



## RELAZIONE IDROLOGICA -IDRAULICA

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DENOMINATO “VARNA SOLAR”, DI POTENZA COMPLESSIVA PARI A 45 MW, IN CONTRADA PULVIRENTI, COMUNE DI BELPASSO (CT) E TRA LE CONTRADE FONTANAZZA, BLANCO E FIUMAZZO, COMUNE DI CATANIA (CT)**



**Ing. Daniele Cianciolo**

**Mada Engineering srl**

**Varna Solar S.r.l.**

**Società proponente**

---

## INDEX

1	INTRODUZIONE .....	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	3
3	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO .....	4
4	CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO .....	6
5	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	7
6	ANALISI IDROLOGICA .....	8
6.1	METODO DI GUMBEL .....	8
6.2	METODO TCEV .....	9
7	VERIFICHE IDRAULICHE .....	15
7.1	MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO .....	15
7.2	MODELLO DIGITALE DEL TERRENO .....	16
7.3	IMPOSTAZIONI DI CALCOLO.....	17
7.4	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA .....	20
8	STUDIO PER LA PROGETTAZIONE DI MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA .....	22
9	MISURE IDRAULICHE DI MITIGAZIONE.....	25
9.1	TRINCEE DRENANTI SU FOSSI.....	26
10	CONCLUSIONI .....	28

## **1 INTRODUZIONE**

Il presente studio è redatto al fine di definire la compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato "Varna Solar", di potenza complessiva pari a 45 MW, in Contrada Pulvirenti, Comune di Belpasso (CT) e tra le Contrade Fontanazza, Blanco e Fiumazzo, Comune di Catania (CT).

Si è effettuata un'elaborazione mediante simulazione di calcolo con software GeoHEC-RAS 2D sviluppato dall'*Hydrologic Engineering Center dello US Army Corps of Engineers*, avendo impostato nei dati di input gli idrogrammi di piena e le opportune condizioni al contorno.

Le simulazioni per le verifiche idrauliche, sono state condotte su base DTM attraverso un modello idraulico non stazionario bi-dimensionale, per un tempo di ritorno pari a  $T=50$  anni.

Il presente studio è stato effettuato in ottemperanza alle procedure dettate dal PAI e nel rispetto della disciplina contenuta nel Regio Decreto 523/1904.

Sono stati acquisiti tutti dati necessari e si sono analizzati i risultati della modellazione idraulica per dimostrare la necessità o meno di creare volumi di laminazione al fine di garantire la compatibilità idraulica del sito in esame.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Le aree di interesse ricadono in Contrada Pulvirenti all'interno del Comune di Belpasso (CT) e tra le Contrade Fontanazza, Blanco e Fiumazzo, all'interno del Comune di Catania (CT), tutte fuori dal centro abitato, in una zona a vocazione agricola.

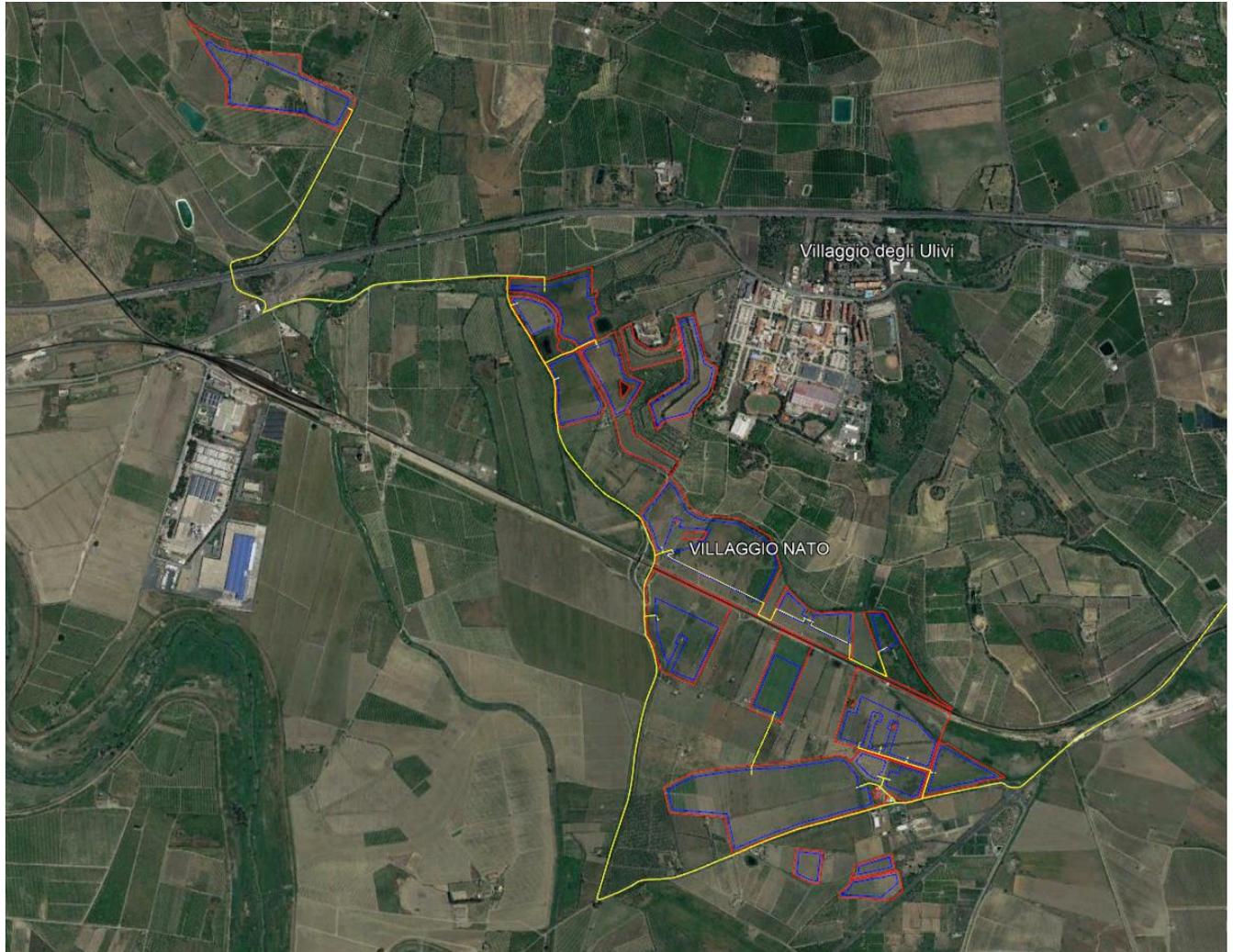
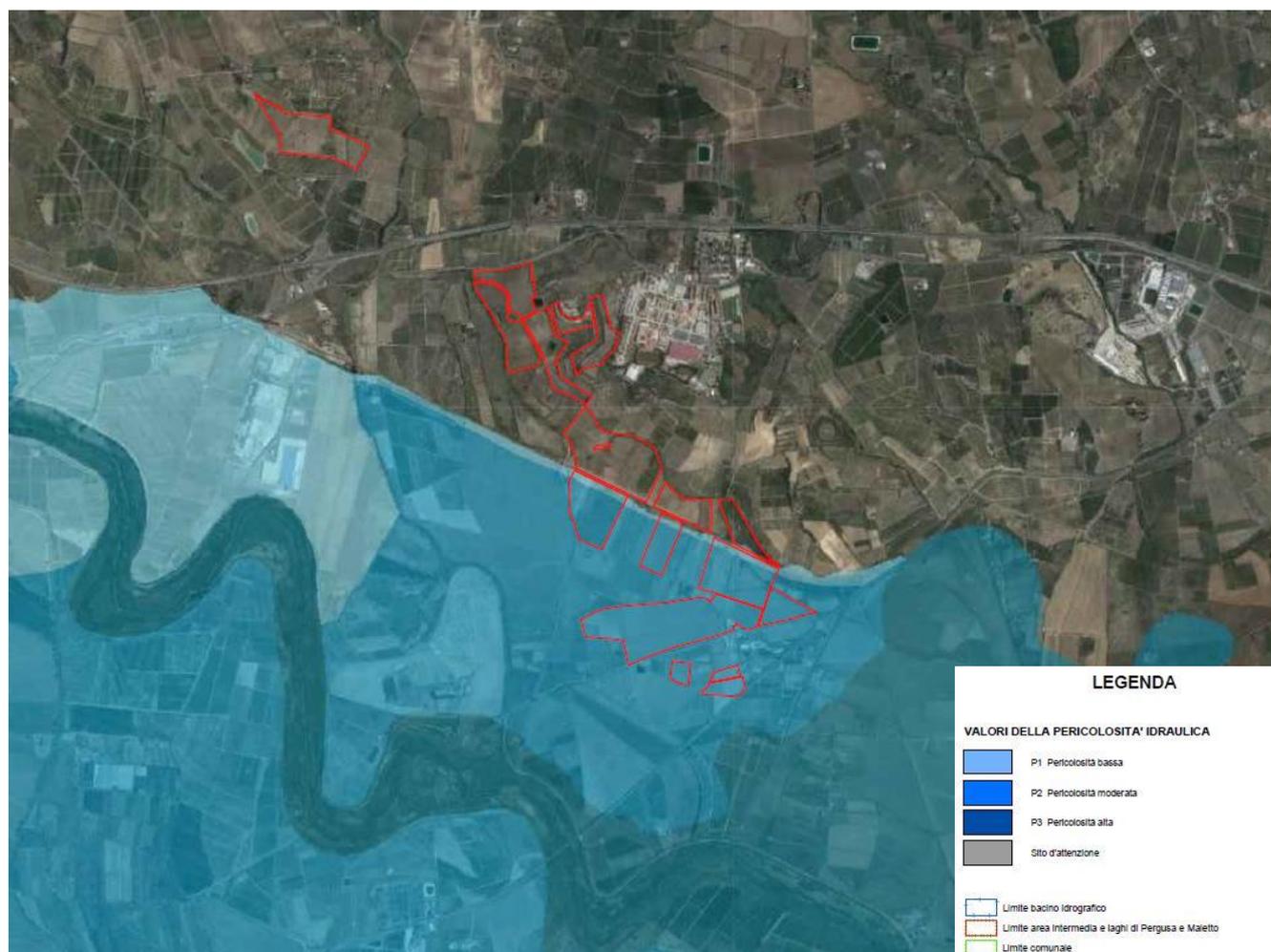


Figura 2.1- Inquadramento territoriale.

