

REGIONE CAMPANIA  
Provincia di Avellino  
COMUNI DI Andretta (AV) – Bisaccia (AV)

PROGETTO

**POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA**



**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.
	07/2019	/	1 di 23	A4	BIS	ENG	REL	0020	00

NOME FILE: BIS.ENG.REL.0020.00\_Relazione Idrologica.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 PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	2
<b>BIS</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	07/2019	PRIMA EMISSIONE	NF	LSP	VBR

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	3
BIS	ENG	REL	0020	00		

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	4
<b>2</b>	<b>UBICAZIONE</b> .....	6
<b>3</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA</b> .....	7
3.1	GENERALITÀ SUL MODELLO VAPI .....	7
3.2	ANALISI IDROLOGICA ATTRAVERSO IL MODELLO VAPI PUGLIA.....	8
3.2.1	DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICHE .....	13
3.3	ANALISI IDROLOGICA ATTRAVERSO IL MODELLO VAPI CAMPANIA.....	14
3.4	CONFRONTO DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICHE DEI VAPI.....	17
<b>4</b>	<b>STIMA DELLA PIENA INDICE: MODELLO RAZIONALE</b> .....	20
4.1	VALUTAZIONE DEL FATTORE PROBABILISTICO DI CRESCITA DELLE PORTATE .....	21
4.2	VALUTAZIONE DELLE PIENE INDICE E DELLE PORTATE DI PIENA.....	22

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	4
BIS	ENG	REL	0020	00		

## 1 PREMESSA

La società Golder è stata incaricata di redigere il progetto relativo al potenziamento di un impianto eolico esistente con aerogeneratori ubicati nei comuni di Andretta (AV) e di Bisaccia (AV) in Regione Campania, con relative opere di connessione che si sviluppano nei suddetti comuni.

Attualmente l'impianto è connesso all'esistente stazione elettrica di trasformazione 150/20 kV "Bisaccia", ubicata nel Comune di Bisaccia (AV). Tuttavia, visto l'incremento di potenza atteso al termine degli interventi di repowering (circa 33 MW di differenza tra l'impianto esistente in dismissione e la wind farm di progetto) il nuovo impianto si collegherà presso una sottostazione elettrica di nuova realizzazione, ubicata sempre Comune di Bisaccia (AV), ma nelle immediate vicinanze dell'esistente sottostazione 380/150 kV Terna.

L'impianto esistente in dismissione è di proprietà della società del Gruppo ERG Wind 4 Srl.

Nello specifico, l'impianto di Andretta - Bisaccia è composto da 47 aerogeneratori tripala modello Vestas V-47, con torre tralicciata, di cui n.30 con potenza nominale pari a 0,66 MW e n.17 con potenza nominale pari a 0,60 MW, per una potenza complessiva di 30 MW.

L'impianto, attualmente in esercizio, è collegato tramite cavidotti interrati all'esistente stazione elettrica di Bisaccia.

Il presente progetto consisterà dunque in:

- dismissione dei 47 aerogeneratori esistenti dell'impianto di Andretta - Bisaccia (potenza in dismissione pari a 30 MW) e delle relative opere accessorie, oltre che nella rimozione dei cavidotti attualmente in esercizio;
- realizzazione nelle stesse aree di un nuovo impianto eolico costituito da 14 aerogeneratori e relative opere accessorie per una potenza complessiva di 63 MW. In particolare, l'impianto sarà costituito da aerogeneratori della potenza unitaria di 4,5 MW, diametro del rotore massimo di 150 m ed altezza massima complessiva di 180 m;
- sostituzione dei cavidotti esistenti con cavi adatti alla nuova potenza. Il tracciato di progetto, completamente interrato, seguirà per la maggior parte il percorso esistente ad eccezione di:
  - piccoli tratti realizzati ex-novo al fine di ottimizzare il percorso dei cavidotti;
  - il nuovo tracciato necessario per il collegamento delle WTG denominate R-BS11, R-BS12 e R-BS13 alla SSE utente di nuova realizzazione nel Comune di Bisaccia, che seguirà un percorso diverso rispetto all'esistente per ridurre la lunghezza e conseguentemente le perdite elettriche in fase di esercizio.
- La costruzione di una nuova sottostazione elettrica utente per la connessione alla RTN. 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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	5
<b>BIS</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	<b>0020</b>	<b>00</b>		

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 PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	6
BIS	ENG	REL	0020	00		

## 2 UBICAZIONE

Il progetto di potenziamento di cui alla presente relazione insiste nei territori dei Comuni di Andretta e Bisaccia (AV) in Regione Campania, con tracciato del cavidotto che interessa gli stessi comuni.

