



REGIONE  
SICILIA



PROVINCIA  
PALERMO



COMUNE DI  
CASTELLANASICULA

OGGETTO:

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRI-VOLTAICO  
DI POTENZA NOMINALE 31.047,8 kWp E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE  
ALLA RTN IN LOC. TUDIA, COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)

ELABORATO:

RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA



PROPONENTE:



SPK Sole S.r.l.  
VIALE ABRUZZI 94  
20131 - MILANO (MI)  
P.IVA - 12327840968  
REA - MI - 2654565

PROGETTAZIONE:



Ing. Carmen Martone  
Ischr. n. 1872  
Ordine Ingegneri Potenza  
C.F. MRTCMN73D56H703E




EGM PROJECT S.R.L.  
VIA VERRASTRO 15/A  
85100- POTENZA (PZ)  
P.IVA 02094310766  
REA PZ-206983




Geol. Raffaele Nardone  
Ischr. n. 243  
Ordine Geologi Basilicata  
C.F. NRDRFL71H04A509H

Livello prog.	Cat. opera	N° . prog.elaborato	Tipo elaborato	N° foglio	Tot. fogli	Nome file	Scala
PD	I.IF	4	R			RS06REL0043A0	
REV.	DATA	DESCRIZIONE			ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	NOVEMBRE 2022	Emissione				Ing. Carmen Martone EGM Project	Ing. Carmen Martone EGM Project

	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 1 di 43</p>
--	--	--

## Sommario

1	PREMESSA .....	2
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ.....	2
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	3
4	ANALISI GEOMORFOLOGICA.....	11
	4.1 Digital Terrain Model.....	11
	4.2 Slope Model.....	12
	4.3 Flow Accumulation .....	12
	4.4 Perimetrazione dei bacini idrografici .....	13
5	ANALISI IDROLOGICA .....	15
	5.1 Modello TCEV Sicilia.....	15
	5.2 Descrizione della metodologia VAPI .....	15
	5.2.1 I° Livello di regionalizzazione .....	17
	5.2.2 II° livello di regionalizzazione .....	18
	5.2.3 III° livello di regionalizzazione .....	19
	5.3 Piogge brevi.....	23
6	MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI.....	23
7	ANALISI IDRAULICA .....	26
	7.1 Simulazione idraulica .....	26
	7.2 Analisi dei risultati .....	32
8	REGIMETAZIONI ACQUE SUPERFICIALI .....	34
9	CONCLUSIONI.....	36

	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 2 di 43</p>
--	---	--

## 1 PREMESSA

Nell’ambito del “Progetto definitivo per la realizzazione di un parco agrivoltaico a terra in località Tudia nel comune di Castellana Sicula (PA)” è stata redatta la presente relazione, che è parte integrante del progetto, e che contiene lo studio di compatibilità idrologico e idraulico e analizza compiutamente gli effetti sul regime idraulico delle aree, dimostrando l’esistenza di adeguate condizioni di sicurezza idraulica nelle aree interessate dal progetto del campo fotovoltaico.

La relazione descrive le metodologie adottate e le analisi svolte per l’analisi idrologica dell’area, l’esame dello stato di fatto, e la verifica idraulica.

## 2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ

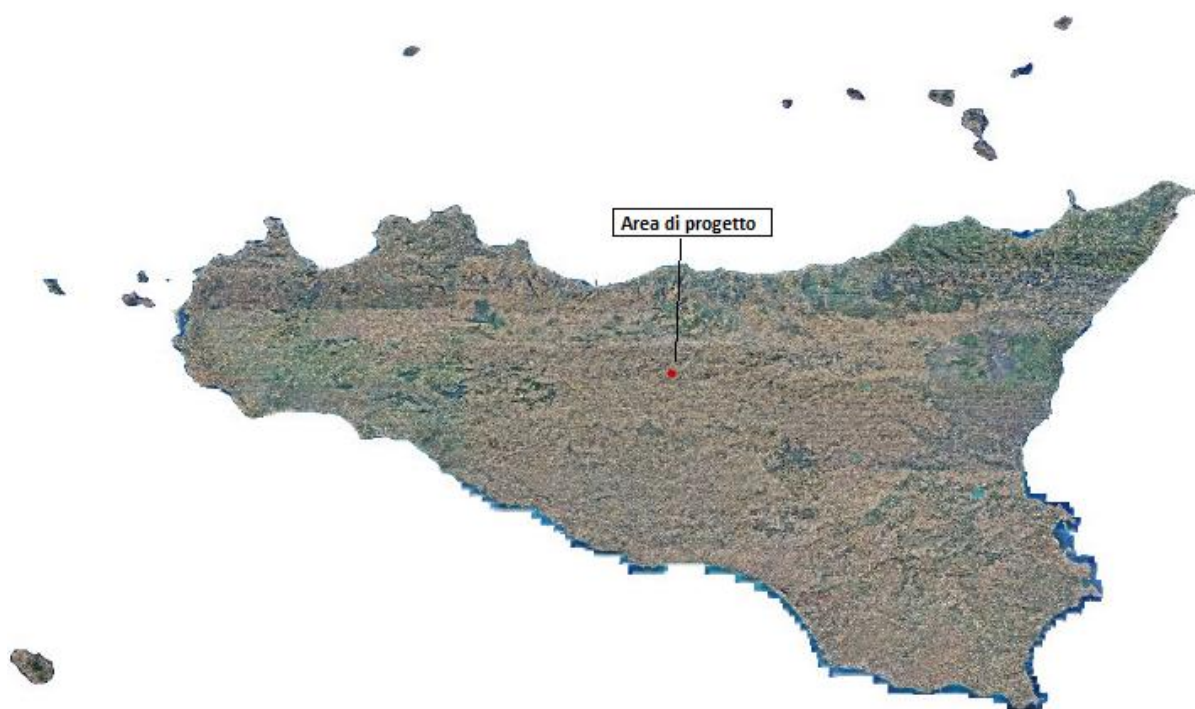
In sintesi, le attività svolte per la redazione del presente documento sono:

- analisi morfometrica finalizzata alla costruzione del DTM e alla delimitazione dei bacini idrografici;
- analisi morfologica di bacino mediante software Quantum GIS 3.18.3 e GRASS 7.8.5;
- analisi idrologica per la definizione delle curve di possibilità pluviometrica mediante la metodologia VAPI ed implementazione del modello idrologico;
- calcolo delle portate di piena per tempi di ritorno a partire da T<sub>50</sub> – T<sub>100</sub> – T<sub>300</sub> per ogni sotto-bacino individuato nell’analisi morfometrica;

Tutte le analisi condotte sono state riferite alla Cartografia Tecnica Regionale nel sistema di riferimento UTM33 WGS84.

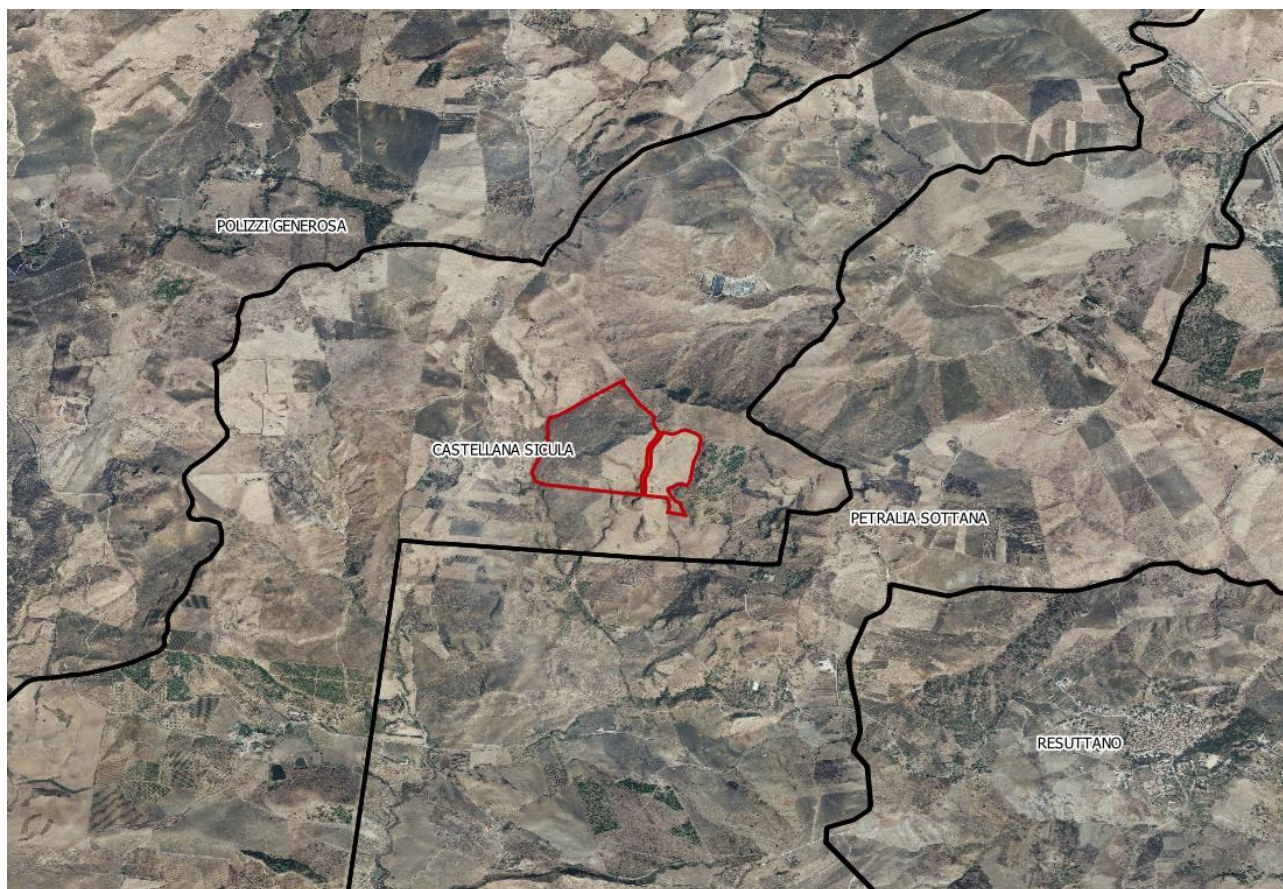
### 3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in cui è ubicato l'intervento in oggetto è ubicata geograficamente dalla figura seguente:

