



CODE

SCS.DES.R.CIV.ITA.W.5631.005.00

PAGE

1 di/of 22

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# IMPIANTO EOLICO COPERTINO COMUNI DI COPERTINO-CARMIANO-LEVERANO (LE) RELAZIONE IDROLOGICA

File name: SCS.DES.R.CIV.ITA.W.5631.005.00\_Relazione Idrologica.docx

<b>00</b>	<b>08/05/2023</b>	<b>EMISSIONE</b>	<b>M. L'Abbruzzi</b>	<b>SCS INGEGNERIA</b>	<b>SCS INGEGNERIA</b>
			<b>G. Chiaia</b>	<b>F. de Castro</b>	<b>A.Sergi</b>
<b>REV</b>	<b>DATE</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>PREPARED</b>	<b>VERIFIED</b>	<b>APPROVED</b>
<b>IMPIANTO / Plant</b> <b>IMPIANTO EOLICO</b> <b>COPERTINO</b>		<b>CODE</b>			
<b>GROUP</b>	<b>FUNCION</b>	<b>TYPE</b>	<b>DISCIPLINE</b>	<b>COUNTRY</b>	<b>TEC</b>
<b>SCS</b>	<b>DES</b>	<b>R</b>	<b>C I V I T A W</b>	<b>5 6 3 1</b>	<b>0 0 5 0 0</b>
<b>CLASSIFICATION:</b>			<b>UTILIZATION</b> <b>SCOPE : PROGETTO DEFINITIVO</b>		

**INDICE**

1	INTRODUZIONE .....	3
2	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO .....	5
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE.....	6
3	INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO .....	8
4	STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI IDROGRAFICI .....	11
4.1	CURVE DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA (METODO VAPI) .....	12
4.2	CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA METODO DI GUMBEL.....	18
5	CONCLUSIONI .....	21
6	ALLEGATO 1 – COROGRAFIA DEI BACINI IDROGRAFICI .....	22

**INDICE DELLE FIGURE**

Figura 1:	Inquadramento dell'area di studio. ....	3
Figura 2:	Localizzazione dell'area di impianto nel contesto nazionale .....	5
Figura 3:	Localizzazione dell'impianto a livello regionale.....	5
Figura 4:	Individuazione area di impianto su Ortofoto .....	6
Figura 5 –	Individuazione su ortofoto dell'impianto in progetto .....	6
Figura 6:	Inquadramento dei bacini idrografici su carta IGM 1:25.000 .....	8
Figura 7:	Inquadramento dei bacini idrografici su curve di livello (equidistanza pari a 5 m). .....	9
Figura 8:	Inquadramento dei bacini idrografici su DTM.....	10
Figura 9:	Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello. ....	15
Figura 10:	Individuazione della zona del VAPI in cui ricadono i bacini idrografici.....	16
Figura 11:	Curve di probabilità pluviometrica ricavate con la metodologia VAPI. ....	17
Figura 12:	Individuazione dei topoi dei bacini idrografici in cui ricadono i bacini idrografici. ....	18
Figura 13:	Curve possibilità climatica della metodologia GUMBEL-- Stazione Copertino.....	20

## 1 INTRODUZIONE

La società proponente è WPD Salentina 2 S.r.l. Il gruppo WPD nasce in Germania, a Brema ed ha un'esperienza decennale nel settore delle energie rinnovabili, in particolare da fonte eolica. WPD è presente, con le sue società controllate in oltre 28 Paesi (Europa, Asia, America del Nord).

Ad oggi il gruppo WPD ha installato oltre 2550 torri eoliche con una capacità totale di circa 5740 MW ed è responsabile del funzionamento e della gestione di 513 parchi eolici, equivalenti a 5,3 GW di potenza installata.

La società WPD Salentina 2 S.r.l. è promotrice di un progetto per l'installazione di un impianto eolico le cui opere civili ed elettriche ricadono nei territori comunali di Copertino, Carmiano, Leverano e Nardò, tutti Comuni appartenenti alla Provincia di Lecce.

Il progetto, cui la presente relazione fa riferimento, riguarda la realizzazione di un impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica composta da 8 aerogeneratori, con potenza unitaria pari a 4.5MW ed una potenza complessiva di 36 MW.

**La presente relazione ha lo scopo di inquadrare dal punto di vista idrologico l'area di studio sulla base dei dati idroclimatici ufficiali (Servizio Idrografico) e delle caratteristiche orografiche del suolo.**

Come illustrato nella figura che segue, l'intervento è ubicato nella Regione Puglia ma ricade nei limiti territoriali del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale.



**Figura 1: Inquadramento dell'area di studio.**

Lo studio idrologico è articolato su due direttrici principali:

- A. Analisi e descrizione delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici relativi all'area di intervento;
- B. Caratterizzazione del regime climatico dell'area, determinando le curve di possibilità climatica secondo due distinti approcci:
  - Il metodo VAPI elaborato dal Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per l'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale (a cura del Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, 2001),
  - Il metodo classico di Gumbel, verificando l'adattabilità della serie campionaria alla relativa distribuzione di probabilità dei valori estremi delle stazioni pluviometriche di Copertino.

Gli elementi di base sono stati ricavati adottando il seguente approccio:

- la ricostruzione dell'orografia dell'area di intervento è stata effettuata elaborando i files vettoriali disponibili (DTM della Regione Puglia con risoluzione a terra di 8 m) in ambiente GIS, per poi trasferirli in ambiente CAD;
- le curve di possibilità climatica sono state ricostruite elaborando i dati di pioggia delle stazioni pluviometriche di Copertino;

Alla presente Relazione sono allegati:

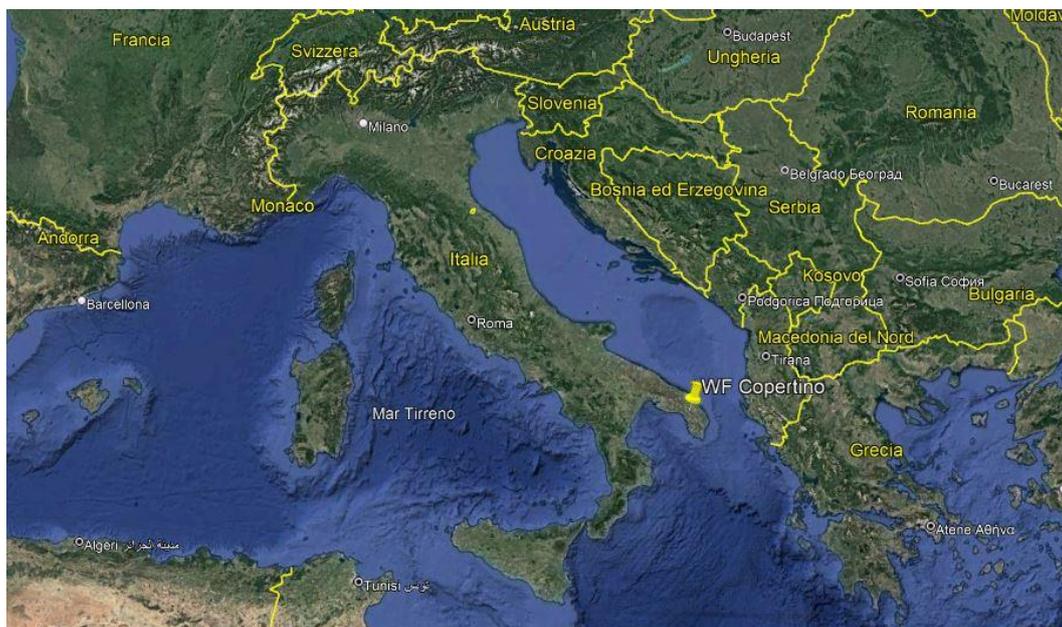
- Allegato 1 – Corografia dei bacini idrografici.

