

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

**Realizzazione di un Parco Agrivoltaico
di potenza nominale pari a 78 MWp
denominato “IUDICA” sito nei
Comuni di Aidone, Ramacca e Castel di Iudica
Località “Cacocciola” e “Belmontino Sott.no”**

PROPONENTE:



Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

Rev00	Integrazione documentale	Data ultima elaborazione: 13/05/2023
Redatto		Approvato
Ing. Adamo Cali Ing. Daniele D. Cianciolo		ENERLAND ITALIA s.r.l.
Codice Elaborato		Oggetto
IUDICA-IAR13		PROGETTO DEFINITIVO

TEAM ENERLAND:

Ing. Annamaria PALMISANO
Dott.ssa Ilaria CASTAGNETTI
Ing. Emanuele CANTERINO
Dott. Claudio BERTOLLO
Dott. Guglielmo QUADRIO
Dott. Agr. Patrick VASTA



INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOMORFOLOGICO	1
3. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEI BACINI	3
4. CALCOLO DEI TEMPI DI CORRIVAZIONE	7
5. ANALISI IDROLOGICA	8
5.1 Metodo di Gumbel	9
5.2 Metodo TCEV	9
6. STIMA DELLA PORTATA AL COLMO	17
6.1 Calcolo delle piogge nette.....	17
6.2 Trasformazione afflussi-deflussi	23
7. STUDIO PER LA VALUTAZIONE DEL PRINCIPIO DI INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA	28
7.1 Lotto 1 – Ovest.....	30
7.2 Lotto 2- Centro	32
7.3 Lotto 3 - Est.....	34
7.4 Lotto 4 – Nord-Est.....	36
8. MISURE IDRAULICHE DI MITIGAZIONE	38
8.1 Volumi di laminazione e sistemi di drenaggio- Lotto 1 Ovest	38
8.2 Volumi di laminazione e sistemi di drenaggio - Lotto 2 Centro.....	44
8.3 Volumi di laminazione e sistemi di drenaggio - Lotto 3 Est.....	47
8.4 Volumi di laminazione e sistemi di drenaggio - Lotto 4 Nord-Est	54
8.5 Trincee drenanti su fossi	57
8.6 Interventi di manutenzione.....	58
9. INDAGINI PER LA VALUTAZIONE DELLA PRESENZA DI FALDA.....	59
10. INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO.....	68
10.1 T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata).....	68

10.2 Calcolo profondità di posa per gli attraversamenti69

10.3 Verifica della profondità di erosione70

10.3.1 Calcolo della profondità di posa72

11. CONCLUSIONI73

1. INTRODUZIONE

Il presente studio è redatto al fine di definire la compatibilità idraulica per la realizzazione ed esercizio di un parco agrivoltaico avanzato della potenza nominale di 78,00 MWp, nelle località C.da "Cacocciola" e "Belmontino Sott.no" ricadenti, il primo, nel Comune di Ramacca (CT) e l'altro nel Comune di Aidone (EN).

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

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

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOMORFOLOGICO

Il sito di progetto si trova nel settore centro-orientale della Sicilia, all'interno del territorio comunale di Ramacca (CT), nella località chiamata "C.da Cacocciola" e nel comune di Aidone (EN), nella località denominata "Belmontino Sott.no"; I lotti di terreno siti nel Comune di Aidone sono costeggiati dalle sponde Est e Sud-Est del Lago Ogliastro e costeggiate dalle Strade Provinciali 73, 182. I lotti di terreno siti nel Comune di Ramacca sono in parte situati sulla destra della sponda del Fiume Dittaino e dalla Strade Statale 228.

Le aree in studio sono poste ad una quota compresa tra i 130 ed i 220 m s.l.m., hanno un'estensione complessiva di 109,89 ha e hanno esposizione prevalentemente verso N, NW e NE.

Nella cartografia dell'Istituto Geografico Militare il sito di progetto rientra nelle Tavolette:

- 269 III SO denominata "Monte Crunici" in scala 1:25.000;
- 269 III NO denominata "Raddusa" in scala 1:25.000;
- 269 III NE denominata "Castel di Iudica" in scala 1:25.000;
- 269 II NO denominata "Monte Turcisi" in scala 1:25.000;

e nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 l'area rientra nei Fogli 632150, 633130 e 633090. Di seguito si riportano le coordinate geografiche (WGS84) (riferite ad un punto centrale delle due aree in studio):

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

Località "Belmontino Sott.no" e "C.da Cacocciola"	
Latitudine	37°25'59" N
Longitudine	14°41'00" E
Potenza PV di picco (nominale)	78.000 kW _p
Potenza PV in immissione	65.000 kW _{ac}
Potenza Sistema di Accumulo	10.000 kW _{ac}
Potenza AC in immissione	75.000kW _{ac}

