

STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO

**Realizzazione di un parco Agrivoltaico Avanzato
di potenza nominale pari a 30 MWp
denominato “MINEO”
sito nel Comune di Mineo (CT)**

Località “Borgo Pietro Lupo”

PROPONENTE:



Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

Rev00	Integrazioni MiC - Parere C.T.S.	Data ultima elaborazione: 16/09/2022	
Redatto	Formattato	Verificato	Approvato
<i>Ing. Adamo Cali</i> <i>Ing. Daniele D. Cianciolo</i>		<i>Dott. Agr. P. Vasta</i>	ENERLAND ITALIA s.r.l.
Codice Elaborato		Oggetto	
MINEO-IAR13		VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE	

TEAM ENERLAND:

Dott. Agr. Patrick VASTA
Ing. Annamaria PALMISANO
Dott.ssa Ilaria CASTAGNETTI

Ing. Emanuele CANTERINO
Dott. Claudio BERTOLLO
Dott. Guglielmo QUADRIO

GRUPPO DI LAVORO:

E-PRIMA
Arch. Rosella APA
Biol. Agnese Elena Maria CARDACI
Dott. Agr. Gaetano GIANINO
Archeol. Alberto D'AGATA
Geol. Francesco PETRALIA

Geom. Andrea GIUFFRIDA
Ing. Gianluca VICINO

MADA ENGINEERING s.r.l.

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOMORFOLOGICO.....	1
3. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO	4
4. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE DELLA MACROAREA	4
5. ANALISI IDROLOGICA	6
5.1 Metodo di Gumbel	7
5.2 Metodo TCEV	7
6. STIMA DELLA PORTATA AL COLMO	13
6.1 Calcolo delle piogge nette.....	14
6.2 Trasformazione afflussi-deflussi	18
7. STUDIO PER LA VALUTAZIONE DEL PRINCIPIO DI INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA.....	22
8.1 Trincee drenanti su fossi	27
8.2 Interventi di manutenzione.....	28
9. CONCLUSIONI	29
ALLEGATI.....	31

1. INTRODUZIONE

Il presente studio è redatto al fine di definire la compatibilità idraulica per la realizzazione ed esercizio di un parco agrivoltaico avanzato di potenza nominale pari a 30 MWp denominato "Mineo" sito nel Comune di Mineo (CT) in località "Borgo Pietro Lupo".

Nel presente studio, si è effettuata un'analisi idrologica con determinazione delle curve di probabilità pluviometrica per differenti tempi di ritorno e si è successivamente effettuato un raffronto tra le condizioni ante e quelle post-operam prevedendo contestualmente delle opere di compensazione costituite da aste di trincee drenanti posizionate su fossi di guardia, che consentono di far infiltrare le acque negli strati più profondi del terreno e di stoccare i volumi in eccesso derivanti dalla realizzazione delle opere, garantendo l'invarianza idraulica dell'intero sistema progettuale.

Le opere di mitigazione di cui sopra, calcolate in ottemperanza alle direttive del "D.D.G. DRU e AdB n. 102/2021 – Allegato 2", oltre ad avere la funzione di laminazione dei volumi eccedenti, consentono di escludere la velocizzazione dello smaltimento delle acque fuori dal perimetro progettuale.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOMORFOLOGICO

Il sito di progetto si trova nel settore centro-orientale della Sicilia, all'interno del territorio comunale di Mineo (CT), in località Borgo Pietro Lupo; è sito circa 1,4 km a Sud da Borgo Pietro Lupo, circa 3,5 km a SSW del Fiume Margherito (sponda destra), e meno di 8 km a NW dal Comune di Mineo. I lotti di terreno interessati sono costeggiati dalle Strade Provinciali 162, 179 e 111, e nel versante meridionale sono confinanti con un parco eolico.

Le aree in studio sono poste ad una quota compresa tra i 317 ed i 448 m s.l.m., hanno un'estensione complessiva di 62 ha e hanno esposizione prevalentemente verso N, NW e NE. Le pendenze non sono particolarmente accentuate, tranne che per le fasce di detrito di falda al piede delle piccole pareti rocciose che orlano i terreni sul lato sud.

Nella cartografia dell'Istituto Geografico Militare il sito di progetto rientra nella Tavoleta 273 IV-NE denominata "Mineo" in scala 1:25.000 (Fig. 2); nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 l'area rientra nel Foglio 639080 "Borgo Pietrolupo".

Di seguito si riportano le coordinate geografiche (WGS84) (riferite ad un punto centrale delle due aree in studio):

TABELLA 2.1- COORDINATE GEOGRAFICHE PUNTO CENTRALE ALLE AREE DI STUDIO.

Località "Borgo Pietro Lupo"	
Latitudine	37° 19' 28" N
Longitudine	14° 27' 35" E
Potenza PV di picco (nominale)	30.000 kW _p
Potenza PV in immissione	25.000 kW _{ac}

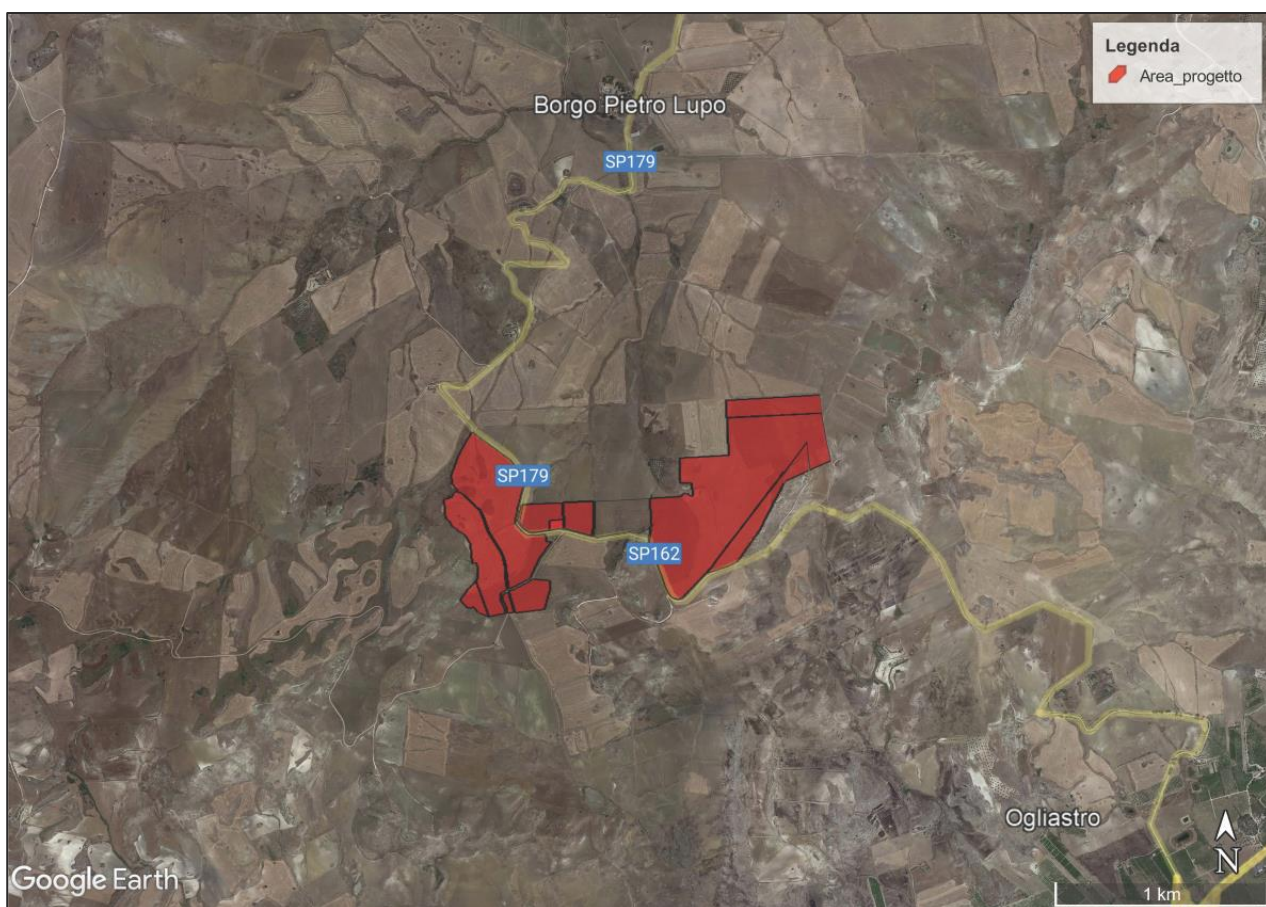


FIGURA 2.1- INQUADRAMENTO TERRITORIALE- AREA DI PROGETTO SU ORTOFOTO.