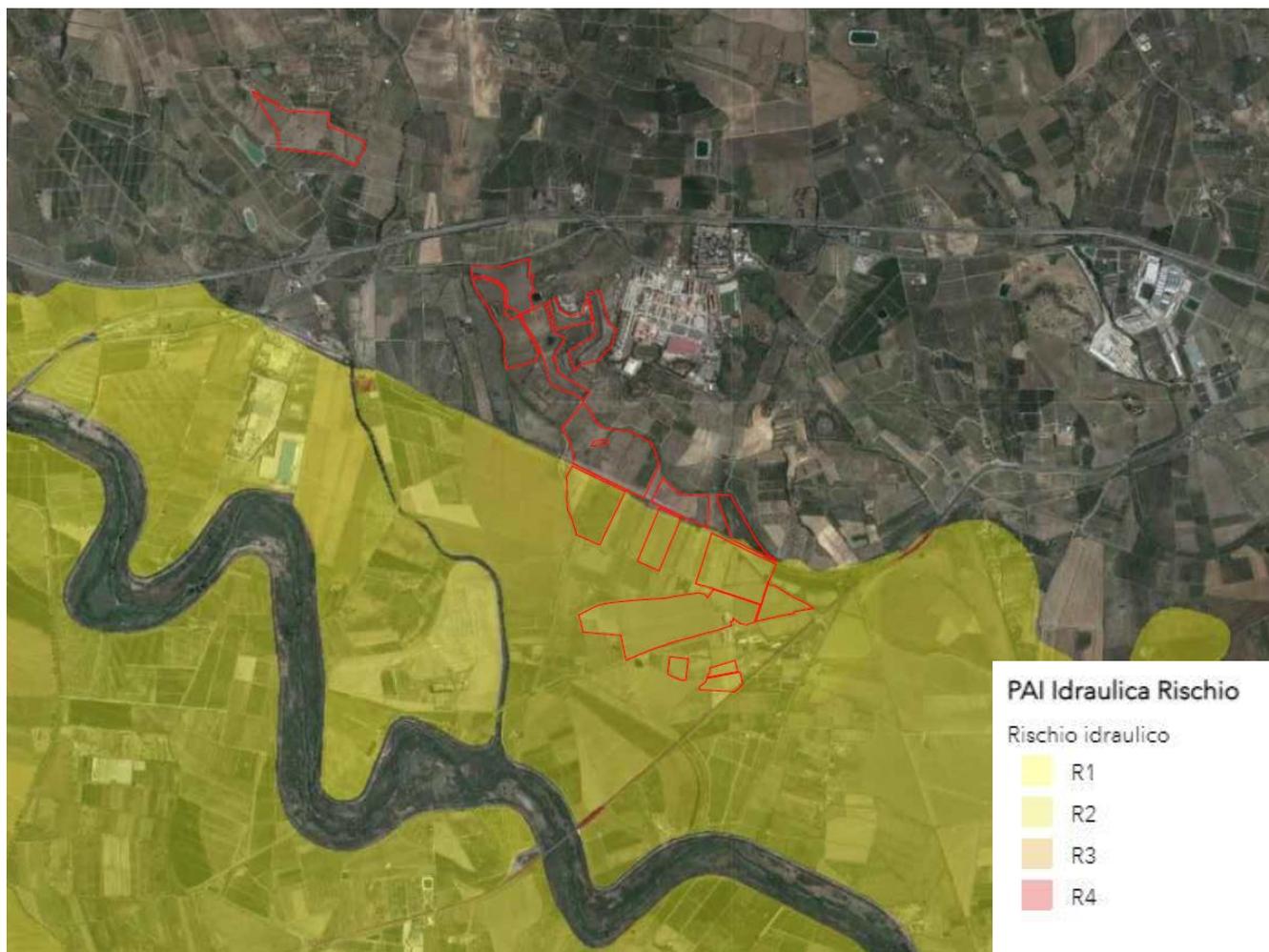
### 3 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO

Si sono analizzate le cartografie relative al Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) al fine di evidenziare eventuali livelli di pericolosità e rischio idraulico in corrispondenza dell'area di impianto.

Di seguito si riportano degli stralci planimetrici delle suddette carte, con la delimitazione del sito in esame all'interno di esse, al fine di individuare eventuali sovrapposizioni con zone soggette a pericolosità o a rischio idraulico.



**Figura 3.1-** Stralci Carta della Pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione



**Figura 3.2** - Stralcio Carta del Rischio idraulico per fenomeni di esondazione

Dalla verifica cartografica si determina, pertanto, la sussistenza di zone soggette a pericolosità idraulica di livello P2 e di rischio idraulico di livello R2 in corrispondenza delle aree più a Sud dell'impianto oggetto di studio.

Le restanti aree di impianto più a Nord, come si può evidenziare dalle immagini sopra, non risultano essere interessate da sovrapposizioni con aree a pericolosità e/o rischio idraulico.

#### 4 CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO

Il bacino di pertinenza dell'area di interesse è un sottobacino del "Bacino Idrografico del Fiume Simeto" censito dal PAI al numero 094.



**Figura 4.1-** Bacino idrografico del Fiume Simeto (094).

Il sottobacino in oggetto ha una superficie pari a 192,8 km<sup>2</sup>.

Le principali caratteristiche morfometriche del sottobacino idrografico considerato e le valutazioni idrologiche ed idrauliche, sono di seguito riportate.

**Tabella 4.1-** Caratteristiche morfometriche del bacino considerato.

<b>Area (km<sup>2</sup>)</b>	<b>H<sub>max</sub> (m.s.l.m.)</b>	<b>H<sub>0</sub> (m.s.l.m.)</b>	<b>L asta principale (km)</b>	<b>i (%)</b>
192.8	130	11	37.8	0.3

## 5 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Prima di effettuare l'analisi statistica delle piogge è necessario conoscere il tempo di corrivazione del bacino, ovvero il tempo che impiega la particella idraulicamente più lontana a raggiungere la sezione di chiusura.

A tal fine si possono utilizzare differenti formule:

- **Formula di Giandotti:**

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L_a}{0.8 \sqrt{H_{med} - H_0}}$$

dove:

- $t_c$  (ore) è il tempo di corrivazione;
- $S$  (km<sup>2</sup>) l'area del bacino idrografico;
- $L_a$  (km) la lunghezza dell'asta principale;
- $H_{med}$ (m) l'altitudine media del bacino;
- $H_0$  (m) la quota della sezione di chiusura.

- **Formula di Puglisi e Zanframundo:**

$$t_c = 6 \frac{L_a^{2/3}}{d^{1/3}}$$

dove:

- $d$  (m) è il dislivello dell'asta principale.

- **Formula di Kirpich:**

$$t_c = 0.066 \frac{L_a^{0.77}}{i^{0.385}}$$

dove:

- $L_a$  (km) è la lunghezza dell'asta principale;
- $i$  (-) è la pendenza media dell'asta principale;

**Tabella 5.1-** Calcolo del tempo di corrivazione.

<b>Giandotti</b> (ore)	<b>Puglisi</b> (ore)	<b>Kirpich</b> (ore)	<b>media</b> (ore)	<b>tc progetto</b> (ore)
18.19	13.73	9.94	13.95	14.00

## 6 ANALISI IDROLOGICA

Per la valutazione dei deflussi sulla superficie di scolo in esame è necessario preliminarmente effettuare uno studio degli eventi meteorici caratterizzati da prefissati tempi di ritorno e durata.

I risultati dello studio vengono usualmente sintetizzati nelle curve di probabilità pluviometrica, le quali sono caratterizzate da un valore di probabilità o tempo di ritorno (di seguito indicato con il simbolo  $T_r$  ed espresso in anni) e che rappresentano le massime altezze di pioggia ( $h$ ) espresse in [mm] in funzione della durata dell'evento meteorico ( $t$ ) espresso in [ore]; proprio per questo motivo esse vengono talvolta riferite come curve altezze-durata-probabilità.

In particolare l'analisi delle piogge ha lo scopo di identificare le curve di possibilità pluviometrica nella consueta forma monomia:

$$h = a t^n$$

A tale scopo, in questo progetto, si fa riferimento alla metodologia suggerita dal CNR-GNDCI a seguito degli studi svolti nel progetto VA.PI. (Valutazione delle Piene) riportati nella pubblicazione: "La valutazione delle piene in Sicilia".

