	0.0	16/07/2016	08:00	1.2	17/07/2016	08:00	0.0
15/07/2016	08:30	0.0	16/07/2016	08:30	0.8	17/07/2016	08:30	0.0
15/07/2016	09:00	0.0	16/07/2016	09:00	1.0	17/07/2016	09:00	0.0
15/07/2016	09:30	0.0	16/07/2016	09:30	3.0	17/07/2016	09:30	0.0
15/07/2016	10:00	0.0	16/07/2016	10:00	0.4	17/07/2016	10:00	0.0
15/07/2016	10:30	0.0	16/07/2016	10:30	0.0	17/07/2016	10:30	0.0
15/07/2016	11:00	0.0	16/07/2016	11:00	16.4	17/07/2016	11:00	0.0
15/07/2016	11:30	0.0	16/07/2016	11:30	4.8	17/07/2016	11:30	0.0
15/07/2016	12:00	0.0	16/07/2016	12:00	0.0	17/07/2016	12:00	0.0
15/07/2016	12:30	0.4	16/07/2016	12:30	1.2	17/07/2016	12:30	0.0
15/07/2016	13:00	0.2	16/07/2016	13:00	2.0	17/07/2016	13:00	0.0
15/07/2016	13:30	1.6	16/07/2016	13:30	0.2	17/07/2016	13:30	0.0
15/07/2016	14:00	0.8	16/07/2016	14:00	0.0	17/07/2016	14:00	0.0
15/07/2016	14:30	0.6	16/07/2016	14:30	0.0	17/07/2016	14:30	0.0
15/07/2016	15:00	0.0	16/07/2016	15:00	0.0	17/07/2016	15:00	0.0
15/07/2016	15:30	0.0	16/07/2016	15:30	0.0	17/07/2016	15:30	0.0
15/07/2016	16:00	0.0	16/07/2016	16:00	0.0	17/07/2016	16:00	0.0
15/07/2016	16:30	0.0	16/07/2016	16:30	0.0	17/07/2016	16:30	0.0
15/07/2016	17:00	0.0	16/07/2016	17:00	0.0	17/07/2016	17:00	0.0
15/07/2016	17:30	0.0	16/07/2016	17:30	0.0	17/07/2016	17:30	0.0
15/07/2016	18:00	0.0	16/07/2016	18:00	0.0	17/07/2016	18:00	0.0
15/07/2016	18:30	0.0	16/07/2016	18:30	0.0	17/07/2016	18:30	0.0
15/07/2016	19:00	0.0	16/07/2016	19:00	0.0	17/07/2016	19:00	0.0
15/07/2016	19:30	0.0	16/07/2016	19:30	0.0	17/07/2016	19:30	0.0
15/07/2016	20:00	0.0	16/07/2016	20:00	0.0	17/07/2016	20:00	0.0
15/07/2016	20:30	0.0	16/07/2016	20:30	0.0	17/07/2016	20:30	0.0
15/07/2016	21:00	0.0	16/07/2016	21:00	0.0	17/07/2016	21:00	0.0
15/07/2016	21:30	0.0	16/07/2016	21:30	2.0	17/07/2016	21:30	0.0
15/07/2016	22:00	0.0	16/07/2016	22:00	2.2	17/07/2016	22:00	0.0
15/07/2016	22:30	0.0	16/07/2016	22:30	0.6	17/07/2016	22:30	0.0
15/07/2016	23:00	0.0	16/07/2016	23:00	0.0	17/07/2016	23:00	0.0
15/07/2016	23:30	0.0	16/07/2016	23:30	0.0	17/07/2016	23:30	0.0
Totale giornaliero		3.6	Totale giornaliero		57.0	Totale giornaliero		

L'Istruttore
Scheni Palma

Responsabile
Ing. Giuseppe Arghese





PRESIDENZA DELLA GIUNTA REGIONALE
SEZIONE PROTEZIONE CIVILE



CENTRO FUNZIONALE DECENTRATO

Ruvo di Puglia

Osservazioni pluviometriche con dati semiorari (mm) - Quantità di precipitazione caduta tra le h 00.00 e le h 24.00 ora solare

