

VENTO SOLARE SRL
 VIA DELLA CHIMICA 103 - 85100
 POTENZA
 P.IVA 01981860768
ventosolaresrl@pec.it



CODE
SCS.DES.R.CIV.ITA.W.6411.005.00

PAGE
 1 di/of 38

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO EOLICO SERRACAPRIOLA COMUNE DI SERRACAPRIOLA (FG)

RELAZIONE IDROLOGICA



File name: SCS.DES.R.CIV.ITA.W.6411.005.00_RELAZIONE IDROLOGICA.docx

00	16/11/2023	EMISSIONE	M.L'Abbruzzi	G. Chiaia	G. Chiaia
REV	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
IMPIANTO / Plant		CODE			
IMPIANTO EOLICO SERRACAPRIOLA		<small>GROUP</small>	<small>FUNCTION</small>	<small>TYPE</small>	<small>DISCIPLINE</small>
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES	R	C	I	V
SCS	DES				

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO.....	5
2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE.....	5
3. INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO	8
4. STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI IDROGRAFICI	10
4.1. CURVE DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA (METODO VAPI)	10
4.2. CURVE DI POSSIBILITA' CLIMATICA METODO DI GUMBEL.....	17
4.3. CONSIDERAZIONI FINALI SULLE CPP.....	23
5. ANALISI IDRAULICA	24
5.1. METODO RAZIONALE.....	25
5.3. METODO DEL CURVE NUMBER	31
6. CONCLUSIONI	38
7. ALLEGATI.....	38

1. INTRODUZIONE

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.

La società Vento Solare S.r.l. è promotrice di un progetto che vede l'installazione di un impianto di generazione da fonte rinnovabile eolica all'interno del territorio comunale di Serracapriola, in provincia di Foggia.

Come illustrato nella figura che segue, l'intervento è ubicato nella Regione Puglia ma ricade nei limiti territoriali dell'ex Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore divenuta Unit of Management (UoM) 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 Lesina e Torremaggiore;
- C. analisi idraulica utilizzando i classici metodi dell'Idraulica Tecnica che consentono di legare i deflussi (portate) agli afflussi meteorici.

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 Lesina e Torremaggiore.

Alla presente Relazione sono allegati:

- Allegato 1 – Corografia dei bacini idrografici.

2. LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

L'intervento, per quanto concerne gli aerogeneratori e parte di cavidotto di connessione, ricade in agro del territorio comunale di Serracapriola (FG) mentre, il restante sviluppo del cavidotto di connessione, la costruenda stazione elettrica 380/36kV, la stazione elettrica di trasformazione 380/150kV e l'area BESS, ricadono in agro di Torremaggiore (FG). Tutti gli interventi progettuali ricadono in zone agricole. La presente relazione prende in considerazione anche il percorso del cavidotto AT, che si sviluppa all'interno del territorio comunale di Serracapriola e Torremaggiore.

2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE

L'area di intervento nella quale ricade l'impianto è riportata nel Catasto Terreni del Comune di Serracapriola come riportato nella tabella seguente:

SISTEMA DI RIFERIMENTO UTM WGS 84 - FUSO 33N			RIFERIMENTI CATASTALI		
Posizioni Aerogeneratori					
WTG	EST [m]	NORD [m]	COMUNE	FG	P.LLA
WTG 1	509825,14	4626986,16	SERRACAPRIOLA	31	102
WTG 2	509858,56	4626142,62	SERRACAPRIOLA	42	69
WTG 3	509662,00	4625446,02	SERRACAPRIOLA	42	22
WTG 4	509019,20	4625763,85	SERRACAPRIOLA	42	146
WTG 5	508644,91	4625399,56	SERRACAPRIOLA	42	29
WTG 6	508493,88	4624513,80	SERRACAPRIOLA	52	22
WTG 7	508501,91	4623783,32	SERRACAPRIOLA	52	13

Tabella 1: Elenco degli aerogeneratori

Per quanto concerne le quote topografiche, queste variano da un massimo di circa 220 m s.l.m. ad un minimo di circa 70 m s.l.m.

In generale l'area si presenta collinare; non si rilevano salti e discontinuità morfologiche degni di nota. Cartograficamente l'area ricade all'interno della tavoletta I.G.M. alla scala 1:50.000 "TORREMAGGIORE" Foglio 395 (serie 50). Alla scala 1:25.000 il sito di interesse ricade all'interno della Tavolette "ROTELLO" 395-IV, "SAN PAOLO CIVITATE" 395-I (serie 25v).

Le aree proposte per la realizzazione degli aerogeneratori impegnano la zona agricola nell'intorno delle strade provinciali SP480 ed SP376.



Figura 2: Inquadramento regionale



Figura 3: Inquadramento area di Intervento su Ortofoto

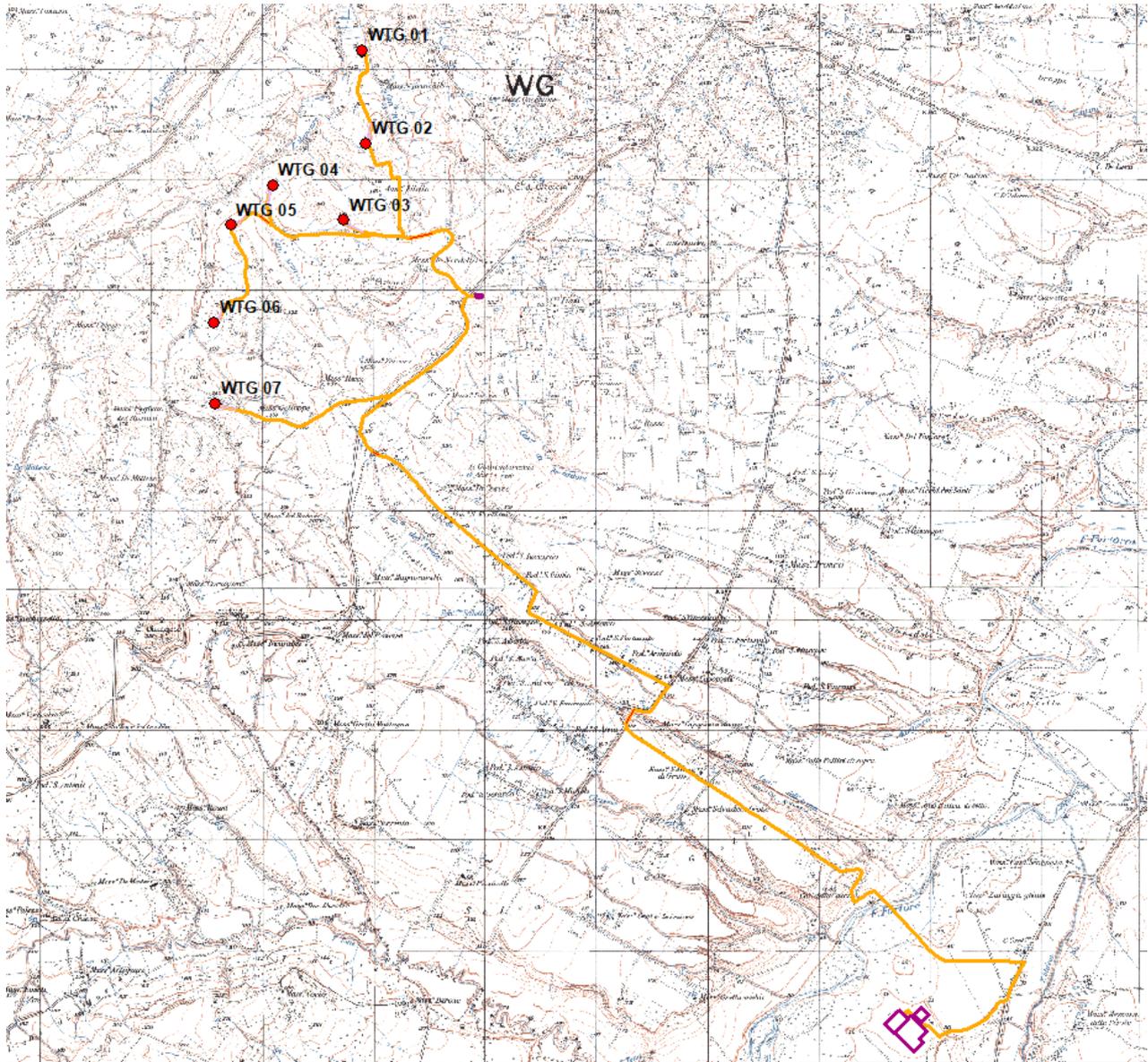


Figura 4: Inquadramento area di Intervento su IGM 1:25.0000.

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 nel territorio comunale di Serracapriola, all'interno dei fogli 382 e 395 della cartografia I.G.M. 25.000 (cfr. *Figura 5*).

