

COMUNE DI

FERRANDINA E POMARICO (MT)

PROGETTO

Progetto relativo alla costruzione e l'esercizio di un impianto fotovoltaico, denominato "FERRANDINA_FV", avente potenza nominale di 48 MWp, potenza in immissione richiesta 41,28 MW, e relative opere di connessione alla rete elettrica nazionale



ELABORATO

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROLOGICA E IDRAULICA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

LIV. PROG.	TIPO DOC.	COD. DOC.	CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	DATA	SCALA
PD	REL	01	FERRANDINA_FV	FERRANDINA_FV.REL.VIA2_SCII	11/23	---

REVISIONI

REV	DATA	AUTORE	DESCRIZIONE	VERIFICATO	APPROVATO
1.0	11/23	ESA2PRO	Studio di compatibilità idrologica e idraulica	ESA2PRO	ESA2PRO

PROGETTAZIONE

ESA2PRO S.r.l.
Ing. Angela Lancellotti

GRUPPO DI LAVORO

Dott. Ing. Angela Lancellotti
Via Oscar Romero n.19, 85100 - Potenza - (PZ)
E-mail: angela.lancellotti@ingpec.eu
Cell: 320 868 3387

SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI

(TIMBRO E FIRMA PER BENESTARE)

RICHIEDENTE

Ferrandina Fotovoltaico S.r.l.
Via Battisti, n.115, 73054, Presicce - Acquarica (LE)

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3. COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEL CAVIDOTTO	4
4. STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO DELL'AREA DEL PARCO FOTOVOLTAICO	7
4.1 Individuazione dei bacini idrografici	7
4.2 Valutazione della portata al colmo di piena mediante analisi regionale (VAPI Basilicata)	9
4.3 Modellazione idraulica	10
4.3.1 Codice di calcolo utilizzato	10
4.3.2 Geometria e configurazione del modello	11
4.3.3 Stato di fatto.....	13
4.3.3.1 Analisi dei risultati	17
4.3.4 Stato di progetto	21
4.3.4.1 Analisi dei risultati	24
5. CONCLUSIONI	30
6. INDICE DELLE FIGURE	31
7. INDICE DELLE TABELLE	33

1. PREMESSA

Il presente documento accompagna il progetto relativo alla realizzazione di un impianto fotovoltaico denominato "FERRANDINA_FV" destinato alla produzione di energia elettrica da fonte solare tramite l'impiego di moduli fotovoltaici, e delle relative opere di connessione alla Rete Elettrica Nazionale. L'impianto, avente potenza nominale pari a **48 MWp** e potenza in immissione pari a **41,28 MW**, verrà realizzato nei Comuni di Ferrandina (MT) e di Pomarico (MT), in Località "Mass. Castelluccia" - "Mass. Fiorentina".

Il progetto, proposto dalla società **FERRANDINA FOTOVOLTAICO S.r.l**, si inserisce nel quadro generale della riconversione degli impianti per la produzione di energia elettrica da fonte fossile in favore degli impianti da fonte rinnovabili, in grado di produrre energia a prezzo concorrenziale senza l'utilizzo di materie prima di origine fossile.

La presente relazione riporta gli studi mirati alla definizione della compatibilità idrologica/idraulica delle opere di progetto; esse appartengono al bacino idrografico del Fiume Basento.

Sulla base degli studi idrologici condotti sui bacini suddetti e sulla base delle elaborazioni di regionalizzazione delle portate elaborate nell'ambito del Piano del P.A.I./Basilicata, sono state valutate le perimetrazioni dei reticoli interferenti con le opere di progetto.

Come è possibile verificare dalla cartografia della pericolosità idraulica (cfr. Figura 1), la zona in esame presenta una perimetrazione già elaborata dall'AdB in corrispondenza del Fiume Basento che interessa il cavidotto di progetto, mentre le aree di impianto situate rispettivamente a nord del fiume Basento (area 1) e a sud dello stesso (area 2) non presentano alcuna perimetrazione.

Nella trattazione che segue, per le aree dove verrà realizzato il futuro parco fotovoltaico è stata svolta una analisi idrologica e idraulica ed in particolare è stato condotto uno studio di modellazione idraulica bidimensionale su base DTM mirato alla perimetrazione di dettaglio delle aree allagabili (cfr. Capitolo 4).

Per quanto riguarda il cavidotto di progetto si è ritenuto opportuno evidenziare puntualmente la compatibilità idraulica con la l'idrografia superficiale senza necessità di eseguire una analisi idrologica ed idraulica effettuata con specifiche modellazioni ed elaborazioni (cfr. Capitolo 3).

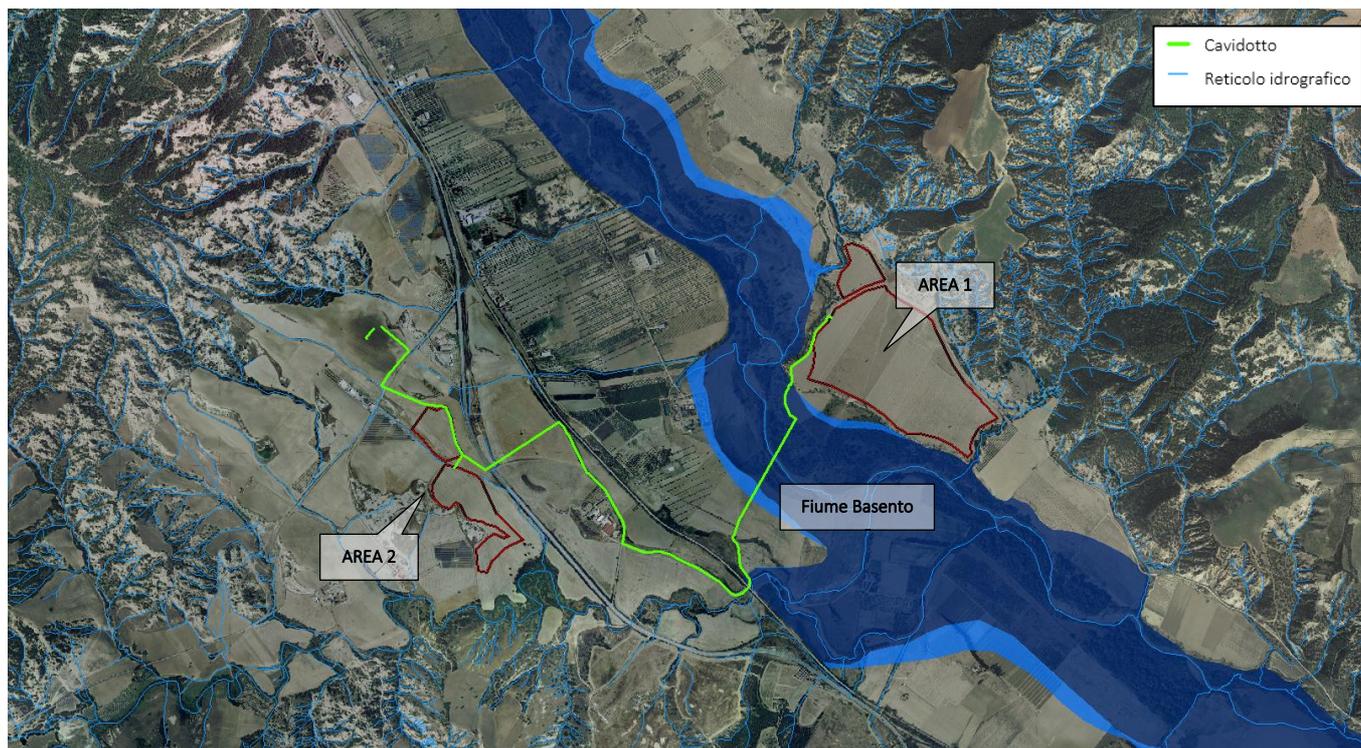


Figura 1: Inquadramento del progetto su ortofoto con indicazione della cartografia delle aree a pericolosità idraulica e dei reticoli idrografici

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Dalla verifica condotta attraverso il **Piano Territoriale Consortile (PTC)**, il quale risulta essere lo strumento urbanistico vigente nelle aree oggetto di intervento, si evince che tutti i terreni oggetto di intervento sono a **destinazione d'uso industriale**.

La superficie totale dell'intervento è pari a circa **77,19** ha. Di questa quella recintata ed utilizzata per l'installazione dei moduli fotovoltaici è circa **500.000 m² (50,00 ha)** le restanti aree saranno destinate alle fasce di rispetto.

L'area di impianto risulta essere distante dai centri abitati collocandosi ad una distanza di circa **6,3** km dal Comune di **Ferrandina**, **6,6** km dal Comune di **Pomarico**.

L'area è servita dalla Strada Provinciale Pomarico-Pisticci Scalo, dalla Strada Provinciale Ferrandina-Macchia, dalla SS407 Basentana e dalla viabilità locale ed interpodereale. Di seguito si riportano le coordinate geografiche e l'ubicazione:

- Latitudine: 40.453250°N
- Longitudine: 16.535086°E
- Altitudine: 54 m s.l.m.

Le opere, così come descritte negli elaborati progettuali, sono:

- **Opera 1:** Generatore fotovoltaico;
- **Opera 2:** Elettrodotti in MT a 30 kV interrati;
- **Opera 3:** Elettrodotto in MT a 30 kV aereo;
- **Opera 4:** Stazione Elettrica di Utente ("SEU");
- **Opera 5:** Elettrodotto interrato in AT a 150 kV per il collegamento della SEU a una nuova Stazione Elettrica ("SE").

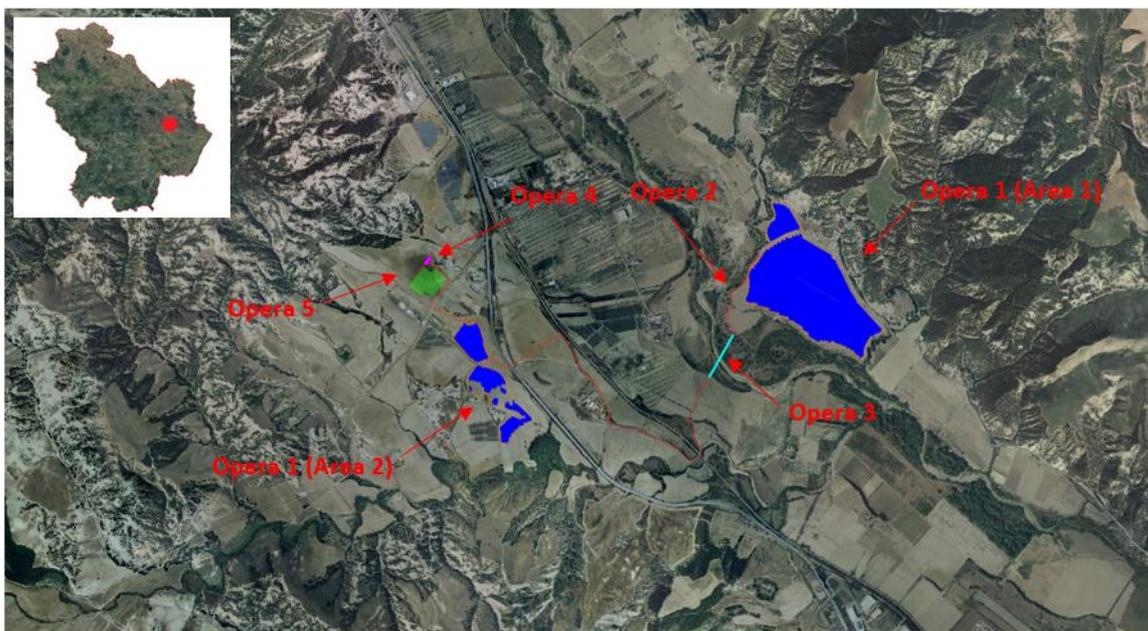


Figura 2: Localizzazione dell'impianto su base Ortofoto

Nella Tabella sono riassunti i dati di progetto relativi all'ubicazione dell'impianto (attraverso coordinate geografiche identificative del suo punto baricentrico), nonché l'estensione dell'area su cui ricade l'intervento.

Denominazione impianto	FERRANDINA_FV
Regione	Basilicata
Provincia	Matera
Comune	Ferrandina, Pomarico
Area interessata dall'intervento	50,00 ha
Longitudine	16.535086°E
Latitudine	40.453250°N
Elevazione	54 m s.l.m.

Tabella 1: Dati geografici di progetto

3. COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEL CAVIDOTTO

Dalla sovrapposizione del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico, emerge che gli stessi attraversano i corsi d'acqua in tre punti:

- **Attraversamento n.1:** in corrispondenza del Fiume Basento;
- **Attraversamento n.2:** nei pressi dell'attraversamento con la SS 407 Basentana;
- **Attraversamento n.3:** nei pressi del nuovo canale di progetto (Canale 4 – cfr. Par. 4.3.4) che verrà utilizzato per regimare le acque provenienti da monte.

Le suddette interferenze, ad esclusione della prima che consiste in un attraversamento aereo, verranno risolte mediante tecnologia TOC "Trivellazione Orizzontale Controllata".

Tale scelta progettuale garantisce che, nella sezione di attraversamento:

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

La seguente figura riporta l'ubicazione lungo il tracciato delle interferenze tra cavidotto e reticolo idrografico.