Geomorfologicamente il territorio entro il quale è ubicato il sito di interesse, a più ampia scala, è caratterizzato da una zona centrale pianeggiante, la Piana di Mineo, e da due zone di alture, che si fronteggiano a Nord e a Sud della piana. Il settore centrale è caratterizzato da ampie spianate a lieve pendenza; nella parte settentrionale non si riscontrano versanti notevolmente acclivi e prevale un andamento collinare caratterizzato dalle tipiche forme mammellonari dovute alle argille; nel settore meridionale invece prevale un andamento più montuoso con pendenze anche oltre il 40%.

L'assetto geomorfologico della zona è legato in generale alla litologia dei vari terreni presenti e alla differente azione degli agenti erosivi su di essi, soprattutto all'erosione dovuta allo scorrimento delle acque libere e delle acque incanalate, come dimostrano i valloni molto marcati e le numerose vie di impluvio presenti in questo territorio.

Come già detto, le aree di interesse progettuale sono poste a quote comprese tra i 317 m s.l.m. ed i 448 m s.l.m., si estendono per 62 ha totali e mostrano lineamenti collinari con pendenze anche del 30%, con versanti esposti principalmente a Nord, NW e NE.

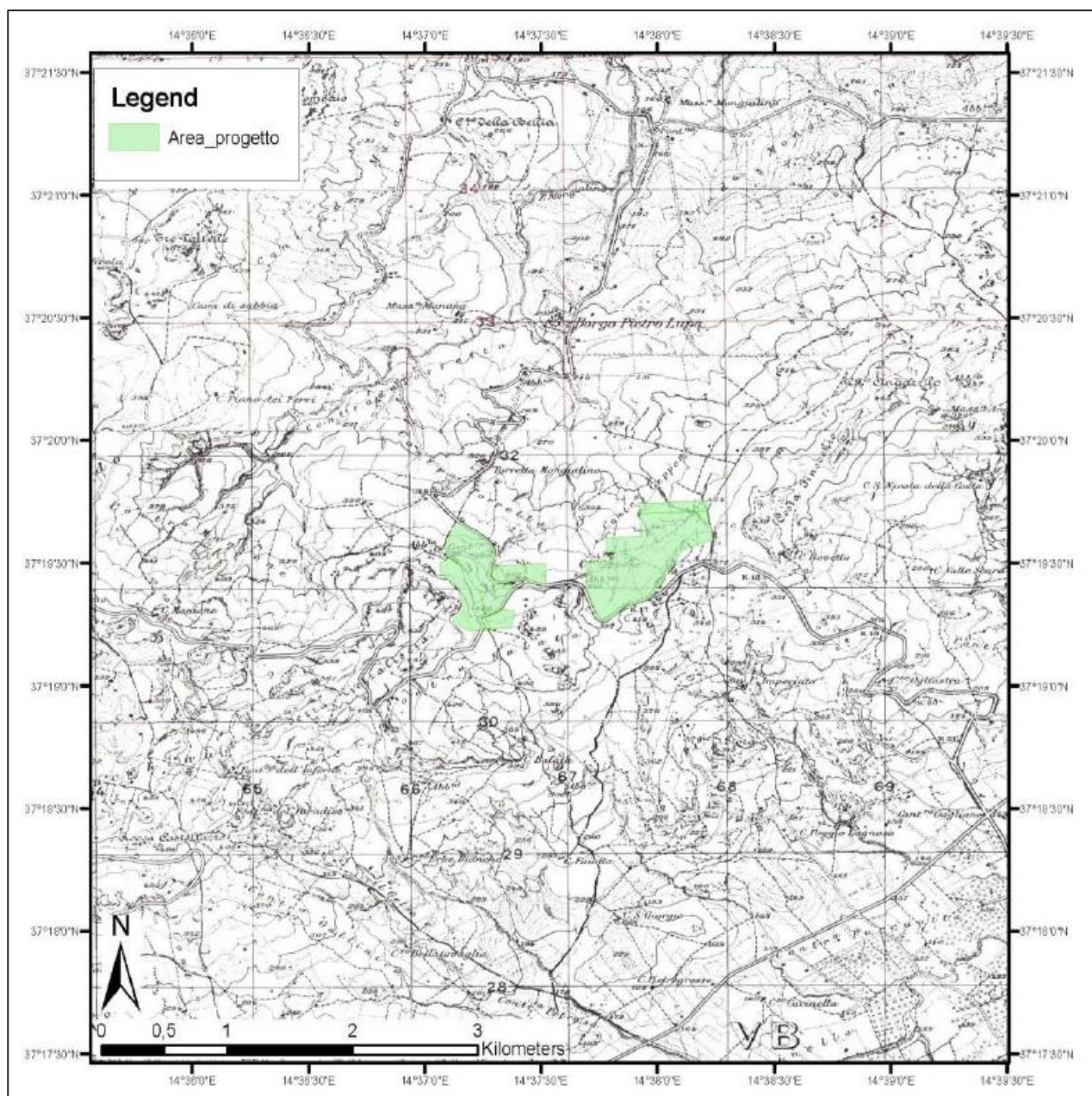


FIGURA 2.2- UBICAZIONE DEL SITO NELLO STRALCIO DELLA TAVOLETTA "MINEO" 273 IV-NE IN SCALA 1:25.000.

3. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO

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

Il bacino in oggetto ha una superficie pari a 11,3 km².

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

TABELLA 3.1- CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO.

Area (km ²)	H _{med} (m.s.l.m.)	H ₀ (m.s.l.m.)	L asta principale (km)	i (%)
1.4	381	317	1,1	11,6

4. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE DELLA MACROAREA

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 (km²) l'area del bacino idrografico;
- L_a (km) la lunghezza dell'asta principale;
- H_{med} (m) l'altitudine media del bacino;
- H₀ (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 4.1- CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.

Giandotti (ore)	Puglisi (ore)	Kirpich (ore)	Media (ore)
1.00	1.27	0.16	0.80

5. 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.

5.1 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:

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

I parametri α ed ϵ possono essere stimati, sulla base dei campioni a disposizione, sia attraverso il metodo dei momenti sia attraverso il metodo della massima verosimiglianza.

5.2 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:

$$\theta^* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad \Delta^* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 \theta^{*\Theta^*}}$$

Essa diviene:

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

Ed i parametri da stimare sono $\Delta^*, \theta^*, \Delta_1$ e Θ_1

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

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

Dove η 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:

$$F(k) = e^{-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_2 \Lambda_1^{\theta^*} e^{-\frac{\eta k}{\theta^*}}}$$

Ed i parametri da determinare sono Λ_1^* , θ^* , Λ_2 e μ_{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 km².