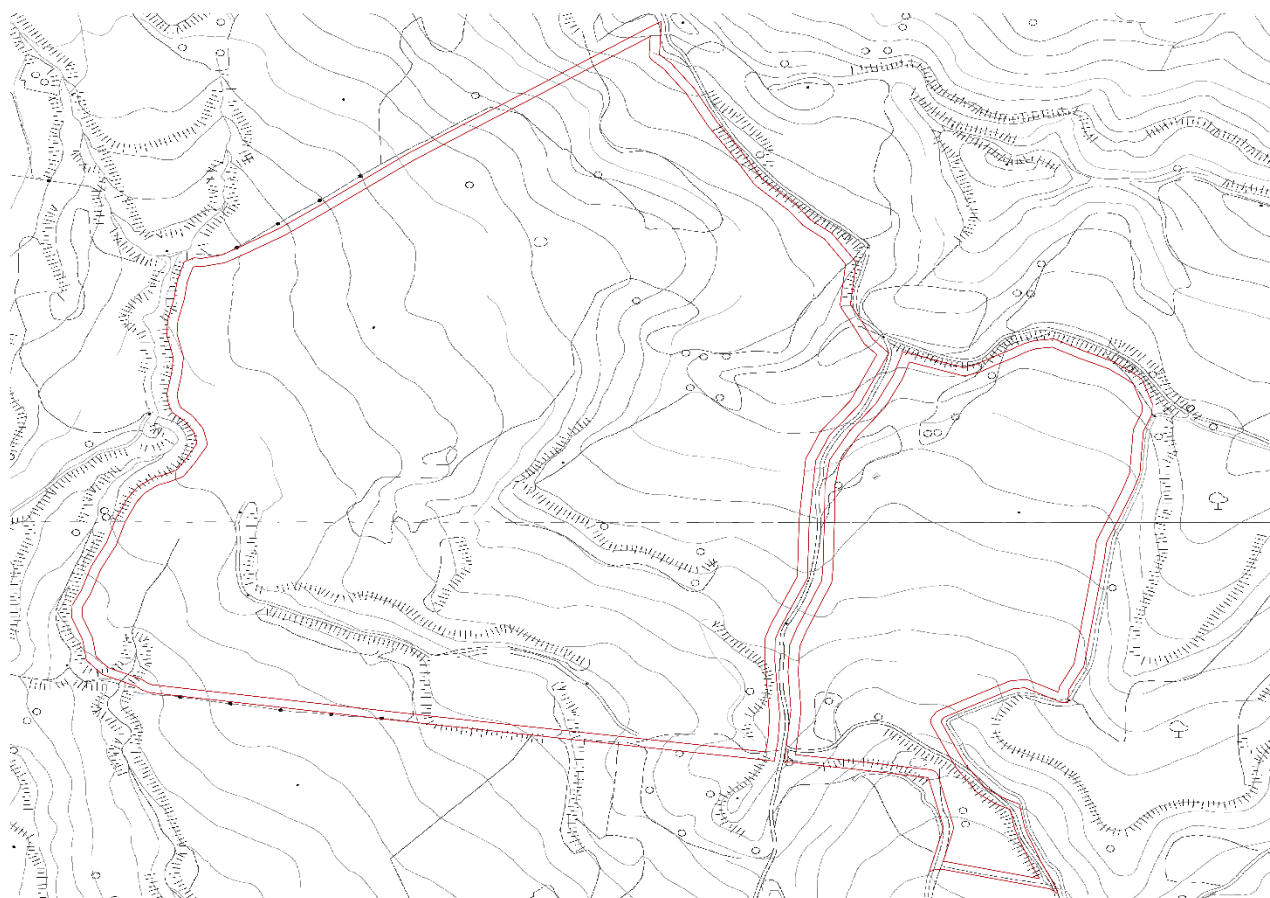


*Figura 1 - Inquadramento geografico Parco agrivoltaico Tudia*

L'area presa in considerazione nel presente progetto ricade nel territorio comunale di Castellana Sicula (PA), posizionata a circa 4 km in direzione Nord-Ovest rispetto al nucleo urbano.



*Figura 2 - Inquadramento area campo agrivoltaico su base ortofoto*



*Figura 3 - Inquadramento area campo agrivoltaico su CTR*

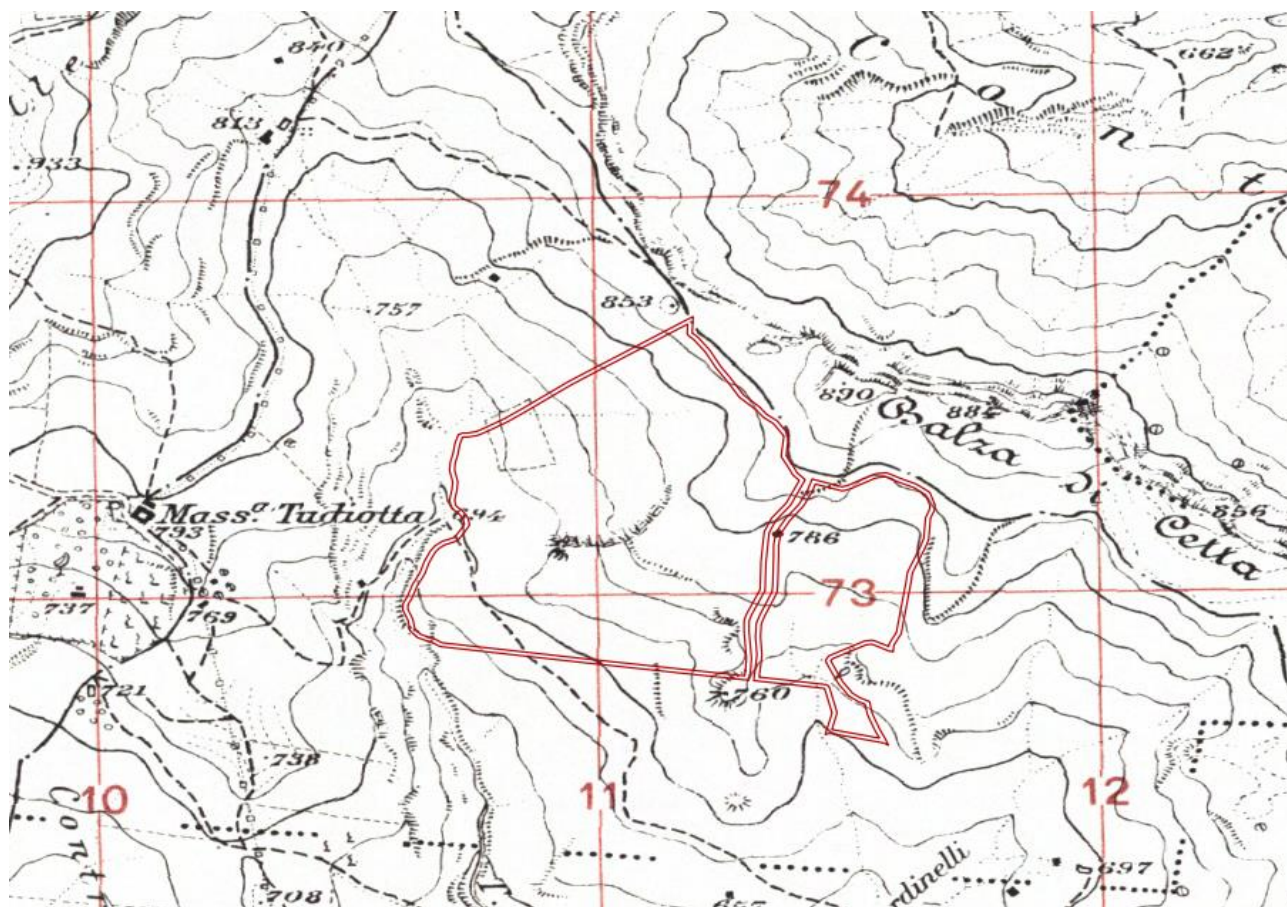


Figura 4 - Inquadramento area campo agrivoltaico su IGM

I terreni interessati dal progetto sono iscritti in un rettangolo individuato, nel sistema di coordinate UTM (Universale Trasverso di Mercatore), dai vertici superiore sinistro e inferiore destro, e nel sistema di coordinate geografiche latitudine e longitudine (Figura 1)

UPPER LEFT X = 410417.623 m E

UPPER LEFT Y = 4173644.744 m N

LOWER RIGHT X = 411822.691 m E

LOWER RIGHT Y = 4172258.172 m N

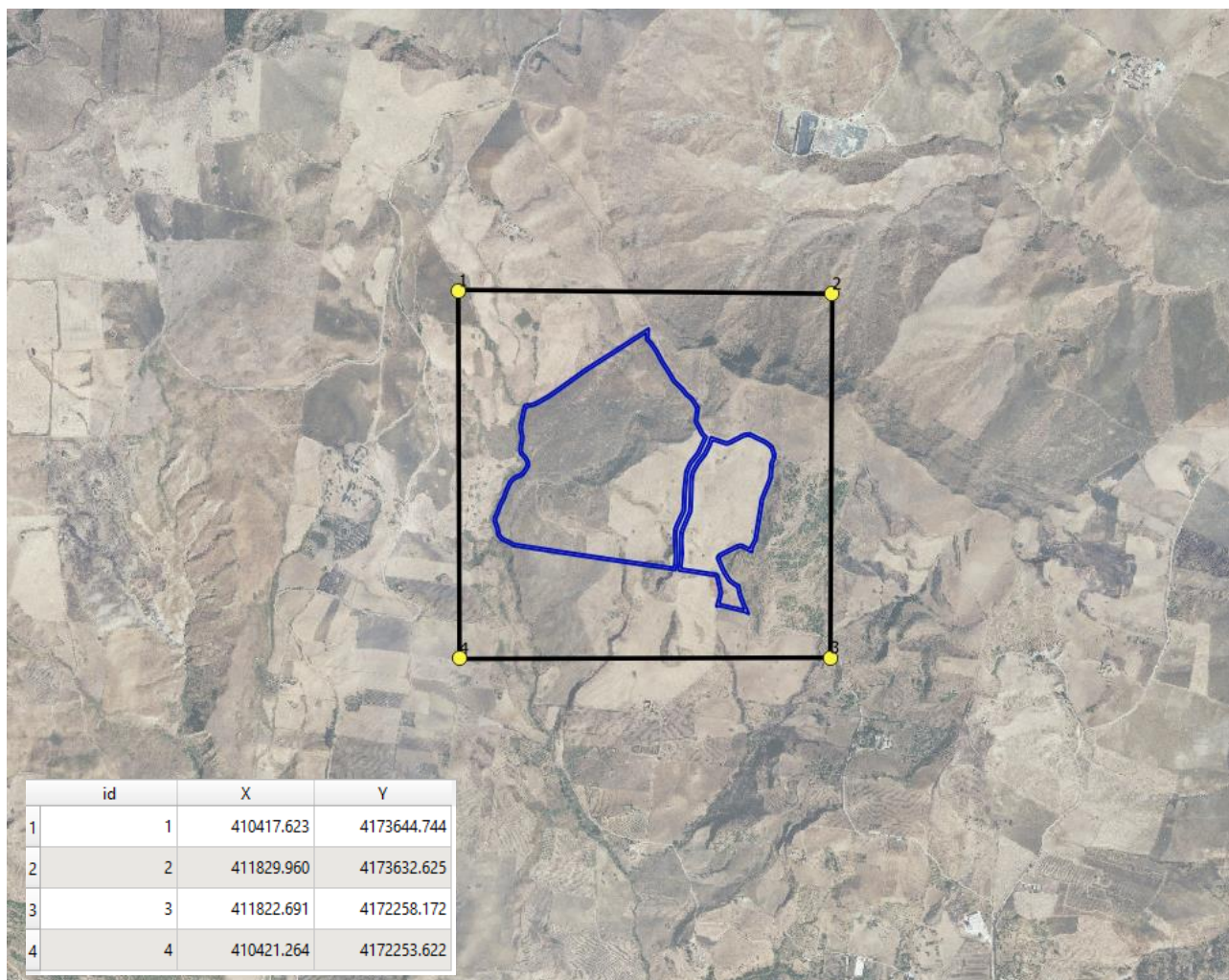


Figure 6 - Inquadramento area parco su base ortofoto e Coordinate UTM 33–WGS 84 che delimitano l'area del Parco

Il progetto in esame è stato confrontato con il Piano stralcio per l'assetto idrogeologico Bacino del Fiume Platani, che è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, le norme d'uso del suolo e gli interventi riguardanti l'assetto idrogeologico del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino. Il Piano stralcio individua le aree a rischio idraulico e di frana del territorio in funzione delle caratteristiche di dissesto del territorio, le aree caratterizzate da diverso grado di suscettività al dissesto, rispetto alle quali si sono impostate le attività di programmazione contenute nel Piano. Dall'esame della cartografia si evince che il progetto non è compreso in nessun areale a pericolosità geomorfologica e idraulica dell'Autorità di Bacino.