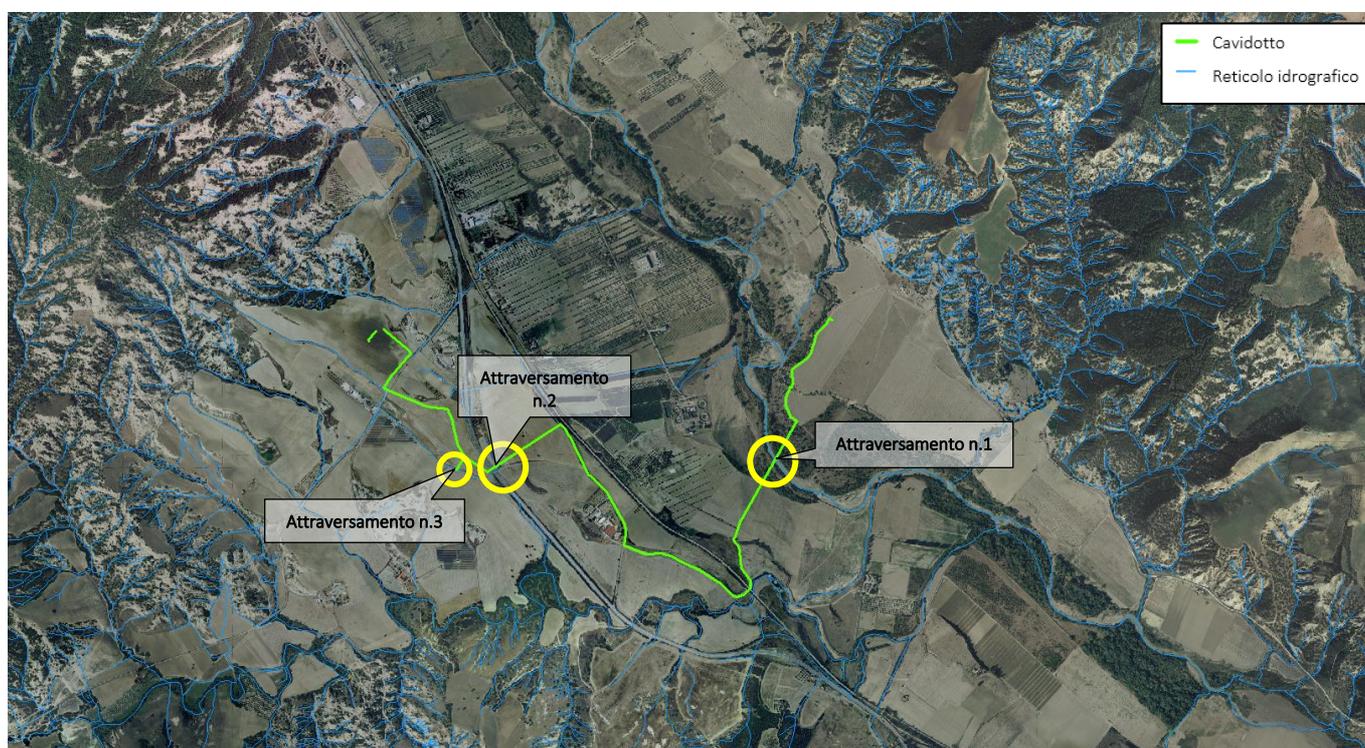


Figura 3: Inquadramento delle interferenze tra cavidotto e reticolo idrografico

Impianto Fotovoltaico "Ferrandina_FV" – Ferrandina - (MT)

Nella tabella seguente sono riassunte le intersezioni presenti tra il cavidotto e il reticolo idrografico:

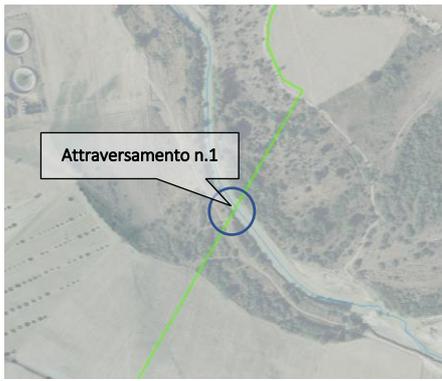
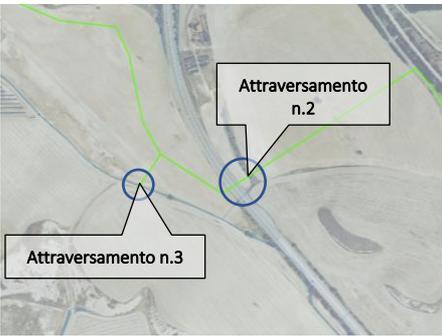
N°	NOME	PLANIMETRIA	FOTO	TIPOLOGIA ATTRAVERSAMENTO
1	Attraversamento Fiume Basento			Aereo
2-3	Attraversamento SS Basentana e Canale 4			TOC

Tabella 2: Tabella riassuntiva delle interferenze tra cavidotto di progetto e reticolo idrografico

La tecnica TOC verrà effettuata secondo i seguenti step:

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

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

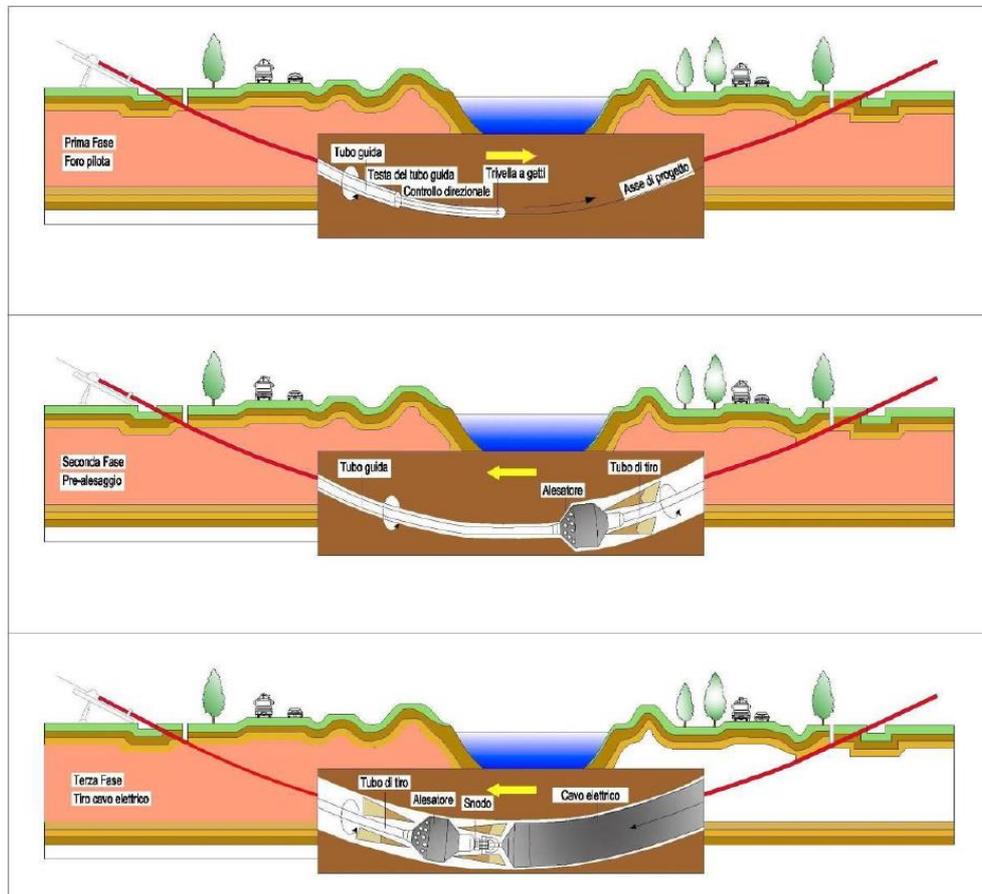


Figura 4: Schema di passaggio del cavidotto con spingitubo

4. STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO DELL'AREA DEL PARCO FOTVOLTAICO

4.1 Individuazione dei bacini idrografici

Nel presente studio si è fatto riferimento ai seguenti dati cartografici disponibili:

- Cartografia IGM in scala 1:25000;
- CTR Regione Basilicata;
- Ortofoto 2013;
- Idrografia superficiale;
- DTM con risoluzione 5 metri.

La base di partenza per l'ottenimento del bacino idrografico, grazie alle moderne tecnologie disponibili, è sicuramente il Modello Digitale del Terreno (DTM). 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 DTM 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.

Dall'analisi del modello digitale del terreno e mediante appositi algoritmi di calcolo in ambiente GIS è stato possibile determinare i bacini idrografici facenti capo alle aste idrografiche presenti nell'area in esame.

La Figura 6 mostra i reticoli idrografici censiti dalla Cartografia ufficiale disponibile nella Regione Basilicata e, di seguito, individua i bacini idrografici alle suddette aste.

Per completezza si riporta l'individuazione delle aree di progetto su cartografia IGM 1:25000.

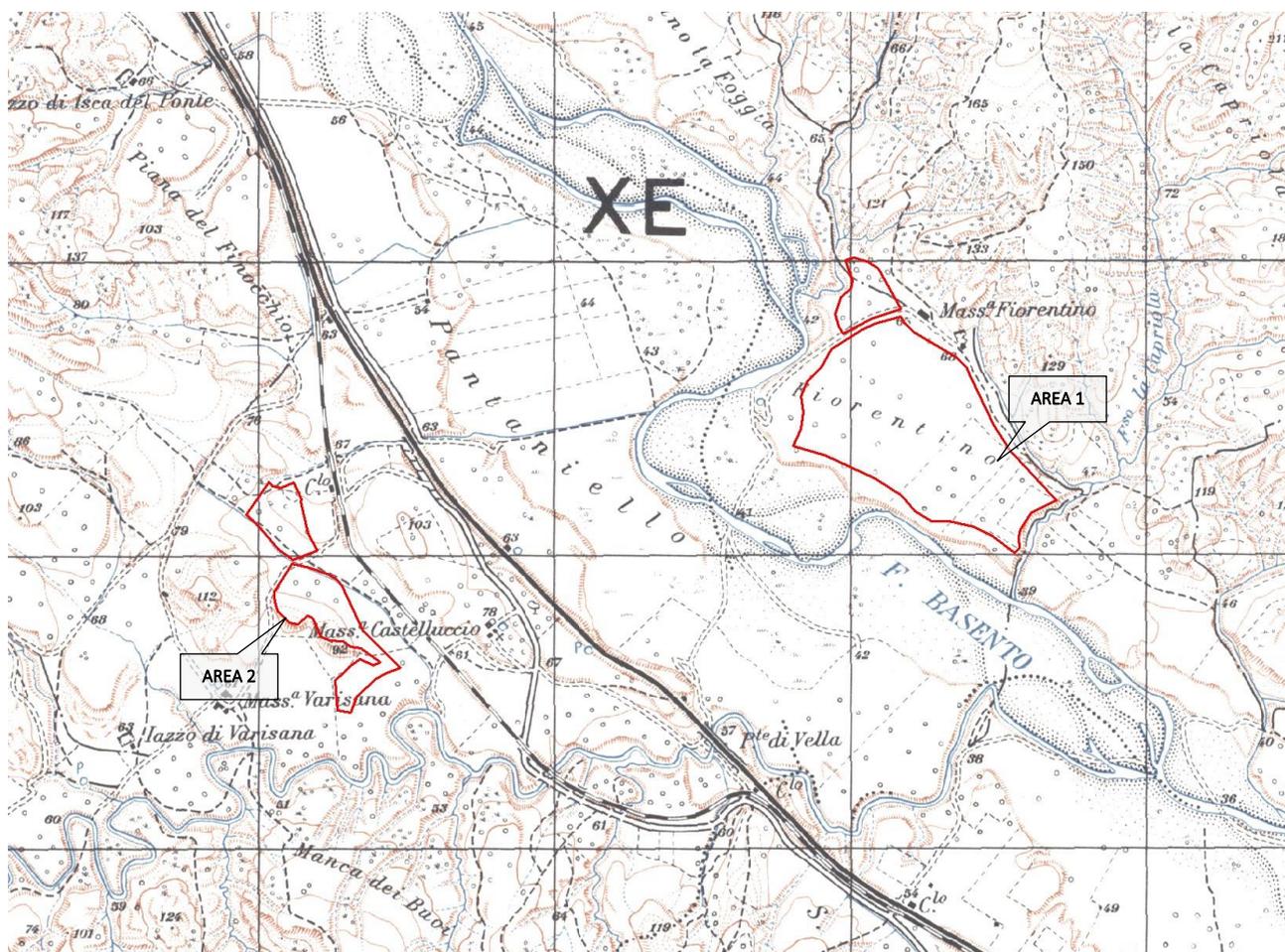
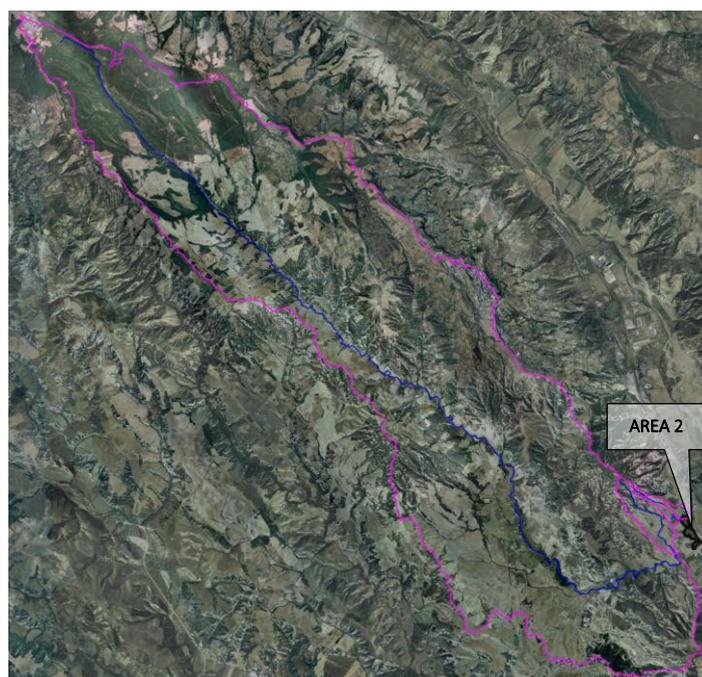
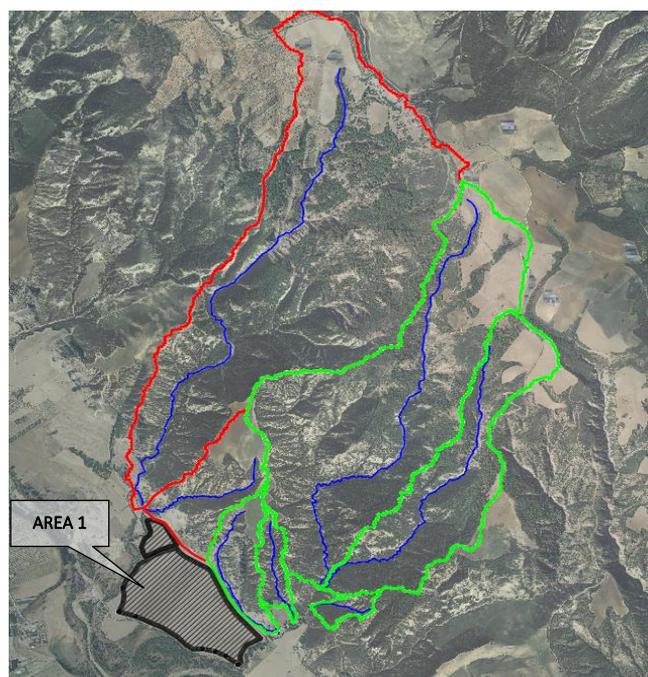


Figura 5: Inquadramento delle opere su cartografia IGM 1:25000



-  Bacino Nord 1
-  Bacino Nord 2
-  Bacino Sud

Figura 6: Reticolo idrografico (sopra) e bacini idrografici a NORD e a SUD del Fiume Basento (sotto)

4.2 Valutazione della portata al colmo di piena mediante analisi regionale (VAPI Basilicata)

Per pervenire alla stima del massimo della portata al colmo di piena, $m(Q)$, quantità fortemente influenzata dall'area del bacino, si fa riferimento alle aree omogenee indicate nello studio VAPI Basilicata:

- Area Omogenea 1, include i bacini del Bradano, **Basento**, Cavone e Agri;
- Area Omogenea 2, include i bacini del Sinni, Lao e Noce.

