



REGIONE SICILIA  
PROVINCIA DI PALERMO  
COMUNE DI BOLOGNETTA



# PROGETTO DEFINITIVO

Descrizione

Impianto agro-fotovoltaico denominato "Tumminia 2" ubicato nel comune di Bolognetta (PA), con potenza di immissione pari a 69,00 MW

Titolo elaborato

## RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

Codifica interna elaborato

BOL2-SOL-FV-MA-MEM-0002\_00

Codice elaborato

---

n° tavola

2.11

Formato

A4

Scala

---

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione

Proponente



**Solaria Promozione e  
Sviluppo Fotovoltaico srl**

Via Sardegna 38  
00187 Roma (RM)  
solariapromozionesviluppofotovoltaico@legalmail.com

Progettazione

Il Progettisti:

**Ing. Pietro Vella**  
Via Garibaldi 42  
91020 Poggioreale (TP)  
ingpietro.vella@pec.it

Data	n° revisione	Motivo della revisione	Redatto	Controllato	Approvato
04/2024	00	EMISSIONE	ING. PIETRO VELLA	ING. PIETRO VELLA	ING. PIETRO VELLA

## **INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA E FONTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>6</b>
<b>4. IDROLOGIA DELLA MACROAREA .....</b>	<b>9</b>
<b>5. CLIMATOLOGIA, REGIME TERMICO E PLUVIOMETRICO .....</b>	<b>12</b>
<b>6. ANALISI DEI RISCHI .....</b>	<b>15</b>
<b>7. PROGETTO DELLE OPERE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA .....</b>	<b>21</b>
<b>7.1 DATI GENERALI IMPIANTO .....</b>	<b>21</b>
<b>7.2 OPERE IDRAULICHE .....</b>	<b>21</b>
<b>8. STUDIO IDROLOGICO .....</b>	<b>28</b>
<b>8.1 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO .....</b>	<b>29</b>
<b>8.2 MODELLO TCEV SICILIA .....</b>	<b>31</b>
<b>9. VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO .....</b>	<b>43</b>
<b>10. MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI .....</b>	<b>47</b>
<b>11. VERIFICA DELLE PORTATE DI PROGETTO .....</b>	<b>52</b>
<b>12. INVARIANZA IDRAULICA .....</b>	<b>55</b>
<b>13. MISURE IDRAULICHE DI MITIGAZIONE .....</b>	<b>57</b>
<b>14. CONCLUSIONI .....</b>	<b>60</b>

## 1. PREMESSA

La società **Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico S.r.l.** propone di realizzare nel territorio comunale di Bolognetta (PA), un impianto agro - fotovoltaico combinato con l'attività di coltivazione agricola, denominato "Tumminia 2", avente potenza installata complessiva di 81,18 MWp e le necessarie opere di connessione alla RTN, ricadenti anch'esse nello stesso comune.

Le opere progettuali da realizzare possono essere sintetizzate nel modo seguente:

1. Impianto agrovoltaiico: con strutture fisse, con una potenza installata di 81,18 MWp, ossia 69,00 MWac in immissione come da STMG, ubicato in un terreno agricolo nel comune di Bolognetta (PA);
2. Dorsali di collegamento interrate, in media tensione a 30 kV, per la consegna dell'energia elettrica prodotta dall'impianto alla stazione elettrica di utenza;
3. Stazione elettrica di utenza 150/30 kV, da realizzarsi nel Comune di Bolognetta (PA);
4. Cavidotto AT a 150 kV di collegamento in antenna tra la stazione elettrica di utenza e la stazione elettrica di Smistamento "Villafrati" avente una lunghezza di 4400 m.

Le opere indicate al punto 1. e al punto 2. costituiscono il **Progetto dell'impianto agrovoltaiico**, le opere presenti al punto 3. e 4. costituiscono il **Progetto dell'impianto di Utenza per la connessione**.

Il progetto prevede che l'impianto venga realizzato su una superficie complessiva di circa 152,24 ha, compresa la fascia di mitigazione e strada tagliafuoco. Invece la superficie dell'impianto recintata è di circa 100,60 ha.

La società al fine di riqualificare e ottimizzare le aree da un punto di vista agricolo e per esigenze di installazione data la morfologia del sito, ha scelto di adottare una soluzione con strutture fisse, con un pitch tra le strutture di 7,5 m e una distanza inter-fila tra le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici di circa 3,16 m, consentendo la coltivazione tra le strutture e il transito dei mezzi agricoli necessari per la lavorazione agricola.

La soluzione impiantistica che si vuole realizzare rispetta a pieno i limiti imposti dalle "Linee Guida in materia di Impianti Agrovoltaiico", difatti:

- la superficie effettivamente occupata dall'impianto (Area utilizzata) è pari a circa 41,77 ha (meno del 30% della superficie totale), andando quindi a rispettare il limite di rapporto  $S_{agr}/S_{disp}=70\%$ . Di quest'area d'impianto 33,29 ha sono occupati dai moduli, 8,48 ha sono occupati dalle opere di progetto (strade interne all'impianto, power station, cabina di consegna, etc...);
- lungo il perimetro dell'impianto si è realizzata una fascia di mitigazione di circa 10 metri e un'ulteriore strada tagliafuoco di circa 5,00 m;
- la superficie agricola coltivabile corrispondente ai restanti 73,89 ha (non utilizzando parte del terreno al di sotto dei moduli) sarà seminata a foraggiere e potrà essere oggetto di pascolamento oppure di raccolta e successiva fienagione;
- il rapporto tra la superficie dei moduli e quella agricola rispetta il limite imposto del 40% ( $LAOR \leq 40\%$ ).

Le dorsali in cavo interrato saranno poste, per quanto possibile, lungo le strade pubbliche.

La presente relazione descrive gli **interventi per la raccolta e gestione delle acque meteoriche** delle superfici interne all'impianto fotovoltaico e mostra sia i criteri utilizzati che le risultanze dei dimensionamenti delle principali opere previste in questa fase di progetto definitivo. Il sistema di fossi di guardia ed attraversamenti previsti in progetto e degli opportuni sistemi di recapito rispetta l'equilibrio idrogeologico preesistente. Le scelte progettuali sono state condotte in modo tale da avere opere ad "impatto zero" sull'esistente reticolo idrografico, recapitando le acque superficiali convogliate dai fossi di guardia presso gli impluvi ed i solchi di erosione naturali.

L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di intercettare e allontanare tempestivamente le acque di scorrimento superficiale all'interno del parco fotovoltaico, al fine di garantire la vita utile delle opere civili, riducendo le operazioni di manutenzione al minimo indispensabile.

La presente relazione affronta quindi lo studio idrologico ed idraulico delle aree scolanti interessate dalle opere del progetto fotovoltaico **con valutazioni in merito alle possibili variazioni ante-operam – post-operam, come richiesto dal D.D.G. 102/2021**, analizzando quindi il possibile impatto del progetto da un punto di vista idrologico (valutazione invarianza idraulica, delle variazioni del coefficiente di deflusso e modifiche al deflusso naturale delle acque

meteoriche) e da un punto di vista idraulico (valutazione delle variazioni degli apporti durante eventi intensi al ricettore finale).

Tale studio è svolto secondo le Norme Tecniche di Attuazione del Piano d'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Sicilia, ed è costituito da:

- analisi delle piogge, eseguita utilizzando le indicazioni riportate sul progetto Valutazione Piene (VAPI) del Gruppo Nazionali Difesa Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI);
- valutazione della durata dell'evento pluviometrico di progetto di durata pari al tempo critico del bacino idrografico oggetto di studio (tempo di corrivazione e ietogramma di progetto);
- determinazione delle portate di riferimento e dimensionamento del sistema di collettamento delle stesse.

Nel seguito si è proceduto al dimensionamento del sistema di gestione acque meteoriche dell'area impianto, basato sullo studio della direzione di deflusso principale delle acque ante-operam e dei principali punti di scarico al "ricettore".

La rete esistente è descrivibile come l'unione di:

1. percorsi principali di drenaggio episodici naturali senza spesso solchi ben definiti;
2. rete agricola presente ogniqualvolta avviene una coltivazione;
3. rete stradale antropica che a volte crea deviazioni di deflusso.

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.

La rete è stata tracciata al fine di assecondare il naturale stato di fatto e i punti di affluenza perimetrali apparentemente esistenti. In corrispondenza dei punti di scarico saranno previste opere di dissipazione costituite da aree rivestite con pietrame.

Per maggiori approfondimenti relativi alla planimetria gestione acque meteoriche interne e degli interventi di regimazione idraulica delle aree di progetto nel nuovo impianto fotovoltaico si rimanda all'elaborato "PLANIMETRIA DI DRENAGGIO ACQUE METEORICHE".

## 2. NORMATIVA E FONTI DI RIFERIMENTO

I seguenti documenti sono stato utilizzati come principali riferimenti per lo studio:

- Progetto VAPI Sicilia- Valutazione delle piene in Sicilia D.Lgs 152/06 e smi;
- D.D.G. 102/2021 Regione Sicilia-Allegato 1 “Indirizzi applicativi invarianza idraulica e idrologica”;
- Direttiva Comunitaria 2007/60/CE – Valutazione e gestione del rischio di alluvioni/ D.Lgs. 49/2010;
- Regione Sicilia – Servizio Protezione Civile – Centro Funzionale Regionale. Precipitazioni medie Annali 1921-2002.
- Autorità di Bacino della Sicilia – Piano di Bacino – Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Norme Tecniche di Attuazione – Relazione di Piano Autorità di Bacino della Sicilia – Piano di Bacino – Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Norme Tecniche di Attuazione PGRA;
- Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione – Hoepli, CSDU;
- La sistemazione dei bacini idrografici, Vito Ferro, McGraw – Hill editore;
- Open Channel Hydraulics, Chow – McGraw – Hill editore;
- Spate Irrigation – FAO – HR Wallinford;
- Urban Drainage Design Manual” pubblicato da FHWA (Federal highway administration- US Department of transportation).

### 3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in cui si propone di realizzare l'impianto agrolvoltaico è ubicata all'interno del Comune di Bolognetta (provincia di Palermo), raggiungibile dal centro cittadino percorrendo la SS121 e successivamente prendendo la SR18. Le coordinate sono le seguenti:

- Latitudine: 37°57'57.91"N
- Longitudine: 13°30'14.03"E;
- Altitudine: 387 m.

Il terreno interessato è visibile sull'ortofoto sottostante in cui si sono uniti i fogli 608020 e 608030 della CTR 1:10.000 della Regione Sicilia (ed.2013), tra i comuni di Bolognetta e Ventimiglia di Sicilia.

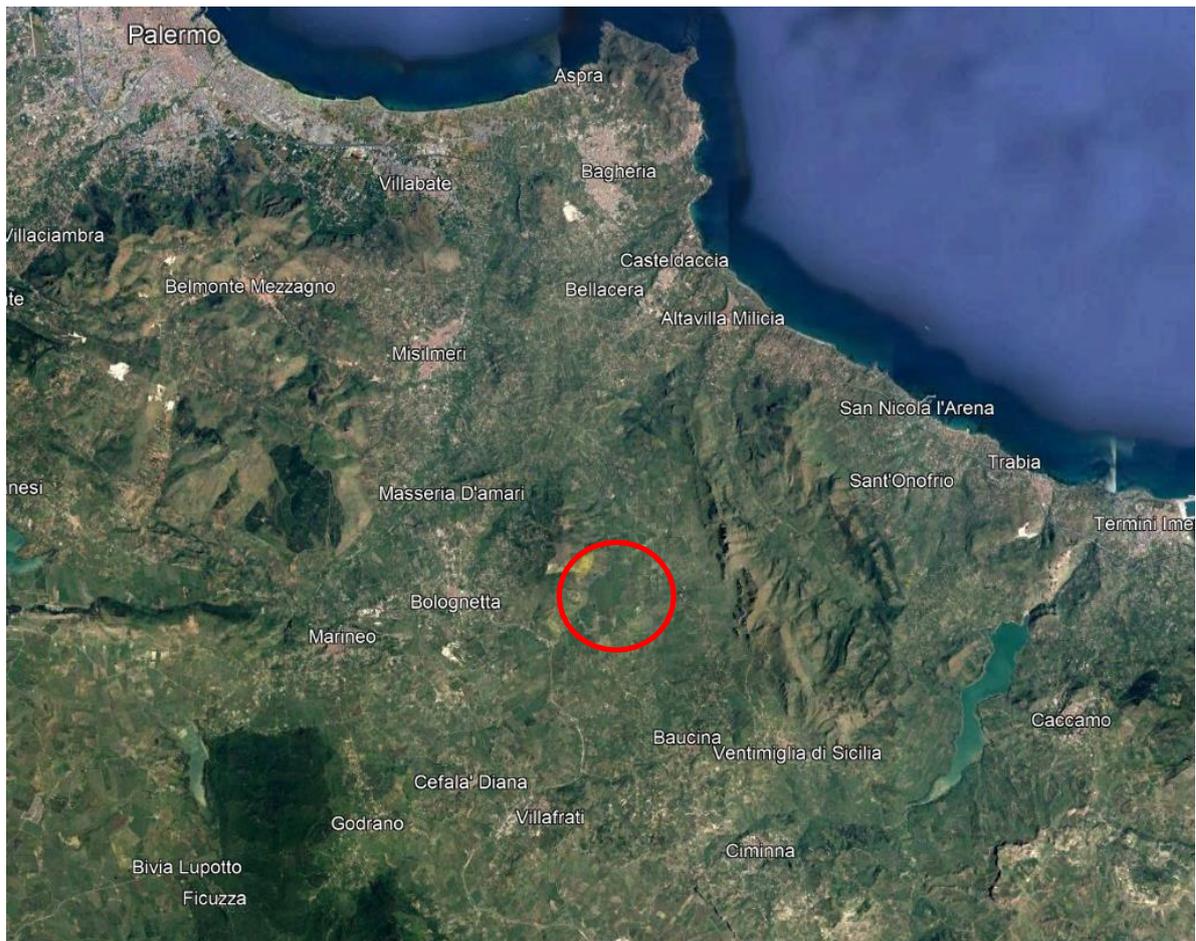
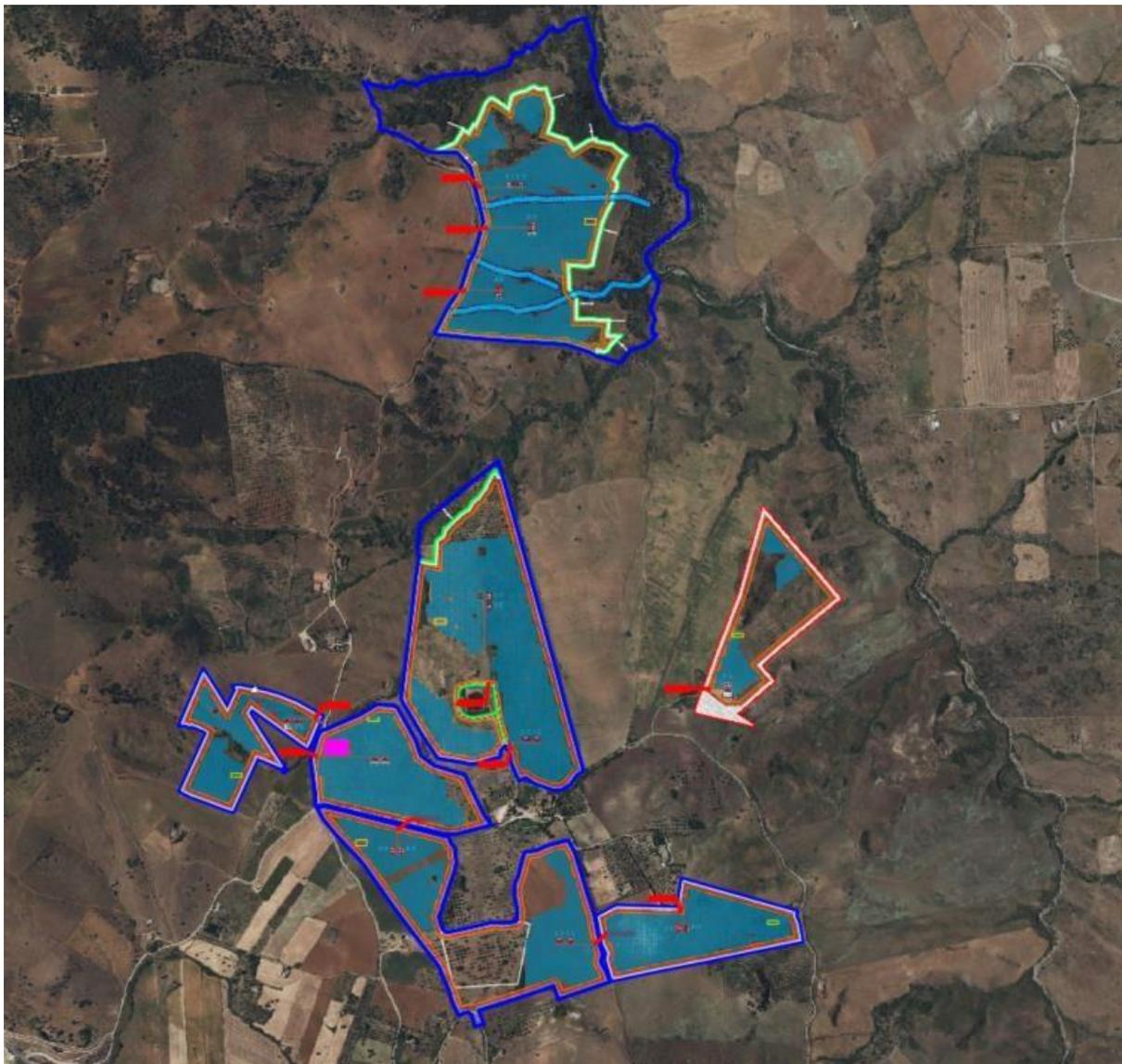


