



## NEX 088a - Monreale

Comuni: Monreale

Città metropolitana: Palermo (PA)

Regione: Sicilia

### Nome Progetto:

NEX 088a - Monreale

Progetto di un impianto agrivoltaico sito nel comune di Monreale in località "C. da Marcanza" di potenza nominale pari a 37,46 MWp in DC

### Proponente:

#### Monreale S.r.l.

Via Dante, 7  
20123 Milano (MI)  
P.Iva: 131300220962  
PEC: monrealesrl@pec.it

### Consulenza ambientale e progettazione:

#### ARCADIS Italia S.r.l.

Via Monte Rosa, 93  
20149 | Milano (MI)  
P.Iva: 01521770212  
E-mail: info@arcadis.it

# PROGETTO DEFINITIVO

### Nome documento:

Studio di compatibilità idraulica e idrologica

Commessa	Codice elaborato	Nome file
30200208	IDR_REL_01	IDR_REL_02 - Rel. invarianza idraulica

Rev.	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	Mar. 24	Prima Emissione	LA	FPA	LBE

# INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	4
2.1	Inquadramento generale .....	4
2.2	Il bacino idrografico del fiume San Bartolomeo.....	4
2.3	Caratteristiche del sito in esame .....	5
3	INTERVENTO IN PROGETTO .....	8
4	STUDI E STRUMENTI PIANIFICATORI ESISTENTI IN AMBITO IDRAULICO .....	10
4.1	Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) .....	10
4.2	Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) .....	12
5	ATTIVITÀ PRELIMINARI ALLA PROGETTAZIONE.....	15
5.1	Relazione geologica.....	15
5.2	Rilievo topografico.....	16
6	ANALISI IDROLOGICA .....	17
6.1	Stima delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP).....	17
6.2	Determinazione dei bacini nell'area di intervento.....	19
6.3	Stima del tempo di corrivazione .....	20
6.4	Precipitazioni di breve durata – Metodo di Bell.....	21
6.5	Stima delle portate idrologiche di piena .....	23
6.6	Risultati dell'analisi idrologica .....	24
7	ANALISI IDRAULICA.....	25
7.1	Codice di calcolo utilizzato .....	25
7.2	Assetto geometrico dell'alveo .....	27
7.3	Parametri del modello.....	29
7.3.1	Condizioni al contorno in ingresso .....	29

7.3.2	Condizione al contorno in uscita .....	30
7.3.3	Scabrezza .....	30
<b>8</b>	<b>RISULTATI OTTENUTI .....</b>	<b>31</b>
8.1	Tempo di ritorno di 2 anni .....	31
8.2	Tempo di ritorno di 50 anni .....	34
8.3	Tempo di ritorno di 100 anni .....	37
8.4	Tempo di ritorno di 500 anni .....	40
8.5	Confronto tra i tempi di ritorno e analisi dei risultati ottenuti .....	43
<b>9</b>	<b>RISOLUZIONE INTERFERENZE CON IL LAYOUT DI PROGETTO .....</b>	<b>47</b>
9.1	Interferenze dell'impianto agrifotovoltaico in progetto .....	47
9.2	Interferenze delle opere di connessione.....	49
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>52</b>

# 1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla valutazione della compatibilità idrologica e idraulica dell'intervento riguardante la realizzazione di un impianto agrofotovoltaico denominato "NEX088a - Monreale" da realizzarsi nel territorio comunale di Monreale (PA).

Scopo del presente studio è quindi:

- ricostruire la dinamica di allagamento dell'area di interesse con relativi tiranti e velocità per eventi con tempo di ritorno di 2, 50, 100 e 500 anni;
- valutare la compatibilità dell'intervento in progetto con le piene 500-ennali;
- verificare che non si modifichino le condizioni di pericolosità e rischio del territorio circostante a seguito degli interventi da realizzarsi;
- definire eventuali interventi di mitigazione necessari a garantire la sicurezza idraulica del territorio.

Si è dunque proceduto con la costruzione di un modello bidimensionale che descrivesse la situazione nell'area di progetto. Nel seguito della relazione si illustrano la metodologia adottata e i risultati delle simulazioni idrauliche ottenuti.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1 Inquadramento generale

L'area oggetto del futuro intervento è ubicata nella Sicilia nord-occidentale, all'interno del territorio comunale di Monreale, provincia di Palermo. L'accesso al sito avviene tramite la Strada Provinciale 46 e la Strada Provinciale 47.



Figura 1 - Aree di intervento e strade di accesso (fonte: Google Maps)

### 2.2 Il bacino idrografico del fiume San Bartolomeo

Il sito ricade all'interno del bacino del fiume San Bartolomeo (Figura 2), delimitato a nord dal Mar Tirreno nel tratto di mare ricadente nel Golfo di Castellammare e a sud dal bacino del fiume San Felice. All'interno del bacino stesso è riscontrabile l'urbanizzazione nei centri abitati, nei territori agricoli e nella presenza di diverse infrastrutture di trasporto. Esso si estende per circa 419 kmq, internamente ai territori delle province di Palermo e di Trapani.



Figura 2 - Bacino idrografico del Fiume San Bartolomeo

Il fiume San Bartolomeo rappresenta la parte terminale del fiume Freddo, il quale nasce in territorio di Calatafimi-Segesta e lungo il suo percorso, di circa 46 km, riceve le acque di diversi affluenti. L'asta principale del fiume Freddo prende il nome di San Bartolomeo alla confluenza con il fiume Caldo. Il fiume San Bartolomeo scorre prevalentemente in direzione NNE-SSO e con andamento meandrico nella sua parte terminale, indice della maturità evolutiva raggiunta. Il suo reticolo idrografico appare abbastanza gerarchizzato, ma disorganizzato.



Figura 3 - Reticolo idrografico (in azzurro) nella zona di futuro intervento

### 2.3 Caratteristiche del sito in esame

Secondo il progetto *Corine Land Cover (CLC)*, nato al fine di monitorare le caratteristiche di copertura e uso del territorio, l'area di intervento è costituita da superfici agricole utilizzate per colture intensive e da vigneti, come si osserva in Figura 4.



- |   |   |  |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>111 Zone residenziali a tessuto continuo</li> <li>1111 Zone residenziali a tessuto compatto e denso</li> <li>1112 Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado</li> <li>112 Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado</li> <li>1122 Borghi e fabbricati rurali</li> <li>121 Insediamenti industriali, artigianali, commerciali e spazi annessi</li> <li>1221 Linee ferroviarie e spazi associati</li> <li>1222 Viabilità stradale e sue pertinenze</li> <li>123 Aree portuali</li> <li>124 Aree aeroportuali e eliporti</li> <li>131 Aree estrattive</li> <li>132 Aree ruderali e discariche</li> <li>133 Cantieri</li> <li>141 Aree verdi urbane</li> <li>1412</li> <li>1413</li> <li>142 Aree ricreative e sportive</li> <li>1421</li> <li>143 Cimiteri</li> <li>151 Siti archeologici</li> <li>21121 Seminativi semplici e colture erbacee estensive</li> <li>21211 Colture ortive in pieno campo</li> <li>21213 Colture orto-floro-vivaistiche (serre)</li> <li>221 Vigneti</li> <li>2211 Vigneti consociati (con oliveti, ecc.)</li> <li>222 Frutteti</li> <li>2225</li> <li>2226</li> <li>223 Oliveti</li> <li>2231 Colture arboree miste con prevalenza di carrubeti e oliveti</li> <li>2241 Pioppeti</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>2242 Piantagioni a latifoglie, impianti di arboricoltura (noce e/o rimboscimenti)</li> <li>2243 Eucalipteti</li> <li>2311 Incolti</li> <li>242 Sistemi culturali e particolari complessi (mosaico di appezzamenti agricoli)</li> <li>3111 Leccete</li> <li>31111 Boschi e boscaglie a sughera e/o a sclerofille mediterranee</li> <li>31122 Querceti termofili</li> <li>31126 Cerrete</li> <li>3113 Boschi a latifoglie mesofile</li> <li>31132 Betulleti</li> <li>31133 Ostrieti</li> <li>31143 Castagneti</li> <li>31154 Faggete</li> <li>3116 Boschi e boscaglie ripariali</li> <li>31163 Pioppeti ripariali</li> <li>31165 Alneti ripariali</li> <li>3117 Rimboscimenti a latifoglie</li> <li>312 Boschi di conifere</li> <li>3121 Boschi a prevalenza di pini mediterranei (pino domestico, pino marittimo) e cipressete</li> <li>31211 Pinete di pino d'Aleppo</li> <li>31213 Pinete a pino domestico</li> <li>31224 Pinete di pino laricio</li> <li>3125 Rimboscimenti a conifere</li> <li>321 Aree a pascolo naturale e praterie</li> <li>3211 Praterie aride calcaree</li> <li>3212 Pascoli di pertinenza di melga</li> <li>3214 Praterie mesofile</li> <li>3221 Arbusteti spinosi montani</li> <li>3222 Arbusteti termofili</li> <li>32221 Ginepreti</li> <li>32222 Pruneti</li> <li>32231 Ginestrete</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>32222 Pruneti</li> <li>32231 Ginestrete</li> <li>3231 Macchie termofila</li> <li>32312 Macchie a lentisco</li> <li>32313 Macchie a lentisco e palma nana</li> <li>3232 Gariga</li> <li>32322 Macchie bassa a cisto e rosmarino</li> <li>3311 Vegetazione psammofila</li> <li>332 Rocce nude, falesie, rupi e affioramenti</li> <li>333 Aree con vegetazione rada</li> <li>3331</li> <li>41 Zone umide interne</li> <li>4121 Vegetazione degli ambienti umidi fluviali e lacustri</li> <li>42 Zone umide costiere</li> <li>4211 Comunità erbacee delle paludi salmastre</li> <li>422 Saline ed aree associate</li> <li>5111 Fiumi</li> <li>5112 Torrenti e greti alluvionali</li> <li>5121 Leghetti e pozze naturali</li> <li>5122 Leghi artificiali</li> <li>52 Acque marittime</li> <li>521 Lagune costiere</li> <li>522 Estuari</li> <li>523 Mari e oceani</li> </ul> |
|---|---|--|

Figura 4 - Uso del suolo nell'area oggetto di intervento

Infine, come si evince dalla relazione geologica, l'area oggetto di intervento presenta caratteristiche collinari con pendenze moderate e quote topografiche comprese tra 273 e 194 m s.l.m. Sui pendii che limitano gli impluvi si osservano superfici topografiche da pianeggianti a moderatamente acclivi. Nello specifico, nel sito di interesse si evidenzia che:

- il 17% dell'area è caratterizzata da superfici sub-pianeggianti (inclinazione compresa tra 0° e 5°),
- il 50% dell'area presenta inclinazioni comprese tra 5° e 10° (pendii debolmente acclivi),
- il 30% della superficie ha inclinazioni comprese tra 10° e 15° (pendii moderatamente acclivi),
- il 3% è caratterizzata da inclinazioni tra 15° e 25° (superfici acclivi).

Si riporta la carta delle pendenze nella figura successiva. Per informazioni più dettagliate si rimanda alla *Relazione Geologica* redatta da Geoproject S.r.l.

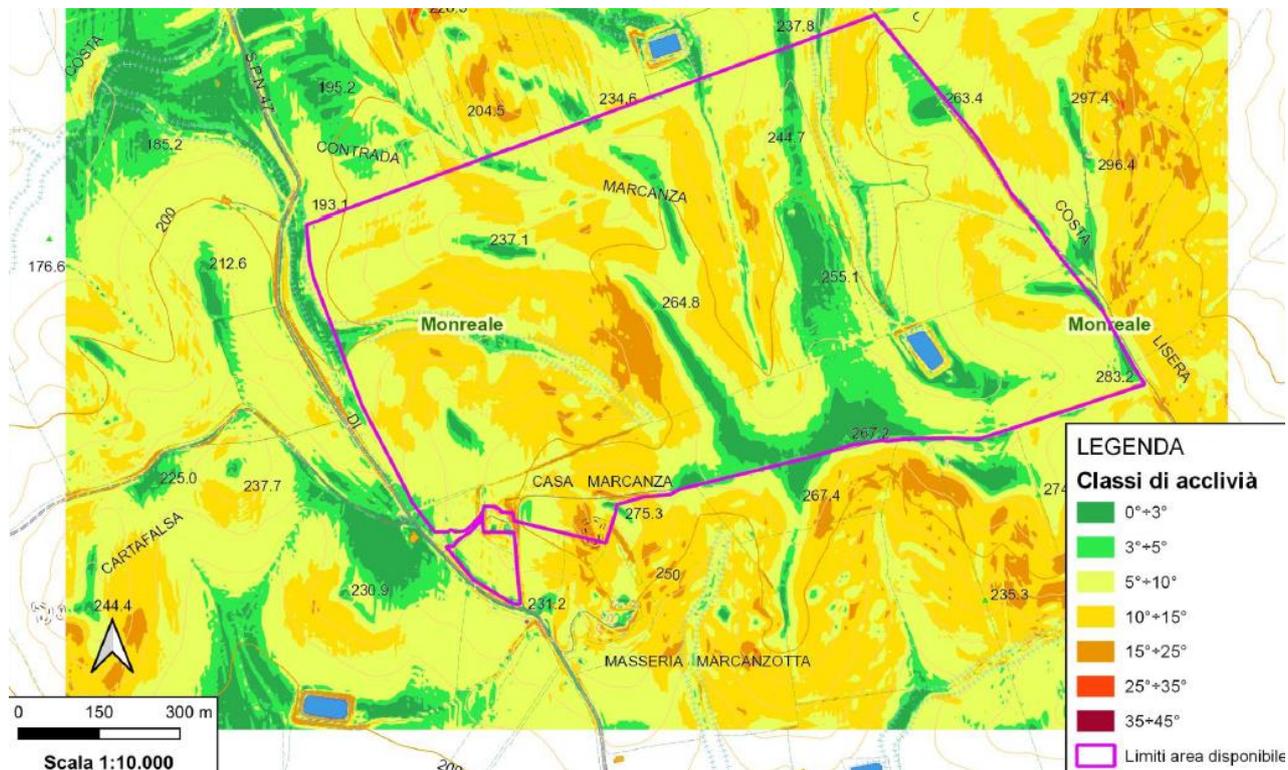


Figura 5 - Carta delle pendenze (fonte: Relazione geologica allegata al progetto)

### 3 INTERVENTO IN PROGETTO

Il progetto denominato “NEX088a - Monreale” sarà realizzato nel territorio del Comune di Monreale (PA) in terreni classificati agricoli secondo PGT del Comune di Monreale (zona “E”) che presentano, allo stato attuale, un uso del suolo a seminativo di carattere estensivo (grano e orzo principalmente).

Ai fini progettuali è stata analizzata dettagliatamente la morfologia dell’area di intervento tramite rilievo topografico con Drone matrice 300 RTK/PPK e Emlid Reach RX eseguito in data 03.11.2023. Sono state analizzate le pendenze di sito al fine di prevedere l’utilizzo delle sole superfici che presentano già allo stato attuale una pendenza ed una esposizione idonee allo sviluppo impiantistico di progetto. Infatti, sull’intera area disponibile (con diritti di superficie acquisiti), pari a 93,150 Ha, è stato previsto l’utilizzo di 18,330 ha (superficie coperta dai moduli), suddivisa in n°4 campi recintati, per una superficie complessiva di 83,308 Ha (area recintata).

Le aree effettivamente utilizzate dal progetto (aree recintate) sono state definite avendo cura di mantenere inalterate le aree interessate dalla presenza di vincoli ed interferenze. In particolare, il progetto in oggetto evita interferenze con il reticolo idrografico minore, prevedendo il rispetto della fascia di 10 m prevista dal R.D. 523/1904 “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”. Inoltre, è stato previsto di mantenere fruibile l’accesso allo specchio d’acqua presente all’interno delle aree contrattualizzate che, da cartografia forestale (Carta Forestale di cui alla L.R. 16/96), è indicato appartenere all’infrastruttura antincendio regionale.

Il campo fotovoltaico così progettato sarà costituito da 54.292 moduli di tipo bifacciali, aventi potenza di picco pari a 690 Wp e dimensioni di 2384 x 1303 x 33 mm, montati su strutture di sostegno ad inseguimento solare mono-assiale (trackers). I trackers saranno installati in direzione nord-sud, capaci di ruotare in direzione est-ovest, consentendo, pertanto, ai moduli di “seguire” il Sole lungo il suo moto diurno e ottimizzando la produzione.

Le strutture di sostegno avranno disposizione unifilare (282 inseguitori con configurazione 1V14 e 1798 inseguitori con configurazione 1V28). La conversione da corrente continua a corrente alternata sarà realizzata mediante convertitori statici trifase (inverter) di tipo centralizzato, per un totale di 11 inverter (n°9 inverter da 4.000 KVA e n°2 inverter da 2.667 kVA per un totale di 41,334 MVA di potenza installata in CA) racchiusi in altrettanti skid o container cabinati.

I container, progettati e costruiti per il trasporto con tutti i componenti già installati al suo interno, hanno le seguenti dimensioni: lunghezza 6058 mm, larghezza 2.438 mm, altezza 2.896 mm. Il container è costruito con telai in acciaio zincato.

L’impianto sarà connesso alla rete elettrica nazionale in virtù di una STMG in fase di revisione al momento di redigere la presente relazione.

La produzione energetica dell’impianto agrivoltaico sarà raccolta tramite una rete di distribuzione esercita in Alta Tensione a 36 kV e successivamente veicolata, tramite un elettrodotto interrato sempre in AT a 36kV, verso il punto di consegna nella nuova Sottostazione Elettrica di Terna Gallitello” 380/150/36 kV, condivisa con altri utenti produttori.

Il percorso dell'elettrodotto di connessione in AT si sviluppa per una lunghezza complessiva pari a circa 8,6 km, ed è stato studiato al fine di minimizzare l'impatto sul territorio locale, adeguandone il percorso a quello delle sedi stradali preesistenti ed evitando ove possibile gli attraversamenti di terreni agricoli. Per ulteriori dettagli in merito al percorso del suddetto elettrodotto e alla gestione delle interferenze si rimanda agli elaborati dedicati.

La configurazione impiantistica prevista in progetto (si veda Figura 6) sarà in grado di preservare la vocazione agricola dell'area interessata dal progetto e di valorizzare le aree anche da un punto di vista agronomico e di produttività dei suoli. La soluzione impiantistica di impianto agrivoltaico interfilare con tracker prevede sistemi ad inseguimento solare mono-assiale opportunamente distanziati tra loro (distanza tra le file pari a 6,7 m), consentendo un uso combinato della porzione di suolo interessato dall'impianto.