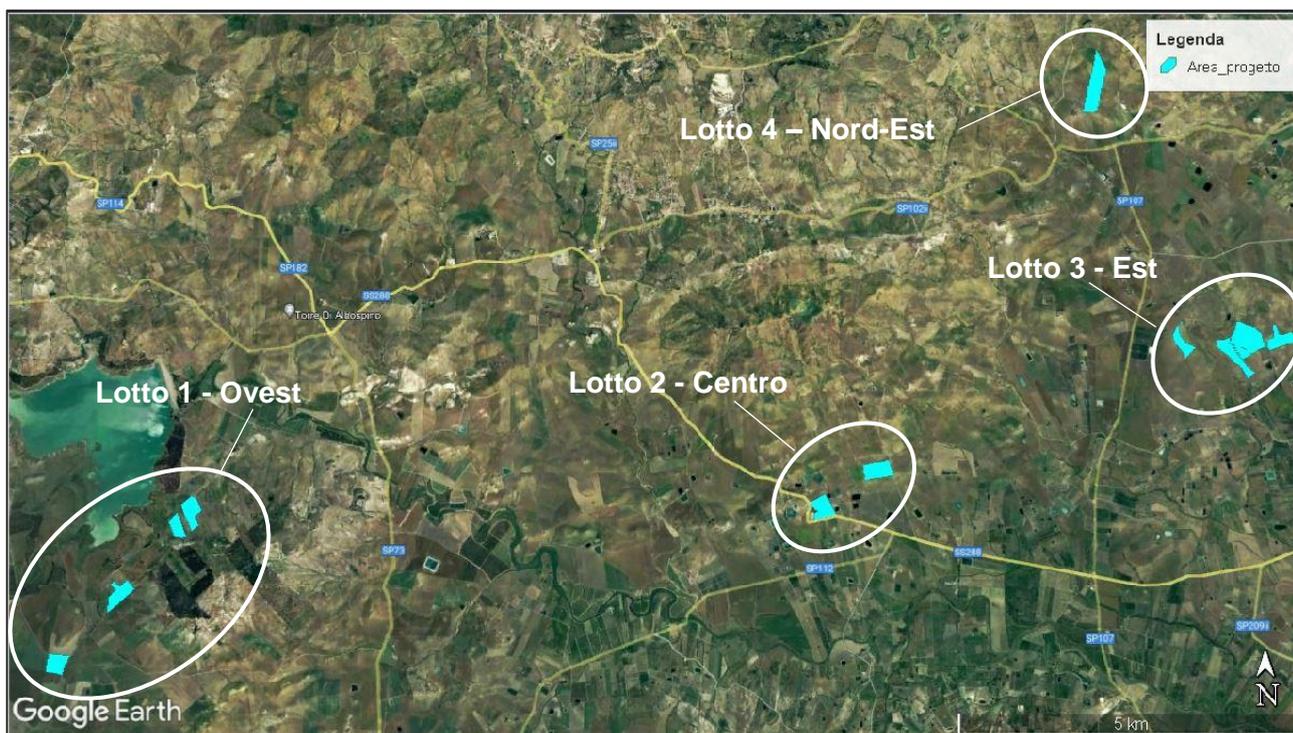


FIGURA 2.1- INQUADRAMENTO TERRITORIALE- AREA DI PROGETTO SU ORTOFOTO

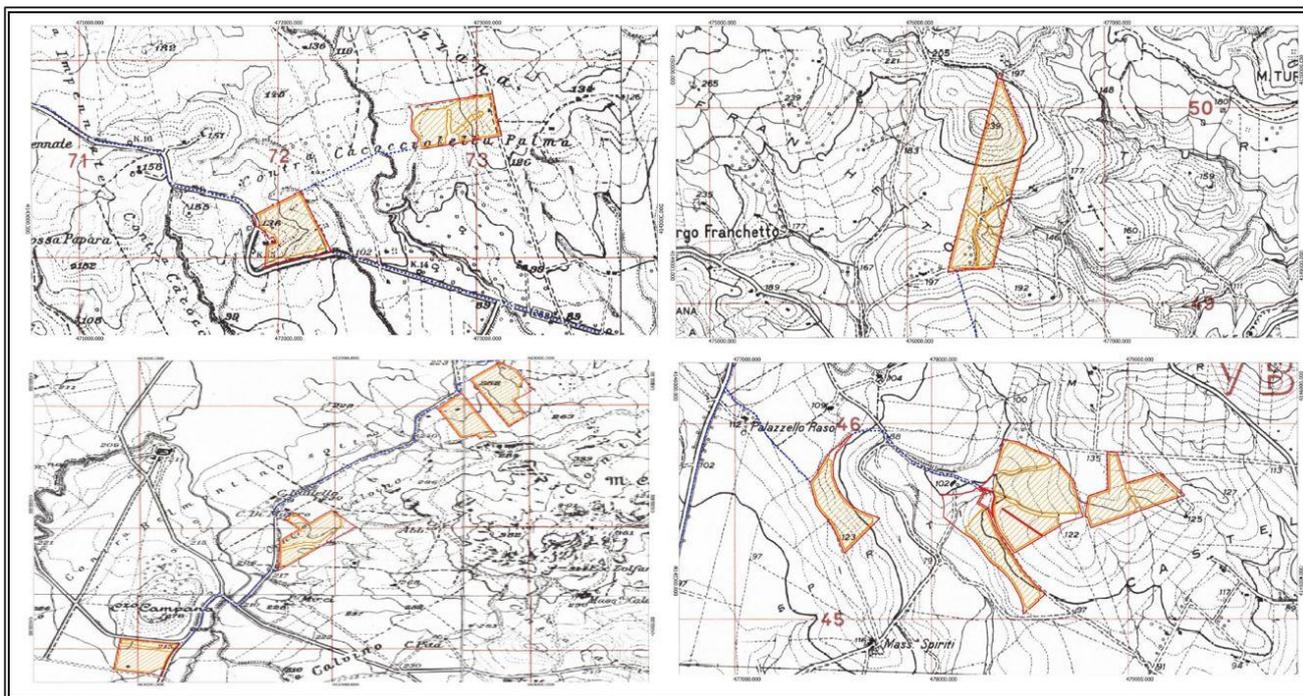


FIGURA 2.2- UBICAZIONE DEL SITO SU CARTOGRAFIA DELL'ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE IN SCALA 1:25.000.

3. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEI BACINI

I siti oggetto di studio, essendo localizzati in punti differenti ed in diversi Comuni, ricadono all'interno di sotto bacini ben distinti tra loro.

Nella successiva figura, si riportano tutti i bacini di alimentazione delle aste fluviali e torrentizie che affluiscono alle aree di impianto, sia su macroscala che su zoom planimetrico dei diversi lotti.

