

# INTEGRALE RICOSTRUZIONE PARCO EOLICO "Foiano di Valfortore"

## ADEGUAMENTO TECNICO IMPIANTO EOLICO MEDIANTE INTERVENTO DI REPOWERING DELLE TORRI ESISTENTI E RIDUZIONE NUMERICA DEGLI AEROGENERATORI



Progettazione Coordinamento	<b>GEKO S.p.A.</b> Via Reno, 5 - 00198 Roma (RM) Tel. 06.88803910   Fax 06.45654740 E-Mail: gekospa@pec.gekospa.it 	<b>GVC S.r.l. Società di Ingegneria</b> Via Nazionale Sauro, nr 126 - CAP 85100 Potenza (PZ) Tel. 09.71286145 E-Mail: gmr@gvcingegneria.it 	
Progettazione	<b>Seingim</b> Vicolo degli Olmi, nr 57 - 30022 Ceggia (VE) Tel. 04.21323007 E-Mail: info@seingim.it 	Studi Geologico-Idrologico Idraulico	<b>Geol. Antonio Di Biase</b> Piazza Padre Prosperino Gallipoli, nr 9 75024 Montescaglioso (MT) Tel. 347.059 7967
Studio Acustico Studio avifaunistico	<b>Teasistemi</b> Via Ponte Piglieri, nr 8 - 56122 Pisa (PI) Tel. 05.06396101 E-Mail: info@tea-group.com 	Studi Naturalistici e Forestali	<b>Dott. Agr. Paolo Castelli</b> Viale Croce Rossa, nr 25 - 90146 Palermo (PA) Tel. 334. 228 4087
Opera	<p><b>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20 MW.</b></p>		
Nome Elaborato: GK-EN-C-FV-TB-ET-0042-00		Folder:	
Descrizione Elaborato: Relazione Idraulica			
00	Novembre 2023	Emissione per progetto definitivo	Seingim S.r.l. Geko S.p.A. Edison Rinnovabili S.p.A.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione Verifica Approvazione
Scala:	/	Integrale Ricostruzione Foiano	
Formato:	A4	Codice progetto AU <input style="width: 100px;" type="text"/>	

<p>Committente:</p>  <p><b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano</p>	 <p><b>GVC</b> INGEGNERIA</p>	<p>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.</p> <p>Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01</p>
---	--	--

## RELAZIONE IDRAULICA

**Progetto di integrale ricostruzione di n.1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel comune di Foiano di Valforte e relative opere di connessione alla località Monte Barbato – Piano del Casino**

<p>Committente:</p>  <p><b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano</p>	 <p><b>GVC</b> INGEGNERIA</p>	<p>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.</p> <p>Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01</p>
---	--	--

## Sommario

1	Premessa.....	3
2	Analisi del contesto idrografico .....	4
2.1.	Localizzazione dell'intervento.....	4
2.2.	Caratterizzazione dell'assetto idrografico delle aree di progetto.....	4
2.3.	Descrizione delle interferenze .....	5
3	Riferimenti legislativi .....	8
3.1.	Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) .....	8
3.2.	Compatibilità delle opere con il PAI.....	8
3.3.	Progetto VAPI.....	9
4	Studio idrologico .....	10
4.1.	Analisi geomorfologiche del bacino.....	10
4.2.	Curva di probabilità pluviometrica.....	14
4.3.	Tempo di corrivazione .....	16
4.4.	La curva di possibilità pluviometrica .....	18
4.5.	Altezza di pioggia .....	18
4.6.	Valutazione della pioggia netta, metodo del "curve number" .....	19
2.4.	Stima della portata di piena con il metodo del curve number .....	22
2.5.	Definizione dell'idrogramma di piena.....	23
5	Verifica idraulica .....	25
5.1	Il software Hec Ras.....	25
5.2	Modello di calcolo.....	26
5.3	I risultati dell'analisi .....	28

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

## 1 Premessa

Il progetto proposto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 10 aerogeneratori con potenza nominale complessiva pari a 66,6 MW da realizzare nel Comune di Foiano di Val Fortore (BN); l'impianto sarà connesso alla rete di trasmissione nazionale tramite una stazione RTN 380/150 kV sita nel Comune di Montefalcone di Val Fortore (BN).

Gli aerogeneratori saranno collegati tra di loro mediante un cavidotto in media tensione interrato che collegherà l'impianto in progetto.

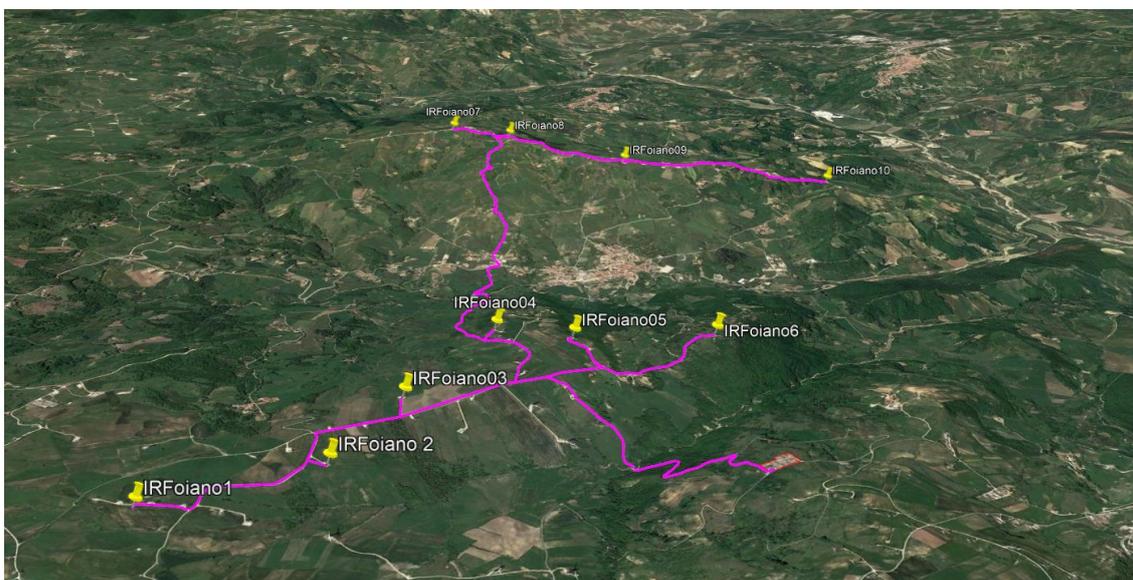


Figura 1 - Inquadramento delle opere di progetto (WTG, cavidotto di connessione, stazione AT)

L'elenco delle opere in autorizzazione è il seguente:

- n° 10 aerogeneratori – Modello SG 155-6,6 da 6,6 MW con altezza Mozzo 112,5 m e diametro 155 m e
- opere di fondazione;
- potenza totale dell'impianto: 66,6 MW;
- n° 10 piazzole temporanee di montaggio;
- n° 10 piazzole definitive per l'esercizio e la manutenzione degli aerogeneratori;
- Cavidotto di Media tensione e fibra ottica di collegamento alla stazione Utente 150/30kV;
- Stazione Elettrica 380/150 kV di Terna S.p.A., che sarà ubicata in agro di Montefalcone di Val Fortore.

Il presente studio, unitamente all'elaborato GK-EN-C-FV-TB-ET-0040-00 (relazione idrogeologica) costituisce lo studio di compatibilità idraulica del progetto proposto rispetto alla pianificazione di settore e contiene pertanto la valutazione degli effetti previsti sul regime idraulico delle aree di progetto.

Committente:  Edison Rinnovabili Spa Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano		Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
---	---	--

## 2 Analisi del contesto idrografico

### 2.1. Localizzazione dell'intervento

L'area di interesse si trova nel "Fortore", nel comune di **Foiano Val Fortore (BN)**, in una zona dove la risorsa eolica è piuttosto presente. Gli aerogeneratori che saranno smantellati sono stati realizzati in due momenti storici diversi:

- un primo gruppo, costituito da 3 impianti con turbine modello Enercon E40 600 kW/WTG, sono stati realizzati negli anni 2000/2001;
- un secondo gruppo, costituito da 2 sezioni con turbine modello Vestas V52 850 kW/WTG, sono stati realizzati negli anni 2011-2012.

Attualmente sono in esercizio **47 turbine eoliche** per una potenza totale di **33,2 MW**; tale potenza sarà smantellata e sostituita dal nuovo parco ottimizzato che avrà un totale di sole **10 WTG** a fronte di una nuova potenza installata pari a **66 MW**. Di seguito viene riportato uno schema degli impianti che verranno smantellati e per ognuno di essi le nuove turbine che saranno installate.

Tabella 1 - Schema degli impianti oggetto di futura dismissione e nuovi impianti in progetto

ID	Impianto esistente	N. WTG esistenti		Potenza esistente		N. WTG futuri		Potenza futura	
		#	MW	#	MW	#	MW		
13	Foiano di Val Fortore - Toppo Grosso	3	1,8	0	0				
11	Foiano di Val Fortore - Monte Barbato	8	4,8	1	6,6				
12	Foiano di Val Fortore - Piano del Casino	16	9,6	2	13,2				
10 bis	Foiano - Ampl. Sud	9	7,65	4	26,4				
10	Foiano - Ampl. Nord	11	9,35	3	19,8				
<b>Totale</b>		<b>47</b>	<b>33,2</b>	<b>10</b>	<b>66</b>				

### 2.2. Caratterizzazione dell'assetto idrografico delle aree di progetto

Il sistema compreso nel territorio comunale di Foiano di Val Fortore è costituito da una idrografia fatta da una serie alternata di valli, orientate con sezioni diverse a seconda dei terreni su cui esse sono impostate; le loro larghezze sono di pochi metri se sono impostate su sedimenti litoidi, mentre, se attraversano terreni "teneri" hanno una larghezza anche di molte decine di metri.

Il territorio comunale è diviso in due principali settori drenanti, identificati come:

- Bacino idrografico Torrente Zucariello, con un perimetro di 12.914,67 m ed un'area di 3.158,64 ha;

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW. Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

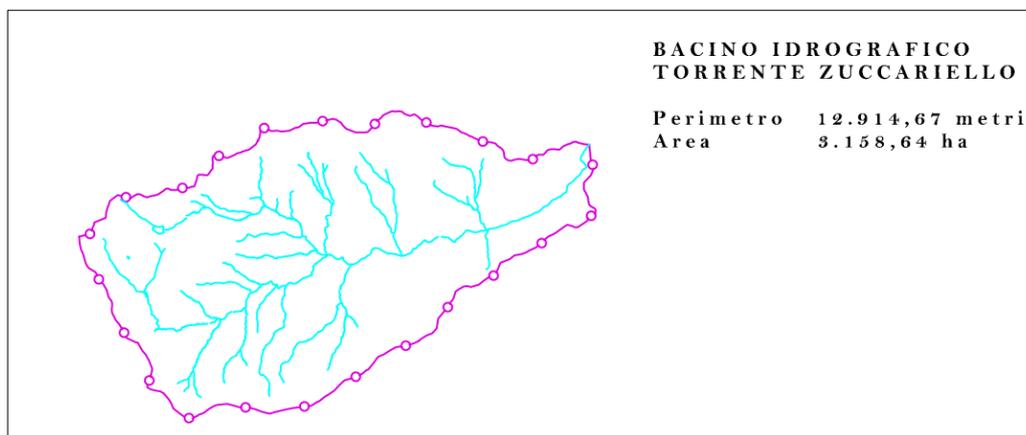


Figura 2 - Bacino idrografico del Torrente Zucariello

- Bacino idrografico Torrente Fortore, con perimetro di 6.320,65 m ed un 'area di 719,95 ha.



Figura 3 - Bacino idrografico del Torrente Fortore

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici di dettaglio del territorio in cui è compresa l'area di studio, la circolazione delle acque superficiali risente fortemente delle caratteristiche litologiche tipiche del contesto geologico presente, essendo condizionata essenzialmente dall'assetto litostratigrafico e tettonico. Si fa presente, inoltre, che durante le indagini eseguite sul posto non è stata rilevata la presenza di falda superficiale.

### 2.3. Descrizione delle interferenze

Preliminarmente si fa presente che sia le aree delle piazzole che gli aerogeneratori di progetto e la stazione AT non rientrano nella perimetrazione delle aree a rischio idraulico mappate sulla cartografia della Autorità di Bacino dell'Appennino Meridionale.

Il cavidotto di connessione interseca invece l'area a "**pericolosità idraulica alta**" in corrispondenza del Canale Zucariello, nel punto indicato in fig. 3, ed intercetta il reticolo idrografico individuato sulla carta IGM e sulla CTR in tre punti indicati rispettivamente con il nome "Interferenza 1, 2, 3" nell'elaborato GK-EN-C-FV-TB-ET-0015-00, ovvero la carta delle interferenze su CTR e risoluzione.