Data	Ora	PP	Data	Ora	PP	Data	Ora	PP
15/07/2016	00:00	0.0	16/07/2016	00:00	0.0	17/07/2016	00:00	0.0
15/07/2016	00:30	0.0	16/07/2016	00:30	0.0	17/07/2016	00:30	0.0
15/07/2016	01:00	0.0	16/07/2016	01:00	0.0	17/07/2016	01:00	0.0
15/07/2016	01:30	0.0	16/07/2016	01:30	0.0	17/07/2016	01:30	0.0
15/07/2016	02:00	0.0	16/07/2016	02:00	0.0	17/07/2016	02:00	0.0
15/07/2016	02:30	0.0	16/07/2016	02:30	0.0	17/07/2016	02:30	0.0
15/07/2016	03:00	0.0	16/07/2016	03:00	0.0	17/07/2016	03:00	0.0
15/07/2016	03:30	0.0	16/07/2016	03:30	0.0	17/07/2016	03:30	0.0
15/07/2016	04:00	0.0	16/07/2016	04:00	0.0	17/07/2016	04:00	0.0
15/07/2016	04:30	0.0	16/07/2016	04:30	0.0	17/07/2016	04:30	0.0
15/07/2016	05:00	0.0	16/07/2016	05:00	0.0	17/07/2016	05:00	0.0
15/07/2016	05:30	0.0	16/07/2016	05:30	0.0	17/07/2016	05:30	0.0
15/07/2016	06:00	0.0	16/07/2016	06:00	2.0	17/07/2016	06:00	0.0
15/07/2016	06:30	0.0	16/07/2016	06:30	1.8	17/07/2016	06:30	0.2
15/07/2016	07:00	0.0	16/07/2016	07:00	0.0	17/07/2016	07:00	0.0
15/07/2016	07:30	0.0	16/07/2016	07:30	7.4	17/07/2016	07:30	0.0
15/07/2016	08:00	0.0	16/07/2016	08:00	26.6	17/07/2016	08:00	0.0
15/07/2016	08:30	0.0	16/07/2016	08:30	10.4	17/07/2016	08:30	0.0
15/07/2016	09:00	0.0	16/07/2016	09:00	12.2	17/07/2016	09:00	0.0
15/07/2016	09:30	0.0	16/07/2016	09:30	0.0	17/07/2016	09:30	0.0
15/07/2016	10:00	0.0	16/07/2016	10:00	0.4	17/07/2016	10:00	0.0
15/07/2016	10:30	0.0	16/07/2016	10:30	1.6	17/07/2016	10:30	0.0
15/07/2016	11:00	0.0	16/07/2016	11:00	0.6	17/07/2016	11:00	0.0
15/07/2016	11:30	0.0	16/07/2016	11:30	2.6	17/07/2016	11:30	0.0
15/07/2016	12:00	0.0	16/07/2016	12:00	14.8	17/07/2016	12:00	0.0
15/07/2016	12:30	0.0	16/07/2016	12:30	14.0	17/07/2016	12:30	0.0
15/07/2016	13:00	1.4	16/07/2016	13:00	4.0	17/07/2016	13:00	0.0
15/07/2016	13:30	0.6	16/07/2016	13:30	0.2	17/07/2016	13:30	0.0
15/07/2016	14:00	1.2	16/07/2016	14:00	0.0	17/07/2016	14:00	0.0
15/07/2016	14:30	0.2	16/07/2016	14:30	0.0	17/07/2016	14:30	0.0
15/07/2016	15:00	0.0	16/07/2016	15:00	1.0	17/07/2016	15:00	0.0
15/07/2016	15:30	0.0	16/07/2016	15:30	0.4	17/07/2016	15:30	0.0
15/07/2016	16:00	0.0	16/07/2016	16:00	0.0	17/07/2016	16:00	0.0
15/07/2016	16:30	0.0	16/07/2016	16:30	0.0	17/07/2016	16:30	0.0
15/07/2016	17:00	0.0	16/07/2016	17:00	0.0	17/07/2016	17:00	0.0
15/07/2016	17:30	0.0	16/07/2016	17:30	0.0	17/07/2016	17:30	0.0
15/07/2016	18:00	0.0	16/07/2016	18:00	0.0	17/07/2016	18:00	0.0
15/07/2016	18:30	0.0	16/07/2016	18:30	0.0	17/07/2016	18:30	0.0
15/07/2016	19:00	0.0	16/07/2016	19:00	0.0	17/07/2016	19:00	0.0
15/07/2016	19:30	0.0	16/07/2016	19:30	0.0	17/07/2016	19:30	0.0
15/07/2016	20:00	0.0	16/07/2016	20:00	0.0	17/07/2016	20:00	0.0
15/07/2016	20:30	0.0	16/07/2016	20:30	0.0	17/07/2016	20:30	0.0
15/07/2016	21:00	0.0	16/07/2016	21:00	0.2	17/07/2016	21:00	0.0
15/07/2016	21:30	0.0	16/07/2016	21:30	0.0	17/07/2016	21:30	0.0
15/07/2016	22:00	0.0	16/07/2016	22:00	0.0	17/07/2016	22:00	0.0
15/07/2016	22:30	0.0	16/07/2016	22:30	0.0	17/07/2016	22:30	0.0
15/07/2016	23:00	0.0	16/07/2016	23:00	0.0	17/07/2016	23:00	0.0
15/07/2016	23:30	0.0	16/07/2016	23:30	0.0	17/07/2016	23:30	0.0
Totale giornaliero		3.4	Totale giornaliero		100.2	Totale giornaliero		0.0

L'Istruttore
Scheria Palma

Responsabile
Ing. Giuseppe Ambrosio

Giuseppe Ambrosio





PRESIDENZA DELLA GIUNTA REGIONALE
SEZIONE PROTEZIONE CIVILE



CENTRO FUNZIONALE DECENTRATO					
Bisceglie					
Precipitazioni massima intensità e breve durata					
durata	5 minuti		15 minuti	30 minuti	
mm	7.5		16.2	20.2	
data	16/07/2016		16/07/2016	16/07/2016	
Precipitazioni massima intensità					
durata	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
mm	21.2	25.6	43.8	52.2	57.0
data	16/07/2016	16/07/2016	16/07/2016	16/07/2016	16/07/2016
Ruvo di Puglia					
Precipitazioni massima intensità e breve durata					
durata	5 minuti		15 minuti	30 minuti	
mm	8.0		15.0	28.2	
data	16/07/2016		16/07/2016	16/07/2016	
Precipitazioni massima intensità					
durata	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
mm	41.4	58.4	94.6	100.0	100.4
data	16/07/2016	16/07/2016	16/07/2016	16/07/2016	15/07/2016

L'Istituto
Sebeni Palma

Responsabile
Ing. Giuseppe Andruzzi

In quest'ultimo foglio di dati trasmessi, non si può non osservare che per le durate di interesse (multioraria) i dati registrati alla stazione di Ruvo di Puglia sono sensibilmente maggiori di quelli relativi alla stazione di Bisceglie. Pertanto nel prosieguo si valuterà rispetto alla serie storica di detta stazione, il Tempo di Ritorno dell'evento occorso.

