



REGIONE  
TOSCANA



COMUNE DI  
MANCIANO



PROVINCIA DI  
GROSSETO

## PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Fiora" di potenza nominale pari a 52.8 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Manciano (GR)

Titolo elaborato

### Relazione idrologica e idraulica

Codice elaborato

**F0612AR06A**

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. Monica COIRO  
Ing. Jr Flavio Gerardo TRIANI  
Ing. Gerardo Giuseppe SCAVONE  
Ing. Manuela NARDOZZA  
Ing. Angelo CORRADO  
Arch. Gaia TELESCA



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



#### ARCHEOLOGIA

##### Archeoservizi s.r.l.

Via A.Moro, B/5 82021 Apice (BN), Italia  
Cell. +392171616306  
Skype antonio.mesisca

#### GEOLOGIA

Dott. Geol. Giuseppe PALMITESTA

### Committente

#### Apollo Wind S.r.l.

Via della Stazione, 7  
39100 Bolzano (BZ)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Dicembre 2023	Prima emissione	AIE	MNA	GMA

## Sommario

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Analisi idrologica dello stato di fatto</b>	<b>4</b>
2.1	Bacini idrografici	4
<b>3</b>	<b>Analisi idrologica dello stato di fatto</b>	<b>9</b>
3.1	Geometria del modello idrodinamico	9
3.2	Portate di piena	11
3.3	Condizioni al contorno	11
3.4	Parametri di scabrezza	12
3.5	Risultati delle simulazioni	12
<b>4</b>	<b>Analisi idraulica semplificata</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Interventi in progetto</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>28</b>

## Relazione idrologica e idraulica

# 1 Premessa

La presente relazione idrologica e idraulica accompagna il progetto di realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica da realizzarsi nel comune di Manciano, in provincia di Grosseto (GR) con una potenza nominale pari a 52.8 MW.

Per le finalità del presente studio appare opportuno ricordare che il sito di interesse è attraversato da diversi rami del reticolo idrografico, alcuni dei quali risultano cartografati a livello regionale, mentre altri sono visibili dalle ortofoto, reperibili dal Geoportale nazionale.

L'area in esame da un punto di vista amministrativo ricade in Toscana, ma non afferisce all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Dalla delimitazione dei bacini ricadenti nell'Ambito dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, però, l'area ricade nei limiti dei Bacini Regionali del Lazio, la cui perimetrazione si ferma ai limiti regionali; infatti si cita la Relazione Tecnica del P.A.I. redatta dall'autorità dei Bacini Regionali del Lazio:

*"un primo settore si estende in parte (per 202 km<sup>2</sup>) nel Comune di Montalto di Castro ed in parte nella Regione Toscana, comprendendo il Bacino del Fosso Chiarone, la cui asta principale segna, nel tratto finale, il confine con la Regione Toscana, ed il bacino del Fosso Tafone, fino al limite superiore del Bacino Interregionale del Fiore. In effetti, questo settore comprende esclusivamente bacini idrografici che interessano in parte la Regione Lazio ed in parte la Regione Toscana costituendo un ostacolo alla pianificazione circa l'area ricompresa nei limiti amministrativi della Regione Lazio. Nell'ambito di una riorganizzazione dei limiti del Bacino Interregionale del Fiore, è stata promossa la procedura prevista dalla vigente normativa, in accordo con la predetta Autorità di bacino del Fiore, per assegnare a quest'ultima anche la competenza per questo settore. Si auspica che nella definizione dei limiti dei costituenti Distretti idrografici previsti dal D.lgs. 152/2006 tale problematica possa trovare una definitiva soluzione. Allo stato attuale delle conoscenze di questa Autorità comunque non risultano, per tale ambito territoriale, segnalazioni significative su problematiche attinenti al dissesto idrogeologico."*

Pertanto, è stata condotta un'analisi idrologica volta a determinare le portate al colmo di piena mediante l'applicazione del metodo VAPI Lazio per i tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni.

Inoltre, sono state condotte due analisi idrauliche:

- Una in moto permanente, che grazie all'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers* è finalizzata alla valutazione delle modalità di deflusso degli eventi di piena al fine di stabilire i massimi valori del livello di pelo libero e, di conseguenza, valutare le effettive estensioni delle aree a diversa pericolosità idraulica;
- Un'analisi idraulica semplificata per la valutazione della profondità di escavazione del ramo in corrispondenza delle interferenze tra cavidotto interrato e rami del reticolo idrografico.

Come valore di riferimento per il franco di sicurezza idraulico è stato considerato quello prescritto dalla "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) del 2001 che prevede:

- Il 50% dell'altezza utile se questa non supera i 40 cm;
- 20 cm se l'altezza utile è compresa tra i 40 e i 100 cm;
- Il 20% dell'altezza utile se questa è superiore a 100 cm.

## 2 Analisi idrologica dello stato di fatto

Nella presente analisi idrologica sono state determinate le portate al colmo di piena mediante l'utilizzo del metodo VAPI Lazio, come illustrato all'interno della Relazione di Piano del PAI, redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (ex AdB Bacini Regionali Lazio).

Per tali scopi, sono state individuate le caratteristiche dei bacini idrografici che, successivamente, sono state utilizzate per la definizione dei parametri per il calcolo delle portate al colmo di piena. Tale analisi è stata estesa a due impluvi particolarmente vicini agli aerogeneratori in progetto.

### 2.1 Bacini idrografici

Nella figura seguente sono mostrati i bacini idrografici sottesi alle rispettive sezioni di chiusura. La delimitazione dei bacini idrografici è stata effettuata utilizzando sia la cartografia IGM in scala 1:25.000 che il Modello Digitale del Terreno (*Digital Terrain Model, DTM*) con dimensione di cella 10x10 m ricavato dal portale cartografico della Regione Toscana.

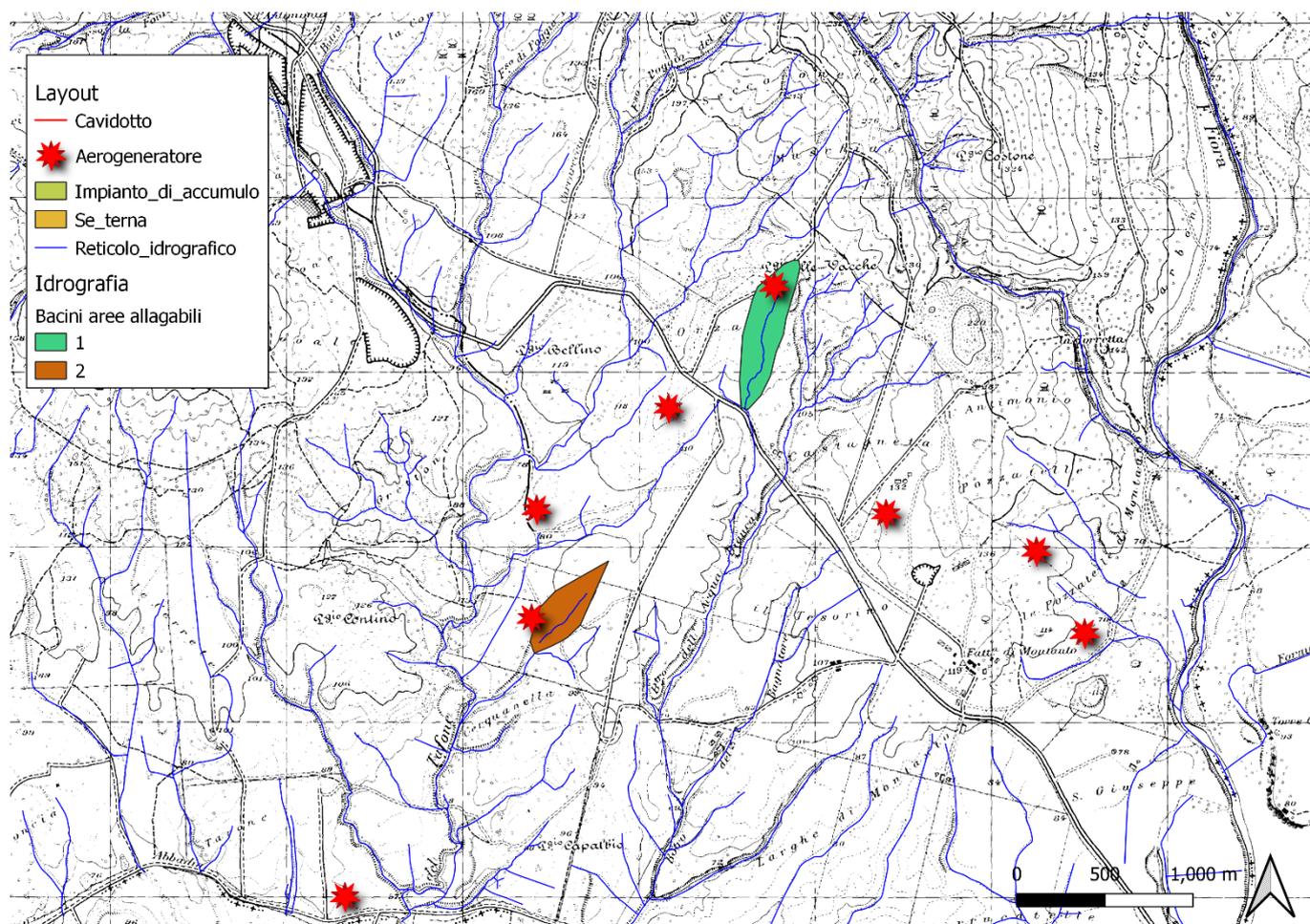


Figura 1: Individuazione dei bacini

Nella tabella seguente sono indicate le caratteristiche fisiografiche del bacino ricavate dal DTM avente dimensione di cella pari a 10x10 m.