Figura 3.1: Inquadramento territoriale



*Figura 3.2: Area di progetto con il Layout dell'impianto agrivoltaico.*

In riferimento al Catasto Terreni del Comune di Bolognetta (PA), la superficie agricole oggetto di progetto ricadono al foglio n. 18 e 19 del comune di Bolognetta.

Comune	Foglio	Particelle
Bolognetta	18	4, 5, 42, 44, 54, 55, 56, 57, 58, 112, 118, 119, 131, 134, 135, 212,
Bolognetta	19	25,53,110,642,9,109, 10,638,641,636,60,40, 30,31,85,35,84,34, 928,59,58,39, 604,619, 620, 609,136,176,179, 220,651

La superficie totale interessata dall'installazione effettiva dell'impianto è pari 41,77 ha. Per maggiori dettagli

sull'inquadramento catastale dell'area si faccia riferimento all'elaborato "Layout di impianto su catastale".

Come precedentemente anticipato, la dorsale d'impianto per la connessione alle RTN sarà realizzata lungo le strade provinciali esistenti. Per l'individuazione delle particelle interessate dall'attraversamento della dorsale ed eventuali espropri si faccia riferimento all'elaborato "Piano particellare".

Dal punto di vista urbanistico, secondo il PRG vigente il sito di progetto ricade all'interno di aree con prevalenza a destinazione agricola.

#### 4. IDROLOGIA DELLA MACROAREA

La legge 3 agosto 1998, n. 267 e successive modifiche ed integrazioni prevede che le Autorità di Bacino, di rilievo nazionale e interregionale e le Regioni per i restanti bacini adottino, ove non si sia già provveduto, piani stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico, che contengano in particolare una descrizione dell'assetto idrogeologico del territorio di competenza, l'individuazione delle aree a rischio idraulico e la perimetrazione delle aree da sottoporre a misure di salvaguardia, nonché le misure medesime. Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) si configura come uno strumento che attraverso criteri, indirizzi e norme, consente una riduzione del dissesto idrogeologico e del rischio connesso e che, proprio in quanto "piano stralcio", si inserisca in maniera organica e funzionale nel processo di formazione del Piano di bacino di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183. Nel suo insieme il Piano di Bacino costituisce il principale del complesso sistema di pianificazione e programmazione alla conservazione, difesa e valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque. Si presenta quale mezzo operativo, normativo e di vincolo diretto a stabilire la tipologia e le modalità degli interventi necessari a far fronte non solo alle problematiche idrogeologiche, ma anche ambientali, al fine della salvaguardia del territorio sia dal punto di vista fisico che dello sviluppo antropico. Ciò premesso, sul sito [www.sitr.regione.sicilia.it/pai](http://www.sitr.regione.sicilia.it/pai) si evince chiaramente che l'area in progetto interessa i riquadri 608020 e 608030 (Comune di Bolognetta) ricadenti entrambe all'interno del più ampio bacino idrografico del Fiume Milicia.

Come riportato nel Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana il bacino idrografico del Fiume Milicia ricade nel versante settentrionale della Sicilia; esso si estende per circa 127 Km<sup>2</sup> e ricade interamente nel territorio provinciale di Palermo.

Geograficamente il bacino si sviluppa tra la dorsale di Monte Cane (a est) e i centri abitati di Godrano (a sud), Bolognetta (a ovest) e Casteldaccia (a nord); dal punto di vista idrografico, invece, esso confina ad est con l'area territoriale compresa tra il bacino del Fiume Milicia e il bacino del Fiume San Leonardo, a sud-est e a sud con il bacino del Fiume San Leonardo, a ovest con l'area territoriale compresa tra il bacino del Fiume Milicia e il bacino del Fiume Eleuterio e a sud-ovest, infine, con il bacino idrografico di quest'ultimo corso d'acqua.

A partire dalla foce la linea spartiacque che delimita il bacino in esame si sviluppa ad oriente lungo il perimetro orientale dell'abitato di Altavilla Milicia e prosegue per le vette di M. Cicio, Pizzo Savochetto, Pizzo Cane, Pizzo Montalbano e Pizzo della Trigna; sempre ad oriente, la displuviale prosegue ancora lungo Portella di Ventimiglia e Cozzo San Filippello.

A sud, procedendo da est verso ovest, lo spartiacque si sviluppa lungo la dorsale delle Serre di Capezzagna e prosegue per Pizzo Avvoltoio e Cozzo di Ferro, fino a curvare in corrispondenza delle pendici nord-orientali di Torre del Bosco.

Ad occidente, invece, la linea spartiacque attraversa Cozzo Quattro Finaite, Portella Borgazzo, Monte Balatelle e il centro abitato di Bolognetta, proseguendo per Cozzo Scozzari e Monte Dagariato e formando una cuspidale in corrispondenza di Portella dell'Acqua.

Lo spartiacque procede ancora a nord per Cozzo Brogna e si sviluppa più o meno ortogonalmente alla costa fino a chiudere, infine, in corrispondenza della foce, localizzata a pochi chilometri di distanza dagli abitati di Altavilla Milicia e Casteldaccia.

La forma del bacino idrografico del F. Milicia è sub-circolare, con una pronunziata appendice settentrionale che si estende in direzione N-NE dalla foce verso la zona montana. Il bacino raggiunge la sua massima ampiezza nel settore meridionale; nella parte settentrionale, invece, la larghezza si riduce progressivamente, fino a qualche centinaio di metri in corrispondenza della foce.

Il bacino idrografico del Fiume Milicia ricade interamente nel territorio della provincia di Palermo ed è compreso nei fogli n° 595 Bagheria e n° 608 Caccamo della Carta d'Italia in scala 1:50.000 dell'I.G.M.

Per quanto riguarda le C.T.R. in scala 1:10.000 l'area in studio ricade nelle seguenti 11 sezioni:

595110 – 595140 – 595150 – **608020** – **608030** – 608050 – 608060 – 608070 – 608080 – 608100 – 608110.

All'interno del bacino ricadono i territori comunali dei seguenti comuni: Altavilla Milicia, Baucina, Bolognetta, Casteldaccia, Cefalà Diana, Marineo, Ventimiglia di Sicilia e Villafrati. In particolare, dei nove comuni suddetti, quelli il cui centro abitato ricade all'interno del bacino sono: Baucina, **Bolognetta**, Cefalà Diana e Villafrati.

All'interno del bacino e dell'Area Territoriale tra il Bacino del F. Milicia e il Bacino del F. San Leonardo sono presenti alcune aree naturali protette: la Riserva Naturale Orientata di Monte Cane e Grotta Affamata e quella di Pizzo Chiarastella; la prima occupa parte dei territori comunali di Baucina, Ventimiglia di Sicilia, Casteldaccia e Altavilla Milicia mentre la seconda ricade nei territori comunali di Cefalà Diana e Villafrati.

Il Fiume Milicia presenta un andamento planimetrico dell'alveo che si snoda, procedendo dalle sorgenti alla foce, lungo un percorso di diversi chilometri; esso, in corrispondenza dell'area meridionale del bacino, assume la configurazione ad "Y" in seguito alla diramazione in due bracci denominati Fiume Bagni e Vallone Buffa. Il Fiume Milicia nasce nei pressi di Bosco Cappelliere, nel territorio comunale di Marineo; nei pressi di Cozzo Erbe Bianche, dopo aver ricevuto in sinistra idraulica le acque del Vallone Gruppara, assume il nome di Vallone Cefalà e successivamente di Fiume Bagni. Quest'ultimo, dopo la confluenza con il Fiume Buffa - nel territorio comunale di Villafrati, ad est di Portella Bordonaro – cambia nuovamente il proprio nome e assume quello di Fiume Mulinazzo. Esso scorre ad est del centro abitato di Bolognetta, alle pendici del crinale costituito da Cozzo Mangiatorello e Cozzo Pizzillo e ai pieni di quest'ultimo, dopo aver ricevuto in destra idraulica le acque del Vallone del Lupo, acquisisce definitivamente il nome di Fiume Milicia. Il suddetto corso d'acqua scorre prevalentemente in direzione NNE-SSO e con andamento piuttosto meandriforme, indice della sua maturità evolutiva. Il suo reticolo idrografico appare ottimamente gerarchizzato, ma disorganizzato; il bacino, inoltre, è classificabile come mediamente disseccato. Gli affluenti principali del Fiume Milicia sono numerosi ma quasi tutti di scarsa importanza; tra di essi quelli che meritano di essere citati sono soltanto due: il Vallone Buffa e il Vallone Sercia.

## 5. CLIMATOLOGIA, REGIME TERMICO E PLUVIOMETRICO

Per definire il microclima del settore della Sicilia nord-occidentale nel quale ricadono il bacino idrografico del Fiume Milicia e le aree territoriali ad esso contigue sono stati considerati gli elementi climatici temperatura e piovosità.

In particolare, le informazioni riportate sono state ottenute consultando l'Atlante Climatologico redatto dall'Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Siciliana.

Il regime termico e pluviometrico dell'area in esame è stato ricavato considerando i dati registrati dalle stazioni termo-pluviometriche e pluviometriche situate all'interno del bacino e delle aree territoriali contigue o da quelle molto prossime alle aree oggetto di studio. Infatti, poiché all'interno del bacino e delle aree territoriali ricade la sola stazione pluviometrica di Capo Zafferano, ai fini delle valutazioni climatologiche si sono considerati anche i dati acquisiti dalla stazione termopluviometrica di Risalaimi (Misilmeri) - ubicata qualche chilometro a ovest dell'area territoriale compresa tra il bacino del Fiume Milicia e quello dell'Eleuterio - e quelli registrati presso la stazione di Ciminna - ubicata poco a sud dell'estremità meridionale del bacino del Fiume Milicia.

Per l'analisi delle condizioni termometriche si è fatto riferimento soltanto ai dati registrati dalle stazioni di Ciminna e Risalaimi poiché la stazione di Capo Zafferano non è dotata di termopluviografo. Inoltre, dal momento che la stazione di Risalaimi è attiva dal 1973, è stato possibile effettuare l'analisi del regime termico dell'area oggetto di studio utilizzando i dati registrati durante il periodo 1973-1994, essendo quest'ultimo l'intervallo temporale più lungo per il quale sono disponibili i dati registrati in entrambe le suddette stazioni.

L'analisi dei dati mostra che nei mesi più caldi (Luglio e Agosto) si raggiungono temperature medie massime di circa 30°C; invece, nei mesi più freddi (Gennaio e Febbraio) la temperatura media minima raggiunta è pari all'incirca a 6,5°C.

Le temperature medie mensili assumono valori minimi nel mese di Gennaio (13°C) mentre i valori massimi si hanno in Agosto (28°C).

La temperatura media annua dell'intero territorio in esame è pari a circa 17°C.