Per far ciò occorre partire dalla serie storica disponibile (ovviamente antecedente l'evento): i dati pluviometrici relativi alle precipitazioni di massima intensità e breve durata (relative ad 1, 3, 6, 12, e 24 ore) sono stati ricavati dalli annali idrografici (parte 1, Tab. III), relativamente alla stazione pluviometrica di Ruvo di Puglia (<http://www.protezionecivile.puglia.it/centro-funzionale/analisielaborazione-dati/annali-idrologici-parte-i-dati-storici>).

Stazione:	RUVO DI PUGLIA	lat.	41°06'49,12" N	long.	16°29'00,76" E
-----------	----------------	------	----------------	-------	----------------

Tabella piogge intense valore Max

ANNI	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
41	mm	Mm	mm	mm	mm
1964	25.6	40.6	46.0	68.2	90.8
1966	34.0	35.2	39.0	46.0	48.0
1967	26.4	26.6	26.8	27.6	43.4
1968	57.8	58.8	59.8	59.8	60.0
1970	23.8	25.4	26.4	38.8	58.4
1971	20.4	23.8	30.2	43.0	79.6
1972	27.4	29.6	40.0	54.2	54.6
1973	31.6	33.6	33.8	33.8	38.8
1974	24.4	35.0	45.4	55.6	55.6
1976	41.6	54.6	54.6	54.6	64.0
1977	>>	>>	>>	26.6	35.0
1978	26.2	40.8	43.0	44.0	44.8
1979	14.8	16.4	31.0	43.4	75.6
1984	39.0	39.0	39.0	49.2	74.0
1985	19.2	24.0	29.0	39.6	58.2
1987	23.2	23.4	39.6	67.0	108.8
1988	>>	>>	36.6	37.8	48.2
1989	28.0	31.2	31.8	31.8	31.8
1990	15.0	25.2	46.6	77.6	84.4
1991	32.4	34.2	34.2	37.0	40.4
1992	>>	>>	50.8	62.8	73.6
1993	13.6	15.8	20.6	22.4	32.2
1994	28.8	36.8	38.4	45.4	46.4
1995	28.6	33.8	39.4	43.8	50.4
1996	11.8	24.6	39.6	52.4	66.8
1997	17.0	36.6	47.4	58.0	60.2
1998	23.8	27.4	33.6	47.2	75.0
1999	30.4	35.6	35.8	48.4	54.2
2000	23.0	25.8	33.8	42.8	48.0
2001	12.0	23.0	26.6	43.8	55.8
2002	58.4	70.2	72.4	80.2	93.2
2003	33.2	44.2	46.4	48.0	74.4
2004	22.2	27.8	29.2	41.4	70.6
2005					
2006	>>	>>	>>	>>	>>
2007	16.8	24.8	32.4	38.4	48.0
2008	19.6	22.0	34.8	42.6	57.4
2009	38.8	46.6	48.8	56.6	71.2
2010	26.2	45.6	61.0	64.0	78.8
2011	27.6	36.4	53.2	88.8	99.0
2012	9.4	16.6	25.0	33.6	45.2

4.5.2. Test Statistico e Curve di Possibilità Pluviometrica

Con 39 dati effettivamente disponibili, la serie storica si presenta completa ma insufficientemente ampia.

Al fine di verificare quale tra le consuete Funzioni di Distribuzione della Probabilità (Gumbel, Frechet e GEV) sia più rappresentativa per la definizione delle Curve di Possibilità Pluviometrica, si è applicato il test di Pearson alla serie di dati, per differenti livelli di significatività.

Per comodità di lettura, di seguito si riporta in maniera estremamente sintetica (in quanto elementi ben noti delle elaborazioni statistiche, con amplissima letteratura disponibile) un accenno ai concetti appena citati di Funzioni di Distribuzione della Probabilità e test statistico.

Al fine di giungere alla stima della Curva di Possibilità Pluviometrica (CPP) al variare del tempo di ritorno, si adotta la metodologia statistica basata sulla individuazione della legge di probabilità più idonea (tra le più comuni note in letteratura tecnica) a rappresentare il fenomeno pluviometrico; la scelta viene effettuata valutando dapprima i parametri della distribuzione teorica di probabilità considerata, e successivamente tramite alcuni stimatori (test statistici) che consentono di valutare la bontà dell'adattamento.

Quindi una volta disponibili le serie storiche di dati di precipitazione registrata, occorre individuare quale sia la FDP (Funzione di Distribuzione di Probabilità) più congrua per l'interpretazione statistica delle serie stesse; le due distribuzioni prescelte, solitamente rappresentative degli eventi estremi, sono:

- La legge di *Gumbel* a due parametri o prima legge asintotica del massimo valore, per la quale l'espressione della distribuzione di probabilità della variabile casuale è:

$$P(h) = e^{-e^{(\alpha(h-\epsilon))}}$$

- La legge Frechet o distribuzione del massimo valore del secondo tipo, che ha la seguente espressione della distribuzione di probabilità della variabile casuale:

$$P(h) = e^{-(u/h)^\eta}$$

- La *Generalized Extreme Value (GEV)*, distribuzione di probabilità a 3 parametri (u parametro di posizione, a parametro di scala, k parametro di forma, stimati con il metodo L-moments), per la quale l'espressione della distribuzione di probabilità della variabile casuale è:

$$P(h) = e^{-\left[1 + \frac{k(u-h)}{a}\right]^{1/k}}$$

La valutazione circa la maggiore opportunità dell'una o dell'altra FDP² è svolta con l'ausilio di un test statistico. Il test utilizzato è quello di Pearson, ampiamente illustrato e tabellato in letteratura, e di cui si fanno brevi richiami.