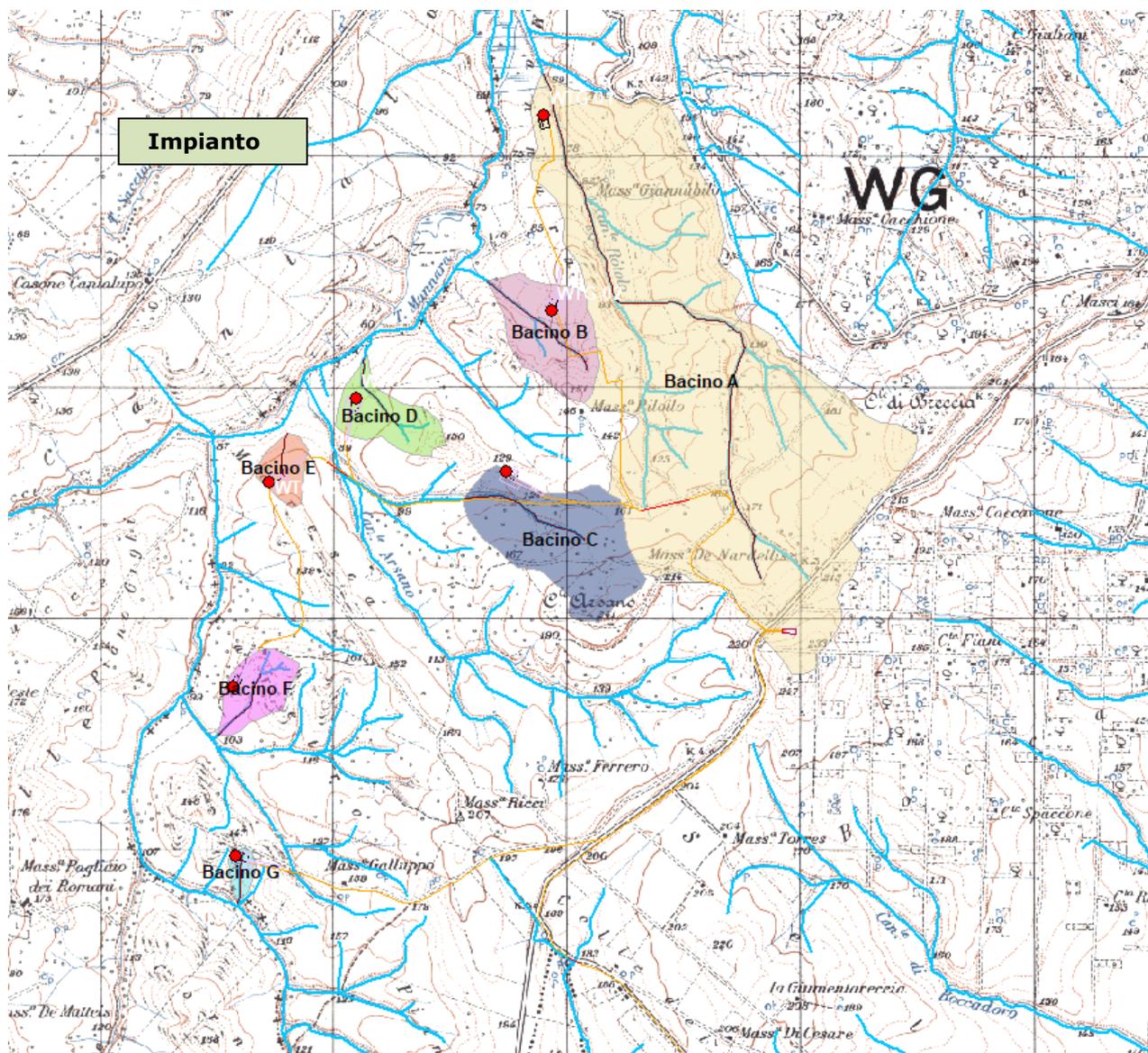


Figura 5: Inquadramento dei bacini idrografici su carta IGM 1:25.000

I parametri geomorfologici caratteristici dei bacini idrografici sono indicati in Tabella 2:

Bacino idrografico	Superficie	Lungh. asta principale	H massima del bacino	H minima del bacino	H media del bacino	H monte dell'asta principale	H media dell'asta principale	Pendenza media bacino	Pendenza media dell'asta principale
	S [km ²]	L [m]	Hmax [m]	Hmin [m]	H	Hm [m]	Ha [m]	im [%]	ia [%]
A	1.94	2741.81	236.61	71.50	158.82	195.71	133.61	7.69%	5.61%
B	0.17	587.79	149.75	81.39	112.38	127.91	104.65	8.78%	7.94%
C	0.29	576.65	237.73	110.67	170.36	165.84	138.26	11.99%	10.11%
D	0.10	360.86	146.96	81.13	105.14	102.06	91.60	9.42%	5.79%
E	0.05	195.88	122.12	86.40	100.25	105.00	95.70	8.43%	9.53%
F	0.08	335.70	141.69	101.78	124.35	124.43	113.11	7.83%	6.76%
G	0.02	226.05	137.88	111.77	125.41	135.14	123.46	9.11%	10.27%

Tabella 2 : Parametri geomorfologici dei bacini idrografici

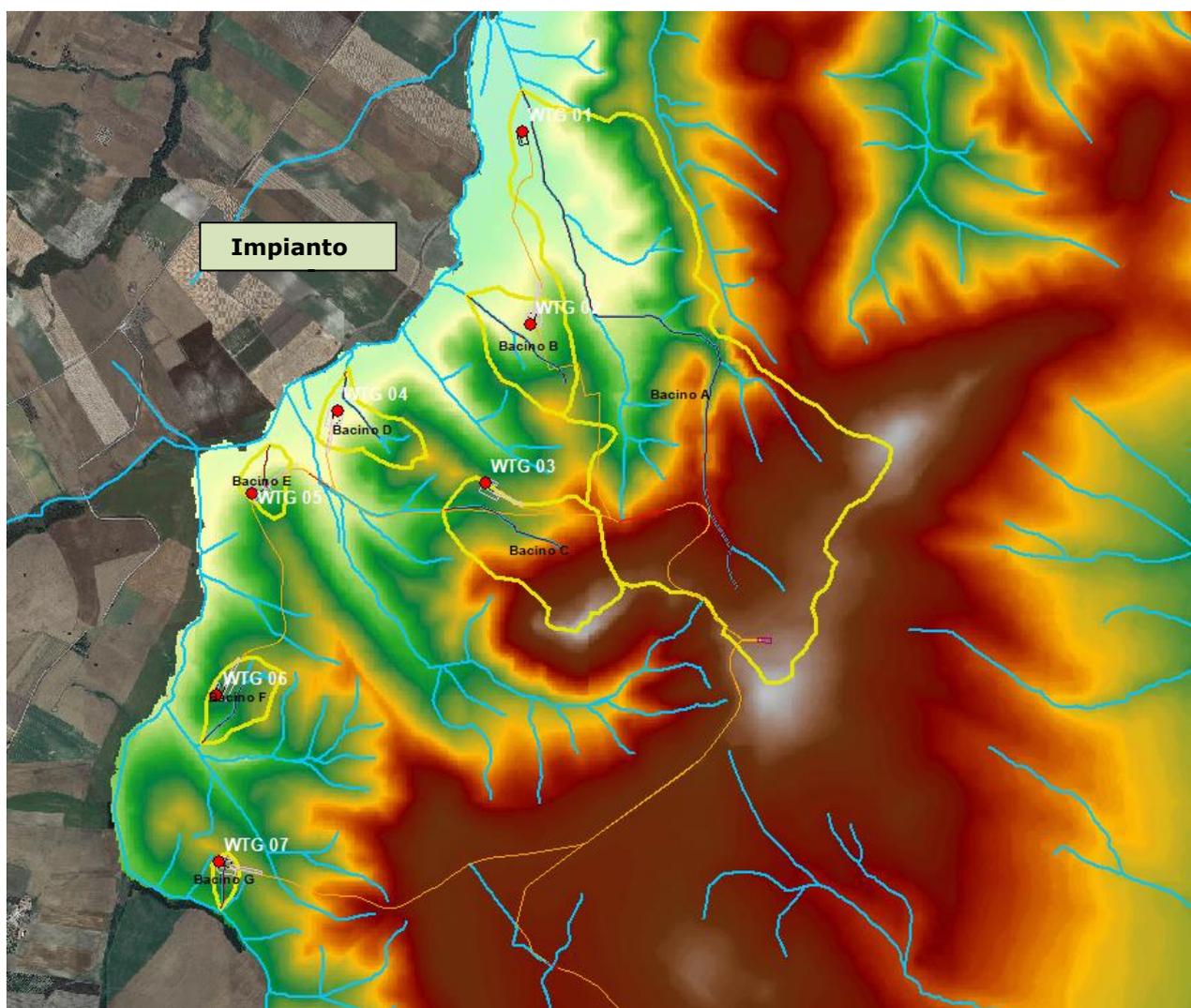


Figura 6: Inquadramento dei bacini idrografici su DTM.

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 relative alle stazioni pluviometriche di Lesina e Torremaggiore (FG).

Come si è già detto nel paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, 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 (T_R) 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 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 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 sottoregioni 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 θ^* e Λ^* . 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 θ^* e Λ^* .

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 Λ_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.

	θ^*	Λ^*	Λ_1
Puglia centro meridionale	2.121	0.353	17.55

Tabella 3 : 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 T_R e indipendente dalla durata.

Tale fattore è, in generale, funzione del tempo di ritorno T_R 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 T_R 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 θ^* , Λ^* e Λ_1 , è possibile calcolare la curva di crescita per la Puglia centro - meridionale, anche se tale fattore può essere calcolata in funzione di T_R 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 θ^* , Λ^* e Λ_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 K_T 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 4 : Valori di K_T 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:

ZONA 1-3	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+lna-lna)/ln24}$
ZONA 2-4	$\mu(h,t) = at^n$

Tabella 5 : 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 individuate 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.