Ciò ha permesso di stimare i parametri secondo vari livelli di regionalizzazione. I parametri Λ^* e θ^* da cui dipende il coefficiente di simmetria della curva possono essere ritenuti costanti su tutta la Sicilia (regione omogenea), mentre il parametro Λ_2 è stato stimato costante entro tre zone omogenee che corrispondono sommariamente ai tre "corni" della Sicilia.



FIGURA 5.2.1- SUDDIVISIONE IN SOTTOZONA PLUVIOMETRICHE OMOGENEE: A (GIALLO), B (ARANCIO), C (VERDE).

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

Sottozona	Λ^*	Θ_*	Λ_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	Λ^*	Θ_*	Λ_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 μt . 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- μ_{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 ht (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	$K_T(t, T_r)$ per piogge orarie
A	$0.5391 - 0.001635 \cdot t + (0.0002212 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966) \cdot \log(T_r)$
B	$0.5135 - 0.002264 \cdot t + (0.0000198 \cdot t^2 + 0.00329 \cdot t + 1.0508) \cdot \log(T_r)$
C	$0.5015 - 0.003516 \cdot t + (0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101) \cdot \log(T_r)$

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 $K_T(t, T_r)$ 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:

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

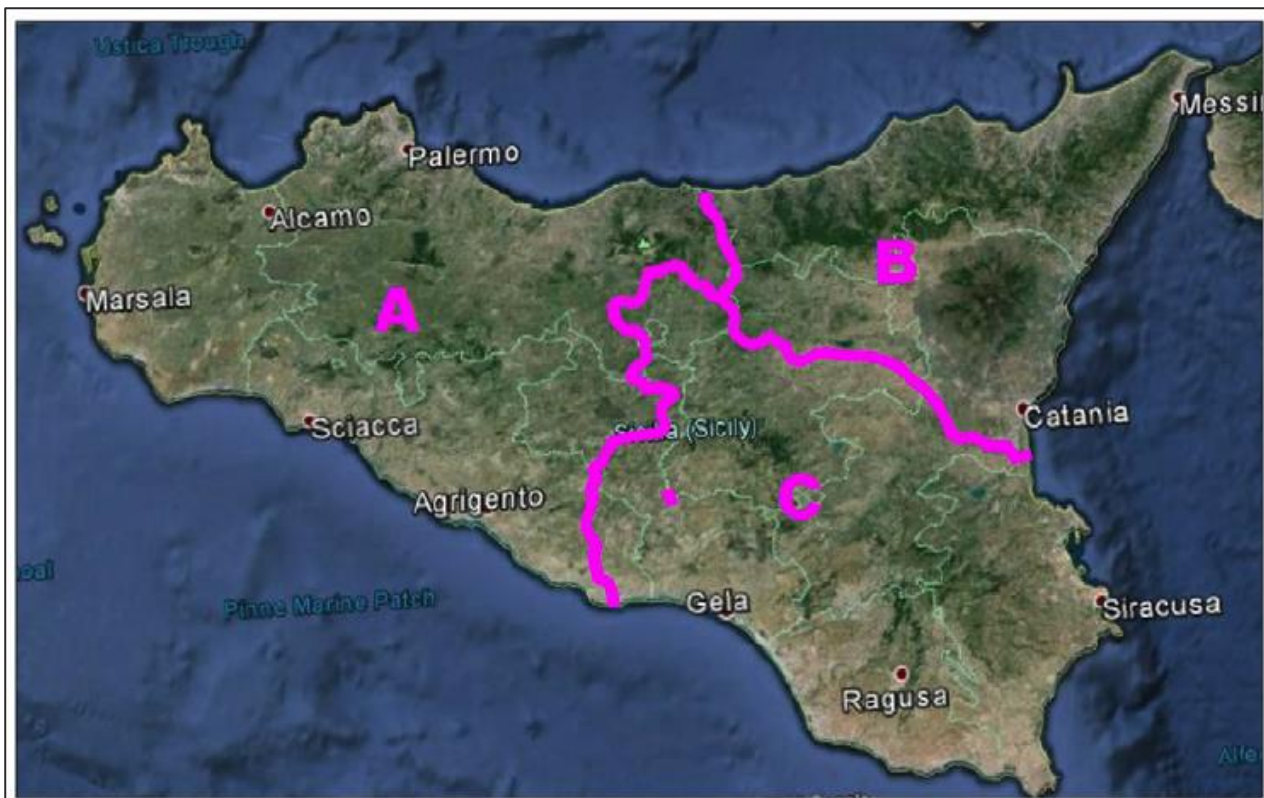


FIGURA 5.2.2- INDIVIDUAZIONE DELLA SOTTOZONA DI APPARTENENZA (SOTTOZONA C).

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	28,0	0,3213
121	Modica	Scicli	25,2	0,3232
122	Castelluccio	Tellaro	38,7	0,2956
123	Noto	Noto	32,5	0,3423
124	Melilli	Anapo	30,8	0,3305
125	Palazzolo Acreide	Anapo	27,6	0,3567
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	0,2699
143	Salamone	Simeto	25,0	0,2680
144	Gagliano Castelferrato	Simeto	22,4	0,3448
145	Agira	Simeto	24,8	0,3448

Cod.	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
146	Ragalina	Simeto	22,0	0,3930
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	Torricchia	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	27,6	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	Aliterno	Fiumedinisi	32,7	0,2764

FIGURA 5.2.3- 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 Melilli.

Si individuano quindi i seguenti valori di a ed n:

- **a = 30.2**
- **n = 0.3149**

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

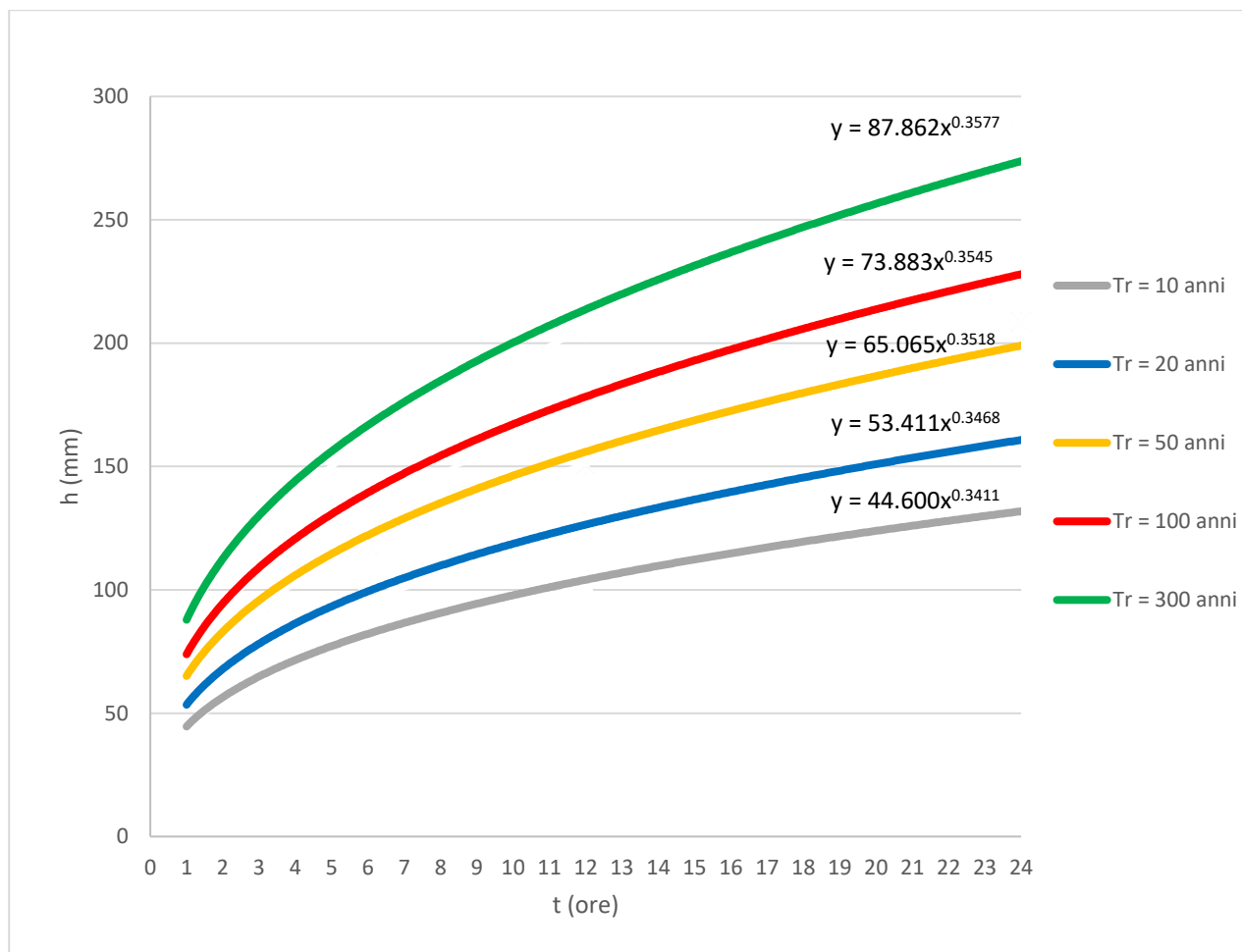


FIGURA 5.2.4- CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (STAZIONE DI MINEO).

6. STIMA DELLA PORTATA AL COLMO

La stima della portata al colmo è stata effettuata facendo riferimento al **Metodo del Soil Conservation Service (S.C.S.): Curve Number (CN)**.

Con l'ausilio del metodo di calcolo proposto dalla SCS (*Soil Conservation Service*), denominato CURVE NUMBER, si ricava l'idrogramma di piena. La procedura prevista da tale metodo si può dividere in 2 fasi:

- Calcolo delle piogge nette;
- Trasformazione da Afflussi in Deflussi

6.1 Calcolo delle piogge nette

L'equazione di continuità del ciclo idrologico:

$$A_{FFLUSSI} = D_{EFLUSSI} + E_{VAPOTRASPIRAZIONE} + I_{NFILTRAZIONE}$$

pone in evidenza che parte del volume affluito (pioggia, neve) non si trasforma in deflussi. Occorre pertanto tener conto delle perdite calcolando la quantità di pioggia che si trasforma in deflusso, chiamandola "pioggia netta".

Consideriamo gli afflussi uniformemente distribuiti sul bacino.

Si sceglie un intervallo di tempo in modo che sia verificato $\Delta t < 0.29 t_{lag}$

(Time Lag = distanza temporale tra baricentro pluviogramma ed idrogramma)

$$t_{lag} = 0.6 t_c = 0.48 \text{ ore}$$

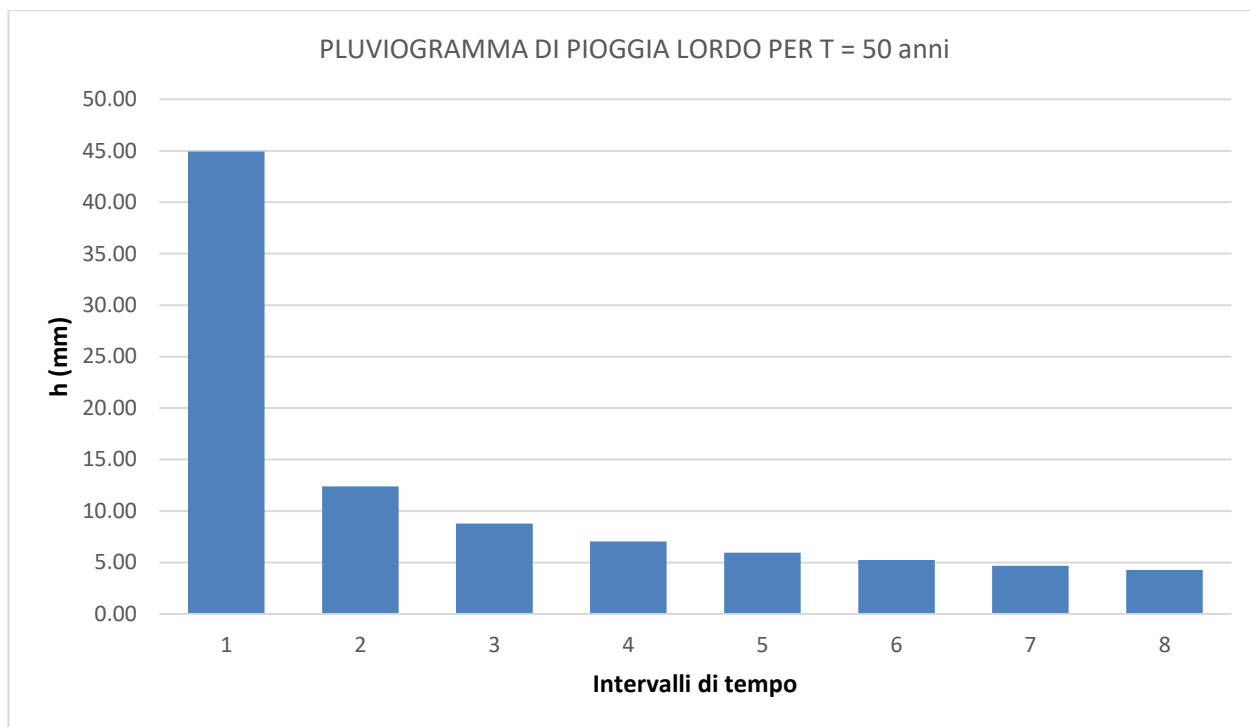
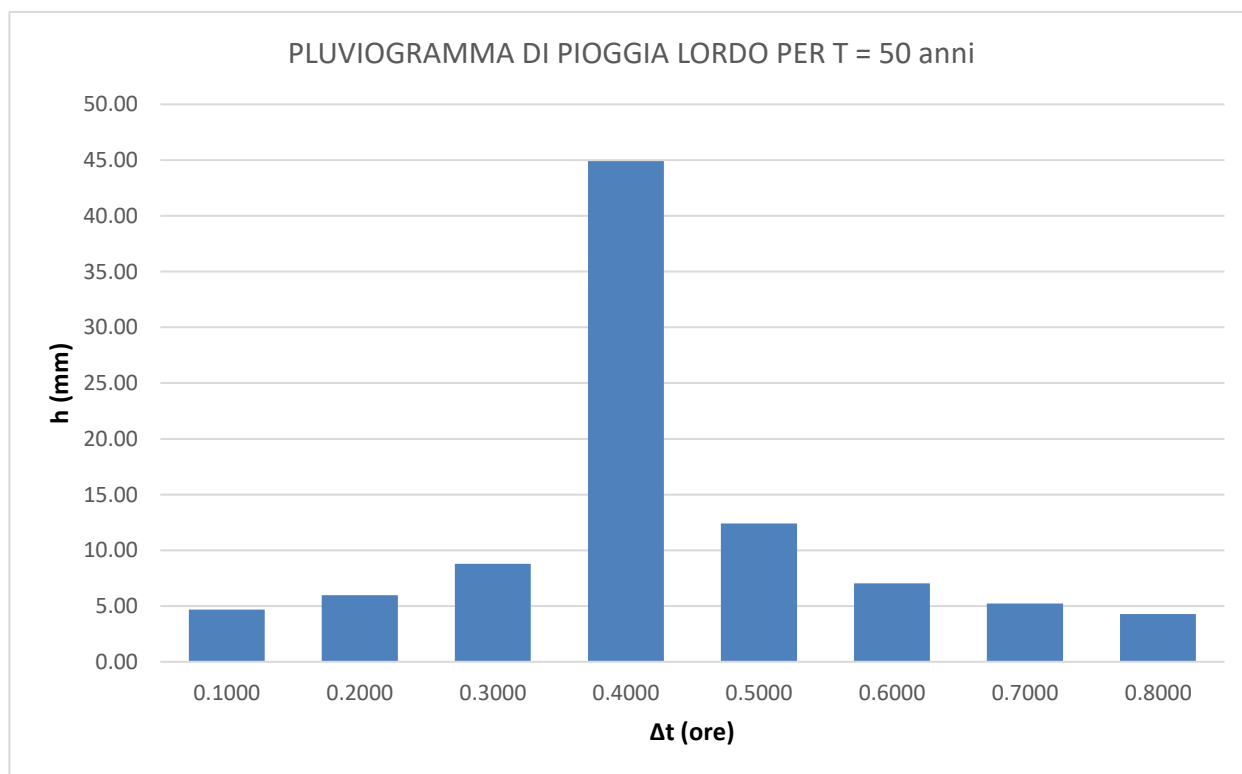
$$\Delta t_{max} = 0.29 t_{lag} = 0.1392$$

