

Regione
Sicilia



Provincia di
Trapani



Comune di
Marsala



PARCO FOTOVOLTAICO DENOMINATO "RINAZZO" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN DI POTENZA PARI A 21 MW NEL COMUNE DI MARSALA (TP)

Società proponente:

ecOenergy
Powering renewables .

Via A. Manzoni, 30 - Milano (20121)
P.IVA: 11119020961
Pec: ecosicity3srl@legalmail.it

Scala

Titolo elaborato:

RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA

Formato

A4

PROGETTISTI INCARICATI

DOTT. ING. DANIELE CIANCIOLO

CODICE ELABORATO:

PROGETTO	PROG.	TIPO	REV.
RNZFV-VIA	04	R	00

Rev.	Data	Descrizione	Redige	Verifica	Approva
00					
01					
02					
03					
04					
05					
06					

GESTORE RETE ELETTRICA

Terna
Rete Elettrica Nazionale

Progettazione a cura di:

STE energy

STE Energy S.r.l. società a socio unico
Via Sorio, 120 - 35141 Padova (IT)

Tel. +39 049.2963900 Fax +39 049.2963901 www.ste-energy.com

RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO DENOMINATO “RINAZZO”,
DI POTENZA DI 21 MW, SITO NEI PRESSI DI C.DA RINAZZO, COMUNE DI MARSALA (TP)**



Ing. Daniele Cianciolo

MADA ENGINEERING SRL

Ecosicily 3 s.r.l.

Società proponente

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE	3
2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3.	CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO	5
4.	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE DELLA MACROAREA	5
5.	ANALISI IDROLOGICA	7
5.1.	METODO DI GUMBEL	8
5.2.	METODO TCEV	8
6.	STIMA DELLA PORTATA AL COLMO	15
6.1.	CALCOLO DELLE PIOGGE NETTE	15
6.2.	TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI	19
7.	STUDIO PER LA VALUTAZIONE DEL PRINCIPIO DI INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA	23
8.	MISURE IDRAULICHE DI MITIGAZIONE	27
8.1	TRINCEE DRENANTI SU FOSSI	28
8.2	INTERVENTI DI MANUTENZIONE	29
9.	CONCLUSIONI	30

1. INTRODUZIONE

Il presente studio è redatto al fine di definire la compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto agrovoltaiico posizionato a terra, e relative opere connesse (infrastrutture impiantistiche e civili), ubicato nel Comune di Marsala (TP), di potenza pari a 21 MW per complessivi 9,84 ha utilizzati, intesi come area occupata dalle strutture, nello specifico considerando la proiezione al suolo delle strutture fisse inclinate a 25° e dei tracker alla loro massima estensione, ovvero a 0°, su un'area totale di progetto di 33,27 ha. L'area è prevalentemente incolta e destinata a seminativo.

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

L'area di impianto ricade all'interno della Provincia di Trapani, nel Comune di Marsala (fuori dal centro abitato), in una zona a vocazione agricola. Essa si trova ad una distanza di circa 7,8 km ad est dal primo centro abitato Paolini-Matarocco frazione di Marsala in un'area raggiungibile attraverso la SS188 Marsala – Salemi e dalla SP24 Misilla – Paolini – M. Rosse – S. Nicola.

L'area proposta per la realizzazione del parco agrovoltaiico è individuabile dalle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine 37°49'21.59"N, Longitudine 12°37'23.52"E

Quota altimetrica media 85 m s.l.m.