Suddiviso il campo della variabile in un numero finito K di classi, in ciascuna delle quali la variabile abbia probabilità p_i ($i=1, \dots, K$) di ricadere, si determina per ciascun intervallo il numero di dati N_i del campione che vi ricadono. La relazione:

$$D_1 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - Np_i)^2}{Np_i}$$

segue approssimativamente la distribuzione del χ^2 , con $f=K-r-1$ gradi di libertà, essendo r il numero di parametri della legge stimati del campione.

Individuato nella tabella il valore critico χ_{α}^2 ad f gradi di libertà - che corrisponde al prefissato livello di significatività del test, al solito pari $\alpha=0,10$ o $\alpha=0,05$ - si accetta l'ipotesi che il campione sia tratto da una popolazione avente la FDP esaminata se $D_1 < \chi_{\alpha}^2$; sono solo parzialmente accettabili i valori di χ_{α}^2 inferiori al valore riportato in tabella corrispondente a $k-1$ gradi di libertà; infine, se i valori ricadono al di fuori di tale intervallo, si è nella zona di rigetto del test. Nell'esecuzione del test si usa l'accortezza di operare una ripartizione tale che sia $p_i=1/K$, uguale per tutte le classi, e che $N/K \geq 5$.

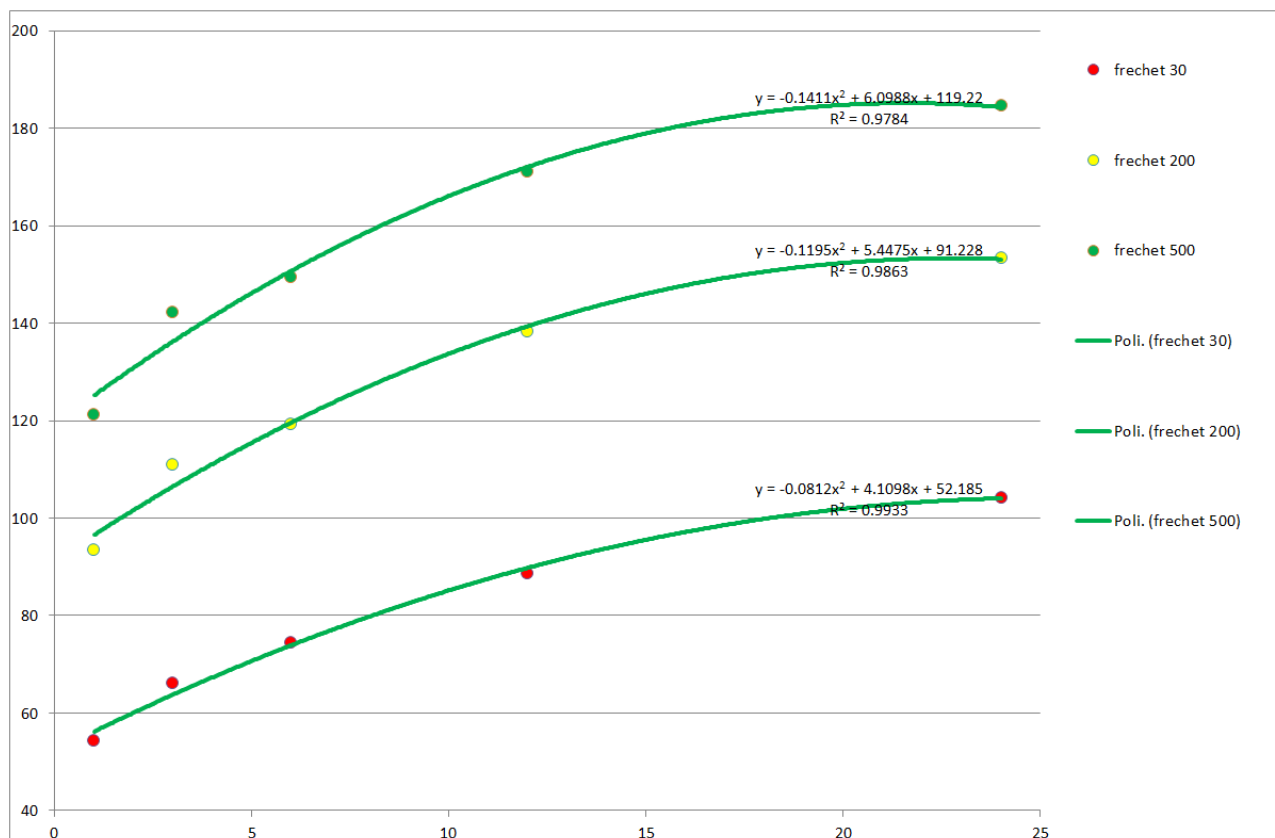
Tanto premesso, nel caso in specie sono state condotte le analisi sopra descritte ottenendo – per i dati della stazione di Ruvo di Puglia, sino all'anno 2012 - i seguenti risultati (per livelli di significatività pari a 0.10, 0.05, 0.01):

liv. signific.		0.10			0.05			0.01
GUMBEL			GUMBEL			GUMBEL		
7.78	>>>	5.222	9.49	>>>	5.222	11.668	>>>	5.222
7.78	<<<	9.111	9.49	>>>	9.111	11.668	>>>	9.111
7.78	>>>	0.684	9.49	>>>	0.684	11.668	>>>	0.684
7.78	>>>	2.821	9.49	>>>	2.821	11.668	>>>	2.821
7.78	>>>	7.128	9.49	>>>	7.128	11.668	>>>	7.128
FRECHET			FRECHET			FRECHET		
7.78	>>>	7.167	9.49	>>>	7.167	11.668	>>>	7.167
7.78	>>>	7.556	9.49	>>>	7.556	11.668	>>>	7.556
7.78	>>>	6.579	9.49	>>>	6.579	11.668	>>>	6.579
7.78	>>>	1.385	9.49	>>>	1.385	11.668	>>>	1.385
7.78	>>>	7.128	9.49	>>>	7.128	11.668	>>>	7.128
GEV			GEV			GEV		
6.261	>>>	5.222	7.815	>>>	5.222	9.837	>>>	5.222

²Al di là delle considerazioni – a vantaggio di sicurezza – circa i valori maggiori, e senza tralasciare che i valori delle differenti distribuzioni di probabilità vanno successivamente confrontati con quelli ottenuti con l'applicazione del metodo VaPi al fine di utilizzare la CPP più cautelativa.

