

REGIONE
MOLISE



COMUNE DI
ROTELLO



COMUNE DI
MONTORIO NEI FRENTANI



Provincia
Campobasso



**PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 8 AEROGENERATORI E
DALLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N.**

**RELAZIONE DI COMPATIBILITA'
IDROLOGICA IDRAULICA**

ELABORATO

A.3

PROPONENTE:



PROGETTO E SIA:



Il DIRETTORE TECNICO
Dott. Ing. Orazio Tricofico



CONSULENZA:

EM./REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
0	GIUGNO 2021	B.B.	A.A. - O.T.	A.A. - O.T.	Progetto definitivo

INDICE

1	Premessa	2
2	Descrizione delle opere di progetto.....	3
3	Aree soggette a tutela dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale	7
4	Interferenze opere di progetto con il reticolo idrografico	11
5	Individuazione del bacino idrografico.....	17
6	Inquadramento geologico e geomorfologico del bacino di studio.....	19
7	Analisi idrologica.....	20
	7.1 Curve di possibilità climatica.....	21
8	Analisi idraulica.....	23
	8.1 Valutazione delle portate di piena.....	23
	8.1 Metodo Razionale.....	24
	8.2 Metodo del VA.PI.....	28
	8.3 Considerazioni finali sulle portate di piena	29
9	Conclusioni	36



1 Premessa

Il presente elaborato viene redatto nell'ambito del progetto di realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica tramite conversione da fonte eolica costituito da **8 turbine aventi potenza complessiva pari a 48 MW** da realizzare in zone classificate agricole, non di pregio, dagli vigenti strumenti urbanistici comunali, da ubicare nel territorio dei comuni di **Montorio nei Frentani** a nord e **Rotello** a sud (CB).

Il sito di intervento è situato nell'area a nord dell'abitato di Rotello, a circa 1500 m, ad est a circa 3700 m dal centro abitato del comune di Montorio nei Frentani, a nord est a circa 3400 m dal centro abitato di Montelongo, ad sud-est a circa 5000 m dal centro abitato di Larino e a sud a circa 3400 m dal centro abitato di Ururi.

È raggiungibile da nord, direttamente dalla SS87 Sannitica per circa 18 km ed innestarsi nella SP148 e successivamente nella SP73, sino allo svincolo con la SP40 per poi giungere all'area di impianto.

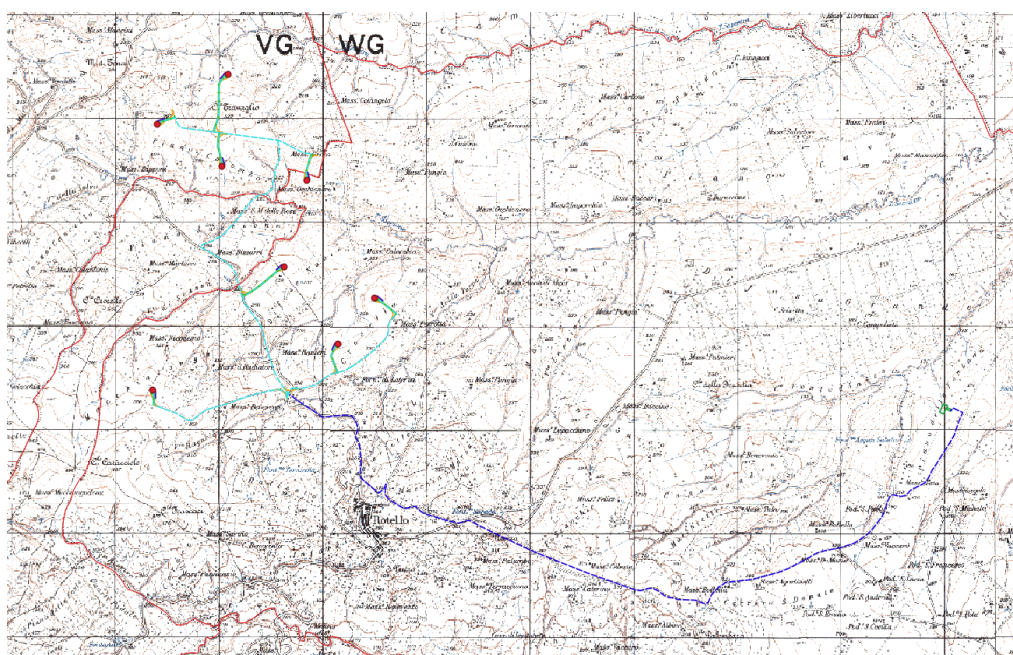


Figura 1 – Inquadramento su IGM 1:25.000



2 Descrizione delle opere di progetto

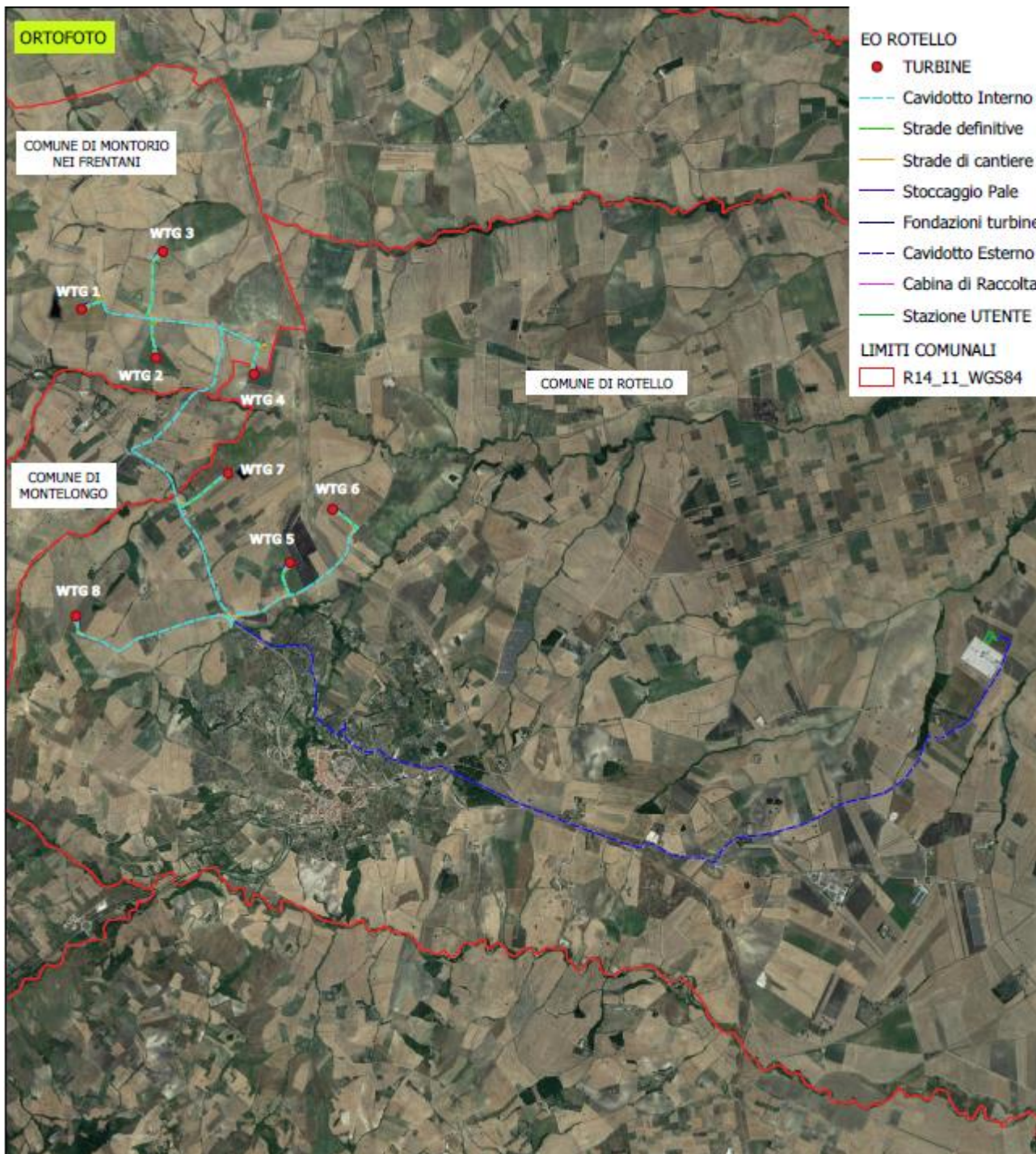


Figura 2 – Inquadramento su ortofoto

L'ubicazione degli aerogeneratori e delle infrastrutture necessarie è stata evidenziata sugli stralci planimetrici degli elaborati progettuali.



Tali aerogeneratori, collegati in gruppi, convoglieranno l'energia elettrica prodotta alla Stazione Elettrica di trasformazione utente da ubicarsi nel territorio comunale di Rotello, collegata in antenna a 150 kV con la sezione 150 kV della stazione elettrica di trasformazione (SE) della RTN 380/150 kV di Rotello.

Gli interventi per l'installazione dei singoli aerogeneratori sono analoghi per le diverse aree; pertanto, di seguito saranno descritte le tipologie standard previste in progetto.

Le coordinate geografiche nel sistema UTM (WGS84; Fuso 33) ove sono posizionati gli aerogeneratori sono le seguenti:

ID TURBINA	UTM WGS84 33N Est (m)	UTM WGS84 33N Nord (m)
WTG01	498331 m E	4625757 m N
WTG02	498955 m E	4625350 m N
WTG03	499014 m E	4626238 m N
WTG04	499775 m E	4625213 m N
WTG05	500435 m E	4624081 m N
WTG06	500078 m E	4623636 m N
WTG07	499559 m E	4624383 m N
WTG08	498284 m E	4623187 m N

Per quanto riguarda l'inquadramento catastale delle opere, il layout del parco eolico e la Sottostazione elettrica interesseranno i territori comunali di Rotello e di Montorio nei Frentani (CB). Si riportano di seguito gli estremi catastali dei lotti interessati:

Si riportano di seguito gli estremi catastali dei lotti interessati:

ELEMENTI PROGETTUALI	COMUNE	FOGLIO	PARTICELLA
WTG01	MONTORIO NEI FRENTANI	10	33
WTG02	MONTORIO NEI FRENTANI	11	18
WTG03	MONTORIO NEI FRENTANI	11	18
WTG04	ROTELLO	9	104



WTG05	ROTELLO	24	15
WTG06	ROTELLO	23	51
WTG07	ROTELLO	9	34-123
WTG08	ROTELLO	21	12-72
CABINA DI SMISTAMENTO	ROTELLO	23	124
STAZIONE ELETTRICA UTENTE 150kV	ROTELLO	30	14

Le opere civili sono propedeutiche a consentire la viabilità di parco e la futura posa in opera degli aerogeneratori e delle altre apparecchiature elettromeccaniche; sono previste in questa fase:

- scotico superficiale dello spessore medio di 50 cm, in corrispondenza della viabilità e delle piazzole di progetto;
- scavi di sbancamento, da approfondirsi fino alle quote di progetto, in corrispondenza delle fondazioni delle torri eoliche e delle apparecchiature della Sottostazione;
- costruzione delle strutture di fondazione in c.a. delle torri eoliche, nonché delle apparecchiature elettromeccaniche e degli edifici in sottostazione utente;
- formazione di rilevati stradali, con materiali provenienti da cave di prestito oppure dagli stessi scavi se ritenuti idonei, comunque tali da soddisfare i requisiti di granulometria, portanza e grado di addensamento idoneo, da stabilirsi in fase di progettazione esecutiva;
- formazione di fondazioni stradali con materiali inerti provenienti da cave di prestito, tali da soddisfare i requisiti di granulometria, portanza e grado di addensamento idoneo, da stabilirsi in fase di progettazione esecutiva; potranno essere previsti elementi di rinforzo della fondazione stradale, quali geogriglie o tecniche di stabilizzazione del sottofondo;
- finitura della pavimentazione stradale in misto granulare stabilizzato, eventualmente con legante naturale ecocompatibile;
- opere di regimazione delle acque meteoriche;



- eventuale realizzazione di impianti di trattamento delle acque di superficie in corrispondenza delle aree logistiche di cantiere; grigliatura, dissabbiatura, sedimentazione e filtrazione;
- costruzione di cavidotti interrati per la futura posa in opera di cavi MT, da posarsi in trincee della profondità media di 1,2mt, opportunamente segnalati con nastro monitore, con eventuali protezioni meccaniche supplementari (tegolini, cls, o altro) accessibili nei punti di giunzione;
- la larghezza minima della trincea è variabile in funzione del numero di cavi da posare;
- in corrispondenza dei cavidotti da eseguirsi lungo la viabilità asfaltata, si provvederà al ripristino della pavimentazione stradale mediante binder in conglomerato bituminoso, e comunque rispettando i capitolati prestazionali dell'ente proprietario delle strade;
- costruzione di piazzole temporanee per il montaggio degli aerogeneratori, e successiva riduzione per la configurazione definitiva per la fase di esercizio.



3 Aree soggette a tutela dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale

Dall’analisi vincolistica, è emerso che l’area oggetto di intervento ricade nel territorio di competenza dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale (ex Autorità di Bacino Interregionale dei fiumi Fortore, Saccione, Trigno-Regionale Molise) per cui si è considerato il **Piano Stralcio per l’Assetto Idrologico del Bacino interregionale del Fiume Saccione** redatto dalla stessa Autorità.

Nello specifico l’area, come si evince dalle immagini seguenti, non ricade in area a Pericolosità o Rischio Idraulico.

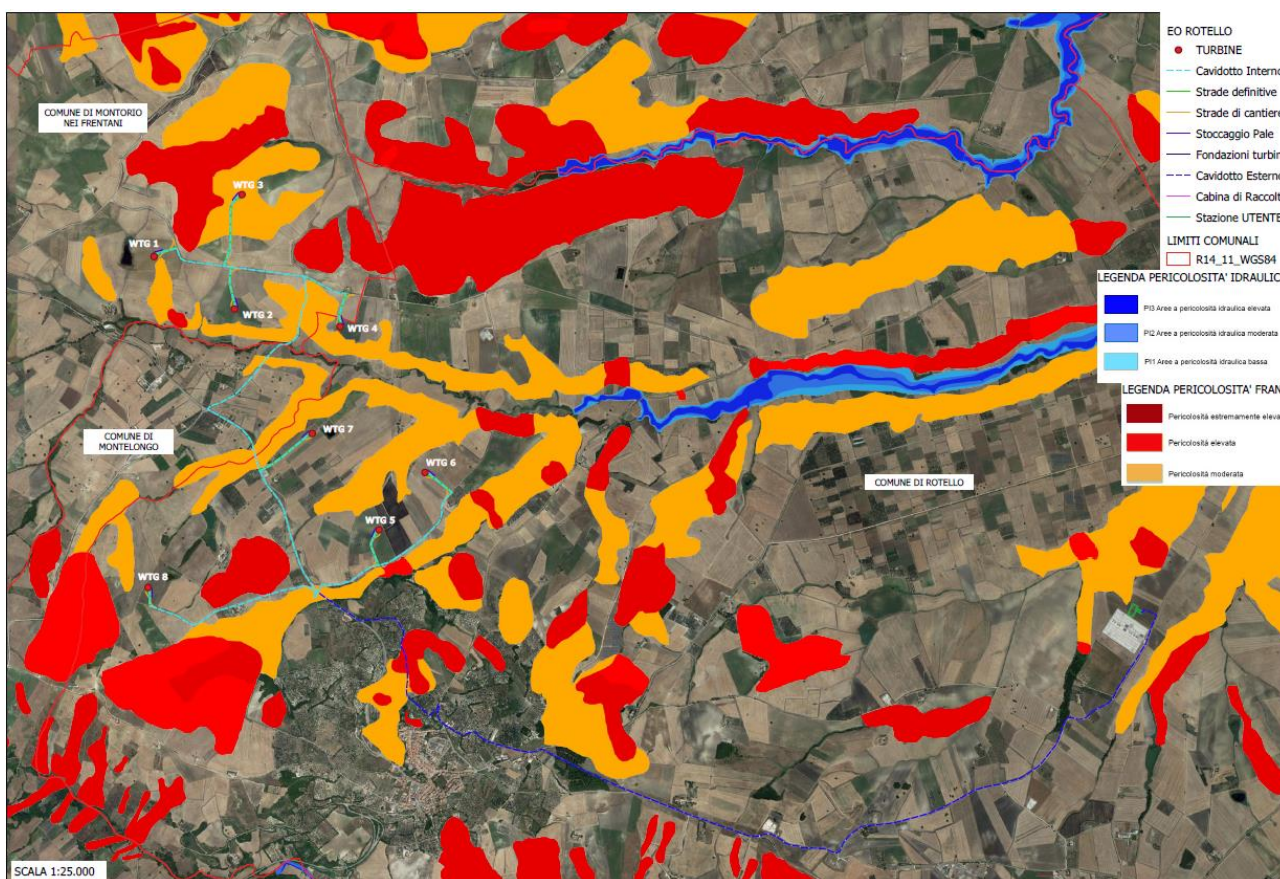


Figura 3 – Carta delle aree a pericolosità idraulica e frana su base ortofoto



Dall'analisi della Carta delle Aree soggette a Rischio Idrogeologico del Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), redatta dalla stessa Autorità di Bacino, si evince che **solo uno degli aerogeneratori, il WGT03, ricade in area a Moderato Rischio di Frana (PF1), ma risulta ugualmente ammissibile ai sensi degli art.27 delle NTA del Saccione.**

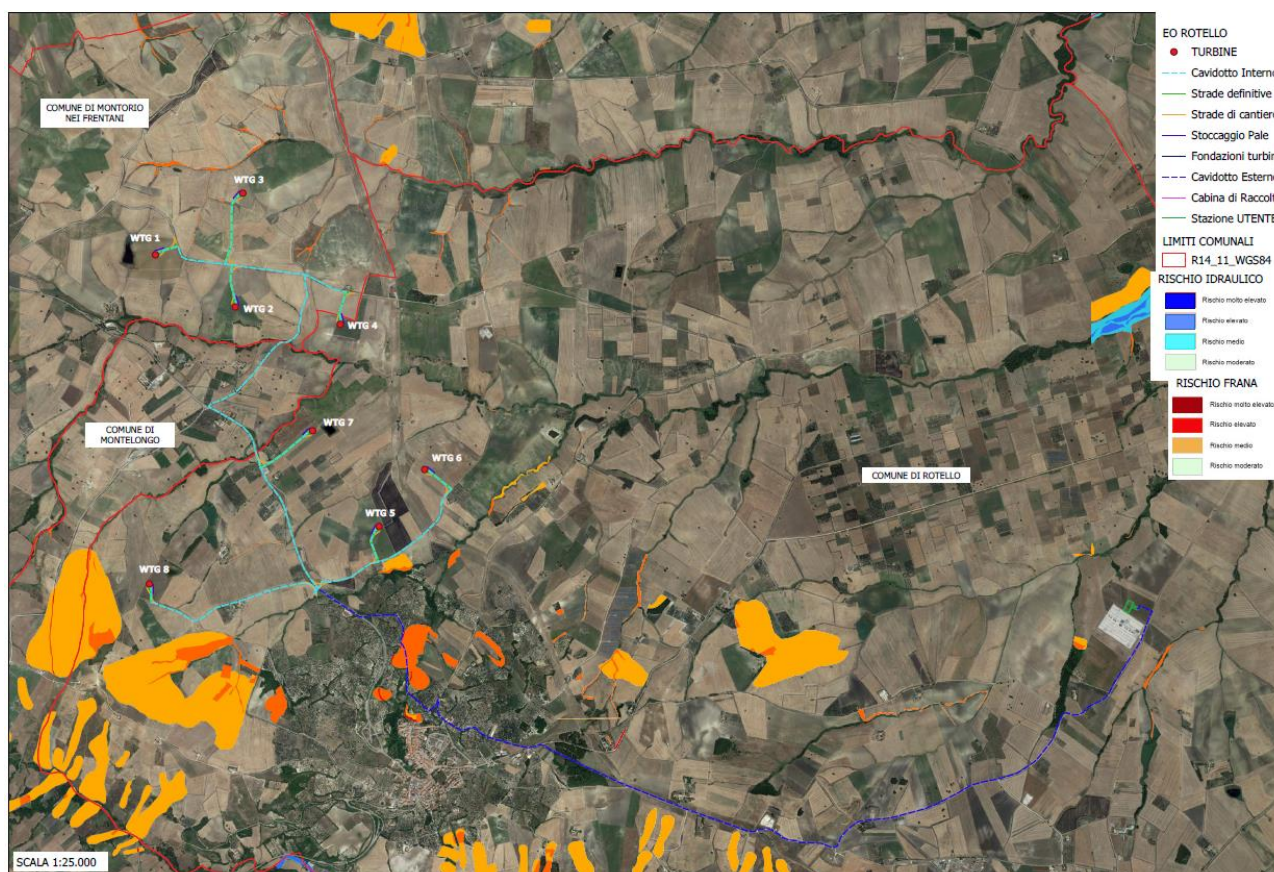


Figura 4 – Carta delle aree a rischio idraulico e frana su base ortofoto

Le aste del reticolo idraulico ufficiale regionale non interferiscono con le aree di installazione degli aerogeneratori, tuttavia vi sono alcune aste della Carta IGM 1:25.000, distanti meno di 150 m dalle zone destinate agli interventi in oggetto, che sono state considerate nel presente studio.

Per quest'ultime si è successivamente modellato il comportamento idraulico in moto permanente, tramite l'utilizzo del software Hec-Ras. Da tali modellazioni sono stati esclusi i segmenti di testa dei corsi d'acqua, episodici e secondari, dove l'aerogeneratore, con relative opere annesse, sebbene sito a meno di 150 m, sia risultato, dall'orografia del territorio, a quota più alta rispetto al corso d'acqua.



In tal caso, infatti, è già garantita la sicurezza idraulica delle opere a farsi, in quanto anche l'inizio di uno scorrimento superficiale di acque meteoriche dovute a portate di piena, anche duecentennali, non andrebbe ad interferire con l'area delle opere di progetto, situate morfologicamente distante dal punto di origine di tale deflusso idrico.

Pertanto, le due aste successivamente modellate sono un'asta sita a circa 45 m dalla WGT03 e un'asta sita a circa 20 m dalla WGT06.