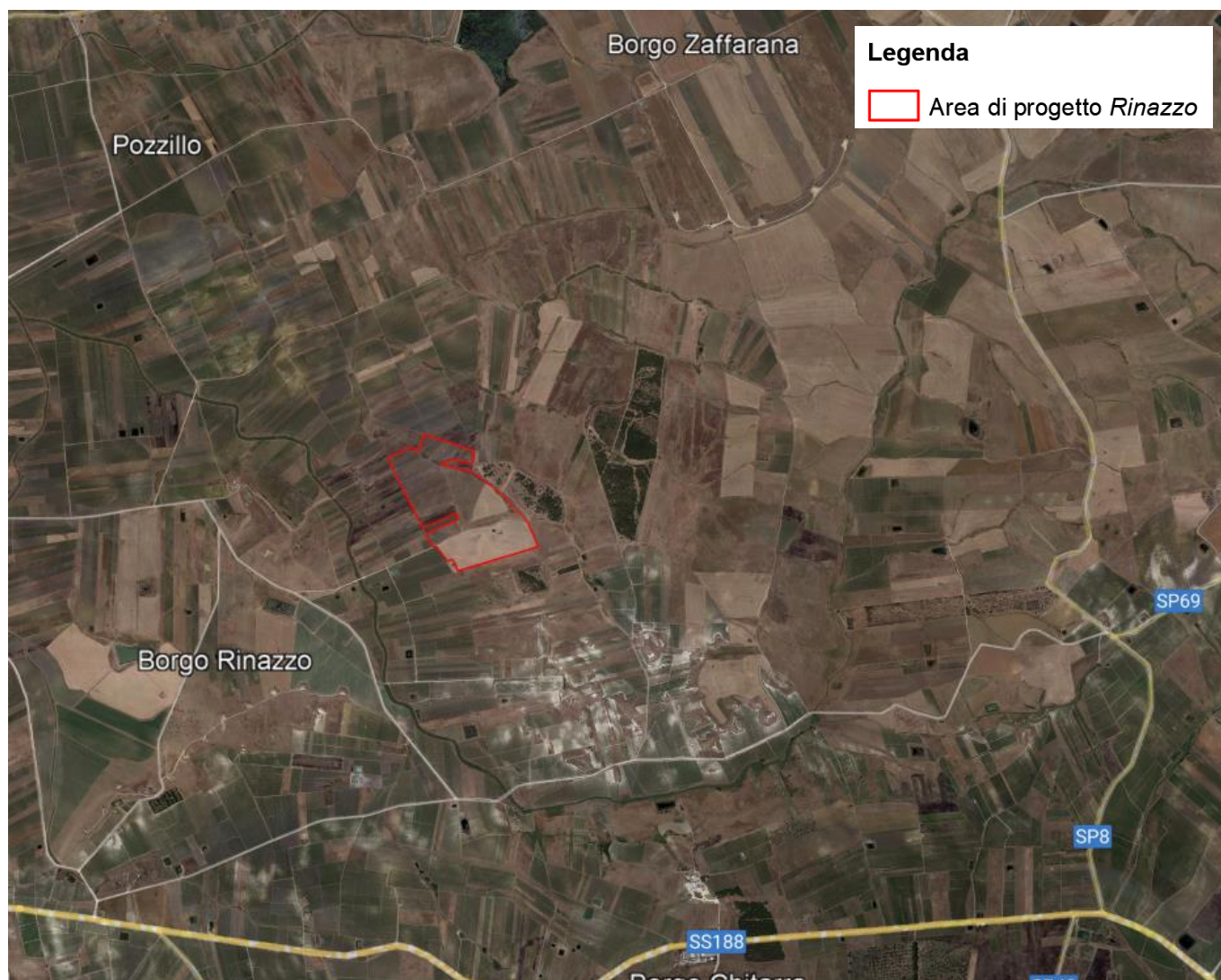


FIGURA 1.1- INDIVIDUAZIONE DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO (FONTE GOOGLE EARTH)

L'area di progetto, la cui superficie è pari a 33,27 ha, è caratterizzata da un andamento prevalentemente pianeggiante e da campi destinati a seminativo. Essa è censita all'interno del Nuovo Catasto Terreni (N.C.T.) del comune di Marsala (TP) e ricade nei fogli catastali: 134 e 166.

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 1,2 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 (km²)	H_{max} (m.s.l.m.)	H₀ (m.s.l.m.)	L asta principale (km)	i (%)
1.2	155	55	1,7	5,9

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, reattive ai bacini di piccole dimensioni:

- **Formula di Viparelli:**

$$t_c = \frac{L_a}{v}$$

Dove:

- L_a (km) la lunghezza dell'asta principale;
- v (km/h) la velocità posta pari a 5,4 km/h determinata con l'ausilio di un abaco;

- **Formula di Pezzoli:**

$$t_c = 0.055 \frac{L_a}{\sqrt{i}}$$

Dove:

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

Viparelli (ore)	Pezzoli (ore)	Kirpich (ore)	Media (ore)
0.31	0.38	0.29	0.33

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:

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

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:

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

Ed i parametri da stimare sono Δ^* , θ^* , Λ_1 e Θ_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 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:

$$F(k) = e^{-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_1 \Lambda_1^{1/\Theta^*} e^{-\frac{\eta k}{\Theta^*}}}$$

Ed i parametri da determinare sono Λ^* , Θ^* , Λ_1 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_1 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 μ_{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- 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 h_t (ovvero k) il problema tipico è quello di conoscere il valore della variabile, assegnato il tempo di ritorno (T_r) dell'evento.

Il tempo di ritorno T_r 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 $k(T_r)$:

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	$0.5015 - 0.003516 \cdot t + (0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101) \cdot \log(T_r)$

$k(T_r)$ è spesso indicato come K_T 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 A, 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:

$$X_T(t) = 0.5391 - 0.001635 t + (0.0002212 t^2 + 0.00117 t + 0.9966) \log T \quad T \geq 10 \text{ anni}$$

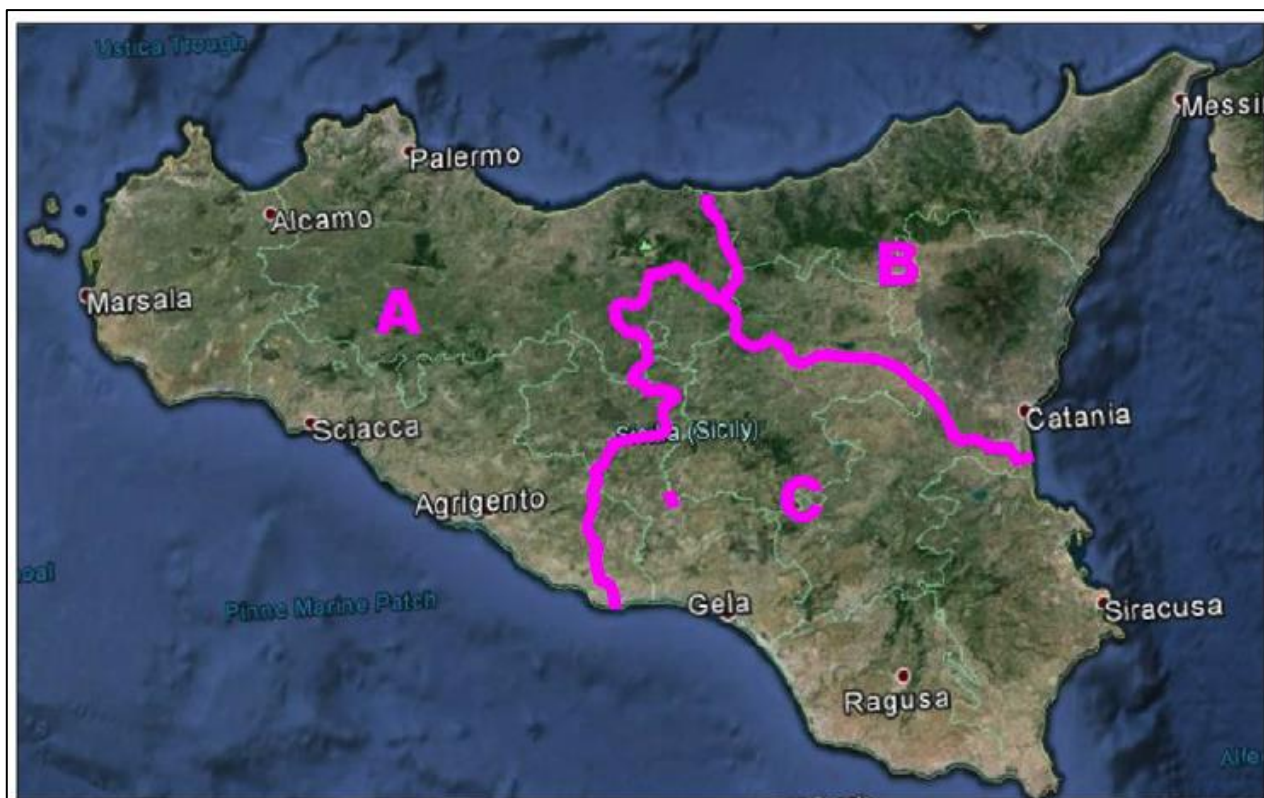


FIGURA 5.2.2- INDIVIDUAZIONE DELLA SOTTOZONA DI APPARTENENZA (SOTTOZONA C).