## 2 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

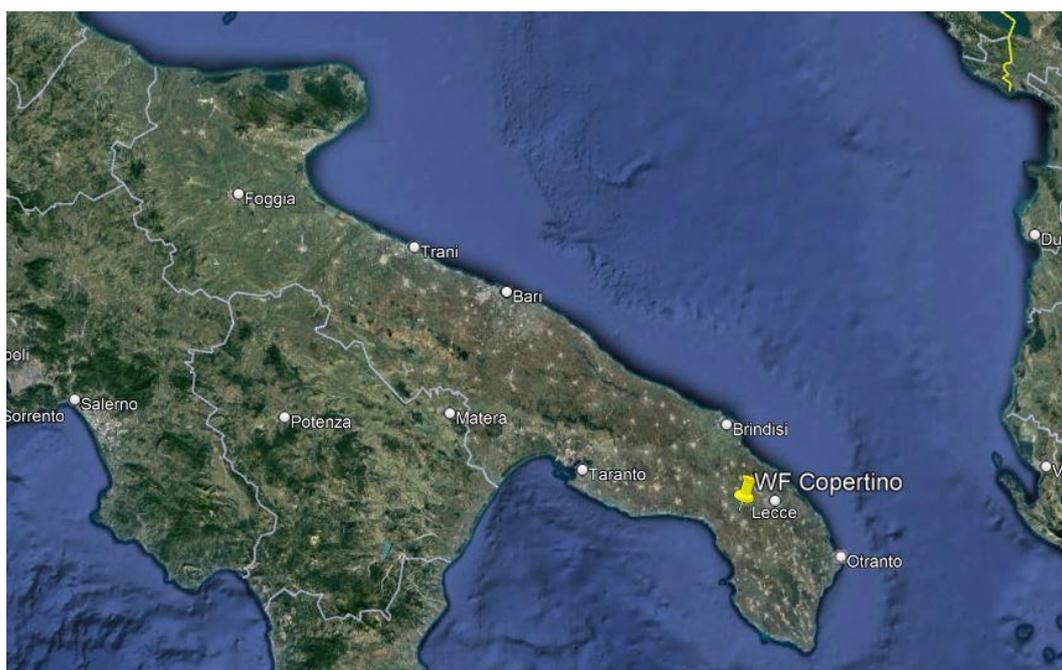
La società WPD Salentina 2 S.r.l. è promotrice del progetto per l'installazione del parco eolico in oggetto, che si localizza nel territorio comunale di Copertino, Carmiano e Leverano, e delle relative opere di connessione, presenti nei comuni di Copertino, Carmiano, Leverano e Nardò.

La zona interessata dall'impianto si sviluppa in un'area pianeggiante, a circa 14 km dalla costa Ionica e a 23 km da quella Adriatica.

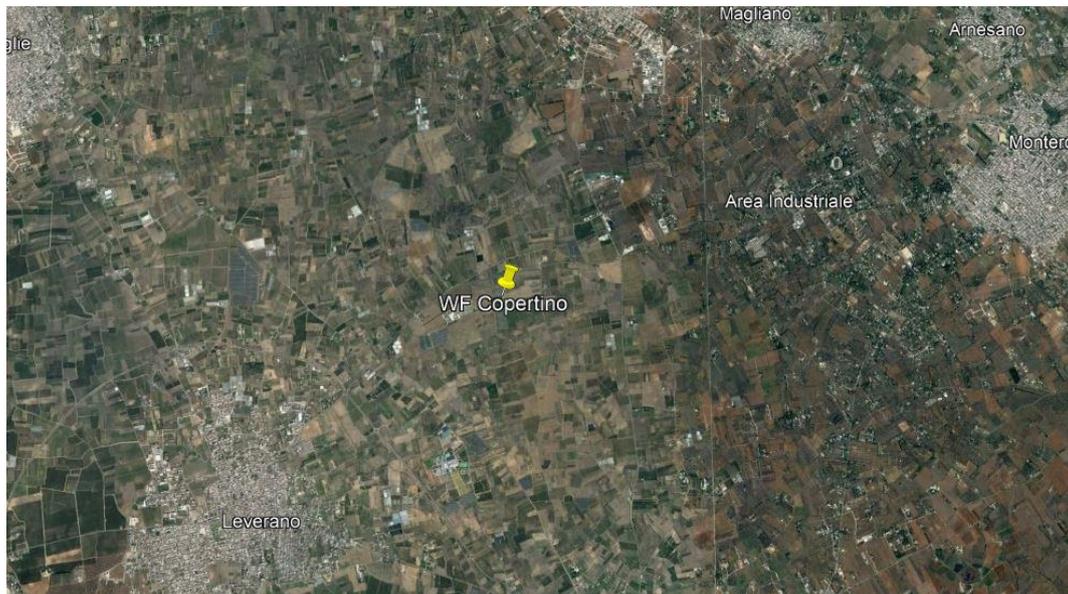
Di seguito è riportato l'inquadratura territoriale dell'area di progetto a livello nazionale, regionale e, di dettaglio su ortofoto.



**Figura 2: Localizzazione dell'area di impianto nel contesto nazionale**



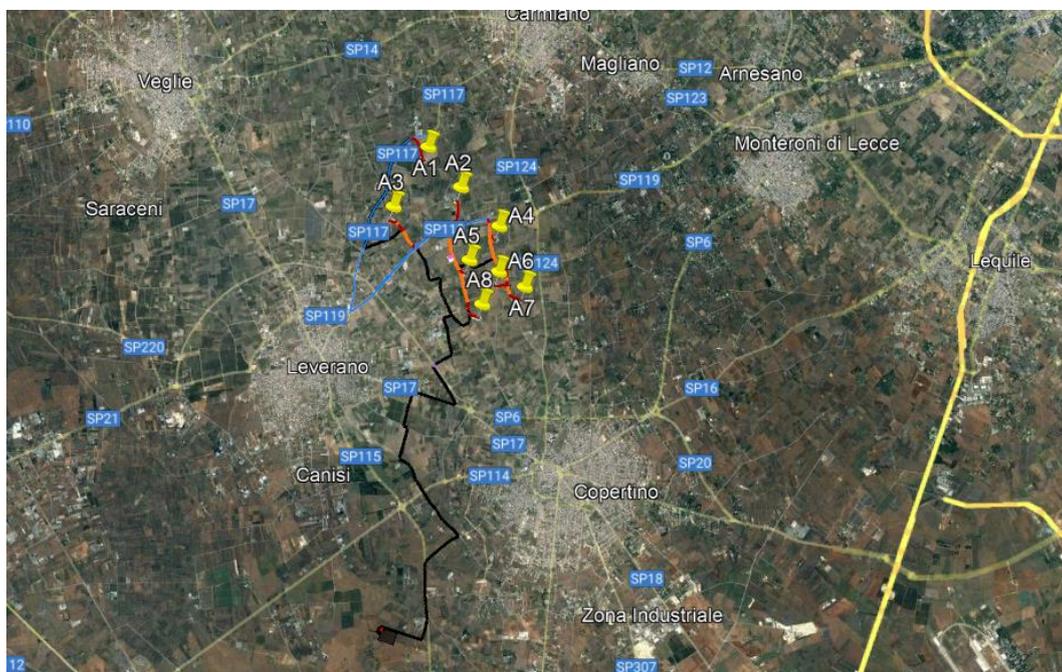
**Figura 3: Localizzazione dell'impianto a livello regionale**



**Figura 4: Individuazione area di impianto su Ortofoto**

## 2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE

In particolare, le aree proposte per la realizzazione degli aerogeneratori impegnano la zona agricola nell'intorno delle strade provinciali SP117, SP119 ed SP124, che collegano rispettivamente i comuni di Leverano e Carmiano, Leverano e Arnesano, Carmiano e Copertino.



