

TITOLARE DEL DOCUMENTO:

AREN Green S.r.l.

Società soggetta alla direzione e coordinamento di AREN Electric Power S.p.A.
Sede legale e amministrativa: Via dell'Arrigoni n. 308 | 47522 Cesena (FC) | Ph. +39 0547 415245
Iscritta nel Registro delle Imprese della Romagna – Forlì-Cesena e Rimini | REA 326908 | C.F./P.Iva 04032170401

**COMUNI DI VENOSA, MONTEMILONE (PZ)
LOCALITA' "PIANO REGIO"**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "PIANO REGIO"

REDAZIONE / PROGETTISTA:



AREN Electric Power S.p.A.
Società per Azioni con Unico Socio
Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC)
Ph. +39 0547 415245 - Fax +39 0547 415274
Web: www.aren-ep.com

TIMBRO E FIRMA PROGETTISTA:



TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

CODICE ELABORATO:

PRGDC_GENR00500_00

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	13/03/2023	L.Schiavone	E.Teodorani	S.Ulivi
01					
02					
03					
04					

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 73

Sommario

1	Premessa.....	3
2	Inquadramento generale e descrizione dell'intervento.....	4
2.1	Inquadramento geografico	4
2.2	Inquadramento geologico e idrogeologico e definizione vincolistica AdB	7
2.3	Elenco delle opere principali.....	10
2.4	Opere provvisionali	10
2.5	Elenco tratti strada.....	11
2.6	Caratteristiche costruttive generali	12
2.7	Caratteristiche generali degli aerogeneratori.....	13
3	Metodologia operativa dello studio.....	14
4	Analisi morfologica e individuazione dei bacini idrografici.....	15
4.1	Modello Digitale del Terreno	16
4.2	Individuazione dei bacini idrografici e dei parametri caratteristici.....	16
4.3	Uso del suolo	19
5	Studio idrologico del bacino.....	20
5.1	Analisi regionale delle piogge in Basilicata.....	21
5.2	Curve di possibilità climatica.....	24
5.3	Valutazione delle portate di piena	26
5.4	Metodo Razionale	26
5.5	Metodo SCS - CN.....	32
5.6	Considerazioni finali sulle portate di piena.....	38
6	Analisi idraulica.....	38
6.1	Teoria del modello idraulico.....	38
6.2	Modello idraulico implementato.....	40
7	Definizione delle aree allagabili con tempi di ritorno di 200 anni.....	65
8	Definizione e risoluzione delle interferenze	68
8.1	Realizzazione di sezione stradale drenante complanare al piano campagna di avvicinamento all'aerogeneratore PR15	68
8.2	Cavidotti	69
9	Conclusioni.....	70

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 73

1 Premessa

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Piano Regio”, e sito nei Comuni di Venosa e Montemilone (nel seguito: il “Progetto”).

La società proponente è Aren Green S.r.l. Unipersonale, con sede in Via dell'Arrigoni 308 – 47522 Cesena (FC), P.IVA 04032170401 (nel seguito: il “Soggetto proponente”).

Il Soggetto proponente ha intrapreso l'iniziativa imprenditoriale di realizzare un impianto di produzione di energia elettrica mediante lo sfruttamento del vento, composto da n. 15 aerogeneratori mod. Siemens Gamesa SG 4.7 – 155, ciascuno della potenza di 4,7 MW, per una potenza di immissione complessiva dell'impianto eolico pari a 70,5 MW.

Gli aerogeneratori si trovano nei Comuni di Venosa (PZ) e Montemilone (PZ). Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione utente attraversa i medesimi Comuni. L'impianto sarà allacciato alla futura Stazione Elettrica Terna di Montemilone, tramite connessione a 36 kV.

La presente relazione è finalizzata alla verifica della compatibilità idrologica ed idraulica delle opere da realizzare (aerogeneratori, piazzole e strade di accesso, cavidotti).

La presente relazione è stata redatta nel rispetto delle Norme di Attuazione (NA) del Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico (PAI) approvato con delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità interregionale di Bacino della Basilicata (AdB) n. 13 del 4 ottobre 2013, attualmente in vigore (PAI- 2013) e del DPCM 29/09/1998 “Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del Decreto-Legge 11 giugno 1998, n. 180”.

Il PAI, finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologica, perimetra le aree a pericolosità idraulica e le aree a pericolosità geomorfologica, definendone gli indirizzi di tutela.

Nel piano vengono distinte tre tipologie di aree a pericolosità idraulica:

Aree a pericolosità idraulica molto elevata: porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o pari a 30 anni

Aree a pericolosità idraulica elevata: porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni

Aree a pericolosità idraulica moderata: porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni

Le aree perimetrate come sopra sono soggette ad una serie di norme finalizzate alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione contro presumibili effetti dannosi di interventi antropici.

Dalla consultazione della cartografia dell'Autorità di Bacino della Basilicata risulta che i terreni oggetto di studio non sono interessati da aree perimetrate dall'AdB, alcune delle opere di progetto interferiscono con il reticolo idrografico ufficiale.

Preso atto del TITOLO III – PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI NA del P.A.I., è stato dato incarico allo scrivente dello studio idraulico dei corsi d'acqua che interessano la zona, al fine di verificare la compatibilità delle opere di progetto con i corsi d'acqua esistenti e, eventualmente, proporre le necessarie opere di regimentazione.

Lo studio è stato condotto al fine di valutare le effettive situazioni di rischio utilizzando i modelli e le analisi idrologiche idrauliche previste nelle linee guida contenute nella relazione di Piano del P.A.I.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 73

Per raggiungere le finalità prefissate occorre impostare e realizzare analisi di larga scala che consentono di valutare e stimare i volumi pluviometrici che danno luogo a fenomeni di deflusso eccezionali, successivamente di simulare la propagazione di questi ultimi facendo riferimento ad analisi numeriche di propagazione altamente avanzate che richiedono l'utilizzo di software specialistici di primo livello.

A tal proposito, si è proceduto ad una analisi di dettaglio adottando domini modellistici con celle di dimensioni più contenute per evidenziare le differenze morfologiche che sono significative e potrebbero comportare la deviazione dei deflussi superficiali.

Infatti, soprattutto per le propagazioni in domini bidimensionali con morfologie poco accentuate, bastano differenze di quota di pochi centimetri per determinare deviazioni di deflussi da un lato piuttosto che dall'altro.

La complessità dello studio svolto ha dato luogo allo sviluppo di più fasi che vengono nel seguito elencate:

Fase Preliminare

indagine conoscitiva preliminare dell'area di esame;

verifica ed analisi dei reticoli idrografici;

delimitazione dei bacini idrografici;

individuazione preliminare delle principali criticità presenti sul territorio studiato;

acquisizione dei dati geometrici e topografici delle sezioni di interesse sull'area oggetto di studio;

individuazione della regione di calcolo.

Analisi Idrologica

applicazione della Metodologia Va.Pi.;

definizione delle curve di possibilità pluviometrica;

implementazione dei modelli afflussi-deflussi;

calcolo degli idrogrammi di piena nelle sezioni oggetto di studio.

Analisi Idraulica

implementazione del modello idraulico nel dominio di riferimento;

modellazione idraulica e valutazione delle grandezze idrodinamiche delle piene di riferimento;

descrizione dei risultati ottenuti.

2 Inquadramento generale e descrizione dell'intervento

2.1 Inquadramento geografico

L'area oggetto degli interventi di progetto è ubicata, come già detto, tra i territori comunali di Venosa e Montemilone, come meglio definibile dalla tabella di seguito.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 5 di 73

WTG	Comune	Foglio
PR1	Montemilone	17
PR2	Montemilone	27
PR3	Montemilone	27
PR4	Montemilone	27
PR5	Montemilone	27
PR6	Montemilone	33
PR7	Montemilone	35
PR8	Venosa	28
PR9	Venosa	6
PR10	Venosa	28
PR11	Venosa	20
PR12	Venosa	20
PR13	Venosa	23
PR14	Venosa	23
PR15	Venosa	24

Tabella 1: Indicazione dei comuni di ubicazione degli aerogeneratori

La cartografia di riferimento è la seguente:

Carta Topografica d'Italia, scala 1: 25.000, tavoletta 175IISE – Mezzana del Cantore, 176IIISO – Montemilone, 187INE – Stazione di Venosa - Maschito, 188IVNO – Palazzo San Gervasio;

CTR Regione Basilicata, scala 1: 5.000, sezione 435, 436, 452 e 453;

Carta Geologica d'Italia, scala 1: 100.000, fogli 175 – Cerignola, 176 – Barletta, 187 – Melfi e 188 – Gravina in Puglia.

L'area fa parte di un territorio precollinare appartenente all'alto bacino del torrente Basentello, affluente del fiume Bradano, a un'altitudine compresa fra circa 350 e 450 m s.l.m. Il posizionamento degli aerogeneratori è stato effettuato tenendo conto, principalmente, delle condizioni di ventosità dell'area. In particolare, si sono raccolti dati sulla direzione, sull'intensità, sulla durata e sulla continuità del vento. Si è poi tenuto conto della natura geologica del terreno, nonché del suo andamento plano-altimetrico.

In **Figura 1** e **Figura 2** è mostrato un inquadramento territoriale del progetto.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 6 di 73

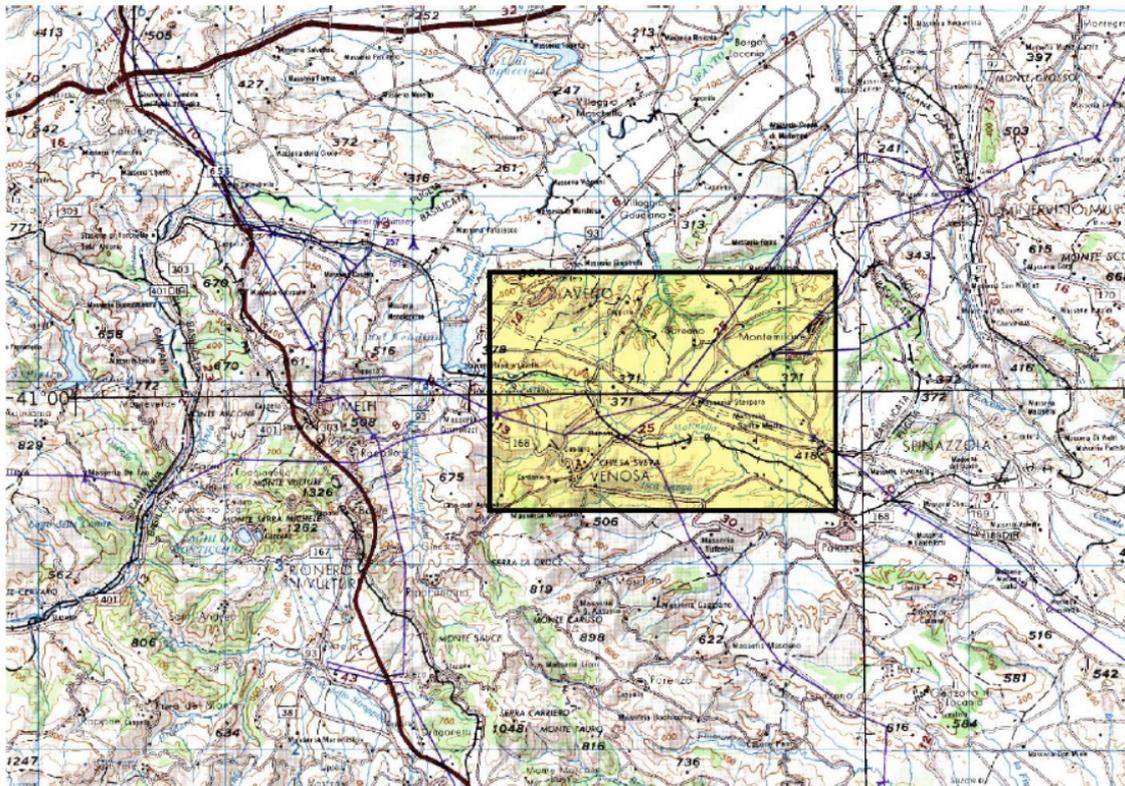


Figura 1: Inquadramento territoriale del progetto (1/2)

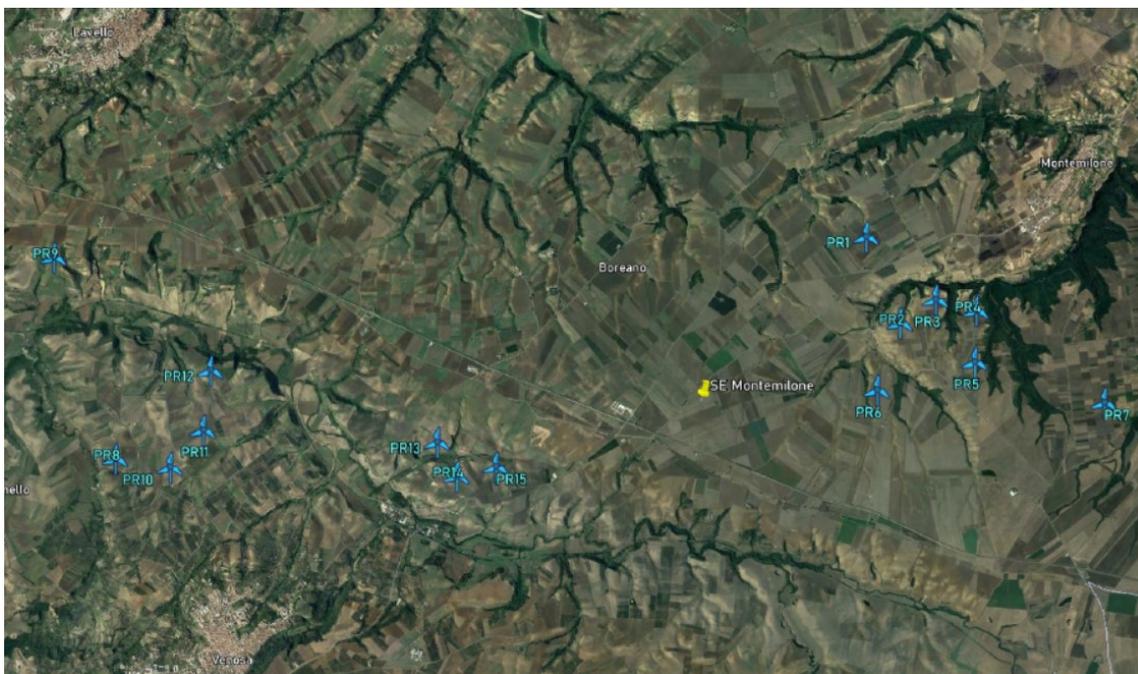


Figura 2: Inquadramento territoriale del progetto (2/2)

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 73

2.2 Inquadramento geologico e idrogeologico e definizione vincolistica AdB

Dal punto di vista cartografico il sito ricade, come già detto, nell'ambito dei fogli 175 – Cerignola, 176 – Barletta, 187 – Melfi e 188 – Gravina in Puglia. della Carta Geologica dell'Italia alla scala 1:100.000.

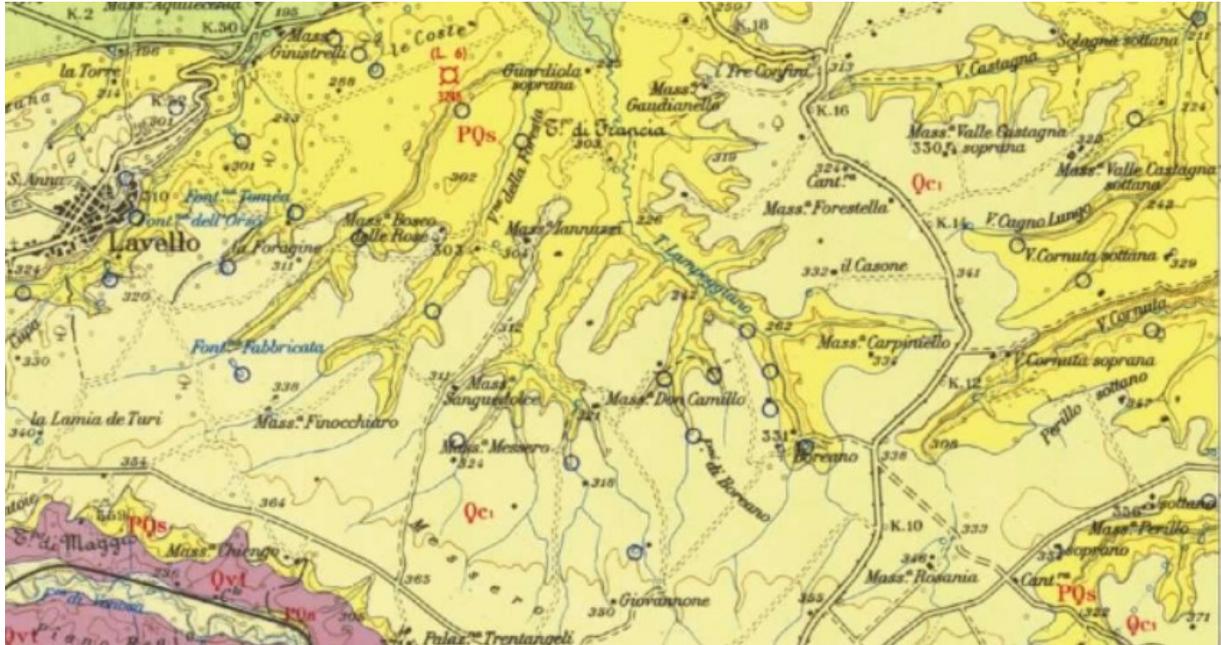


Figura 3: Stralcio su Carta Geologica scala 1:100.000 Foglio 175 “Cerignola”

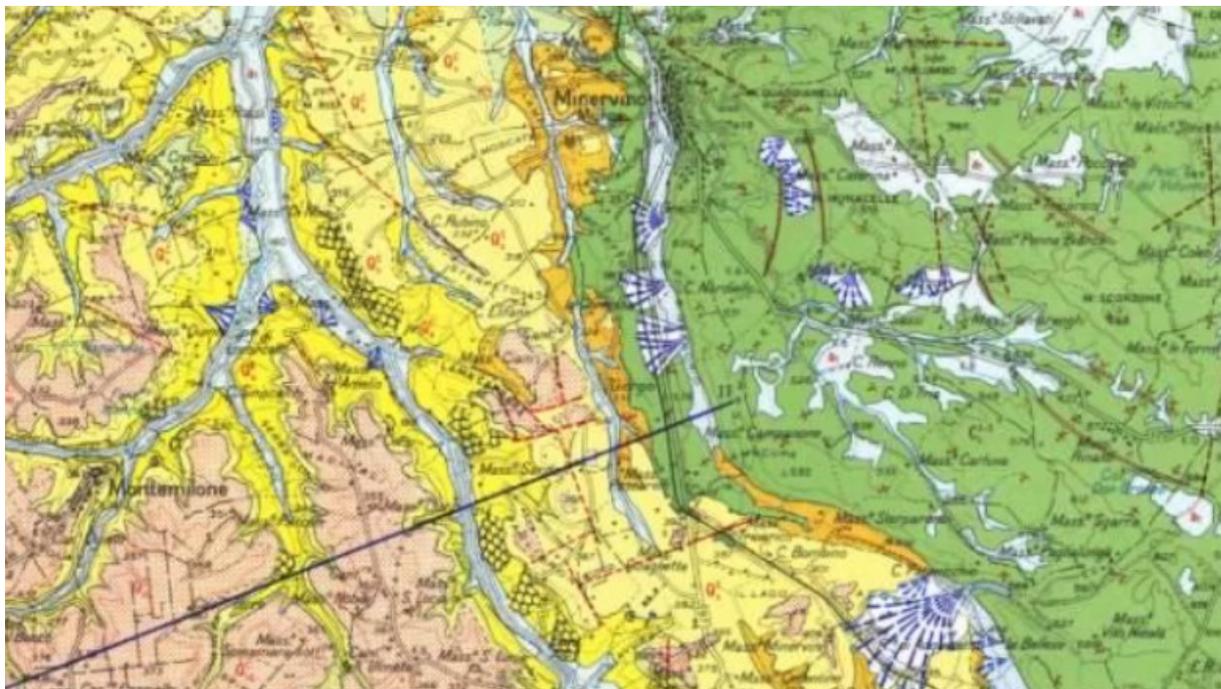


Figura 4: Stralcio su Carta Geologica scala 1:100.000 Foglio 176 “Barletta”

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 73

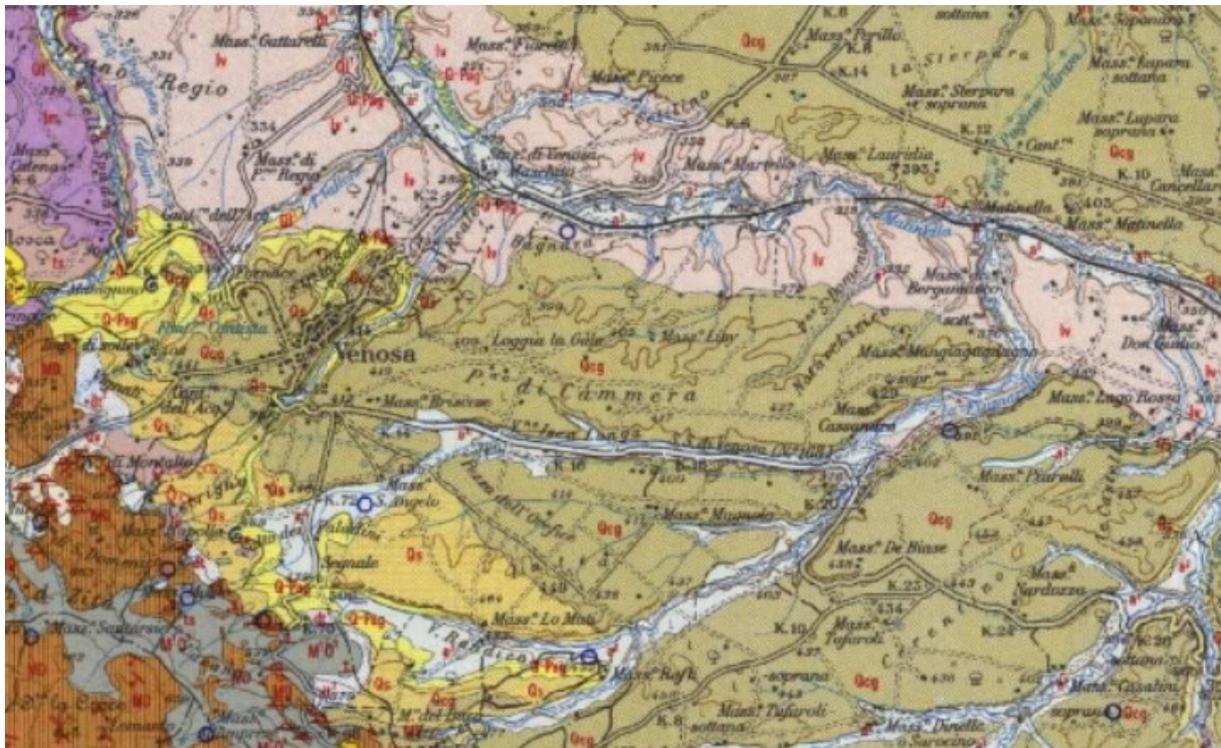


Figura 5: Stralcio su Carta Geologica scala 1:100.000 Foglio 187 “Melfi”



Figura 6: Stralcio su Carta Geologica scala 1:100.000 Foglio 188 “Gravina in Puglia”

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 73

Allo scopo di evidenziare le caratteristiche geologiche, è stato eseguito un rilevamento di dettaglio che ha interessato il sito in studio ed un'ampia zona circostante.

Tra gli Elaborati di Progetto è compreso **PRGDT_GENR03201_00_Relazione geologica, geotecnica, idrogeomorfologica e sismica**, la quale ha la finalità di illustrare le caratteristiche generali dell'area interessata dal Progetto, dal punto di vista geologico, idrogeologico, idrologico, idraulico, geotecnico e sismico. Lo scopo è stabilire che l'area considerata non è incompatibile con la presenza di un impianto eolico come quello definito dal Progetto.

La morfologia dell'area è tendenzialmente collinare con linee di compluvio ben definite anche se poco incise.