In particolare:

- nel Comune di Bisaccia saranno installati n. 13 aerogeneratori, individuati con le sigle: R-BS01, R-BS02, R-BS03, R-BS04, R-BS05, R-BS06, R-BS07, R-BS08, R-BS09, R-BS10, R-BS11, R-BS12, R-BS13;
- nel Comune di Andretta sarà installato n. 1 aerogeneratore individuato con la sigla: R-AD01;
- nel Comune di Bisaccia è prevista inoltre la costruzione di una nuova sottostazione elettrica utente per la connessione dell'impianto eolico alla RTN.

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. BIS.ENG.TAV.0001.00, BIS.ENG.TAV.0002.00, BIS.ENG.TAV.0003.00, BIS.ENG.TAV.0028.00, BIS.ENG.REL.0010.00):

- Fogli I.G.M. in scala 1:50.000
  - 433 Ariano Irpino;
  - 434 Candela;
  - 450 Sant'Angelo dei Lombardi;
  - 451 Melfi
- Fogli di mappa catastali nn° 17, 26, 28, 29, 41, 62, 63, 64 del Comune di Bisaccia;
- Foglio di mappa catastale n° 3 del Comune di Andretta.

Il tracciato del cavidotto e la sottostazione di consegna dell'energia prodotta interessano i seguenti mappali:

- Fogli di mappa catastali nn° 17, 26, 28, 29, 38, 39, 40, 41, 55, 56, 57, 58, 60, 62, 63, 64, 72 del Comune di Bisaccia;
- Fogli di mappa catastali nn° 03, 04, 05, 08, 09 del Comune di Andretta.

Le 3 aree di cantiere e manovra, funzionali anche alle operazioni di dismissione dell'impianto esistente, sono ubicate sui seguenti mappali:

- area logistica di cantiere – Gruppo R-BS01, R-BS02, R-BS03: particella 86 del foglio catastale n. 26 di Bisaccia;
- area logistica di cantiere – Gruppo da R-BS04 a R-BS10: particella 362 del foglio catastale 29 di Bisaccia;
- area logistica di cantiere – Gruppo R-BS11, R-BS12, R-BS13: particella 273 del foglio catastale n. 62 di Bisaccia.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	7
BIS	ENG	REL	0020	00		

### 3 ANALISI IDROLOGICA

#### 3.1 Generalità sul modello VAPI

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.

Poiché i comuni di Bisaccia ed Andretta rientrano in un'area in cui si sovrappongono la zonizzazione del VAPI Campania e la zonizzazione del VAPI Puglia, si è provveduto alla definizione della curva di probabilità pluviometrica utilizzando i risultati di sintesi dei due rapporti VAPI.

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.

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 che sono noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson, 1955), Wakeby (Houghton 1978) e TCEV (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al. 1984). Questa 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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	8
BIS	ENG	REL	0020	00		

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 comporta che il fatto che in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

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.

Lo studio idrologico per il progetto di re-blading è stato condotto 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**".
- la "Valutazione delle Piene in Campania" (a cura di Rossi F. e Villani, 1994), nel seguito, denominato "**VAPI Campania**".

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

La procedura adottata e i calcoli effettuati sono ampiamente descritti nei paragrafi successivi.

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 attraverso il modello VAPI Puglia

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 settentrionale** (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.

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 parte del 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.

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato adottato un modello di

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	9
<b>BIS</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	<b>0020</b>	<b>00</b>		

regionalizzazione basata 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 sotto regioni 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 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 I° livello e II° livello di regionalizzazione sono stati ricavati con riferimento ad un'ipotesi di invarianza dei parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ .

L'analisi del primo livello suggerisce la presenza di un'unica zona omogenea comprensiva di tutte le stazioni della regione.