Per ciò che concerne il cavidotto di collegamento in MT sono stati individuati tutti gli attraversamenti dello stesso con aste del reticolo ed, in seguito, verranno illustrate le modalità di risoluzione delle interferenze.

Inoltre, la Stazione Utente è posizionata ad una distanza di circa 92 m dal corso d'acqua presente sulla carta IGM, tale da garantire la sicurezza idraulica della stessa.

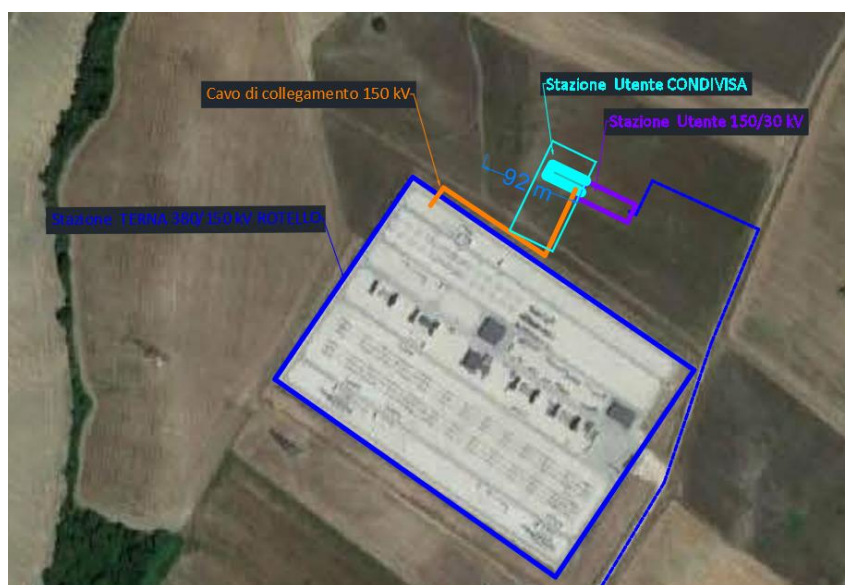


Figura 5 – Posizionamento della SE rispetto al corso d'acqua

Pertanto, il proponente dell'intervento, ha redatto il presente **Studio di Compatibilità Idrologica ed Idraulica (conforme all'allegato 2 delle NTA)** con il quale vengono illustrate le modalità di intervento e la compatibilità idraulica delle opere di progetto.



C'è da rilevare, comunque, che, ai sensi del **comma 1 dell'art.28 delle NTA del Fiume Saccione**, *“La realizzazione di opere pubbliche e/o dichiarate di pubblico interesse nella fascia di pericolosità può essere autorizzata dall’Autorità competente in deroga ai conseguenti vincoli, previa acquisizione del parere favorevole del Comitato Tecnico dell’Autorità di Bacino, a patto che:*

- a) si tratti di servizi essenziali non delocalizzabili;*
- b) non pregiudichino la realizzazione degli interventi del PAI;*
- c) non concorrano ad aumentare il carico insediativo;*
- d) siano realizzati con idonei accorgimenti costruttivi;*
- e) risultino coerenti con le misure di protezione civile di cui al presente PAI e ai piani comunali di settore.”*

Pertanto, in ogni caso, l'impianto in oggetto è compatibile con le prescrizioni e le finalità del P.A.I..

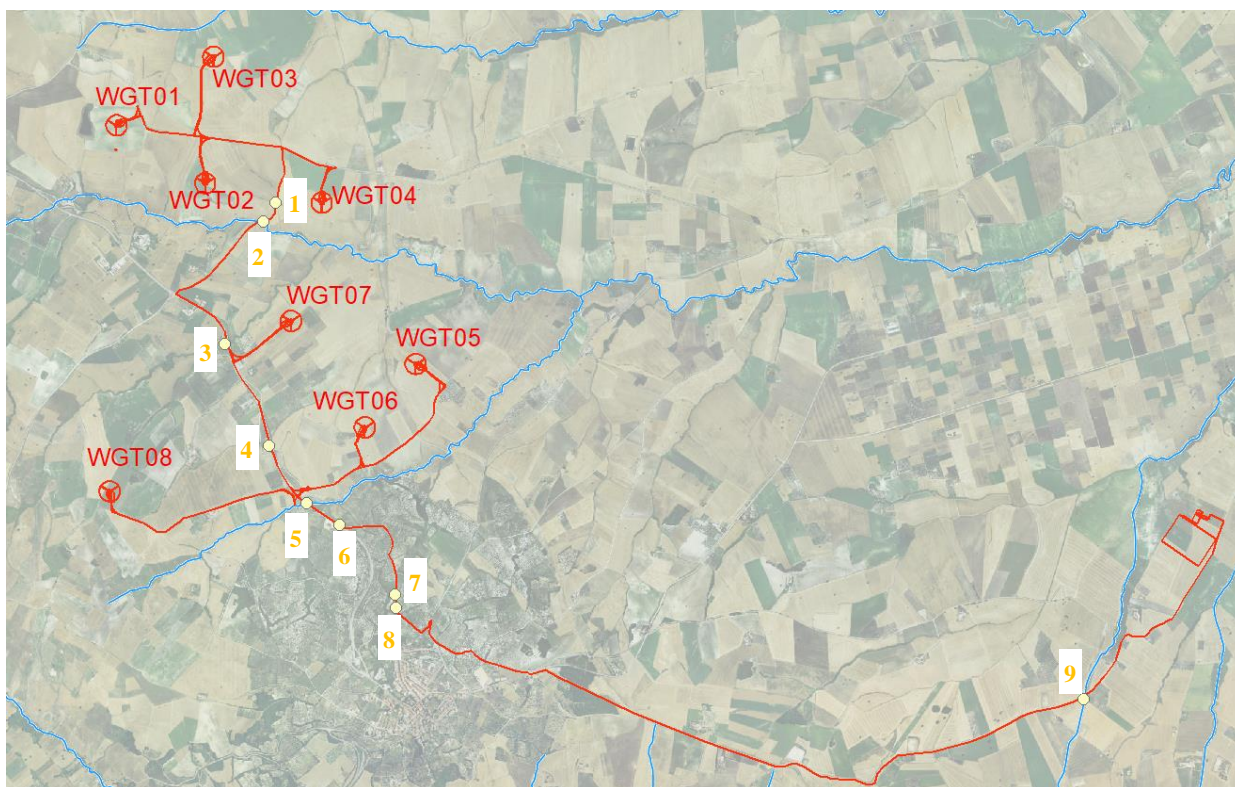
Lo studio idrologico-idraulico è stato organizzato secondo i seguenti punti:

- analisi e descrizione delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici relativi alle aree di intervento;
- studio idrologico del bacino di interesse, previa caratterizzazione del regime climatico delle aree;
- analisi e valutazione della compatibilità idraulica delle opere oggetto di autorizzazione.



4 Interferenze cavidotto interrato con il reticolo idrografico

Dall'analisi delle interferenze del cavidotto di collegamento con il reticolo idrografico si sono individuati n.9 attraversamenti, di cui tre con il reticolo ufficiale (n.2-5-9) e sei con il reticolo della carta IGM(n.1-3-4-6-7-8).



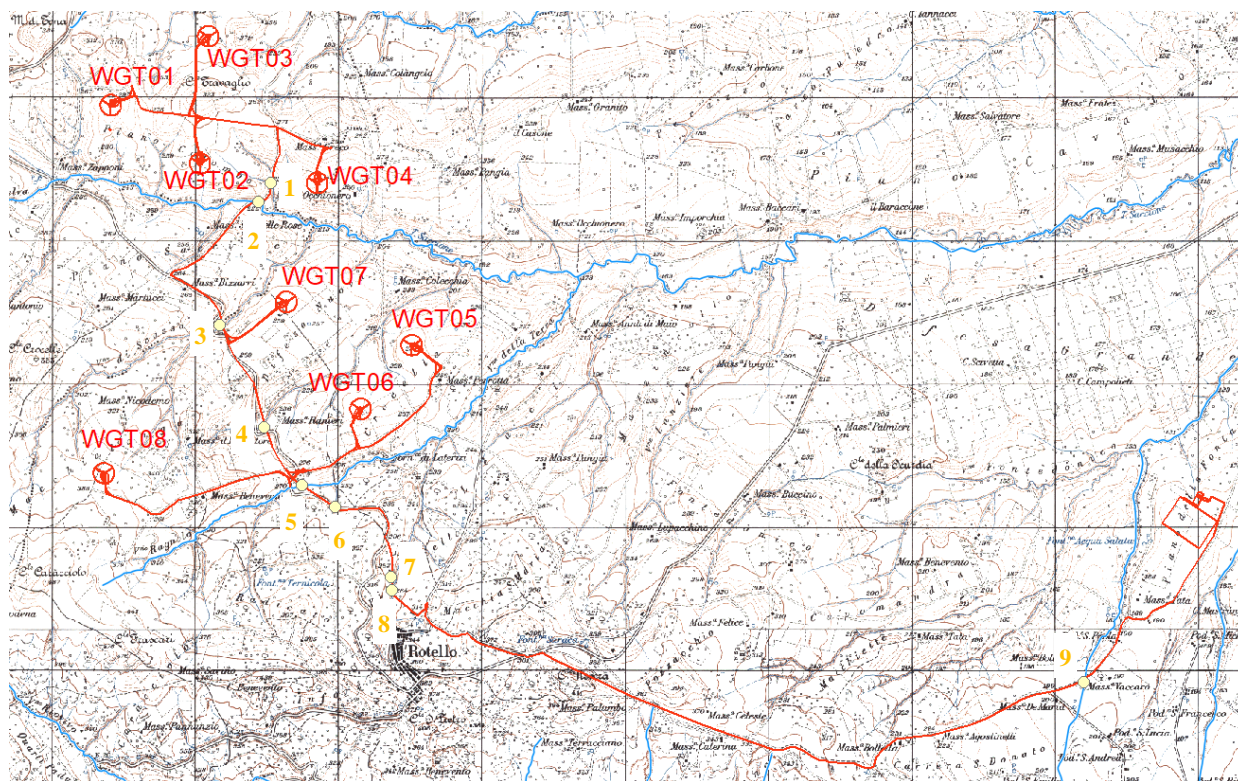


Figura 6 – Attraversamenti cavidotto e reticolo idrografico.

Sulla base delle informazioni rilevate su ortofoto e rilievo in sito, è stato possibile classificare le caratteristiche degli attraversamenti, su strade asfaltate, presenti lungo l'alveo dei corsi d'acqua, principali e secondari, interferenti con il cavidotto.