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

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

Tabella IV — Valori delle costanti a ed n della (23) per le stazioni pluviografiche siciliane

Cod.	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
1	Monforte S. Giorgio	Niceto	35,9	0,3391
2	Milazzo	tra Muto e Mela	30,3	0,2208
3	Castroreale	Longano	27,4	0,4470
4	Montalbano Elicona	Mazzarrà	26,2	0,4255
5	Tindari	tra Mazzarà e Timeto	26,5	0,2977
6	S. Piero Patti	Timeto	28,3	0,3369
7	Capo d'Orlando	tra Naso e Zappulla	20,5	0,2934
8	Tortorici	Zappulla	28,4	0,3347
9	Alcara Li Fusi	Rosmarino	23,2	0,3970
10	Sanfratello	Inganno	21,9	0,3723
11	S. Stefano di Camastra	S. Stefano	26,7	0,2560
12	Castelbuono	Pollina	25,6	0,3451
13	Isnello	Pollina	25,0	0,4109
14	Cefalù	Pollina	27,3	0,2827
15	Collesano	Roccella	28,1	0,3880
16	Caltavuturo	Imera Settentrionale	20,4	0,4252
17	Gioia (fattoria)	Torto	20,5	0,3147
18	Termini Imerese	tra Torto e S. Leonardo	30,5	0,2635
19	Imbriaca	S. Leonardo	22,6	0,3567
20	Vicari	S. Leonardo	22,5	0,3205
21	Campofelice di Fitalia	S. Leonardo	22,9	0,2244

Cod.	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
59	Birgi Nuovo	Birgi	29,1	0,2398
60	Ciaulo	Mazaro	33,4	0,1463
61	Marsala	Mazaro	30,4	0,2325
62	Mazzara del Vallo	tra Mazaro e Arena	29,5	0,2421
63	Partanna	Modione	26,7	0,2927
64	Castelvetrano	Modione	24,7	0,2596
65	Piana degli Albanesi	Belice	21,7	0,4126
66	Casa Dingoli	Belice	25,7	0,4020
67	S. Cristina Gela	Belice	24,5	0,3835
68	Piana dei Greci M.	Belice	22,4	0,3940
69	Piana dei Greci P.	Belice	24,4	0,4398
70	Tagliavia	Belice	23,8	0,1873
71	Corleone	Belice	20,8	0,2980
72	Roccamena	Belice	19,6	0,2938
73	Gibellina	Belice	21,8	0,2584
74	Montevago	Belice	34,6	0,2441
75	S. Margherita Belice	Belice	25,5	0,2296
76	Sciacca	tra Carboi e Verdura	28,3	0,2694
77	Caltabellotta	tra Carboi e Verdura	30,4	0,2777
78	Arancio	Carboi	26,4	0,2115
79	Piano del Leone	Verdura	25,2	0,3369
80	Palazzo Adriano	Verdura	26,9	0,3616
81	Chiusa Sciafani	Verdura	28,8	0,3318

FIGURA 5.2.3- STRALCIO TABELLA - 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 Marsala.

Si individuano quindi i seguenti valori di a ed n:

- **a = 30.4**
- **n = 0.2325**

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

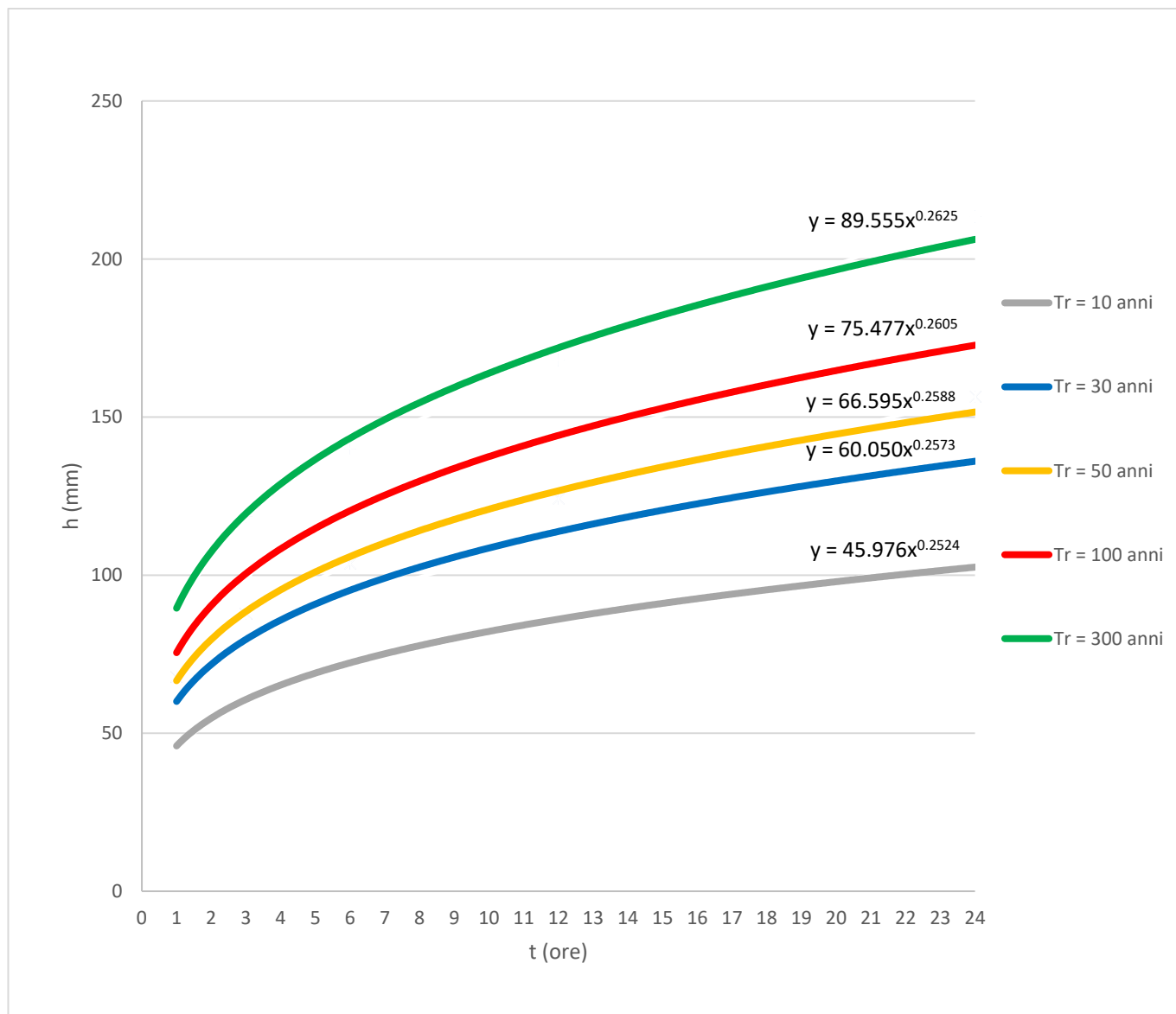


FIGURA 5.2.4- CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (STAZIONE DI MARSALA).

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)

$$t_{lag} = 0.6 t_c = 0.198 \text{ ore}$$

$$\Delta t_{max} = 0.29 t_{lag} = 0.0574$$

Si assumono pertanto 8 intervalli di $\Delta t = 0,0413$ (considerando una pioggia della durata pari al tempo di corrivazione $t_c = 0.33$ 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.