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--



Figura 4 - Individuazione delle opere di progetto su carta del Bacino Idrografico del Fortore

Committente:



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01

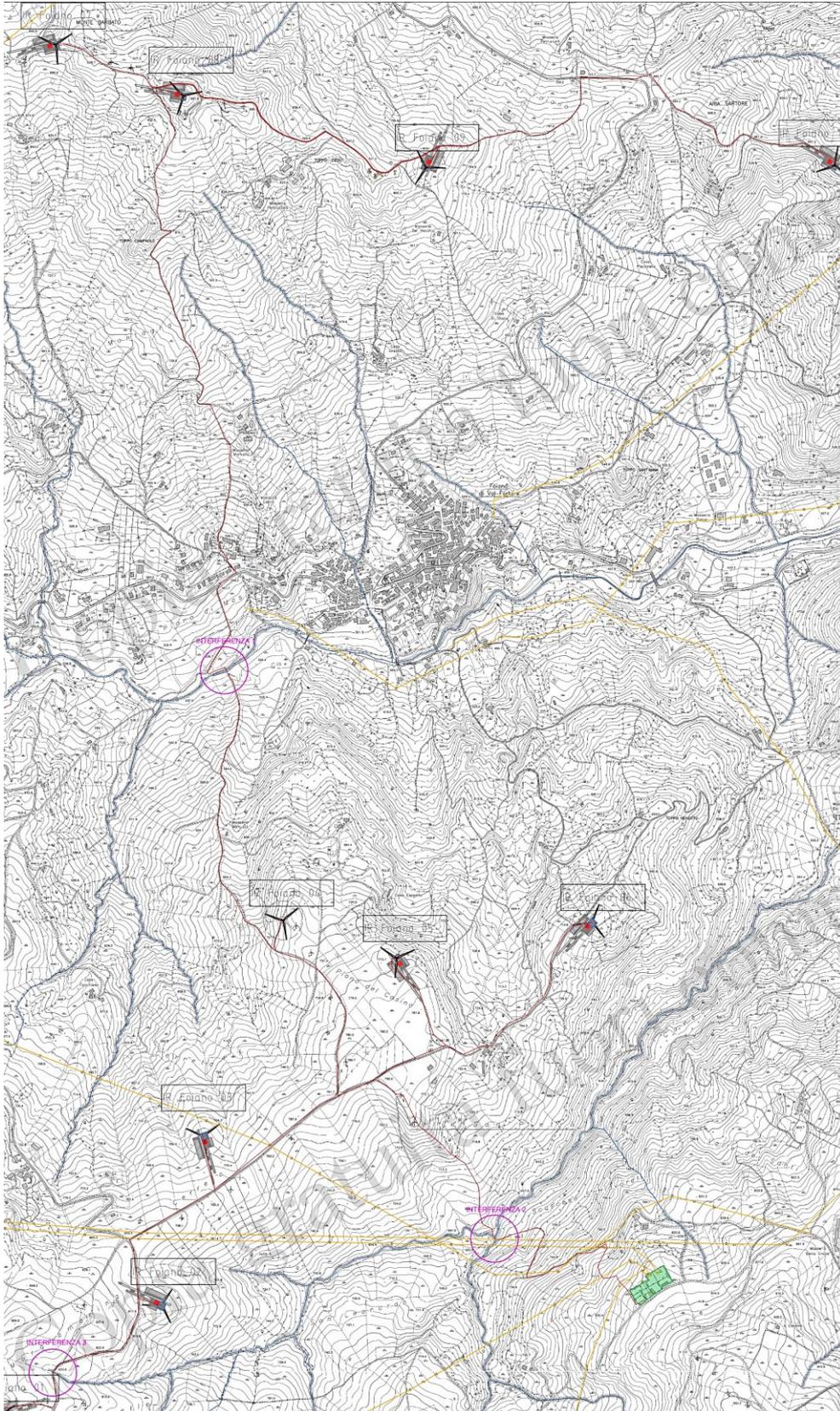


Figura 5 - Interferenze con il reticolo idrografico da CTR del cavidotto di connessione alla Stazione di utenza

Committente:  <b>edison</b> <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	--	--

### 3 Riferimenti legislativi

#### 3.1. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

La verifica di compatibilità idraulica del progetto proposto viene svolta con riferimento alla Normativa specifica di settore, ovvero in questo caso alle prescrizioni contenute nella pianificazione di bacino della Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, ex Autorità di Bacino. In particolare ci si riferisce al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) dei territori dell'ex Autorità di Bacino Campania Centrale, aggiornato nel 2015, adottato con delibera di Comitato Istituzionale n. 1 del 23 febbraio 2015, B.U.R.C. n.20 del 23/03/2015; Attestato del Consiglio Regionale n° 437/2 del 10/02/2016, di approvazione della D.G.R.C. n.° 466 del 21/10/2015 - BURC n.14 del 29/02/2016.

#### 3.2. Compatibilità delle opere con il PAI

**È stata condotta una analisi della cartografia allegata al PAI del Fortore, al fine di verificare la compatibilità delle opere (WTG, cavidotto, stazione AT) rispetto alle aree perimetrate a rischio ed a pericolosità idraulica.**

**Inoltre, non essendo il reticolo idrografico e le relative fasce di pertinenza non arealmente individuate nella cartografia del PAI, è stato considerato il "reticolo idrografico" rappresentato sulla cartografia IGM in scala 1:25000 e sulla carta tecnica regionale.**

LA verifica suddetta, come anticipato nella premessa della relazione in oggetto, ha evidenziato che:

- Le aree di ubicazione delle WTG sono escluse dalla perimetrazione della Autorità di Bacino come aree a rischio ed a pericolosità idraulica;
- L'area della stazione AT è esclusa dalla perimetrazione della Autorità di Bacino come aree a rischio ed a pericolosità idraulica;
- **Il cavidotto di connessione intercetta il reticolo idrografico superficiale in tre punti, mentre ricade in area a pericolosità idraulica alta in un punto, in corrispondenza del canale Zucariello (figura seguente).**

La verifica di compatibilità idraulica tra le opere in progetto e le linee di impluvio che insistono sul territorio, a scala di bacino, è stata finalizzata alla caratterizzazione del regime idraulico ed alla definizione dell'assetto idraulico per eventi con tempo di ritorno di **200 anni**.

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano		Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

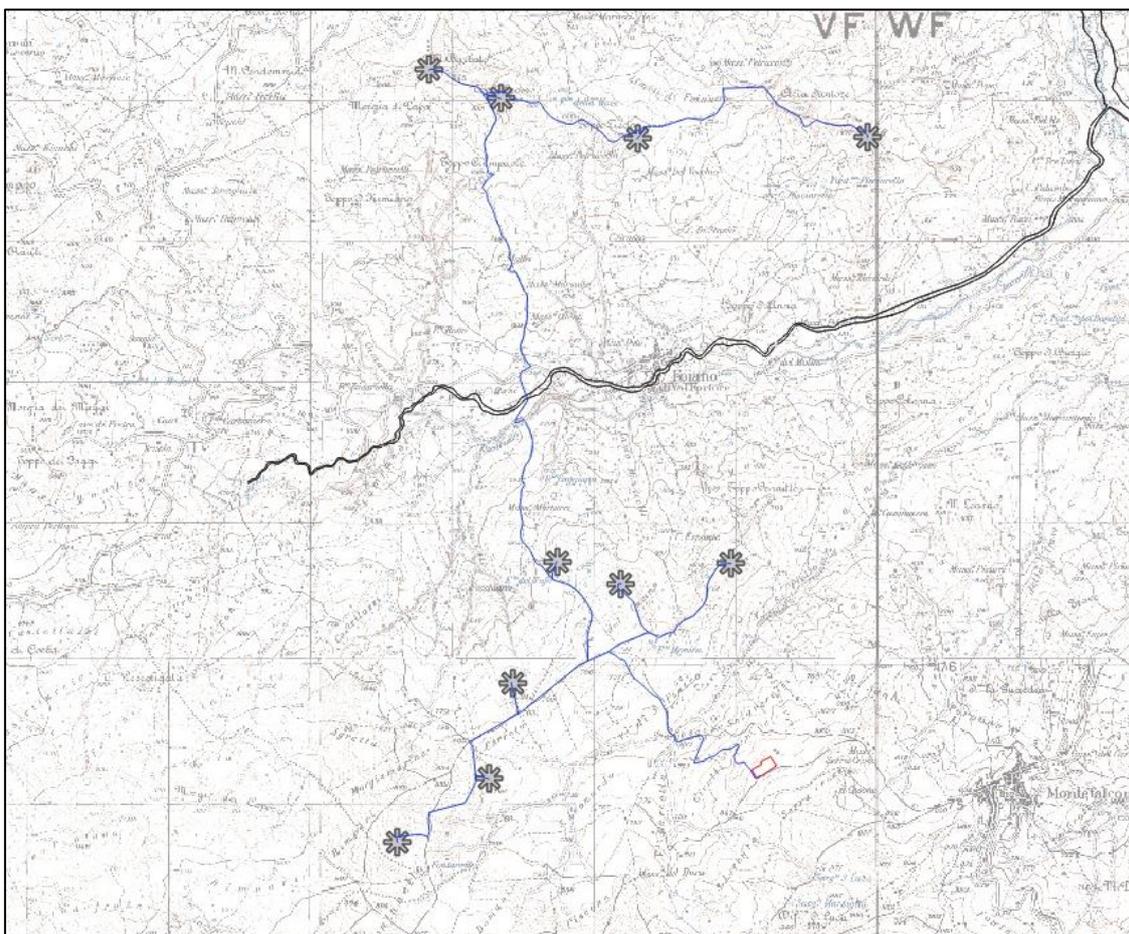


Figura 6 - Aree perimetrate dal PAI a pericolosità idraulica Alta, torrente Zuccariello

### 3.3. Progetto VAPI

Il progetto VAPI sulla valutazione delle piene in Italia ha l'obiettivo di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali. Scopo di tale rapporto è quello di fornire uno strumento ed una guida ai ricercatori ed ai tecnici operanti sul territorio, per comprendere i fenomeni coinvolti nella produzione delle portate di piena naturali e per effettuare previsioni sui valori delle possibili piene in una sezione di un bacino naturale con una aliquota di incertezza molto bassa. Per il progetto proposto, il bacino di riferimento è quello del Fortore; tuttavia, vista l'assenza del progetto VAPI Molise, accertata la vicinanza dei luoghi con il territorio pugliese ed i caratteri idrografici strettamente connessi ad esso, si è optato per la redazione dell'analisi idrologica seguendo il progetto VAPI Puglia, che in alcuni casi interessa aree della limitrofa regione molisana.

Ai fini del presente studio si è resa necessaria la stima della portata di piena con tempi di ritorno trentennali e bicentennali, in conformità con quanto riportato nel DPCM 29/09/98 e nella Relazione di Piano del PAI, valutando gli afflussi meteorici che generano le suddette portate, desumibili dalla curva di probabilità pluviometrica (CPP). La valutazione della CPP è stata condotta con il metodo VAPI (Valutazione Piene) elaborato dal Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

## 4 Studio idrologico

### 4.1. Analisi geomorfologiche del bacino

Le analisi geomorfologiche di bacino sono state eseguite con applicativi GIS e successiva verifica manuale del risultato in output. In generale la definizione dei bacini parte dal tracciamento della linea di spartiacque, dalle quote minori a quelle maggiori (da valle verso monte, iniziando dalla sezione di chiusura) seguendo alcune definizioni da letteratura:

- Una *valle* presenta isoipse concave verso le quote decrescenti
- Un *dosso* presenta isoipse convesse verso le quote decrescenti

ed alcune regole fondamentali:

- Tagliare sempre le isoipse con angoli retti
- Non tagliare mai valli o tratti di reticolo idrografico
- Tagliare sempre i dossi e mai le valli con la linea spartiacque

In prima battuta sono stati identificati tutti i sottobacini con una superficie minima di 10ha nell'intorno delle aree di impianto.



Figura 7 - Sottobacini con superficie minima di 10ha

Si è quindi proceduto con la determinazione della "direction" ovvero del percorso della goccia d'acqua fino all'impluvio e dell'accumulation che mostra le zone di accumulo ovvero possibili corsi d'acqua, anche episodici, rispetto al DTM implementato.

Committente:

 **edison**  
Edison Rinnovabili Spa  
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01

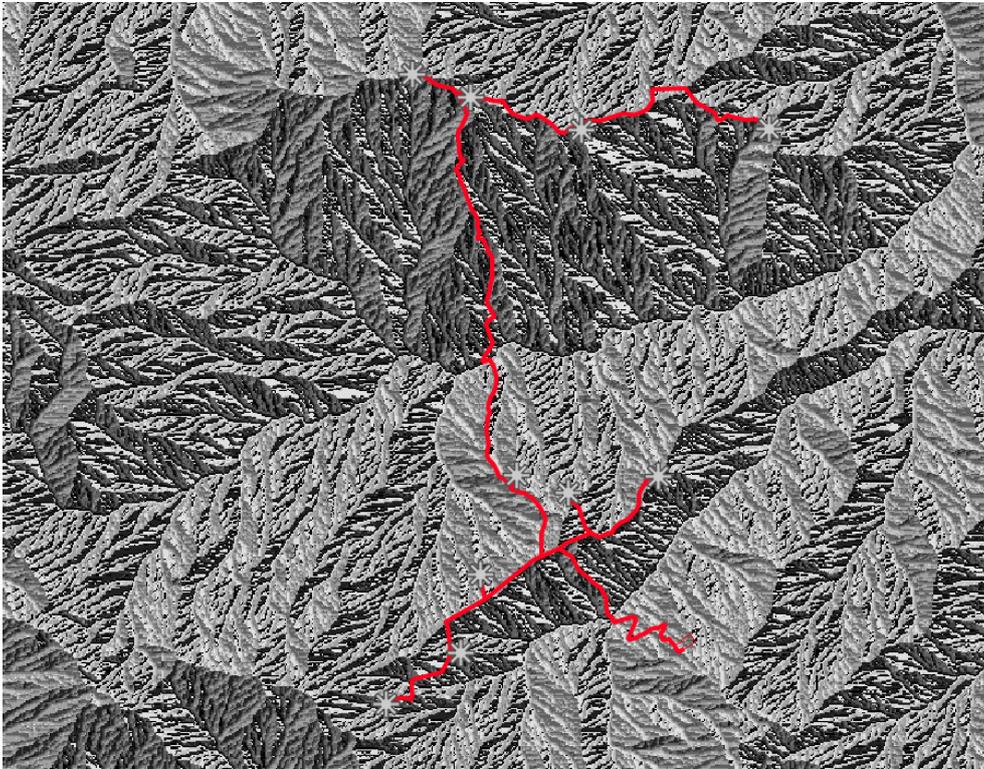


Figura 8 - Drainage Direction

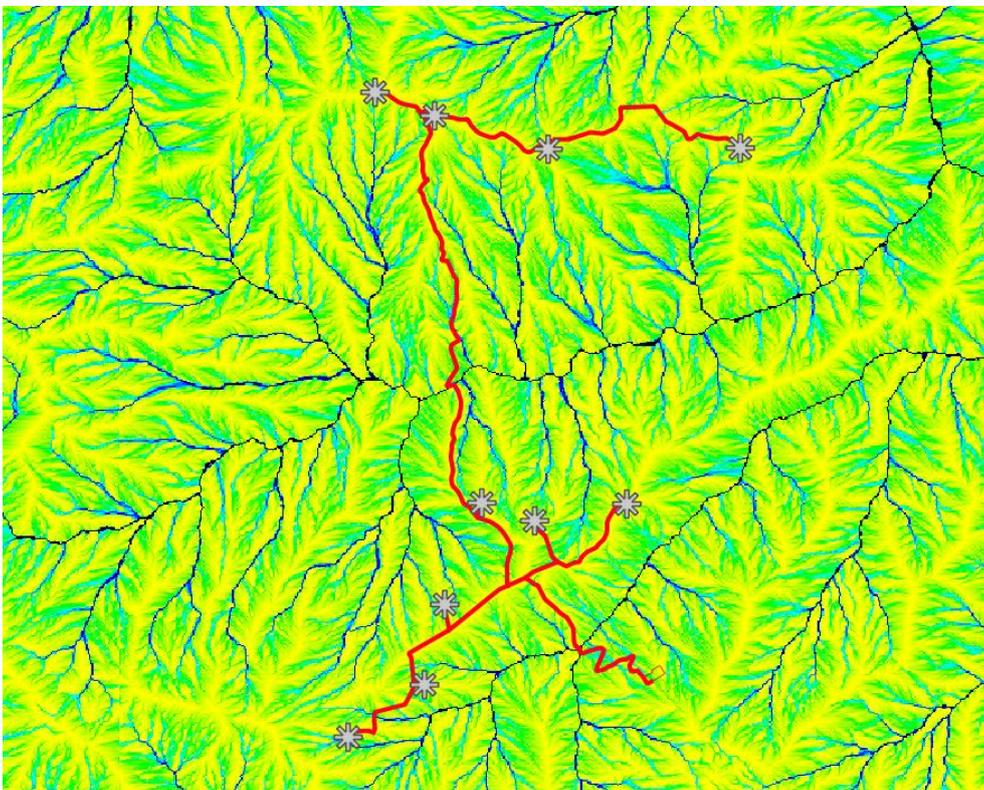


Figura 9 - Accumulation

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW. Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

È stata quindi definita una sezione di chiusura al fine di identificare il bacino comprendente tutta l'area di progetto (turbine e cavidotto). Nel caso in esame è stata scelta proprio la sezione finale del torrente "Zucariello", ottenendo quindi come tratto fluviale principale lo stesso torrente.



*Figura 10 - Sezione di chiusura bacino*

Di seguito si riporta il DTM e la perimetrazione del Bacino ottenuto con l'analisi precedentemente descritta.

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

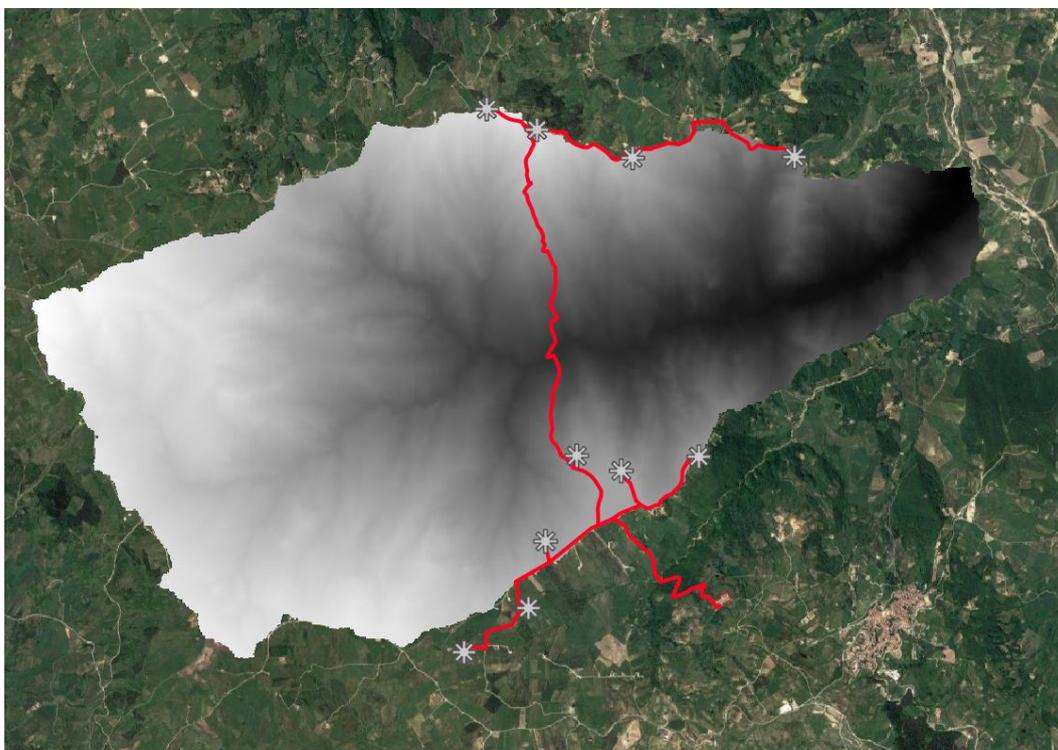


Figura 11 - DTM bacino esaminato

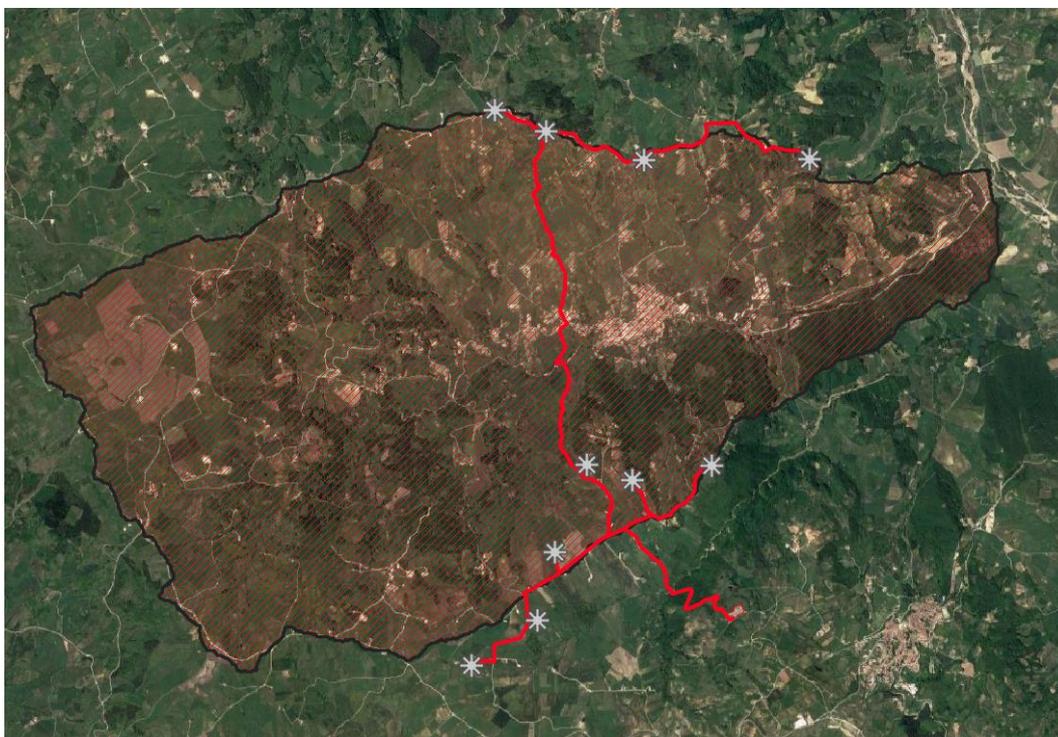


Figura 12 - Perimetrazione Bacino

La procedura sopra descritta ha permesso di calcolare tutte le variabili del bacino e del corso d'acqua principale, necessarie per i calcoli idraulici (CPP, idrogramma di piena ecc...) eseguiti.

Committente:  Edison Rinnovabili Spa Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano		Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.
		Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01

Di seguito si riportano i dati fondamentali del bacino

Unità di Misura	km <sup>2</sup>	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	km	%	%	Adimensionale
Bacino	S Superficie Bacino	Hmax Altezza Massima Bacino	Hmed Altezza Media Bacino	Hmin Altezza Minima Bacino	L Lunghezza Asta principale	i Pendenza Asta principale	Y Pendenza media dei versanti	c Coefficiente di deflusso
Bacino 1	31,07	1010,63	717	383,803	8,173	4,31	22,85	0,3

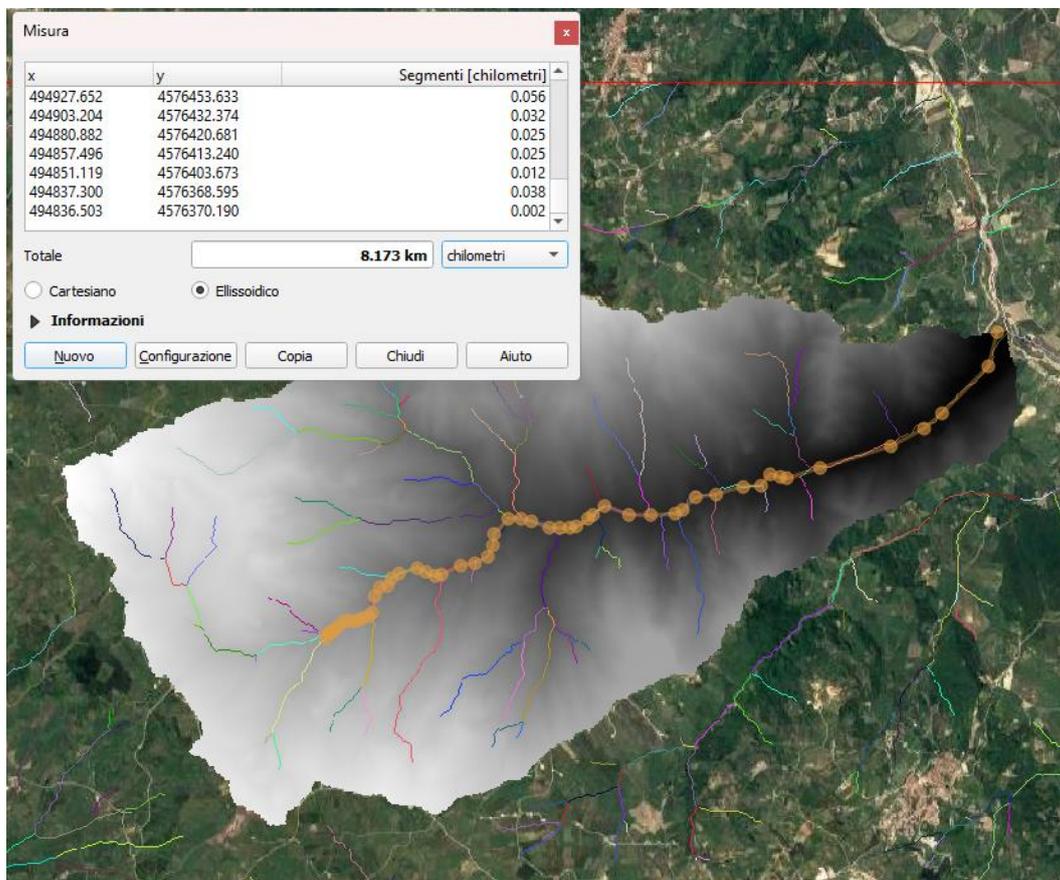


Figura 13 - Esempio di calcolo della lunghezza totale asta principale

#### 4.2. Curva di probabilità pluviometrica

I valori massimi annuali delle precipitazioni giornaliere sono basati su una distribuzione di tipo TCEV (Two Component Extreme Value – Rossi e Versace,1982) che in rappresenta la distribuzione del massimo valore atteso in un intervallo temporale stabilito. All'interno di questo modello vi è la suddivisione tra componente *straordinaria* e componente *ordinaria*, ammettendo però che le stesse possono tra di loro interferire attraverso un processo che segue la legge di Poisson. Attraverso l'identificazione dei parametri del TCEV si è potuto costruire un modello regionale di tipo gerarchico, definendo i cosiddetti livelli di regionalizzazione. Nel primo livello vengono identificate le regioni in cui i due parametri della TCEV risultano costanti, questo viene definito **primo livello di regionalizzazione**. Successivamente si identificano le sottoregioni in cui anche il coefficiente di variazione risulta costante,

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW. Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

queste definiscono il **secondo livello di regionalizzazione**, per finire poi con macro-regioni in cui esiste una relazione tra il parametro di distribuzione di probabilita pluviometrica e la morfologia del territorio, questo livello viene definito **terzo livello di regionalizzazione**.

Di seguito si riporta la regionalizzazione di tipo gerarchico sui livelli sopra descritti:

- 1° Livello: Regione Puglia
- 2° Livello: Puglia settentrionale e centro-meridionale
- 3° Livello – Zona
  - Zona 1 – Gargano
  - Zona 2 – Tavoliere
  - Zona 3 – Murge
  - Zona 4 – Subappenino**
  - Zona 5 – Nord Barese – Murgia centrale
  - Zona 6 – Penisola salentina

L'area di impianto, vista la vicinanza (pochi km) si assume che ricada all'interno della zona di terzo livello denominata "**Subappenino**".

Per ognuna di queste zone è possibile calcolare la curva di possibilità pluviometrica sulla base delle seguenti equazioni:

- Zona 1:  $x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503 z)/3.178]}$
- Zona 2:  $x(t) = 22.23 t^{0.247}$
- Zona 3:  $x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0696+0.00531 z)/3.178]}$
- Zona 4:  $x(t) = 24.70 t^{0.256}$
- Zona 5:  $x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]}$
- Zona 6:  $x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}$

Avendo indicato con **t** la durata della precipitazione e con **z** l'altezza media del bacino in esame. Si ipotizza che la durata della precipitazione corrisponda proprio al tempo di corrivazione del bacino analizzato.