La temperatura minima raggiunta durante il periodo considerato è stata  $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  registrata alla stazione di Risalaimi nel Dicembre 1991 mentre il valore di temperatura più elevato ( $44^{\circ}\text{C}$ ) è stato registrato dalla stessa stazione nel Giugno 1982

STAZIONE	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
CIMINNA	8,7	8,9	10,6	12,7	17,3	21,4	24,4	24,4	21,7	17,9	13,1	10,0	15,9
RISALAIMI	11,4	11,5	13,2	15,2	18,7	22,2	25,1	25,2	22,7	19,5	15,1	12,4	17,7
<b>MEDIA</b>	<b>10,0</b>	<b>10,2</b>	<b>11,9</b>	<b>13,9</b>	<b>18,0</b>	<b>21,8</b>	<b>24,7</b>	<b>24,8</b>	<b>22,2</b>	<b>18,7</b>	<b>14,1</b>	<b>11,2</b>	<b>16,8</b>

La limitata distribuzione delle stazioni termometriche e il breve periodo considerato non permettono di poter evidenziare le eventuali variazioni presenti all'interno dell'area in studio. Infatti, prendendo in considerazione i dati termometrici rilevati nel periodo di un ventennio e confrontando i valori relativi alle medie mensili ed annuali il territorio in esame mostra un andamento termico piuttosto regolare, con valori medi mensili sempre inferiori ai  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ed un valore medio annuo di circa  $17^{\circ}\text{C}$ .

L'analisi del regime pluviometrico dell'area in esame è stata effettuata attraverso i dati registrati dalle stazioni elencate in tabella 1.3. Inoltre, come già detto, poiché i dati registrati presso la stazione di Risalaimi sono disponibili soltanto a partire dal 1973 è stato considerato come periodo di osservazione 1973-1994.

Nella tabella 1 seguente si riportano i valori delle precipitazioni medie mensili e la precipitazione media annua ricavati per ciascuna delle tre stazioni pluviometriche considerate.

Dalle analisi effettuate si evince che durante il periodo 1973-1994 l'anno più piovoso è stato il 1976, quando si sono registrati mediamente 994 mm di pioggia. Il valore di piovosità più elevato rilevato nel ventennio considerato è rappresentato, infatti, dai 1163,4 mm di pioggia registrati in quell'anno dalla stazione di Ciminna.

Per quel che riguarda i valori di piovosità massimi mensili si possono evidenziare i 229,4 mm di pioggia distribuiti in 14 giorni piovosi registrati alla stazione di Risalaimi nel gennaio del 1995 e i 268 mm di pioggia distribuiti in 11 giorni piovosi registrati alla stazione di Ciminna nel novembre del 1987; alla stazione pluviometrica di Casteldaccia, invece, il massimo medio mensile è stato registrato nel dicembre del 1983 con 190,8 mm di pioggia caduti in un solo giorno piovoso.

In generale, nell'arco di ogni singolo anno i giorni più piovosi ricadono nel semestre autunno-inverno e, in particolare, nell'intervallo temporale Ottobre-Febbraio mentre le precipitazioni diventano decisamente di scarsa entità nel periodo compreso tra Maggio e Settembre.

STAZIONE	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
CAPO ZAFFERANO	51,2	46,5	40,5	40,7	21,6	5,2	2,9	7,9	25,6	51,7	60,3	48,3	421,7
CIMINNA	70,9	81,3	64,9	60,3	29,1	13,1	5,5	15,5	28,5	76,9	75,8	82,0	632,7
RISALAIMI	92,0	102,9	80,9	71,3	29,3	8,3	2,2	14,3	40,8	74,9	96,6	97,0	744,3
<b>MEDIA</b>	<b>71,4</b>	<b>76,9</b>	<b>62,1</b>	<b>57,4</b>	<b>26,7</b>	<b>8,9</b>	<b>3,5</b>	<b>12,6</b>	<b>31,6</b>	<b>67,8</b>	<b>77,6</b>	<b>75,8</b>	<b>599,6</b>

Dai dati termo-pluviometrici raccolti è possibile evidenziare che l'andamento climatico della zona in studio è assimilabile a quello medio della Sicilia sudoccidentale ovvero è classificabile come temperato-mediterraneo, poiché caratterizzato da un periodo piovoso che ricade nel periodo ottobre-aprile e minimi stagionali da giugno ad agosto, quando si raggiungono le temperature più elevate.

L'analisi del regime termo-pluviometrico dell'area in esame è stata effettuata poiché gli elementi climatici esaminati (temperatura e piovosità) influiscono direttamente sul regime delle acque sotterranee e, essendo le piogge concentrate in pochi mesi, assumono particolare interesse i fenomeni di ruscellamento superficiale, di infiltrazione e di evaporazione.

L'evaporazione è sempre modesta nei mesi freddi e nelle zone di affioramento dei termini litoidi di natura calcareo-dolomitica, a causa dell'elevata permeabilità di tali litotipi (per fessurazione) che favorisce l'infiltrazione delle acque ruscellanti.

Quindi, la ricarica degli acquiferi dell'area in esame avviene sostanzialmente nel periodo piovoso ottobre-aprile mentre durante l'estate, caratterizzata da lunghi periodi di siccità ed elevate temperature, si verificano condizioni di deficit di umidità negli strati più superficiali del terreno.

## 6. ANALISI DEI RISCHI

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico è stato redatto dall'Assessorato al Territorio e Ambiente della Regione Siciliana, Dipartimento Territorio e Ambiente, soggetto istituzionalmente deputato alla sua elaborazione; per l'aspetto idrologico-idraulico ci si è avvalsi della consulenza del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali dell'Università degli Studi di Palermo.

La verifica della compatibilità geomorfologica degli interventi in progetto con l'area in esame è stata effettuata mediante l'analisi della carta delle zonizzazioni del PAI. Il Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, le norme d'uso del suolo e gli interventi riguardanti l'assetto idrogeologico del territorio.

Il Piano individua le seguenti aree a rischio idrogeologico:

- Molto elevato;
- Elevato;
- Medio;
- Moderato.

Di tali aree determina la perimetrazione e stabilisce le relative norme tecniche di attuazione; delimita le aree di pericolo idrogeologico quali oggetto di azioni organiche per prevenire la formazione e l'estensione di condizioni di rischio; indica gli strumenti per assicurare coerenza tra la pianificazione stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico e la pianificazione territoriale in ambito regionale ed anche a scala provinciale e comunale; individua le tipologie, la programmazione degli interventi di mitigazione o eliminazione delle condizioni di rischio e delle relative priorità, anche a completamento ed integrazione dei sistemi di difesa esistenti.

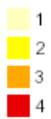
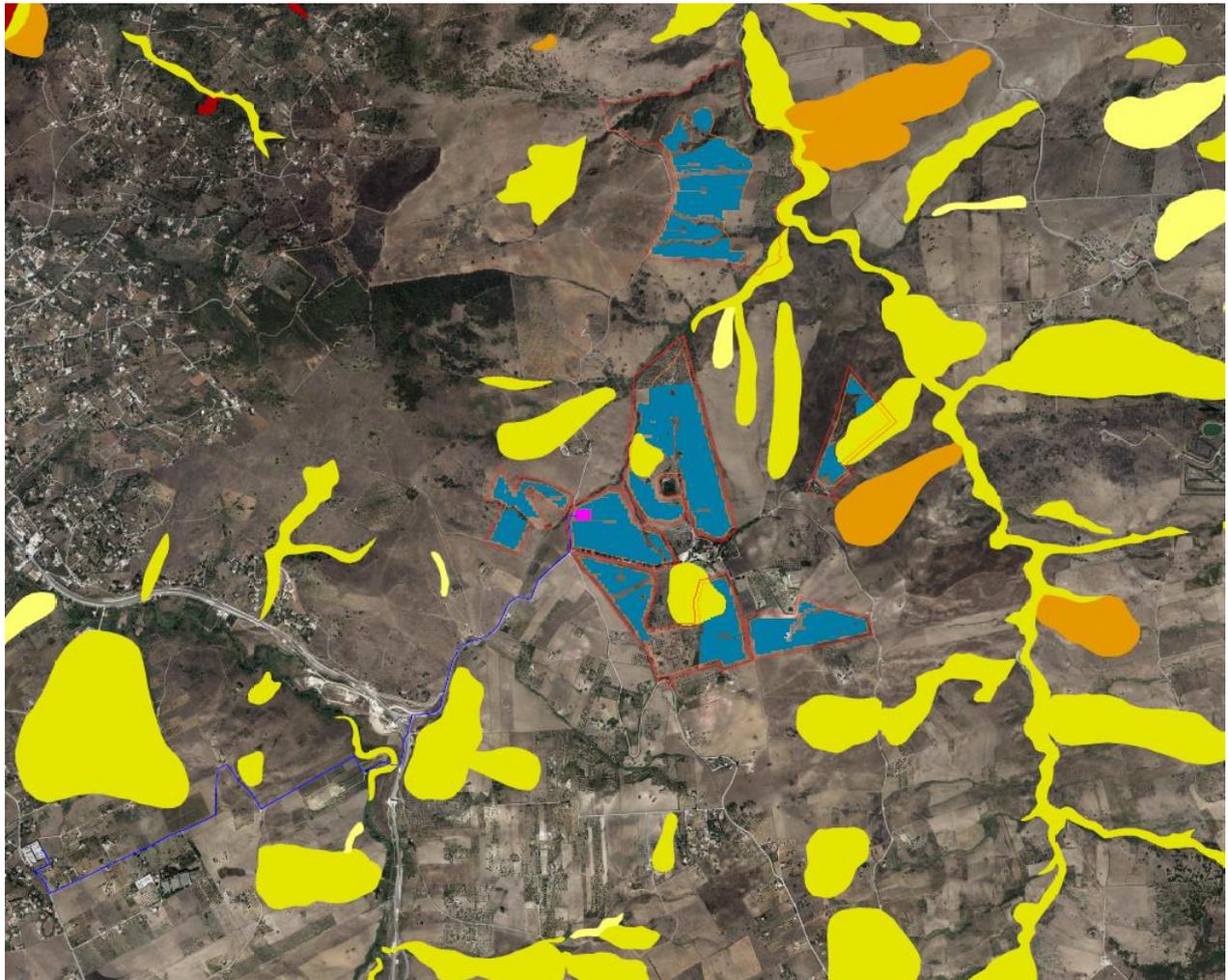
Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento mediante il quale l'Autorità di Bacino pianifica e programma le azioni e le norme d'uso finalizzate alla salvaguardia delle popolazioni, degli insediamenti, delle infrastrutture e del suolo.

Gli elaborati tecnici individuati definiscono le aree a rischio idraulico molto elevato (R4), elevato (R3), medio (R2) e moderato (R1) e definiscono altresì le seguenti fasce fluviali: Alveo di piena ordinaria, Alveo di piena standard (Fascia A), Fascia di esondazione (Fascia B), con le relative sottofasce, e Fascia di inondazione per piena di intensità eccezionale.

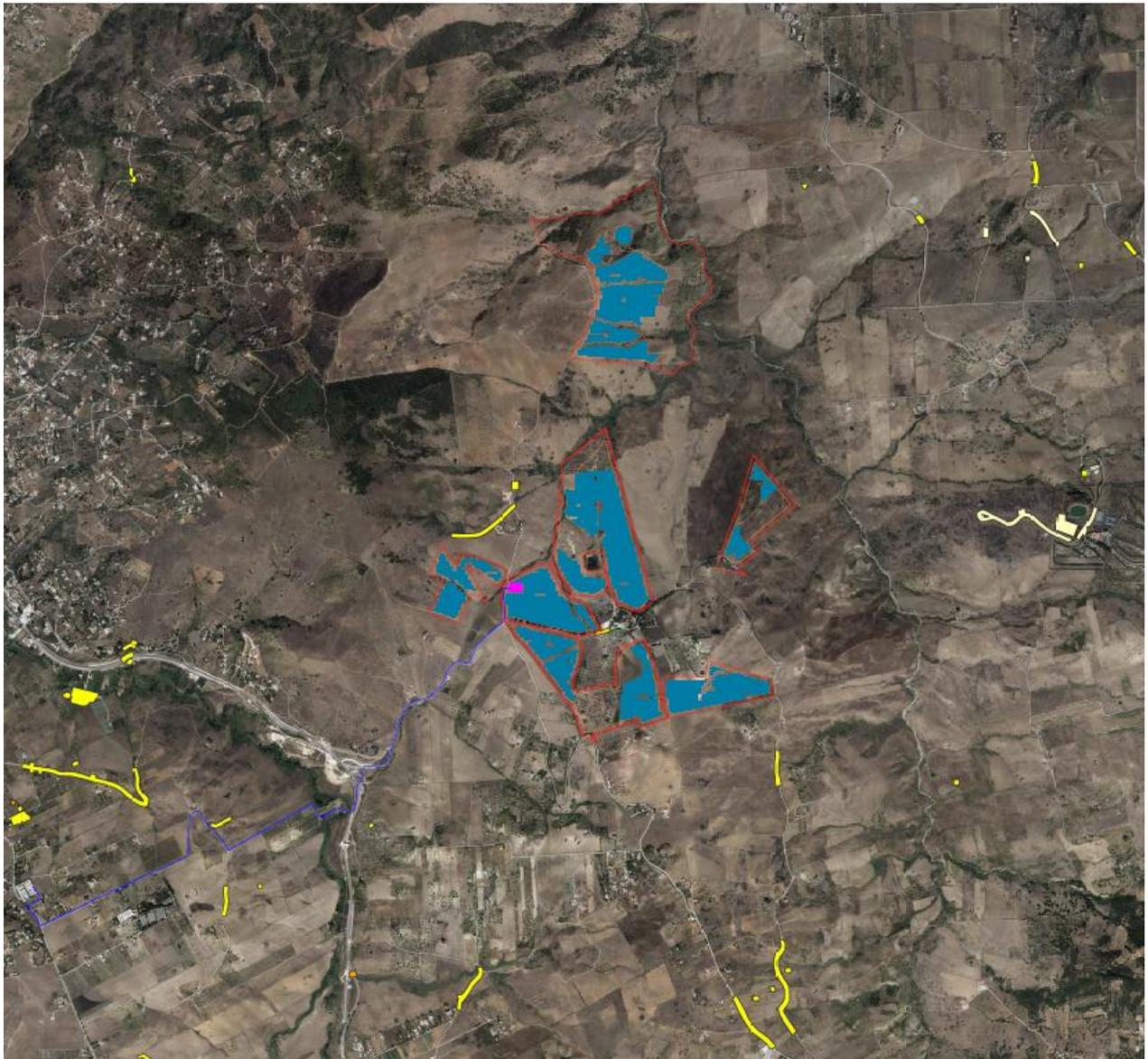
Per quanto riguarda le aree a rischio frana sono state definite, in funzione delle caratteristiche di dissesto del territorio, le aree caratterizzate da diverso grado di suscettività al dissesto, rispetto alle quali si sono impostate le attività di programmazione contenute nel Piano. Le aree sono individuate nella “Carta della pericolosità”: Pericolosità alta, media, bassa o irrilevante. Sono state perimetrate inoltre, le aree a rischio frana:

- Molto elevato (R4);
- Elevato (R3);
- Medio (R2);
- Moderato (R1).