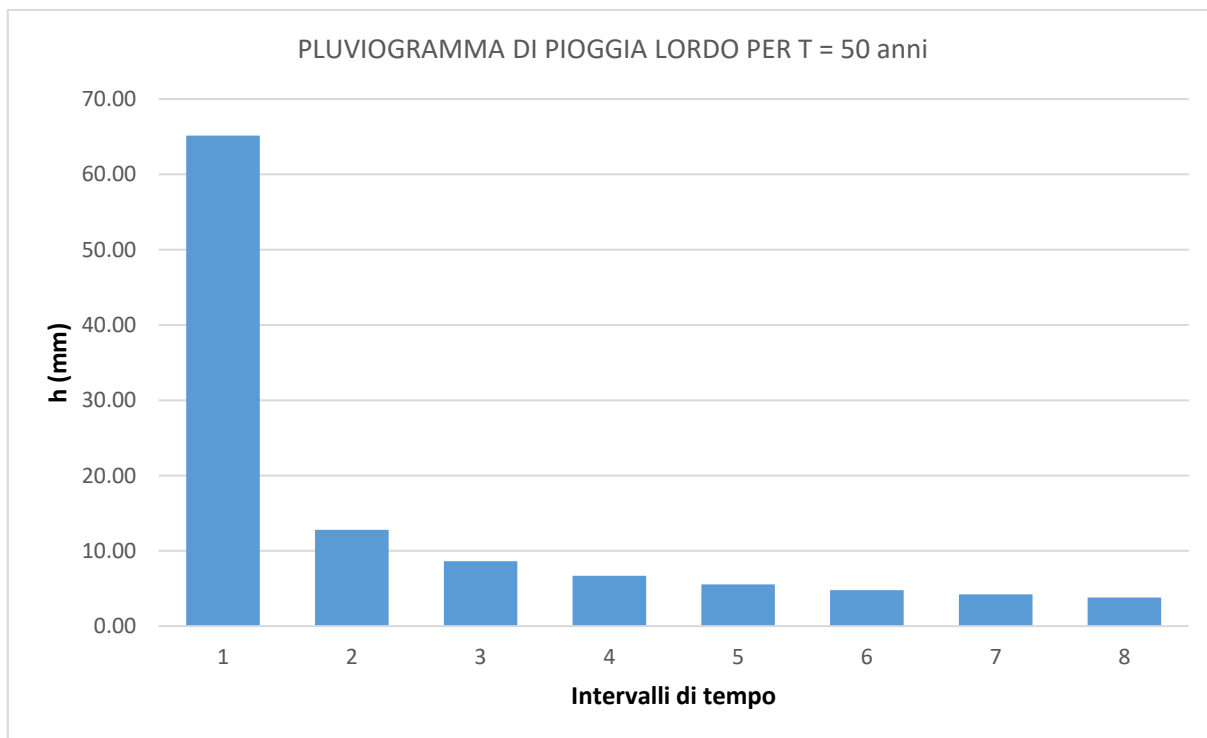


FIGURA 6.1.1- PLUVIOGRAMMA LORDO DI PIOGGIA IN SERIE DECRESCENTE

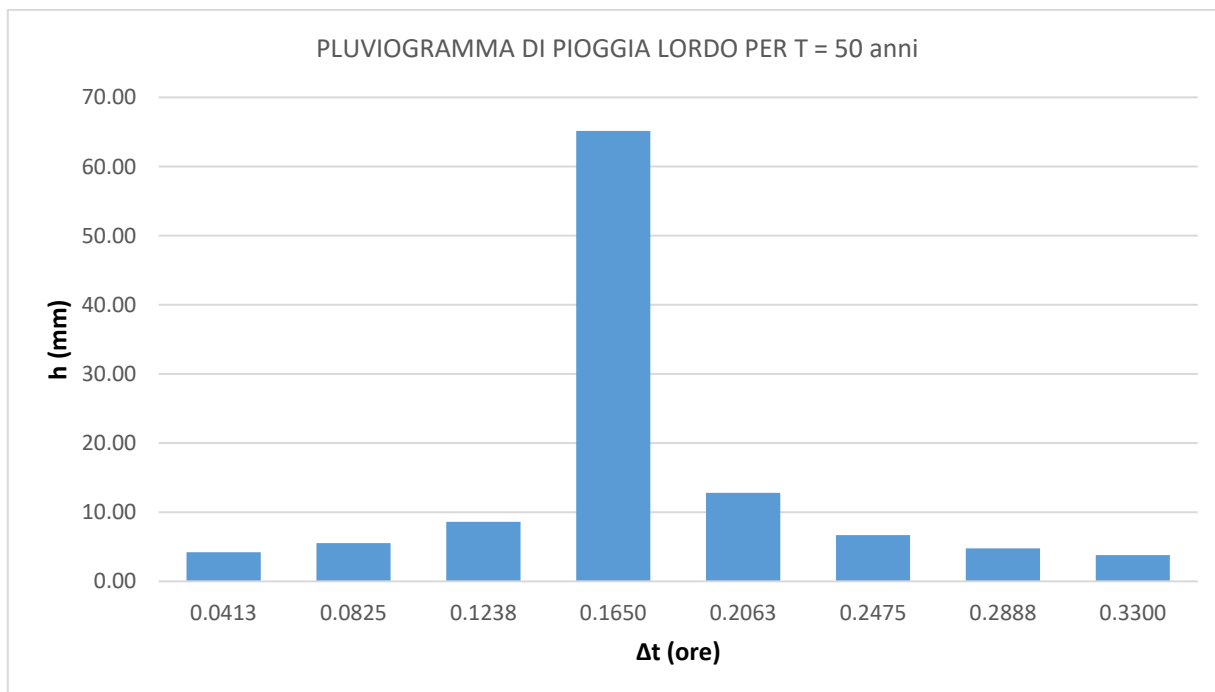


FIGURE 6.1.2-PLUVIOGRAMMA LORDO DI PIOGGIA

Ricavati i pluviogrammi lordi di progetto, occorre risalire alle piogge nette. Il metodo SCS – CN considera una perdita iniziale " I_a " = 0.2 S (*initial 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.

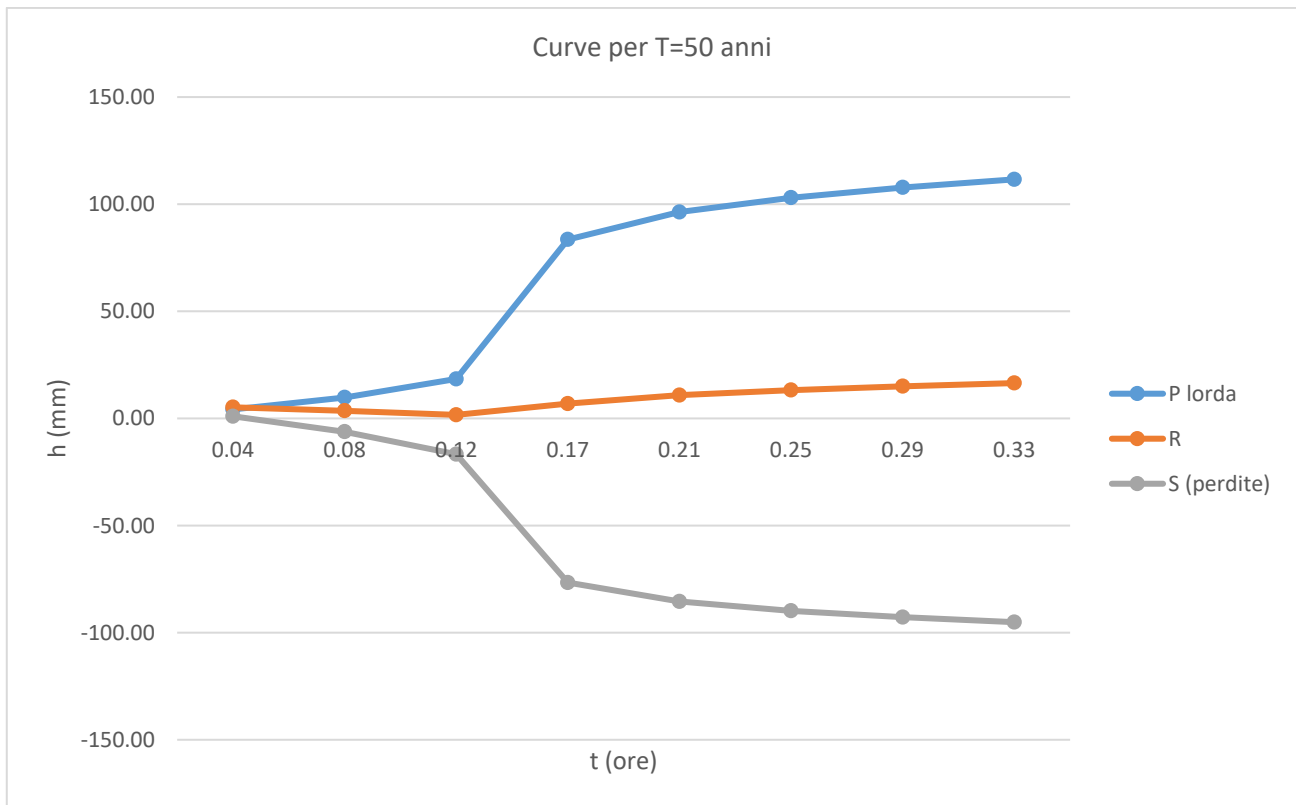


FIGURE 6.1.3- PIOGGE LORDE, NETTE E PERDITE.

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)

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

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

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:

$$\frac{U}{U_{picco}} = \left(\frac{t}{t_{picco}} \right)^m e^{\left(m - \frac{t}{t_{picco}} \frac{1}{\gamma} \right)} \quad \text{con } m = 4.08332 \text{ ed } \gamma = 0.24490$$

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	0.16
2	0.20	0.3774	0.2943	-1.74	1.19
3	0.30	0.5660	0.7133	-1.84	2.55
4	0.40	0.7547	1.0687	0.99	3.26
5	0.50	0.9434	1.2302	2.65	4.02
6	0.60	1.1321	1.1987	1.86	5.80
7	0.70	1.3208	1.0411	1.54	8.32
8	0.80	1.5094	0.8312	1.35	10.73
9	0.90	1.6981	0.6222		12.34
10	1.00	1.8868	0.4428		12.75
11	1.10	2.0755	0.3024		11.92
12	1.20	2.2642	0.1997		10.24
13	1.30	2.4528	0.1281		8.20
14	1.40	2.6415	0.0803		6.19
15	1.50	2.8302	0.0492		4.46
16	1.60	3.0189	0.0297		3.08
17	1.70	3.2075	0.0176		2.06
18	1.80	3.3962	0.0103		1.34
19	1.90	3.5849	0.0059		0.85
20	2.00	3.7736	0.0034		0.52
21	2.10	3.9623	0.0019		0.32
22	2.20	4.1509	0.0011		0.19
23	2.30	4.3396	0.0006		0.11
24	2.40	4.5283	0.0003		0.07
25	2.50	4.7170	0.0002		0.04
26	2.60	4.9057	0.0001		0.02