Nel caso in cui si debba condurre uno studio idrologico in un'area estesa, la precipitazione deve essere raggugiata alla superficie del bacino idrografico considerato per tener conto del fatto che la precipitazione calcolata con le formule precedenti, è un valore puntuale e quindi va opportunamente ridotta di un **Fattore di riduzione areale** che è strettamente correlato alla estensione dell'area studiata e alla durata dell'evento stesso. Questo fattore è pari a:

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

Per lo studio in oggetto, data l'estensione del bacino, è stato utilizzato il fatto di riduzione areale.

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

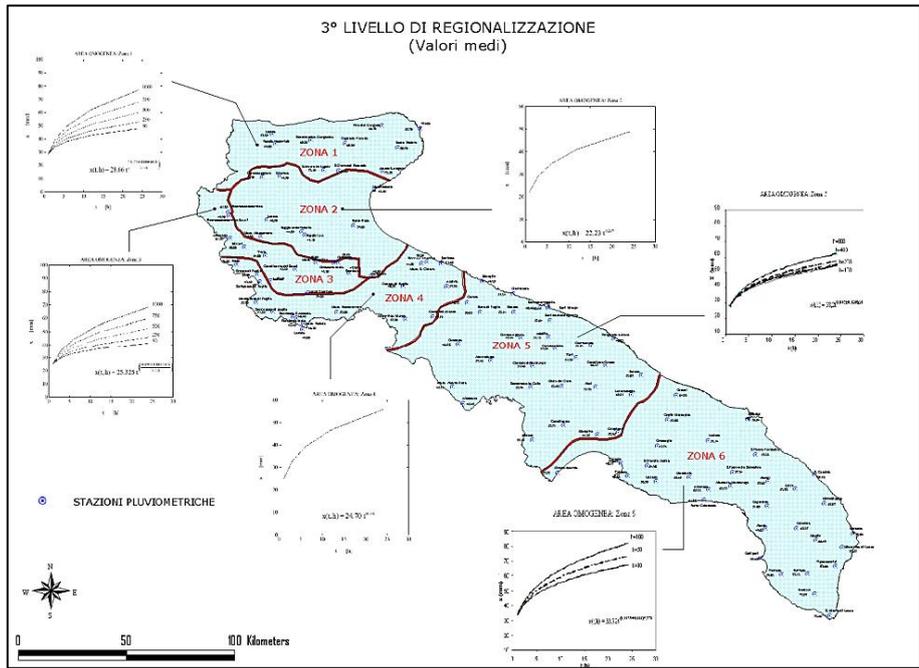


Figura 14 - Zone omogenee di terzo livello, Regione Puglia

### 4.3. Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione  $T_c$  di un bacino è il tempo necessario perché il bacino sia integralmente contribuente, ovvero il tempo impiegato da una singola particella d'acqua piovuta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura. La definizione di tempo di corrivazione consente di spiegare perché la piena si verifica proprio se l'evento meteorico ha una durata almeno pari al tempo di corrivazione, dato che in questo caso tutta l'area scolante contribuisce ai fini del deflusso superficiale. Il concetto di tempo di corrivazione permette anche di giustificare perché nei piccoli bacini sono sufficienti piogge brevi per determinare eventi di piena.

In letteratura esistono diverse formule per calcolare il tempo di corrivazione, per completezza di relazione si riportano di seguito:

**Formula di Giandotti**

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{media} - h_{min}}}$$

dove:

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

$A$  è l'area del bacino [ $km^2$ ];

$L$  è la lunghezza dell'asta principale [km];

$h_{media}$  è la quota media del bacino (m.s.l.m.)

$h_{min}$  è la quota della sezione di chiusura (m.s.l.m.)

L'espressione descritta è utile per bacini aventi una superficie compresa tra 170 e 70000  $km^2$ :

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

**Formula di Pezzoli**

$$t_c = \frac{0,055 L}{\sqrt{i}}$$

dove:

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

i è la pendenza media dell'asta principale;

**Formula di Viparelli**

$$t_c = \frac{L}{V}$$

dove:

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

V è la velocità media di deflusso all'interno dei canali, con valori compresi tra 1 e 1,5 m/s;

**Formula di Tournon**

$$t_c = \frac{0,396 L}{\sqrt{i}} \left( \frac{S}{L^2} \sqrt{\frac{i}{i_v}} \right)^{0,72}$$

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

S è l'area del bacino [km<sup>2</sup>];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

i è la pendenza media dell'asta principale;

$i_v$  è la pendenza media del versante;

**Formula di Ventura**

$$t_c = 0,127 \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$$

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

S è l'area del bacino [km<sup>2</sup>];

i è la pendenza media dell'asta principale;

**Formula di Kirpich (1940)**

$$t_c = 0,000325 L^{0,77} i_v^{-0,385}$$

$t_c$  è il tempo di corrivazione [ore];

L è la lunghezza dell'asta principale [km];

$i_v$  è la pendenza media del versante.

I valori ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

Formula per il tempo di Corrivazione	Tc Bacino 1 [ore]
GIANDOTTI	2.36
PEZZOLI	0.21
VIPARELLI	1.51

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.
		Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01

<b>TOURNON</b>	0.49
<b>VENUTRA</b>	0.34
<b>KIRPICH</b>	0.10

	<b>Tc Bacino 1 [ore]</b>
<b>Valore Medio</b>	0.835

#### 4.4. La curva di possibilità pluviometrica

Dopo aver calcolato il valore del tempo di corrvazioni si è proceduti con la costruzione della curva di probabilità pluviometrica (CPP) per il bacino oggetto di studio, con la citata formula:

$$x(t) = 24.70 t^{0.256}$$

Di seguito si riporta l'andamenti grafico della CPP.

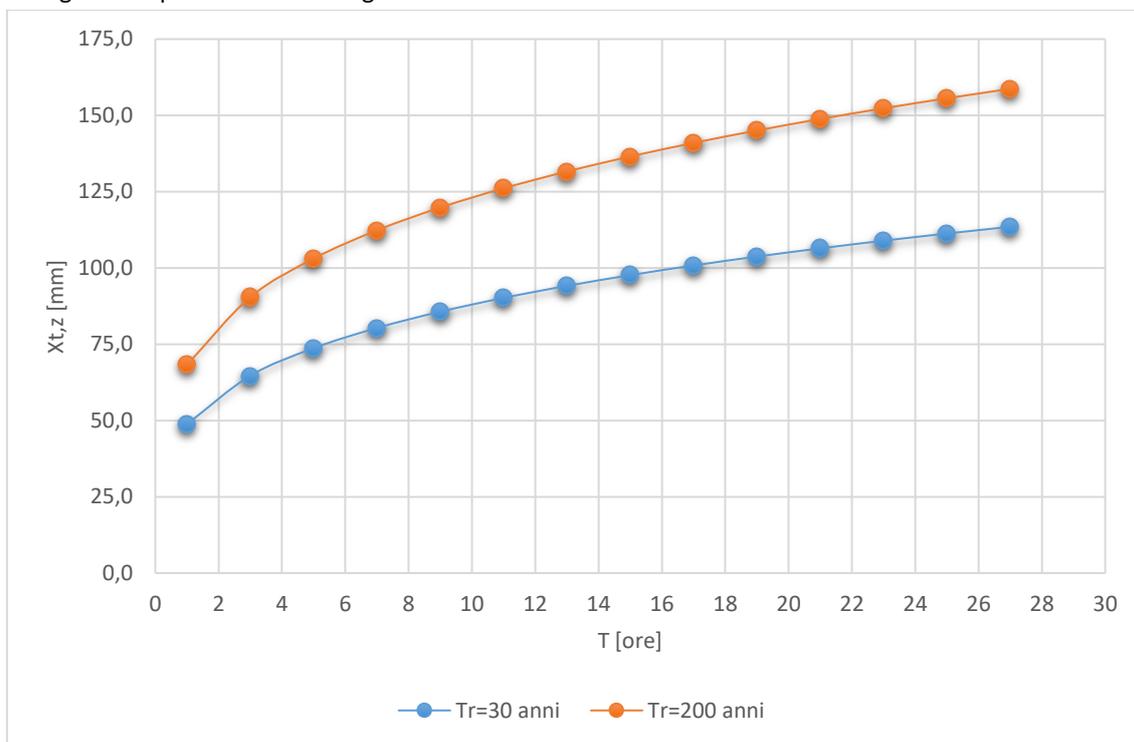


Figura 15 - Curva di Probabilità Pluviometrica Bacino

#### 4.5. Altezza di pioggia

Una volta ottenuto il valore della  $X_t$  [mm] (ad un determinato tempo di ritorno) si può ricavare il valore dell'altezza di pioggia, espresso in mm, per una determinata zona.

$$h(Pnet) = K_t * X_t$$

Avendo indicato con  $K_t$  un fattore probabilistico di crescita, funzione del tempo di ritorno dell'evento in progetto, espresso in anni, ricavato dalla seguente relazione

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW. Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

$$K_t = 0.5648 + 0.415 * \ln T$$

Si ottengono così i risultati indicati in tabella.

Altezza di pioggia effettiva "h" [mm]	Bacino 1
<b>h<sub>30</sub></b>	36.39 mm
<b>h<sub>200</sub></b>	50.88 mm

#### 4.6. Valutazione della pioggia netta, metodo del "curve number"

La pioggia definita "netta" è quella frazione di precipitazione che partecipa al deflusso superficiale, depurata della parte persa a causa della natura del terreno e della relativa vegetazione. Risulta quindi chiaro che la litologia dell'area e il relativo uso del suolo sono di fondamentale importanza per la corretta trasformazione afflussi-deflussi. La disponibilità di dati relativi al sottosuolo e all'utilizzo dello stesso (carta uso del suolo – Corrine Land Cover 2018) ha permesso l'utilizzo del metodo del **Curve Number**, un metodo empirico di stampo americano, proposto dalla SCS (Soil Conservation Service) che si fonda sostanzialmente sull'assunto che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace)  $P_{net}$  risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda  $P$  (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Avendo indicato con:

- P<sub>net</sub>** Volume specifico di pioggia netta
- P** Volume specifico di pioggia effettiva
- I<sub>a</sub>** Perdita iniziale, pari secondo esperienza comune a  $0.2 * S$
- S** Volume massimo di pioggia che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione. Questo valore è collegato alla categoria di uso del suolo e alla sua copertura ed è pari a:

$$S = S_0 \times \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

In cui:

- S<sub>0</sub>** Fattore di scala pari a 254
- CN** Curve Number, parametro adimensionale compreso tra 0-100, ricavato dalla combinazione di:

- 1) Tipologia di suolo così come definita dall' HSG in base alla capacità di deflusso superficiale (categoria A, B, C, D)

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

HSG	Soil Texture	HSG definitions (USDA-NRCS,1986)	The six types of soil textures in study area
A	Sand, loamy sand, or sandy loam	Low runoff potential and high infiltration rates; This soils have high rate of water transmission (greater than 7.62 mm/hr)	(1) Loamy Sand (LS) (2) Sandy Loam (SL)
B	Silt loam or loam	Moderate infiltration rates; The soils have moderate rate of eater transmission (3.81 mm/hr)	(3) Loam (LL)
C	Sandy clay loam	Low infiltration rates; The soils have a low rate of water transmission (1.27-3.81 mm/hr)	
D	Clay loam, silty clay loam, sandy clay, silty clay, or clay	High runoff potential; These soils have very low rate of water transmission (0-1.27 mm/hr)	(4) Clay Loam (CL) (5) Heavy Clay (HC) (6) Light Clay (LC)

2) Condizioni iniziali di imbibizione del terreno (AMC – Antecedent Moisture Condition)

Antecedent Moisture Condition (AMC)	Total 5 days antecedent rainfall (mm)	
	Dry season	Growing Season
I	<12.7	< 35.6
II	12.7 – 27.9	35.6 – 53.3
III	> 27.9	> 53.3

Source: National Engineering Handbook (Mockus, 1964)

3) Tipo di copertura o codice Uso del Suolo: di seguito si riportano i valori del parametro CN corrispondenti alle diverse tipologie di utilizzo del suolo:

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

Tipo di copertura (Uso del suolo)	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO <i>Senza trattamento di conservazione</i>	72	81	88	91
TERRENO COLTIVATO <i>Con interventi di conservazione</i>	62	71	78	81
TERRENO DA PASCOLO <i>Cattive condizioni</i>	68	79	86	89
TERRENO DA PASCOLO <i>Buone condizioni</i>	39	61	74	80
PRATERIE <i>Buone condizioni</i>	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSE O FORESTALI <i>Sottobosco povero senza foglie</i>	45	66	77	83
TERRENI BOSCOSE O FORESTALI <i>Sottobosco e copertura buoni</i>	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PARCHI, PRATI <i>Copertura erbosa SUP del 75%</i>	39	61	74	80
SPAZI APERTI, PARCHI, PRATI <i>Copertura erbosa INF del 75%</i>	49	69	79	84
AREE COMMERCIALI	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 100%</i>	77	85	90	92
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 65%</i>	61	75	83	87
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 38%</i>	57	72	81	86
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 30%</i>	54	70	80	85
AREE RESIDENZIALI <i>Impermeabilità media del 25%</i>	51	68	79	84
PARCHEGGI, TETTI	98	98	98	98
STRADE PAVIMENTATE	98	98	98	98
STRADE SELCIATE	76	85	89	91

I valori indicati nella precedente tabella fanno riferimento ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, nello specifico la condizione AMC II e quindi il curve number sarà un CN II. Per adattare il CN alle diverse condizioni del terreno (AMC) si adoperano le seguenti correlazioni:

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{0,43+0,0057 \times CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{23 \times CN_{II}}{10+0,13 \times CN_{II}}$$

Nel caso in esame è stato scelto un tipo di suolo **C - (Potenzialità di deflusso moderatamente alta)** ed un **CN II pari a 70 (media pesata dei diversi tipi di uso del suolo)** a vantaggio di sicurezza) per il bacino considerato.