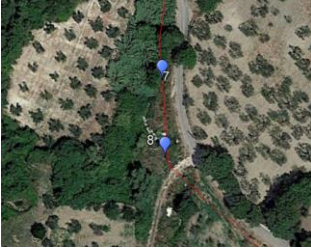

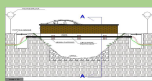
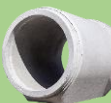
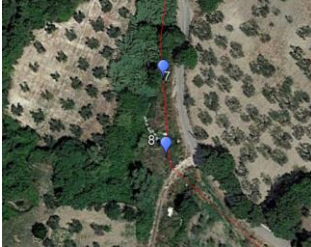

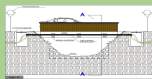
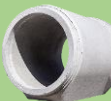
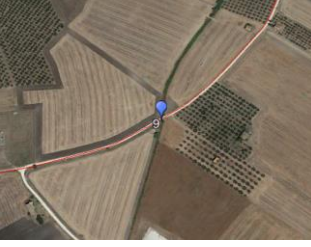

I n.9 attraversamenti individuati sono caratterizzati dalla seguente tipologia di intervento:

- Staffaggio sull'impalcato di un ponte stradale o di un tombino d'attraversamento esistente (lato valle rispetto al deflusso del corso d'acqua);
- Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) con vasche di entrata ed uscita posizionate a distanza tale da non interferire con l'ampiezza dell'area inondabile eccezionale
- Scavo e rinterro con ripristino dell'attuale stato dei luoghi



NP	NOME	PLANIMETRIA	FOTO	TIPOLOGIA ATTRAVERSAMENTO
1	Attraversamento corso d'acqua secondario con strada non asfaltata			SCAVO E RINTERRO
2	Attraversamento Saccione con strada non asfaltata			TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA
3	Attraversamento corso d'acqua secondario con strada asfaltata			STAFFAGGIO SU PONTE ESISTENTE LATO VALLE
4	Attraversamento corso d'acqua secondario con strada asfaltata			STAFFAGGIO SU PONTE ESISTENTE LATO VALLE
5	Attraversamento corso d'acqua principale con strada asfaltata			STAFFAGGIO SU PONTE ESISTENTE LATO VALLE
6	Attraversamento corso d'acqua secondario con strada asfaltata			STAFFAGGIO SU CUNICOLO LATO VALLE



7	Attraversamento corso d'acqua secondario con strada asfaltata			STAFFAGGIO SU CUNICOLO LATO VALLE  
8	Attraversamento corso d'acqua secondario con strada asfaltata			STAFFAGGIO SU CUNICOLO LATO VALLE  
9	Attraversamento corso d'acqua principale con strada asfaltata			SCAVO E RINTERRO

Tali scelte progettuali garantiscono che, nella sezione di attraversamento:

- non venga alterata la conformazione fisica e geologica del canale;
- non venga ristretta la sezione libera del canale;
- non venga alterato in alcun modo il naturale deflusso delle acque, anche in regime di piena.

La posa in opera del cavidotto mediante **staffaggio** riguarda, soltanto i tratti di cavidotto scelti in modo da attraversare i corsi d'acqua su ponticelli, tombini e cunicoli già esistenti.

Lo staffaggio non richiede cambiamenti di sezione sia dell'alveo naturale che dell'attraversamento, per cui questo intervento implica un impatto nullo sull'ambiente idrico, in quanto non verrà alterato il deflusso delle acque. Il cavidotto viene, appunto, staffato, in tubo camicia, all'impalcato del ponte sul lato di valle, in maniera da non subire alcuna influenza anche durante la eventuale piena duecentennale e senza alterare minimamente le caratteristiche fisiche e strutturali del ponticello, oltre che le condizioni di deflusso in alveo.



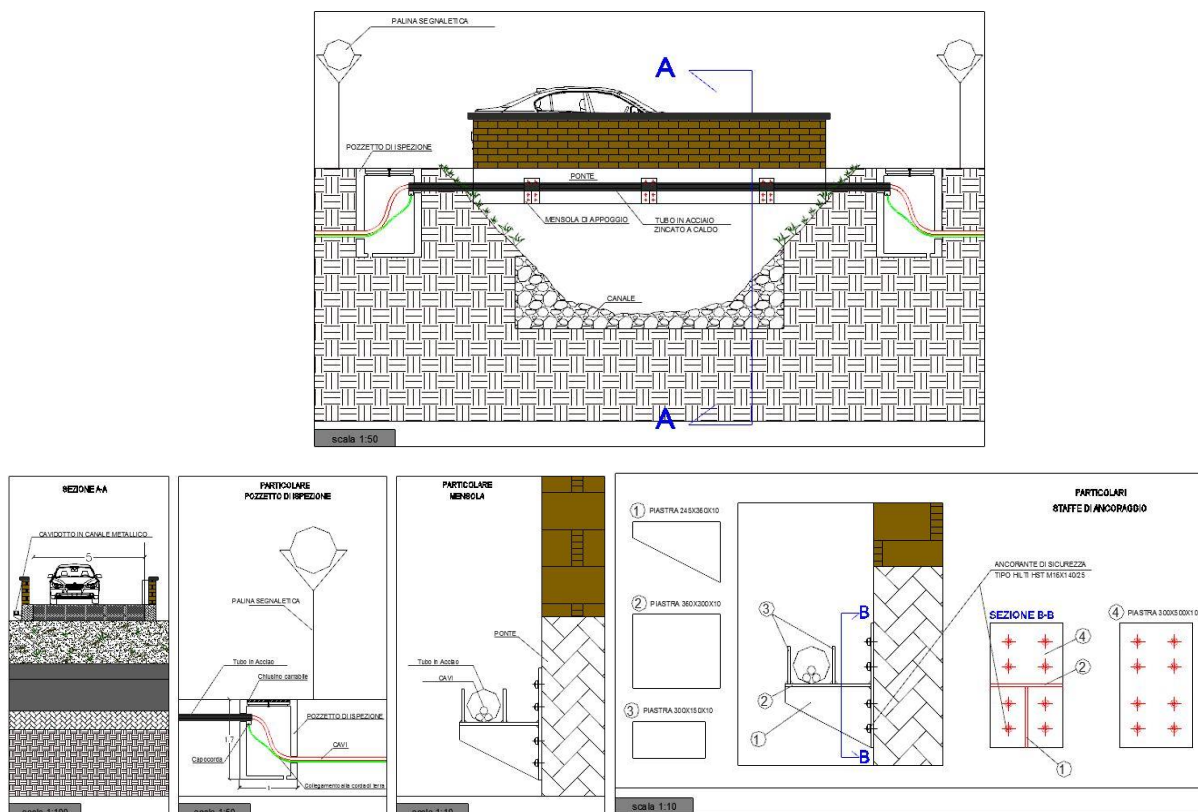


Figura 7 – Particolari tipologici “staffaggio lato valle”.

La tecnica della **trivellazione orizzontale controllata** (TOC o Directional Drilling) verrà effettuata secondo i seguenti step:

- 1) scavo per l’esecuzione delle buche di partenza e arrivo necessarie,
- 2) esecuzione del foro pilota,
- 3) alesatura del foro fino al raggiungimento del diametro utile alla posa,
- 4) fornitura e posa dei tubi previsti ed esecuzione giunzione dei tubi,
- 5) riempimento della parte eccedente dei fori con sabbia,
- 6) posa di filo di tiro,
- 7) posa delle linee elettriche ed in fibra ottica,
- 8) esecuzione delle necessarie giunzioni di raccordo alle linee cavi interrati, rinterro e ripristino delle buche.



Il cavidotto verrà posato ad una profondità pari ad almeno 1,5 m rispetto alla quota del fondo dell'alveo. L'intervento verrà eseguito rigorosamente in sicurezza idraulica al fine di avere il cavidotto in posizione di tutta sicurezza rispetto alle possibili ondate di piena.

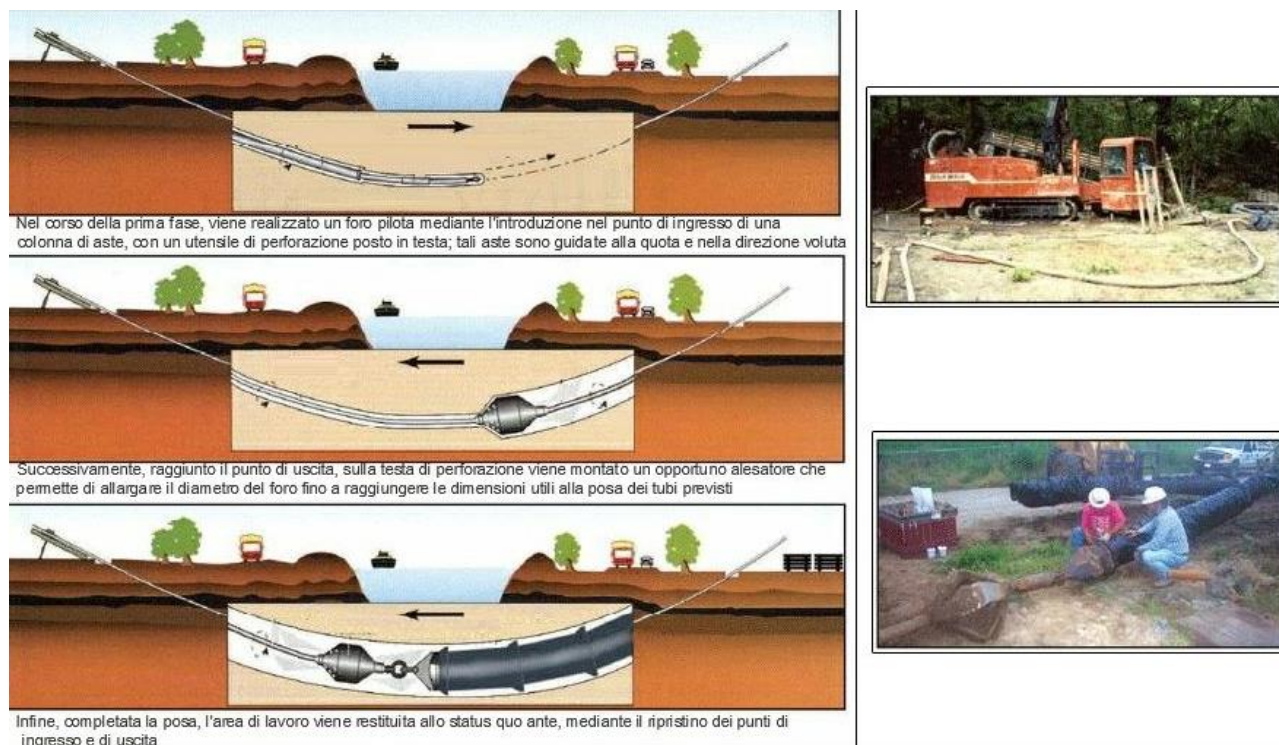


Figura 8 – Fasi tipologiche lavorazione TOC.

5 Individuazione dei bacini idrografici

Dall'analisi dell'orografia dell'area di intervento sono stati individuati due bacini idrografici afferenti alle sezioni di chiusura individuata a valle delle due aste di successiva modellazione idraulica.