In sintesi, la proposta agronomica prevede:

- prato permanente polifita di interesse mellifero in corrispondenza della superficie di proiezione dei moduli sul suolo;
- la prosecuzione della coltivazione nell'interfilare tra i moduli, nonché nelle aree recintate non oggetto di installazione dei filari fotovoltaici, per una superficie complessiva coltivabile di 60,493 ha. Si prevede colture in rotazione di leguminose da granella (colture miglioratrici), leguminose da foraggio con attitudine mellifera (sulla) e prato polifita permanente;
- in supporto alla produzione agricola da leguminose si prevede di collocare in sito circa 50 arnie per la produzione mellifera.

L'intervento in oggetto prevede inoltre, fuori dall'area recintata, i seguenti interventi:

- una fascia di mitigazione esterna alle aree di impianto di larghezza complessiva di 10 m e superficie totale pari a circa 3,78 Ha. Tale fascia sarà composta, dall'esterno verso l'interno, da una linea tagliafuoco di 2-2,5 m, una doppia fila sfalsata di piante di Olea europea e una siepe naturaliforme composta da arbusti e/o cespugli autoctoni a ridosso della recinzione perimetrale;
- opere di riqualificazione degli impluvi e laghetti per una estensione di circa 1,3 ha.

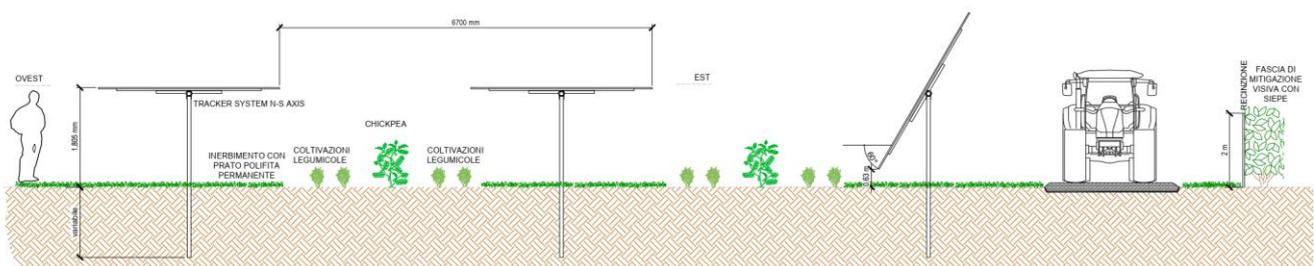


Figura 6 - Schema dell'impianto agrivoltaico (estratto elaborato PRO\_TAV\_16)

## 4 STUDI E STRUMENTI PIANIFICATORI ESISTENTI IN AMBITO IDRAULICO

### 4.1 Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla Direttiva 2007/60/CE, cosiddetta “Direttiva Alluvioni”, che si pone come obiettivo la costruzione di un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la mitigazione dei rischi dovuti a fenomeni alluvionali, così da ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l’ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche. Nell’ordinamento italiano tale direttiva è stata recepita con il D. Lgs. 49/2010.

La Direttiva Alluvioni stabilisce che le mappe di pericolosità devono mostrare l’area geografica che può essere inondata in corrispondenza di tre diversi scenari di probabilità:

- scarsa probabilità o scenari di eventi estremi,
- media probabilità di alluvioni (tempo ritorno superiore o al più pari a 100 anni),
- elevata probabilità di alluvioni.

In corrispondenza di ciascuno scenario gli Stati Membri devono fornire le informazioni sull’estensione delle alluvioni e sulla profondità delle acque e dove opportuno sulle velocità del flusso o sulle portate. Il D.Lgs 49/2010, attuativo della Direttiva Alluvioni, stabilisce che siano da considerarsi scenari di elevata probabilità o alluvioni frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 20 e 50 anni, mentre scenari di probabilità media o alluvioni poco frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 100 e 200 anni. Ne consegue che siano da considerarsi scenari di scarsa probabilità o scenari di eventi estremi quelli corrispondenti a tempi di ritorno superiori a 200 anni.

La definizione degli scenari di probabilità nel Distretto Sicilia, partendo dalle indicazioni fornite dal D. Lgs. 49/2010, tiene conto dell’origine dell’alluvione che è di tipo fluviale. Per tali alluvioni i tempi di ritorno utilizzati nelle modellazioni sono pari a:

- 50 anni per lo scenario ad elevata probabilità di allagamento (*scenario P3*)
- 100 anni per lo scenario a media probabilità di allagamento (*scenario P2*)
- 300 anni per lo scenario a bassa probabilità di allagamento (*scenario P1*).

Infine, la Direttiva Alluvioni stabilisce che in corrispondenza di ciascuno scenario di probabilità siano redatte mappe del rischio di alluvioni, in cui devono essere rappresentate le potenziali conseguenze avverse. Per quanto concerne la determinazione del grado di rischio a cui una determinata area è soggetta si è scelto di utilizzare un approccio semplificato secondo cui il rischio è espresso dal prodotto della pericolosità per il danno potenziale. Le classi di rischio adottate sono le seguenti, come indicato dal DPCM 29/9/98:

- *rischio molto elevato (R4)*, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche;
- *rischio elevato (R3)*, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;
- *rischio medio (R2)*, per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- *rischio moderato (R1)*, per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali.

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITÀ		
		P3	P2	P1
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R4	R3
	D3	R4	R3	R2
	D2	R2	R2	R1
	D1	R2	R1	R1

Tabella 1 - Matrice per l'individuazione delle classi di rischio del PGRA Regione Sicilia

Osservando le mappe di pericolosità e rischio riportate nelle pagine successive, si nota che **il sito oggetto di intervento non ricade all'interno di aree classificate dal Piano di Gestione Rischio Alluvioni.**



Figura 7 - PGRA vigente: mappa della pericolosità (fonte: Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Sicilia)

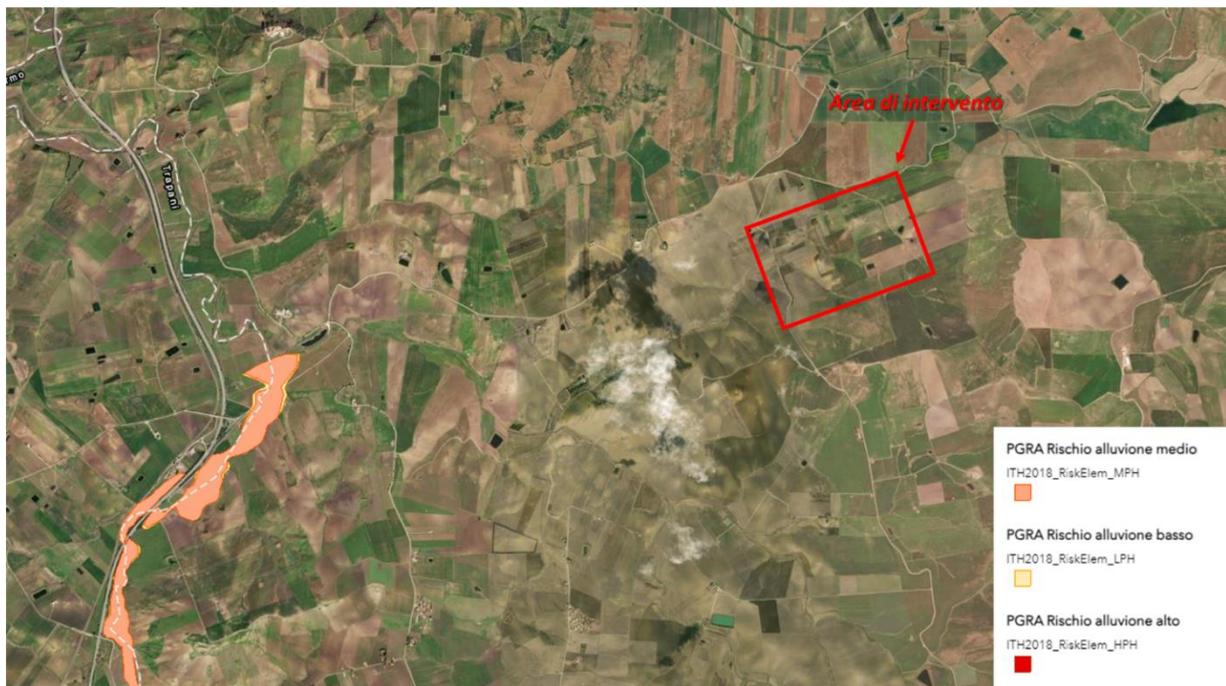


Figura 8 - PGRA vigente: mappa del rischio (fonte: Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Sicilia)

## 4.2 Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) ha avviato nella Regione Siciliana la pianificazione di bacino, strumento fondamentale della politica di assetto territoriale delineata dalla legge 183/89. Tale piano, redatto ai sensi dell'art.17, comma 6 ter, della legge 183/89, dell'art.1, comma 1, del D. Lgs. 180/98, convertito con modifiche dalla legge 267/98, e dall'art.1bis del D. Lgs. 279/2000, convertito con modificazioni dalla legge 365/2000, ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante cui sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.

Il PAI ha tre funzioni:

- conoscitiva, che comprende lo studio dell'ambiente fisico e del sistema antropico, nonché della ricognizione delle previsioni degli strumenti urbanistici e dei vincoli idrogeologici e paesaggistici;
- normativa e prescrittiva, destinata alle attività connesse alla tutela del territorio e delle acque fino alla valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico e alla conseguente attività di vincolo in regime straordinario e ordinario;
- programmatica, la quale fornisce i metodi d'intervento possibili finalizzati alla mitigazione del rischio.

La finalità sostanziale del PAI è definire un assetto idrogeologico del territorio che minimizzi il livello di rischio connesso ad eventi naturali estremi; pertanto, esso è un atto di pianificazione territoriale di settore che

fornisce un quadro di conoscenze e di regole, basate anche sulle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio.

Il riferimento territoriale del PAI è la Regione Sicilia, che costituisce un unico bacino di rilievo nazionale, suddivisa in 102 bacini idrografici e aree territoriali intermedie, oltre alle isole minori. Per ogni bacino idrografico è stato realizzato un piano stralcio.

La stima della pericolosità costituisce il presupposto essenziale per la valutazione del rischio sul territorio. La sua valutazione è stata effettuata incrociando le informazioni relative al tempo di ritorno T e alla distribuzione spaziale delle altezze idriche H, ottenendo così una suddivisione in quattro differenti classi:

- P1 – Aree con bassa probabilità di inondazione;
- P2 – Aree a moderata probabilità di inondazione;
- P3 – Aree ad alta probabilità di inondazione;
- P4 – Aree con probabilità di inondazione molto elevata.

Battente Idraulico	Tempo di Ritorno		
	50	100	300
H<0.3 m	P1	P1	P1
0.3<H<1 m	P2	P2	P2
1<H<2 m	P4	P3	P2
H>2 m	P4	P4	P3

Tabella 2 - Calcolo della pericolosità idraulica (fonte: Relazione Generale Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana)

Sulla base di tale classificazione si è definita la carta di pericolosità idraulica. Le classi di rischio sono state determinate, invece, dalla sovrapposizione di questa carta con gli elementi a rischio risultanti dalle informazioni derivate dalla Carta Tecnica Regionale e dalle ortofotocarte:

- R1 – Aree a rischio moderato;
- R2 – Aree a rischio medio;
- R3 – Aree a rischio elevato;
- R4 – Aree a rischio molto elevato.

Rischio	E1	E2	E3	E4
P1	R1	R1	R2	R2
P2	R1	R2	R3	R3
P3	R2	R2	R3	R4
P4	R2	R3	R4	R4

Tabella 3 – Valutazione del rischio idraulico (fonte: Relazione Generale Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana)

Nelle carte successive sono riportate rispettivamente la mappa di pericolosità e di rischio del sito oggetto di intervento, da cui si osserva che essa **non rientra in aree classificate per il PAI**.



Figura 9 - PAI vigente: mappa della pericolosità (fonte: Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Sicilia)

14  
52



Figura 10 - PAI vigente: mappa del rischio (fonte: Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Sicilia)

## 5 ATTIVITÀ PRELIMINARI ALLA PROGETTAZIONE

### 5.1 Relazione geologica

Nell'ambito della progettazione definitiva dell'intervento descritto è stata redatta una relazione geologica riguardante i terreni contenuti nel perimetro catastale dell'area disponibile.

Lo studio geologico e geomorfologico si è articolato in due fasi distinte:

1. in una prima fase si è proceduto all'analisi dei dati, delle cartografie esistenti e delle foto aeree e satellitari, così da analizzare l'assetto geomorfologico del territorio;
2. successivamente, si è provveduto ad un rilevamento geologico/geomorfologico di dettaglio sul campo che è stato integrato mediante la realizzazione di indagini geognostiche.

In relazione alla morfologia dell'area in esame, essa *“è contraddistinta a scala vasta dal tipico paesaggio collinare delle zone di affioramento del complesso argilloso-sabbioso della Fm Terravecchia. Il reticolo idrografico è caratterizzato da un drenaggio di tipo sub-dentritico, che tende al reticolo parallelo per progressivo approfondimento delle aste fluviali. Sono presenti superfici topografiche con giacitura sub-pianeggiante, riconoscibili in tutta l'area di progetto, che sono da riferire a relitti erosi di antichi terrazzi fluviali. A partire dalla quota di circa 275 m s.l.m., in corrispondenza di alcune delle sopracitate superfici di spianamento fluviale, si generano impluvi che drenano verso Nord e Nord ovest, sede di erosione per fenomeni di ruscellamento concentrato.”*

Attraverso l'elaborazione del modello digitale del terreno si è ottenuta la carta delle pendenze in cui sono riportate le classi di acclività, già analizzate nel Capitolo 2 -

inquadramento territoriale.

*“In conclusione, i caratteri geologici e le modeste acclività dell'area di progetto condizionano il buon assetto geomorfologico generale del sito: la presenza di una coltre eluvio-colluviale e di alterazione delle argille e sabbie della formazione di base ha reso necessario, tuttavia, il rilievo geomorfologico preliminare con lo scopo di selezionare quelle aree, da destinare all'installazione delle opere, esenti da qualsiasi fenomeno di dissesto gravitativo o di erosione per scorrimento superficiale delle acque. I modesti lavori di scavo previsti per la posa delle fondazioni dell'impianto fotovoltaico in progetto (specie se si tratta di fondazioni su pali) non andranno a modificare le condizioni di deflusso superficiale delle acque meteoriche né a creare turbativa all'assetto idrogeologico dei terreni profondi.”*

Per ulteriori dettagli si rimanda alla Relazione Geologica, a cura della società Geoproject S.r.l., e alle tavole ad essa allegate.

## 5.2 Rilievo topografico

Il rilievo topografico LIDAR dell'area di intervento, fornito dal committente, è stato condotto quale attività preliminare per poter valutare la compatibilità idraulica delle opere in progetto con i corsi d'acqua in tale area. Nello specifico, il rilievo ha coperto un'area di circa 1.3 kmq restituito a maglia 0.50 m, attraverso cui sono state identificate le caratteristiche del territorio in termini di elevazione, così da poter identificare i bacini dei rami di prima formazione del fiume San Bartolomeo presenti.

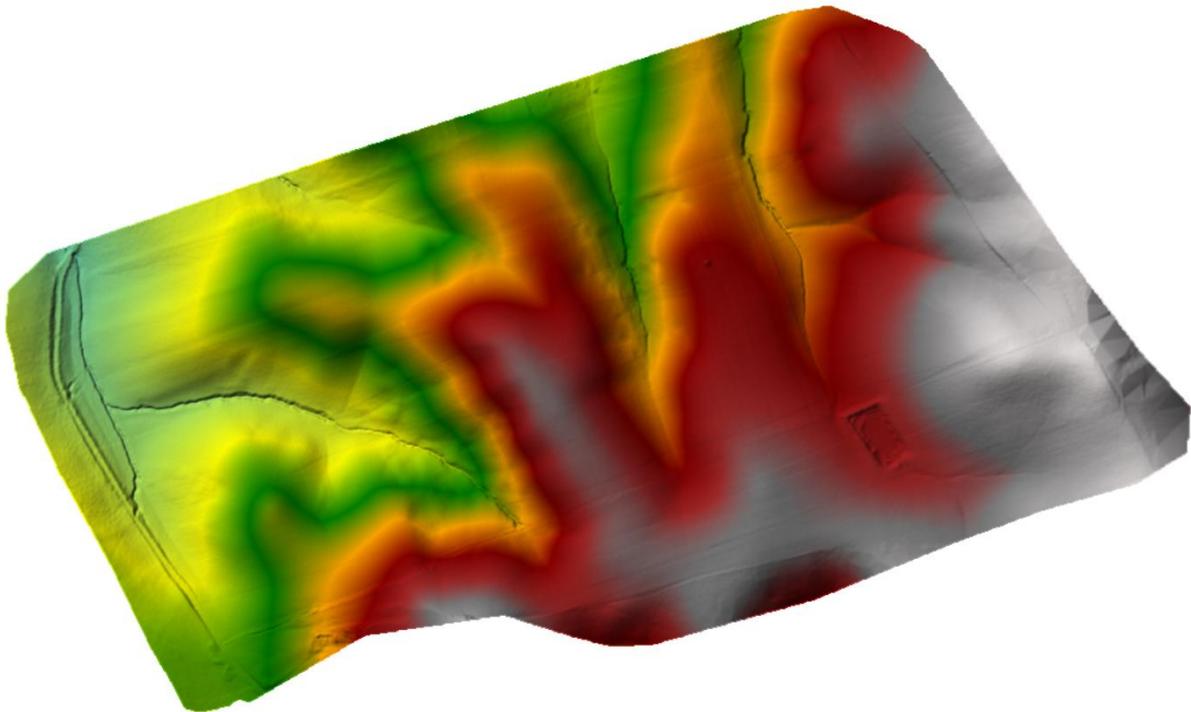


Figura 11 – Rilievo dell'area di intervento

## 6 ANALISI IDROLOGICA

Nell'area di interesse non sono disponibili serie storiche di portata per condurre un'analisi statistica delle piene: per questo motivo, la stima della portata è stata effettuata attraverso l'utilizzo di metodi indiretti quali metodi regionali e modelli di trasformazione afflussi-deflussi. Le analisi sono state condotte per i tempi di ritorno di 2, 50, 100 e 500 anni.