Altezza di pioggia netta "h" [mm]	Bacino 1
<b>Pnett<sub>30</sub></b>	1.73 mm
<b>Pnett<sub>200</sub></b>	6.144 mm

#### 2.4. Stima della portata di piena con il metodo del curve number

Per trasformare il dato calcolato nel precedente paragrafo in portata occorre calcolare il "Lag time" ovvero il tempo di ritardo e cioè la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, e il baricentro del pluviogramma netto. Il rapporto tra tempo di corrivazione e tempo di ritardo del bacino è pari, secondo deduzioni empiriche dell'SCS, a 0.6. Il tempo di ritardo è calcolato con la formula di Mockus:

$$t_L = 0,342 \times \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \times \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

In cui L è espresso in km (lunghezza asta principale) ed s è espresso in % (pendenza del bacino).

Per il calcolo della portata al colmo, considerando che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume pari al 37.5% del deflusso totale e combinando le formule contenenti tempo di accumulo e di esaurimento

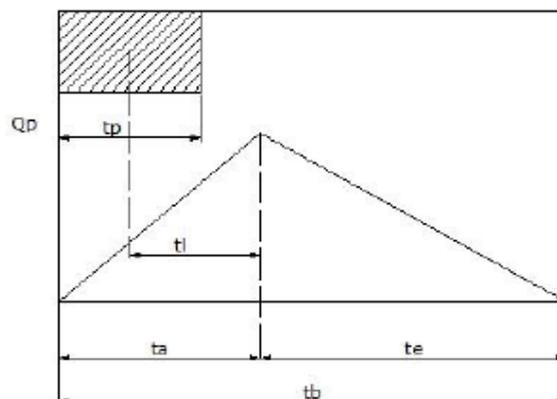


Figura 16 - idrogramma di Mockus

si ottiene la relazione:

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

$$Q_p = 0.208 \frac{VA}{t_a}$$

Con  $t_a = 0,5 \times t_p + t_L$

Si ottiene quindi una portata pari a:

Portata di piena con il Curve Number		
$Q_{\max}$ (m <sup>3</sup> /S)	$T_{R30}$	6,781553278
	$T_{R200}$	24,07340221

## 2.5. Definizione dell'idrogramma di piena

L'idrogramma unitario (IU) racchiude in sé le caratteristiche fisiche del bacino che determinano la formazione delle piene. Ogni bacino può essere rappresentato da uno specifico IU che tiene conto sinteticamente delle sue particolarità. Il punto di partenza del metodo del SCS è l'idrogramma unitario adimensionale di Mockus (IUM) riportato di seguito:

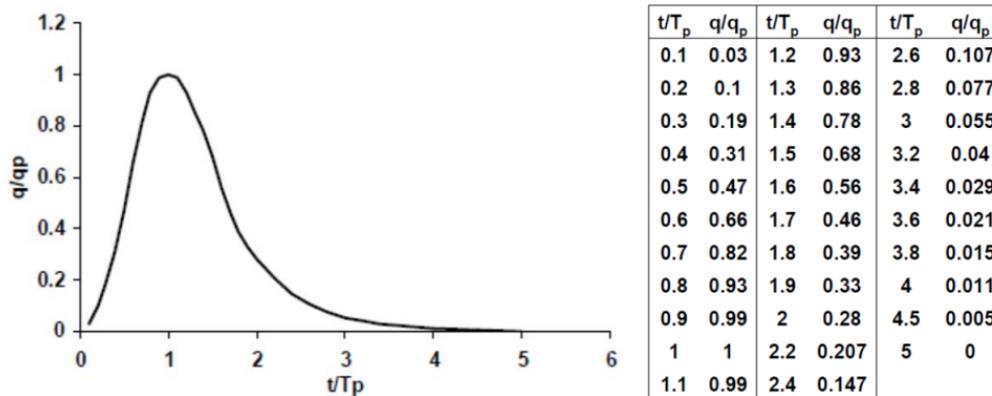


Figura 17 - Idrogramma unitario adimensionale di Mockus (IUM)

Rapportando i valori ottenuti nei paragrafi precedenti con l'idrogramma sopra indicato si ottiene l'idrogramma di piena per il bacino analizzato.

Committente:



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01

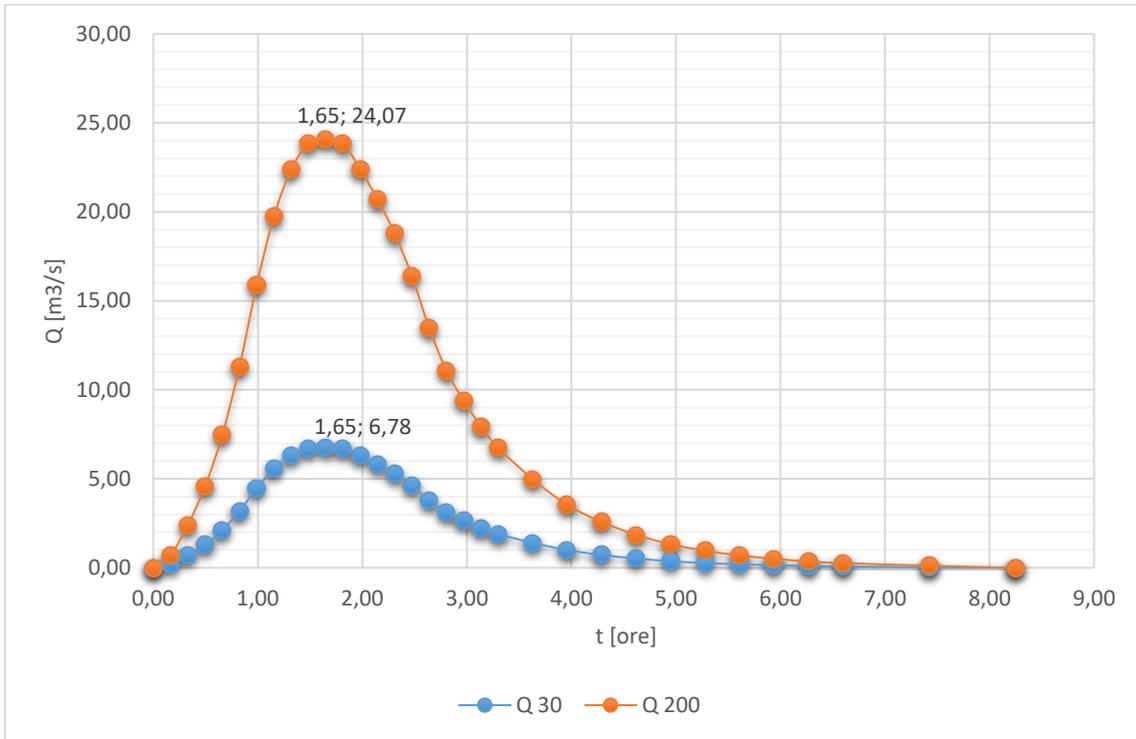


Figura 18 - idrogramma di piena Bacino

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW. Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

## 5 Verifica idraulica

Come si evince dall'elaborato GK-EN-C-FV-TB-ET-0015-00, le interferenze del cavidotto di connessione con il reticolo idrografico individuato dalla carta IGM e dalla CTR sono tre; di queste, la interferenza indicata con il n.1 ricade in area perimetrata a "pericolosità alta" per il rischio idraulico da parte della Autorità di Bacino. I due reticoli non rientrano invece in aree perimetrare a rischio e/o a pericolosità idraulica.

Si fa presente, come ribadito in premessa, che l'elettrodotto sarà interrato ed il superamento delle suddette interferenze sarà realizzato mediante la tecnica della Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC).

La verifica condotta pertanto è stata condotta a scopo cautelativo sull'asta oggetto della inerenza n.1 "Torrente Zucariello", ed ha avuto l'obiettivo di individuare le condizioni idrauliche di sicurezza con un tempo di ritorno pari a 200 anni. Una volta valutate le aree allagabili si è potuta quantificare la lunghezza della Trivellazione Orizzontale Controllata che garantisce un franco di sicurezza in tal senso.

La verifica è stata effettuata con il software **Hec-Ras** (Versione 6.4.1) in condizioni di moto vario bidimensionale, ovvero un moto in cui la portata e la geometria dell'alveo possono entrambe variare.

### 5.1 Il software Hec Ras

HEC-RAS® (Hydrologic Engineering Center--River Analysis System) è parte di un sistema di software integrati, sviluppato dallo Hydrologic Engineering Center dello U.S. Army Corps of Engineers (<http://www.hec.usace.army.mil>). Il software consente l'analisi di sistemi fluviali con particolare riferimento a:

- Calcolo dei profili di moto permanente per correnti monodimensionali gradualmente variate e a portata variabile
- Modellazione idraulica in regime di moto vario di flussi monodimensionali, bidimensionali ed eventualmente in combinazione;
- Modellazione monodimensionale di trasporto solido su finestre temporali di medio o lungo periodo;
- Modellistica di qualità delle acque.

Il modello matematico bidimensionale è descritto dalle equazioni di De Saint Venant (DSV), dette anche shallow water equations (SWE), derivate a partire dalla formulazione completa di Navier Stokes. Queste equazioni si ottengono imponendo la conservazione della massa (equazione di continuità) e della quantità di moto nelle due direzioni principali x e y all'interno di un generico volume di controllo. Si otterrà quindi il seguente sistema di equazioni:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = sources - sinks$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v - f u$$

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW. Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

L'equazione esprime la conservazione della massa, ovvero un aumento o diminuzione di un volume che deve essere bilanciato da una portata in entrata o in uscita. Il termine  $H$  indica il livello idrico fissata una quota  $z$  di riferimento e i singoli termini indicano rispettivamente:

- $\frac{\partial H}{\partial t}$  variazione del livello idrico nel volume di controllo considerato;
- $\frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y}$  variazione spaziale della portata in entrata o in uscita, con  $u$  e  $v$  velocità media della corrente in direzione  $x$  e  $y$ ;
- i termini sources e sinks determinano infine le portate localizzate in ingresso o in uscita
- $c_f u$  resistenza dell'alveo;  $f v$  parametro di Coriolis.

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS impiega l'approccio batimetrico con il quale riesce a rappresentare informazioni topografiche dettagliate pur utilizzando celle di calcolo di dimensioni maggiori, ricavandone la legge di variazione delle grandezze idrauliche (curva di invaso della cella e sezione idraulica lungo il bordo) con la quota del pelo libero. Tale metodologia risolutiva consente di raggiungere un elevato dettaglio dei risultati, abbattendo drasticamente i tempi computazionali.

La risoluzione prevede l'applicazione delle equazioni e per ogni cella in cui si è suddiviso il dominio urbano, utilizzando generalmente metodi numerici alle differenze finite o a volume finito. Al termine della procedura di calcolo, va verificata la convergenza e la stabilità della soluzione, riferendosi ad esempio al criterio di Courant. La complessità della trattazione porta all'introduzione di alcune semplificazioni alle equazioni DSV, che riconducono all'analisi del modello diffusivo, tralasciando i termini inerziali relativi alle accelerazioni locali e convettive. Alcuni esempi pratici hanno dimostrato come le trattazioni a complessità ridotta conducano comunque a risultati confrontabili con quelli più complessi a vantaggio di un onere computazionale minore.

I termini delle eq. Di DSV diventano quindi:

$$c_f u = g \frac{\partial H}{\partial x}$$

$$c_f v = g \frac{\partial H}{\partial y}$$

La nuova formulazione dell'equazione esprime la variazione del pelo libero bilanciata unicamente dalla resistenza dell'alveo. L'utilizzo del modello diffusivo è quindi consigliabile soprattutto in analisi che presentano variazioni di portata gradualmente e piccole pendenze del terreno, in cui i termini legati alle accelerazioni locali e convettive sono meno influenti sul risultato finale.

## 5.2 Modello di calcolo

L'area oggetto di calcolo è stata ricavata all'interno del bacino precedentemente calcolato; si fa presente, tuttavia, che l'orografia delle aree oggetto di studio presenta versanti molto acclivi. È ipotizzabile, quindi, che anche in presenza di tempi ritorno di 200 anni le portate restino all'interno delle aree golenali.

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

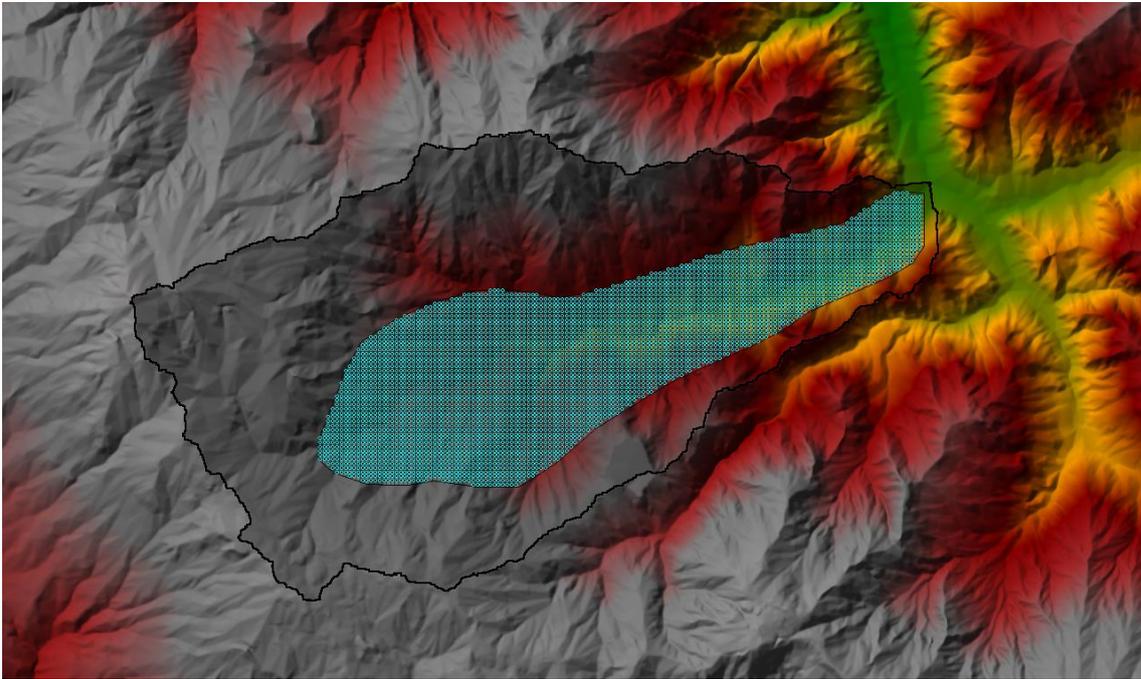


Figura 19 - Area bacino (grigio scuro) e Area computazionale (ciano)

Nella zona a monte è stato quindi inserito l'idrogramma di piena come di seguito indicato (Boundary conditions).

