

REGIONE SICILIANA

Città Metropolitana di Palermo

COMUNI DI CIMINNA

IMPIANTO AGRIVOLTAICO “CANALOTTO”

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW

Il progetto in studio rientra nella casistica di cui all'art 17/1/a - allegato 1/bis - D.L. 31/05/2021 n.77, come modificato dalla legge di conversione 29/07/2021 n.108 “opere, impianti e infrastrutture necessarie al raggiungimento degli obiettivi fissati dal PNIEC-PNRR”.



COMMITTENTE

DREN SOLARE 9 srl
Via Triboldi 4
260015 Soresina (CR)

PROGETTAZIONE

SPICHES srl
EMILY MIDDLETON & PARTNERS srl

GRUPPO DI LAVORO

Arch. Ing. Giuseppina Leone	PM e Progetto ambientale	giuseppinaleone@emilymiddleton.it
Ing. Vincenzo Buttice	Progetto opere civili	vincenzobuttice@emilymiddleton.it
Dott. Giuseppe Pecoraro	Consulenza pedoagronomica	giuseppepecoraro.agr@gmail.com
Dott. Marcello Militello	Consulenza geologica	marcellomilitello@hotmail.com
Dott. Federico Fazio	Consulenza archeologica	federico.fazio8@gmail.com
Geom. Ferdinando Guida	Consulenza Topografica	studioguida@hotmail.com

IDENTIFICATIVO FILE ELABORATO RS06REL0004A0

DESCRIZIONE ELABORATO RELAZIONE IDRAULICA E DI INVARVARIANZA IDRAULICA

REV	DATA	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE
00	Dicembre 2023	Emissione progetto definitivo	Ing. V. Buttice	Arch. Ing. G. Leone	DREN SOLARE 9



	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Sommario

Premessa	3
1. Quadro normativo	5
2. Descrizione del progetto	6
3. Inquadramento idrografico dell’area vasta	7
4. Bacino idrografico dell’area di progetto	10
4.1. Morfologia	11
5. Pluviometria dell’area	16
5.1. Determinazione del parametro CN	16
5.2. Metodo TCEV Sicilia – Piogge Brevi – Superfici di Influenza	18
5.3. Calcolo della Curva di Probabilità Pluviometrica	22
5.4. Piogge di breve durata	24
5.5. Impianto agrivoltaico – Ante intervento	25
5.5.1. Curva ipsografica e retta di compenso	25
5.5.2. Calcolo del tempo di corrivazione	27
5.5.3. Ietogramma di pioggia lordo	27
5.5.4. Ietogramma di pioggia efficace	31
5.5.5. Idrogramma di piena	35

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 2
----------------------------	---------------------------------------	--------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Premessa

Il presente studio, elaborato su incarico della società DREN SOLARE 9 srl, è stato redatto per l’attivazione della procedura di VIA di cui all’ art. 23 del D.Lgs 152/2006, al fine di ottenere l’Autorizzazione Unica ai sensi dell’art. 12 del D.Lgs 387/2003 e costituisce la relazione idraulica e di invarianza idraulica per la realizzazione di un parco agrivoltaico situato nel comune di Ciminna (PA) di potenza pari a 33,99 MW, progettato ai sensi delle Linee Guida emanate dal Ministero della Transizione ecologica – Dipartimento per l’Energia.

L’impianto, denominato “Canalotto” dal toponimo del sito, è costituito da una centrale agrovoltaica suddivisa in 6 sotto aree identificate dalla denominazione area A, area B, Area C, Area D, area E, area F. I pannelli prescelti hanno una potenza di 730W e saranno installati su tracker monoassiali con giunto cardanico in configurazione 2p. Ogni tracker sarà infatti composto da due file affiancate di 14 pannelli cadauno, distanti dalla fila successiva di 5,5 m, misurati considerando i pannelli in assetto orizzontale.

La società proponente ha firmato un accordo con le imprese agricole proprietarie dei terreni su cui sorgerà il campo agro-fotovoltaico, che prevede lavorazioni tradizionali (erbaio), poiché è importante mantenere il carattere del luogo, oltre che rafforzare la produzione siciliana, effettuate tra i filari di tracker che garantirà l’assenza di consumo di suolo agricolo inteso come sottrazione di produzione alimentare¹; il piano culturale proposto valorizzerà da un punto di vista agronomico e paesaggistico il territorio locale. L’impianto è corredato da un sistema di accumulo di 13,4 MW. Il cavidotto, a partire dal campo, si snoderà per 1,6 Km nel territorio di Ciminna dove si collegherà, come previsto nella STMG accettata su proposta di Terna (codice pratica 202200282) in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) a 150/36 kV della RTN², da inserire in entra esce alle due linee RTN a 150kV RTN “Ciminna-Casuzze” e “Ciminna- Cappuccini” ricadente in area identificata al catasto dei terreni del Comune di Ciminna al foglio 19 particella n. 23. Il progetto nasce

¹ R. Bartolini, *Finalità dell’agrofotovoltaico ed alcuni esempi di impianti*, in “Il nuovo agricoltore”, gennaio 2022

² La sezione 36 kV è progettata dalla capofila Solarig srl, mentre la stazione a 150/36kV è progettata dalla IBIQ Volt srl

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 3
----------------------------	---------------------------------------	--------

	Documentazione di progetto	
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

dalla volontà di coniugare la questione energetica e il raggiungimento degli obiettivi del fabbisogno europeo con la tutela del paesaggio agrario³ attraverso un percorso di una economia circolare alla base di una corretta gestione delle risorse produttive in cui il principio di rinnovamento della materia generi (o salvaguardi) nuove economie creando differenti opportunità per il tessuto sociale con cui interagisce. Si premette che il progetto agrivoltaico, di cui qui di seguito si tratterà, rientra nella casistica di cui all’art 17/1/a - allegato 1/bis - D.L. 31/05/2021 n.77, come modificato dalla legge di conversione 29/07/2021 n.108 “opere, impianti e infrastrutture necessarie al raggiungimento degli obiettivi fissati dal PNIEC-PNRR”.

³ R. Bartolini, *Agro-fotovoltaico: guida per ottenere reddito e sostenibilità*, in “Il nuovo agricoltore”, gennaio 2022

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 4
----------------------------	---------------------------------------	--------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

1. Quadro normativo

L’invarianza idraulica è il principio in base al quale le portate massime di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all’urbanizzazione. L’invarianza idrologica, invece, è il principio in base al quale non solo le portate, ma anche i volumi di deflusso meteorico non debbono essere maggiori di quelli preesistenti.

Se infatti un terreno è impermeabilizzato si elimina la quantità d’acqua assorbita dallo stesso e si riduce il tempo di corrivazione, ovvero il tempo che impiega l’acqua a ruscellare verso il recapito finale. Questa condizione genera un aumento importante delle portate defluenti e può portare all’esonazione dei ricettori finali non in grado di contenere la portata aggiuntiva scaricata.

La Legislazione impone di perseguire l’invarianza idraulica delle trasformazioni d’uso del suolo e di conseguire, tramite la gestione e la separazione locale delle acque meteoriche a monte dei ricettori, la riduzione quantitativa dei deflussi, il progressivo riequilibrio del regime idrogeologico e idraulico e la conseguente attenuazione del rischio idraulico.

La Legislazione Siciliana in materia di gestione idraulica del territorio è così articolata:

- **Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A)**, ovvero il sistema di gestione dei rischi di alluvioni redatto dall’Assessorato Territorio Ambiente della Regione Siciliana, ai sensi dell’**art. 7 del D.Lgs 49/2010** nell’ambito delle attività di pianificazione di cui agli **artt. 65,66,67 e 68 del D.Lgs 152/2006**. Il fine ultimo del piano è quello di ridurre gli effetti delle alluvioni sulla salute umana, territorio, beni ecc. (**Art. 1 Comma 1 Direttiva 2007/60/CE**);

- D.D.G. n. 102 del 23/06/2021, della Regione Siciliana, riportante le linee guida sulla procedura da seguire per gli studi di invarianza idraulica ed idrologica.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 5
----------------------------	---------------------------------------	--------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

2. Descrizione del progetto

L'intervento consiste nella realizzazione di un impianto agrivoltaico da ubicarsi nel comune di Ciminna (PA).

L'impianto è composto da 6 aree, denominate con le lettere A, B, C, D, E, F.

Il presente studio di invarianza idraulica terrà conto sia degli effetti della realizzazione dell'impianto agrivoltaico.

Si evidenzia che le aree opzionate dalla Società, per l'impianto agrivoltaico, hanno una superficie di 60 ha 51 are e 43 ca, di cui solo 48 ha 59 are e 63 ca, saranno interessate effettivamente dall'impianto.

Inoltre, è necessario considerare che i moduli fotovoltaici sono organizzati in stringhe distanziate le une con le altre. I moduli, montati sulle strutture ad inseguimento monoassiale, occupano, a mezzogiorno ovvero quando sono paralleli al terreno, un'area pari a circa 14 ha 63 are e 84 ca.



Fig.01 - Aree impianto, cavidotto su ortofoto

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 6
----------------------------	---------------------------------------	--------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

3. Inquadramento idrografico dell’area vasta

Da un punto di vista idrografico, le aree dell’impianto agrivoltaico oggetto di questo studio ricadono all’interno del bacino idrografico del Fiume San Leonardo (033). In questo paragrafo si riporta sinteticamente la descrizione del bacino idrografico del Fiume San Leonardo e le sue principali caratteristiche estratta dall’archivio della Regione Siciliana e riportata nella relazione di aggiornamento del 2020 redatta dal Prof. Ing. Gabriele Freni: *“Il Fiume San Leonardo è il corso d’acqua principale della costa settentrionale della Sicilia. Nel complesso il bacino del San Leonardo si è evoluto fino ad uno stadio di erosione fluviale “mediamente senile” con un reticolo idrografico discretamente gerarchizzato. La presenza di un reticolato idrografico sviluppato contribuisce fortemente alla genesi di processi di dissesto idrogeologico, molto diffusi in tutto il bacino: frane, ruscellamento, calanchi. Il ruscellamento superficiale delle acque piovane è causa della denudazione dei versanti e della formazione di rivoli e solchi, specie laddove affiorano litologie a prevalente frazione argillosa. L’erosione, invece, determina la disgregazione e la degradazione dei suoli agrari e delle porzioni affioranti delle formazioni geologiche. I processi franosi nel bacino sono molto diffusi; essi hanno condizionato e condizionano consistentemente l’evoluzione morfologica dei versanti. Alcune zone, infatti, sono caratterizzate da movimenti franosi di notevoli dimensioni che periodicamente si rimobilizzano; tali movimenti sono molto complessi in dipendenza dell’estrema eterogeneità geologica della zona. Il Fiume S. Leonardo presenta un andamento planimetrico dell’alveo. Nasce alle pendici di Pizzo Cangialoso (m. 1.456), ricadente nel territorio comunale di Corleone, e nel suo tratto iniziale, ad andamento NE-SO, prende il nome di “Vallone Margi”. Successivamente, il corso d’acqua attraversa i territori comunali appartenenti al Dipartimento di Prizzi e, nuovamente, al comune di Corleone, dove assume il nome di “F. della Mendola”. Quest’ultimo segna con il suo percorso il confine tra i territori comunali di Campofelice di Fitalia e Prizzi e, prende il nome di “F. Centosalme”, che si snoda con andamento all’incirca ENE-OSO fino a quando cambia il suo nome in “F. Trinità”. Numerosi sono i rilievi che raggiungono modeste altitudini. Tra di essi ricordiamo: ad ovest Rocca Busambra (m. 1.614), a sud ovest M. Cardellia (m.*

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 7
----------------------------	---------------------------------------	--------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

l.266) e M. Barracù (m. 1.420), a sud M. Carcaci (m. 1.196), ad est La Montagnola (m. 833) e all'interno del bacino Pizzo Colobria (m. 949), Pizzo Condreo (m. 1.004) e Pizzo di Casa (m. 1.211).

