

# REGIONI PUGLIA e CAMPANIA

Province di Foggia e Avellino

COMUNI DI Greci (AV) – Montaguto (AV) – Faeto (FG) –  
Celle di San Vito (FG) – Orsara (FG)-Castelluccio  
Valmaggiore (FG) – Troia (FG)

PROGETTO

## POTENZIAMENTO PARCO EOLICO GRECI-MONTAGUTO



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMITTENTE:

*ERG Wind 4*



PROGETTISTA:



**GOLDER**  
Via Sante Bargellini, 4  
00157 - Roma (RM)



OGGETTO DELL'ELABORATO:

**RELAZIONE IDROLOGICA**

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	04/2019	/	1 di 19	A4	GRE	ENG	REL	0020	00

NOME FILE: GRE.ENG.REL.0020.00.doc

ERG Wind 4 2 S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	2
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	<b>0020</b>	<b>00</b>		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	04/2019	PRIMA EMISSIONE	NF	LSP	VBR

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	3
GRE	ENG	REL	0020	00		

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>UBICAZIONE</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO</b> .....	<b>8</b>
	<b>3.1 GENERALITÀ</b> .....	8
	<b>3.2 ANALISI IDROLOGICA</b> .....	9
	<b>3.3 ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE IN PUGLIA</b> .....	9
	<b>3.4 DEFINIZIONE DELLA LEGGE DI PIOGGIA PER AREE IN PROGETTO.</b> .....	15
<b>4</b>	<b>STIMA DELLA PIENA INDICE: MODELLO RAZIONALE</b> .....	<b>16</b>
	<b>4.1 VALUTAZIONE DEL FATTORE PROBABILISTICO DI CRESCITA DELLE PORTATE</b> .....	17
	<b>4.2 VALUTAZIONE DELLE PIENE INDICE E DELLE PORTATE DI PIENA</b> .....	18

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	4
GRE	ENG	REL	0020	00		

## 1 PREMESSA

La società Golder è stata incaricata di redigere il progetto relativo al potenziamento di due impianti eolici esistenti con aerogeneratori ubicati nei comuni di Greci (AV) e di Montaguto (AV) in Regione Campania. Le relative opere di connessione si sviluppano, oltre che nei suddetti comuni, anche nei comuni di Faeto (FG), Orsara di Puglia (FG), Celle San Vito (FG), Castelluccio Valmaggiore (FG) e Troia (FG), in Regione Puglia.

Sebbene attualmente gli impianti siano entrambi connessi presso l'esistente stazione elettrica di trasformazione 150/20 kV "Celle San Vito", ubicata nel Comune di Celle San Vito (FG), al termine degli interventi di repowering i due impianti si collegheranno a due diverse sottostazioni elettriche: gli aerogeneratori ricadenti nel Comune di Greci verranno collegati alla SSE "Troia" 380/150 kV, presente nel comune di Troia (FG), mentre quelli realizzati nel territorio di Montaguto conserveranno l'attuale collegamento alla SSE di Celle San Vito, adeguando quest'ultima alla nuova potenza dell'impianto ed alle specifiche tecniche previste dal codice di rete.

Gli impianti esistenti sono di proprietà della società del Gruppo ERG Wind 4 Holding Italia Srl.

Gli impianti esistenti sono attualmente in esercizio ed autorizzati dalle rispettive Concessioni edilizie rilasciate dai Comuni interessati (rispettivamente n. 80 del 18/09/1999 e n. 12/99 del 30/06/1999).

L'impianto di Greci è composto da 25 aerogeneratori tripala Vestas V-47, con torre tralicciata, ciascuno di potenza nominale pari a 0,66 MW, per una potenza complessiva di 16,5 MW.

L'impianto di Montaguto è composto da 10 aerogeneratori tripala Vestas V-47, con torre tralicciata, ciascuno di potenza nominale pari a 0,66 MW per una potenza complessiva di 6,60 MW.

Il potenziamento dei due impianti, oggetto della presente proposta progettuale, sarà portato in autorizzazione come un unico impianto (rif. Elaborato grafico GRE.ENG.TAV42.00).