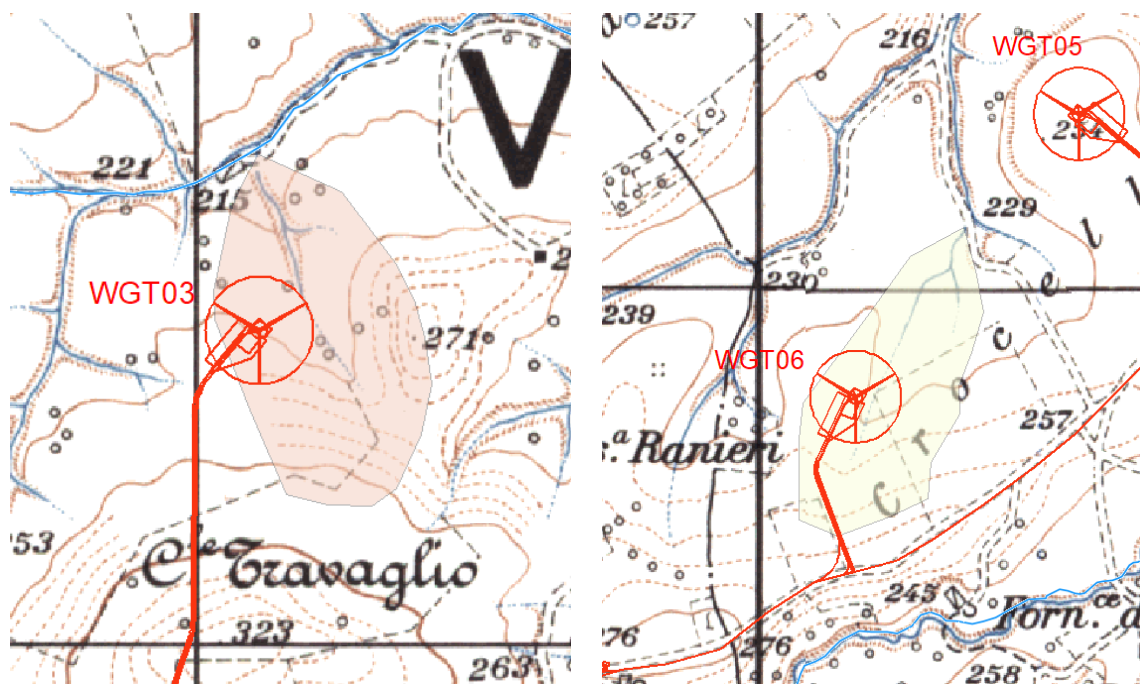


Figura 9 - Inquadramento dei bacini idrografici.

I parametri geomorfologici caratteristici del bacino idrografico sono indicati nelle tabelle seguenti:

Bacino Idrografico WGT03		
Lungh. dell'asta princ.	[Km]	0.37
H massima del bacino	[m]	271.00
H media del bacino	[m]	243.00
H minima del bacino	[m]	215.00
H monte dell'asta princ.	[m]	255.00
H media dell'asta princ	[m]	235.00
Superficie del Bacino	[Kmq]	0.10
Pendenza media del bacino	[%]	15.14
Pendenza media dell'asta principale	[m/m]	0.11
Bacino Idrografico WGT06		
Lungh. dell'asta princ.	[Km]	0.42



<i>H massima del bacino</i>	[m]	255.00
<i>H media del bacino</i>	[m]	240.00
<i>H minima del bacino</i>	[m]	225.00
<i>H monte dell'asta princ.</i>	[m]	250.00
<i>H media dell'asta princ</i>	[m]	237.50
<i>Superficie del Bacino</i>	[Kmq]	0.09
<i>Pendenza media del bacino</i>	[%]	7.23
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	[m/m]	0.06

Tabella 1 - Parametri geomorfologici.



6 Inquadramento geologico e geomorfologico del bacino di studio

Le aree interessate dalla realizzazione dell'opera in progetto ricadono nel Foglio 154-Larino della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000 (cfr. Figura 10). Dal punto di vista geologico, in relazione a quanto riportato dalla Carta Geologica d'Italia, l'area è interessata da:

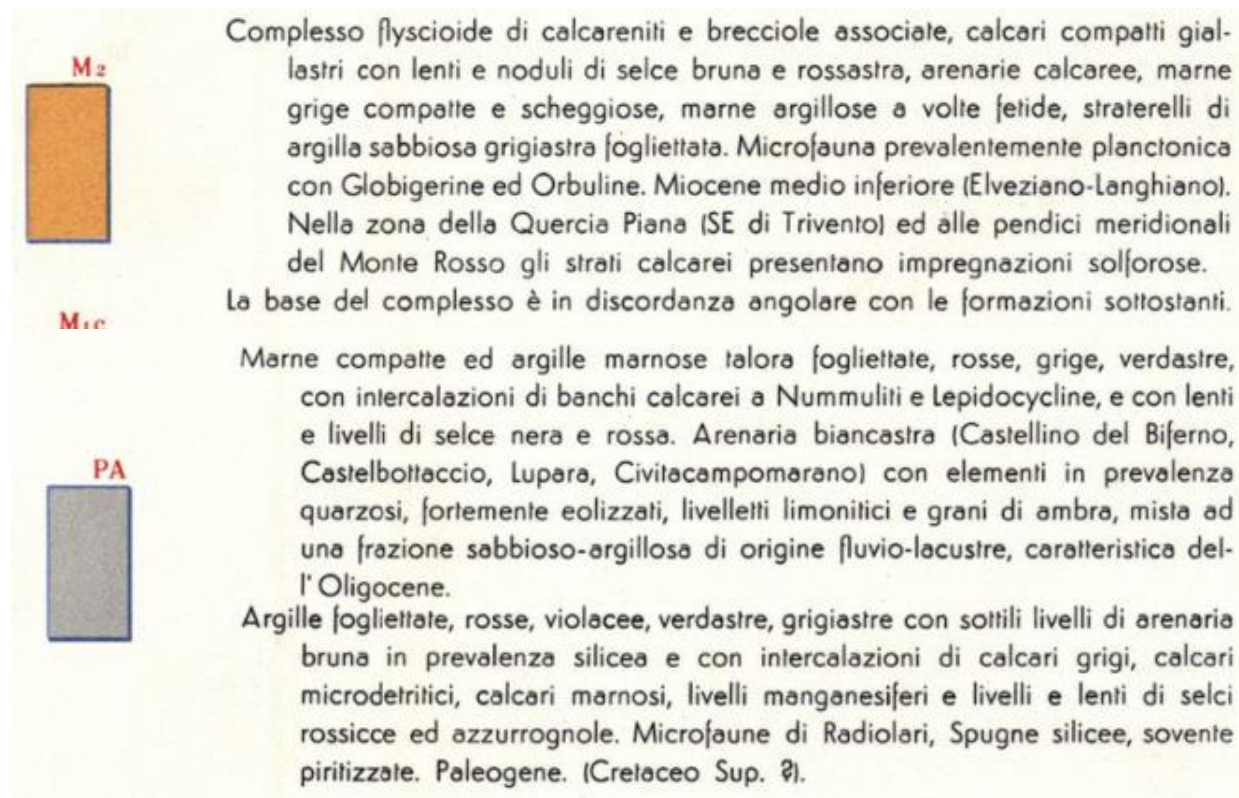


Figura 10 - Stralcio della carta geologica d'Italia (Fg.154 –scala 1:100.000).



7 Analisi idrologica

Lo studio idrologico del bacino idrografico relativo agli interventi in oggetto è stato condotto adottando la metodologia basata sulla ricostruzione delle curve di possibilità pluviometrica a partire dai dati di piovosità ricavati dagli Annali Idrologici, verificando l'adattabilità alla serie campionaria alle distribuzioni di probabilità dei valori estremi (Gumbel, Frechet, Log-Normale a due e tre parametri, Gamma a due e tre parametri). In questo ultimo caso, si è avuto cura di verificare l'adattamento della serie campionaria alla popolazione attraverso il test di Kolmogorov o del χ^2 .

Per quanto concerne, invece, la valutazione dei deflussi naturali nelle sezioni di interesse si è fatto ricorso all'analisi comparata dei risultati derivati dall'applicazione di alcune relazioni, a base geomorfologica, atte a definire il tempo di corrivazione del bacino.

In particolare, si sono utilizzati i risultati rinvenuti dall'applicazione delle relazioni fornite da Giandotti (1934), Kirpich (1940), Chow (1962), Pezzoli (1970), Watt & Chow (1985) e da Ferro (2002), sulle cui peculiarità e limiti di applicabilità si illustrerà dettagliatamente nel seguito.

Va, infine, evidenziato che i valori dei tempi di ritorno (T_R) utilizzati per la definizione delle curve di possibilità climatica e, di conseguenza, per la stima degli eventi di piena sono quelli che il P.A.I del Bacino Trigno definisce per la valutazione delle aree ad pericolosità idraulica elevata (P3), moderata (P2) e bassa (P1).

In particolare, essi sono per le aree a:

- Alta Probabilità di Inondazione (**P3**) **$T_R = 30$ anni.**
- Moderata Probabilità di Inondazione (**P2**) **$T_R = 200$ anni.**
- Bassa Probabilità di Inondazione (**P1**) **$T_R = 500$ anni.**



7.1 Curve di possibilità climatica

Il metodo per il calcolo degli afflussi pluviometrici è quello che prevede la determinazione delle equazioni delle curve di possibilità climatiche a diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni) a partire dai dati di pioggia reperibili sugli Annali Idrologici.

Di seguito, si riporta la tabella relativa alle serie di eventi pluviometrici (cfr. tabella seguente) di una vicina stazione pluviometrica, utili alla determinazione delle curve di possibilità climatica.

Stazione di:	TRIVENTO				
	durata [ore]				
anni	1	3	6	12	24
1994	29,0	38,0	50,6	58,0	61,0
1995	16,0	18,0	37,0	39,8	60,0
1996	15,4	22,2	42,0	60,0	65,6
1997	13,8	22,2	23,8	24,0	35,0
1998	12,0	21,0	22,2	29,0	39,0
1999	25,0	26,0	28,0	28,0	35,0
2000	22,0	31,0	47,8	71,2	72,6
2001	13,4	13,4	16,0	23,8	33,8
2002	38,0	43,4	43,6	46,2	70,0
2003	28,2	32,2	32,8	43,6	82,4

Tabella 2 - Serie degli eventi pluviometrici – stazione di Trivento.

A partire da tali dati, utilizzando procedure note e pertanto qui non descritte, si giunge alla determinazione della equazione della curva di pioggia nella forma:

$$h=a \cdot t^n$$

L'elaborazione dei dati pluviometrici ha condotto, per i bacini idrografici di interesse, alla determinazione delle curve di possibilità climatica per i differenti tempi di ritorno.

Stazione pluviometrica	a	n
TRIVENTO (Tr = 30 anni)	37.560	0.284
TRIVENTO (Tr = 200 anni)	49.316	0.279
TRIVENTO (Tr = 500 anni)	54.960	0.277

Tabella 3 – Parametri a e n della equazione della curva di pioggia relativi alla Stazione di Trivento.

Si riportano di seguito delle tabelle riassuntive relative alle altezze di pioggia ricavate utilizzando la distribuzione probabilistica di Gumbel (cfr. tabella seguente):



Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
30 anni	40.131	47.128	60.006	78.626	95.137
200 anni	52.967	61.010	77.454	103.333	122.168
500 anni	59.130	67.675	85.832	115.197	135.146

Tabella 4 – Altezze di pioggia (mm) – Stazione di Trivento.

Nelle figure seguenti si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per i bacini in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura di tali bacini.