Superficie e piena indice			
Sezione di chiusura	S (km <sup>2</sup> )	H med (mslm)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Bacino A	0.151	141.86	125.5
Bacino B	0.097	94.79	125.5

Tabella 1

Nella precedente tabella sono state indicate le seguenti grandezze:

- "S" (km<sup>2</sup>): superficie del bacino;
- "H" (m s.l.m.): quota media del bacino;
- "Q" (m<sup>3</sup>/s): portata funzione dell'area.

## 2.2 Portate al colmo di piena

Come già anticipato, l'analisi dei parametri relativi alla precipitazione è stata effettuata applicando al caso in esame la metodologia e la procedura proposta dal programma VAPI.

Tale approccio prevede la stima delle portate attraverso la regionalizzazione delle piogge intense. Si riportano di seguito i parametri regionali utilizzati per la determinazione dell'intensità di pioggia e successivamente le portate.

Al primo e secondo livello di regionalizzazione sono state identificate tre zone omogenee:

- Zona A (Tirrenica), che interessa la fascia del litorale tirrenico e si protende all'interno lungo le valli dei principali corsi d'acqua;
- Zona B (Appenninica), che interessa l'ampia fascia dell'Appennino propriamente detto, con le propaggini dei colli Albani e dei monti Lepini, Ausoni e Aurunci, nonché, separati da questa zona, i gruppi montuosi dell'entroterra tirrenico a nord-ovest del Tevere (i massicci dell'Amiata e del Cetona con i monti della Tolfa e i monti Sabatini);
- Zona C (Adriatica), che interessa una ristretta fascia del litorale adriatico e si protende con ristrette lingue lungo le valli dei corsi d'acqua.

Il sito di interesse, in particolare, è situato nella "zona omogenea A (Tirrenica)", dove il coefficiente di crescita assume la seguente espressione:

$$K_T = -0.609 + 0.799 \cdot \ln(T)$$

Per quanto concerne il terzo livello di regionalizzazione, i bacini oggetto dello studio sono posti all'interno della zona omogenea A3, caratterizzata dai valori riportati nella tabella seguente:

Parametri al terzo livello di regionalizzazione						
Sezione di chiusura	N	c (mm/m)	d (mm)	b (h)	m	μio/μi24
Zona A3	9.000	0.027	64.43	0.1454	0.7478	4.574

Tabella 2

Dove:

- "b" è un parametro di trasformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata che dal tempo di ritorno;
- "m" è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata che dal tempo di ritorno;
- "μio" è l'intensità di pioggia istantanea;
- "μi24" è l'intensità di pioggia media nelle 24 ore

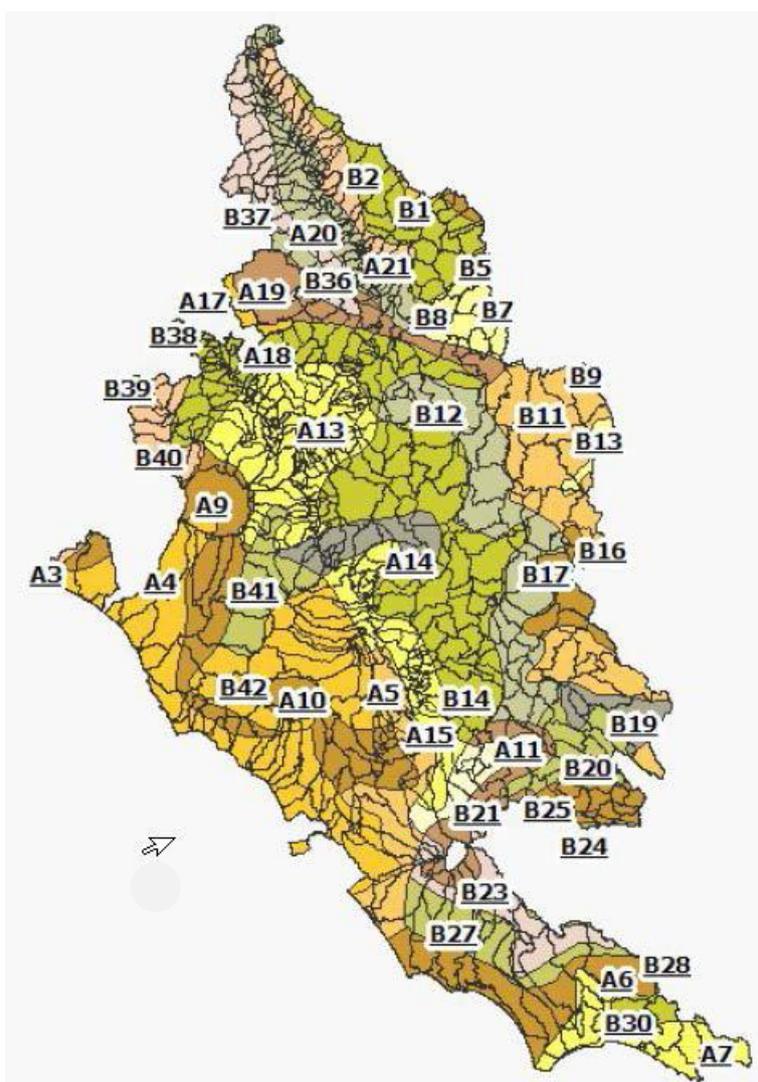


Figura 2: Sottozone omogenee del rapporto VAPI Roma - Pescara

Su tutto il territorio considerato, l'intensità media di 24 ore è proporzionale all'intensità media giornaliera calcolata con la formula seguente:

$$\mu_{i24} = \delta \cdot \frac{(c \cdot Z + d)}{24}$$

Dove  $\delta$  è assunto costante su tutto il territorio e vale 1.15. Per i bacini in esame, quindi, il valore di  $\mu_{i24}$  è indicato nella tabella seguente.

$\mu_{i24}$	
Bacino A	3.27338524
Bacino B	3.21163136

Tabella 3

Dai passaggi successivi dettati dal metodo VAPI si ottiene la pioggia indice considerata come valore costante secondo la formula seguente:

$$\mu_{io} = \mu_{i24} \cdot \left( \frac{\mu_{io}}{\mu_{i24}} \right)$$

$\mu_{i0}$	
Bacino A	14.9724641
Bacino B	14.6900019

Tabella 4

Mentre con la formula seguente è possibile calcolare la media dell'intensità di pioggia:

$$\mu_{it} = \mu_{io}(Z) \cdot \left( \frac{b}{b+t} \right)^m$$

$\mu_{it}$	
Bacino A	9.84970761
Bacino B	11.0747099

Tabella 5

Dove "t" è il tempo di corrvazione dei bacini calcolato tramite l'adozione di due formule Giandotti e Kirpich, per le quali si definiscono anche i relativi campi di applicazione di seguito riportati.

- Giandotti:

$$tc(G) = 5 \times \sqrt{A} + 1.75 \times L / \sqrt{H_{med}} \text{ (ore) per bacini di superficie } A > 75 \text{ km}^2$$

- Relazione interpolare:

$$tc(M) = tc(G) \times \frac{(A-1)}{74} + tc(K) \times \frac{(75-A)}{74} \text{ (ore) bacini di superficie } 1 < A < 75 \text{ km}^2$$

- Kirpich:

$$tc(K) = 0.93 \times \left( \frac{L}{\sqrt{\frac{Y_{max}}{L}}} \right)^{0.77} \text{ (ore) per bacini di superficie } A < 1 \text{ km}^2$$

Dove:

- "A" è l'area del bacino (km<sup>2</sup>);
- "L" è la lunghezza dell'asta principale (km);
- "H<sub>m</sub>" è l'altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m);
- "Y<sub>max</sub>" è l'altitudine massima del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m).

Tempo di corrivazione del bacino				
	L (km)	tc (h)	tc (h)	tc (h)
Bacino A	0.816	0.024481432	0.10914881	0.110
Bacino B	0.466	0.025646072	0.06674444	0.067

Tabella 6

Nella tabella precedente sono riportati i valori corrispondenti alle tre formule indicate in precedenza. La superficie è inferiore a 1 km<sup>2</sup>, per tale motivo si è considerata la terza espressione (e la terza colonna).

Per l'elaborazione delle precipitazioni intense di breve durata, quindi, è stata considerata la seguente legge intensità-durata-frequenza:

$$it(T) = \mu it \cdot K_T$$

i (mm/h) (Tr30)		i (mm/h) (Tr200)		i (mm/h) (Tr500)	
Bacino A	20.7686671	Bacino A	35.698843	Bacino A	42.90997414
Bacino B	23.3516539	Bacino B	40.138687	Bacino B	48.24666218

Tabella 7

Nella tabella precedente sono state determinate tutte le intensità di precipitazione mediante l'utilizzo della formula precedente per i tempi di ritorno considerati.

Per concludere, le portate sono state calcolate con il metodo razionale moltiplicando l'intensità di pioggia nella tabella precedente per la superficie dei bacini e per un coefficiente di deflusso che, nel caso specifico, è stato posto pari, cautelativamente, a 0.30 in quanto trattasi di terreno puramente agricolo, in accordo con i valori riportati in letteratura.

