



REGIONE
TOSCANA



COMUNE DI
ORBETELLO



PROVINCIA DI
GROSSETO

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Orbetello" di potenza in immissione massima pari a 61,2 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Orbetello (Gr)

Titolo elaborato

Relazione idrologica e idraulica

Codice elaborato

F0544AR06A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni Di Santo)



Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Ing. Monica COIRO
Ing. Federica COLANGELO
Ing. Gerardo Giuseppe SCAVONE
Ing. jr. Flavio Gerardo TRIANI
Arch. Gaia TELESCA
Ing. Manuela NARDOZZA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

Committente

Apollo Wind s.r.l.

Via della Stazione,7
39100 – Bolzano (Bz)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Aprile 2023	Prima emissione	MNA	GMA	GDS

Sommario

1	Premessa	3
2	Analisi idrologica	6
2.1	Bacini idrografici	6
2.2	Tempi di corrivazione	7
2.3	Fattore di crescita KT	8
2.4	Portate al colmo di piena	8
3	Analisi idraulica semplificata	10
4	Valutazioni sulle opere in progetto	13
5	Conclusioni	17

1 Premessa

L'intervento proposto consiste nella realizzazione di un nuovo parco eolico, denominato "Orbetello", localizzato nel territorio comunale di Orbetello, in provincia di Grosseto. L'impianto sarà composto da n. 9 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW ciascuno, con la potenza complessiva in immissione di 59.4 MW, in accordo con quanto previsto nella STMG Terna ID 202200206. Le relative opere di connessione saranno ubicate nel Comune di Orbetello (Gr).

L'area oggetto di interesse, in particolare, ricade prevalentemente nel bacino idrografico del fiume Albegna, uno dei principali fiumi della Toscana meridionale, afferente all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. La parte più valliva del corso d'acqua attraversa il comune di Orbetello e si immette nel mar Tirreno in località Albinia.

Gli aerogeneratori da T02 a T09 e la cabina di raccolta ricadono all'interno delle fasce del PGRA (ultimo aggiornamento 04/04/2023), mentre la T01 ne è esente. Anche il cavidotto attraversa completamente le aree perimetrate dal PGRA, come riportato nella figura seguente.

Il comune di Orbetello (GR), nell'ambito della redazione del Piano Strutturale approvato con Del C.C. n. 19 del 20/04/2022, ha sviluppato, in accordo con l'Autorità di Bacino e la struttura regionale territorialmente competente (Genio Civile Toscana Sud), una modellazione idrologico-idraulica finalizzata all'aggiornamento del quadro conoscitivo della pericolosità da alluvione relativo al fiume Albegna, nel tratto compreso tra il Ponte della Marsiliana e la foce, in cui insiste il sito di intervento.

Lo scopo della presente relazione idrologica e idraulica, pertanto, consiste nel verificare il massimo livello del tirante idrico, in un'area contermina a quella di impianto, per valutare le condizioni di rischio degli aerogeneratori, tramite il calcolo delle portate e dei volumi al colmo di piena mediante la metodologia del VAPI afferente al territorio di competenza dei Compartimenti del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) di Bologna, Pisa e Roma, in quanto non sono ancora presenti Rapporti Regionali Specifici.

Per quanto riguarda il cavidotto, invece, verrà condotta un'analisi idraulica semplificata basata su una verifica di erosione che ha determinato la profondità massima di escavazione della corrente in piena mediante l'utilizzo del modello HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers*.