Si assumono pertanto 8 intervalli di $\Delta t = 0,1$ (considerando una pioggia della durata pari al tempo di corrivazione $t_c = 0.8$ ore).

Nelle successive tabelle sono riportati i valori delle h di pioggia e le differenze Δh per ogni intervallo e per un tempo di ritorno fissato pari a $T = 50$ anni.

Sotto forma di istogramma, vengono inoltre riportati i valori (lordi) delle piogge.

Nelle successive figure vengono riportati i pluviogrammi lordi di pioggia.

**FIGURA 6.1.1- PLUVIOGRAMMA LORDO DI PIOGGIA IN SERIE DECRESCENTE.****FIGURE 6.1.2-PLUVIOGRAMMA LORDO DI PIOGGIA.**

Ricavati i pluviogrammi lordi di progetto, occorre risalire alle piogge nette. Il metodo SCS – CN considera una perdita iniziale " I_a " = 0.2 S (*initian abstraction*) che tiene conto della evapotraspirazione.

Nel presente studio si farà invece riferimento ad un valore $I_a = 0.15$ S, a vantaggio di sicurezza.

La pioggia netta si ottiene dalla relazione:

$$R = P - S$$

Dove:

R indica la pioggia netta;

P indica la pioggia lorda;

S indica la quantità di pioggia infiltrata nel terreno.

Si introduce la quantità S' che rappresenta il massimo volume per unità di superficie immagazzinabile nel terreno a saturazione e scriviamo:

$$\frac{S}{S'} = \frac{R}{P}$$

che combinata con la precedente dà:

$$R = \frac{P^2}{P + S'}$$

Tenendo conto infine di I_a avremo:

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S'} ;$$

S' dipende dalle caratteristiche del bacino e viene ricavato tramite la formula:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254$$

Il parametro CN può assumere valori da 0 a 100 in funzione del tipo di suolo, secondo 4 categorie ben distinte: A, B, C, D. Dove A riguarda suoli estremamente permeabili e D suoli praticamente impermeabili.

Il *Soil Conservation Service* ha rilasciato la seguente tabella per selezionare il valore di CN più adatto:

TABELLA 6.1.1- TIPO DI SUOLO.

Valori del parametro CN (<i>adimensionale</i>) Classe AMC II	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
Tipologia di Uso del Territorio				
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area impermeabile 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti da 500÷1000 m ² (area impermeabile 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti da 1000÷1500 m ² (area impermeabile. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti da 1500÷2000 m ² (area impermeabile 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti da 2000÷5000 m ² (area impermeabile 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m ² (area impermeabile 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade, ...	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Il valore del CN, considerando la zona come spazio aperto seminativo, viene assunto cautelativamente pari a 50.

TABELLA 6.1.2- DETERMINAZIONE DI CN E S'.

CN	S'
50.00	254

Di seguito vengono riportati l'andamento qualitativo delle curve P, R ed S e i valori rappresentati graficamente.

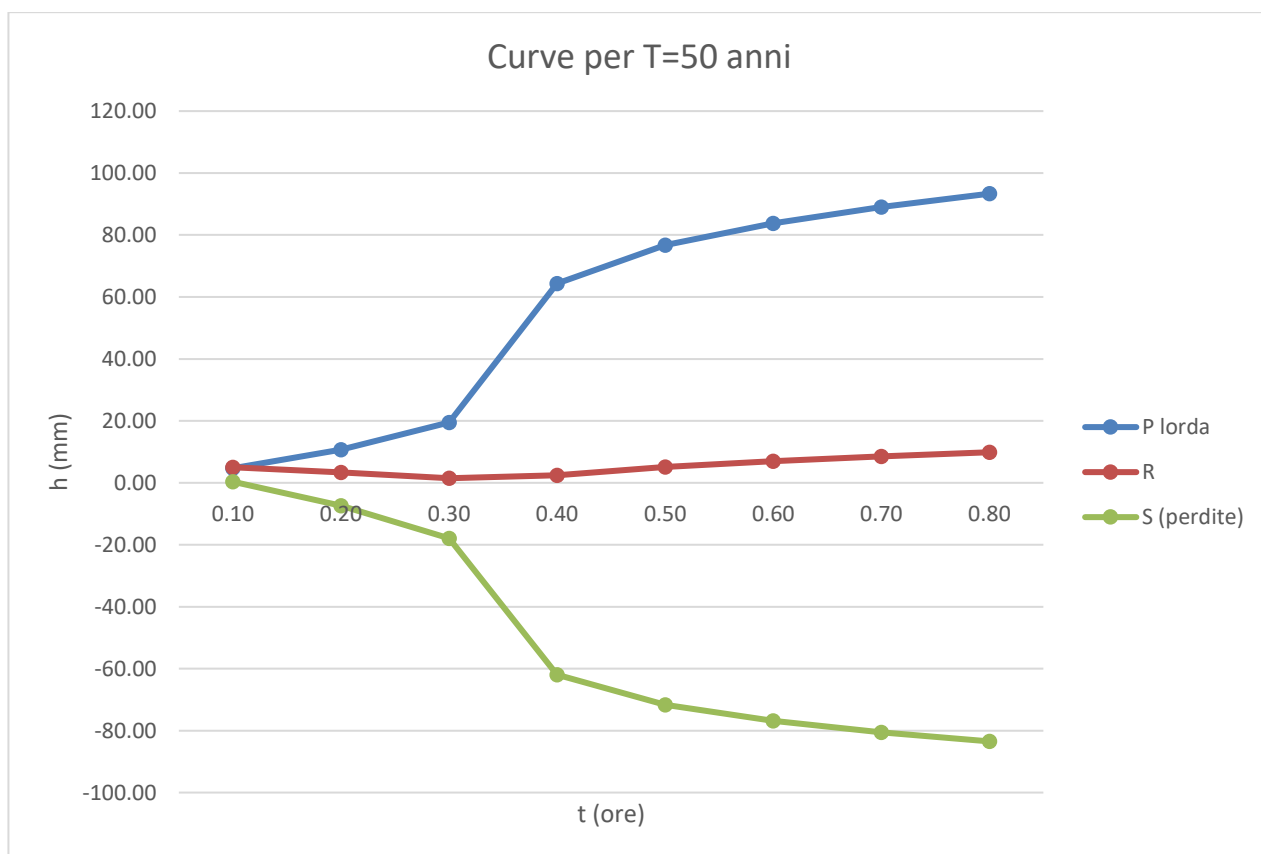


FIGURE 6.1.3- PIOGGE LORDE, NETTE E PERDITE.