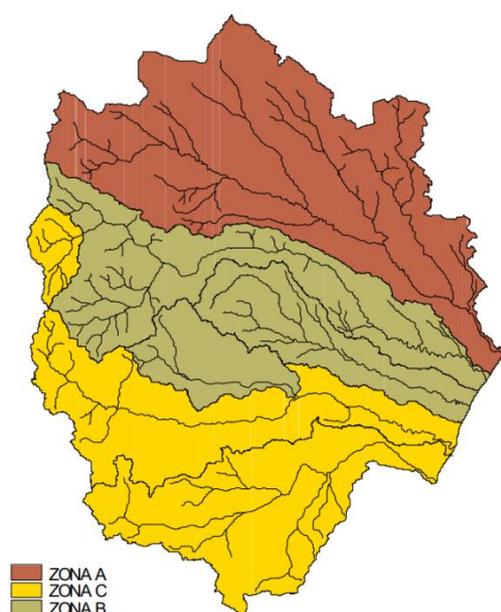
L'esame delle piene che si sono succedute nel tempo in tali corsi d'acqua, ha consentito di individuarne la portata con le espressioni che seguono:

$$\text{Area Omogenea 1: } m(Q) = 2.13 A^{0.766}$$

$$\text{Area Omogenea 2: } m(Q) = 5.98 A^{0.645}$$

Le opere di progetto ricadono all'interno dell'area omogenea 1 in quanto appartengono al bacino del fiume Basento.

Ai valori dedotti attraverso la relazione corrispondente all'Area Omogenea 1 vanno applicati i fattori di crescita K_T relativi alle differenti zone omogenee riportate in Figura 7 e in Tabella 3. Nel caso in esame si farà riferimento al fattore di crescita valutato attraverso la relazione relativa alla zona B.



$$\text{Zona A: } K_T = -0.5836 + 1.022 \ln T$$

$$\text{Zona B: } K_T = -0.2407 + 0.8004 \ln T$$

$$\text{Zona C: } K_T = 0.0575 + 0.6083 \ln T$$

Figura 7: Sottozone omogenee al II livello di regionalizzazione delle piene

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (SZOA)	0.81	1.44	1.96	2.55	2.76	3.21	3.43	3.12	4.83	5.76	6.47
K_T (SZOB)	0.85	1.34	1.75	2.21	2.38	2.73	2.90	3.45	4.00	4.73	5.29
K_T (SZOC)	0.89	1.26	1.57	1.92	2.05	2.31	2.45	2.86	3.28	3.84	4.26

Tabella 3: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piene in Basilicata

Le portate di calcolo relative ai differenti corsi d'acqua sono state valutate applicando le metodologie precedentemente descritte (Area Omogenea 1, Zona B) e riportate in Tabella 4 e in Tabella 5.

Impianto Fotovoltaico "Ferrandina_FV" – Ferrandina - (MT)

N.	Nome Bacino	Tr	Bassa Pericolosità idraulica	Media Pericolosità idraulica	Alta Pericolosità idraulica
			Tr = 30 anni	Tr= 200 anni	Tr= 500 anni
1,1	NORD 1.1	Q (m³/sec)	12,43	20,04	23,71
1,2	NORD 1.2		2,43	3,92	4,64
2,1	NORD 2.1		9,03	14,56	17,23
2,2	NORD 2.2		4,85	7,82	9,25
2,3	NORD 2.3		0,59	0,95	1,13
2,4	NORD 2.4		0,94	1,52	1,79
2,5	NORD 2.5		1,65	2,66	3,15

Tabella 4: Portate relative a diversi tempi di ritorno – metodologia VAPI (Area 1 – Nord)

N.	Nome Bacino	Tr	Bassa Pericolosità idraulica	Media Pericolosità idraulica	Alta Pericolosità idraulica
			Tr = 30 anni	Tr= 200 anni	Tr= 500 anni
1,1	SUD 1.1	Q (m³/sec)	142,77	230,13	272,32
1,2	SUD 1.2		5,24	8,45	10,00
1,3	SUD 1.3		1,76	2,84	3,36
1,4	SUD 1.4		1,12	1,80	2,13

Tabella 5: Portate relative a diversi tempi di ritorno – metodologia VAPI (Area 2 – Sud)

4.3 Modellazione idraulica

Si descrive nel seguito la procedura utilizzata per la modellazione idraulica dei fenomeni indagati nell'area di progetto dell'impianto fotovoltaico, con solo riferimento alla portata bicentenaria (pericolosità idraulica elevata e moderata frequenza di inondazione), in accordo con l'**art.4 quater** delle NTA del PAI Basilicata, secondo cui:

I progetti di opere e/o interventi che interessano corsi d'acqua e/o aree limitrofe non ancora oggetto di studio da parte dell'AdB dovranno comprendere, obbligatoriamente, uno studio idrologico e idraulico che consideri una portata di piena avente periodo di ritorno pari a 200 anni. Il livello di approfondimento e dettaglio degli studi dovrà essere adeguato alle condizioni di pericolosità di rischio idraulico esistenti sull'area ed alla tipologia ed importanza delle opere da realizzare.

Ai fini del presente studio, è allora trascurata la modellazione per gli eventi con pericolosità molto elevata e alta frequenza di inondazione ($T_R=30$ anni, automaticamente inclusa nelle fasce individuate per $T_R=200$ anni) ed analogamente quella per gli eventi con pericolosità moderata e bassa frequenza di inondazione ($T_R=500$ anni), poiché non vincolante alla realizzazione del progetto dell'impianto fotovoltaico.

All'**art. 10** delle NTA "Realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti le fasce fluviali" chiariscono che sono possibili interventi di realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti gli alvei fluviali e le fasce di pertinenza fluviale di cui agli articoli 6 e 7 previo parere dell'AdB Basilicata e previa presentazione di uno Studio Idrologico Idraulico che attesti che l'intervento non determina in alcun modo, incrementi delle condizioni di pericolosità idrogeologica, né può determinare alcun pregiudizio alla realizzazione di interventi di rimozione e/o riduzione delle condizioni di pericolosità preesistenti.

4.3.1 Codice di calcolo utilizzato

Lo studio della propagazione dei deflussi è stato effettuato con il codice di calcolo **HEC-RAS 6.3.1**, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers.

Lo studio oggetto della presente relazione è stato condotto nella modalità bidimensionale, simulando la propagazione dei flussi idrici in moto vario.

La modellazione bidimensionale è effettuata implementando un'area 2D nelle geometrie di calcolo, rappresentata da una maglia computazionale su cui HEC-RAS risolve le equazioni differenziali del moto nelle due direzioni spaziali.

La simulazione si basa sulla costruzione della geometria di calcolo su un modello del terreno, cui si assegnano condizioni iniziali ed al contorno circa la scabrezza del fondo, il flusso in ingresso ed in uscita: in questo caso l'input idrico è rappresentato dagli idrogrammi di piena associati ai corsi d'acqua mentre l'output è rappresentato dal libero deflusso a valle.

HEC-RAS risolve il modello bidimensionale grazie ad una serie di equazioni derivanti dalla semplificazione delle equazioni di Navier-Stokes dette **"equazioni dell'onda diffusiva"**, tali da rendere l'algoritmo di calcolo più semplice, stabile e veloce. Tale set di equazioni esclude dalle equazioni di conservazione della quantità di moto i termini legati alle accelerazioni locali, quelli legati alle viscosità e quelli legati alle forze apparenti di Coriolis.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = Q_{in} - Q_{out}$$
$$c_f u = g \frac{\partial H}{\partial x}$$
$$c_f v = g \frac{\partial H}{\partial y}$$

La soluzione delle equazioni differenziali del moto è svolta da HEC-RAS utilizzando un algoritmo semplificato ai volumi finiti, discretizzando cioè il problema su un volume di controllo costruito attorno ai nodi della mesh di calcolo con le sue caratteristiche idrauliche e geometriche.

4.3.2 Geometria e configurazione del modello

Il modello idraulico è stato costruito al fine di:

- rappresentare lo stato dei luoghi e, conseguentemente, valutare la compatibilità dell'intervento (**simulazione allo stato di fatto**);
- definire le opere di mitigazione e, successivamente, valutarne l'efficienza (**simulazione stato di progetto**).

Come detto, le verifiche idrauliche sono state effettuate con l'ausilio del software HEC-RAS 6.3.1 in regime di moto vario.

Il dominio di calcolo viene creato attraverso l'inserimento di un'area bidimensionale che viene aggiunta al modello disegnando un poligono 2D. Ai fini di una corretta modellazione idraulica il primo step fondamentale è stato la generazione di un corretto e dettagliato modello del terreno, che è la discriminante principale degli output relativi all'estensione delle aree inondabili e ai livelli raggiunti dall'acqua in queste ultime.

Il software prevede una sezione dedicata per l'inserimento dei file che descrivono il modello del terreno: il RAS Mapper. RAS Mapper è uno strumento che permette la visualizzazione dei dati cartografici associati alla modellazione 2D, oltre che l'osservazione dei risultati delle simulazioni.

Definito e generato lo "sfondo" per il progetto in analisi, cioè l'andamento digitale del terreno e del corpo idrico, si passa alla creazione dei grigliati di calcolo (poligoni) che costituiranno il corpo delle aree 2D, per lo sviluppo della simulazione vera e propria.

Lo schema risolutivo della versione HEC-RAS 6.1.0 è basato su un algoritmo ai volumi finiti che permette di utilizzare per il calcolo una maglia computazionale strutturata e non strutturata che può essere composta da celle di varia forma.

Nell'ambito dell'approccio bidimensionale, la scelta della tipologia di maglia di calcolo da adottare è funzione di diversi aspetti, spesso correlati tra di loro:

- ✓ morfologia del territorio;
- ✓ grado di urbanizzazione e presenza di manufatti;
- ✓ estensione del dominio di calcolo;
- ✓ dettaglio di rappresentazione del territorio;
- ✓ complessità e dimensione dell'alveo fluviale;
- ✓ tempi di calcolo.

L'introduzione dello schema ai volumi finiti, fondato su una maglia di calcolo non strutturata, ha incrementato la possibilità di applicazione di un modello bidimensionale su domini di calcolo maggiormente estesi infatti la possibilità di variare spazialmente

Impianto Fotovoltaico "Ferrandina_FV" – Ferrandina - (MT)

la griglia di calcolo permette di utilizzare un maggior dettaglio laddove necessario e di impostare una risoluzione grossolana nelle aree del dominio di minore interesse o solo marginalmente interessate dai flussi di piena.

Definiti i poligoni delle aree 2D il passaggio successivo è stato quello della creazione della maglia di calcolo (mesh) all'interno delle aree stesse.

La geometria di calcolo viene costruita sulla base del modello del terreno che occorre inserire all'interno del codice di calcolo: in questo caso si è fatto uso del DTM con risoluzione a **5 metri** ricavato dal Geoportale RSDI della Regione Basilicata.

Sul DTM è poi stato definito il dominio computazionale "2D Flow Area", ossia la zona utile ai fini dei calcoli idraulici, sulla quale il codice numerico discretizza la griglia di calcolo individuando le celle per le quali vengono risolte le equazioni differenziali del moto al fine di modellare il deflusso idrico nel tempo.

L'area 2D è stata estesa alle aree limitrofe ai corsi d'acqua, estendendola sufficientemente a monte e sufficientemente a valle per tener conto delle confluenze e della morfologia dell'area circostante.

In quest'area i corsi d'acqua si presentano fortemente incisi nel suolo: qualitativamente si può escludere quindi un sistema di deflussi fuori alveo e ipotizzare invece deflussi concentrati nelle fasce di pertinenza fluviale.