Analogamente alla procedura operata al primo livello di regionalizzazione, la successiva verifica dell'ipotesi di un'unica zona omogenea è stata effettuata attraverso il confronto delle distribuzioni di frequenza cumulata dei valori osservati del coefficiente di variazione CV e di quelli generati, ottenendo un ottimo risultato che convalida ulteriormente l'ipotesi di intera regione omogenea con un valore costante di  $\Lambda_1$ . Alla luce di tali risultati, è stato possibile assumere realistica l'ipotesi di un'unica zona omogenea al primo e al secondo livello di regionalizzazione. Nel riquadro a seguire (tabella 1) si riportano i valori numerici dei parametri di interesse per lo studio:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	10
BIS	ENG	REL	0020	00		

### Parametri regionali

Piogge	$\theta^* = 2.352$	$\Lambda^* = 0.772$	$\Lambda_1 = 45$	$\eta = 5.662$
--------	--------------------	---------------------	------------------	----------------

Tabella 1 – Parametri d'interesse (<http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/Bari.htm>)

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:

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

Dove  $X_{d,TR}$  è 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  $\theta^*$ ,  $\Lambda^*$  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:

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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	11
BIS	ENG	REL	0020	00		

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 2** - 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  $\mu(Xt)$  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  $\mu(Xg)$  e 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. L'area di progetto ricade interamente nella zona 4, ricadente nella Puglia settentrionale come di seguito indicato .

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	12
BIS	ENG	REL	0020	00		



**Figura 1** - Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello con individuazione dei comuni di Andretta e Bisaccia (in blu).

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 massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare. Per le zone individuate, i valori dei parametri sono riportati nel riquadro nella pagina successiva (tabella 3).

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	-

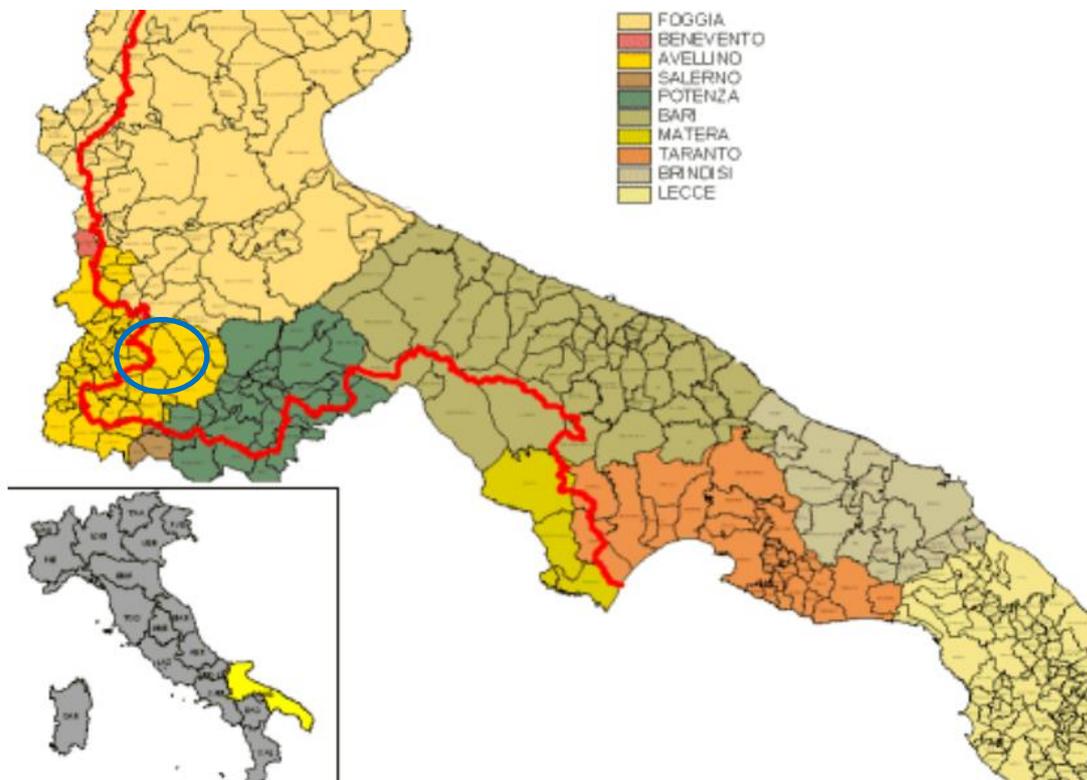
**Tabella 3** - Coefficienti del terzo livello di regionalizzazione