6.2 Trasformazione afflussi-deflussi

Ricavato il pluviogramma di progetto rappresentante le piogge nette, è necessario risalire all'idrogramma di piena dal quale determinare la portata al colmo.

Si definiscono alcune grandezze utilizzate nel metodo SCS – CN:

$$\text{Tempo di picco } t_{picco} = 0.5 \Delta t + t_{lag} = 1.325 \text{ ore}$$

Portata specifica (contributo di portata per ogni mm di pioggia)

$$U_{picco} = 0.2084 \frac{S (km^2)}{t_{picco}} = 0.4954 \quad \left(\frac{m^3}{s \text{ mm}} \right)$$

$$\text{Integrale di convoluzione } Qi = \sum_{j=1}^i U_j \cdot P_{(i-j+1)} (*)$$

dove i è il numero di intervalli scelto.

Il SCS fornisce un grafico unitario – dimensionale, riportante in ordinate il valore U/U_{picco} ed in ascisse t/t_{picco} . Attraverso tale diagramma e la (*), si ricava l'idrogramma di piena, con metodo grafico oppure analitico.

METODO ANALITICO

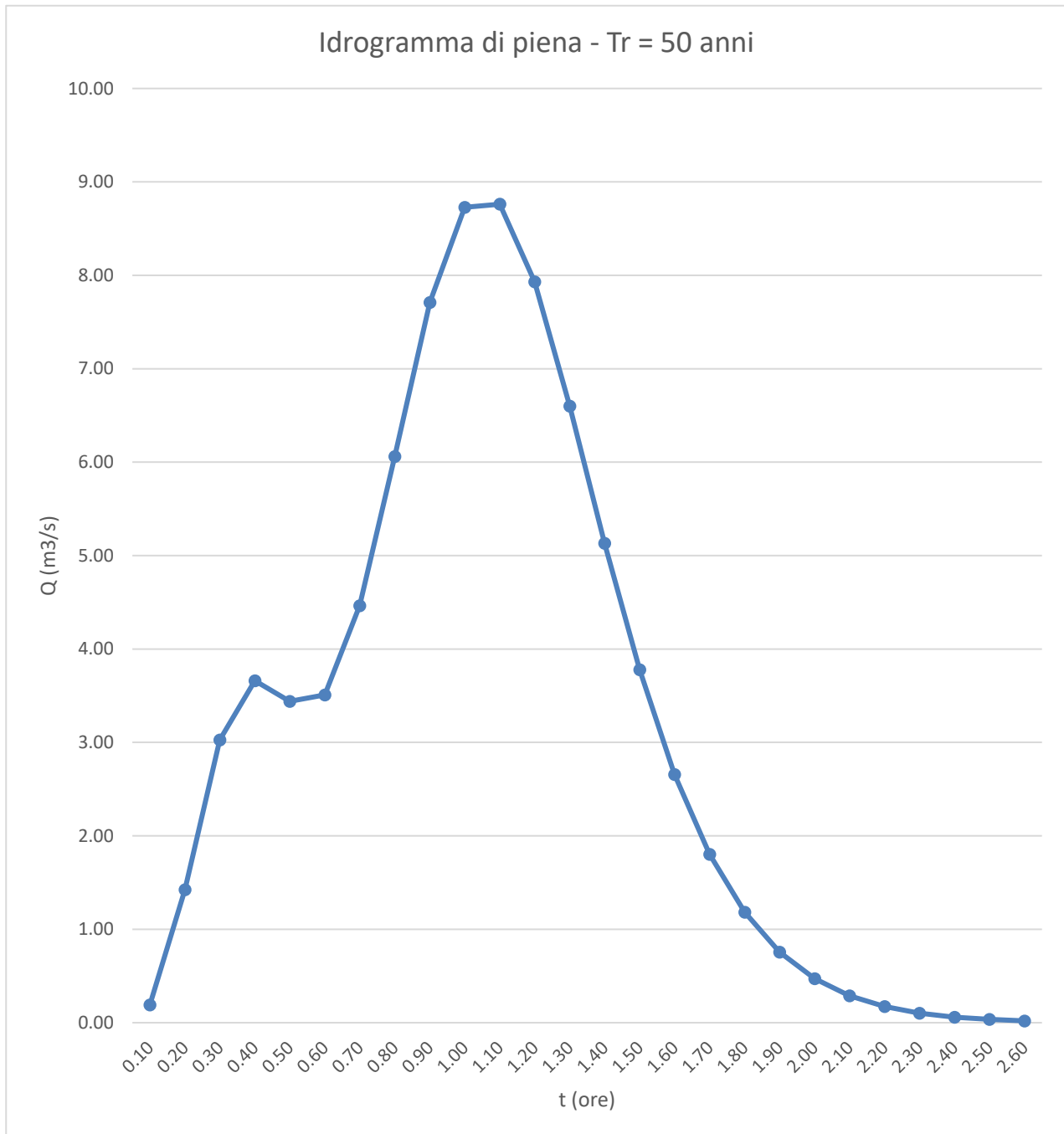
Il diagramma si può costruire analiticamente con la funzione γ che assume la seguente espressione:

$$\frac{U}{U_{picco}} = \left(\frac{t}{\frac{t_{picco}}{\gamma m}} \right)^m e^{\left(m - \frac{t}{\frac{t_{picco}}{\gamma}} \right)} \quad \text{con } m = 4.08332 \text{ ed } \gamma = 0.24490$$

I valori trovati sono riassunti nelle successive tabelle per i tempi di ritorno di progetto. Successivamente vengono riportati gli idrogrammi di piena.

TABELLA 6.2.1- VALORI PORTATE PER TEMPO DI RITORNO DI 50 ANNI.

i	t	t/tpicco	U	P netta	Q (m³/s)
1	0.10	0.1887	0.0375	5.06	0.19
2	0.20	0.3774	0.2943	-1.74	1.42
3	0.30	0.5660	0.7133	-1.84	3.03
4	0.40	0.7547	1.0687	0.99	3.66
5	0.50	0.9434	1.2302	2.65	3.44
6	0.60	1.1321	1.1987	1.86	3.51
7	0.70	1.3208	1.0411	1.54	4.46
8	0.80	1.5094	0.8312	1.35	6.06
9	0.90	1.6981	0.6222		7.71
10	1.00	1.8868	0.4428		8.73
11	1.10	2.0755	0.3024		8.76
12	1.20	2.2642	0.1997		7.93
13	1.30	2.4528	0.1281		6.60
14	1.40	2.6415	0.0803		5.13
15	1.50	2.8302	0.0492		3.78
16	1.60	3.0189	0.0297		2.66
17	1.70	3.2075	0.0176		1.80
18	1.80	3.3962	0.0103		1.18
19	1.90	3.5849	0.0059		0.76
20	2.00	3.7736	0.0034		0.47
21	2.10	3.9623	0.0019		0.29
22	2.20	4.1509	0.0011		0.17
23	2.30	4.3396	0.0006		0.10
24	2.40	4.5283	0.0003		0.06
25	2.50	4.7170	0.0002		0.03
26	2.60	4.9057	0.0001		0.02

**FIGURA 6.2.1- IDROGRAMMA DI PIENA BACINO IN CUI RICADONO LE AREE- $T_R=50$ ANNI.**

7. STUDIO PER LA VALUTAZIONE DEL PRINCIPIO DI INVARIANZA IDROLOGICA E 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 φ , 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 7.1- 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	ϕ
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 INGHAIAATE	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 ϕ 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 all'Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021, per l'utilizzo ante-operam, si è attribuito a queste aree un coefficiente di deflusso pari a 0 corrispondente al valore cautelativo tabellato per terreno incolto e uso agricolo.