Portata al colmo di piena con il metodo razionale				
	$\phi$	Q30	Q200	Q500
Bacino A	0.3	0.261	0.449	0.540
Bacino B	0.3	0.189	0.324	0.390

Tabella 8

### 3 Analisi idrologica dello stato di fatto

Nella presente analisi idraulica sono illustrate le condizioni di deflusso dei corsi d'acqua che lambiscono l'area di interesse.

L'analisi è stata effettuata mediante l'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello US Army Corps of Engineers. Per ragioni cautelative le portate, immesse come condizioni al contorno di monte all'interno del modello, sono state considerate costanti nel tempo e la simulazione è stata condotta in condizioni di moto permanente.

I tempi di ritorno utilizzati sono pari a 30, 200 e 500 anni.

All'interno del modello di calcolo sono state inserite le seguenti informazioni:

- geometria dei corsi d'acqua;
- portate di piena;
- condizioni al contorno;
- coefficienti di scabrezza.

#### 3.1 Geometria del modello idrodinamico

Stato di fatto - Sezioni					
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Parz. (m)	Fondo (mslm)	Pendenza (m/m)
A1	-1	0.00	24.58	151.53	0.0665
A2	-2	24.58	20.38	149.90	0.0232
A3	-3	44.96	11.70	149.42	0.0356
A4	-4	56.66	19.42	149.01	0.0290
A5	-5	76.08	17.82	148.44	0.0439
A6	-6	93.90	61.41	147.66	0.0393
A7	-7	155.31	122.40	145.25	0.0352
A8	-8	277.71	125.83	140.93	0.0412
A9	-9	403.54	184.28	135.74	0.0356
A10	-10	587.82	227.90	129.19	0.0436
A11	-11	815.72	0.00	119.26	0.0396
B1	-1	0.00	45.02	97.35	0.0299
B2	-2	45.02	37.35	96.00	0.040
B3	-3	82.37	52.50	94.51	0.056
B4	-4	134.87	67.91	91.55	0.035
B5	-5	202.78	55.24	89.17	0.050
B6	-6	258.02	85.35	86.41	0.037
B7	-7	343.37	48.21	83.26	0.052
B8	-8	391.58	0.00	80.75	0.0424

Tabella 9

Nella figura seguente è presente la planimetria dell'area in esame con l'indicazione delle tracce delle sezioni trasversali utilizzate.

Le sezioni trasversali sono state riportate nella tabella precedente con l'indicazione del nome della sezione inserito nel modello ("station") delle distanze parziali progressive, delle quote di fondo e delle pendenze.

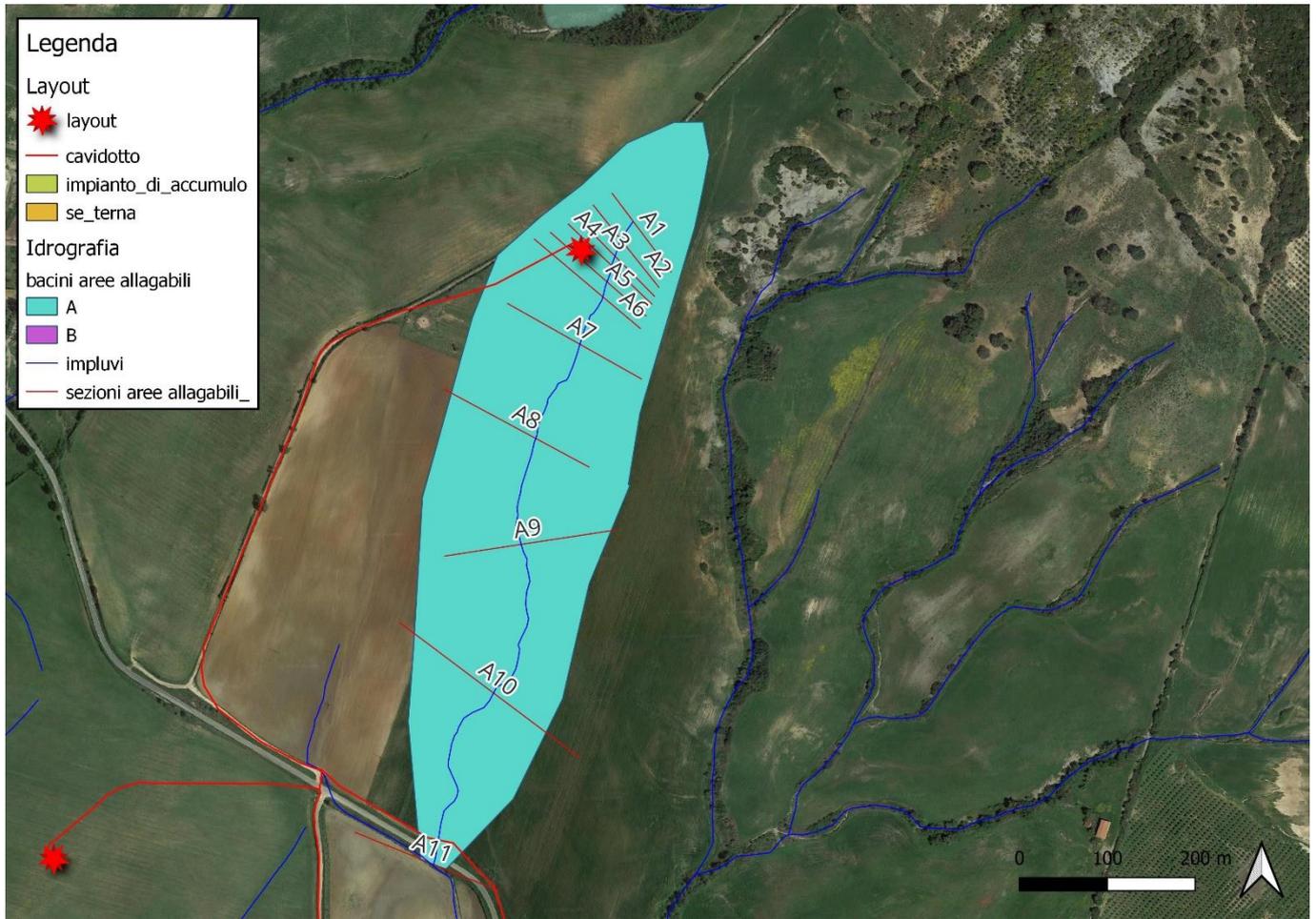


Figura 3: Individuazione impluvio A con le relative sezioni trasversali

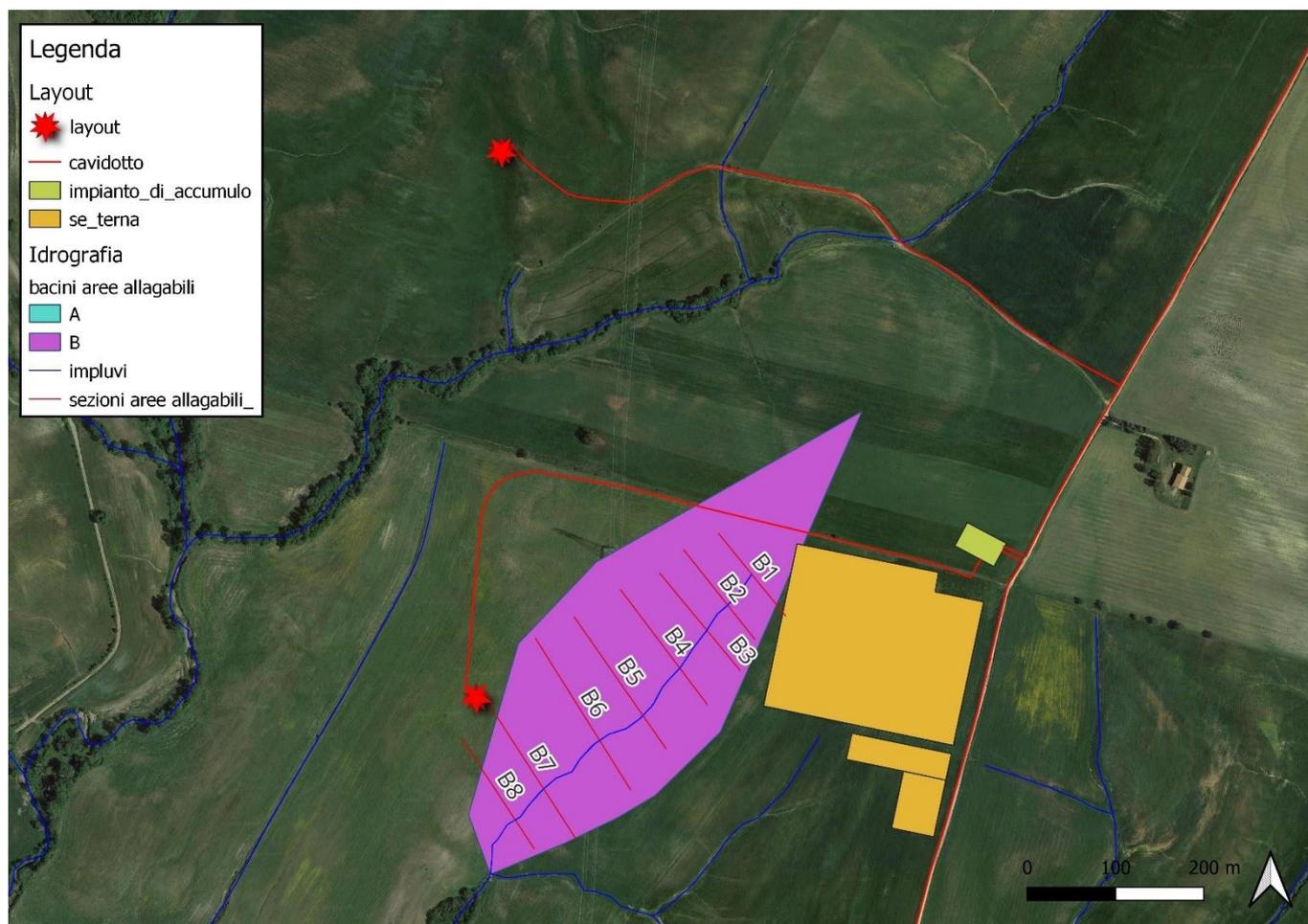


Figura 4: Individuazione impluvio B con le relative sezioni trasversali

### 3.2 Portate di piena

Come portate al colmo di piena sono state considerate quelle ricavate nella precedente analisi idrologica. Le portate, come già anticipato, sono state considerate costanti nel tempo e la simulazione è stata condotta in condizioni di moto permanente.