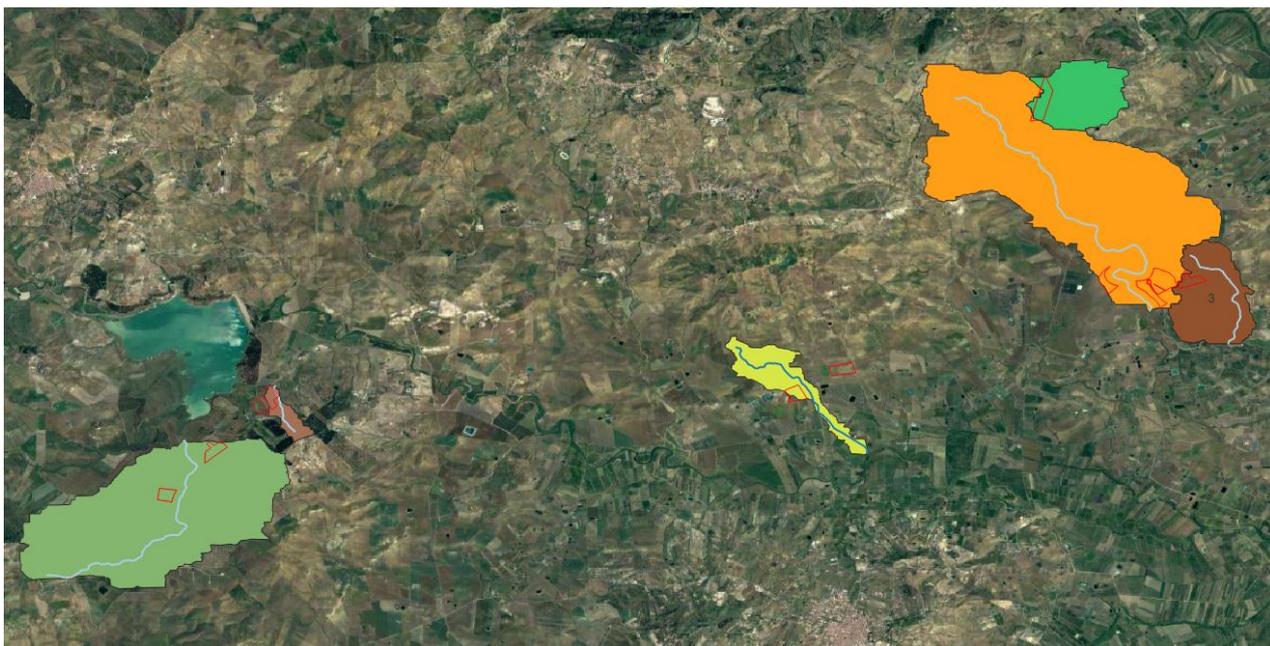


FIGURA 3.1- UBICAZIONE SU MACROSCALA DEI BACINI IDROGRAFICI

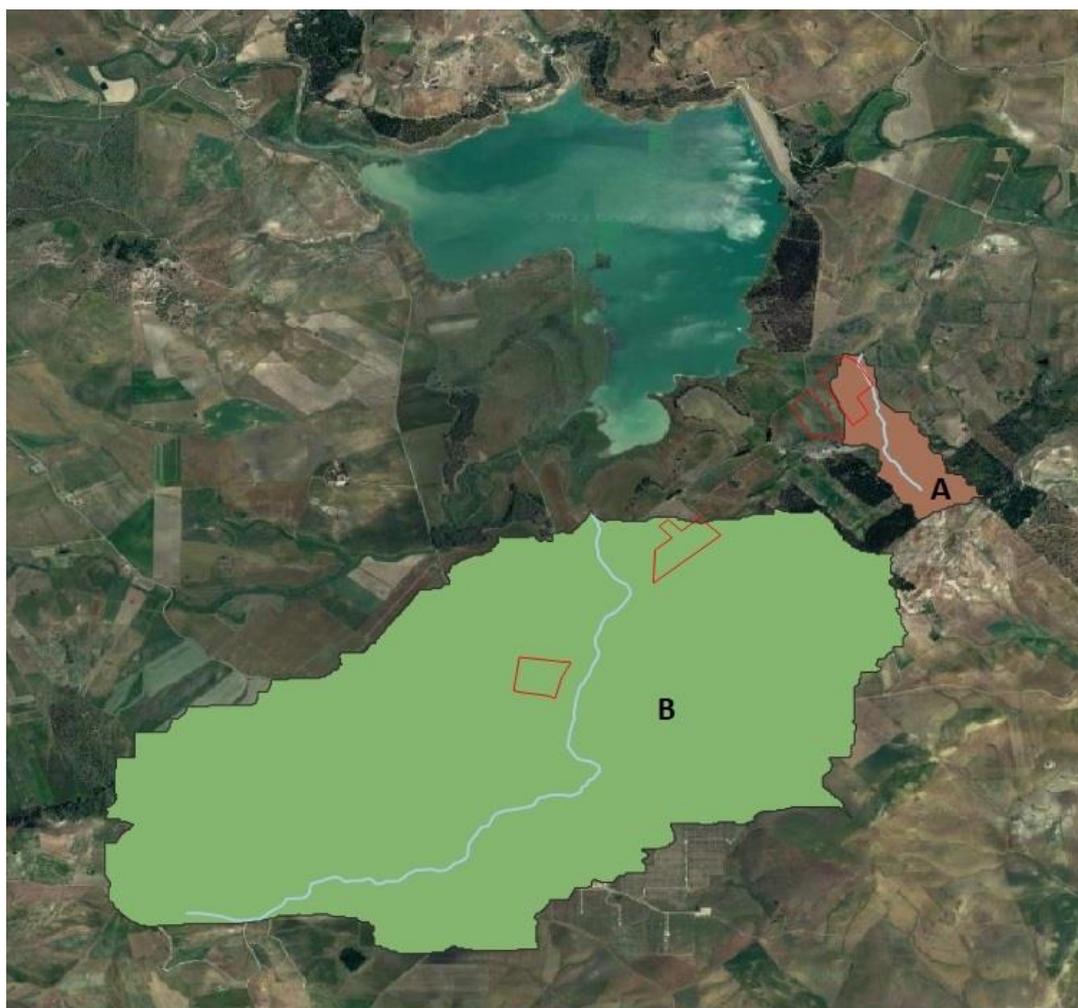


FIGURA 3.2- UBICAZIONE ZOOM DEI BACINI IDROGRAFICI – LOTTO 1 OVEST

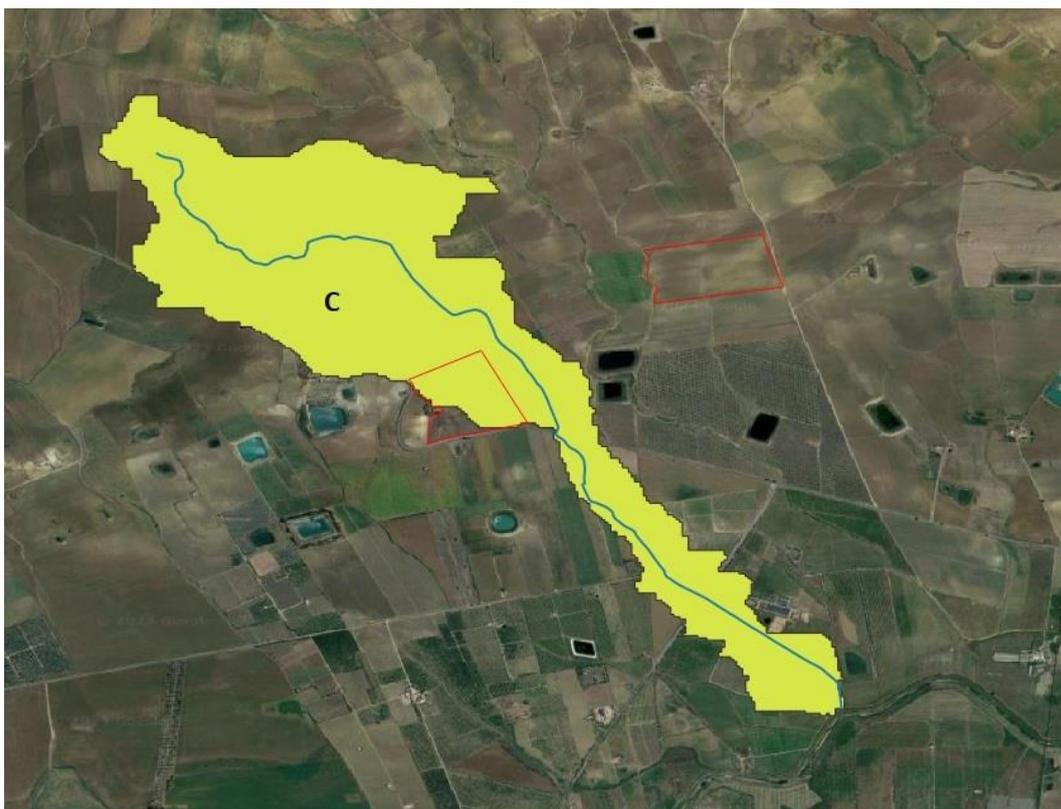


FIGURA 3.3- UBICAZIONE ZOOM DEI BACINI IDROGRAFICI – LOTTO 2 CENTRO

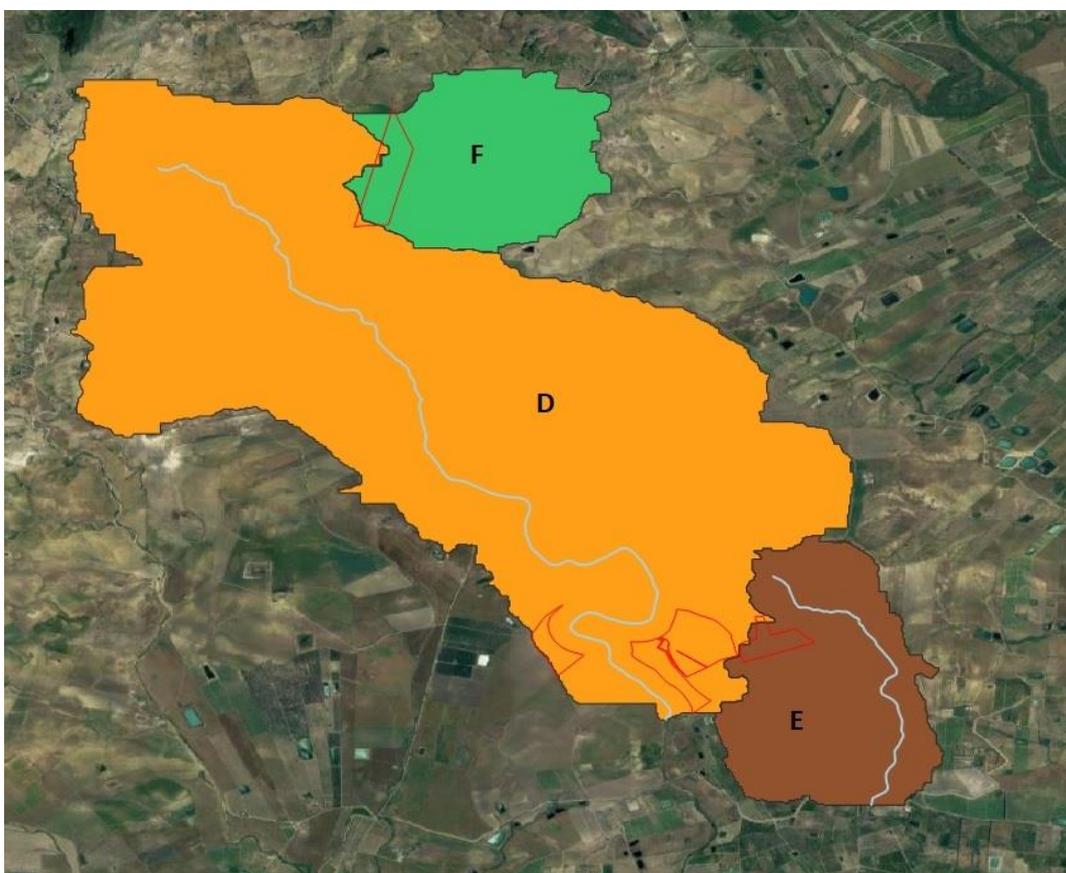


FIGURA 3.4- UBICAZIONE ZOOM DEI BACINI IDROGRAFICI – LOTTO 3 EST E LOTTO 4 NORD-EST

Di seguito, si riportano le principali caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici individuati per i diversi lotti di impianto.

TABELLA 3.1- CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEI BACINI

Lotti Impianto	ID Bacino	Perimetro	Area	L asta princip.	Hmax	Hmin	i media
-	-	[km]	[km ²]	[km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[-]
Lotto 1 Ovest	A	4.48	0.42	1.16	350.38	207.85	0.12
	B	18.70	9.99	5.29	361.31	210.87	0.03
Lotto 2 Centro	C	11.56	1.49	3.84	153.97	85.94	0.02
Lotto 3 Est	D	26.25	13.87	7.96	292.16	75.03	0.03
	E	9.42	2.53	2.62	138.40	73.46	0.02
Lotto 4 Nord-Est	F	7.94	2.05	1.77	203.76	103.75	0.06

4. CALCOLO DEI TEMPI DI CORRIVAZIONE