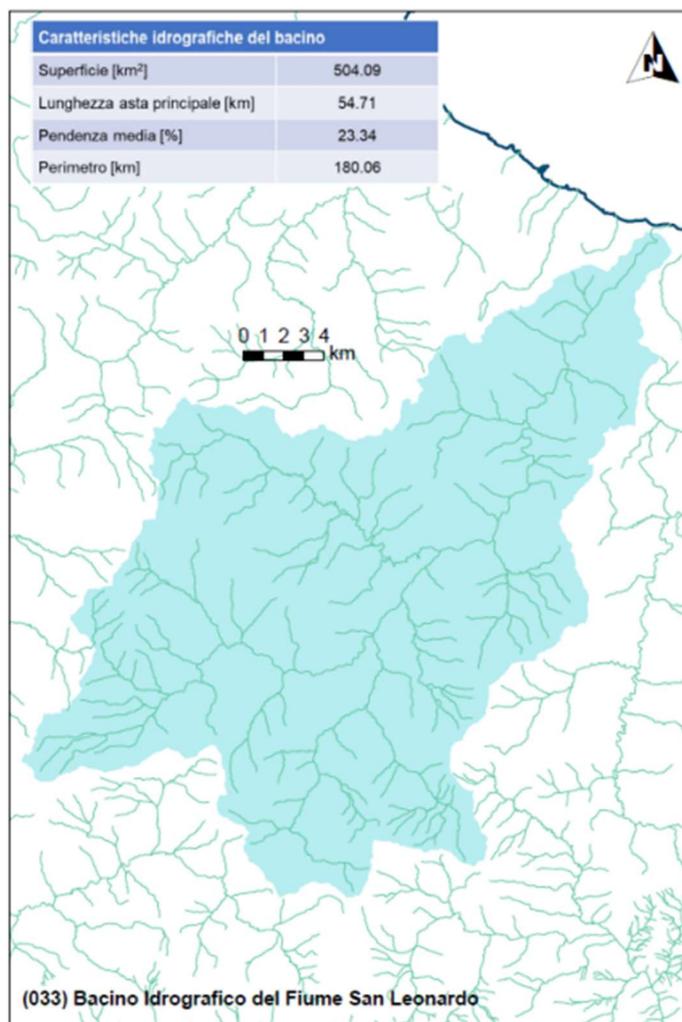


Fig. 02 - Inquadramento territoriale del bacino

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

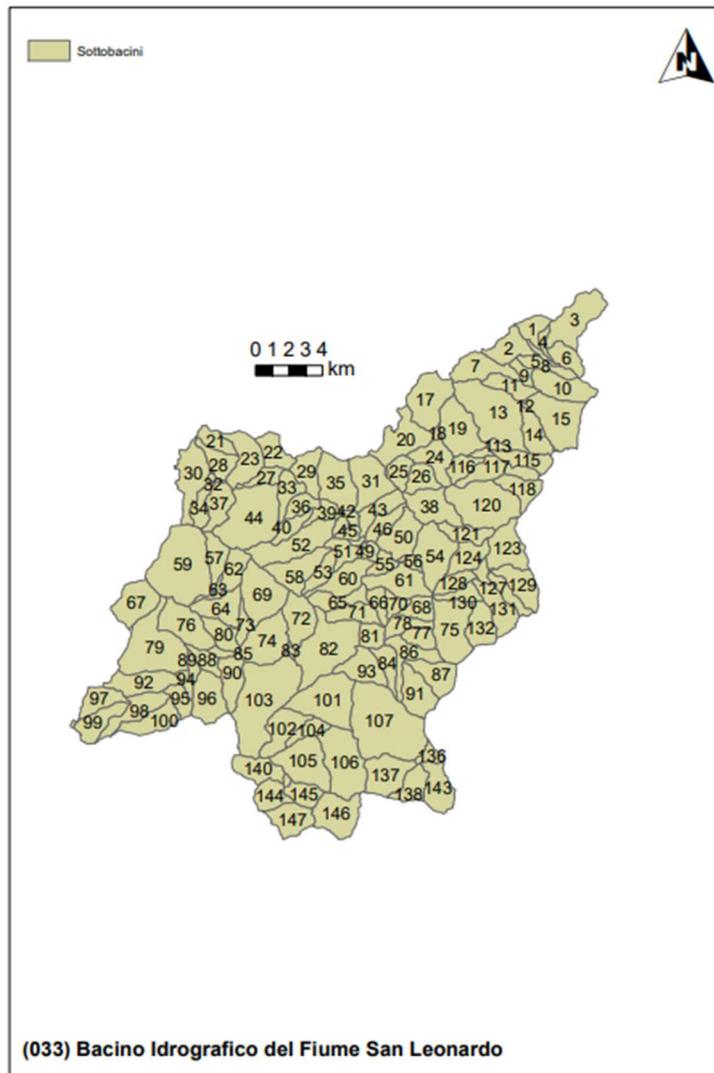


Fig. 03 - Delimitazione dei sottobacini sulla base delle caratteristiche morfologiche e della densità di drenaggio

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 9
----------------------------	---------------------------------------	--------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

4. Bacino idrografico dell’area di progetto

Il bacino idrografico dell’area di progetto ricade all’interno del sottobacino 35 del Fiume San Leonardo. Il bacino idrografico in esame è stato individuato ponendo la sezione di chiusura a valle dell’ultima confluenza delle superfici scolanti dall’area dell’impianto e perimetrando tutte le displuviali che separano le acque di ruscellamento che interferiscono con il parco agrivoltaico da quelle che non interferiscono. Le linee d’acqua presenti all’interno del bacino di studio sono affluenti in sinistra idraulica del Torrente Azziriolo.

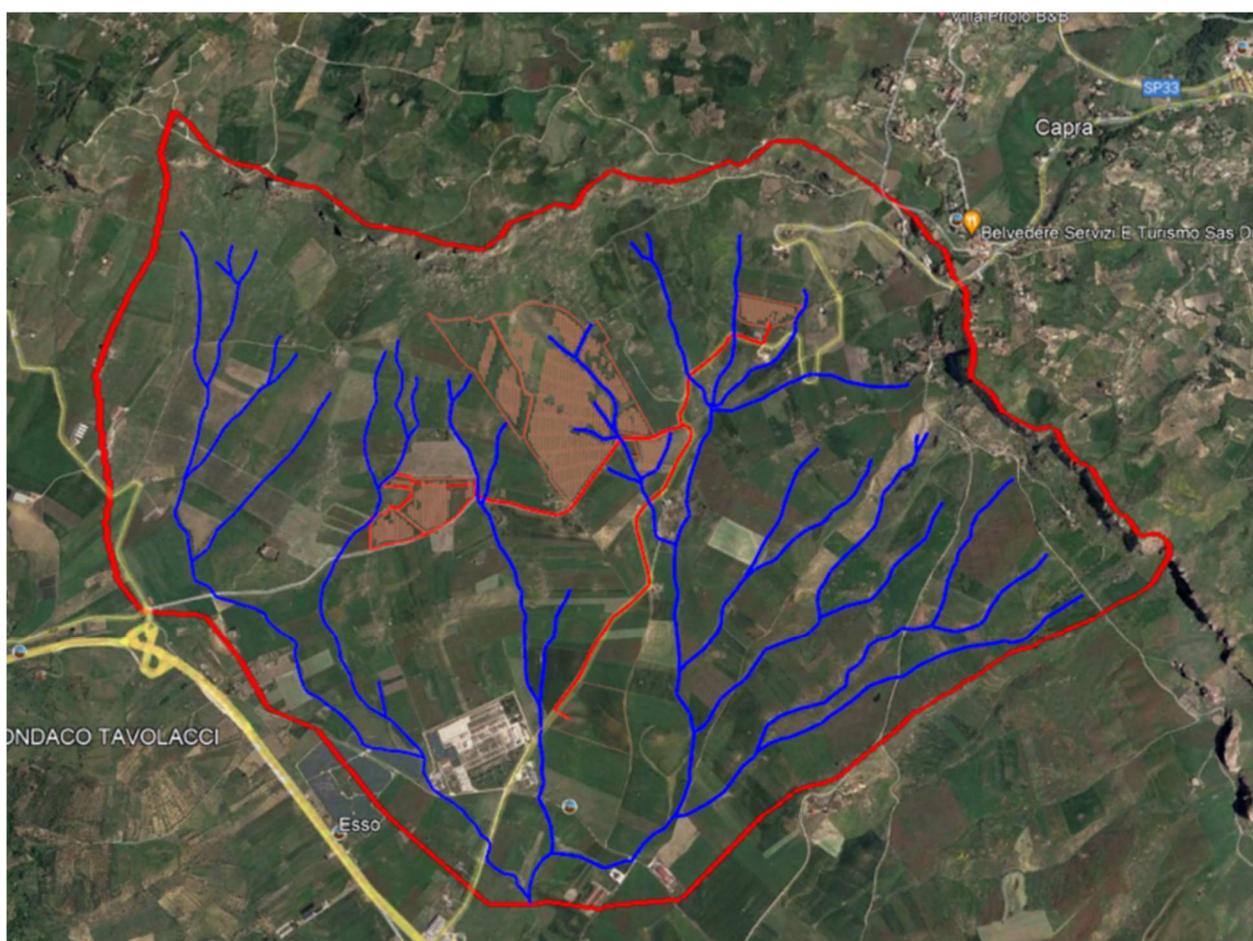


Fig. 04 – Bacino idrografico di competenza del parco agrivoltaico “Ciminna”

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 10
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Il bacino di riferimento ha un'estensione di 11,3 km² e quote altimetriche comprese tra i 742,71 m s.l.m. in corrispondenza di Serra di Canalotto ai 305 m s.l.m. della sezione di chiusura.

4.1. Morfologia

La morfologia del bacino idrografico gioca un ruolo fondamentale nel calcolo delle portate, in quanto incide profondamente sul tempo di corrivazione del bacino, ovvero il tempo impiegato dalla goccia d'acqua caduta nel punto idraulicamente più svantaggiato a raggiungere la sezione di chiusura del bacino. Chiaramente, il tempo necessario per raggiungere la sezione dipende, oltre che dalla lunghezza del percorso, dalla velocità della corrente, la quale a sua volta è funzione della pendenza. Determinato il punto a quota più alta del bacino (742,71 m s.l.m.) e la quota della sezione di chiusura (305 m s.l.m.), lo stesso è stato discretizzato a intervalli di 50 m, rilevando la superficie del bacino che si trova al di sopra di una determinata quota.

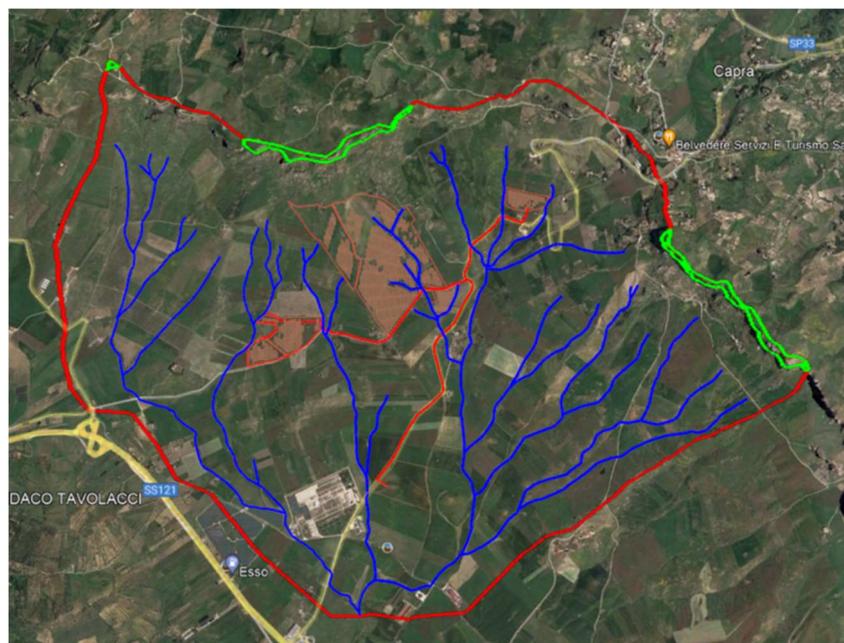


Fig. 05 - Bacino idrografico con quota superiore ai 700 m s.l.m.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 11
----------------------------	---------------------------------------	---------



Documentazione di progetto

Relazione Idraulica e di invarianza idraulica

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato "Canalotto" per una potenza complessiva pari a 33,99 MW



Emily Middleton & Partners srl

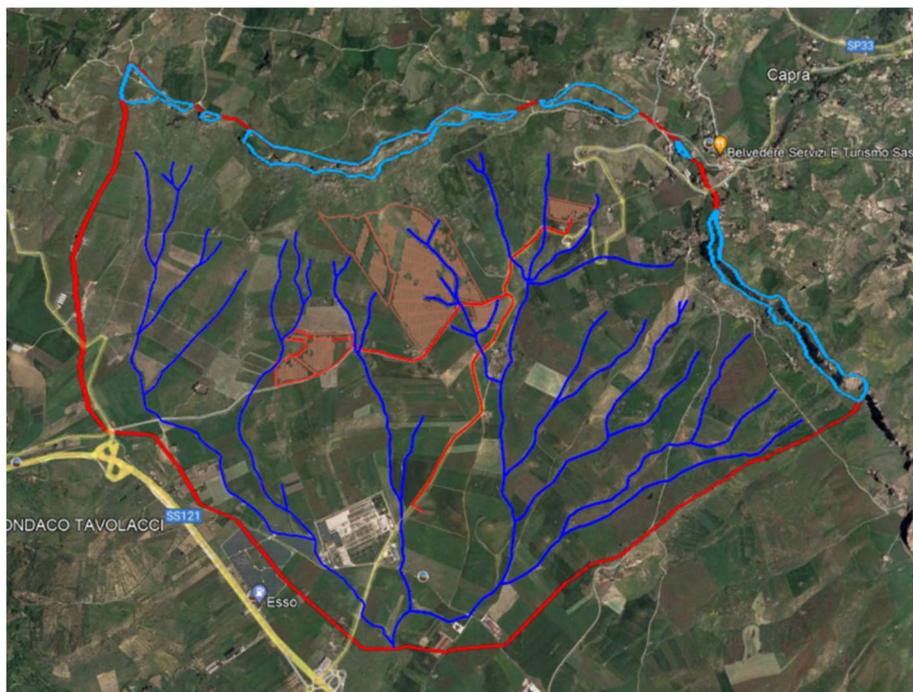


Fig. 06 - Bacino idrografico con quota superiore ai 650 m s.l.m.

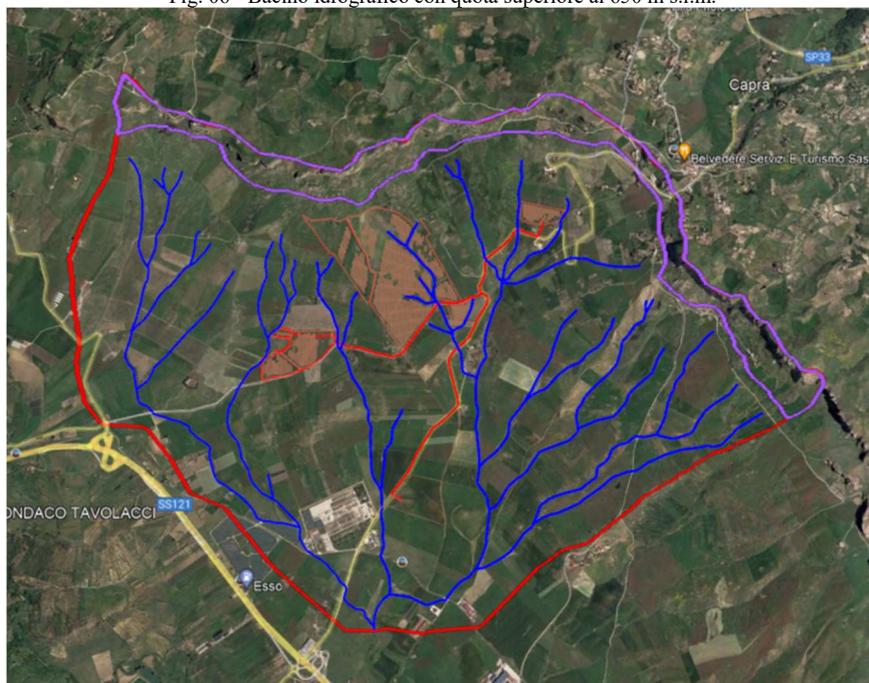


Fig. 07 - Bacino idrografico con quota superiore ai 600 m s.l.m.