**Figura 5 - Individuazione su ortofoto dell'impianto in progetto**

L'impianto ricade all'interno del tavoliere salentino caratterizzato da una scarsa diffusione di pendenze significative e di forme morfologiche degne di significatività, e da poderosi accumuli di terra rossa, per l'intensa antropizzazione agricola del territorio e per la presenza di zone umide costiere.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche del sito e il layout di impianto:

<b>Tipologia del sito:</b>	Zona agricola produttiva
<b>Altitudine:</b>	30 ÷ 50 m s.l.m.
<b>Temperatura media annua:</b>	18 °C
<b>Precipitazioni medie annue:</b>	55 mm
<b>Umidità relativa:</b>	70 %
<b>Radiazione solare globale</b>	1790 kWh/mq

**Tabella 1: Caratteristiche del sito**

L'impianto è costituito da 8 aerogeneratori, opportunamente disposti nell'area di interesse e installati su torri tubolari di altezza al mozzo pari a 82 m, e dall'impianto elettrico, necessario al funzionamento delle turbine eoliche. Il cavidotto di connessione collega tutti gli aerogeneratori alla sottostazione di trasformazione utente, tramite la sottostazione utente ci si collega quindi alla rete elettrica nazionale. Nella tabella che segue sono individuate le coordinate delle turbine eoliche e i riferimenti catastali delle particelle nelle quali ricadono le fondazioni:

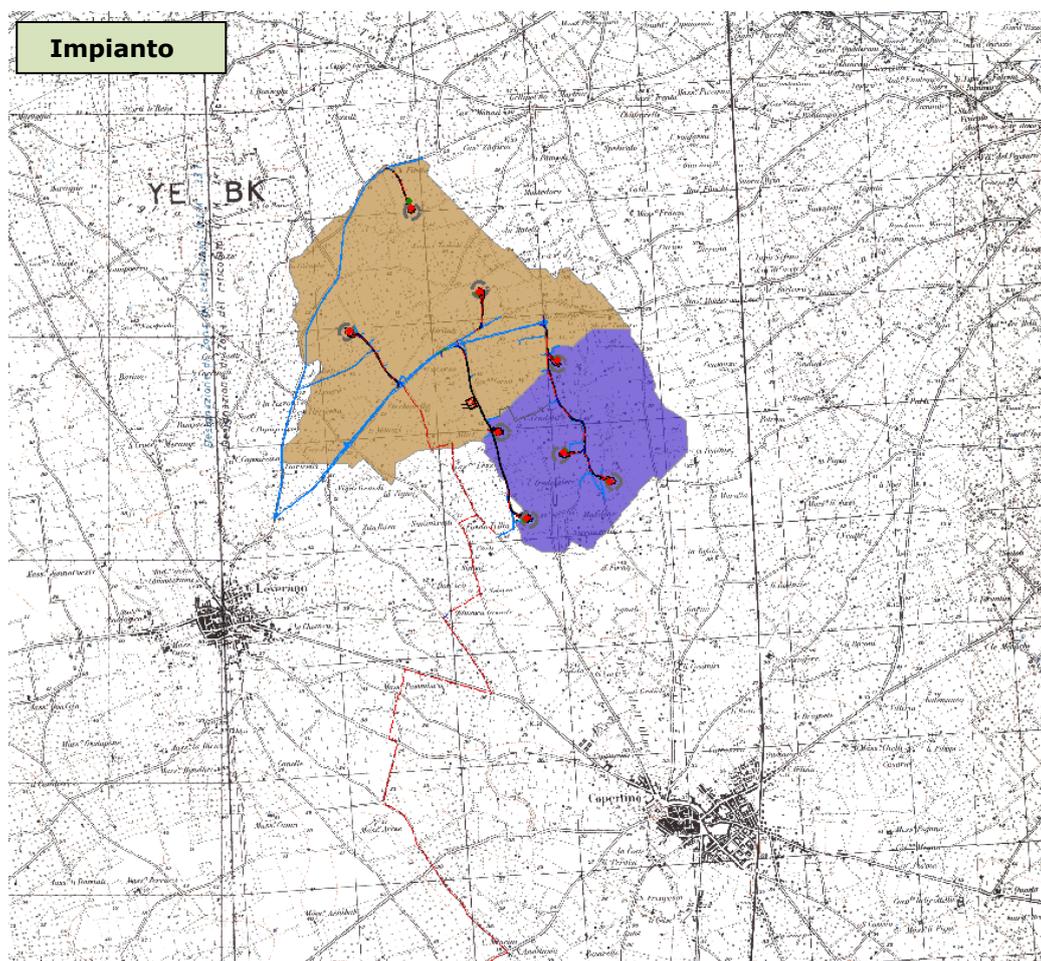
SISTEMA DI RIFERIMENTO UTM WGS 84 - FUSO 33N			RIFERIMENTI CATASTALI		
Posizioni Aerogeneratori					
WTG	EST [m]	NORD [m]	COMUNE	FG	P.LLA
<b>A1</b>	246859,65	4467827,49	CARMIANO	27	263
<b>A2</b>	247410,55	4467093,61	COPERTINO	2	73 41
<b>A3</b>	246206,32	4466790,49	LEVERANO	13	45
<b>A4</b>	248068,30	4466378,01	COPERTINO	7	45
<b>A5</b>	247518,72	4465797,47	COPERTINO	6	325 326
<b>A6</b>	248030,58	4465567,96	COPERTINO	6	262 366
<b>A7</b>	248483,97	4465284,86	COPERTINO	7	157
<b>A8</b>	247718,67	4465003,81	COPERTINO	10	12 14

**Tabella 2: Coordinate aerogeneratori dell'impianto eolico di Leverano-Copertino**

### 3 INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO

Prima di delimitare i bacini idrografici sottesi alle aree di intervento, si è provveduto a verificare la coerenza planimetrica tra il reticolo rappresentato sulla cartografia I.G.M. 25.000 e quello deducibile dal DTM della Regione Puglia. Sono emerse talune leggere differenze, a fronte delle quali si sono assunte come maggiormente attendibili le informazioni ricavate dal DEM.

Dall'analisi dell'orografia dell'area di intervento sono stati individuati otto bacini idrografici le cui sezioni di chiusura sono prossime alle aree di interesse. Questi si sviluppano nei territori comunali di Leverano e Copertino, all'interno dei fogli 511 e 512 della cartografia I.G.M. 25.000 (cfr. Figura 6).