Il presente progetto consiste dunque:

- nella dismissione di 22 dei 25 aerogeneratori esistenti dell'impianto di Greci (potenza in dismissione pari a 14,52 MW) e di tutti i 10 aerogeneratori dell'impianto di Montaguto (potenza in dismissione pari a 6,60 MW) e relative opere accessorie, e nella rimozione dei cavidotti attualmente in esercizio. Resteranno in esercizio esclusivamente 3 aerogeneratori dell'impianto di Greci, individuati dalle sigle GR11, GR12 e GR13, caratterizzati da una connessione in antenna, separata rispetto al resto delle macchine di impianto, che saranno sottoposti ad un intervento di reblading seguendo un iter autorizzativo separato. Il numero complessivo degli aerogeneratori da dismettere è pari a 32 per una potenza complessiva in dismissione è pari a 21,12 MW (rif. Elaborati grafici GRE.ENG.TAV42.00).
- nella realizzazione di un impianto eolico costituito da 10 aerogeneratori di grande taglia e relative opere accessorie per una potenza complessiva di 43,8 MW (rif. Elaborato grafico GRE.ENG.TAV01.00). In particolare, l'impianto sarà costituito da:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	5
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	<b>0020</b>	<b>00</b>		

- 6 aerogeneratori in agro di Greci, della potenza unitaria di 4,5 MW, diametro del rotore massimo di 145 m e altezza massima complessiva di 180 m; tale lotto di impianto sarà connesso alla RTN con collegamento in antenna a 150 kV al futuro ampliamento della stazione elettrica di trasformazione della RTN a 380/150 kV, denominata "Troia", per una potenza totale di 27 MW.
- 4 aerogeneratori in agro di Montaguto, della potenza unitaria di 4,2 MW, diametro del rotore massimo di 117 m e altezza massima complessiva di 180 m; tale lotto non modificherà il punto di connessione alla RTN, previsto pertanto presso l'attuale stazione elettrica di Celle San Vito (FG) opportunamente adeguata; la potenza totale di connessione sarà di 16,8 MW.
- La costruzione di nuovi cavidotti interrati MT in sostituzione di quelli attualmente in esercizio. Il tracciato di progetto, completamente interrato, seguirà per la maggior parte il percorso esistente. L'unica eccezione riguarderà il nuovo tracciato necessario per il collegamento degli aerogeneratori di Greci alla SSE utente di nuova realizzazione nel Comune di Troia.
- L'adeguamento della sottostazione elettrica esistente di Celle San Vito alla nuova configurazione elettrica ed alle specifiche di rete, per garantire la connessione alla RTN degli aerogeneratori di Montaguto.
- La realizzazione di una cabina di sezionamento lungo il tracciato dei cavidotti MT che collegano l'impianto di Greci alla nuova sottostazione, in modo da garantire maggiore facilità nella manutenzione delle linee e ridurre le perdite elettriche.
- La costruzione di una nuova sottostazione elettrica utente per la connessione alla RTN degli aerogeneratori di Greci. La SSE di progetto rappresenterà il punto di arrivo dei cavi MT e di partenza del cavo di collegamento AT verso la sottostazione Terna esistente.
- La posa di un nuovo cavidotto interrato AT tra la sottostazione lato utente e la SSE Terna esistente.
- L'adeguamento della sottostazione elettrica Terna esistente preso cui avverrà il collegamento degli impianti (tale intervento non ricompreso nel presente progetto).

Nella presente relazione vengono studiate le condizioni idrologiche delle aree interessate dal progetto di ripotenziamento e che costituiscono la base conoscitiva di partenza per la redazione dello studio idraulico necessario per la verifica della sicurezza idraulica delle opere.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	6
GRE	ENG	REL	0020	00		

## 2 UBICAZIONE

Il progetto di potenziamento di cui alla presente relazione insiste nei territori dei Comuni di Greci e Montaguto (AV) in Regione Campania, con tracciato del cavidotto che interessa anche la Regione Puglia ed in particolare i comuni di Orsara di Puglia, Faeto, Celle San Vito e Troia in provincia di Foggia.