Quindi, per ottenere l'altezza di precipitazione della zona di interesse si deve moltiplicare il fattore di crescita ( $K_\tau$ ) per la precipitazione media:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	13
BIS	ENG	REL	0020	00		

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

**I bacini idrografici e più in generale le aree di progetto ricadono all'interno della zona 4.**



**Figura 2** – Individuazione dei comuni di Andretta e Bisaccia e in generale dell'area vasta d'intervento (in blu) del progetto proposto nel comprensorio dell'ADB Puglia.

### 3.2.1 Determinazione delle curve di possibilità pluviometriche

Le procedure di regionalizzazione descritte in precedenza hanno consentito, quindi, di determinare le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) al variare del tempo di ritorno. In base alla zonizzazione si ha:

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

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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	14
BIS	ENG	REL	0020	00		

altezze di pioggia dei massimi annuali in funzione della durata dell'evento:

**ZONA 4**  $x(t) = 24.70 t^{0.256}$

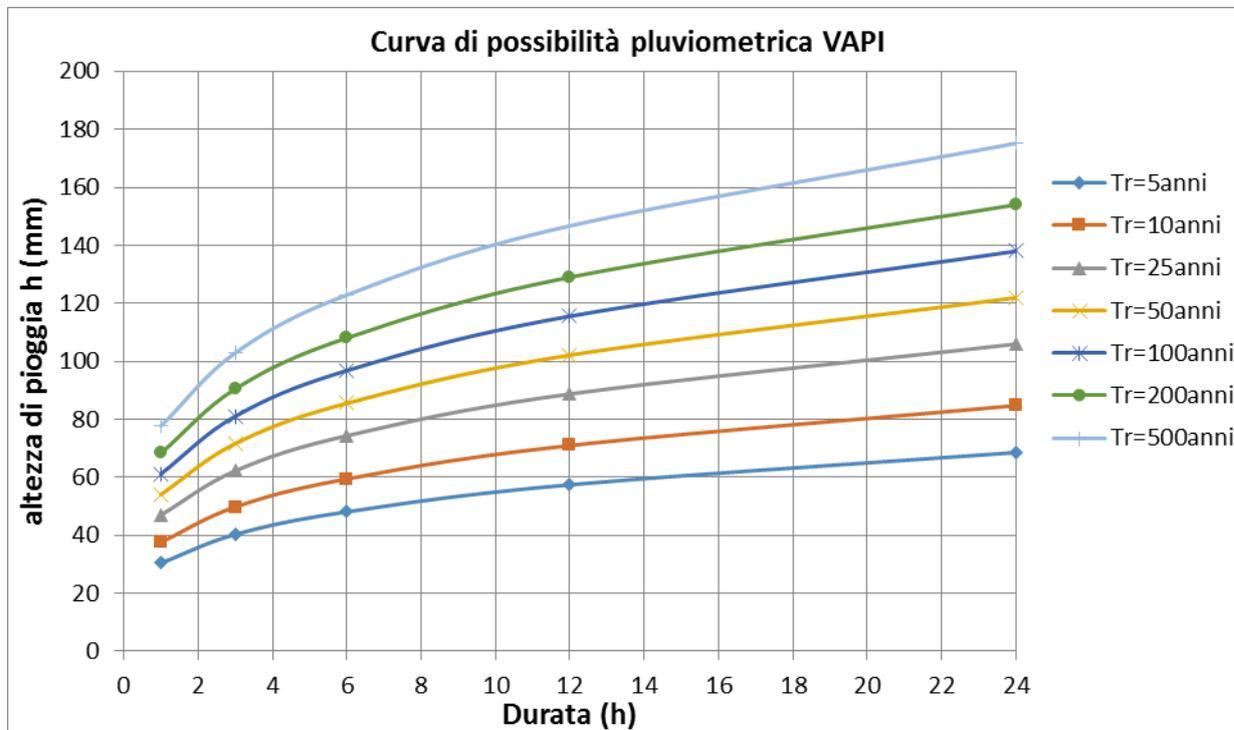


Figura 3 - Curve di possibilità pluviometrica zona 4

### 3.3 Analisi idrologica attraverso il modello VAPI Campania

Per la stima della legge di probabilità pluviometrica, che definisce appunto la variazione della media del massimo annuale dell'altezza di pioggia con la durata, il Rapporto VAPI Campania fa riferimento ad una legge a quattro parametri del tipo:

$$m[h(d)] = \frac{m[I_o] \cdot d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C-D \cdot z}}$$

in cui:

- $m[h(d)]$  rappresenta il valore dell'altezza di pioggia media espressa in mm in funzione della durata dell'evento;
- $m[I_o]$  rappresenta il limite dell'intensità di pioggia per  $d$  che tende a 0 il cui valore è costante per ogni area pluviometrica omogenea;
- $d$  rappresenta la durata dell'evento espresso in ore;
- $d_c$ ,  $C$ ,  $D$  sono dei parametri costanti per ogni area pluviometrica omogenea
- $z$  è l'altezza media del sito (nel caso in esame  $z$  è pari a circa 750 mslm).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	15
BIS	ENG	REL	0020	00		

Nel Rapporto VAPI Campania il territorio regionale è stato suddiviso in sei zone pluviometriche omogenee per ognuna della quale i parametri della suddetta legge sono costanti e sono stati determinati attraverso una procedura di stima regionale utilizzando i dati di 44 stazioni pluviografiche con più di 10 anni di osservazioni, ed in particolare:

- i massimi annuali delle altezze di pioggia in intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore;
- le altezze di pioggia relative ad eventi di notevole intensità e breve durata, che il SIMN non certifica come massimi annuali.

Nell'immagine a seguire si riporta la suddivisione della Regione Campania in aree pluviometriche omogenee e l'individuazione dell'area d'intervento.



**Figura 4** - Corografia schematica della Regione Campania con indicazione della suddivisione del territorio in 6 aree pluviometriche omogenee per quanto riguarda la regionalizzazione delle medie dei massimi annuali delle altezze di pioggia giornaliera. In blu l'individuazione dell'area d'intervento.

I valori dei parametri della legge di probabilità pluviometrica per ognuna delle 6 aree omogenee sono riportati nella tabella a seguire.

Area omogenea	n. stazioni	$m[l]$ (mm/ora)	$d_c$ (ore)	C	$D \cdot 10^5$
1	14	77.08	0.3661	0.7995	3.6077
2	12	83.75	0.3312	0.7031	7.7381
3	5	116.7	0.0976	0.7380	8.7300
4	3	78.61	0.3846	0.8100	24.874
<b>5</b>	<b>6</b>	<b>231.8</b>	<b>0.0508</b>	<b>0.8351</b>	<b>10.800</b>
6	4	87.87	0.2205	0.7265	8.8476

**Tabella 5:** Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	16
BIS	ENG	REL	0020	00		

Il valore dell'altezza di pioggia in funzione del periodo di ritorno viene calcolato a partire dal valore dell'altezza di pioggia media moltiplicando quest'ultima per il fattore di crescita che dipende dal periodo di ritorno e dai parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Campania. Il legame tra il fattore di crescita e i parametri della distribuzione è dato dall'espressione:

$$T = \frac{1}{1 - F_k(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k / \theta_*})}$$

I valori dei parametri della distribuzione validi per la Campania sono riportati nella tabella a seguire:

**PIOGGE**

**Parametri regionali**

Piogge	$\theta^* = 2.136$	$\Lambda^* = 0.224$	$\Lambda_1 = 41$	$\eta = 4.688$
--------	--------------------	---------------------	------------------	----------------

**Tabella 6** – Parametri d'interesse (<http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/Napoli.htm>)

In funzione di questi parametri sono stati ricavati i seguenti valori del fattore di crescita:

T(anni)	5	10	20	50	100	200
$k_{Tr}$	1.16	1.38	1.64	2.03	2.36	2.71

La valutazione della pioggia media sull'intero bacino (pioggia media areale) viene effettuata moltiplicando l'espressione della legge del valore medio per il coefficiente di riduzione areale dato dalla seguente espressione:

$$k_A(d) = 1 - (1 - \exp(-c_1 A)) \exp(-c_2 d^{c_3})$$

dove: A è l'area del bacino espressa in kmq, d la durata dell'evento espressa in ore,  $c_1$   $c_2$   $c_3$  tre parametri che assumono i seguenti valori:

$$c_1 = 0.0021$$

$$c_2 = 0.53$$

$$c_3 = 0.25$$

Si fa presente che il coefficiente di riduzione areale tende a 1 per valori di A sempre più piccoli. Infatti, per piccoli bacini, come l'area della stazione di progetto, tale coefficiente viene direttamente assunto pari ad 1.