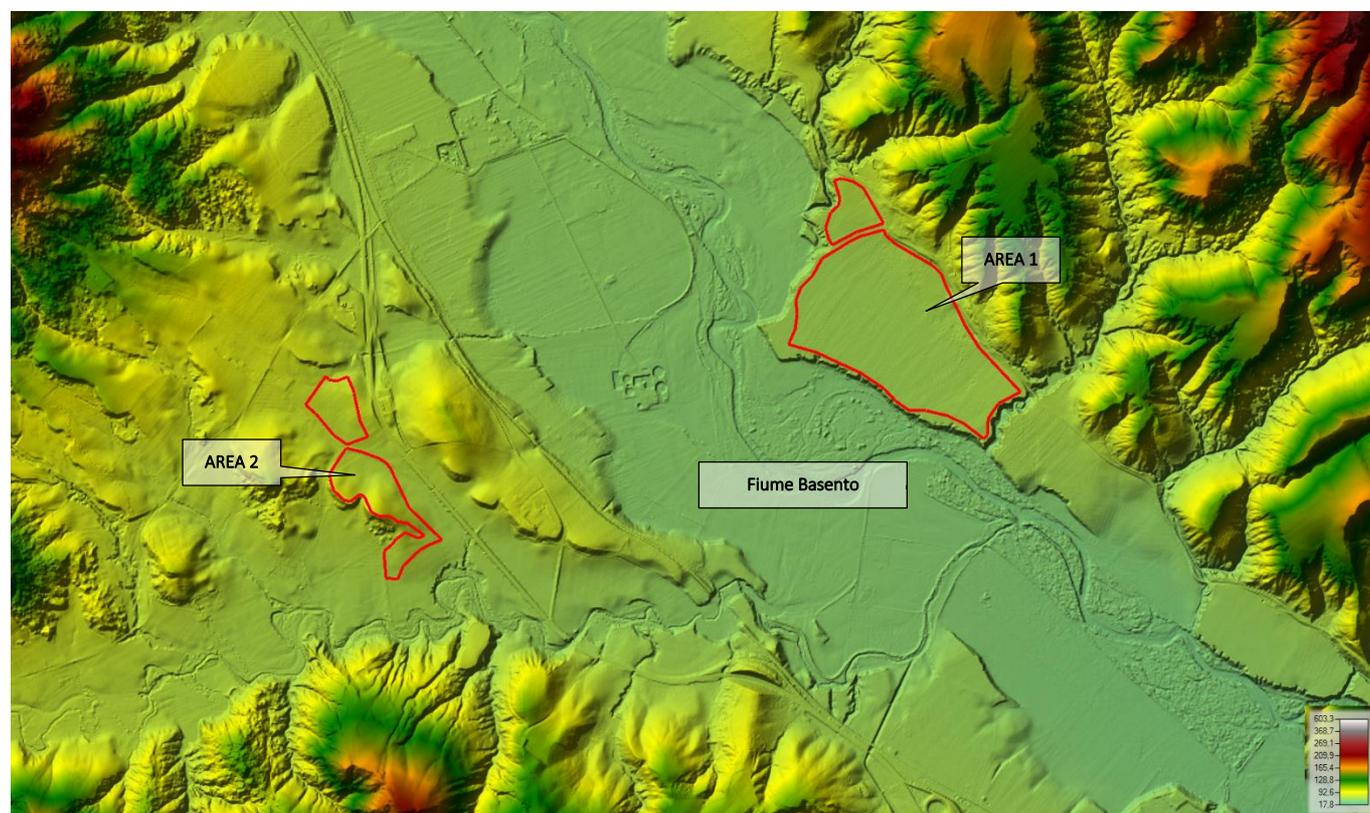


Figura 8: DTM a base di calcolo

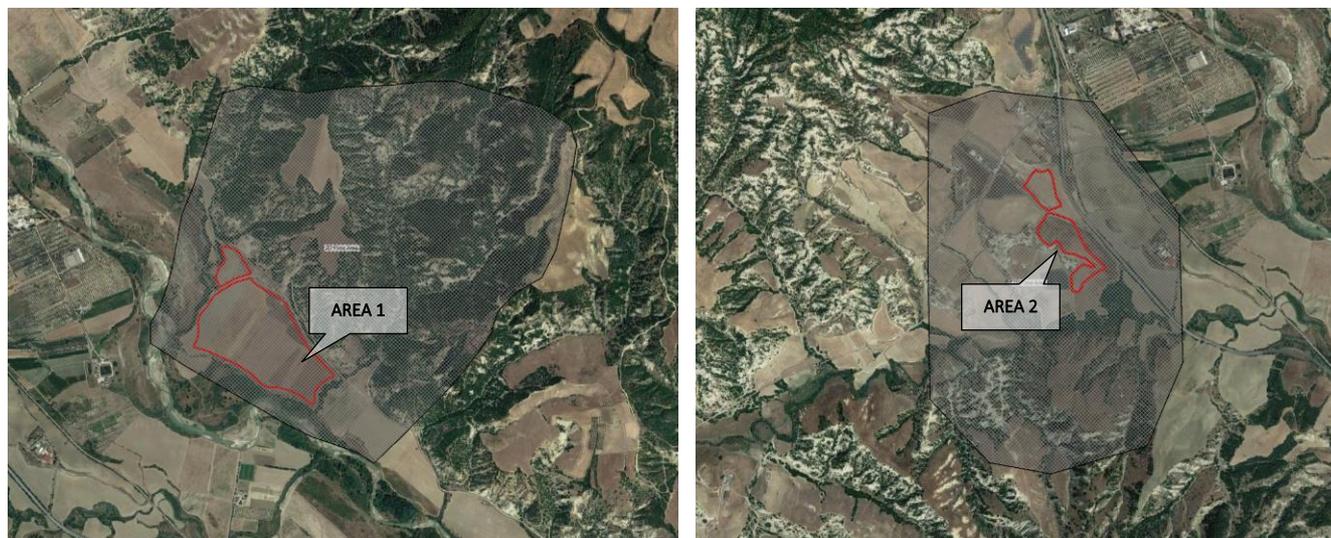


Figura 9: Perimetro dell'area 2D del dominio di calcolo sovrapposta all'area di ingombro dell'impianto FV (a sinistra l'area 1 a NORD del Fiume Basento, a destra l'area 2 a SUD del Fiume Basento)

4.3.3 Stato di fatto

Al fine di ottenere un dettaglio massimo e un modello quanto più aderente alla realtà, la discretizzazione del dominio è stata effettuata utilizzando celle correnti quadrate di lato **10 metri**, per un totale di

- **45.572 celle nell'Area 1 - Nord;**
- **38.211 celle nell'Area 2 - Sud.**

In merito alla scabrezza del fondo, il parametro indice della resistenza che una superficie offre allo scorrimento idrico, si è scelto di utilizzare un unico valore per l'intera area, pari a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$.

Al sistema sono state assegnate alcune condizioni al contorno sia per quanto riguarda l'acqua "in ingresso" sia per quanto riguarda l'acqua "in uscita", come mostrato nella seguente figura.



Figura 10: Geometria del dominio di calcolo dell'Area 1 (Nord) con indicazione del perimetro di impianto (in rosso) e del reticolo idrografico

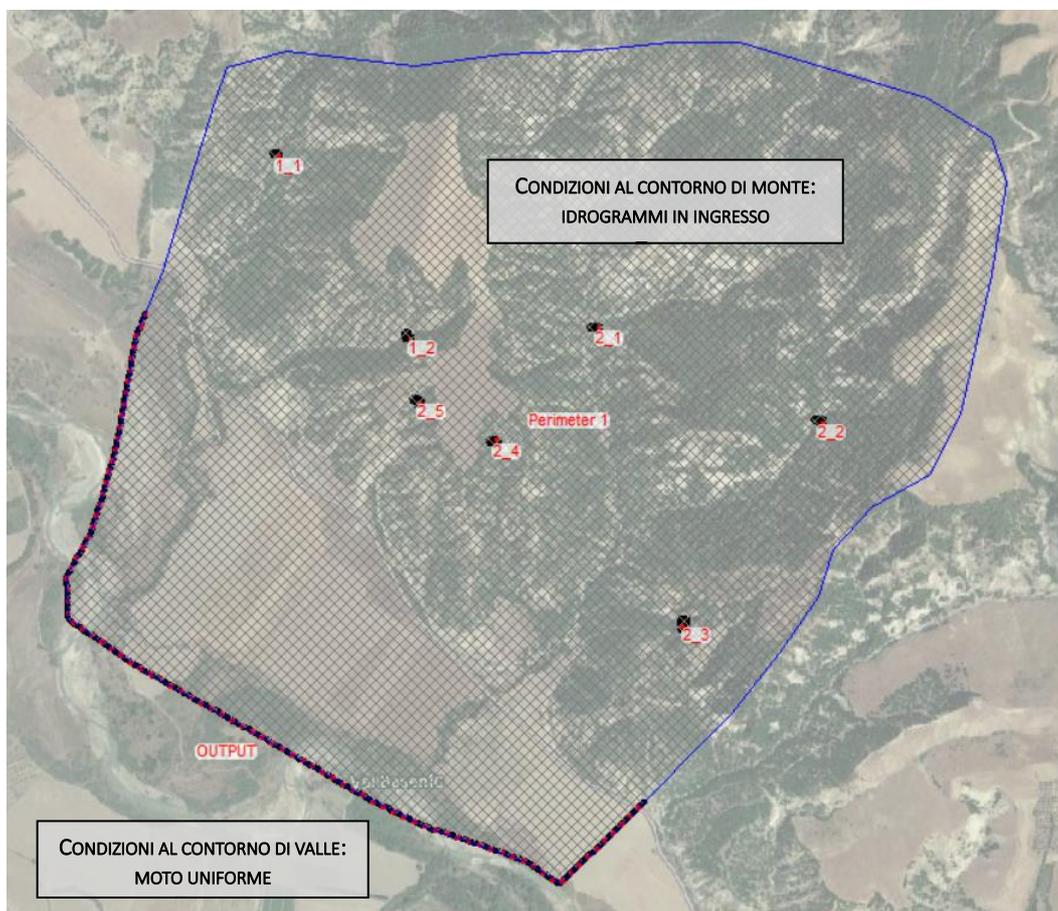


Figura 11: Indicazione del dominio di calcolo (Area 1 – Nord) con riferimento alle condizioni al contorno utilizzate

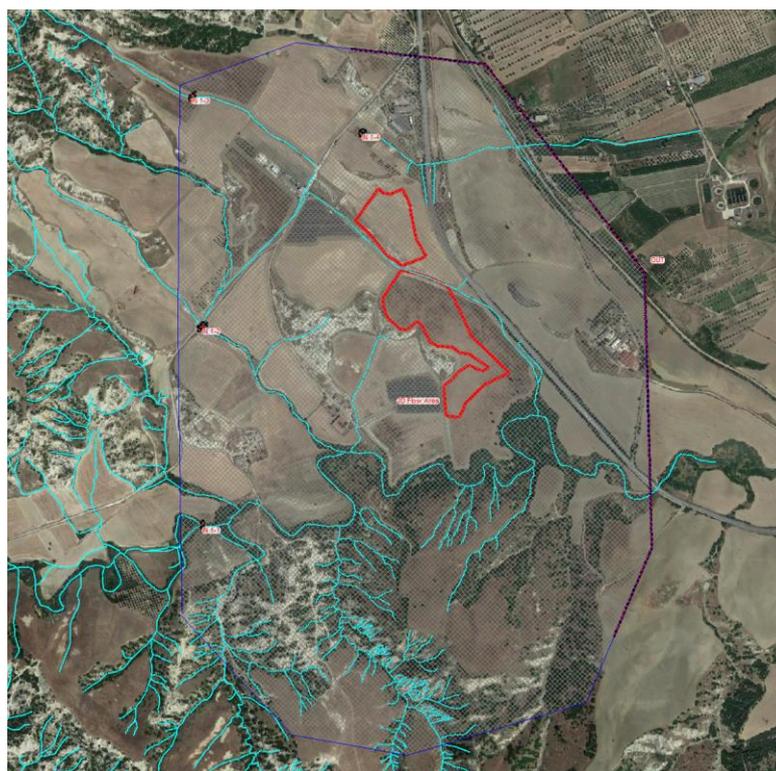


Figura 12: Geometria del dominio di calcolo dell'Area 2 (Sud) con indicazione del perimetro di impianto (in rosso) e del reticolo idrografico

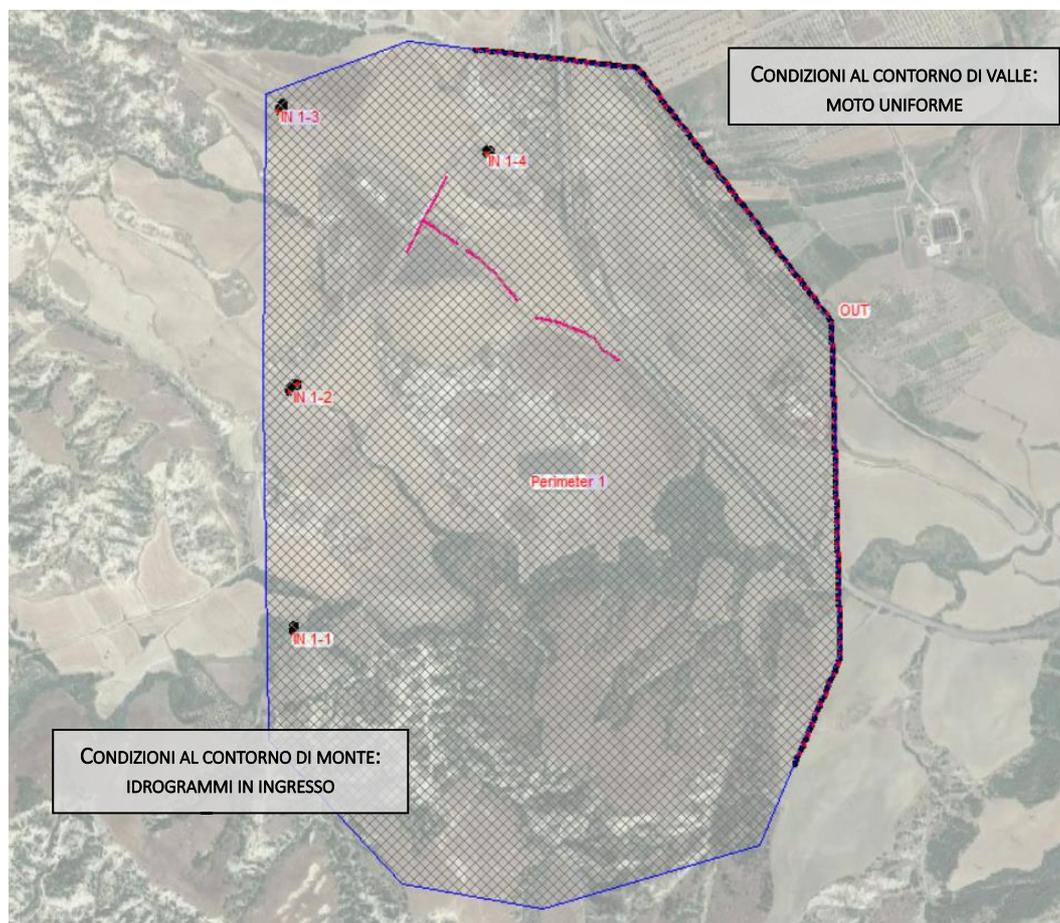


Figura 13: Indicazione del dominio di calcolo (Area 2 – Sud) con riferimento alle condizioni al contorno utilizzate

Le condizioni al contorno utilizzate nel presente modello sono rappresentate:

- a monte, da un **modello di calcolo "a parametri concentrati"**, in cui la condizione imposta è rappresentata dagli idrogrammi di piena per $T_R=200$ anni, concentrati in testa alle aste studiate negli studi idrologici; gli stessi hanno infatti ricavato la portata al colmo di piena associata ad un idrogramma triangolare avente un tempo di esaurimento pari a tre volte il tempo di corrivazione del bacino imbrifero.
- a valle, dalle celle di *outflow*: è stato imposto il deflusso in uscita libera in corrispondenza delle porzioni del perimetro dell'area di calcolo in cui giungono i reticoli, in modo che i volumi idrici fuoriescano dal dominio di calcolo seguendo la pendenza del terreno; tali linee sono comunque state estese in larghezza nella preliminare ipotesi che in questa sede il deflusso non sia concentrato.