Prima di effettuare l'analisi statistica delle piogge è necessario conoscere il tempo di corrivazione del bacino, ovvero il tempo che impiega la particella idraulicamente più lontana a raggiungere la sezione di chiusura. A tal fine si possono utilizzare differenti formule; nello specifico si fa riferimento a quelle relative a bacini di piccola estensione:

- **Formula di Kirpich:**

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

Dove:

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

- **Formula di Pezzoli:**

$$t_c = 0.066 \frac{L_a}{\sqrt{i}}$$

dove:

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

TABELLA 4.1- CALCOLO DEI TEMPI DI CORRIVAZIONE

Lotti Impianto	ID Bacino	tc Kirpich	tc Pezzoli	tc media
		[ore]	[ore]	[ore]
Lotto 1 Ovest	A	0.166	0.218	0.192
	B	0.938	2.073	1.506
Lotto 2 Centro	C	0.877	1.901	1.389
Lotto 3 Est	D	1.304	3.179	2.241
	E	0.575	1.098	0.837
Lotto 4 Nord-Est	F	0.310	0.492	0.401

5. ANALISI IDROLOGICA

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

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

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

$$h = a t^n$$

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

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

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

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

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

5.1 Metodo di Gumbel

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

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

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

5.2 Metodo TCEV

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

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

e dipende dunque da quattro parametri che sono rispettivamente:

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

Tuttavia ponendo:

$$\theta^* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad D^* = \frac{D_2}{\frac{1}{D_1^{\theta^*}}}$$

Essa diviene:

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

Ed i parametri da stimare sono D^*, θ^*, D_1 e θ_1

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

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

Dove η dipende dai primi tre parametri.

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

Allora l'espressione della funzione di probabilità diviene:

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

Ed i parametri da determinare sono Λ^* , θ^* , Λ_1 e μ_{h_t}

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

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

Il VAPI ha analizzato i dati della rete pluviografica siciliana gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) di Palermo. Essa risulta composta da 172 stazioni di misura con almeno 10 anni di osservazione, con una densità media di una stazione per 150 km².