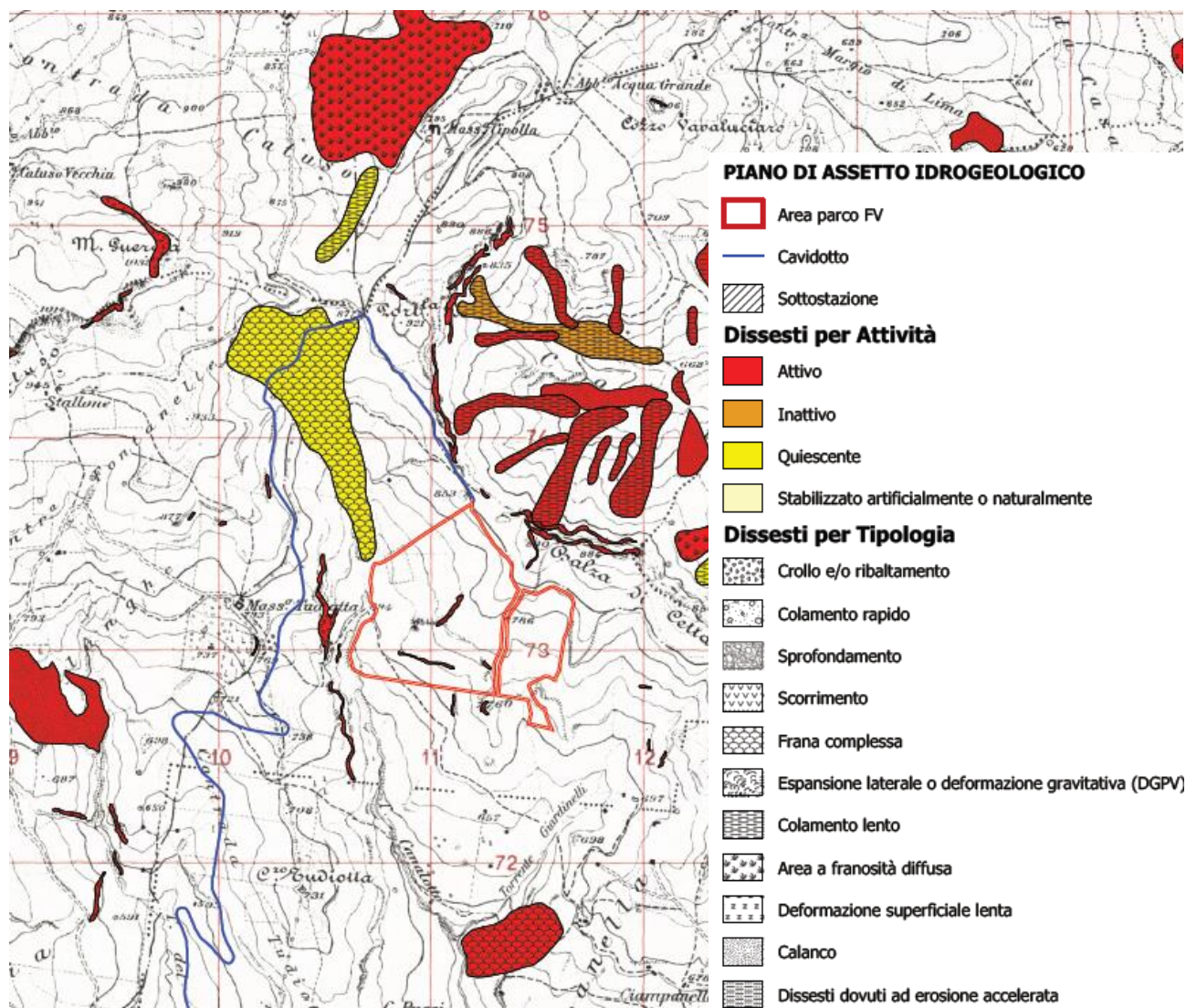


Figura 5 - Carta dei vincoli PAI – dissesti

Dall'esame della cartografia redatta dall'Autorità di Bacino, si nota che all'interno dell'area interessata dal progetto, è presente un areale a pericolosità geomorfologica Molto Elevata P4 denominato 063-6CE-015, 063-6CE-022 e 063-6CE-023, si tratta di Crollo e ribaltamento con stato di attività: Attivo, così come indicato nella carta dei dissesti (Figura 7).

Al fine di non aggravare le condizioni di stabilità del versante, nell'area cartografata a pericolosità geomorfologica non verranno installati pannelli fotovoltaici.

RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA

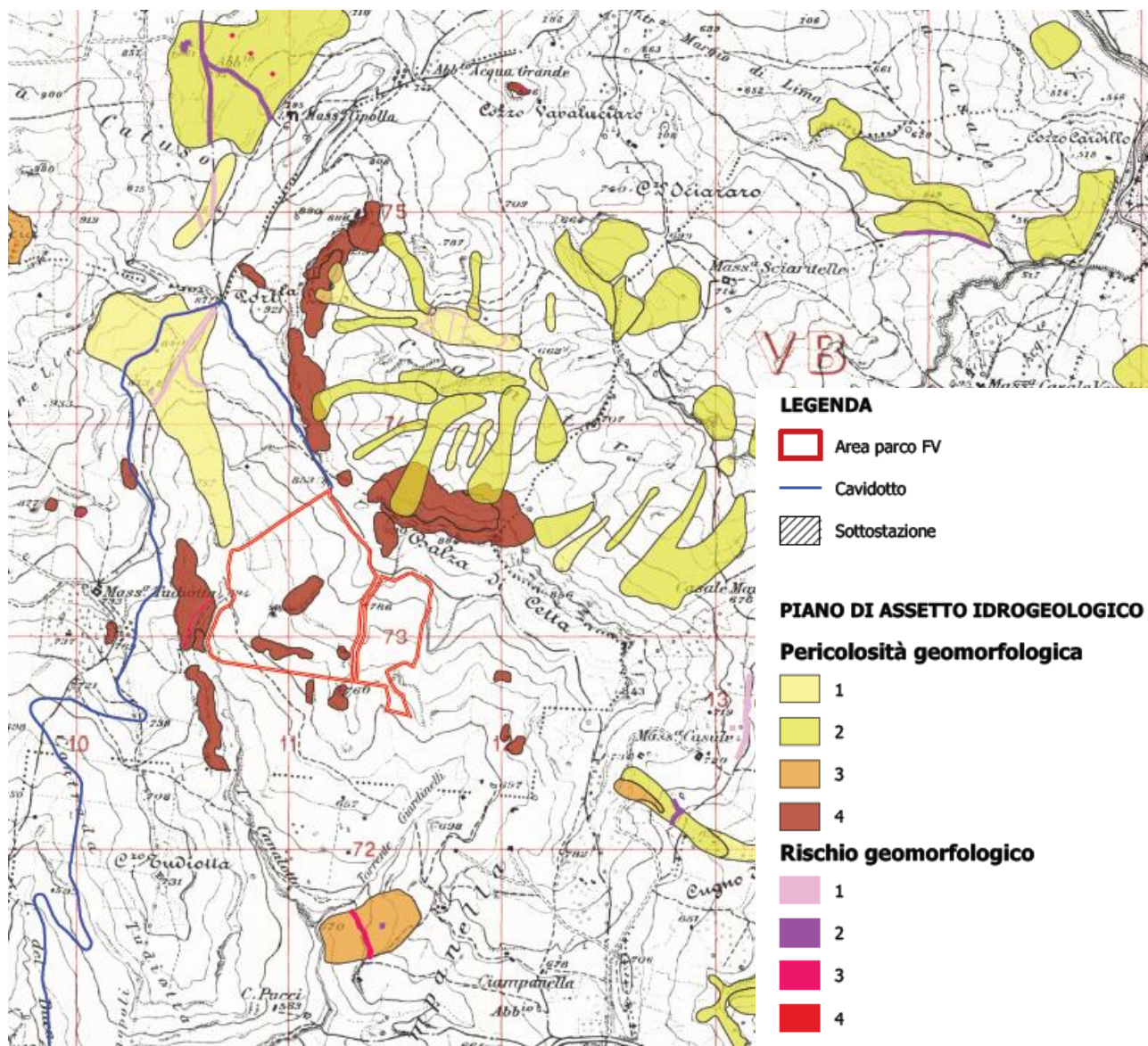


Figura 6 - Carta dei vincoli PAI – Rischio e Pericolosità geomorfologica

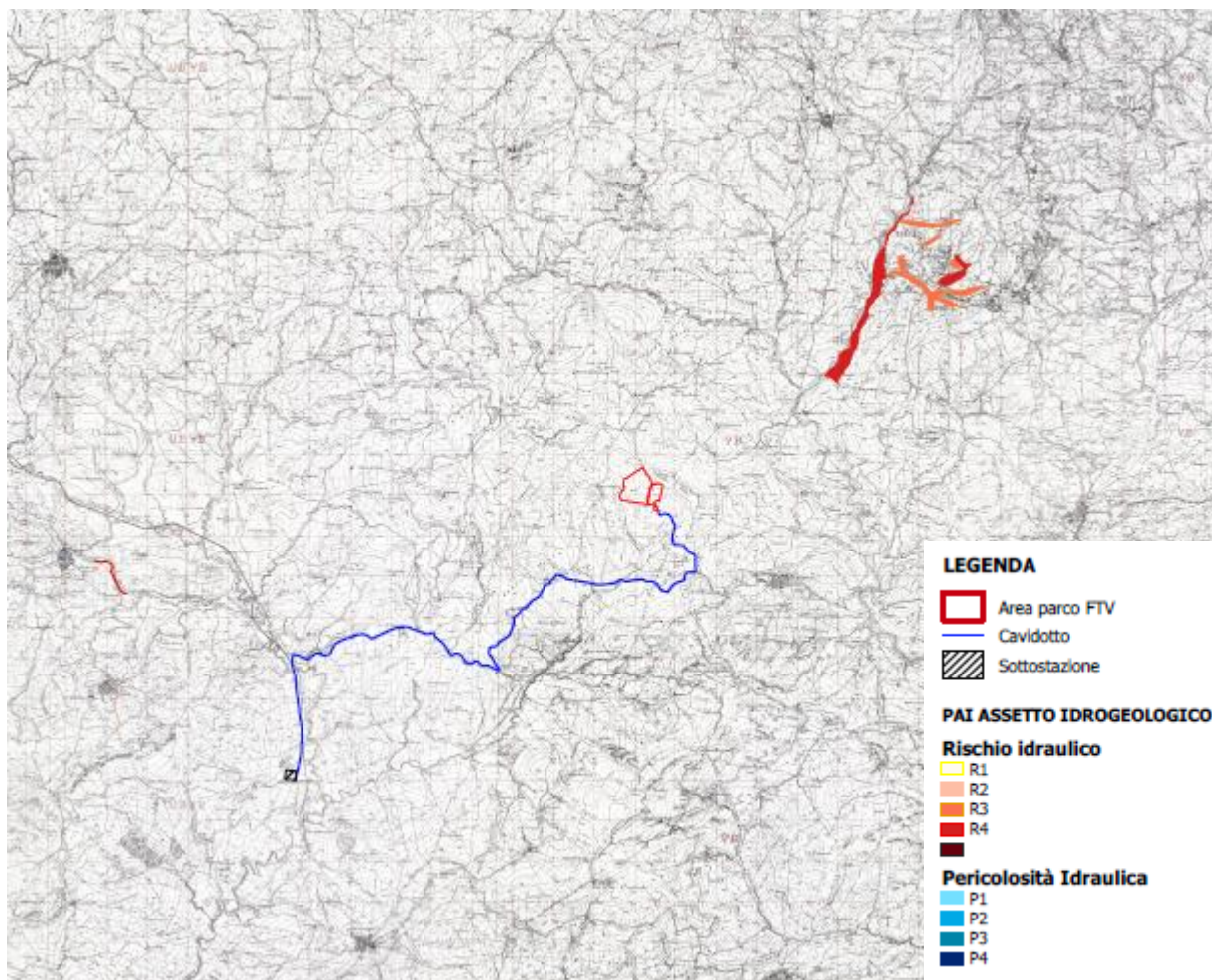



Figura 7 - Carta dei vincoli PAI – Rischio e Pericolosità idraulica

Per quanto riguarda l'aspetto idraulico invece, né il campo così come le opere di connessione non ricado in nessuna zona attenzionata dal Piano di Assetto Idrogeologico, come si evidenzia nella Figura precedente.

	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 11 di 43</p>
--	---	---

## 4 ANALISI GEOMORFOLOGICA

La base per un'analisi idrologica di dettaglio è rappresentata dalla definizione delle principali caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici di riferimento.

L'analisi geomorfologica, pertanto, precede la fase di analisi in quanto consente la delimitazione dei bacini idrografici sulla base di dati cartografici e topografici disponibili.

Mediante i software Qgis 3.18.3 e Grass 7.8.5 sono state condotte le analisi morfologiche, morfometriche ed idrauliche dell'area oggetto di studio.

È stato utilizzato il comando di processamento "r.watershed", alla base del quale vi sono algoritmi di calcolo che consentono di effettuare la modellazione idrologica ed idraulica.