### 3.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno, necessarie per l'esecuzione della simulazione idrodinamica con il modello, sono le seguenti:

- Condizione al contorno di monte: scala di deflusso in moto uniforme della corrente con una pendenza pari a quella media del ramo rilevato;
- Condizione al contorno di valle: scala di deflusso in moto uniforme della corrente con una pendenza pari a quella media del ramo rilevato.

### 3.4 Parametri di scabrezza

Come parametro di scabrezza è stato utilizzato un coefficiente di Gauckler-Strickler pari a  $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (corrispondente ad un coefficiente secondo Manning pari a  $0.050 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$ ).

Tale coefficiente è stato determinato in base a quanto stabilito nelle tabelle parametriche riportate all'interno del "Manuale dell'Ingegnere" (83a edizione, Nuovo Colombo, Hoepli, 2001).

### 3.5 Risultati delle simulazioni

Come già anticipato in precedenza, la simulazione è stata effettuata utilizzando il modello di calcolo HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers*. Tale simulazione è stata effettuata, per ragioni cautelative, in regime di moto permanente della corrente.

Si è anche verificato come tali condizioni risultino molto cautelative dato che, in caso di simulazioni non stazionarie, i livelli di pelo libero riscontrabili siano nettamente inferiori a causa del fenomeno della laminazione dei colmi di piena.

Nelle figure seguenti, in particolare, è mostrata la planimetria delle aree allagabili dei tratti di impluvi analizzati, mentre nella tabella seguente sono presenti tutti i valori numerici ottenuti dal modello nella configurazione pre intervento.

Per la delimitazione delle aree allagabili sono stati considerati gli eventi con un tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni, ed è stato utilizzato il DTM con risoluzione di cella 10X10 scaricato dal sito dell'ingv (<http://tinality.pi.ingv.it/>) e risalente al 2020.

La metodologia seguita è la seguente:

- in base ai risultati forniti dal modello idrodinamico monodimensionale sono stati assegnati i valori dei livelli di pelo libero a ciascuna sezione trasversale;
- è stato realizzato un TIN ("*triangulated irregular network*", rete irregolare di triangoli) in grado di rappresentare la superficie del pelo libero;
- il TIN precedente è stato convertito in GRID delle stesse dimensioni del DTM;
- è stata effettuata una sottrazione, cella per cella, tra il GRID della superficie del pelo libero e il DTM in modo da ottenere il GRID delle altezze d'acqua.

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Fiora" di potenza nominale pari a 52.8 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Manciano (GR)

Relazione idrologica e idraulica

Stato di fatto - T = 30 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m <sup>2</sup> )	Tensione di parete (N/m <sup>2</sup> )	Numero di Froude (-)
A1	-1	0.00	151.53	0.3	151.63	0.10	7.70	0.70	0.38	32.44	1.01
A2	-2	24.58	149.90	0.3	149.98	0.08	5.49	1.22	0.21	106.68	1.96
A3	-3	44.96	149.42	0.3	149.54	0.12	9.91	0.47	0.56	14.12	0.63
A4	-4	56.66	149.01	0.3	149.13	0.12	18.23	0.22	1.19	2.95	0.28
A5	-5	76.08	148.44	0.3	148.57	0.13	7.36	0.57	0.46	19.71	0.72
A6	-6	93.90	147.66	0.3	147.79	0.13	5.34	0.78	0.33	37.57	1.00
A7	-7	155.31	145.25	0.3	145.41	0.16	5.85	0.56	0.47	17.58	0.63
A8	-8	277.71	140.93	0.3	141.05	0.12	5.59	0.78	0.34	37.87	1.01
A9	-9	403.54	135.74	0.3	135.84	0.10	11.84	0.45	0.58	13.36	0.64
A10	-10	587.82	129.19	0.3	129.27	0.08	13.62	0.50	0.52	18.00	0.81
A11	-11	815.72	119.26	0.3	119.38	0.12	10.40	0.52	0.50	18.58	0.77
B1	-1	0.00	97.35	0.2	97.52	0.17	3.34	0.79	0.28	35.20	0.88
B2	-2	45.02	96.00	0.2	96.12	0.12	7.84	0.47	0.47	13.84	0.61
B3	-3	82.37	94.51	0.2	94.54	0.03	16.76	0.53	0.42	23.60	1.07
B4	-4	134.87	91.55	0.2	91.76	0.21	3.13	0.67	0.33	23.65	0.66
B5	-5	202.78	89.17	0.2	89.27	0.10	6.04	0.71	0.31	32.96	0.99
B6	-6	258.02	86.41	0.2	86.56	0.15	5.74	0.54	0.41	17.24	0.65
B7	-7	343.37	83.26	0.2	83.40	0.14	4.12	0.80	0.27	39.07	0.99
B8	-8	391.58	80.75	0.2	80.93	0.18	3.13	0.81	0.27	36.06	0.87

Tabella 10

Stato di fatto - T = 200 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m <sup>2</sup> )	Tensione di parete (N/m <sup>2</sup> )	Numero di Froude (-)
A1	-1	0.00	151.53	0.5	151.65	0.12	9.47	0.79	0.57	39.11	1.03
A2	-2	24.58	149.90	0.5	150.05	0.15	10.84	0.54	0.84	16.57	0.62
A3	-3	44.96	149.42	0.5	149.56	0.14	12.07	0.54	0.82	17.80	0.67
A4	-4	56.66	149.01	0.5	149.16	0.15	20.12	0.26	1.72	3.79	0.29
A5	-5	76.08	148.44	0.5	148.60	0.16	8.96	0.66	0.68	24.84	0.76
A6	-6	93.90	147.66	0.5	147.82	0.16	6.63	0.87	0.52	43.47	1.00
A7	-7	155.31	145.25	0.5	145.44	0.19	7.11	0.65	0.69	22.36	0.66
A8	-8	277.71	140.93	0.5	141.08	0.15	6.95	0.87	0.52	43.76	1.01
A9	-9	403.54	135.74	0.5	135.86	0.12	12.68	0.54	0.83	17.79	0.67
A10	-10	587.82	129.19	0.5	129.28	0.09	15.00	0.59	0.75	23.51	0.85
A11	-11	815.72	119.26	0.5	119.40	0.14	14.42	0.57	0.79	21.15	0.78
B1	-1	0.00	97.35	0.3	97.55	0.20	3.91	0.83	0.38	36.92	0.85
B2	-2	45.02	96.00	0.3	96.14	0.14	8.82	0.54	0.59	17.28	0.66
B3	-3	82.37	94.51	0.3	94.55	0.04	17.81	0.57	0.56	24.91	1.02
B4	-4	134.87	91.55	0.3	91.78	0.23	3.56	0.75	0.42	27.84	0.69
B5	-5	202.78	89.17	0.3	89.29	0.12	6.97	0.76	0.41	36.75	1.00
B6	-6	258.02	86.41	0.3	86.58	0.17	6.58	0.59	0.54	19.80	0.66
B7	-7	343.37	83.26	0.3	83.42	0.16	4.73	0.88	0.36	44.57	1.01
B8	-8	391.58	80.75	0.3	80.95	0.20	3.58	0.88	0.36	41.34	0.89

Tabella 9

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Fiara" di potenza nominale pari a 52.8 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Manciano (GR)