Ciò ha permesso di stimare i parametri secondo vari livelli di regionalizzazione. I parametri Λ^* e θ^* da cui dipende il coefficiente di simmetria della curva possono essere ritenuti costanti su tutta la Sicilia (regione omogenea), mentre il parametro Λ_1 è stato stimato costante entro tre zone omogenee che corrispondono sommariamente ai tre "corni" della Sicilia.



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

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

Sottozona	Λ^*	Θ_*	Λ_1	$\eta(\Lambda^*, \Theta^*, \Lambda_1)$
A	0.455	2.632	12	4.001
B			16	4.288
C			23	4.651

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

Sottozona	Λ^*	Θ_*	Λ_1	$\eta(\Lambda^*, \Theta^*, \Lambda_1)$
A	$0.175 t^{0.301}$	$1.95 + 0.0284 t$	$14.55 t^{0.2419}$	Da calcolare per ogni caso.
B			$12.40 t^{0.1802}$	
C			$11.96 t^{0.0960}$	

L'ultimo parametro che definisce compiutamente la funzione di probabilità TCEV è μt . Esso può essere stimato come media aritmetica della serie storica di pari durata t della stazione di misura

più vicina. Tuttavia il VA.PI. fornisce una tavola della Sicilia con le linee di iso- μ_{h1} ossia dei valori medi per piogge della durata di un'ora.