### 6.1 Stima delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP)

La precipitazione critica che determina la massima portata si ricava dalla stima delle Curve di Possibilità Pluviometrica, di seguito indicate con CPP, le quali esprimono la relazione tra l'altezza massima annuale di precipitazione  $h$  e la sua durata  $d$  per un assegnato tempo di ritorno  $T$ . Generalmente esse sono descritte da una legge di potenza monomia del tipo:

$$h_d(T) = K_T \cdot a \cdot d^n$$

dove i parametri della curva ( $K_T$  e  $n$ ) dipendono dal periodo di ritorno considerato. In dettaglio,  $a$  rappresenta il coefficiente di scala della curva di possibilità pluviometrica, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale per la durata di riferimento, mentre  $K_T$  rappresenta il fattore di crescita in quanto dipende dal tempo di ritorno  $T$  e dalla distribuzione di probabilità scelta per rappresentare la variabile  $W$ , che si ottiene normalizzando i valori estremi di altezza rispetto al valore atteso. Infine, il parametro  $n$  indica l'esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali. Le variazioni di  $n$  sono contenute ( $0 < n < 1$ ), soprattutto quando il coefficiente di variazione  $CV$  delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di pioggia varia poco con la durata  $d$  delle stesse.

Per la definizione delle CPP si è fatto riferimento agli Annali Idrologici e alle elaborazioni eseguite dal Centro Funzionale Decentrato-Idro della Regione Siciliana, il quale fa parte della Rete Nazionale dei Centri Funzionali e incardinato nel Dipartimento Regionale della Protezione Civile. Accedendo al sito <https://www.protezionecivilesicilia.it/it/146-cfdmi.asp> è possibile, tramite una ricerca per bacino idrografico o per stazione pluviometrica, consultare i dati relativi ai parametri delle CPP stimati utilizzando un approccio probabilistico. Nello specifico, la serie storica dei massimi annuali di pioggia riferiti ad una assegnata durata  $d$  si può considerare un campione di numerosità  $N$  ( $N =$  anni di osservazione). Per la determinazione delle suddette curve ci si basa sull'analisi delle curve di frequenza cumulata, costruite per le serie storiche dei massimi annuali di precipitazione riferiti alle durate canoniche (1, 3, 6, 12, 24 ore), adattando a ciascuna di esse, attraverso la stima dei parametri, come modello probabilistico la legge di Gumbel. Dalle curve di frequenza, fissato il periodo di ritorno, si ricavano i corrispondenti massimi annuali di precipitazione delle suddette durate, ovvero  $h_d(T)$ : tali valori interpolati mediante la legge monomia sopra citata definiscono  $h_d(T)$  per ogni durata e tempo di ritorno.

Si è scelto quale pluviometro per determinare l'altezza di precipitazione quello di Calatafimi, il più prossimo alla zona di futuro intervento, posto a circa 11 km dal sito, e collocato all'interno del bacino del fiume

San Bartolomeo.



Figura 12 - Pluviometro di Calatafimi

La serie storica di misura è costituita da 51 misure effettuate negli anni 1940-2016 e ha portato alle seguenti curve di possibilità pluviometrica:

18  
52

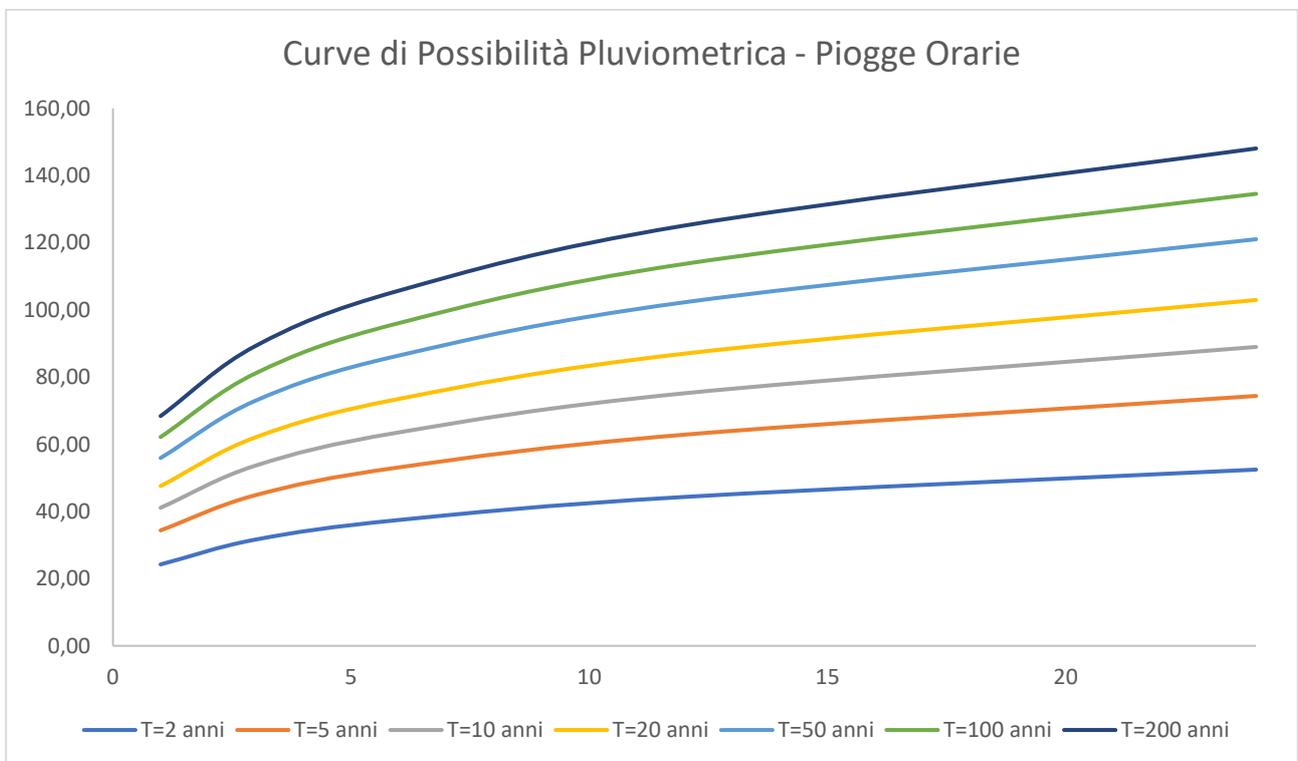


Figura 13 - Curve di possibilità pluviometrica – piogge orarie per la stazione di misura di Calatafimi (TP)

<i>T (anni)</i>	<i>K<sub>T</sub></i>	<i>1 h</i>	<i>3 h</i>	<i>6 h</i>	<i>12 h</i>	<i>24 h</i>
2	0.928	24	32	37	44	52
5	1.316	34	45	53	63	74
10	1.574	41	54	64	75	89
20	1.821	48	62	73	87	103
50	2.141	56	73	86	102	121
100	2.380	62	81	96	114	135
200	2.619	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>a</i>	26.113		<i>n</i>	0.243	

Tabella 4 - Curve di possibilità pluviometrica per la stazione di misura di Calatafimi (TP)

Il parametro  $K_T$  della curva di possibilità pluviometrica 500-ennale è stato calcolato tramite regressione logaritmica dei fattori di crescita dei tempi di ritorno riportati in Tabella 4: si è ottenuto  $K_{T=500}=2.971$ .

## 6.2 Determinazione dei bacini nell'area di intervento

A seguito del rilievo topografico è stato possibile utilizzare il Modello Digitale del Terreno (DTM) con passo 0.5 m realizzato per definire i bacini del reticolo idrografico presenti nell'area oggetto di studio mediante l'utilizzo del software QGIS. Dall'analisi del reticolo idrico si sono definite le sezioni di chiusura riportate in Figura 14, che sottendono i cinque bacini mostrati in Figura 15.



Figura 14 - Sezioni di chiusura (in rosso) nell'area di interesse

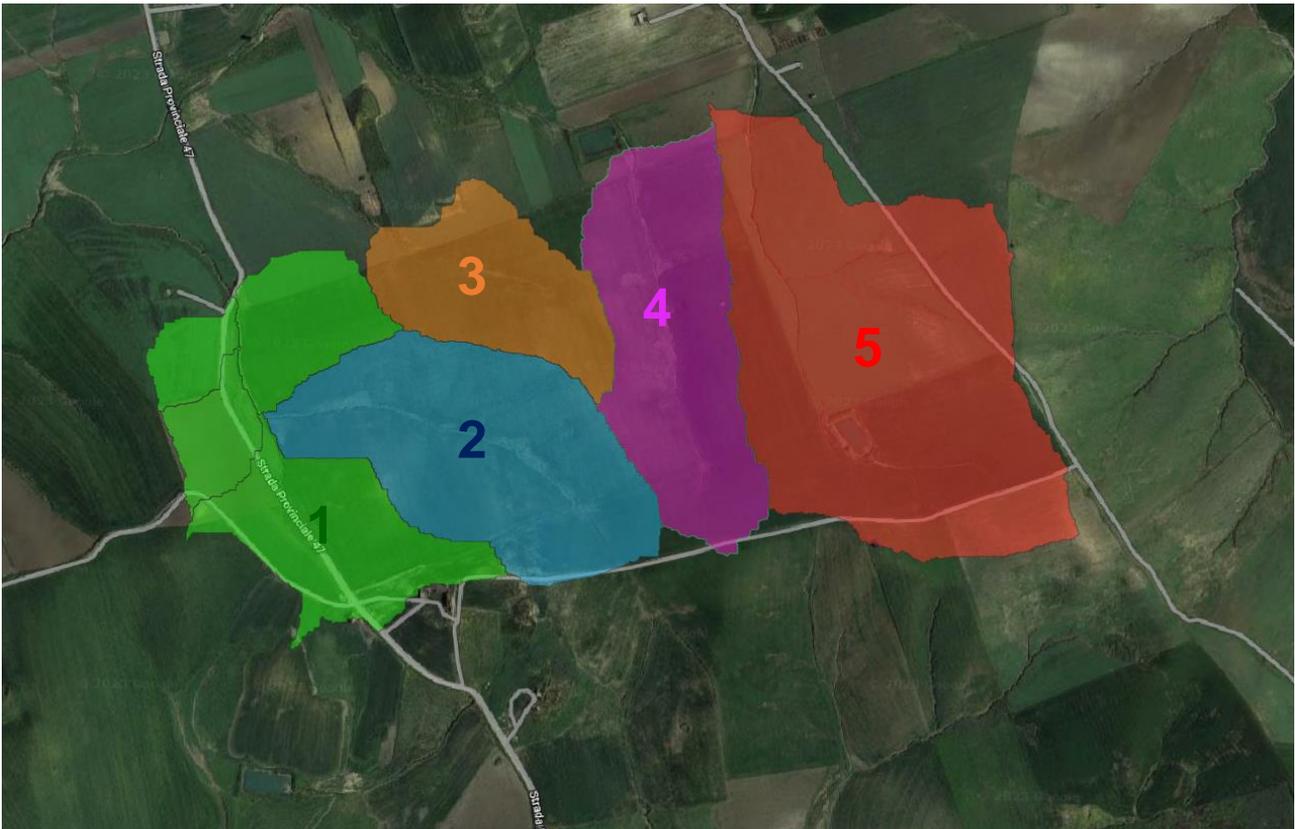


Figura 15 - Bacini idrografici analizzati

<b>Bacino</b>	<b>Superficie (kmq)</b>
1	0.224
2	0.219
3	0.109
4	0.184
5	0.391

Tabella 5 - Aree dei bacini idrografici analizzati

### 6.3 Stima del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione di un punto del bacino rappresenta il tempo necessario affinché la goccia d'acqua caduta in tale punto raggiunga la sua sezione di chiusura. Nelle applicazioni riveste particolare interesse il valore massimo, denominato tempo di corrivazione del bacino  $t_c$ , riferito al punto idraulicamente più distante dalla sezione di chiusura del bacino.

Per il calcolo di  $t_c$  esistono differenti relazioni, frequentemente utilizzata in Italia è la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{1.5 \cdot L + 4 \cdot \sqrt{A}}{0.8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $A$  in  $\text{km}^2$ ,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua, a partire dallo spartiacque, espressa in km,  $H_m$  è l'altitudine media del bacino e  $H_0$  è la quota della sezione di chiusura del bacino, espresse in m.s.l.m.

Tuttavia, nel caso di studio questa formula non appare pienamente adeguata in quanto essa venne ricavata da Giandotti utilizzando dati relativi a bacini di dimensione medio-grande, con aree compresa tra 170 e 70'000  $\text{km}^2$ , molto più estesi, quindi, dei bacini di interesse in questo studio. Per bacini di dimensioni limitate trova frequente applicazione la formula per il calcolo di  $t_c$  proposta da Vito Ferro, ricavata prendendo in considerazione misure condotte in bacini strumentati e studiati da vari autori (Cavazza, Fattorelli, Marchi, Indelicato, Villani, Ermini, Riorentino, Gentile, Trisorid, Liuzzi, Chang-Xing). Secondo tale formula il tempo di corrivazione risulterebbe funzione della sola superficie del bacino:

$$t_c = k \cdot \sqrt{S}$$

tarata su un grande numero di bacini di superficie minori di 5'500  $\text{km}^2$ , ottenendo per  $k$  il valore di 0.675. Considerando i bacini analizzati in questa relazione, i tempi di corrivazione di ognuno sono riportati in Tabella 6.

<b>Bacino</b>	<b>Superficie (<math>\text{km}^2</math>)</b>	<b><math>t_c</math> (h)</b>
1	0.224	0.32
2	0.219	0.32
3	0.109	0.22
4	0.184	0.29
5	0.391	0.42

Tabella 6 - Tempi di corrivazione dei bacini analizzati

## 6.4 Precipitazioni di breve durata – Metodo di Bell

Nei bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e dunque le precipitazioni che interessano sono intense e di breve durata, con tempi inferiori all'ora. Generalmente le osservazioni di piogge intense sono rilevate per le durate canoniche, ovvero 1,3,6,12 e 24 ore, mentre raramente sono disponibili dati relativi a eventi intensi con durate inferiori ad un'ora, anche per la difficoltà nel registrare in modo accurato con gli strumenti di misura. Dunque, nella maggior parte delle stazioni pluviometriche non sono disponibili le informazioni relative alle piogge intense di breve durata, la cui valutazione richiede quindi particolari formule in quanto l'estrapolazione delle curve di possibilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora conduce ad una sovrastima delle intensità.

Bell ha osservato che i rapporti tra le altezze di precipitazione di durata  $d$  molto breve e inferiori alle due ore e l'altezza di precipitazione oraria ( $d = 1$  ora) sono poco dipendenti dalla località in cui si verificano. Lo U.S. Water Bureau raccomanda per i tempi di pioggia inferiori ai 30 minuti l'adozione di una relazione empirica, derivata dai dati di breve durata, la quale mostra che il tempo di pioggia in minuti ha un rapporto costante con la pioggia di durata oraria a parità di tempo di ritorno. Bell ha poi dimostrato che tale costanza

dei rapporti può essere estesa fino ai valori di durata pari a 2 ore; quindi, ha proposto la seguente relazione che si adatta bene al comportamento delle osservazioni:

$$\frac{h_T^d}{h_T^{60}} = 0.54 \cdot d^{0.25} - 0.5 \quad 5 \leq d \leq 120$$

essendo  $h_T^d$  l'altezza di precipitazione relativa ad un evento di durata  $d$  riferita al tempo di ritorno  $T$ ,  $h_T^{60}$  l'altezza di precipitazione relativa ad un evento di durata oraria riferita al tempo di ritorno  $T$  e  $d$  la durata di pioggia espresso in minuti. Tali osservazioni sono state successivamente riprese da Calenda, che ha osservato che i rapporti delle curve delle massime piogge osservate risultano i seguenti:

$d$ (min)	5	10	15	20	30	45	120	240
$r_d$ (-)	0.29	0.41	0.50	0.58	0.71	0.87	1.41	2

Tabella 7 - Rapporti derivanti dall'applicazione della formula di Bell

dove  $r_d = \frac{h_d}{h_{60}}$ .

Considerando quanto appena detto e osservando che i tempi di corrivazione che danno origine alla portata massima transitante nei bacini sono inferiori all'ora, si procede all'applicazione della formula di Bell al fine di correggere le altezze di precipitazione stimate mediante le curve di possibilità pluviometrica. Si riportano le CPP per brevi durate, inferiori cioè all'ora.

