

**REGIONE PUGLIA**  
Città Metropolitana di Bari  
COMUNE DI GRAVINA IN PUGLIA

PROGETTO

**PROGETTAZIONE PARCO EOLICO S. DOMENICO**



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMITTENTE

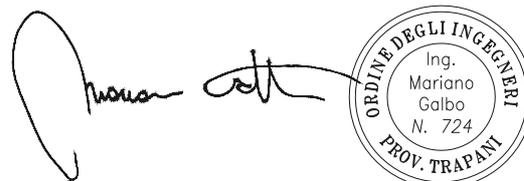


EDP Renewables Italia Holding S.r.l.  
Via Lepetit 8/10  
20124 - Milano

PROGETTISTA



**Hydro Engineering s.s.**  
di Damiano e Mariano Galbo  
via Rossotti, 39  
91011 Alcamo (TP) Italy



OGGETTO DELL'ELABORATO

**RELAZIONE IDROLOGICA**

REV.	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO
0	Giugno 2022	PRIMA EMISSIONE	FG	VF	MG

CODICE ELABORATO	DATA	SCALA	FORMATO	FOGLIO	CODICE COMMITTENTE
SDM-PD-R15.1				1di30	

# INDICE

<b>INDICE</b> .....	<b>2</b>
<b>1   PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2   INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b> .....	<b>4</b>
2.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI .....	4
2.2 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE A TUTELA DA PARTE DELL'ADB DISTRETTUALE.....	7
<b>3   INQUADRAMENTO IDROGRAFICO</b> .....	<b>9</b>
3.1 ANALISI IDROGRAFICA NELL'AREA DELL'IMPIANTO .....	9
3.2 INTERAZIONE TRA LA VIABILITÀ ED I BACINI IDROGRAFICI.....	9
3.3 INDIVIDUAZIONE BACINI IDROGRAFICI PER VERIFICA COMPATIBILITÀ IDRAULICA	11
<b>4   INFORMAZIONE IDROLOGICA</b> .....	<b>13</b>
4.1 METODO TCEV PUGLIA.....	13
4.2 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO.....	18
4.3 CALCOLO DELLA C.P.P. DI PROGETTO .....	18
4.4 CALCOLO DELLA C.P.P. PER VERIFICA COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	20
4.5 PIOGGE BREVI .....	23
4.6 PIOGGE AREALI .....	23

## 1 PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo dell'impianto eolico denominato "San Domenico" composto da sei aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,00 MW, per una potenza complessiva di 36 MW, ubicato nel Comune di Gravina di Puglia (Provincia di Bari) e proposto dalla società EDP Renewables Italia Holding S.r.l. con sede in Milano Via Lepetit.

Le aree interessate dal posizionamento degli aerogeneratori ricadono nelle contrade *Serra Pozzo Fetente* (T1 e T2), *Le Grotte di Minnini* (T3) e *San Domenico* (T4, T5 e T6) tutte nel Comune di Gravina di Puglia, in provincia di Bari.

La **presente relazione** ha come obiettivo

- (i) l'analisi dell'interazione tra le opere in progetto ed il reticolo idrografico esistente
- (ii) la redazione dello studio idrologico propedeutico:
  - a. alla progettazione delle opere idrauliche per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici stradali e dalle piazzole del parco eolico in oggetto (cfr. elaborato SDMPDR15.2);
  - b. allo studio di compatibilità idraulica secondo l'art. 6 e 10 delle NTA del PAI (cfr. elaborato SDMPDR15.3).

La relazione in oggetto, oltre il presente capitolo, è composta da ulteriori n°3 capitoli, di cui di seguito un breve riepilogo:

- o *Capitolo 2 – Inquadramento territoriale*: vengono riportate le informazioni necessarie per l'individuazione cartografica del sito.
- o *Capitolo 3 – Inquadramento idrografico*: illustra la posizione del parco rispetto ai bacini idrografici esistenti e le caratteristiche principali di tali bacini.
- o *Capitolo 4 – Informazione idrologica*: analisi dei dati esistenti per la stima delle curve di probabilità pluviometrica.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

Le aree interessate dal posizionamento dei n°6 aerogeneratori ricadono nelle contrade *Serra Pozzo Fetente* (T1 e T2), *Le Grotte di Minnini* (T3) e *San Domenico* (T4, T5 e T6) tutte nel Comune di Gravina di Puglia, provincia di Bari. Da un punto di vista cartografico, le opere in progetto ricadono all'interno delle seguenti cartografie e fogli di mappa catastali:

- CTR: Fogli 453132, 453133, 453162, 471041, 471042, 472011, 472012, 472013, 472014
- IGM: 1882NE-Gravina di Puglia
- Fogli di mappa catastali parco eolico: Gravina di Puglia Fg. 94, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 130, 137, 138.

Di seguito (Figg. 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4) sono riportate un'immagine di inquadramento territoriale, il layout dell'impianto in progetto su IGM 1:25.000, CTR 1:10.000 ed su ortofoto..