**Relazione idrologica e idraulica**

Stato di fatto - T = 500 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m <sup>2</sup> )	Tensione di parete (N/m <sup>2</sup> )	Numero di Froude (-)
A1	-1	0.00	151.53	0.5	151.66	0.13	10.15	0.83	0.65	41.93	1.04
A2	-2	24.58	149.90	0.5	150.06	0.16	11.62	0.56	0.96	17.71	0.62
A3	-3	44.96	149.42	0.5	149.57	0.15	12.91	0.57	0.94	19.25	0.68
A4	-4	56.66	149.01	0.5	149.17	0.16	20.90	0.28	1.96	4.11	0.29
A5	-5	76.08	148.44	0.5	148.61	0.17	9.58	0.69	0.78	26.91	0.77
A6	-6	93.90	147.66	0.5	147.83	0.17	7.13	0.90	0.60	45.81	1.00
A7	-7	155.31	145.25	0.5	145.45	0.20	7.57	0.69	0.78	24.74	0.68
A8	-8	277.71	140.93	0.5	141.09	0.16	7.53	0.89	0.61	44.63	1.00
A9	-9	403.54	135.74	0.5	135.87	0.13	12.88	0.58	0.93	19.70	0.69
A10	-10	587.82	129.19	0.5	129.29	0.10	15.21	0.64	0.85	26.02	0.86
A11	-11	815.72	119.26	0.5	119.41	0.15	15.96	0.59	0.91	22.24	0.79
B1	-1	0.00	97.35	0.4	97.56	0.21	4.23	0.85	0.45	37.84	0.84
B2	-2	45.02	96.00	0.4	96.15	0.15	9.36	0.57	0.67	19.34	0.68
B3	-3	82.37	94.51	0.4	94.55	0.04	18.43	0.59	0.65	25.73	1.00
B4	-4	134.87	91.55	0.4	91.79	0.24	3.62	0.87	0.44	37.67	0.80
B5	-5	202.78	89.17	0.4	89.31	0.14	8.04	0.69	0.55	28.58	0.84
B6	-6	258.02	86.41	0.4	86.56	0.15	6.01	0.85	0.45	42.37	1.00
B7	-7	343.37	83.26	0.4	83.43	0.17	5.10	0.91	0.42	46.58	1.01
B8	-8	391.58	80.75	0.4	80.97	0.22	3.84	0.93	0.41	44.35	0.90