Tale comando consente, utilizzando il DTM come dato di input, di generare le seguenti mappe raster:

- 1) flow accumulation: mappa raster dell'accumulo del flusso superficiale generata con il conteggio delle celle che contribuiscono alla direzione principale di flusso. In particolare, le celle che appartengono al reticolo idrografico delineato sono quelle aventi alti valori di flow accumulation mentre le celle adiacenti o coincidenti con la linea spartiacque del bacino assumono valori bassi;
- 2) drainage direction: mappa raster della direzione di flusso, generata attraverso un algoritmo che stima le traiettorie di flusso basandosi sulle direzioni di massima pendenza del DTM;
- 3) stream segments: mappa raster del reticolo idrografico;
- 4) basins: mappa raster dei bacini idrografici.

### 4.1 Digital Terrain Model

Per la definizione del modello digitale del terreno dei territori idrograficamente afferenti ai canali oggetto di studio sono stati utilizzati i dati ufficiali disponibili sul portale cartografico della Regione Sicilia e il rilievo condotto in campo ed eseguito con drone.

Il modello digitale di elevazione (anche noto come DEM, dall'inglese Digital Elevation Model) utilizzato rappresenta la distribuzione delle quote del territorio in formato digitale. Il modello digitale di elevazione utilizzato è in formato raster associando a ciascun pixel l'attributo relativo alla quota assoluta.

## 4.2 Slope Model

Una volta disponibile il DEM, utilizzando la procedura di calcolo descritta nel seguito, è stato possibile ottenere un modello distribuito delle pendenze sul quale sono stati applicati successivamente gli algoritmi che hanno consentito di ottenere le informazioni idrauliche del territorio.

Concettualmente la pendenza identifica la massima variazione nel valore di quota di una cella del grigliato rispetto alle celle circostanti. Uno dei possibili risultati di questo calcolo può essere una matrice di valori che esprime la pendenza in percentuale oppure in gradi.

In pratica l'algoritmo utilizzato esegue una media quadratica della massima variazione di quota nelle quattro direzioni del piano parallele al grigliato considerando le otto celle che contornano la cella in questione.

## 4.3 Flow Accumulation

Dallo Slope Model con un opportuno algoritmo, gestito sempre in ambiente GIS, è stato possibile ricavare la griglia delle direzioni di flusso. Questa griglia contiene in ogni cella il valore codificato della direzione di massima pendenza tra la cella stessa e le celle circostanti.

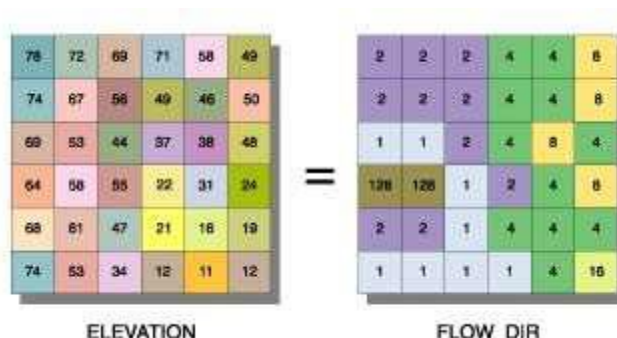
Al numero che compare in ogni cella della griglia è associato univocamente una direzione cartesiana secondo lo schema seguente:

1 Est	2 Sud-Est
4 Sud	8 Sud-Ovest
16 Ovest	32 Nord-Ovest
64 Nord	128 Nord-Est

Di seguito è riportato un esempio di una rappresentazione del passaggio dal DEM ad una griglia costituita dalle direzioni preferenziali dei flussi.

Definita la griglia delle direzioni di flusso, un algoritmo gestito in ambiente GIS conta il numero di celle tributarie di ogni singola cella e ne attribuisce il valore alla corrispondente cella in una nuova

griglia denominata di accumulo così rappresentata:



Definita la griglia delle direzioni di flusso un algoritmo gestito in ambiente GIS conta il numero di celle tributarie di ogni singola cella e ne attribuisce il valore alla corrispondente cella in una nuova griglia denominata di accumulo così rappresentata:

Grazie alla generazione della griglia di accumulo è possibile successivamente stabilire un numero minimo di celle tributarie e definire in questo modo la linea di compluvio naturale.

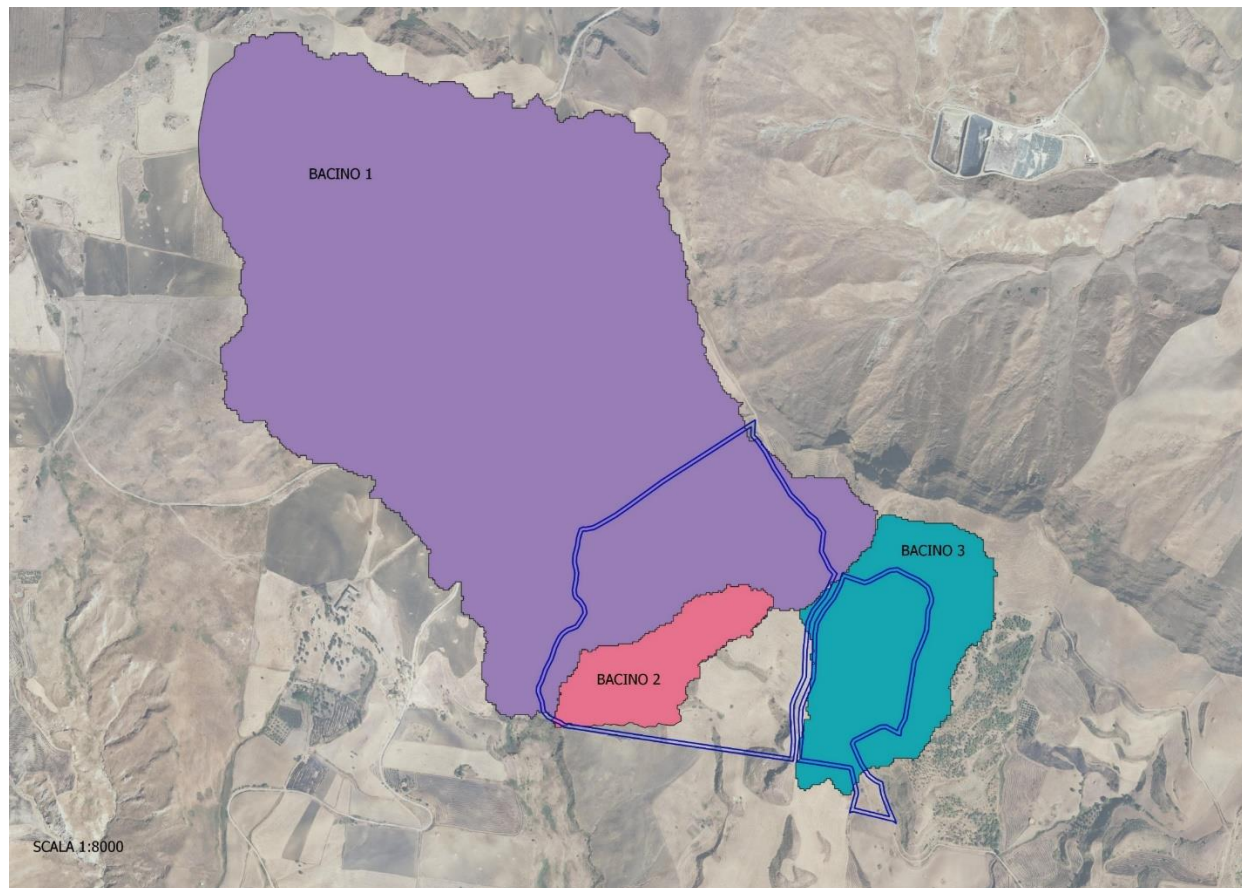
Queste tecniche, come si è anticipato, consentono la perimetrazione di un *bacino idrografico* oltre che la determinazione di tutti i parametri morfometrici di esso caratteristici.

#### 4.4 Perimetrazione dei bacini idrografici


Un Bacino Idrografico può essere considerato come una porzione di territorio capace di convogliare naturalmente e far defluire attraverso una sezione idraulica comunemente detta “sezione di chiusura” l’acqua precipitata sulla stessa.

La sezione di chiusura è rappresentata dal punto più depresso della linea di drenaggio naturale.

Grazie ai processi di analisi precedentemente esposti è stato possibile individuare i bacini idrografici oggetto di analisi.



*Figura 10 -Bacini idrografici*

	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 15 di 43</p>
--	---	---

## 5 ANALISI IDROLOGICA


### 5.1 Modello TCEV Sicilia

Il modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution) permette di determinare le altezze di pioggia  $h$  e le relative intensità  $i$ , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto dal progetto VAPI. La regionalizzazione delle piogge mira a superare i limiti relativi alla scarsa informazione pluviometrica (spesso costituita da singole serie di durata limitata e poco attendibili per le elaborazioni statistiche), utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio, per individuare la distribuzione regionale delle caratteristiche delle precipitazioni. La peculiarità del modello TCEV è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima, denominata componente base, assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda (componente straordinaria) genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (appartenenti ad una differente fenomenologia meteorologica). La TCEV rappresenta pertanto la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha, quindi, la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) riescono a rendere conto. Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà pertanto riferimento alla procedura descritta nel progetto VAPI Sicilia (Ferro e Cannarozzo, 1993). La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola su tre livelli successivi, in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni parametri statistici.

### 5.2 Descrizione della metodologia VAPI

La stima della pioggia di massima intensità  $h_{tc,T}$  per dato tempo di corruzione e per dato tempo di ritorno viene condotta secondo i criteri sviluppati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche pubblicati nel rapporto "Valutazione delle piene in Sicilia" relativamente alla Linea 1 "Previsione e prevenzione degli eventi idrologici estremi e loro controllo". Nell'ambito di tale studio si è utilizzata l'informazione pluviografica raccolta dal Servizio Idrografico Italiano. In



	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 16 di 43</p>
--	---	---

particolare, sono stati utilizzati i risultati dell'analisi statistica a scala regionale ed applicando la legge di distribuzione a doppia componente su tre livelli successivi di regionalizzazione.

Nel primo livello di regionalizzazione, nell'ipotesi che la Sicilia fosse una zona pluviometrica omogenea si è testata l'applicabilità della legge di distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value distribution) o legge di distribuzione a doppia componente. Il modello probabilistico su base regionale TCEV ipotizza la serie dei massimi annuali come provenienti da due diverse popolazioni di dati legati a due differenti fenomenologie meteorologiche: i valori estremamente più elevati degli altri (Outliers) ma rari e una componente base o ordinaria che assume valori non elevati ma frequenti. L'altezza di precipitazione  $h(t, T)$  di durata  $t$  generica e tempo di ritorno  $T$ , secondo tale metodo si scrive:

$$h_{t,T} = h'_{t,T} \mu$$

con  $h'_{t,T}$  curva di crescita, variabile dipendente dalla sottozona geografica in cui è stata divisa la Sicilia, dalla durata  $t$  e dal tempo di ritorno  $T$ , e  $\mu$  media teorica della variabile idrologica nella legge probabilistica. Il secondo livello di regionalizzazione suddivide il territorio siciliano in tre "sottozone omogenee" denominate A, B e C e definite rispettivamente:

- Sottozona Ovest, delimitata ad Est dallo spartiacque del F. Imera Meridionale e del F. Pollina.;
- Sottozona Nord-Est, delimitata dai bacini del F. Pollina a Ovest e del F. Salso-Simeto a Sud;
- Sottozona Sud-Est, delimitata a Nord dal bacino Salso-Simeto e ad Ovest dallo spartiacque del F. Imera Meridionale.

Per ciascuna sottozona lo studio VAPI fornisce l'espressione esplicita approssimata, valida per tempi di ritorno superiori a 10 anni, della curva di crescita (cioè la legge di distribuzione della variabile adimensionale  $h' = x/\mu$ , avendo indicato con  $x$  la variabile idrologica e con  $\mu$  il valore medio teorico della legge TCEV).

Per la sottozona A tale curva si scrive:

$$\bullet h'_{t,T} = 0.5391 - 0.001635 t + (0.0002212 t^2 + 0.00117 t + 0.9966) \log T$$

Per la sottozona B tale curva si scrive:

$$\bullet h'_{t,T} = 0.5135 - 0.002264 t + (0.000198 t^2 + 0.00329 t + 1.0508) \log T$$

Per la sottozona C tale curva si scrive:

$$\bullet h'_{t,T} = 0.5015 - 0.003516 t + (0.000372 t^2 + 0.00102 t + 1.0101) \log T$$

nella quale t indica la durata di precipitazione e T il tempo di ritorno.