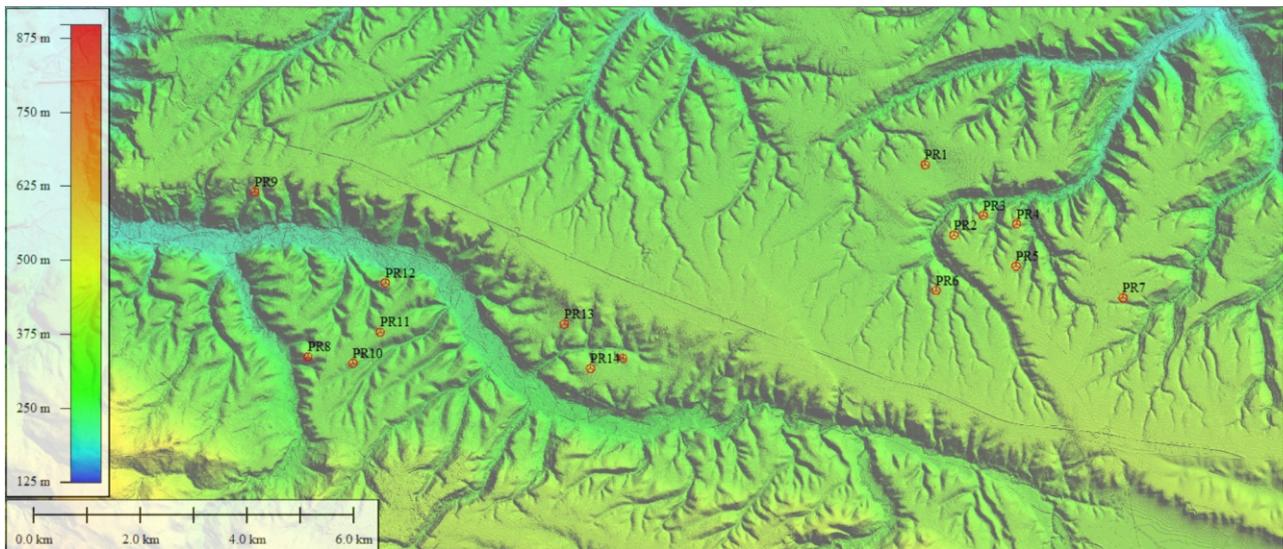


Figura 7: Modello LIDAR/DTM dell'area d'interesse

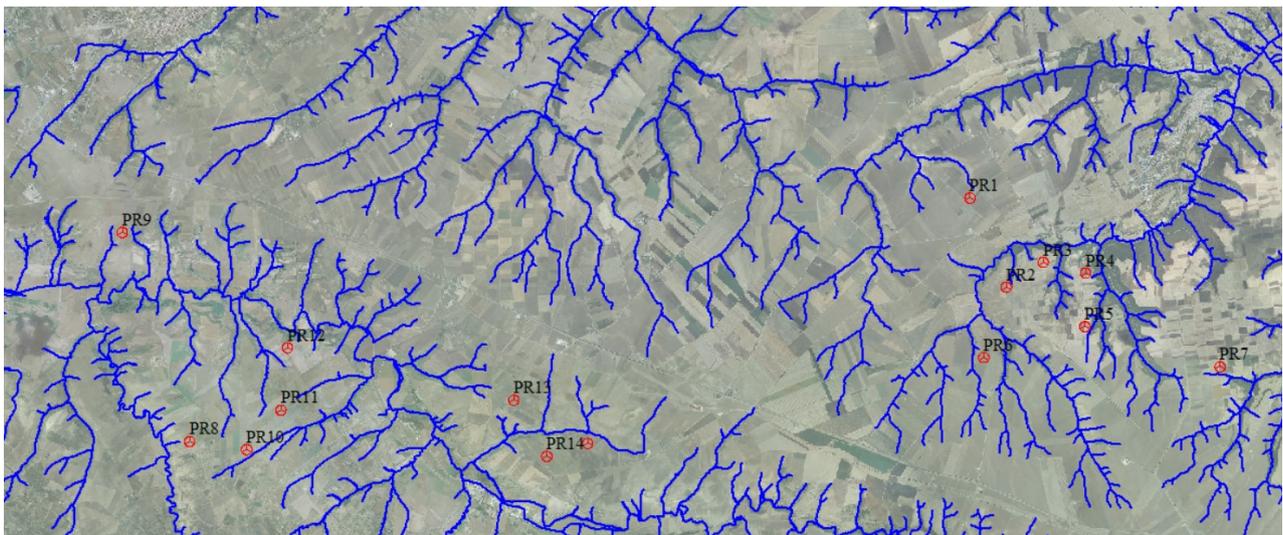


Figura 8: Individuazione del reticolo idrografico interferente con l'area di intervento su base ortofoto

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 73



Figura 9: Aree a diversa pericolosità idraulica perimetrate nel PAI della Puglia vigente

Come si nota dalle immagini precedenti, nessuno degli interventi di progetto ricade all'interno di aree perimetrate dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (cfr. **Figura 9**).

Alcuni aerogeneratori, invece, sono ubicati a poca distanza dal reticolo idrografico individuato dalla Carta idrogeomorfologica (cfr. **Figura 8**).

2.3 Elenco delle opere principali

Le opere che costituiranno il Progetto comprendono:

- Opere provvisorie, sono tutte quelle opere aventi carattere provvisorio, in quanto necessarie durante le fasi di costruzione dell'impianto, e sono quindi destinate ad essere rimosse al termine delle attività di cantiere, ripristinando per quanto possibile le condizioni preesistenti;
- Opere di fondazione tra le quali:
 - Opere di fondazione degli aerogeneratori,
 - Opere di fondazione della Stazione utente;
- Strade e piazzole, comprendono i nuovi tratti di strada che devono essere realizzati, a partire dalla viabilità esistente, fino alle posizioni occupate dagli aerogeneratori, insieme alle piazzole a carattere definitivo da realizzare attorno alla base;
- Aerogeneratori, comprendono i nuovi tratti di strada che devono essere realizzati, a partire dalla viabilità esistente, fino alle posizioni occupate dagli aerogeneratori.
- Cavidotto, costituito da una linea interrata di trasporto dell'energia elettrica prodotta, che collega gli aerogeneratori fra loro e con la Stazione utente, e quest'ultimo alla rete di trasmissione nazionale.

2.4 Opere provvisionali

Le opere aventi carattere provvisorio sono quelle che vengono realizzate in via preliminare alla costruzione, e che devono consentire all'impresa costruttrice di espletare le differenti fasi operative. Comprendono, in genere, tratti di strada e piazzole provvisorie. Tali opere sono progettate in maniera tale da consentire, dal punto di vista sia geometrico (ingombri, raggi di curvatura, ecc.) che della portanza, il transito e la operatività in sicurezza dei mezzi impegnati per il trasporto e l'installazione delle componenti previste.

Tali opere verranno rimosse al termine della fase di costruzione dell'impianto, restituendo la superficie occupata alla destinazione originaria. Ciononostante si limiterà, per quanto possibile, la necessità di occupazione temporanea

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 11 di 73

di ulteriore superficie rispetto a quella utilizzata per le strade definitive, facendo coincidere i tratti di viabilità utilizzata dai mezzi di cantiere con quelli finali.

2.5 Elenco tratti strada

In **Figura 10** e **Figura 11** è riportata una rappresentazione generale delle aree e strade di accesso agli aerogeneratori. Vengono inoltre riportate le strade esistenti, comunali e provinciali, direttamente interessate dall'opera in oggetto.

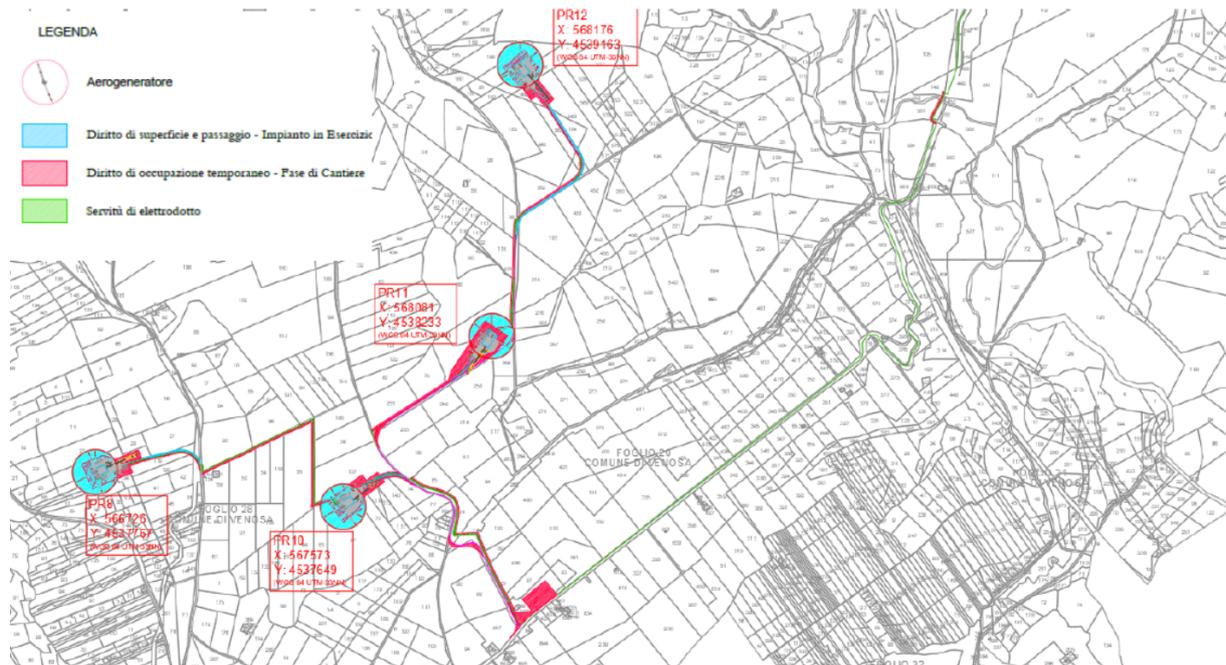


Figura 10: Rappresentazione grafica generale strada esistente, strade e piazzole provvisorie e definitive (1/2)

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 12 di 73

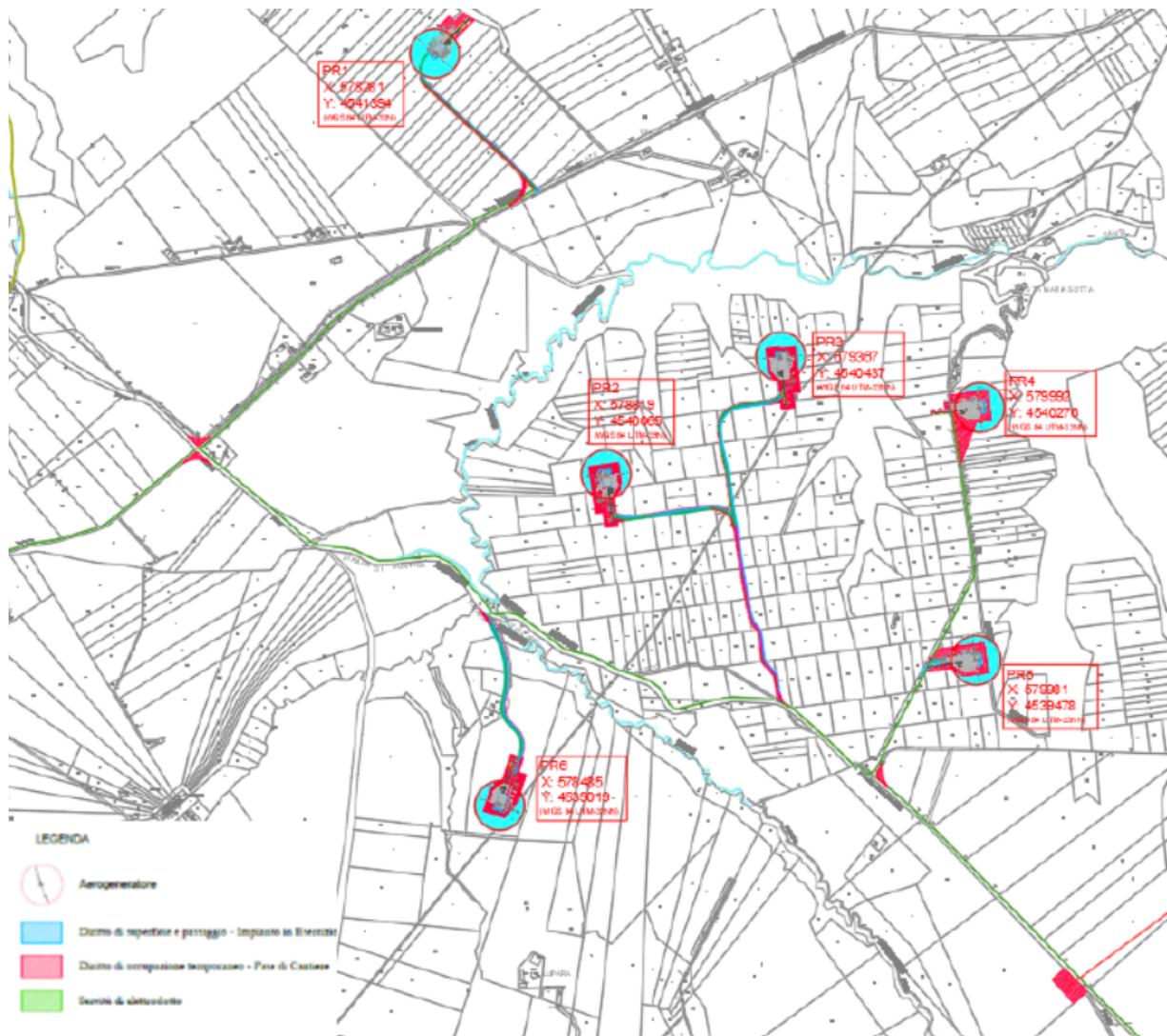


Figura 11: Rappresentazione grafica generale strada esistente, strade e piazzole provvisorie e definitive (2/2)

Per una rappresentazione di dettaglio dei tratti di strada, sia provvisori che definitivi (si veda la distinzione nei paragrafi seguenti), si rimanda agli elaborati grafici di Progetto.

2.6 Caratteristiche costruttive generali

Le strade e le piazzole del parco eolico hanno principalmente il doppio scopo di consentire le attività di trasporto in sito ed installazione degli aerogeneratori e di garantire l'accesso agli stessi durante tutta la loro vita operativa per interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Le strade e le piazzole presentano quindi una minima differenza durante le due fasi di costruzione e di funzionamento, richiedendo nella prima la predisposizione di allargamenti ed adeguamenti a carattere squisitamente temporaneo.

Viste le dimensioni e pesi degli elementi principali componenti i moderni aerogeneratori, piazzole e strade devono necessariamente garantire caratteristiche geometriche (i.e. raggi di curvatura, pendenze) e di portanza in linea con quanto indicato dai costruttori, i quali ne definiscono quindi i criteri di progettazione. Ad ogni modo però il

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 13 di 73

progetto è stato sviluppato perseguendo sempre l'utilizzo di strade e/o vie d'accesso esistenti al fine di minimizzare il consumo di suolo e lasciare il più possibile invariato l'assetto idrogeologico dei luoghi limitrofi all'area dove sorgerà il parco eolico.

Ove necessario quindi, strade e piazzole, sia temporanee che definitive, sono progettate in esecuzione con materiale misto stabilizzato, di opportuna pezzatura, al fine di garantirne un'adeguata portanza, stabilità nel tempo e capacità drenante.

2.7 Caratteristiche generali degli aerogeneratori

I n.15 aerogeneratori che costituiranno il Progetto sono di marca Siemens Gamesa, modello SG 4.7 – 155.



Figura 12: Aerogeneratore Siemens Gamesa SG 4.7 – 155

Sono costituiti da:

- Rotore, comprendente:
 - Mozzo;
 - n.3 pale.
- Navicella, comprendente a sua volta:
 - Trasmissione meccanica (albero lento, moltiplicatore di giri, albero veloce);
 - Generatore e relativi sistemi di accoppiamento alla struttura;
 - Inverter;
 - Trasformatore;
 - Sistema di frenatura;
 - Dispositivo orientamento timone;
 - Sistemi di controllo e gestione dell'aerogeneratore;
 - Sistemi di raffreddamento.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 14 di 73

- Torre;
- Fondazioni.

Per i dettagli si rimanda alla relazione generale.

Nella seguente tabella si elencano le posizioni degli aerogeneratori che costituiscono il Progetto, espresse in coordinate WGS 84, fuso UTM 33:

WTG	X	Y
PR1	578281	4541394
PR2	578819	4540065
PR3	579367	4540437
PR4	579992	4540276
PR5	579981	4539478
PR6	578485	4539019
PR7	581983	4538881
PR8	566726	4537767
PR9	565729	4540881
PR10	567573	4537649
PR11	568081	4538233
PR12	568176	4539163
PR13	571524	4538384
PR14	572015	4537548
PR15	572618	4537739

Tabella 2: Posizione aerogeneratori (WGS 84 UTM 33)

La Stazione utente è prevista al Foglio 32 del Comune di Montemilone (PZ), all'interno della particella 31, in vicinanza della Stazione Elettrica di Terna di nuova realizzazione.

3 Metodologia operativa dello studio

A fine della determinazione degli idrogrammi (per TR = 30, 200 e 500 anni) da applicare al modello idraulico di dettaglio dell'intervento, si dovranno studiare tutti gli elementi e le dinamiche che influenzano gli idrogrammi che arrivano nel sito in oggetto.

Inoltre, al fine di determinare la reale distribuzione dei deflussi superficiali, tali dinamiche sono state modellate per applicazione di modelli idraulici di tipo distribuito su più domini computazionali, come meglio individuato nelle figure che seguono.

Allo scopo, per il calcolo della portata di piena nei tempi di ritorno di 200 anni si esaminano i processi idrologici ed idraulici da monte verso valle nel dominio di studio individuato.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
	Relazione idrologica e idraulica	Data: 13/03/2023
		Revisione: 00
		Pagina: 15 di 73

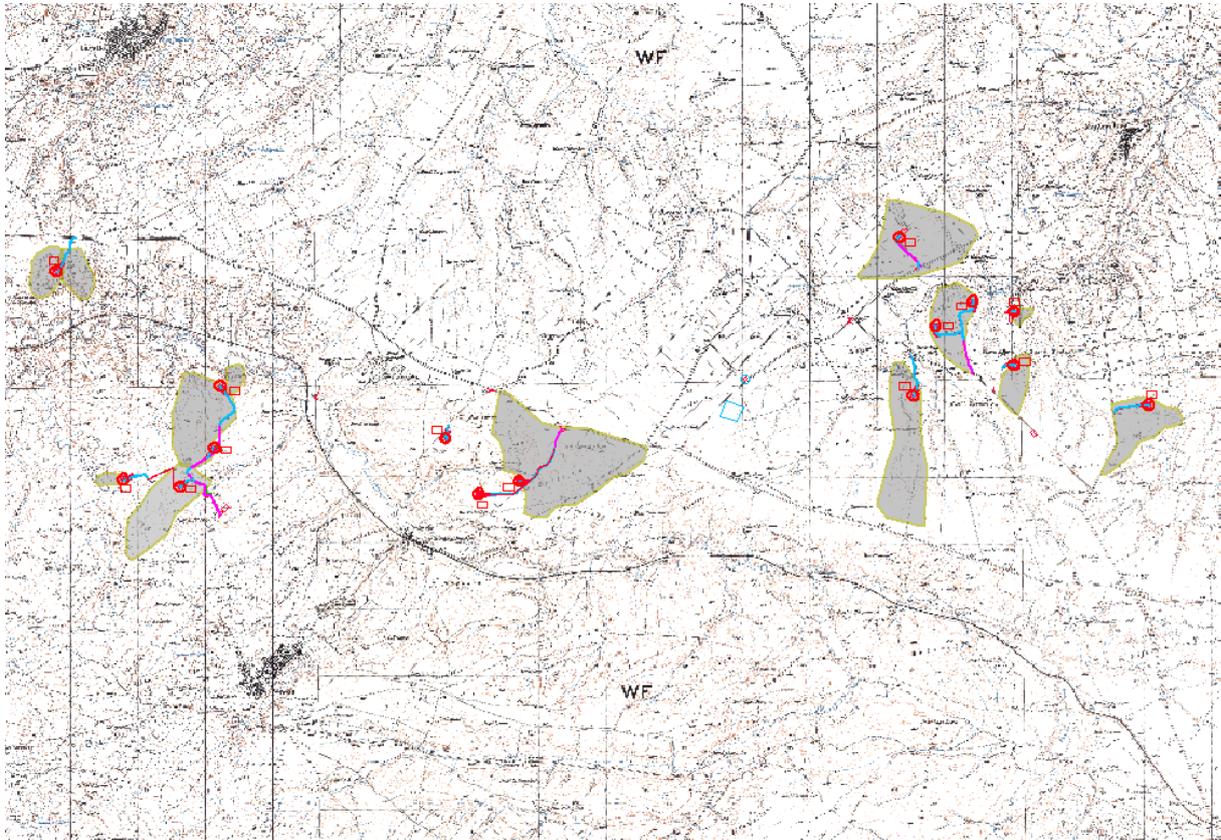


Figura 13: Definizione dei domini di calcolo, indicati coi confini in giallo e il retino grigio

Nel modello, che verrà illustrato nel dettaglio nel seguito gli input idrologici sono costituiti dalla pioggia zenitale sul dominio, quindi sarà utilizzato un modello a parametri distribuiti (ietogramma di pioggia applicato). Al fine di addivenire al reale valore temporale relativo alla pioggia critica, sono stati applicati ietogrammi di diversa durata in maniera tale da massimizzare, a vantaggio di sicurezza, i valori dei deflussi verso valle. Immediatamente a monte e a valle dell'area d'intervento sono state inserite delle sezioni di controllo (cfr. paragrafo 6.2) dalle quali si sono determinati gli idrogrammi di "controllo" del modello necessari alla valutazione di cui si è detto.

L'implementazione di detti modelli, da un lato ha permesso di ubicare gli aerogeneratori al di fuori di qualsiasi area allagabile con tempo di ritorno di 200 anni, dall'altro, ha consentito il dimensionamento delle necessarie opere che consentono di garantire la continuità idraulica anche in sede di realizzazione delle strade e delle piazzole di progetto, ci si riferisce, in particolare, a fossi, canalette e tombini di attraversamento stradale.

4 Analisi morfologica e individuazione dei bacini idrografici

L'approccio utilizzato per affrontare e risolvere le problematiche oggetto del presente studio parte da un'analisi a scala di bacino dei processi idrologici ed idraulici determinati dagli eventi meteorici estremi i cui effetti al suolo sono fortemente influenzati dallo stato dei luoghi, sia per l'aspetto della geomorfologia degli stessi sia dal punto di vista della loro destinazione d'uso.

Al fine di giungere a determinazioni che abbiano un riscontro attendibile rispetto alla realtà dei luoghi, è evidentemente necessario ricostruire, nella maniera quanto più dettagliata possibile, la conformazione degli stessi che si andranno ad analizzare partendo da un esame a scala di bacino e fino a giungere ad una analisi di dettaglio dell'area.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 16 di 73

4.1 Modello Digitale del Terreno

Nel presente studio, al fine di ricavare un modello digitale del terreno sufficientemente dettagliato, si è fatto riferimento ai seguenti dati cartografici disponibili:

- Cartografia IGM in scala 1:25.000;
- Nuova Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:5.000;
- Carta Idrogeomorfologica;
- Modello Digitale del Terreno della Regione Basilicata 5 x 5 m;
- Rilievo topografico in sito;
- Ortofoto.

La base di partenza per l'ottenimento dei bacini idrografici, grazie alle moderne tecnologie disponibili, è sicuramente il modello digitale del terreno. Quanto più il modello digitale del terreno approssima il reale andamento morfologico dei luoghi, tanto più simile alle situazioni reali saranno le determinazioni rinvenienti dall'analisi morfologica. Il livello di dettaglio del modello digitale del terreno è strettamente legato al tipo di “dato grezzo” di partenza ovvero maggiore è il livello di dettaglio della cartografia disponibile migliore sarà la qualità del modello digitale del terreno da essa derivato.

Oltretutto, al fine di rendere quanto più possibile realistica la modellazione idraulica effettuata, è stato effettuato un rilievo dei manufatti esistenti che, chiaramente, non possono non influenzare il deflusso superficiale delle acque meteoriche.

4.2 Individuazione dei bacini idrografici e dei parametri caratteristici

L'individuazione dei bacini scolanti costituisce un passaggio fondamentale al fine di giungere alla determinazione delle portate al picco di piena. I parametri individuati da questo tipo di analisi costituiscono una parte dell'input dei modelli idrologici e idraulici applicati nel seguito.

Dall'analisi del modello digitale del terreno, determinato attraverso l'applicazione di software di elaborazione tipo GIS è stato possibile determinare, per la singola asta interferente, il bacino idrografico afferente alla sezione di chiusura, che a vantaggio di sicurezza è stata posta a valle delle aree d'intervento, e determinare le caratteristiche morfometriche di cui necessita l'elaborazione idrologica.

Il bacino determinato e le relative caratteristiche morfometriche hanno fornito l'input per l'applicazione dei modelli di calcolo afflussi-deflussi che verranno descritti nei paragrafi successivi.

In particolare, le analisi idrologiche ed idrauliche riguarderanno un dominio suddiviso in sottodomini di dimensioni inferiori (ai fini della stabilità del modello).