In particolare:

- nel Comune di Greci saranno installati n. 6 aerogeneratori, individuati con le sigle: R-GR01, R-GR02, R-GR03, R-GR04, R-GR05 ed R-GR06;
- nel Comune di Montaguto saranno installati n. 4 aerogeneratori, individuati con le sigle: R-MA02, R-MA03, R-MA04 e R-MA05.
- Nel Comune di Celle San Vito (FG) è prevista la connessione del lotto di impianto costituito dagli aerogeneratori ricadenti in agro di Montaguto presso la stessa stazione elettrica ove attualmente avviene la cessione dell'energia prodotta dagli aerogeneratori in esercizio alla RTN; la stazione sarà opportunamente adeguata. La potenza complessiva di tale lotto è pari a 16,8 MW.
- Nel Comune di Troia (FG) è prevista la connessione del lotto di impianto costituito dagli aerogeneratori ricadenti in agro di Greci. La stazione sarà realizzata ex novo. La potenza complessiva di tale lotto è pari a 27 MW.

Dal punto di vista cartografico, gli aerogeneratori e le opere in progetto – così come l'impianto che verrà dismesso – ricadono all'interno delle seguenti cartografie e fogli di mappa catastali (rif. GRE.ENG.TAV.01.00, GRE.ENG.TAV.02.00, GRE.ENG.TAV.03.00, GRE.ENG.TAV.42.00):

- Fogli I.G.M. in scala 1:50.000  
-420 Troia;  
-433 Ariano Irpino;
- Fogli di mappa catastali nn° 2, 3, 4, 6, 9, 15 del Comune di Greci;
- Fogli di mappa catastali nn° 3, 4, 10 del Comune di Montaguto.

Il tracciato del cavidotto e le stazioni di consegna dell'energia prodotta interessano i comuni di Orsara di Puglia, Faeto, Celle San Vito, Castelluccio Valmaggire e Troia ai seguenti mappali:

- Fogli di mappa catastali nn° 4, 11 e 12 del Comune di Orsara di Puglia;
- Fogli di mappa catastali nn° 20, 21 e 27 del Comune di Faeto;
- Foglio di mappa catastale n° 16 del Comune di Celle San Vito;
- Foglio di mappa catastale n° 22 del Comune di Castelluccio Valmaggire;
- Fogli di mappa catastali nn° 6 e 8 del Comune di Troia.

Le 3 aree di cantiere e manovra nonché di deposito temporaneo dei materiali e delle strutture in dismissione e l'area necessaria al trasbordo delle strutture in arrivo al punto di accesso al sito di impianto sono così ubicate:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	7
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	<b>0020</b>	<b>00</b>		

- Area di stoccaggio e trasbordo: particella 175 del foglio catastale 22 del comune di Faeto;
- area logistica di cantiere – Gruppo WTG1: particelle 320 e 321 del foglio catastale n. 6 di Greci a servizio degli aerogeneratori R-GR01, R-GR02 e R-GR03;
- area logistica di cantiere – Gruppo WTG2: particella 1 del foglio catastale 3 di Greci a servizio degli aerogeneratori R-GR04, R-GR05 e R-GR06 e funzionale anche alle operazioni di dismissione dell'impianto esistente;
- area logistica di cantiere – Gruppo WTG3: particelle 151 e 172 del foglio catastale 3 di Montaguto a servizio degli aerogeneratori R-MA02, R-MA03, R-MA04 e R-MA05.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	8
GRE	ENG	REL	0020	00		

### 3 STUDIO IDROLOGICO

#### 3.1 Generalità

L'analisi idrologica ha come obiettivo la valutazione delle portate di piena e dei relativi volumi che, per prefissati tempi di ritorno, interessano il bacino idrografico e di conseguenza il territorio e tutti gli elementi vulnerabili in esso presenti.

In congruenza con le finalità dello studio, volto a definire un assetto idraulico dei luoghi di interesse adeguato allo stato di fatto, si deve fare riferimento ad eventi con tempi di ritorno di 200 anni, attraverso i quali si stabiliscono le condizioni di sicurezza idraulica.