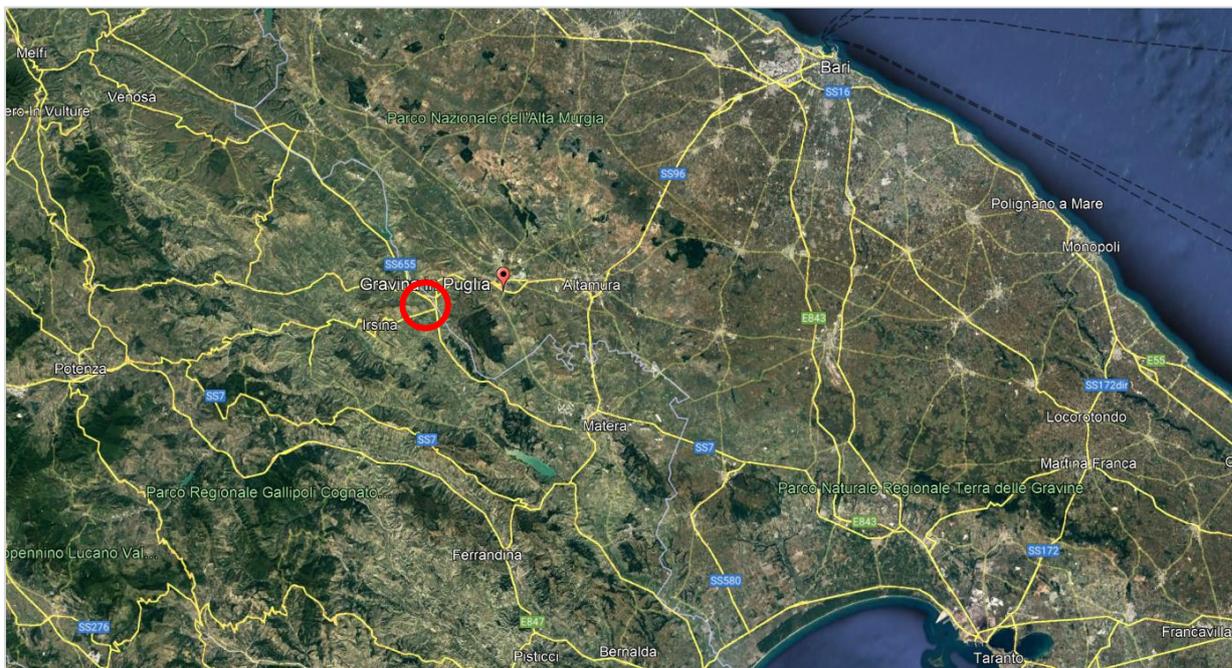


Figura 2.1: Ubicazione area di impianto da satellite

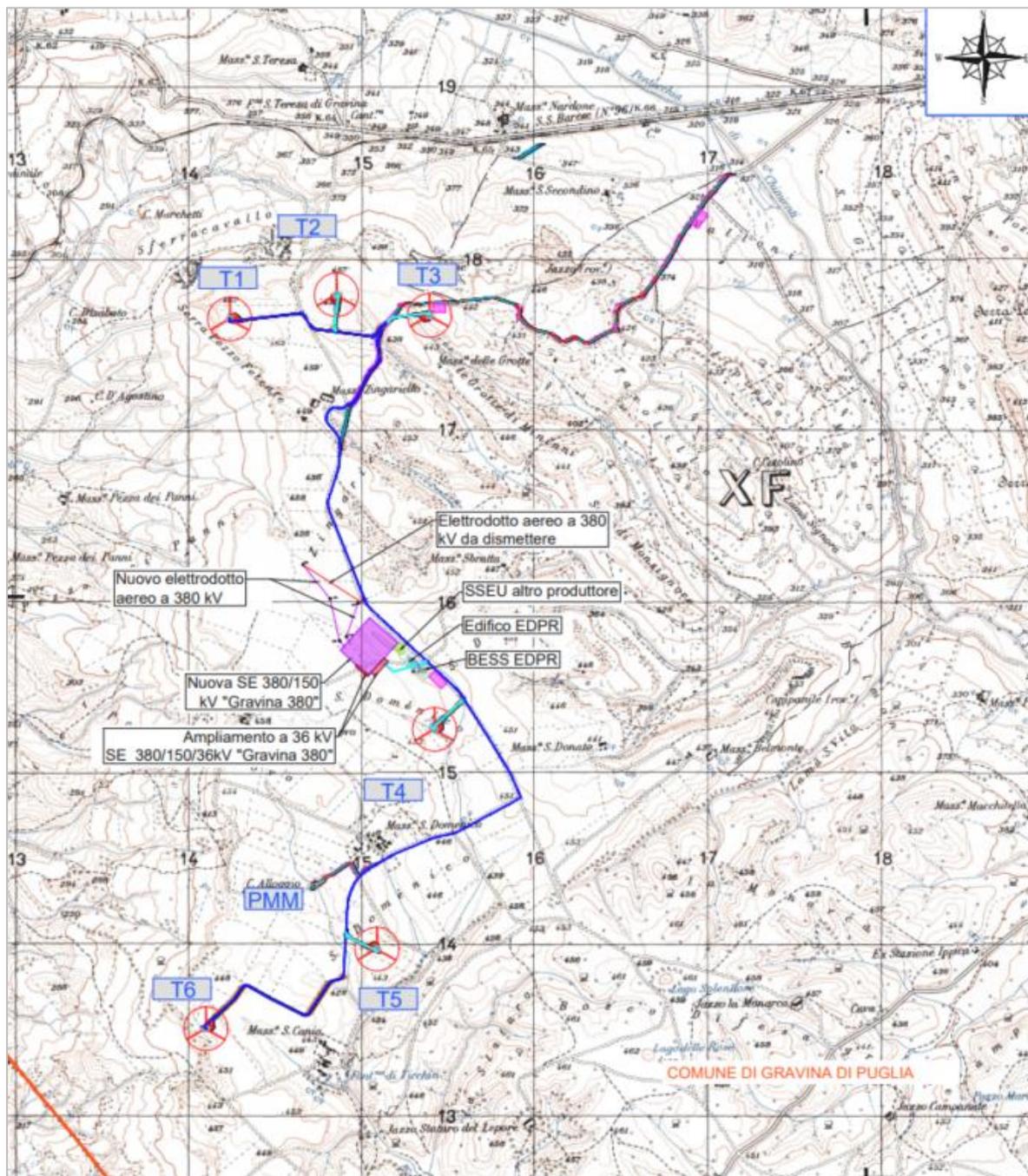


Figura 2.2: Inquadramento impianto su IGM 1:25.000

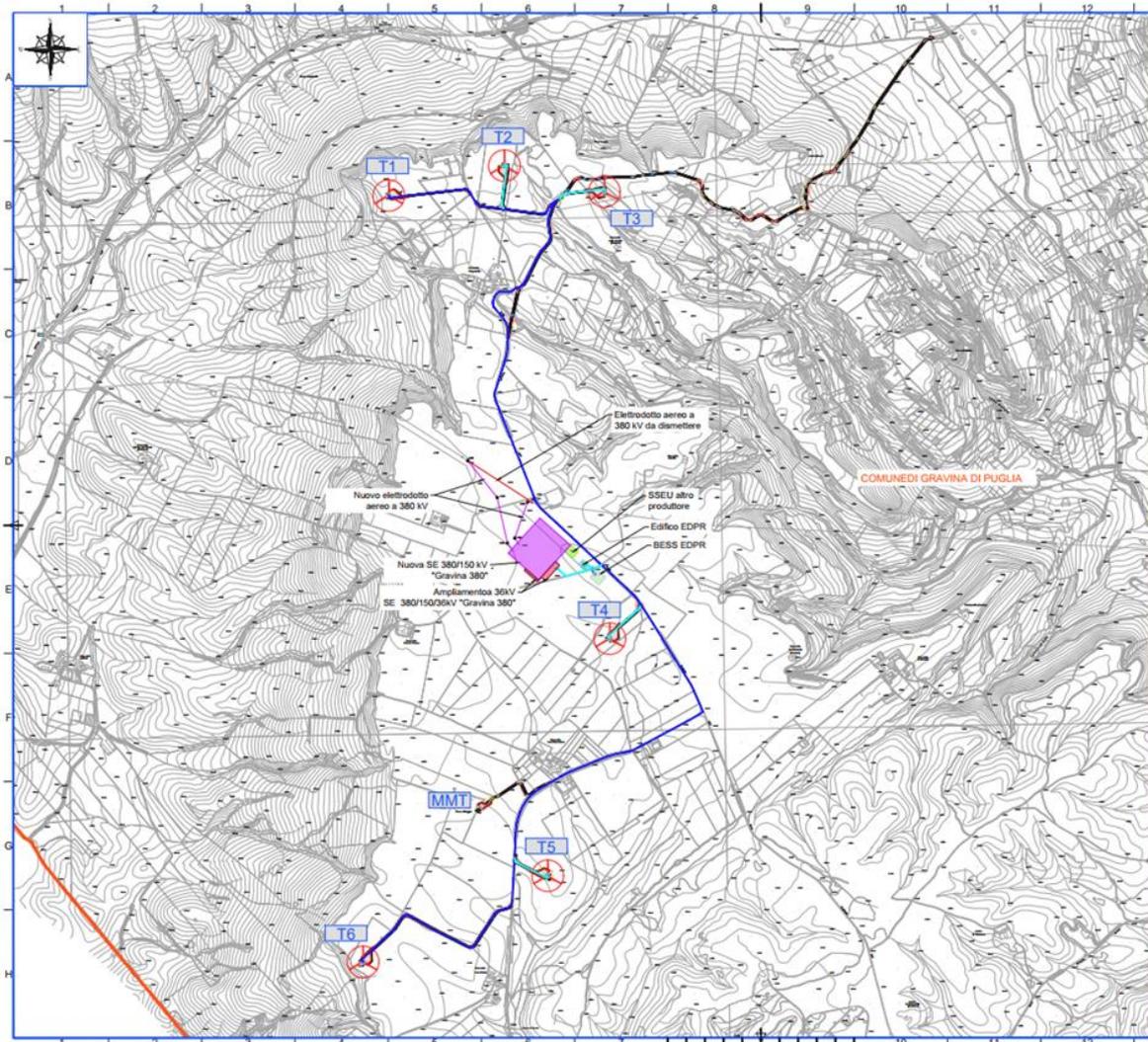


Figura 2.3: Inquadramento impianto su CTR 1:10.000

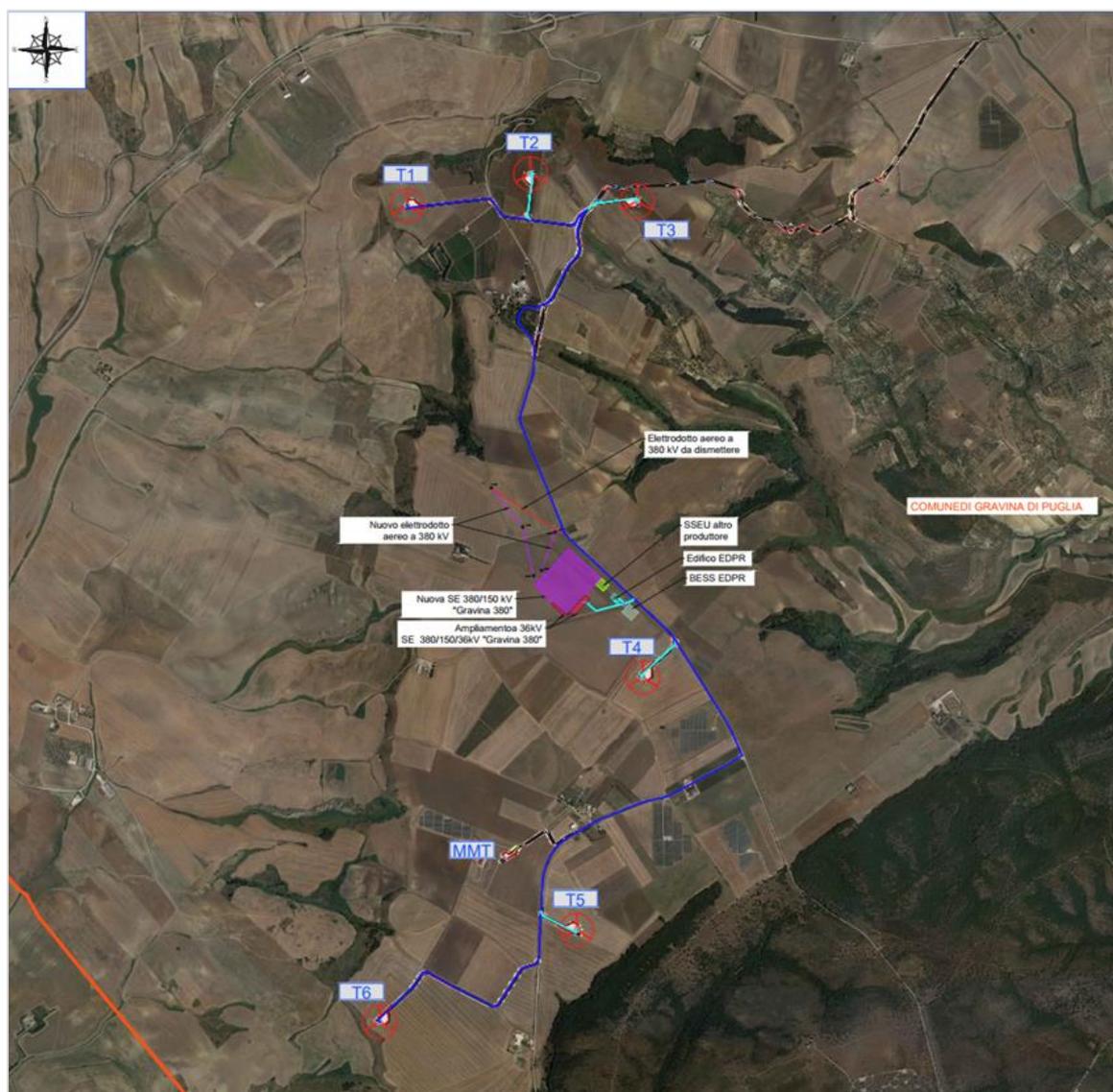


Figura 2.4: Inquadramento impianto su ortofoto

## 2.2 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE A TUTELA DA PARTE DELL'ADB DISTRETTUALE

Come si evince dalla cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) in scala 1:25.000, le torri T3 e T4 si trovano in prossimità di due aste del reticolo idrografico.



Figura 2.5 Particolare della planimetria delle opere su IGM 1:25.000: aerogeneratori T3 e T4

Le aree limitrofe a tali corsi d'acqua sono identificabili come “Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali”, quindi soggette alle disposizioni del Titolo II – Assetto Idraulico delle NTA del vigente PAI, in particolare degli artt. 6 e 10.

Dalla consultazione del PAI, la fascia di pertinenza fluviale di queste aste non è arealmente individuata nella cartografia; pertanto, secondo quanto previsto dall'art. 10 comma 3 delle N.T.A. del PAI, “quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m”.

Con riferimento alle opere in progetto, entrambi gli aerogeneratori si trovano a una distanza inferiore a 75 m dall'asse del reticolo idrografico.