Il progetto VA.PI. esegue l'analisi delle serie storiche delle piogge registrate in tutte le stazioni di misura della regione Sicilia e fornisce delle tavole che permettono di calcolare agevolmente le curve di possibilità climatica.

L'analisi delle piogge presuppone la scelta di una funzione di probabilità che rappresenti la distribuzione tipica della variabile aleatoria in oggetto: la precipitazione massima annua  $h$  per eventi di una certa durata  $t$ .

La letteratura tecnica classica consiglia di utilizzare allo scopo la funzione doppio esponenziale o "di Gumbel" mentre il VA.PI. sceglie una funzione più complessa chiamata TCEV (Two Component Extreme Value).

Essa consiste sostanzialmente nella somma di due distribuzioni di Gumbel, conseguenza dell'assunzione concettuale secondo cui i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali e un'altra degli eventi eccezionali (outliers), legati a differenti fenomeni meteorologici.

### 6.1 METODO DI GUMBEL

La variabile casuale  $h_t$ , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata oraria viene descritta, nel metodo di Gumbel, dalla funzione di probabilità doppio esponenziale avente la seguente forma:

$$F(h_t) = e^{-e^{-\alpha(h_t-z)}}$$

I parametri  $\alpha$  ed  $\varepsilon$  possono essere stimati, sulla base dei campioni a disposizione, sia attraverso il metodo dei momenti sia attraverso il metodo della massima verosimiglianza.

## 6.2 METODO TCEV

La funzione di probabilità per la variabile casuale  $h_t$ , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata oraria proposta dal metodo TCEV ha la seguente forma:

$$F(h_t) = e^{-\Lambda_1 e^{\frac{h_t}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{\frac{h_t}{\Theta_2}}}$$

e dipende dunque da quattro parametri che sono rispettivamente:

$$\Lambda_1, \Lambda_2, \Theta_1 \text{ e } \Theta_2.$$

Tuttavia ponendo:

$$\theta^* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad \Delta^* = \frac{\Delta_2}{\Delta_1^{\theta^*}}$$

Essa diviene:

$$F(h_t) = e^{-\Lambda_1 e^{\frac{h_t}{\Theta_1}} - \Lambda_1 \Lambda_1^{\theta^*} e^{-\frac{h_t}{\Theta_1 \theta^*}}}$$

Ed i parametri da stimare sono  $\Delta^*$ ,  $\theta^*$ ,  $\Delta_1$  e  $\Theta_1$

Si osserva che la media della distribuzione può essere così calcolata:

$$\mu_{h_t} = \left[ \ln \Lambda_1 + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_1^j}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\theta^*}\right) \right] \Theta_1 = \eta \cdot \Theta_1$$

Dove  $\eta$  dipende dai primi tre parametri.

Se si indica con  $k$  il rapporto adimensionale tra la variabile aleatoria  $h_t$  e la sua media ( $k = \frac{h_t}{\mu_{h_t}}$ )

Allora l'espressione della funzione di probabilità diviene:

$$F(k) = e^{-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_1 \Lambda_1^{\theta^*} e^{-\frac{\eta k}{\theta^*}}}$$

Ed i parametri da determinare sono  $\Delta^*$ ,  $\theta^*$ ,  $\Delta_1$  e  $\mu_{h_t}$

Rispetto al metodo di Gumbel, dunque, raddoppiano i parametri da identificare. La loro stima sulla base di una sola serie storica risulta spesso inattendibile per il ridotto numero di campioni a disposizione.

Per contro la funzione si presta ad essere specificata nei suoi parametri a diversi livelli di omogeneità regionale utilizzando contemporaneamente più serie storiche.

Il VAPI ha analizzato i dati della rete pluviografica siciliana gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) di Palermo. Essa risulta composta da 172 stazioni di misura con almeno 10 anni di osservazione, con una densità media di una stazione per 150 km<sup>2</sup>.

Ciò ha permesso di stimare i parametri secondo vari livelli di regionalizzazione. I parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  da cui dipende il coefficiente di simmetria della curva possono essere ritenuti costanti su tutta la Sicilia (regione omogenea), mentre il parametro  $\Lambda_1$  è stato stimato costante entro tre zone omogenee che corrispondono sommariamente ai tre “corni” della Sicilia.



**Figura 6.2.1-** *Suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee: A (giallo), B (arancio), C (verde).*

Per piogge di durata giornaliera i valori calcolati dal VAPI sono:

Sottozona	$\Lambda^*$	$\Theta^*$	$\Lambda_1$	$\eta(\Lambda^*, \Theta^*, \Lambda_1)$
A	0.455	2.632	12	4.001
B			16	4.288
C			23	4.651

Per piogge di durata oraria, invece, si osserva che i parametri hanno una certa dipendenza dalla durata stessa secondo le seguenti leggi:

Sottozona	$\Lambda^*$	$\Theta_*$	$\Lambda_1$	$\eta(\Lambda^*, \Theta^*, \Lambda_1)$
A	$0.175 t^{0.301}$	$1.95+0.0284 t$	$14.55 t^{0.2419}$	Da calcolare per ogni caso.
B			$12.40 t^{0.1802}$	
C			$11.96 t^{0.0960}$	

L'ultimo parametro che definisce compiutamente la funzione di probabilità TCEV è  $\mu_{ht}$ . Esso può essere stimato come media aritmetica della serie storica di pari durata  $t$  della stazione di misura più vicina. Tuttavia il VA.PI. fornisce una tavola della Sicilia con le linee di iso- $\mu_{h1}$  ossia dei valori medi per piogge della durata di un'ora.

Per le altre durate il valore medio è direttamente calcolato tramite la relazione:

$$\mu_{h_t} = \mu_{h_1} t^n$$

che segue dall'aver applicato l'operatore di media alla formula dell'equazione di possibilità pluviometrica.

Anche i valori di  $n$  sono forniti dal VA.PI. secondo una apposita tavola, per tutto il territorio siciliano.

Una volta nota la distribuzione di probabilità della variabile aleatoria  $h_t$  (ovvero  $k$ ) il problema tipico è quello di conoscere il valore della variabile, assegnato il tempo di ritorno ( $Tr$ ) dell'evento.

Il tempo di ritorno  $Tr$  è legato alla probabilità cumulata di non superamento secondo la relazione:

$$T_r = \frac{1}{1 - F(k)}$$

tuttavia non è possibile esplicitare analiticamente  $k$ , se non in forma approssimata.

Il VAPI, tenuto conto della dipendenza dei parametri da  $t$ , suggerisce le seguenti approssimazioni per  $k(Tr)$ :

Zona	$K_T(t, Tr)$ per piogge orarie
A	$0.5391 - 0.001635 \cdot t + (0.0002212 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966) \cdot \log(Tr)$
B	$0.5135 - 0.002264 \cdot t + (0.0000198 \cdot t^2 + 0.00329 \cdot t + 1.0508) \cdot \log(Tr)$
C	$0.5015 - 0.003516 \cdot t + (0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101) \cdot \log(Tr)$

$k(Tr)$  è spesso indicato come  $KT$  e viene chiamato fattore di crescita perché esprime il rapporto tra un valore indice della variabile precipitazione, in questo caso la media, ed il valore effettivo crescente con il tempo di ritorno.

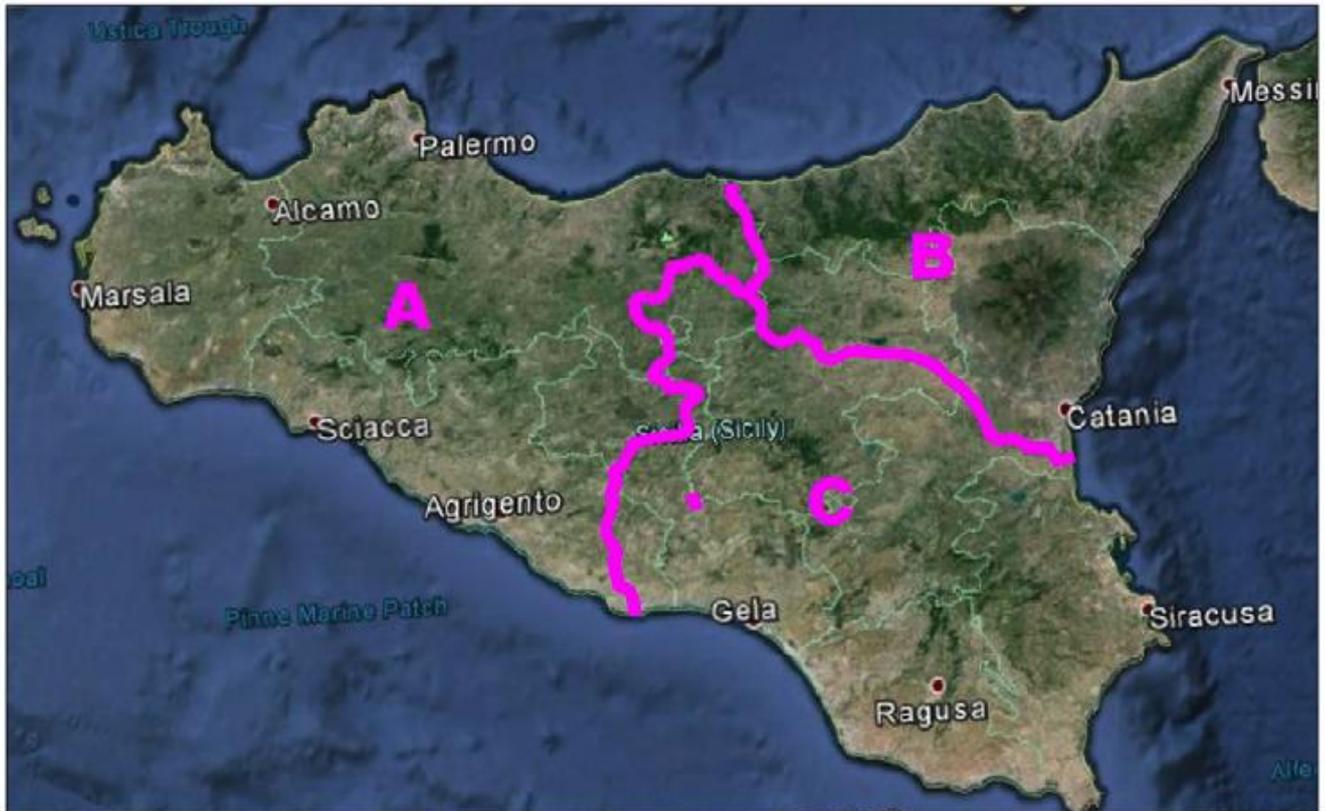
Le espressioni per  $KT(t, Tr)$  valgono solo per  $t > 1$  ora.