Il D.P.C.M. 29.09.1998, in materia di difesa del suolo, stabilisce che *"Ove possibile è consigliabile che si traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena, con assegnato tempo di ritorno, dalle elaborazioni eseguite dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, oppure dai rapporti tecnici del progetto Va. Pi. messo a disposizione dal G.N.D.C.I.- C.N.R."*

Il progetto VAPI sulla valutazione delle piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, si prefigge l'obiettivo di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali. Scopo di tale rapporto è quello di fornire uno strumento ed una guida ai ricercatori ed ai tecnici operanti sul territorio, per comprendere i fenomeni coinvolti nella produzione delle portate di piena naturali e per effettuare previsioni sui valori futuri delle piene in una sezione di un bacino naturale con il minimo possibile di incertezza.

La metodologia propria del progetto Va.Pi. effettua la regionalizzazione delle piogge su sei zone omogenee, in cui è stata suddivisa la Puglia, con formulazioni diverse per ognuna di esse.

il presente studio idrologico è stata condotta rifacendosi alle procedure individuate dal Gruppo Nazionale Difesa della Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per la *"Valutazione delle Piene in Puglia"* (a cura di Vito Antonio Copertino e Mauro Fiorentino, 1994), nel seguito, denominato **"VAPI Puglia"**, che, nella sua stesura originaria, era concentrato al territorio a nord del fiume Ofanto e che, in fase successiva, è stato allargato all'intero territorio regionale 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 e di Chimica del Politecnico di Bari, 2001). La procedura adottata e i calcoli effettuati sono ampiamente descritti nei paragrafi successivi.

Per quanto concerne, invece, la valutazione dei deflussi naturali del corso d'acqua in esame si è fatto ricorso all'analisi comparata dei risultati derivati dall'applicazione di alcuni modelli di trasformazione afflussi-deflussi. In particolare si sono utilizzate i risultati rivenienti dall'applicazione a scala regionale di due diversi approcci che si sono sinteticamente definiti con il nome di modello empirico e modello razionale e le cui peculiarità e limiti di applicabilità saranno dettagliatamente

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	9
GRE	ENG	REL	0020	00		

illustrati nel seguito.

I valori derivati dall'applicazione delle due metodologie su descritte sono stati successivamente confrontati con i risultati ottenuti dall'applicazione di formule semplificate basate sulla stima, di carattere geomorfologico, dei tempi di concentrazione propri del bacino.

### 3.2 Analisi Idrologica

L'analisi idrologica dell'area in oggetto è stata condotta utilizzando 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).

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 5, 10, 25, 50, 100, 200 e 500 anni.

### 3.3 Analisi regionale delle piogge in Puglia

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, è noto 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.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	10
<b>GRE</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	<b>0020</b>	<b>00</b>		

con struttura gerarchica, che utilizza tre differenti livelli di scala spaziale per la stima dei parametri del modello probabilistico utilizzato, in modo da ottimizzare l'informazione ricavabile dai dati disponibili e dal numero di stazioni della rete di misura.

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 settentrionale, 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 1940 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 centromeridionale.

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  $\Lambda^*$ . Questi parametri non possono essere stimati da un numero ristretto di serie di dati, per cui l'analisi parte dalla possibilità di considerare le 66 stazioni come appartenenti ad un'unica zona al primo livello. I risultati ottenuti dall'analisi del 1°

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	11
GRE	ENG	REL	0020	00		

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 (tabella 12) si riportano i valori numerici dei parametri di interesse per lo studio.

	$\theta^*$	$\Lambda^*$	$\Lambda_1$
<b>Puglia settentrionale</b>	2.3515	0.7721	44.629

**Tabella 12** – 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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	12
GRE	ENG	REL	0020	00		

Sulla scorta dei valori regionali dei parametri  $\theta^*$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Lambda 1$ , è possibile calcolare la curva di crescita per la Puglia settentrionale, anche se tale fattore può essere calcolato in funzione di  $T_R$  attraverso la 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:

$$K_T = 0.5648 + 0.415 * \ln T_R$$

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

$$K_T = 0.1599 + 0.5166 * \ln T_R$$

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)	50	200	500	5	10	25	100
K(T) Zona 1-2-3-4	2,188	2,764	3,144	1,233	1,520	1,901	2,476
K(T) Zona 5-6	2,181	2,897	3,370	0,991	1,349	1,823	2,539

Tabella 13 - 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*.