Ai sensi dell'art. 10 comma 2 delle N.T.A. del PAI “All'interno delle fasce di pertinenza fluviale sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino”. La sicurezza idraulica, come definita dall'art. 36, è la “condizione associata alla pericolosità idraulica per fenomeni di insufficienza del reticolo di drenaggio e generalmente legata alla non inondabilità per eventi di assegnata frequenza. Agli effetti del PAI si intendono in sicurezza idraulica le aree non inondate per eventi con tempo di ritorno fino a 200 anni”.

Le aree di impianto sono state rilevate (cfr. SDMPDT22.1) e pertanto è stato possibile identificare gli impluvi suddetti nel loro attuale assetto. Questi si presentano poco incisi e in parte modificati dalle lavorazioni agricole che insistono sull'area.

### 3 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

#### 3.1 ANALISI IDROGRAFICA NELL'AREA DELL'IMPIANTO

L'area interessata dall'impianto si sviluppa prevalentemente lungo aree displuviali, in prossimità dello spartiacque superficiale tra il bacino idrografico del *Torrente Pentecchia* (a est) e del *Torrente Basentello* (a ovest).

#### 3.2 INTERAZIONE TRA LA VIABILITÀ ED I BACINI IDROGRAFICI

L'impianto, come detto nel paragrafo precedente, si sviluppa prevalentemente su zone displuviali: tale posizionamento implica che i bacini scolanti "intercettati" dalla viabilità in progetto siano di modesta estensione, con percorsi di corrivazione spesso dipendenti dal percorso dei fossi di guardia.