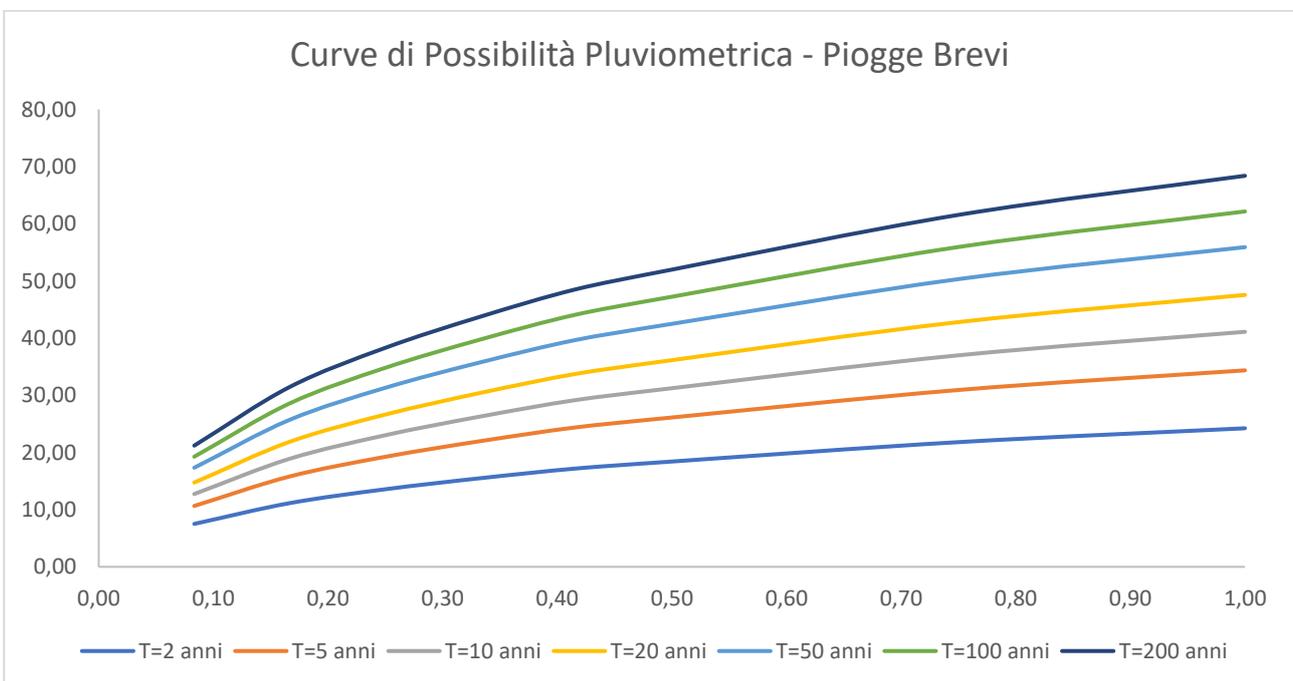


Figura 16 - Curve di possibilità pluviometrica – piogge brevi per la stazione di misura di Calatafimi (TP)

<i>T (anni)</i>	<i>Kt</i>	<i>5 min</i>	<i>10 min</i>	<i>15 min</i>	<i>20 min</i>	<i>25 min</i>	<i>30 min</i>	<i>45 min</i>	<i>60 min</i>
2	0.928	7.51	11.15	13.57	15.51	17.21	18.42	21.81	24.23
5	1.316	10.65	15.81	19.24	21.99	24.40	26.12	30.93	34.36
10	1.574	12.74	18.91	23.02	26.31	29.18	31.24	36.99	41.10
20	1.821	14.74	21.87	26.63	30.43	33.76	36.14	42.80	47.55
50	2.141	17.33	25.72	31.31	35.78	39.69	42.49	50.32	55.91
100	2.38	19.27	28.59	34.80	39.78	44.13	47.23	55.93	62.15
200	2.619	21.20	31.46	38.30	43.77	48.56	51.98	61.55	68.39
	<i>a</i>	26.113			<i>n</i>			0.4681	

Tabella 8 - Curve di possibilità pluviometrica – piogge brevi per la stazione di misura di Calatafimi (TP)

## 6.5 Stima delle portate idrologiche di piena

La stima delle portate, per i differenti tempi di ritorno analizzati, è stata eseguita applicando la formula razionale, la quale fornisce un procedimento particolarmente semplice ed efficace per la portata al colmo per assegnato periodo di ritorno  $T$  alla sezione di chiusura considerata. Secondo tale metodologia, la precipitazione viene considerata uniformemente distribuita nello spazio e nel tempo e si basa sull'utilizzo della curva di possibilità pluviometrica relativa al bacino di interesse. Dunque, fissato il tempo di ritorno  $T$ , la portata al colmo maggiore è generata dall'evento che ha durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$  del bacino:

$$Q_T = K_T \cdot a \cdot t_c^{n-1} \cdot A \cdot \varphi \cdot R(d, A)$$

dove:

- $K_T$ ,  $a$  e  $n$  sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica prima introdotti;
- $t_c$  è il tempo di corrivazione del bacino considerato chiuso alla sezione di interesse;
- $A$  è la superficie del bacino;
- $\varphi$  è il coefficiente di afflusso del bacino;
- $R(d, A)$  è il coefficiente di ragguaglio areale delle piogge: in questo contesto si assume che le piogge siano distribuite uniformemente sulla superficie, quindi si è posto  $R(d, A)=1$ .

Di fondamentale importanza nella stima della portata è il coefficiente di afflusso del bacino, che considera le perdite in funzione della copertura del bacino. Secondo il progetto *Corine Land Cover (CLC)*, nato a livello europeo per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del suolo, l'area oggetto di intervento ricade all'interno di superfici agricole utilizzate per colture intensive e di vigneti: a cui corrispondono usualmente coefficienti  $\varphi$  dell'ordine di 0.3. Tuttavia, dall'analisi della morfologia del territorio emerge la necessità di considerare anche la pendenza dei versanti collinari presenti nel sito di interesse dal momento che essa può ricoprire un ruolo importante nel ruscellamento superficiale e nella valutazione delle perdite. In particolare, la presenza di pendenze non trascurabili aumenta la velocità del deflusso, riducendo quindi la capacità di infiltrazione. Per questo motivo, ai fini del calcolo dei massimi livelli e della conseguente valutazione di compatibilità, **si è deciso di porre cautelativamente  $\varphi = 0.5$ .**

## 6.6 Risultati dell'analisi idrologica

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle analisi descritte nel capitolo corrente per i tempi di ritorno di 2, 5, 100 e 500 anni.

<b>Bacino</b>	<b><math>t_c</math> (min)</b>	<b><math>h</math> (T = 2 anni) (mm)</b>	<b><math>h</math> (T = 50 anni) (mm)</b>	<b><math>h</math> (T = 100 anni) (mm)</b>	<b><math>h</math> (T = 500 anni) (mm)</b>
1	19.16	15.26	35.21	39.14	48.85
2	18.96	15.19	35.05	38.96	48.63
3	13.38	12.91	29.78	33.11	41.33
4	17.35	14.59	33.66	37.42	46.71
5	25.33	17.24	39.77	44.21	55.19

Tabella 9 - Altezza di precipitazione critica tramite applicazione delle Curve di Possibilità Pluviometrica definite (tempi di ritorno di 2, 50, 100 e 5000 anni)

<b>Bacino</b>	<b><math>t_c</math> (min)</b>	<b><math>Q</math> (T= 2 anni) (mc/s)</b>	<b><math>Q</math> (T= 50 anni) (mc/s)</b>	<b><math>Q</math> (T= 100 anni) (mc/s)</b>	<b><math>Q</math> (T= 500 anni) (mc/s)</b>
1	19.16	1.49	3.43	3.81	4.75
2	18.96	1.46	3.38	3.75	4.69
3	13.38	0.88	2.02	2.25	2.81
4	17.35	1.29	2.97	3.30	4.12
5	25.33	2.22	5.12	5.69	7.10

Tabella 10 – Portate idrologiche di piena per i differenti bacini in analisi (tempi di ritorno di 2, 50, 100 e 500 anni)

## 7 ANALISI IDRAULICA

La verifica della compatibilità idraulica dell'intervento in progetto è stata condotta costruendo un modello bidimensionale utilizzando il software *HEC-RAS* così da analizzare la variazione dei tiranti idrici nell'area circostante per i tempi di ritorno di 2, 50, 100 e 500 anni. Si è realizzato un modello a fondo fisso, in cui sono stati studiati esclusivamente i processi idrodinamici (per ulteriori approfondimenti si rimanda alla già citata relazione geologica).

### 7.1 Codice di calcolo utilizzato

Il modello bidimensionale è stato implementato mediante l'uso del software *HEC-RAS* versione 6.4.1 sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center.

In 2D *HEC-RAS* discretizza il dominio di calcolo con griglie non strutturate costituite da celle fino a 8 lati e le equazioni di De Saint Venant che governano il moto dell'acqua sono risolte con la tecnica dei volumi finiti, la quale garantisce la conservazione della massa anche nelle fasi di *flood and dry*.

La specificità della modellazione bidimensionale con *HEC-RAS* è legata al fatto che il software è in grado di considerare nel calcolo un'informazione topografica (DTM) più dettagliata rispetto alla griglia di calcolo che utilizza. Infatti, pur mantenendo un solo punto di calcolo all'interno di ogni cella della griglia e quindi calcolando un solo livello, sulla base del DTM sotteso il pre-processore del software per ogni cella determina:

- la relazione livello-volume invasato nella cella, che utilizza nella soluzione dell'equazione di quantità;
- la relazione livello-area di deflusso per ogni contorno di scambio tra due celle, che utilizza nella soluzione dell'equazione del moto.

Questa tecnica permette, quindi, di considerare dettagli topografici non legati alla dimensione delle celle di calcolo, ma associati alla definizione del DTM di base.

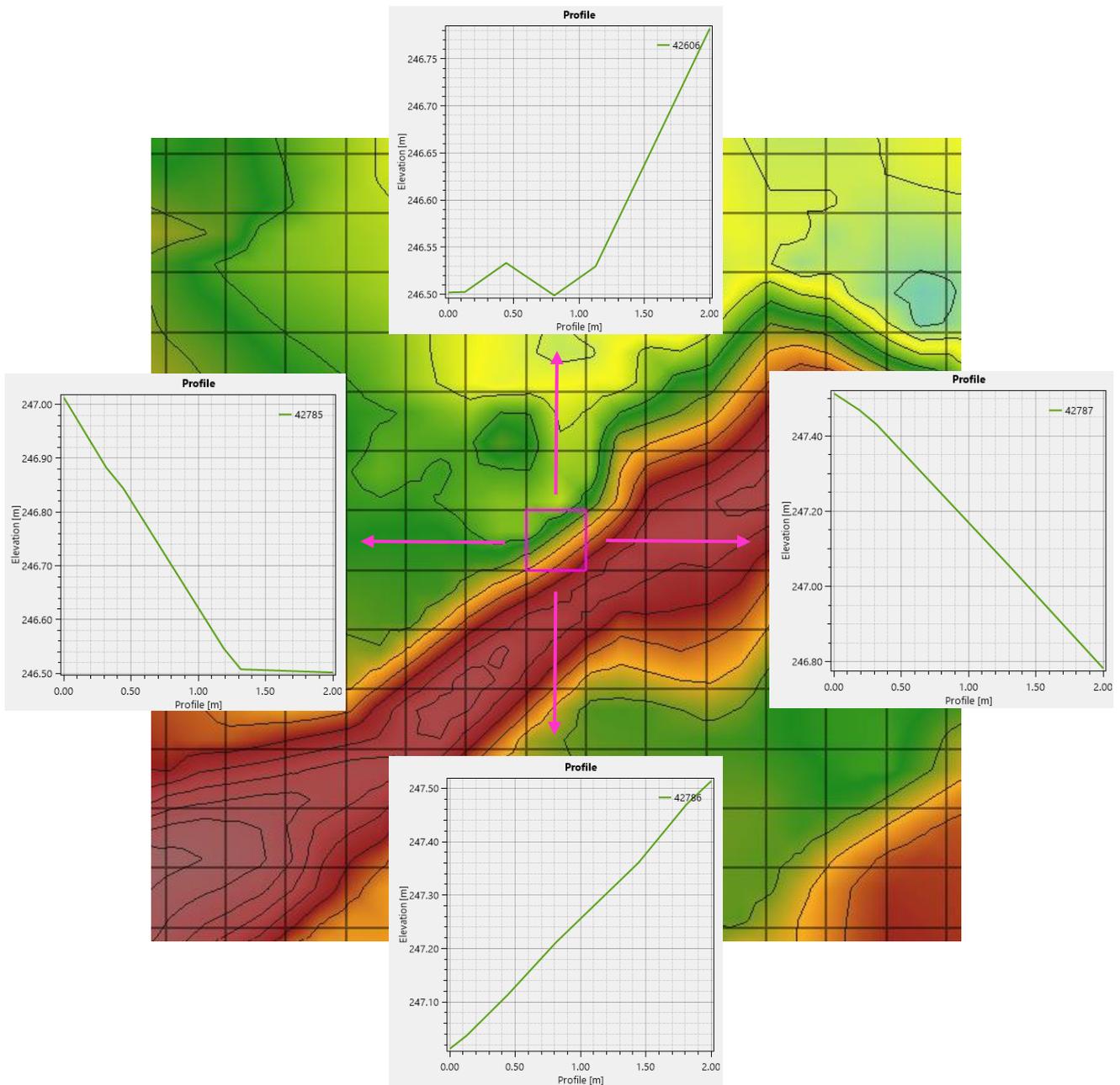


Figura 17 - Esempio di DEM: estrazione dei profili lungo i confini della cella evidenziata

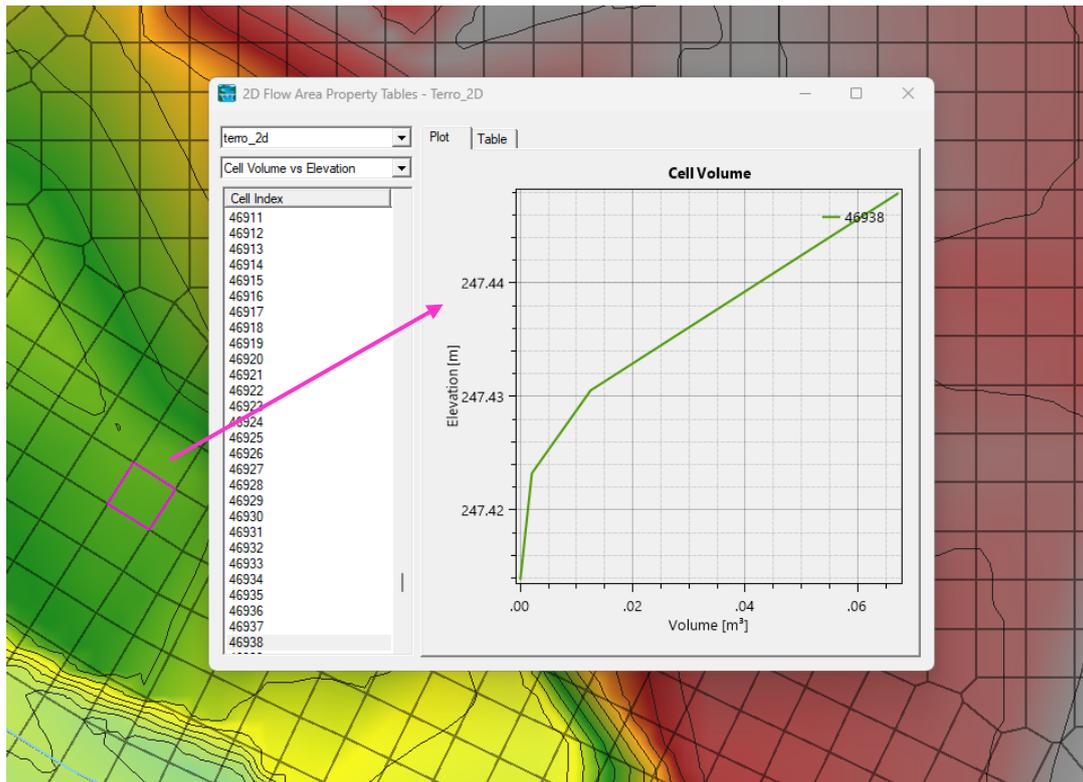


Figura 18 - Esempio di DEM: curva livello-volume invasato relativa alla cella evidenziata

Anche il post-processore del software per identificare le aree allagate utilizza il DTM, quindi all'interno di una cella di calcolo considera allagati solo i pixel del DTM che hanno una quota inferiore a quella del livello idrico calcolato per la cella stessa.

RAS consente inoltre di risolvere le equazioni di De Saint Venant trascurando i termini inerziali (*Diffusion Wave equations*) o considerando le equazioni complete (*Full Momentum equations*). Nel primo caso il modello non riproduce i vortici legati alla differenza di velocità trasversalmente alla sezione e le differenze di livello legate alla curvatura. A parità di scabrezza, quindi, la soluzione derivante dalle equazioni complete (*Full Momentum equations*) fornisce livelli maggiori della soluzione *Diffusion Wave* nei tratti in cui queste dinamiche non sono trascurabili.

Per non appesantire la trattazione e per dettagli sul funzionamento computazionale del codice di calcolo utilizzato si rimanda all'ampia documentazione disponibile al seguente indirizzo: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>.

## 7.2 Assetto geometrico dell'alveo

La zona modellata in *HEC-RAS*, rappresentata in rosso in Figura 19, copre un'area di circa 1.27 kmq, all'interno della quale ricadono i cinque bacini identificati nell'analisi idrologica e riportati in Figura 15.



Figura 19 - Schema dell'area 2D del modello idraulico costruito

Per la costruzione di un modello bidimensionale il primo passo consiste nella realizzazione del Modello Digitale del Terreno (DTM), che deve descrivere in modo accurato la topografia dell'area coperta dal dominio di calcolo. La geometria di base bidimensionale del progetto ha come superficie di riferimento il rilievo dettagliato dell'area di intervento, avente maglia 0.5x0.5 m, integrato con il DEM 2x2 m del Comune di Monreale.

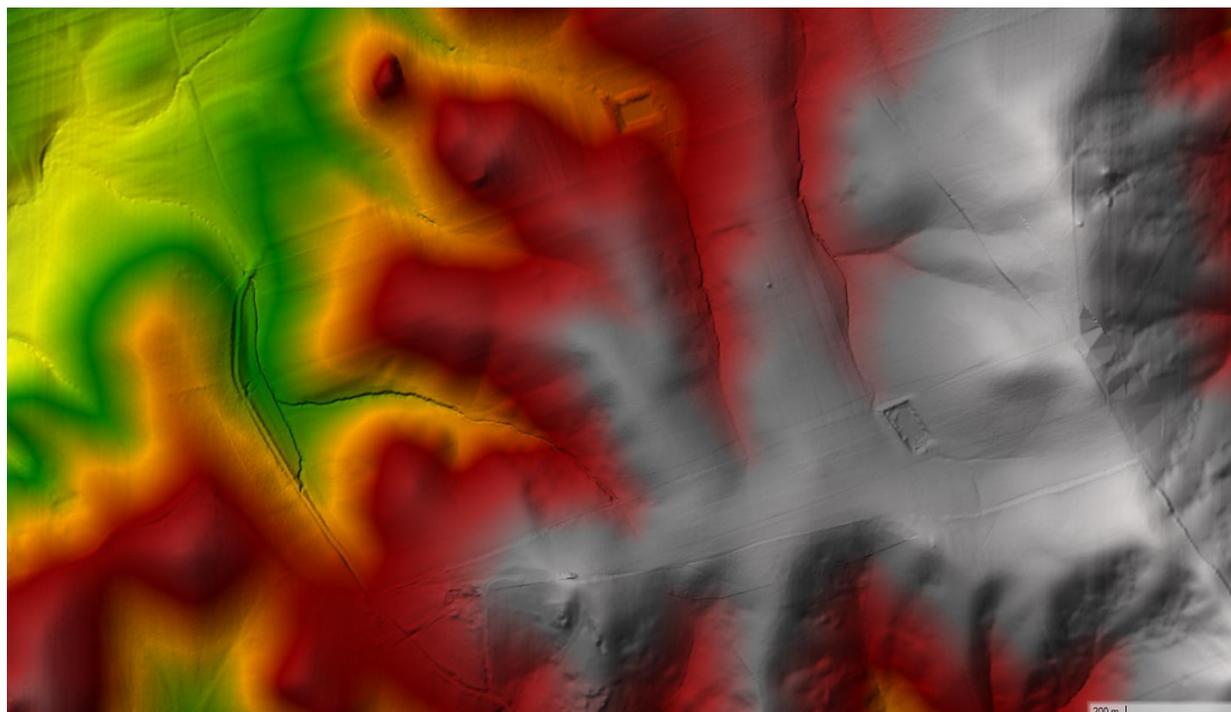


Figura 20 - DTM dell'area di progetto, generato dall'integrazione del rilievo dettagliato al DEM del Comune di Monreale

Il dominio di calcolo è stato suddiviso con una maglia bidimensionale regolare 2x2 m. Sebbene la dimensione delle celle dalla maglia abbia dimensioni superiori rispetto al DEM di base, le informazioni relative all'altitudine presenti nella superficie di riferimento vengono mantenute poiché il modello HEC-RAS costruisce, cella per cella, una curva area-livello specifica sulla base delle celle 0.5x0.5 m che la compongono. Nel complesso il modello è costituito da 50'744 celle.