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

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

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

Anche i valori di n sono forniti dal VA.PI. secondo una apposita tavola, per tutto il territorio siciliano. Una volta nota la distribuzione di probabilità della variabile aleatoria ht (ovvero k) il problema tipico è quello di conoscere il valore della variabile, assegnato il tempo di ritorno (Tr) dell'evento.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

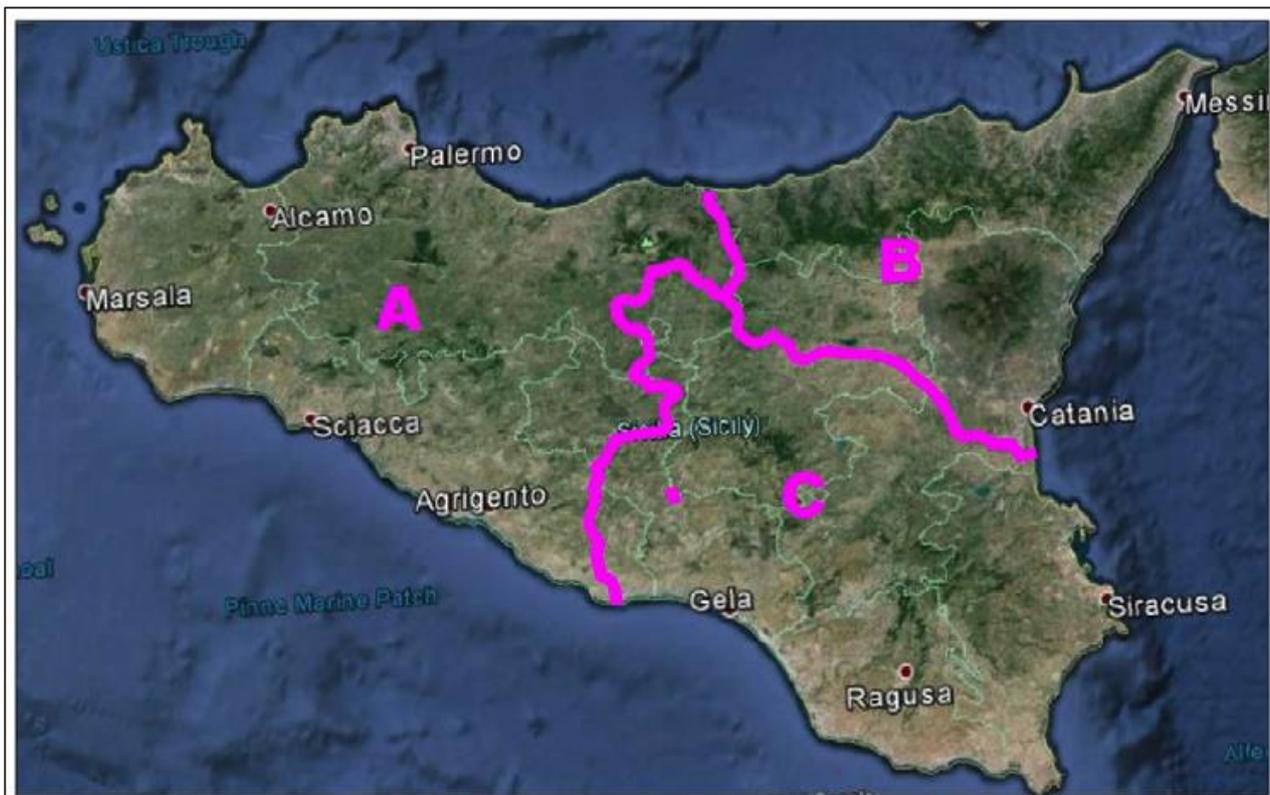


FIGURA 5.2.2- INDIVIDUAZIONE DELLA SOTTOZONA DI APPARTENENZA (SOTTOZONA C).