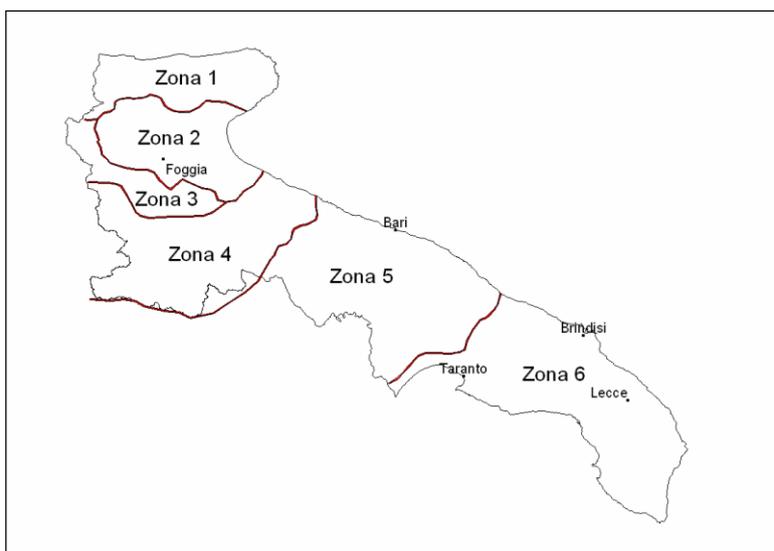


Figura 7: Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello.

ZONA 1	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+lna-lna)/ln24}$
---------------	---------------------------------------

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 $\alpha = x_g/x_{24}$ 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 α 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	α	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 6 : 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 5 (cfr. figura seguente). Quindi per la determinazione delle curve di possibilità climatica si è applicata la relazione (4) e utilizzando i valori della *Tabella 6* 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).

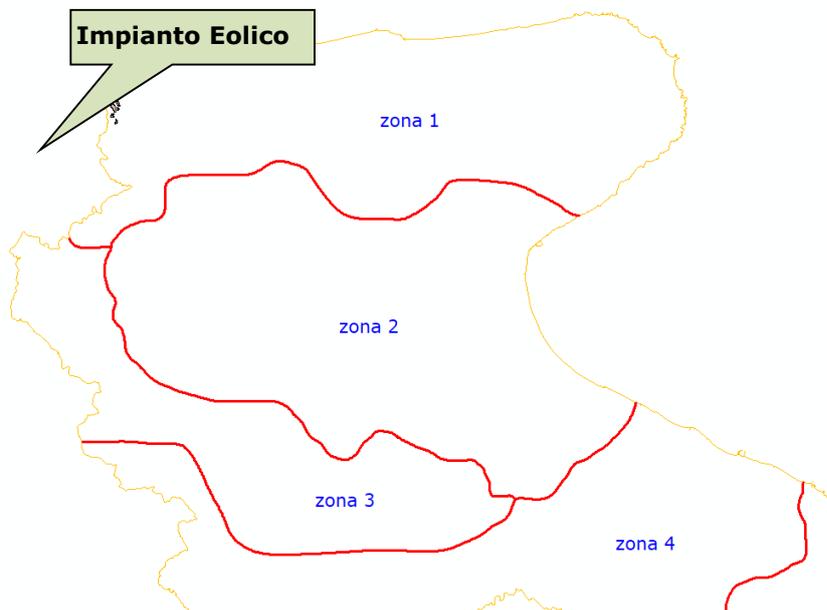


Figura 8: Individuazione della zona del VAPI in cui ricadono i bacini idrografici.

Nelle tabelle che seguono si riportano i valori dei parametri a ed n (Tabella 7) le altezze di pioggia ricavate dalla (4) e (5) (Tabella 8), rappresentate graficamente in Figura 9.

T [anni]	a [mm/ore ⁿ]	n [-]
1	20.52	0.273
5	35.33	0.273
10	43.57	0.273
20	51.82	0.273
30	56.64	0.273
50	62.72	0.273
100	70.96	0.273
200	79.20	0.273
500	90.10	0.273

Tabella 7 : Parametri del VAPI ottenuti per diversi tempi di ritorno.

Tr anni	h				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1	20.52	27.71	33.49	40.47	48.91
5	35.33	47.70	57.65	69.67	84.20
10	43.57	58.83	71.10	85.92	103.84
20	51.82	69.96	84.55	102.18	123.49
30	56.64	76.47	92.42	111.69	134.98
50	62.72	84.68	102.33	123.67	149.46
100	70.96	95.81	115.78	139.93	169.11
200	79.20	106.94	129.24	156.19	188.76
500	90.10	121.65	147.02	177.68	214.73

Tabella 8 : Distribuzione probabilistica: VAPI - Altezze di pioggia (mm).

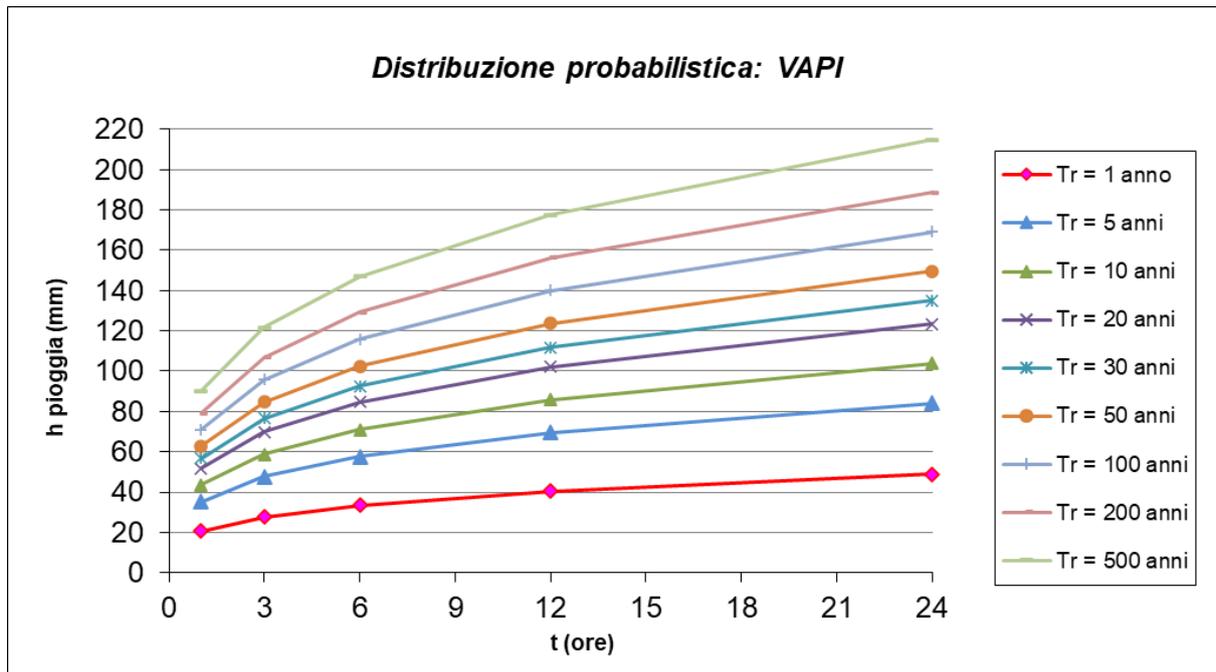


Figura 9: Curve di probabilità pluviometrica ricavate con la metodologia VAPI.

4.2. CURVE DI POSSIBILITA' 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 dei due topoieti distinti. In particolare, i bacini idrografici A, B e C ricadono nella stazione pluviometrica di Torremaggiore, mentre i bacini idrografici D, E, F, G e H ricadono nella stazione pluviometrica di Lesina.

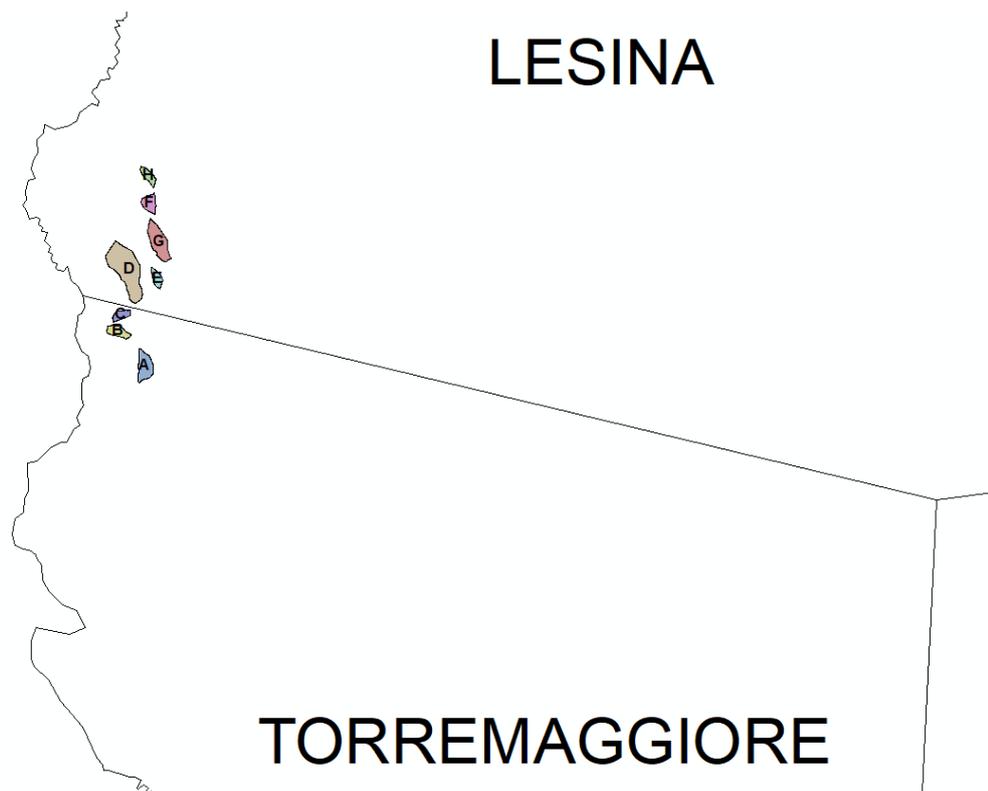


Figura 10: Individuazione dei topoieti delle stazioni pluviometriche in cui ricadono i bacini idrografici.