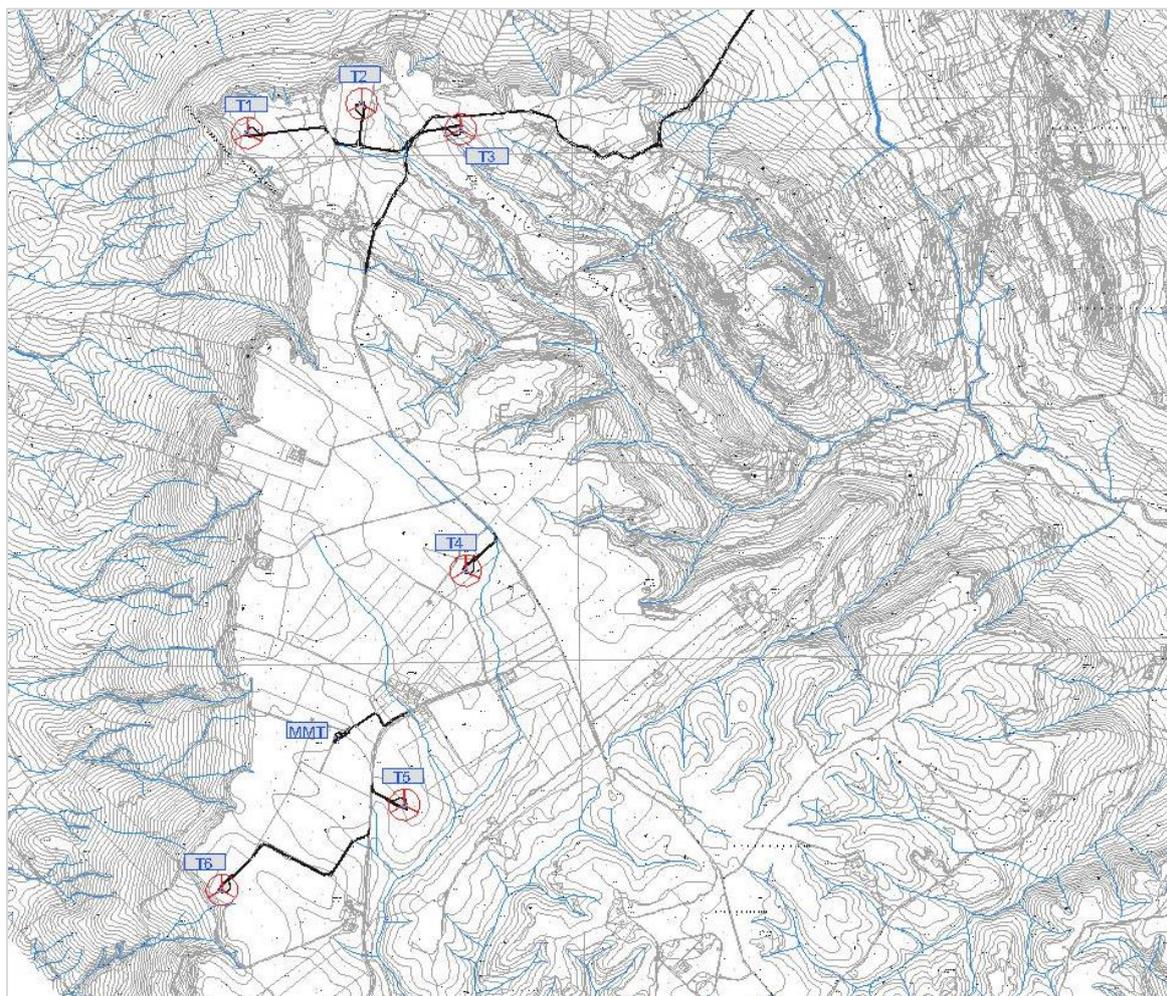


Figura 3.1: Reticolo idrografico su CTR, con riferimento alle opere oggetto di progettazione definitiva

Nell'elaborato grafico SDMPDT39, facente parte del presente progetto, di cui si riporta uno stralcio di seguito, è fornita una planimetria con la perimetrazione dei bacini scolanti interessati dal parco eolico (il cui deflusso superficiale è "smaltito" e "restituito", attraverso le opere idrauliche in progetto, presso i corpi idrici ove naturalmente era convogliato nella condizione *ante operam*).

La definizione dei bacini è avvenuta mediante l'uso del software Global Mapper®, in uno con il modello tridimensionale del terreno e la CTR (Carta Tecnica Regionale – 1: 10.000). L'analisi è stata condotta a partire dal modello del terreno DTM con maglia 8 m, prodotto dalla Regione Puglia.

Dall'analisi condotta si rileva come, data l'ubicazione dell'impianto (per la quasi totalità in corrispondenza di aree di displuvi) le interferenze con il reticolo idrografico esistente siano minime. Si rilevano infatti n°4 interferenze con il reticolo idrografico esistente (o con impluvi di modesta dimensione) e relative a impluvi affluenti del *Torrente Pentecchia*.

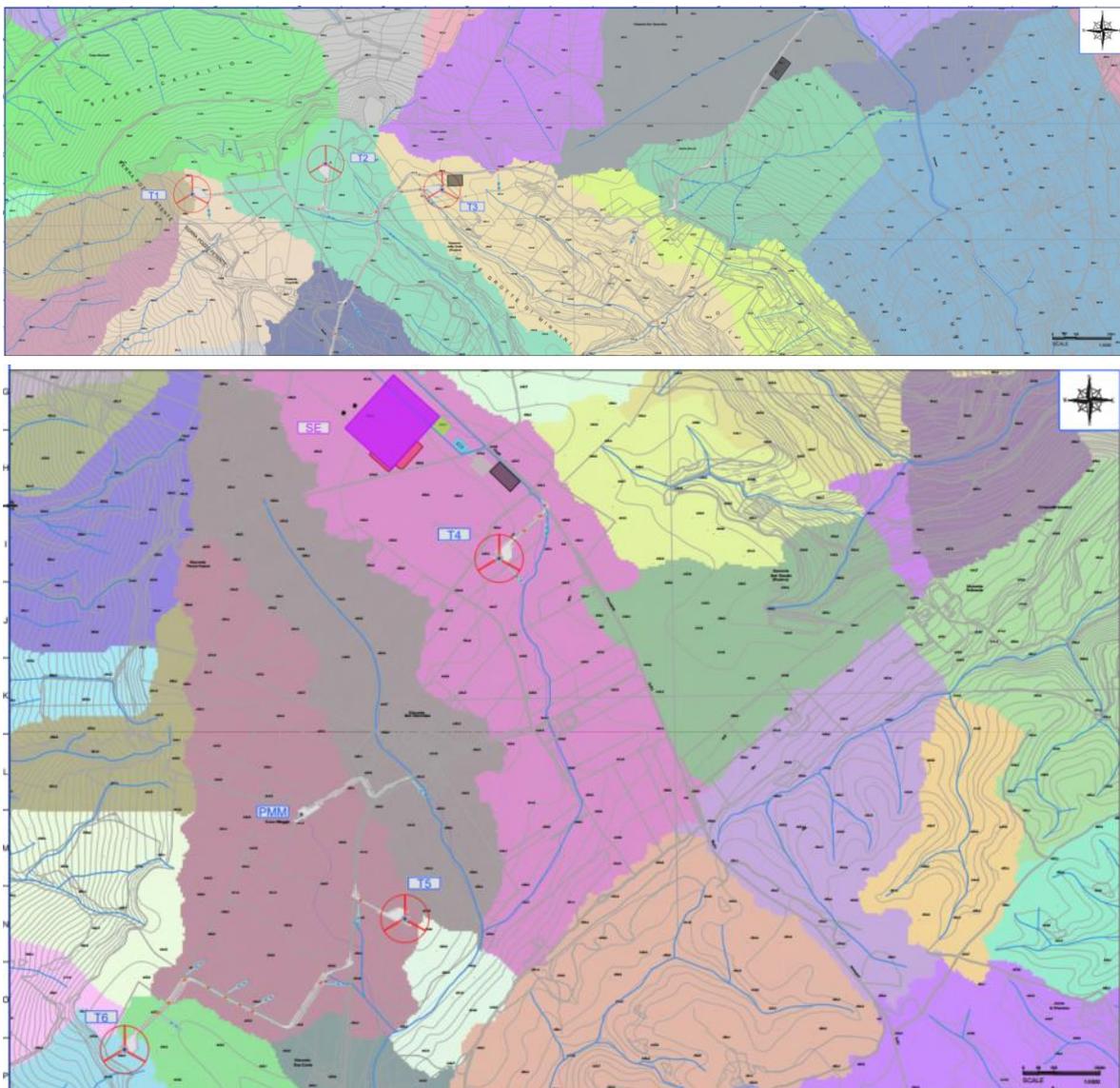


Figura 3.2 Stralcio planimetria bacini idrografici dell'area di progetto

### 3.3 INDIVIDUAZIONE BACINI IDROGRAFICI PER VERIFICA COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Come già anticipato, i bacini idrografici sottesi dalle opere in progetto sono stati individuati mediante l'uso del software Global Mapper®, in uno con il modello tridimensionale del terreno e la CTR (Carta Tecnica Regionale – 1: 10.000).

I corpi idrici oggetto di analisi sono costituiti da due impluvi e, ai fini della modellazione idraulica che è presentata nell'elaborato SDMPDR15.3, per il tracciamento dei bacini sottesi sono state considerate due sezioni a valle dell'interazione con le opere in progetto.

Di seguito si riportano su ortofoto e sul rilievo i bacini idrografici di interesse.



Figura 3.3 Bacino idrografico relativo all'asta idrica in prossimità della torre T3



Figura 3.4 Bacino idrografico relativo all'asta idrica in prossimità della torre T4

All'interno dei bacini si riscontra la presenza di alcune opere di progetto (parte della viabilità relativa alla torre T3 e piazzola della torre T4). Tuttavia, come riportato nella relazione idraulica allegata al presente progetto (elaborato SDMPDR15.2), a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti, la realizzazione delle opere in progetto mantiene inalterata, a scala globale, l'equilibrio tra afflussi e deflussi dei bacini sottesi ai punti di immissione nei corpi idrici ricettori. Infatti, le nuove opere a servizio del parco eolico rispettano i principi di invarianza idrologica e idraulica, non modificando le caratteristiche di permeabilità dei bacini interessati dalle opere e rispettando, attraverso le opere idrauliche previste in progetto, il regime *ante operam*.