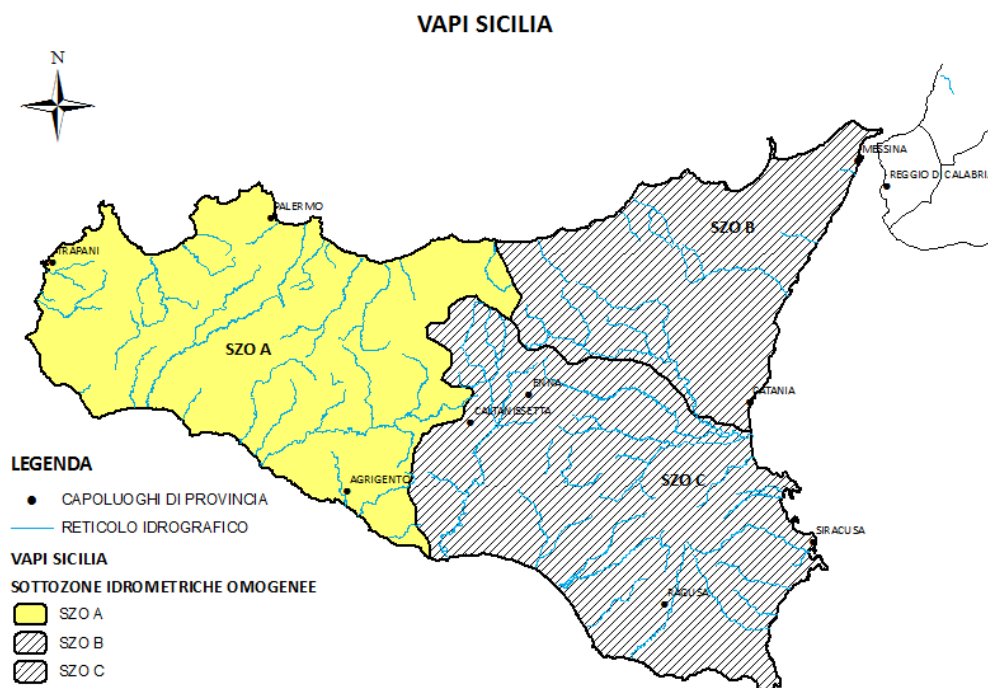


Figura 11 - Suddivisione in sottozone omogenee effettuata nell'ambito del progetto VAPI


Con riferimento alle indagini eseguite nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, Valutazione delle Piene in Sicilia (Cannarozzo, D'Asaro e Ferro, 1993) a cui si rimanda per ogni ulteriore approfondimento, sono previsti tre livelli di regionalizzazione di seguito brevemente illustrati.

### 5.2.1 I° Livello di regionalizzazione

L'applicazione della TCEV effettuata facendo ricorso ai massimi annuali delle altezze di pioggia di fissata durata misurati in stazioni localizzate nel territorio siciliano ha evidenziato, al primo livello di regionalizzazione, la seguente dipendenza dei parametri  $L^*$  e  $q^*$  dalla durata t:

$$\Lambda^* = 1.95 + 0.0284 * t$$

$$\theta^* = 0.175 * t^{0.301}$$

	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 18 di 43</p>
--	--	---

### 5.2.2 II° livello di regionalizzazione

Al II° livello di regionalizzazione, la Sicilia è suddivisa nelle tre sottozone A, B, C; a ciascuna di esse

è stato attribuito, per una fissata durata, un valore costante del parametro  $\lambda_1$ , indicato con il simbolo  $\Lambda_1$ , che risulta dipendente dalla durata:

SOTTOZONA A  $\Lambda_1=14.55 t^{0.2419}$

SOTTOZONA B  $\Lambda_1=12.40 t^{0.1802}$

SOTTOZONA C  $\Lambda_1=11.96 t^{0.0960}$

In ogni sottozona la variabile adimensionale  $h^*_{t,T} = ht / \mu$  (valore dell'altezza di pioggia di fissata durata  $t$  e tempo di ritorno  $T$  rapportata alla media  $\mu$  della legge TCEV) assume la seguente espressione:

$$h^*_{t,T} = KT = a \ln(T) + b$$

I coefficienti  $a$  e  $b$  sono stati tarati in funzione della particolare sottozona:

SOTTOZONA A  $b(t) = 0.5391 - 0.001635 t$

$a(t) = 0.0002121 t^2 + 0.00117 t + 0.9966$

SOTTOZONA B  $b(t) = 0.5135 - 0.002264 t$

$a(t) = 0.0001980 t^2 + 0.00329 t + 1.0508$

SOTTOZONA C  $b(t) = 0.5015 - 0.003516 t$

$a(t) = 0.0003720 t^2 + 0.00102 t + 1.0101$



Figura 12 - Suddivisione regionale in sottozone pluviometriche omogenee

L'espressione della curva di probabilità pluviometrica sarà così espressa:

$$h_{t,Tr} = h'_{t,Tr} \mu(t)$$

In cui  $h_{t,Tr}$  è l'altezza di pioggia di assegnata durata  $t$  e tempo di ritorno  $Tr$ .

### 5.2.3 III° livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità  $\mu$  e le grandezze – prevalentemente geografiche (altitudine, distanza dal mare, superficie del bacino idrografico) – relative al sito di misura.

Pertanto, l'espressione della curva di probabilità pluviometrica sarà:

$$h_{t,T} = K T \mu(t)$$

in cui  $h_{t,T}$  è l'altezza Per le stazioni pluviografiche siciliane la media teorica  $\mu$  risulta coincidente con quella campionaria; per ciascuna delle 172 stazioni siciliane che vantano almeno 10 anni di

funzionamento è stato riconosciuto il seguente legame di tipo potenza tra la media campionaria e la durata t:

$$\mu(t) = a t^n$$

Per ogni stazione pluviografica i valori dei coefficienti a ed n sono tabellati. Per i siti sprovvisti di stazioni di misura, i coefficienti a ed n possono essere stimati sulla base della carta delle iso-a e delle iso-n (Cannarozzo et al, 1995). Nelle figure seguenti è possibile vedere la variazione dei coefficienti a ed n per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

KT è definito fattore di crescita e misura la variabilità relativa degli eventi estremi alle diverse frequenze. Esso è dunque indipendente dalla durata della precipitazione e funzione della collocazione geografica del sito per il quale si vogliono calcolare le altezze di pioggia (a mezzo dei coefficienti a e b) e del tempo di ritorno T dell'evento meteorico. di pioggia di assegnata durata t e fissato tempo di ritorno T.

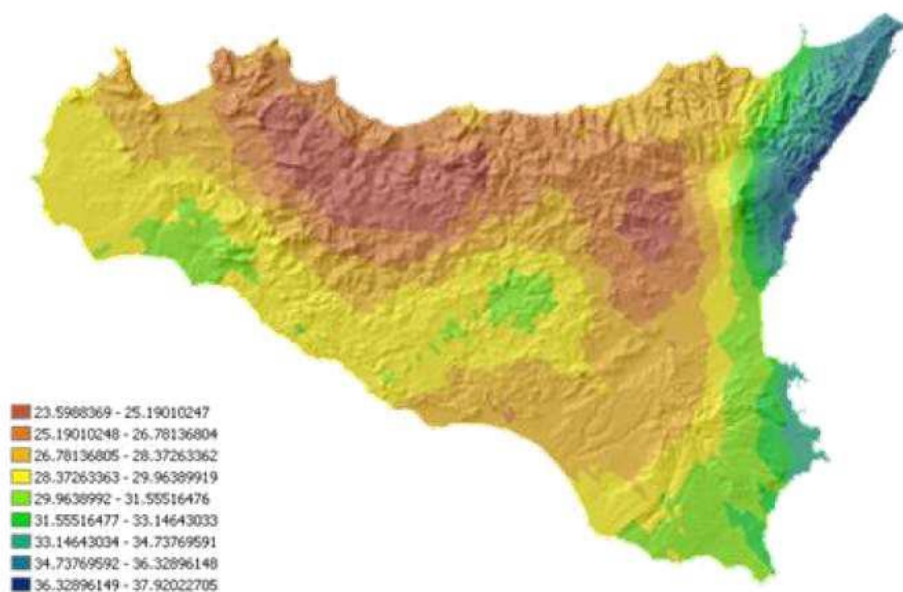


Figura 13 - Valori dei coefficienti a per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

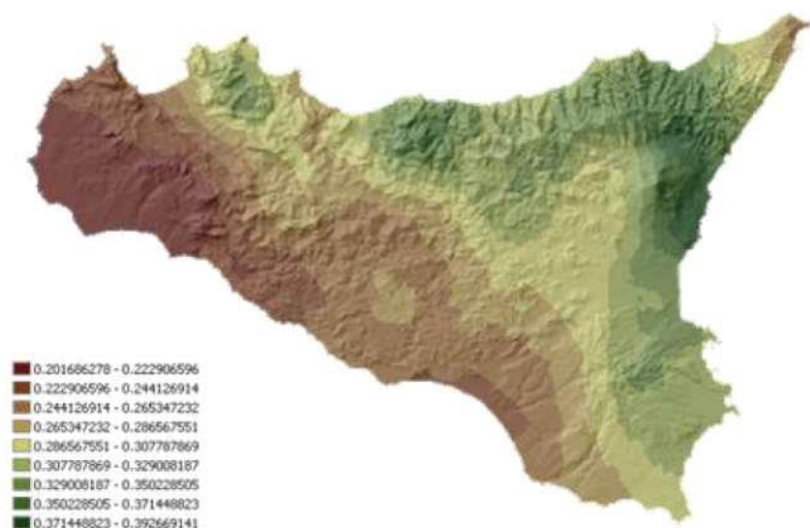


Figura 14 - Valori dei coefficienti n per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

Sono quindi stati calcolati i valori delle altezze di pioggia massima di assegnata durata  $h_{d,T}$  e la legge di probabilità pluviometrica.

I bacini oggetto di studio si trovano nella sottozona pluviometrica omogenea  $Z_1$  e il fattore di crescita è calcolato attraverso la seguente espressione, utilizzando gli appropriati valori dei coefficienti a e b tabellati.

$$h'_{d,T} = K_T = a \ln(T) + b$$

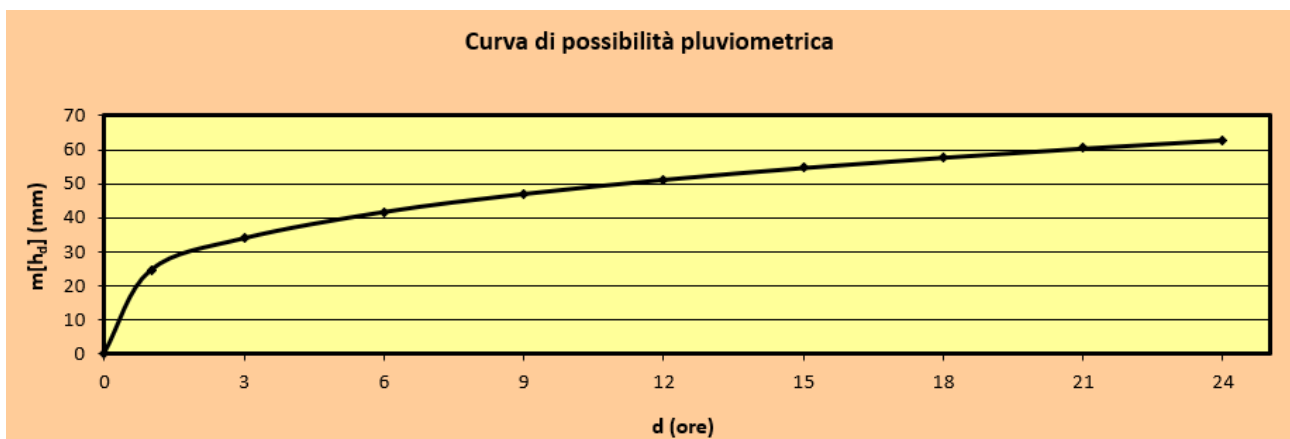
Fissato il tempo di ritorno della sollecitazione meteorica di progetto ed individuata la stazione pluviometrica più vicina al sito in esame, è stato quindi possibile calcolare le altezze di pioggia di data frequenza di accadimento e di fissata durata, come di seguito esplicitato:


T (ore)	$h_{d,t}$ (mm)
1	20.40
3	32.55
6	43.70
9	51.92
12	58.68
15	64.52
18	69.72
21	74.45
24	78.79



Figura 15 – Sottostazioni pluviometriche omogenee

Di seguito viene riportata la curva di possibilità pluviometrica ottenuta.