**Dalle carte del PAI consultate, non risultano presenti fasce di pericolosità idraulica nell’area in cui risultano collocati i moduli fotovoltaici e le opere accessorie.**



*Figura 6.1: Stralcio PAI pericolosità geomorfologica*



*Figura 6.2: Stralcio PAI rischio geomorfologico*

**In definitiva, dalla verifica cartografica è stata determinata la non sussistenza di zone soggette a pericolosità o rischio idraulico e geomorfologico del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Sicilia e a pericolosità o rischio di alluvione del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), proposto dalla Regione Siciliana (delibera n. 274 del 25 luglio 2018 della Giunta Regionale) e approvato col D.P.C.M. 7 marzo 2019, nell'area oggetto di studio e per quel che concerne il tracciato dei cavidotti che collegano la sottostazione ai siti in questione.**

**Inoltre, a seguito della valutazione degli studi effettuati sulla macroarea, sia a seguito dei**

**Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico, S.r.l. – Gruppo Solaria Energía y Medio Ambiente S.A.**

sopralluoghi e dei rilievi in situ, si è potuto verificare che le aree su cui saranno installati gli impianti fotovoltaici e relative opere connesse (infrastrutture impiantistiche e civili) non presentano caratteristiche che possano determinare situazioni di crisi a seguito di eventi meteorici di notevole intensità.

A parte ciò, lo stato dei luoghi, infatti, risulta adeguato sia per le caratteristiche plano altimetriche intrinseche, sia per effetto degli interventi che saranno eseguiti. Con riferimento alla questione dell'andamento del suolo si rileva facilmente come le incisioni presenti non hanno alcuna interferenza con il sito in studio. La verifica dello stato dei luoghi ha poi fatto rilevare non solo che le caratteristiche dei suoli consentono un facile deflusso delle acque meteoriche, ma anche che l'intervento dell'uomo nel corso del tempo ha saputo regimentare eventuali deflussi superficiali con la creazione di canali in terra che a loro volta consentono l'allontanamento del surplus verso le incisioni torrentizie sopradette. Tali canali inoltre hanno più la funzione di protezione dei percorsi carrabili interpoderali che quella di un sistema di drenaggio a difesa delle aree soggette a intervento.

L'impermeabilizzazione delle superfici e la loro regolarizzazione contribuiscono normalmente in modo determinante all'incremento del coefficiente di deflusso ed al conseguente aumento del coefficiente udometrico delle aree trasformate. Per queste trasformazioni dell'uso del suolo che provocano una variazione di permeabilità superficiale si prevedono spesso misure compensative volte a mantenere costante il coefficiente udometrico secondo il principio dell'invarianza idraulica. Una zona scarsamente urbanizzata, come quella di interesse, è caratterizzata da un buon assorbimento del terreno ed è contraddistinta da una buona laminazione del colmo di piena, a mezzo di un maggiore tempo di corrivazione del bacino, con risposta idraulica lenta e formazione di minori volumi d'acqua. Sebbene poi la realizzazione dell'impianto rappresenti la posa in opera di superfici impermeabili, la scelta di prevedere un futuro uso agricolo dell'area di tipo produttivo, ovviamente compatibile con l'impianto F.V. da maggiori ed ulteriori garanzie di un impatto nullo in merito al sistema idraulico e idrologico locale anche per la valutazione delle caratteristiche tecniche delle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici e della loro altezza dal suolo. Si precisa che al fine di ridurre l'impatto della pioggia sgrondante dalle superficie dei pannelli al suolo, in modo da evitare che la pioggia scavi un solco che andrebbe a pregiudicare la laminazione delle acque, si consiglia di stendere uno strato di geotessile in tessuto non tessuto ricoperto di pietrame, in modo da evitare l'erosione del suolo allo sgrondamento ed accentuare il cosiddetto "trasporto solido" che andrebbe a modificare gli impluvi naturali. Tale soluzione sarà da valutare in fase di

**Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico, S.r.l. – Gruppo Solaria Energía y Medio Ambiente S.A.**

esercizio anche tenendo conto degli utilizzi agricoli del terreno e dell'inerbimento (pascolo e colture). Si deve aver cura di proteggere adeguatamente gli impluvi naturali e di mantenerli costantemente, in modo da evitare il loro riempimento con particelle solide trasportate dall'eccesso di portata.

## 7. PROGETTO DELLE OPERE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA

### 7.1 DATI GENERALI IMPIANTO

La durabilità dell'area di impianto e dell'impianto stesso dal punto di vista strutturale è garantita da un efficace sistema idraulico di allontanamento e drenaggio delle acque meteoriche.

Gli interventi da realizzarsi nell'area in esame sono stati sviluppati secondo due differenti linee di obiettivi:

1. mantenimento delle condizioni di “equilibrio idrogeologico” preesistenti (ante realizzazione del parco fotovoltaico);
2. regimazione e controllo delle acque che defluiscono lungo la viabilità del parco fotovoltaico, attraverso la realizzazione di una adeguata rete drenante, volta a proteggere le opere civili presenti nell'area.

Il tracciato delle opere di regimazione è stato definito a partire dal layout dell'impianto fotovoltaico e dal modello tridimensionale del suolo, individuando le vie preferenziali di deflusso, gli impluvi (ed i solchi di erosione) interferenti con le opere in progetto nonché le caratteristiche plano-altimetriche delle aree di impianto.

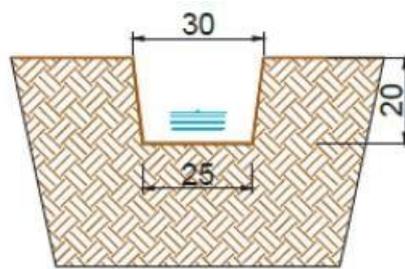
Le acque defluenti dall'area di impianto verranno raccolte ed allontanate dalle opere idrauliche in progetto, descritte nel paragrafo successivo, che consistono principalmente in fossi di guardia ed altre opere accessorie di natura idraulica.

### 7.2 OPERE IDRAULICHE

Le opere idrauliche applicabili in progetto sono le seguenti:

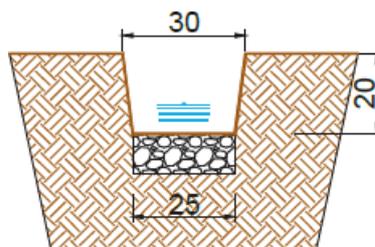
**Fosso di guardia in terra “Tipo 1”** avente le seguenti caratteristiche geometriche:

<i>Sezione trapezia</i>	
Larghezza base [m]	0,25
Larghezza in superficie [m]	0,30
Altezza [m]	0.20



*Figura 7.1: Fosso di guardia di tipo 1*

In alcuni tratti – con pendenze superiori al 10% - tali fossi di guardia possono presentare il fondo rivestito con pietrame di media pezzatura ( $d=5-10$  cm), per uno spessore di 15 cm, al fine di ridurre l'azione erosiva della corrente idrica.



*Figura 7.2: Fosso di guardia di tipo 1 con fondo in pietrame*

**Fosso di guardia in terra “Tipo 2”** avente le seguenti caratteristiche geometriche:

<i>Sezione trapezia</i>	
Larghezza base [m]	0,30
Larghezza in superficie [m]	0,50
Altezza [m]	0,40

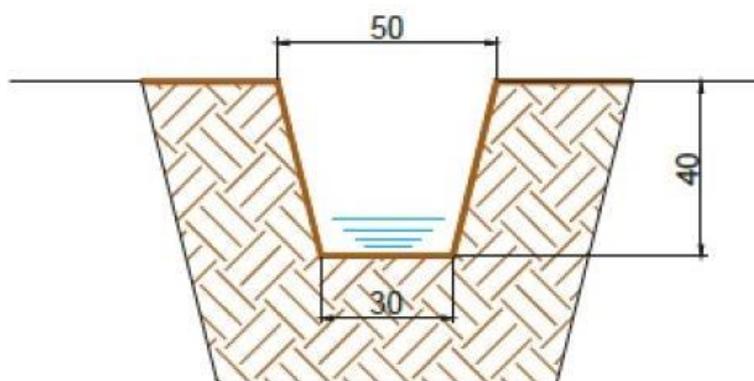
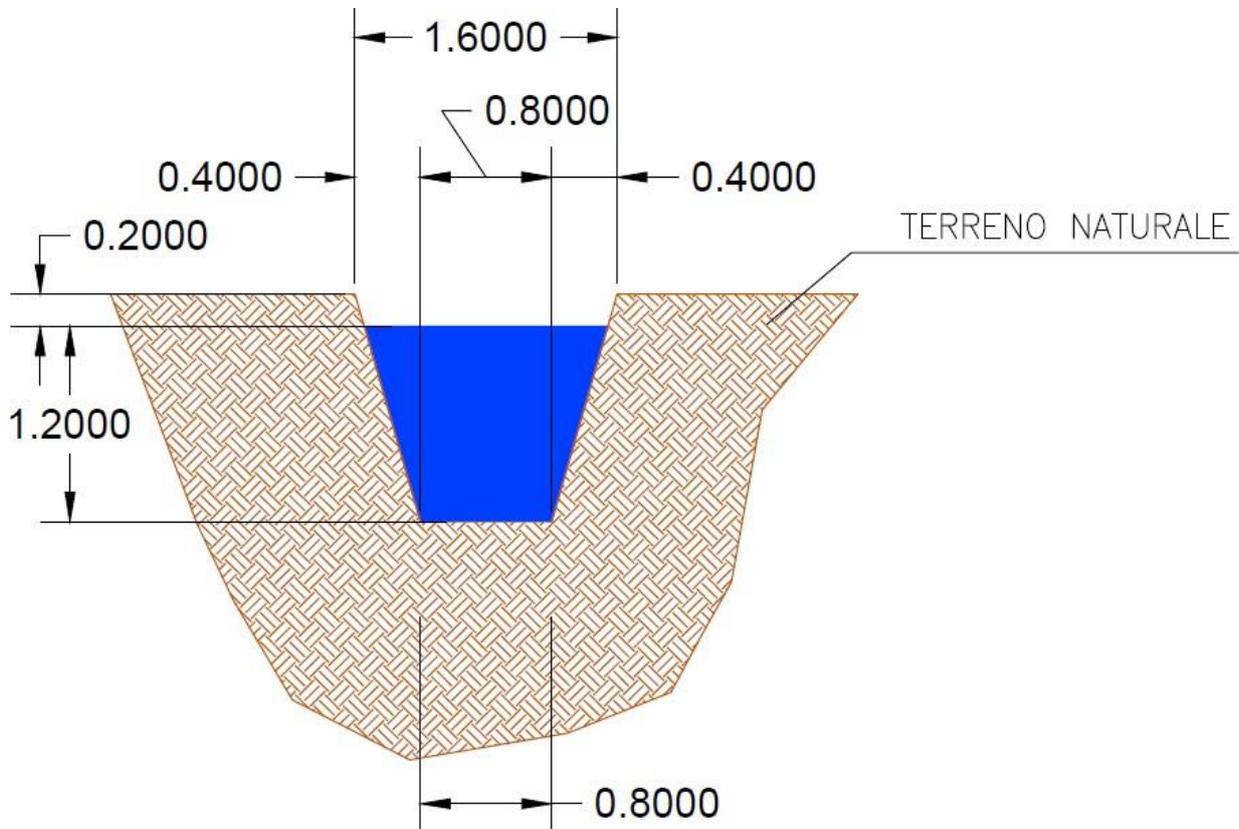


Figura 7.3: Fosso di guardia di tipo 2

Anche il fosso di guardia “tipo 2”, nei tratti con pendenze superiori al 10%, può presentare il fondo rivestito con pietrame di media pezzatura ( $d=5-10$  cm), per uno spessore di 15 cm.

**Fosso di guardia in terra “Tipo 3”** avente le seguenti caratteristiche geometriche:

<b>Sezione trapezia</b>	
<b>Larghezza base (m)</b>	1,20
<b>Larghezza in superficie (m)</b>	1,60
<b>Altezza (m)</b>	1,40



<b>Sezione trapezia-composta</b>	
Larghezza base (m)	0,80
Larghezza in superficie (m)	1,60
Altezza (m)	1,40

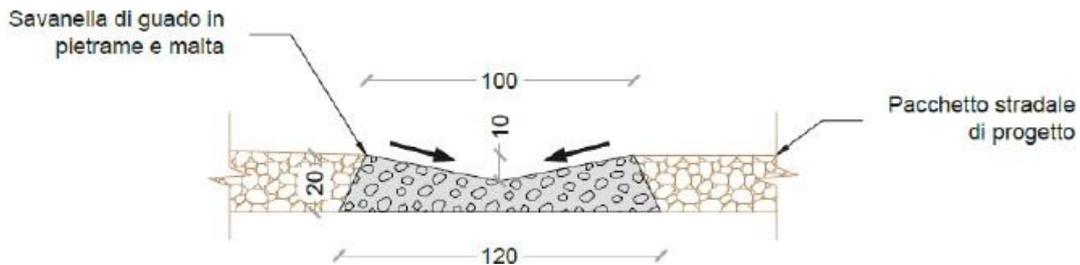
Figura 7.4: Fosso di guardia di tipo 3

Ciascuna delle 3 tipologie di fossi di guardia elencate in precedenza, potrà essere realizzata per brevi tratti in contropendenza: in questi casi, verranno realizzati fossi di guardia ad altezza variabile (l'altezza sarà crescente a partire da un valore inferiore ad  $H_{fdg}$  - fino al termine del tratto in contropendenza).

Inoltre, in alcuni tratti – denominati “di scarico” (con pendenze naturali superiori al 20%) - i fossi di guardia (tipo 1 e tipo 2) potranno essere rivestiti mediante geotessuto antierosione per incrementare considerevolmente la durabilità.

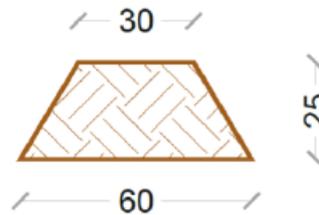
In fase esecutiva, qualora ritenute necessarie, potranno realizzarsi opere di protezione stradale del tipo sotto elencato:

- Savanelle di guado in pietrame e malta per un attraversamento “a raso” della viabilità di progetto.