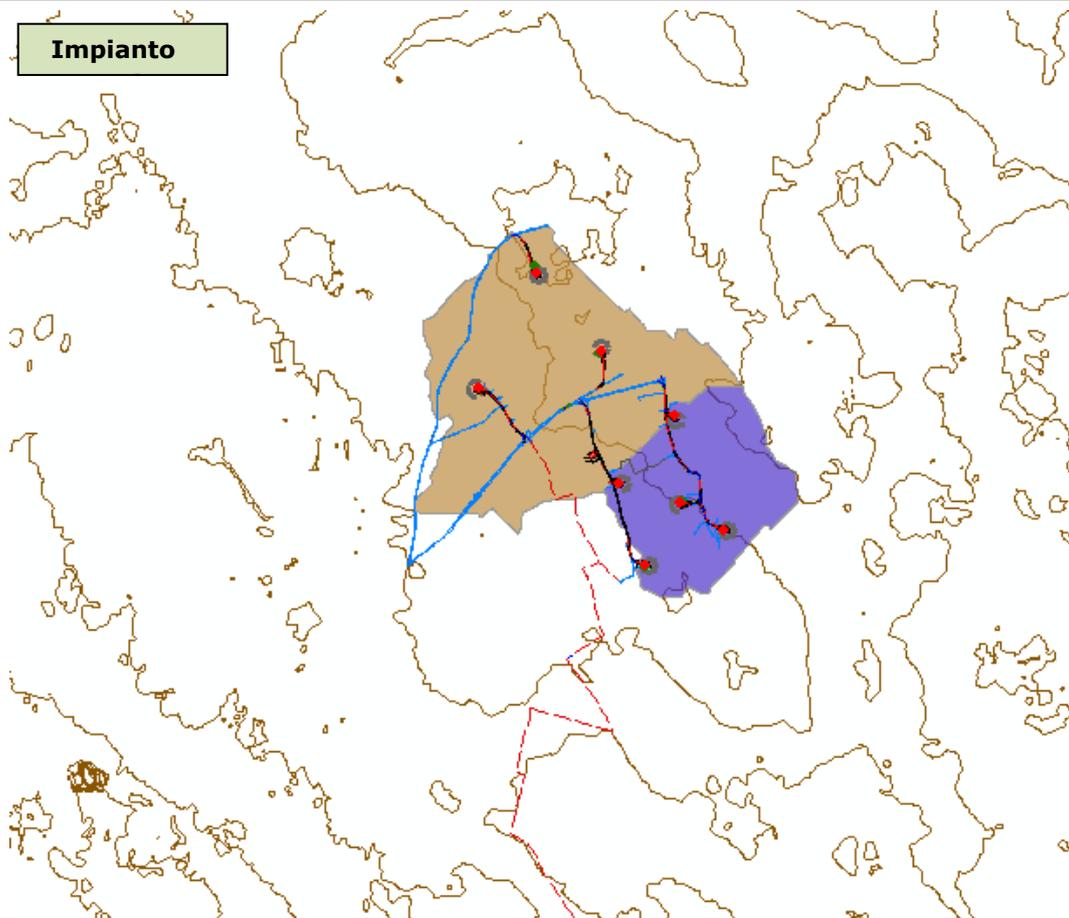


**Figura 6: Inquadramento dei bacini idrografici su carta IGM 1:25.000**

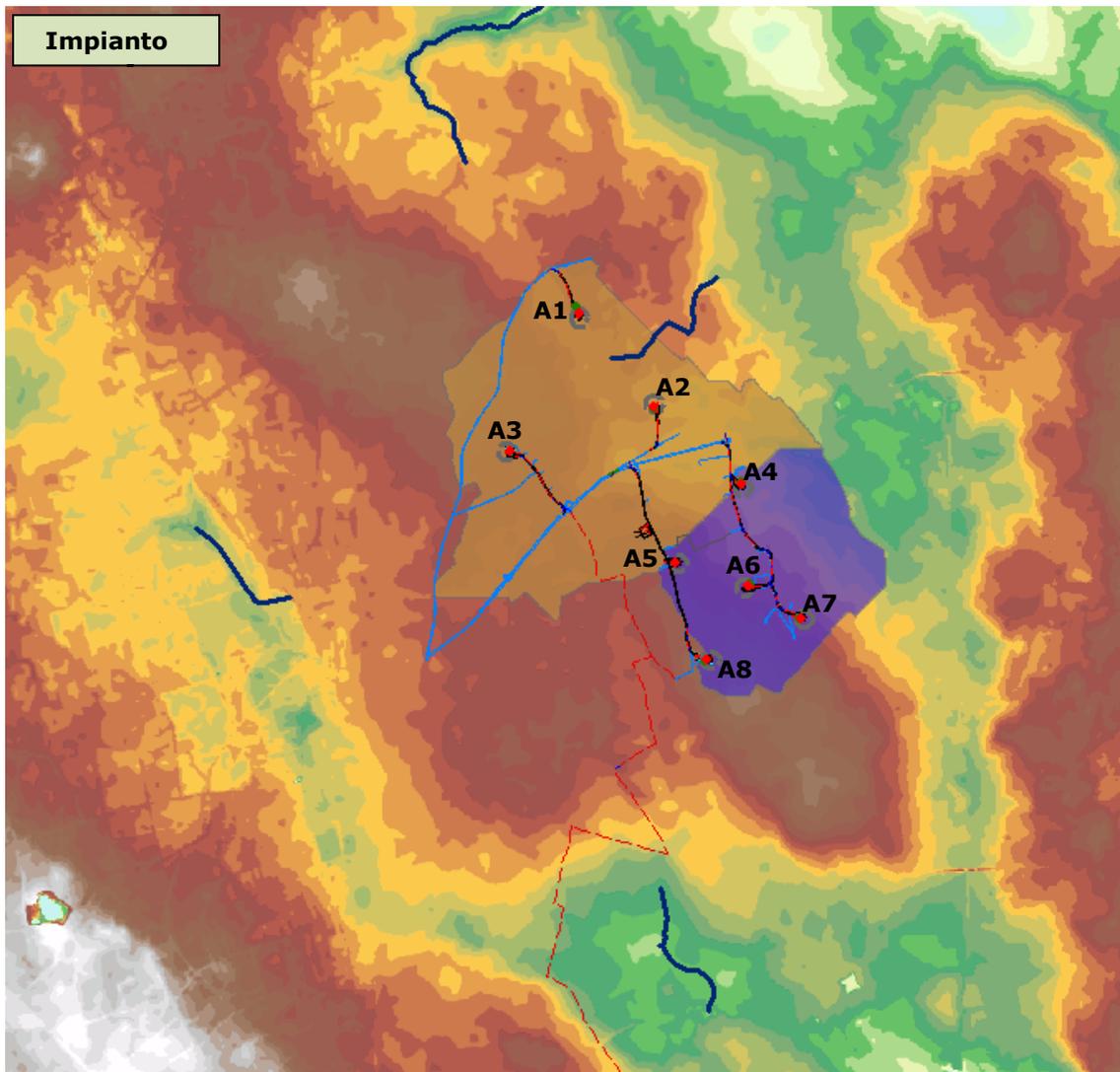
I parametri geomorfologici caratteristici dei bacini idrografici sono indicati in *Tabella 3*:

Bacino idrografico	Superficie	Lungh. asta principale	H massima del bacino	H minima del bacino	H media del bacino	H monte dell'asta principale	Pendenza media bacino	Pendenza media dell'asta principale
	S [km <sup>2</sup> ]	L [m]	H <sub>max</sub> [m]	H <sub>min</sub> [m]	H	H <sub>m</sub> [m]	i <sub>m</sub> [%]	i <sub>a</sub> [%]
A	4.89	2520.30	44.00	33.00	39.80	37.03	0.40%	0.36%
B	2.29	1201.02	45.00	33.00	39.00	35.63	0.49%	0.52%

**Tabella 3 : Parametri geomorfologici dei bacini idrografici.**



**Figura 7: Inquadramento dei bacini idrografici su curve di livello (equidistanza pari a 5 m).**



**Figura 8: Inquadramento dei bacini idrografici su DTM.**

#### 4 STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI IDROGRAFICI

Lo studio idrologico dei bacini è stato condotto determinando le curve di possibilità climatica, come desunte dalle misure di precipitazione massime orarie riportate negli Annali Idrologici relativo alla stazione pluviometrica di Copertino (LE).

Come si è già detto nel paragrafo 3, la valutazione di dette curve è stata condotta secondo due distinti approcci:

- Il metodo VAPI elaborato dal Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per l'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale (a cura del Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, 2001),
- Il metodo classico di Gumbel, verificando l'adattabilità della serie campionaria alla relativa distribuzione di probabilità dei valori estremi.

Le elaborazioni effettuate per giungere alla determinazione delle equazioni delle curve sono puntualmente descritte nei paragrafi che seguono, mentre si è omessa la descrizione dell'applicazione ai dati di precipitazione massima oraria delle analisi statistiche convenzionali (adattabilità delle serie campionarie a distribuzioni di probabilità), in quanto trattasi di procedura ormai consolidata e nota nella pratica tecnica. I valori dei tempi di ritorno (TR) utilizzati per la definizione delle curve di possibilità climatica e, di conseguenza, per la stima degli eventi di piena sono 1, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 500 anni.

#### 4.1 CURVE DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA (METODO VAPI)

L'approccio più moderno per lo studio degli eventi estremi in idrologia viene condotto con un insieme di procedure atte a trasferire l'informazione idrologica e nota come "analisi regionale".

Alla base di un modello di regionalizzazione vi è la preventiva individuazione del meccanismo fisico-stocastico, che spiega la distribuzione della variabile idrologica di interesse nello spazio e nel dominio di frequenza statistica.

La scelta del tipo di modello richiede la conoscenza di alcuni aspetti fondamentali legati: alle risorse dedicabili allo studio, alla qualità dell'informazione disponibile e alla precisione richiesta dai risultati. Pertanto, la struttura del modello richiede la costruzione del risolutore numerico e un'attenta identificazione dei parametri di taratura.

Numerosi studi sono stati condotti in Inghilterra, negli Stati Uniti ed in Italia su questi modelli a più parametri, noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson,1955), Wakeby (Houghton 1978) e TCEV (Rossi e Versace,1982; Rossi et al. 1984).