Con riferimento al progetto (appartenente alla zona omogenea A3), assumendo pari ad 1 il valore del coefficiente di riduzione areale, la legge di probabilità pluviometrica dei massimi di pioggia in funzione della durata e del periodo di ritorno per il sito in esame diventa:

$$h_{i,T} = k_T \cdot \frac{116.7}{\left(1 + \frac{t}{0.0976}\right)^{0.676}} \cdot t$$

Tale espressione restituisce l'altezza di pioggia in mm per il sito d'intervento in funzione della durata dell'evento t espressa in ore e del periodo di ritorno (attraverso il valore di  $k_T$ ).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	17
BIS	ENG	REL	0020	00		

### 3.4 Confronto delle curve di possibilità pluviometriche dei VAPI

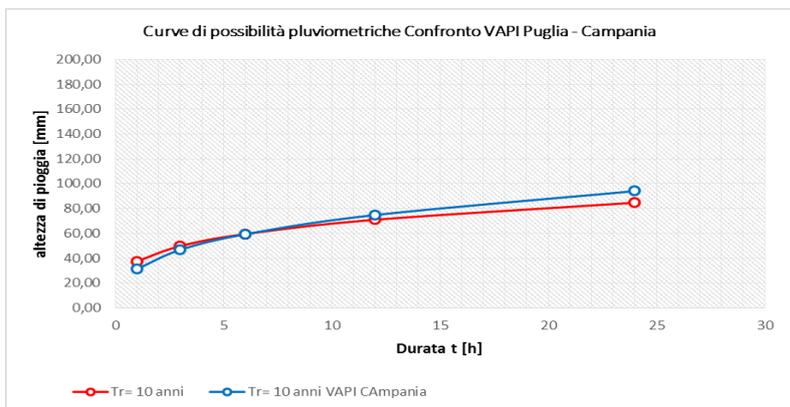
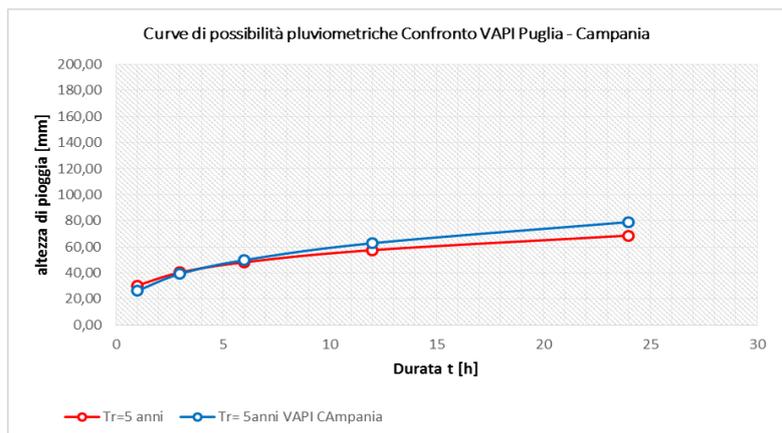
Con riferimento al VAPI Puglia (appartenenza area di progetto di re-blading zona omogenea 4), la legge di probabilità pluviometrica decennale è la seguente:

$$h_{T=10} = 37,54 \cdot t^{0,256}$$

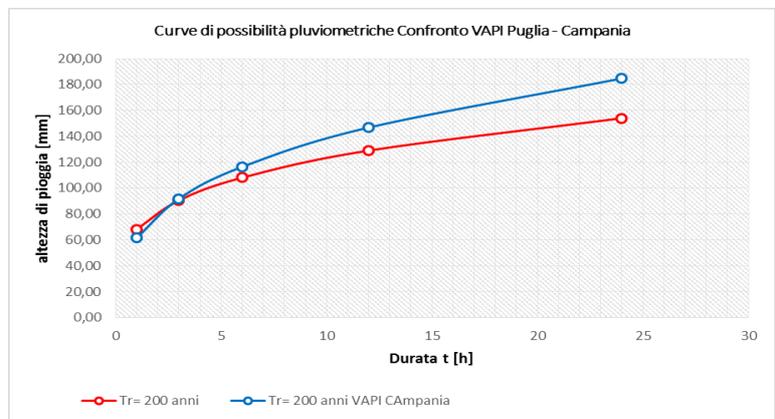
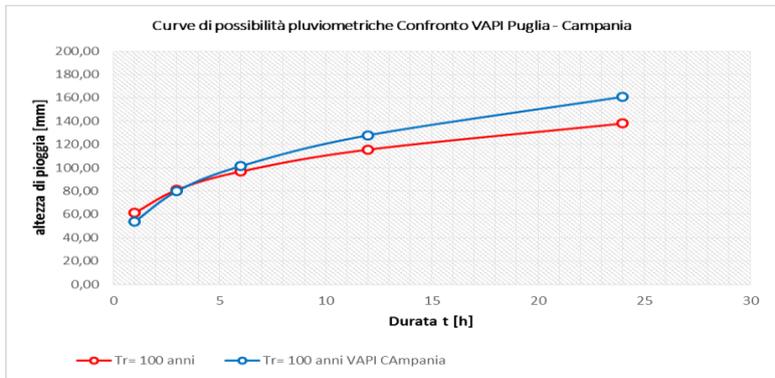
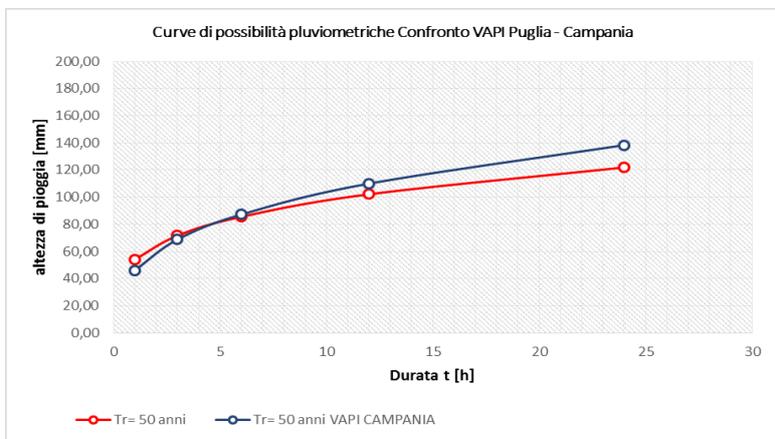
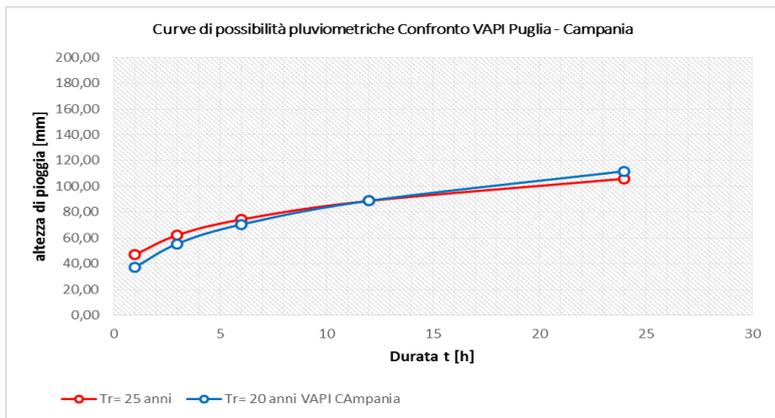
mentre, con riferimento al VAPI Campania (appartenenza area di progetto di re-blading zona omogenea A3), la legge di probabilità pluviometrica decennale è la seguente:

$$h_{t,10} = \frac{161.046}{\left(1 + \frac{t}{0.0976}\right)^{0.676}} \cdot t$$

I diagrammi a seguire riportano il confronto tra l'andamento della legge di pioggia ricavata con le due metodologie VAPI al variare del periodo di ritorno (da 5 a 200 anni); in rosso sono rappresentate le curve ricavate dal VAPI Puglia, in blu quelle ricavate dal VAPI Campania.