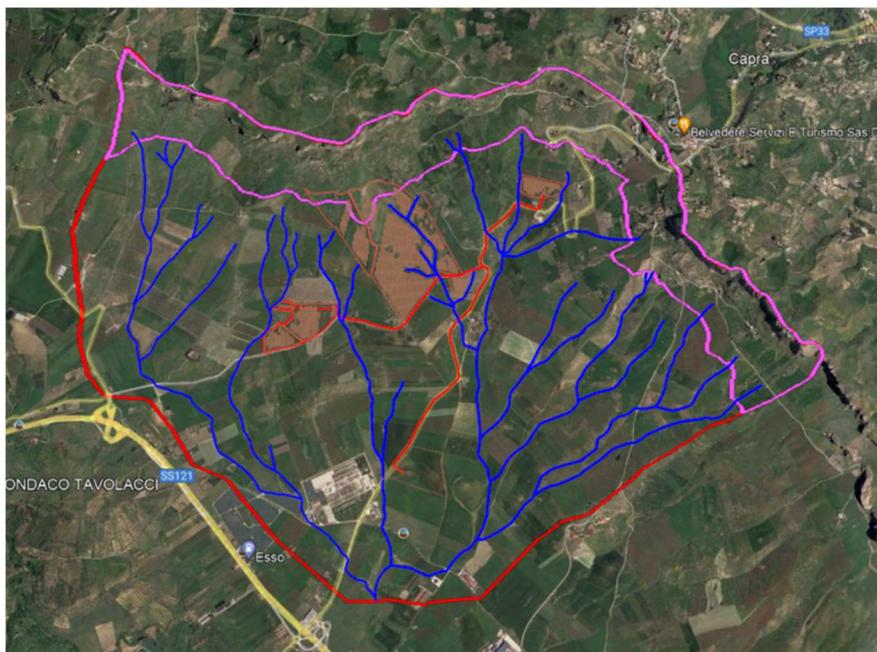


Fig. 08 - Bacino idrografico con quota superiore ai 550 m s.l.m.

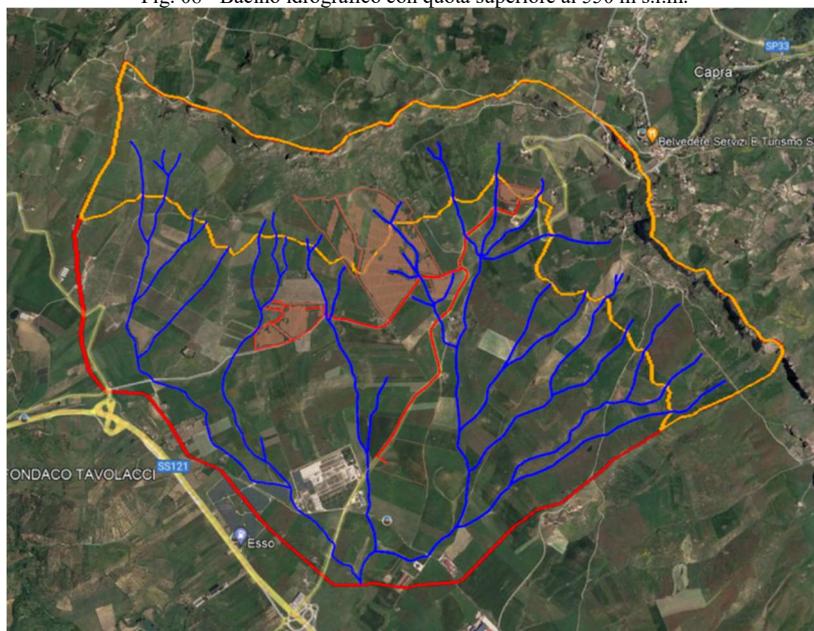


Fig. 09 - Bacino idrografico con quota superiore ai 500 m s.l.m.

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

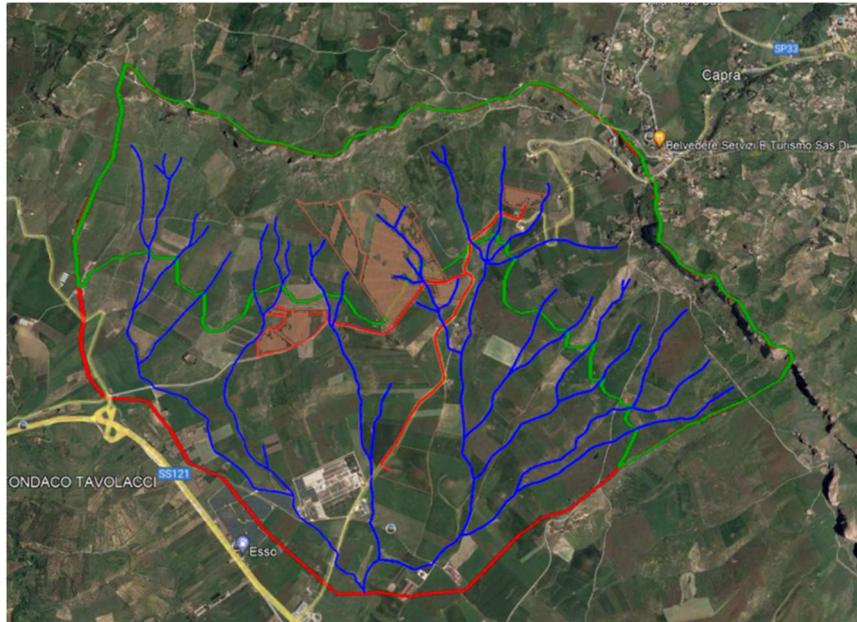


Fig. 10 - Bacino idrografico con quota superiore ai 450 m s.l.m.

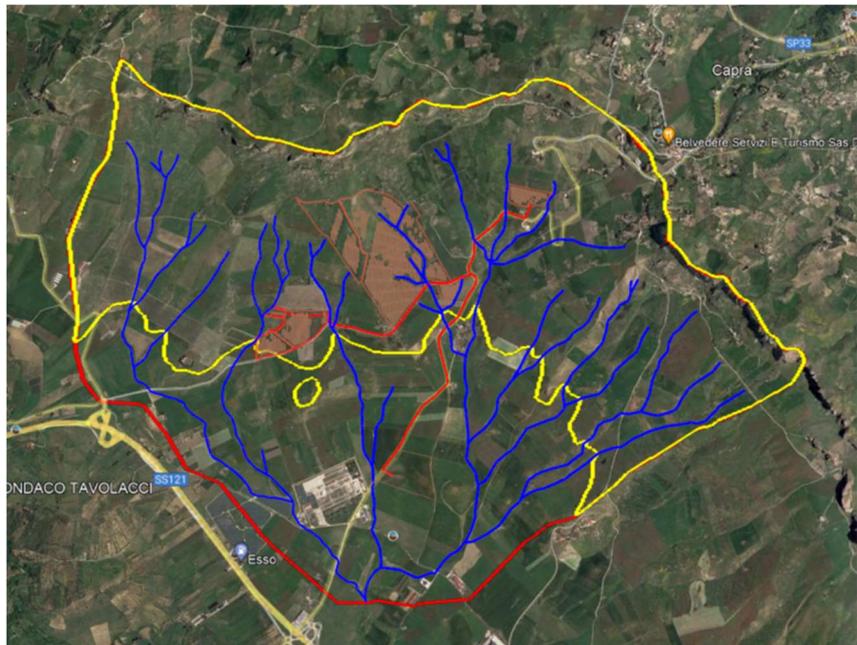


Fig. 11 - Bacino idrografico con quota superiore ai 400 m s.l.m.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 14
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

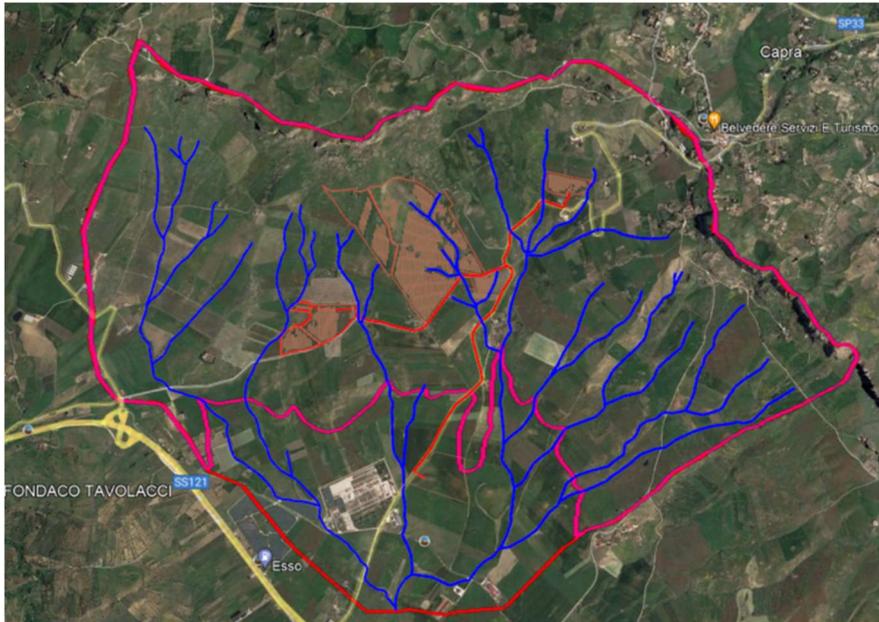


Fig. 12 - Bacino idrografico con quota superiore ai 350 m s.l.m.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 15
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

5. Pluviometria dell’area

Per poter caratterizzare in modo puntuale gli effetti della realizzazione dell’impianto agrivoltaico sulla componente idraulica è necessario valutare per lo stato di fatto la potenzialità di deflusso del terreno. Occorre, cioè valutare se a causa di un evento meteorico l’acqua tenda ad infiltrarsi o scorrere superficialmente.

5.1. Determinazione del parametro CN

Il parametro CN è un numero adimensionale che varia tra 100 (per i corpi idrici e suoli completamente impermeabili) e circa 30 per terreni molto permeabili con elevati tassi di infiltrazione.

Il parametro CN è essenzialmente legato alla litologia del terreno, al tipo di uso del suolo, alle condizioni iniziali di saturazione del terreno antecedenti l’evento meteorico e alla stagione di riposo o crescita della vegetazione.

L’agenzia del Dipartimento dell’Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) Natural Resources Conservation Service (NRCS), precedentemente nota come Soil Conservation service, ha fornito nel 1972 delle tabelle per facilitare la determinazione del parametro CN.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 16
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Dai risultati ottenuta dalla ricognizione dei luoghi in sito, i terreni oggetto di studio possono essere classificati, in base alla tabella riportata sopra, come Tipo C **“terreni con potenzialità di deflusso moderatamente alta”**. I terreni su cui sarà installato l’impianto, dunque, sono terreni poco permeabili per cui generalmente danno luogo a ruscellamenti superficiali.

Determinata la classe del terreno è necessario valutare il tipo di copertura (o uso del suolo). La seguente tabella fornisce, in funzione dell’uso del suolo, i valori del parametro CN. I terreni in esame possono essere considerati in parte come pascoli in parte come terreni coltivati, per cui il CN può assumere valori variabili tra 74 e 88.

Tipo di copertura (uso del suolo)	TIPO SUOLO			
	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO				
Senza trattamento di conservazione	72	81	83	91
Con interventi di conservazione	62	71	73	81
TERRENO DA PASCOLO				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	90
PRATERIE				
Buone condizioni	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSE O FORESTATI				
Terrano sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PRATIRASATI, PARCHI				
Buone condizioni con almeno il 75% dell’area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
AREE COMMERCIALI (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI (imper. 72%)	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI				
Impermeabilità media %	77	85	90	92
65	61	75	83	87
38	57	72	81	86
30	54	70	80	85
25	51	68	79	84
PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI	98	98	98	98
STRADE				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	
Inghisiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

5.2. Metodo TCEV Sicilia – Piogge Brevi – Superfici di Influenza

Il TCEV (*Two Component Extreme Value Distribution*) è un metodo che permette di determinare le altezze di pioggia h e le relative intensità i , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici ideata dal progetto VAPI.

Il punto di forza del metodo è quello di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi al prodotto di due funzioni di probabilità alla *Gumbel*. La prima funzione di probabilità (componente base) è utilizzata per generare eventi meteorici più rilevanti ma con una probabilità più bassa (eventi rari). La TCEV è quindi la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha la peculiarità di interpretare variabili fortemente asimmetriche con alcuni dati molto elevati che, le classiche distribuzioni statistiche non riescono a modellare. Dunque, il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica sarà eseguito utilizzando la modellazione di Conti et. al., 2007, implementata nel progetto VAPI Sicilia da Ferro e Cannarozzo, 1993.

La procedura di regionalizzazione si articola su tre livelli gerarchici in ognuno dei quali alcuni parametri statistici sono mantenuti costanti.

- **Livello di regionalizzazione 1:** si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico G_t delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante per la regione Sicilia. La Sicilia dà un punto di vista di zona pluviometrica è considerata dunque omogenea ed i valori dei parametri $\vartheta^*=2.24$ e $\Lambda^*=0.71$ sono costanti ed indipendenti dalla durata di pioggia t .
- **Livello di regionalizzazione 2:** in questo livello si individuano le sottozone omogenee, nelle quali è considerato costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. La regione Sicilia, come mostrato nella figura sottostante, è suddivisa in cinque sottozone pluviometriche. Sia l'area dell'impianto che l'area della sottostazione ricadono nella sottozona pluviometrica Z_0 - Z_5 . Per la sottozona di interesse è fornito un valore del parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 18
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

componente base $\Lambda_1 = 24,429$. Per la sottozona selezionata, la variabile adimensionale $h'_{t,T}$ (che rappresenta il rapporto tra l'altezza di pioggia di fissata durata t di tempo di ritorno T e la media della legge TCEV) può essere calcolata come segue:

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

i coefficienti a e b sono forniti in funzione della particolare sottozona, che per il caso in esame sono: $a=0.4485$, $b=0.5117$. Il parametro K_T è denominato *fattore di crescita* ed è un parametro che esprime la variabilità relativa degli eventi estremi alle diverse frequenze. Tale parametro risulta, dunque, indipendente dalla durata della precipitazione.