Nella tabella seguente si riporta la serie di eventi pluviometrici della stazione pluviometrica di Lesina e Torremaggiore.

Stazione di: anni	LESINA				
	durate [ore]				
	1	3	6	12	24
1938	15.6	18.2	33.8	56.4	80.6
1939	12.2	22.4	31.8	44.2	46.0
1940	18.6	23.2	31.0	41.2	46.6
1941	7.8	17.8	29.8	36.0	38.0
1942	19.2	23.6	41.6	53.4	54.6
1945	15.0	21.4	26.6	48.8	75.8
1946	8.0	13.2	23.2	32.0	35.0
1947	9.6	15.2	24.2	36.2	39.2
1949	42.0	51.6	51.6	53.4	53.6
1951	18.0	46.0	50.6	55.8	59.8
1952	14.4	18.0	20.0	25.4	28.6
1953	24.4	33.4	41.2	53.8	60.6
1954	39.0	41.2	51.6	65.0	76.8
1955	37.8	46.2	50.2	64.8	66.0
1956	27.8	41.6	45.2	57.2	63.0
1957	21.0	26.6	28.6	35.6	47.5
1959	22.2	34.6	35.6	40.8	55.0
1960	20.2	20.2	24.8	33.0	42.6
1961	25.2	25.6	35.0	47.8	62.8
1962	21.0	40.0	60.0	67.6	68.0
1964	21.2	24.4	31.2	41.4	60.5

Stazione di:	LESINA				
	durate [ore]				
anni	1	3	6	12	24
1965	12.0	22.4	30.6	36.8	39.8
1966	14.0	18.4	19.4	25.4	29.6
1967	42.0	53.4	55.0	73.0	73.6
1967	>>	>>	>>	>>	>>
1968	14.4	20.6	23.2	30.0	34.0
1969	42.6	78.0	79.2	79.6	88.6
1970	42.8	43.6	69.8	78.6	110.0
1971	26.2	40.0	51.0	51.2	51.2
1972	59.8	83.0	96.4	102.4	102.4
1973	19.8	22.4	30.4	33.0	56.6
1974	>>	>>	>>	31.2	38.6
1975	70.8	101.4	105.2	107.4	108.0
1976	34.2	49.0	82.4	104.2	108.0
1977	33.8	43.0	51.0	52.8	58.0
1978	19.0	24.2	30.6	36.4	46.8
1979	33.8	35.2	54.6	54.6	54.6
1980	20.0	41.8	45.8	46.0	46.0
1981	54.0	108.2	112.2	112.2	121.6
1982	20.0	35.2	36.0	36.0	37.0
1983	16.0	29.6	37.6	55.0	77.4
1984	28.6	30.0	41.0	59.8	62.4
1985	18.6	23.0	31.4	38.6	48.8
1986	23.2	33.6	40.4	47.2	65.4
1987	33.0	35.4	35.4	45.4	54.2
1988	25.2	29.4	38.0	38.4	48.2
1989	35.8	36.0	37.0	42.6	61.2
1990	25.0	37.8	50.4	60.8	66.0
1991	21.6	30.4	42.0	42.6	42.6
1992	>>	>>	28.2	36.6	42.2
1993	15.4	21.6	25.4	28.4	28.4
1994	44.2	47.6	48.4	52.0	76.2
1995	>>	>>	>>	>>	64.4
1996	16.8	34.8	43.2	62.8	67.2
1997	27.8	43.0	59.8	62.6	78.2
1998	18.2	22.6	27.4	28.4	39.6
1999	18.4	24.0	26.9	30.4	33.0
2000	28.4	31.8	34.4	42.0	56.0
2001	11.8	19.0	22.4	29.2	30.6
2002	18.2	23.6	27.2	40.0	56.2
2003	47.6	83.0	88.6	98.8	106.6
2004	38.4	52.8	55.8	76.0	94.2
2005	30.6	37.2	38.4	42.4	61.8
2006	33.8	39.6	64.4	67.0	72.2
2007	13.8	19.8	23.8	34.8	45.2
2008	20.2	20.2	25.8	32.6	43.2
2009	44.2	44.6	50.6	66.6	76.8
2010	27.8	31.2	36.2	50.2	63.4

Tabella 9 : Serie degli eventi pluviometrici – stazione di Lesina.

Stazione di:	TORREMAGGIORE				
	durate [ore]				
anni	1	3	6	12	24
1940	18.0	18.0	31.0	31.4	53.0
1941	26.8	34.8	34.8	35.0	39.4
1942	12.4	19.2	29.4	36.2	41.0
1950	18.4	31.8	42.4	53.0	61.4
1951	18.6	26.6	40.8	44.0	44.0
1952	14.2	17.2	21.2	23.4	27.8
1953	20.2	20.2	20.2	27.6	34.6
1954	25.0	32.0	42.2	65.4	108.8
1955	45.0	50.0	50.0	93.8	109.8
1956	10.0	18.8	36.4	51.2	68.4
1963	21.0	29.2	34.0	41.4	56.2
1964	25.4	31.8	37.8	41.6	46.8
1965	15.2	23.0	34.6	34.6	37.0
1966	20.4	20.4	20.4	24.2	40.6
1967	33.6	45.6	52.8	60.2	93.4
1968	26.6	34.0	42.6	44.4	51.0
1969	28.4	36.6	40.4	40.0	67.0
1970	10.2	18.8	25.6	30.2	35.0
1971	16.6	21.0	24.6	40.0	43.2
1972	30.6	31.6	44.6	53.8	64.6
1974	22.2	22.6	23.4	24.0	31.2
1975	20.2	35.0	40.2	46.4	48.6
1978	17.0	27.0	38.6	63.0	68.6
1979	>>	>>	>>	>>	>>
1980	23.0	25.0	28.2	36.2	44.8
1981	14.2	17.8	20.8	24.6	25.4
1982	14.8	25.4	27.8	27.8	29.4
1984	25.0	26.2	26.2	31.0	45.6
1985	>>	>>	33.4	51.6	62.0
1987	30.8	32.4	32.4	35.4	42.8
1988	42.4	42.6	42.6	42.6	42.6
1990	12.4	19.6	31.6	47.4	53.8
1992	>>	>>	26.2	28.8	36.0
1993	12.0	20.4	25.0	37.2	38.6
1994	17.6	19.4	21.6	29.6	39.0
1995	29.4	32.2	34.8	43.2	60.4
1996	23.4	46.8	69.4	90.0	100.4
1998	24.8	30.0	30.2	34.4	34.8
1999	53.0	63.8	64.8	64.8	78.2
2000	26.6	26.6	28.2	36.6	36.6
2001	11.8	13.0	17.4	24.2	34.6
2002	42.4	42.8	44.6	46.8	58.6
2003	21.0	26.0	40.8	51.6	64.4
2004	20.4	31.0	40.4	57.8	65.6
2005	28.4	28.4	28.4	28.4	46.0
2006	26.4	31.0	32.0	34.8	50.2
2007	>>	>>	>>	>>	>>
2008	>>	>>	>>	>>	>>
2009	>>	>>	>>	>>	>>
2010	17.2	25.8	37.0	59.6	65.4

Tabella 10 : Serie degli eventi pluviometrici - stazione di Torremaggiore.

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 ⁿ]	n [-]
1	12.86	0.301
5	34.93	0.236
10	41.93	0.229
20	48.66	0.224
30	52.53	0.221
50	57.36	0.219
100	63.89	0.216
200	70.39	0.213
500	78.98	0.211

Tabella 11 : Parametri di Gumbel ottenuti per diversi tempi di ritorno – Stazione Lesina.

T [anni]	a [mm/ore ⁿ]	n [-]
1	12.31	0.271
5	32.65	0.220
10	39.10	0.214
20	45.28	0.210
30	48.83	0.208
50	53.28	0.206
100	59.28	0.204
200	65.26	0.202
500	73.15	0.200

Tabella 12 : Parametri di Gumbel ottenuti per diversi tempi di ritorno – Stazione Torremaggiore.

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
1	12.86	17.90	22.06	27.18	33.49
5	34.93	45.29	53.36	62.86	74.05
10	41.93	53.93	63.21	74.09	86.83
20	48.66	62.22	72.66	84.85	99.09
30	52.53	66.98	78.09	91.04	106.13
50	57.36	72.94	84.88	98.78	114.94
100	63.89	80.98	94.04	109.21	126.82
200	70.39	88.98	103.16	119.60	138.66
500	78.98	99.54	115.20	133.31	154.27

Tabella 13 : Distribuzione probabilistica: GUMBEL - Altezze di pioggia (mm) -- Stazione Lesina.

Tr	h				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1	12.31	16.58	20.01	24.15	29.14
5	32.65	41.57	48.41	56.37	65.65
10	39.10	49.46	57.37	66.54	77.18
20	45.28	57.02	65.96	76.29	88.24
30	48.83	61.38	70.90	81.90	94.60
50	53.28	66.82	77.07	88.91	102.56
100	59.28	74.16	85.41	98.36	113.28
200	65.26	81.47	93.71	107.78	123.97
500	73.15	91.11	104.65	120.21	138.07

Tabella 14 : Distribuzione probabilistica: GUMBEL - Altezze di pioggia (mm) -- Stazione Torremaggiore.