Quest'ultima sigla deriva dall'espressione inglese Two Component Extreme Value, che rappresenta la distribuzione di probabilità corrispondente ad un certo evento estremo, sia che provenga dalla distribuzione statistica di eventi ordinari sia che provenga da quella degli eventi straordinari. A tal fine occorre sottolineare che la principale fonte di incertezza deriva proprio dagli eventi estremamente intensi che hanno caratteristiche di rarità in ogni sito e aleatorietà per quel che riguarda il sito ove potranno verificarsi nel futuro. Ciò implica che, se in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, questo non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

In seguito, dopo una breve indicazione circa i dati disponibili per lo studio, si procede a fornire i risultati delle varie fasi della procedura di regionalizzazione del territorio pugliese centro-meridionale, territorio nel quale ricade il bacino oggetto di studio.

I dati pluviometrici utilizzati sono quelli pubblicati sugli annali idrologici del compartimento di Bari del S.I.I, le cui stazioni formano la rete di misura delle precipitazioni su tutto il territorio regionale con un'elevata densità territoriale.

Le osservazioni pluviometriche, utilizzate per la regionalizzazione, interessano il periodo dal 1960 al 2000 in tutte le stazioni di studio, con almeno quindici anni di misure, dei massimi annuali delle precipitazioni giornaliere ed orarie. Le serie sono variabili da un minimo di 19 ad un massimo di 47 dati per un numero totale di stazioni pari a 66, tutte appartenenti alla Puglia centro-meridionale.

Come si è detto, per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato adottato un 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, 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. Il modello proposto ammette che le due componenti, quella straordinaria e ordinaria, appartengano a popolazioni diverse, anche se è ammessa la loro interferenza attraverso un processo poissoniano.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV ha consentito 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, quindi risultano costanti i due parametri  $\theta^*$  e

$\Lambda^*$  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  $\Lambda_1$  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 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. La preventiva suddivisione dell'area di studio in zone e sottozone omogenee è stata effettuata in base all'analisi delle massime precipitazioni giornaliere, di cui si dispone del maggior numero di informazioni. La procedura prevede che si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali possano ritenersi costanti i valori dei parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ . I risultati ottenuti dall'analisi del I° livello e II° livello di regionalizzazione sono stati ricavati con riferimento ad un'ipotesi di invarianza dei parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ . L'analisi del primo livello suggerisce la presenza di un'unica zona omogenea comprensiva di tutte le stazioni della regione.

Analogamente alla procedura operata al primo livello di regionalizzazione, la successiva verifica dell'ipotesi di un'unica zona omogenea è stata effettuata attraverso il confronto delle distribuzioni di frequenza cumulata dei valori osservati del coefficiente di variazione CV e di quelli generati, ottenendo un ottimo risultato che convalida ulteriormente l'ipotesi di intera regione omogenea con un valore costante di  $\Lambda_1$ . Alla luce di tali risultati, è stato possibile assumere realistica l'ipotesi di un'unica zona omogenea al primo e al secondo livello di regionalizzazione.

Nel riquadro a seguire si riportano i valori numerici dei parametri di interesse per lo studio.

	$\theta^*$	$\Lambda^*$	$\Lambda_1$
<b>Puglia centro meridionale</b>	2.121	0.353	17.55

**Tabella 4 : Parametri d'interesse.**

La distribuzione regionale della probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $X_{d,TR}$  viene espressa in funzione di una quantità  $K_{TR}$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $TR$  e indipendente dalla durata.

Tale fattore è, in generale, funzione del tempo di ritorno  $TR$  ed è definito dal rapporto seguente:

$$K_T = \frac{X_{d,T}}{\mu(X_{d,T_R})}$$

essendo  $X_{d,TR}$  il massimo annuale di precipitazione per assegnata durata e tempo di ritorno.

La curva di distribuzione di probabilità di tale rapporto ha caratteristiche regionali, in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della distribuzione di probabilità della  $X_{d,TR}$ . Pertanto, fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata, all'interno della zona pluviometrica omogenea previamente identificata, è possibile esprimere la relazione tra il tempo di ritorno  $TR$  ed il fattore di crescita  $K_{TR}$ , potendo ritenere trascurabile la variabilità del fattore di crescita con la durata. Infatti, calcolando, nelle stazioni disponibili, le medie pesate dei coefficienti di asimmetria e dei coefficienti di variazione alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria.

L'indipendenza dalla durata di  $K_{TR}$  autorizza ad estendere anche alle piogge orarie i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

Sulla scorta dei valori regionali dei parametri  $\theta^*$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Lambda 1$ , è possibile calcolare la curva di crescita per la Puglia centro – meridionale, anche se tale fattore può essere calcolata in funzione di TR attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita, che ha la seguente forma:

$$K_{TR} = a + b * \ln(T_R)$$

in cui i parametri a e b sono esprimibili in funzione dei valori regionali di  $\theta^*$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Lambda 1$ .

Per la Puglia settentrionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, quindi, la seguente:

$$K_T = 0.5648 + 0.415 * \ln T_R \quad (1)$$

Per la Puglia centro-meridionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, invece, la seguente:

$$K_T = 0.1599 + 0.5166 * \ln T_R \quad (2)$$

anche se va rimarcato come l'utilizzo di questa approssimazione comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per  $T < 50$  anni e superiori al 5% per  $T < 100$  anni.

I valori di KT utilizzati nel caso in esame sono riportati nella tabella seguente:

Tempo di ritorno (anni)	1	5	10	20	30	50	100	200	500
K(T) Zona 1-2-3-4	0.565	1.233	1.520	1.808	1.976	2.188	2.476	2.764	3.144
K(T) Zona 5-6	0.160	0.991	1.349	1.707	1.917	2.181	2.539	2.897	3.370

**Tabella 5 : Valori di KT al variare della zona e del tempo di ritorno.**

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata 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, per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_t)$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_d) = ad^n$$

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

Il VAPI individua le seguenti zone di 3° livello:

- nell'area della Puglia settentrionale, 4 aree omogenee dal punto di vista del legame fra altezza di precipitazione giornaliera  $\mu(X_g)$  e quota. Ognuna di esse è caratterizzata da una correlazione lineare con elevati valori dell'indice di determinazione tra i valori  $\mu(X_g)$  e le quote sul mare h:

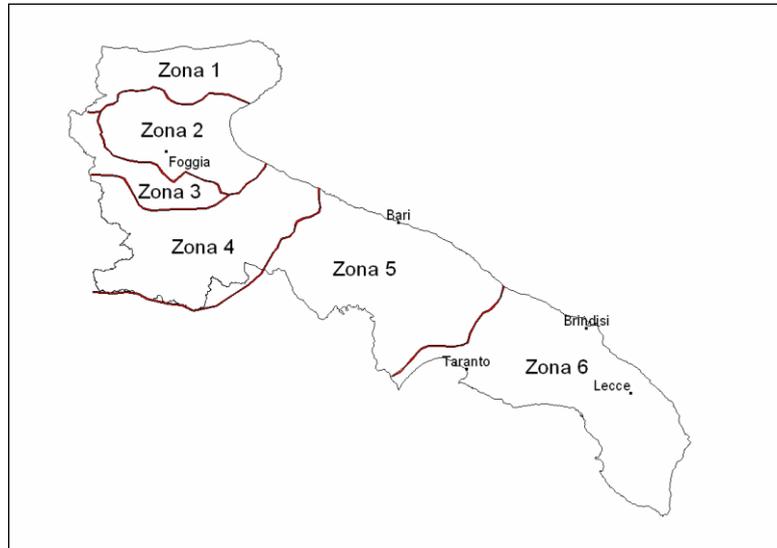
<b>ZONA 1-3</b>	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+\ln q - \ln a)/\ln 24}$
<b>ZONA 2-4</b>	$\mu(h,t) = at^n$

**Tabella 6 : Correlazione tra  $\mu(X_g)$  e la durata di precipitazione.**

in cui C e D sono parametri che dipendono dall'area omogenea;

- nell'area centro-meridionale della Puglia, il territorio è suddivisibile in due sottozone omogenee

individuata dal Nord-Barese - Murgia Centrale e dalla Penisola Salentina, contrassegnate rispettivamente come zona 5 e zona 6, nelle quali la struttura dell'equazione della curva di pioggia è identica a quella delle zone 1 e 3.