## 4 INFORMAZIONE IDROLOGICA

Il presente capitolo ha l'obiettivo di definire la curva di probabilità pluviometrica necessaria alla progettazione delle opere idrauliche a servizio della viabilità e delle piazzole del parco eolico denominato "San Domenico" e definire le curve di probabilità pluviometrica per la verifica di compatibilità idraulica ai sensi dell'art. 6 e 10 delle NTA del vigente PAI per gli aerogeneratori T3 e T4.

La pioggia è all'origine del processo di formazione delle portate di piena nei bacini idrografici relativi all'area in esame. I fenomeni meteorologici che generano le precipitazioni sono talmente complessi da non potere essere trattati come un processo deterministico a partire da condizioni iniziali e al contorno note. Pertanto, sotto il profilo pratico, lo studio delle piogge si limita ad utilizzare metodologie statistiche basate sulle osservazioni pluviometriche.

Nel caso in esame, la risposta idrologica dei bacini è condizionata da brevi tempi di corrivazione e, pertanto, le precipitazioni rilevanti sono quelle d'intensità elevata e breve durata.

La maggior parte dei metodi che l'idrologia propone per ricostruire eventi di piena sono metodi indiretti, ossia metodi che stimano l'idrogramma di piena utilizzando un modello di trasformazione piogge-portate che prevede, come input, la definizione di un particolare evento di pioggia. Nel caso in oggetto, infatti, non sono disponibili dati di registrazione delle portate.

In particolare, volendo stimare eventi di piena di dato tempo di ritorno, bisogna prima ricostruire l'evento di pioggia di pari tempo di ritorno (assumendo come vera l'ipotesi che un evento di pioggia di tempo di ritorno  $T$  genera un evento di piena con la stessa probabilità di non superamento). Per la determinazione delle curve di probabilità pluviometrica si è utilizzato il modello TCEV.

### 4.1 METODO TCEV PUGLIA

Il modello TCEV (*Two Component Extreme Value Distribution*) permette di determinare le altezze di pioggia  $b$  e le relative intensità  $i$ , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto dal progetto VAPI<sup>1</sup>.

La regionalizzazione delle piogge mira a superare i limiti relativi alla scarsa informazione pluviometrica (spesso costituita da singole serie di durata limitata e poco attendibili per le elaborazioni statistiche), utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio, per individuare la distribuzione regionale delle caratteristiche delle

---

<sup>1</sup> Il Progetto VAPI (VALutazione PIene) sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali e delle piogge intense secondo criteri omogenei.

precipitazioni.

La peculiarità del modello TCEV è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima, denominata *componente base*, assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda (*componente straordinaria*) genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (appartenenti ad una differente fenomenologia metereologica). La TCEV rappresenta pertanto la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha, quindi, la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) riescono a rendere conto.

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà pertanto riferimento alla procedura descritta nel progetto VAPI Puglia.

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli:

### **I livello di regionalizzazione**

Si assume che il coefficiente di asimmetria CA sia costante in una regione molto ampia. Ciò implica, la costanza dei parametri  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$  del modello TCEV nella medesima zona. Inoltre in una regione omogenea rispetto a tali parametri, risulta unica la funzione di probabilità cumulata della variabile standardizzata Y, in quanto essa dipende soltanto dai due suddetti parametri del modello. In assenza di dati sufficienti a mettere in discussione localmente la validità di questa assunzione, si pone che ovunque  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$  assumano i valori calcolati nell'ambito della zona unica.

### **II livello di regionalizzazione**

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$  possa suddividersi in sottozona in cui il coefficiente di variazione CV risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra. Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro  $\Lambda_1$ , nella sottozona omogenea, oltre che di  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$ . Il valore di  $\Lambda_1$  relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona. Se si individua una sottozona omogenea rispetto a  $\Lambda_1$  la variabile  $K_{t,Tt} = X_{t,Tt}/\mu(X_t)$  risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

### **III livello di regionalizzazione**

Nell'analisi delle piogge orarie per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_t)$  (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse. Nel seguito si fa riferimento al valore indice di precipitazione  $\mu(X_t)$  in quanto l'ipotesi di aree con caratteristiche morfologiche e climatiche tali da poter definire un valore indice  $\mu(X_t)$  costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

Nell'analisi delle piogge orarie per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_t)$  dei massimi

annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la curva di probabilità pluviometrica:

$$\mu(X_t) = at^n$$

La stima delle precipitazioni per fissata durata in corrispondenza di un dato tempo di ritorno avviene tramite il calcolo dei valori della media dei massimi delle precipitazioni stesse  $\mu_t$  relative ad una generica durata  $t$ , e la successiva amplificazione delle stesse attraverso il fattore di crescita (della media con il periodo di ritorno)  $K_T$ :

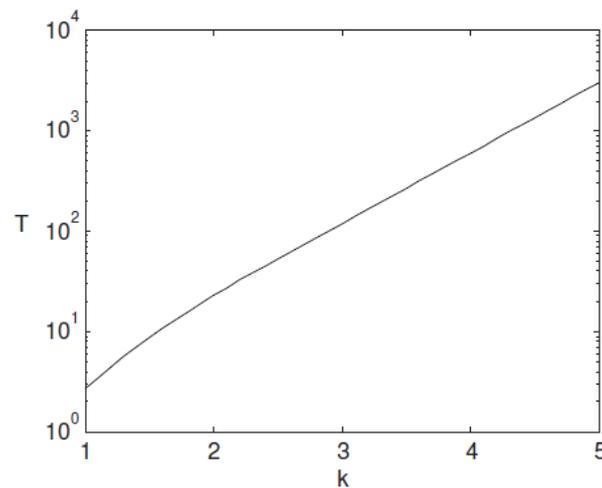
$$h_{tT} = \mu(X_t) K_T$$

L'identificazione dei parametri della TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria ( $G$ ), quindi risultano costanti i due parametri  $\Theta^*$  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 della probabilità della  $X$  e le caratteristiche morfologiche. In particolare, si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento. L'analisi condotta per l'intero territorio pugliese suggerisce la presenza di una unica zona omogenea di primo livello comprensiva di tutte le stazioni della Puglia, e di due sottozone omogenee al secondo livello. L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare, per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV, è utile rappresentare la legge  $F(X_t)$  della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $X_t$  come prodotto tra il suo valore medio  $\mu(X_t)$  ed una quantità  $K_{T,t}$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $T$  e della durata  $t$ , definito dal rapporto:

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

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

È possibile rappresentare graficamente la funzione  $K_T = K_T(T)$  al variare del tempo di ritorno  $T$ ; come si riporta nel grafico a seguire:



*Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno*

In alternativa alle rappresentazioni grafiche della curva di crescita, il valore  $K_T$  può essere ricavato direttamente in funzione di  $T_r$  attraverso una approssimazione asintotica (Rossi e Villani 1995) della legge di crescita. È inutile sottolineare che l'uso di questa approssimazione comporta una leggera sottostima del fattore di crescita. La relazione è la seguente:

$$K_T = a + b \ln T$$

$$a = (\Theta^* \ln \Lambda^* + \ln \Lambda_1) / \eta;$$

$$b = \Theta^* / \eta;$$

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

Le aree omogenee individuate al primo e al secondo livello di regionalizzazione si parzializzano al terzo livello, nel quale si analizza la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali. Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica per ciascuna stazione è stato possibile correlare il valore medio  $x_t$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$x_t = a * t^n$$

Essendo  $a$  ed  $n$  due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica. A seconda delle aree omogenee di riferimento si riporta la relazione tra l'altezza media di precipitazione al variare della durata, in dipendenza con la quota del sito oggetto dello studio:

$$x_t = a * t^{(Ch+D+\ln \alpha - \ln a) / \ln 24}$$

dove:

- $a$  è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di  $x_1$  relativi alla serie con  $N > 10$  anni ricadenti nella zona omogenea;
- $\alpha = x_g / x_{24}$  è il rapporto tra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 h per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misura. Per la Puglia il valore del coefficiente  $\alpha$  è risultato in pratica costante sull'intera regione e pari a 0.89;
- $C$  e  $D$  sono i coefficienti di regressione lineare fra il valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota del sito di riferimento.