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

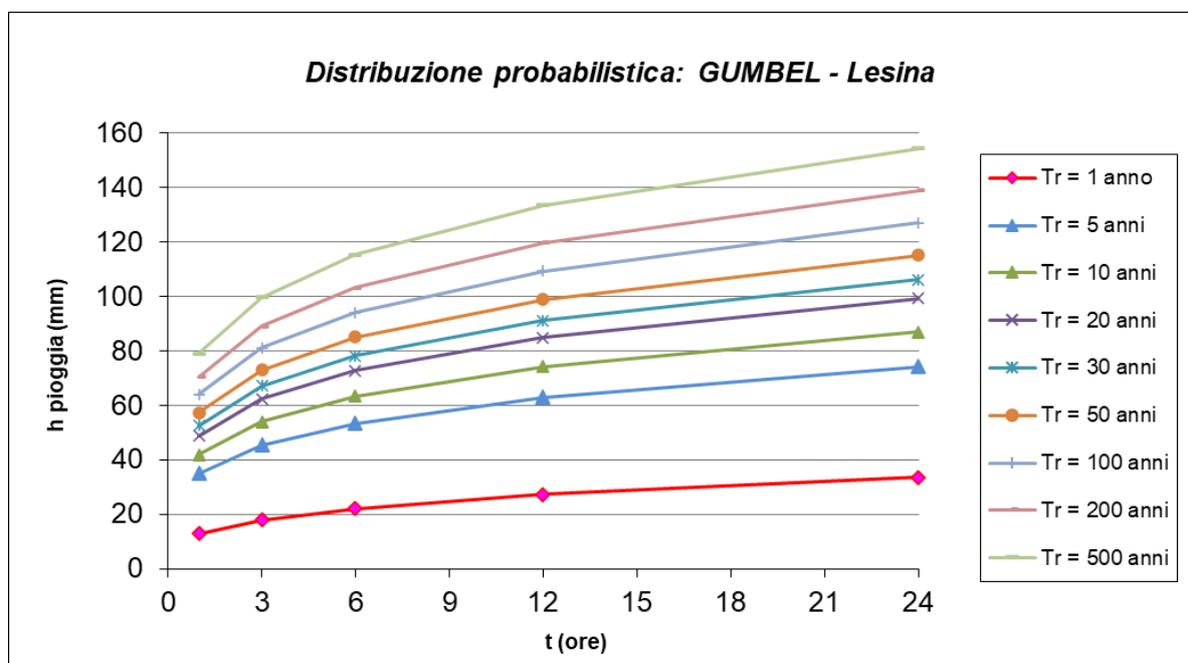


Figura 11: Curve possibilità climatica della metodologia GUMBEL-- Stazione Lesina.

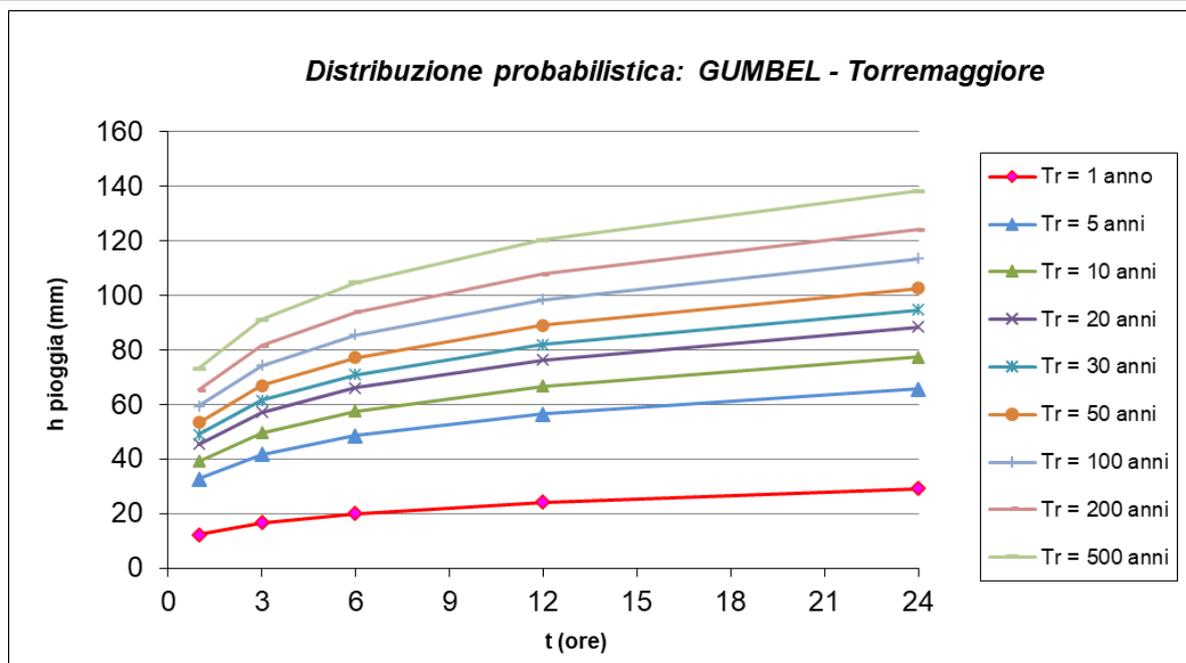


Figura 12: Curve possibilità climatica della metodologia GUMBEL- Stazione Torremaggiore.

Si osservi come le altezze di pioggia ricavate utilizzando la stazione pluviometrica di Lesina risultino sempre più elevate di quelle derivate dall'utilizzo della stazione di Torremaggiore. A seguito di ciò nel paragrafo successivo si effettuerà il confronto delle altezze considerando le curve di probabilità pluviometrica costruite con la stazione di Lesina.

4.3. CONSIDERAZIONI FINALI SULLE CPP

Nella Tabella 15 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
1	12.86	20.52	17.90	27.71	22.06	33.49	27.18	40.47	33.49	48.91
5	34.93	35.33	45.29	47.70	53.36	57.65	62.86	69.67	74.05	84.20
10	41.93	43.57	53.93	58.83	63.21	71.10	74.09	85.92	86.83	103.84
20	48.66	51.82	62.22	69.96	72.66	84.55	84.85	102.18	99.09	123.49
30	52.53	56.64	66.98	76.47	78.09	92.42	91.04	111.69	106.13	134.98
50	57.36	62.72	72.94	84.68	84.88	102.33	98.78	123.67	114.94	149.46
100	63.89	70.96	80.98	95.81	94.04	115.78	109.21	139.93	126.82	169.11
200	70.39	79.20	88.98	106.94	103.16	129.24	119.60	156.19	138.66	188.76
500	78.98	90.10	99.54	121.65	115.20	147.02	133.31	177.68	154.27	214.73

Tabella 15 : 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**. 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.

5. ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica, necessaria al calcolo della portata di massima piena per i bacini imbriferi afferenti all'area in questione, può essere condotta secondo vari approcci, tra i quali possono essere considerati:

- i metodi empirici, che si basano unicamente su parametri morfologici del bacino in esame, senza tenere in considerazione alcuna misura pluviometrica o idrometrica;
- i metodi semiempirici, che valutano la portata anche in funzione dell'altezza di pioggia;
- i metodi analitici, che si basano sull'ipotesi di una correlazione diretta tra afflussi deflussi.

L'approccio da utilizzare dipende innanzitutto dal tipo di verifica idraulica che si intende condurre: se si affronta un'analisi in moto permanente o addirittura uniforme, la portata massima può essere calcolata con metodi semplificati tipo il cinematico o razionale; quando la situazione morfologica ed idrografica diventa alquanto complessa, può rendersi indispensabile una verifica in moto vario e, di conseguenza, diventa necessario conoscere la forma dell'idrogramma di piena attraverso l'applicazione di metodi analitici.

In generale, nei casi di regolarità dell'asta fluviale e del bacino idrografico di pertinenza, è generalmente impiegato uno studio in moto permanente, ricorrendo al metodo razionale per la determinazione della portata di massima piena.

Naturalmente, prima della applicazione del metodo, occorre valutare la pioggia efficace, ossia la componente della pioggia che partecipa al deflusso, depurando la pioggia totale da quella persa per infiltrazione, per evaporazione oppure trattenuta dal suolo o dalla vegetazione.

La stima delle portate di piena è stata effettuata applicando due distinti approcci:

- semiempirico del Metodo Razionale;
- analitico semplificato del Curve Number (CN).

5.1. METODO RAZIONALE

Il metodo è basato sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

- A. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
- B. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
- C. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari a:

$$Q = \frac{\phi \times h \times A \times k}{t_c} \quad (1)$$

Q = portata di piena [m³/sec]

ϕ = coefficiente di deflusso

h = pioggia netta [mm]

A = area del bacino [km²]

t_c = tempo di corrivazione [ore]

k = 0.2777 (fattore che tiene conto della non uniformità delle unità di misura).

Il *tempo di corrivazione* è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

Il valore di *h* rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione t_c. Infatti, se la durata della precipitazione è inferiore al tempo t_c solo una parte del bacino A contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena.

Una relazione frequentemente utilizzata per il calcolo di tale grandezza è quella proposta da Giandotti (1934), valida per bacini idrografici aventi superficie (**A**) variabile tra 170 e 70000 km², che si esplicita nella seguente formula:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}} \quad (2)$$

nella quale **t_c** è espresso in ore, **A** in km² mentre **L**, la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua a partire dallo spartiacque, è espressa in km e **H_m**, altitudine media del bacino, riferita alla sezione di chiusura, in metri sul livello del mare.