La simulazione è stata estesa ad una durata complessiva rispettivamente di 3 ore per l'Area 1 - Nord e di 15 ore per l'Area 2 – Sud, così da osservare la fase crescente degli idrogrammi e la fase di esaurimento sia per i reticoli con risposta più immediata sia per quelli con un riempimento più dilazionato nel tempo.

Le figure che seguono riportano gli idrogrammi in ingresso determinati in funzione delle risultanze dell'analisi morfologica dei bacini e del calcolo idrologico effettuato per la determinazione delle portate al colmo di piena.

La Tabella 6 contiene i dati idrologici salienti considerati per le modellazioni idrauliche.

I tempi di corrivazione sono stati calcolati, in funzione della loro estensione, con la Formula di P-C-W-K o con quella di Kirpich, scegliendo caso per caso quella più idonea.

Nome Bacino	Tc (h)	Q ₂₀₀ (m ³ /sec)
NORD 1.1	0,597	20,04
NORD 1.2	0,143	3,92
NORD 2.1	0,531	14,56
NORD 2.2	0,384	7,82
NORD 2.3	0,067	0,95
NORD 2.4	0,123	1,52
NORD 2.5	0,177	2,66
SUD 1.1	3,681	230,13
SUD 1.2	0,489	8,45
SUD 1.3	0,267	2,84
SUD 1.4	0,072	1,80

Tabella 6: Dati idrologici salienti utilizzati come input del modello matematico

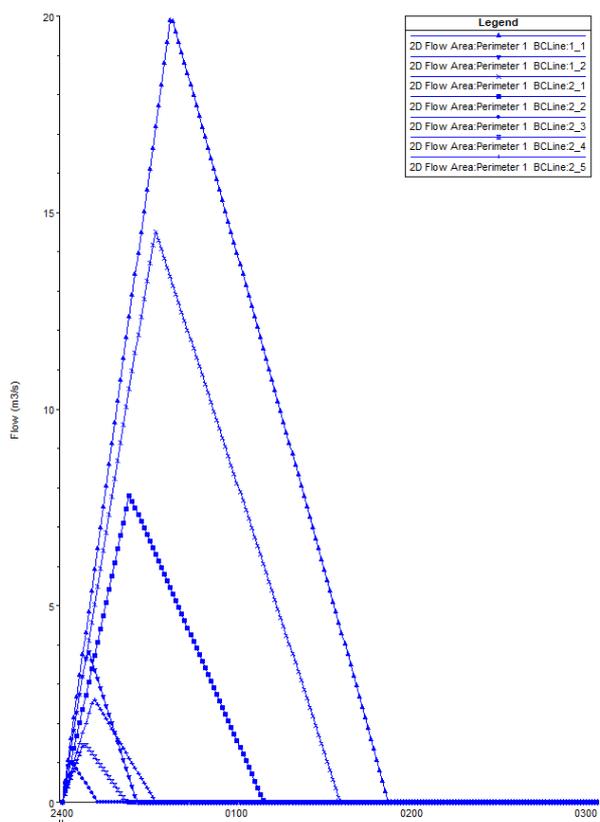


Figura 14: Idrogrammi di piena (Area 1 - Nord)

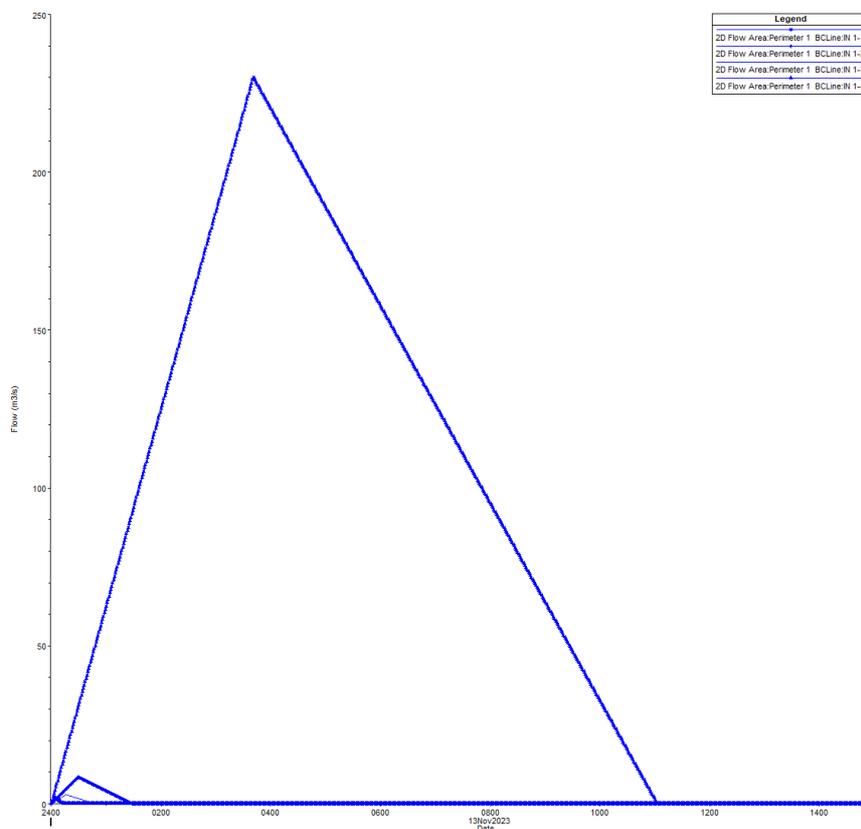


Figura 15: Idrogrammi di piena (Area 2 - Sud)

Il computational timestep (intervallo temporale di computazione) è stato indagato iterativamente attraverso alcune prime simulazioni di calibrazione: si è ottenuto che l'influenza del dt di calcolo risulta apprezzabile fin tanto che esso si riduce a 1", ma che una ulteriore riduzione dello stesso non stabilizza o regolarizza ulteriormente il calcolo numerico.

4.3.3.1 Analisi dei risultati

Le simulazioni svolte hanno restituito con buona affidabilità l'andamento nel tempo della propagazione dei volumi di deflusso al suolo sui rami del reticolo idrografico. Come stimato qualitativamente, gli impluvi riescono a contenere al loro interno le portate di piena derivanti dai bacini scolanti ed a proseguire il deflusso verso valle.

Per quanto riguarda l'Area 1, situata come detto a nord del Fiume Basento, le prime simulazioni effettuate hanno evidenziato una problematica che interessa la zona centrale del futuro impianto; sono presenti delle criticità legate a fenomeni di esondazione che sono stati successivamente risolte mediante l'inserimento di un **canale di drenaggio** (cfr. Stato di progetto).

In particolare, si è riscontrato:

- un ruscellamento superficiale diffuso nell'area di impianto (cfr. Figura 16);
- un tirante idrico medio che si attesta intorno ai 10 cm. In Figura 17 sono evidenziati in colore bianco i tiranti che presentano valori minori o uguali a 10 cm.

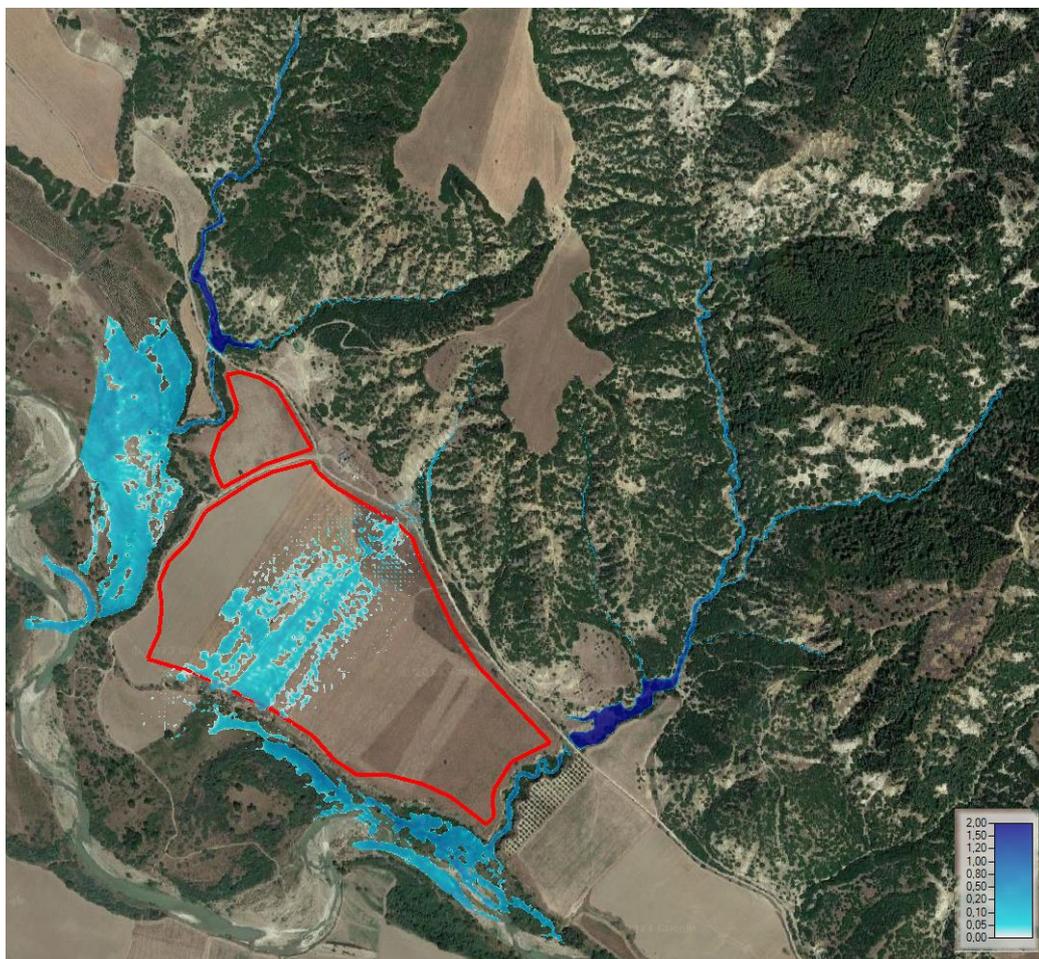


Figura 16: Mappa delle aree allagabili "Area 1 - Nord" – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di fatto

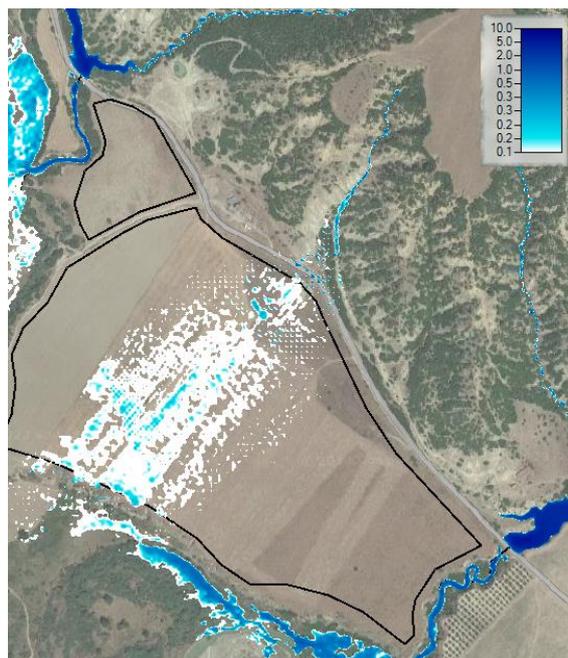


Figura 17: Mappa dei tiranti idrici ante operam "Area 1 - Nord". In bianco sono evidenziate le aree con valori minori o uguali a 10 cm

Impianto Fotovoltaico "Ferrandina_FV" – Ferrandina - (MT)

La zona a monte del terreno in esame risulta interessata da locali fenomeni di erosione derivante da una pendenza elevata del versante. I deflussi provenienti dalla scarpata invadono la strada per poi defluire nei terreni di interesse, così come mostrato nelle figure seguenti (cfr. Figura 18 e Figura 19).

I risultati delle simulazioni hanno infatti mostrato il reale percorso dei deflussi del bacino in esame ed evidenziato le problematiche che si riscontrano periodicamente a seguito di eventi meteorici di notevole intensità e durata. Tali avvenimenti comportano un deflusso superficiale in direzione del futuro impianto, con la conseguente modifica del reticolo idrografico.