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 17 di 73

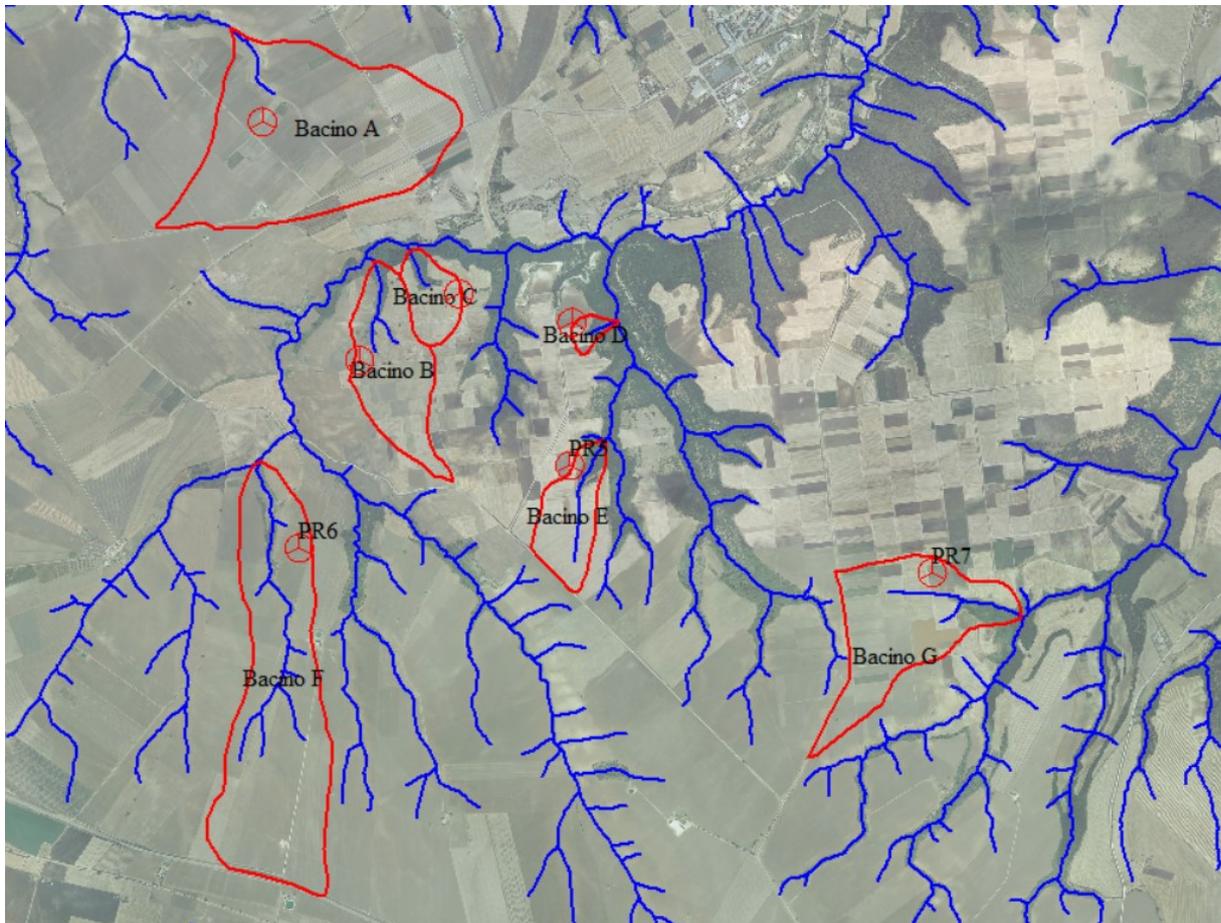


Figura 14: Inquadramento su ortofoto dei bacini idrografici con indicazione del reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica (1/3)

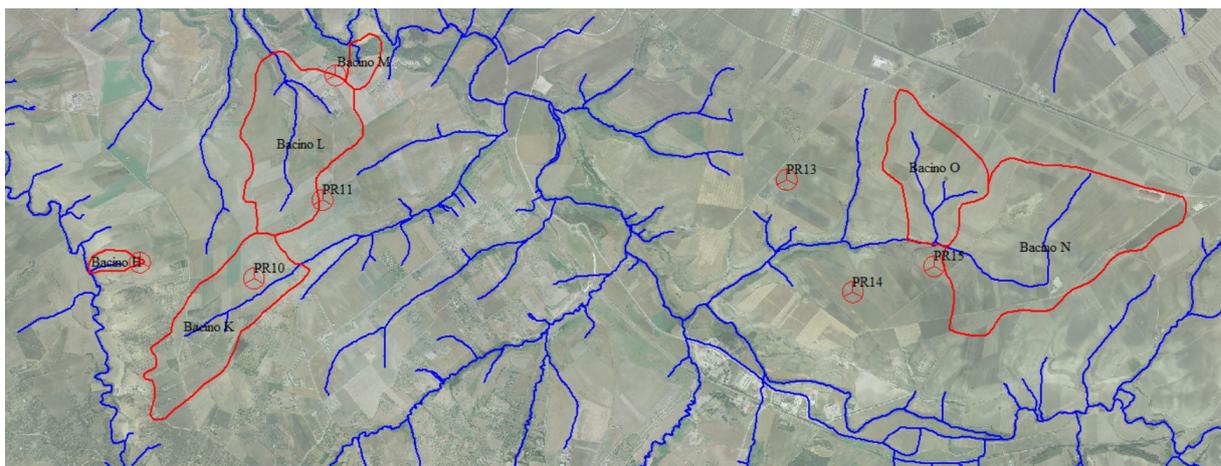


Figura 15: Inquadramento su ortofoto dei bacini idrografici con indicazione del reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica (2/3)

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 18 di 73

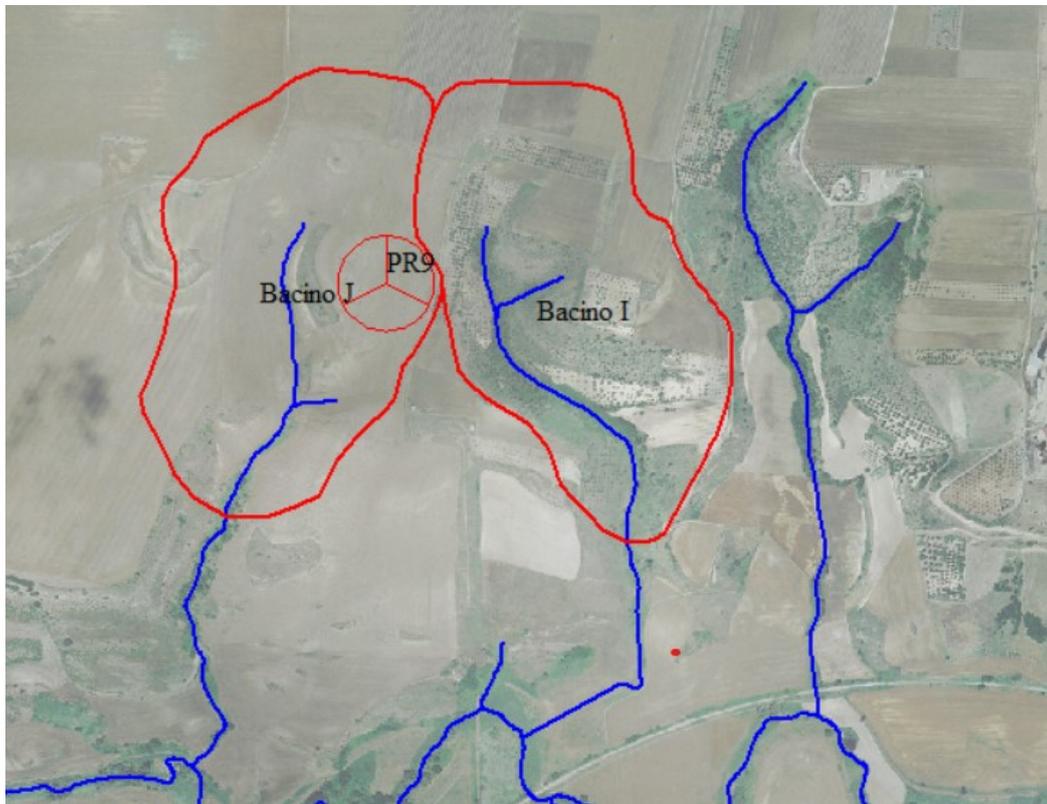


Figura 16: Inquadramento su ortofoto dei bacini idrografici con indicazione del reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica (3/3)

I parametri geomorfologici caratteristici dei bacini idrografici sono indicati nelle tabelle seguenti:

PARAMETRI CARATTERISTICI DEI BACINI IDROGRAFICI INDIVIDUATI						
		BACINO A	BACINO B	BACINO C	BACINO D	BACINO E
Lunghezza dell'asta principale	[Km]	0,450	0,500	0,223	0,182	0,700
H massima del bacino	[m s.l.m.]	357,00	375,00	363,00	366,00	386,00
H media del bacino	[m s.l.m.]	341,00	335,50	328,00	325,00	352,00
H minima del bacino	[m s.l.m.]	325,00	296,00	293,00	284,00	318,00
H monte dell'asta principale	[m s.l.m.]	335,00	347,00	340,00	357,00	381,00
H media dell'asta principale	[m s.l.m.]	330,00	321,50	316,50	320,50	349,50
Superficie del Bacino	[Km ²]	1,133	0,358	0,125	0,030	0,201
Pendenza media del bacino	[%]	2,00	6,08	14,52	26,71	7,91
Pendenza media dell'asta principale	[%]	2,22	10,20	21,08	40,11	9,00

Tabella 3: Parametri geomorfologici dei bacini idrografici di progetto (1/3)

PARAMETRI CARATTERISTICI DEI BACINI IDROGRAFICI INDIVIDUATI						
		BACINO F	BACINO G	BACINO H	BACINO I	BACINO J
Lunghezza dell'asta principale	[Km]	1,780	0,860	0,250	0,615	0,510
H massima del bacino	[m s.l.m.]	394,00	393,00	335,00	357,00	354,00
H media del bacino	[m s.l.m.]	356,00	362,00	299,00	305,00	309,00

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 19 di 73

<i>H minima del bacino</i>	[m s.l.m.]	318,00	331,00	263,00	253,00	264,00
<i>H monte dell'asta principale</i>	[m s.l.m.]	368,00	377,00	313,00	326,00	324,00
<i>H media dell'asta principale</i>	[m s.l.m.]	343,00	354,00	288,00	289,50	294,00
<i>Superficie del Bacino</i>	[Km ²]	1,045	0,534	0,049	0,248	0,254
<i>Pendenza media del bacino</i>	[%]	3,19	6,20	17,78	11,37	12,00
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	[%]	2,81	5,35	20,00	11,87	11,76

Tabella 4: Parametri geomorfologici dei bacini idrografici di progetto (2/3)

PARAMETRI CARATTERISTICI DEI BACINI IDROGRAFICI INDIVIDUATI						
		BACINO K	BACINO L	BACINO M	BACINO N	BACINO O
<i>Lunghezza dell'asta principale</i>	[Km]	1,000	1,250	0,200	1,740	0,875
<i>H massima del bacino</i>	[m s.l.m.]	347,00	331,00	324,00	386,00	380,00
<i>H media del bacino</i>	[m s.l.m.]	325,00	297,00	281,50	355,50	348,50
<i>H minima del bacino</i>	[m s.l.m.]	303,00	263,00	239,00	325,00	317,00
<i>H monte dell'asta principale</i>	[m s.l.m.]	330,00	323,00	302,00	379,00	367,00
<i>H media dell'asta principale</i>	[m s.l.m.]	316,50	293,00	270,50	352,00	342,00
<i>Superficie del Bacino</i>	[Km ²]	0,677	0,798	0,076	1,394	0,528
<i>Pendenza media del bacino</i>	[%]	2,59	4,69	22,97	3,51	5,38
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	[%]	2,70	4,80	31,50	3,10	5,71

Tabella 5: Parametri geomorfologici dei bacini idrografici di progetto (3/3)

4.3 Uso del suolo

Tra le caratteristiche fondamentali da determinare per poter effettuare l'analisi idrologica, con specifico riferimento al metodo sviluppato dalla Soil Conservation Service, vi è il parametro “CN II”, che individua, attraverso l'analisi geolitologica dei suoli del bacino, la capacità di risposta in termini di infiltrazione e ruscellamento a fronte di un evento di pioggia del bacino. Le caratteristiche geolitologiche sono state determinate facendo riferimento alla Carta di uso del suolo della Regione Basilicata del 2013 (fonte *RSDI Geoportale Basilicata*).

Dall'analisi dell'uso del suolo del territorio si evince che nell'area dei bacini idrografici di interesse si evidenzia la presenza di:

- AREE PASCOLO NATURALE
- ZONE RESIDENZIALI A TESSUTO CONTINUO
- AREE INDUSTRIALI E COMMERCIALI
- VIGNETI
- ULIVETI
- SEMINATIVI SEMPLICI IN AREE NON IRRIGUE
- RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI
- INSEDIAMENTI PRODUTTIVI AGRICOLI
- BOSCHI DI LATIFOGLIE
- AREE A VEGETAZIONE SCLEROFILLA
- AREE OCCUPATE DA COLTURE IRRIGUE

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 20 di 73

- COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI
- CORSI D'ACQUA

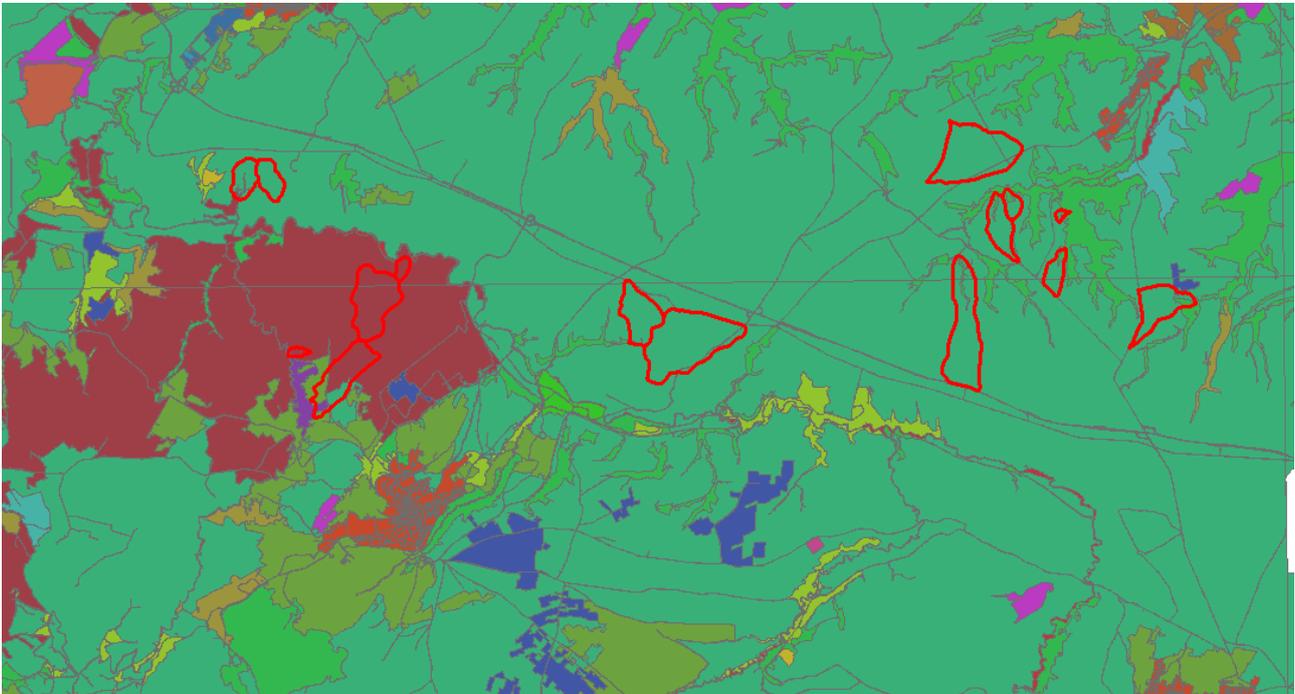


Figura 17: Carte dell'uso del suolo con indicazione dei bacini idrografici (in rosso)

5 Studio idrologico del bacino

Lo studio idrologico del bacino in oggetto è stato condotto desumendo i valori caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica del Va. Pi. Basilicata.

In particolare, la valutazione di dette curve è stata condotta sia seguendo le procedure individuate dal Gruppo Nazionale Difesa della Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per l'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia settentrionale, sia verificando l'adattabilità alla serie campionaria alle distribuzioni di probabilità dei valori estremi (Gumbel).

La procedura adoperata e i risultati dei calcoli effettuati sono ampiamente descritti nei paragrafi successivi.

Si è omessa la descrizione dell'applicazione ai dati di precipitazione massima oraria delle analisi statistiche convenzionali (adattabilità delle serie campionarie a distribuzioni di probabilità), in quanto la procedura è ormai consolidata e nota nella pratica tecnica.

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 dei bacini.

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.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 21 di 73

Va, infine, evidenziato che i valori dei tempi di ritorno (TR) utilizzati per la definizione delle curve di possibilità climatica e, di conseguenza, per la stima degli eventi di piena sono quelli che il PAI Puglia definisce per la valutazione delle aree ad alta, media e bassa probabilità di inondazione.

In particolare, essi sono per le aree a:

- TR = 30 anni
- TR = 200 anni
- TR = 500 anni

5.1 Analisi regionale delle piogge in Basilicata

L'approccio più moderno per lo studio degli eventi estremi in idrologia viene condotto con un insieme di procedure atte a trasferire l'informazione idrologica e nota come “analisi regionale”.

Alla base di un modello di regionalizzazione vi è la preventiva individuazione del meccanismo fisico-stocastico, che spiega la distribuzione della variabile idrologica di interesse nello spazio e nel dominio di frequenza statistica.

La scelta del tipo di modello richiede la conoscenza di alcuni aspetti fondamentali legati alle risorse dedicabili allo studio, alla qualità dell'informazione disponibile e alla precisione richiesta dai risultati. Pertanto, la struttura del modello richiede la costruzione del risolutore numerico e un'attenta identificazione dei parametri di taratura.

Numerosi studi sono stati condotti in Inghilterra, negli Stati Uniti ed in Italia su questi modelli a più parametri, noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson,1955), Wakeby (Houghton 1978) e TCEV (Rossi e Versace,1982; Rossi et al. 1984).

Quest'ultima sigla deriva dall'espressione inglese Two Component Extreme Value, che rappresenta la distribuzione di probabilità corrispondente ad un certo evento estremo, sia che provenga dalla distribuzione statistica di eventi ordinari sia che provenga da quella degli eventi straordinari. A tal fine occorre sottolineare che la principale fonte di incertezza deriva proprio dagli eventi estremamente intensi che hanno caratteristiche di rarità in ogni sito e aleatorietà per quel che riguarda il sito ove potranno verificarsi nel futuro. Ciò implica che, se in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, questo non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, che utilizza tre differenti livelli di scala spaziale per la stima dei parametri del modello probabilistico utilizzato, in modo da ottimizzare l'informazione ricavabile dai dati disponibili e dal numero di stazioni della rete di misura.

Lo studio idrologico utilizzato per valutare il rischio di piena in una sezione qualsiasi del reticolo idrografico del bacino è basato sui risultati e le metodologie dell'indagine VAPI già effettuata in Basilicata, (VALutazione delle PIene) *Rapporto di sintesi per la regione Basilicata (bacini del versante ionico)* a cura di P. Claps e M. Fiorentino.

Tale metodologia fa riferimento ad un approccio di tipo probabilistico per la valutazione dei massimi annuali delle portate di piena. Per ridurre le incertezze legate alla presenza di eventi estremi molto rari in ogni singolo punto ed alla variabilità da sito a sito del valore indice della piena, si adotta una metodologia di analisi regionale che si avvale anche di modelli concettuali di formazione dei deflussi di piena a partire dalle precipitazioni intense sul bacino. Tale approccio consente di utilizzare non solo tutta l'informazione idrometrica ma anche tutta quella pluviometrica, posseduta su un dato territorio.

In particolare, viene adottato un modello probabilistico a doppia componente (TCEV) che interpreta gli eventi massimi annuali come il risultato di una miscela di due popolazioni distinte: la prima produce gli eventi massimi

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 22 di 73

ordinari, più frequenti ma meno intensi; la seconda produce gli eventi massimi straordinari, meno frequenti ma spesso catastrofici. Si fa poi riferimento ad una procedura di regionalizzazione gerarchica, in cui i diversi parametri del modello probabilistico vengono valutati a scale regionali differenti, in funzione dell'ordine statistico del parametro stesso. La metodologia appena descritta è basata su analisi a scala regionale che tendono a trascurare la presenza di eventuali anomalie locali.

In analisi e studi locali, a scala di bacino, l'elaborazione di tali anomalie può rivestire carattere essenziale ai fini della corretta valutazione della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate di piena: in tutti questi casi potrebbero rendersi necessarie indagini idrologiche ad hoc. A tal proposito va evidenziato che fattori decisivi nella definizione della distribuzione di probabilità delle piene sono quelli climatici "caratteristici", cioè medi, dei bacini, in aggiunta a quelli geopedologici e di uso del suolo. I primi risultano attivi nel definire il numero medio annuo di piogge intense e la "resa" delle sollecitazioni in termini di numero medio annuo di piene. I fattori d'uso del suolo e geopedologici concorrono essenzialmente a determinare la "resa" delle piogge intense in termini di valore medio e numero delle piene.

La valutazione delle fasce di pertinenza fluviale con assegnata probabilità di accadimento (o tempo di ritorno "T" - vedi DPCM 29/09/1998), è stata effettuata, come già detto, considerando portate al colmo di piena determinate secondo la metodologia "Analisi di frequenza delle portate al colmo di piena" VAPI *Valutazione delle Piene in Italia GNDICI-CNR*.

Tale studio indica la possibilità di stima delle portate al colmo di piena, "QT", con assegnato tempo di ritorno, "T", come prodotto della *piena indice* "E(Q)" per il *fattore probabilistico di crescita* "KT":

$$Q_T = K_T E(Q) \quad (1)$$

E' ben noto che la piena indice, la cui variabilità è fortemente influenzata dall' area del bacino, può essere stimata tramite una legge del tipo:

$$E(Q) = \alpha A^\beta \quad (2)$$

Nel succitato studio VAPI vengono riportate due relazioni per il calcolo della piena indice, relative alle due aree, nelle quali è stata suddivisa la Basilicata, ritenute omogenee ai fini del calcolo della suddetta piena indice, come meglio esposto nella tabella successiva.

Area omogenea 1	Area omogenea 2
Bacini del Bradano, Basento, Cavone e Agri	Bacini del Sinni, del Lao e del Noce
$E(Q) = 2.13 A^{0.766}$	$E(Q) = 5.98 A^{0.645}$

Tabella 6: Aree omogenee ai fini del calcolo della piena indice

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 23 di 73



Figura 18: Individuazione dei principali bacini idrografici della Basilicata

Ai fini del calcolo del *fattore probabilistico di crescita* K_T , in accordo con la variabilità dei parametri geomorfoclimatici, si è suddiviso il territorio in tre zone omogenee a ciascuna delle quali corrisponde una coppia di valori dei parametri "a" e "b" da inserire nella seguente relazione:

$$K_T = a + b \ln(T) \quad (3)$$

In cui:

ln = logaritmo naturale

T = tempo di ritorno

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 24 di 73

Zona A		Zona B		Zona C	
Bacino del Bradano		Basso bacino del Basento		Bacini dell' Agri, del Sinni, del Cavone, del Noce e alto bacino del Basento	
a	b	a	b	a	b
-0.5673	0.9930	-0.2354	0.7827	0.0565	0.5977

Tabella 7: Aree omogenee ai fini del calcolo del coefficiente di crescita.

5.2 Curve di possibilità climatica

Per la determinazione delle curve di possibilità climatica si è fatto riferimento alle stazioni pluviometriche che interessano i bacini idrografici che ricadono all'interno dei topoi dei topografi delle stazioni pluviometriche di Spinazzola e Palazzo San Gervasio.

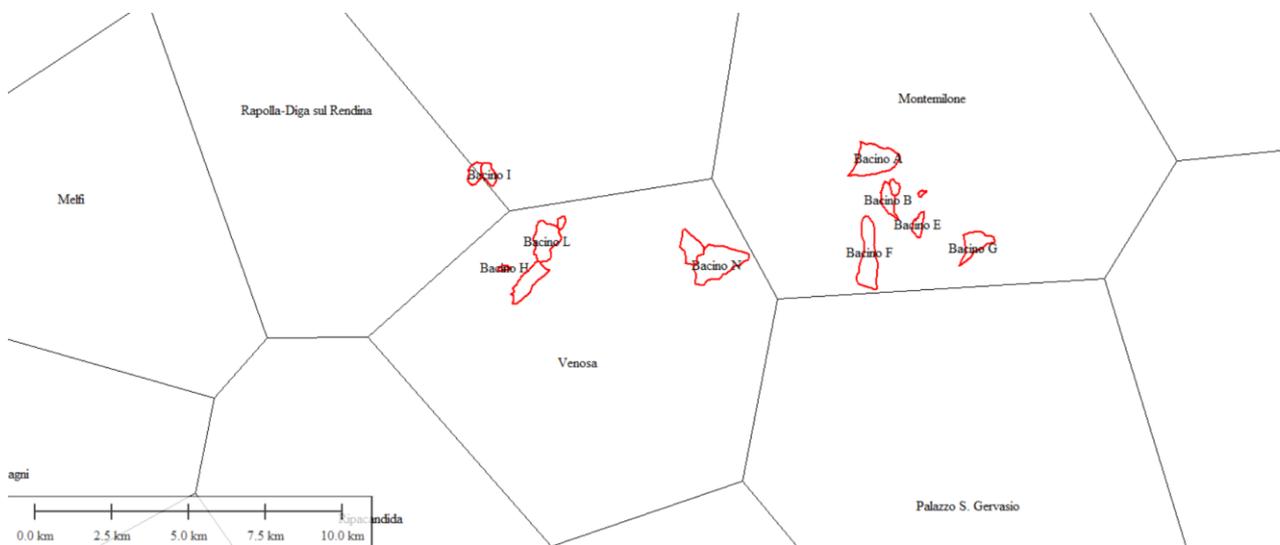


Figura 19: Inquadramento dei bacini idrografici con i poligoni di Thiessen

Pertanto, per la individuazione delle curve di possibilità climatiche si è determinata la pioggia ragguagliata mediante l'uso dei poligoni di Thiessen.

Per determinare le portate di progetto, si è fatto riferimento, dunque, a metodi che si basano sul regime delle precipitazioni; tale regime è descritto dalla curva di probabilità pluviometrica.