Per l'intera regione pugliese si hanno le seguenti zone omogenee di 3° livello:

- nell'area della Puglia settentrionale, il VAPI Puglia fornisce l'individuazione di 4 aree omogenee dal punto di vista del legame fra altezza di precipitazione giornaliera  $\mu(X_g)$  e

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	13
GRE	ENG	REL	0020	00		

quota. Ognuna di esse è caratterizzata da una correlazione lineare con elevati valori dell'indice di determinazione tra i valori  $\mu(Xg)$  e le quote sul mare  $h$  ;

- nell'area centro-meridionale della Puglia (dove ricade l'intervento in oggetto), il VAPI fornisce l'individuazione di una analoga dipendenza della precipitazione giornaliera dalla quota sul livello medio mare per le 66 stazioni pluviometriche esaminate nella regione. 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, in continuità con quanto visto in Puglia Settentrionale.



Figura 1 - Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello.

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:

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:

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

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  $\alpha$  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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	14
GRE	ENG	REL	0020	00		

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 (tabella 15).

Zona	$\alpha$	$a$	$C$	$D$	$N$
1	0,89	28,66	0,000503	0,720	-
2	0,89	22,23	-	-	0,247
3	0,89	25,325	0,000531	0,696	-
4	0,89	24,7	-	-	0,256
5	0,89	28,2	0,0002	0,628	-
6	0,89	33,7	0,0022	0,666	-

Tabella 1 - Coefficienti del terzo 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:

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

I bacini idrografici e più in generale le aree di progetto ricadono all'interno della zona 5.