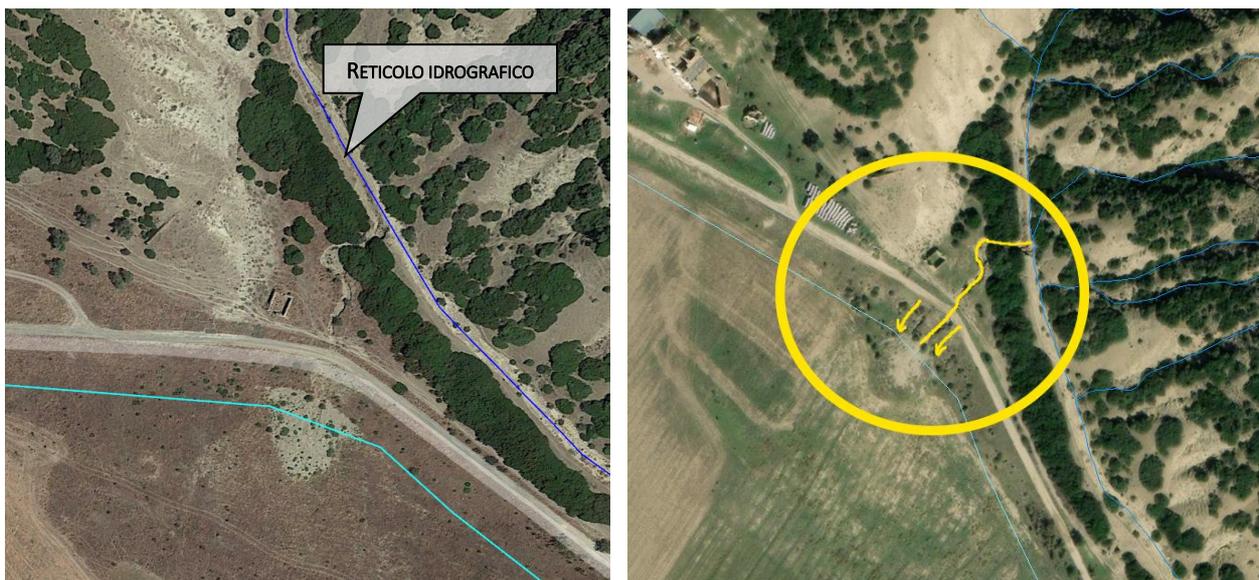


Figura 18: Fenomeno di erosione e modifica locale dei deflussi in direzione delle aree di intervento (Area 1 - Nord)



Figura 19: Foto dalla strada adiacente al terreno che testimonia la situazione evidenziata (a sx: foto verso monte, a dx: foto verso valle)

Con riferimento all'Area 2, ubicata a sud del Fiume Basento, le simulazioni idrauliche hanno restituito le aree allagabili conseguenti all'inserimento degli idrogrammi in ingresso nel modello, così come indicato in Figura 15.

I risultati hanno evidenziato dei locali allagamenti all'interno del perimetro di impianto con riferimento all'asta fluviale il cui input idrologico presenta una portata al colmo di piena pari a $Q=2.84 \text{ m}^3/\text{s}$ (cfr. Tabella 6).

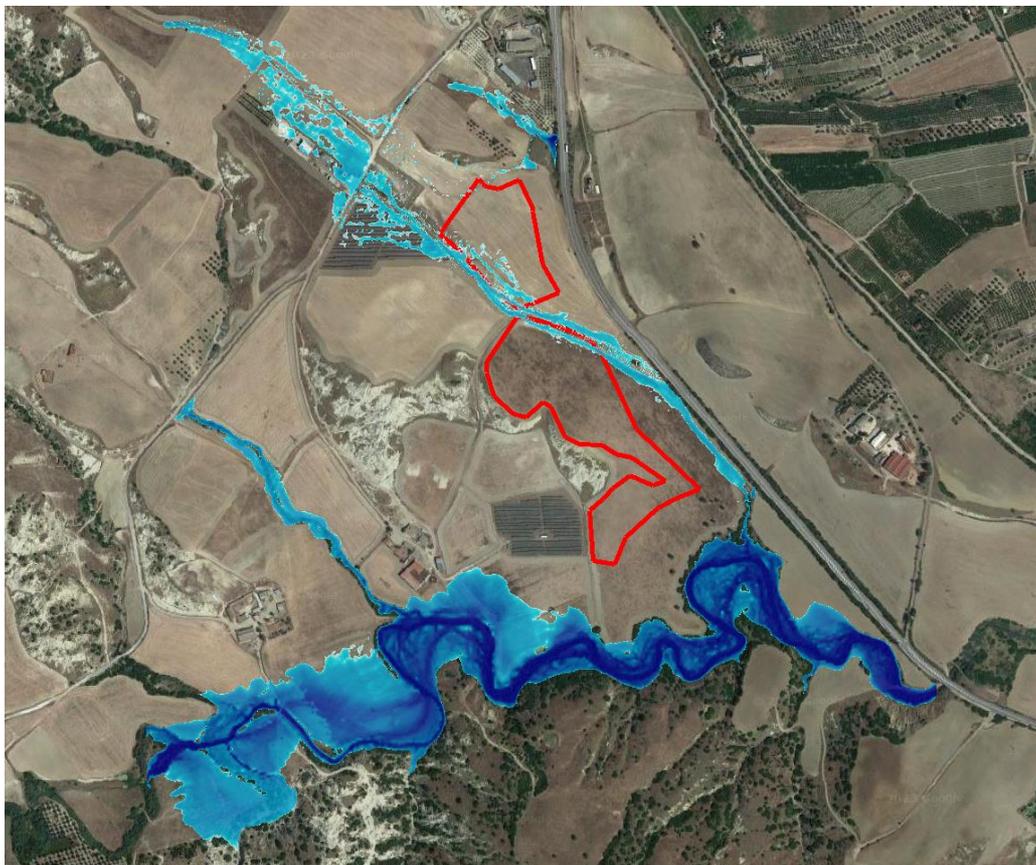


Figura 20: Mappa delle aree allagabili "Area 2 Sud" – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di fatto



Figura 21: Mappa dei tiranti idrici ante operam "Area 2 - Sud". In bianco sono evidenziate le aree con valori minori o uguali a 10 cm

4.3.4 Stato di progetto

Alla luce dei risultati ottenuti dalle simulazioni precedenti, considerato che le aree allagabili interferiscono con il futuro impianto fotovoltaico, si rendono necessarie delle opere di regimentazione delle acque meteoriche al fine di garantire la sicurezza idraulica dell'area di intervento.

In questa configurazione sono state effettuate alcune rielaborazioni del modello digitale del terreno al fine di rappresentare più coerentemente le opere previste in progetto. In particolare, le rielaborazioni hanno riguardato sia l'Area 1 che l'Area 2 con l'inserimento di una serie di canali e vasche di raccolta delle acque meteoriche.

L'obiettivo da perseguire con tali interventi idraulici è di regimare le fluenze provenienti da monte, per le due aree di intervento, migliorando le condizioni di deflusso e non aumentare il rischio di inondazione a valle.

- collettare le acque della piena bicentenaria in condizioni di sicurezza idraulica secondo la direzione preferenziale di deflusso;
- non alterare i livelli di pericolosità a monte e a valle (nelle aree contermini) della zona dell'impianto.

Nelle figure seguenti sono rappresentate tutte le opere idrauliche previste in progetto.

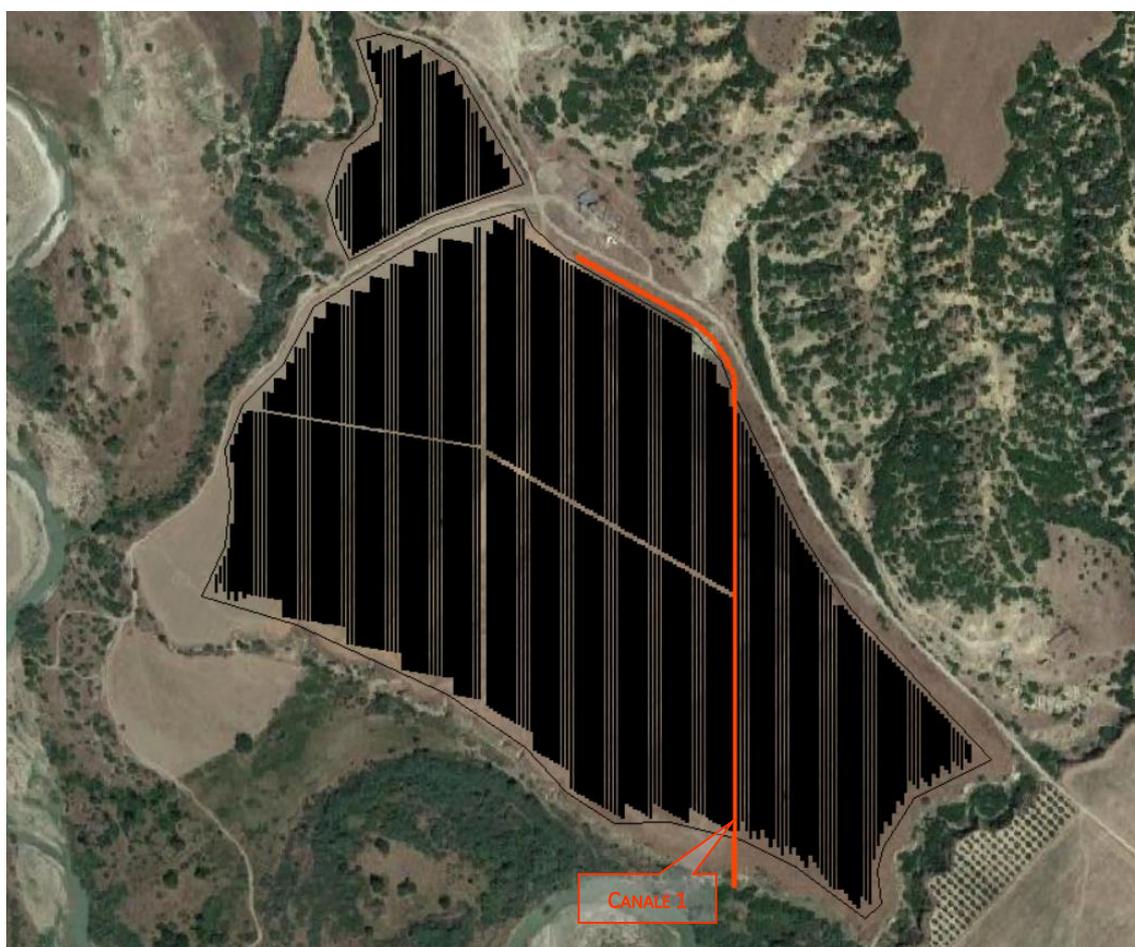


Figura 22: Planimetria delle opere di progetto con riferimento all'Area 1 – Nord

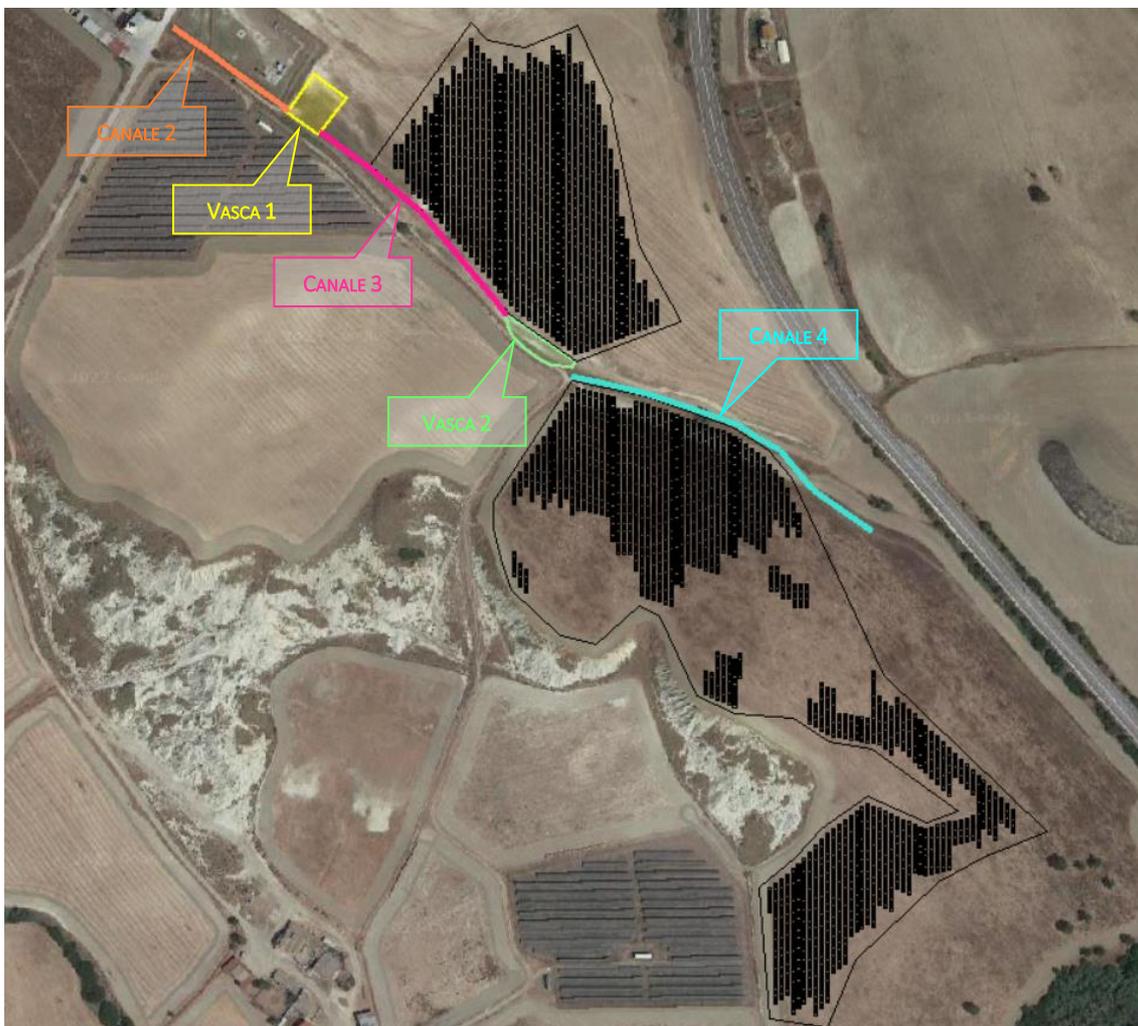


Figura 23: Planimetria delle opere di progetto con riferimento all'Area 2 - Sud

In particolare, come sintetizzato nelle figure precedenti, le rielaborazioni hanno riguardato l'inserimento delle seguenti opere idrauliche:

- canali 1, 2, 3 e 4;
- vasche 1 e 2.

e sono state effettuate all'interno del modulo Ras Mapper del software HEC-RAS 6.3.1.

Con tale configurazione delle opere di regimazione idraulica, l'impianto verrà completamente salvaguardato dall'onda di piena avente tempo di ritorno di 200 anni.

I canali previsti sono di forma trapezia, realizzati in terra e presentano una altezza media di circa 1 m, una base maggiore di 4 m e una base minore di 2 m, con una inclinazione delle sponde di 45° (cfr. Figura 24).