6.261	<<<	7.556	7.815	>>>	7.556	9.837	>>>	7.556
6.261	>>>	1.053	7.815	>>>	1.053	9.837	>>>	1.053
6.261	>>>	1.744	7.815	>>>	1.744	9.837	>>>	1.744
6.261	<<<	7.128	7.815	>>>	7.128	9.837	>>>	7.128

Per la serie storica disponibile, la applicazione del test (ad un livello di significatività decisamente elevato) qualifica la distribuzione di Frechet come quella che meglio può interpretare statisticamente i dati pluviometrici; è per detta distribuzione, quindi, che nel seguito si riportano le Curve di possibilità Pluviometrica.



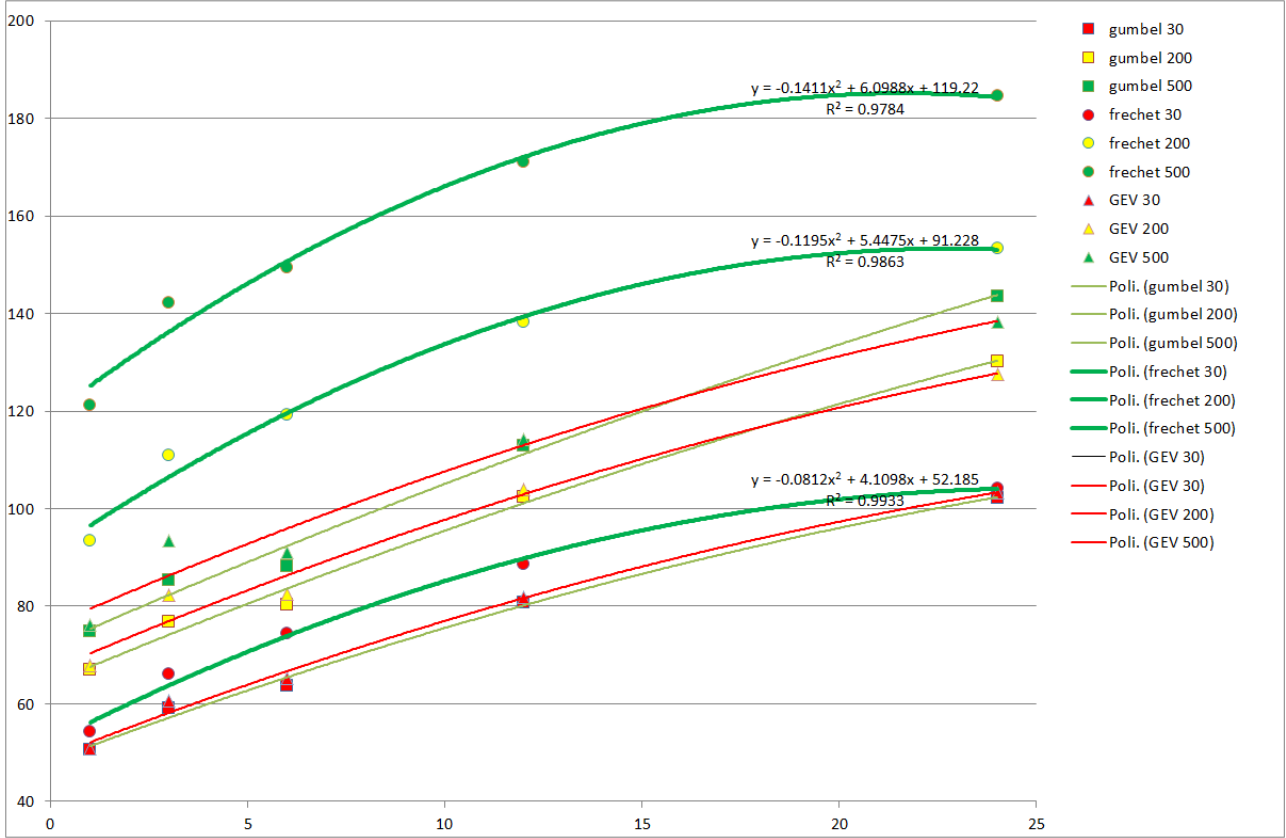
Con le seguenti coppie di parametri (a,n).

FRECHET	CPP 30		CPP 200		CPP 500	
	a	n	a	n	a	n
	53.227	0.2051	92.85	0.1559	121.29	0.1323

che riportati su un piano cartesiano, comportano i seguenti valori orari.

FRECHET	CPP 30	CPP 200	CPP 500
1	54.3	93.5	121.3
3	66.0	110.9	142.2
6	74.5	119.2	149.4
12	88.7	138.3	171.1
24	104.3	153.4	184.6

Per inciso dalla seguente immagine è possibile verificare come la distribuzione di Frechet sia anche – incidentalmente - quella che opera a vantaggio di sicurezza rispetto alle altre due prese in considerazione (Gumbel e GEV).