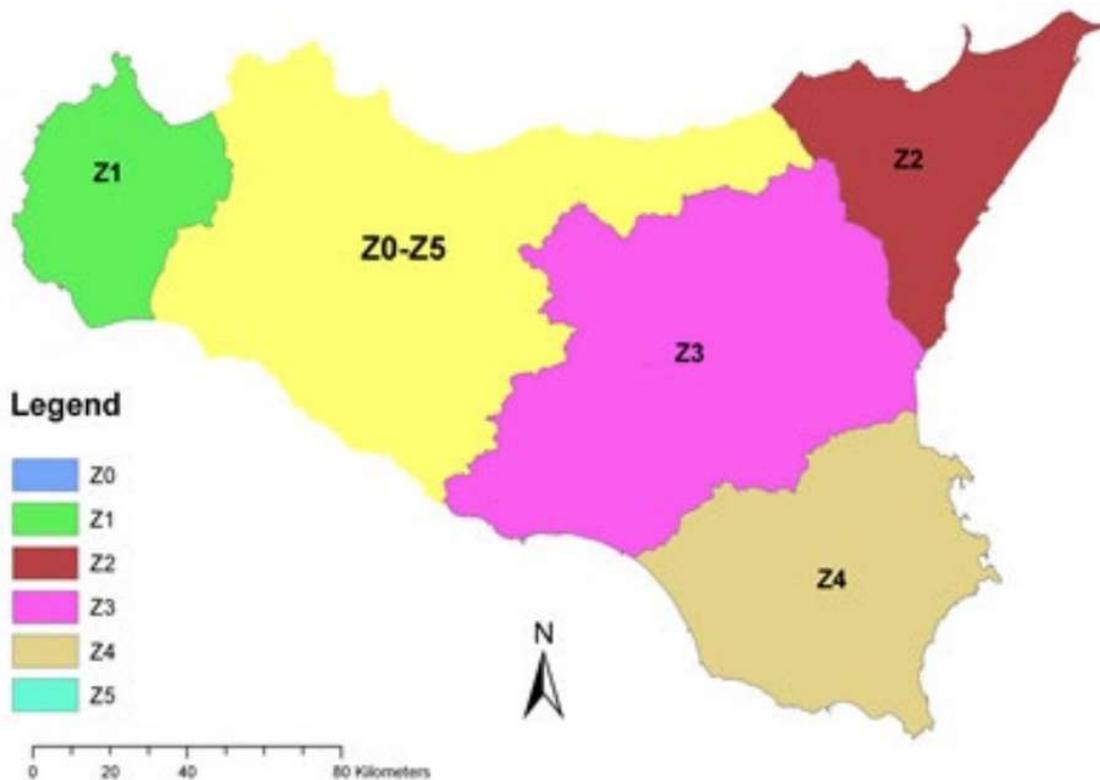


Fig. 13 – Sottostazioni pluviometriche omogenee per la Sicilia (Lo Conti et al. 2007)

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 19
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
Λ_1	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

<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

Fig. 14 – Valori dei parametri del metodo TCEV per le cinque sottozone omogenee (Lo Conti et al. 2007).

- **Livello di regionalizzazione 3:** in questo livello si esegue una correlazione tra il parametro della distribuzione di probabilità μ e le grandezze tipiche del sito quali altitudine, distanza dal mare e superficie del bacino.

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

dove $h_{t,T}$ rappresenta l'altezza di pioggia di assegnata durata t e fissato tempo di ritorno T . Le stazioni pluviografiche siciliane forniscono una media teorica μ coincidente con quella campionaria. Per tutte le stazioni pluviografiche siciliane, attive da almeno 10 anni, è stata formulata la seguente relazione:

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

i valori di a e n sono tabellati per ciascuna stazione pluviografica. Tuttavia, nell'area di interesse non sono presenti stazioni pluviografiche. In questi casi i coefficienti a e n possono essere stimati sulla base della carta iso- a , iso- n (Cannarozzo et al., 1995)

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

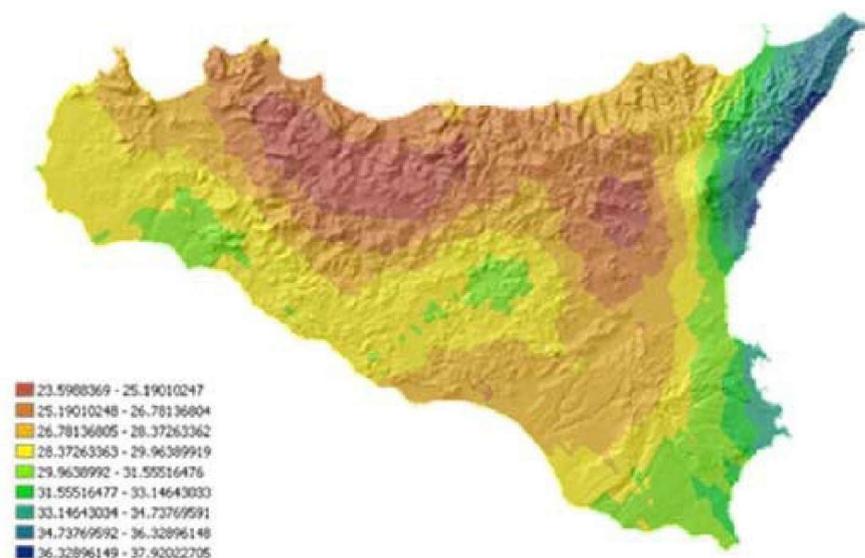


Fig. 15 – Valori dei coefficienti a per il territorio siciliano (Lo Conti et. al., 2007)

Per l'area in esame il coefficiente a può essere stimato pari a 24.65.

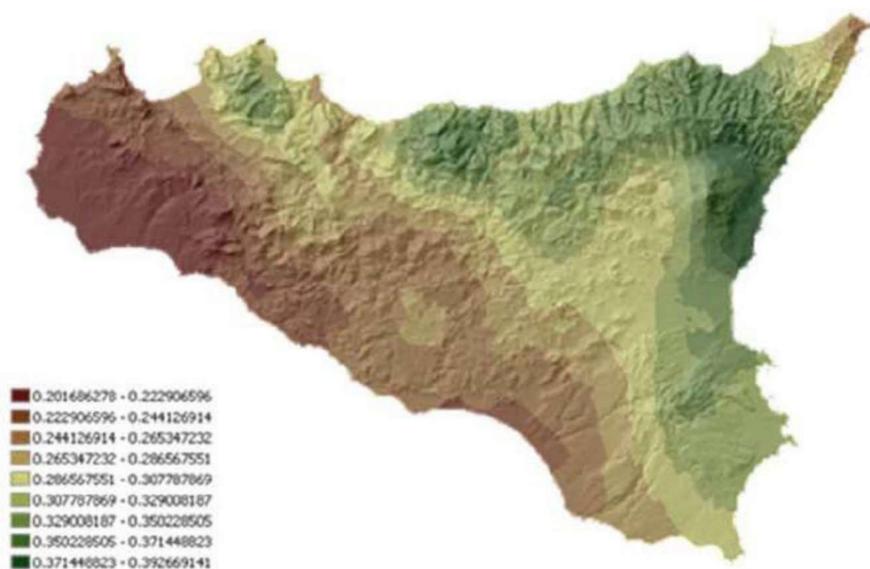


Fig. 16 – Valori dei coefficienti n per il territorio siciliano (Lo Conti et. al., 2007)

Il valore del coefficiente n risulta pari a 0.2663.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 21
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

5.3. Calcolo della Curva di Probabilità Pluviometrica

Il primo step prevede il calcolo del fattore di crescita per la sottozona pluviometrica di interesse.

$$K_T = a \ln(T) + b$$

Variazione del fattore di crescita con il tempo di ritorno			
T	a	b	K _T
30	0,4485	0,5117	2,037137026
50	0,4485	0,5117	2,266242318
100	0,4485	0,5117	2,577118828
200	0,4485	0,5117	2,887995339
300	0,4485	0,5117	3,06984644

Fig. 17 – Variazione del fattore di crescita con il tempo di ritorno

Fissato il tempo di ritorno T di progetto e noti i parametri a e n per l’area in esame è possibile calcolare la curva di probabilità pluviometrica.

Valore della media teorica	
μ(t)	t [ore]
24,65	1
29,64703	2
33,02739	3
35,65706	4
37,84013	5
39,72269	6
41,38725	7
42,88543	8
44,25188	9
45,51106	10
46,68096	11
47,77524	12
48,80452	13
49,77724	14
50,70024	15
51,57914	16
52,41861	17
53,22259	18
53,99444	19
54,73703	20
55,45286	21
56,14409	22
56,81265	23
57,46021	24

Fig. 18 – Valore della media teorica coincidente con quella campionaria

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 22
----------------------------	---------------------------------------	---------



Probabilità Pluviometrica					
t [ore]	ht,30 [mm]	ht,50 [mm]	ht,100 [mm]	ht,200 [mm]	ht,300 [mm]
1	50,21543	55,86287	63,525979	71,18909	75,67171
2	60,39507	67,18736	76,403922	85,62049	91,01183
3	67,28133	74,84808	85,11552	95,38296	101,389
4	72,63831	80,80753	91,892474	102,9774	109,4617
5	77,08553	85,75491	97,518515	109,2821	116,1634
6	80,92055	90,02123	102,37008	114,7189	121,9425
7	84,31149	93,79353	106,65985	119,5262	127,0525
8	87,3635	97,18878	110,52085	123,8529	131,6517
9	90,14714	100,2855	114,04235	127,7992	135,8465
10	92,71226	103,1391	117,2874	131,4357	139,712
11	95,09552	105,7904	120,30239	134,8144	143,3034
12	97,32471	108,2703	123,12247	137,9747	146,6627
13	99,42149	110,6029	125,77505	140,9472	149,8224
14	101,4031	112,8073	128,28186	143,7564	152,8085
15	103,2833	114,899	130,66055	146,4221	155,642
16	105,0738	116,8908	132,92557	148,9603	158,34
17	106,7839	118,7933	135,08898	151,3847	160,9171
18	108,4217	120,6153	137,16093	153,7066	163,3852
19	109,9941	122,3645	139,15008	155,9357	165,7546
20	111,5068	124,0474	141,06382	158,0803	168,0343
21	112,9651	125,6696	142,9086	160,1476	170,2318
22	114,3732	127,2361	144,69	162,1439	172,3537
23	115,7352	128,7512	146,41295	164,0747	174,4061
24	117,0543	130,2188	148,08178	165,9448	176,394

Fig. 19 – Probabilità Pluviometrica

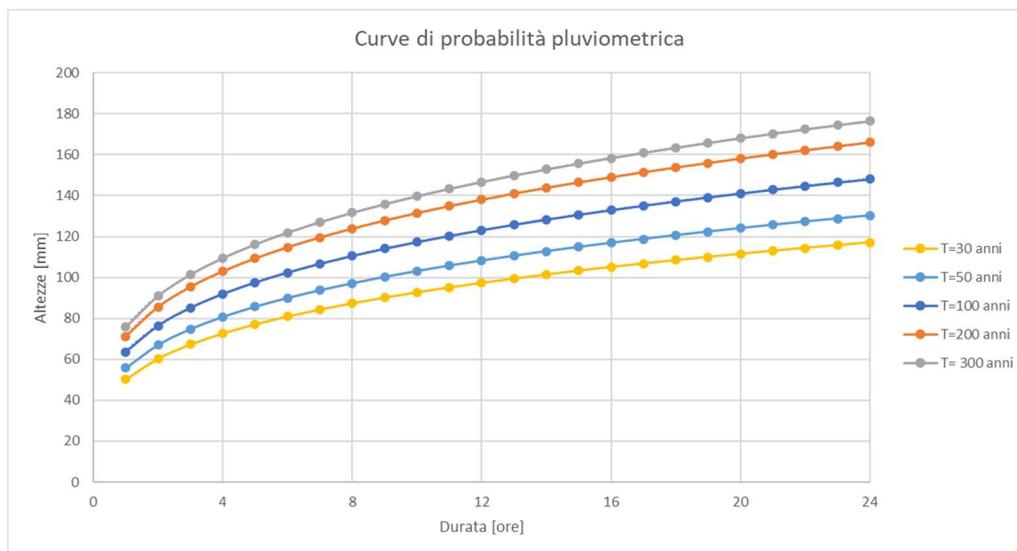


Fig. 20 – Curve di probabilità pluviometrica

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

5.4. Piogge di breve durata

È noto che gli eventi di durata breve seguono diverse dinamiche rispetto alle piogge di durata lunga; basti pensare ad esempio alle dinamiche temporalesche degli acquazzoni estivi. Di conseguenza non è possibile estrapolare dalle curve precedenti le altezze di pioggia di eventi meteorici che hanno una durata inferiore all’ora. È stato tuttavia ampiamente dimostrato che il rapporto tra l’altezza di pioggia $h_{t,T}$ con t minore di 60 minuti e l’altezza di pioggia $h_{60,T}$ di durata 60 minuti e pari tempo di ritorno T è relativamente poco dipendente dalla località e dipende solo dalla durata t espressa in minuti. Per la regione Sicilia, l’altezza di pioggia di eventi meteorici di durata inferiore all’ora può essere determinata con l’espressione calibrata da Ferro e Bagarello.

$$h_{t,T} / h_{60,T} = (t/60)^{0.386}$$

Probabilità pluviometrica Piogge di breve durata					
t [minuti]	$h_{t,30}$ [mm]	$h_{t,50}$ [mm]	$h_{t,100}$ [mm]	$h_{t,200}$ [mm]	$h_{t,300}$ [mm]
5	19,243019	21,407172	24,343746	27,280319	28,998105
10	25,146108	27,974149	31,811561	35,648973	37,893716
15	29,40641	32,713583	37,201137	41,688691	44,313741
20	32,860061	36,555646	41,570243	46,58484	49,518191
25	35,81588	39,84389	45,309558	50,775227	53,972438
30	38,427275	42,748973	48,613153	54,477332	57,907657
35	40,783176	45,36983	51,593531	57,817232	61,457863
40	42,940386	47,769648	54,322549	60,87545	64,708651
45	44,937697	49,991586	56,849286	63,706986	67,718483
50	46,802948	52,066611	59,208956	66,351302	70,529307
55	48,556881	54,017799	61,427803	68,837807	73,172382
60	50,215428	55,862873	63,525979	71,189085	75,671715

Fig. 21 – Probabilità Pluviometrica per piogge di breve durata

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

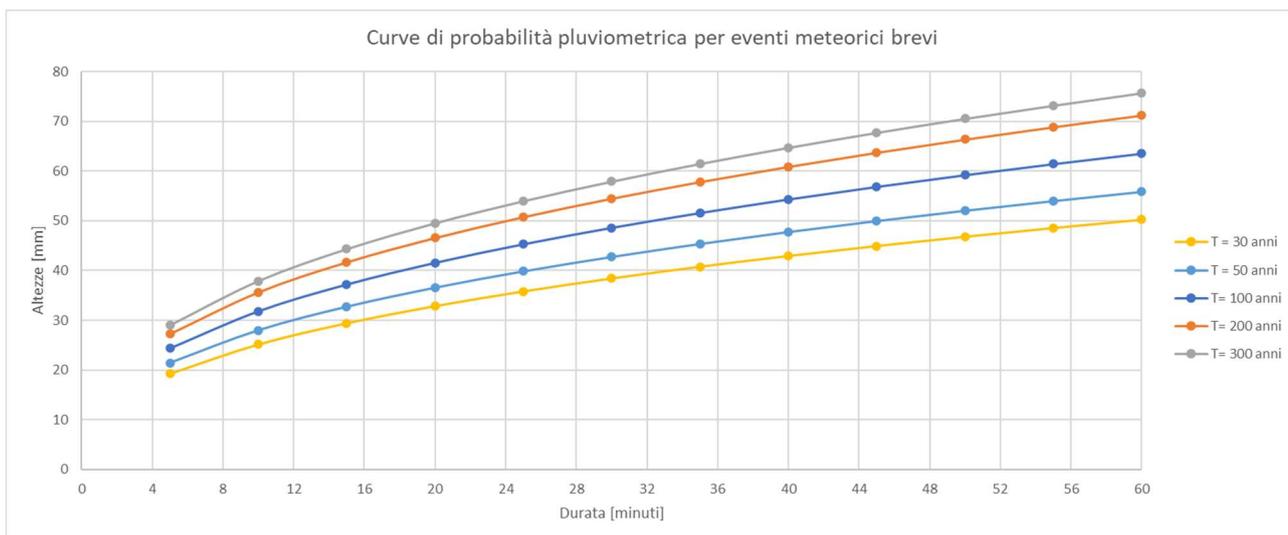


Fig. 22 – Curve di probabilità pluviometrica per eventi meteorici brevi

5.5. Impianto agrivoltaico – Ante intervento

5.5.1. Curva ipsografica e retta di compenso

Si definisce curva ipsografica l’insieme dei punti del grafico che rappresentano, per ogni quota, la superficie del bacino che si trova ad una quota superiore.