Osservando che il bacino interessato dal progetto appartiene alla sottozona omogenea C, si possono definire le curve di possibilità pluviometrica secondo le seguenti leggi.

Per ognuna delle sottozone di cui alla figura precedente è stata individuata una legge, detta curva di crescita, che fornisce la variabile adimensionale  $X = X_T(t)$ .

Nel caso in esame, il bacino ricade nella sottozona C, per la quale la legge della curva di crescita assume la seguente forma:

$$X_T(t) = 0.5015 - 0.003516 t + (0.0003720 t^2 + 0.00102 t + 1.0101) \log T \quad T \geq 10 \text{ anni}$$



**Figura 6.2.2-** Individuazione della sottozona di appartenenza (Sottozona C).

Per passare dalla relazione di cui sopra alla curva di probabilità pluviometrica  $h = h(t)$  in forma completa, si applica la seguente relazione:

$$h = h(t) = X_T(t) \cdot a \cdot t^n \quad (\text{mm})$$

Cod.	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
119	Vittoria	Ippari	29,9	0,2345
120	Ragusa	Irminio	26,0	0,3213
121	Modica	Scicli	25,2	0,3232
122	Castelluccio	Tellaro	38,7	0,2956
123	Noto	Noto	32,5	0,3423
124	Mellilli	Anapo	30,8	0,3305
125	Palazzolo Acreide	Anapo	27,6	0,3587
126	Presa S. Nicola	Anapo	29,7	0,4174
127	Siracusa	Anapo	32,3	0,2909
128	Augusta	Anapo	36,9	0,2975
129	Carlentini	Lentini	27,2	0,4573
130	Lentini città	Lentini	32,4	0,3698
131	Lentini bonifica	Lentini	38,3	0,3644
132	Maniaci	Simeto	17,6	0,2845
133	Buffali	Simeto	27,1	0,3123
134	Cesarò	Simeto	27,3	0,2578
135	Troina	Simeto	25,9	0,3697
136	Ancipa	Simeto	27,3	0,3390
137	Maletto	Simeto	25,6	0,2288
138	Bronte	Simeto	22,1	0,2777
139	Borgonuovo	Simeto	24,4	0,2854
140	Nicosia	Simeto	28,0	0,3676
141	Capizzi	Simeto	33,2	0,2511
142	Cerami	Simeto	28,2	0,2899
143	Salamone	Simeto	25,0	0,2680
144	Gagliano Castellferato	Simeto	22,4	0,3448
145	Agira	Simeto	24,8	0,3448

Cod.	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
146	Ragalna	Simeto	22,0	0,3990
147	Centuripe	Simeto	20,8	0,4075
148	Adrano	Simeto	27,2	0,2734
149	Paternò	Simeto	25,3	0,2975
150	Simeto	Simeto	32,7	0,3312
151	Leonforte	Simeto	31,1	0,2990
152	Valguarnera	Simeto	25,9	0,4093
153	Toricchia	Simeto	19,7	0,2941
154	Raddusa	Simeto	24,8	0,2522
155	Caltagirone	Simeto	25,0	0,2679
156	Mineo	Simeto	30,2	0,3149
157	Ramacca	Simeto	31,0	0,2769
158	Zafferana Etnea	Simeto	37,4	0,4879
159	Linguaglossa	Simeto	35,1	0,4473
160	Viagrande	Simeto	39,1	0,3516
161	Piedimonte Etneo	Simeto	35,8	0,3554
162	Acireale	Simeto	41,5	0,3455
163	Catania (G. Civile)	Simeto	32,3	0,3266
164	Catania Osservatorio	Simeto	43,3	0,3536
165	Randazzo	Simeto	27,8	0,3752
166	Francavilla di Sicilia	Alcantara	41,0	0,4229
167	Alcantara	Alcantara	33,0	0,3216
168	Taormina	Alcantara	40,9	0,2990
169	Camaro	Fiumedinisi	38,5	0,3030
170	Messina	Fiumedinisi	33,8	0,2598
171	Ganzirri	Fiumedinisi	34,4	0,2121
172	Aliterme	Fiumedinisi	32,7	0,2764

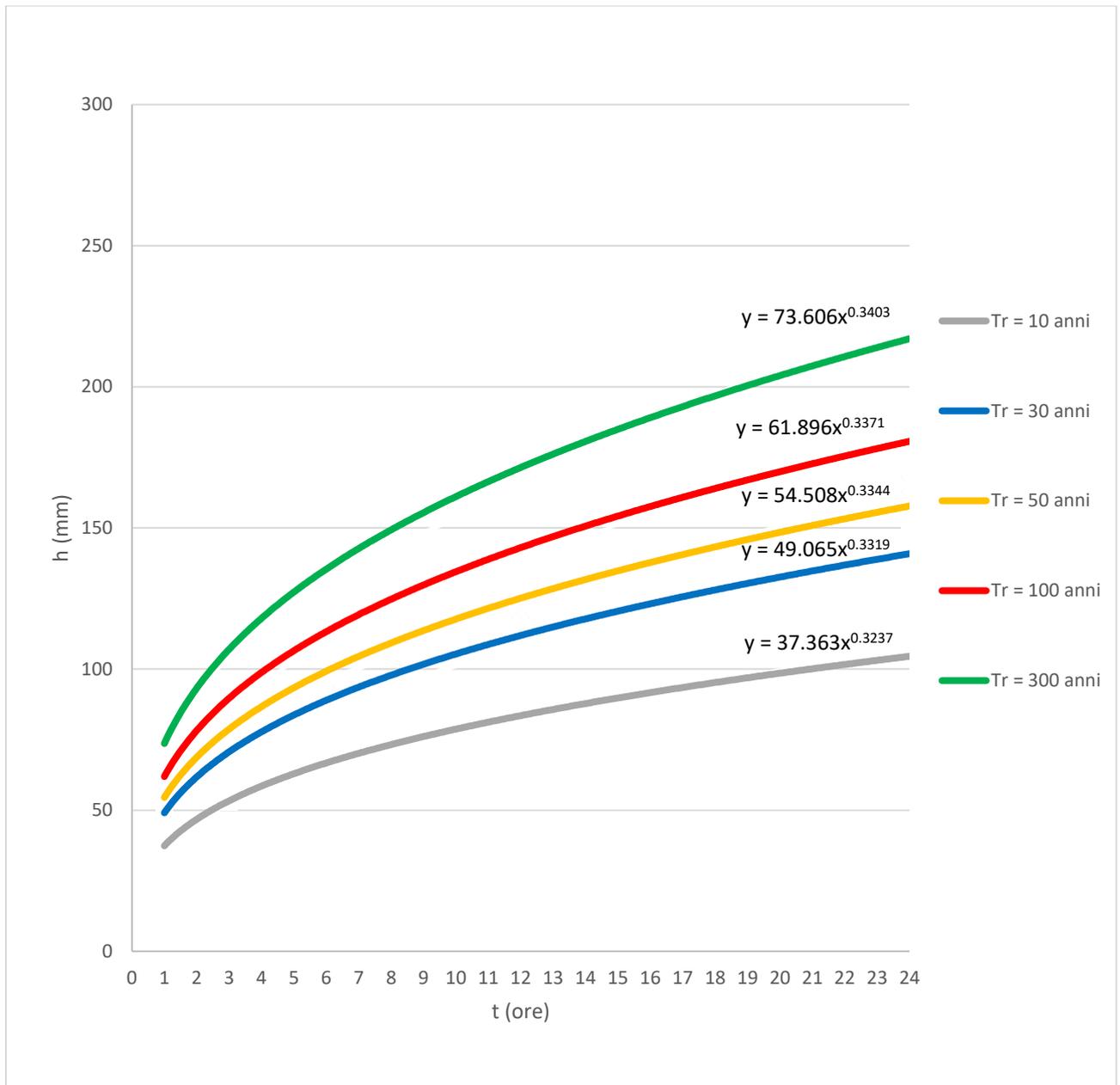
Figura 6.2.3- Valori delle costanti  $a$  e  $n$  per le stazioni pluviografiche siciliane.