	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 23 di 43</p>
--	--	---

### 5.3 Piogge brevi

È doveroso osservare che, poiché gli eventi di pioggia brevi e quelli lunghi seguono differenti dinamiche meteorologiche, dai campioni di altezze  $ht$  aventi durate  $1 \div 2 \text{ ore} \leq t \leq 24$  non può essere tratta alcuna informazione inerente agli eventi brevi. La curva di probabilità pluviometrica, costruita con riferimento alle piogge aventi durata compresa tra 1 e 24 ore, non può essere pertanto estrapolata per valori della durata  $t$  inferiore ad un'ora. È stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia  $ht, T$  con  $t$  minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia  $h_{60, T}$  di durata pari a 60 minuti e pari tempo di ritorno  $T$  è relativamente poco dipendente dalla località e dipendente solo dalla durata  $t$  espressa in minuti.

Il legame funzionale, per la regione Sicilia, può essere pertanto espresso nella forma seguente, utilizzando la formula di Ferreri-Ferro, in cui il coefficiente s'è stato opportunamente calibrato da Ferro e Bagarello (*"Rainfall depth-duration relationship for South Italy"*, 1996).

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^{0,386}$$

## 6 MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI

Le portate di progetto sono state calcolate attraverso metodi indiretti, che consentono la determinazione delle portate di piena a partire dalle precipitazioni che si abbattano sui diversi bacini. Nello specifico, si è valutata la portata di piena con la formula razionale.

La formula razionale consente la valutazione della portata di piena di assegnato tempo di ritorno  $T$  mediante la seguente relazione:

$$Q_T = \frac{\varphi i_T S}{3,6}$$

Ove:

$QT$  è la portata di piena di assegnato tempo di ritorno  $T$  ed è espressa in  $m^3/s$ ;

$\varphi$  è il coefficiente di afflusso, adimensionale;

$i_T$  è l'intensità critica della precipitazione di assegnato tempo di ritorno (corrispondente al tempo di corrivazione) in  $mm/h$ ;



S è la superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup>;

3,6 è un fattore di conversione delle unità di misura.

La modellazione matematica dei fenomeni idrologico-idraulici, innescati dalle precipitazioni sull'area di progetto, segue il processo descritto nei paragrafi seguenti.

### **Individuazione della pioggia critica**

Dopo avere ricostruito le relazioni intensità-durata-frequenza (IDF, espresse dalla c.p.p.) è necessario individuare l'intensità critica della precipitazione cioè l'intensità costante di quella pioggia, supposta anche uniformemente distribuita sul bacino, che determina la portata massima nell'idrogramma di piena di tempo di ritorno T.

La pioggia critica è quella di intensità pari al tempo di corrivazione o di concentrazione, definito come segue:

- il tempo di corrivazione di un bacino è quello necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino;
- il tempo di corrivazione è quel tempo che, una volta eguagliato dalla durata della precipitazione (precipitazione critica, ovvero che mette in crisi la rete idrografica), determina il raggiungimento del valore più elevato di portata nella sezione di chiusura del bacino.

Esso può essere calcolato tramite diverse formule; nel caso in esame, e cioè per piccoli bacini, il tempo di corrivazione è calcolato attraverso la formula di Giandotti:

#### Calcolo del tempo di corrivazione

$$T_c [1] = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_{ap}}{0.8\sqrt{Z}}$$

Formula di Giandotti

$$T_c [2] = 0.35\sqrt{A}$$


L'infiltrazione costituisce il fenomeno di maggiore rilevanza per la determinazione del bilancio tra pioggia sul bacino e pioggia efficace ai fini del deflusso nei bacini scolanti. Nell'applicare un modello afflussi-deflussi risulta pertanto necessario quantificare le perdite per infiltrazione allo scopo di potere valutare la pioggia netta, ovvero quella che dà effettivamente luogo al deflusso. Per ciascun bacino analizzato nell'area del parco i valori delle portate Q per il tempo di ritorno di interesse, insieme agli altri parametri posti alla base del calcolo, sono riassunti nelle tabelle sottostante

Bacino	Superficie		Lunghezza asta principale		Quota (m s.l.m.)				Pendenza (%)			
	m2	Km2	m	Km	min	max	range	mean	min	max	range	mean
B1	1838831.591	1.839	1978.421	1.978	659.36	999.99	340.63	826	0.12	67.76	67.64	14.60
B2	115641.766	0.116	820.069	0.820	686.26	885.61	199.34	798	0.74	67.38	66.64	15.87
B3	263430.423	0.263	247.000	0.247	669.995	817.264	147.269	727.89	0.24	67.76	67.52	17.02

*Tabella 1 – Caratteristiche principali dei Bacini idrografici*

Bacino	Q <sub>TR=50</sub> m3/s	Q <sub>TR=100</sub> m3/s	Q <sub>TR=300</sub> m3/s
B1	<b>14.18</b>	<b>16.35</b>	<b>19.77</b>
B2	<b>1.86</b>	<b>2.14</b>	<b>2.59</b>
B3	<b>3.39</b>	<b>3.91</b>	<b>4.72</b>

*Tabella 2 - Portate relative ad ogni bacino idrografico per TR=50 anni, TR=100 ANNI, TR=300 anni*

	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 26 di 43</p>
--	---	---

## 7 ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica è stata realizzata considerando la situazione attuale utilizzando un modello di simulazione monodimensionale in moto permanente.

### 7.1 Simulazione idraulica

L'analisi dello stato di fatto è stata realizzata con un modello monodimensionale.

Con il software di simulazione idraulica HEC-RAS 6.1 sviluppato presso l'Hydrologic Engineering Center, dall'United States Army Corps of Engineers si sono costruiti i profili di corrente in moto permanente lungo il sistema idrografico di interesse.

Sono state considerate le portate con periodo di ritorno TR50, TR 100 e TR 200 anni calcolate come specificato nel paragrafo dedicato all'analisi idrologica. I River oggetto di analisi corrispondono ai tre impluvi corrispondenti rispettivamente all'area di influenza dei Bacino 1, Bacino 2, Bacino 3 (Figura 15). Per quanto riguarda gli altri bacini idrografici perimetrati tramite l'analisi con GRASS descritta nei paragrafi precedente, si rimanda al capitolo successivo inerente alla regimentazione delle acque superficiali tramite opere di drenaggio delle acque meteoriche.

Le sezioni trasversali, ove possibile, sono state estrapolate dal DTM ottenuto dal rilievo effettuato in campo tramite drone. Lo schema geometrico del modello idraulico è riportato nelle figure seguenti.

**Features**

- Geometries
  - stato di fatto
    - Rivers
    - Cross Sections
      - Ineffective Flow Areas
      - Blocked Obstructions
      - Edge Lines
      - Interpolation Surface
    - Storage Areas
    - 2D Flow Areas
    - Bridges/Culverts
    - Inline Structures
    - Lateral Structures
    - SA/2D Connections
    - Pump Stations
    - Boundary Condition Lines
    - Initial Condition Points
    - Reference Points
    - Reference Lines
    - Manning's n
    - Infiltration
    - Percent Impervious
    - Errors
  - Event Conditions
- Results
  - plan01
    - Event Conditions
    - Geometry
    - Depth (PF 1)
    - Velocity (PF 1)
    - WSE (PF 1)
- Map Layers
  - perimetro\_def
  - impluvo\_def
  - Google Satellite
- Terrains
  - Terrain

Geometry 'stato di fatto' saved.

Messages Views Profile Lines Active Feature

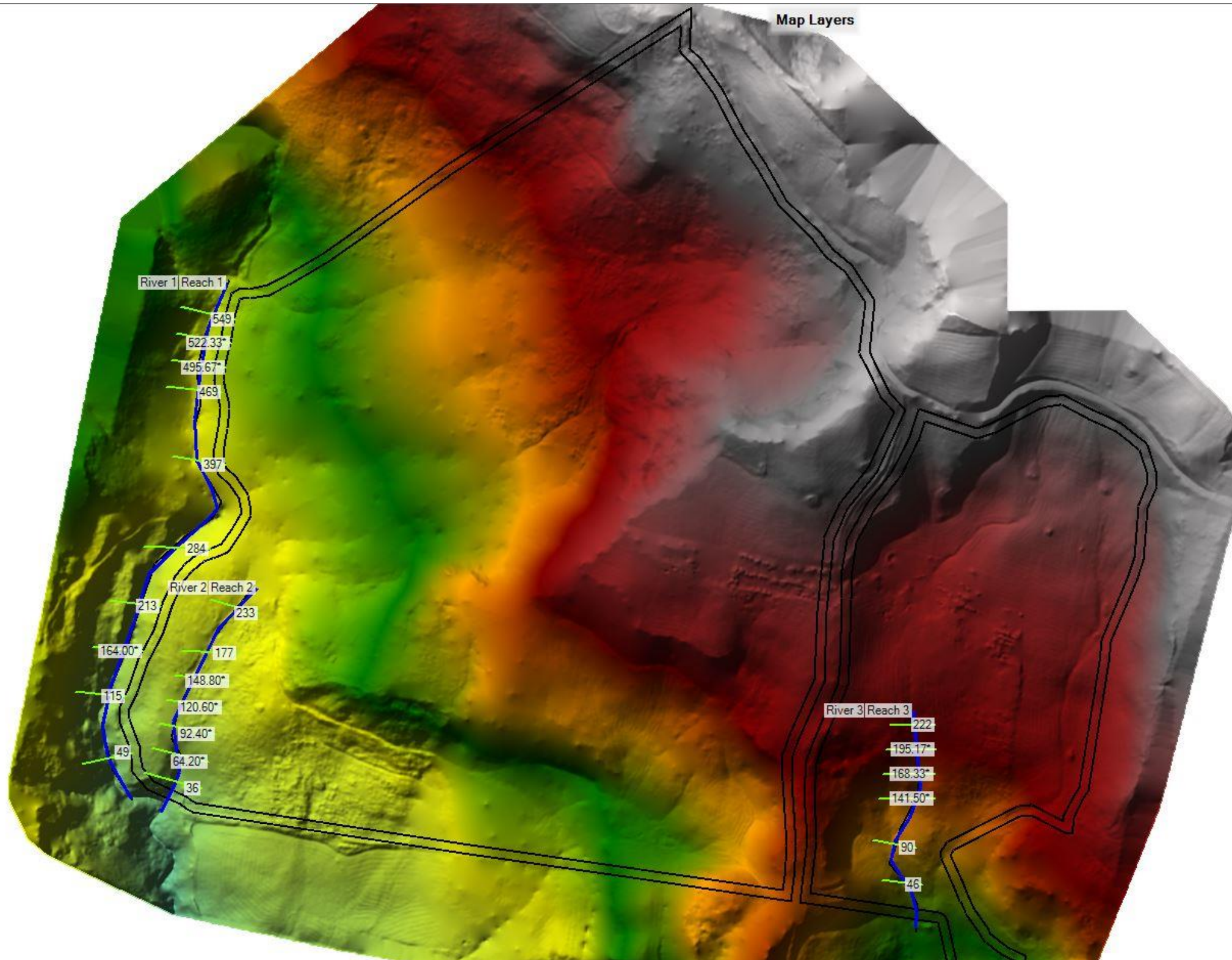


Figura16- Schema geometrico del modello idraulico implementato in HECRAS

Per quel che riguarda la scabrezza si è fatto riferimento ad un coefficiente di Manning pari a 0.033 m<sup>-1/3</sup> s e per le condizioni al contorno, viste le pendenze medie dei tronchi in oggetto, si è imposta l'altezza di stato critico in una sezione sufficientemente a valle ed a monte per evitare che tale scelta condizioni il profilo di corrente nell'area di interesse.

tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
<b>ALVEI DI PIANURA</b>			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con molienti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, molienti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
<b>ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)</b>			
sul fondo: ghiaia, ciotoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciotoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
<b>GOLENE E PIANE INONDABILI</b>			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

Tabella 3 - Coefficienti di scabrezza di Manning da CHOW V. T. 1959, Open Channel Hydraulics

I risultati delle computazioni idrauliche sono proposti nell'Appendice B e sono riassunti attraverso tabelle riepilogative (cross-section table e profile table) e grafici delle sezioni geometriche (plot crosssection) e del profilo longitudinale (plot profile).