### 7.3 Parametri del modello

#### 7.3.1 Condizioni al contorno in ingresso

Come condizione al contorno in ingresso è stata inserita l'altezza di precipitazione critica per l'area in esame. Nello specifico, dal momento che la condizione utilizzata prevede una precipitazione distribuita uniformemente sul sito di interesse, quindi non differenziabile per ogni bacino, si è introdotto un bacino rappresentativo dei cinque analizzati, avente caratteristiche medie, per il quale si è definita l'altezza di precipitazione critica, riportata in Tabella 11.

<i>T</i> <i>(anni)</i>	<i>h lorda</i> <i>(mm)</i>
2	15.04
50	34.69
100	38.57
500	48.14

Tabella 11 – Altezza di precipitazione lorda

Tale altezza di precipitazione è stata successivamente depurata dalle perdite idrologiche, applicando

il coefficiente di afflusso  $\varphi = 0.5$  (paragrafo 6.5 - *Stima delle portate idrologiche di piena*): si ottiene così l'altezza di precipitazione netta (Tabella 12), ovvero la condizione al contorno in ingresso del modello bidimensionale.

<b><i>T</i></b> <b><i>(anni)</i></b>	<b><i>h netta</i></b> <b><i>(mm)</i></b>
2	7.52
50	17.35
100	19.28
500	24.07

Tabella 12 - Condizione al contorno in ingresso: altezza di precipitazione netta

Si è ritenuto più opportuno imporre questo tipo di condizione in ingresso al modello così da valutare anche l'immagazzinamento di acqua nelle depressioni superficiali del terreno, che nel contesto in esame risultano numerose.

### 7.3.2 Condizione al contorno in uscita

Come condizione al contorno in uscita è stato assegnato un deflusso libero lungo i quattro lati dell'area 2D generata, il quale si ottiene nel codice di calcolo imponendo la condizione "*Normal depth*", ovvero altezza di moto uniforme calcolata per ciascun valore di portata.

### 7.3.3 Scabrezza

I calcoli idraulici sono stati effettuati con riferimento al coefficiente di scabrezza di Strickler  $k_s$  (o di Manning, essendo  $n = 1/k_s$ ) illustrati nel testo "*Ven Te Chow, Ph. D – Open Channel Hydraulics*" – *Mc Graw Hill International Editions – 1986*". Nello specifico si è adottato un valore di  $k_s$  pari a  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , caratteristico di alvei con fondo e sponde naturali con presenza di vegetazione.

## 8 RISULTATI OTTENUTI

In questo capitolo si presentano i risultati ottenuti a seguito dell'implementazione del modello bidimensionale.

Per ogni tempo di ritorno si riporta l'evoluzione della propagazione dell'acqua all'interno del reticolo presente nella zona di interesse e i valori dei tiranti idrici, delle velocità e delle altezze idriche nella situazione di massima estensione areale di allagamento.

### 8.1 Tempo di ritorno di 2 anni



Figura 21 - Propagazione dell'acqua all'inizio dell'evento nell'area di intervento (T=2 anni)

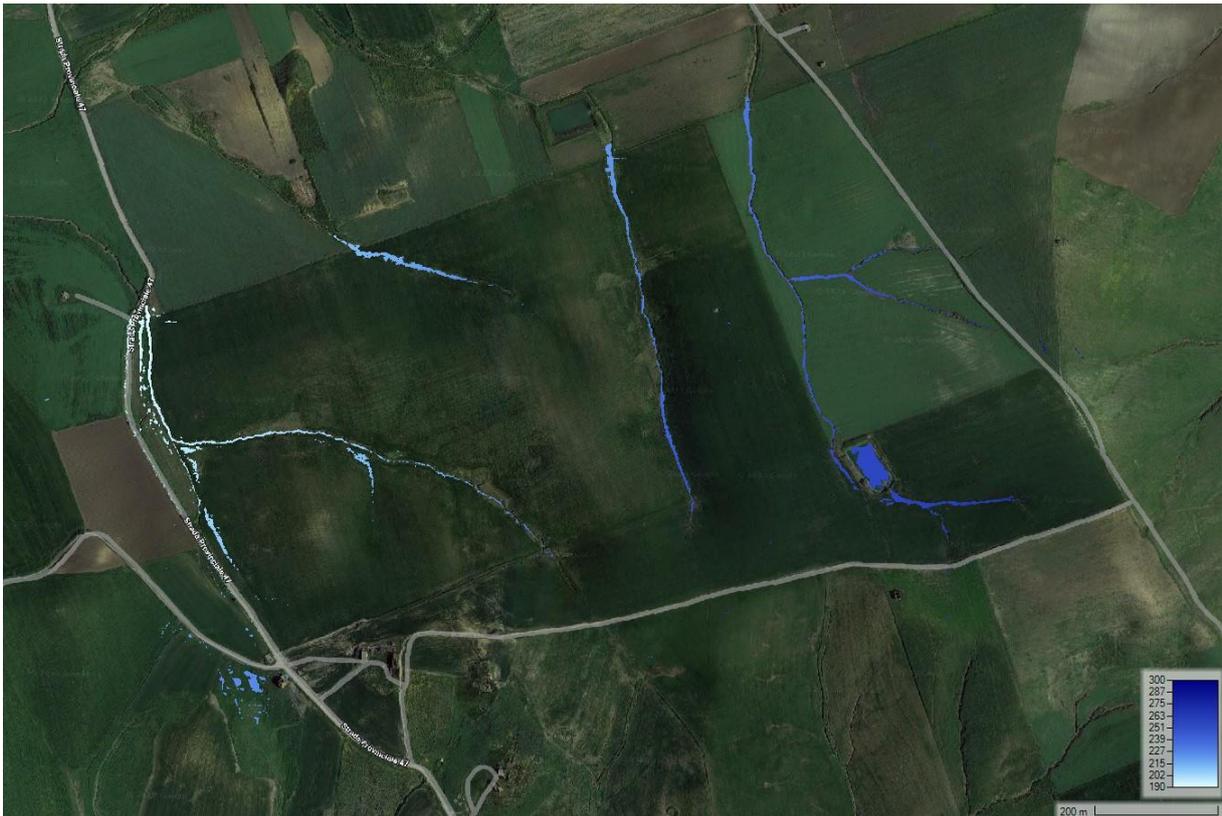


Figura 22 – Evoluzione della propagazione dell'acqua nell'area di intervento (T=2 anni)

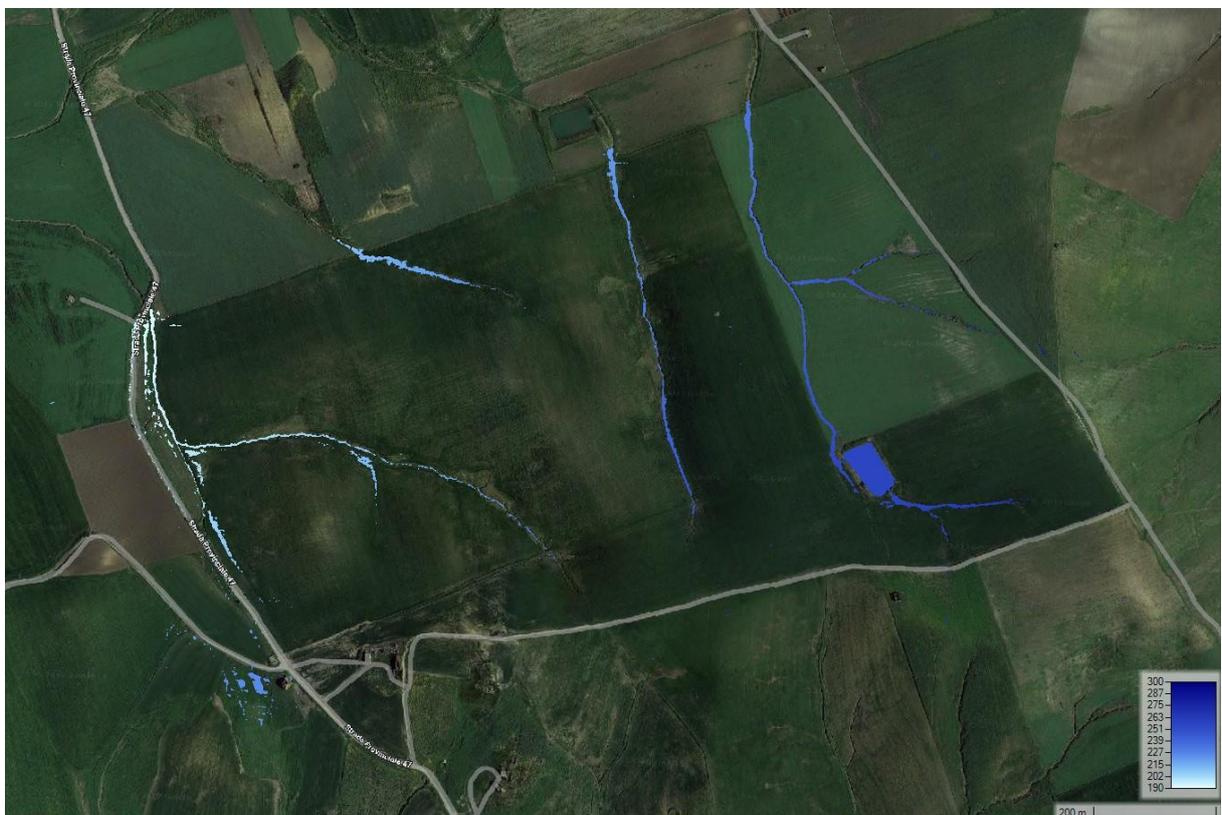


Figura 23 - Massima estensione areale dell'esondazione nell'area di studio (T=2 anni)



Figura 24 - Altezze idriche massime raggiunte per T=2 anni nell'area oggetto di intervento



Figura 25 – Tiranti idrici massimi raggiunti per T=2 anni nell'area oggetto di intervento



Figura 26 - Velocità massima raggiunta per T=2 anni nell'area oggetto di intervento

## 8.2 Tempo di ritorno di 50 anni



Figura 27 - Propagazione dell'acqua all'inizio dell'evento nell'area di intervento (T=50 anni)



Figura 28 - Evoluzione della propagazione dell'acqua nell'area di intervento (T=50 anni)

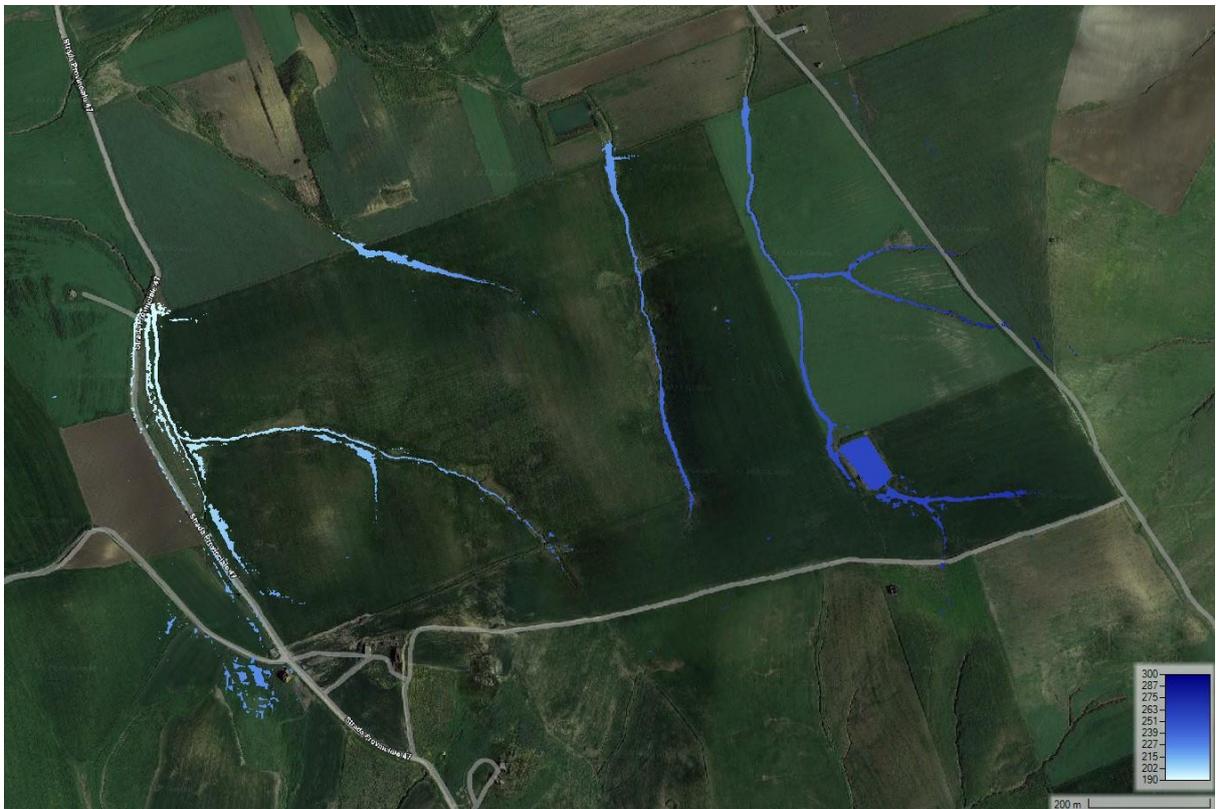


Figura 29 - Massima estensione areale dell'esondazione nell'area di studio (T=50 anni)

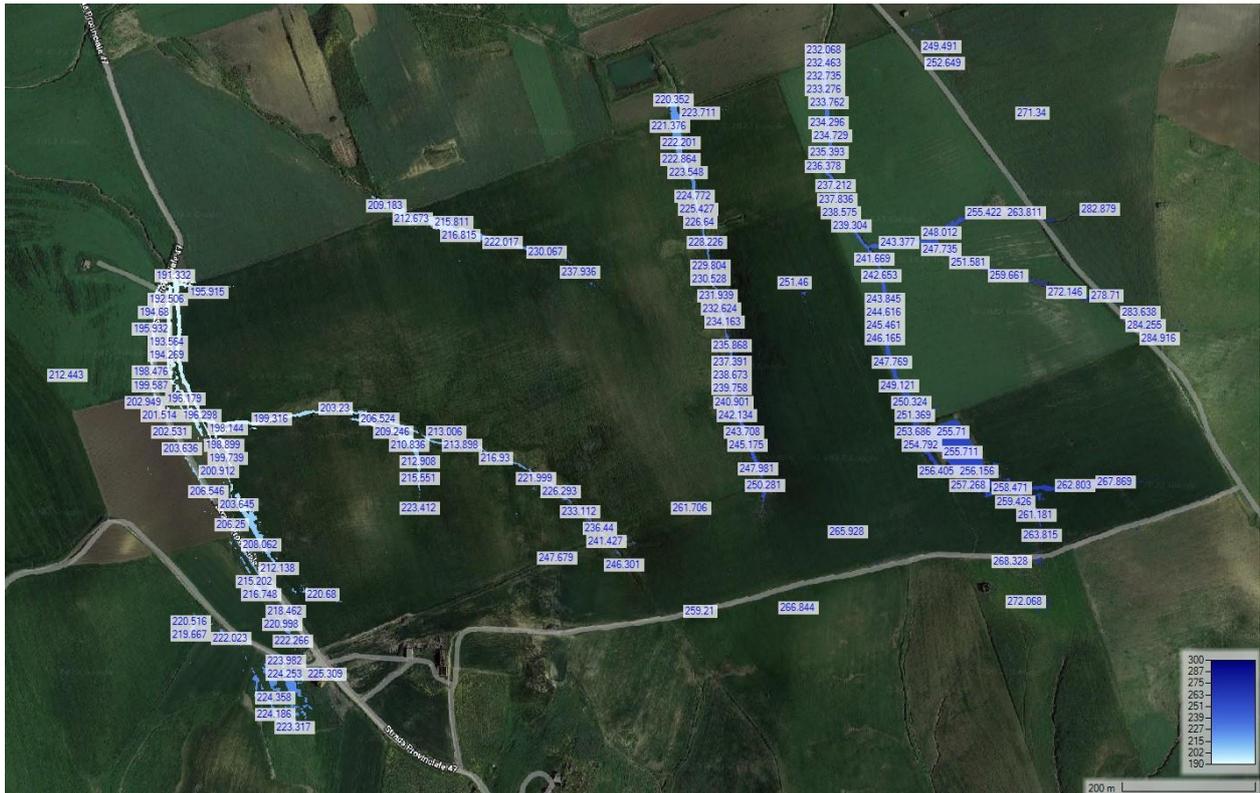


Figura 30 - Altezze idriche massime raggiunte per T=50 anni nell'area oggetto di intervento



Figura 31 - Tiranti idrici massimi raggiunti per T=50 anni nell'area oggetto di intervento