**Figura 9: Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello.**

<b>ZONA 5-6</b>	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+\ln a - \ln a)/\ln 24}$
-----------------	---

Alla luce di quanto fin qui esposto, la relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito, per le due aree in esame, è generalizzata nella forma:

$$\mu(X_d) = ad^{(Ch+D+\ln \alpha - \ln a)/\ln 24} \quad (3)$$

in cui  $a$  è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di  $\mu(X_d)$  relativi alle serie con  $N \geq 10$  anni ricadenti in ciascuna zona omogenea e  $\alpha = xg/x_{24}$  è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e quelle di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità.

Per la Puglia il valore del coefficiente  $\alpha$  è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89;  $C$  e  $D$  rappresentano invece i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare. Per le zone individuate, i valori dei parametri sono riportati nel riquadro a seguire:

Zona	$\alpha$	$a$	$C$	$D$	$N$
1	0,89	28,66	0,00503	3,959	-
2	0,89	22,23	-	-	0,247
3	0,89	25,325	0,000531	3,811	-
4	0,89	24,7	-	-	0,256
5	0,89	28,2	0,0002	4,0837	-
6	0,89	33,7	0,0022	4,1223	-

**Tabella 7 : Coefficienti del 3° livello di regionalizzazione.**

Quindi, per ottenere l'altezza di precipitazione della zona di interesse si deve moltiplicare il fattore di crescita ( $K_T$ ) per la

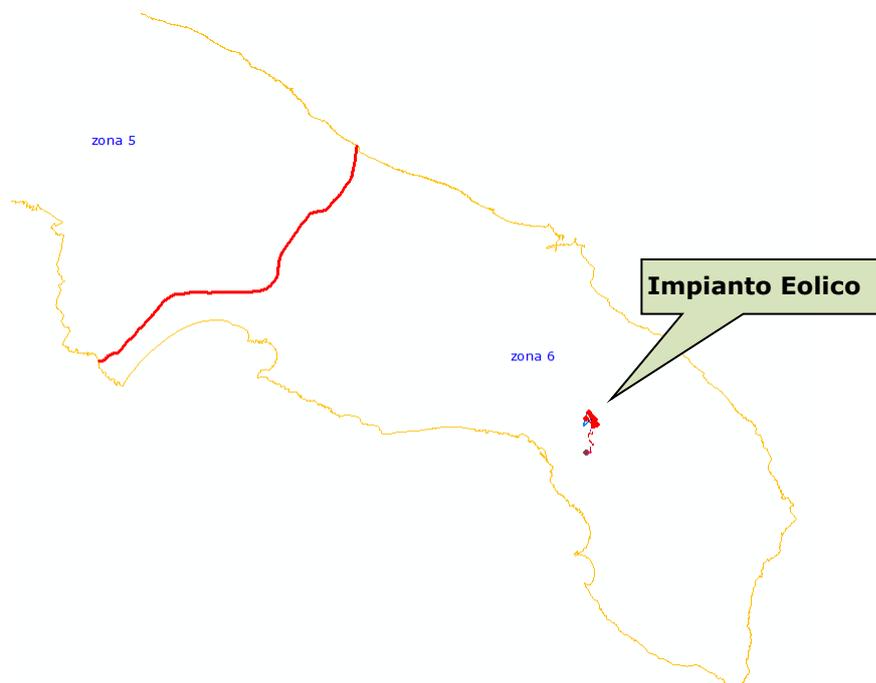
precipitazione media:

$$h = K_T \cdot \mu(X_d) \quad (4)$$

L'area d'intervento si trova nella Puglia meridionale e, in particolare, nella zona 6 (cfr. figura seguente). Quindi per la determinazione delle curve di possibilità climatica si è applicata la relazione (4) e utilizzando i valori della Tabella 7 relativi alla zona 1 ottenendo così le curve di possibilità climatica relative alla zona di interesse.

$$\mu(X_d) = 26,80 \cdot t^{[(0,720+0,000503 \cdot z)/3,178]} \quad (5)$$

dove z è il parametro geomorfologico della quota assoluta sul livello del mare (espressa in metri).



**Figura 10: Individuazione della zona del VAPI in cui ricadono i bacini idrografici.**

Nelle tabelle che seguono si riportano i valori dei parametri a ed n (Tabella 8) le altezze di pioggia ricavate dalla (4) e (5) (Tabella 9) , rappresentate graficamente in Figura 11.

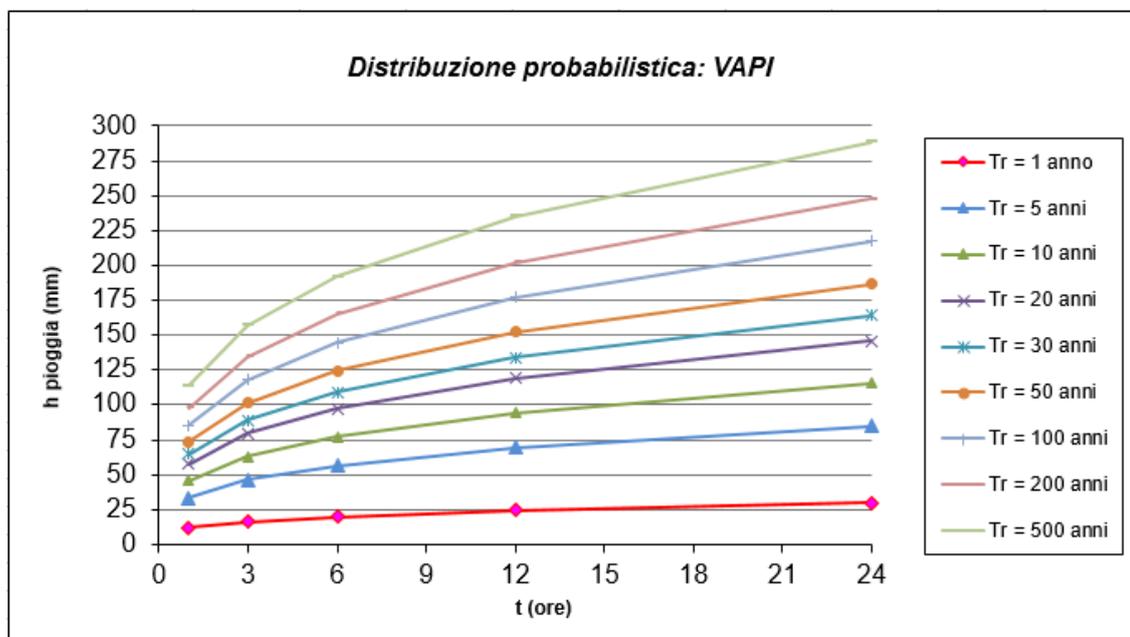
T [anni]	a [mm/ore <sup>n</sup> ]	n [-]
<b>1</b>	11.74	0.293
<b>5</b>	33.41	0.293
<b>10</b>	45.48	0.293
<b>20</b>	57.54	0.293
<b>30</b>	64.60	0.293
<b>50</b>	73.49	0.293
<b>100</b>	85.56	0.293
<b>200</b>	97.63	0.293
<b>500</b>	113.58	0.293

**Tabella 8 : Parametri del VAPI ottenuti per diversi tempi di ritorno.**

Tr anni	h				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
<b>1</b>	11.74	16.19	19.84	24.31	29.79
<b>5</b>	33.41	46.10	56.48	69.20	84.78
<b>10</b>	45.48	62.75	76.88	94.19	115.41
<b>20</b>	57.54	79.40	97.28	119.19	146.03
<b>30</b>	64.60	89.14	109.21	133.81	163.95
<b>50</b>	73.49	101.41	124.25	152.23	186.52
<b>100</b>	85.56	118.06	144.65	177.23	217.14
<b>200</b>	97.63	134.71	165.05	202.22	247.77
<b>500</b>	113.58	156.72	192.02	235.26	288.25