La curva stabilisce una relazione tra la durata di un evento pluviometrico con un prefissato tempo di ritorno e la relativa altezza di pioggia mediante l'espressione analitica:

$$h = K_T a t^n \quad (4)$$

in cui:

“h” altezza di pioggia

“t” durata della pioggia

“ K_T ” coefficiente di crescita come descritto al paragrafo precedente

“a ed n” parametri caratteristici della singola zona

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 25 di 73

Stazione	a	n	Stazione	a	n
Acerenza	19.96	0.31	Monticchio Bagni	23.77	0.32
Alamura	27.25	0.22	Muro Lucano	22.91	0.32
Anzi	19.20	0.29	Nova Siri Scalo	32.40	0.31
Atella	24.06	0.24	Oriolo	29.14	0.38
Calitri	24.48	0.25	Palazzo San Gervasio	20.88	0.29
Castel Lagopesole	23.70	0.29	Pescopagano	24.59	0.35
Castelsaraceno	22.06	0.44	Picerno	20.97	0.26
Cogliandrino	24.68	0.42	Policoro	24.69	0.33
Diga Rendina	22.49	0.23	Potenza	22.51	0.28
Fernandina	22.62	0.30	Roccolta	20.87	0.35
Forenza	26.29	0.23	Ripacandida	26.30	0.22
Ginosa	30.27	0.26	Rocchetta S. Antonio	26.13	0.22
Gravina in Puglia	34.16	0.19	Rocchetta S. A. scalo	25.58	0.22
Isina	23.06	0.27	S. Arcangelo	20.50	0.33
Isca di Tramutola	18.99	0.36	S. Chirico Raparo	16.52	0.43
Lacedonia	26.23	0.26	S. Fele	22.42	0.30
Lagonegro	29.35	0.45	S. Mauro Forte	21.35	0.41
Lauria inferiore	32.43	0.41	S. Nicola di Avigliano	18.76	0.29
Lavello	24.68	0.24	S. Severino Lucano	20.15	0.45
Maratea	31.51	0.31	Sant'armino in Colle	29.02	0.24
Marsico Nuovo	20.09	0.37	Senise	22.22	0.36
Matera	28.35	0.21	Spinzola	24.62	0.25
Melfi	23.17	0.34	Terranova del Pollino	22.80	0.47
Metaponto	28.20	0.27	Tolve	19.62	0.32
Minervino	30.66	0.23	Tricarico	19.66	0.35
Moliterno	23.48	0.33	Valsinni	25.26	0.44
Montemilone	25.03	0.24	Venosa	21.49	0.30
Montescaglioso	26.77	0.29			

Tabella 8: Definizione dei parametri “a” ed “n” per singole zone

L’elaborazione dei dati pluviometrici ha condotto alla determinazione delle curve di possibilità climatica per i differenti tempi di ritorno (di fatto sono stati considerati esclusivamente due valori validi per sottogruppi di bacini afferenti ai due diversi poligoni). Si riportano di seguito i dati caratterizzanti tali curve.

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 26 di 73

Distribuzioni probabilistiche	$T_R = 30$ anni	$T_R = 200$ anni	$T_R = 500$ anni
Diga sul Rendina	$h = 63.19 t^{0.230}$	$h = 105.48 t^{0.230}$	$h = 125.94 t^{0.230}$
Lavello	$h = 69.35 t^{0.240}$	$h = 115.75 t^{0.240}$	$h = 138.21 t^{0.240}$
Montemilone	$h = 70.33 t^{0.240}$	$h = 117.39 t^{0.240}$	$h = 140.17 t^{0.240}$
Venosa	$h = 60.39 t^{0.300}$	$h = 100.79 t^{0.300}$	$h = 120.34 t^{0.300}$

Tabella 9: Curve di possibilità climatica per i bacini individuati

5.3 Valutazione delle portate di piena

La stima delle portate di piena con assegnato tempo di ritorno necessita l'utilizzo di metodologie differenti a seconda che, per il caso in studio, sia sufficiente conoscere il colmo dell'idrogramma di piena oppure sia necessario individuare l'intero idrogramma.

In entrambi i casi, il problema può essere risolto in maniera diretta, cioè elaborando le misure di portata disponibili per il bacino in esame, oppure, in maniera indiretta, facendo ricorso o ad equazioni che consentono di ottenere la sola portata al colmo (formula razionale) ovvero a trasformazioni afflussi-deflussi che individuano l'idrogramma di piena corrispondente ad un evento meteorico di data durata ed assegnato tempo di ritorno, e quindi consentono di valutare il volume d'acqua complessivamente coinvolto nell'evento.

I metodi indiretti sono generalmente classificati come empirici e analitici. Mentre quelli empirici prescindono dall'esame che i diversi fattori morfologici e climatici hanno sulla formazione di deflussi di piena, i metodi analitici individuano tutte quelle relazioni che hanno fondamento fisico e che si fondano sull'impostazione, talvolta necessariamente semplificata, di un bilancio idrologico relativo all'evento di piena, tenendo conto della precipitazione a cui è imputabile l'evento stesso.

Nello specifico si è fatto riferimento a 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).

5.4 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:

$$Q = \frac{c * h * A * k}{t_c} \quad (5)$$

Q = portata di piena [m³/s]

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 27 di 73

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.

Una relazione frequentemente utilizzata per il calcolo di tale grandezza è quella proposta da Giandotti (1934), valida per bacino idrografico 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 km² 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.

Una struttura analitica molto simile ha la formula proposta da Chow (1962), ottenuta analizzando i dati di 20 piccoli bacini americani:

$$t_c = 0.0116 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.64} \quad (8)$$

in cui t_c è espresso in ore ed L in m.

Tale relazione è stata leggermente modificata da Watt e Chow nel 1985, per effetto dei risultati rivenienti da una campagna di indagine condotta su 44 bacini americani e canadesi, aventi area compresa tra 0.01 e 5840 km², nella seguente formulazione:

$$t_c = 0.00326 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.79} \quad (9)$$

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 28 di 73

Kirpich, infine, utilizzando i dati sperimentali di sei bacino 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 (Pezzoli, Chow, Watt & Chow, Kirpich) può essere ben rappresentato da un'unica espressione (Ferro, Sistemazione dei Bacino Idrografico, 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 (*cf. paragrafi precedenti*), si sono ottenuti i seguenti risultati:

	P-C-W-K (h)	Giandotti (h)	Pezzoli (h)	Kirpich (h)
BACINO A	0,225	1,541	0,166	0,155
BACINO B	0,133	0,625	0,086	0,094
BACINO C	0,052	0,369	0,027	0,038
BACINO D	0,034	0,188	0,016	0,025
BACINO E	0,183	0,609	0,128	0,127
BACINO F	0,616	1,371	0,584	0,409
BACINO G	0,266	0,946	0,205	0,182
BACINO H	0,058	0,262	0,031	0,042
BACINO I	0,148	0,505	0,098	0,104
BACINO J	0,128	0,518	0,082	0,090
BACINO K	0,394	1,277	0,335	0,267

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 29 di 73

BACINO L	<i>0,374</i>	<i>1,168</i>	<i>0,314</i>	<i>0,254</i>
BACINO M	<i>0,041</i>	<i>0,269</i>	<i>0,020</i>	<i>0,030</i>
BACINO N	<i>0,581</i>	<i>1,660</i>	<i>0,543</i>	<i>0,387</i>
BACINO O	<i>0,263</i>	<i>0,940</i>	<i>0,201</i>	<i>0,180</i>

Tabella 10: Valori del tempo di corrivazione (tc) dei bacini idrografici di interesse con le diverse relazioni presenti in letteratura

Il tempo di corrivazione adottato per la stima della portata di piena è pari a:

	Tempo di corrivazione [h]
BACINO A	<i>0,225</i>
BACINO B	<i>0,133</i>
BACINO C	<i>0,052</i>
BACINO D	<i>0,034</i>
BACINO E	<i>0,183</i>
BACINO F	<i>0,616</i>
BACINO G	<i>0,266</i>
BACINO H	<i>0,058</i>
BACINO I	<i>0,148</i>
BACINO J	<i>0,128</i>
BACINO K	<i>0,394</i>
BACINO L	<i>0,374</i>
BACINO M	<i>0,041</i>
BACINO N	<i>0,581</i>
BACINO O	<i>0,263</i>

Tabella 11: Valori del tempo di corrivazione (tc) adottati per il calcolo delle portate di piena

Per ciò che concerne il coefficiente di deflusso, esso è stato stimato effettuando una media pesata dei valori afferenti alle differenti sub-aree isoparametriche, ovvero caratterizzate da un determinato 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 dell'estensione planimetrica delle sotto aree rispetto all'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

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 30 di 73

Poco permeabile: argilla o substrato roccioso	0.50	0.45	0.40
---	------	------	------

Tabella 12: 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 13: Valori del coefficiente di deflusso consigliati nella letteratura tecnica tedesca

Effettuando una media pesata per i bacini individuati sono stati utilizzati valori del coefficiente di deflusso compresi tra **0.15** e **0.35**.

	Coefficiente di deflusso φ
BACINO A	0.15
BACINO B	0.15
BACINO C	0.18
BACINO D	0.15
BACINO E	0.28
BACINO F	0.30
BACINO G	0.32
BACINO H	0.20
BACINO I	0.30
BACINO J	0.28
BACINO K	0.25
BACINO L	0.28
BACINO M	0.15
BACINO N	0.35
BACINO O	0.28

Tabella 14: Valori del coefficiente di deflusso utilizzato per il singolo bacino

L'applicazione della formula razionale ha restituito i seguenti valori per le portate di piena, con riferimento ai bacini di interesse:

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo		Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
			Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica		Revisione: 00
			Pagina: 31 di 73

	Tr	a	n	t_c [h]	h [mm]	i_c [mm]	Q [m³/s]
BACINO A	<i>30 anni</i>	70,337	0,240	0,225	49,172	218,509	10,32
	<i>200 anni</i>	117,489	0,240	0,225	82,137	364,994	17,23
	<i>500 anni</i>	140,263	0,240	0,225	98,058	435,745	20,57
BACINO B	<i>30 anni</i>	70,337	0,240	0,133	43,348	325,716	4,86
	<i>200 anni</i>	117,489	0,240	0,133	72,408	544,072	8,12
	<i>500 anni</i>	140,263	0,240	0,133	86,444	649,535	9,69
BACINO C	<i>30 anni</i>	70,337	0,240	0,052	34,625	663,533	4,14
	<i>200 anni</i>	117,489	0,240	0,052	57,837	1108,356	6,91
	<i>500 anni</i>	140,263	0,240	0,052	69,048	1323,201	8,25
BACINO D	<i>30 anni</i>	70,337	0,240	0,034	31,305	912,986	1,13
	<i>200 anni</i>	117,489	0,240	0,034	52,292	1525,037	1,89
	<i>500 anni</i>	140,263	0,240	0,034	62,428	1820,652	2,25
BACINO E	<i>30 anni</i>	70,337	0,240	0,183	46,800	255,546	3,99
	<i>200 anni</i>	117,489	0,240	0,183	78,174	426,860	6,67
	<i>500 anni</i>	140,263	0,240	0,183	93,328	509,603	7,96
BACINO F	<i>30 anni</i>	70,337	0,240	0,616	62,606	101,696	8,86
	<i>200 anni</i>	117,489	0,240	0,616	104,576	169,871	14,79
	<i>500 anni</i>	140,263	0,240	0,616	124,847	202,799	17,66
BACINO G	<i>30 anni</i>	70,337	0,240	0,266	51,181	192,493	9,13
	<i>200 anni</i>	117,489	0,240	0,266	85,492	321,537	15,25
	<i>500 anni</i>	140,263	0,240	0,266	102,063	383,864	18,21
BACINO H	<i>30 anni</i>	60,389	0,300	0,058	25,755	441,083	1,20
	<i>200 anni</i>	100,873	0,300	0,058	43,020	736,778	2,00
	<i>500 anni</i>	120,426	0,300	0,058	51,359	879,596	2,38
BACINO I	<i>30 anni</i>	69,353	0,240	0,148	43,833	296,537	6,13
	<i>200 anni</i>	115,846	0,240	0,148	73,217	495,331	10,25
	<i>500 anni</i>	138,302	0,240	0,148	87,410	591,347	12,23
BACINO J	<i>30 anni</i>	69,353	0,240	0,128	42,321	331,388	6,54
	<i>200 anni</i>	115,846	0,240	0,128	70,693	553,546	10,93
	<i>500 anni</i>	138,302	0,240	0,128	84,396	660,846	13,05

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo		Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00	
			Data: 13/03/2023	
	Relazione idrologica e idraulica		Revisione: 00	
			Pagina: 32 di 73	

BACINO K	<i>30 anni</i>	<i>60,389</i>	<i>0,300</i>	<i>0,394</i>	<i>45,679</i>	<i>115,840</i>	<i>5,44</i>
	<i>200 anni</i>	<i>100,873</i>	<i>0,300</i>	<i>0,394</i>	<i>76,301</i>	<i>193,498</i>	<i>9,09</i>
	<i>500 anni</i>	<i>120,426</i>	<i>0,300</i>	<i>0,394</i>	<i>91,091</i>	<i>231,006</i>	<i>10,86</i>
BACINO L	<i>30 anni</i>	<i>60,389</i>	<i>0,300</i>	<i>0,374</i>	<i>44,976</i>	<i>120,104</i>	<i>7,46</i>
	<i>200 anni</i>	<i>100,873</i>	<i>0,300</i>	<i>0,374</i>	<i>75,128</i>	<i>200,619</i>	<i>12,46</i>
	<i>500 anni</i>	<i>120,426</i>	<i>0,300</i>	<i>0,374</i>	<i>89,691</i>	<i>239,508</i>	<i>14,87</i>
BACINO M	<i>30 anni</i>	<i>60,389</i>	<i>0,300</i>	<i>0,041</i>	<i>23,117</i>	<i>567,582</i>	<i>1,79</i>
	<i>200 anni</i>	<i>100,873</i>	<i>0,300</i>	<i>0,041</i>	<i>38,614</i>	<i>948,080</i>	<i>2,99</i>
	<i>500 anni</i>	<i>120,426</i>	<i>0,300</i>	<i>0,041</i>	<i>46,099</i>	<i>1131,857</i>	<i>3,57</i>
BACINO N	<i>30 anni</i>	<i>60,389</i>	<i>0,300</i>	<i>0,581</i>	<i>51,308</i>	<i>88,326</i>	<i>11,97</i>
	<i>200 anni</i>	<i>100,873</i>	<i>0,300</i>	<i>0,581</i>	<i>85,704</i>	<i>147,538</i>	<i>20,00</i>
	<i>500 anni</i>	<i>120,426</i>	<i>0,300</i>	<i>0,581</i>	<i>102,317</i>	<i>176,137</i>	<i>23,87</i>
BACINO O	<i>30 anni</i>	<i>60,389</i>	<i>0,300</i>	<i>0,263</i>	<i>40,432</i>	<i>153,994</i>	<i>6,32</i>
	<i>200 anni</i>	<i>100,873</i>	<i>0,300</i>	<i>0,263</i>	<i>67,537</i>	<i>257,229</i>	<i>10,56</i>
	<i>500 anni</i>	<i>120,426</i>	<i>0,300</i>	<i>0,263</i>	<i>80,628</i>	<i>307,090</i>	<i>12,61</i>

Tabella 15: Valori delle portate di piena generate dal bacino di progetto calcolate con il Metodo Razionale

5.5 Metodo SCS - CN

Una metodologia per la stima delle precipitazioni efficaci che trova ampia applicazione è quella proposta dal *Soil Conservation Service* (1972). Il metodo, detto *Metodo Curve Number* (“*Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN) method*”, detto comunemente *Curve Number*), si basa sulla assunzione 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:

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

nella quale S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed I_a è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro S corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha $P > I_a$; fino all'istante in cui non si ha $P > I_a$ il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 33 di 73

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale I_a si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. In mancanza di adeguate osservazioni utili, per la stima di I_a si può fare ricorso alla seguente relazione:

$$I_a = 0,2 S$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

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

S_0 è un fattore di scala pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm.

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- GRUPPO A: Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- GRUPPO B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- GRUPPO C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- GRUPPO D: Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Nell'ambito delle differenti classi di permeabilità così individuate, attraverso un calcolo ponderale basato sui dati acquisiti dalla carta dell'uso del suolo, si distinguono e si individuano le classi di CN per ogni bacino analizzato.

Per i gruppi appena descritti si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 34 di 73

Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini di acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Tabella 16: Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale

Poiché lo studio è rivolto al calcolo delle portate di piena e considerato che in occasione di queste ultime è fondamentale la condizione di imbibimento del terreno, il metodo SCS-CN fa riferimento a tre diverse situazioni di umidità antecedenti all'evento considerato:

Classe AMC	Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)
I (Terreno secco)	0<P<50
II (Umidità media)	50<P<110
III (Terreno da mediamente umido a saturo)	P>110

Tabella 17: Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (AMC)

I valori del CN riportati nella **Tabella 16** si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

Per condizioni iniziali differenti, vengono utilizzate delle relazioni di trasformazione del valore CN (II), relativo a AMC I, CN (I), ed in quello relativo a AMC III, CN (III).

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Nel presente studio, come ampiamente descritto nell'analisi idrologica, sono stati applicati i risultati rinvenuti dall'approccio VAPI. In questa analisi è stata ipotizzata una pioggia uniformemente distribuita sui bacini studiati,

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 35 di 73

in funzione della zona omogenea considerata (zona 2), a cui è stato applicato uno ietogramma costante ricavato dall'analisi delle Curve di Possibilità Climatica riferite ai tre tempi di ritorno di 30, 200 e 50 anni.

Nella fattispecie si è preferito adottare una condizione antecedente all'evento di tipo **AMC=II (CNII)**, considerato che sono stati impiegati valori molto elevati del CN, in via cautelativa e i dati di input sono stati ricavati dall'analisi morfometrica e idrologica descritte in precedenza.

Nel caso in esame, quindi, sono stati sovrapposti i bacini idrografici sulla carta di uso del suolo e sulla carta geologica e ricavate le superfici specifiche in base alla qualità culturale e tipo di suolo.

Per ogni bacino il valore del CN è stato stimato effettuando una media pesata dei valori corrispondenti alle differenti sub-aree isoparametriche caratterizzate da un determinato valore di uso del suolo e di tipo di suolo; i pesi sono stati calcolati in funzione delle aree delle singole parcelle sull'area totale del bacino individuato.

Per quanto riguarda la tipologia di terreno, si anticipa che si farà riferimento ad una condizione di **suolo aventi moderata potenzialità di deflusso, elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.**

Dalla media pesata in funzione della superficie sono stati ricavati, per il bacino complessivo, i valori relativi al CN, riportati nella tabella seguente:

	CN_{II}
Bacino A	<i>81.14</i>
Bacino B	<i>79.71</i>
Bacino C	<i>77.99</i>
Bacino D	<i>74.43</i>
Bacino E	<i>78.85</i>
Bacino F	<i>80.42</i>
Bacino G	<i>79.94</i>
Bacino H	<i>79.10</i>
Bacino I	<i>81.00</i>
Bacino J	<i>80.77</i>
Bacino K	<i>80.62</i>
Bacino L	<i>78.00</i>
Bacino M	<i>78.00</i>
Bacino N	<i>81.14</i>
Bacino O	<i>80.81</i>

Tabella 18: Valori del CN dei bacini idrografici di interesse

Noto il valore del Curve Number è stato possibile stimare i due parametri S ed Ia utili per la valutazione della pioggia netta.

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 36 di 73

Altro "tempo caratteristico" di un bacino è il "tempo di ritardo" t_L (lag time), generalmente definito come 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 Soil Conservation Service (SCS) americano ha dedotto, empiricamente, che il rapporto t_L/t_c (rapporto tra tempo di ritardo e tempo di corrivazione) è pari a 0.6.

Per la stima del tempo di ritardo del bacino, nel caso in esame, si è utilizzata la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in %, L la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla displuviale espressa in Km.

Per il calcolo della portata al colmo Q_p (m^3/s) si considera un'idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento) e il cui volume, espresso in m^3 , ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_p t_b}{2}$$

avendo indicato con t_b la durata dell'evento di piena.

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena t_b e pertanto:

$$t_b = 2.67 t_a$$

Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo il volume di deflusso V in mm , il tempo t_a in ore, l'area A del bacino in Km^2 , si ottiene:

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

La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_p e indicando con t_L il tempo di ritardo, come prima calcolato, si effettua con la seguente relazione:

$$t_a = 0,5 t_p + t_L$$

È stato scelto come evento che massimizza il calcolo della portata di piena un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino, utilizzando come "t_c" quello riportato in **Tabella 11**.

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

	Tr	P [mm]	P _{net} [mm]	T _L [h]	V [mm]	t _a [h]	Q _p [mc/s]
BACINO A	<i>30 anni</i>	49,172	27,988	0,816	27,988	0,929	7,10

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo		Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00	
			Data: 13/03/2023	
	Relazione idrologica e idraulica		Revisione: 00	
			Pagina: 37 di 73	

	200 anni	82,137	57,969	0,816	57,969	0,929	14,71
	500 anni	98,058	73,045	0,816	73,045	0,929	18,53
BACINO B	30 anni	43,348	21,768	0,415	21,768	0,482	3,37
	200 anni	72,408	47,209	0,415	47,209	0,482	7,30
	500 anni	86,444	60,190	0,415	60,190	0,482	9,31
BACINO C	30 anni	34,625	13,664	0,128	13,664	0,154	2,30
	200 anni	57,837	32,367	0,128	32,367	0,154	5,45
	500 anni	69,048	42,200	0,128	42,200	0,154	7,10
BACINO D	30 anni	31,305	9,236	0,073	9,236	0,090	0,63
	200 anni	52,292	24,367	0,073	24,367	0,090	1,67
	500 anni	62,428	32,627	0,073	32,627	0,090	2,23
BACINO E	30 anni	46,800	23,865	0,268	23,865	0,360	2,77
	200 anni	78,174	51,466	0,268	51,466	0,360	5,97
	500 anni	93,328	65,523	0,268	65,523	0,360	7,60
BACINO F	30 anni	62,606	39,126	0,911	39,126	1,219	6,98
	200 anni	104,576	78,284	0,911	78,284	1,219	13,96
	500 anni	124,847	97,776	0,911	97,776	1,219	17,44
BACINO G	30 anni	51,181	28,565	0,331	28,565	0,464	6,84
	200 anni	85,492	59,593	0,331	59,593	0,464	14,27
	500 anni	102,063	75,230	0,331	75,230	0,464	18,01
BACINO H	30 anni	25,755	8,174	0,097	8,174	0,126	0,66
	200 anni	43,020	20,986	0,097	20,986	0,126	1,68
	500 anni	51,359	27,913	0,097	27,913	0,126	2,24
BACINO I	30 anni	43,833	23,293	0,220	23,293	0,294	4,09
	200 anni	73,217	49,478	0,220	49,478	0,294	8,69
	500 anni	87,410	62,749	0,220	62,749	0,294	11,02
BACINO J	30 anni	42,321	21,829	0,184	21,829	0,248	4,65
	200 anni	70,693	46,879	0,184	46,879	0,248	9,99
	500 anni	84,396	59,620	0,184	59,620	0,248	12,70
BACINO K	30 anni	45,679	24,508	0,766	24,508	0,963	3,58
	200 anni	76,301	51,876	0,766	51,876	0,963	7,58

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo		Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00	
			Data: 13/03/2023	
	Relazione idrologica e idraulica		Revisione: 00	
			Pagina: 38 di 73	

	<i>500 anni</i>	<i>91,091</i>	<i>65,731</i>	<i>0,766</i>	<i>65,731</i>	<i>0,963</i>	<i>9,61</i>
BACINO L	<i>30 anni</i>	<i>44,976</i>	<i>21,640</i>	<i>0,543</i>	<i>21,640</i>	<i>0,731</i>	<i>4,92</i>
	<i>200 anni</i>	<i>75,128</i>	<i>47,673</i>	<i>0,543</i>	<i>47,673</i>	<i>0,731</i>	<i>10,84</i>
	<i>500 anni</i>	<i>89,691</i>	<i>61,024</i>	<i>0,543</i>	<i>61,024</i>	<i>0,731</i>	<i>13,87</i>
BACINO M	<i>30 anni</i>	<i>23,117</i>	<i>6,019</i>	<i>0,082</i>	<i>6,019</i>	<i>0,103</i>	<i>0,92</i>
	<i>200 anni</i>	<i>38,614</i>	<i>16,649</i>	<i>0,082</i>	<i>16,649</i>	<i>0,103</i>	<i>2,55</i>
	<i>500 anni</i>	<i>46,099</i>	<i>22,547</i>	<i>0,082</i>	<i>22,547</i>	<i>0,103</i>	<i>3,46</i>
BACINO N	<i>30 anni</i>	<i>51,308</i>	<i>29,844</i>	<i>0,660</i>	<i>29,844</i>	<i>0,950</i>	<i>9,11</i>
	<i>200 anni</i>	<i>85,704</i>	<i>61,321</i>	<i>0,660</i>	<i>61,321</i>	<i>0,950</i>	<i>18,72</i>
	<i>500 anni</i>	<i>102,317</i>	<i>77,111</i>	<i>0,660</i>	<i>77,111</i>	<i>0,950</i>	<i>23,53</i>
BACINO O	<i>30 anni</i>	<i>40,432</i>	<i>20,302</i>	<i>0,392</i>	<i>20,302</i>	<i>0,523</i>	<i>4,26</i>
	<i>200 anni</i>	<i>67,537</i>	<i>44,030</i>	<i>0,392</i>	<i>44,030</i>	<i>0,523</i>	<i>9,24</i>
	<i>500 anni</i>	<i>80,628</i>	<i>56,137</i>	<i>0,392</i>	<i>56,137</i>	<i>0,523</i>	<i>11,79</i>

Tabella 19: Valori delle portate di piena con il metodo del Curve Number del bacino di progetto

5.6 Considerazioni finali sulle portate di piena

Il confronto tra le due metodologie adottate ha evidenziato come le portate derivate utilizzando i due metodi sono sempre confrontabili.

Di fatto, nella modellazione idraulica esposta nel seguito, avendo realizzato un **modello a parametri distribuiti**, sono stati utilizzati, come input, i valori di pioggia, lasciando al modello la trasformazione afflussi-deflussi e utilizzando i valori di uso del suolo come esposti precedentemente.

6 Analisi idraulica

Una volta definiti gli input idrologici, si è proceduto con la simulazione della propagazione delle piene in moto vario al fine di individuare le aree inondabili.

L'output dello studio idrologico-idraulico, simulando gli eventi con tempo di ritorno di 200 anni, consente di individuare la parte di territorio allagabile al fine di definire il livello sicurezza idraulica così come definito all'art. 36 delle NTA del PAI vigente.