Per l'area in esame, si prende in considerazione come stazione più vicina quella di Paternò.

Si individuano quindi i seguenti valori di  $a$  ed  $n$ :

- $a = 25.3$
- $n = 0.2975$

Il grafico di seguito riporta l'andamento delle curve di probabilità pluviometrica.



**Figura 6.2.4-** Curve di probabilità pluviometrica (Stazione di Paternò).

## 7 VERIFICHE IDRAULICHE

### 7.1 MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO

La simulazione della propagazione dell'onda di piena lungo il tratto di valle del bacino considerato, con conseguente ricostruzione delle aree di inondazione in prossimità dell'area di interesse, per il tempo di ritorno pari a 50 anni, è stata effettuata mediante modellazione 2D in moto non stazionario con l'ausilio del software *HEC-RAS 5.0.7* sviluppato dall' "Hydrologic Engineering Center" dello *US Army Corps of Engineers*, in ottemperanza alla procedure di "metodologia completa" dettate dal PAI.

L'utilizzo di questo tipo di modelli integrati permette una più accurata analisi rispetto ai precedenti modelli monodimensionali estesi, fornendo risultati di output altamente fedeli ai valori osservati.

Nelle suddette ipotesi, il software utilizza la nota equazione di conservazione dell'energia tra le generiche sezioni trasversali di monte (M) e di valle (V).

$$Z_M + H_M + \frac{v_M^2}{2g} = Z_V + H_V + \frac{v_V^2}{2g} + \Delta H$$

Dove:

- $Z$  è la quota del thalweg dal l.m.m.;
- $H$  è l'altezza del pelo libero;
- $v$  la velocità;
- $g$  l'accelerazione di gravità;
- $\Delta H$  le perdite di carico nel tratto  $L$

Le perdite di carico della corrente: 
$$\Delta H = LJ_m + C \left| \frac{v_V^2}{2g} - \frac{v_M^2}{2g} \right|$$

Sono funzione della cadente  $J_m$ , di  $L$ , delle altezze cinetiche e di un coefficiente  $C$  di contrazione/espansione.

La cadente  $J$  viene ricavata dall'equazione di moto uniforme di Manning:

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}}{n} \cdot J^{\frac{1}{2}}$$

Dove  $A$  è l'area bagnata,  $R=A/P$  è il raggio idraulico ( $P$  contorno bagnato) ed  $n$  è il coefficiente di scabrezza del quale esistono numerosi valori proposti in letteratura al variare delle caratteristiche dell'alveo.

La scelta di utilizzare questo software offre la possibilità di realizzare una modellazione 2D che permette di inserire, all'interno del modello digitale del terreno (DEM con risoluzione 2mx2m), l'area 2D oggetto di indagine. A tal proposito, si è eseguito uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione HEC-RAS, condotta in regime di moto vario.

L'area 2D viene aggiunta nel modello disegnando un poligono, definendo il modello digitale del terreno e quindi agganciando l'area 2D al modello monodimensionale attraverso l'uso di uno sfioratore laterale (lateralstructure). Il programma risolve o le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. In generale, le

equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità.

Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.

Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce anche miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.

## 7.2 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Nello sviluppo di un modello 2D è fondamentale definire il modello del terreno su cui simulare l'evento di allagamento dovuto al sormonto arginale.

Nel caso in esame si è utilizzato un DTM con risoluzione pari a 2m x 2m.

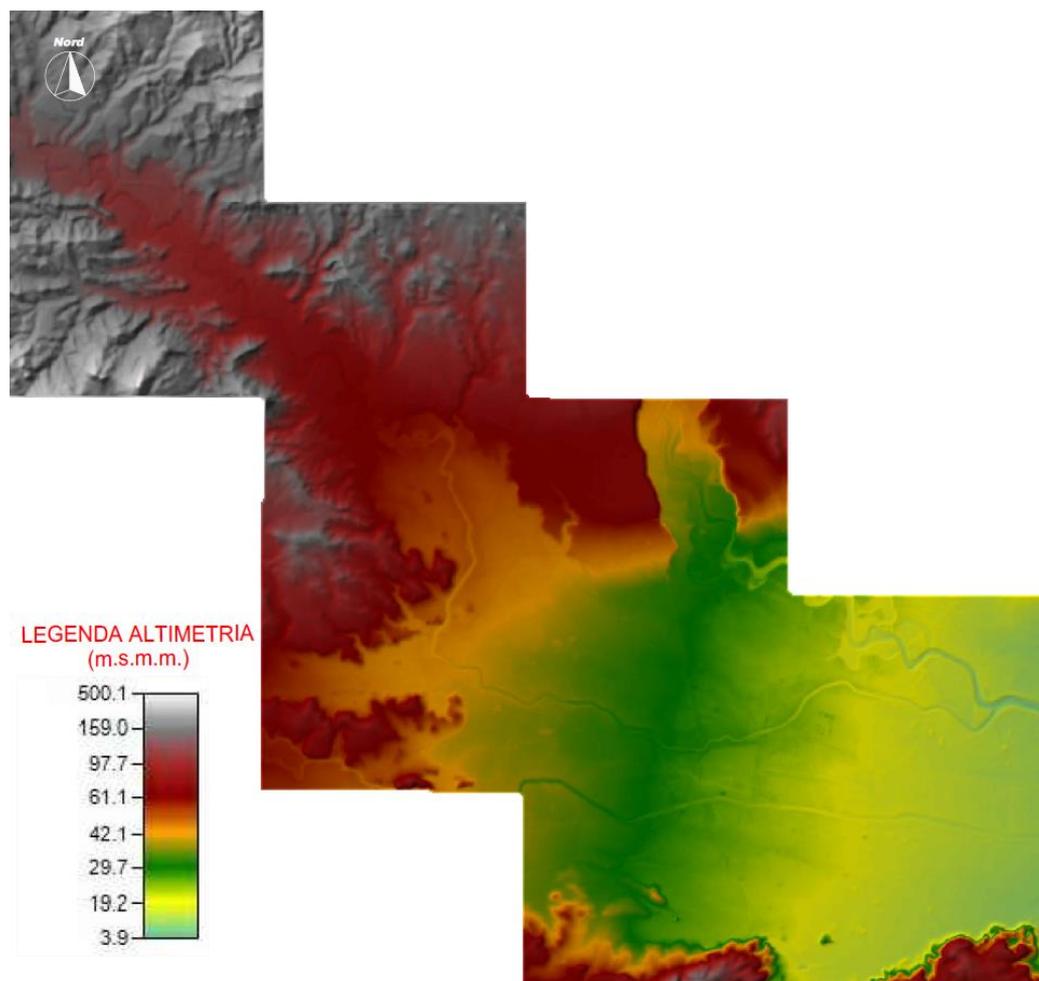


Figura 7.2.1- Modello digitale del terreno (2m x 2m)

### 7.3 IMPOSTAZIONI DI CALCOLO

La grande espansione dell'area di bacino permette di modellare la piena senza l'influenza "pesante" delle condizioni al contorno inserite nell'area stessa: infatti i risultati ottenuti mostrano chiaramente come l'andamento dell'inondazione dipenda in maniera significativa dall'andamento altimetrico del terreno.

HEC-RAS permette di inserire 4 tipologie di condizioni al contorno:

- Stage Hydrograph;
- Flow Hydrograph;
- Rating Curve;
- Normal Depth.

Si è utilizzata la seconda condizione al contorno **Flow Hydrograph** per inserire l'idrogramma in ingresso nell'area 2D, nella sezione di monte.

Definito e generato lo "sfondo" per il progetto in analisi, cioè l'andamento digitale del terreno e del corpo idrico, si passa alla creazione del grigliato di calcolo che costituirà il corpo dell'area 2D, per lo sviluppo della simulazione vera e propria.

Lo schema risolutivo si basa su un algoritmo ai volumi finiti che permette di utilizzare per il calcolo una maglia computazionale strutturata e non strutturata che può essere composta da celle con 3, 4, 5, 6 lati fino ad un massimo di 8.