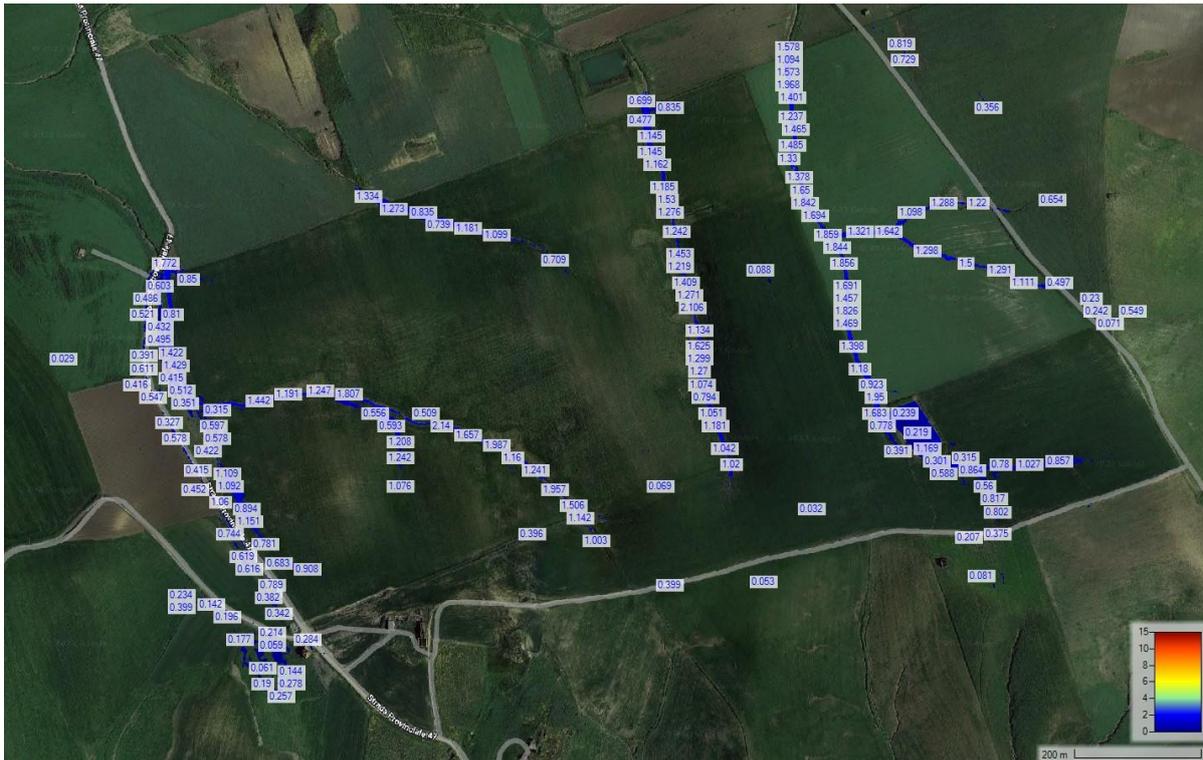


Figura 32 - Velocità massima raggiunta per T=50 anni nell'area oggetto di intervento

### 8.3 Tempo di ritorno di 100 anni

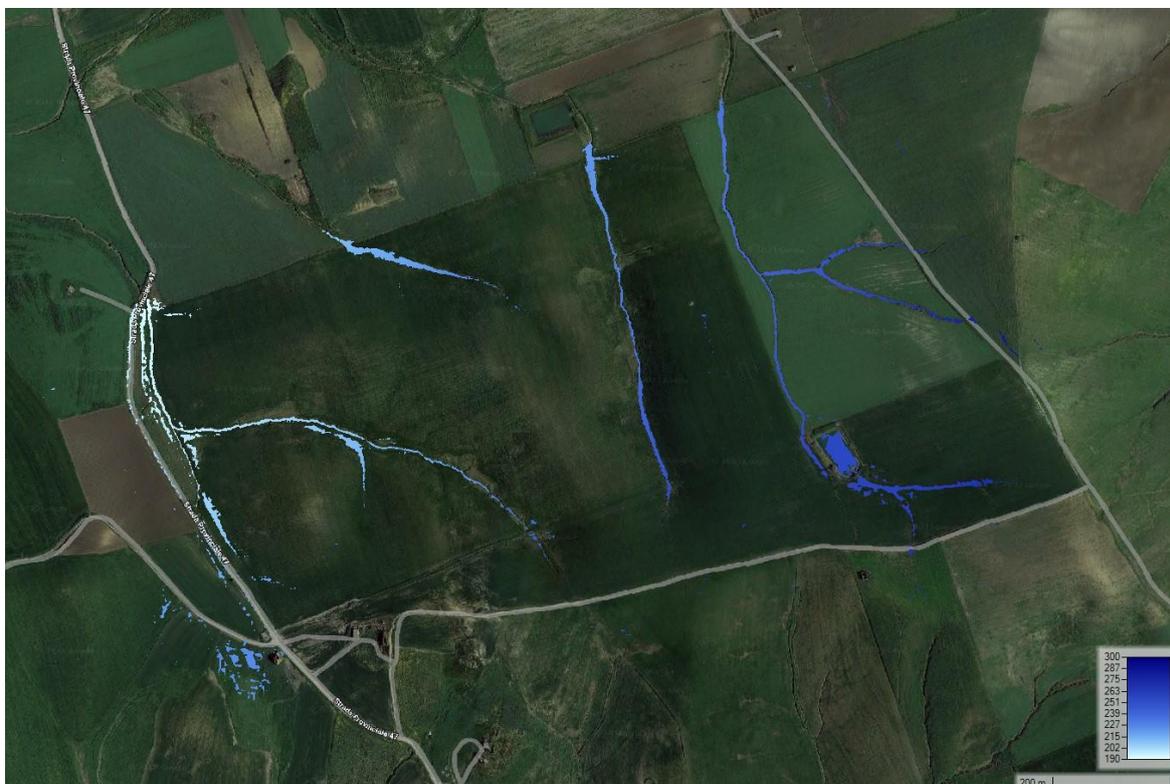


Figura 33 - Propagazione dell'acqua all'inizio dell'evento nell'area di intervento (T=100 anni)

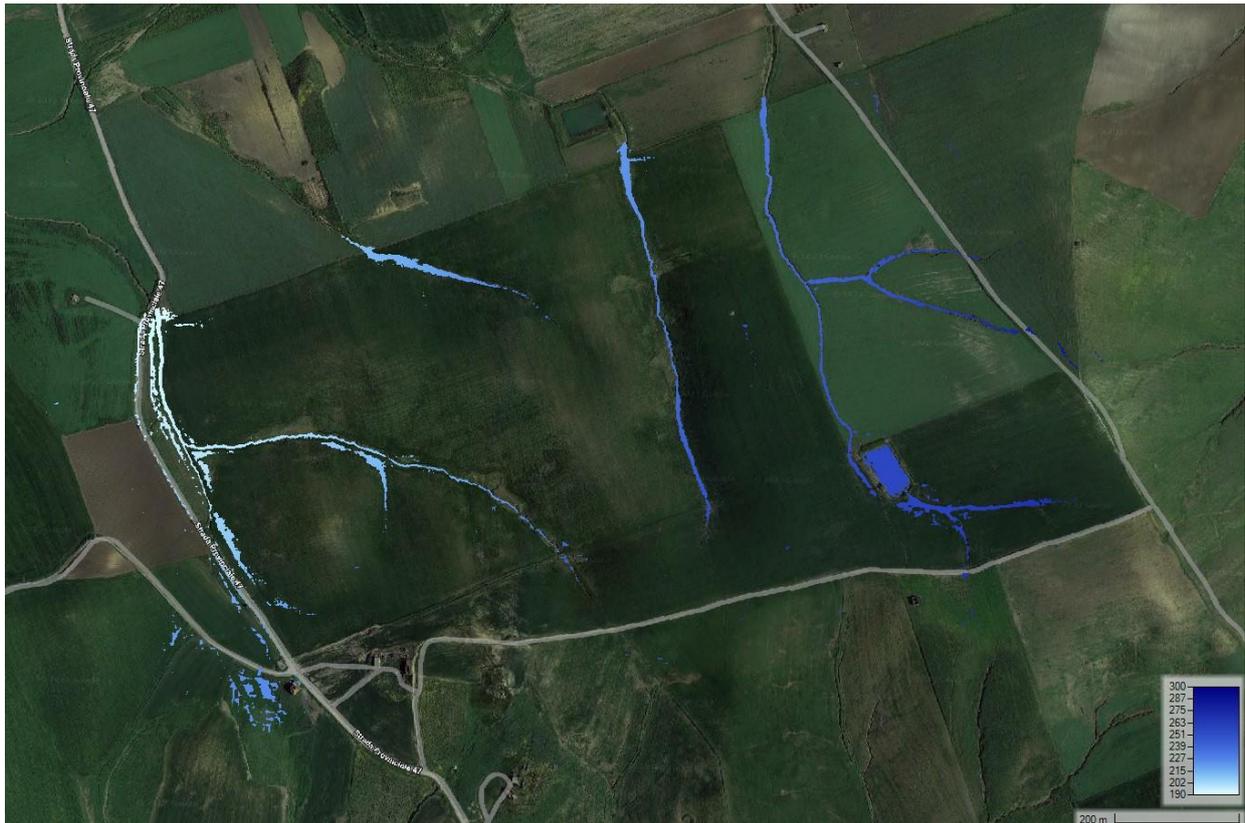


Figura 34 - Evoluzione della propagazione dell'acqua nell'area di intervento (T=100 anni)

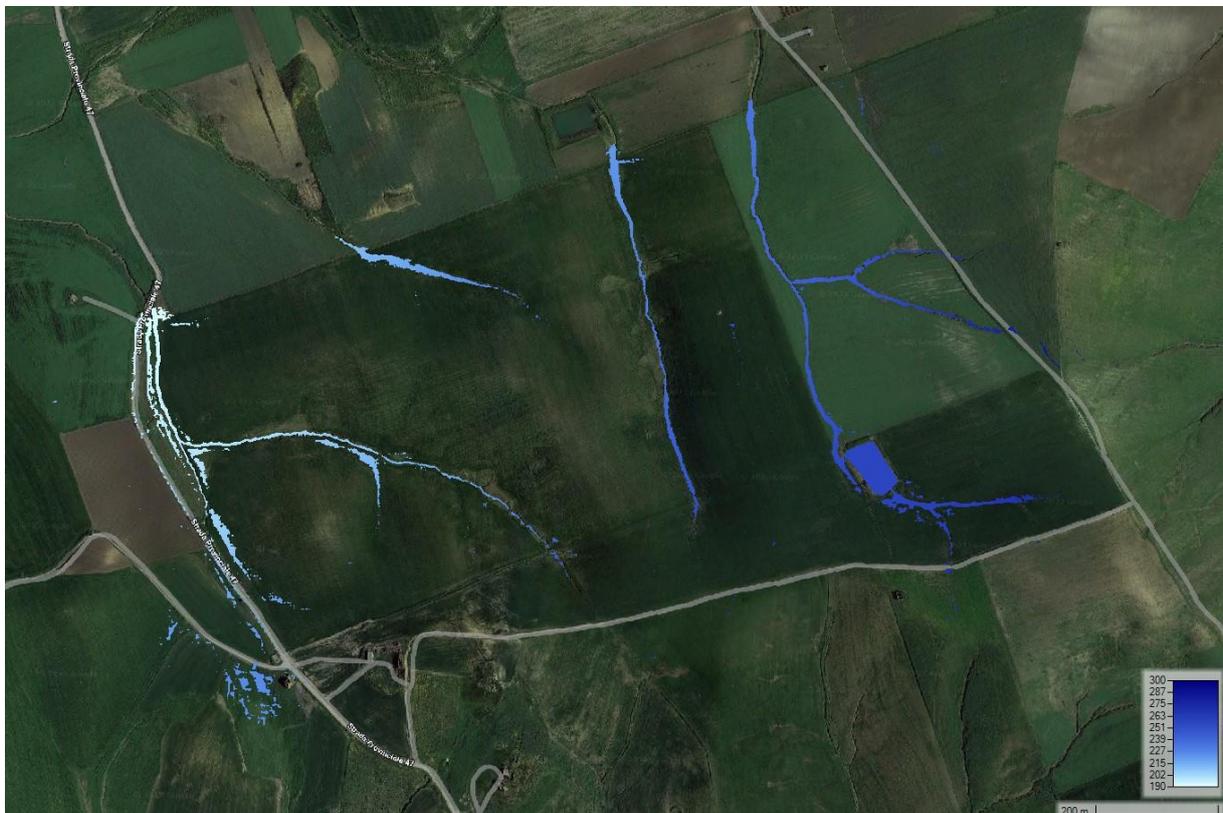


Figura 35 - Massima estensione areale dell'esondazione nell'area di studio (T=100 anni)

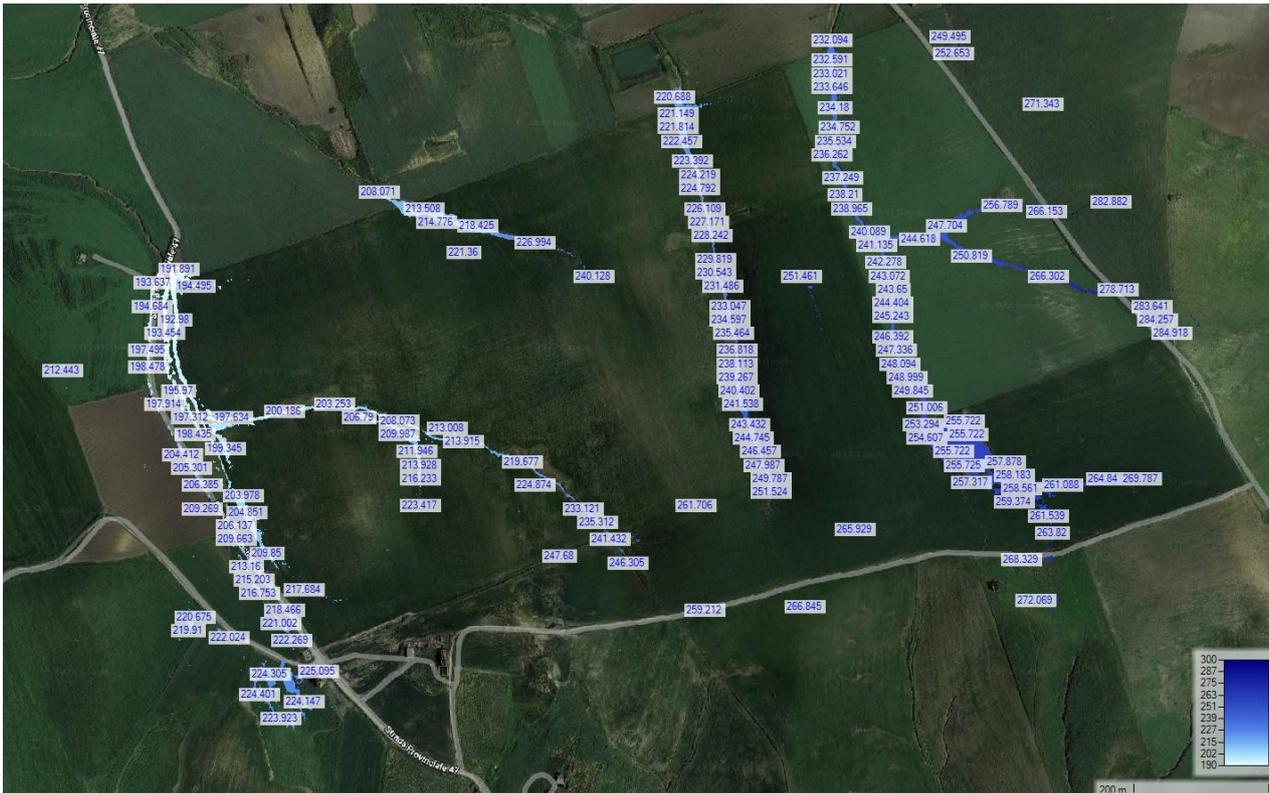


Figura 36 - Altezze idriche massime raggiunte per T=100 anni nell'area oggetto di intervento



Figura 37 - Tiranti idrici massimi raggiunti per T=100 anni nell'area oggetto di intervento

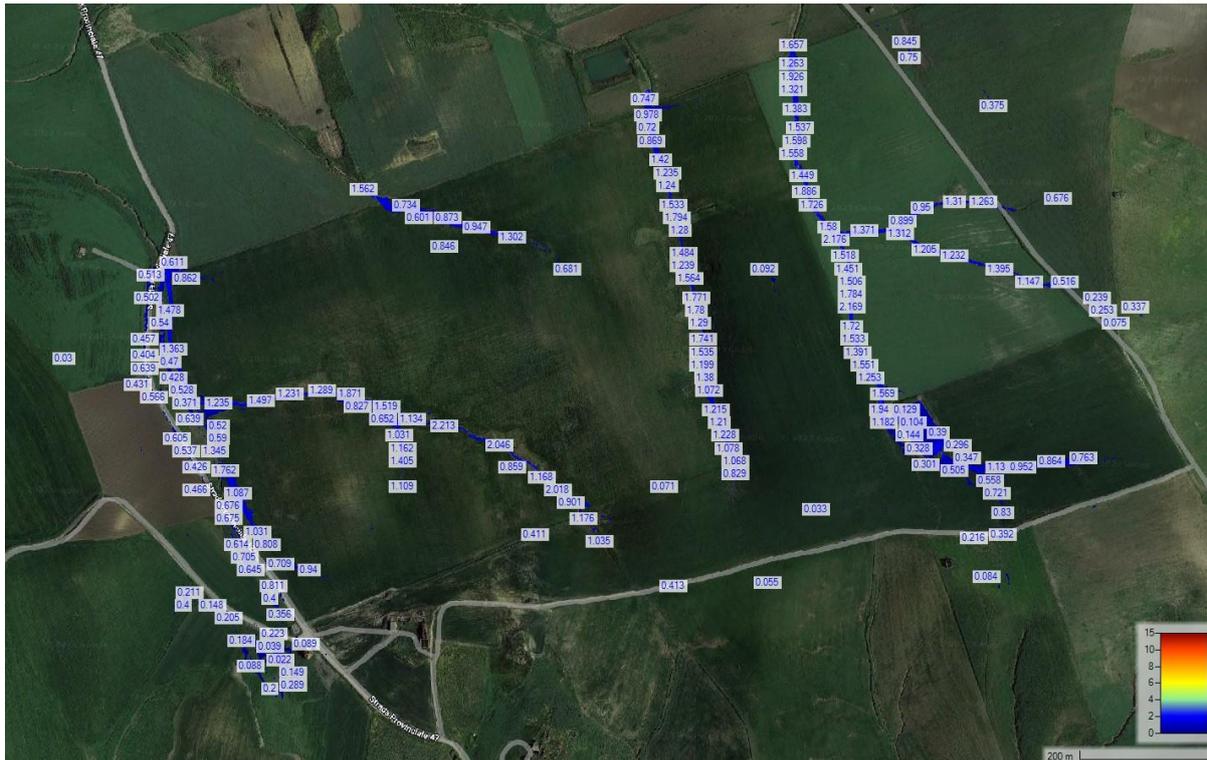


Figura 38 - Velocità massima raggiunta per T=100 anni nell'area oggetto di intervento