- Arginelli in terra aventi le seguenti caratteristiche geometriche:

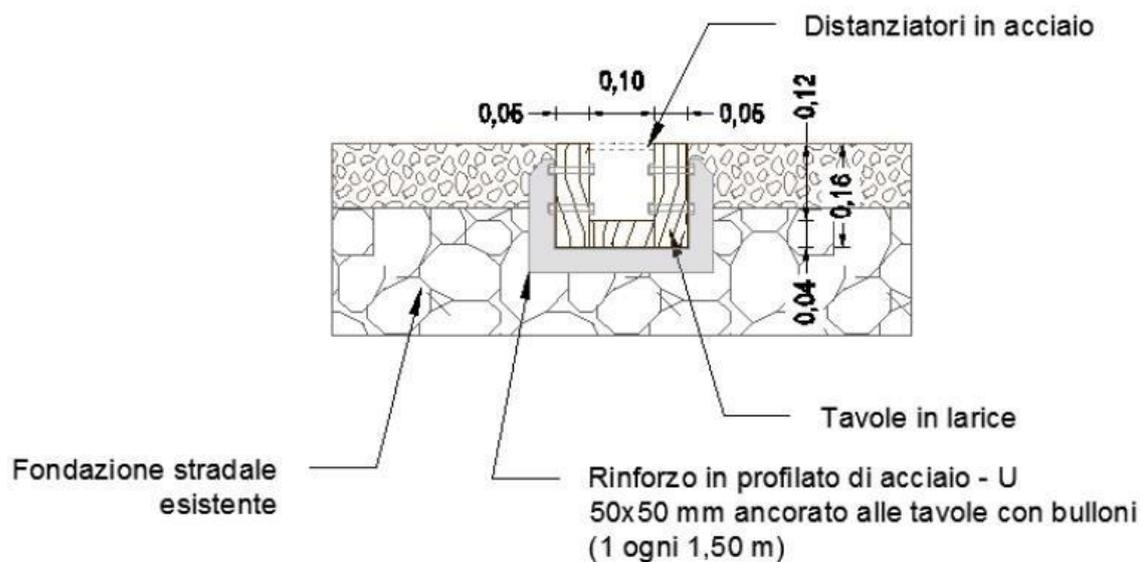
<i>Larghezza base [m]</i>	<i>0,60</i>
<i>Larghezza in superficie [m]</i>	<i>0,30</i>
<i>Altezza [m]</i>	<i>0,25</i>



- Canalette in legname per tagli trasversali alla viabilità, aventi le seguenti caratteristiche geometriche:

<i>Sezione rettangolare</i>	
<i>Larghezza base [m]</i>	<i>0,10</i>
<i>Spessore [m]</i>	<i>0,05</i>
<i>Altezza [m]</i>	<i>0,12</i>

Tali opere trasversali a cielo aperto – utilizzate, in linea di principio, per pendenze superiori al 10% - assolvono essenzialmente la funzione di limitare la lunghezza del percorso dell'acqua sul piano stradale convogliandola presso i fossi di guardia in progetto.



Esse, interrompendo lo scorrimento dell'acqua, ne riducono il potere erosivo, limitando la formazione di solchi e l'approfondimento delle tracce lasciate dalle ruote dei veicoli.

La distanza tra le canalette è sicuramente l'elemento di maggior interesse progettuale. In generale, essa deve garantire lo smaltimento del deflusso superficiale prodotto sulla sede stradale e di quello sottosuperficiale intercettato, limitare l'erosione del fondo stesso ed evitare le formazioni di solchi, ma al contempo garantire una qualità di transito ragionevole. La pendenza trasversale delle canalette deve infatti garantire lo smaltimento del deflusso prodotto dal tratto di strada sotteso ed evitare la deposizione almeno del materiale più fine. A tale scopo la pendenza non dovrà essere inferiore al 3-4%.

Si prevede, per tutte le opere idrauliche in progetto, una manutenzione programmata con cadenza semestrale, 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;
- la conservazione e la ricarica delle opere di difesa idraulica;

## 8. STUDIO IDROLOGICO

In questo paragrafo si riportano le basi per il dimensionamento del sistema di drenaggio superficiale dell'area di intervento.

Lo studio idrologico-idraulico è stato articolato secondo i seguenti punti:

- Identificazione delle aree scolanti e del coefficiente di deflusso ottenuto mediante una media ponderata;
- Determinazione delle Linee Segnaletiche di Possibilità Pluviometriche (LSPP) per tempi di ritorno pari a 5, 20, **50** e 100 anni;
- Costruzione dello ietogramma di progetto avente una durata superiore al tempo di corrivazione del bacino sotteso dall'invaso;
- Stima del processo di infiltrazione e determinazione dello ietogramma netto di progetto;
- Modello di trasformazione afflussi-deflussi - stima delle portate di progetto ante-operam e post operam.

La pioggia è all'origine del processo di formazione delle portate di piena nei bacini idrografici relativi all'area in esame. I fenomeni meteorologici che generano le precipitazioni sono talmente complessi da non potere essere trattati come un processo deterministico a partire da condizioni iniziali e al contorno note.

Pertanto, sotto il profilo pratico, lo studio delle piogge si limita ad utilizzare metodologie statistiche basate sulle osservazioni pluviometriche.

Nel caso in esame, la risposta idrologica dei bacini è condizionata da brevi tempi di corrivazione e, pertanto, le precipitazioni rilevanti sono quelle d'intensità elevata e breve durata.

La maggior parte dei metodi che l'idrologia propone per ricostruire eventi di piena sono metodi indiretti, ossia metodi che stimano l'idrogramma di piena utilizzando un modello di trasformazione piogge-portate che prevede, come input, la definizione di un particolare evento di pioggia.

Nel caso in esame, infatti, non sono disponibili dati di registrazione delle portate; né, tantomeno, potrebbero essere utilizzati, dal momento che l'obiettivo dell'analisi non è studiare il

comportamento idrologico/idraulico dei corsi d'acqua presenti nel territorio, ma approfondire le tematiche idrologiche per il dimensionamento di tutte le opere idrauliche del parco fotovoltaico.

In particolare, volendo stimare eventi di piena di dato tempo di ritorno, bisogna prima ricostruire l'evento di pioggia di pari tempo di ritorno (assumendo come vera l'ipotesi che un evento di pioggia di tempo di ritorno T genera un evento di piena con la stessa probabilità di non superamento).

### 8.1 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO

L'evento di pioggia di progetto alla base dei calcoli idrologici e della simulazione/dimensionamento idraulico è scelto in base al concetto di tempo di ritorno.

Il periodo di ritorno di un evento, definito anche come “tempo di ritorno”, è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

Oltre al concetto di tempo di ritorno vi è poi la probabilità che un evento con tempo di ritorno T si realizzi in N anni:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

Il grafico riportato di seguito esprime il rischio di superare l'evento con tempo di ritorno T durante N anni.

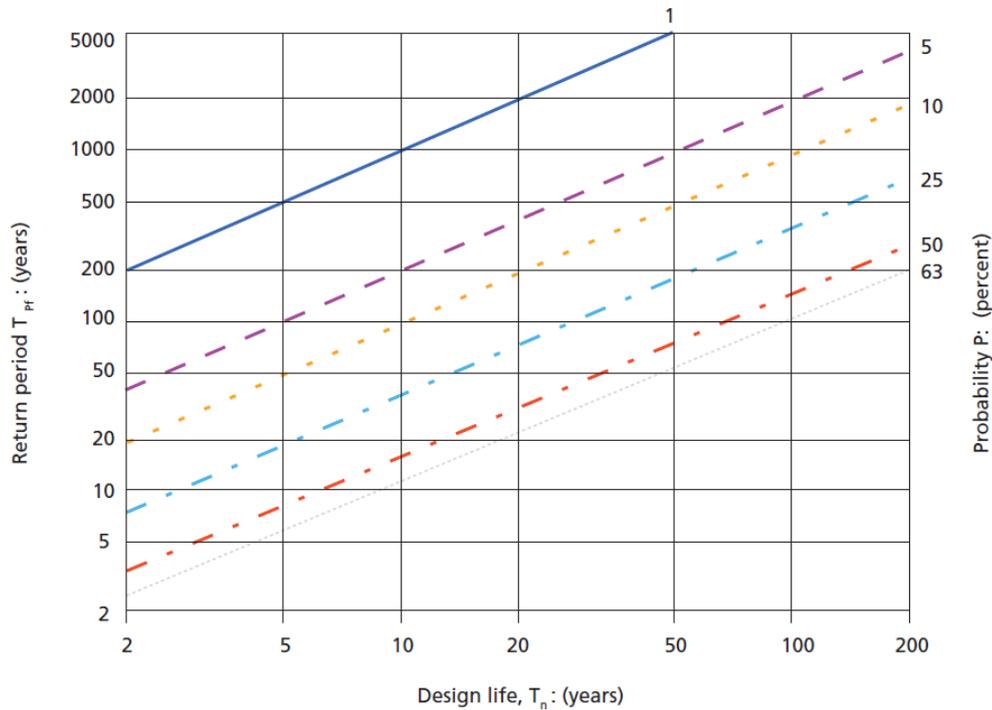


Figura 8.1: Probabilità che un evento con determinate Tempo di ritorno si verifichi in  $N$  anni.

**La durata della vita utile dell'impianto fotovoltaico in oggetto è assunta pari a 30 anni, in accordo inoltre alla normativa relativa all'invarianza idraulica.**

**Il tempo di ritorno per il calcolo della precipitazione di progetto è stato assunto pari a 50 anni in maniera cautelativa**

## 8.2 MODELLO TCEV SICILIA

Il modello TCEV (*Two Component Extreme Value Distribution*) permette di determinare le altezze di pioggia  $h$  e le relative intensità  $i$ , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto dal progetto VAPI [Il Progetto VAPI (VALutazione PIene) sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali e delle piogge intense secondo criteri omogenei.].

La regionalizzazione delle piogge mira a superare i limiti relativi alla scarsa informazione pluviometrica (spesso costituita da singole serie di durata limitata e poco attendibili per le elaborazioni statistiche), utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio, per individuare la distribuzione regionale delle caratteristiche delle precipitazioni.

La peculiarità del modello TCEV è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima, denominata *componente base*, assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda (*componente straordinaria*) genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (appartenenti ad una differente fenomenologia meteorologica). La TCEV rappresenta pertanto la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha, quindi, la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) riescono a rendere conto.

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà pertanto riferimento alla procedura descritta nel progetto VAPI Sicilia (*Ferro e Cannarozzo, 1993*) utilizzando la modellazione introdotta da Conti et al., 2007.

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola su tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni statistici.

Nel *primo livello di regionalizzazione* si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico  $Gt$

$\Theta^* = 2.24$  e  $\Lambda^* = 0.71$  Delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata  $t$  sia costante per la regione Sicilia.

La Sicilia si può pertanto ritenere una zona pluviometrica omogenea ed i valori dei parametri sono costanti ed indipendenti dalla durata  $t$ .

Il *secondo livello di regionalizzazione* riguarda l'individuazione di sottozone omogenee, interne a quella individuata al primo livello, nelle quali risulti costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica.

Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometriche omogenee:  $Z_0 - Z_5, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  (fig. 4.1). A ciascuna di esse è stato attribuito un valore costante del parametro  $\lambda_I$  (parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base) indicato con il simbolo  $A_I$  (tabella 4.1), che risulta indipendente dalla durata.

$h'_{t,T} = h_t/\mu$  Le sottozone  $Z_0$  e  $Z_5$ , possono anche essere "unite" e considerate come una sottozona unica, visti i valori pressoché identici del parametro  $A_I$ .

In ogni sottozona la variabile adimensionale:

(valore dell'altezza di pioggia di fissata durata  $t$  e tempo di ritorno  $T$  rapportata alla media  $\mu$  della

legge TCEV) assume la seguente espressione:  $h'_{t,T} = K_T = a \cdot \ln(T) + b$

In tale relazione i coefficienti  $a$  e  $b$  sono stati tarati in funzione della particolare sottozona (tabella 4.2).

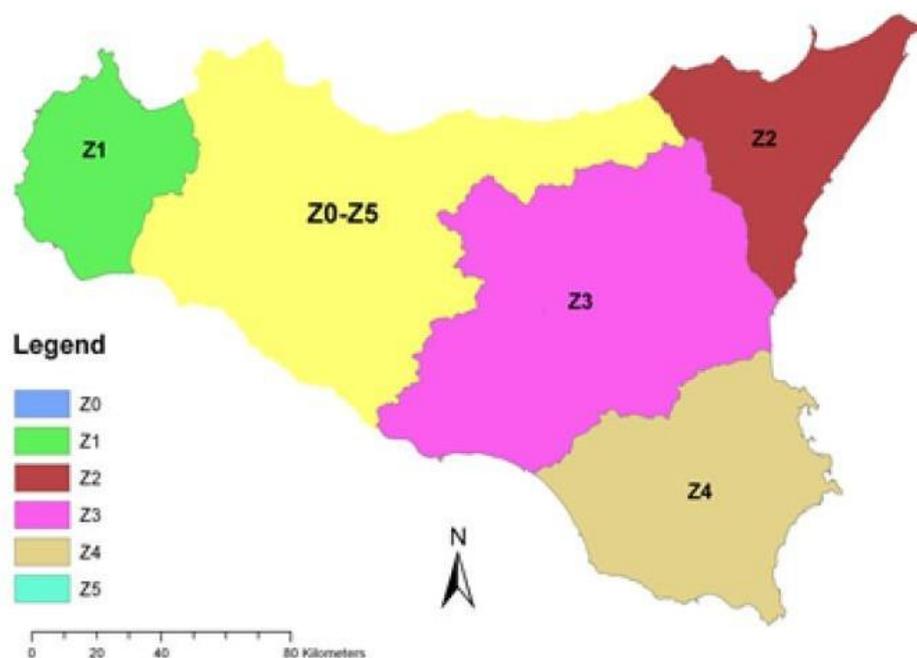


Figura 8.2: Sottozone pluviometriche omogenee per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

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

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$
$\Lambda_1$	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

Tabella 4.1: Valore del parametro  $\Lambda_1$  per ogni sottozona in cui è stata suddivisa la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	$Z_0 - Z_5$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$
$a$	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
$b$	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Tabella 4.2: Valori, per la regione Sicilia, dei coefficienti  $a$  e  $b$  per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).