**Tabella 10**

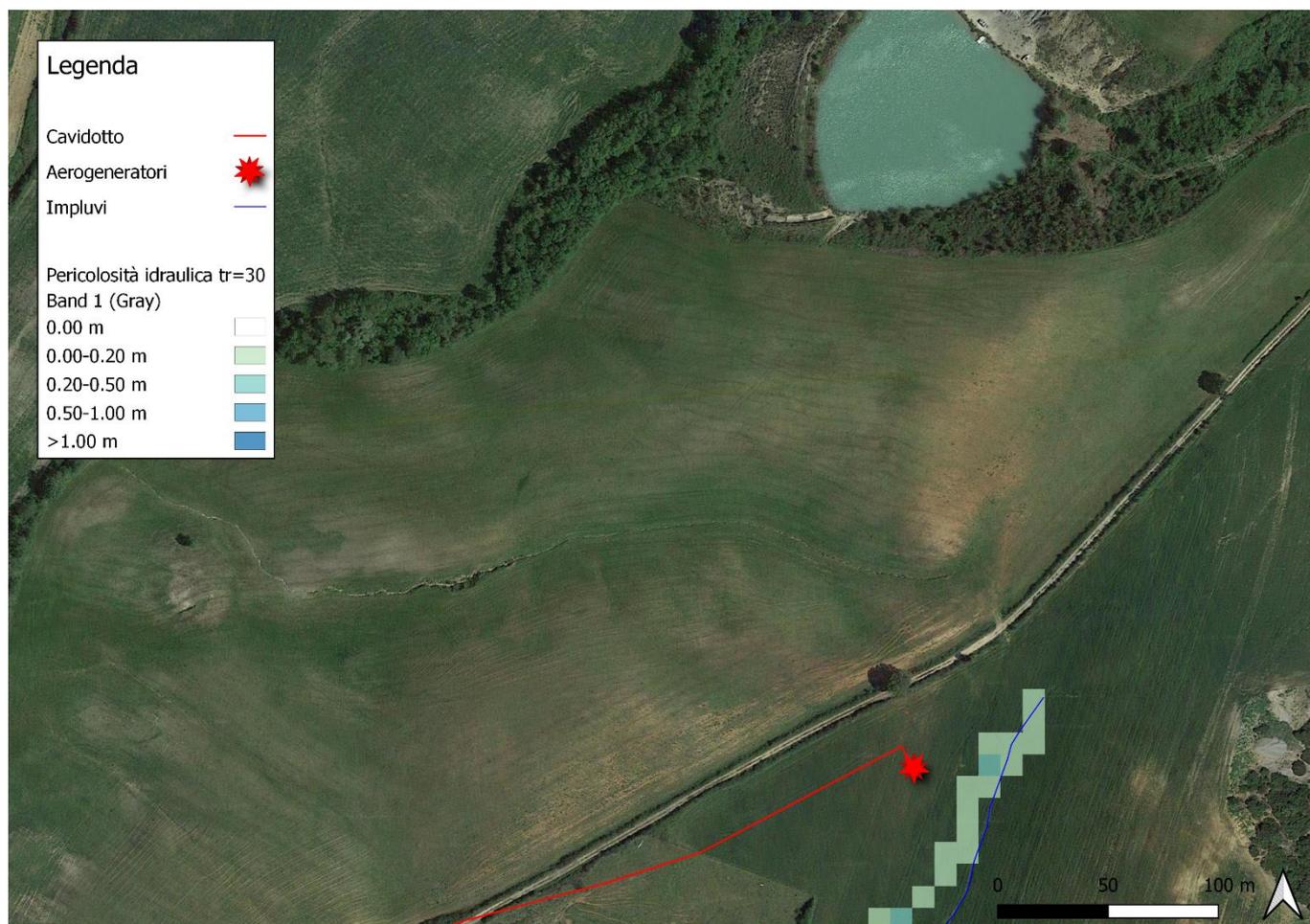


Figura 5: Impluvio A TR=30 anni

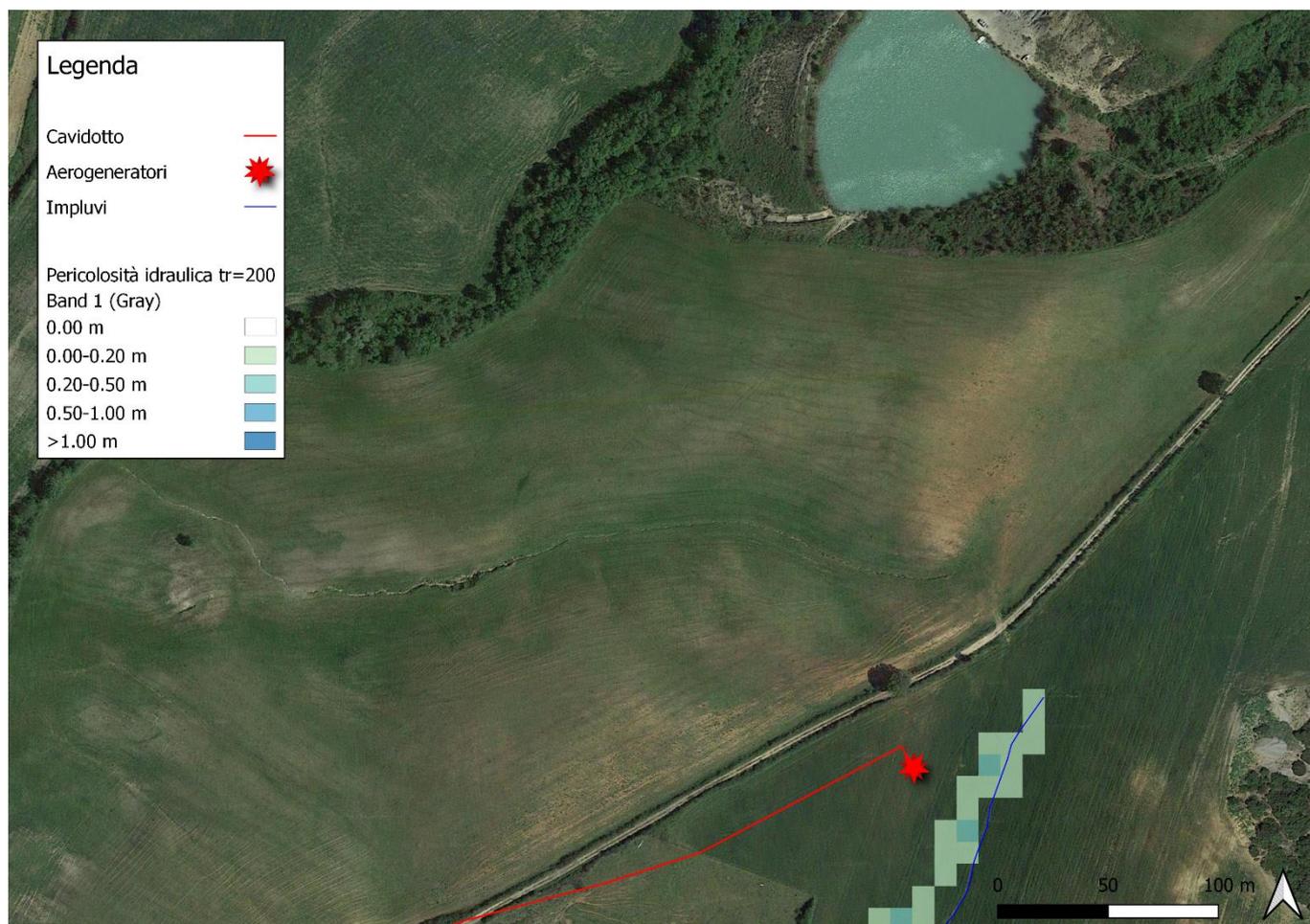


Figura 6: Impluvio A TR=200 anni

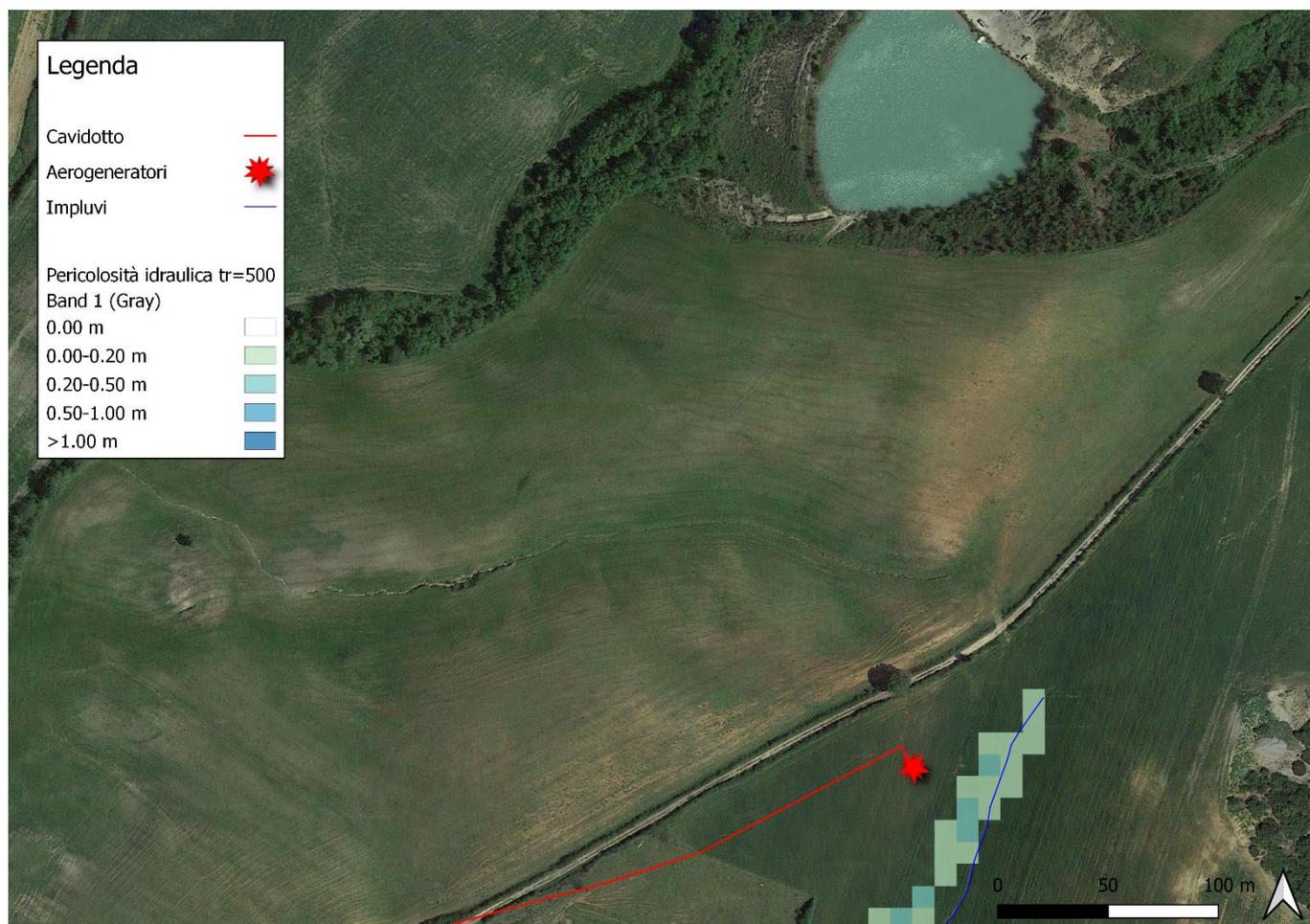


Figura 7: Impluvio A TR=500 anni



Figura 8: Impluvio B TR=30 anni



Figura 9: Impluvio B TR=200 anni



Figura 10: Impluvio B TR=500 anni

Nelle figure precedenti si può notare come il parco non sia interessato dalla presenza di aree allagabili per i vari periodi analizzati.

Per tali ragioni, pertanto, è possibile affermare che l'impianto in progetto è situato in aree idraulicamente sicure.

## 4 Analisi idraulica semplificata

Per dimensionare adeguatamente la quota di posa del cavidotto in corrispondenza degli attraversamenti con gli impluvi, pertanto, è stata calcolata la profondità massima di escavazione da parte della corrente per i fossi di interesse e, per tali scopi, sono stati utilizzati in risultati dell'analisi idraulica per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni sopra descritto.

In primis sono state individuate le interferenze fra il cavidotto e il reticolo idrografico, così come mostrato nell'immagine seguente.

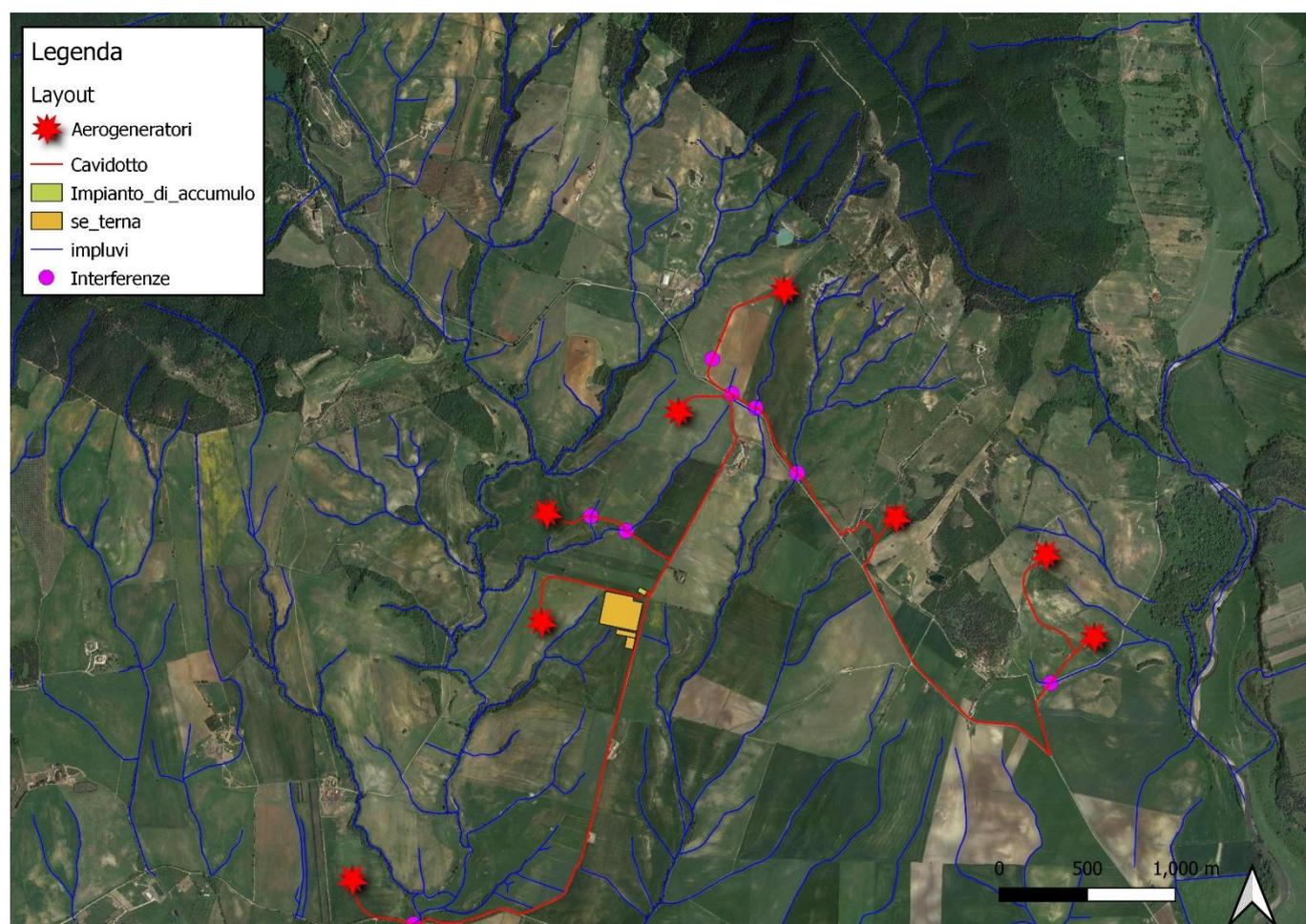


Figura 11: Planimetria delle interferenze

Una volta individuate le interferenze sono stati tracciati i bacini che hanno come sezione di chiusura l'interferenza stessa. Nell'immagine successiva viene mostrata una planimetria dei bacini afferenti alle interferenze.