Pezzoli (1970), analizzando il comportamento di alcuni bacini piemontesi, ha proposto, invece, una diversa espressione del tempo di corrivazione che ha la seguente forma:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \quad (3)$$

nella quale **t_c** è espresso in ore e **L** in km. Il parametro **i_a** rappresenta la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

Kirpich, infine, utilizzando i dati sperimentali di sei bacini americani, nel 1940, aveva proposto una correlazione grafica tra il tempo di corrivazione e il rapporto $L/\sqrt{i_a}$. Tale grafico, successivamente integrato dal contributo di altri dati sperimentali, ha condotto alla formulazione della seguente equazione, comunemente nota con il nome di equazione di Kirpich.

$$t_c = 0.00325 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77} \quad (4)$$

Il complesso dei valori determinabili con le succitate equazioni (Pezzoli, Chow, Watt & Chow, Kirpich) può

essere ben rappresentato da un'unica espressione (Ferro, Sistemazione dei Bacini Idrografici, McGraw Hill, 2002), che integra tutti i contributi sperimentali derivanti dalle esperienze condotte, ed ha la seguente equazione, nel seguito denominata P-C-W-K:

$$t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.8} \quad (5)$$

nella quale t_c è espresso in minuti e L in metri.

Applicando le relazioni succitate, con riferimento parametri geomorfologici dei bacini di interesse (cfr. doc. XXX00X0_RelazioneIdrologica_01), si sono ottenuti i seguenti risultati:

Bacino idrografico	P-C-W-K	Giandotti	Pezzoli	Kirpich	Chow	Watt-Chow
	[ora]	[ora]	[ora]	[ora]	[ora]	[ora]
A	0.660	1.295	0.637	0.437	0.463	0.529
B	0.167	0.563	0.115	0.117	0.154	0.137
C	0.150	0.488	0.100	0.105	0.141	0.122
D	0.129	0.455	0.082	0.091	0.125	0.105
E	0.065	0.390	0.035	0.047	0.072	0.053
F	0.114	0.430	0.071	0.081	0.114	0.094
G	0.070	0.303	0.039	0.051	0.077	0.058

Tabella 16 – Valori del tempo di corrivazione (t_c) del Bacino idrografico di interesse con le diverse relazioni presenti in letteratura.

La valutazione della portata di piena è stata effettuata facendo riferimento al tempo di corrivazione calcolato con la relazione del P-C-W-K (5) in quanto è quella che meglio si adatta alle dimensioni dei bacini oggetto del presente studio.

I tempi di corrivazione utilizzati sono pertanto i seguenti:

Bacino idrografico	t_c
	[ora]
A	0.660
B	0.167
C	0.150
D	0.129
E	0.065
F	0.114
G	0.070

Tabella 17 – Valori dei tempi di corrivazione (t_c) utilizzati per i cinque bacini di interesse.

Tra le numerose indicazioni esistenti nella letteratura tecnico-scientifica per la valutazione del coefficiente di deflusso, sono stati utilizzati i valori indicati dal Manuale di Ingegneria Civile riportati nella tabella seguente:

Tipo di terreno	Coltivato	Pascolo	Bosco
Molto permeabile: sabbia o ghiaia	0.20	0.15	0.30
Permeabile: limo	0.40	0.35	0.30
Poco permeabile: argilla o substrato roccioso	0.50	0.45	0.40

Tabella 18 - Valori del coefficiente di deflusso suggeriti dal Manuale di Ingegneria Civile.

Tipologia urbanistica	
	□
Costruzioni dense	0.80
Costruzioni Spaziate	0.60
Aree con ampi cortili e giardini	0.50
Zone a villini sparsi	0.30-0.40
Giardini, prati e zone non edificabili né destinate a strade	0.20
Parchi e boschi	0.05-0.10

Tabella 19 - Valori del coefficiente di deflusso consigliati nella letteratura tecnica tedesca.

Il coefficiente di deflusso globale, è stato determinato con la seguente procedura:

1. Individuazione, nei tre bacini, di sottoaree omogenee dal punto di vista della geologia e dell'uso del suolo.
2. Attribuzione a queste di valori del coefficiente di deflusso indicati nelle Tabelle 4 e 5
3. Calcolo della media pesata dei coefficienti di deflusso assumendo come peso l'estensione delle sotto rispetto all'area totale dei bacini

Seguendo questo approccio si sono ottenuti i seguenti valori:

Bacino idrografico	Coefficiente di deflusso
	[F]
A	0.27
B	0.20
C	0.20
D	0.20
E	0.22
F	0.20
G	0.34

Tabella 20 – Valori dei tempi di corrivazione (tc) utilizzati per i cinque bacini di interesse.

La applicazione della formula Razionale (1) restituisce le portate di piena di seguito indicate

T [anni]	intensità di pioggia al Tc	Altezza di pioggia al Tc	Portata di calcolo M.R.
	i_c [mm/h]	h [mm]	Q_{MR} [m ³ /s]
5	47.81	31.53	6.97
10	58.96	38.89	8.60
20	70.12	46.25	10.23
30	76.65	50.55	11.18
50	84.87	55.97	12.38
100	96.02	63.33	14.01
200	107.18	70.69	15.63
500	121.93	80.42	17.78

Tabella 21 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino A.

T [anni]	intensità di pioggia al Tc	Altezza di pioggia al Tc	Portata di calcolo M.R.
	i_c [mm/h]	h [mm]	Q_{MR} [m ³ /s]
5	129.48	21.68	1.61
10	159.70	26.74	1.99
20	189.91	31.80	2.37
30	207.58	34.76	2.59
50	229.85	38.49	2.86
100	260.07	43.54	3.24
200	290.28	48.60	3.62
500	330.22	55.29	4.11

Tabella 22 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino B.

T [anni]	intensità di pioggia al Tc	Altezza di pioggia al Tc	Portata di calcolo M.R.
	i_c [mm/h]	h [mm]	Q_{MR} [m ³ /s]
5	140.46	21.03	3.06
10	173.23	25.93	3.78
20	206.01	30.84	4.49
30	225.18	33.71	4.91
50	249.33	37.33	5.44
100	282.11	42.23	6.15
200	314.89	47.14	6.86
500	358.21	53.63	7.81

Tabella 23 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino C.

T [anni]	intensità di pioggia al Tc	Altezza di pioggia al Tc	Portata di calcolo M.R.
	i _c [mm/h]	h [mm]	Q _{MR} [m ³ /s]
5	156.87	20.17	1.14
10	193.47	24.88	1.41
20	230.08	29.58	1.68
30	251.49	32.34	1.83
50	278.46	35.81	2.03
100	315.07	40.51	2.30
200	351.67	45.22	2.56
500	400.06	51.44	2.92

Tabella 24 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino D.

T [anni]	intensità di pioggia al Tc	Altezza di pioggia al Tc	Portata di calcolo M.R.
	i _c [mm/h]	h [mm]	Q _{MR} [m ³ /s]
5	258.65	16.71	0.92
10	319.01	20.61	1.13
20	379.36	24.51	1.34
30	414.67	26.79	1.47
50	459.15	29.67	1.62
100	519.50	33.57	1.84
200	579.86	37.47	2.05
500	659.65	42.62	2.33

Tabella 25 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino E.

T [anni]	intensità di pioggia al Tc	Altezza di pioggia al Tc	Portata di calcolo M.R.
	i _c [mm/h]	h [mm]	Q _{MR} [m ³ /s]
5	171.13	19.52	1.03
10	211.07	24.08	1.27
20	251.00	28.63	1.52
30	274.36	31.30	1.66
50	303.79	34.65	1.83
100	343.72	39.21	2.08
200	383.66	43.76	2.32
500	436.45	49.79	2.64

Tabella 26 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino F.

T [anni]	intensità di pioggia al Tc	Altezza di pioggia al Tc	Portata di calcolo M.R.
	i _c [mm/h]	h [mm]	Q _{MR} [m ³ /s]
5	243.21	17.10	0.35
10	299.96	21.10	0.44
20	356.72	25.09	0.52
30	389.92	27.42	0.57
50	431.74	30.36	0.63
100	488.49	34.36	0.71
200	545.25	38.35	0.79
500	620.27	43.62	0.90

Tabella 27 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino G.

5.3. METODO DEL CURVE NUMBER

Una metodologia per la stima delle precipitazioni efficaci che trova ampia applicazione è quella proposta dal Soil Conservation Service (1972). Il metodo, detto Metodo Curve Number ("*Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN) method*", detto comunemente *Curve Number*), si basa sulla assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace) P_{net} risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda P (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (6)$$

nella quale S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed I_a è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro S corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha $P > I_a$; fino all'istante in cui non si ha $P > I_a$ il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale I_a si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. In mancanza di adeguate osservazioni utili, per la stima di I_a si può fare ricorso alla seguente relazione:

$$I_a = 0,2 \times S \quad (7)$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

$$S = S_0 \times \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (8)$$

S_0 è un fattore di scala pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm.

L'indice **CN** è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- GRUPPO A: Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- GRUPPO B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- GRUPPO C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- GRUPPO D: Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Di seguito, per ciascun gruppo, si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini di acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particolari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Tabella 28 - Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale.

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

Tabella 29 - Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (AMC).

Secondo il corrente approccio, la superficie del bacino deve essere classificata in base al suo grado di umidità pregresso rispetto al verificarsi dell'evento meteorico che dà luogo alla piena.

In particolare, sono state individuate tre possibili classi ad umidità pregressa crescente (**Tabella 29**)

I valori del CN riportati nella **Tabella 28** si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

Per condizioni iniziali differenti vengono utilizzate delle relazioni di trasformazione del valore CN (II) in CN (I) e CN (III).