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time	Flow
		(hours)	(m3/s)
1	31Dec1980 2400	0:00:00	0
2	01Jan1981 0100	1:00:00	16.12
3	01Jan1981 0200	2:00:00	22.17
4	01Jan1981 0300	3:00:00	9.12
5	01Jan1981 0400	4:00:00	3.41
6	01Jan1981 0500	5:00:00	1.26
7	01Jan1981 0600	6:00:00	0.47
8	01Jan1981 0700	7:00:00	0.19
9	01Jan1981 0800	8:00:00	0.03
10	01Jan1981 0900	9:00:00	0

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	---	--

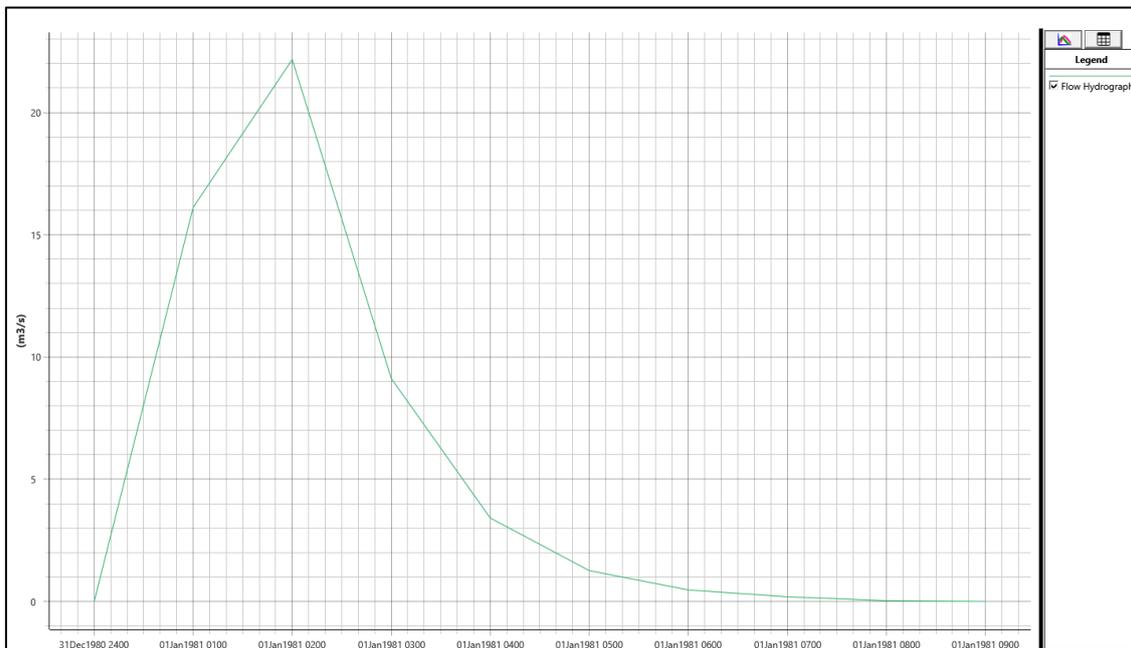


Figura 20 - Idrogramma di piena in HEC-RAS

Si è quindi proceduti con la computazione di tutti gli elementi necessari per i quali si riportano i risultati nelle successive pagine.

### 5.3 I risultati dell'analisi

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dall'analisi bidimensionale del corso d'acqua oggetto di studio.

Committente:



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01

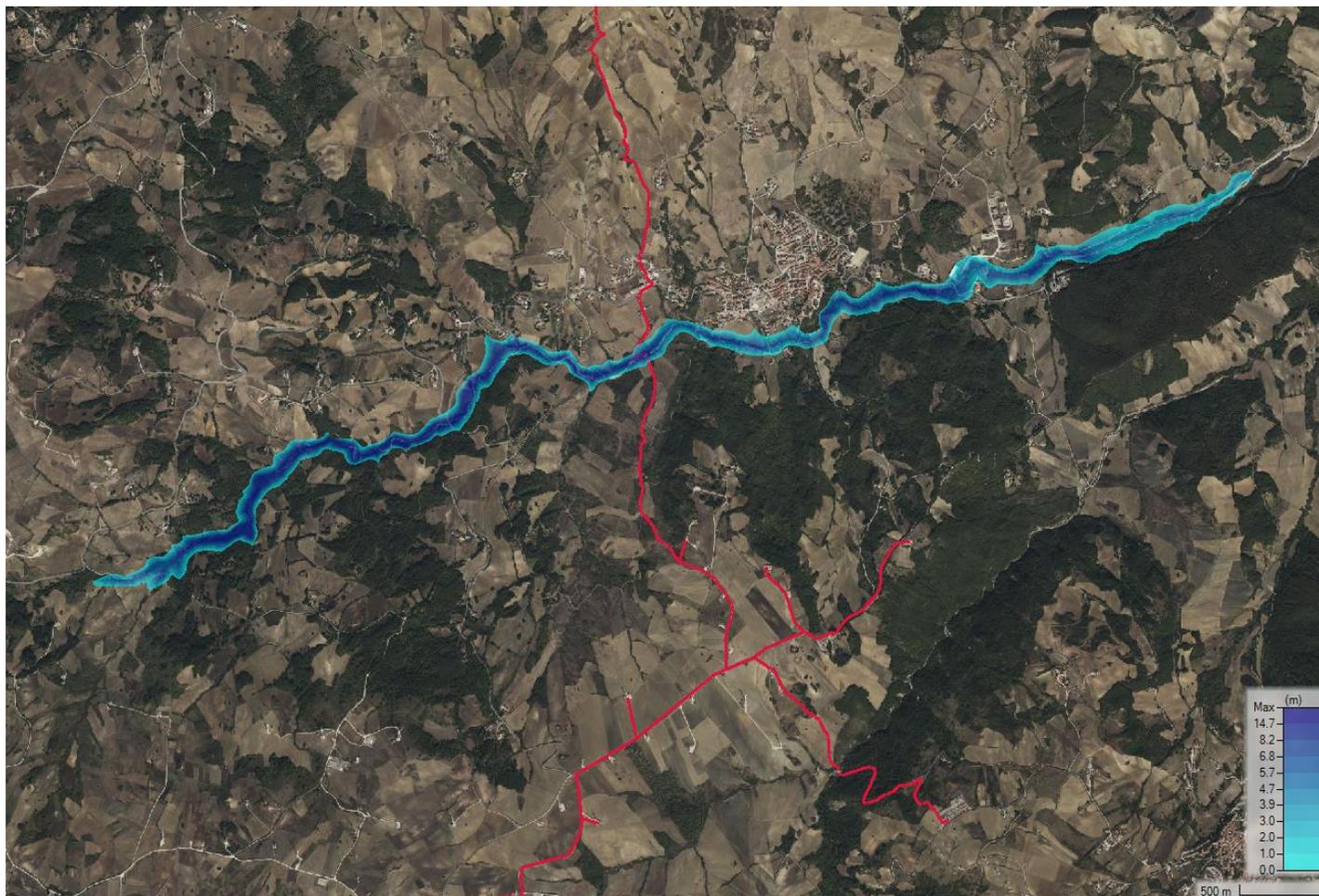


Figura 21 - Mappa aree inondabili Tr200 Anni e altezza del tirante idrico (zona estesa)

Committente:



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01

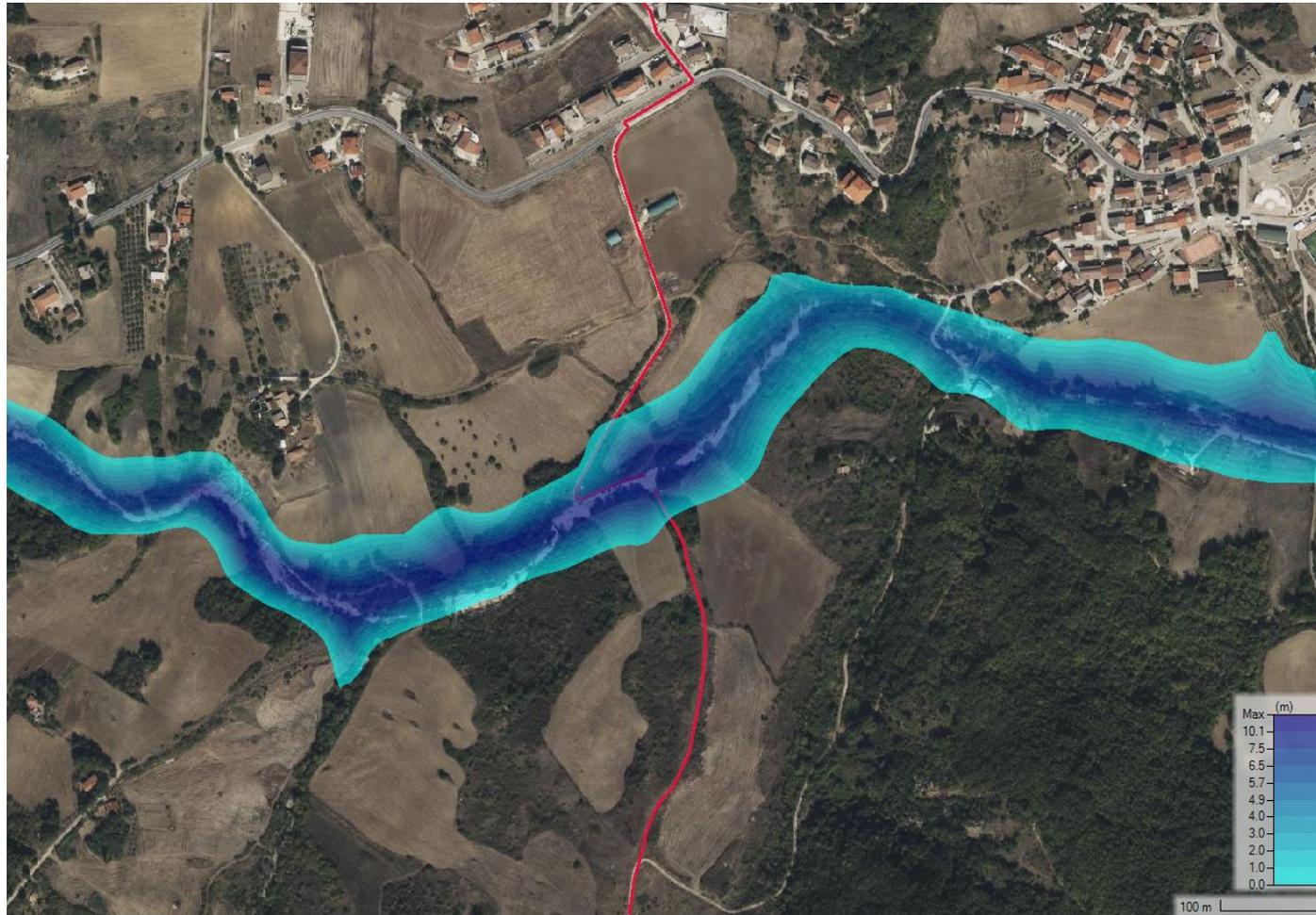


Figura 22 - Mappa aree inondabili Tr200 Anni e altezza del tirante idrico (zona interferenza cavidotto)

Committente:



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01

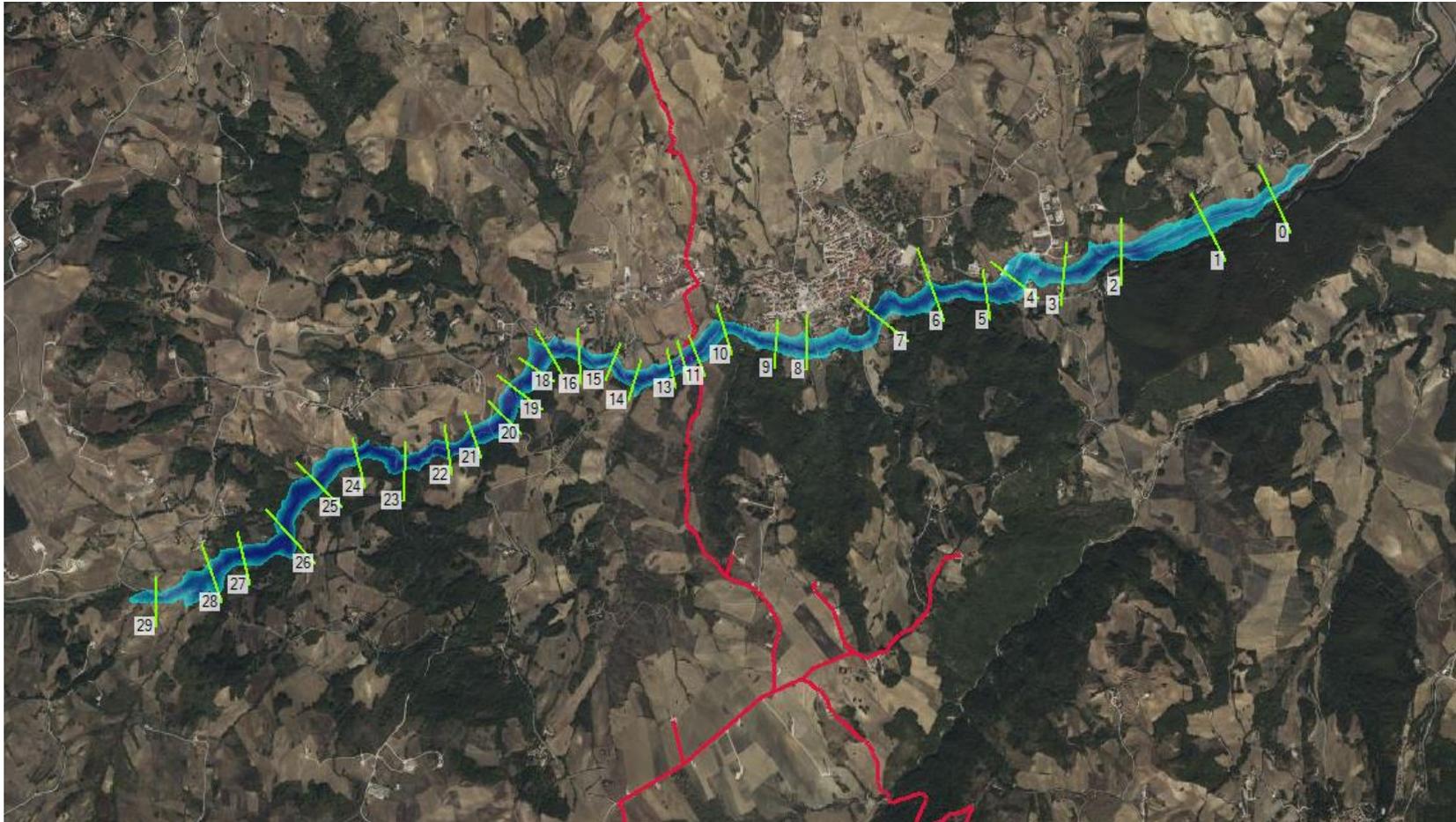


Figura 23 - Mappa aree inondabili Tr200 Anni e sezioni (zona estesa)

Committente:



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01

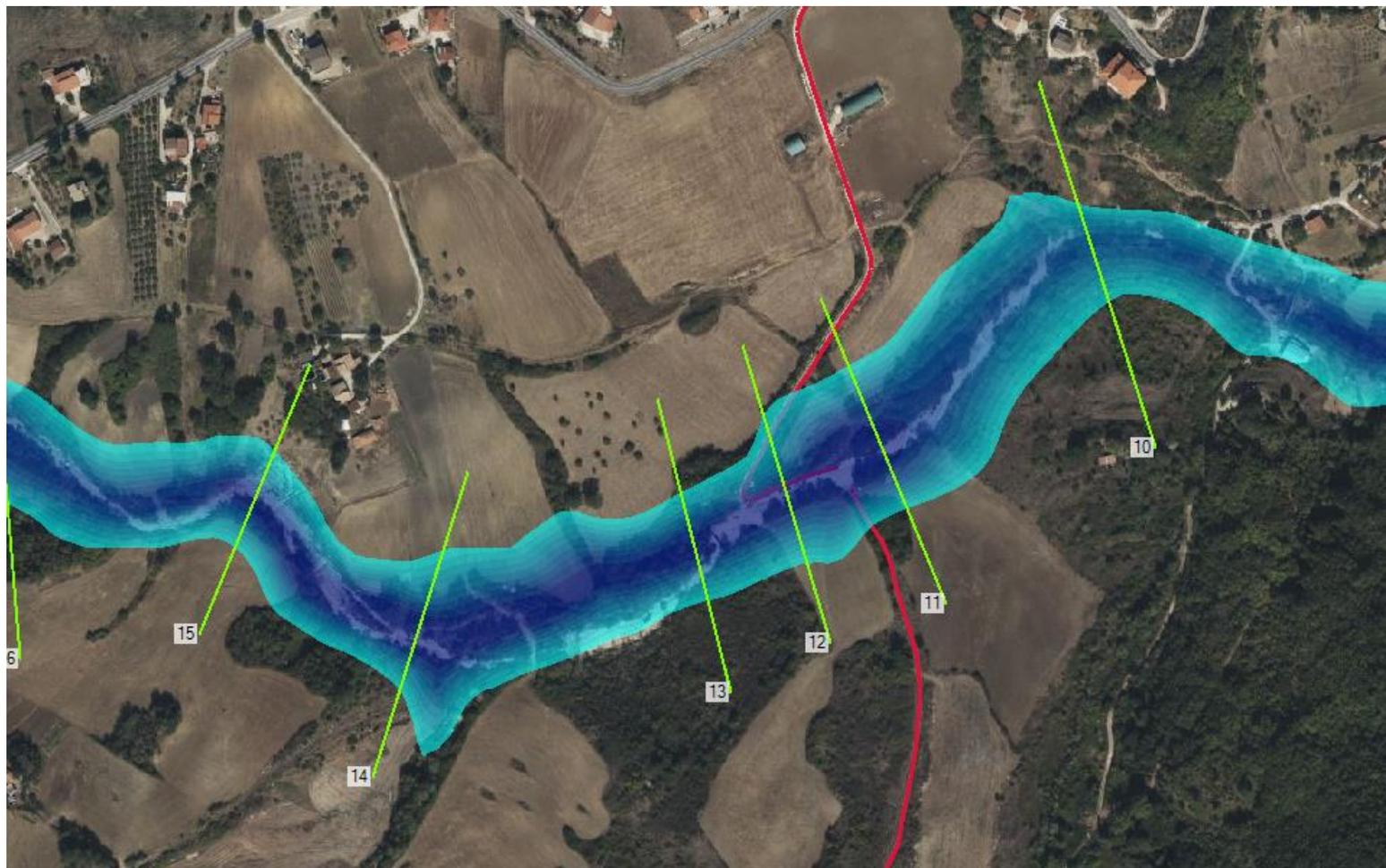


Figura 24 - Mappa aree inondabili Tr200 Anni e sezioni (zona interferenza cavidotto)

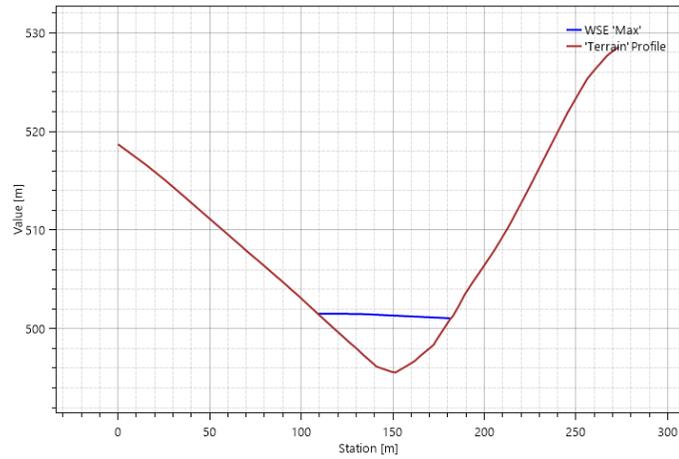
Committente:



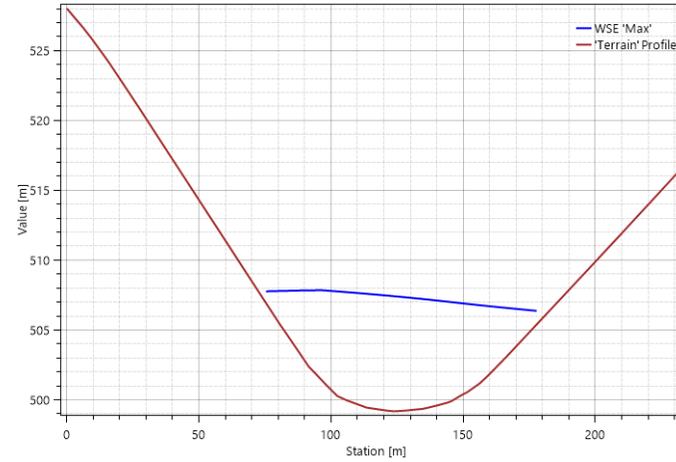
Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01

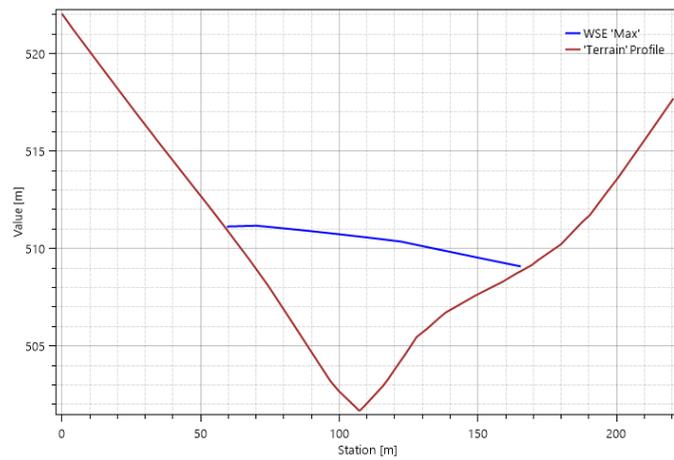
**Sezione 10**



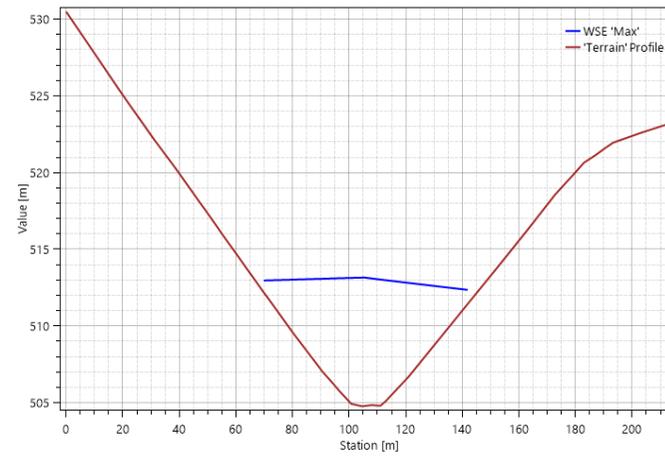
**Sezione 11**



**Sezione 12**



**Sezione 13**



Committente:



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01



Figura 25 - Mappa delle velocità Tr200 Anni (zona estesa)

Committente:



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01



Figura 26 - Mappa delle velocità Tr200 Anni (zona cavidotto)

Committente:



Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.

Elaborato: Relazione idraulica  
Codice: G19201A01



Figura 27 - Mappa della Water Surface Elevation

<p>Committente:</p>  <p><b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano</p>	 <p><b>GVC</b> INGEGNERIA</p>	<p>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.</p> <p>Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01</p>
---	--	--