4.5.3. Metodo VaPi Puglia

Oltre ai metodi appena descritti, si è doverosamente utilizzato quanto riportato nella Sintesi del Rapporto regionale Puglia del VaPi sezione Pluviometria (cui si rimanda al capitolo 4.1 per ogni opportuno approfondimento).

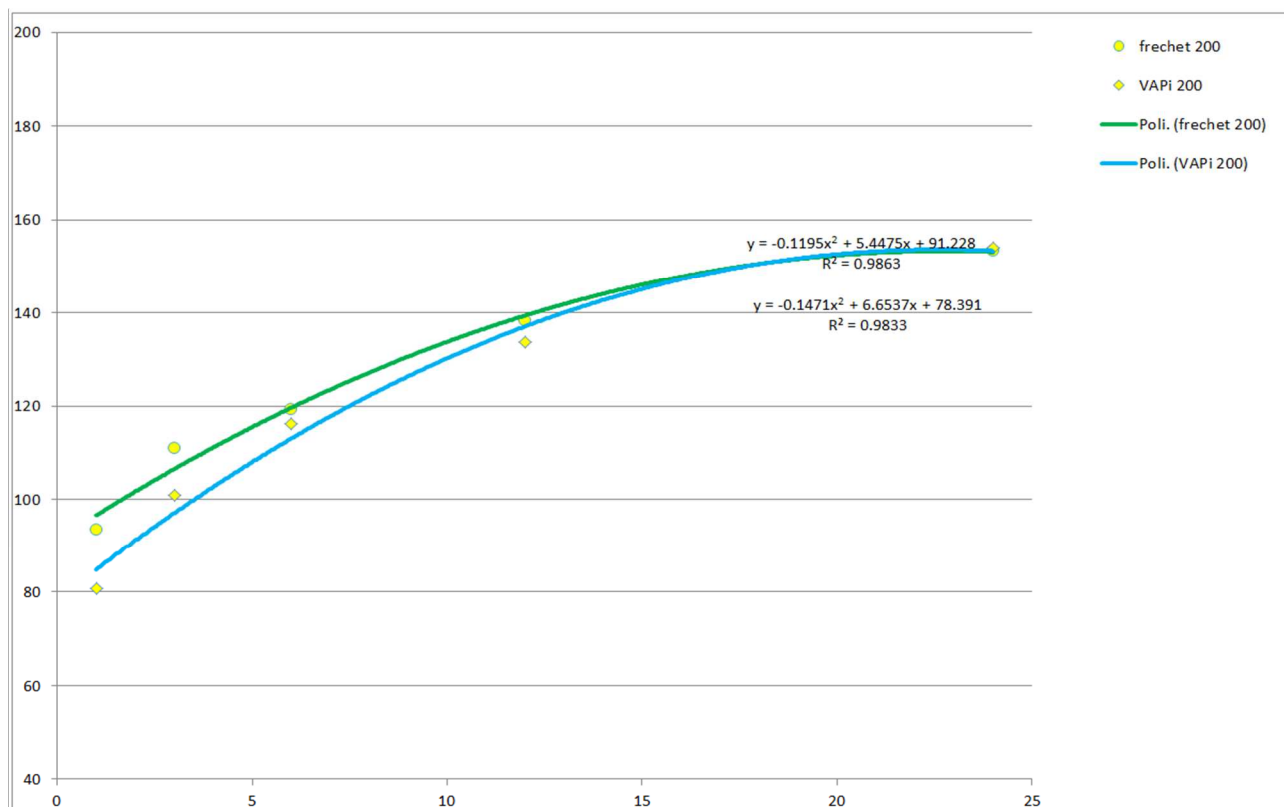
Per quanto attiene alle Curve di possibilità pluviometrica, peri bacini in esame (dimensione media 10 kmq e quota media 60 m slm) si ricavano i seguenti parametri:

VaPi	CPP 30		CPP 200		CPP 500	
	a	n	a	n	a	n
	53.394	0.2032	80.692	0.2032	93.876	0.2032

Appare utile confrontare tra di loro le CPP derivanti dalla FDP di GEV e quelle ricavate dal VaPi:

VaPi	CPP 30	CPP 200	CPP 500
1	53.4	80.7	93.9
3	66.7	100.9	117.4
6	76.8	116.1	135.1
12	88.5	133.7	155.6
24	101.9	153.9	179.1

Per rendere più agevole la valutazione, si riporta il confronto delle 2 CPP (Frechet e VaPi) per il Tr 200 anni.



Per una valutazione completa, conviene confrontare percentualmente (VaPi-Frechet) le 2 CPP:

	30	200	500
1	-1.7%	-13.7%	-22.6%
3	1.1%	-9.0%	-17.5%
6	3.2%	-2.6%	-9.6%
12	-0.3%	-3.3%	-9.1%
24	-2.3%	0.4%	-3.0%

Si evidenzia una sostanziale somiglianza tra le 2 CPP, soprattutto se confrontata con le CPP scartate; a solo titolo di esempio si riporta il valore di altezza di precipitazione calcolato al Tr 200 per una durata di 6 ore:

Tr200	VaPi	Frechet	Gumbel	GEV
6 ore	116.1	119.2	80.4	82.6

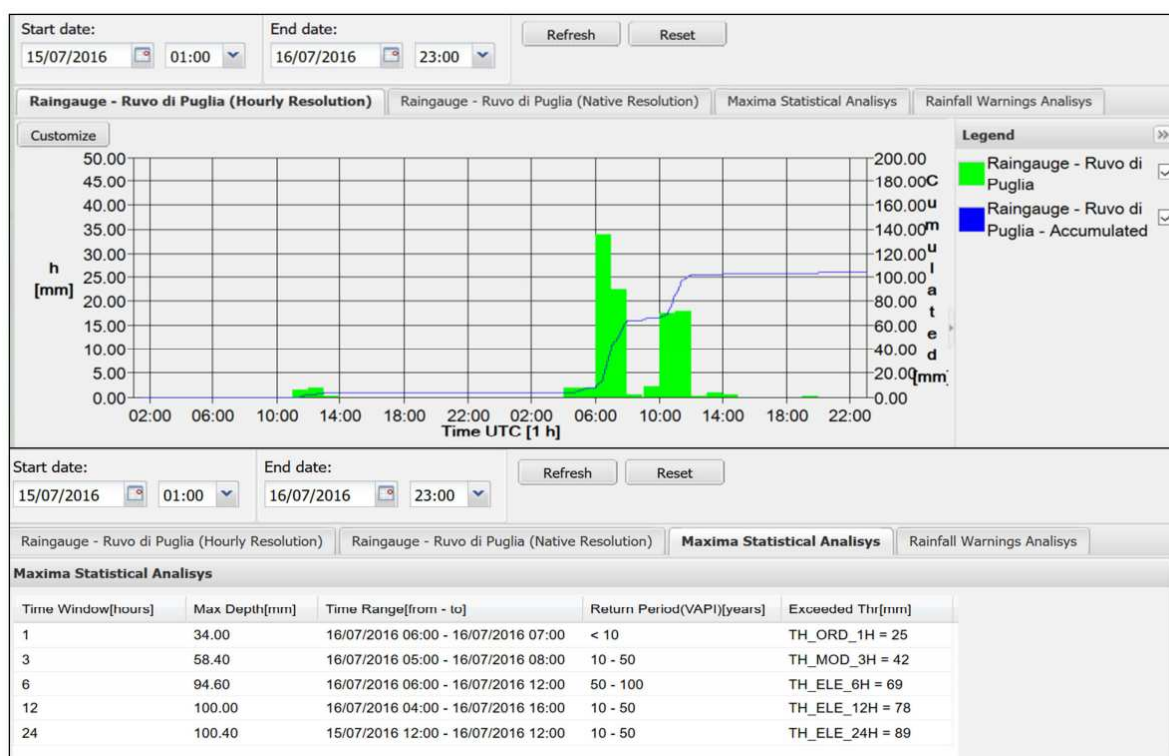
Alla luce della non particolare ampiezza della serie di dati disponibile, e dei ben noti criteri di regionalizzazione che sotto intendono il metodo VaPi, nonché per la sostanziale corrispondenza delle altezze di precipitazione ottenuti con il metodo VaPi e con la CPP di Frechet, **nel prosieguo delle elaborazioni si utilizzerà la CPP derivante dalla FDP VaPi.**

Al fine del calcolo del Tempo di Ritorno dell'evento occorso, si sono utilizzati i dati forniti dal Centro Funzionale precedentemente illustrati, confrontandoli in maniera iterativa con le CPP calcolate per Tempi di Ritorno discretizzati in intervalli di 10 anni (50, 60, 70, 80 anni e così via), calcolandone la altezza critica corrispondente per le due famiglie di Curve di Possibilità Pluviometrica considerate (VaPi e Frechet), al fine di indicare il Tr rappresentativo.

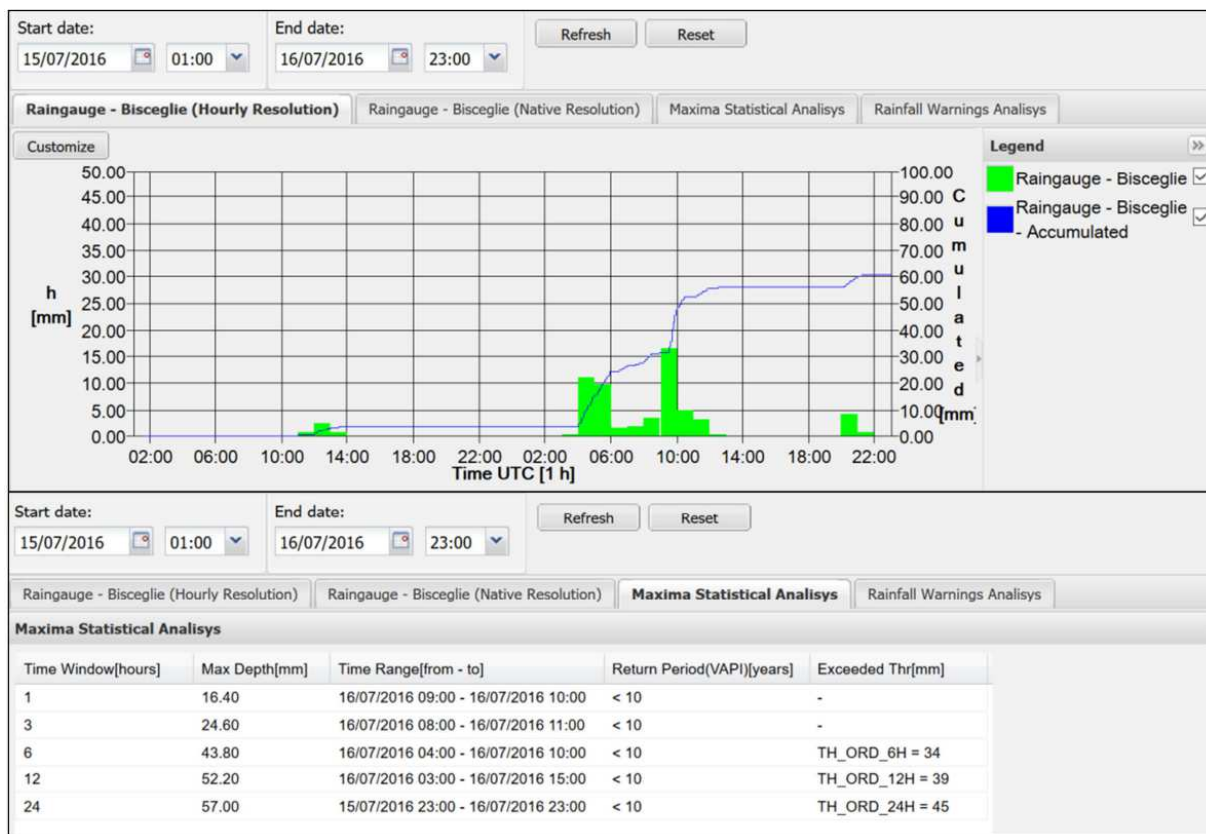
Si riporta una tabella riassuntiva, con chiaro significato dei simboli e della terminologia utilizzata.