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{0,43 + 0,0057 \times CN_{II}} \quad (9)$$

$$CN_{III} = \frac{23 \times CN_{II}}{10 + 0,13 \times CN_{II}} \quad (10)$$

Nella fattispecie, considerata l'entità degli interventi e l'importanza degli stessi, **si è preferito, a vantaggio di sicurezza, adottare un valore di Curve Number pari al CN_{III}**, che, essendo a parità di copertura maggiore del CN(II), risulta più cautelativo (dà luogo a deflussi maggiori).

La definizione dei valori di CN(II) di partenza è stata effettuata sovrapponendo i bacini idrografici alla cartografia tematica pertinente e, segnatamente, alla carta di uso del suolo e a quella geologica. Si sono in tal modo ricavate una serie di superfici omogenee in base alla qualità culturale ed alla tipologia di suolo.

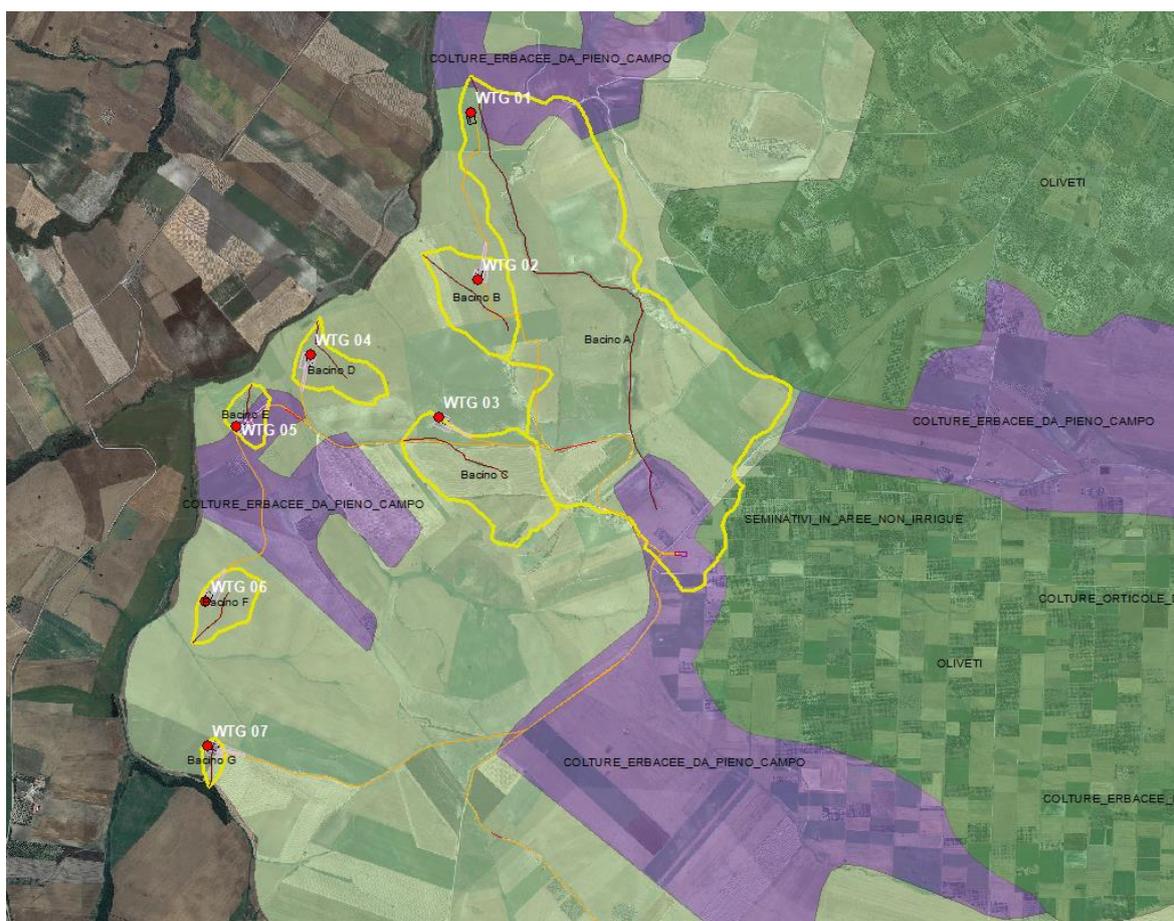


Figura 13: Individuazione dell'uso del suolo dei bacini idrografici.

Per ciascuno dei tre bacini è stato infine ricavato un valore medio del CN effettuando una media pesata dei valori corrispondenti alle differenti sub-aree isoparametriche, utilizzando come peso la superficie della singola area rapportata a quella complessiva del bacino.

Per quanto riguarda la tipologia di terreno, è stato utilizzato, a vantaggio di sicurezza, il **GRUPPO B (Suoli aventi permeabilità media; elevata capacità di infiltrazione e moderata potenzialità di deflusso)**.

Di seguito si riportano i valori medi ricavati per ciascun bacino:

Bacino idrografico	CN _{II}	CN _{III}
A	71.00	85.06
B	81.00	90.84
C	81.00	90.84
D	74.00	86.87
E	81.00	90.84
F	71.00	85.06
G	71.00	85.06
H	71.00	85.06

Tabella 30 - Valori del CN dei bacini idrografici di interesse.

La applicazione della (7), della (8), quindi, della (6) ha condotto al calcolo della pioggia netta.

Per la trasformazione di questo dato in portata, è necessario riferirsi al "tempo di ritardo" t_L (lag time) del bacino, generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, e il baricentro del pluviogramma netto.

Il Soil Conservation Service (SCS) americano ha dedotto, empiricamente, che il rapporto tra questo ed il tempo di corrivazione (t_L/t_C) è pari a 0.6.

Per la stima del tempo di ritardo del bacino, nel caso in esame, si è utilizzata la formula di Mockus:

$$t_L = 0,342 \times \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7} \quad (11)$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in %, L la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla dispiuviale espressa in Km.

Per il calcolo della portata al colmo Q_p (m^3/s) si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare, che ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento) e il cui volume, espresso in m^3 , ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2} \times (t_a + t_e) = \frac{Q_p \times t_b}{2} \quad (12)$$

avendo indicato con t_b la durata dell'evento di piena.

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena t_b e pertanto:

$$t_b = 2,67 \times t_a \quad (12)$$

Combinando la (12) e la (13) si ottiene la seguente espressione della portata al colmo:

$$Q_p = \frac{V \times 0,749}{t_a} \quad (13)$$

La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_p e indicando con t_L il tempo di ritardo, come prima calcolato, si effettua con la seguente relazione:

$$t_a = 0,5 \times t_p + t_L \quad (14)$$

È stato scelto come evento che massimizza il calcolo della portata di piena un tempo di pioggia pari al

tempo di corrivazione del bacino, utilizzando come "t_c" i risultati ottenuti in base al calcolo effettuato al paragrafo precedente (cioè tempo di corrivazione calcolato con il metodo Pezzoli, Chow, Watt & Chow, Kirpich P-C-W-K, in quanto tale relazione è quella che meglio si adatta alle dimensioni dei bacini oggetto del presente studio).

Il volume V che compare nella (13) è naturalmente pari al prodotto tra la altezza di pioggia netta e l'area A del Bacino. I risultati ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle:

T [anni]	Altezza di pioggia netta	Volume V	Vx0,749	Tempo di ritardo	Tempo di accumulata		Portata di calcolo C.N.
	P _{net}	[m ³]	[m ³]	T _L [h]	[ore]	[s]	Q _{CN} [mc/s]
5	8.56	16556	12400	0.60	0.93	3364.011	3.69
10	13.26	25654	19215				5.71
20	18.45	35712	26748				7.95
30	21.67	41939	31413				9.34
50	25.88	50076	37507				11.15
100	31.80	61543	46096				13.70
200	37.93	73406	54981				16.34
500	46.28	89562	67082				19.94

Tabella 31 – Valori delle portate di piena con il metodo del Curve Number del Bacino A.

T [anni]	Altezza di pioggia netta	Volume V	Vx0,749	Tempo di ritardo	Tempo di accumulata		Portata di calcolo C.N.
	P _{net}	[m ³]	[m ³]	T _L [h]	[ore]	[s]	Q _{CN} [mc/s]
5	2.84	469	351	0.18	0.27	955.7221	0.37
10	5.08	840	629				0.66
20	7.75	1281	960				1.00
30	9.47	1566	1173				1.23
50	11.78	1947	1458				1.53
100	15.13	2500	1873				1.96
200	18.68	3087	2312				2.42
500	23.63	3905	2925				3.06

Tabella 32 – Valori delle portate di piena con il metodo del Curve Number del Bacino B.

T [anni]	Altezza di pioggia netta	Volume V	Vx0,749	Tempo di ritardo	Tempo di accumulata		Portata di calcolo C.N.
	P _{net}	[m ³]	[m ³]	T _r [h]	[ore]	[s]	Q _{CN} [mc/s]
5	2.58	747	560	0.18	0.26	921.5823	0.61
10	4.70	1358	1017				1.10
20	7.22	2089	1564				1.70
30	8.85	2561	1918				2.08
50	11.05	3196	2394				2.60
100	14.24	4119	3085				3.35
200	17.63	5101	3820				4.15
500	22.37	6472	4848				5.26

Tabella 33 – Valori delle portate di piena con il metodo del Curve Number del Bacino C.