6.1 Teoria del modello idraulico

L'analisi idraulica condotta nel presente studio, non può che essere condotta facendo riferimento a software di propagazione delle piene bidimensionali, al fine di definire, in linea generale, le principali linee di deflusso e le aree occupate dalle piene duecentennali.

Al fine di poter stabilire e ricostruire le dinamiche di propagazione delle piene che si potrebbero verificare sulle vaste aree, tenendo conto delle eventuali deviazioni che le correnti idrodinamiche riceverebbero urtando contro gli ostacoli lungo il percorso, si è utilizzato un modello di propagazione delle piene in campo bidimensionale, che ha anche la capacità di implementare all'interno del dominio 2D elementi monodimensionali, operando analisi idrauliche in moto vario. Il software utilizzato è il FLO-2D (FLO-2D Software, Inc. – Arizona – USA).

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 39 di 73

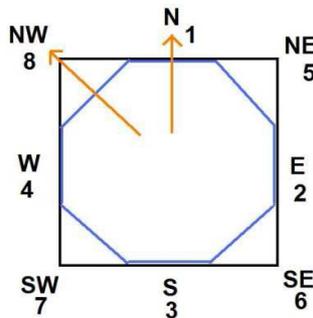
Il software studia la dinamica della modellazione della piena in condizioni di alvei incisi e di territori pianeggianti, modella la propagazione secondo due direzioni anziché una come i modelli monodimensionali.

Il modello matematico del moto vario è quello che meglio si presta a descrivere la traslazione dell'onda di piena. La sua formulazione deriva dal sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali di De Saint-Venant che, scritte nella forma ad una dimensione:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{equazione di continuità}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} - \frac{U}{g} \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial U}{\partial t} = i_f - J \quad \text{equazione dinamica}$$

dove y rappresenta il tirante idrico e U rappresenta la velocità media nella sezione in una delle otto direzioni del flusso della cella.



L'equazione di continuità esprime il bilancio delle masse entranti ed uscenti da una generica cella, invece l'equazione dell'energia esprime, per quella medesima cella, il bilancio energetico. Questa è differenziata dal moto permanente per l'introduzione delle derivate parziali rispetto tempo. La portata è variabile sia nello spazio che nel tempo. Le perdite di carico sono basate sull'equazione di Manning.

Per Il processo alluvionale le equazioni del moto in FLO-2D sono applicate calcolando la velocità media di flusso attraverso il confine della griglia di calcolo una direzione alla volta delle otto potenziali disponibili come condizioni al contorno di queste otto, quattro sono nel verso ortogonale degli assi principali (Nord-Est, Sud e Ovest) e quattro in direzione diagonale (NE-SE-SW e NW). Ciascun calcolo di velocità è essenzialmente unidimensionale in natura e viene risolto indipendentemente dalle altre sette direzioni. La stabilità di questo schema numerico è basata su un rigido criterio per il controllo della misura della variabile computazionale del passo temporale.

La procedura di calcolo dell' algoritmo consiste in:

- calcolo dei parametri caratteristici idraulici (tirante, pendenza e Manning) sono mediati sul contorno tra i due elementi della griglia;
- ogni cella è associata univocamente ad un valore di elevazione, un coefficiente di scabrezza di Manning ed un tirante idrico;
- il tirante idrico per il calcolo della velocità lungo i confini della cella è stimato dal precedente valore del time-step incrementato in maniera lineare con la formula di Manning: $d_x^{i+1} = d_x^i + d_{x+1}^i$;

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 40 di 73

- la prima stima della velocità è computata utilizzando l'equazione dell'onda diffusiva ($Sf = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x}$);
- il valore di velocità individuato viene utilizzato come primo valore per il metodo di Newton-Raphson (metodo delle tangenti) per la risoluzione dell'equazione dell'onda dinamica completa. Le velocità V nelle singole direzioni sono determinate separatamente;
- la portata in ogni singola direzione viene computata moltiplicando la velocità individuata con l'area della sezione idraulica corretta con un parametro che tiene conto della riduzione dovuta ad ostacoli (WRFs);
- anche gli altri parametri idraulici sono mediati tra le celle adiacenti in direzione del flusso per calcolare la velocità, scabrezza, sezione bagnata, tirante e perimetro bagnato;
- l'incremento di portata nel passo temporale lungo le otto direzioni viene sommato e distribuito negli accumuli locali e successivamente trasformato in aumento di tirante idrico

$$\Delta Q_x^{i+1} = Q_n + Q_e + Q_s + Q_w + Q_{ne} + Q_{se} + Q_{sw} + Q_{nw}$$

$$\Delta d_x^{i+1} = \frac{\Delta Q_x^{i+1}}{A_{surf}} \Delta t$$

- il processo deve essere verificato se supera criterio di stabilità numerica senza il quale la simulazione è riportata all'istante precedente e aumentato il time step fino alla determinazione della velocità che soddisfa i criteri di stabilità.

Ossia: $\Delta t < \xi S_0 \Delta x^2 \div q_0$, dove:

- ✓ Δt = passo temporale
- ✓ ξ = coeff. empirico ($0.10 < \xi < 1.0$)
- ✓ S_0 = pendenza del fondo
- ✓ Δx = dimensione della cella
- ✓ q_0 = portata specifica per il canale

6.2 Modello idraulico implementato

Per il modello implementato nel caso di studio, allo scopo di poter eseguire i calcoli idraulici, si è scelto di acquisire il rilievo effettuato con tecnologia Lidar fornito dal Geoportale Nazionale, con il quale è stato possibile elaborare un accurato DTM (Digital Terrain Model) di risoluzione 1 m.

Il DEM ricavato, a seguito di controllo dello stesso con il rilievo topografico in campo è stato processato attraverso il *Preprocessing Grid Developer System (GDS)*. Il GDS consente di elaborare il DEM inserendo tutti gli elementi necessari per la costruzione della geometria di calcolo. Il GDS opera su un grid di dimensione di cella predefinita, ovviamente le dimensioni della cella è correlata alla stabilità del sistema in funzione del time-step di calcolo, delle condizioni al contorno, ecc.

Nel caso in esame è stata utilizzata una griglia di calcolo la cui dimensione di cella è stata prefissata pari a **5 metri** per i modelli più estesi e fino ad 1 metro per quelli di dimensioni più ridotte. La scelta è stata quasi obbligata in

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 41 di 73

quanto se si pensa all'elevato numero di computazioni necessarie per giungere ad una configurazione del fenomeno quanto più possibile aderente alla realtà dei luoghi e agli elevatissimi tempi di calcolo, nonostante l'utilizzo di PC molto performanti.

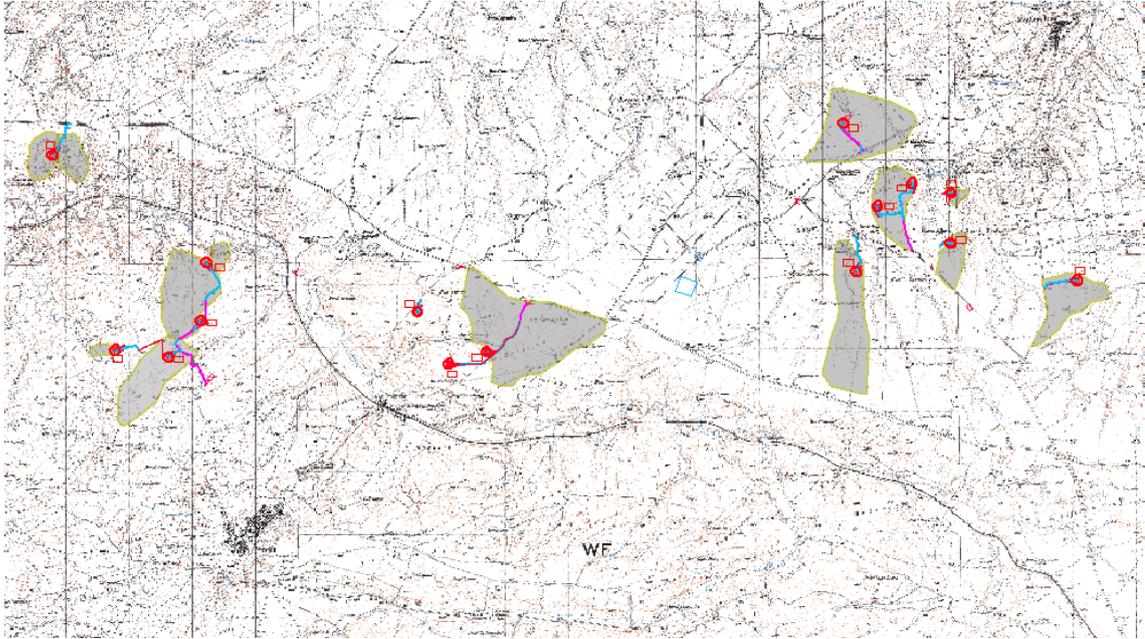


Figura 20: Geometria dei modelli idraulici

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 42 di 73

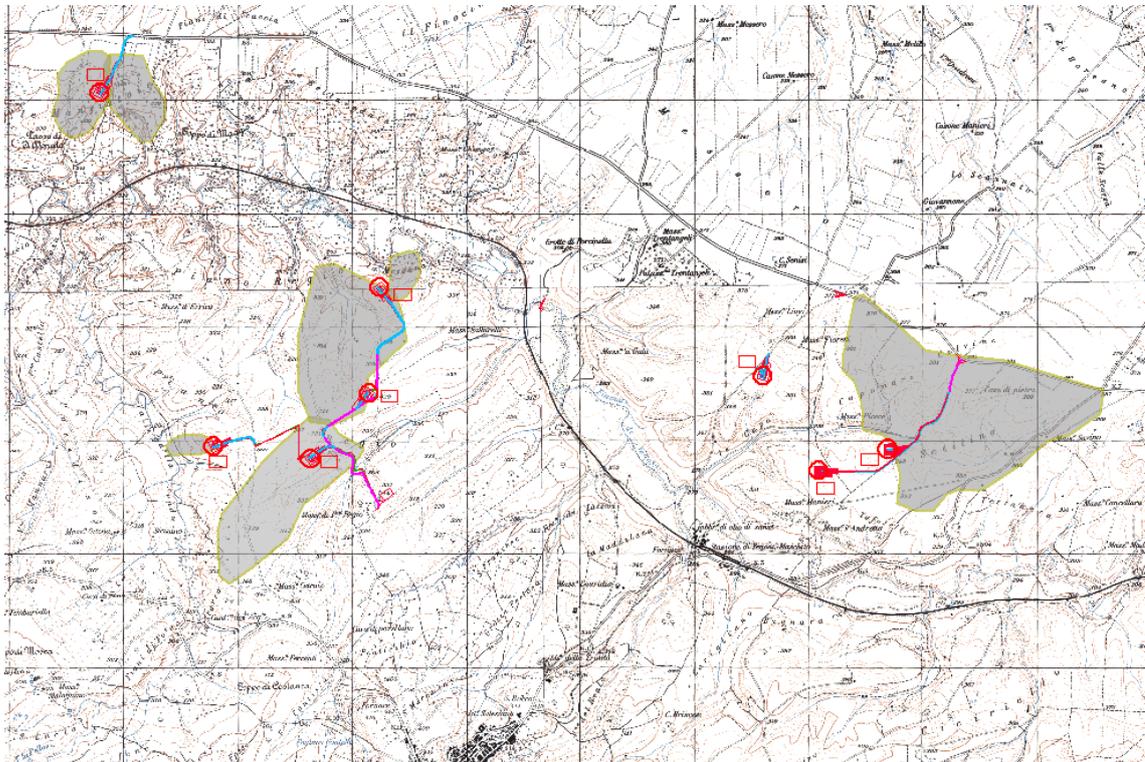


Figura 21: Geometria dei modelli idraulici di dettaglio 1/2 (Domini H – I – J – K – L – M – N – O)

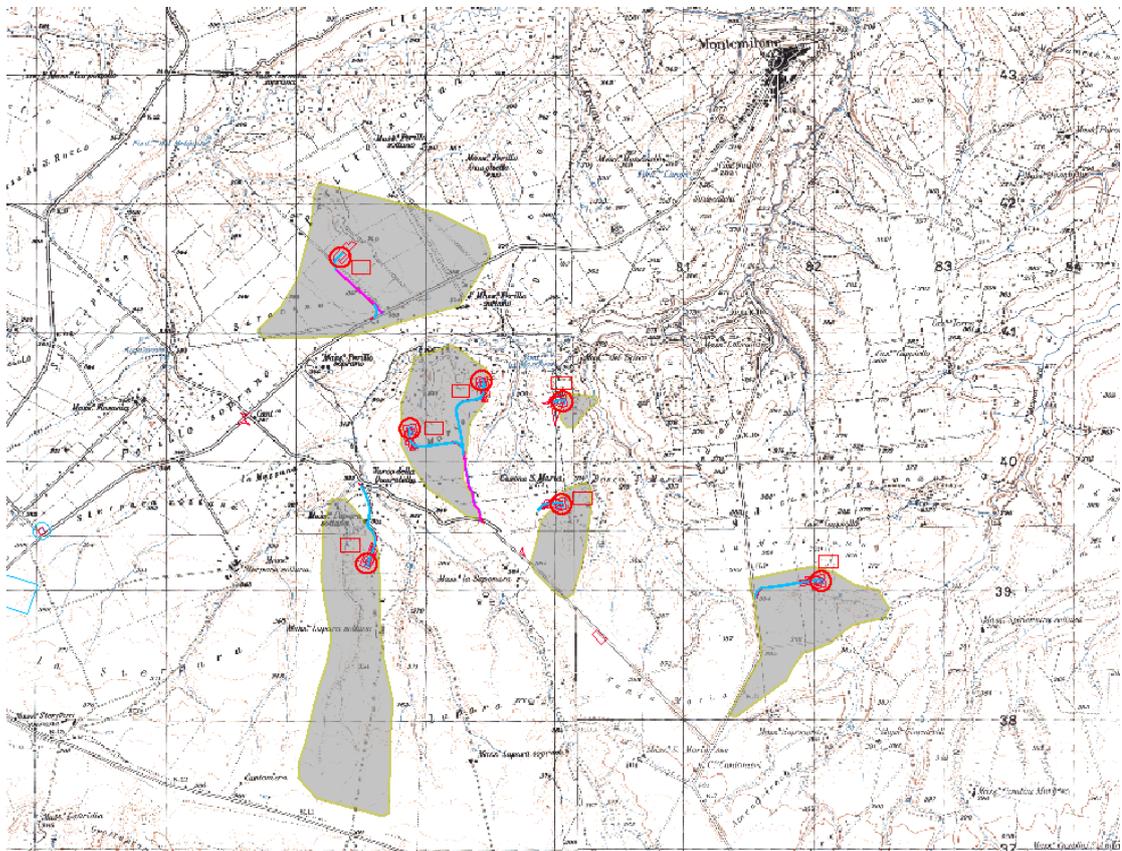


Figura 22: Geometria dei modelli idraulici di dettaglio 2/2 (Domini A – B – C – D – E – F – G)

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 43 di 73

Nonostante, come già detto in precedenza, tutti gli aerogeneratori sono stati ubicati al di fuori delle aree allagabili, è stato necessario procedere all’inserimento di sezioni di controllo in alcuni punti (e segnatamente in corrispondenza delle interferenze tra le strade di progetto e le aree allagabili) al fine di addivenire ai valori di portata necessari al dimensionamento degli elementi necessari a garantire la continuità idraulica (tombini, canalette o sezione stradale drenante).

Le analisi di propagazione sono state condotte a scabrezza variabile in modo da tener conto dell’effetto dell’uso del suolo sui fenomeni di propagazione, ovvero per ogni cella è stato inserito il valore di scabrezza di Manning corrispondente, in funzione dell’uso del suolo presente in sito. I dati di scabrezza sono stati desunti dalle mappe dell’uso del suolo rese disponibili sul portale cartografico RSDI Basilicata.

Nello studio condotto:

- le condizioni a contorno di monte hanno riguardato uno ietogramma di pioggia costante, avente tempi di ritorno pari a 200 anni, applicato su tutto il dominio di calcolo, inserendo per ogni cella il valore di Curve Number corrispondente;
- le condizioni al contorno di valle (celle di *outflow* con libera uscita dal dominio in moto uniforme) sono state inserite lungo la quasi integrità del limite del dominio data la morfologia dell’area.

Le simulazioni idrauliche, condotte in moto vario, hanno consentito di ricavare cella per cella, per tempi di ritorno 200 anni, una serie di grandezze idrodinamiche fondamentali per le valutazioni conseguenti, tra cui la determinazione dei livelli di pericolosità idraulica connessi.

Alcune delle grandezze idrodinamiche ricavate, cella per cella, istante per istante sono:

- ✓ livello del tirante idrico;
- ✓ velocità della corrente;
- ✓ numero di Froude;
- ✓ spinta idrodinamica;
- ✓ pressione statica;
- ✓ energia specifica.

Nel caso esaminato, a vantaggio di sicurezza, è stato impiegato uno ietogramma del tipo *Chicago* (di durata pari a 24 ore) come pioggia uniformemente distribuita per tutti i domini computazionali utilizzati.

Lo ietogramma applicato, di tipo Chicago, riferito al tempo di ritorno di 200 anni, possiede le caratteristiche illustrate nel seguito.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 44 di 73

Input delle simulazioni (ietogramma di progetto per $T_r=200$ anni – topoieta Montemilone):

- ✓ durata 24 h, altezza totale 251,91 mm

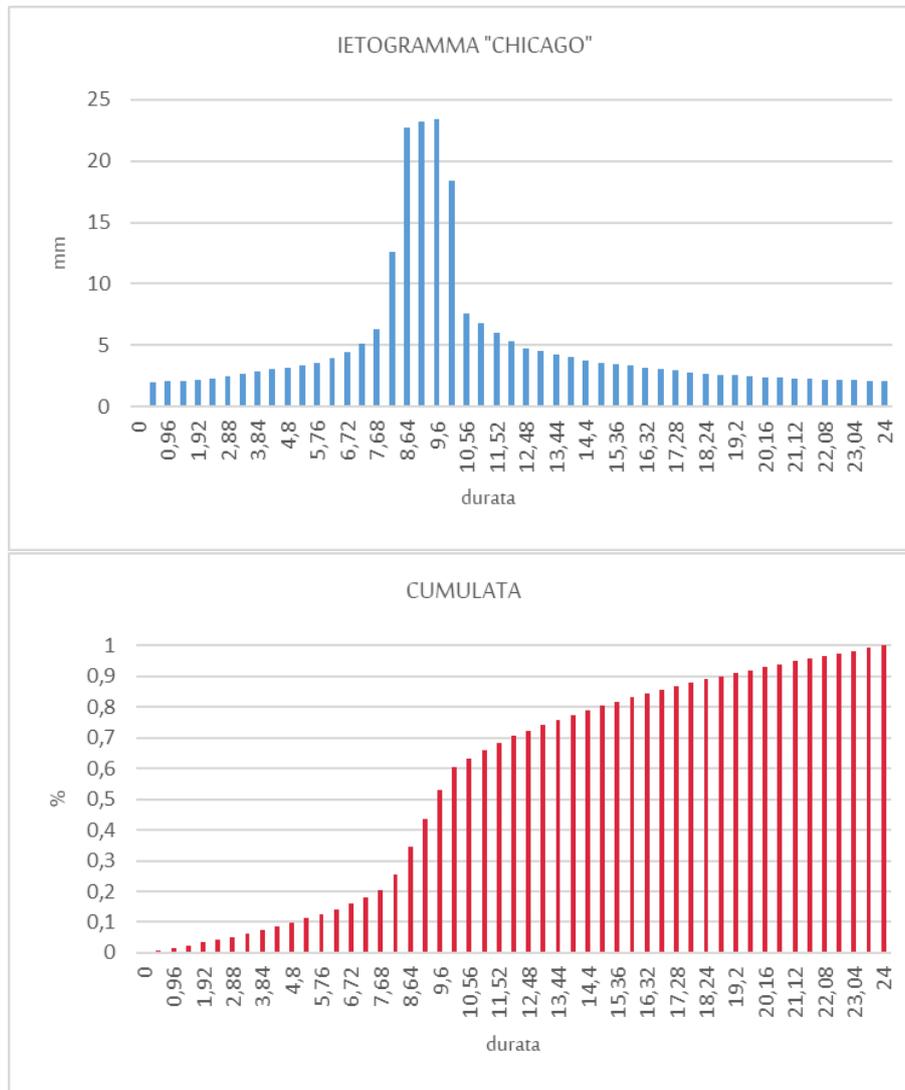


Figura 23: Ietogramma e cumulata di pioggia per durata 24 ore – Montemilone

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 45 di 73

Input delle simulazioni (ietogramma di progetto per $T_r=200$ anni – topoieta Venosa):

- ✓ durata 24 h, altezza totale 261,72 mm

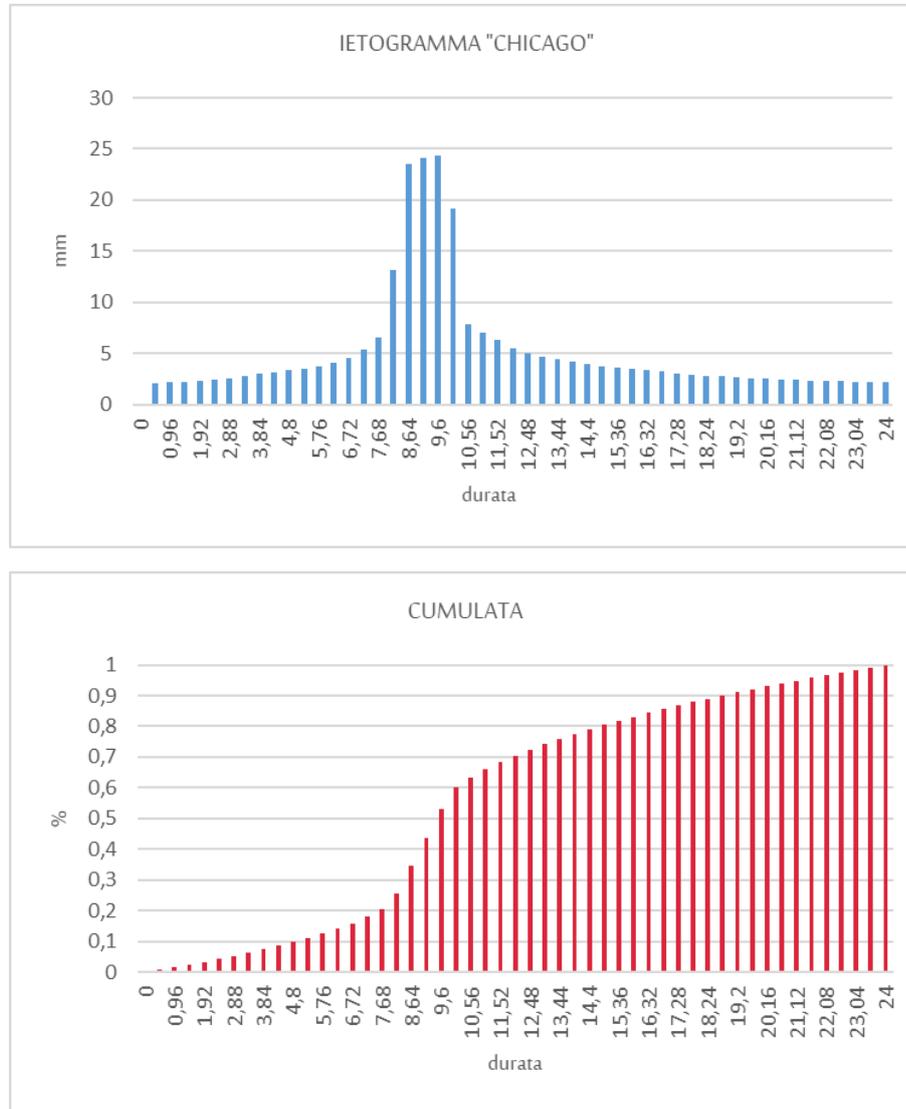


Figura 24: Ietogramma e cumulata di pioggia per durata 24 ore – Venosa

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 46 di 73

Input delle simulazioni (ietogramma di progetto per $T_r=200$ anni – topoietao Lavello):