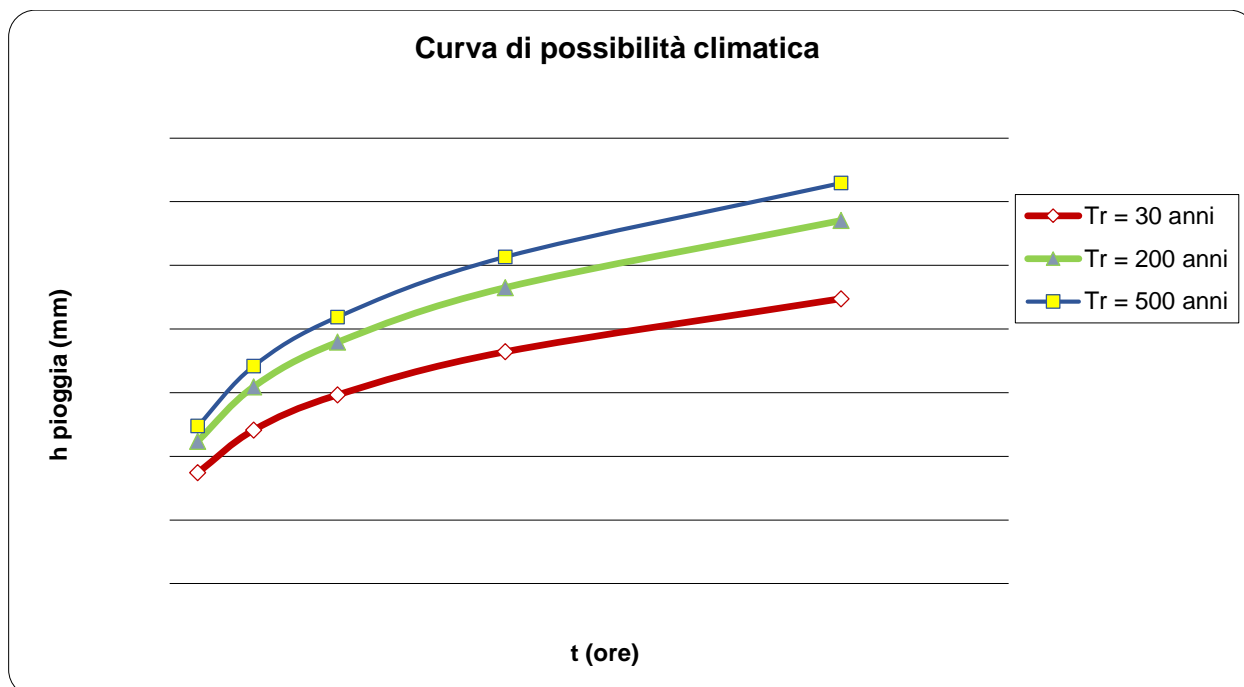


Figura 11 - Curve possibilità climatica delle metodologie Gumbel.



8 Analisi idraulica

L'analisi idraulica, necessaria al calcolo della portata di massima piena per i bacini individuati nell'area in questione, può essere condotta secondo vari metodi, tra i quali possono essere considerati:

- i metodi empirici, che si basano unicamente su parametri morfologici del bacino in esame, senza tenere in considerazione alcuna misura pluviometrica o idrometrica;
- i metodi semiempirici (utilizzati nel presente studio), che valutano la portata anche in funzione dell'altezza di pioggia;
- i metodi analitici, che si basano sull'ipotesi di una correlazione diretta tra afflussi deflussi.

Il metodo da utilizzare dipende innanzitutto dal tipo di verifica idraulica che si intende condurre, in quanto, se si affronta un'analisi in moto permanente o addirittura uniforme, la portata massima può essere calcolata con metodi semplificati tipo il cinematico o razionale; quando la situazione morfologica ed idrografica diventa alquanto complessa, può rendersi indispensabile una verifica in moto vario e, di conseguenza, diventa necessario conoscere la forma dell'idrogramma di piena attraverso l'applicazione di metodi analitici.

In generale, nei casi di regolarità dell'asta fluviale e del bacino idrografico di pertinenza, è generalmente impiegato uno studio in moto permanente ricorrendo al metodo razionale per la determinazione della portata di massima piena.

8.1 Valutazione delle portate di piena

La stima delle portate di piena è stata effettuata applicando metodi analitici di tipo semplificato, in grado di definire, su base geomorfologica, un parametro chiave nel processo di generazione dei deflussi di piena, quale il tempo di corrivazione del bacino (t_c).

In particolare, è stato applicato, a diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni), il metodo di razionale e il metodo del VA.PI..



8.1 Metodo Razionale

Per la determinazione della massima piena temibile è stato utilizzato il metodo razionale, che rappresenta un metodo indiretto basato sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari a:

$$Q = \frac{c * h * A * k}{t_c}$$

Q = portata di piena [m³/sec]

c = coefficiente di deflusso

h = pioggia netta [mm]

A = area del bacino [km²]

t_c = tempo di corrivazione [ore]

k = 0.2777 (fattore che tiene conto della non uniformità delle unità di misura).

Il valore di *h* rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione *t_c*: infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo *t_c* solo una parte del bacino *A* contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena.

Il *tempo di corrivazione*, che è un parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

Il tempo di corrivazione di un bacino è generalmente definito come il tempo necessario alla goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura dello stesso.

Una relazione frequentemente utilizzata per il calcolo di tale grandezza è quella proposta da Giandotti (1934), valida per bacini idrografici aventi superficie (**A**) variabile tra 170 e 70000 km², che si esplicita nella seguente relazione:



$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}} \quad (6)$$

nella quale t_c è espresso in ore, A in km^2 mentre L , la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua a partire dallo spartiacque, è espressa in km e H_m , altitudine media del bacino, riferita alla sezione di chiusura, in metri sul livello del mare.

Pezzoli (1970), analizzando il comportamento di alcuni bacini piemontesi, ha proposto, invece, una diversa espressione del tempo di corrivazione che ha la seguente forma:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \quad (7)$$

nella quale t_c è espresso in ore e L in km. Il parametro i_a rappresenta la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

Kirpich, infine, utilizzando i dati sperimentali di sei bacini americani, nel 1940, aveva proposto una correlazione grafica tra il tempo di corrivazione e il rapporto $\frac{L}{\sqrt{i_a}}$. Tale grafico, successivamente integrato dal contributo di altri dati sperimentali, ha condotto alla formulazione della seguente equazione, comunemente nota con il nome di equazione di Kirpich.

$$t_c = 0.00325 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77} \quad (10)$$

Il complesso dei valori determinabili con le succitate equazioni può essere ben rappresentato da un'unica espressione (Ferro, Sistemazione dei Bacini Idrografici, McGraw Hill, 2002), che integra tutti i contributi sperimentali derivanti dalle esperienze condotte, ed ha la seguente equazione, nel seguito denominata P-C-W-K:

$$t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.8} \quad (11)$$

nella quale t_c è espresso in minuti e L in metri.

Applicando le relazioni succitate, con riferimento parametri geomorfologici dei bacini di interesse, si sono ottenuti i seguenti risultati:



	P-C-W-K (h)	Giandotti (h)	Pezzoli (h)	Kirpich (h)
BACINO WGT03	0.102	0.427	0.062	0.073
BACINO WGT06	0.142	0.580	0.093	0.099

Tabella 5 – Valori del tempo di corrivazione (t_c) dei Bacini idrografici di interesse con le diverse relazioni presenti in letteratura.

Tuttavia, la valutazione successiva di stima della portata di piena di calcolo è stata eseguita facendo riferimento al tempo di corrivazione valutato dalla MEDIA dei risultati precedenti.

I valori del tempo di corrivazione desunti per il bacino oggetto del presente studio, sono riportati nella tabella seguente:

	Media (h)
BACINO WGT03	0.166
BACINO WGT06	0.228

Tabella 6 – Valori dei tempi di corrivazione (t_c) adottati per la stima della portata di piena.

Per ciò che concerne il coefficiente di deflusso ϕ , esso è stato stimato effettuando una media pesata dei valori stimati per le differenti sub-aree isoparametriche caratterizzate da un determinato valore di tipo di terreno, dal punto di vista della geologia e dell'uso del suolo, sulla base dei valori consigliati in letteratura; i pesi sono stati calcolati in funzione delle sotto aree sull'area totale del bacino individuato.

Tra le numerose indicazioni esistenti nella letteratura tecnico-scientifica per la valutazione del coefficiente di deflusso, sono stati utilizzati i valori indicati dal Manuale di Ingegneria Civile riportati nella tabella seguente:



Tipo di terreno	Coltivato	Pascolo	Bosco
Molto permeabile: sabbia o ghiaia	0.20	0.15	0.30
Permeabile: limo	0.40	0.35	0.30
Poco permeabile: argilla o substrato roccioso	0.50	0.45	0.40

Tabella 7 - Valori del coefficiente di deflusso suggeriti dal Manuale di Ingegneria Civile.

Tipologia urbanistica	ϕ
Costruzioni dense	0.80
Costruzioni Spaziate	0.60
Aree con ampi cortili e giardini	0.50
Zone a villini sparsi	0.30-0.40
Giardini, prati e zone non edificabili né destinate a strade	0.20
Parchi e boschi	0.05-0.10

Tabella 8 - Valori del coefficiente di deflusso consigliati nella letteratura tecnica tedesca.

Effettuando una media pesata per il bacino di interesse si ottiene un coefficiente di deflusso pari a 0,4.

Applicando i valori precedenti nella formula razionale sono stati ottenuti i seguenti valori per le portate di piena:

Tr	a	n	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
30 anni	37.562	0.296	0.166	22.067	132.933	1.451
200 anni	49.349	0.288	0.166	29.439	177.344	1.935
500 anni	55.003	0.285	0.166	32.978	198.662	2.168

Tabella 9.1 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino idrografico WGT03.

Tr	a	n	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
30 anni	37.562	0.296	0.228	24.257	106.167	1.017
200 anni	49.349	0.288	0.228	32.273	141.250	1.353
500 anni	55.003	0.285	0.228	36.120	158.088	1.514

Tabella 9.2 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino idrografico WGT06.

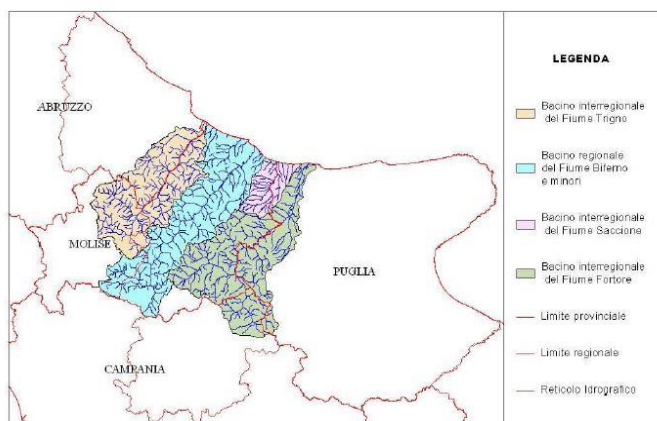


8.2 Metodo del VA.PI.

Si è utilizzato lo Studio del Rischio Idrogeologico nella Regione Molise, 2011, Sezione B – Rischio Idraulico e Analisi Idrologica, che applica il metodo VAPI per la stima delle portate al colmo nei principali bacini idrografici individuati nella regione, per assegnati periodi di ritorno.