Per il caso in esame, la sezione di chiusura del bacino è stata posta lungo la prima confluenza del ricettore (torrente) a valle del parco agrivoltaico. Come bacino di competenza è stato considerato l’intero bacino a monte della sezione di chiusura. Si è ottenuto un bacino di studio di estensione pari a 11,3 km² e una lunghezza dell’asta principale pari a 3680 m. Determinato il punto a quota più alta del bacino e la quota della sezione di chiusura, lo stesso è stato discretizzato a intervalli di 50 m, rilevando la superficie del bacino che si trova al di sopra di una determinata quota.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 25
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Quota [m s.l.m.]	Superficie [kmq]
743	0,00
700	0,21
650	0,40
600	1,15
550	2,50
500	4,19
450	5,94
400	7,51
350	9,13
305	11,30

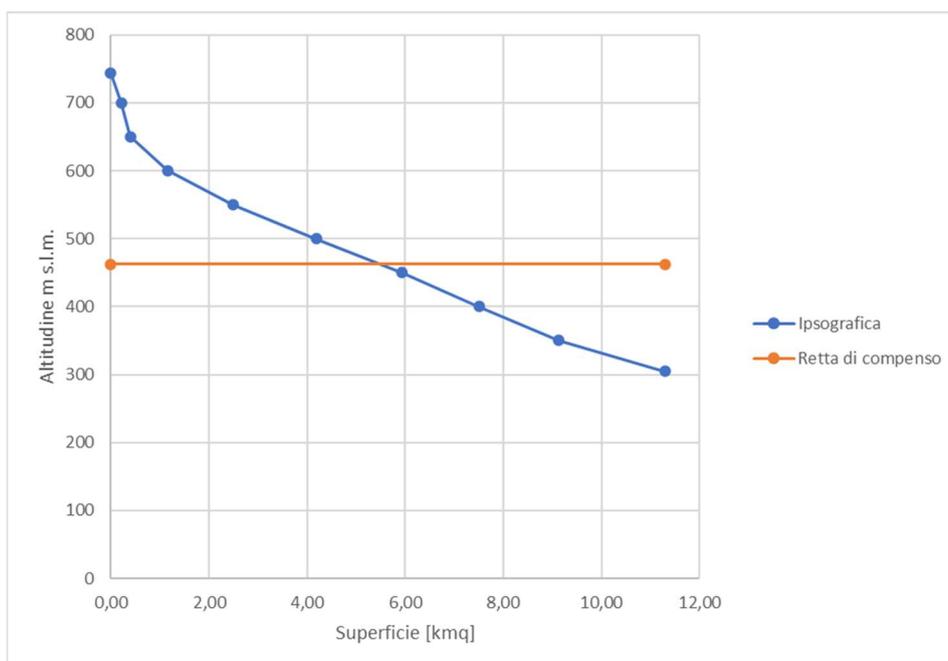


Fig. 23 – Individuazione della retta di compenso del bacino.

L'altitudine media del bacino è pari a 462,72 m s.l.m.; Tuttavia, l'altezza media che sarà necessaria per il calcolo idraulico con la formula di Giandotti è l'altezza media riferita alla sezione di chiusura e cioè 157,72 m.

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

5.5.2. Calcolo del tempo di corrivazione

Per tempo di corrivazione si intende il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia, caduta nel punto idraulicamente più sfavorevole per raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame.

Il tempo di corrivazione è calcolato utilizzando la formula di Giandotti

$$\tau_c = \frac{4S^{0,5} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{med}}}$$

Dove:

- S è la superficie del bacino espressa in kmq e pari a 11,3 kmq;
- L la lunghezza dell’asta fluviale principale pari a 3,68 km
- h_{med} l’altezza media del bacino espressa in m riferita alla sezione di chiusura e pari a 157,72 m.

da cui si ottiene un tempo di corrivazione pari a 1,88 ore che viene arrotondato per eccesso a 2 ore.

5.5.3. Ietogramma di pioggia lordo

Stabilito il valore della durata dell’evento, il volume totale di pioggia si ricava facilmente dalla curva di probabilità pluviometrica corrispondente a ciascun tempo di ritorno d’interesse interpolate con un’espressione del tipo:

$$h = a d^n$$

dove:

- h=altezza massima di pioggia
- a= coefficiente funzione del T
- d= durata pioggia
- n= coefficiente funzione del luogo geografico del bacino.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 27
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Considerando dunque come durata dell’evento il tempo di corrivazione del bacino si ottengono i seguenti valori:

	T=30 anni	T=50 anni	T=100 anni	T=200 anni	T=300 anni
h [mm]	60,395065	67,187357	76,4039225	85,620488	91,011833

Fig. – Piogge lorde.

I dati ottenuti forniscono le altezze di pioggia complessive per la durata di 2 ore. Nelle seguenti tabelle sono riportate le altezze di pioggia per ogni singola ora e le altezze di pioggia dello ietogramma di pioggia lorda del tipo Chicago.

T=30 anni			
Ora	h_{d,30} [mm]	h_d [mm]	h Chicago [mm]
1	50,21542768	50,215428	10,17963742
2	60,3950651	10,179637	50,21542768

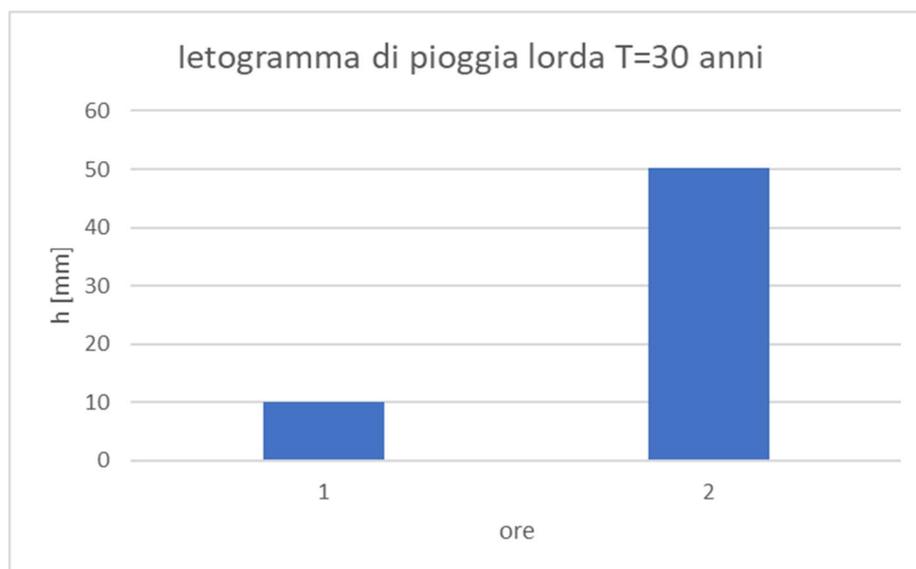


Fig. 24 – Ietogramma Chicago di pioggia lorda T=30 anni.

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

T=50 anni			
Ora	h _{d,50} [mm]	h _d [mm]	h Chicago [mm]
1	55,8628731	55,8628731	11,32448373
2	67,1873569	11,3244837	55,86287314

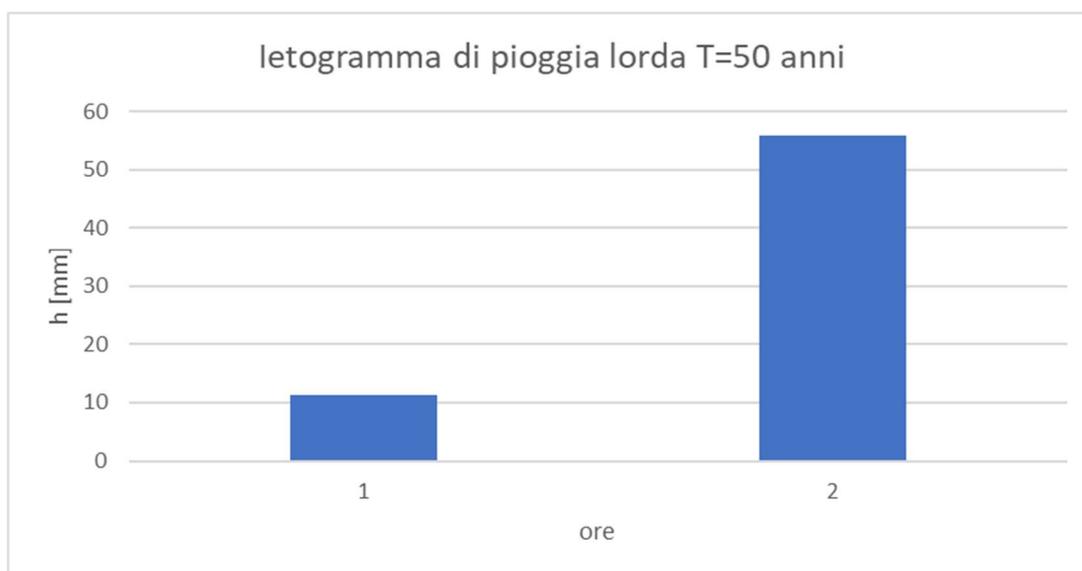


Fig.25 – Ietogramma Chicago di pioggia lorda T=50 anni.

T=100 anni			
Ora	h _{d,100} [mm]	h _d [mm]	h Chicago [mm]
1	63,5259791	63,52597912	12,87794338
2	76,4039225	12,87794338	63,52597912

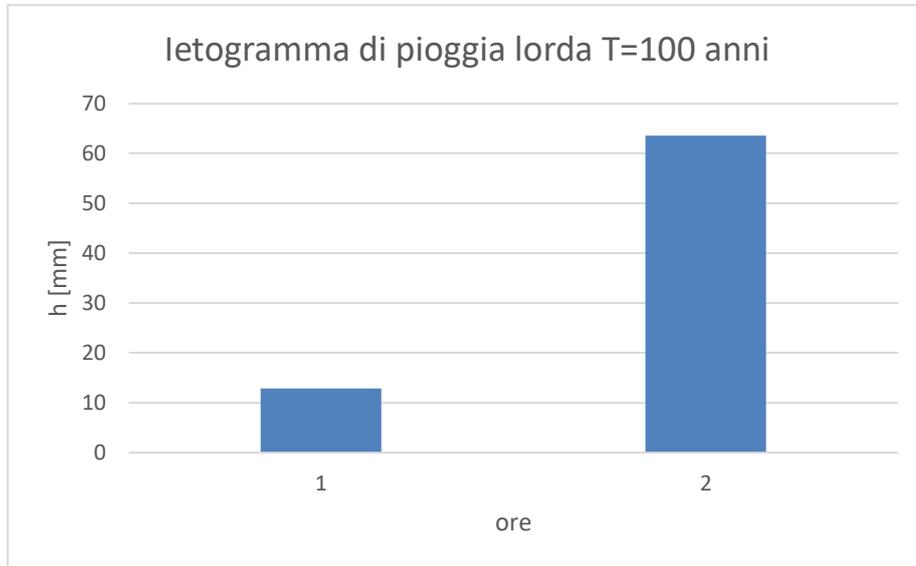


Fig. 26 – Ietogramma Chicago di pioggia lorda T=100 anni.

T=200 anni			
Ora	h _{d,200} [mm]	h _d [mm]	h Chicago [mm]
1	71,1890851	71,1890851	14,43140302
2	85,6204881	14,43140302	71,1890851

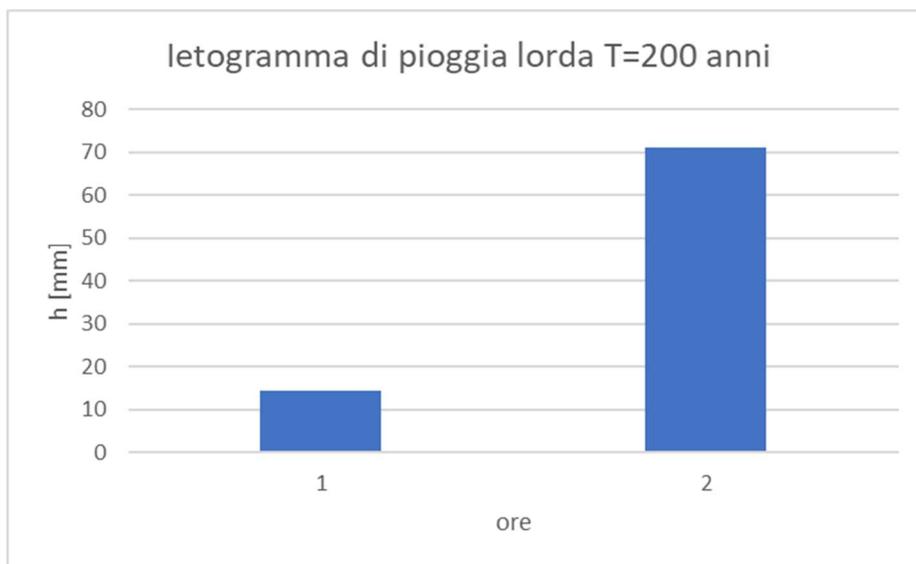


Fig. 27 – Ietogramma Chicago di pioggia lorda T=200 anni.