- ✓ durata 24 h, altezza totale 248,39 mm

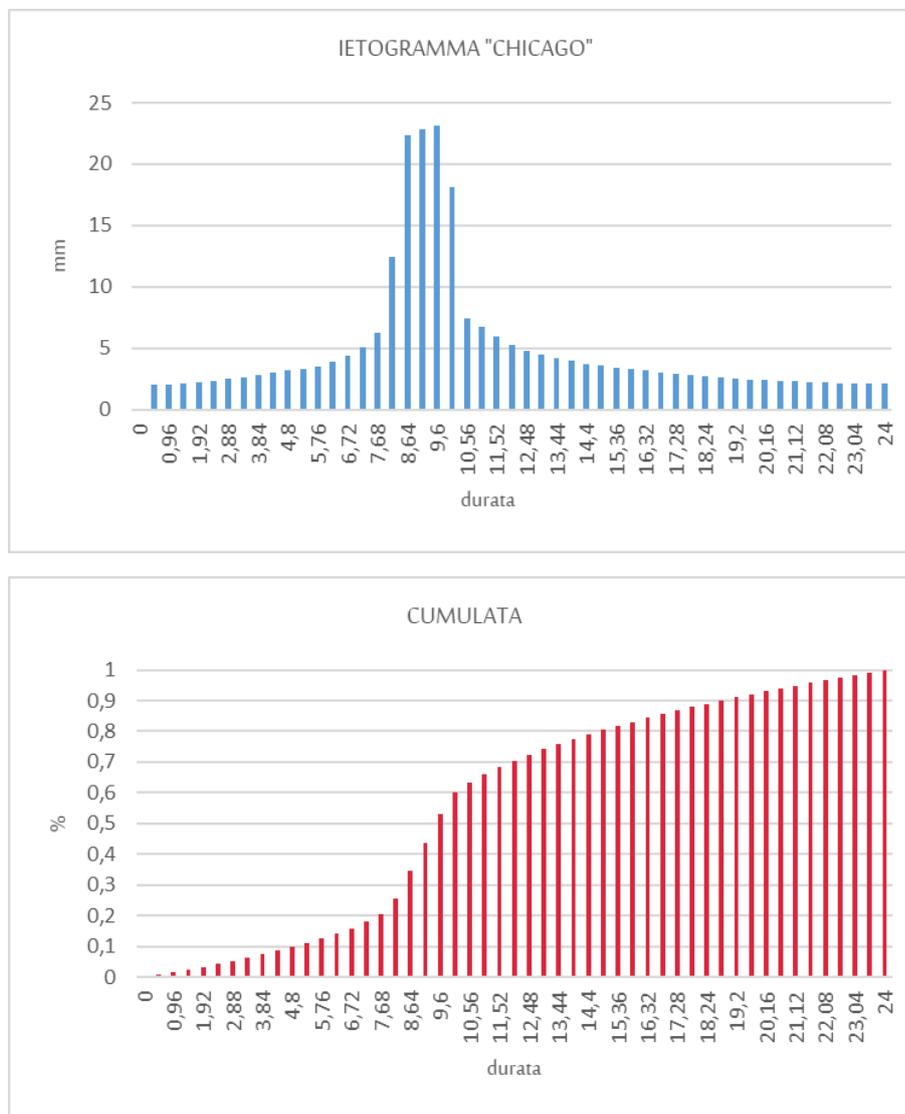


Figura 25: Ietogramma e cumulata di pioggia per durata 24 ore - Lavello

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 47 di 73

Input delle simulazioni (ietogramma di progetto per $T_r=200$ anni – topoieto combinato Lavello/Diga sul Rendina):

- ✓ durata 24 h, altezza totale 228,88 mm

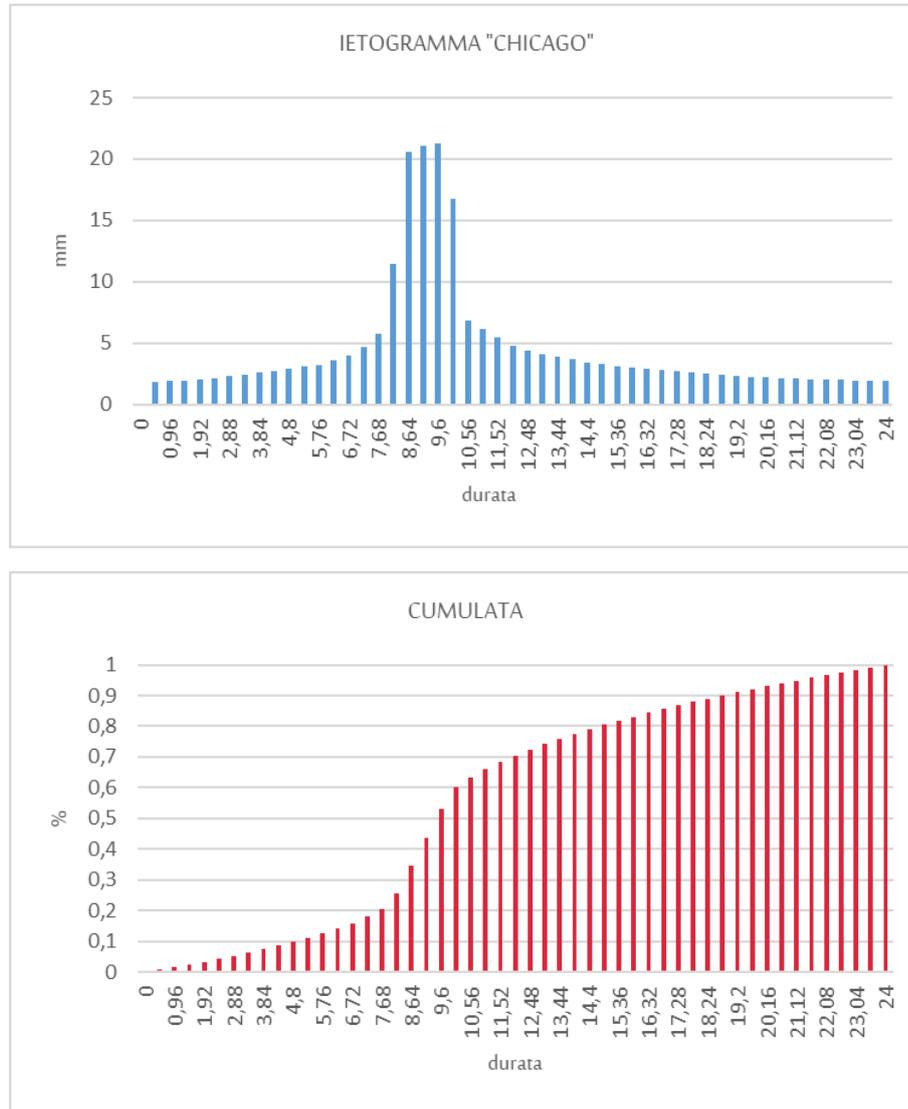


Figura 26: Ietogramma e cumulata di pioggia per durata 24 ore – Combinato Lavello/Diga sul Rendina

Per la definizione delle portate di calcolo necessarie per il dimensionamento delle opere idrauliche, ove necessarie (in corrispondenza delle interferenze tra deflussi superficiali e opere viarie da realizzare) sono state inserite una serie di sezioni di controllo meglio definite nelle immagini che seguono che mostrano i dettagli dei domini di calcolo e i risultati delle modellazioni condotte.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 48 di 73



Figura 27: Dettaglio del primo dominio di calcolo – Bacino A – WTG PR1

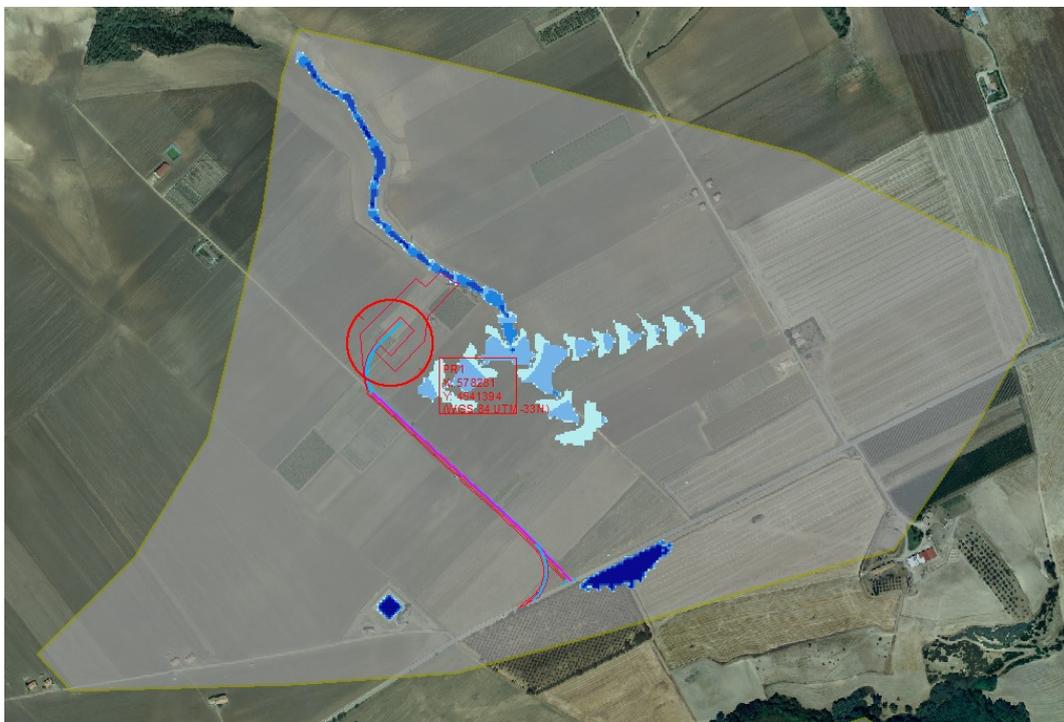


Figura 28: Dettaglio del primo dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non risultano interferenze con le strade di progetto.

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 49 di 73

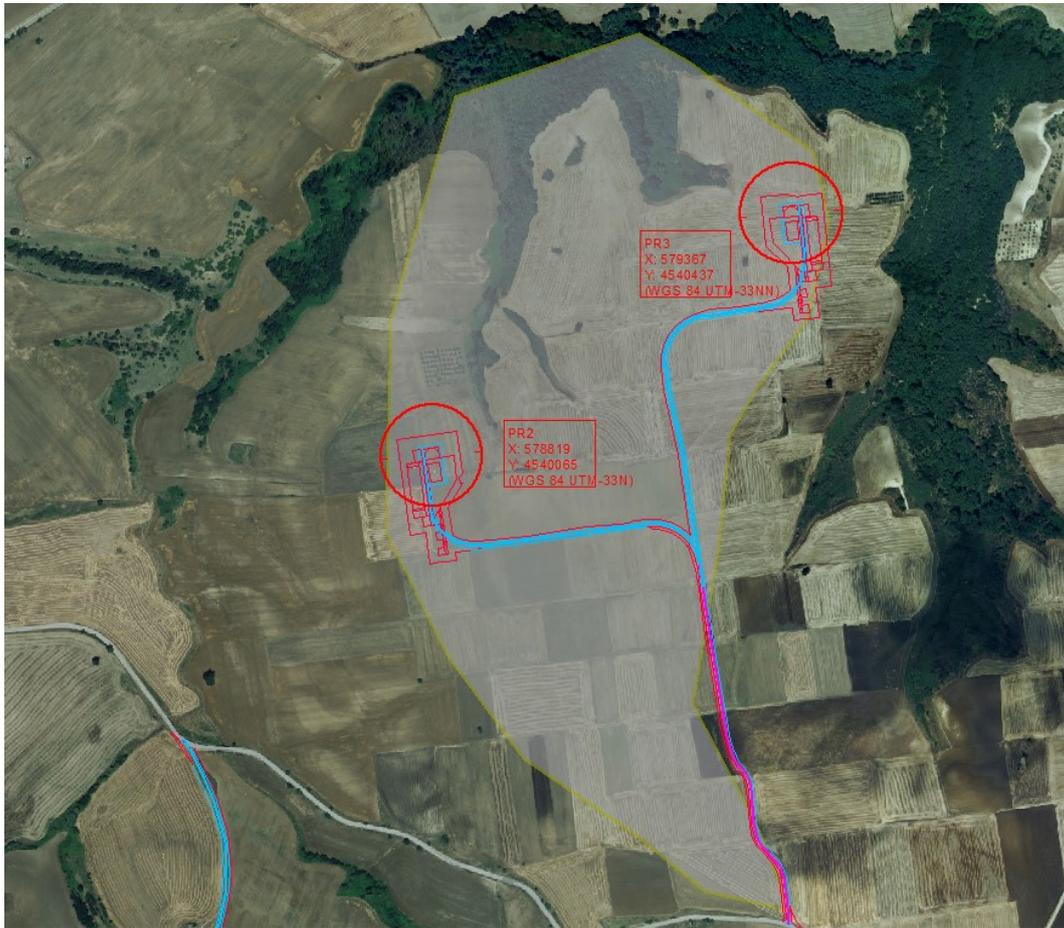


Figura 29: Dettaglio del secondo dominio di calcolo – Bacini B e C – WTG PR2 e PR3

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 50 di 73

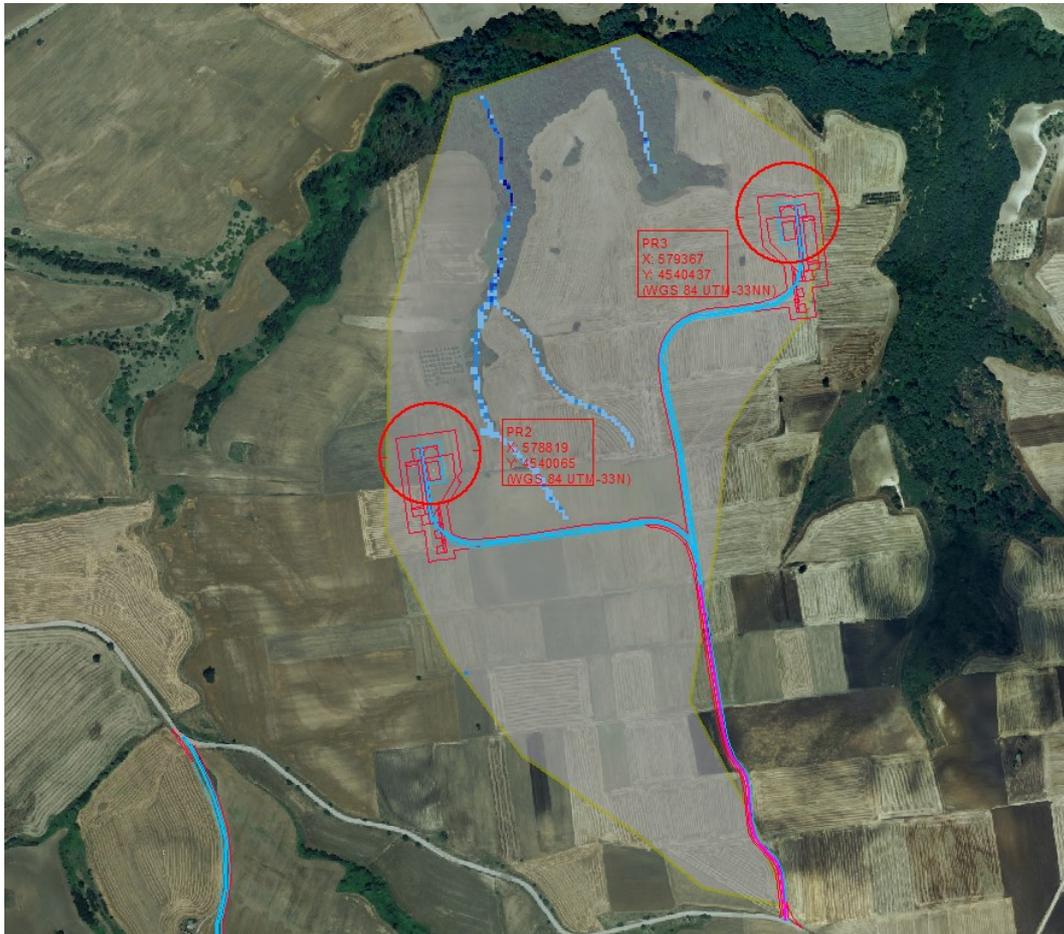


Figura 30: Dettaglio del secondo dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non sono state evidenziate interazioni tra opere di progetto e aree allagabili.

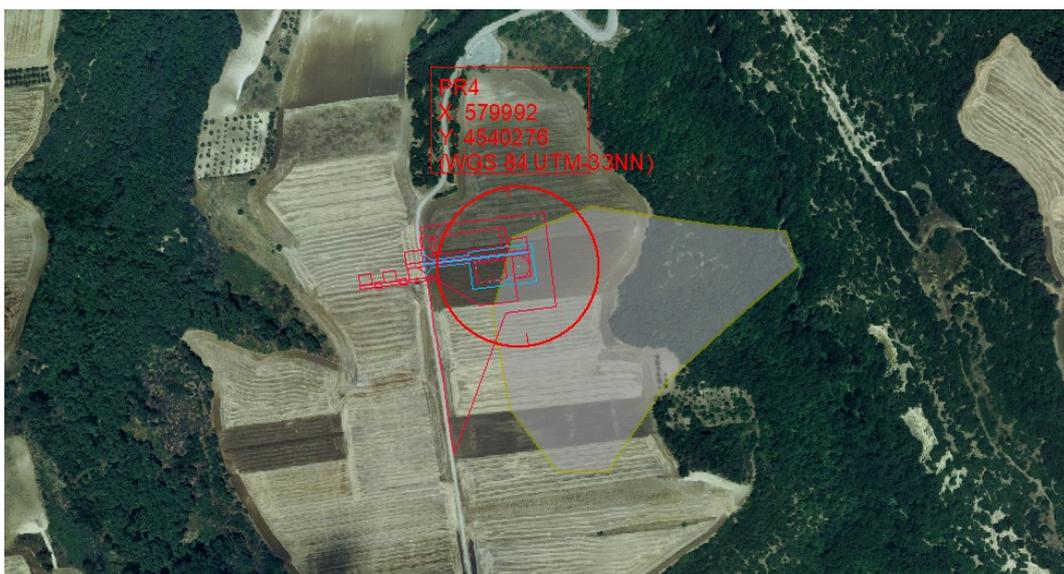


Figura 31: Dettaglio del terzo dominio di calcolo – Bacino D – WTG PR4

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 51 di 73

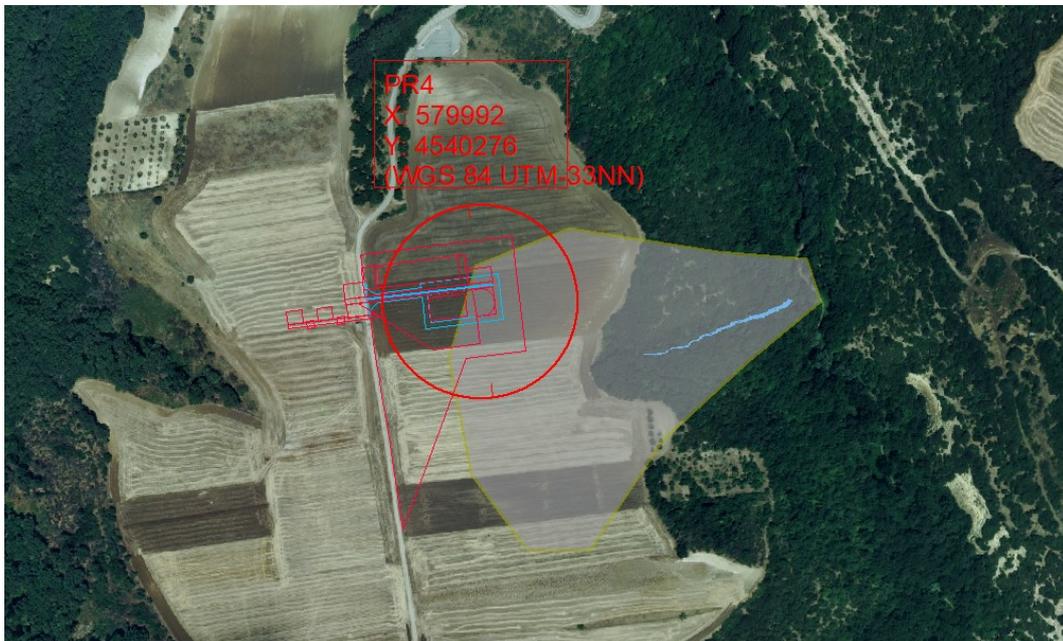


Figura 32: Dettaglio del terzo dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non sono state evidenziate interazioni tra opere di progetto e aree allagabili.



Figura 33: Dettaglio del quarto dominio di calcolo – Bacino E – WTG PR5

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 52 di 73



Figura 34: Dettaglio del quarto dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non sono state evidenziate interazioni tra opere di progetto e aree allagabili.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 53 di 73



Figura 35: Dettaglio del quinto dominio di calcolo – Bacino F – WTG PR6

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 54 di 73

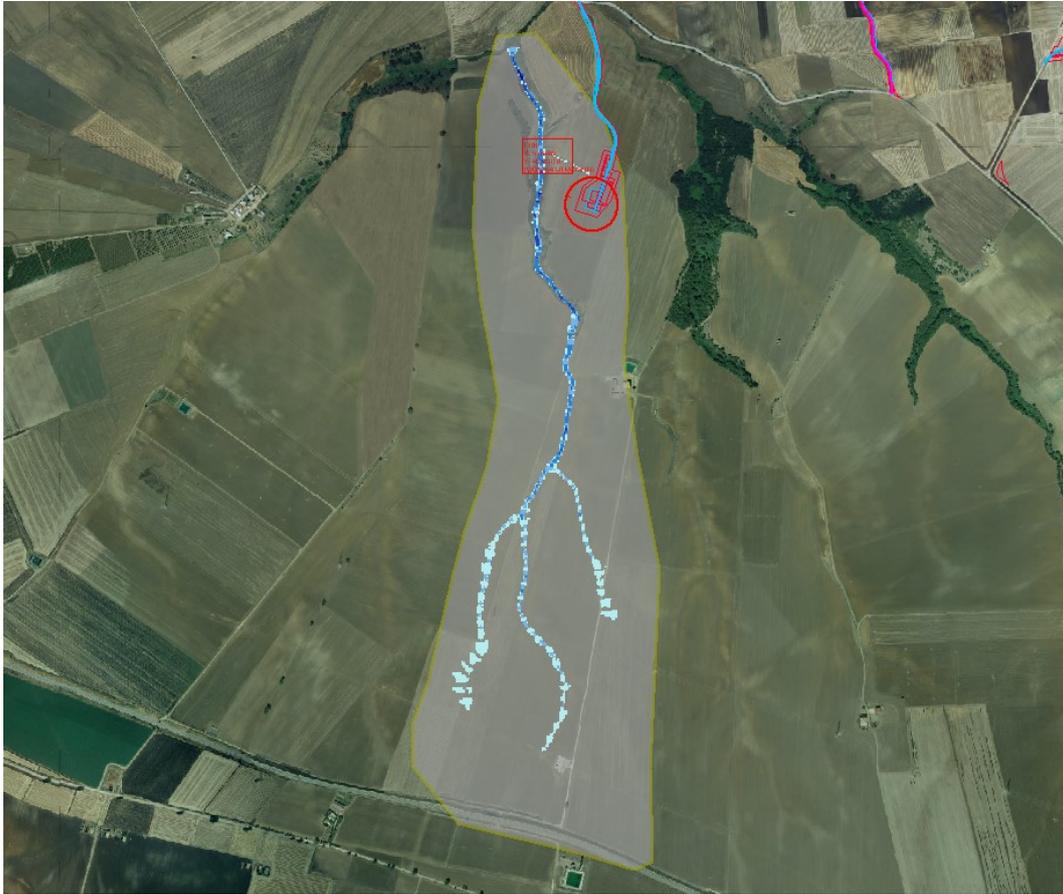


Figura 36: Dettaglio del quinto dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non risultano interferenze.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 55 di 73



Figura 37: Dettaglio del sesto dominio di calcolo – Bacino G – WTG PR7

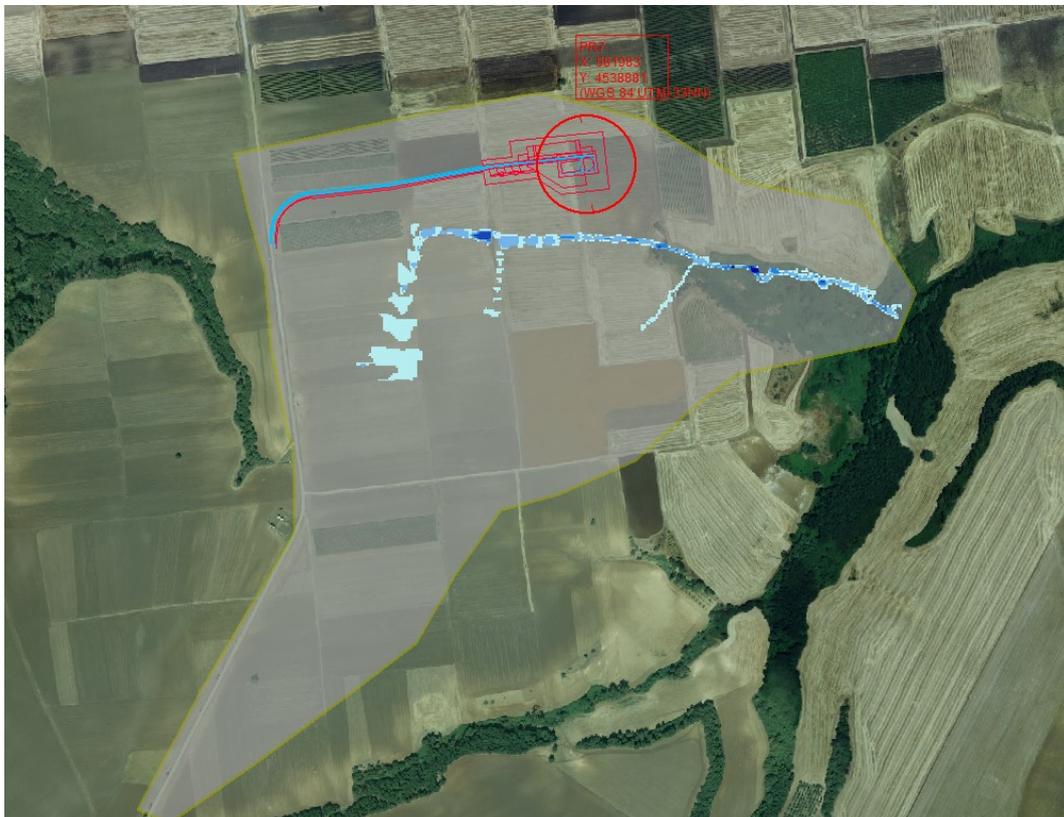


Figura 38: Dettaglio del sesto dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non risultano interferenze.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 56 di 73



Figura 39: Dettaglio del settimo dominio di calcolo – Bacino H – WTG PR8

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 57 di 73



Figura 40: Dettaglio del settimo dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non sono state evidenziate interazioni tra opere di progetto e aree allagabili.