### 8.4 Tempo di ritorno di 500 anni

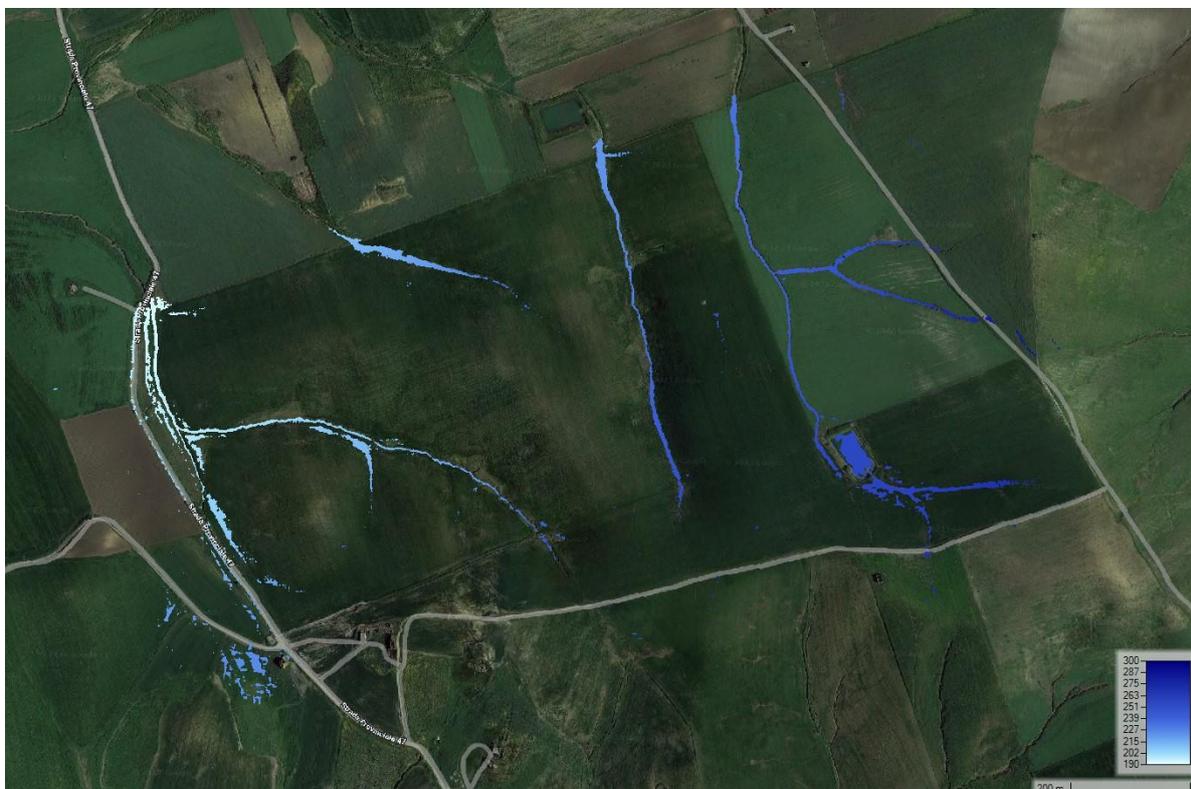


Figura 39 - Propagazione dell'acqua all'inizio dell'evento nell'area di intervento (T=500 anni)

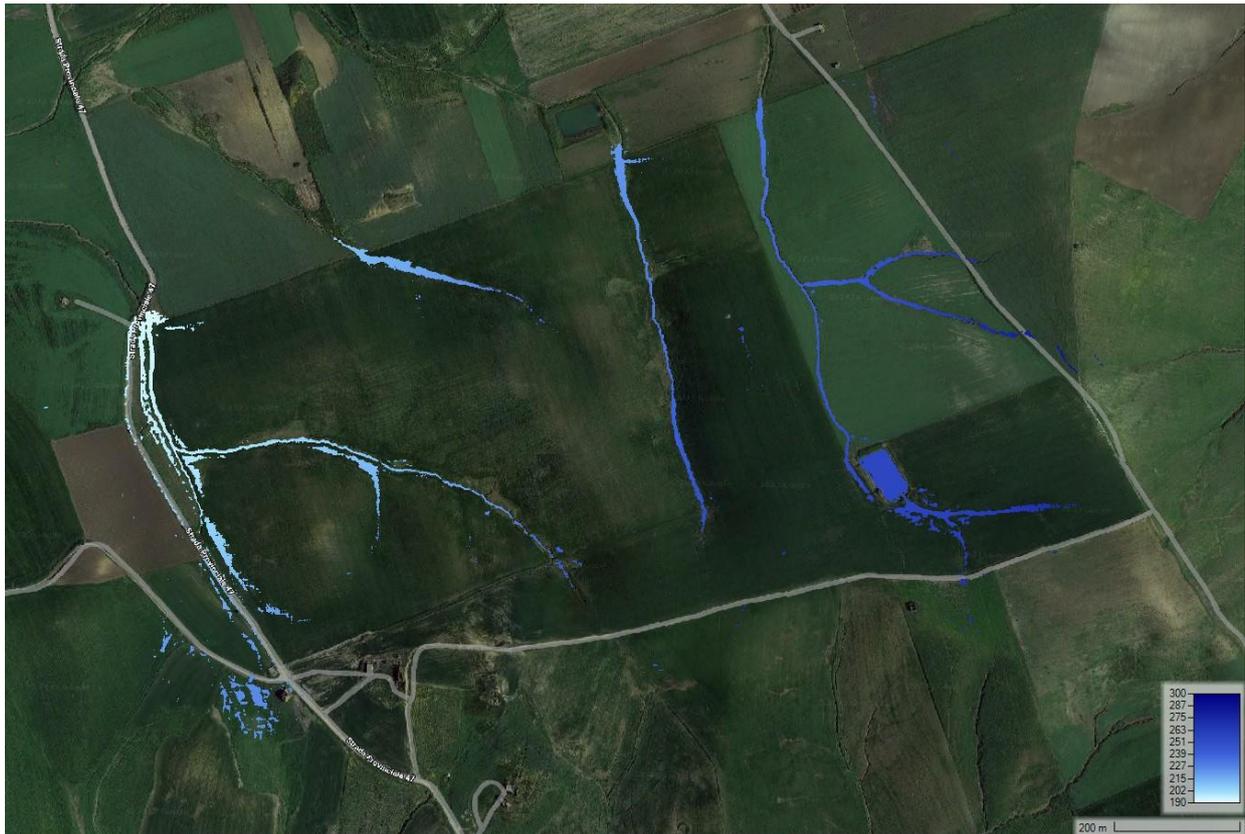


Figura 40 - Evoluzione della propagazione dell'acqua nell'area di intervento (T=500 anni)

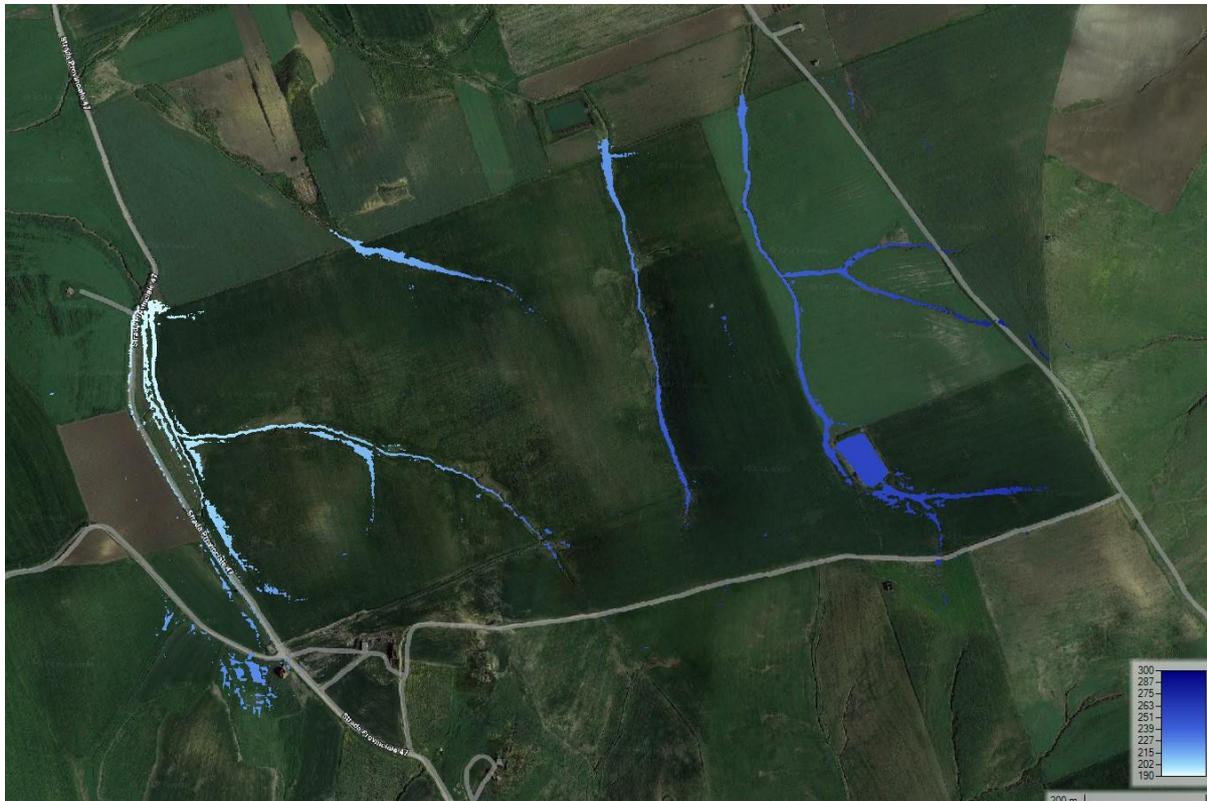


Figura 41 - Massima estensione areale dell'esondazione nell'area di studio (T=500 anni)

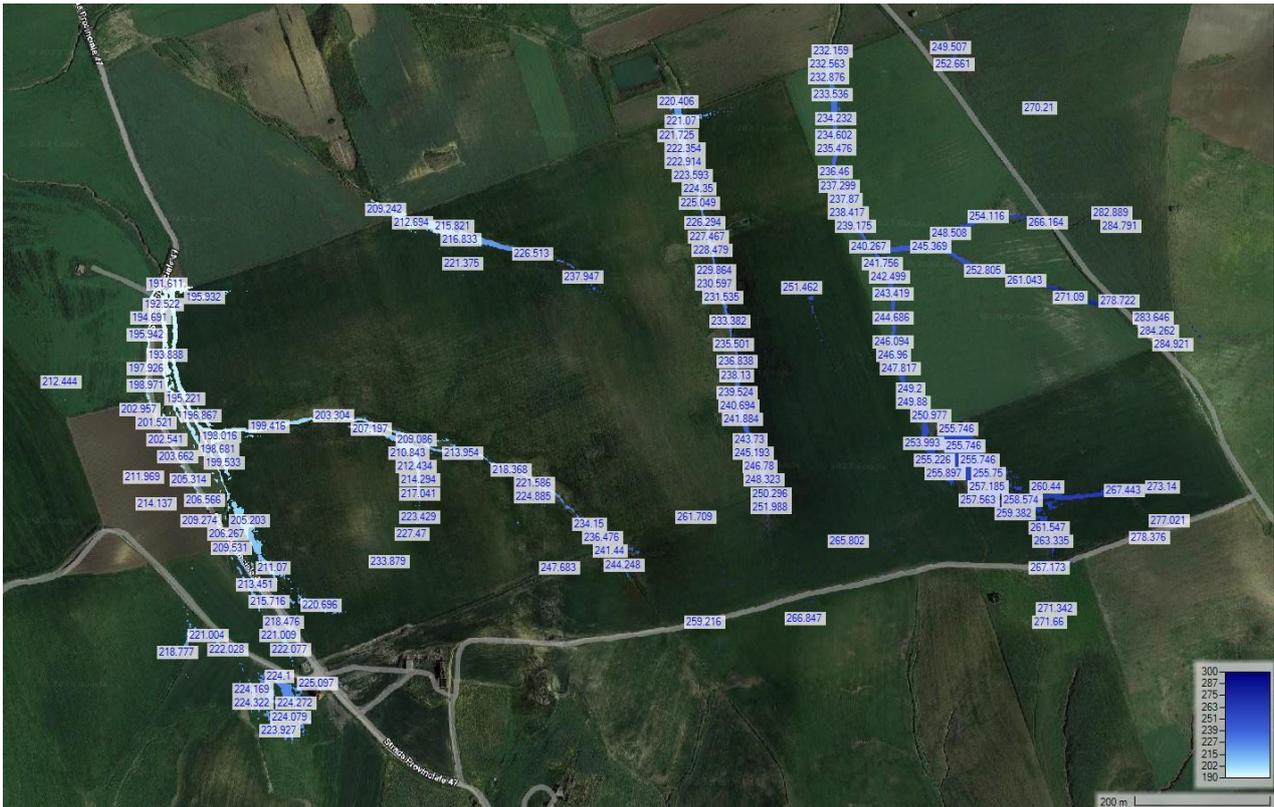


Figura 42 - Altezze idriche massime raggiunte per T=500 anni nell'area oggetto di intervento



Figura 43 - Tiranti idrici massimi raggiunti per T=500 anni nell'area oggetto di intervento



Figura 44 – Velocità massima raggiunta per T=500 anni nell'area oggetto di intervento

## 8.5 Confronto tra i tempi di ritorno e analisi dei risultati ottenuti

Si riportano i livelli idrici in alcune sezioni di interesse (Figura 45) in caso di massima estensione areale dell'allagamento per i differenti tempi di ritorno analizzati.

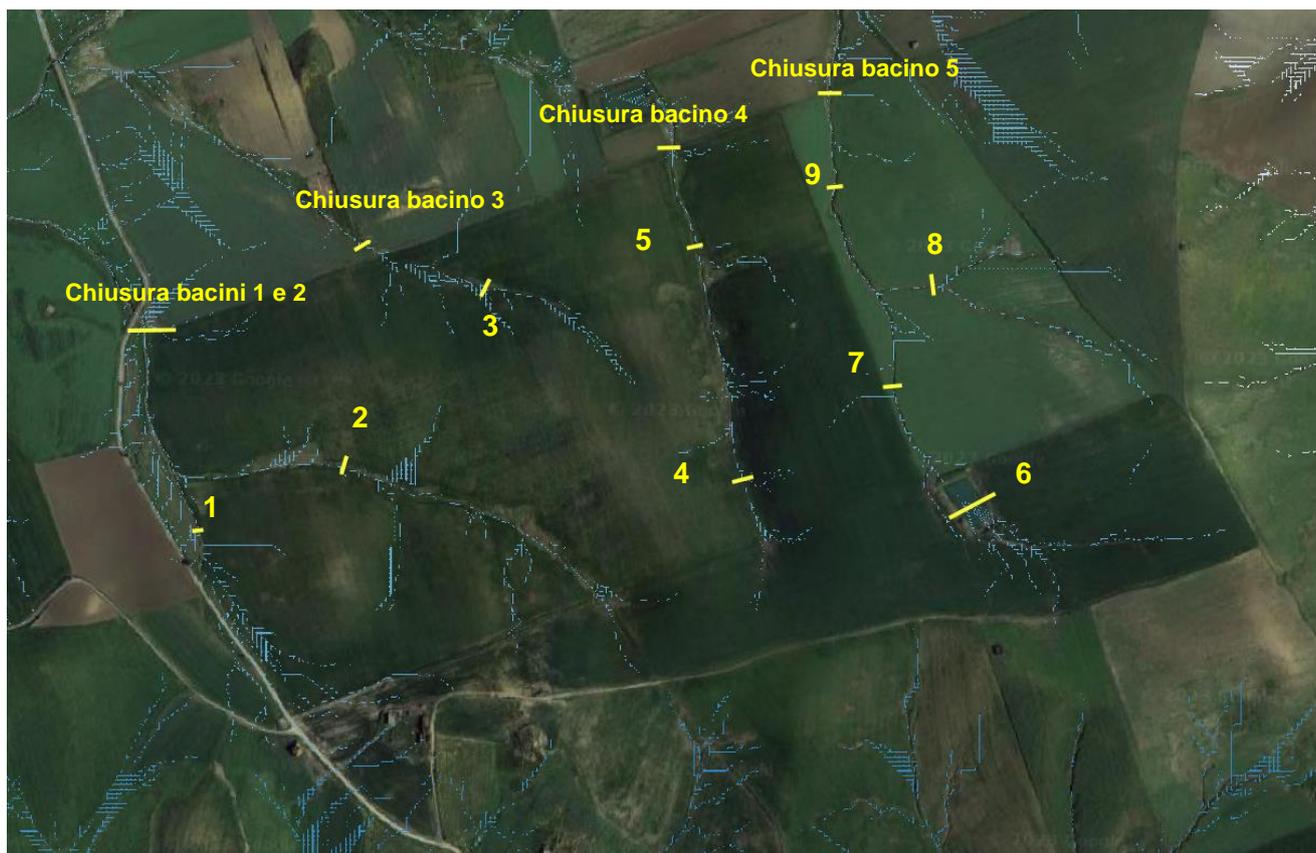


Figura 45 - Sezioni di interesse

Sezione	Terreno (m s.l.m.)	WSE Max (T=2 anni) (m s.l.m.)	WSE Max (T=50 anni) (m s.l.m.)	WSE Max (T=100 anni) (m s.l.m.)	WSE Max (T=500 anni) (m s.l.m.)
1	198.99	199.38	199.52	199.54	199.58
2	204.97	205.17	205.31	205.33	205.42
Chiusura 1+2	191.18	191.36	191.59	191.62	191.71
3	221.44	221.51	221.58	221.6	221.63
Chiusura 3	208.32	208.51	208.64	208.64	208.67
4	242.93	243.02	243.08	243.1	243.12
5	224.42	224.92	225.12	225.14	225.19
Chiusura 4	220.63	220.71	220.84	220.84	220.89
6	254.36	255.63	255.71	255.72	255.75
7	245.67	246.05	246.13	246.14	246.18
8	245.28	245.4	245.46	245.49	245.53
9	234.09	234.93	235.23	235.26	235.33
Chiusura 5	231.91	232.24	232.41	232.43	232.49

Tabella 13 – Livelli idrici nelle sezioni di interesse

In generale si osserva un aumento del livello all'aumentare del tempo di ritorno, incremento tuttavia nell'ordine di qualche cm tra uno scenario e un altro. In particolare, analizzando i tempi di ritorno di 100 e 500

anni, i quali costituiscono il riferimento per la definizione del franco idraulico, si nota una differenza tra i livelli che varia da un minimo di 2 cm (per la sezione n.4) ad un massimo di 9 cm osservato in corrispondenza della sezione n.2.