- *Superfici Impermeabili* 1,0
- *Pavimentazioni Drenanti o Semipermeabili* 0,7
- *Aree permeabili* 0,3
- *Incolto e Uso Agricolo* 0,0

Le informazioni appena illustrate relative all'area di progetto nella condizione *ante operam* vengono sintetizzate in Tabella 7.2.

TABELLA 7.2- CONDIZIONI ANTE-OPERAM.

Utilizzo suolo Ante-Operam			
	Area (ha)	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di intervento	65.310		
Area di intervento	65.310	0.00	Valore incolto e uso agricolo riportato in Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021
		ϕ	
Media ponderata		0.00	

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 7.3, in accordo a quanto indicato negli elaborati progettuali. Per ciascuna di queste superfici, **facendo riferimento alla Tabella 7.1**, si è individuato il pertinente coefficiente di deflusso.

TABELLA 7.3 - CONDIZIONI POST-OPERAM.

Utilizzo suolo Post-Operam			
	Area (ha)	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di intervento	65.31		
Fascia di mitigazione perimetrale	7.76	0.30	Valore medio superfici di giardini
Aree di compensazione	1.36	0.30	Valore medio superficie boscata
Superficie di proiezione al suolo occupata dai moduli fotovoltaici a 0° (Tracker) su prato stabile di leguminose	14.60	0.30	Valore riportato in Normativa
Seminativi	5.15	0.40	Valore medio terreni coltivati
Viabilità interna - Stradelle di servizio	2.51	0.60	Valore cautelativo superfici inghiaiate
Cabine e piazzole	0.184	1.00	Superficie perfettamente impermeabile
Habitat	4.51	0.30	Valore medio superfici di giardini
Prato stabile di leguminose	18.92	0.20	Valore cautelativo superfici di prati
Cumuli interni alla recinzione	0.56	0.10	Valore ante operam cautelativamente aumentato
Aree libere da interventi	9.75	0.10	Valore ante operam cautelativamente aumentato
		ϕ	
	Media ponderata	0.260	

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 0,260 riferito alle condizioni post-operam.

8. 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;
- φ è coefficiente di deflusso medio ponderale dell'area drenante;
- a ed n sono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica;
- 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 impermeabile molto cautelativa, pari al 30%).

Dalle elaborazioni, si ottengono i seguenti valori:

TABELLA 8.1 – CALCOLO VOLUMI DI LAMINAZIONE- FONTE DDG 102/2021- ALLEGATO2.

ID AREA	Superficie (ha)	φ	a	n	Q_{IMP} (m^3/s)	V_{MAX} (m^3)
MINEO	65.31	0.260	65.065	0.3518	1.306	2458.91

8.1 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 ad 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.

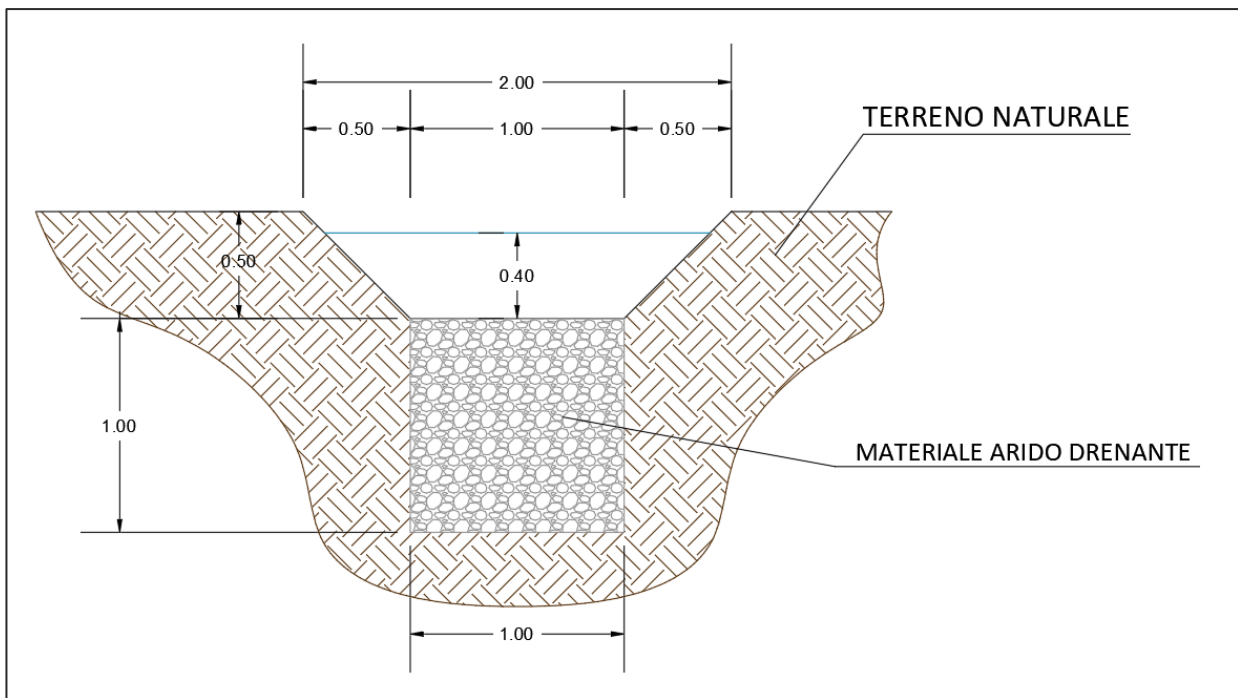


FIGURE 8.1.1- SEZIONE TRASVERSALE SISTEMA FOSSI + TRINCEE.

TABELLA 8.1.1- CALCOLO OPERE DI COMPENSAZIONE IDRAULICA PER LA LAMINAZIONE DEI VOLUMI IN ECCESSO.

ID Area	Area fosso (m ²)	Area trincea (m ²)	Area effettiva trincea (m ²)	Area tot. (m ²)	Lungh. fossi + trincee per compensazione (m)	Lungh. Fossi + trincee in progetto (m)
Mineo	0.56	1	0.4	0.96	2561.37	2600

$$\text{Vol. di progetto} = 2600 \times 0.96 = 2496 \text{ m}^3$$

Vol. progetto > Vol. da laminare (DDG 102/2021)

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. I volumi stoccati, infine, per naturale pendenza del terreno, potranno defluire per gravità verso i fossi naturali esistenti situati a valle del lotto dell'area di impianto.

Per mezzo di tale soluzione, pertanto, risultato rispettato il principio di invarianza idrologica e idraulica del sito, in accordo al DPCM del 07/03/2019 e al DDG n.102 DRU/AdB del 23/06/2021.

L'intervento in ogni caso non comporterà modifiche alla morfologia: saranno mantenute le attuali pendenze del sito. 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.

8.2 Interventi di manutenzione

Si prevede, per tutte le opere idrauliche in progetto, una manutenzione programmata con cadenza trimestrale, al fine di garantire l'efficienza nel tempo delle opere ed evitare fenomeni di interrimento e/o di malfunzionamento.