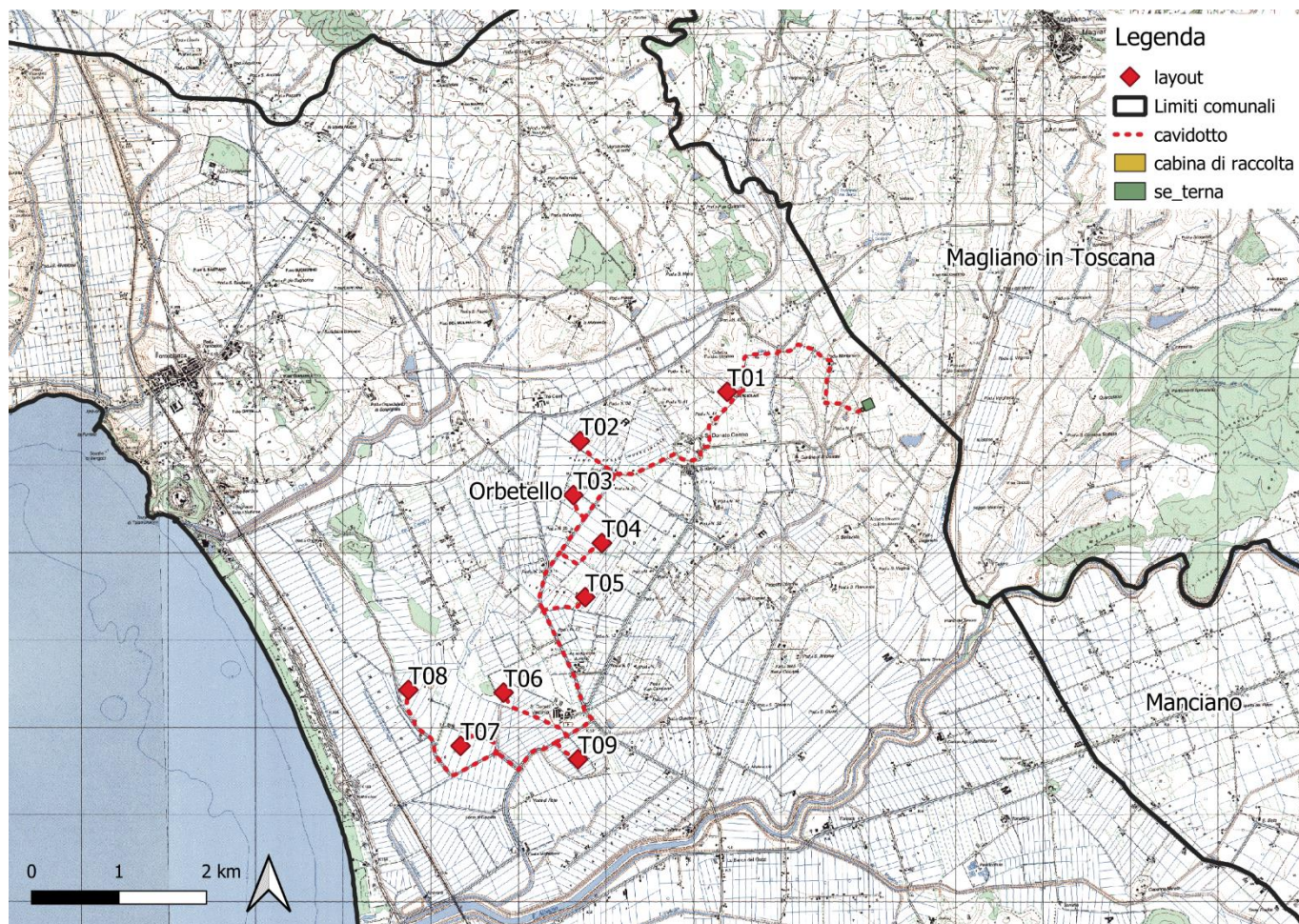


Figura 1: Inquadramento dell'area su base IGM

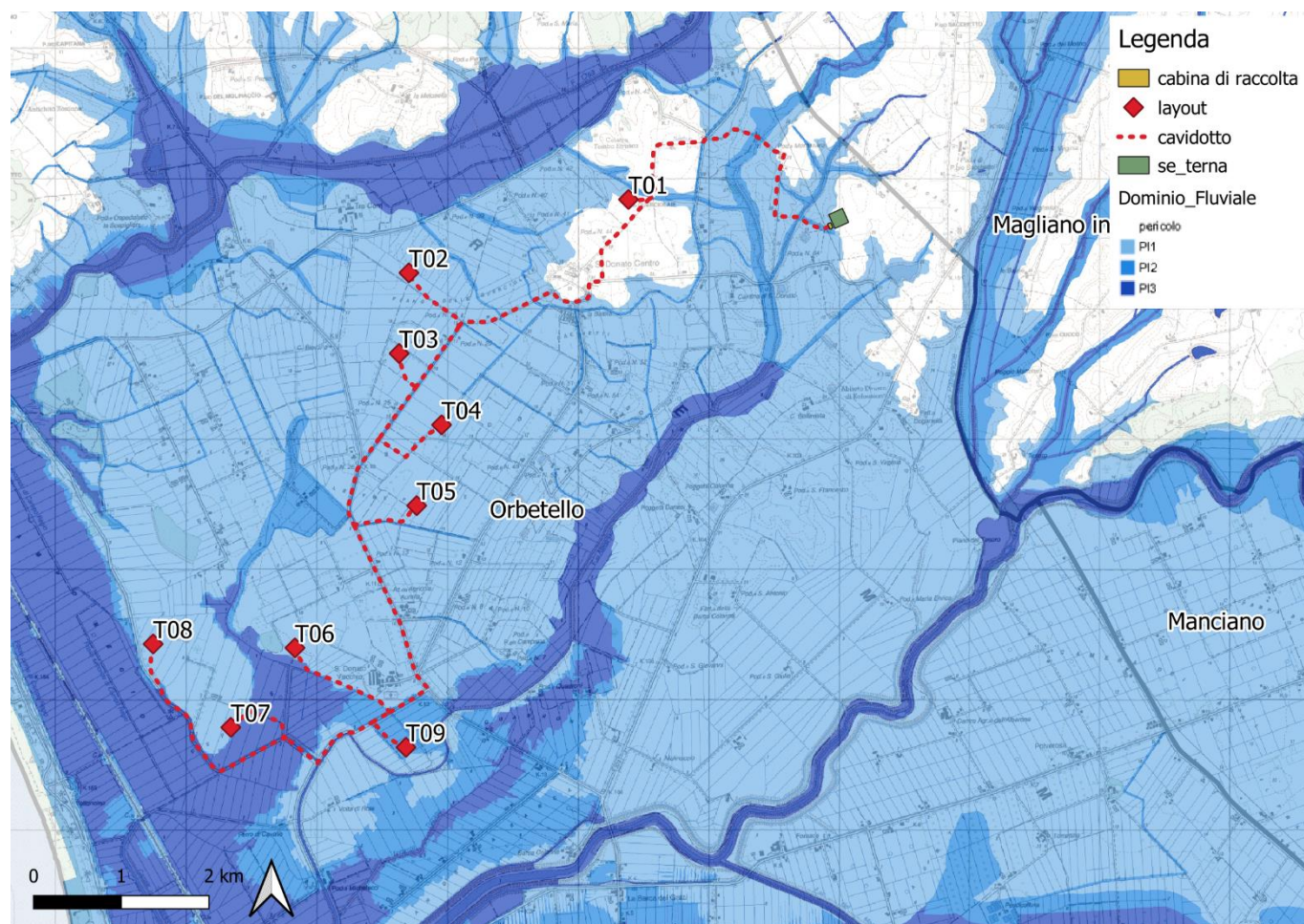


Figura 2: Inquadramento degli elementi in progetto su stralcio di mappa del PGRA

Come si evince dalla Figura 2, gli aerogeneratori sono esclusi dalla sola fascia di perimetrazione **P3** a pericolosità elevata, ma ricadono nella fascia **P1** a pericolosità bassa, a meno dell'aerogeneratore T09 che ricade nella fascia **P2** a pericolosità media.

Nello specifico, nelle aree P1 sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici garantendo il rispetto delle condizioni di rischio, mentre nelle aree P2 le previsioni di nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio.