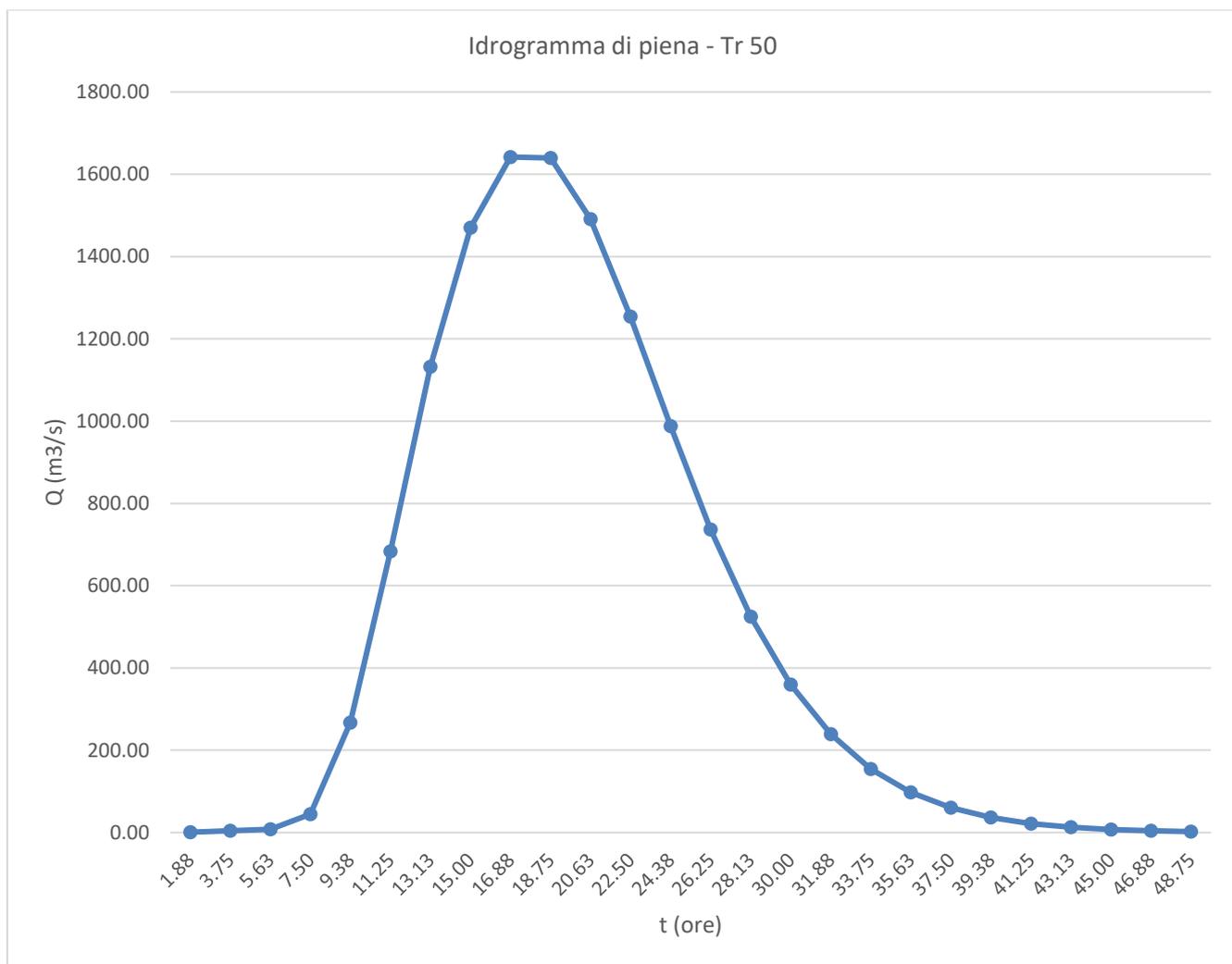
Le celle sono state ipotizzate di dimensione 5x5 m: valore che è risultato essere un buon compromesso fra la precisione di calcolo necessaria e la stabilità stessa del modello numerico.

Il calcolo è stato effettuato con analisi bidimensionale pura in moto vario.

Le immissioni delle condizioni al contorno sono state effettuate per:

- l'upstream (inserendo come Boundary Condition l'idrogramma di piena)
- il downstream (inserendo come Boundary Condition la pendenza dell'alveo di valle)

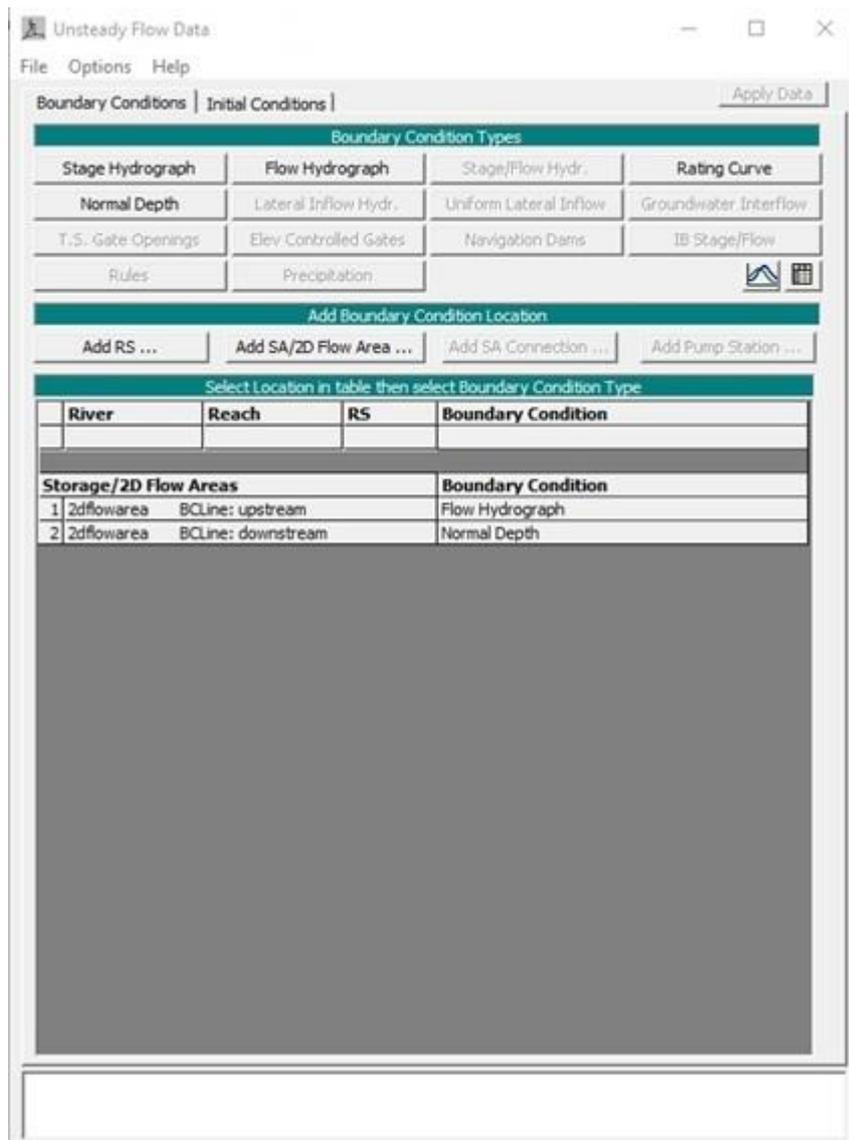
Di seguito si riporta l'idrogramma di piena utilizzato per le condizioni a contorno di monte e calcolato a partire dal valore di picco, mediante ricostruzione dei dati morfometrici di bacino.



**Figura 7.3.1-** Idrogramma di piena – Tr 50 anni.

La pendenza dell'alveo di valle, utilizzata per le condizioni al contorno di valle, è stata impostata pari a 0.002 m/m.

Le impostazioni di calcolo utilizzate sono riassunte nelle immagini sottostanti:



**Figura 7.3.2-** Analisi in moto vario con immissione delle condizioni al contorno.

#### 7.4 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Si riporta l'elaborazione del modello, avendo effettuato l'analisi con le ipotesi, i dati e le condizioni al contorno sopra riportati. L'output del modello 2D è di tipo grafico e riporta le aree di inondazione in seguito ad evento di piena con tempo di ritorno fissato pari a  $T=50$  anni, considerato cautelativo in relazione alla vita utile dell'opera (circa 30 anni).

Nella seguente immagine si riportano le zone di inondazione del bacino considerato con individuazione dell'area oggetto di studio.