I livelli idrici nelle sezioni trasversali sono riportati negli allegati tabellari alla relazione così come i profili e le sezioni.

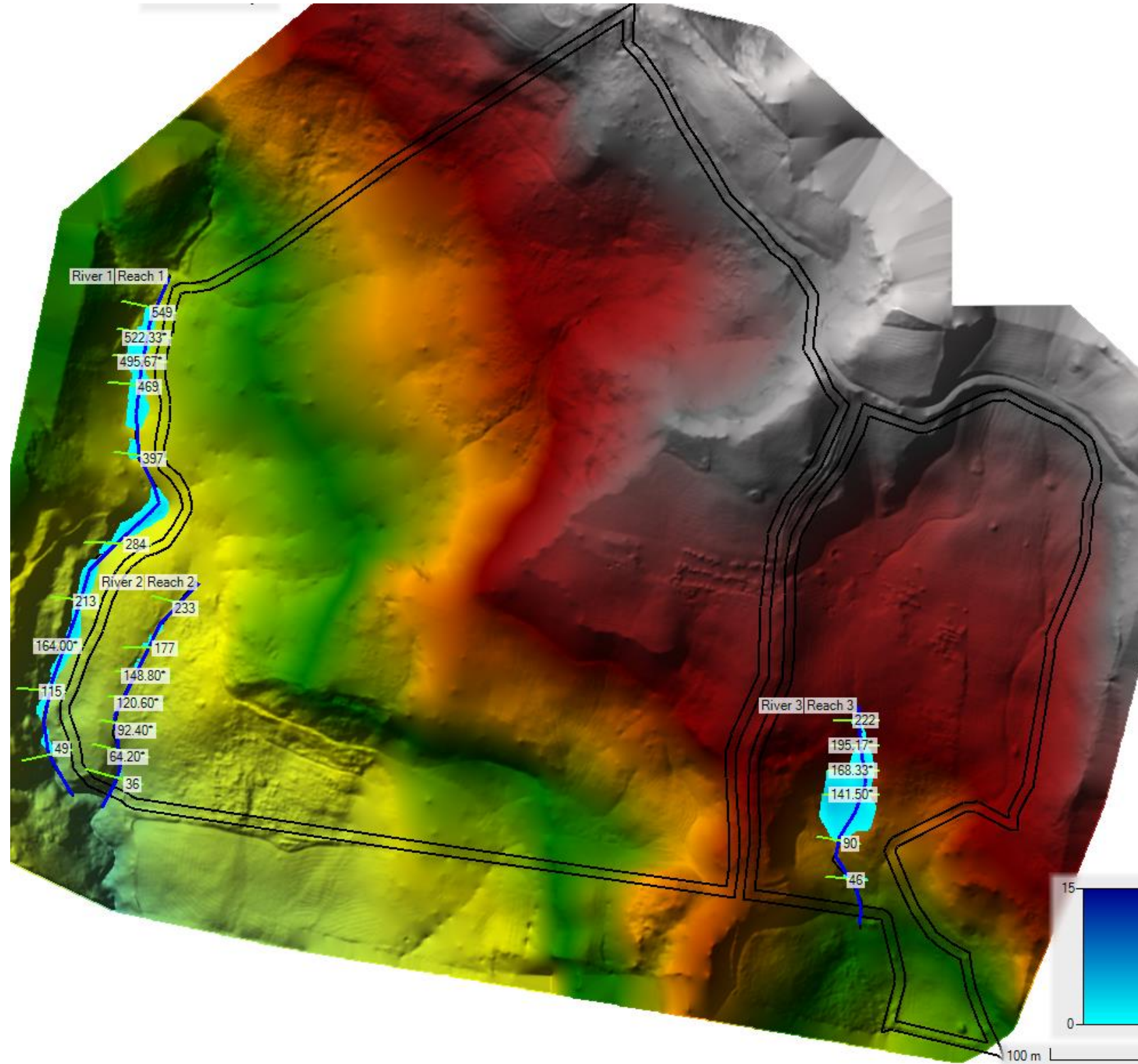


Figura 17 – Risultati simulazione TR= 50 anni

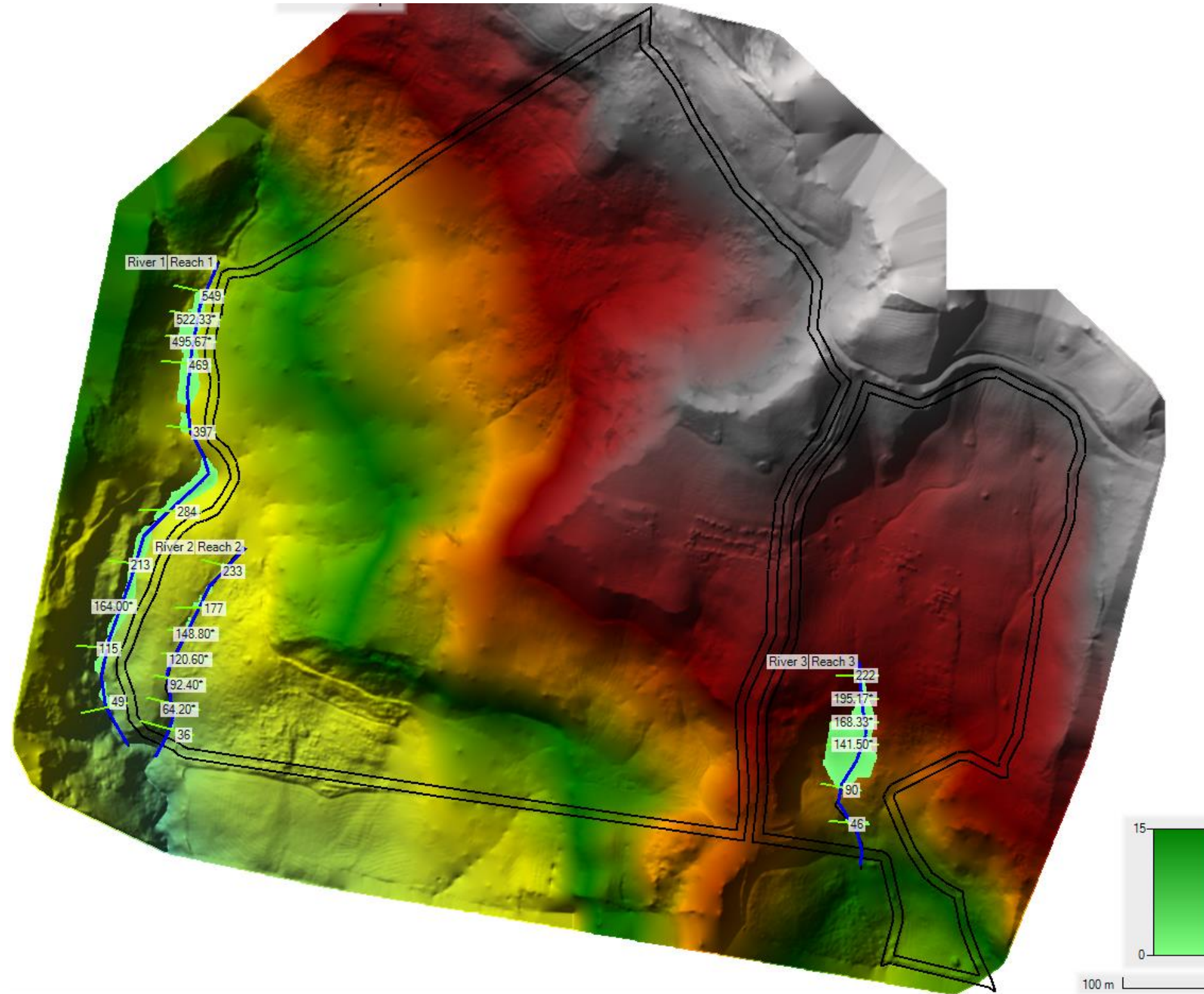


Figura 18 - Risultati simulazione TR= 100 anni

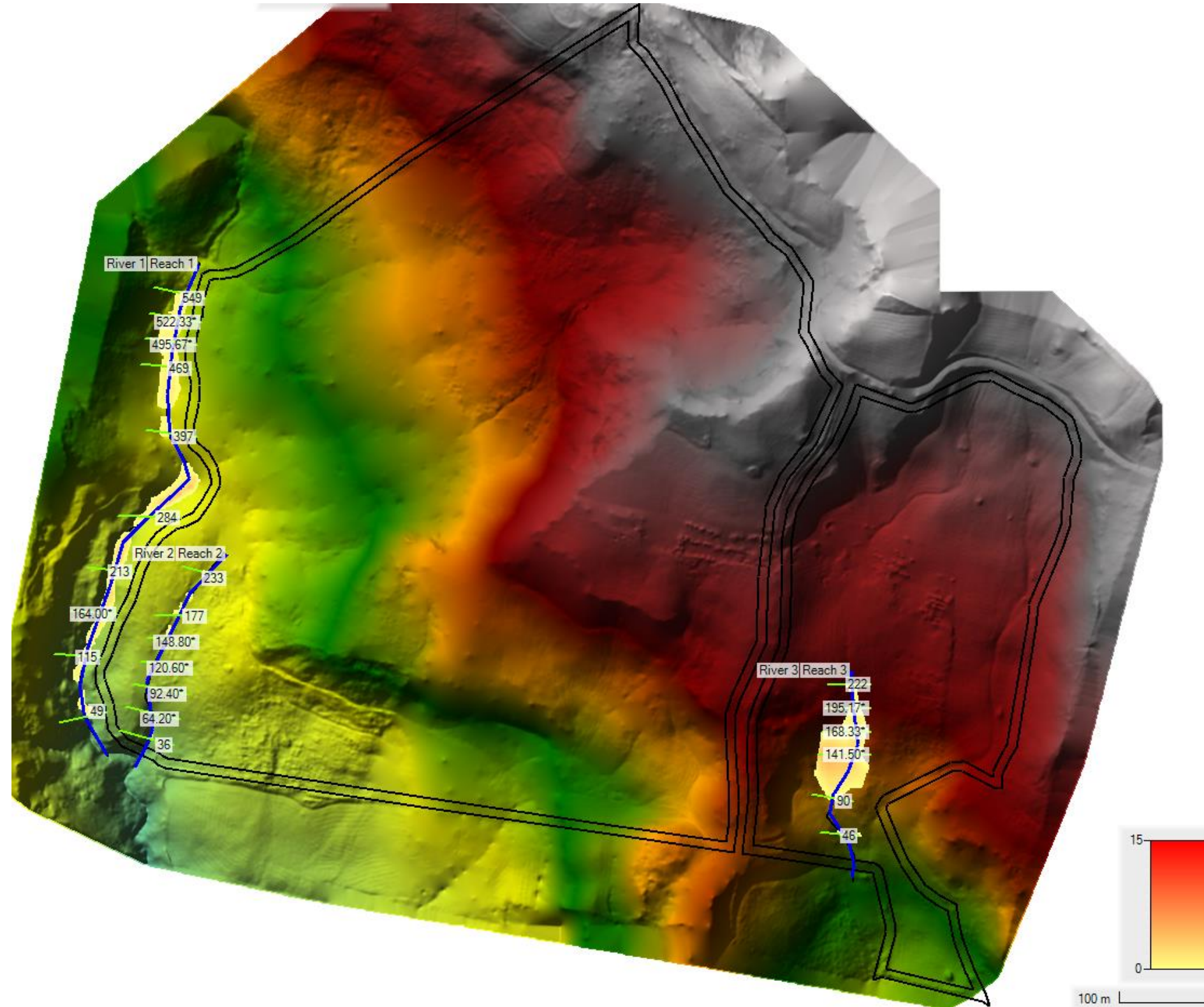



Figura 19 - Risultati simulazione TR= 300 anni



	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 32 di 43</p>
--	---	---


## 7.2 Analisi dei risultati

Dai risultati ottenuti si evidenzia che:

- ✓ la corrente risulta essenzialmente prossima allo stato critico per tutti i corsi d'acqua considerati e per tutte le portate di piena di riferimento;
- ✓ La corrente idrica interessa aree di pertinenza fluviale rimanendo confinata nell'incisione naturale esistente in corrispondenza delle portate relative a TR 50, TR 100 e TR 300.