2 Analisi idrologica

Nella presente analisi idrologica sono state determinate le portate al colmo di piena mediante l'utilizzo della metodologia riportata nel Rapporto VAPI di Bologna, Pisa e Roma, come illustrato all'interno della Relazione di Piano del PAI, redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (ex AdB Regione Toscana).

Per tali scopi, sono state individuate le caratteristiche dei bacini idrografici che, successivamente, sono state utilizzate per la definizione dei tempi di corrivazione. Grazie al metodo VAPI, infine, sono state calcolate le massime altezze della precipitazione critica per i bacini individuati e sono state valutate le portate al colmo di piena.

2.1 Bacini idrografici

Nella figura seguente sono mostrati i bacini idrografici afferenti al fiume Albegna e al fiume Osa, al cui interno ricadono le opere in progetto, nonché un bacino minore che raccoglie le acque interferenti con la sola area in progetto. La scelta di valutare le portate per i bacini principali, piuttosto che per singoli rami, è strettamente legata alla complessità del territorio di Orbetello, caratterizzato da una fitta rete di canali di bonifica che definiscono il sistema lagunare del comune. Per tali motivi, la scelta di considerare i bacini suddetti risulta cautelativa per le analisi da condurre.

I bacini idrografici sono stati individuati in corrispondenza della sezione di chiusura in prossimità del mare, nei cui punti sono determinate le portate al colmo di piena.

Nella seguente tabella sono indicate le caratteristiche fisiografiche dei bacini ricavate dal DTM della Regione Toscana con dimensione di cella di 10 x 10 m e dall'IGM in scala 1: 25000.

Caratteristiche fisiografiche								
Bacino idrografico	S (km ²)	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (km)	i (%)	CN (-)	c (-)
Bacino Albegna	747.459	353.86	66.35	0.00	50.62	0.70	55	0.35
Bacino Osa	162.902	282.48	70.21	0.00	16.50	1.71	55	0.35
Bacino A	25.998	78.50	15.17	0.12	13.18	0.59	55	0.35

Tabella 1

Nella precedente tabella sono state indicate le seguenti grandezze:

- "S" (km²): superficie del bacino;
- "Hmax" (mslm): quota massima;
- "Hmed" (mslm): quota media;
- "Hmin" (mslm): quota minima;
- "L" (km): lunghezza dell'asta principale;
- "i" (%): pendenza dell'asta principale;
- "c" (-): coefficiente di deflusso.

Come valore per il coefficiente di deflusso, in particolare, è stato scelto 0.35 per via del tipo di uso del suolo del bacino idrografico considerato che risulta, secondo la Carta CORINE, essenzialmente agricolo.

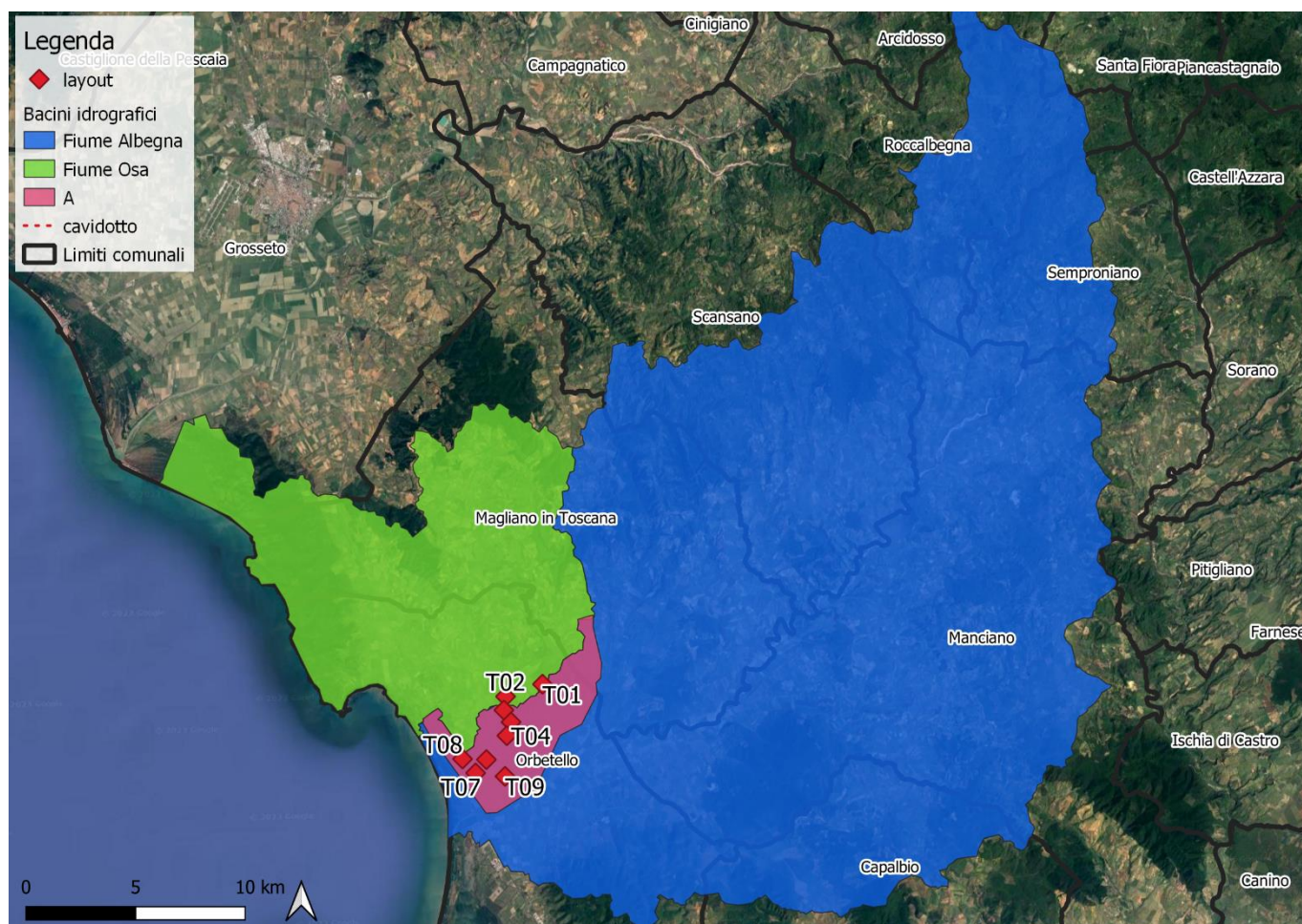


Figura 3: Planimetria con individuazione dei bacini idrografici

Nella figura precedente sono mostrati i bacini idrografici sottesi dalle sezioni di chiusura individuate. La delimitazione è stata effettuata utilizzando sia la cartografia IGM in scala 1:25'000 che il DTM della Regione Toscana.