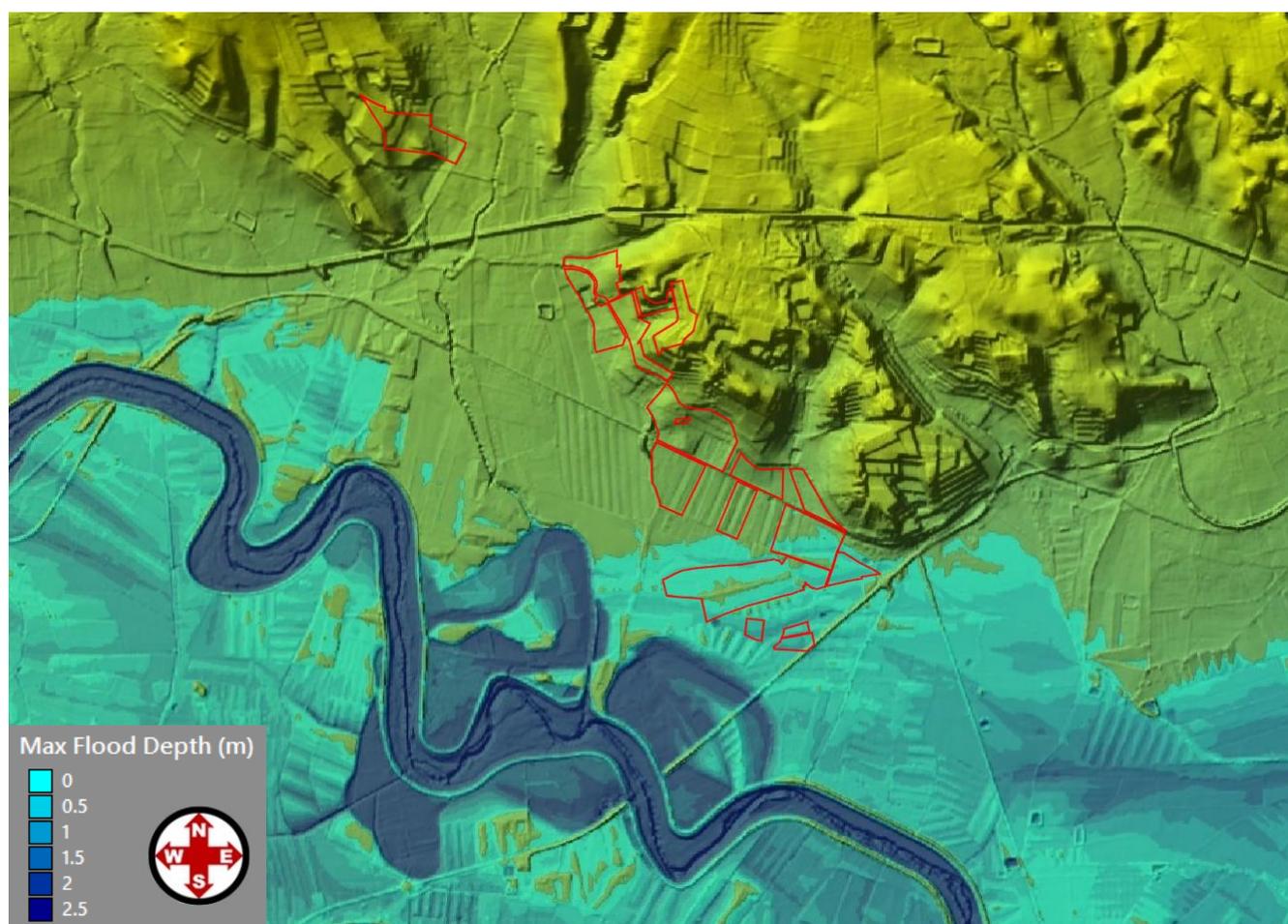


Figura 7.4.1 - Individuazione delle zone di inondazione –  $T_R=50$  anni.

**Dai risultati si evince come le aree di inondazione, dovute all'esondazione del Fiume Simeto, calcolate per eventi di piena associati ad un tempo di ritorno pari a 50 anni, insistono solamente sulle zone a Sud delle aree di impianto.**

**In particolare, per quelle aree si riscontrano altezze del tirante idrico con picchi non superiori a 1 m. Tali valori non risultano, però, inficiare sulle funzionalità e sulla stabilità dell'impianto.**

In virtù dei risultati della modellazione, si riportano i dettagli relativi alle misure di mitigazione idraulica suggerite:

- Le strutture Tracker saranno in posizione orizzontale di sicurezza sopra il tirante idrico pari ad 1 m corrispondente a quanto calcolato nello studio precedente (riferimento  $T_R=50$  anni);
- Le cabine elettriche avranno quota pavimento al di sopra della quota max di inondazione a seguito di eventi meteorici critici (riferimento  $T_R=50$  anni);
- Eventuali terrapieni localizzati all'interno del campo non risentiranno di conseguenze idrauliche.

**Ai fini cautelativi, infine, si consiglia di realizzare l'infissione dei pali di supporto dei pannelli ad una profondità almeno pari a 2.50 m al di sotto del piano campagna. Tale accorgimento, anche in situazioni di criticità, riesce a garantire la stabilità strutturale dell'impianto, contrastando le azioni idrodinamiche e scongiurando eventuali problemi di ribaltamento o di scalzamento dei pali al piede.**

## 8 STUDIO PER LA PROGETTAZIONE DI MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA

Relativamente alla valutazione del “Principio dell’invarianza idraulica” in corrispondenza del sito interessato dall’impianto, come previsto dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, si effettua un’analisi di raffronto con stimato valore del coefficiente di deflusso sia nella fase dello stato di fatto, che nella previsione progettuale futura.

**Nello specifico si è fatto riferimento al Decreto della Regione Sicilia, D.D.G. n.102 del 23/06/2021 – Allegato 2 – Indirizzi tecnici per la progettazione di misure di invarianza idraulica e idrologica.**

In via cautelativa, per lo stato ante operam, si prende in considerazione il seguente coefficiente di deflusso  $\varphi$ , riportato nel suddetto DDG:

- Incolto e uso agricolo  $\varphi = 0$

Invece, per il calcolo dei diversi coefficienti di deflusso post operam, si è utilizzata da letteratura la tabella di seguito riportata.

**Tabella 8.I–** Valori del coefficiente di deflusso. Allegato 1 della legge regionale 29 aprile 2015, n.11 (Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque) del Friuli–Venezia Giulia.

Uso del suolo	$\varphi$
Tetti a falde	0.90-1.00
Tetti metallici	0.90-1.00
Tetti a tegole	0.80-0.90
Tetti piani con rivestimento in cls	0.70-0.80
Tetti piani ricoperti di terra	0.30-0.40
Coperture piane con ghiaietto	0.80-0.90
Coperture piane seminate ad erba	0.20-0.30
Rivestimenti bituminosi	0.90-1.00
Pavimentazioni asfaltate	0.80-0.90
Pavimentazioni con asfalto poroso	0.40-0.50
Massicciata in strade ordinarie	0.40-0.80
Pavimentazioni di pietra o mattonelle	0.80-0.90
Lastricature miste, clinker, piastrelle	0.70-0.80
Lastricature medio-grandi con fughe aperte	0.60-0.70
Strade e marciapiedi	0.80-0.90
Superfici semi-permeabili	0.60-0.70
Strade in terra	0.40-0.60
Rivestimenti drenanti, superfici a ghiaietto	0.40-0.50
Viali e superfici inghiaiate	0.20-0.60
Zone con ghiaia non compressa	0.10-0.30
Superfici boscate	0.10-0.30
Superfici di giardini e cimiteri	0.10-0.30
Prati di campi sportivi	0.10-0.20
Terreni coltivati	0.20-0.60
Terreni incolti, sterrati non compatti	0.20-0.30
Prati, pascoli	0.10-0.50

Il coefficiente di deflusso dell'intera area di interesse è stato calcolato come media pesata dei coefficienti di deflusso delle aree omogenee costituenti il bacino analizzato:

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i A_i}{A_{tot}}$$

Dove  $\varphi_i$  sono i coefficienti di deflusso delle aree elementari omogenee  $A_i$ .

La valutazione del coefficiente di deflusso si è svolta per le condizioni *ante* e *post operam*.

Con riferimento alla Tabella 9.I, come detto si è attribuito a queste aree un coefficiente di deflusso pari a 0 corrispondente al valore cautelativo tabellato per terreno incolto e uso agricolo.

Le informazioni appena illustrate relative all'area di progetto nella condizione *ante operam* vengono sintetizzate in Tabella 9.II.

**Tabella 8.II-** Condizioni ante-operam

Utilizzo suolo Ante-Operam			
	Area [ha]	Coeff. Deflusso $\phi$	Note
Area oggetto di studio	114.793	0	Valore incolto e uso agricolo riportato in Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021
<b>Media ponderata</b>		<b>Totale <math>\phi</math></b>	
		<b>0.00</b>	

In condizioni *post operam*, invece, si avrà una **variazione dell'uso del suolo** del lotto per effetto della realizzazione dell'impianto in progetto. In particolare, le superfici avranno la destinazione d'uso riportata in Tabella 9.III, in accordo a quanto indicato negli elaborati progettuali. Per ciascuna di queste superfici, **facendo riferimento alla Tabella 9.I**, si è individuato il pertinente coefficiente di deflusso.

**Tabella 8.III- Condizioni post-operam.**

Utilizzo suolo Post-Operam			
	Area [ha]	Coeff. Deflusso $\phi$	Note
Area oggetto di studio	114.793		Superficie totale
Sostegni infissi nel terreno Tracker 2 x 24 (dove è presente prato)	0.007	1.00	Superficie impermeabile
Sostegni infissi nel terreno Tracker 2 x 12	0.001	1.00	Superficie impermeabile
Proiezione al suolo dei tracker dove è presente l'orto	11.630	0.30	Valore riportato in Normativa
Strutture FV fisse	0.697	0.30	Valore riportato in Normativa
Punto vendita	0.030	1.00	Superficie impermeabile
Piazzola punto vendita	0.045	1.00	Superficie impermeabile
Cabine di trasformazione	0.060	1.00	Superficie impermeabile
Piazzole Cb. Trasformazione	0.069	1.00	Superficie impermeabile
Cabine di raccolta	0.008	1.00	Superficie impermeabile
Piazzole Cb. Raccolta	0.006	1.00	Superficie impermeabile
SSE - SOTTOSTAZIONE UTENTE 30/150 kV	0.742	1.00	Superficie impermeabile
Viabilità	12.728	0.60	Valore cautelativo superfici inghiaiate
Locale ufficio e magazzino	0.010	1.00	Superficie impermeabile
Fascia di mitigazione	17.916	0.20	Valore medio superfici boscate
Aree di rinaturalizzazione	2.354	0.30	Valore cautelativo superfici sterrate
Prato	28.699	0.20	Valore medio superfici di giardini
Orto	16.331	0.20	Valore medio superfici di giardini
Agrumi	3.693	0.20	Valore medio superfici boscate
Mandorli	3.420	0.20	Valore medio superfici boscate
Ulivi	9.779	0.20	Valore medio superfici boscate
Area libera da interventi	6.570	0.20	Valore ante operam cautelativamente aumentato
	<b>Totale <math>\phi</math></b>		
<b>Media ponderata</b>	<b>0.264</b>		

Si evidenzia, dunque, che la realizzazione dell'impianto comporta un aumento del coefficiente di deflusso che passa da un valore di 0 che compete alle condizioni ante operam, ad un valore medio totale di 0,264 riferito alle condizioni post-operam.