Il *terzo livello di regionalizzazione* prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità  $\mu$  e le grandezze - prevalentemente geografiche (altitudine, distanza dal mare, superficie del bacino idrografico) - relative al sito di misura. Pertanto, l'espressione della curva di probabilità pluviometrica sarà:

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

in cui  $h_{t,T}$  è l'altezza di pioggia di assegnata durata  $t$  e fissato tempo di ritorno  $T$ . Per le stazioni pluviografiche siciliane la media teorica  $\mu$  risulta coincidente con quella campionaria; per ciascuna delle 172 stazioni siciliane che vantano almeno 10 anni di funzionamento è stato riconosciuto il seguente legame di tipo potenza tra la media campionaria e la durata  $t$ :

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

Per ogni stazione pluviografica i valori dei coefficienti  $a$  ed  $n$  sono tabellati. Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i coefficienti  $a$  ed  $n$  possono essere stimati sulla base della carta delle iso- $a$  e delle iso- $n$  (Cannarozzo et al, 1995). Nelle figg. (4.2) e (4.3) è possibile vedere la variazione dei coefficienti  $a$  ed  $n$  per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

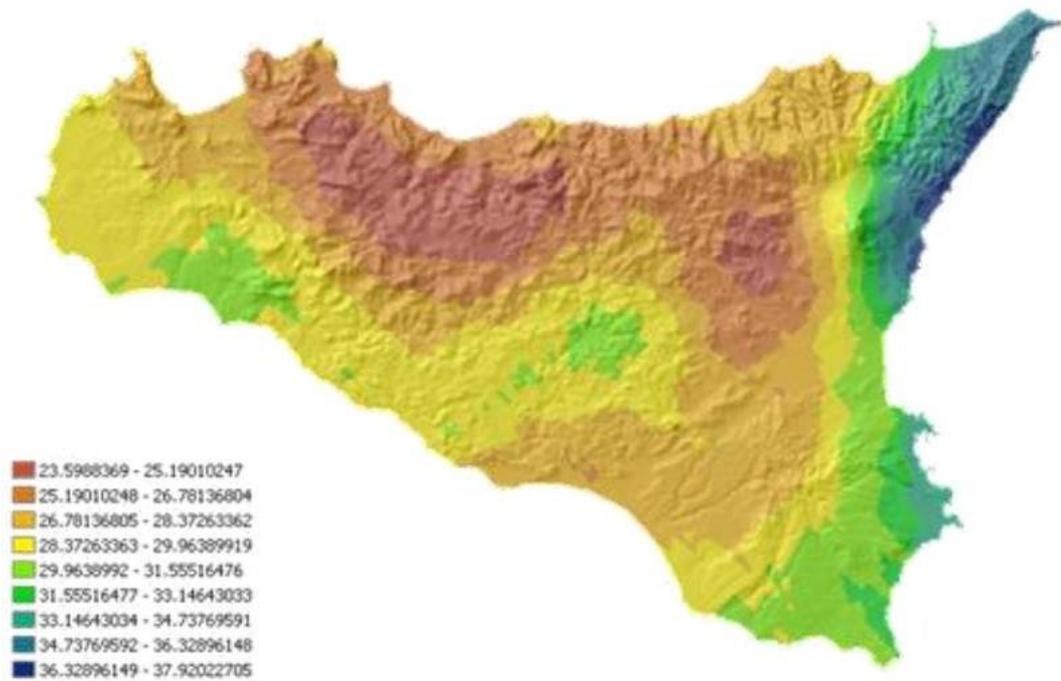


Figura 8.3: Valori dei coefficienti  $a$  per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007).

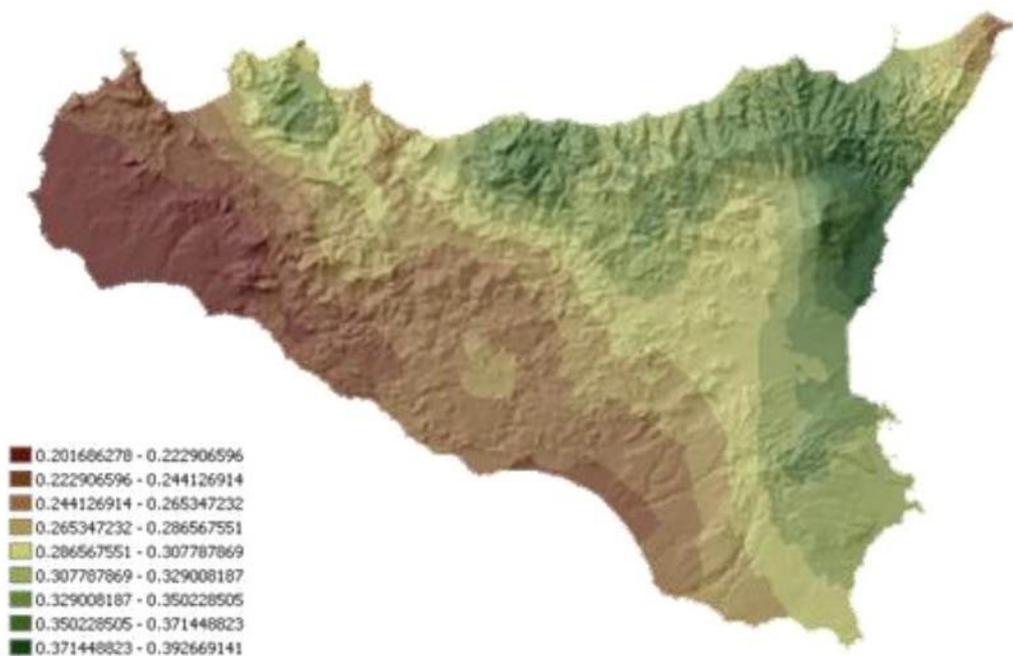


Figura 8.4: Valori dei coefficienti  $n$  per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007).

Sono quindi stati calcolati, per il tempo di ritorno di interesse  $T = 50$  anni i valori delle altezze di pioggia massima di assegnata durata  $h_{i,T}$  e la legge di probabilità pluviometrica.

### *Calcolo della c.p.p.*

I bacini oggetto del presente studio si trovano nella sottozona pluviometrica omogenea  $Z_1$ : il fattore di crescita è calcolato attraverso la seguente espressione, utilizzando gli appropriati valori dei coefficienti  $a$  e  $b$  (in base ai valori della tabella 4.2):

$$K_T = 0.4695 * \ln(T) + 0.4889$$

**Fissato il tempo di ritorno della sollecitazione meteorica di progetto - pari a 50 anni** – ed individuata la stazione pluviometrica più vicina al sito in esame, è quindi possibile calcolare le altezze di pioggia di data frequenza di accadimento e di fissata durata.

Per l'individuazione della piovosità che caratterizza la zona, invece di procedere alla elaborazione statistica dei dati pluviometrici pubblicati negli annali idrologici, si è fatto riferimento alle "Curve di probabilità pluviometrica" elaborate a cura del Dipartimento regionale della Protezione Civile della Regione Siciliana.

Si deve comunque osservare che le stazioni pluviometriche più prossime alla zona oggetto di studio risultano essere tre:

- Marineo
- Tumminia
- Turdiepi



*Figura 8.5: Posizione della stazione pluviometrica nell'area di progetto.*

La scelta è quindi ricaduta sulla stazione di Marineo in quanto più prossima, poiché la stazione di Tumminia presentava poche osservazioni e poco continue.

Dalle medie pluriennali dei valori di pioggia registrate dalla stazione pluviometrica di Marineo, si è ricavato un valore di circa 757 mm di pioggia annui. Di questa acqua una parte va ad alimentare la falda sotterranea (infiltrazione efficace), una parte per evapotraspirazione ritorna all'atmosfera, una buona parte defluisce per ruscellamento superficiale. Il ruscellamento superficiale costituisce, nel caso in studio, un importante parametro per realizzare una buona progettazione.



REGIONE SICILIANA - PRESIDENZA - DIPARTIMENTO REGIONALE DELLA PROTEZIONE CIVILE


**CENTRO FUNZIONALE DECENTRATO - IDRO**
**PRECIPITAZIONI ORARIE DI MASSIMA INTENSITÀ**

<b>STAZIONE METEO</b>	<b>MARINEO</b>	
<b>BACINO</b>	<b>037_01/FIUME ELEUTERIO</b>	
FORNTE DEI DATI:	Annali Idrologici (tab. III)	
COORD X, Y (ETRS89)	360564	4202442
COORD Lat, Long	37,95889	13,41278
QUOTA (m slm)	520	
ZONA DI ALLERTA	C	

BANCA DATI REALIZZATA CON FONDI PO FESR SICILIA 2007-2013, LINEA DI INTERVENTO 2.3.1.C(A) - CUP: G62G11000750008 - CIG: 3803641FD5  
 FONTE DEI DATI: Annali Idrologici (tab. III)  
 ELABORAZIONI: CFD-Idro (DRPC Sicilia)

**Stima altezze di pioggia (Gumbel):  $h=Kt^{\alpha}+u$** 

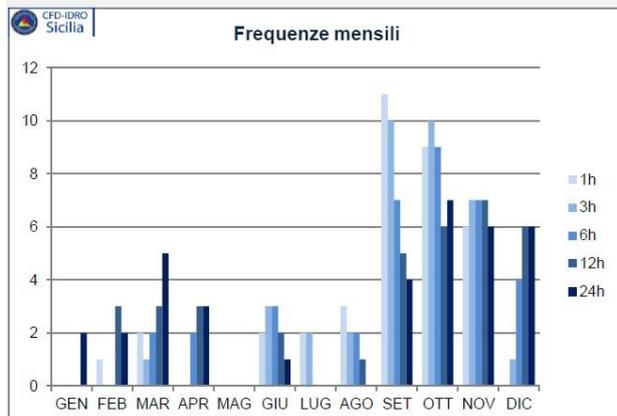
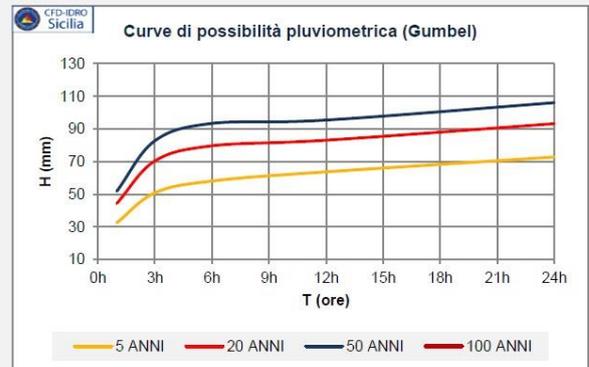
	$\alpha$	8,07	13,29	14,67	13,19	13,88
	u	20,34	30,81	36,02	43,87	51,90
Tempo di ritorno	Kt	1h	3h	6h	12h	24h
2 ANNI	0,367	23	36	41	49	57
5 ANNI	1,500	32	51	58	64	73
10 ANNI	2,250	38	61	69	74	83
20 ANNI	2,970	44	70	80	83	93
50 ANNI	3,902	52	83	93	95	106
100 ANNI	4,600	ND	ND	ND	ND	ND
200 ANNI	5,296	ND	ND	ND	ND	ND

FUNZIONAMENTO			
<b>SERIE VALIDA</b>	primo anno	<b>1953</b>	Indice di continuità [(-1) - (+1)]
	ultimo anno	<b>2014</b>	
	intervallo (anni)	<b>62</b>	
	n° misure	<b>36 (58%)</b>	

ESTREMI	1h	3h	6h	12h	24h
Mese/anno con valori massimi	9/78	9/79	11/57	11/57	10/73
Mese/anno con valori minimi	10/77	9/77	4/77	4/77	4/77

VALORI RIASSUNTIVI	1h	3h	6h	12h	24h
Valore massimo (mm)	50	79	97	99	109
Valore minimo (mm)	9	11	17	28	34
Valore medio (mm)	25	38	44	51	60
Deviazione standard (mm)	10	17	19	17	18
% eventi con H > media	39%	39%	42%	42%	44%
Stima Tr per valore max (anni)	40	38	63	65	61

MESI CON LE MASSIME FREQUENZE	1h	3h	6h	12h	24h
	SET	OTT	OTT	NOV	OTT



TENDENZE EVOLUTIVE					
Piogge orarie (coeff. ang. rette regressione)					
PERIODO	1h	3h	6h	12h	24h
1953-2014	0,097	-0,023	-0,329	-0,259	-0,305
CLASSIFICAZIONE DI ALPERT (precipitazioni nelle 24 ore)					
-- non determinabile, 0 = nessuna, +1 = crescente, -1 = decrescente					
PERIODI (% dati)	LM	MH	H	HT	T
trend 1924-1960 ( $\approx 10\%$ )	--	--	--	--	--
trend 1961-2015 ( $\approx 52\%$ )	0	0	-1	-1	0
trend 1981-2015 ( $\approx 73\%$ )	0	0	+1	+1	0
TREND GENERALE PERIODO: 1953-2014	<b>-0,0032 (-)</b>				
Light-Moderate (4-16 mm/d), Moderate-Heavy (16-32 mm/d), Heavy (32-64 mm/d), Heavy-Torrential (64-128 mm/d), Torrential (> 128 mm/d)					

Per il calcolo dell'altezza di pioggia dalle Curve di possibilità pluviometrica con distribuzione di Gumbel fornite dal Dipartimento regionale della Protezione Civile della Regione Siciliana sono stati utilizzati i seguenti input. Si è fatto riferimento ad un evento della durata di 1 ora con Tempo di ritorno della precipitazione Tr di 50 anni.

Il medesimo tempo di ritorno è adottato per il dimensionamento e la verifica dei fossi di guardia e degli attraversamenti idraulici presenti all'interno dell'area dell'impianto.

Di conseguenza gli output di calcolo risultano essere i seguenti:

Stazione	TR (anni)	Kt	$\alpha$	u	$h=Kt*\alpha+u$
Marineo	50	3,902	8,07	20,34	52

### **METODO TCEV**

Per la valutazione dei deflussi sulla superficie di scolo in esame si è proceduto ad una verifica mediante il Metodo di 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.

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  $Tr$  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:

$$h = a \cdot t^n$$

$k(Tr)$  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.

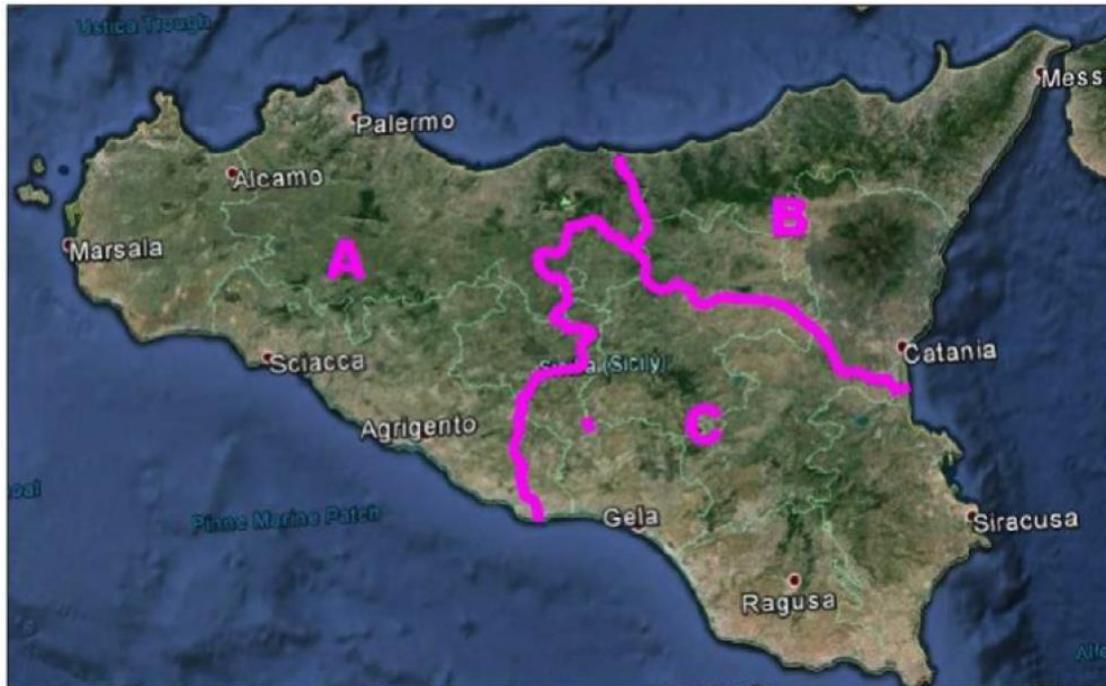


Figura 8.6: Individuazione della sottozona di appartenenza (sottozona A).