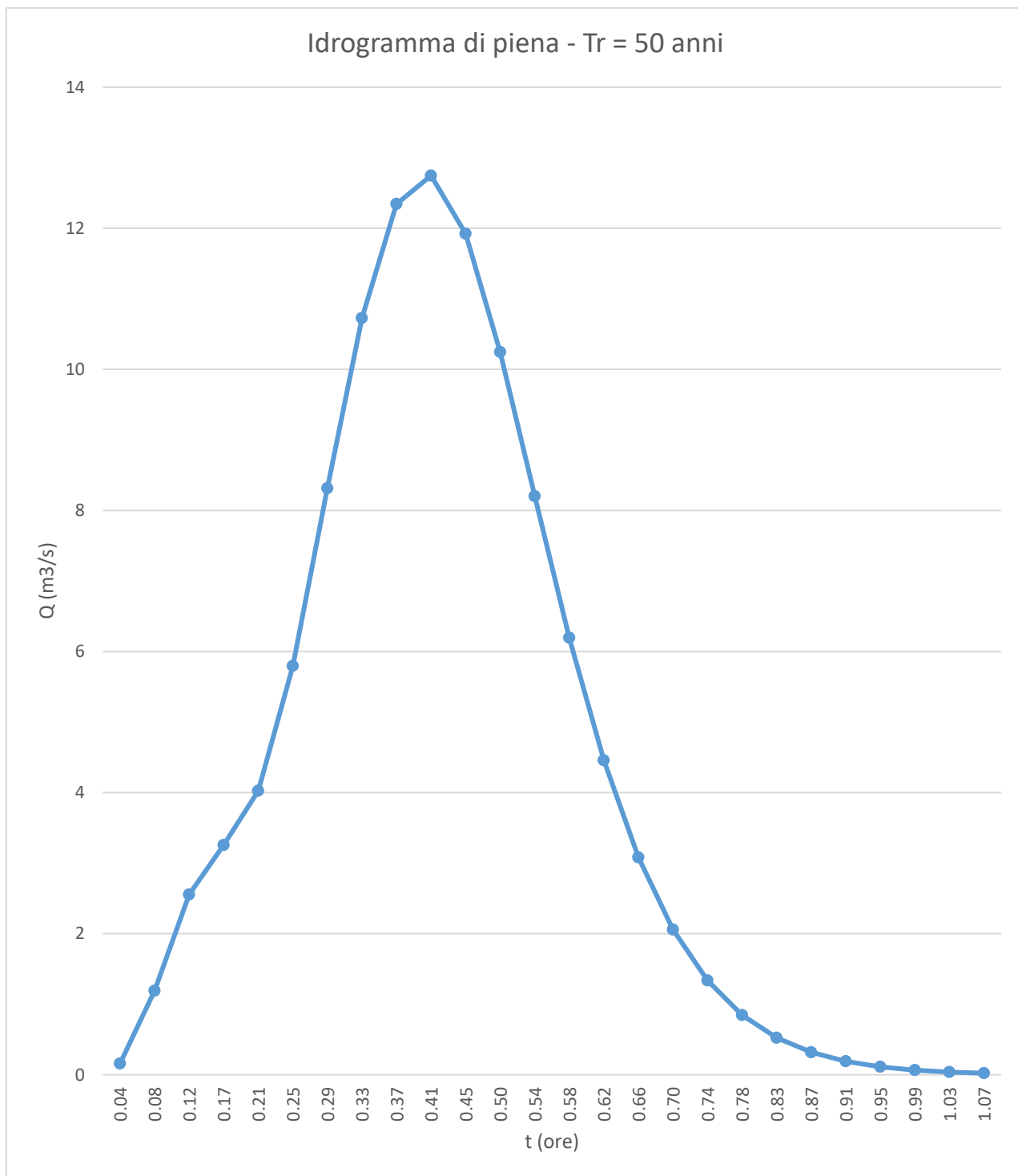


FIGURA 6.2.1- IDROGRAMMA DI PIENA BACINO IN CUI RICADONO LE AREE- $T_r=50$ ANNI.

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.

FIGURA 7.1- 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 BOSCADE	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_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 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 7.1- CONDIZIONI ANTE-OPERAM

Utilizzo suolo Ante-Operam			
	Area (ha)	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di intervento	33.27	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 7.2 - CONDIZIONI POST-OPERAM.

Utilizzo suolo Post-Operam			
	Area (ha)	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di intervento	33.27		
Fascia di mitigazione	3.50	0.30	Valore cautelativo superfici di giardini
Aree di coltivazione uliveto e vigneto	1.44	0.30	Valore cautelativo superficie boscata
Strutture FV tracker su prato polifita di leguminose (proiezione al suolo occupata dai moduli fotovoltaici a 0°)	8.92	0.30	Valore riportato in Normativa
Strutture FV fisse (proiezione al suolo occupata dai moduli fotovoltaici a 25°)	0.92	0.30	Valore riportato in Normativa
Strutture di sostegno moduli FV	0.048	1.00	Superficie perfettamente impermeabile
Cabine interne all'area di progetto	0.03	1.00	Superficie perfettamente impermeabile
Strade e piazzole interne all'area di progetto	0.66	0.60	Valore cautelativo superfici inghiaiate
Prato polifita di leguminose	12.39	0.30	Valore medio superfici di prati e pascoli
Area destinata ad essenze aromatiche	2.05	0.30	Valore cautelativo superfici di giardini
Area di rinaturalizzazione	1.56	0.30	Valore cautelativo superficie boscata
Area di impluvio con relativa fascia di rispetto	1.54	0.20	Valore ante operam cautelativamente aumentato
Aree libere da interventi	0.21	0.20	Valore ante operam cautelativamente aumentato
		ϕ	
Media ponderata		0.302	

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 **0,302** 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 della curva di possibilità pluviometrica $T_R=30$ anni (fonte 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 impermeabile cautelativa, pari al 50%).