## 9 MISURE IDRAULICHE DI MITIGAZIONE

Si prevede la realizzazione di opere di compensazione che abbiano sia la funzione di favorire l'infiltrazione nel terreno, che di accumulare temporaneamente i volumi di pioggia, offrendo un effetto di laminazione delle portate eccedenti, in modo da garantire l'invarianza idraulica.

Per il calcolo dei volumi minimi da laminare si fa riferimento alla formula riportata nel *DDG 102 del 23/06/2021 – Allegato 2*, adottando nello specifico il metodo semplificato delle piogge secondo cui il volume di laminazione è espresso dalla seguente relazione:

$$V_{max} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot \left( \frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{n}{n-1}} - Q_{IMP} \cdot \left( \frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

dove:

- $V_{max}$  è il volume di invaso necessario per non superare la portata limite allo scarico;
- $S$  è la superficie scolante a monte della vasca/invaso di laminazione;
- $\varphi$  è coefficiente di deflusso medio ponderale dell'area drenante;
- $a$  ed  $n$  sono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica (considerando un  $T_R$  pari a 30 anni, come indicato nel DDG 102/2021);
- $Q_{IMP}$  è la portata limite ammessa allo scarico (in  $m^3/s$ ) corrispondente ad un coefficiente udometrico pari a 20 l/s per ettaro di superficie impermeabilizzata dall'intervento di urbanizzazione (si considera una superficie impermeabilizzata pari al coefficiente di deflusso individuato).

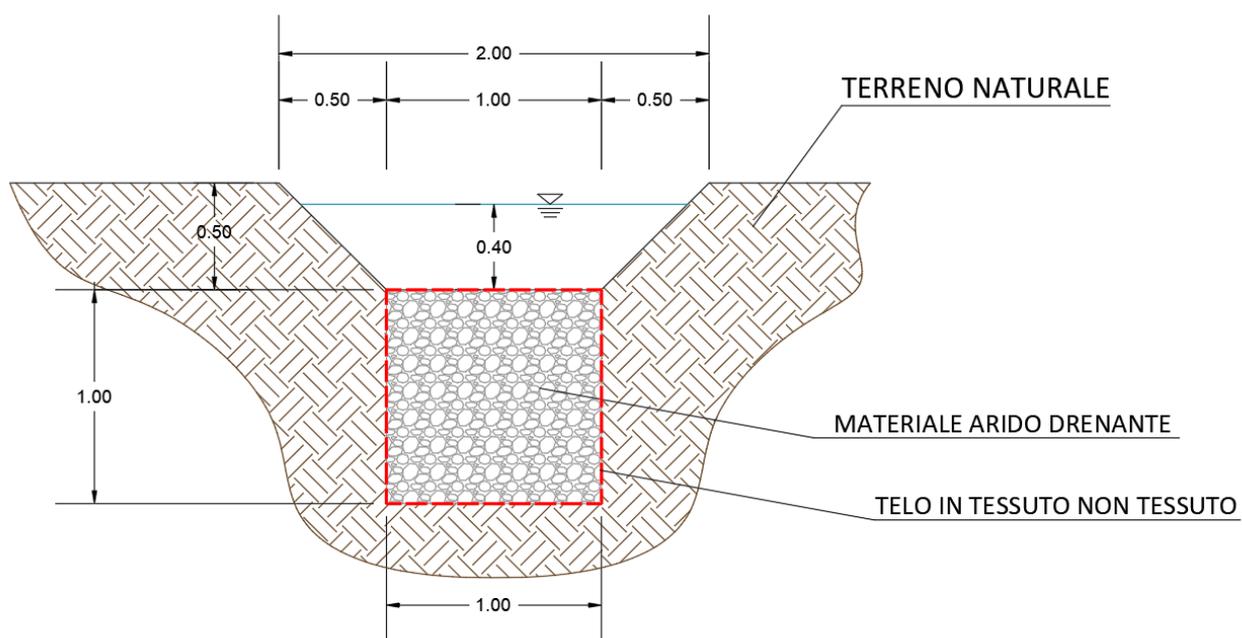
Dalle elaborazioni, si ottengono i seguenti valori:

**Tabella 9.I-** Calcolo volumi di laminazione - fonte DDG 102/2021

ID AREA Totale	Superficie (ha)	$\varphi$	a	n	$Q_{IMP}$ ( $m^3/s$ )	$V_{MAX}$ ( $m^3$ )
Varna Solar	114,793	0,264	49,065	0,3319	0,296	<b>1949,42</b>

## 9.1 TRINCEE DRENANTI SU FOSSI

Al fine di assicurare l'invarianza idrologica e idraulica del sito in oggetto, si prevede **la realizzazione di fossi con inserimento di trincee drenanti al loro interno** mediante l'approfondimento dello scavo fino a 1.00 m al di sotto della base minore della sezione trapezoidale del fosso, con successivo riempimento in materiale arido drenante e rivestimento con telo in tessuto non tessuto in modo da evitare il progressivo interrimento della frazione fine all'interno della trincea.



**Figura 9.1.1-** Sezione trasversale trincea drenante su fosso.

Per il calcolo del volume di invaso si fa riferimento ad un'altezza idrica massima all'interno del fosso pari a 40 cm consentendo un franco di sicurezza del 20%.

**Tabella 9.1.1** - Calcolo opere di compensazione idraulica per la laminazione dei volumi in eccesso.

ID Area	Area fosso [m <sup>2</sup> ]	A trincea [m <sup>2</sup> ]	A tot [m <sup>2</sup> ]	L fossi per compensazione [m]	L fossi drenanti da progetto incrementati del 20% [m]	Lunghezza di progetto fossi perimetrali con trincee [m]
VARNA SOLAR	0,56	0,4	0,96	2030,64	2437.20	<b>2450</b>

**Tale soluzione consente di aumentare la capacità drenante del suolo garantendo l'infiltrazione delle acque nel terreno oltre che assicurare un effetto di laminazione dovuto ad un rilascio graduale delle portate accumulate, sfruttando la naturale pendenza del terreno.**

L'intervento in ogni caso non comporterà modifiche alla morfologia: saranno mantenute le attuali pendenze del lotto. Saranno svolte inoltre delle operazioni di manutenzione periodica in modo da garantire all'intero sistema la corretta funzionalità ed evitare fenomeni di interrimento nel tempo.

**Alla luce dei calcoli effettuati, risulta pertanto rispettato il principio dell'invarianza idraulica.**

Tale soluzione di inserimento dei fossi di guardia con trincee drenanti consente di captare le acque derivanti dal ruscellamento superficiale e di stoccarle temporaneamente contribuendo ad un effetto di laminazione delle portate, garantendo l'invarianza idraulica del sito come da calcoli effettuati in accordo al DDG 102/2021.

## 10 CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati dello studio idrologico e idraulico e della modellazione idraulica di simulazione di evento di piena per fissato tempo di ritorno pari a 50 anni, ed avendo preso atto delle zone soggette a pericolosità e rischio idraulico, è possibile concludere che:

- Si riscontrano delle zone di inondazione in corrispondenza delle aree di impianto più a Sud . Tuttavia, si riscontrano delle altezze del tirante idrico non superiori ad 1 m. Tali valori, unitamente alle misure di mitigazione idraulica suggerite, non risultano inficiare sulle funzionalità e sulla stabilità dell'impianto.
- L'impatto delle opere da realizzare sull'attuale assetto idraulico nelle zone limitrofe a monte e a valle non determina una variazione delle attuali condizioni del rischio d'inondazione.
- Ai fini cautelativi, si consiglia di realizzare l'infissione dei pali di supporto dei pannelli ad una profondità pari a 2.50 m dal piano campagna. Tale soluzione garantisce una stabilità strutturale dell'impianto anche in condizioni di criticità, contrastando le azioni idrodinamiche e scongiurando eventuali problemi di ribaltamento o di scalzamento dei pali al piede.
- Dal raffronto tra le condizioni ante e post-operam si evidenzia come la realizzazione dell'impianto comporti un aumento del coefficiente di deflusso medio del sito di progetto che, nello specifico, passa dal valore ante-operam pari a 0 (valore cautelativo tabellato dal DDG 102/2021 per terreno incolto o ad uso agricolo) al valore di 0,264 riferito alle condizioni post-operam.
- Si prevede, pertanto, l'inserimento di opere di compensazione costituite nello specifico da fossi drenanti con trincee drenanti, opportunamente ubicati all'interno dell'area di impianto in modo da captare efficacemente le acque di ruscellamento superficiale.
- Le opere di compensazione, così calcolate, consentono di stoccare i volumi in eccesso derivanti dalla realizzazione delle opere e di far infiltrare le acque negli strati più profondi del terreno, garantendo l'invarianza idraulica dell'intero sistema progettuale.
- Le sopracitate opere di mitigazione e compensazione idraulica hanno quindi la funzione di laminare le portate eccedenti ed escludere la velocizzazione dello smaltimento delle acque. Ai fini dell'invarianza idraulica ed alla scelta degli interventi di mitigazione idraulica ci si è attenuti al D.D.G. DRU e AdB n. 102/2021 con particolare riferimento a quanto indicato nell'allegato 2.

Alla luce delle analisi effettuate, si può infine affermare che il sito non presenta particolari problematiche per la realizzazione delle tipologie di opere in progetto.



Catania, 29/11/2022