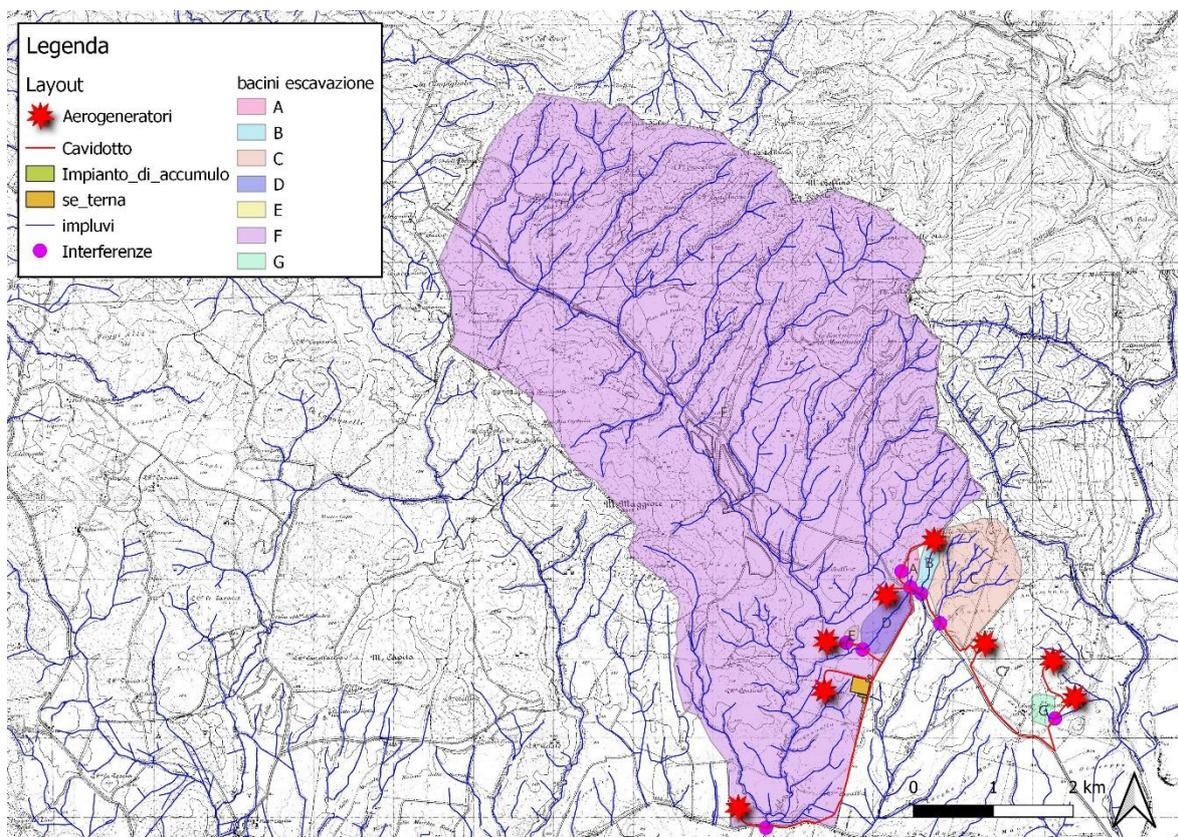


Figura 12: Bacini afferenti alle interferenze

Successivamente sono state calcolate le portate al colmo di piena utilizzando la procedura proposta dal programma VAPI (cfr 2.2). Nella tabella seguente sono riportate le portate calcolate:

Portata al colmo di piena con il metodo razionale				
	$\phi$	Q30	Q200	Q500
Bacino A	0.3	0.133	0.229	0.275
Bacino B	0.3	0.243	0.418	0.503
Bacino C	0.3	1.778	3.056	3.673
Bacino D	0.3	0.501	0.862	1.036
Bacino E	0.3	0.059	0.101	0.121
Bacino F	0.3	16.401	28.191	33.885
Bacino G	0.3	0.234	0.402	0.483

Tabella 11

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):

$$\Psi = 8 \cdot (\Theta - 0.047)^3$$

dove:

- " $\Psi$ " (-): parametro di trasporto;
- " $\Theta$ " (-): 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<sub>s</sub>" (m<sup>2</sup>/s): portata solida (volumetrica) per unità di larghezza;
- "g" (m/s<sup>2</sup>): accelerazione di gravità;
- "d" (m): diametro caratteristico del sedimento;
- "γ<sub>s</sub>" (N/m<sup>3</sup>): peso specifico del sedimento;
- "γ" (N/m<sup>3</sup>): 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<sup>3</sup>, 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'impiuvio in esame.

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	0.06	7.33	0.00104
B2	0.04	15.99	0.00101
C2	0.19	21.66	0.00061
D2	0.02	48.37	0.00080
E2	0.01	25.98	0.00101
F2	0.46	59.25	0.00040
G2	0.01	107.81	0.00064

Tabella: 14

Come è possibile osservare dalla tabella precedente, i risultati dell'applicazione di tale metodologia indicano una profondità di escavazione variabile a 0.01 e 0.46 m per i tratti di interferenza analizzati.

Al fine di tenere conto del franco minimo di sicurezza pari a 1.00 m, previsto dalle norme dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, si prevede di porre in opera il cavidotto in progetto ad una profondità di 1.46 circa per il tratto di interesse relativo alle intersezioni con i fossi di interesse.

Tenuto conto che la profondità di posa del cavidotto è pari ad 1.46 m la strategia risolutiva di tale interferenza è la Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC).

Interferenze	Regime depth (m)	Profondità di posa (m)
2	0.46	1.46
3	0.01	1.01
4	0.02	1.02
5	0.06	1.06
6	0.04	1.04
7	0.19	1.19
8	0.01	1.01

Tabella 12

## 5 Interventi in progetto

In corrispondenza dell'interferenza 2, per favorire l'attraversamento dei mezzi verrà realizzato un tombino idraulico.

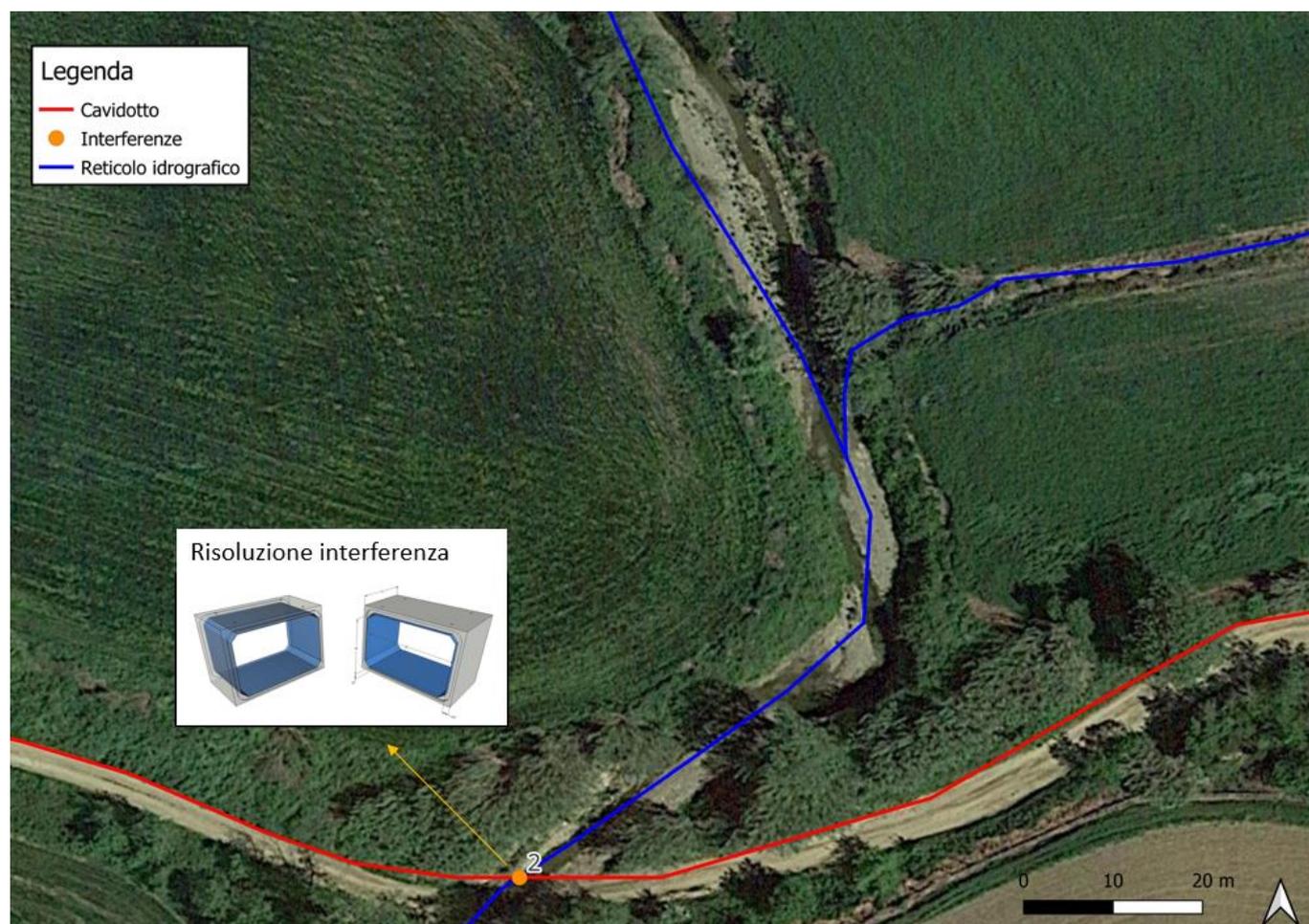


Figura 13: Interferenza oggetto di intervento

Il dimensionamento dell'opera di attraversamento, considerato un tempo di ritorno di 200 anni, è stato effettuato in condizioni di moto uniforme imponendo un franco di sicurezza pari a quello indicato nella "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane", che nel caso in esame, per un'altezza di 1.5 metri è pari a 30 cm.

Come parametro di scabrezza per il tombino in progetto, è stato utilizzato un coefficiente di Gaukler-Strickler pari a  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (corrispondente ad un coefficiente secondo Manning pari a  $0.025 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$ ).