2.2 Tempi di corrivazione

In funzione delle caratteristiche fisiografiche dei bacini individuati, sono stati riportati, nella tabella seguente, differenti valori per i tempi di corrivazione in base a diverse formulazioni.

Tempi di corrivazione						
Bacino idrografico	Giandotti (h)	Kirpich (h)	Ventura (h)	Pezzoli (h)	Pasini (h)	tc (h)
Bacino Albegna	28.43	9.21	41.59	33.30	43.36	28.4
Bacino Osa	11.31	2.75	12.41	6.94	11.48	11.3
Bacino A	12.94	3.48	8.41	9.40	9.80	8.8

Tabella 2

Viste le caratteristiche dei bacini, tuttavia, come valore di riferimento per il tempo di corrivazione si è deciso di utilizzare il solo valore determinato dalla formula di Giandotti, come riportano diversi studi nell'area.

2.3 Fattore di crescita KT

Ai fini della determinazione della portata al colmo di piena è necessario determinare il valore del coefficiente di crescita KT, legato ai valori di tempi di ritorno da considerare.

L'intero territorio analizzato nella metodologia VAPI è suddiviso in 7 sottozone omogenee, come riportato nella figura di seguito.

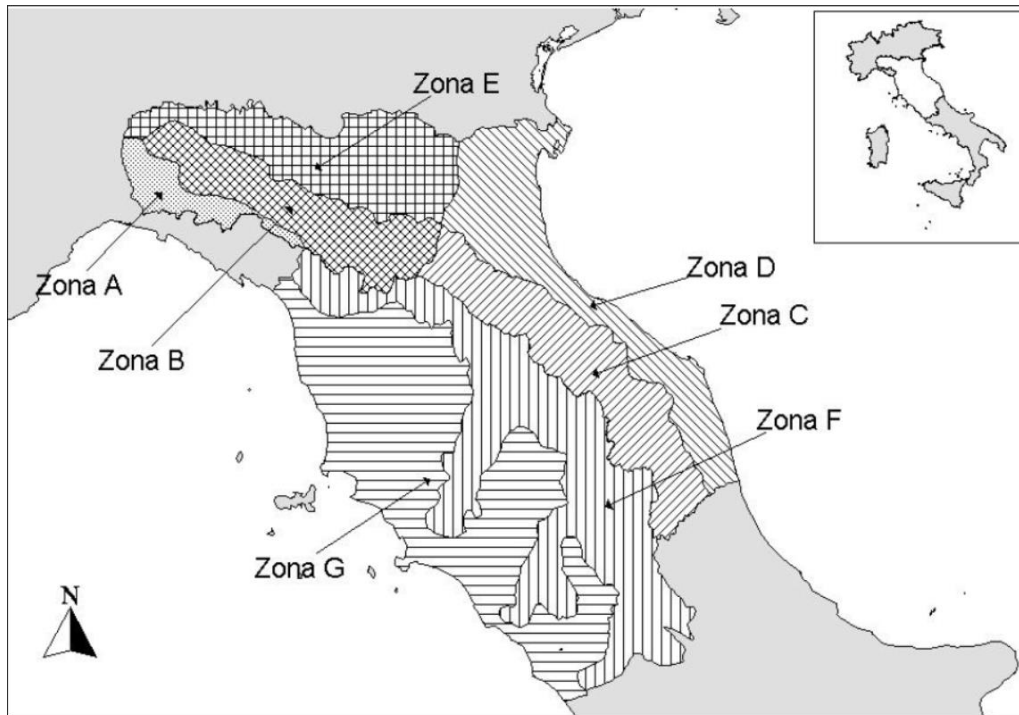


Figura 4: Corografia con la delimitazione delle zone pluviometriche omogenee del VAPI

L'area in progetto, nella fattispecie, ricade all'interno della sottozona omogenea G per la quale è possibile definire la seguente espressione:

$$\text{SZO G: } KT = 0.3431 + 0.718 * \ln T$$

Determinazione del KT			
Sottozona G			
Bacino idrografico	K30 (-)	K200 (-)	K500 (-)
Bacino Albegna	2.8	4.1	4.8
Bacino Osa	2.8	4.1	4.8
Bacino A	2.8	4.1	4.8

Tabella 3

2.4 Portate al colmo di piena

Per la determinazione delle portate al colmo di piena, non disponendo di informazioni idrogeologiche tali da identificare l'impermeabilità del bacino può essere adoperata la seguente formula:

$$m(Q) = 0.21 * 10^{-3} * S^{1.0816} * m(h_g)^{2.4157} * DH^{-0.4694}$$

in cui:

- "S" = area del bacino in km²;
- "m(h_g)" = media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera in mm, valutata nel baricentro del bacino;
- "DH" = quota media del bacino riferita alla sezione di chiusura, in metri.

Il parametro m(h_g) è possibile determinarlo attraverso le mappe isoparametriche [Brath et al.], come di seguito riportato.