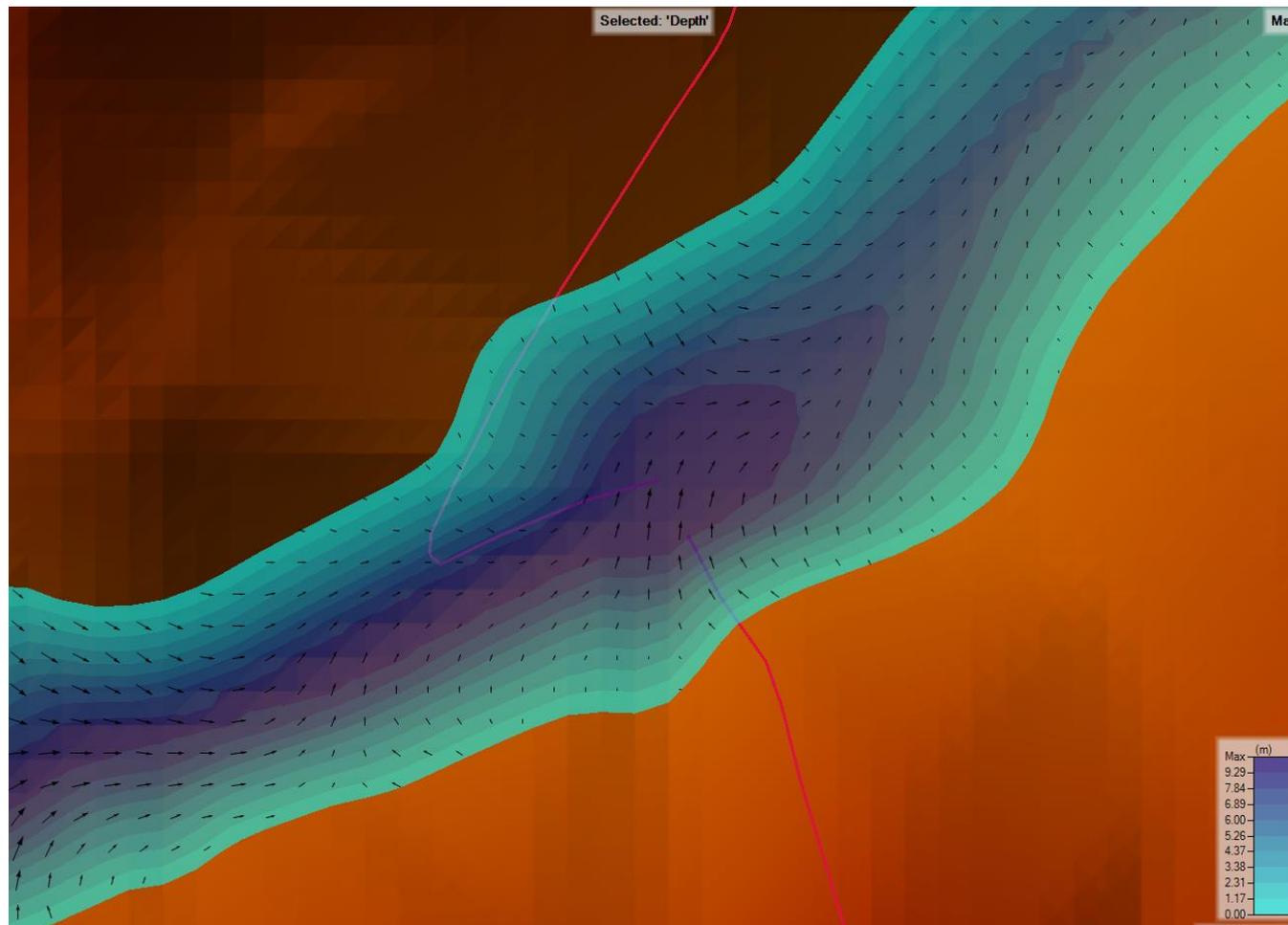
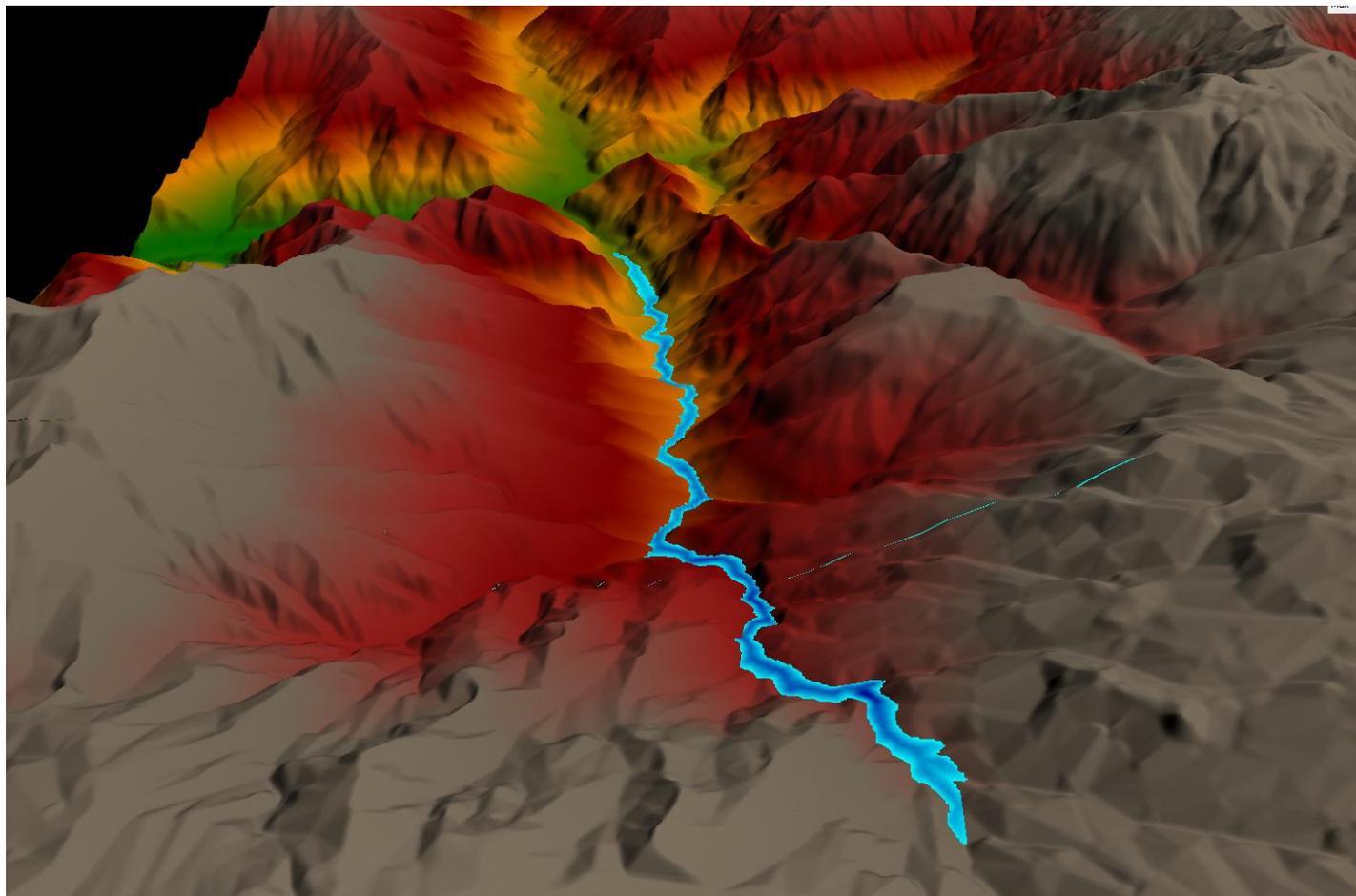


Figura 28 - Mappa dei vettori di velocità statici Tr200 Anni, con evidenza del cavidotto di connessione

<p>Committente:</p>  <p><b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano</p>	 <p><b>GVC</b> INGEGNERIA</p>	<p>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.</p> <p>Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01</p>
---	--	--



*Figura 29 - Vista tridimensionali delle aree inondabili Tr200 Anni*

<p>Committente:</p>  <p><b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano</p>		<p>Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.</p> <p>Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01</p>
---	--	--

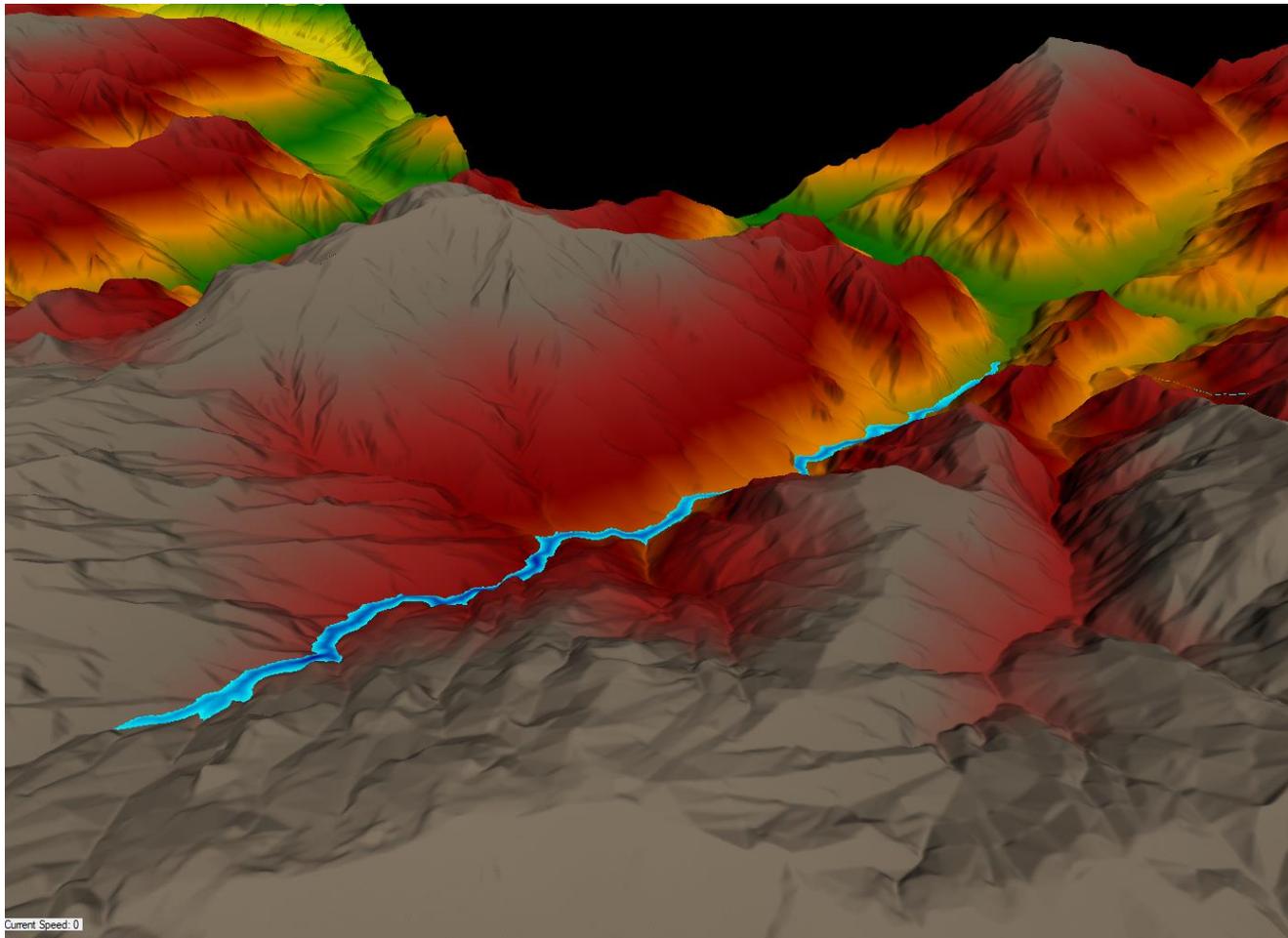


Figura 30 - Vista tridimensionali delle aree inondabili Tr200 Anni

Committente:  <b>Edison Rinnovabili Spa</b> Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano	 <b>GVC</b> INGEGNERIA	Progetto di Integrale Ricostruzione di n. 1 impianto eolico composto da 10 aerogeneratori da 6,6 MW per una potenza complessiva di 66,6 MW nel Comune di Foiano di Valfortore e relative opere di connessione alla località "Monte Barbato - Piano del Casino" con smantellamento di n. 47 aerogeneratori di potenza in esercizio pari a 33,20MW.  Elaborato: Relazione idraulica Codice: G19201A01
--	--	--

Come si evince dai risultati delle analisi condotte, riportati nei paragrafi precedenti, **le aree interessate dai fenomeni di "allagamento" per tempi di ritorno di 200 anni sono incluse nel buffer considerato per la TOC; in altre parole, sia la zona di ingresso che di uscita del foro risultano essere esterne alla fascia individuata dall'analisi modellistica condotta, pertanto è possibile concludere positivamente la verifica idraulica condotta.**

Relativamente alle ulteriori due interferenze, la TOC garantirà l'assoluta inalterazione del regime idraulico presente, attestandosi ad una profondità tale da non incidere sul deflusso delle portate da monte.

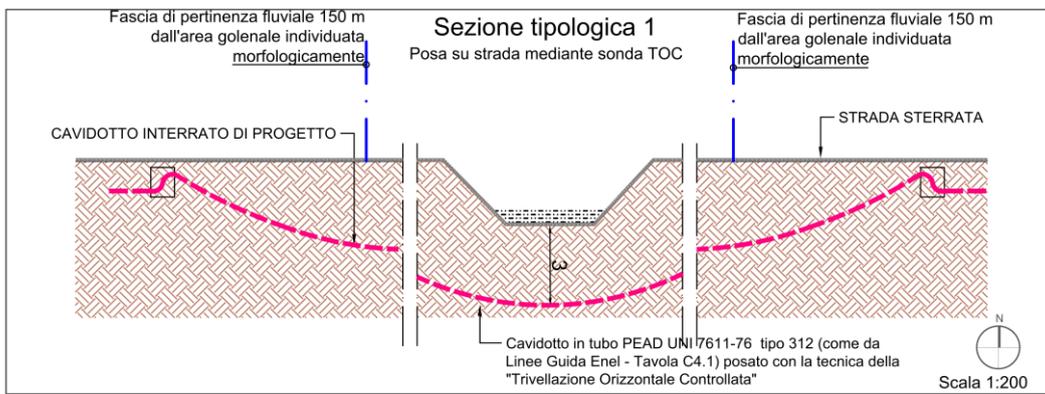


Figura 31 - Trivellazione Orizzontale Controllata, schema di progetto per l'interferenza n.1

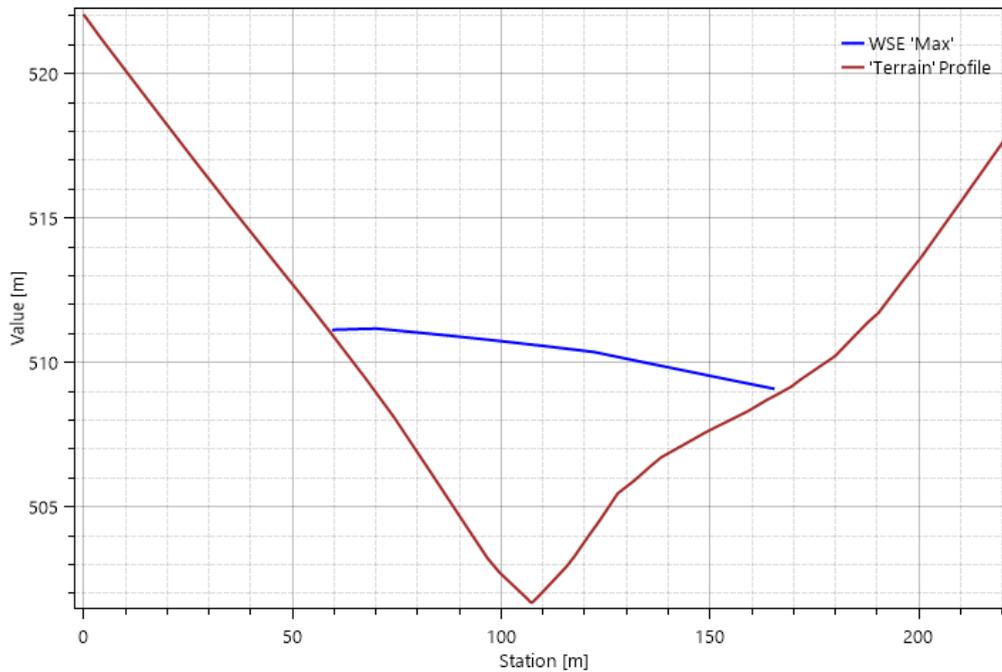


Figura 32 - Sezione 12, area allagabile con Tr 200 anni