Tali coefficienti sono stati determinati in base a quanto stabilito nelle tabelle parametriche riportate all'interno del "Manuale dell'Ingegnere" (83° edizione, Nuovo Colombo, Hoepli, 2001) in corrispondenza di "piccoli corsi di pianura, puliti, diritti e senza ristagni d'acqua".

Per la seguente interferenza verranno posati in opera tre tombini idraulici. Nella tabella seguente è riportata la verifica delle opere di attraversamento in progetto, che risultano essere di uguale dimensione, e la massima portata che può defluire al loro interno garantendo un franco di sicurezza di 30 cm.

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Fiara" di potenza nominale pari a 52.8 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Manciano (GR)

Relazione idrologica e idraulica

Opera	Input			
	Pendenza (-)	Scabrezza (m <sup>1/2</sup> /s)	Base (m)	Altezza (m)
Tombino in progetto T=200	0.007	40	2.75	1.75
Opera	Calcoli			
	Franco di sicurezza (m)	Tirante idrico (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Raggio idraulico (m)
Tombino in progetto T=200	0.35	1.40	3.85	0.69
Opera	Output			
	Velocità media (m/s)	Portata defluita (m <sup>3</sup> /s)	Portata di progetto (m <sup>3</sup> /s)	Numero di Froude (-)
Tombino in progetto T=200	2.58	9.95	9.39	0.70

Tabella 13: Verifica tombino in corrispondenza dell'interferenza 2

Come si evince dai risultati riportati in tabella, le opere in progetto, rettangolari con base di 2.75m e altezza di 1.75m, risultano sufficienti a contenere le portate defluenti da monte, garantendo un adeguato franco di sicurezza. Le stesse considerazioni sono state fatte per quanto riguarda le interferenze 3 e 4.

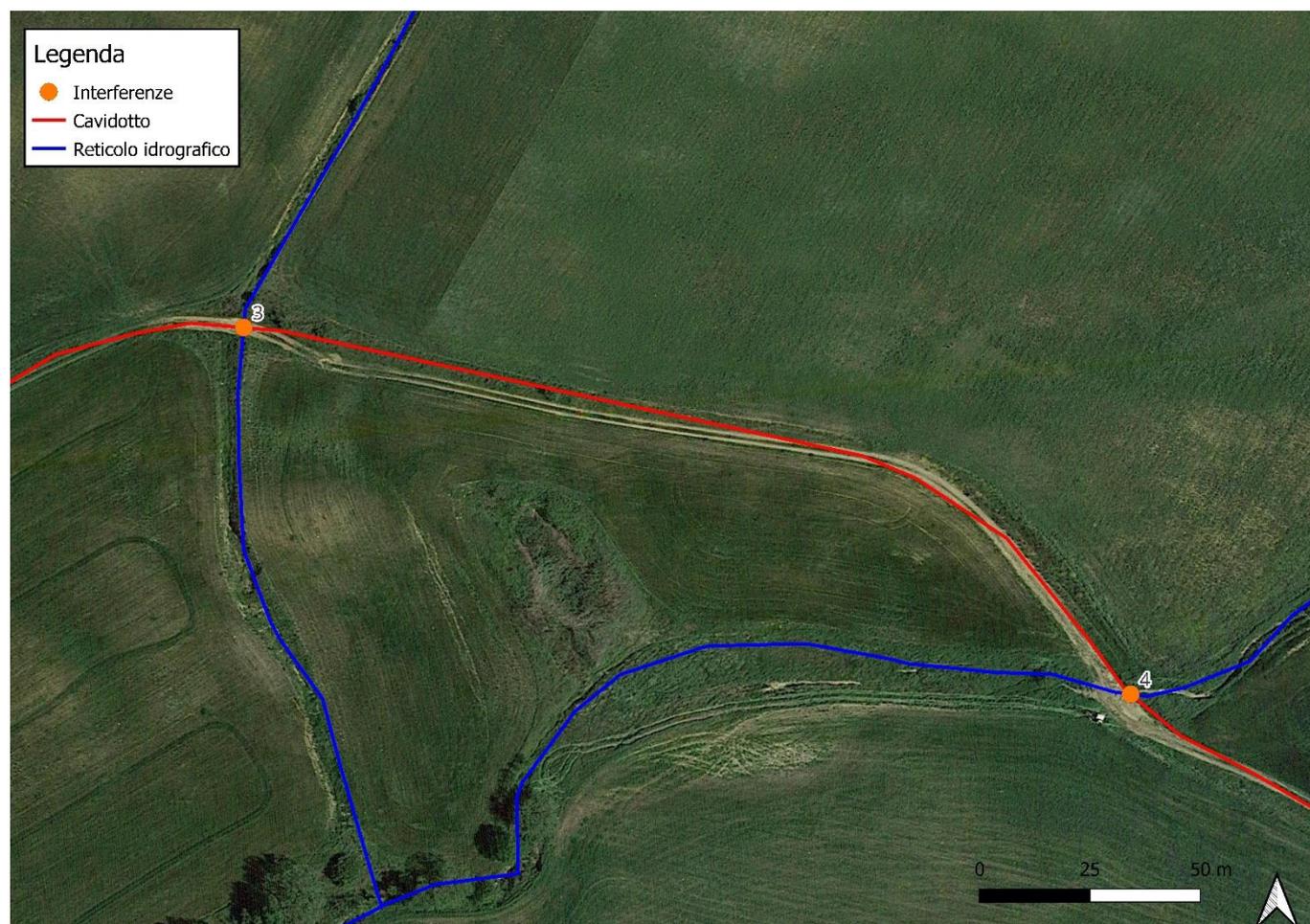


Figura 14: Interferenze oggetto di intervento

Nelle tabelle seguenti sono riportate le verifiche delle opere di attraversamento in progetto:

Opera	Input			
	Pendenza (-)	Scabrezza (m <sup>1/2</sup> /s)	Base (m)	Altezza (m)
Tombino in progetto T=200	0.051	40	1.00	0.75
Opera	Calcoli			
	Franco di sicurezza (m)	Tirante idrico (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Raggio idraulico (m)
Tombino in progetto T=200	0.20	0.55	0.55	0.26
Opera	Output			
	Velocità media (m/s)	Portata defluita (m <sup>3</sup> /s)	Portata di progetto (m <sup>3</sup> /s)	Numero di Froude (-)
Tombino in progetto T=200	3.68	2.02	0.105	1.58

**Tabella 14: Verifica tombino in corrispondenza dell'interferenza 3**

Opera	Input			
	Pendenza (-)	Scabrezza (m <sup>1/2</sup> /s)	Base (m)	Altezza (m)
Tombino in progetto T=200	0.007	40	1.00	1.00
Opera	Calcoli			
	Franco di sicurezza (m)	Tirante idrico (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Raggio idraulico (m)
Tombino in progetto T=200	0.20	0.80	0.80	0.31
Opera	Output			
	Velocità media (m/s)	Portata defluita (m <sup>3</sup> /s)	Portata di progetto (m <sup>3</sup> /s)	Numero di Froude (-)
Tombino in progetto T=200	1.53	1.22	0.862	0.54

**Tabella 15: Verifica tombino in corrispondenza dell'interferenza 4**

Come si può notare dalle tabelle, per l'interferenza 3, il tombino in progetto è rettangolare con base di 1m e altezza di 0.75m, mentre per l'interferenza 4 il tombino in progetto ha una base di 1m e un'altezza di 1m, questi ultimi quindi risultano sufficienti a contenere le portate defluenti da monte, garantendo un adeguato franco di sicurezza.

## 6 Conclusioni

La presente relazione accompagna il progetto di realizzazione di un impianto di energia elettrica da fonte eolica, con potenza nominale pari a 52.8 MW da realizzare nel comune di Manciano (GR).

Nel presente studio è stata effettuata sia un'analisi idrologica volta alla determinazione delle portate al colmo di piena mediante il metodo VAPI per tempi di ritorno pari 30, 200 e 500 anni e due analisi idrauliche.

- Una in moto permanente che grazie all'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello US Army Corps of Engineers, è finalizzata alla valutazione delle modalità di deflusso degli eventi di piena al fine di stabilire i massimi valori del livello di pelo libero e, di conseguenza, di valutare le effettive estensioni delle aree a diversa pericolosità idraulica;
- Un'analisi idraulica semplificata per la valutazione della profondità di escavazione del ramo in corrispondenza dell'interferenza con il cavidotto.

Dallo studio idraulico è emerso che l'impianto non risulta interessato da aree a pericolosità idraulica generato dai vari impluvi.

Per tali scopi, pertanto, si è considerato un valore di riferimento per il franco di sicurezza corrispondente a quello prescritto della "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) del 2001 che prevede:

- Il 50% dell'altezza utile se questa non supera i 40cm;
- 20 cm se l'altezza utile è compresa tra i 40 e i 100 cm;
- Il 20% dell'altezza utile se questa è superiore a 100 cm.

Come si può notare il cavidotto risulta interferente con alcuni rami del reticolo idrografico, ed in particolare in corrispondenza dell'interferenza 2 verranno inseriti tre tombini idraulici, rettangolari, con base di 2.75m e altezza di 1.75m. In corrispondenza delle interferenze 3 e 4 verranno posti in opera dei tombini con dimensioni rispettivamente di 1m per 0.75m e di 1m per 1m. La profondità di scavo massima per garantire una corretta posa del cavidotto, comprensiva del franco di sicurezza idraulico, non supera 1.46 m, come già precisato in precedenza, la tecnica migliore per la risoluzione delle presenti interferenze risulta essere la T.O.C.