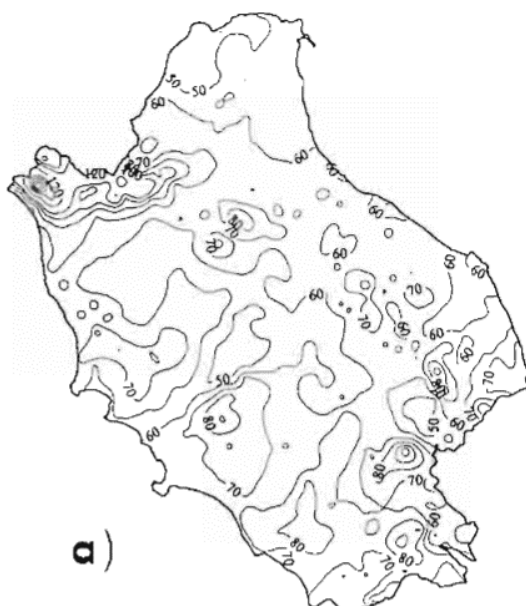


Figura 5: Mappa isoparametrica dei valori di m(h_g)

Portate al colmo di piena				
Bacino idrografico	m(Q) m ³ /s	Q(T30) m ³ /s	Q(T200) m ³ /s	Q(T500) m ³ /s
Bacino Albegna	742.3	2067.5	3078.7	3567.1
Bacino Osa	40.5	112.8	168.0	194.6
Bacino A	39.2	109.3	162.7	188.6

Tabella 4

Le portate di riferimento sono quelle riportate nella tabella precedente. Nella tabella seguente sono riportati i valori dei coefficienti udometrici e sono assolutamente in linea con i valori riportati in letteratura.

Coefficienti udometrici (m ³ /s*km ²)			
Bacino idrografico	u(T30) m ³	u(T200) m ³	u(T500) m ³
Bacino Albegna	2.77	4.12	4.77
Bacino Osa	0.69	1.03	1.19
Bacino A	4.20	6.26	7.25

Tabella 5

3 Analisi idraulica semplificata

L'**analisi idraulica semplificata** è rivolta infatti principalmente ai punti di intersezione degli impluvi esistenti con i cavidotti in caso di assenza di un attraversamento esistente o di un attraversamento non asfaltato ed è caratterizzata dalle seguenti fasi:

- AS1) analisi idrologica in base al metodo VAPI;
- AS2) **verifica di erosione dell'intersezione a guado** finalizzata alla determinazione della profondità di posa in opera del cavidotto in progetto.

Il cavidotto in progetto verrà quindi posizionato ad una profondità pari a quella massima di escavazione più un franco di sicurezza di 1.00m.

Per dimensionare adeguatamente la quota di posa del cavidotto è stata condotta un'analisi idrologica sul bacino che comprende l'intera area di impianto affinché sia possibile stimare, seppur in maniera cautelativa, la massima profondità di escavazione della corrente per tutto il cavidotto, anche a fronte della complessa rete di canali di bonifica che attraversano l'area.

Di seguito si riporta una planimetria con il bacino sotteso alla sezione di chiusura prossima agli aerogeneratori più a valle.