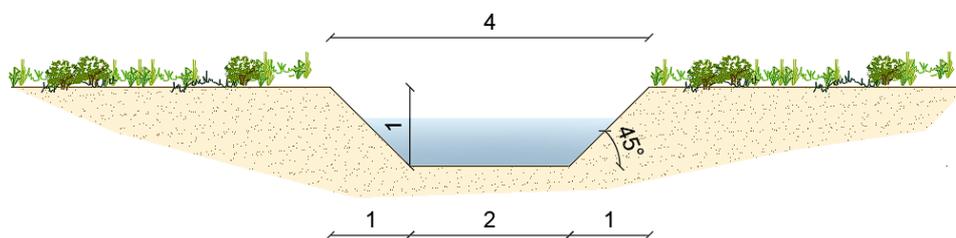


Figura 24: Sezione tipologica dei canali 1,2,3 e 4

Allo scopo di migliorare la stabilità delle scarpate dei canali e delle vasche e, allo stesso tempo, di migliorare l'attecchimento delle essenze naturali sugli stessi, è prevista la posa in opera di una **biostuoia antierosiva**, realizzata in fibra di cocco e/o paglia, quindi biodegradabile.

Le biostuoie sono state sviluppate con specifica funzione antierosiva per utilizzi transitori e cioè a breve-medio termine. La loro funzione è quella di rivestire il terreno nudo (situazione standard di scarpate o argini appena rimodellati o comunque ripuliti dalla copertura vegetale naturale) evitando l'erosione del suolo da parte degli agenti atmosferici esterni (pioggia, vento, acque di scolo, etc.) favorendo al contempo il crescere e l'impiantarsi di una vegetazione spontanea.



Figura 25: Posa della biostuoia antierosiva in fibra di cocco e/o paglia

La funzione delle biostuoie è pertanto volutamente temporanea e limitata nel tempo. Il tempo di biodegradazione della biostuoia e la sua usura sono legati a vari fattori quali:

- intensità dell'aggressione ambientale esterna (irraggiamento solare, presenza di acque ruscellanti, umidità etc);
- tipologia delle fibre naturali impiegate (ad es. la paglia risulta meno resistente delle fibre di cocco).

Le biostuoie vengono fissate al terreno nella parte superiore della scarpata con picchetti o sotterrandone il lembo. Successivamente, i teli vengono distesi sul pendio, dall'alto verso il basso, mantenendo il foglio di cellulosa a contatto diretto sul terreno. Il piano di posa della biostuoia dovrà presentare una superficie regolare e priva di asperità come, radici, pietre e zolle di terreno. Le biostuoie vengono fissate al terreno con graffe metalliche, picchetti d'acciaio o pioli in legno. I lembi adiacenti dei rotoli di biostuoia vengono sovrapposti per almeno 10 cm.



Figura 26: Inserimento di stuoia biodegradabile sulle sponde dei canali

Come detto, le rielaborazioni del DTM hanno riguardato l'inserimento delle opere previste per la mitigazione del rischio idraulico, in particolare i canali e le due vasche da prevedere e sono state effettuate all'interno del modulo *Ras Mapper* del software HEC-RAS 6.3.1.

Al fine di regimare i deflussi superficiali provenienti dal versante, nell'Area 1 è sufficiente inserire un canale delle dimensioni indicate precedentemente.



Figura 27: Stralcio del canale 1 e della gabbionata metallica previsti come opera di mitigazione nell'Area 1 – Nord

Inoltre, con l'ausilio dell'apposito comando *Connection* del software, è stata inserita una gabbionata di altezza pari a 1 m e lunghezza di circa 270 m lungo il primo tratto del Canale 1 che corre parallelo alla strada. Esso è disposto in modo che il fronte delle acque provenienti dal versante non invada i terreni di interesse ma venga costretto a defluire nel suddetto canale.

La discretizzazione del dominio dell'Area 1 è stata effettuata utilizzando celle correnti quadrate di lato **10 metri**, per un totale di **48.426 celle**.

L'Area 2 presenta un dominio computazionale, utilizzando le celle con medesimo lato, il cui totale delle celle è di **37.209**.

Le condizioni al contorno utilizzate per entrambi i modelli idraulici sono le stesse del modello che costituisce lo stato di fatto, con gli idrogrammi in ingresso e le celle di *outflow* impostate in *normal depth* in uscita.

4.3.4.1 Analisi dei risultati

Con riferimento all'Area 1, le simulazioni post operam hanno evidenziato come le opere di progetto effettivamente riescano a raccogliere l'onda di piena proveniente da monte per regimarla e indirizzarla nel canale previsto (Canale 1), attraverso il quale defluisce verso valle e raggiunge il ricettore naturale.

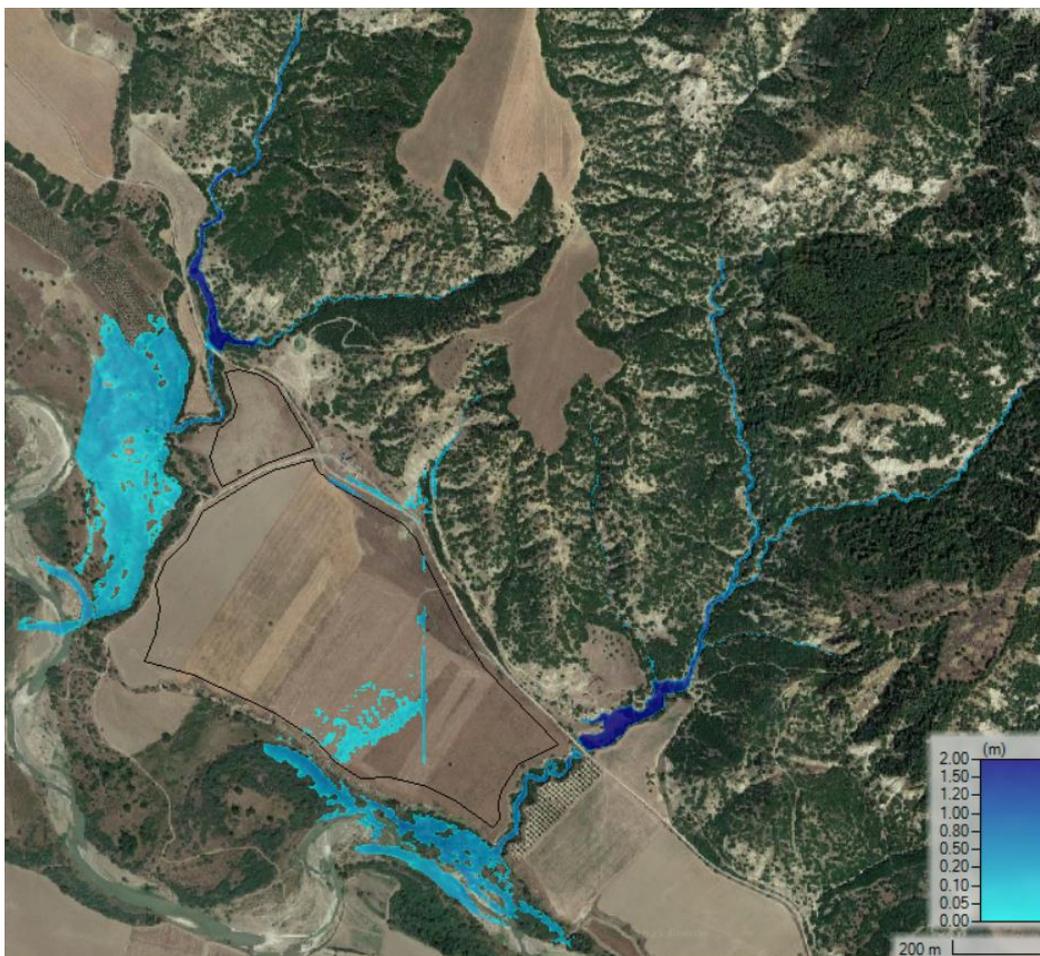


Figura 28: Mappa delle aree allagabili "Area 1 - Nord" – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di progetto

Il canale in progetto, che attraversa l'impianto in progetto così come rappresentato precedentemente, ha la funzione di fosso di guardia nei confronti dell'impianto, intercettando i deflussi, la cui onda di piena presenta un picco di $Q=2.60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tali volumi idrici, una volta intercettati e convogliati nel canale, defluiscono verso valle nel Fiume Basento (cfr. Figura 29).

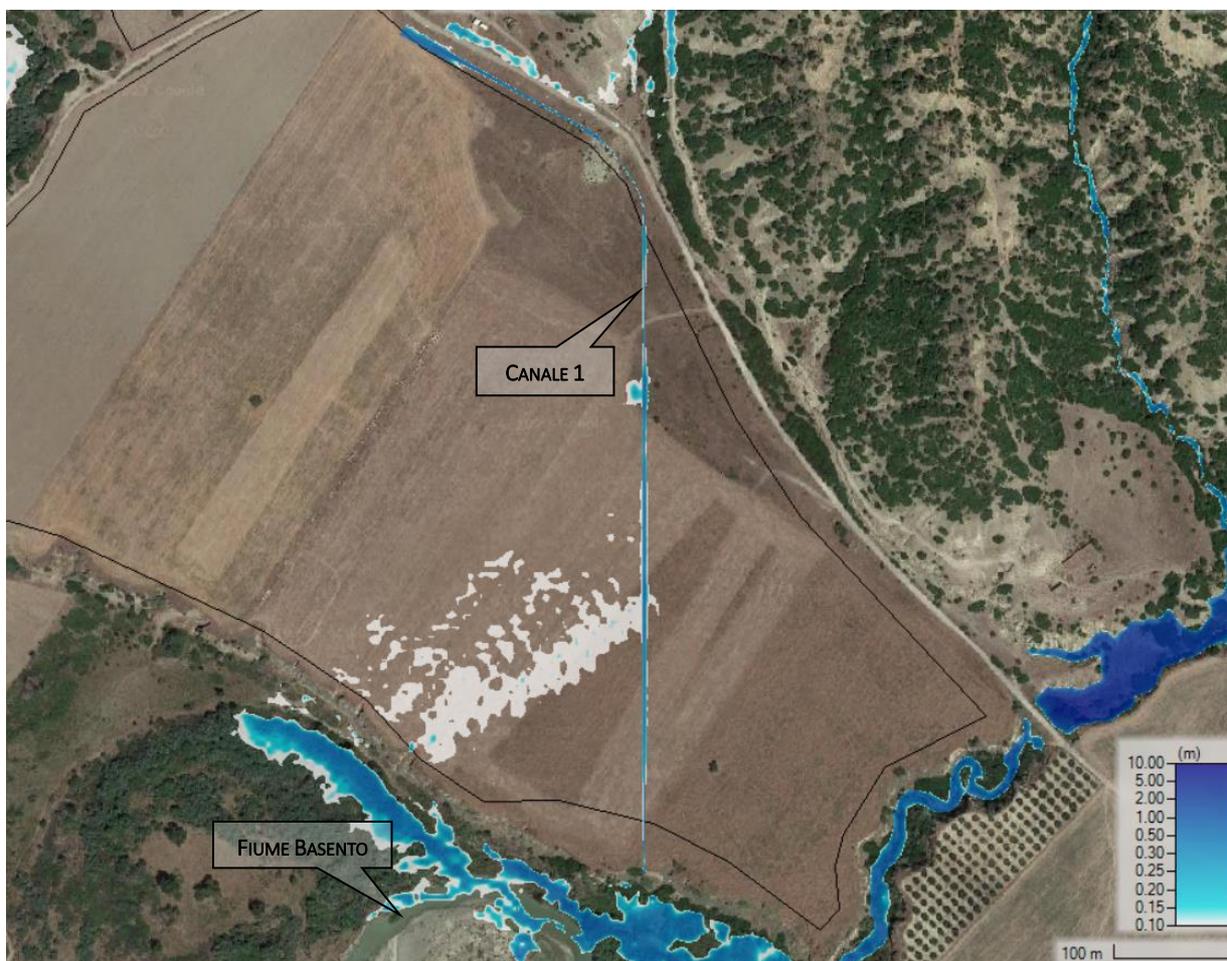


Figura 29: Mappa dei tiranti idrici post operam "Area 1 - Nord". In bianco sono evidenziate le aree con valori minori o uguali a 10 cm

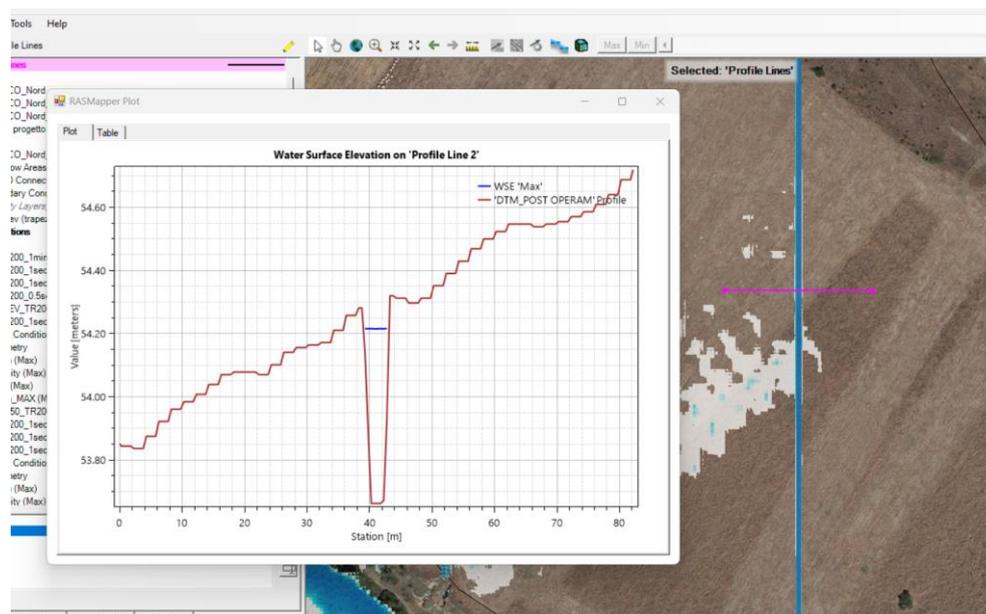


Figura 30: Sezione trasversale al canale (in magenta) all'interno dell'Area 1 – Nord

Impianto Fotovoltaico "Ferrandina_FV" – Ferrandina - (MT)

L'impianto da ubicare nell'Area 2 necessita di ulteriori interventi di natura idraulica in quanto dalle simulazioni precedenti (allo stato di fatto) è emerso che le superfici allagabili interferiscono con le aree dell'impianto fotovoltaico (cfr. Figura 21).