**Tabella 9 : Distribuzione probabilistica: VAPI - Altezze di pioggia (mm).**

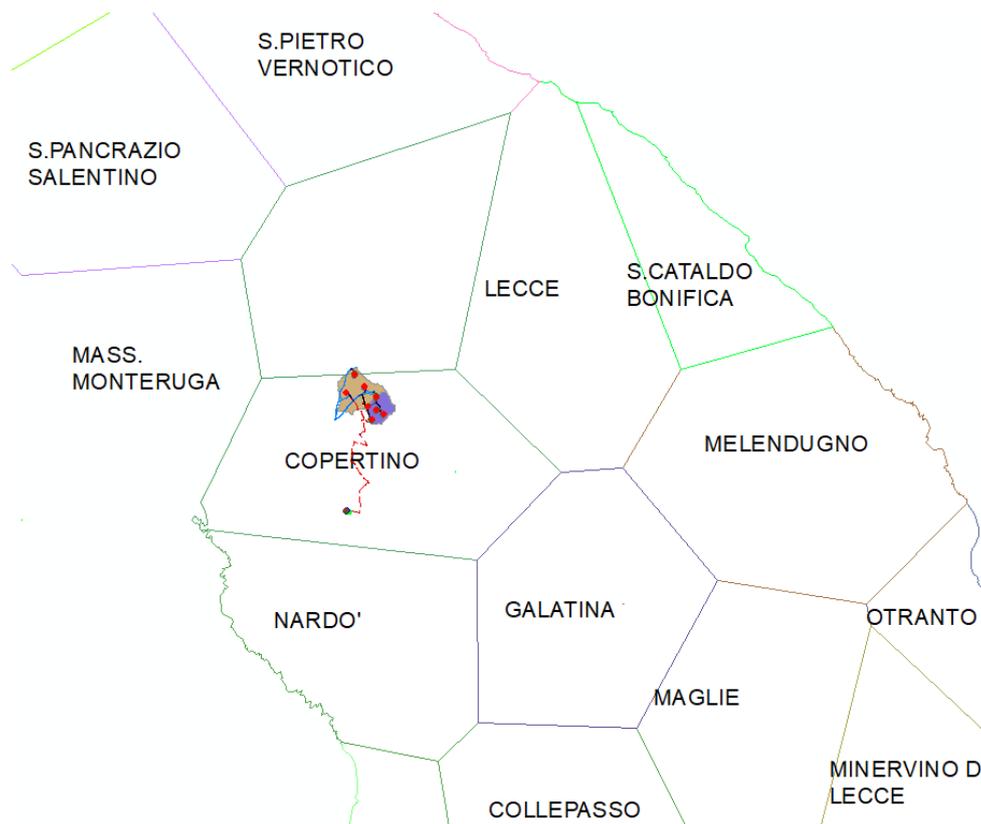
In Figura 13Figura 11 si è riportata la rappresentazione grafica delle curve di possibilità climatica.



**Figura 11: Curve di probabilità pluviometrica ricavate con la metodologia VAPI.**

#### 4.2 CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA METODO DI GUMBEL

Per la determinazione delle curve di possibilità climatiche con il metodo di Gumbel si è fatto riferimento alle stazioni pluviometriche che interessano i bacini idrografici di interesse. Essi ricadono all'interno di un topioieto. In particolare, ricadono nella stazione pluviometrica di Copertino.



**Figura 12: Individuazione dei topioieti delle stazioni pluviometriche in cui ricadono i bacini idrografici.**

Nella tabella seguente si riporta la serie di eventi pluviometrici della stazione pluviometrica di Copertino.

Stazione di:		COPERTINO				
Anni	Durate [ore]					
	1	3	6	12	24	
1961	21.0	38.8	47.8	52.6	56.0	
1962	28.6	30.0	49.0	51.8	52.0	
1964	55.6	55.6	55.6	62.4	106.8	
1965	18.8	20.6	23.0	29.6	39.2	
1966	62.2	64.4	64.4	64.4	101.4	
1967	25.2	25.4	25.6	29.6	49.6	
1968	29.0	44.0	45.2	46.0	46.8	
1969	21.2	32.2	32.4	32.4	49.2	
1970	34.8	37.0	63.2	69.0	95.8	
1971	37.0	52.0	63.0	66.6	88.2	
1972	55.4	58.2	58.2	58.2	58.2	
1973	17.2	32.0	32.0	37.0	52.0	
1974	40.0	68.6	74.8	81.4	81.6	
1975	27.6	27.8	27.8	33.6	38.0	
1976	73.6	89.2	89.4	89.4	89.4	

Stazione di: COPERTINO					
Anni	Durate [ore]				
	1	3	6	12	24
1979	60.0	91.0	91.0	91.2	101.6
1980	22.8	38.6	48.0	51.0	59.8
1981	17.6	20.0	26.0	27.8	36.8
1982	23.2	32.0	38.0	49.0	67.2
1983	30.2	32.2	47.0	70.0	108.6
1984	41.0	55.0	55.2	55.2	62.0
1985	34.8	68.8	71.8	87.6	90.2
1989	25.8	25.8	28.0	28.0	28.0
1990	23.6	25.2	40.6	48.2	72.6
1991	15.8	22.6	28.6	31.2	33.0
1992	25.2	25.2	37.6	46.2	52.4
1993	51.6	89.6	89.6	91.6	113.8
1994	33.4	33.4	33.6	35.0	60.6
1995	41.0	52.8	54.0	54.4	55.4
1996	53.0	74.0	114.8	131.8	132.2
1997	62.8	62.8	62.8	62.8	64.6
1998	19.6	30.2	45.8	86.0	112.2
1999	40.0	44.0	46.0	46.0	46.0
2000	38.6	61.0	61.8	66.4	67.0
2001	27.4	29.0	29.0	29.2	35.0
2002	41.0	41.6	43.2	51.2	64.6
2005	34.6	42.6	42.8	48.0	54.2
2006	26.4	26.6	26.6	27.4	33.0
2007	24.0	33.2	35.6	37.0	37.0
2008	13.2	17.4	29.2	42.8	66.6
2009	32.0	34.8	61.6	65.0	79.6
2010	53.4	124.2	169.8	179.6	179.8

**Tabella 10 : Serie degli eventi pluviometrici – stazione di Copertino.**

L'elaborazione dei dati pluviometrici secondo le metodologie standard (minimi quadrati), ha condotto alla determinazione dei parametri a ed n della equazione:

$$h = a \times t^n$$

T [anni]	a [mm/ore <sup>n</sup> ]	n [-]
1	25.60	0.20
5	47.22	0.21
10	56.90	0.22
20	66.18	0.22
30	71.52	0.22
50	78.19	0.22
100	87.20	0.22
200	96.15	0.22
500	107.97	0.22

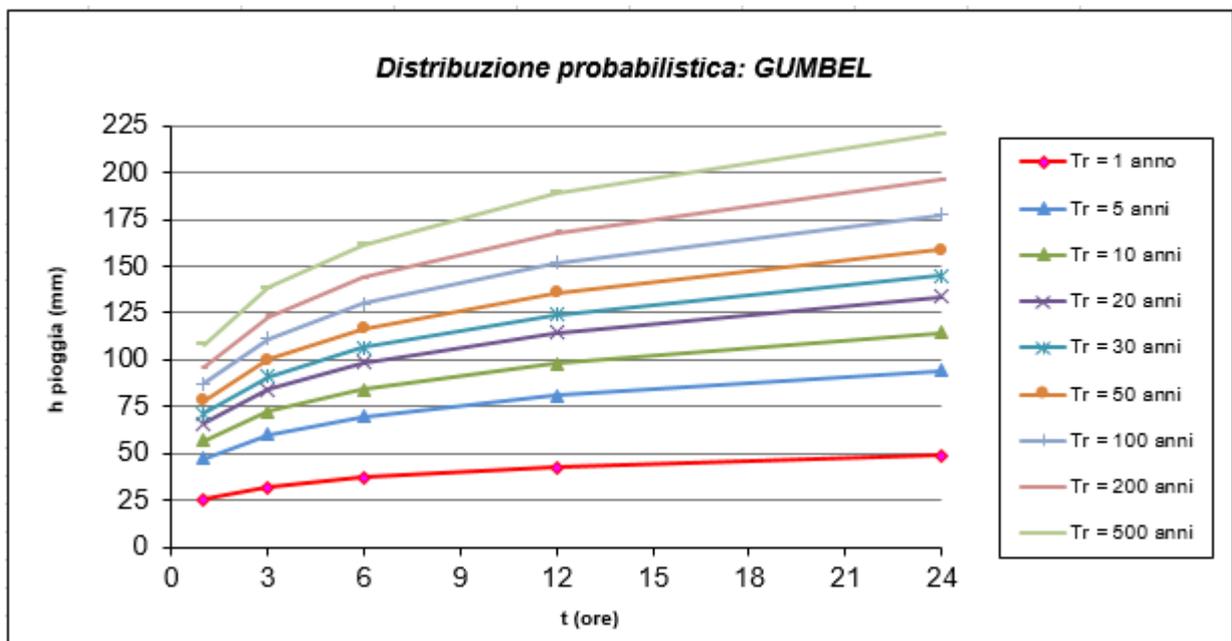
**Tabella 11: Parametri di Gumbel ottenuti per diversi tempi di ritorno – Stazione Copertino**