Inoltre, è possibile notare che il massimo livello per T pari a 500 anni è sempre contenuto all'interno dell'alveo e non si osservano esondazione nell'area di progetto. Si evidenzia che per la conformazione stessa del terreno, caratterizzata da variazioni altimetriche frequenti, si ha la presenza di depressioni in cui si può generare ristagno d'acqua: è opportuno, tuttavia, sottolineare che in tali avvallamenti si hanno livelli di qualche cm (1-5 cm), come si osserva in Figura 46, che saranno valutati in fase di progettazione per la realizzazione dell'impianto in tali aree.

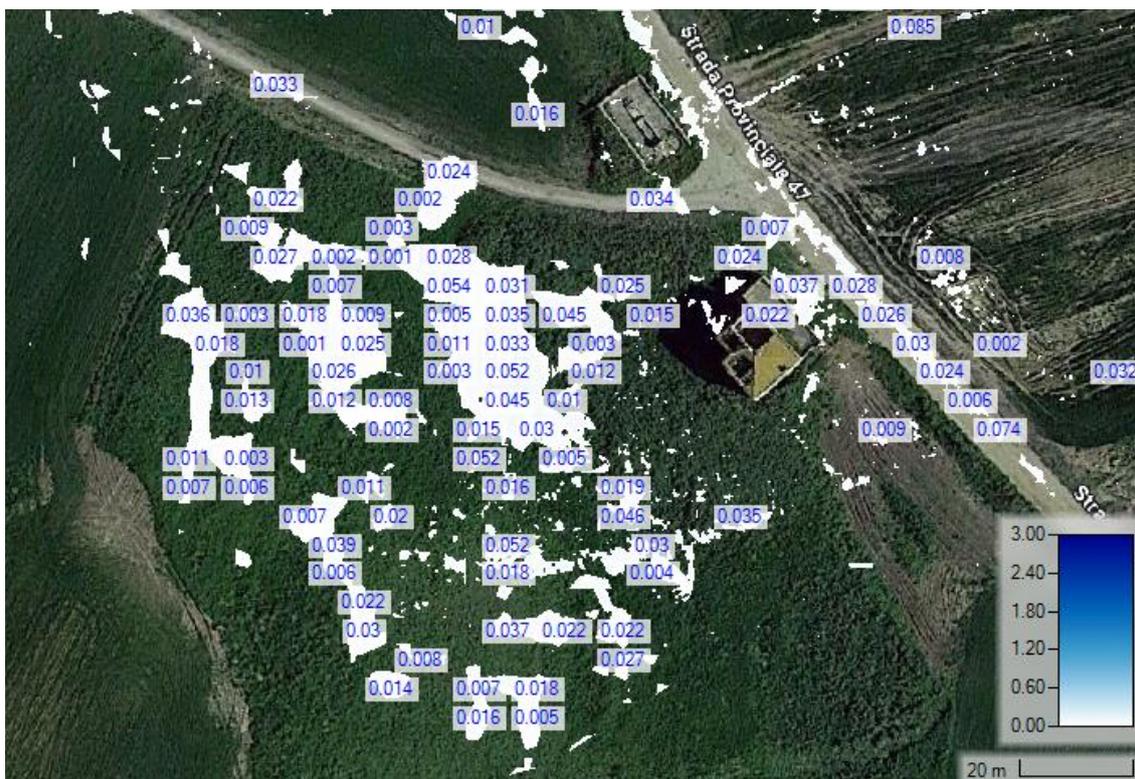


Figura 46 - Tiranti idrici massimi raggiunti per T=500 anni in una depressione del terreno

Per salvaguardare le aree limitrofe al corso d'acqua è necessaria l'introduzione di una fascia di rispetto, così da non diminuire l'area di deflusso della corrente. Si evidenzia che la fascia che si applicherà al progetto in esame è costituita dalla più gravosa tra quella individuata dai tiranti idrici dell'evento di piena 500-ennale, con un adeguato franco di sicurezza idraulico, e quella prevista dall'art.96, lettera f), del R.D. 523/1904, secondo cui

*“sono lavori ed atti vietati in modo assoluto sulle acque pubbliche, loro alvei, sponde e difese i seguenti: ... f) Le piantagioni di alberi e siepi, le fabbriche, gli scavi e lo smovimento del terreno a distanza dal piede degli argini e loro accessori come sopra, minore di quella stabilita dalle discipline vigenti nelle diverse località, ed in mancanza di tali discipline a distanza minore di metri quattro per le piantagioni e smovimento del terreno e di metri dieci per le fabbriche e per gli scavi”.*

Ai fini del presente studio si è deciso di considerare quale franco idraulico 1 m rispetto ai risultati dei livelli ottenuti per la piena catastrofica (T=500 anni). Si riporta nell'immagine seguente la rappresentazione del limite derivato dal franco idraulico stesso. **Le opere realizzate esternamente a tale limite sono idraulicamente compatibili.**



Figura 47 – Limite derivato dal franco idraulico di 1 m per la piena 500-ennale

## 9 RISOLUZIONE INTERFERENZE CON IL LAYOUT DI PROGETTO

### 9.1 Interferenze dell'impianto agrifotovoltaico in progetto

Dall'analisi del layout di progetto emergono cinque punti di interferenza tra la viabilità da realizzarsi e gli impluvi presenti nel sito di intervento. In Figura 48 si illustrano le interferenze oggetto di trattazione in questo capitolo.



Figura 48 - Interferenze tra layout di progetto e viabilità

Per la risoluzione di tali interferenze si è ipotizzato l'utilizzo di uno scatolare in c.a. Sebbene nell'area di interesse siano presenti dei semplici impluvi, non appartenenti dunque al reticolo idrografico, il dimensionamento delle opere di attraversamento viene effettuato in ottemperanza alle Norme Tecniche delle Costruzioni vigenti considerando quale portata di riferimento quella corrispondente al tempo di ritorno di 500 anni, quindi superiore alla duecentennale prevista dalle norme stesse.

Il dimensionamento è stato svolto considerando i risultati delle simulazioni idrauliche ottenuti con il codice di calcolo HEC-RAS.

Il modello bidimensionale implementato per la verifica della compatibilità idraulica dell'intervento definisce i valori di portata e tiranti idrici in corrispondenza delle sezioni di interferenza tra viabilità e impluvi esistenti (Tabella 14).

<b>Interferenza</b>	<b>Q<sub>P</sub> (mc/s)</b>	<b>h (m)</b>
1	1.84	0.50
2	3.54	0.49
3	2.22	0.29
4	1.24	0.34
5	0.46	0.13

Tabella 14 - Portate e tiranti idrici in corrispondenza delle sezioni di interferenza per T=100 anni

Per il dimensionamento dello scatolare è stato previsto di garantire il transito della portata di progetto con franco idraulico di almeno 1.50 m sul tirante idrico, come previsto dalle Norme Tecniche per la Costruzione del 2018: per questo motivo, si ipotizzata un'altezza degli scolarari pari a 2.00 m con larghezza di base di 2.00 m, garantendo così il rispetto del franco idraulico per tutte le interferenze illustrate.

Dall'analisi del modello digitale del terreno utilizzato per il modello bidimensionale, riportato in Figura 20, si sono definite le pendenze medie dell'alveo in corrispondenza delle interferenze:

<b>Interferenza</b>	<b>i (-)</b>
1	0.08
2	0.02
3	0.05
4	0.04
5	0.09

Tabella 15 - Pendenza media dell'alveo in corrispondenza delle interferenze

Ipotizzando una larghezza della sezione idraulica degli scolarari pari a 2.00 m, la loro capacità di convogliamento è stata calcolata attraverso una verifica idraulica in regime di moto uniforme attraverso l'applicazione della formula di Chézy considerando quale coefficiente di scabrezza il coefficiente di Gauckler-Strickler  $k_s$ . I risultati sono riportati nella tabella sottostante, dove  $Q_{max}$  rappresenta la massima portata convogliabile dallo scatolare.

<b>Interferenza</b>	<b>H (m)</b>	<b>B (m)</b>	<b>i (-)</b>	<b>Q<sub>max</sub> (mc/s)</b>
1	2.00	2.00	0.08	25.90
2	2.00	2.00	0.02	14.19
3	2.00	2.00	0.05	20.48
4	2.00	2.00	0.04	18.32
5	2.00	2.00	0.09	27.47

Tabella 16 - Capacità di convogliamento degli scolarari per le interferenze rilevate

Confrontando le portate massime convogliabili dagli scolarari  $Q_{max}$  (Tabella 16) e le portate di progetto  $Q_P$  (Tabella 14) si osserva che per ogni interferenza le dimensioni degli scolarari definite garantiscono il transito della portata di progetto per un tempo di ritorno 500-ennale con il franco previsto dalla normativa vigente.

## 9.2 Interferenze delle opere di connessione

Il cavo di connessione in AT che va dall'area di impianto al punto di connessione è stato sviluppato interamente lungo strade esistenti, SP47 prima per poi seguire la SP46, proseguire sulla SP119 ed attraversare sia la rete ferroviaria sia la rete autostradale E90 per giungere al punto di connessione.

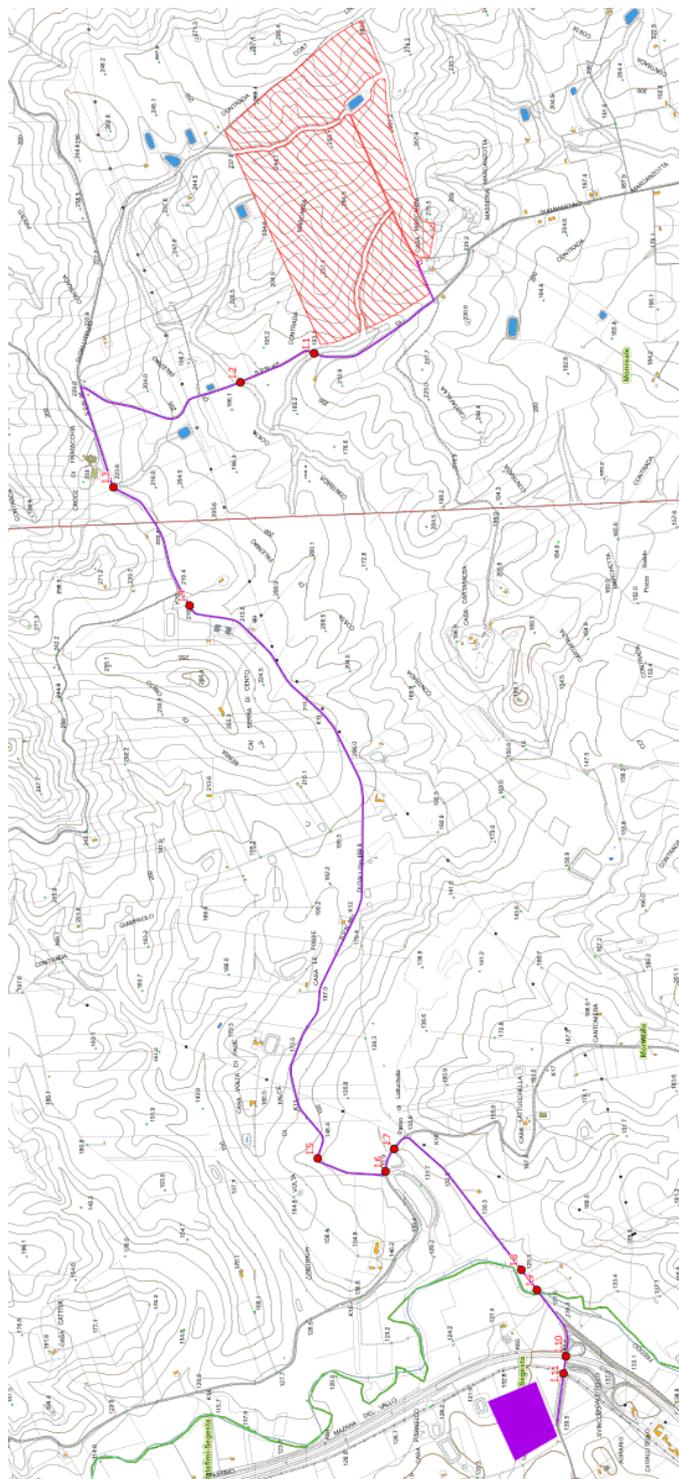


Figura 49 - Percorso del cavidotto AT (in viola) con identificazione delle interferenze (in rosso)

Si riscontrano n°11 interferenze di cui n°9 con il reticolo idrografico indicato nella Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 (edizione ATA 2012-2013) – interferenze da I1 a I9. Per le interferenze I8 e I9 il PAI ed il PGRA indicano una pericolosità idraulica compresa tra P1 e P2 (Figura 50).

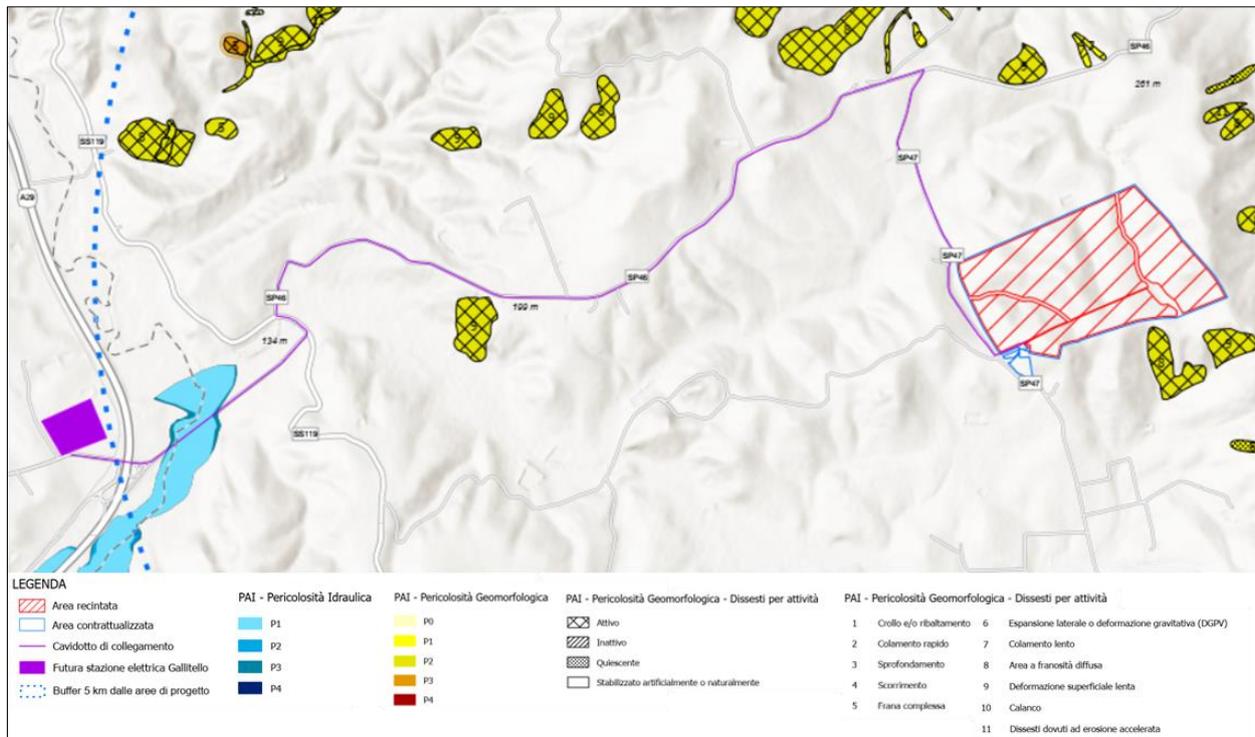


Figura 50 - Pericolosità idraulica e geomorfologica del PAI con inserimento del tracciato del cavidotto AT (in viola)

Le soluzioni proposte per la risoluzione delle interferenze con tale reticolo idrografico sono di tipo ‘trenchless’, ovvero una tipologia di interrimento del cavo che non prevede il tradizionale scavo a cielo aperto. Esempi di tecnologie trenchless sono TOC, microtunnel e spingitubo. Nelle interferenze individuate è stata prevista l’adozione della TOC, ma, in accordo col gestore, possono essere prese in considerazione altre tecnologie trenchless minormente invasive.

Per tali attraversamenti, seppure eseguiti con tecnica ‘trenchless’ ed in subalveo, sarà necessario ottenere in sede di AU una Autorizzazione Idraulica (punto 4 di D.S.G. n.187/2022). In ottemperanza all’art.7 delle NTA del PGRA ed in particolare in osservanza alle “*Directive tecniche per la verifica di compatibilità idraulica di ponti e attraversamenti*”, si specifica che in sede di progettazione esecutiva tali attraversamenti saranno definiti in modo da non interferire con la sezione idraulica di deflusso e mantenere un idoneo ricoprimento da verificare preferibilmente con supporto di indagini non distruttive.

Di seguito si elencano le interferenze e le relative modalità di risoluzione:

<b>Interferenza</b>	<b>Coord X [EPSG 32633]</b>	<b>Coord Y [EPSG 32633]</b>	<b>Risoluzione</b>
<i>I.1</i>	324796,3336	4193275,632	Trenchless o “no dig”
<i>I.2</i>	324681,1452	4193631,107	Trenchless o “no dig”
<i>I.3</i>	324221,5177	4194260,397	Trenchless o “no dig”
<i>I.4</i>	323636,5134	4193938,286	Trenchless o “no dig”
<i>I.5</i>	320974,3051	4193504,821	Trenchless o “no dig”
<i>I.6</i>	320891,4367	4193190,006	Trenchless o “no dig”
<i>I.7</i>	320996,1437	4193142,274	Trenchless o “no dig”
<i>I.8</i>	320384,0251	4192581,004	Trenchless o “no dig”
<i>I.9</i>	320283,0898	4192513,768	Trenchless o “no dig”

## 10 CONCLUSIONI

L'analisi condotta è stata finalizzata alla valutazione della compatibilità idrologica e idraulica della realizzazione di un impianto agrifotovoltaico da realizzarsi a Monreale (PA) e alla verifica del grado di sicurezza dell'area.

Per la ricostruzione topografica dell'area è stato realizzato un Modello Digitale del Terreno integrando il rilievo topografico realizzato allo scopo con le informazioni fornite dal Comune di Monreale.

Si è proceduto successivamente con la costruzione di un modello idraulico bidimensionale che descrivesse lo scenario in caso di eventi con differente tempo di ritorno nel sito oggetto di futuro intervento. Dall'analisi dei risultati emerge la massima estensione dell'allagamento è sempre contenuta all'interno dell'alveo dei corsi d'acqua e non si osservano esondazione nell'area di progetto. Le opere in progetto posizionate esternamente al limite determinato dai livelli idrici per la piena 500-ennale considerando un franco idraulico di 1 m sono da ritenersi compatibili.