Durata (ore)	Altezze 2016 (CFD)	VaPi Tr	VaPi h (Tr)	Frechet Tr	VaPi h (Tr)
1	41.4	10	37.6	10	39.4
3	58.4	40	57.5	20	59.0
6	94.6	< 100	101.8 (100)	80	95.1
12	100.0	50	100.7	50	100.0
24	100.4	30	101.9	30	104.3

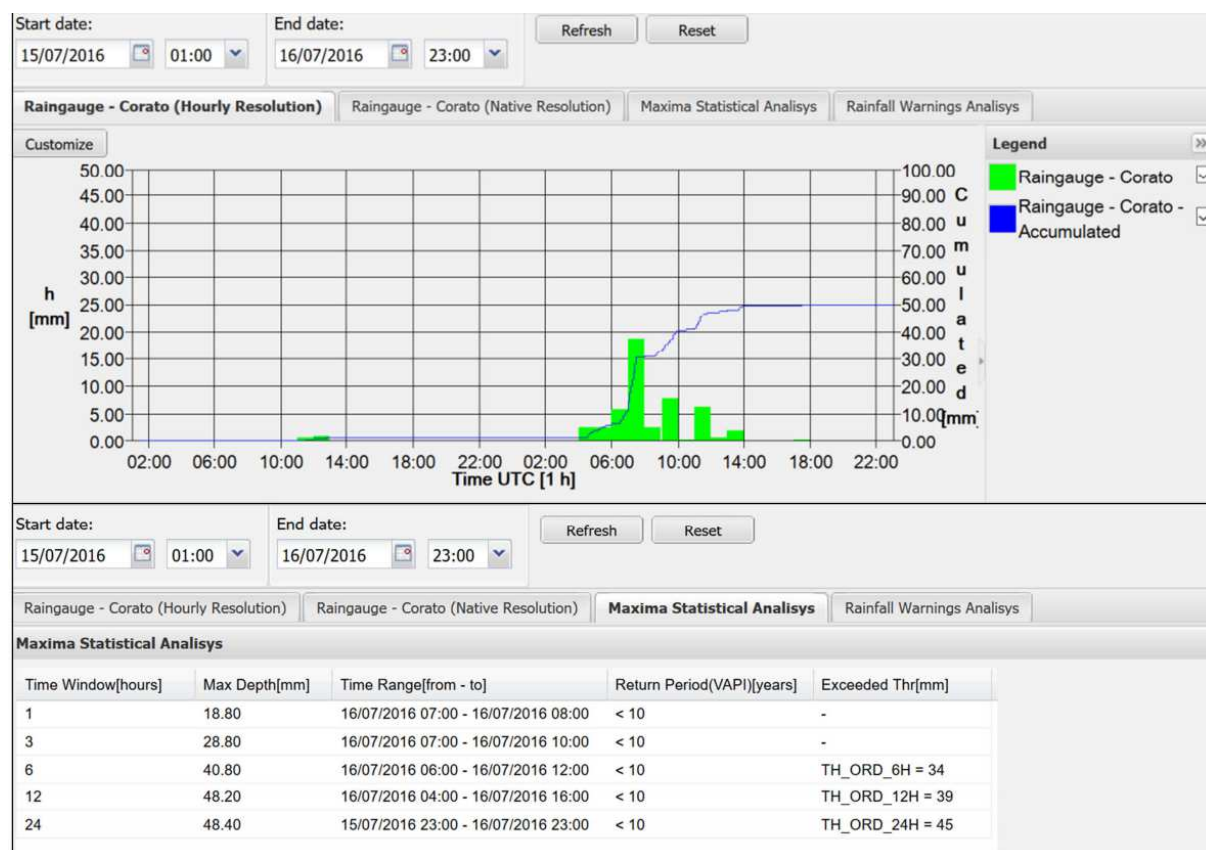
A tale conclusione è giunta anche la Protezione civile con l'elaborazione pubblicata nel *"Rapporto d'evento delle precipitazioni del 15 – 16 luglio 2016"* nel quale definisce che il tempo di ritorno dell'evento risulta, nel topoioto di Ruvo di Puglia compreso nel range tra 50 – 100 anni, nel topoioto di Bisceglie < 10 anni e nel topoioto di Corato .



Ruvo di Puglia - Andamento delle precipitazioni orarie e cumulate. Analisi statistica delle massime intensità.



Bisceglie - Andamento delle precipitazioni orarie e cumulate. Analisi statistica delle massime intensità.



Corato - Andamento delle precipitazioni orarie e cumulate. Analisi statistica delle massime intensità.