T [anni]	Altezza di pioggia netta	Volume V	Vx0,749	Tempo di ritardo	Tempo di accumulata		Portata di calcolo C.N.
	P _{net}	[m ³]	[m ³]	T _r [h]	[ore]	[s]	Q _{CN} [mc/s]
5	2.27	219	164	0.14	0.21	741.2884	0.22
10	4.20	406	304				0.41
20	6.54	632	474				0.64
30	8.06	779	584				0.79
50	10.11	978	732				0.99
100	13.10	1266	949				1.28
200	16.28	1575	1179				1.59
500	20.75	2007	1503				2.03

Tabella 34 – Valori delle portate di piena con il metodo del Curve Number del Bacino D.

T [anni]	Altezza di pioggia netta	Volume V	Vx0,749	Tempo di ritardo	Tempo di accumulata		Portata di calcolo C.N.
	P _{net}	[m ³]	[m ³]	T _r [h]	[ore]	[s]	Q _{CN} [mc/s]
5	3.61	170	127	0.08	0.11	401.6513	0.32
10	5.84	274	205				0.51
20	8.35	392	294				0.73
30	9.93	466	349				0.87
50	12.01	564	422				1.05
100	14.97	703	526				1.31
200	18.05	848	635				1.58
500	22.28	1046	784				1.95

Tabella 35 – Valori delle portate di piena con il metodo del Curve Number del Bacino E.

T [anni]	Altezza di pioggia netta	Volume V	Vx0,749	Tempo di ritardo	Tempo di accumulazione		Portata di calcolo C.N.
	P _{net}	[m ³]	[m ³]	T _L [h]	[ore]	[s]	Q _{CN} [mc/s]
5	2.03	163	122	0.13	0.19	670.6828	0.18
10	3.84	308	231				0.34
20	6.04	484	363				0.54
30	7.47	599	449				0.67
50	9.41	754	565				0.84
100	12.25	982	735				1.10
200	15.28	1225	917				1.37
500	19.54	1566	1173				1.75

Tabella 36 – Valori delle portate di piena con il metodo del Curve Number del Bacino F.

T [anni]	Altezza di pioggia netta	Volume V	Vx0,749	Tempo di ritardo	Tempo di accumulazione		Portata di calcolo C.N.
	P _{net}	[m ³]	[m ³]	T _L [h]	[ore]	[s]	Q _{CN} [mc/s]
5	1.27	25	18	0.08	0.11	399.2346	0.05
10	2.61	50	38				0.09
20	4.30	83	62				0.16
30	5.42	105	79				0.20
50	6.96	135	101				0.25
100	9.23	178	134				0.33
200	11.69	226	169				0.42
500	15.18	293	220				0.55

Tabella 37 – Valori delle portate di piena con il metodo del Curve Number del Bacino G.

6. CONCLUSIONI

Nella tabella che segue, per ciascun bacino e per i diversi tempi di ritorno, le portate ricavate con i due differenti approcci sono poste a confronto.

Tr anni	PORTATE [m ³ /s]													
	BACINO A		BACINO B		BACINO C		BACINO D		BACINO E		BACINO F		BACINO G	
	RAZIONALE	CN	RAZIONALE	CN	RAZIONALE	CN	RAZIONALE	CN	RAZIONALE	CN	RAZIONALE	CN	RAZIONALE	CN
5	6.97	3.69	1.61	0.37	3.06	0.61	1.14	0.22	0.92	0.32	1.03	0.18	0.35	0.05
10	8.60	5.71	1.99	0.66	3.78	1.10	1.41	0.41	1.13	0.51	1.27	0.34	0.44	0.09
20	10.23	7.95	2.37	1.00	4.49	1.70	1.68	0.64	1.34	0.73	1.52	0.54	0.52	0.16
30	11.18	9.34	2.59	1.23	4.91	2.08	1.83	0.79	1.47	0.87	1.66	0.67	0.57	0.20
50	12.38	11.15	2.86	1.53	5.44	2.60	2.03	0.99	1.62	1.05	1.83	0.84	0.63	0.25
100	14.01	13.70	3.24	1.96	6.15	3.35	2.30	1.28	1.84	1.31	2.08	1.10	0.71	0.33
200	15.63	16.34	3.62	2.42	6.86	4.15	2.56	1.59	2.05	1.58	2.32	1.37	0.79	0.42
500	17.78	19.94	4.11	3.06	7.81	5.26	2.92	2.03	2.33	1.95	2.64	1.75	0.90	0.55

Tabella 38 – Confronto tra i valori delle portate di piena calcolate con i due differenti approcci. In grassetto i valori maggiori

Come può notarsi **le portate ricavate utilizzando del metodo Razionale sono risultate sempre maggiori di quelle derivate dall'utilizzo del metodo del Metodo del Curve Number (CN).**

Nella tabella seguente si riporta l'involuppo dei valori massimi determinati con i due approcci al variare del tempo di ritorno (5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 500 anni):

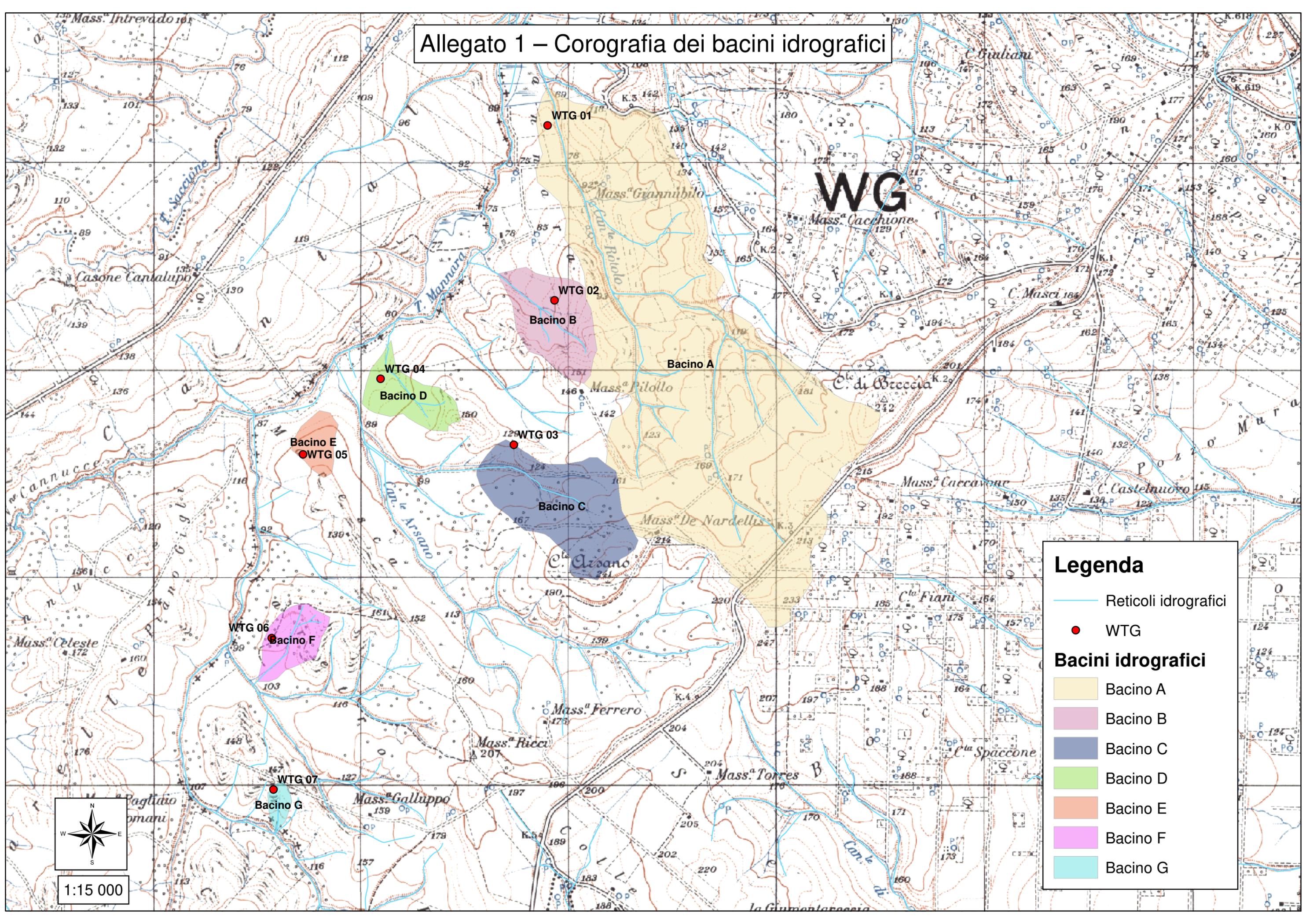
T [anni]	Bacino A	Bacino B	Bacino C	Bacino D	Bacino E	Bacino F	Bacino G
5	6.97	1.61	3.06	1.14	0.92	1.03	0.35
10	8.60	1.99	3.78	1.41	1.13	1.27	0.44
20	10.23	2.37	4.49	1.68	1.34	1.52	0.52
30	11.18	2.59	4.91	1.83	1.47	1.66	0.57
50	12.38	2.86	5.44	2.03	1.62	1.83	0.63
100	14.01	3.24	6.15	2.30	1.84	2.08	0.71
200	16.34	3.62	6.86	2.56	2.05	2.32	0.79
500	19.94	4.11	7.81	2.92	2.33	2.64	0.90

Tabella 39 - Valori di portata di piena al variare del tempo di ritorno (5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 500 anni).

7. ALLEGATI

ALLEGATO 1 - -COROGRAFIA DEI BACINI IDROGRAFICI

Allegato 1 – Corografia dei bacini idrografici



WG

Legenda

- Reticoli idrografici
- WTG

Bacini idrografici

- Bacino A
- Bacino B
- Bacino C
- Bacino D
- Bacino E
- Bacino F
- Bacino G



1:15 000