Tali valori sono tabellati per una semplificata lettura delle formule sopra riportate:

Tab. 4 Parametri delle curve di 3° livello

Zona	$\alpha$	$a$	$C$	$D$	$N$
5	0.89	28.2	0.0002	4.0837	-
6	"	33.7	0.0022	4.1223	-

Area omogenea	$\lambda$	$a$ (mm/ora)	$C * 10^4$	$D$	$n$
1	0.89	28.7	50.3	3.959	-
2	0.89	22.2	-	-	0.247
3	0.89	25.3	5.31	3.811	-
4	0.89	24.7	-	-	0.256

Tab. 8.6: parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per ogni area pluviometrica omogenea.

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) all'interno della sottozona pluviometrica omogenea previamente identificata, resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno  $T$  e valore del coefficiente di crescita  $K_T$ .

$$T = \frac{1}{1 - F_K} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda^* \Lambda_1 \frac{1}{\theta} e^{-\frac{\eta k}{\theta}})}$$

I parametri ottenuti per l'intera regione Puglia sono riportati di seguito:

- $\theta^*$  pari a 2.352;
- $\Lambda^*$  pari a 0.772;
- $\Lambda_1$  pari a 45;
- $\eta$  pari a 5.662.

Più utile dal punto di vista pratico è la formula inversa per cui, fissato un valore del tempo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita  $K_T$ . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, i valori di  $K_T$

ottenuti numericamente per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T$ (piogge)	0,91	1,26	1,53	1,81	1,9	2,1	2,19	2,48	2,77	3,15	3,43

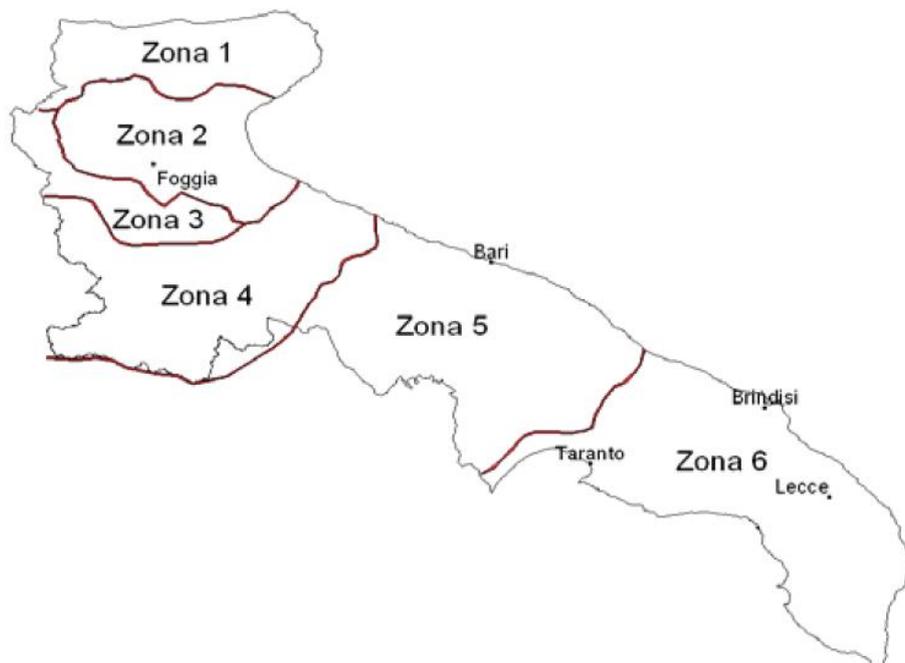


Figura 4.1: Sottozone pluviometriche omogenee per la regione Puglia

## 4.2 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO

Il tempo di ritorno, per la sua definizione, è un parametro legato alla vita utile dell'opera e al potenziale rischio (e conseguente danno) relativo al verificarsi di eventi con probabilità di accadimento superiori. Il tempo di ritorno  $T$  adottato per il dimensionamento delle opere idrauliche è stato considerato pari a 50 anni.

## 4.3 CALCOLO DELLA C.P.P. DI PROGETTO

Le leggi di probabilità pluviometrica definiscono come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata  $d$ ,  $m[h(d)]$ , con la durata stessa. Per la Puglia è stata adottata una espressione del tipo:

$$m[h(d)] = ad^n$$

I parametri di tale relazione sono costanti all'interno di singole aree pluviometriche omogenee e variano nel passare dall'una all'altra.

I bacini oggetto del presente studio si trovano nella sottozona pluviometrica omogenea 5: il

fattore di crescita è calcolabile attraverso la formula sottoindicata, utilizzando gli appropriati valori dei coefficienti  $a$  e  $b$ , tarati dallo studio VAPI Puglia.

$$K_T = 0.415 \ln(T) + 0.5648$$

Il fattore di crescita  $K_T$ , per  $T=50$  anni, risulta pertanto pari a 2,19. Per l'area in oggetto (all'interno della sottozona omogenea 5) risultano tabellati i valori dei parametri  $C$ ,  $D$ ,  $\alpha$ , così come il valore di  $a$ . Tali valori, insieme al valore calcolato di  $n$ , sono di seguito riportati:

C	0.0002	-
D	4.0837	-
$\alpha$	0.89	-
a	28.2	mm/ora
Z	450	m s.l.m.
n	0.226	-

Fissato il tempo di ritorno della sollecitazione meteorica di progetto - pari a 50 anni è quindi possibile calcolare le altezze di pioggia di data frequenza di accadimento e di fissata durata.

È quindi possibile individuare la curva di probabilità pluviometrica per il sito in esame, corrispondente al tempo di ritorno scelto.

#### Valori $h_{t,T}$ [mm]

ore	$\mu(t)$	$h_{d,T}$	$i_{d,T}$
1	28.20	61.71	61.71
3	36.14	79.09	26.36
6	42.27	92.50	15.42
12	49.43	108.17	9.01
24	57.81	126.51	5.27

L'espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica è la seguente:

$$T = 50 \text{ anni} \quad h(t) = 61.71 \cdot t^{0.226}$$

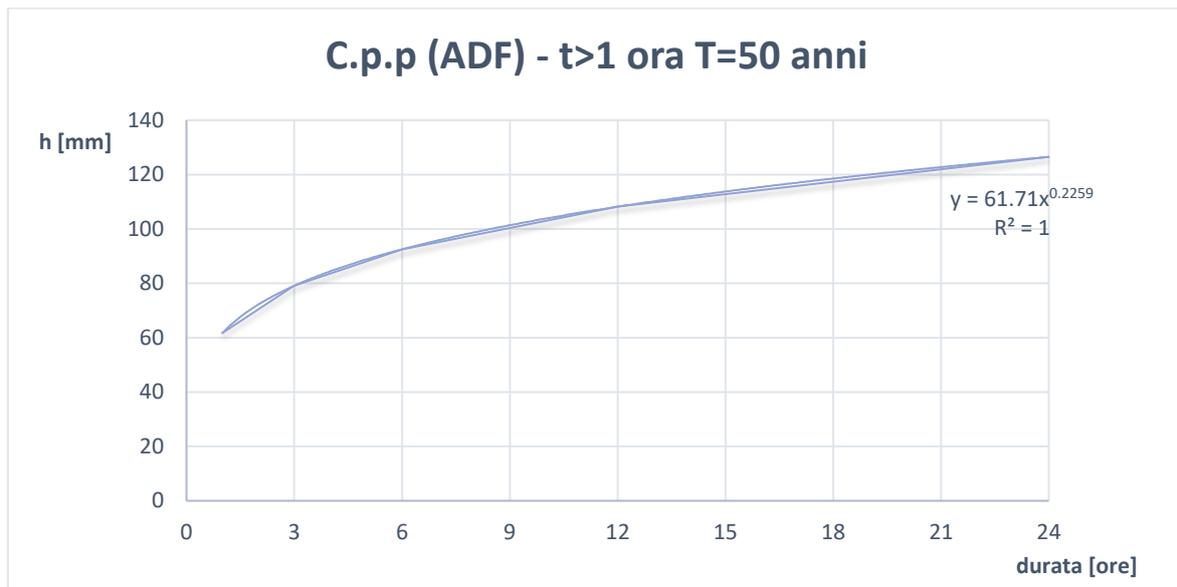


Figura 4.2: Curva di probabilità pluviometrica ADF (Altezza-Durata-Frequenza) relative all'area oggetto di studio e per il tempo di ritorno di progetto ( $T=50$  anni).