Figura 41: Dettaglio dell'ottavo dominio di calcolo – Bacino I – WTG PR9

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 58 di 73

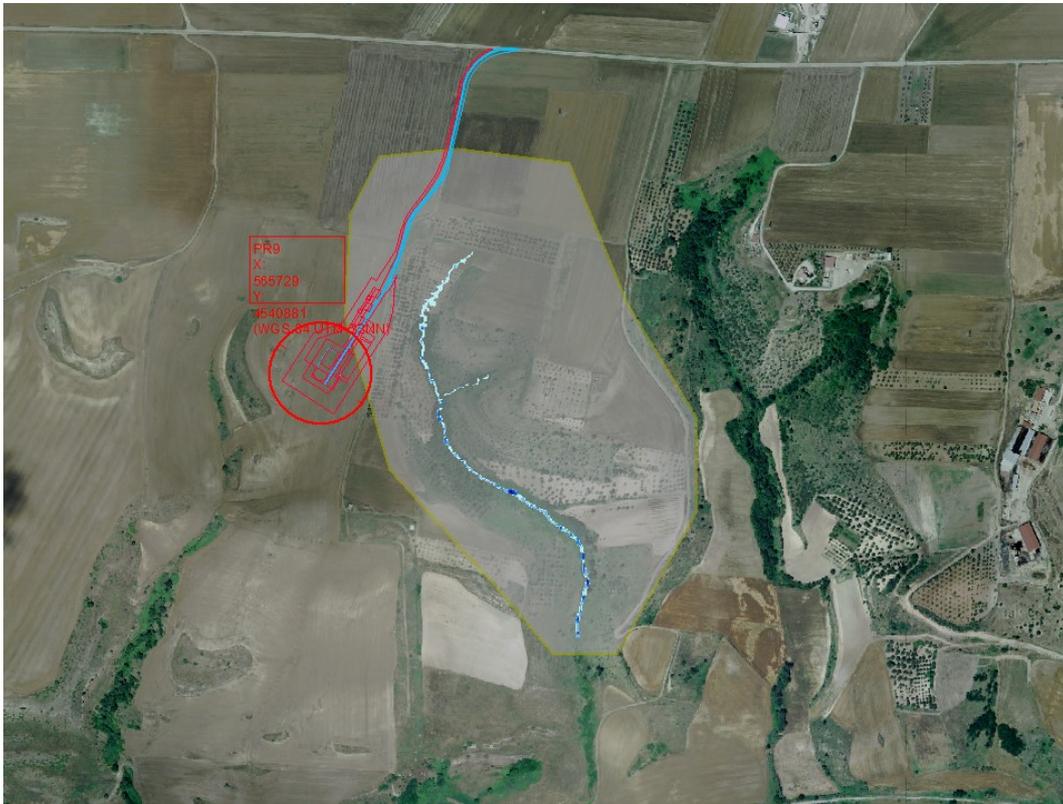


Figura 42: Dettaglio dell’ottavo dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non sono state evidenziate interazioni tra opere di progetto e aree allagabili.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 59 di 73



Figura 43: Dettaglio del nono dominio di calcolo – Bacino J – WTG PR9

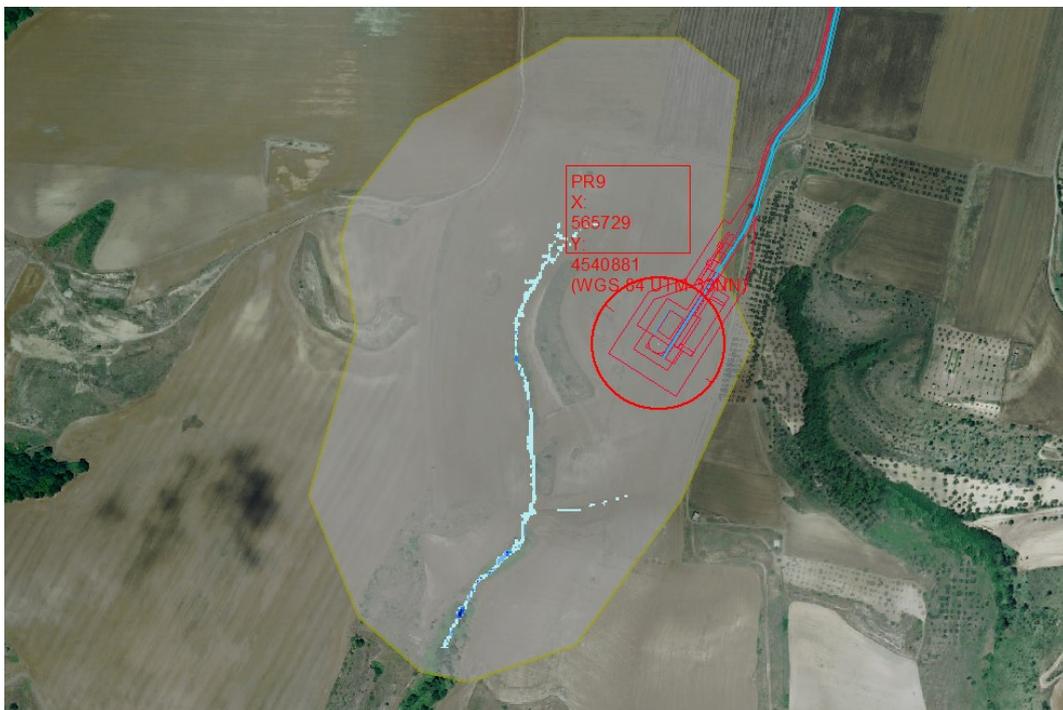


Figura 44: Dettaglio del nono dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non sono state evidenziate interazioni tra opere di progetto e aree allagabili.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 60 di 73

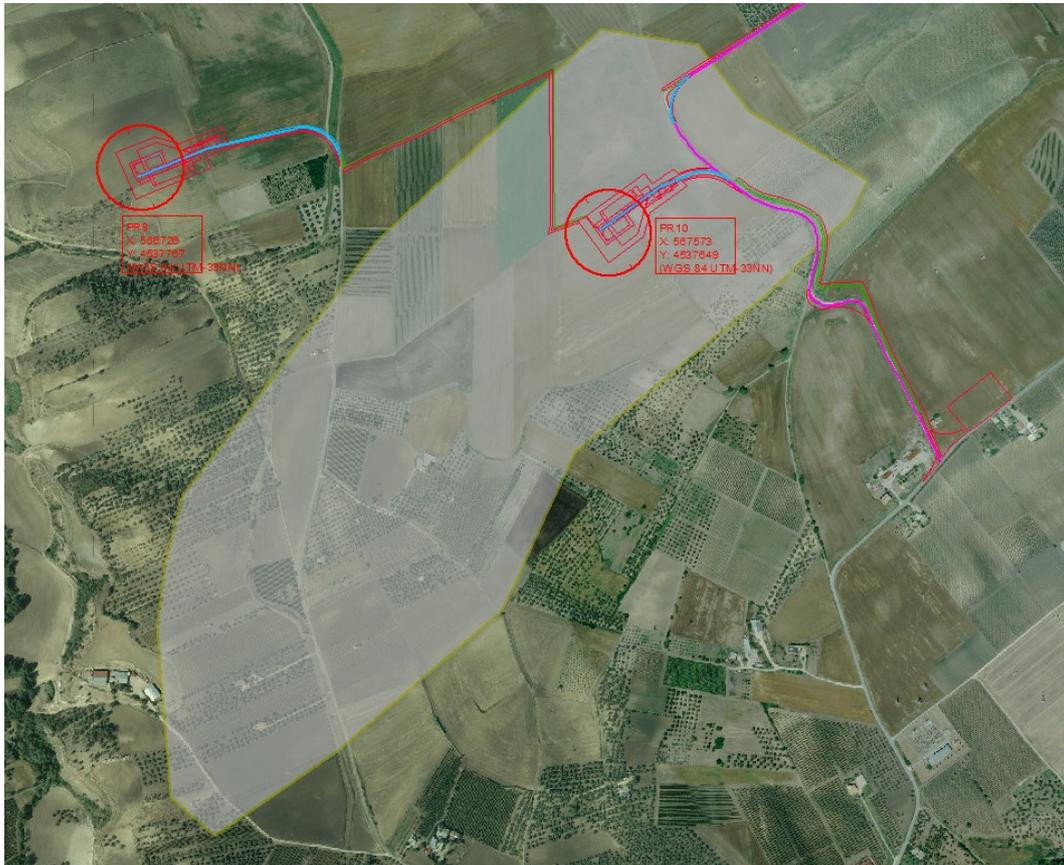


Figura 45: Dettaglio del decimo dominio di calcolo – Bacino K – WTG PR10

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 61 di 73

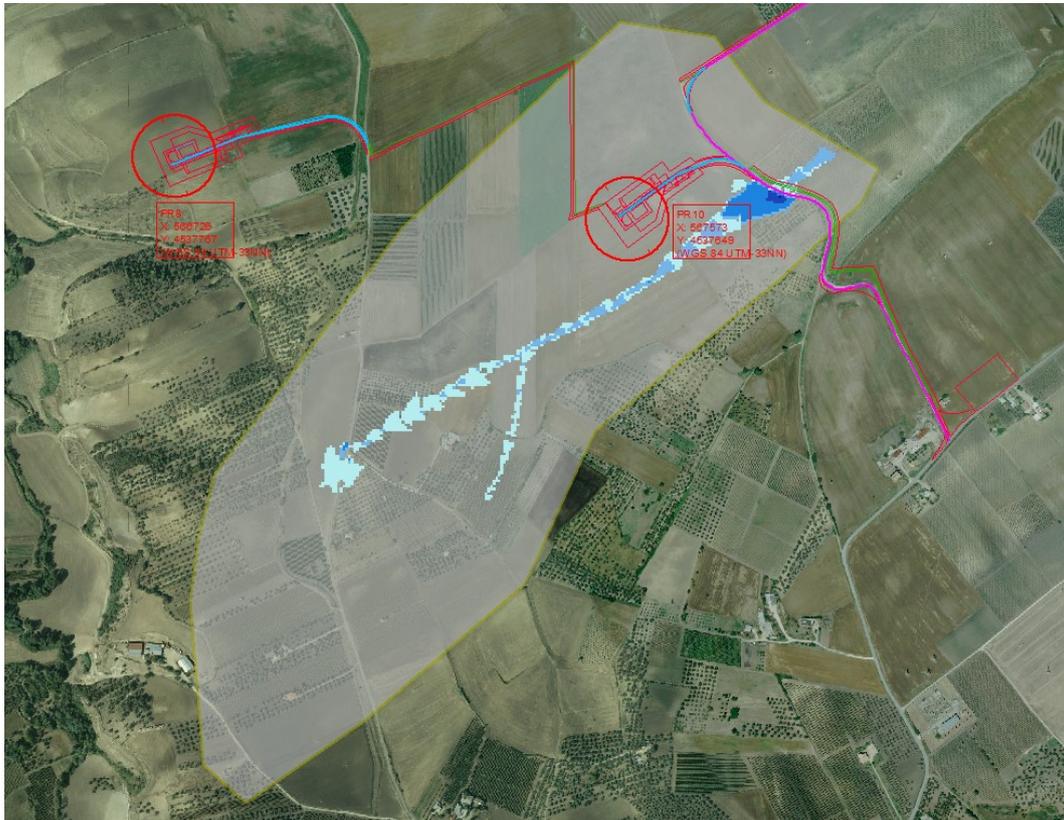


Figura 46: Dettaglio del decimo dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non sono state evidenziate interazioni tra opere di progetto e aree allagabili. L'unica interferenza riguarda una strada esistente interessata esclusivamente dal tracciato del cavidotto, per la cui trattazione si rimanda al paragrafo 8.2

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 62 di 73

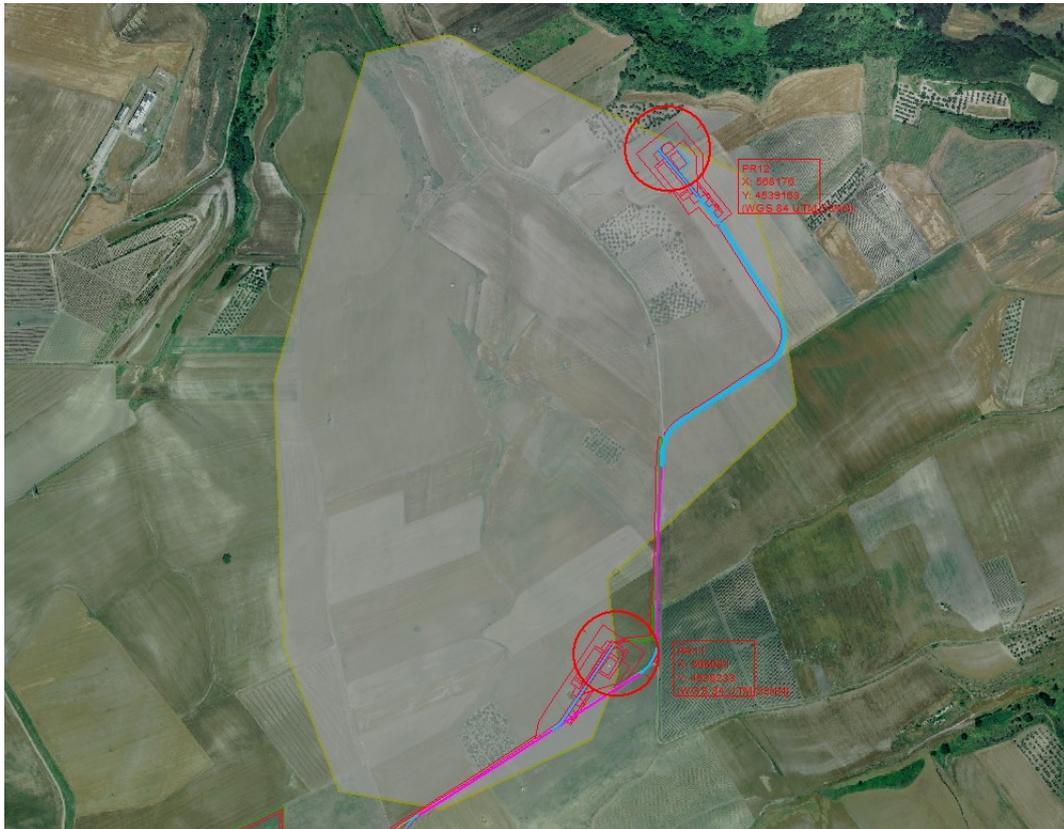


Figura 47: Dettaglio dell'undicesimo dominio di calcolo – Bacino L – WTG PR11 e PR12

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 63 di 73

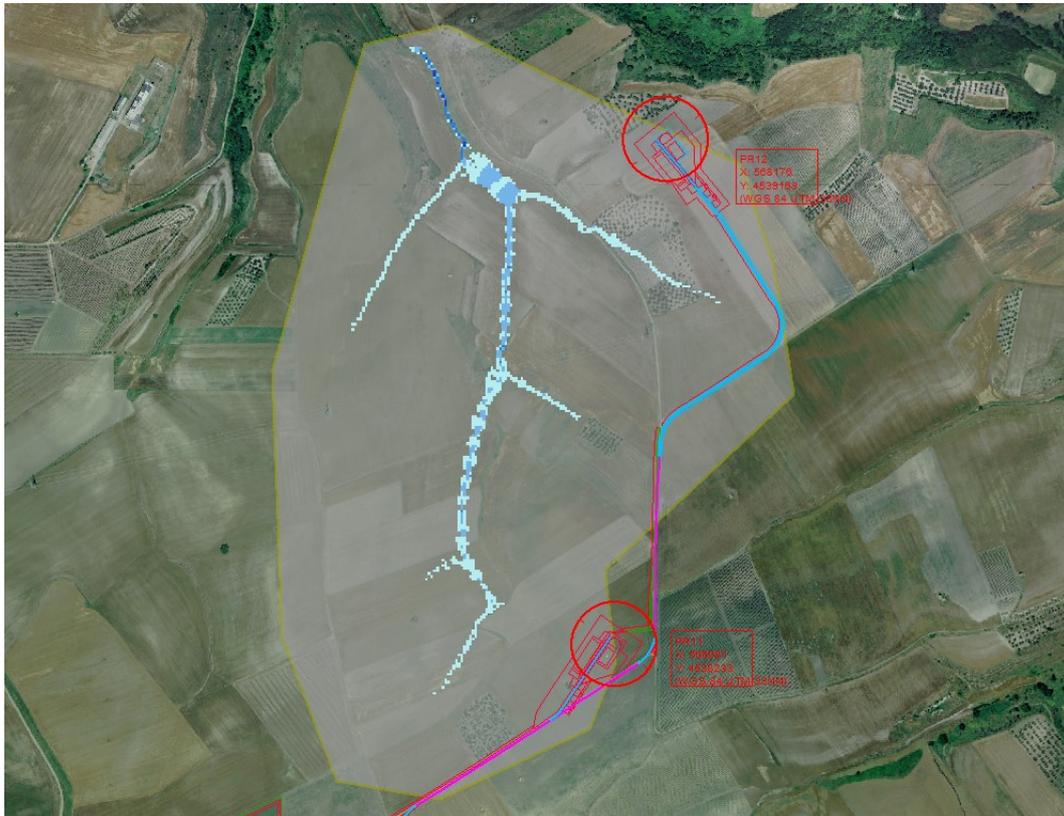


Figura 48: Dettaglio dell’undicesimo dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non risultano interferenze.

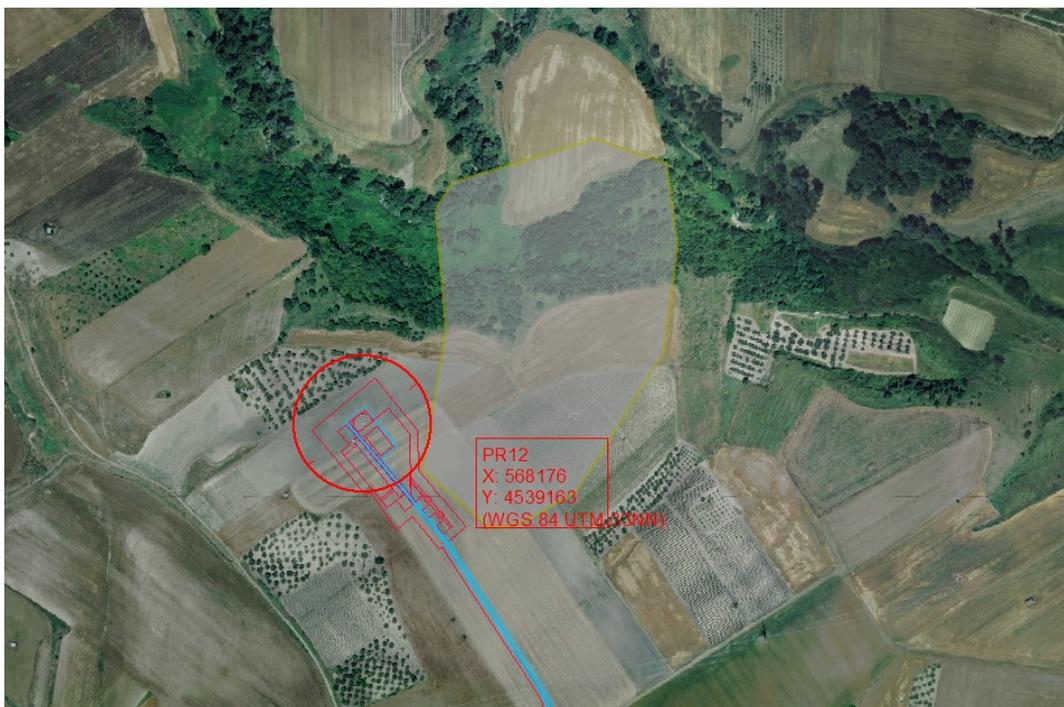


Figura 49: Dettaglio del dodicesimo dominio di calcolo – Bacino M – WTG PR12

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 64 di 73



Figura 50: Dettaglio del dodicesimo dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. Non sono state inserite sezioni di controllo in quanto non risultano interferenze.

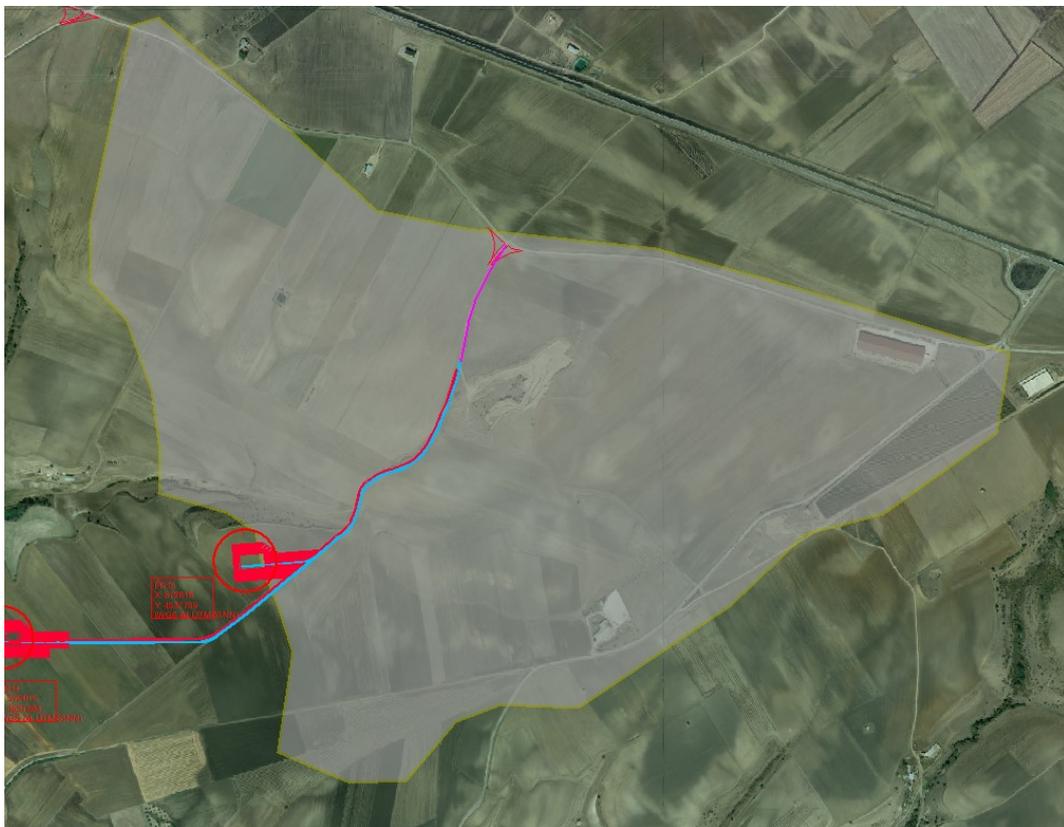


Figura 51: Dettaglio del tredicesimo dominio di calcolo – Bacino N e O – WTG PR15

Aren Green Srl Impianto Eolico "PIANO REGIO"	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 65 di 73

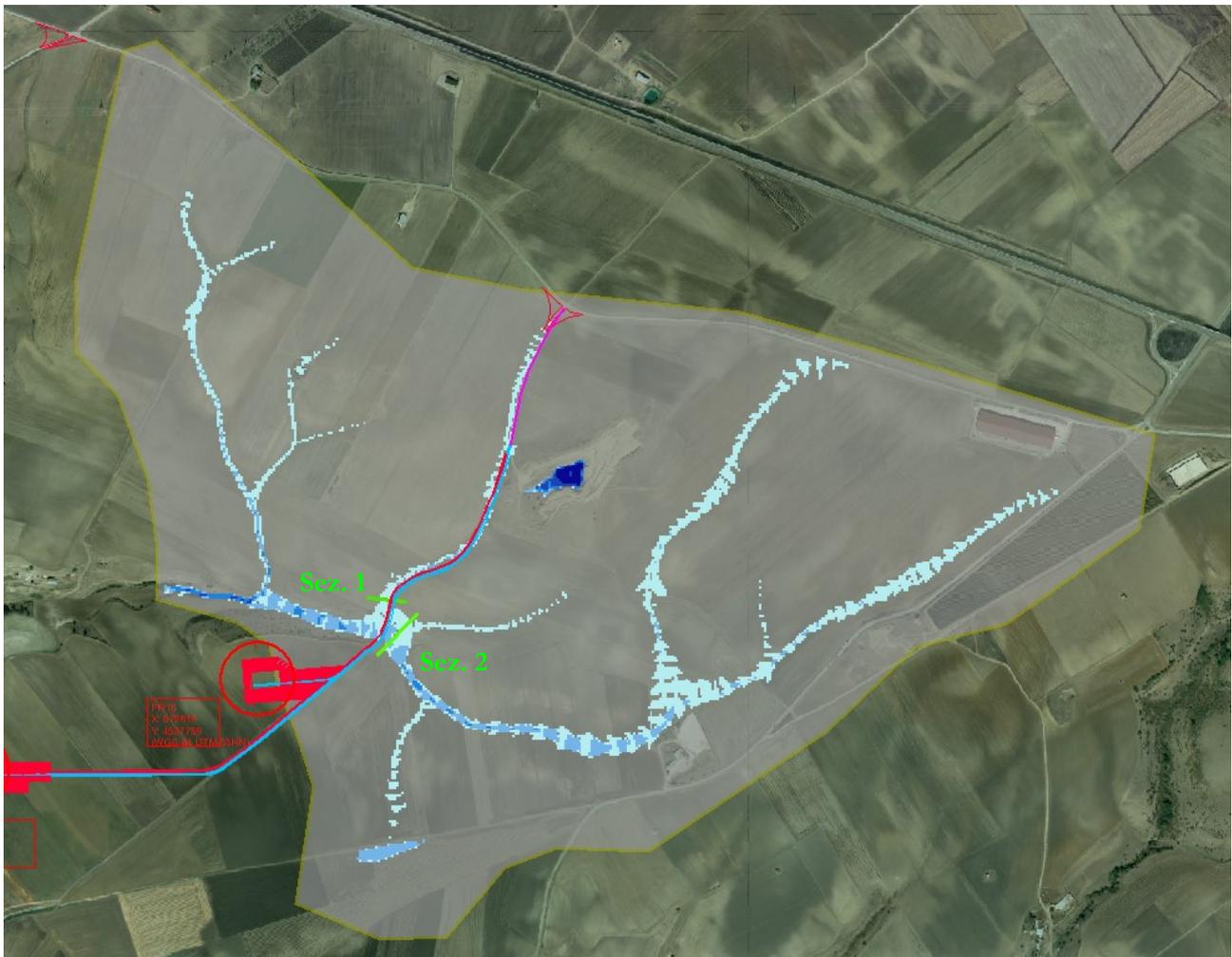


Figura 52: Dettaglio del tredicesimo dominio di calcolo con indicazione delle aree allagabili a 200 anni. In verde sono indicate le sezioni di controllo inserite per verificare le portate che interessano la strada di progetto da ripristinare. La sezione 1 registra una portata al colmo bicentenaria pari a $3,19 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre la sezione 2 fa registrare $11,25 \text{ m}^3/\text{s}$

7 Definizione delle aree allagabili con tempi di ritorno di 200 anni

Come si può notare dalla figura che segue, le aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni che interessano l'area di intervento seguono, essenzialmente, i compluvi principali (cfr. Allegato 1).