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

T=300 anni			
Ora	hd,300 [mm]	hd [mm]	h Chicago [mm]
1	75,6717147	75,67171474	15,34011866
2	91,0118334	15,34011866	75,67171474

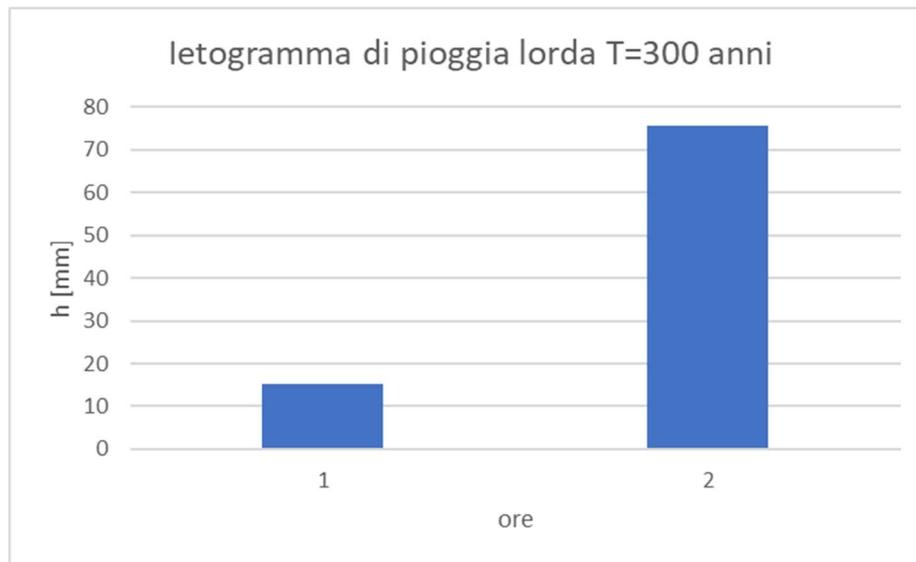


Fig. 28 – Ietogramma Chicago di pioggia lorda T=300 anni.

5.5.4. Ietogramma di pioggia efficace

Le altezze di pioggia ricavate sono altezze lorde, ovvero non tengono conto che parte della pioggia non giunge alla sezione di chiusura, in quanto una parte si infiltra nel terreno e un'altra parte è intercettata dalle piante che con il loro apparato fogliare ne intercettano una certa aliquota.

È dunque necessario ricavare, a partire dalle piogge lorde, l'altezza di pioggia netta, ovvero quella quantità d'acqua piovuta che effettivamente alimenta il corso d'acqua.

La quantità d'acqua che si infiltra nel terreno è collegata alla quantità d'acqua piovuta tramite un coefficiente che prende il nome di coefficiente di afflusso f . Tale coefficiente dipende dal tipo di vegetazione presente nel bacino e dalla estensione delle aree coperte da vegetazione, dalla morfologia del terreno che delimita zone più o meno estese di depressioni superficiali, e dalla permeabilità del

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

terreno. Ovviamente è da tenere in considerazione l’entità dell’evento, in quanto se entrano in gioco altezze d’acqua considerevoli rispetto alla capacità di saturazione del terreno, l’aliquota che non alimenta il corso d’acqua è trascurabile rispetto alla quantità d’acqua piovuta e quindi il coefficiente di afflusso tende all’unità.

Partendo da queste considerazioni per la stima del coefficiente di afflusso si è utilizzata la tabella di Lotti.

Tipo di terreno	T=100		T>500
	Bassa densità di copertura vegetale	Alta densità di copertura vegetale	
impermeabile	0,85	0,77	0,9
Debolmente permeabile	0,70	0,60	0,9
permeabile	0,55	0,50	0,7

Il terreno in esame, per caratteristiche geotecniche analizzate e per osservazioni in situ, può essere considerato omogeneamente debolmente permeabile. Gran parte del bacino risulta privo di vegetazione (sono presenti per lo più pascoli). Si è scelto comunque di procedere alla stima del coefficiente di afflusso come una media pesata tra le aree impermeabili con bassa densità di copertura (centri abitati), debolmente permeabili con bassa copertura (pascoli) e debolmente permeabili con alta densità di copertura (boschi e agrumeti).

Aree	Superficie pre [kmq]
Impermeabile	0,22
Poco permeabile e con bassa densità di vegetazione	11,08

Il coefficiente di afflusso per T=30, 50 e 100 anni risulta 0,702920354.

Estrapolando i dati per tempi di ritorno maggiori di 100 anni e inferiori a 500 si possono stimare i seguenti coefficienti:

- Coefficiente di afflusso per T=200 anni 0,752190265;
- Coefficiente di afflusso per T=300 anni 0,801460177.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 32
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Per calcolare la pioggia efficace si è deciso di utilizzare il metodo della sottrazione proporzionale, il quale consiste nell'ipotizzare che la perdita per infiltrazione avvenga in misura proporzionale alla pioggia precipitata. L'altezza di pioggia netta per ogni intervallo di tempo si ottiene dunque moltiplicando di volta in volta l'altezza di pioggia lorda per il coefficiente di afflusso. Si riportano a seguire gli ietogrammi di pioggia netta.

T=30 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	10,17963742	7,15547434	3,024163081
2	50,21542768	35,2974462	14,91798148

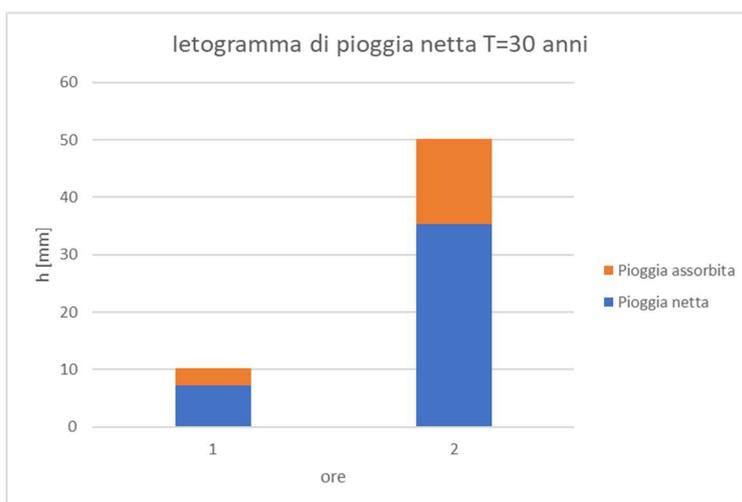


Fig. 29 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=30 anni.

T=50 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	11,32448373	7,960210113	3,364273618
2	55,86287314	39,26715056	16,59572258

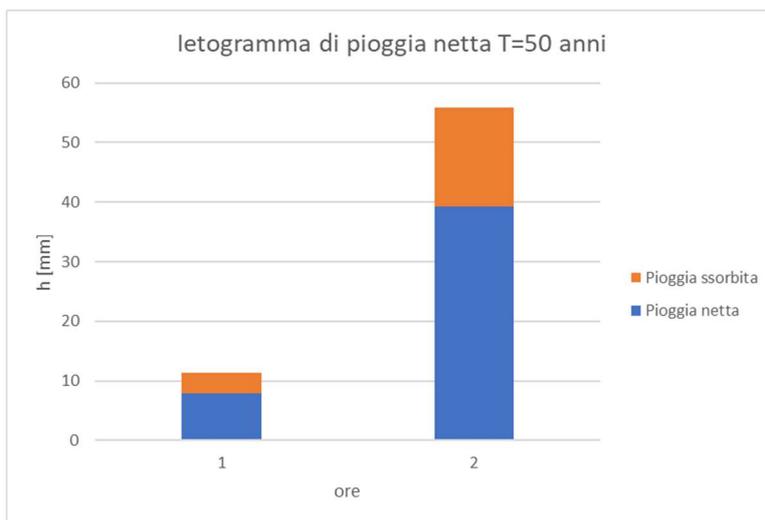


Fig. 30 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=50 anni.

T=100 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	12,87794338	9,052168516	3,825774859
2	63,52597912	44,65370373	18,87227539

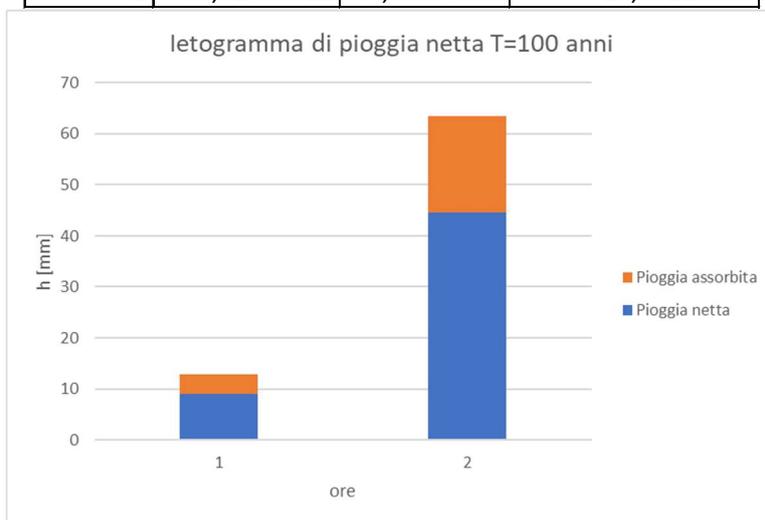


Fig. 31 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=100 anni.

T=200 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	14,43140302	10,85516086	3,576242158
2	71,1890851	53,54773679	17,64134831

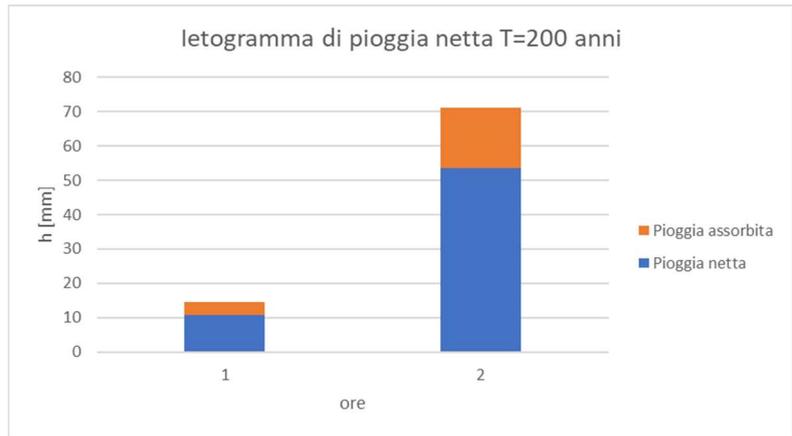


Fig. 32 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=200 anni.

T=300 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	15,34011866	12,29449421	3,045624443
2	75,67171474	60,64786589	15,02384885

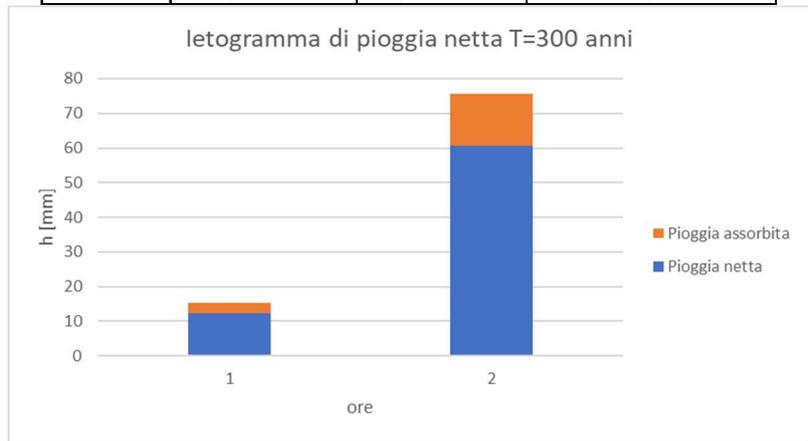


Fig. 33 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=300 anni.

5.5.5. Idrogramma di piena

Per idrogramma di piena si intende un grafico (Q,d) che mostra come la portata di un corso d’acqua varia, in corrispondenza di una sezione di chiusura, conseguentemente ad una precipitazione avvenuta in un lasso di tempo *d*.

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Per costruire i modelli di piena è necessario individuare le aree delle superfici isocorve che, nel caso in esame, saranno 2. I valori delle singole aree si individuano dal grafico della curva ipsografica, dividendola in 2 parti uguali. Le intersezioni permettono di individuare sull’asse delle ascisse i valori delle singole superfici, partendo dall’estremo destro si ottengono rispettivamente: S1,S2.

Superficie	Kmq
S1	5,36
S2	5,94

Per calcolare i modelli di piena relativo al generico tempo di ritorno si utilizzano i valori delle piogge nette dei corrispondenti ietogrammi. Per il calcolo delle portate si considera che, pur piovendo uniformemente in tutto l’intero bacino per tutte le 2 ore, nella prima ora defluiranno nel bacino solo le altezze di pioggia h1 relative alla S1, cioè la superficie più prossima alla sezione di chiusura; nella seconda ora, la pioggia precipitata durante la prima ora nella superficie S2 (per l’appunto di tempo di corrivazione t=2ore) raggiungerà la sezione di chiusura insieme al contributo della seconda ora della superficie S1, e così via secondo il seguente sistema:

$$Q_1 = \frac{h1S1}{\Delta t}$$

$$Q_2 = \frac{h2S1+h1S1}{\Delta t}$$

$$Q_3 = \frac{h2S2}{\Delta t}$$

Con h espressa in metri e le superfici espresse in metri quadrati e Δt in secondi.

Portate di piena [mc/s]					
d [ore]	T=30	T=50	T=100	T=200	T=300
1	10,65371	11,85187	13,47767	16,16213	18,30514
2	64,36051	71,59877	81,42048	97,63765	110,5838
3	58,24079	64,7908	73,67861	88,35377	100,069

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 36
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

5.6. Impianto agrivoltaico – Post intervento

La costruzione di un parco agrivoltaico è tale da non presentare alterazioni alla permeabilità del suolo. Allo stesso tempo, è bene ribadirlo, le opere non inducono immissione di scarichi di nessun tipo, né di natura civile, né industriale.

Tuttavia, in questa sede, si considera, ai fini di sicurezza, le aree coperte dai pannelli fotovoltaici come impermeabili e si andrà a valutare l'effetto della loro presenza.