Di particolare importanza ai fini delle opere idrauliche previste è la presenza di un **fosso di guardia** che corre parallelamente ad un'area recintata, evidenziato in azzurro nella figura seguente, che presenta una larghezza di circa 3-4 m ed una lunghezza di 110 m, oltre ad una folta vegetazione in alveo.



Figura 31: Fosso di guardia esistente a ovest delle aree di impianto

L'idea progettuale ha origine dalla pulizia e dalla risagomatura del suddetto fosso di guardia per poi proseguire lungo l'attuale impluvio naturale attraverso la realizzazione di ulteriori N. 2 canali e N. 2 vasche di raccolta.

Le vasche presentano le seguenti dimensioni:

- Vasca 1: lunghezza 30 m; larghezza 35 m;
- Vasca 2: lunghezza 64 m larghezza 4÷13 m.

Come detto, tali opere di regimazione idraulica tengono conto del reale andamento del terreno e saranno previste laddove attualmente, per eventi meteorici estremi, è presente l'impronta allagabile (cfr. Figura 20 e Figura 21).

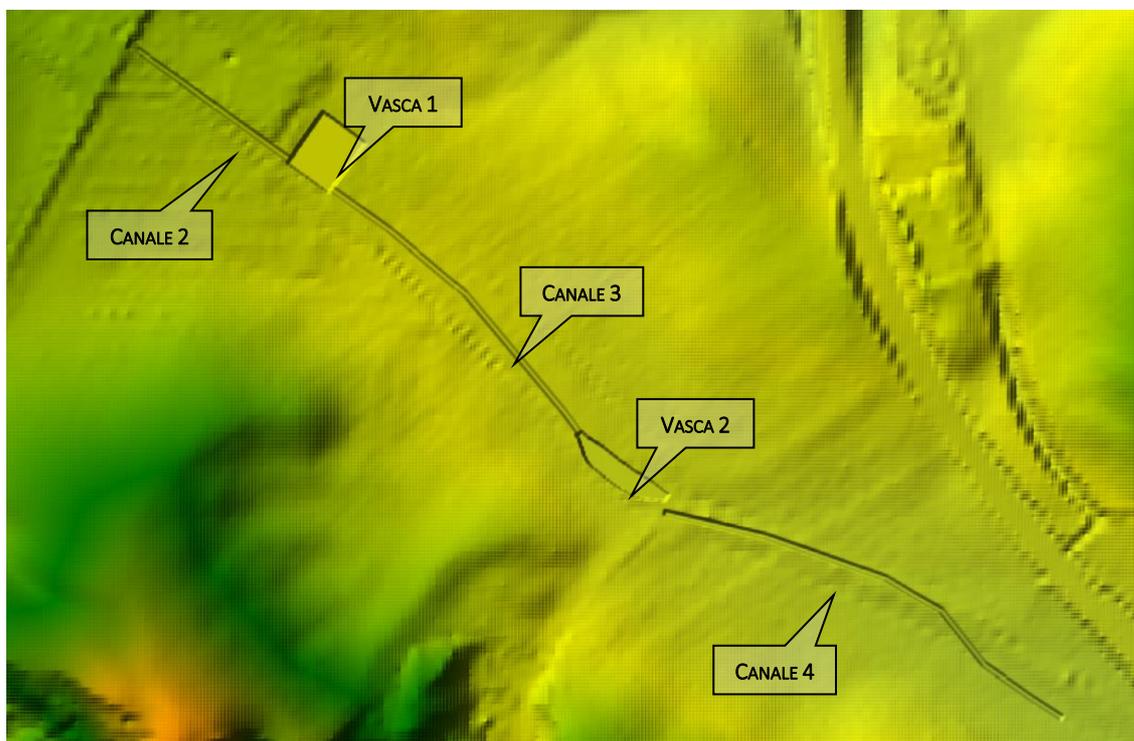


Figura 32: Stralcio dei canali 2,3 e 4 e delle vasche 1 e 2 previsti come opera di mitigazione nell'Area 2 – Sud

I risultati delle verifiche idrauliche allo stato di progetto effettuate sull'Area 2 mostrano come le opere di difesa idraulica previste siano capaci di mantenere in sicurezza le aree di impianto da allagamenti derivanti dall'onda di piena proveniente da monte (cfr. Figura 33 e Figura 34).



Figura 33: Mappa delle aree allagabili "Area 2 - Sud" – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di progetto



Figura 34: Mappa delle aree allagabili "Area 2 - Sud" – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di progetto

Le simulazioni post operam nell'Area 2 hanno evidenziato come le opere idrauliche previste riescano a raccogliere l'onda di piena proveniente da monte per regimarla senza modificare le condizioni di funzionalità idraulica a monte e a valle dell'intervento.

Di seguito è mostrato il profilo longitudinale della successione canale 2-vasca 1-canale 3-vasca 2.

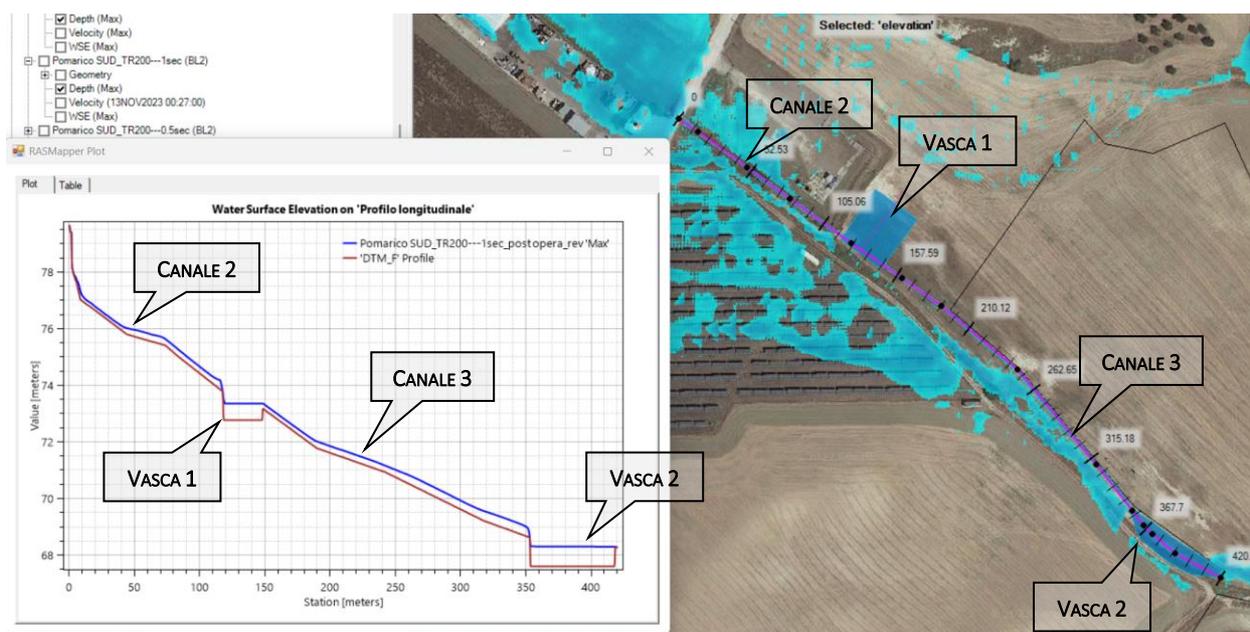


Figura 35: Profilo longitudinale del terreno lungo le opere in progetto con indicazione del tirante e dell'andamento altimetrico del terreno

5. CONCLUSIONI

Il presente studio è stato redatto al fine individuare le aree allagabili nella zona oggetto di intervento e valutare la compatibilità dell'intervento ai sensi delle NTA del PAI.

Le fasi preliminari e finali dello studio effettuato, al fine di giungere ad una determinazione delle aree di allagamento dei luoghi quanto più prossima alla realtà, 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.

Dalle modellazioni effettuate si evince che il progetto proposto, che prevede la costruzione di un impianto fotovoltaico, non determina in alcun modo incrementi delle condizioni di pericolosità idraulica.

In particolare, gli interventi previsti nell'Area 1 – Nord (Canale 1 e gabbionata) migliorano le condizioni di funzionalità idraulica dei deflussi superficiali provenienti dal versante, impedendo l'allagamento del terreno oggetto di intervento.

Gli interventi previsti nell'Area 2 – Sud (Canale 2, Vasca 1, Canale 3, Vasca 2 e Canale 4) garantiscono l'efficienza idraulica dell'intero tratto non aumentando in alcun modo la pericolosità idraulica delle zone contermini.

Con riferimento alle intersezioni del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico, si può asserire che la realizzazione mediante la tecnica della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.), che prevede una posa del cavo ad una profondità di 1,5 m dal fondo alveo non comporta alcuna modifica alla morfologia del reticolo idrografico, garantendo allo stesso tempo un ampio margine di sicurezza idraulica, sia nei confronti dei deflussi superficiali che di quelli (eventuali) sotterranei.

Per quanto sopra l'intervento in progetto si ritiene compatibile con le finalità e le prescrizioni contenute nelle NTA del PAI.

6. INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Inquadramento del progetto su ortofoto con indicazione della cartografia delle aree a pericolosità idraulica e dei reticoli idrografici.....	2
Figura 2: Localizzazione dell’impianto su base Ortofoto	3
Figura 3: Inquadramento delle interferenze tra cavidotto e reticolo idrografico	4
Figura 4: Schema di passaggio del cavidotto con spingitubo	6
Figura 5: Inquadramento delle opere su cartografia IGM 1:25000.....	7
Figura 6: Reticolo idrografico (sopra) e bacini idrografici a NORD e a SUD del Fiume Basento (sotto).....	8
Figura 7: Sottozone omogenee al II livello di regionalizzazione delle piene	9
Figura 8: DTM a base di calcolo.....	12
Figura 9: Perimetro dell’area 2D del dominio di calcolo sovrapposta all’area di ingombro dell’impianto FV (a sinistra l’area 1 a NORD del Fiume Basento, a destra l’area 2 a SUD del Fiume Basento)	13
Figura 10: Geometria del dominio di calcolo dell’Area 1 (Nord) con indicazione del perimetro di impianto (in rosso) e del reticolo idrografico.....	13
Figura 11: Indicazione del dominio di calcolo (Area 1 – Nord) con riferimento alle condizioni al contorno utilizzate	14
Figura 12: Geometria del dominio di calcolo dell’Area 2 (Sud) con indicazione del perimetro di impianto (in rosso) e del reticolo idrografico.....	14
Figura 13: Indicazione del dominio di calcolo (Area 2 – Sud) con riferimento alle condizioni al contorno utilizzate	15
Figura 14: Idrogrammi di piena (Area 1 - Nord).....	16
Figura 15: Idrogrammi di piena (Area 2 - Sud)	17
Figura 16: Mappa delle aree allagabili “Area 1 - Nord” – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di fatto	18
Figura 17: Mappa dei tiranti idrici ante operam “Area 1 - Nord”. In bianco sono evidenziate le aree con valori minori o uguali a 10 cm	18
Figura 18: Fenomeno di erosione e modifica locale dei deflussi in direzione delle aree di intervento (Area 1 - Nord)	19
Figura 19: Foto dalla strada adiacente al terreno che testimonia la situazione evidenziata (a sx: foto verso monte, a dx: foto verso valle).....	19
Figura 20: Mappa delle aree allagabili “Area 2 Sud” – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di fatto.....	20
Figura 21: Mappa dei tiranti idrici ante operam “Area 2 - Sud”. In bianco sono evidenziate le aree con valori minori o uguali a 10 cm	20
Figura 22: Planimetria delle opere di progetto con riferimento all’Area 1 – Nord	21
Figura 23: Planimetria delle opere di progetto con riferimento all’Area 2 - Sud	22
Figura 24: Sezione tipologica dei canali 1,2,3 e 4	22
Figura 25: Posa della biostuoia antiersiva in fibra di cocco e/o paglia	23
Figura 26: Inserimento di stuoia biodegradabile sulle sponde dei canali.....	23
Figura 27: Stralcio del canale 1 e della gabbionata metallica previsti come opera di mitigazione nell’Area 1 – Nord	24
Figura 28: Mappa delle aree allagabili “Area 1 - Nord” – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di progetto.....	25
Figura 29: Mappa dei tiranti idrici post operam “Area 1 - Nord”. In bianco sono evidenziate le aree con valori minori o uguali a 10 cm	26
Figura 30: Sezione trasversale al canale (in magenta) all’interno dell’Area 1 – Nord.....	26
Figura 31: Fosso di guardia esistente a ovest delle aree di impianto.....	27

Impianto Fotovoltaico "Ferrandina_FV" – Ferrandina - (MT)

Figura 32: Stralcio dei canali 2,3 e 4 e delle vasche 1 e 2 previsti come opera di mitigazione nell'Area 2 – Sud.....	28
Figura 33: Mappa delle aree allagabili "Area 2 - Sud" – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di progetto.....	28
Figura 34: Mappa delle aree allagabili "Area 2 - Sud" – tiranti idrici $T_R=200$ anni nello stato di progetto.....	29
Figura 35: Profilo longitudinale del terreno lungo le opere in progetto con indicazione del tirante e dell'andamento altimetrico del terreno.....	29

7. INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Dati geografici di progetto.....	3
Tabella 2: Tabella riassuntiva delle interferenze tra cavidotto di progetto e reticolo idrografico.....	5
Tabella 3: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT per le piene in Basilicata.....	9
Tabella 4: Portate relative a diversi tempi di ritorno – metodologia VAPI (Area 1 – Nord).....	10
Tabella 5: Portate relative a diversi tempi di ritorno – metodologia VAPI (Area 2 – Sud).....	10
Tabella 6: Dati idrologici salienti utilizzati come input del modello matematico.....	16