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 66 di 73

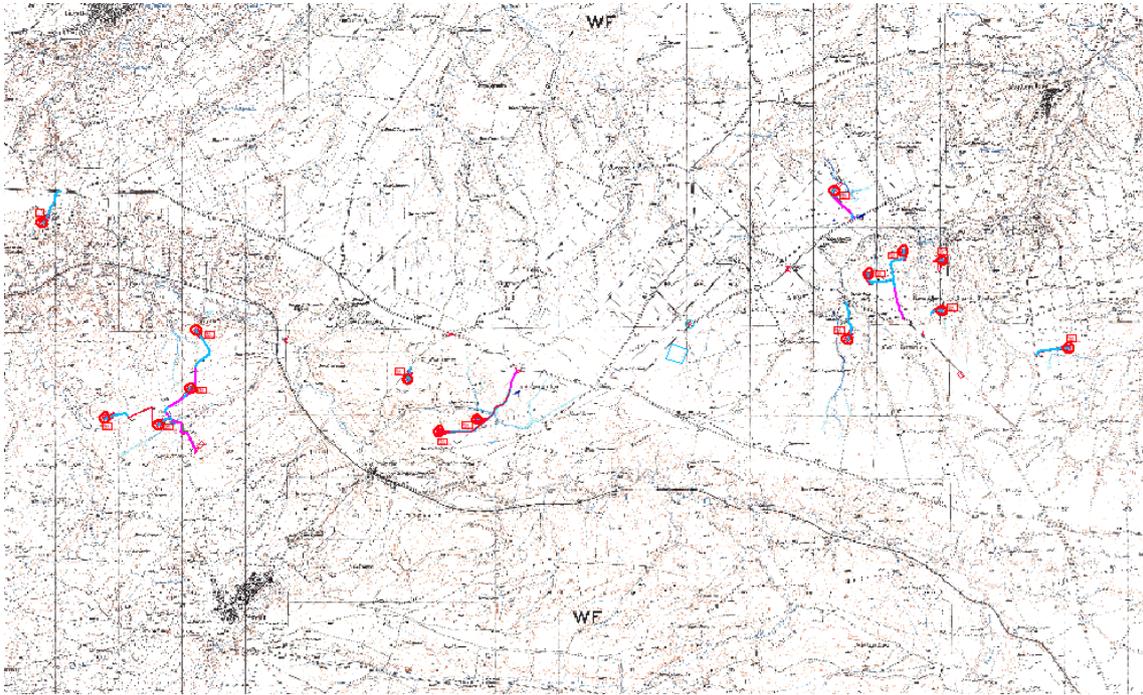


Figura 53: Definizione delle aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni. In rosso gli aerogeneratori

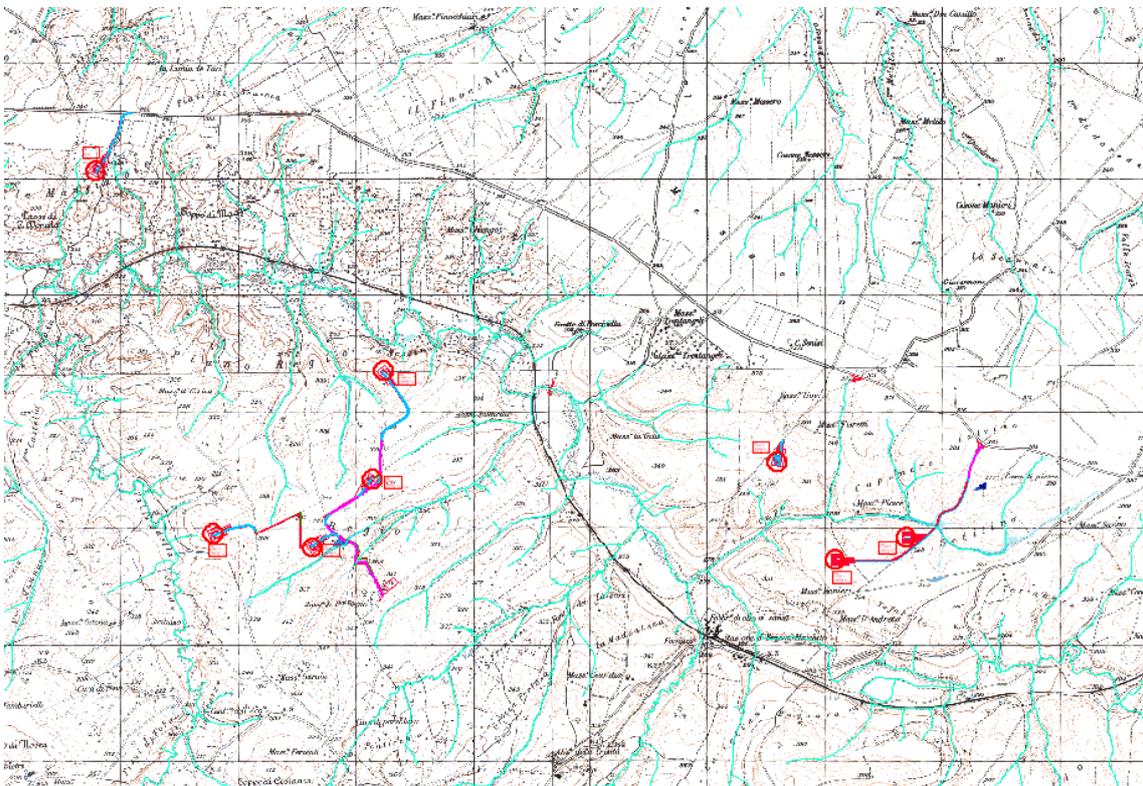


Figura 54: Definizione delle aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni. In giallo gli aerogeneratori, rosso le strade e le piazzole di progetto, in azzurro le aree allagabili con tempi di ritorno di 200 anni. Dettaglio aerogeneratori PR8, PR9, PR10, PR11, PR12, PR13, PR14, PR15

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 67 di 73

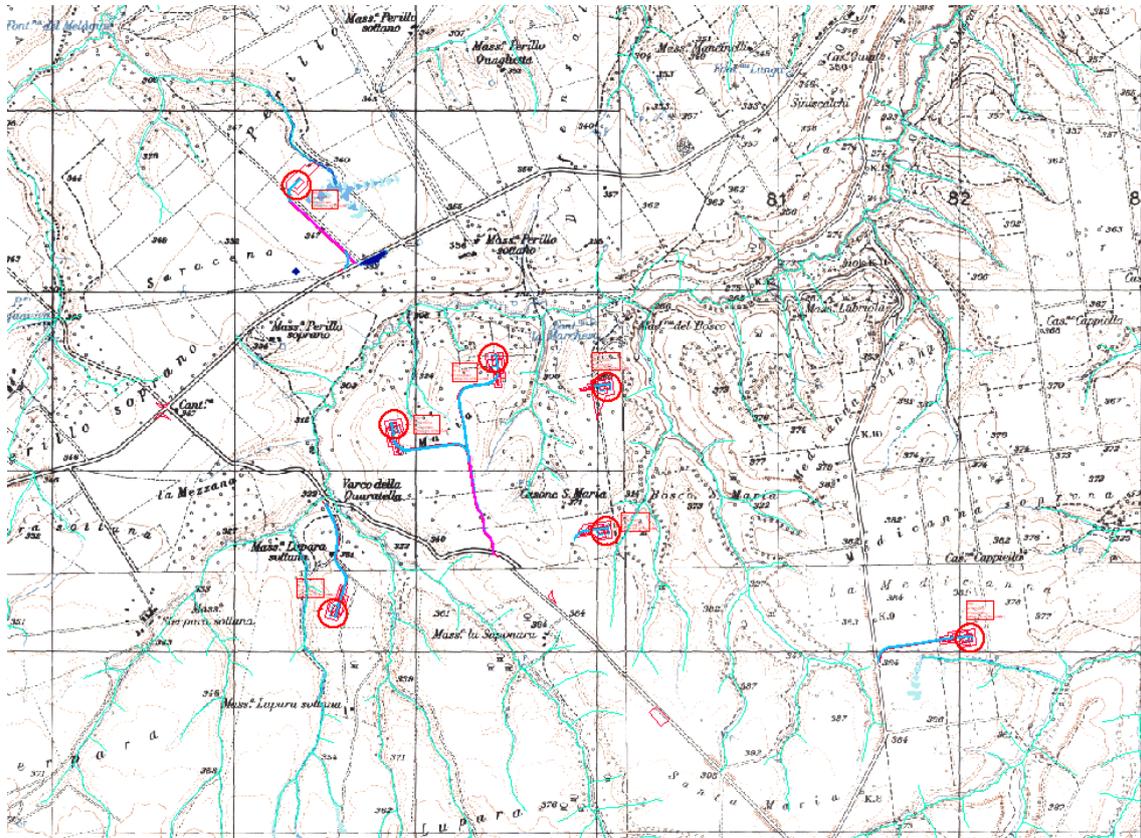


Figura 55: Definizione delle aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni. In giallo gli aerogeneratori, rosso le strade e le piazzole di progetto, in azzurro le aree allagabili con tempi di ritorno di 200 anni. Dettaglio aerogeneratori PR1, PR2, PR3, PR4, PR5, PR6, PR7

Dall'analisi della figura di sopra e dell'allegato 1, si evince che:

1. Tutti i 15 aerogeneratori risultano esterni a qualsiasi area allagabile;
2. Che le strade di progetto interferiscono in alcuni punti con le aree allagabili;
3. Che i cavidotti interferiscono in alcuni punti con le aree allagabili.

Dunque, sono stati implementati alcuni accorgimenti per garantire la continuità idraulica delle aree su cui insistono le opere di progetto anche a seguito della realizzazione delle stesse e, in particolare:

1. Nel caso di interferenza trasversale tra la strada di progetto e l'area allagabile è stato progettato un pacchetto stradale di tipo drenante, caratterizzato da un coefficiente di permeabilità non superiore a quello del terreno esistente e complanare, in modo tale da risultare “trasparente” ai deflussi superficiali. Tale soluzione è stata applicata nell'unica interferenza riscontrata nella strada di collegamento con la WTG PR15;
2. Nel caso di interferenze con i cavidotti è stato previsto il ripristino dello stato dei luoghi a seguito dello scavo e della posa dello stesso con materiale stabile o la realizzazione di tratti con tecniche NO-DIG.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 68 di 73

8 Definizione e risoluzione delle interferenze

8.1 Realizzazione di sezione stradale drenante complanare al piano campagna di avvicinamento all'aerogeneratore PR15

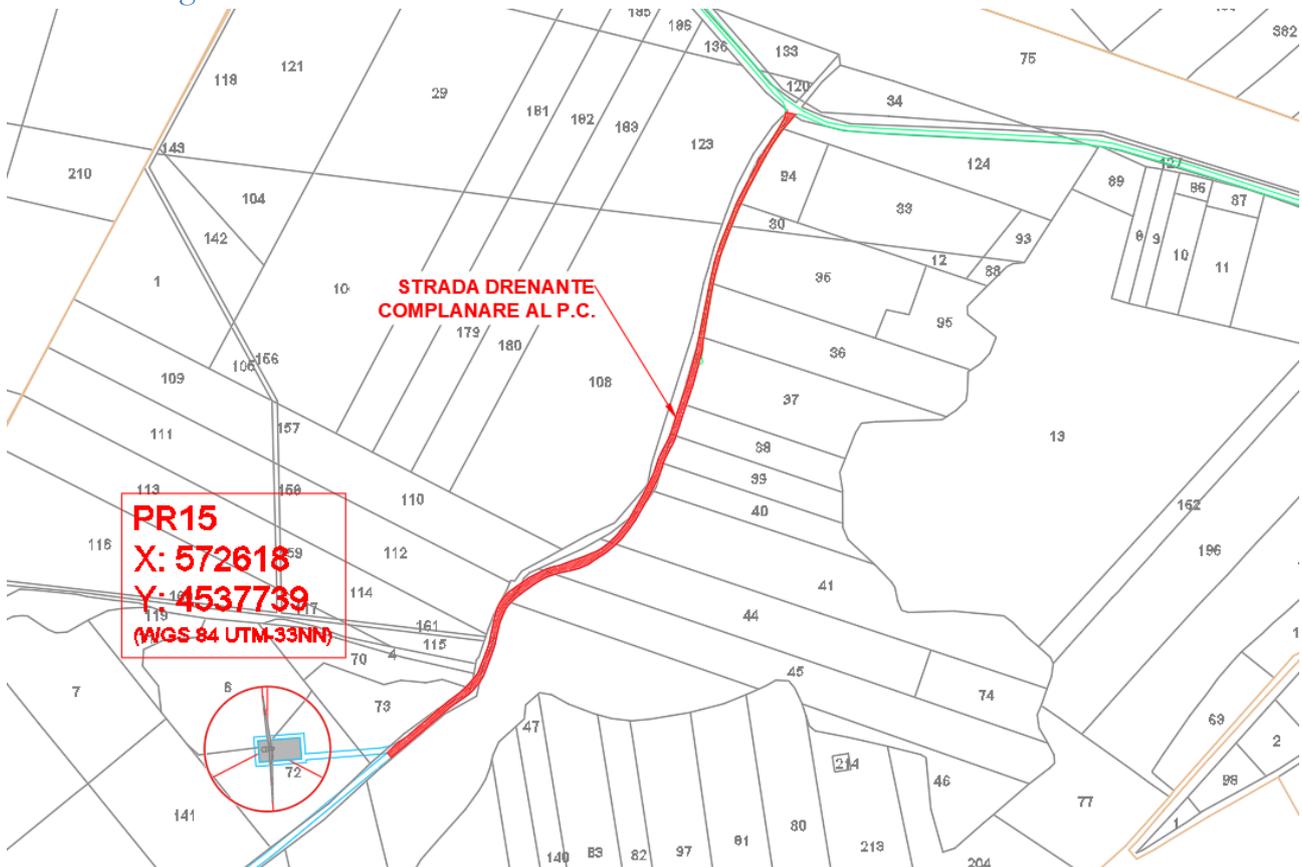


Figura 56: Strada drenante di progetto verso l'aerogeneratore PR15

Al fine di rendere idraulicamente “trasparente” la realizzazione della strada di avvicinamento all'aerogeneratore PR15, è stata progettata una sezione stradale drenante costituita da un pacchetto di fondazione in misto granulare di pezzatura più grossa per uno spessore di 40 cm e uno strato superficiale di 10 cm avente pezzatura inferiore.

La particolarità della sezione di progetto risiede nella perfetta complanarità del piano campagna rispetto alla sede stradale, con la sola eccezione di una doppia falda con pendenza trasversale del 2% per garantire il drenaggio della sede stradale stessa.

Oltretutto, rispetto ai valori di permeabilità esistenti, la realizzazione di un pacchetto stradale di questo tipo ne garantisce un incremento passando da un valore del CNII esistente pari a 81 ad un valore di progetto pari a 78.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 69 di 73

TIPOLOGIA 3.2: Nuova viabilità parco eolico in aree perimetrate ADB

ELENCO LAVORAZIONI

- a) Scavo di sbancamento per una profondità di circa 50 cm e compattazione fondo scavo
- b) Realizzazione di vespaio in pietrame informe baulettato con TNT sp. 40 cm;
- c) Realizzazione di pavimentazione stradale a raso in misto granulometrico stabilizzato sp. 10 cm;

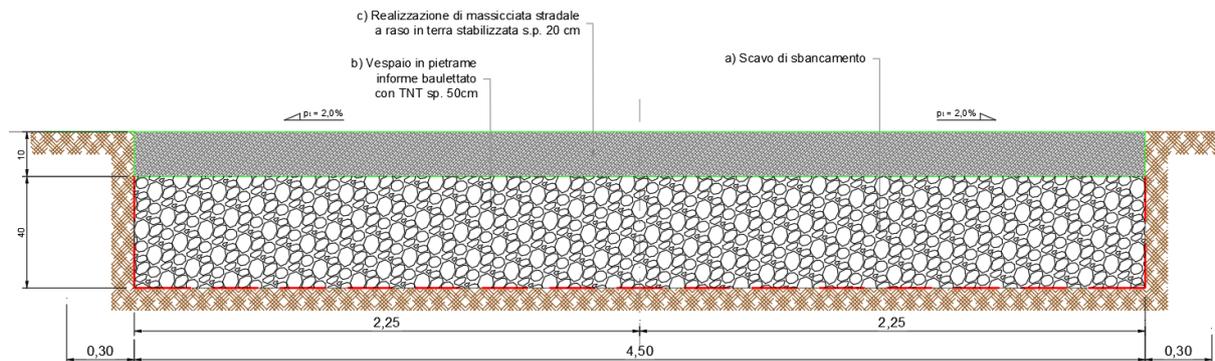


Figura 57: Sezione stradale drenante di progetto verso l'aerogeneratore PR15

8.2 Cavidotti

Con riferimento alla realizzazione dei cavidotti, in corrispondenza delle aree interessate dai deflussi superficiali con tempi di ritorno di 200 anni, gli stessi dovranno essere opportunamente ricoperti con materiale stabile, al fine di incrementare il livello di sicurezza dell'area.

Nel caso in cui sia prescritto dagli enti conferenti, al fine di non alterare assolutamente equilibrio dei materiali che costituiscono il fondo delle aree interessate dal transito delle piene centenarie, lungo i tratti di intersezione gli attraversamenti saranno realizzati con tecnica T.O.C., che si articola secondo tre fasi operative:

- 1) Esecuzione del foro pilota: questo sarà di piccolo diametro e verrà realizzato mediante l'utilizzo dell'utensile fondo foro, il cui avanzamento all'interno del terreno è garantito dalla macchina perforatrice che trasmetterà il movimento rotatorio ad una batteria di aste di acciaio alla cui testa è montato l'utensile fresante. La posizione dell'utensile sarà continuamente monitorata attraverso il sistema di localizzazione.
- 2) Trivellazione per l'allargamento del foro fino alle dimensioni richieste: una volta completato il foro pilota con l'uscita dal terreno dell'utensile fondo foro (exit point) verrà montato, in testa alla batteria di aste di acciaio, l'utensile per l'allargamento del foro pilota, di diametro superiore al precedente, e il tutto viene tirato verso l'impianto di trivellazione (entry point). Durante il tragitto di rientro del sistema di trivellazione, l'alesatore allargherà il foro pilota.
- 3) Tiro della tubazione o del cavo del foro: completata l'ultima fase di alesatura, in corrispondenza dell'exit point verrà montato, in testa alle condotte da posare già giuntate tra loro, l'utensile per la fase di tiro-posa e questo viene collegato con l'alesatore. Tale utensile ha lo scopo di evitare che durante la fase di tiro, il movimento rotatorio applicato al sistema dalla macchina perforatrice non venga trasmesso alle tubazioni. La condotta viene tirata verso l'exit point. Raggiunto il punto di entrata la posa della condotta si può considerare terminata.

In particolare, in corrispondenza delle interferenze del cavidotto interrato con il reticolo idrografico, l'attraversamento della fascia di rispetto avverrà ad una profondità coerente con il calcolo del trasporto solido, le operazioni di scavo direzionale inizieranno e termineranno per ogni interferenza fuori dalle fasce di rispetto così come definite dalle NA del PAI. A seguire si restituiscono alcuni schemi semplificativi della TOC.

Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 70 di 73

SEZIONE TIPICA CAVIDOTTO CON T.O.C.

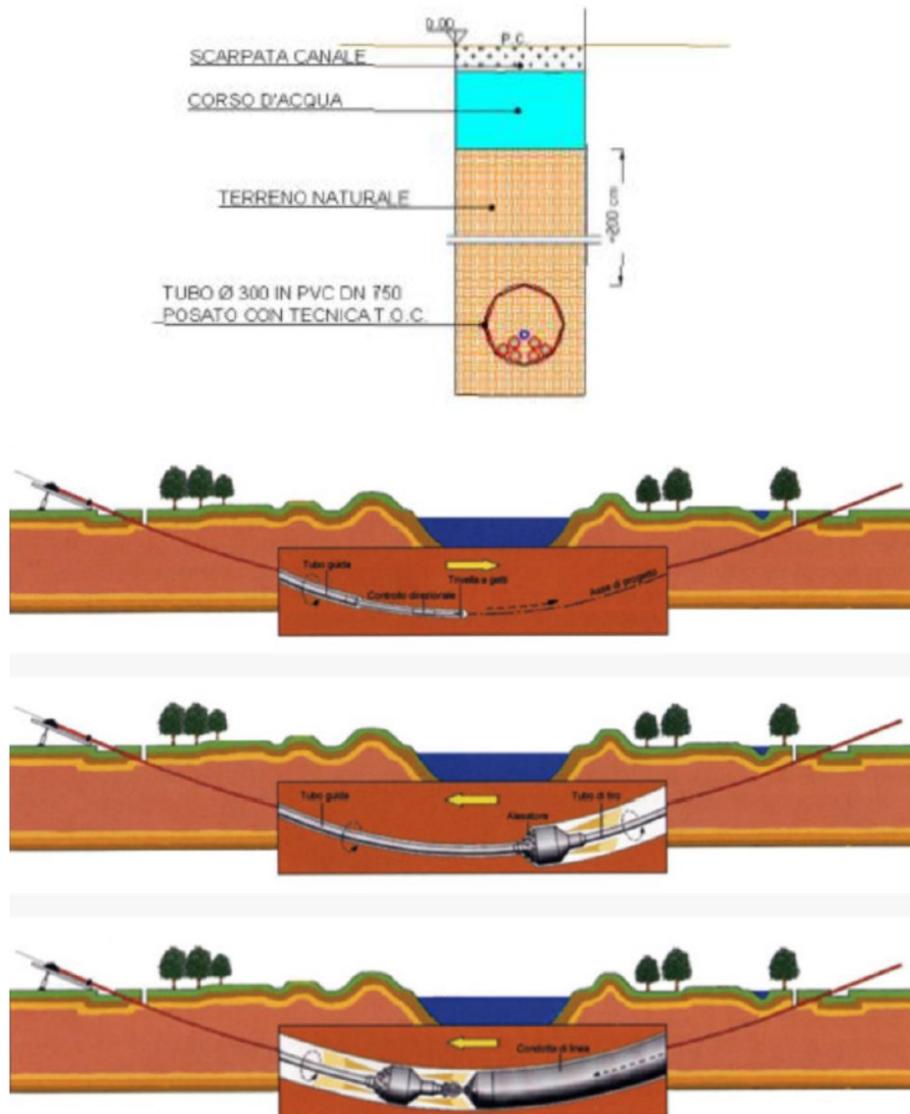


Figura 58: Operazioni di scavo direzionale con TOC

9 Conclusioni

Il presente studio specialistico è stato redatto al fine individuare le aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni nell'area interessata dagli interventi di progetto e **valutare la compatibilità dell'intervento ai sensi delle NA del PAI della Basilicata.**

Le valutazioni di carattere idrologico ed idraulico sono state eseguite secondo quanto prescritto dalle **indicazioni tecniche riportate nella Relazione di Piano del PAI Basilicata.**

Al fine di giungere ad una determinazione delle aree di allagamento dei luoghi quanto più prossima alla realtà, le frasi preliminari e finali dello studio effettuato sono state supportate da numerosi sopralluoghi in campo finalizzati al rilevamento di tutti gli elementi numerici necessari per una analisi idrologica ed idraulica completa ed esaustiva.

AREN Electric Power S.p.A.

Sede legale: Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC), Italia

Ph. +39 0547 415245 - email: areenergia@legalmail.it

Codice Fiscale, P. IVA e numero di iscrizione al Registro delle Imprese di Forlì – Cesena Part. Iva 03803880404



Aren Green Srl Impianto Eolico “PIANO REGIO”	Progetto Definitivo	Codice Elaborato: PRGDG_GENR00500_00
		Data: 13/03/2023
	Relazione idrologica e idraulica	Revisione: 00
		Pagina: 71 di 73

Dalle analisi idrologiche, morfologiche ed idrauliche effettuate si è dimostrato per la quasi totalità le opere di intervento non interessano aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni.

Le uniche interferenze sono state riscontrate con riferimento alle strade di progetto (cfr. paragrafo 8.1) e con i cavidotti (cfr. paragrafo 8.2).

Le stesse sono state risolte, nel primo caso inserendo le necessarie opere finalizzate a garantire la continuità idraulica e opportunamente dimensionate, nel secondo caso, attraverso l'implementazione di prescrizioni di cantiere.

Alla presente si allega:

- Allegato 1: Definizione delle aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni;