Le attività di manutenzione saranno costituite da:

- lo sfalcio e il decespugliamento della vegetazione dei fossi e pulizia da rifiuti;
- la manutenzione periodica della vegetazione arborea sulle sponde o di fogliame con effetti potenziali di ostruzione a valle dei fossi;

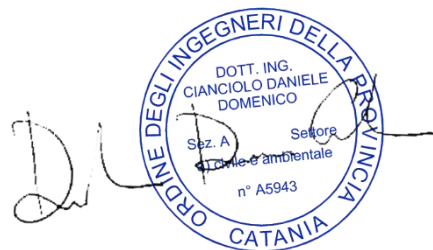
Tali operazioni di manutenzione periodica sono finalizzate a garantire la corretta funzionalità delle opere in progetto evitando fenomeni di interrimento nel tempo.

9. CONCLUSIONI

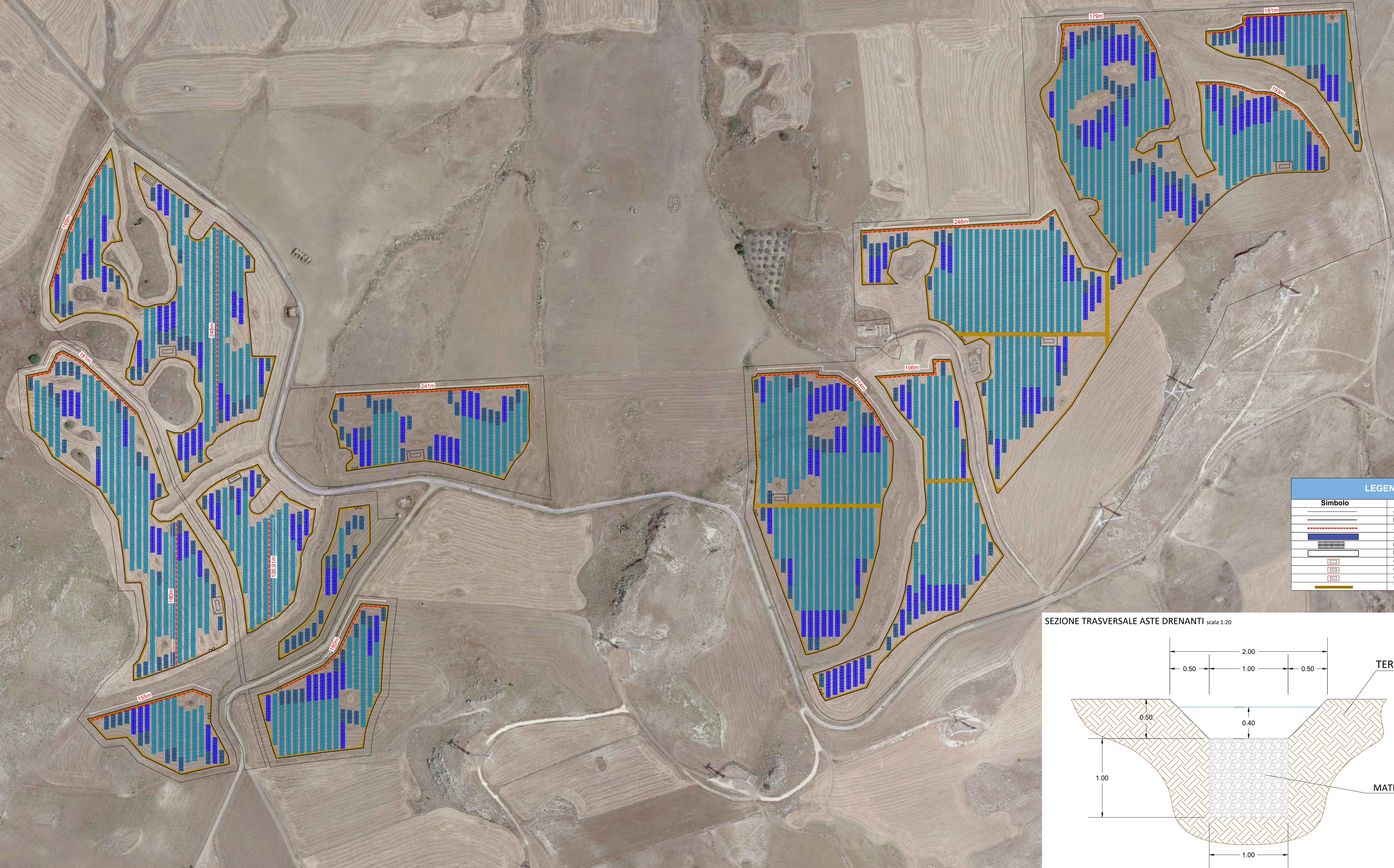
Alla luce dei risultati dello studio idrologico e idraulico e della modellazione idraulica è possibile concludere che:

- Le opere in progetto, secondo le Norme del PAI, rientrano fra quelle consentite, data la valutazione di rischio nullo ad esse associato e dall'analisi degli effetti indotti sulle aree limitrofe;
- L'impatto delle opere da realizzare sull'attuale assetto idraulico nelle zone limitrofe a monte e a valle non determina una variazione delle attuali nulle condizioni del rischio d'inondazione;
- La presenza di pannelli, non costituisce una reale "impermeabilizzazione" della stessa, date anche le posizioni mutue dei pannelli e la loro altezza rispetto al suolo. Inoltre, a differenza degli impianti fissi tradizionali in cui le acque meteoriche defluendo sui pannelli ricadono a terra in maniera localizzata sempre sulla stessa area, la tipologia di impianto in progetto è dotato invece di trackers che ruotano nel tempo permettendo di garantire un deflusso delle acque meteoriche a terra ben distribuito;
- Risulta, inoltre, assolutamente non invasiva la tecnica di installazione dei pilastrini di sostegno dei trackers. Infatti, non vi sono elementi in calcestruzzo di appoggio, quali plinti e/o travi di fondazione, che con la loro presenza avrebbero potuto ingenerare delle superfici impermeabili. Semmai i punti di infissione potrebbero addirittura rappresentare dei punti preferenziali di infiltrazione contribuendo ad una seppur lieve riduzione delle acque di ruscellamento.
- Il raffronto tra le condizioni ante e post-operam 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 0,260 riferito alle condizioni post-operam.
- Si prevede, pertanto, l'inserimento di opere di compensazione costituite nello specifico da aste di trincee drenanti posizionate su fossi di guardia, opportunamente ubicate all'interno dell'area di impianto in modo da captare efficientemente le acque di ruscellamento superficiale. Le opere di compensazione, così calcolate, consentono sia di far infiltrare le acque negli strati più profondi del terreno, che di stoccare i volumi in eccesso derivanti dalla realizzazione delle opere, 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 fuori dal perimetro progettuale. 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.
- All'interno dell'area di impianto non sono state previste variazioni del livello del suolo di calpestio tra la condizione attuale e quella di progetto, e verranno mantenuti i profili del terreno esistenti.
- Non sono stati previsti argini perimetrali, che risulterebbero una variazione del livello di suolo.
- Si prevede, infine, per tutte le opere idrauliche in progetto, una manutenzione programmata con cadenza trimestrale, al fine di garantire l'efficienza nel tempo delle opere ed evitare fenomeni di interrimento e/o di malfunzionamento.



ALLEGATI



SISTEMA FOSSI+TRINCEE	
n° aste	Lunghezza (m)
1	169
2	181
3	248
4	241
5	180
6	155
7	127
8	180
9	214
10	106
11	246
12	179
13	193
14	181
LUNGHEZZA TOTALE (m)	2600

LEGENDA	
Simbolo	Descrizione
	Confine particolare impianto
	Recinzione in rete metallica h=2.50
	Aste drenanti in progetto (sist. fossi+trincee)
	Area cantiere
	Inseguitori solari monoassiali
	Fascia di mitigazione
	Cabina di trasformazione BT/AT
	Cabina di consegna
	Cabina di monitoraggio
	Viabilità in progetto

SEZIONE TRASVERSALE ASTE DRENANTI scala 1:20