5.6.1. Variazione del Coefficiente di Afflusso/Deflusso e ietogrammi di pioggia efficace post intervento

Il primo parametro da valutare è il coefficiente di afflusso alla luce del nuovo utilizzo del suolo:

Aree	Superficie pre [kmq]	Superficie Post [kmq]
Impermeabile	0,22	0,366
Poco permeabile e con bassa densità di vegetazione	11,08	10,93

L'installazione dei tracker provoca un piccolo incremento del coefficiente di afflusso, il quale risulta pari a:

- 0,704858407 per T= 30, 50 e 100 anni
- 0,754128319 per T= 200 anni
- 0,80339823 per T = 300 anni

Si riportano gli ietogrammi di pioggia efficace post intervento.

T=30 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	10,17963742	7,175203016	3,004434405
2	50,21542768	35,39476636	14,82066132

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 37
----------------------------	---------------------------------------	---------

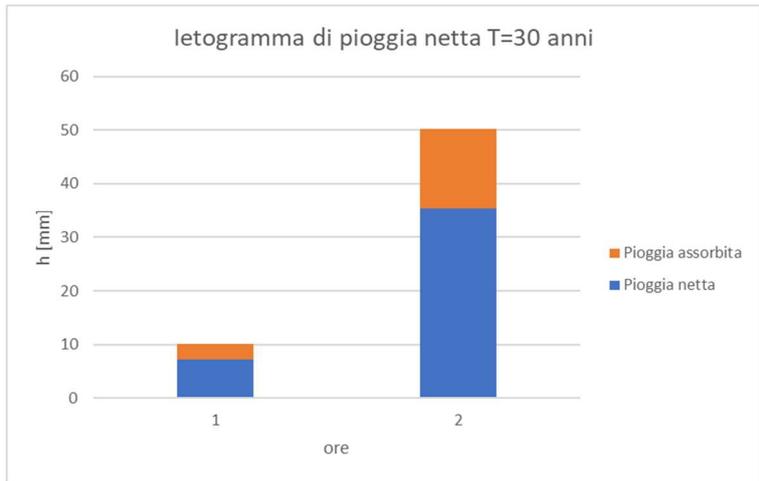


Fig. 34 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=30 anni post intervento.

T=50 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	11,32448373	7,982157563	3,342326168
2	55,86287314	39,37541577	16,48745737

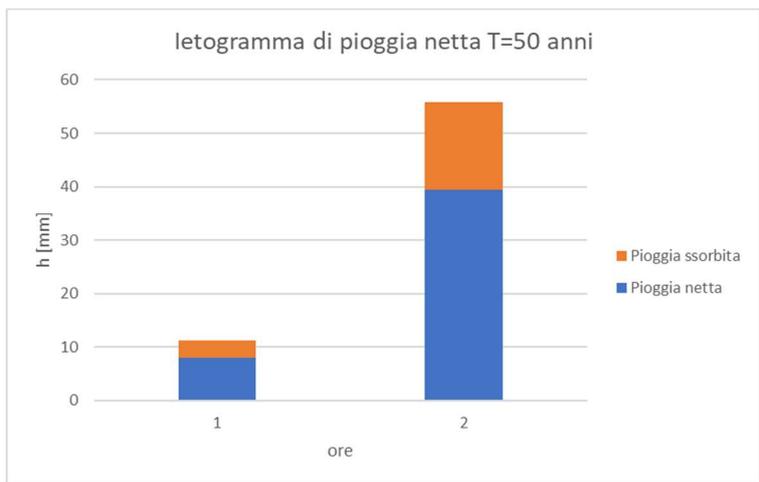


Fig.35 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=50 anni post intervento.

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

T=100 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	12,87794338	9,077126653	3,800816722
2	63,52597912	44,77682045	18,74915867

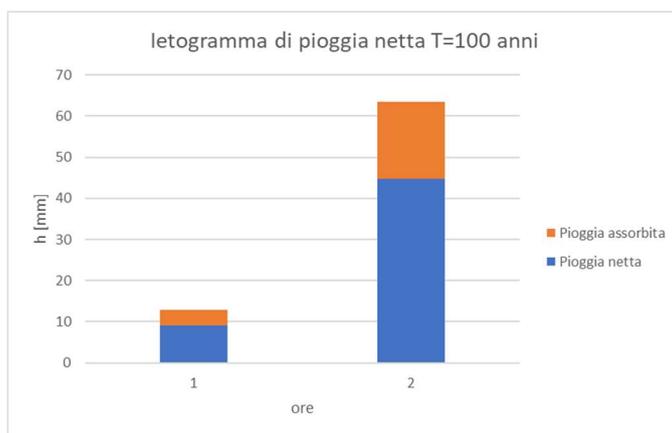


Fig. 36 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=100 anni post intervento.

T=200 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	14,43140302	10,8831297	3,54827332
2	71,1890851	53,68570508	17,50338002

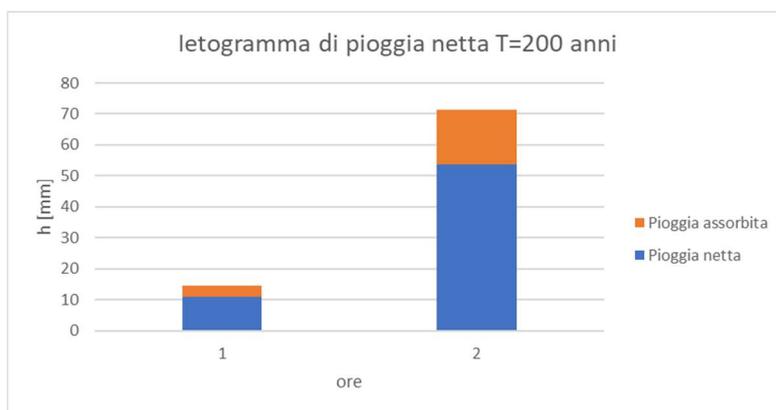


Fig. 37 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=200 anni post intervento.

T=300 anni			
Ora	h totale [mm]	h netta [mm]	h non efficace [mm]
1	15,34011866	12,32422418	3,01589448
2	75,67171474	60,79452169	14,87719306

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

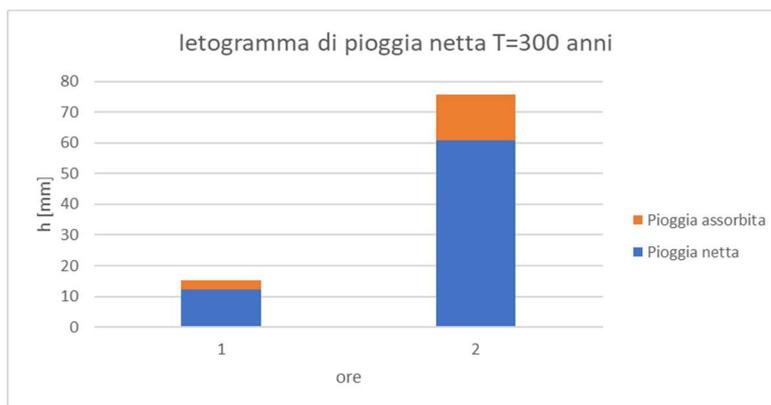


Fig. 38 – Ietogramma Chicago di pioggia netta T=300 anni post intervento.

5.6.2. Portate di piena post intervento

Si riportano le portate di piena post intervento.

Portate di piena [mc/s]					
d [ore]	T=30	T=50	T=100	T=200	T=300
1	10,68308	11,88455	13,51483	16,20377	18,3494
2	64,53796	71,79618	81,64497	97,88921	110,8513
3	58,40136	64,96944	73,88175	88,58141	100,311

5.6.3. Variazione delle portate

In questo paragrafo si riportano le variazioni delle portate conseguenti la realizzazione del parco fotovoltaico. Si ricorda che in questa fase si è ipotizzato che l’area al di sotto dei pannelli sia completamente impermeabile.

Variazione portate [mc/s]					
d [ore]	T=30	T=50	T=100	T=200	T=300
1	0,02937381	0,0326773	0,03716	0,041642	0,044265
2	0,17745122	0,1974082	0,224488	0,251568	0,267409
3	0,16057826	0,1786376	0,203143	0,227648	0,241982

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 40
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

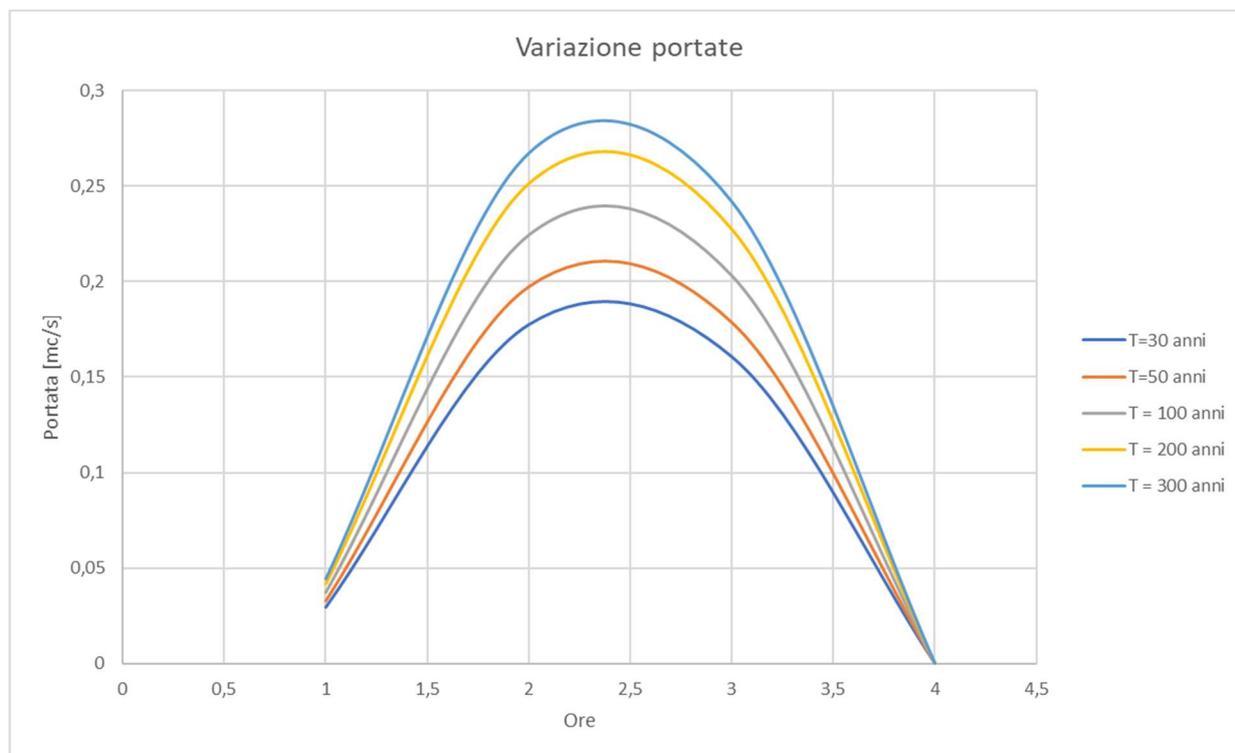


Fig. 39 – Incremento dell'onda di piena dovuto alla realizzazione del parco agrivoltaico.

Come mostrato dal grafico soprastante, la realizzazione del parco provoca, in corrispondenza dell'evento di piena, un incremento irrisorio di portata.

5.6.4. Dimensionamento delle vasche di laminazione

Secondo quanto riportato al punto A.2. del D.D.G. 102 del 23/06/2021, emanato congiuntamente dalla DRU e dall'Autorità di Bacino della Regione Siciliana, il calcolo dei volumi di laminazione deve essere eseguito considerando un T= 30 anni, nel rispetto dei franchi di sicurezza e T= 50 anni per la verifica delle opere in condizioni limite.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 41
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

In questa relazione, si è deciso di utilizzare anche tempi T maggiori per eseguire delle valutazioni su vasta scala delle condizioni del bacino e valutare, come sarà riportata nei seguenti paragrafi, la possibilità di inserire opere di protezione degli argini e delle linee d’acqua.

Per ciò che riguarda il dimensionamento delle vasche di laminazione, e dunque delle piogge di progetto, in questa relazione si è deciso di considerare l’intero bacino nel suo insieme. Considerando l’intero bacino a monte della sezione di chiusura, si ottiene un’area di calcolo pari a 11,3 km², una lunghezza dell’asta principale pari a 3680 m, un tempo di corrivazione di 2 ore e dunque devono essere considerati eventi meteorici, estesi per tutta l’area del bacino di durata 2 ore. Come mostrato dai calcoli precedenti, la piena nella sezione di chiusura si ottiene dopo circa 2 ore e 15 minuti dall’inizio dell’evento meteorico.

Se invece di considerare l’intero bacino si considerassero i singoli sottobacini che afferiscono alle vasche, avremmo bacini molto piccoli e aste molto corte e di conseguenza tempi di corrivazione dell’ordine dei minuti. In questo caso, la pioggia di progetto che si dovrebbe considerare sarebbe appunto di durata pari a una decina di minuti. Ne conseguirebbero dunque portate molto piccole e soprattutto tempi di detenzione per le vasche molto ridotte.

Nella pratica, vasche dimensionate in questo modo inizierebbero a rilasciare la portata a valle dopo qualche decina di minuti.

Nel caso di pioggia prolungata ci si potrebbe trovare nella condizione in cui le vasche di laminazione rilascino la portata, accumulata, durante la piena del corpo idrico ricettore, la quale invece avviene dopo circa 2 ore e quindici minuti. In questo caso verrebbe meno il principio di invarianza idraulica, in quanto ci troveremmo nella condizione di riversare la portata aggiuntiva in corrispondenza della piena del corpo idrico recettore.

Dunque, ai fini di sicurezza per l’intero bacino, al fine di rispettare in senso stretto il principio di invarianza idraulica e garantire la non esondazione dei torrenti, si è considerato l’intero bacino idrografico e dimensionato le vasche di laminazione con le piogge critiche per l’intero bacino.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 42
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

In questo caso la portata in eccesso da dover laminare per i vari sottobacini è stata ricavata dalla differenza dei diagrammi di piena post- e ante-intervento sopra mostrati. Questa portata in eccesso è ovviamente dovuta alla presenza dei pannelli in tutti i 6 sottobacini.

Per trovare la portata di riferimento del singolo sottobacino, la portata totale viene suddivisa attraverso una media pesata delle aree pannellizzate nei vari sottobacini. Il peso percentuale della pannellizzazione è riportato nella tabella seguente.

Per ciò che concerne l’anticipo del picco di piena dovuto alla pannellizzazione, risulta di qualche decina di minuti e non visibile graficamente. Ovviamente, al fine di garantire un corretto funzionamento delle vasche di laminazione, il tempo di detenzione da afferire alle singole vasche è stato leggermente aumentato per le vasche più a valle e per le vasche delle aree con più pannelli in modo da garantire che il rilascio delle portate dalle singole vasche non avvenga in contemporanea, garantendo un afflusso controllato delle acque del torrente.