I dati relativi alle portate al colmo sono stati raccolti dalle pubblicazioni del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale e dallo studio relativo al “Piano Straordinario delle Aree a Rischio Idrogeologico Molto Elevato” dell’Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore. Si è utilizzato per lo studio dei dati idrologici lo ietogramma Chicago e si è proceduto ipotizzando un'unica zona omogenea sia al primo che al secondo livello di regionalizzazione.

Le portate di piena valutate nelle sezioni di interesse costituiscono un campione di valori di una grandezza per la quale è evidente l’esistenza di una correlazione positiva con l’area del bacino idrografico sotteso.



Tale osservazione ci permette di poter derivare curve inviluppo, ossia semplici relazioni sperimentali tra portata al colmo ed area del bacino che forniscono in via speditiva una stima approssimata per eccesso della portata al colmo per qualunque corso d’acqua della Regione a qualunque sezione di chiusura; per l’esattezza, la stima con le curve inviluppo è da intendersi come quella di valore più basso tra tutte quelle per eccesso.

Le curve sono state differenziate, oltre che per tempo di ritorno, per bacino idrografico in modo da tener conto delle diversità climatiche e di risposta del bacino.



Per il **bacino del Saccione**, l'allegato 1 delle relative NTA riporta gli indirizzi tecnici per la redazione degli studi e delle verifiche idrauliche, oltre alle curve di inviluppo per il calcolo delle portate di piena con tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni (ove Q è la portata in mc/s e A è l'area del bacino sotteso in kmq):

$$Q = 8 A^{0.72} \text{ per } Tr = 30 \text{ anni}$$

$$Q = 10 A^{0.72} \text{ per } Tr = 100 \text{ anni}$$

$$Q = 13 A^{0.72} \text{ per } Tr = 200 \text{ anni}$$

$$Q = 17 A^{0.72} \text{ per } Tr = 500 \text{ anni}$$

I risultati ottenuti con metodologia VAPI sono:

Tr= 30 anni	Q₃₀ WGT03 = 1.50 m³/sec	Q₃₀ WGT06 = 1.37 m³/sec
Tr= 100 anni	Q₁₀₀ WGT03 = 1.88 m³/sec	Q₁₀₀ WGT06 = 1.71 m³/sec
Tr= 200 anni	Q₂₀₀ WGT03 = 2.45 m³/sec	Q₂₀₀ WGT06 = 2.23 m³/sec
Tr= 500 anni	Q₅₀₀ WGT03 = 3.20 m³/sec	Q₅₀₀ WGT06 = 2.91 m³/sec

8.3 Considerazioni finali sulle portate di piena

Il confronto tra le due metodologie adottate ha evidenziato come **le portate derivate utilizzando il metodo Razionale, siano risultate, al variare del tempo di ritorno, sempre minori di quelle derivate dall'utilizzo del metodo VA.PI.**

Pertanto, i valori delle portate di piena del bacino idrografico di interesse, al variare del tempo di ritorno (30, 200 e 500 anni), sono riassunti nella tabella seguente:

Q (m ³ /sec)	Alta Pericolosità idraulica	Moderata Pericolosità idraulica	Bassa Pericolosità idraulica
	Tr= 30 anni	Tr= 200 anni	Tr= 500 anni
BACINO WGT03	1.50	2.45	3.20
BACINO WGT06	1.37	2.23	2.91

Tabella 10 - Valori di portata di piena al variare del tempo di ritorno (30, 200 e 500 anni).



9 Modellazione idraulica

Il tracciamento dei profili di corrente è stato condotto utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS versione 3.1.3, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers.

HEC-RAS è l'abbreviazione di Hydrologic Engineering Center's River Analysis System. Questo software consente la simulazione di flussi idrici, nell'ipotesi di monodimensionalità della corrente, sia in moto permanente che in moto vario.

Il sistema comprende una interfaccia grafica, componenti separate per le analisi idrauliche dei due diversi tipi di moto, possibilità di analisi e memorizzazione dati, possibilità di esportazione e graficizzazione dei risultati.

Elemento chiave è che entrambi i tipi di simulazione citati usano una comune rappresentazione geometrica dei dati (l'alveo e le sue caratteristiche fisiche, geometriche ed idrauliche), e una comune routine di calcolo geometrico ed idraulico preliminare.

HEC-RAS è progettato per effettuare calcoli idraulici monodimensionali per una rete completa di canali naturali ed artificiali.

Nel caso di moto permanente, il software è in grado di modellare profili di correnti lente, veloci ed anche miste quando richiesto o ritenuto opportuno automaticamente dal programma.

Il calcolo è stato svolto in condizioni di moto permanente utilizzando valori delle portate di piena, riportati in precedenza, corrispondenti a tempi di ritorno pari a 200 anni.

Scabrezza di Manning

Le simulazioni sono state condotte utilizzando un valore del coefficiente di scabrezza n secondo Manning pari a 0.033 sulle sponde dell'alveo e per il letto dell'alveo. Il valore adottato è quello consigliato dal manuale Cremonese per alvei con presenza di vegetazione ed è cautelativo ai fini delle determinazioni idrauliche conseguenti.

Inoltre, il valore del coefficiente di Manning è stato scelto nell'ipotesi che l'alveo sia "*Clean, straight, full, no rifts or deep pools, but more stones and weeds*" (cfr tabella seguente),



corrispondente ad alvei naturali interessati dalla presenza di pietre ed erbe, per meglio simulare il reale comportamento.

Trattandosi di corsi d'acqua naturali in cui non è evidente la differenza tra golena e savanella, a vantaggio di sicurezza è stato impiegato un coefficiente di scabrezza unico per l'intera sezione del canale.

1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040

Tabella 11 - Valori del coefficiente di Manning ((Manning Table – Hec-Ras 3.1.3)

Condizioni al contorno e condizioni iniziali

Le condizioni al contorno si distinguono in condizioni al contorno di tipo esterno e condizioni al contorno di tipo interno, ove per condizioni esterne si intendono le altezze idriche da assegnare nella sezione di calcolo posta a valle e in tutte le sezioni iniziali poste a monte del reticolo idrografico, mentre per condizioni interne sono intese quelle relative alle sezioni di confluenza di due o più rami dello stesso reticolo.

Nel caso specifico, si è fatto riferimento alle sole condizioni di tipo esterno. **Sia per la sezione di monte del corso d'acqua che per la sezione di valle si è fissata l'altezza di moto uniforme.**

Le condizioni al contorno assunte nelle sezioni di valle tengono conto del raggiungimento, in tali punti, della condizione di moto uniforme. Tale assunzione è cautelativa rispetto alla condizione di stato critico che, allo stesso modo, si può impostare come condizione al contorno nel software. Infatti, trattandosi di un alveo a debole pendenza, l'altezza di moto uniforme è maggiore di quella critica, quindi, impostando a valle (una corrente lenta è influenzata da valle) la condizione di moto uniforme, il profilo idraulico parte da valle con un valore di altezza maggiore quindi più sfavorevole rispetto alla condizione di stato critico.

La valutazione dei profili in condizioni di moto permanente è stata effettuata avendo quale base di informazione topografica, le sezioni rilevate a base di gara nel progetto definitivo per definire il piano quotato dell'alveo e le relative sezioni trasversali.



Sulla base delle informazioni piano altimetriche disponibili è stato ricavato un modello geometrico, come base di input per il software HEC-RAS, costituito, come detto in precedenza, da un numero variabile di sezioni.

Vi sono **un numero variabile di sezioni (numerate progressivamente da monte verso valle)**, poste a distanza variabile a seconda del diverso assetto morfologico dell'alveo.

Risultati delle simulazioni

Nel seguito, si riportano e si commentano i risultati dello studio idraulico, effettuato in condizioni di moto permanente, in riferimento all'asta in oggetto fino alla sua sezione di sbocco.

In particolare, sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate, in condizioni di moto permanente in corrispondenza di portate di piena caratterizzate da TR=200 anni.

Tali verifiche hanno consentito, grazie all'ausilio del software HEC RAS, di definire le caratteristiche proprie del deflusso e, in particolare, il massimo livello idrico raggiunto in ogni sezione, oltre che la pendenza della linea dell'energia, la velocità media della corrente, la larghezza del pelo libero, il numero di Froude della corrente, ecc..

Tutte queste informazioni sono indicate sottoforma numerica nelle tabelle riassuntive seguenti, nelle quali, al variare del tempo di ritorno e per ognuna delle sezioni, sono riportati i dati relativi ai principali parametri idraulici desunti dal calcolo al passaggio dell'onda di piena.

Le sigle riportate sono relative a:

- a)** Q total= Portata totale espressa in m^3/s ;
- b)** Min Ch El = Quote del fondo dell'alveo;
- c)** W.S. Elev = Quota del pelo libero;
- d)** Crit W.S. = Quota critica del pelo libero;
- e)** E.G. Elev = Quota della linea dell'energia;
- f)** E.G. Slope = Pendenza della linea dell'energia;
- g)** Vel Chnl = Velocità media della corrente nell'alveo;
- h)** Flow area = Area totale della sezione liquida effettiva;
- i)** Top Width = Larghezza superficiale della sezione liquida;



j) Froude= Numero di Froude dell'alveo.

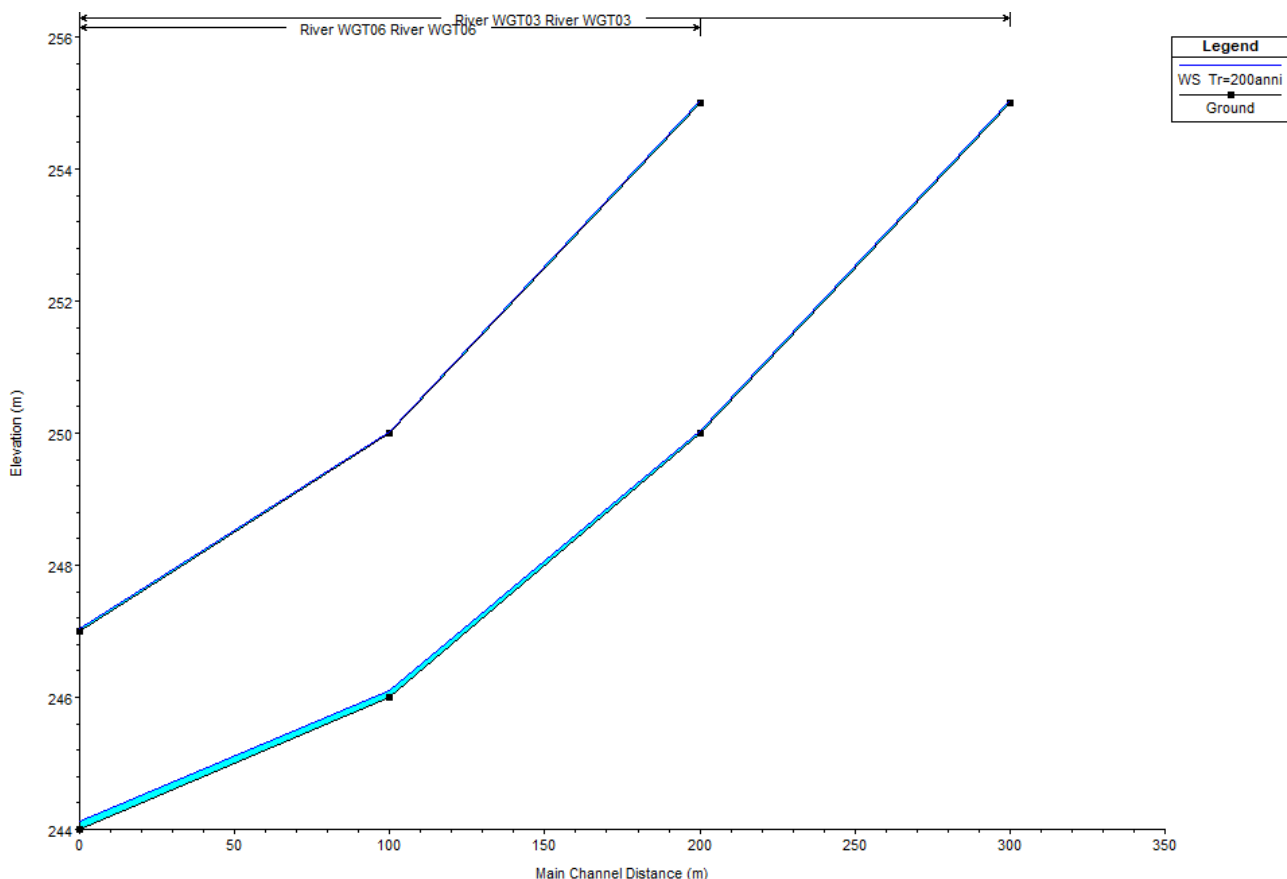
I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle seguenti:

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
River WGT06	River WGT06	3	Tr=200anni	2.23	255.00	255.04	255.04	255.07	0.050015	0.76	2.92	77.44	1.25
River WGT06	River WGT06	2	Tr=200anni	2.23	250.00	250.03	250.03	250.05	0.050289	0.64	3.51	122.46	1.20
River WGT06	River WGT06	1	Tr=200anni	2.23	247.00	247.04	247.04	247.05	0.021983	0.48	4.62	130.88	0.82
River WGT03	River WGT03	4	Tr=200anni	2.45	255.00	255.04	255.05	255.08	0.050039	0.82	2.98	70.40	1.28
River WGT03	River WGT03	3	Tr=200anni	2.45	250.00	250.04	250.04	250.06	0.050220	0.73	3.38	96.69	1.24
River WGT03	River WGT03	2	Tr=200anni	2.45	246.00	246.10	246.11	246.16	0.031096	1.09	2.25	24.43	1.15
River WGT03	River WGT03	1	Tr=200anni	2.45	244.00	244.11	244.11	244.16	0.020013	0.92	2.66	26.65	0.93

Tabella 12 - Parametri idraulici relativi al calcolo in moto permanente, Tr=200anni

Il calcolo è stato condotto considerando tutte le sezioni rilevate.

Nelle figure seguenti sono riportati il profilo longitudinale al passaggio dell'onda di piena duecentennale e le viste prospettive d'insieme dell'alveo nonché le sezioni trasversali rilevate.



**Figura 12 - Profilo longitudinale di moto permanente
 (è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con Tr=200 anni).**



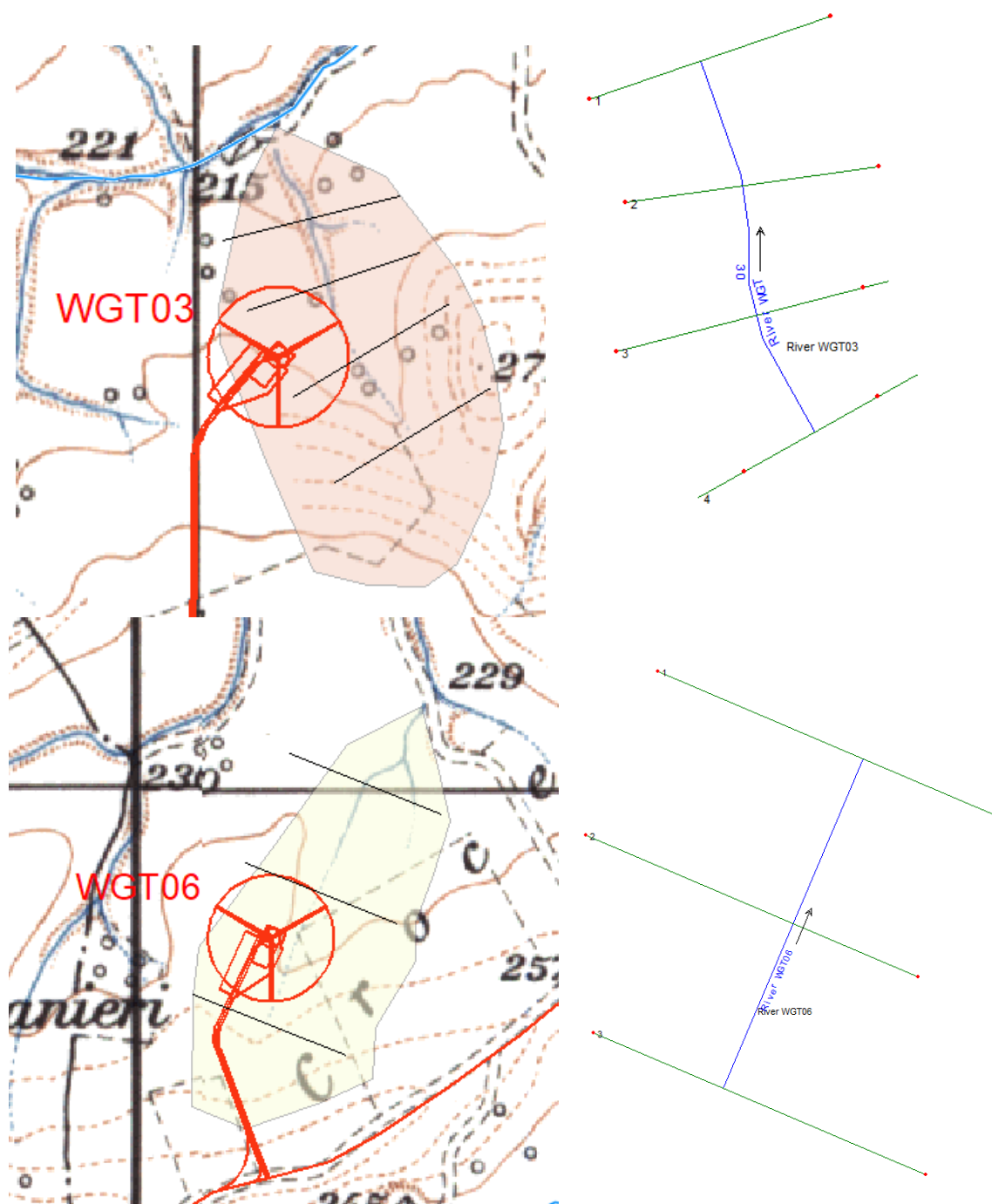


Figura 13 - Vista planimetrica d'insieme

Osservando gli output di HEC-RAS si evince come i corsi d'acqua in esame siano sufficienti a contenere la portata di piena bi-centenaria, sempre contenuta in alveo o nelle sue aree golenali. L'area di installazione dell'aerogeneratore non viene interessata dal passaggio della piena duecentenaria. Tale risultato è possibile desumerlo anche dalla consultazione del quaderno delle sezioni trasversali, dalle quali sono evidenti i livelli idrici di piena per ogni sezione



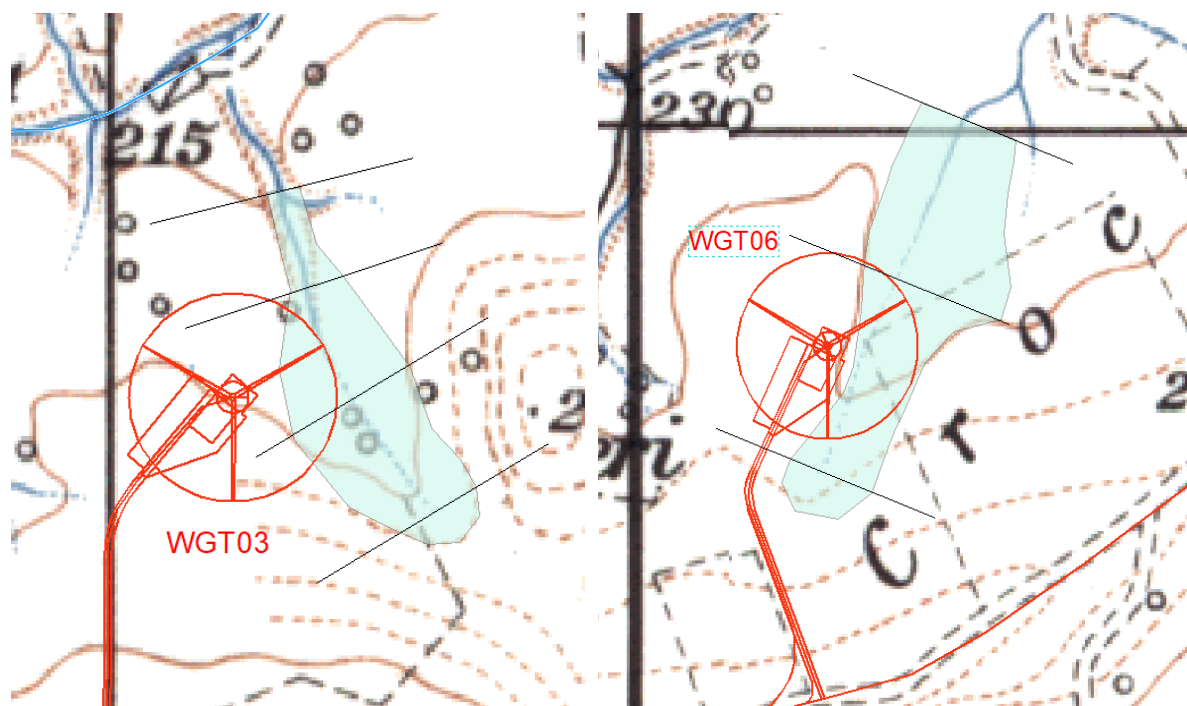


Figura 14 - Planimetria con indicazione delle aree inondabili due centennali



10 Conclusioni

Le opere di progetto, come ampiamente illustrato nel progetto, saranno realizzate in modo da evitare modifiche sul profilo del terreno e, quindi, nessuna alterazione delle condizioni idrauliche delle aree interessate dalle piene.

Considerata l'entità delle portate ricavate in precedenza, e la destinazione d'uso del terreno interessato dalla realizzazione delle opere, si può certamente affermare che il passaggio delle portate di piena non determina situazioni di pericolo per le opere a farsi, adeguatamente protette da fenomeni erosivi connessi alle portate di piena eccezionale.

Quindi la **realizzazione di un impianto eolico costituito da 8 turbine e relative opere di connessione da realizzarsi nel comune di Rotello e Montorio nei Frentani (CB), oltre a garantire una adeguata protezione contro l'azione erosiva che si innesca durante gli eventi di piena, non comporterà alcuna modifica al perimetro delle aree a pericolosità o rischio idraulico e nessuna variazione del livello di sicurezza delle aree adiacenti.**

Pertanto, gli interventi di progetto risultano essere compatibili con le finalità e le prescrizioni del PAI.