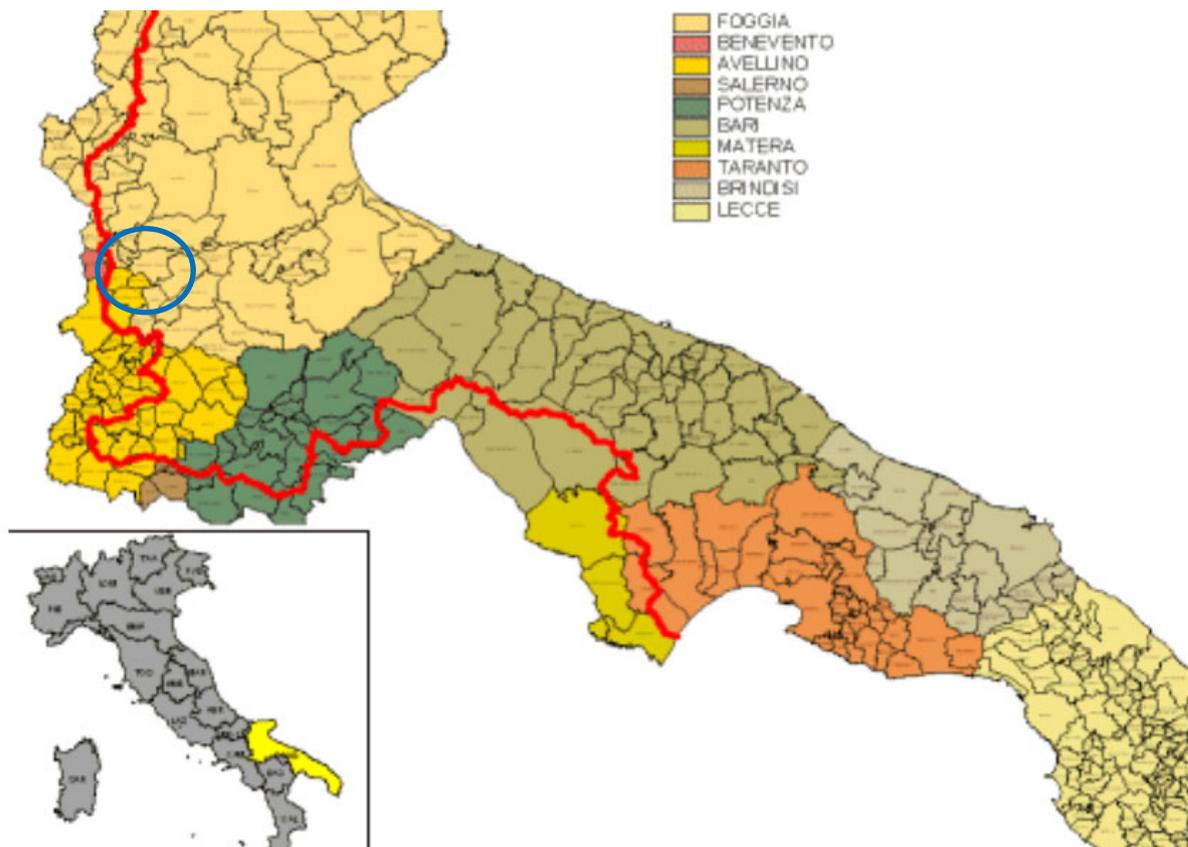


Figura 2: Individuazione dei comuni di Greci e Montaguto e dell'area vasta d'intervento (in blu) ricadente nel comprensorio dell'ADB Puglia.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	15
GRE	ENG	REL	0020	00		

### 3.4 Definizione della legge di pioggia per aree in progetto.

Al fine di calcolare gli idrogrammi di piena da utilizzare come input nei modelli di calcolo idraulici è necessario, in prima battuta, stabilire gli ietogrammi di pioggia che consentiranno di applicare i modelli afflussi-deflussi per la determinazione delle portate di piena. Per questo motivo è necessario effettuare un'analisi statistica degli eventi piovosi verificatisi in passato che, attraverso l'analisi di un campione significativo di dati storici, consente di determinare le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) dalle quali si determina lo ietogramma di pioggia. Per far fronte alle indicazioni dell'Autorità di Bacino della Puglia, in linea tra l'altro con la normativa nazionale, in questo studio viene applicata la metodologia di analisi riportata nel VAPI Puglia, fondata sulla funzione di distribuzione di probabilità (fdp) TCEV che verrà brevemente descritta nel seguito. La TCEV ha la caratteristica di conferire al modello idrologico maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle serie di dati disponibili, tuttavia occorre disporre di una serie storica di dati sufficientemente lunga per non incorrere in errori di campionatura. Per ovviare a questo problema il GNDCl ha messo a punto una procedura di regionalizzazione (Beran et al. 1986) che ha permesso di determinare i parametri della TCEV su tutto il territorio pugliese estendendo, in questo modo, la lunghezza delle serie storiche. In base alla zonizzazione si ha:

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

Le procedure di regionalizzazione descritte in precedenza hanno consentito, quindi, di determinare le curve di possibilità climatiche al variare del tempo di ritorno.

In particolare tutti i bacini delle opere d'interventi ricadono interamente nella Zona 4.

Il rapporto VAPI Puglia assegna alla Zona 4 la seguente legge di variazione dei valori medi delle altezze di pioggia dei massimi annuali in funzione della durata dell'evento:

$$x(t) = 24.70 t^{0.256}$$

Ovvero la legge di pioggia sarà :

$$h = 24.7 t^{0.256}$$

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	16
GRE	ENG	REL	0020	00		

#### 4 STIMA DELLA PIENA INDICE: MODELLO RAZIONALE

In genere ad eventi di pioggia brevi ed intensi corrispondono deflussi di piena, nella sezione terminale del bacino, dovuti essenzialmente allo scorrimento delle acque sui versanti e nei canali della rete idrografica. Il bilancio idrologico del bacino, durante i fenomeni di piena, può pertanto essere schematizzato considerando che fra i volumi di ingresso e quelli di uscita si stabilisce una relazione per effetto della concomitante trasformazione subita dai due sottosistemi che costituiscono il bacino: sui versanti, un'aliquota delle precipitazioni totali viene persa a causa del fenomeno dell'infiltrazione; nella rete idrografica l'aliquota delle piogge efficaci derivanti dai versanti viene invasata e trasportata nella sezione di sbocco a costituire l'idrogramma di piena, che si manifesta con un certo ritardo nei confronti del pluviogramma che lo ha generato.