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  $X = XT(t)$ .

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

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

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

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

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

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

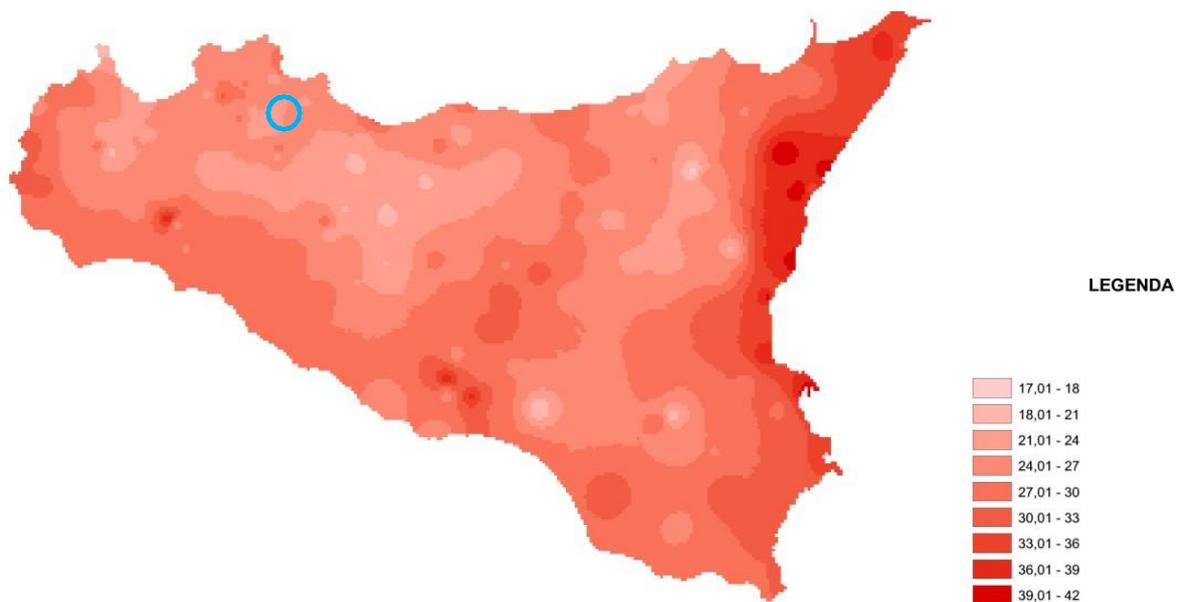


Figura 8.7: PAI – Carta dei valori di  $a$ .

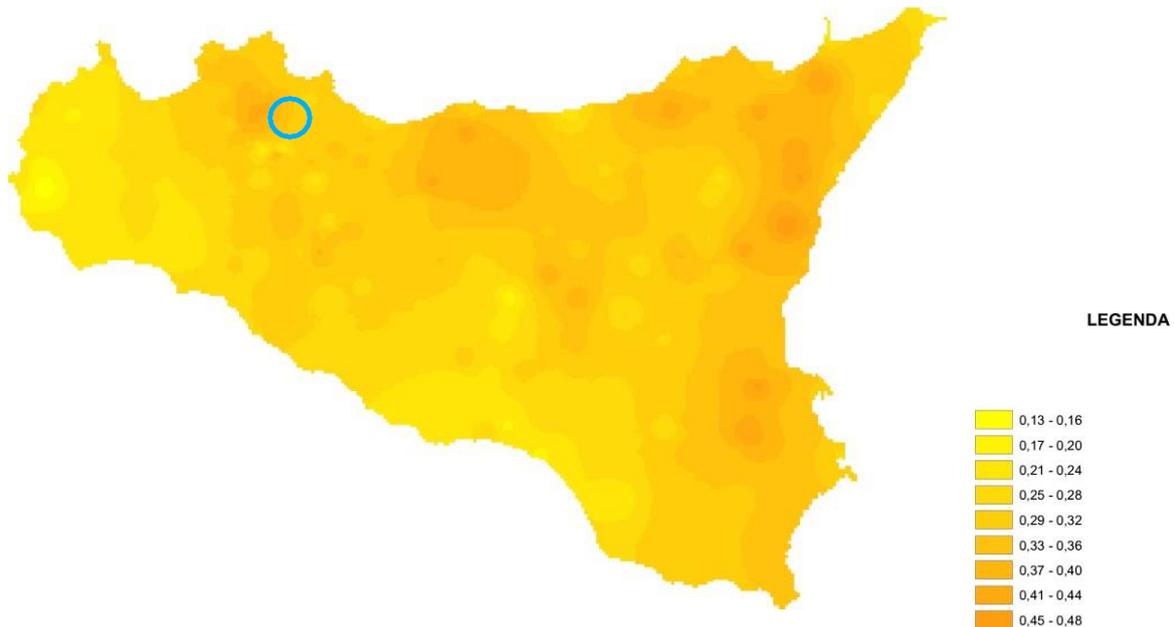


Figura 8.8: PAI – Carta dei valori di n.

Si individuano quindi i seguenti valori di a ed n:

- a = 22
- n = 0,3

Considerando un Tempo di ritorno di 50 anni ed un evento meteorico della durata minima di un'ora si ottiene un XT(t) o KT uguale a 2,2330 ed un'altezza di pioggia di 49 mm, molto simile alla stima di altezza di pioggia fornita secondo il metodo di Gumbel presentato nelle precedenti tabelle e grafici relativi alla stazione di Marineo.

## 9. VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

La determinazione della pioggia efficace ovvero della porzione di volume della precipitazione che contribuisce effettivamente alla formazione dell'onda di piena è stata eseguita applicando il “metodo percentuale”  $\varphi$ .

Questo metodo ipotizza che le perdite costituiscano una percentuale costante della quantità di pioggia durante l'evento.

Si considera il coefficiente di deflusso  $\varphi$ , caratteristico dell'evento nella sua totalità, come rapporto tra il volume di precipitazione netta ( $P_{netta}$ ) ed il volume di precipitazione totale ( $P$ ):

$$\varphi = \frac{P_{netta}}{P}$$

Al fine di ottenere lo ietogramma di pioggia netta, la pioggia sintetica “di progetto” viene moltiplicata per il parametro  $\varphi$ , ammettendosi così che i fenomeni di infiltrazione e perdita idrica siano costanti durante tutta la durata dell'evento piovoso.

In merito alle aree prevalentemente permeabili è stato valutato l'impatto dell'installazione delle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici.

L'interasse fra le strutture sarà di circa 7,5 metri. L'altezza in mezzera della struttura sarà di circa 2,7 m (rispetto al piano di campagna).

Si ritiene che durante un evento intenso con tempo di ritorno pari a quello di progetto, la capacità di infiltrazione, così come le caratteristiche di permeabilità del terreno, delle aree di intervento non siano modificate dall'installazione delle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici.

Analogamente si può affermare delle platee di appoggio delle cabine elettriche che avranno un'area trascurabile rispetto all'intera estensione delle aree.

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 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 6.1.

UTILIZZO SUOLO ANTE - OPERAM			
	Area (Ha)	Coeff. Deflusso ( $\varphi$ )	Note
Area intervento	123,45	0,00	Valore incolto e uso agricolo riportato in Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021
		$\varphi$	
Media ponderata		<b>0,00</b>	

*Tabella 9.1: Condizioni ante-operam.*

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 6.3, in accordo a quanto indicato negli elaborati progettuali. Per ciascuna di queste superfici, facendo riferimento alla Tabella 6.2, si è individuato il pertinente coefficiente di deflusso.

*Tabella 9.2: 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.*

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

<b>UTILIZZO SUOLO POST - OPERAM</b>			
	<b>Area (Ha)</b>	<b>Coeff. Deflusso (<math>\phi</math>)</b>	<b>Note</b>
Area intervento	123,45		
Fascia mitigazione perimetrale	15,06	0,30	Valore cautelativo superficie boscata
Superficie di proiezione al suolo occupata dai moduli fotovoltaici a 0° con prato sottostante	33,29	0,30	Valore riportato in normativa
Strade e piazzole	2,37	0,60	Valore cautelativo superfici inghiaiate
Cabine	0,06	1,00	Superficie perfettamente impermeabile
Prato	72,67	0,3	Valore medio prati, pascoli
		$\phi$	
Media ponderata		<b>0,31</b>	

*Tabella 9.3: Condizioni post-operam.*

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 0,31 riferito alle condizioni post-operam.

## 10. MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI

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

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

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

ove:

- $Q_T$  è la portata di piena di assegnato tempo di ritorno T ed è espressa in m<sup>3</sup>/s;
- $\varphi$  è il coefficiente di afflusso, adimensionale;
- $i_T$  è l'intensità critica della precipitazione di assegnato tempo di ritorno (corrispondente al tempo di corrivazione) in mm/h;
- S è la superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup>;
- 3,6 è un fattore di conversione delle unità di misura.

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

### Individuazione della pioggia critica

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

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

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

Esso può essere calcolato tramite diverse formule; nel caso in esame, e cioè per piccoli bacini (aventi estensione inferiore a 10 km<sup>2</sup>), il tempo di corrivazione è calcolato attraverso la formula di Kirpich:

$$t_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{i^{0.385}}$$

dove  $t_c$  è espresso in minuti,  $L$  (lunghezza dell'asta principale, a partire dallo spartiacque) è espressa in metri ed  $i$  è la pendenza media del percorso (m/m).

### Il coefficiente di afflusso

L'infiltrazione costituisce il fenomeno di maggiore rilevanza per la determinazione del bilancio tra pioggia sul bacino e pioggia efficace ai fini del deflusso nei bacini scolanti. Nell'applicare un modello afflussi-deflussi risulta pertanto necessario quantificare le perdite per infiltrazione allo scopo di potere valutare la pioggia netta, ovvero quella che dà effettivamente luogo al deflusso.

Nel presente studio, all'interno della formula razionale, è stato utilizzato il *metodo del coefficiente di afflusso*  $\Phi$ . Tale coefficiente rappresenta il rapporto tra il volume totale di deflusso e il volume totale di pioggia caduto sull'area sottesa ad una data sezione, e il suo uso comporta considerare le perdite proporzionali all'intensità media di pioggia.

La stima del valore di  $\phi$ , relativamente a ciascuna superficie omogena (tipo di suolo, tessitura, caratteristiche locali di permeabilità) è stata condotta facendo riferimento ai valori tabellati da Benini (*Sistemazioni idraulico-forestali*, 1990) in fig.5.1. Nello specifico, si sono utilizzati i seguenti valori del coefficiente di afflusso  $\phi$ :

- $\varphi=0.31$  per l'intera area drenante dall'area dell'impianto agrivoltaico. Ai fini del calcolo della portata di progetto, il coefficiente di afflusso è stato calcolato secondo la formula seguente:

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

ove  $\varphi_i$  è il coefficiente di afflusso dell'area elementare  $A_i$  ed  $A_{tot}$  è la superficie complessiva del bacino. In questa maniera, il valore del coefficiente di afflusso per i bacini analizzati è dato dalla media pesata dei coefficienti di ciascuna area elementare in cui il bacino è divisibile.

Copertura del bacino	Tipo di suolo			
	Pendenza dei versanti	Terreni Leggeri	Terreni di medio impasto	Terreni compatti
Boschi	> 10%	0.13	0.18	0.25
	< 10%	0.16	0.21	0.36
Pascoli	> 10%	0.16	0.36	0.56
	< 10%	0.22	0.42	0.62
Colture agrarie	> 10%	0.40	0.60	0.70
	< 10%	0.52	0.72	0.82

Figura 10.1: Valori del coefficiente  $\phi$  del metodo razionale per diversi tipi di superficie, in funzione della tipologia di suolo e della copertura del bacino (Benini, 1990 e Ferro, 2006).

### Il calcolo delle portate

Per ciascun bacino (sono stati analizzati i due bacini più estesi per un predimensionamento dei fdg tipo 1 e tipo 2), i valori delle portate  $Q$  per il tempo di ritorno di interesse ( $T=50$  anni), insieme agli altri parametri posti alla base del calcolo, sono riassunti nelle tabelle sottostanti. Nello specifico, le grandezze caratteristiche poste a base dei calcoli, insieme alle rispettive U.M. sono:

- ID Bacino delle varie aree dell'impianto fotovoltaico;
- Superficie del bacino drenante  $S$  (sia in  $m^2$  che in  $km^2$ );
- Lunghezza dell'asta principale  $L$  (in m);
- Quota massima dell'asta principale,  $H_{max}$  (m);
- Quota minima dell'asta principale,  $H_{min}$  (m);
- Dislivello geodetico tra gli estremi dell'asta,  $\Delta h$  (m);

- Pendenza media del percorso  $i$  (%);
- Durata dell'evento pluviometrico critico, pari al tempo di corrivazione  $t_c$  (in minuti);
- Coefficiente di afflusso  $\varphi$ ;
- Valore dell'intensità critica  $i_T$  (mm/h);
- Portata al colmo della piena,  $Q$ , (in  $m^3/s$ );

Le tabelle che seguono sono pertanto relative al calcolo della portata di progetto (relativa a ciascun bacino) causata da un evento pluviometrico critico di fissato tempo di ritorno  $T$ .

Si riporta la planimetria con individuazione del bacino scolante oggetto di calcolo e la tabella con le caratteristiche idrauliche del bacino.