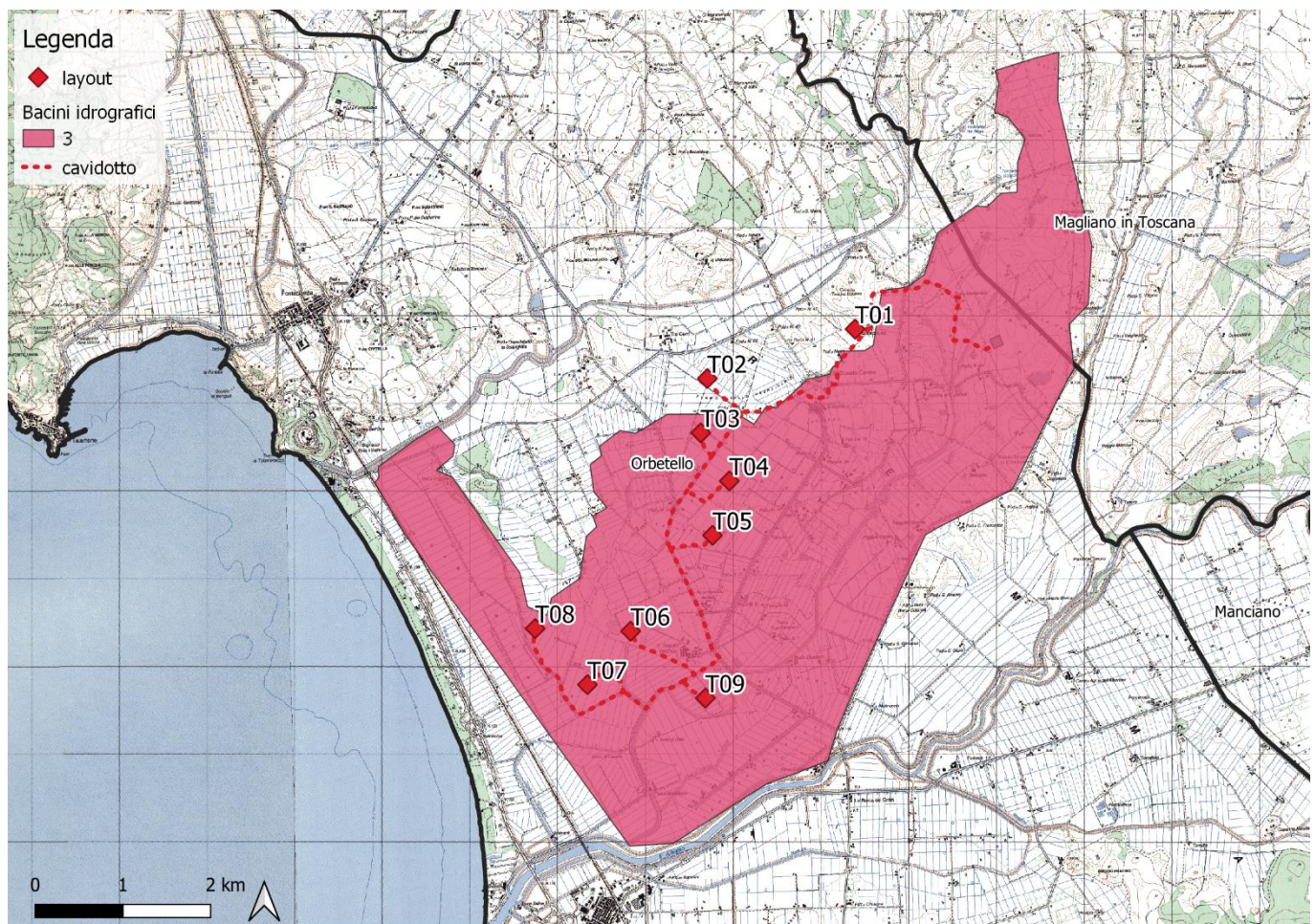


Figura 6: Planimetria del bacino considerato per l'analisi idrologica

Nelle tabelle precedenti sono riportati i risultati dell'analisi idrologica utilizzati per i calcoli seguenti.

Il calcolo della massima profondità di erosione viene effettuato mediante l'utilizzo della seguente formula di Meyer-Peter e Müller espressa nell'ipotesi di "alveo largo" ed esplicitata da Chien (Montuori, "Complementi di Idraulica", Liguori, 1997):

$$\Psi = 8 \cdot (\Theta - 0.047)^{\frac{3}{2}}$$

dove:

- " Ψ " (-): parametro di trasporto;
- " Θ " (-): parametro di stabilità.

Tali parametri sono definiti dalle espressioni seguenti:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi = \frac{q_s}{\sqrt{g \cdot d^3 \cdot \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}}} \\ \Theta = \frac{\gamma \cdot R \cdot j}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} \end{array} \right.$$

dove:

- " q_s " (m^2/s): portata solida (volumetrica) per unità di larghezza;
- " g " (m/s^2): accelerazione di gravità;
- " d " (m): diametro caratteristico del sedimento;
- " γ_s " (N/m^3): peso specifico del sedimento;
- " γ " (N/m^3): peso specifico dell'acqua;
- " R " (m): raggio idraulico;
- " j " (-): cadente piezometrica.

Grazie a tale formula è possibile calcolare la portata solida trasportabile dalla corrente una volta noti:

- alcuni parametri caratteristici del deflusso come la portata liquida, il raggio idraulico, la larghezza del pelo libero e la cadente piezometrica che sono stati calcolati nella precedente analisi idraulica;
- alcuni parametri caratteristici del sedimento come il diametro e il peso specifico.

Dopo aver determinato il valore della portata solida, infine, è possibile calcolare la concentrazione volumetrica del sedimento dividendo la portata solida per quella liquida.

Per i parametri caratteristici del sedimento si è scelto di considerare il diametro di separazione tra "limo a grana grossa" e "limo a grana media", pari a 0.02 mm, ed un peso specifico di 25'000 N/m^3 , date le caratteristiche del terreno.

Nella tabella seguente sono presenti i calcoli effettuati per il calcolo della concentrazione del sedimento utilizzando la formula di Meyer-Peter e Müller per i tratti dell'impluvio in esame.

Analisi del trasporto solido - Tr200						
Sezione	γ	γ_s	d	j	R	θ
	(N/m^3)	(N/m^3)	(m)	(-)	(m)	(-)
A2	9810	25000	0.00002	0.0002	1.150	6.1
Sezione	Ψ	q_s	b	Q	C	C
	(-)	(m^2/s)	(m)	(m^3/s)	(-)	(ppm)
A2	118	0.00004	928.590	162.1	0.00024	236

Tabella 6

Come mostrato nella tabella precedente, pertanto, la concentrazione volumetrica "C" è strettamente legata al tempo di ritorno considerato. Tali valori sono stati utilizzati come parametri di ingresso per il modulo "Hydraulic design - Stable Channel Design" del modello HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers* (modello già utilizzato all'interno per il calcolo delle caratteristiche idrodinamiche).

Nella tabella seguente sono presenti i risultati del calcolo della massima profondità di erosione effettuato con tale modulo e, in particolare, utilizzando il metodo "Regime".

Massima profondità di erosione - Tr200			
Sezione	Regime depth (m)	Regime width (m)	Regime slope (-)
A2	3.12	52.35	0.00010

Come è possibile osservare nella tabella precedente, i risultati dell'applicazione di tale metodologia indicano una profondità di escavazione di 3.12 m.

Al fine di tenere conto del franco minimo di sicurezza pari a 1.00 m, si prevede di porre in opera il cavidotto in progetto in tutti i punti di interferenza ad una profondità di 4.15 m, valori che in fase di progettazione esecutiva potranno essere confermati o puntualizzati con opportune indagini.

4 Valutazioni sulle opere in progetto

Come anticipato in premessa, l'area in cui ricadono gli elementi in progetto è caratterizzata da una perimetrazione di pericolosità idraulica definita e adottata dal PGRA.

Il Piano di gestione del rischio alluvioni (PGRA) del distretto idrografico dell'Appennino settentrionale costituisce lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le misure finalizzate a garantire il perseguimento degli scopi e degli obiettivi di cui alla direttiva 2007/60/CE e al decreto legislativo 23 febbraio 2010, n.49.

Oltre alla perimetrazione precedentemente descritta, nell'anno 2022 è stata adottata all'interno del Piano Strutturale (LR 65/2014 "Norme per il governo del territorio") una planimetria della pericolosità idraulica analitica che definisce due fasce:

- Aree allagate per tempi di ritorno compresi tra 30 e 200 anni;
- Aree allagate per tempi di ritorno minori di 30 anni.

La proposta di modifica delle mappe delle aree a pericolosità da alluvione riguardante il reticolo idraulico principale del fiume Albegna (su cui insiste il sito di intervento) è stata esaminata nella Conferenza Operativa del 10/11/2022 e, con la pubblicazione sul BURT n.48 del 30/11/2022, è stata avviata la consultazione. La proposta di riesame è stata approvata ed inserita nelle nuove mappe di pericolosità del PGRA:

(http://www.adbarno.it/pagine_sito_opendata/gds_md_scheda_ridotta.php?id_ds=2839).