Il rapporto tra tali volumi (volume di piena e precipitazioni totali), in un prefissato intervallo di tempo, si definisce coefficiente probabilistico di piena  $C^*$ . Tale coefficiente può essere assunto a caratterizzare la risposta del bacino nei riguardi delle perdite per infiltrazione nelle seguenti ipotesi:

- la formazione del deflusso superficiale avviene per eccesso di infiltrazione ovvero con prevalente meccanismo hortoniano, non lineare ma a soglia alla scala puntuale;
- la capacità di infiltrazione è fortemente variabile, in maniera casuale, da un punto all'altro del bacino; ciò rende la trasformazione globale del bacino, da pioggia totale a pioggia efficace più lineare;
- il coefficiente  $C^*$  schematizza, con una relazione di proporzionalità diretta, la relazione capacità di infiltrazione areale - intensità di pioggia areale, che viene linearizzata nel campo dei valori di intensità di pioggia di interesse.

Il comportamento della rete idrografica, considerata alla stregua di un operatore lineare, è noto quando si conosca la risposta ad un ingresso impulsivo unitario detto anche IUH (Instantaneous Unit Hydrograph). Nell'ipotesi di adottare un pluviogramma rettangolare, l'idrogramma di piena corrispondente ha ordinata al colmo proporzionale all'intensità di pioggia per mezzo di un coefficiente di attenuazione di piena  $S(d)$  (Wood & Hebson, 1986), che ha la seguente espressione analitica:

$$S(d) = \int_{t_p-d}^d u(\tau) d\tau$$

ove  $\mu(\tau)$  è IUH del bacino, mentre  $t_p$  l'istante in cui avviene il picco, misurato a partire dal momento di inizio della pioggia.

La portata al colmo di piena per ciascuna unità di area risulta, quindi, proporzionale al prodotto tra il coefficiente di attenuazione della piena e il valore dell'intensità di pioggia al variare della durata  $d$ . Va evidenziato che, all'aumentare della durata  $d$ , mentre il valore dell'intensità di pioggia tende a diminuire, quello del coefficiente di attenuazione tende ad aumentare, per cui esiste un valore della durata che rende massimo tale prodotto e definisce il valore  $t_r$  che ha il significato di tempo di

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	17
GRE	ENG	REL	0020	00		

ritardo del bacino.

Il tempo di ritardo di un evento di piena rappresenta quindi la distanza temporale tra i baricentri dell'idrogramma di piena superficiale e lo ietogramma efficace che lo ha generato.

Ne rinviene che la piena indice può essere definita come segue:

$$\mu(Q) = \frac{C^* K_A(t_r) \mu[I_A(t_r)] A}{3.6}$$

ove **A** la superficie del bacino espressa in Km<sup>2</sup> e il fattore 3.6 tiene conto delle unità di misura normalmente utilizzate nella valutazione delle grandezze di interesse.

I parametri del modello, cioè il coefficiente di piena C\* e il tempo di ritardo del bacino tr possono essere valutati in base alle seguenti espressioni valide su base regionale:

$$C^* = 0.09 + 0.47 (1 - PE)$$

$$t_r = 0.344 A^{0.5}$$

nelle quali **PE** è la percentuale di superficie del bacino caratterizzata da permeabilità medio elevata.

La valutazione dell'intensità della pioggia media sull'intero bacino viene effettuata attraverso il coefficiente di riduzione areale K<sub>A</sub>(d) che ha espressione:

$$K_A(d) = 1 - \left[ 1 - e^{-c_1 d} \right] e^{-c_2 d^{c_3}}$$

ove i coefficienti c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub> e c<sub>3</sub> valgono rispettivamente 0.0021, 0.53 e 0.25.

#### 4.1 Valutazione del fattore probabilistico di crescita delle portate

Alla stregua di quanto già condotto in merito alle precipitazioni, al fine di valutare le portate di piena al variare del tempo di ritorno, è necessario stimare il valore assunto dal fattore probabilistico al variare dei parametri individuati nella stima dei due primi livelli di regionalizzazione. In particolare per la Puglia, l'analisi regionale delle portate conduce all'individuazione di un'unica zona omogenea ai primi due livelli. Essa è caratterizzata dai seguenti valori dei parametri della TCEV:

$$\theta^* = 2.654$$

$$\Lambda^* = 0.350$$

$$\Lambda_1 = 5$$

$$\eta = 2.937$$

Tali valori permettono, attraverso la (1), di ottenere numericamente i valori dei coefficienti probabilistici di piena al variare del tempo di ritorno. Alcuni di essi sono riportati a seguire.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO							PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO							18
GRE	ENG	REL	0020	00	RELAZIONE IDROLOGICA							

$T$ (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T(Q)$	0.83	1.39	1.85	2.37	2.55	2.95	3.15	3.76	4.39	5.22	5.84

Analogamente a quanto già effettuato con le piogge, il fattore probabilistico di crescita delle portate può essere approssimato con una relazione avente espressione:

$$K_T(Q) = -0.4007 + 0.904 \ln T \quad (1)$$

che determina errori nella stima di  $K_T(Q)$  sempre inferiori al 10%.