ID Bacino	Superficie S		Lunghezza asta principale L	H max	H min	Δh	Pendenza media del percorso $i$	Coefficiente di afflusso $\varphi$	Tempo di corrivazione $t_c$	Intensità critica (h<1 ora)	Portata critica $Q_T$
	[m <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]									
1	169222	0,169222	793,00	511	370	141	17,78	0,31	6,5	482,59	7,03
2	52552	0,052552	502,00	452	359	93	18,53	0,31	4,5	697,17	3,15
3	357575	0,357575	1324,00	534	338	196	14,80	0,31	10,3	303,06	9,33
4	250894	0,250894	1532,00	515	322	193	12,60	0,31	12,3	254,54	5,50
5	225970	0,225970	1316,00	465	248	217	16,49	0,31	9,8	317,38	6,18
6	56686	0,056686	1291,00	533	362	171	13,25	0,31	10,5	296,05	1,45
7	60252	0,060252	889,00	445	343	102	11,47	0,31	8,4	373,35	1,94
8	49968	0,049968	526,00	503	411	92	17,49	0,31	4,7	657,82	2,83
9	31027	0,031027	409,00	487	390	97	23,72	0,31	3,5	897,75	2,40
10	98675	0,098675	932,00	392	232	160	17,17	0,31	7,4	420,44	3,57
11	194311	0,194311	1029,00	423	201	222	21,57	0,31	7,3	425,40	7,12
12	111144	0,111144	855,00	386	195	191	22,34	0,31	6,3	497,24	4,76
13	22411	0,022411	358,00	302	188	114	31,84	0,31	2,8	1114,20	2,15
14	21486	0,021486	419,00	315	184	131	31,26	0,31	3,2	980,12	1,81
15	26520	0,026520	558,00	331	185	146	26,16	0,31	4,3	734,01	1,68
16	21742	0,021742	412,00	317	219	98	23,79	0,31	3,5	893,73	1,67



*Figura 10.2: Planimetria dei principali bacini scolanti individuati all'interno dell'area di progetto.*

## 11. VERIFICA DELLE PORTATE DI PROGETTO

Il dimensionamento delle opere idrauliche è stato condotto in due differenti fasi:

- una prima fase di pre-dimensionamento nella quale è stata assegnata, a ciascuna tipologia di opera idraulica una sezione “tipo”, in funzione dell’orografia, della pendenza, delle necessità tecniche e della estensione delle superfici scolanti sottese alla sezione di scarico;
- una seconda fase di verifica della capacità idraulica dei canali, prevedendo un franco minimo di 5 cm per ragioni di sicurezza.

La verifica della capacità idraulica delle opere è stata effettuata in condizioni di moto uniforme, utilizzando la formula di Chezy:

$$Q = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- $Q$  è la portata che defluisce nel fosso di guardia ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $\chi$  è il coefficiente di scabrezza;
- $A$  è l’area della sezione bagnata ( $\text{in m}^2$ );
- $R$  è il raggio idraulico ( $\text{in m}$ ), dato dal rapporto tra la sezione idrica e il perimetro bagnato  $P$ ;
- $i$  è la pendenza del canale.

Per il valore del coefficiente  $\chi$ , si è scelto di usare la formula di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

in cui  $k_s$  è l’indice di scabrezza di Gauckler-Strickler, ( $\text{in m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ ); in questo caso l’espressione della scala delle portate di moto uniforme si semplifica, risultando particolarmente adeguata ai problemi di progetto:

$$Q = k_s \cdot A \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

La scelta della formula per il calcolo del coefficiente  $\chi$  ha un’importanza marginale rispetto alla possibilità di scegliere un valore adeguato dell’indice di scabrezza che vi figura; i valori sono stati desunti da Chow W.T. (Applied hydrology, 1988).

Per i fossi di guardia in terra è stato scelto un indice di scabrezza  $k_s$  pari a  $37 \text{ m}^{1/3}\cdot\text{s}^{-1}$  (corrispondente a canali in terra poco inerbiti). Di seguito, per ciascun bacino, si riporta una tabella di riepilogo con i seguenti elementi:

- Tipologia del fosso di guardia adottato;
- Bacino scolante;
- Tirante idrico  $h$  (m), sezione idrica  $A$  ( $\text{m}^2$ ), contorno bagnato  $P$  (m), raggio idraulico  $R$  (m) con riferimento alla portata di progetto;
- Pendenza  $i$  dell'opera idraulica (%);
- Portata di progetto per ciascuna opera  $Q_{\max,T}$  in  $\text{m}^3/\text{s}$ ;
- Velocità con cui defluisce la portata di progetto (m/s);
- Grado di riempimento del fosso di guardia, dato dal rapporto tra il tirante idrico di progetto e l'altezza della sezione;
- Franco (espresso in m) dato dalla differenza tra l'altezza della sezione ed il tirante corrispondente alla portata di progetto.

La scelta delle tipologie di opere, sia in termini di geometria che di materiali, non è legata ad un mero dimensionamento di tipo idraulico. Sono state tenute in considerazione infatti, anche se non direttamente esplicitate nei calcoli, caratteristiche come (i) l'interrimento fisiologico delle opere idrauliche (benché mantenute con regolarità), (ii) il carattere delle precipitazioni in accordo al *climate changing* (precipitazioni di notevole intensità e breve durata con tempi di ritorno elevati) e (iii) le dimensioni "minime" legate alle effettive funzioni alle quali le opere devono assolvere (indipendentemente, quindi, dal tirante idrico di moto uniforme derivante dal calcolo).

Pertanto, le tipologie di opere idrauliche individuate in fase di pre-dimensionamento sono risultate aderenti alle necessità di controllo e di smaltimento delle acque meteoriche verso gli impluvi naturali del sito in esame.

Le verifiche sono risultate positive, rispettando gli opportuni franchi di sicurezza.

Nel caso in esame è stato verificato il fosso di guardi di tipo 3 che dovrà essere in grado di smaltire la portata massima raccolta nell'intera area di progetto con estensione maggiore.

<b>Caratteristiche del canale</b>		
Tipologia sezione		F3
Bacino scolante		3
Pendenza del canale, i	[%]	15,00
Portata di progetto, Q <sub>p</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	9,33
<b>Verifica/Progetto</b>		
Tirante idrico, h	[m]	1,2
Area, A	[m <sup>2</sup> ]	1,44
Perimetro bagnato, P	[m]	3,3
Raggio idraulico, R	[m]	0,44
Portata in condizione di moto uniforme, Q <sub>max</sub>	[m <sup>3</sup> /s]	9,63
<b>Parametri di verifica</b>		
Velocità	[m/s]	6,68
Grado di riempimento, h/H	[-]	0,86
Franco	[m]	0,20

## 12. INVARIANZA IDRAULICA

Il D.A. n. 117 del 07/07/2021 e il D.D.G. 102 del 23/6/2021 emanato congiuntamente dalla DRU e dall’Autorità di Bacino della Regione Siciliana definiscono i criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica e idrologica e, in particolare, disciplina l’applicazione dei principi di invarianza idraulica e idrologica.

L’allegato 3, all’appendice C del D.A. n. 117 del 07/07/2021 – Contenuti tecnici degli studi di compatibilità idraulica al punto C.5.4 definisce i criteri di rispetto del principio dell’invarianza idraulica.

Tale punto afferma che, nel caso di trasformazioni urbanistiche l’invarianza idrologica (o idraulica) sarà conseguita mediante l’utilizzo prioritario di “tecniche di drenaggio urbano sostenibile” (SUDS) e con smaltimento secondo il seguente ordine decrescente di priorità:

1. Riutilizzo delle acque defluenti dalle coperture, tenendo conto dei vincoli di qualità, per gli usi compatibili, quali ad esempio: irrigazione, innaffiamento di giardini, acque grigie e lavaggio di pavimentazioni esterne e autoveicoli;
2. Infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del suolo, compatibilmente con le caratteristiche del suolo ed escluso il caso di presenza di falde freatiche poco profonde;
3. Scarico in corpo idrico superficiale, naturale o artificiale, entro i limiti della sua capacità di portata, previa eventuale laminazione;
4. Scarico in fognatura entro i limiti della sua capacità di portata, previa eventuale laminazione.

Alla luce di quanto riportato, si evidenzia come la presenza di pannelli, pur coprendo la superficie dell’area interessata, tuttavia, non costituisce una reale “impermeabilizzazione” della stessa, date anche le posizioni mutue dei pannelli e la loro altezza rispetto al suolo.

Le acque meteoriche defluendo sui pannelli ricadono a terra e continuano il loro deflusso nella rete di drenaggio di progetto, per poi essere scaricate nella stessa sezione di recapito ante-operam.

Tuttavia, con riferimento all’Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021, per l’utilizzo ante-operam, si è attribuito all’area dell’impianto FV un coefficiente di deflusso pari a 0 corrispondente al valore

cautelativo tabellato per terreno incolto e uso agricolo, mentre nella situazione post-opera è stato calcolato un coefficiente di deflusso pari a 0,31, come descritto al capitolo 6.

Alla luce di ciò sono state adottate una serie di misure di compensazione idraulica per rispettare il principio dell'invarianza idraulica.

### 13. 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:

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

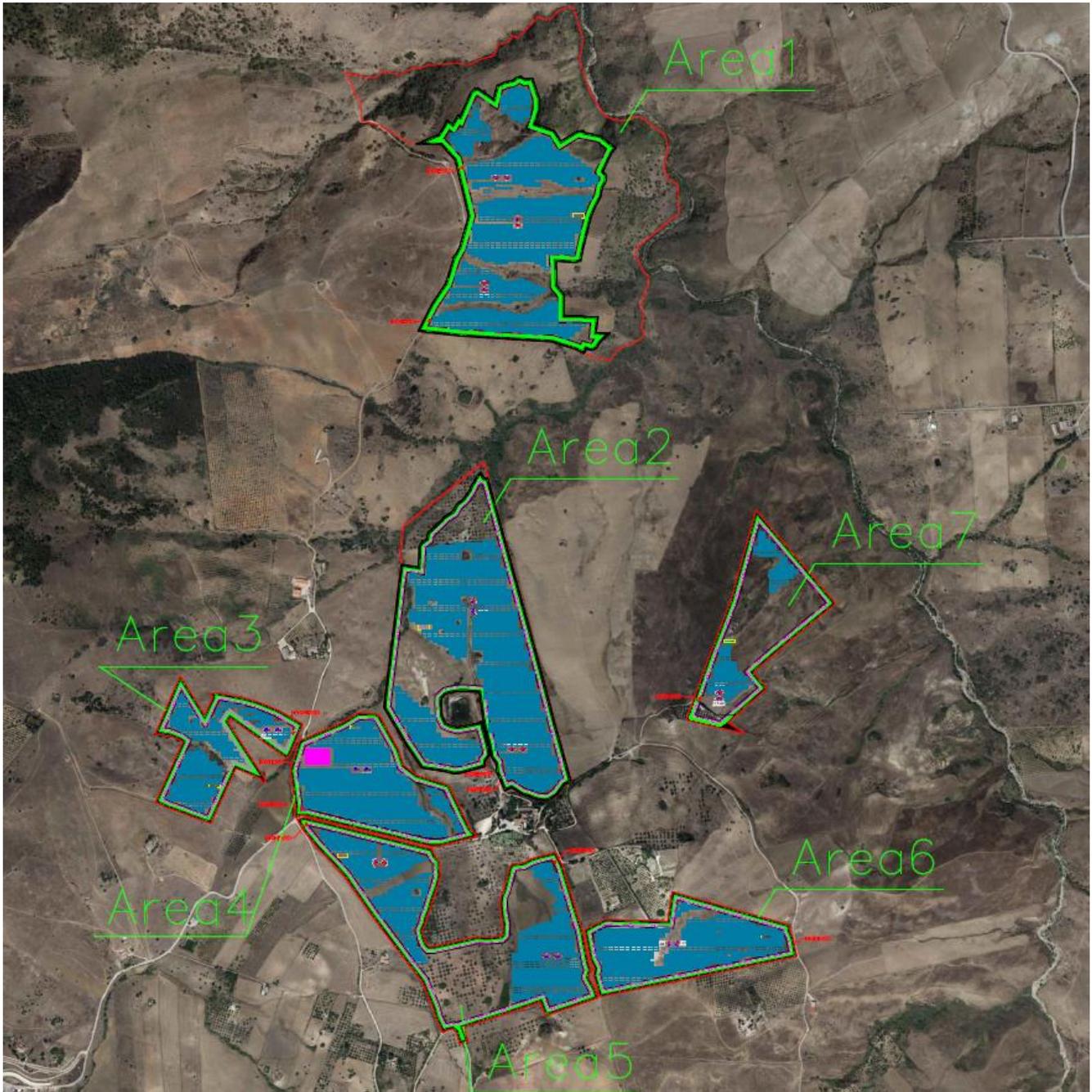
dove:

- $V_{max}$  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 della curva 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.

Dalle elaborazioni, si ottengono i seguenti valori:

ID AREA	Superficie (ha)	$\phi$	a	n	$Q_{IMP}$ ( $m^3/s$ )	$V_{MAX}$ ( $m^3$ )
1	27,63	0,31	22	0,3	0,5526	1272,14
2	29,51	0,31	22	0,3	0,5902	1340,68
3	8,82	0,31	22	0,3	0,1764	435,21
4	12,25	0,31	22	0,3	0,245	601,17
5	23,18	0,31	22	0,3	0,4636	1095,59
6	11,10	0,31	22	0,3	0,222	545,88
7	10,96	0,31	22	0,3	0,2192	539,13

Tabella 13.1: Calcolo volumi di laminazione – fonte DDG 102/2021 – Allegato 2



Al fine di assicurare l'invarianza idrologica e idraulica del sito in oggetto, si prevede l'installazione di n°6 vasca di accumulo dalla capacità rispettivamente di n°3 vasche di 1.300 m<sup>3</sup> ciascuna e di n°3 vasche dalla capacità di 700 m<sup>3</sup> ciascuna, per un totale di 6.000 m<sup>3</sup> di volume di accumulo/laminazione

**Vol. progetto (6.000 m<sup>3</sup>) > Vol. da laminare (5.830 m<sup>3</sup>) (DDG 102/2021)**

I volumi stoccati nelle vasche di accumulo, infine, potranno essere impiegati per irrigare le varie culture della fascia di mitigazione oppure 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. 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;
- la pulizia delle vasche di accumulo

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

## 14. 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.
- Risulta, inoltre, assolutamente non invasiva la tecnica di installazione dei pilastri di sostegno delle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici. 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 ipotizzato) al valore di 0,31 riferito alle condizioni post-operam.
- Si prevede, pertanto, l'inserimento di opere di compensazione costituite nello specifico da vasche di accumulo/laminazione. Le opere di compensazione, così calcolate, consentono 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.

- 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.