Conseguentemente sono state ricavate le altezze di pioggia per i differenti tempi di ritorno e per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Tr anni	h				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
<b>1</b>	25.60	32.07	36.96	42.60	49.11
<b>5</b>	47.22	59.93	69.66	80.96	94.10
<b>10</b>	56.90	72.42	84.32	98.17	114.30
<b>20</b>	66.19	84.39	98.38	114.68	133.68
<b>30</b>	71.52	91.28	106.46	124.17	144.83
<b>50</b>	78.20	99.89	116.57	136.04	158.77
<b>100</b>	87.19	111.49	130.20	152.05	177.56
<b>200</b>	96.15	123.06	143.78	168.00	196.29
<b>500</b>	107.97	138.31	161.69	189.03	220.99

**Tabella 12: Distribuzione probabilistica: GUMBEL - Altezze di pioggia (mm) -- Stazione Copertino**

In Figura 13 si è riportata la rappresentazione grafica delle curve di possibilità climatica.



**Figura 13: Curve possibilità climatica della metodologia GUMBEL-- Stazione Copertino.**

## 5 CONCLUSIONI

Nella Tabella 13 è riportato il confronto tra le altezze di pioggia ricavate con le due metodologie al variare della durata dell'evento e del tempo di ritorno.

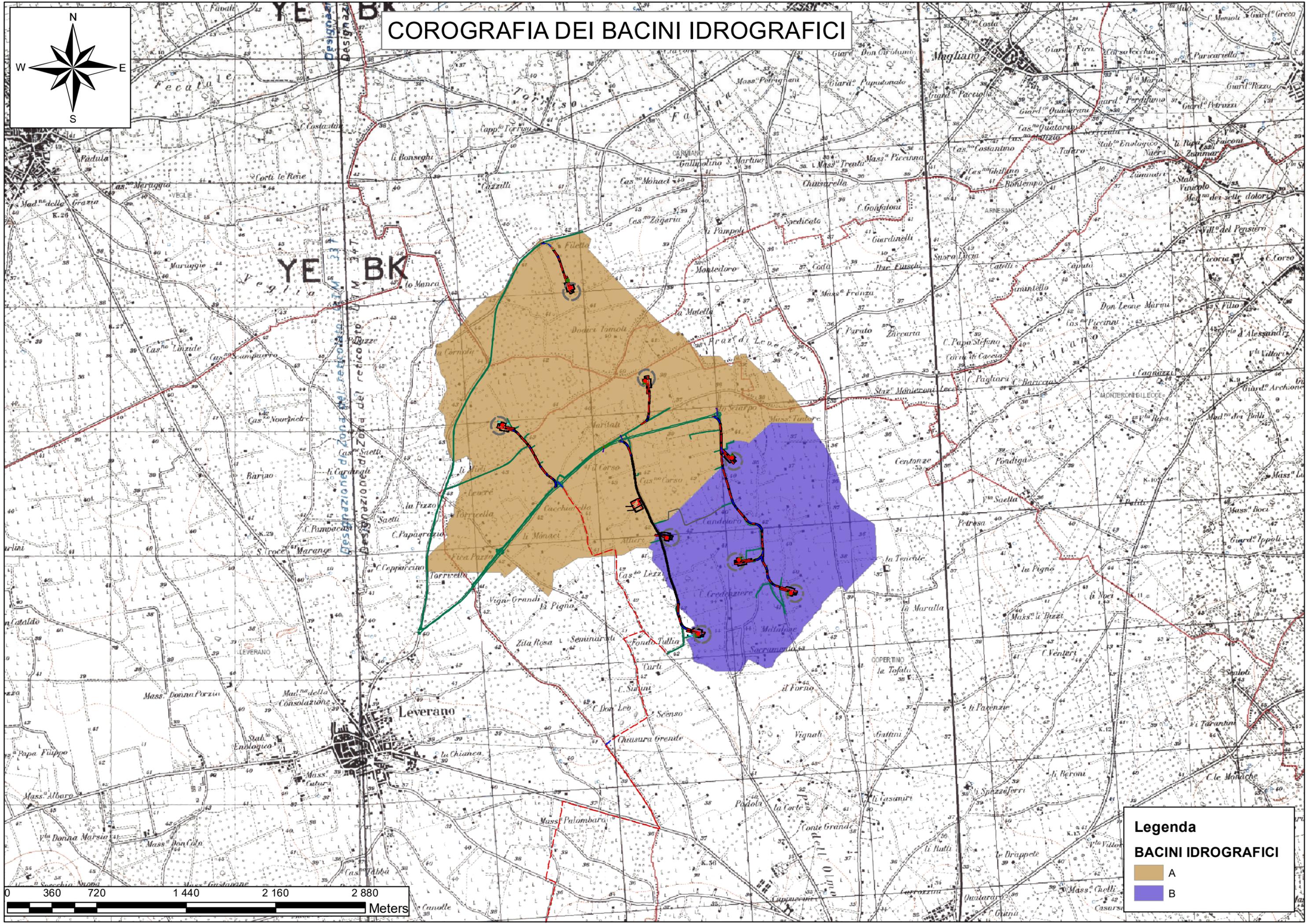
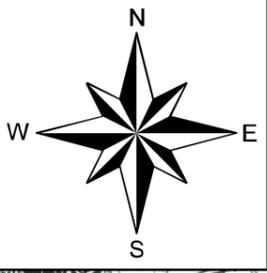
Tr anni	DURATE [ore]									
	1 h		3 h		6 h		12 h		24 h	
	GUMBEL	VAPI	GUMBEL	VAPI	GUMBEL	VAPI	GUMBEL	VAPI	GUMBEL	VAPI
5	47.22	33.41	59.93	46.10	69.66	56.48	80.96	69.20	94.10	84.78
10	56.90	45.48	72.42	62.75	84.32	76.88	98.17	94.19	114.30	115.41
20	66.19	57.54	84.39	79.40	98.38	97.28	114.68	119.19	133.68	146.03
30	71.52	64.60	91.28	89.14	106.46	109.21	124.17	133.81	144.83	163.95
50	78.20	73.49	99.89	101.41	116.57	124.25	136.04	152.23	158.77	186.52
100	87.19	85.56	111.49	118.06	130.20	144.65	152.05	177.23	177.56	217.14
200	96.15	97.63	123.06	134.71	143.78	165.05	168.00	202.22	196.29	247.77
500	107.97	113.58	138.31	156.72	161.69	192.02	189.03	235.26	220.99	288.25

**Tabella 13 : Confronto tra le altezze di pioggia ricavate con le due metodologie al variare della durata e del Tempo di Ritorno. In grassetto i valori maggiori per ciascuna delle durate analizzate**

Si osservi come **le altezze di pioggia ricavate utilizzando la metodologia VAPI risultino sempre più elevate di quelle derivate dall'utilizzo della distribuzione probabilistica di Gumbel in occasione di eventi meteorici con tempi di ritorno maggiori a 50 anni.** A seguito di ciò nei calcoli idraulici (cfr. relazione Idraulica), si è fatto riferimento alle portate ricavate a partire dalle curve di probabilità pluviometrica costruite con la metodologia VAPI.

**6 ALLEGATO 1 – COROGRAFIA DEI BACINI IDROGRAFICI**

# COROGRAFIA DEI BACINI IDROGRAFICI



**Legenda**  
**BACINI IDROGRAFICI**

- A
- B