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO		PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA		18
BIS	ENG	REL	0020	00			



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	19
<b>BIS</b>	<b>ENG</b>	<b>REL</b>	<b>0020</b>	<b>00</b>		

I diagrammi evidenziano che le due espressioni della legge di pioggia restituiscono valori dell'altezza di pioggia paragonabili. **L'espressione ricavata con la metodologia del VAPI Puglia restituisce altezze di pioggia maggiori per durate inferiori dell'evento meteorico, mentre per durate maggiori l'espressione del VAPI Campania restituisce valori dell'altezza di pioggia maggiori. Poiché gli eventi meteorici più critici sono quelli con durata inferiore, per la determinazione della portata di progetto cautelativamente è stata scelta l'espressione della legge di probabilità pluviometrica desunta con la metodologia VAPI Puglia.**

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	20
BIS	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  $u(\tau)$  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

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO ANDRETТА-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	21
BIS	ENG	REL	0020	00		

durata che rende massimo tale prodotto e definisce il valore  $t_r$  che ha il significato di tempo di 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  $t_r$  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  $K_A(d)$  che ha espressione:

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

ove i coefficienti  $c_1$ ,  $c_2$  e  $c_3$  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, è necessario al fine di valutare le portate di piena al variare del tempo di ritorno, 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:

##### PORTATE

##### Parametri

Portate	$\theta^* = 2.634$	$\Lambda^* = 0.350$	$\Lambda 1 = 13$	$\eta = 3.901$
---------	--------------------	---------------------	------------------	----------------

Tabella 7 – Parametri d'interesse (<http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/Napoli.htm>)

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 PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	22
BIS	ENG	REL	0020	00		

### Fattori di crescita

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
KT(portate)	0.87	1.29	1.63	2.03	2.17	2.47	2.61	3.07	3.53	4.15	4.52

Tabella 8 – Fattori di crescita (<http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/Napoli.htm>)

Analogamente a quanto già effettuato con le piogge, il fattore probabilistico di crescita delle portate può essere approssimati 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%.

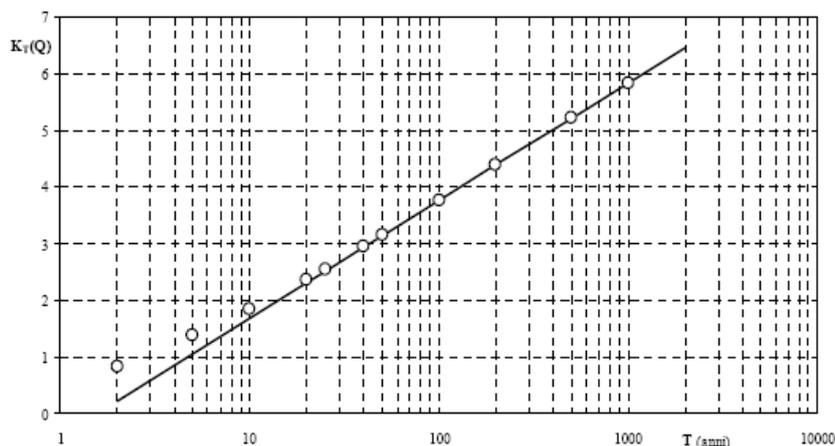


Figura 5 Fattore probabilistico di crescita delle portate

## 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 con il calcolo del coefficiente uometrico  $u$  (in l/s ha), dal quale si deducono le 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 PARCO EOLICO ANDRETTA-BISACCIA RELAZIONE IDROLOGICA	23
BIS	ENG	REL	0020	00		

#### MODELLO RAZIONALE

$Q_T$	$k_T Q_m$	
$Q_m$	$C \cdot k_A(t_r) I(t_r) A/3,6$	mc/s
$C^*$	$0,09+0,47(1-PE)$	
PE	rapporto tra area ad elevata-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 tr (durata dell'evento di pioggia)	
$k_A$	$1 - (1 - e^{(-0,021A)}) e^{(-0,53tr^{0,25})}$	
$I(t_r)$	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 così stimati ( $Q_m$  la portata indice,  $Q_T$  la portata massima per fissato periodo di ritorno) saranno utilizzati per le verifiche idrauliche delle sezioni d'interesse lungo i tratti del reticolo idrografico interferito dalle opere di progetto.