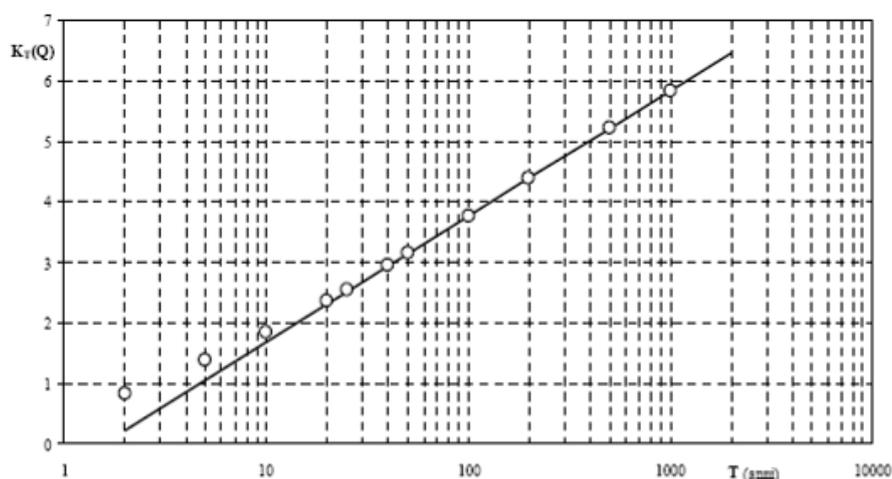


Figura 3 - Fattore probabilistico di crescita delle portate

#### 4.2 Valutazione delle piene indice e delle portate di piena

A seguire si riporta la metodologia per il calcolo delle portate massime considerando il Modello razionale.

In particolare, fissato il tempo di ritorno (variabile tra 5 e 500 anni), si procede al calcolo del coefficiente udometrico  $u$  (in l/s ha), e quindi delle portate massime in funzione delle specifiche superfici scolanti che dovranno essere valutate per ogni tratto del reticolo idrografico d'interesse.

Nell'immagine successiva si riportano le formule relative al calcolo della portata con il modello razionale e si esplicitano i parametri di riferimento necessari per la stima delle portate.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO IMPIANTO EOLICO GRECI-MONTAGUTO RELAZIONE IDROLOGICA	19
GRE	ENG	REL	0020	00		

#### MODELLO RAZIONALE

$$Q_T = k_T Q_m$$

$$Q_m = C * k_A(t_r) I(t_r) A / 3,6 \quad \text{mc/s}$$

$$C = 0,09 + 0,47(1 - PE)$$

PE rapporto tra area ad elavata-media permeabilità e area totale del bacino

$t_r$  tempo di ritardo del bacino, valutato secondo la relazione

$$t_r = 0,344 A^{0,5}$$

A area del bacino in kmq

$k_A$  coefficiente di riduzione areale, variabile di A (kmq) e  $t_r$  (durata dell'evento di pioggia)

$$k_A = 1 - (1 - e^{(-0,021A)}) e^{(-0,53t_r^{0,25})}$$

$I(t_r)$  intensità di pioggia da ricavare come rapporto tra  $h(t_r)/t_r$

$h(t_r)$  legge di variazione pluviometrica valida per il bacino

$k_T$  fattore di crescita dipendente dal tempo di ritorno T dell'evento di piena

$$k_T = -0,4007 + 0,904 \ln T$$

I valori di portata stimati ( $Q_m$  la portata indice,  $Q_T$  la portata massima per fissato periodo di ritorno) devono essere utilizzati per le verifiche idrauliche delle sezioni d'interesse lungo i tratti del reticolo idrografico interferito dalle opere di progetto.