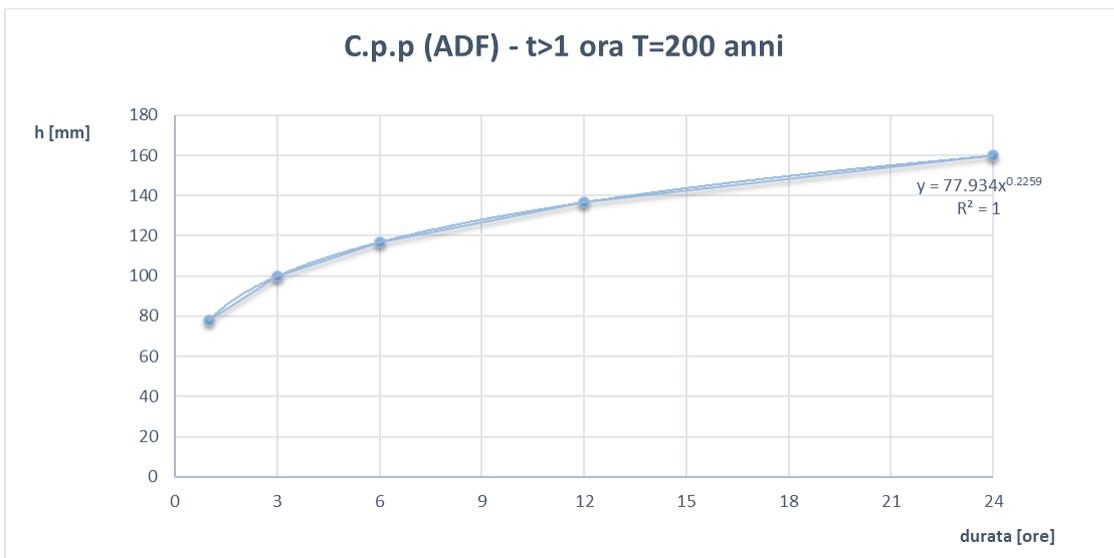
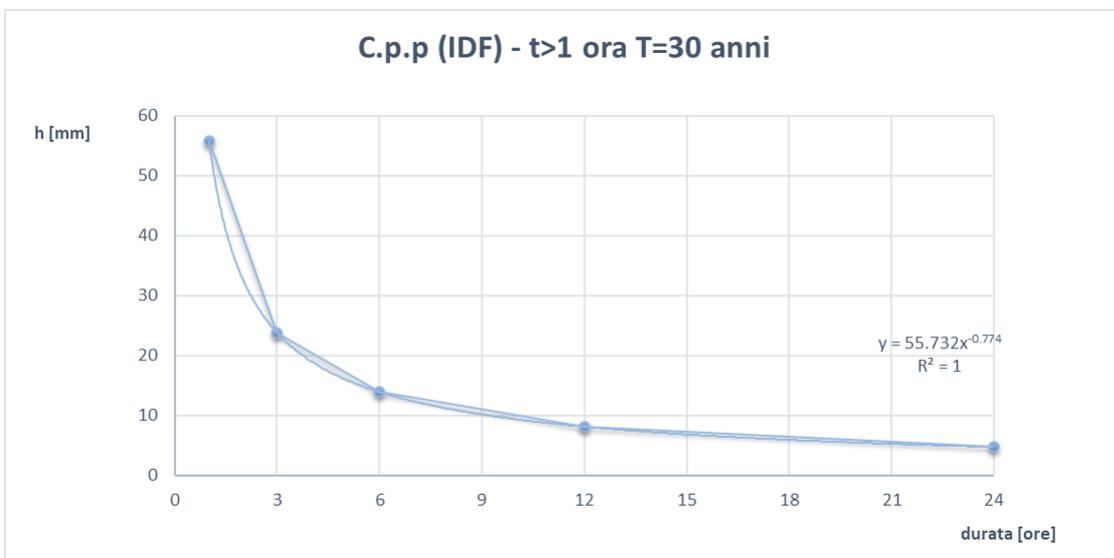
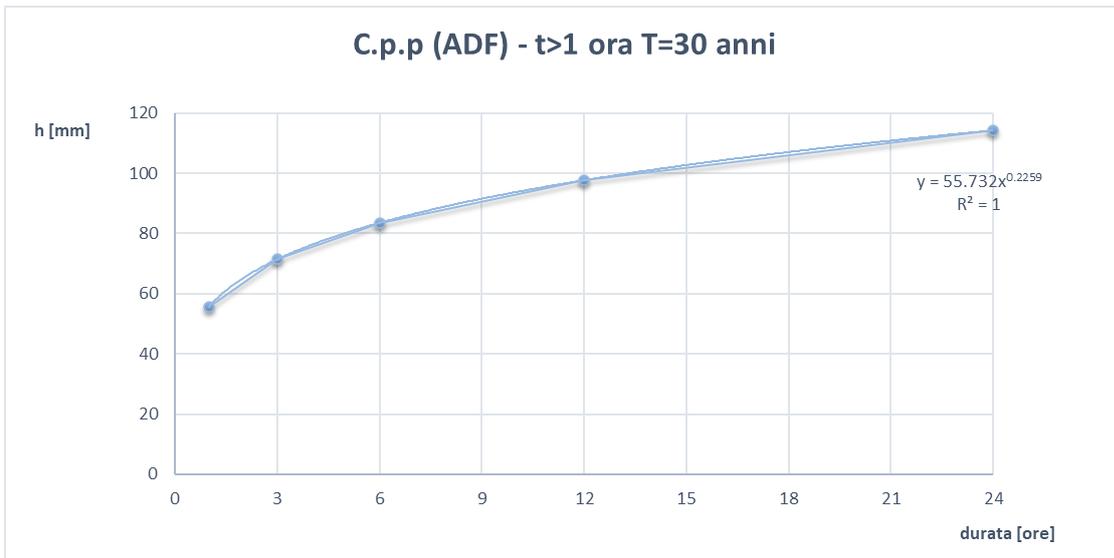
#### 4.4 CALCOLO DELLA C.P.P. PER VERIFICA COMPATIBILITÀ IDRAULICA