Sottobacino	Area [ha]	Area [kmq]	Peso percentuale[%]
Area A	2,6758	0,026758	5,51%
Area B	6,433	0,06433	13,24%
Area C	3,8028	0,038028	7,83%
Area D	34,2308	0,342308	70,44%
Area E	2,0954	0,020954	4,31%
Area F	3,1613	0,031613	6,51%
Totale	48,5963	0,485963	100,00%

5.6.4.1. Vasca di laminazione area A

A causa della realizzazione dell’impianto nel sottobacino A ci sarà un incremento di portata pari a 9,7 l/s. Ai fini di sicurezza si considera un tempo di detenzione pari a 15 minuti. Risulta dunque necessario un volume di laminazione pari a 8730 l, ovvero 8,73 mc.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 43
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Sarà realizzata una vasca di dimensione in pianta 5 x 2 m e profondità 1 m. Al fine di garantire una portata massima di uscita dalla vasca di laminazione di 5 l/s sarà utilizzato per la condotta di scarico un diametro DN 50.

5.6.4.2. Vasca di laminazione area B

A causa della realizzazione dell’impianto nel sottobacino B ci sarà un incremento di portata pari a 23,49 l/s. Ai fini di sicurezza si considera un tempo di detenzione pari a 15 minuti. Risulta dunque necessario un volume di laminazione pari a 21.141 l, ovvero 21,14 mc. Sarà realizzata una vasca di dimensione in pianta 8 x 2 m e profondità 1,5 m. Al fine di garantire una portata massima di uscita dalla vasca di laminazione di 5 l/s sarà utilizzato per la condotta di scarico un diametro DN 50.

5.6.4.3. Vasca di laminazione area C

A causa della realizzazione dell’impianto nel sottobacino C ci sarà un incremento di portata pari a 13,89 l/s. Ai fini di sicurezza si considera un tempo di detenzione pari a 15 minuti. Risulta dunque necessario un volume di laminazione pari a 12.501 l, ovvero 12,50 mc. Sarà realizzata una vasca di dimensione in pianta 5 x 3 m e profondità 1 m. Al fine di garantire una portata massima di uscita dalla vasca di laminazione di 6,5 l/s sarà utilizzato per la condotta di scarico un diametro DN 50.

5.6.4.4. Vasca di laminazione area D

A causa della realizzazione dell’impianto nel sottobacino D ci sarà un incremento di portata pari a 111,10 l/s. Ai fini di sicurezza si considera un tempo di detenzione pari a 15 minuti. Risulta dunque necessario un volume di laminazione pari a 99.990 l, ovvero 99,99 mc. Per quest’area saranno realizzate 5 vasche di laminazione: la prima 8x3x1,5m, la seconda 4x2x1m, la terza 8x4x1,5m, la

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 44
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

quarta 5x3x1m e la quinta 3x2x1m. La loro dislocazione è visibile nella tavola di progetto Layout di Impianto e delle opere di regimentazione delle acque superficiali. Tutte e 5 le vasche avranno una condotta di scarico DN 50

5.6.4.5. Vasca di laminazione area E

A causa della realizzazione dell’impianto nel sottobacino E ci sarà un incremento di portata pari a 7,64 l/s. Ai fini di sicurezza si considera un tempo di detenzione pari a 15 minuti. Risulta dunque necessario un volume di laminazione pari a 6.876 l, ovvero 6,87 mc. Per il lotto E sarà realizzata una vasca di laminazione di dimensione 4x2x1 m, con condotta di scarico DN 50 per limitare la portata di 6,5 l/s

5.6.4.6. Vasca di laminazione area F

A causa della realizzazione dell’impianto nel sottobacino E ci sarà un incremento di portata pari a 11,55 l/s. Ai fini di sicurezza si considera un tempo di detenzione pari a 15 minuti. Risulta dunque necessario un volume di laminazione pari a 10.395 l, ovvero 10,40 mc. Per il lotto F sarà realizzata una vasca di laminazione di dimensione 4x3x1 m, con condotta di scarico DN 50 per limitare la portata di 6,5 l/s

5.6.4.7. Considerazioni finali

In realtà il principio dell’invarianza idraulica era implicitamente rispettato. Infatti, i pannelli scaricano la pioggia sul terreno sottostante che rimane permeabile come nella situazione attuale.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 45
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

Si aggiunga che i pannelli ruotano nel corso della giornata quindi le superfici scolanti restituiscono le acque meteoriche non sempre sullo stesso punto. Questa considerazione fugge anche l’eventuale preoccupazione, lecita solo nel caso di pannelli fissi, che gli scarichi continui potrebbero indurre innaturali saturazioni localizzate del suolo.

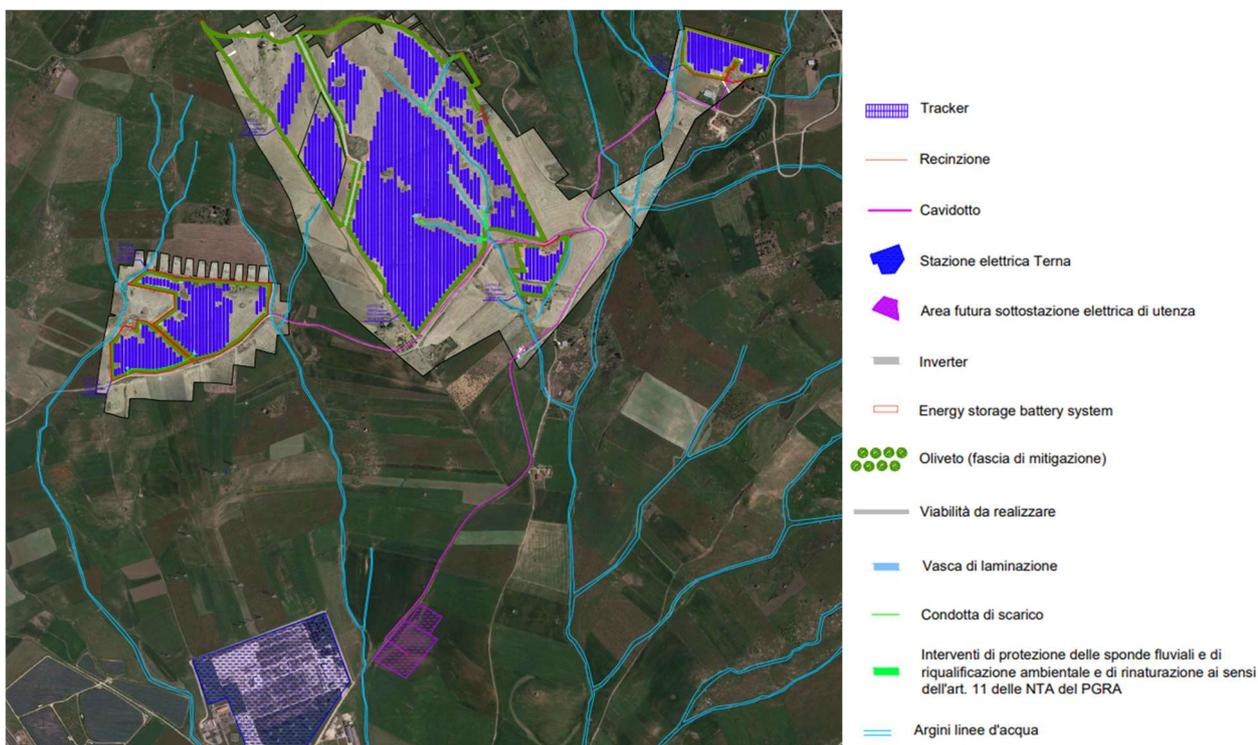


Fig. 40 – Layout di progetto con indicazione delle opere di regimentazione delle acque superficiali e degli interventi di protezione degli argini

6. Considerazioni sulle linee d’acqua interferenti con il parco agrivoltaico

Ai fini della sicurezza idraulica, è necessario garantire che le aree del parco fotovoltaico non siano soggette ad inondazioni dei corpi idrici. Tuttavia, le linee d’acqua in prossimità delle aree di

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 46
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

installazione dei pannelli non costituiscono fiumi o torrenti, ma sono impluvi che scorrono rapidamente verso valle.

In aggiunta, va evidenziato che tali linee d’acqua hanno dei sottobacini di competenza molto modesti. Tuttavia, si garantirà la non installazione dei moduli fotovoltaici ad una distanza inferiore ai 10 m dalle sponde di tali canali.

7. Considerazioni sull’erosione – Interventi di protezione delle sponde fluviali e di riqualificazione ambientale e di rinaturazione – art. 11 delle NTA del PGRA.

È noto che la corrente idrica esercita un’azione di trasporto dei materiali disposti sul contorno bagnato. In presenza di particelle limose e argillose, il trasporto è molto più accentuato e la corrente sposta diverse quantità di particelle che possono portare all’erosione delle sponde con conseguenti movimenti franosi lungo le stesse.

Dalle indagini e ricognizioni in situ si è evidenziato che alcuni tratti di alcune linee d’acqua presentano segni di erosione. Al fine di proteggere gli argini saranno posizionate delle scogliere fluviali, che saranno rinaturalizzate con habitat 6220*

La presenza delle scogliere porterà diversi benefici:

- Protezione delle sponde dall’erosione fluviale;
- Incremento delle condizioni di stabilità delle sponde nei confronti di movimenti gravitativi verso valle;
- Creazione di aree ripariali per piccoli roditori, anfibi e rettili;
- Creazione di habitat di vegetazione spontanea 6220*;
- Creazione di aree ripariale per fauna migratrice.

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 47
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

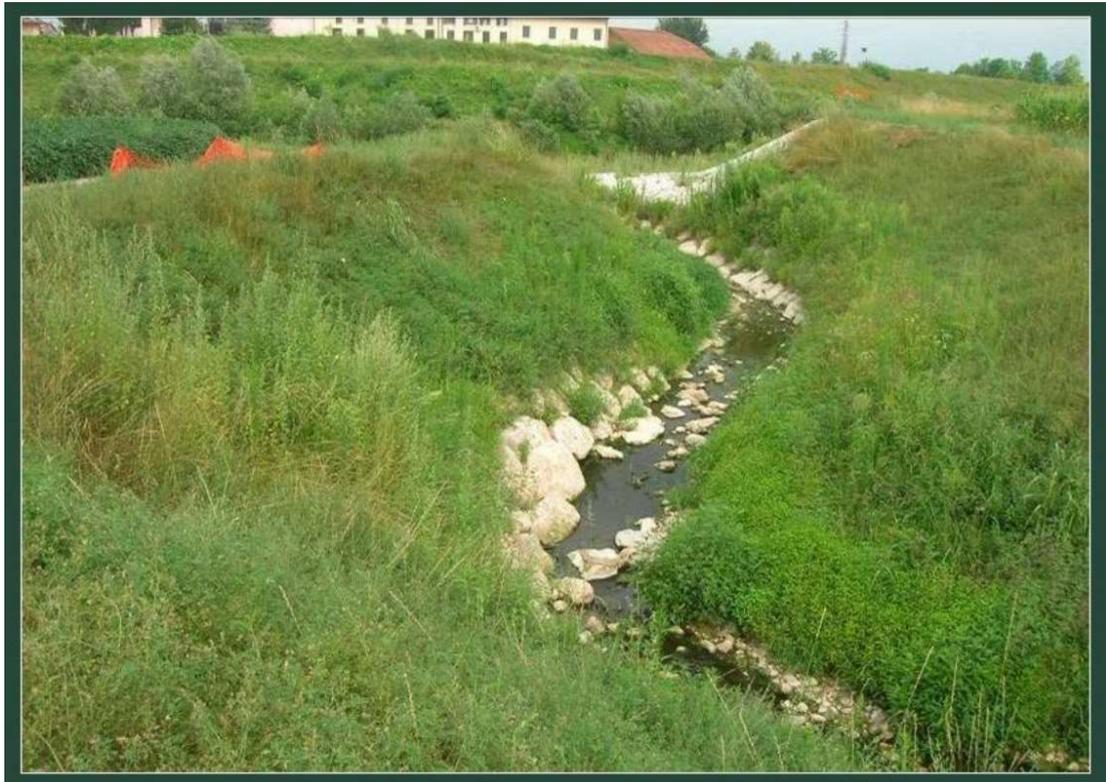


Fig 41 – Esempio di scogliere fluviali

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 48
----------------------------	---------------------------------------	---------

	Documentazione di progetto	 Emily Middleton & Partners srl
	Relazione Idraulica e di invarianza idraulica	
	Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato “Canalotto” per una potenza complessiva pari a 33,99 MW	

8. Risoluzioni delle interferenze con il reticolo idrografico

La soluzione delle interferenze dei cavidotti con i corsi d’acqua esistenti consentirà di eliminare l’interessamento diretto con le sezioni idrauliche, rispettando e lasciando inalterati i franchi idraulici previsti, escludendo qualsiasi interferenza con il livello di massima piena del corso d’acqua ed evitando qualunque sovrapposizione con aree a pericolosità e a rischio idraulico e di alluvione di qualsiasi livello.

Le interferenze dei cavidotti con i corsi d’acqua sono sei. Sono costituite da attraversamenti di tombini. La risoluzione delle interferenze prevede l’utilizzo di Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.).

Le interferenze e gli attraversamenti sono stati gestiti conformemente al R.D n° 523/1904, alle N. di A. dei PAI e al D.S.G. 50/2021 del 05/03/2021.

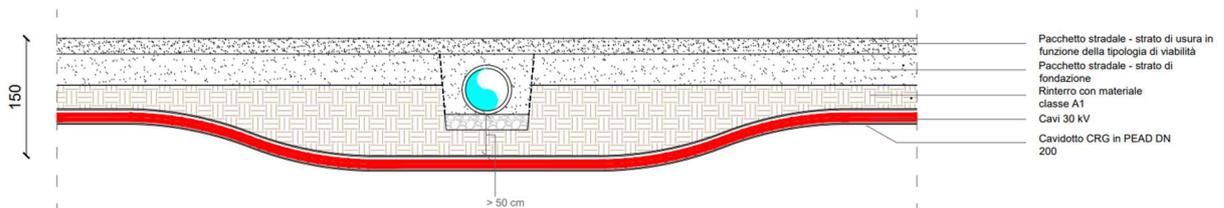


Fig. 42 – Tipico attraversamento in TOC (Tombino)

Rev. 00 – Dicembre 2023	Comune: Ciminna Provincia: Palermo	Pag. 49
----------------------------	---------------------------------------	---------