Di seguito uno stralcio della perimetrazione riportata nel Piano Strutturale:

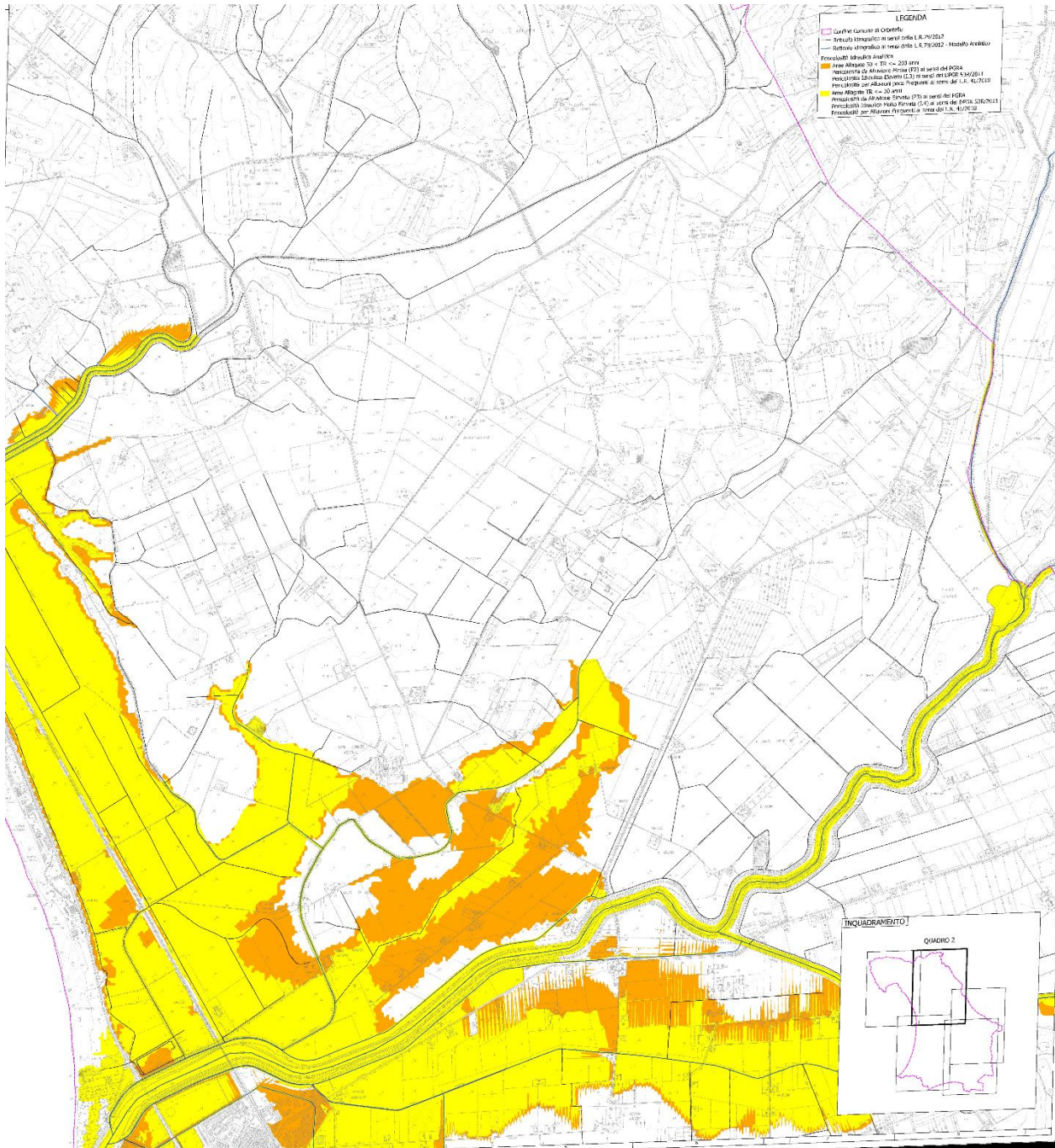


Figura 7: Stralcio della pericolosità idraulica del Piano Strutturale

Come si evince, tale perimetrazione considera un'area a pericolosità idraulica inferiore a quella adottata dal PGRA, escludendo quella che dallo stesso PGRA viene definita come pericolosità P1.

Pertanto, date le recenti modifiche, è possibile considerare valida la ridefinizione della perimetrazione come da Figura 2, potendo così affermare che la maggioranza degli aerogeneratori risultano in condizioni di sicurezza idraulica, a meno dell'aerogeneratore T09.

A valle di tale constatazione è possibile fare delle considerazioni cautelative partendo dal volume afferente al bacino A, le cui caratteristiche fisiografiche e le portate al colmo di piena sono riassunte nelle tabelle al capitolo precedente.

I volumi di piena, per i tre tempi di ritorno, sono i seguenti:

Volume di piena mc			
Bacino idrografico	V(T30) m ³	V(T200) m ³	V(T500) m ³
Bacino A	4449328.843	6625352.651	7676351.251

Tabella 7

Pertanto, è possibile considerare, in via cautelativa, la porzione di territorio perimetrato da pericolosità idraulica P2 che coinvolge l'aerogeneratore T09, come mostra l'immagine di seguito:

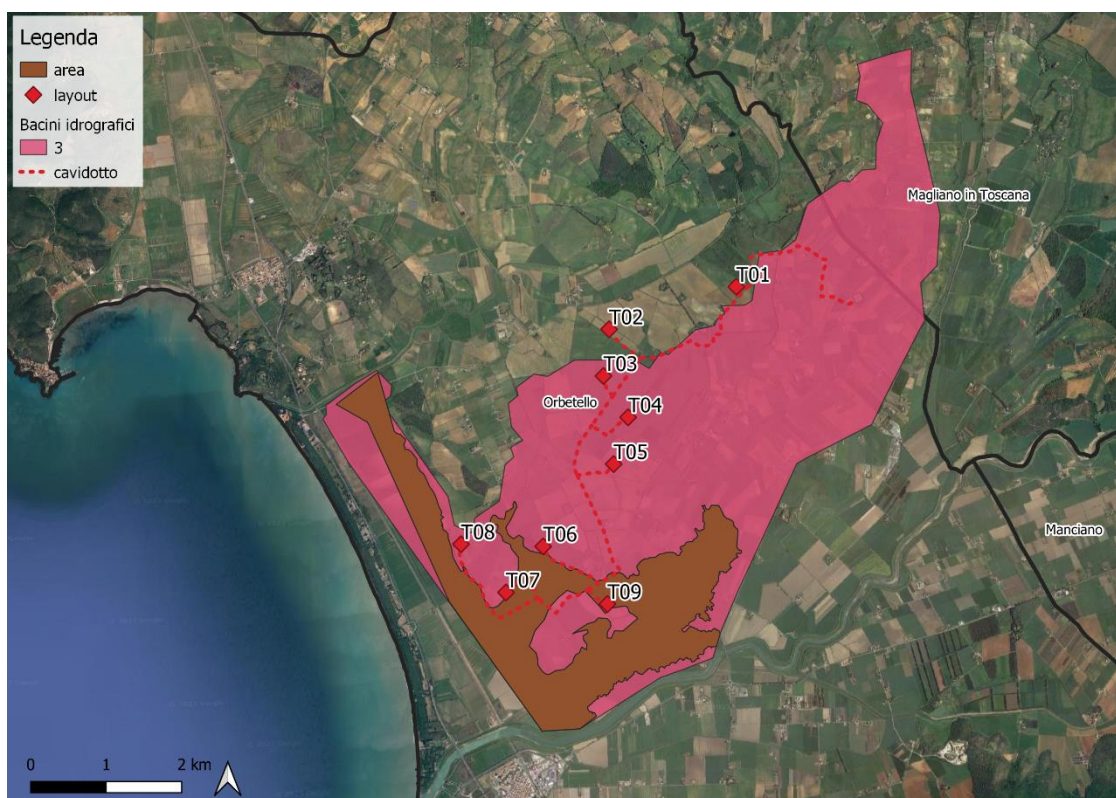


Figura 8: Porzione di area a pericolosità idraulica compresa nel bacino A

Tale area occupa una superficie di 5.938 km². Pertanto, assunta la portata duecentennale come uniformemente distribuita su tutto il bacino, è possibile determinare il valore del tirante idrico sotteso all'area perimetrata.

$$h = \frac{V (Tr=200)}{A} = 1.116 \text{ m}$$

Al fine di consentire un franco di sicurezza idraulico di almeno 1 m, l'aerogeneratore T09 dovrà avere una quota di 2.12 m dal piano campagna.

Al fine di rispettare quanto citato all'art. 5 delle norme di Piano PAI del Bacino Regionale della Toscana, ovvero:

“La messa in sicurezza rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni potrà essere conseguita anche tramite adeguati sistemi di autosicurezza, nel rispetto delle seguenti condizioni:

- *Dimostrazione dell'assenza o dell'eliminazione di pericolo per le persone e i beni;*
- *Dimostrazione che l'intervento non determina aumento delle pericolosità a monte e a valle.*

Della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto nel procedimento relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia.”

Al primo punto è possibile assolvere ponendosi nella condizione di rispettare la stagionalità nella realizzazione delle opere in progetto, evitando le lavorazioni e l'accesso all'area di cantiere in condizioni meteorologiche avverse.

Per il secondo punto, data la superficie di ingombro della piazzola di montaggio della T09, è possibile valutare l'incremento del tirante idrico dipeso dalla presenza dell'elemento in progetto.

Pertanto nota la superficie, nello stato di progetto, pari a circa 5.931 km²:

$$h = \frac{V (Tr=200)}{A} = 1.117 \text{ m}$$

Si ottiene, così, una differenza di 0.001 m, che risulta irrilevante rispetto alla condizione ante operam.

5 Conclusioni

L'intervento proposto consiste nella realizzazione di un nuovo parco eolico, denominato "Orbetello", localizzato nel territorio comunale di Orbetello, in provincia di Grosseto. L'impianto sarà composto da n. 9 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW ciascuno, con la potenza complessiva in immissione di 59.4 MW, in accordo con quanto previsto nella STMG Terna ID 202200206. Le relative opere di connessione saranno ubicate nel Comune di Orbetello (Gr).

L'area oggetto di interesse, in particolare, ricade prevalentemente nel bacino idrografico del fiume Albegna, uno dei principali fiumi della Toscana meridionale, afferente all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. La parte più valliva del corso d'acqua attraversa il comune di Orbetello e si immette nel mar Tirreno in località Albinia.

Gli aerogeneratori da T02 a T09 e la cabina di raccolta ricadono all'interno delle fasce del PGRA (ultimo aggiornamento 04/04/2023), mentre la T01 ne è esente. Anche il cavidotto attraversa completamente le aree perimetrate dal PGRA, come riportato nella figura seguente.

Per tali scopi è stata condotta un'analisi idrologica volta alla determinazione delle portate al colmo di piena per il bacino sotteso all'area di progetto. A valle di tale analisi è stata condotta un'analisi idraulica semplificata per determinare la massima profondità di escavazione della corrente, al fine di valutare la profondità di posa del cavidotto.

Inoltre, considerata valida la distribuzione dei volumi al colmo di piena del bacino suddetto e assunta la delimitazione delle aree a pericolosità idraulica del Piano Strutturale, è stato possibile determinare la massima altezza idrica che interessa l'aerogeneratore T09 e definire, infine, l'altezza dal piano campagna con un franco minimo di 1.00 m.