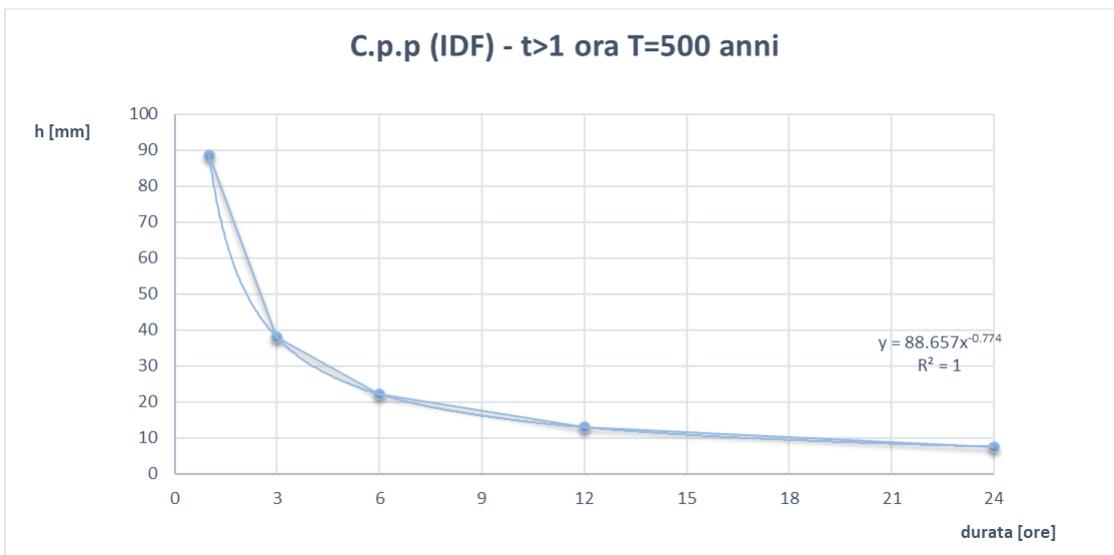
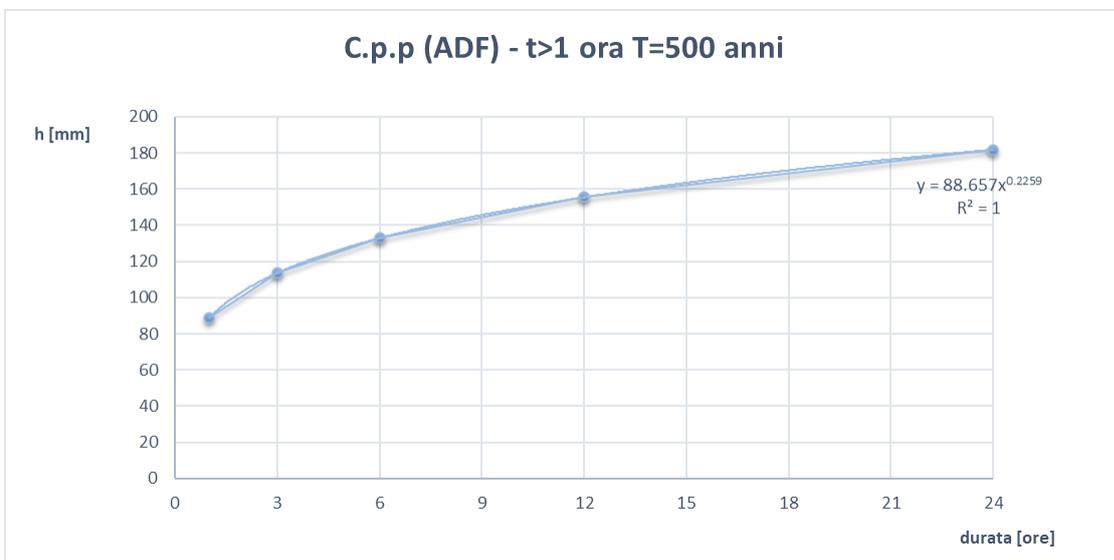
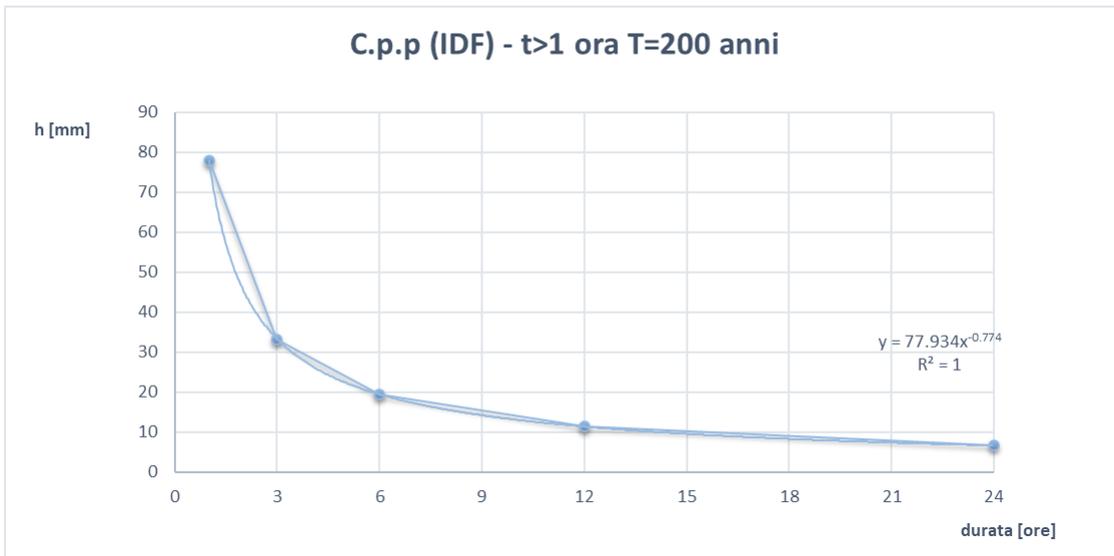
Seguendo la procedura sopra descritta, sono stati dunque ricavati i valori delle altezze di pioggia massima di assegnata durata  $h_{t,T}$  e la legge di probabilità pluviometrica per i tempi di ritorno di interesse  $T = 30, 200$  e  $500$  anni.

Fissato il tempo di ritorno della sollecitazione meteorica pari a  $30, 200$  e  $300$  anni è quindi possibile calcolare le altezze di pioggia (e le intensità) di data frequenza di accadimento e di fissata durata.

Di seguito si riportano le espressioni analitiche e grafiche delle curve di probabilità pluviometrica per il calcolo delle altezze e intensità massime in funzione della durata della pioggia e per fissato tempo di ritorno.

$T = 30$ anni	$h(t) = 55.732 \cdot t^{0.2259}$	$i(t) = 55.732 \cdot t^{-0.774}$
$T = 200$ anni	$h(t) = 77.934 \cdot t^{0.2259}$	$i(t) = 77.934 \cdot t^{-0.774}$
$T = 500$ anni	$h(t) = 88.657 \cdot t^{0.2259}$	$i(t) = 88.657 \cdot t^{-0.774}$





#### 4.5 PIOGGE BREVI

È necessario inoltre osservare che poiché gli eventi di pioggia brevi e quelli lunghi seguono differenti dinamiche meteorologiche, dai campioni di altezze  $h_t$  aventi durate  $1 \div 2 \text{ ore} \leq t \leq 24$  non può essere tratta alcuna informazione inerente agli eventi brevi.

La curva di probabilità pluviometrica, costruita con riferimento alle piogge aventi durata compresa tra 1 e 24 ore, non può essere pertanto estrapolata per valori della durata  $t$  inferiore ad un'ora. È stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia  $h_{t,T}$  con  $t$  minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia  $h_{60,T}$  di durata pari a 60 minuti e pari tempo di ritorno  $T$  è relativamente poco dipendente dalla località e dipendente solo dalla durata  $t$  espressa in minuti. Il legame funzionale, per la regione Puglia, può essere pertanto espresso nella forma seguente, utilizzando la formula di Ferreri-Ferro, in cui il coefficiente  $s$  è stato opportunamente calibrato da Ferro e Bagarello (*"Rainfall depth-duration relationship for South Italy", 1996*).

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^{0.227}$$

#### 4.6 PIOGGE AREALI

La valutazione della intensità di pioggia media sull'intero bacino (pioggia media areale) viene generalmente effettuata moltiplicando  $h_{t,T}$  per il fattore di riduzione areale  $K_A$  che, come riportato dal Piano di Bacino Stralcio dell'AdB, può essere calcolato dalla seguente espressione:

$$K_A(d) = 1 - (1 - \exp(-0.0021A))\exp(-0.53d^{0.25})$$

dove  $A$  è l'area del bacino, espressa in  $\text{km}^2$  e  $d$  la durata della pioggia, espressa in ore.

Stante la ridotta dimensione del bacino in oggetto (circa  $1 \text{ km}^2$ ), non si è ritenuto necessario procedere all'applicazione del fattore di riduzione areale.