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)
Marsala	33.27	0.302	60.050	0.2573	0.6651	1166.86

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.

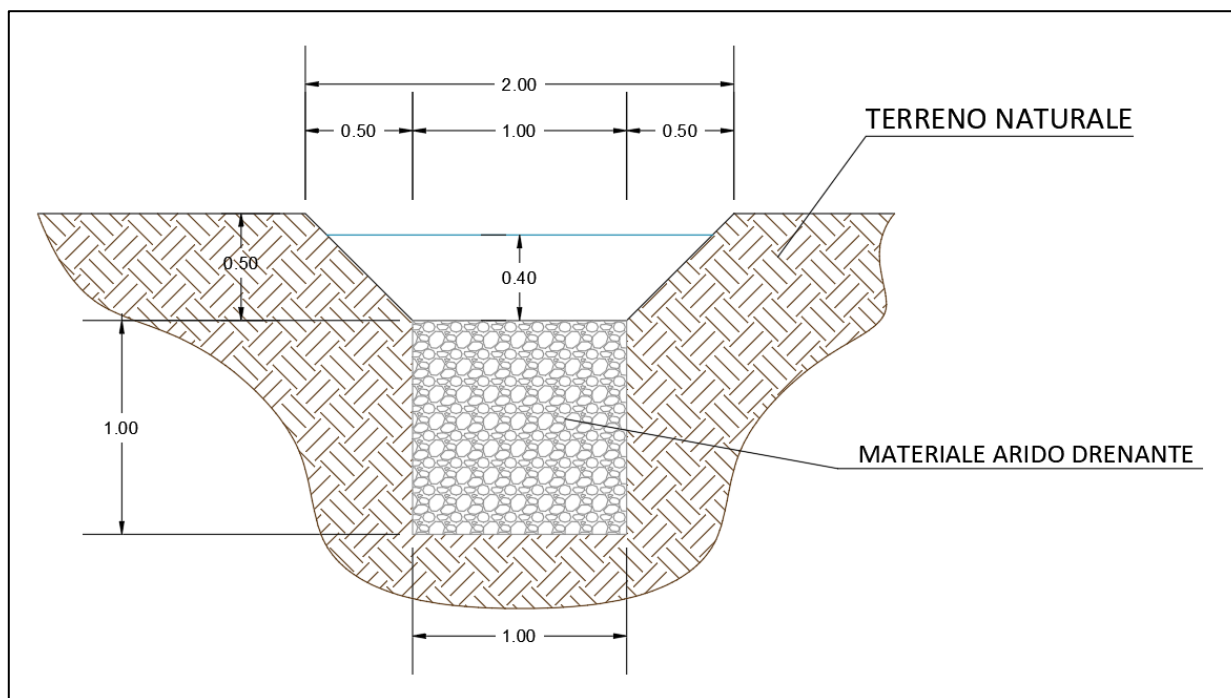


FIGURE 8.1.1- SEZIONE TRASVERSALE SISTEMA FOSSI + TRINCEE.

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)
Marsala	0.56	1	0.4	0.96	1215.48	1363

$$\text{Vol. di progetto} = 1363 \times 0.96 = 1308.48 \text{ m}^3$$

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.

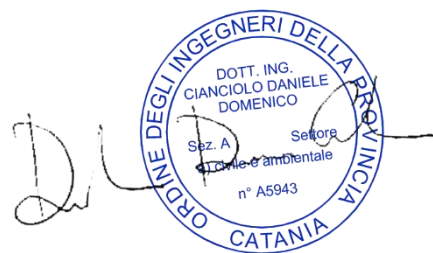
9. CONCLUSIONI

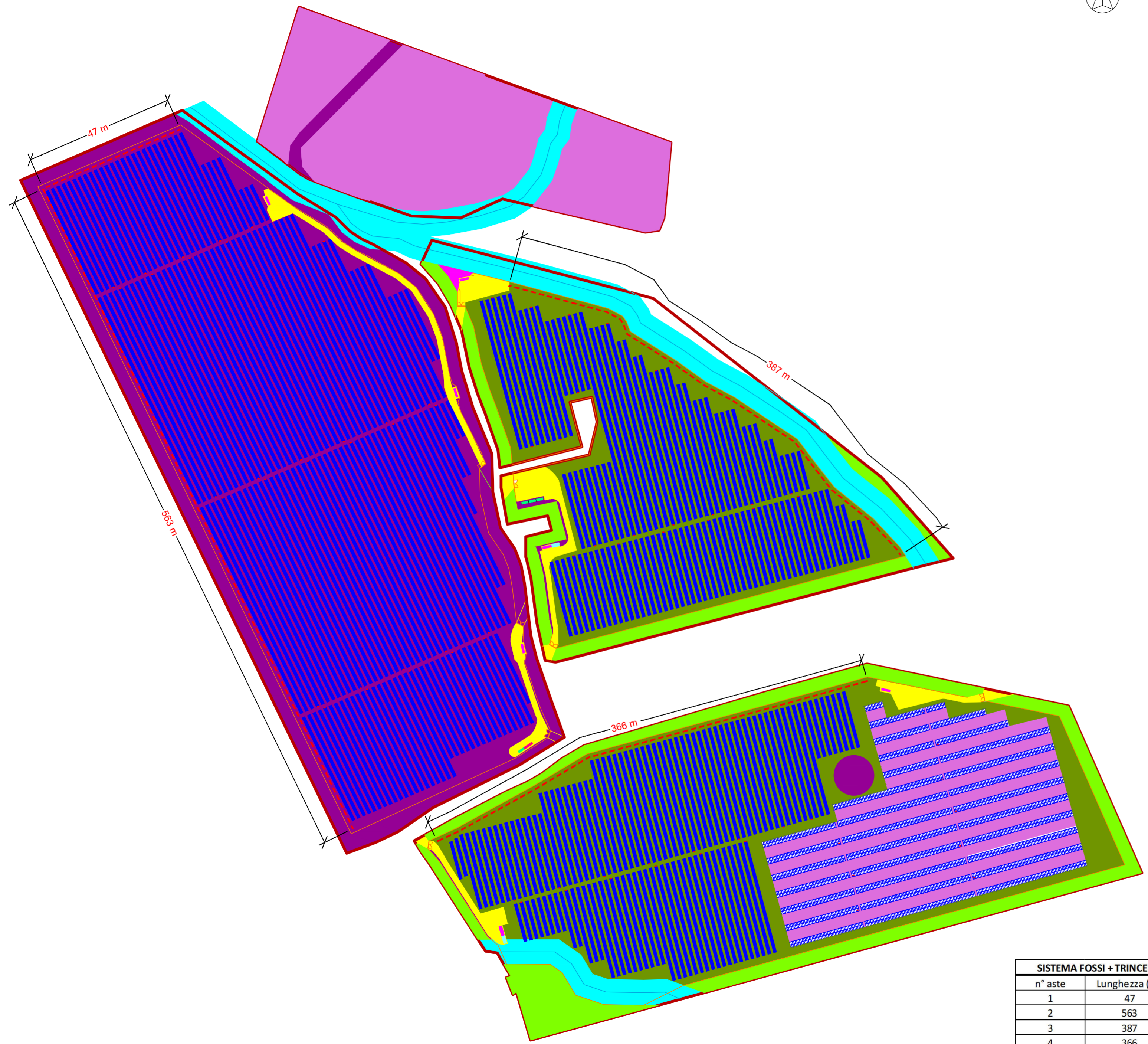
Alla luce dei risultati dello studio idrologico e idraulico e della modellazione idraulica è possibile concludere che:

- 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 pilastri 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 0,302 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.





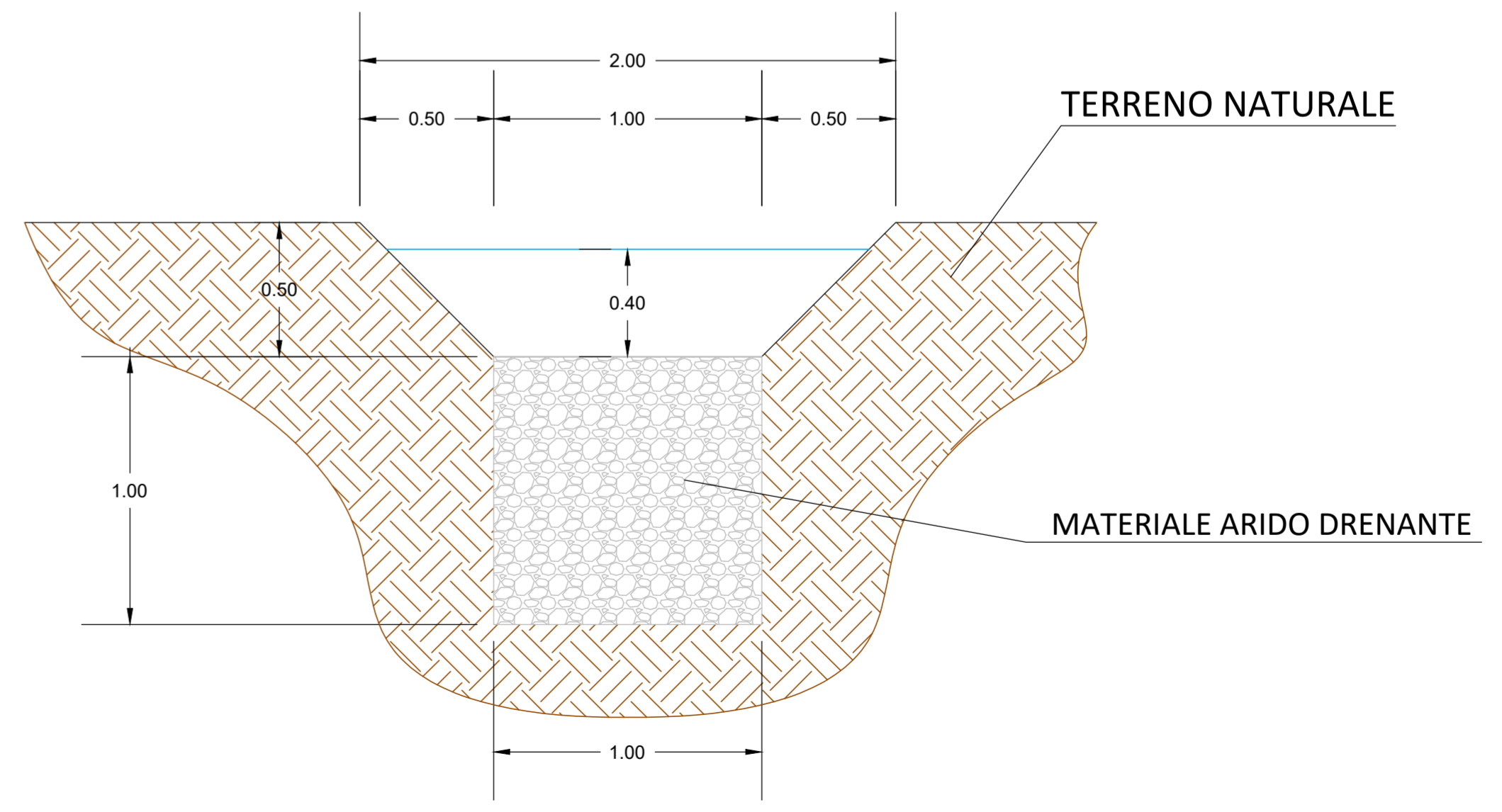
LEGENDA

- - - Aste drenanti in progetto (sistema fossi + trincee drenanti)
- Area di progetto
- Recinzione
- ▤ Strutture fisse 2P - 570W moduli bifacciali pitch
- ▬ Moduli tracker
- Skid
- Cabina
- Cabina ufficio
- Cabina arrivo linea
- Viabilità interna di progetto
- Inverter
- ⌋ Accesso

- Fascia mitigazione 10m
- Area di compensazione
- Aree libere da interventi
- Impluvi e fascia di rispetto impluvi
- Prato polifita di leguminose (*Trifolium subterraneum*)
- Cumuli

SEZIONE TRASVERSALE ASTE DRENANTI

scala 1:20



SISTEMA FOSSI + TRINCEE	
n° aste	Lunghezza (m)
1	47
2	563
3	387
4	366
LUNGHEZZA TOTALE	1363