Nello studio su esposto e negli elaborati allegati, Appendice A, Appendice B, costituenti parte integrante del presente documento, si è proceduto alla verifica di dettaglio dello stato di fatto valutando per ogni asta fluviale le aree di pericolosità. Per quanto riguarda l'area parco, le opere previste in progetto non risultano interferire con il reticolo idrico, e alla luce dei risultati delle simulazioni idrauliche, restituite graficamente nell'Appendice B, si conclude che:

- Il parco agrivoltaico ricade in area posta a vincolo idrogeologico pertanto, è stata condotta l'analisi morfologica e idrologica superficiale con software GRASS 7.8.5 (Geographic Resources Analysis Support System).
- Per i River 1, River 2, River 3, per gli eventi con tempi di ritorno di cinquanta, cento e trecento anni, le zone inondate non interessano l'area destinata al posizionamento dei pannelli e che i battenti idrici massimi raggiunti rimangono confinati all'interno dell'incisione naturale non rappresentando un rischio per l'opera in progetto né un aggravio delle condizioni di pericolosità e rischio.
- I pannelli sono rialzati dal suolo e sono posizionati su strutture che non costituiscono ostacolo al deflusso idrico.
- Nella progettazione sono state valutate delle aree di buffer agli impluvi, che a vantaggio di sicurezza, sono state escluse dall'ubicazioni dei pannelli. In particolare il River 1 è esterno al parco, ma a vantaggio di sicurezza è stata eseguita l'analisi per escludere che anche elementi perimetrali, quali recinzioni o fasce di mitigazione, possano essere esterne da fasce

	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 33 di 43</p>
--	--	---

alluvionabili. Per il River 2 è stato considerato un buffer di 20 metri in cui non saranno ubicati i pannelli e tracker di supporto. L'analisi del River 3 invece, è stata eseguita a vantaggio di sicurezza, anche se tale area risulta esclusa poiché rientra all'interno del buffer dei 200 m stabilito dalla presenza di un pozzo esterno al parco.

- La tipologia dei pannelli mediante pali infissi non comporta modificazione del deflusso naturale delle acque, non prevedendo impermeabilizzazioni dovute alle fondazioni; la dinamica di questa tipologia di impianti è legata allo scorrimento dell'acqua piovana lungo i pannelli e conseguente ricaduta della stessa nel terreno alla base di questi. In primo luogo si vuole precisare che la configurazione di posa dei pannelli fotovoltaici prevede di mantenere vuoto lo spazio tra i vari pannelli, in questo modo l'acqua piovana che sarà intercettata da ogni pannello cadrà dal bordo dello stesso sul terreno. Questa scelta fa in modo che non si creeranno accumuli concentrati di scarico d'acqua sul bordo di più file di pannelli, ma l'acqua si scaricherà nelle immediate vicinanze dal punto dove sarebbe caduta in assenza di pannelli.
- Si vuole infine portare l'attenzione sulla condizione relativa allo stato di manutenzione dell'alveo. Al fine di garantire l'efficienza idraulica, così come viene modellata in questa sede, nella fase di esercizio, oltre alla manutenzione dell'impianto, si effettueranno interventi periodici sul terreno al fine di evitare lo sviluppo incontrollato di alte erbe e arbusti.

Sulla scorta delle analisi e delle simulazioni svolte, dal momento che per i tempi di ritorno analizzati le aree di ubicazione dei pannelli non risultano essere interessate dalle esondazioni, l'intervento progettuale risulta essere compatibile. In allegato a questa relazione vengono riportate le tavole delle sezioni con i battenti idrici e i profili per i tre impluvi riscontrati nell'area e nelle quali è chiaramente visibile la condizione di sicurezza per l'intervento oggetto di studio.

## 8 REGIMENTAZIONI ACQUE SUPERFICIALI

Sulla base del modello geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area sono state progettate le opere di sistemazione idrogeologica in modo da migliorare la stabilità del complesso opera terreno.

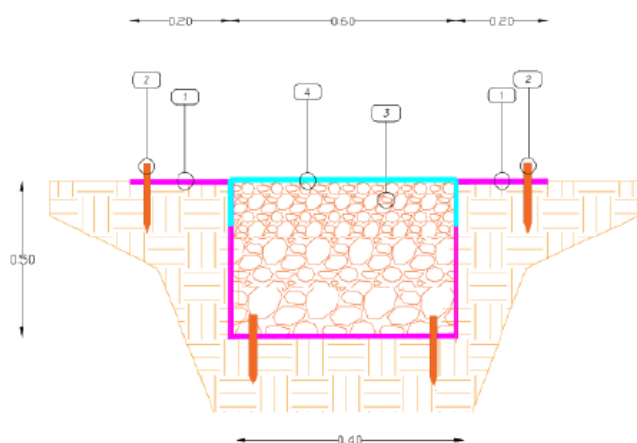
Le opere previste in progetto e che verranno di seguito illustrate sono compatibili con l'attuale assetto geologico e geomorfologico dell'area e miglioreranno la stabilità del versante e delle strutture presenti.

Nell'ambito del presente paragrafo si approfondirà l'intervento finalizzato all'allontanamento delle acque superficiali attraverso dei drenaggi.

Il sistema drenante in progetto è costituito da linee di intercettazione parallele di lunghezza variabile, le quali corrono parallele lungo la direttrice N-S.

La funzione di queste è quella di convogliare il deflusso d'acqua tra i pannelli verso gli impluvi naturali esistenti e le cunette previste lungo la viabilità interna e perimetrale. Le pendenze delle canalette seguono la morfologia del versante. Nell'ambito della regimentazione delle acque superficiali in fase di esecuzione verrà data particolare attenzione alla sistemazione dei ricettori finali.

Le canalette superficiali saranno del tipo riportato nella figura seguente, con base minore pari a 0.40, profondità 0.50 m e base maggiore pari a 0.60 m.



### PARTICOLARE CANALLETTE SUPERFICIALI

#### LEGENDA

- 1 Geomembrana rinforzata, tipo HarpoCover 240
- 2 Picchetti in ferro Ø8 e lunghezza (min. 25 cm)
- 3 Materiale arido pezzatura da 15mm a 50 mm.
- 4 Tessuto non tessuto 150 g/m<sup>2</sup>  
Permeabilità verticale non inferiore a 100 l/m<sup>2</sup>/sec

Figura 20 - Particolare canalette per il drenaggio superficiale

Lo scavo verrà rivestito da membrana impermeabile e riempito da pietrame grossolano per consentire rapidamente il deflusso verso le sezioni di recapito. La Geomembrana impermeabile rinforzata, ha la funzione di barriera polimerica geosintetica per usi in costruzione di bacini e dighe, costruzione di canali,

barriere ai fluidi nella costruzione di gallerie e strutture interrato associate, costruzione di siti di smaltimento per rifiuti liquidi, stazioni di trasferimento o contenimento secondario, costruzione di discariche e siti di stoccaggio di rifiuti solidi, barriere per infrastrutture di trasporto, dovrà essere costituita da un geotessile tessuto in polietilene ad alta densità (HDPE), rivestito con un triplo strato di polietilene a bassa densità (LDPE); la geomembrana dovrà essere di colore verde, per un migliore inserimento ambientale.

Il tessuto permeabile invece è costituito da polipropilene con permeabilità verticale non inferiore a 100 l/m<sup>2</sup>/sec. Il pietrame grossolano sarà eseguito con la posa di con ghiaia di fiume o pietrisco di cava lavati, di pezzatura mista da mm 15 a mm 40/50. Le caratteristiche granulometriche dei materiali forniti e posti in opera devono essere opportunamente certificati con relativa analisi granulometrica.

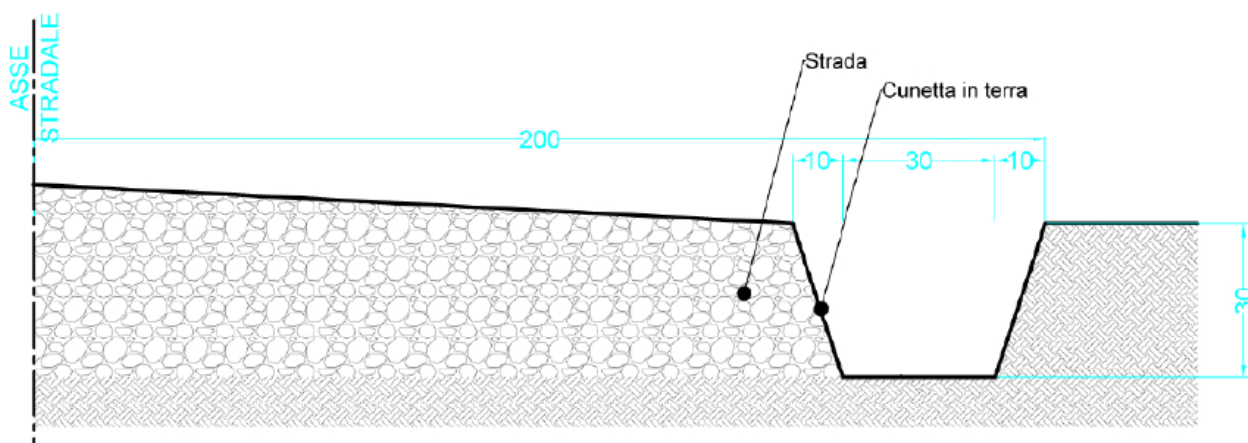



Figura 21 - Cunetta in terra

	<p style="text-align: center;"><b>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE IDROLOGICA E ANALISI IDRAULICA</b></p>	<p style="text-align: center;">DATA: <b>NOVEMBRE 2022</b> Pag. 36 di 43</p>
--	--	---

## 9 CONCLUSIONI

L'impianto infatti interferisce, seppur in maniera modesta, con alcuni impluvi della rete idrografica superficiale segnati sulle cartografie C.T.R. della Regione Sicilia. Si è reso necessario effettuare uno studio idrologico-idraulico al fine di determinare le relative fasce di pertinenza fluviale.

L'analisi preliminare ha permesso di effettuare un inquadramento geologico, idrogeologico e morfologico dell'area nonché l'individuazione e la perimetrazione dei sottobacini idrografici di interesse.

Sui sottobacini idrografici individuati è stato condotto uno studio idrologico allo scopo di valutare la portata di massima piena con tempo di ritorno di 50,100,300 anni.

Le portate di massima piena sono state valutate, attraverso modelli matematici, a partire dall'afflusso meteorico previsto per il sottobacino e alla successiva trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi.

Gli afflussi meteorici sono stati valutati a partire dalla ricostruzione delle Curve di Probabilità Pluviometrica utilizzando la metodologia TCEV (Two Component Extreme Value Distribution) messa a punto nell'ambito del progetto VAPI.

Le analisi idrauliche, sono stati effettuate utilizzando i codici di calcolo implementati del software HEC-RAS distribuito dallo U.S. Army Corps of Engineers.

Per quanto riguarda invece le interferenze tra il cavidotto interrato ed elementi del reticolo esistente, considerate le modalità costruttive e la scelta del tracciato (prevalentemente all'interno della viabilità esistente), saranno risolte mediante ancoraggio/staffaggio alle strutture esistenti o, alternativamente, mediante trivellazione orizzontale controllata (TOC). In definitiva, la realizzazione del cavidotto interrato, sia se realizzato su strade esistenti sia se posto in opera in terreni agricoli, consentirà di proteggere il collegamento elettrico da potenziali effetti delle azioni di trascinamento della corrente idraulica e non comporterà alcuna riduzione della sezione utile per il deflusso idrico.

A fine lavori, si provvederà al ripristino della situazione ante operam delle carreggiate stradali e della morfologia dei terreni attraversati, per cui gli interventi previsti per il cavidotto non determineranno alcuna modifica territoriale né modifiche dello stato fisico dei luoghi. Sulla scorta delle analisi e delle simulazioni svolte, per i tempi di ritorno analizzati, le aree in esame non risultano interessate da esondazioni e l'intervento progettuale risulta pertanto essere compatibile con l'ambiente circostante.