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

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

Cod.	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
119	Vittoria	Ippari	29,9	0,2345
120	Ragusa	Irminio	28,0	0,3213
121	Modica	Scioli	25,2	0,3232
122	Castelluccio	Tellaro	38,7	0,2956
123	Noto	Noto	32,5	0,3423
124	Melilli	Anapo	30,8	0,3305
125	Palazzolo Acreide	Anapo	27,6	0,3587
126	Presa S. Nicola	Anapo	29,7	0,4174
127	Siracusa	Anapo	32,3	0,2909
128	Augusta	Anapo	38,9	0,2975
129	Carlentini	Lentini	27,2	0,4573
130	Lentini città	Lentini	32,4	0,3698
131	Lentini bonifica	Lentini	38,3	0,3644
132	Maniaci	Simeto	17,6	0,2845
133	Buffali	Simeto	27,1	0,3123
134	Cesarò	Simeto	27,3	0,2578
135	Troina	Simeto	25,9	0,3697
136	Ancipa	Simeto	27,3	0,3390
137	Maletto	Simeto	25,6	0,2288
138	Bronte	Simeto	22,1	0,2777
139	Borgonuovo	Simeto	24,4	0,2854
140	Nicosia	Simeto	28,0	0,3676
141	Capizzi	Simeto	33,2	0,2511
142	Cerami	Simeto	28,2	0,2699
143	Salamone	Simeto	25,0	0,2680
144	Gagliano Castelferrato	Simeto	22,4	0,3448
145	Agira	Simeto	24,8	0,3448

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

FIGURA 5.2.3- VALORI DELLE COSTANTI A E N PER LE STAZIONI PLUVIOGRAFICHE SICILIANE

Si individuano quindi, i seguenti valori di a ed n per entrambe le stazioni considerate:

Stazione 149 - Paternò

- a = 25.3
- n = 0.2975

Stazione 157 - Ramacca

- a = 31.0
- n = 0.2769

I grafici di seguito riportano l'andamento delle curve di probabilità pluviometrica delle 2 stazioni considerate.

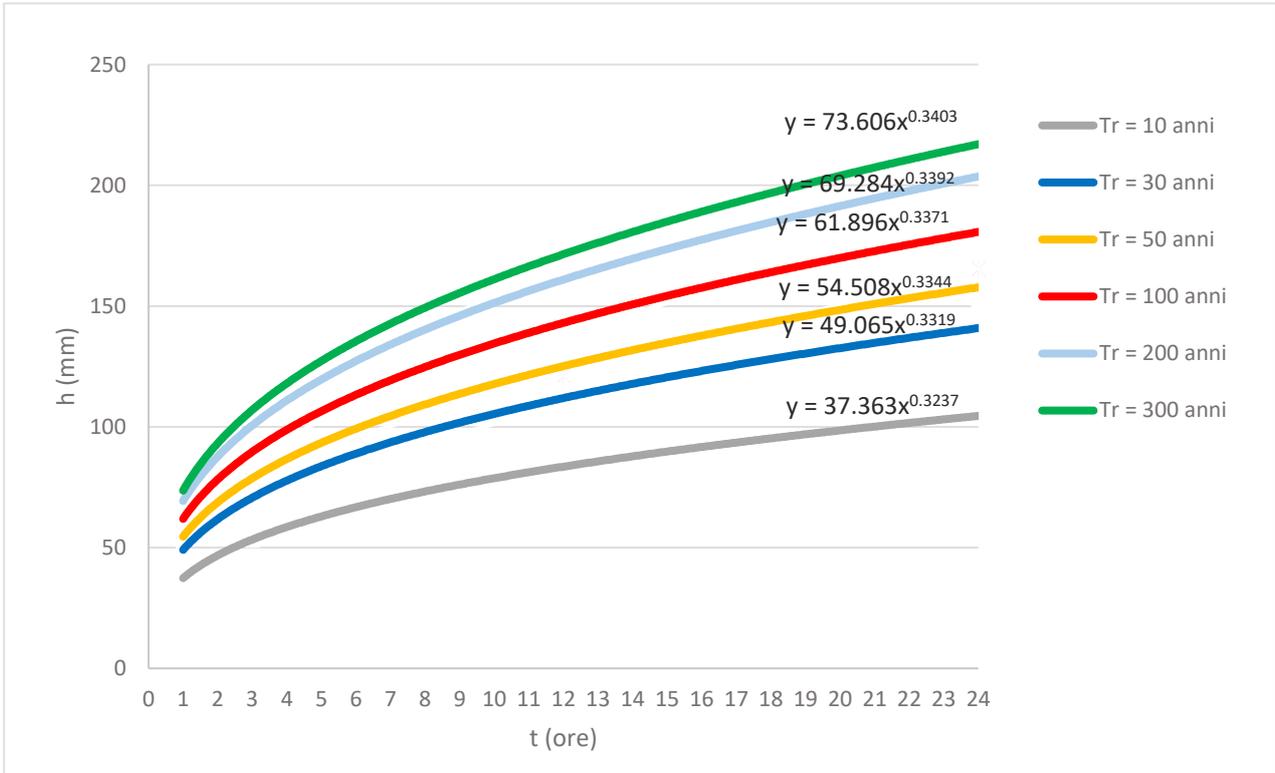


FIGURA 5.2.4- CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (STAZIONE DI PATERNÒ)

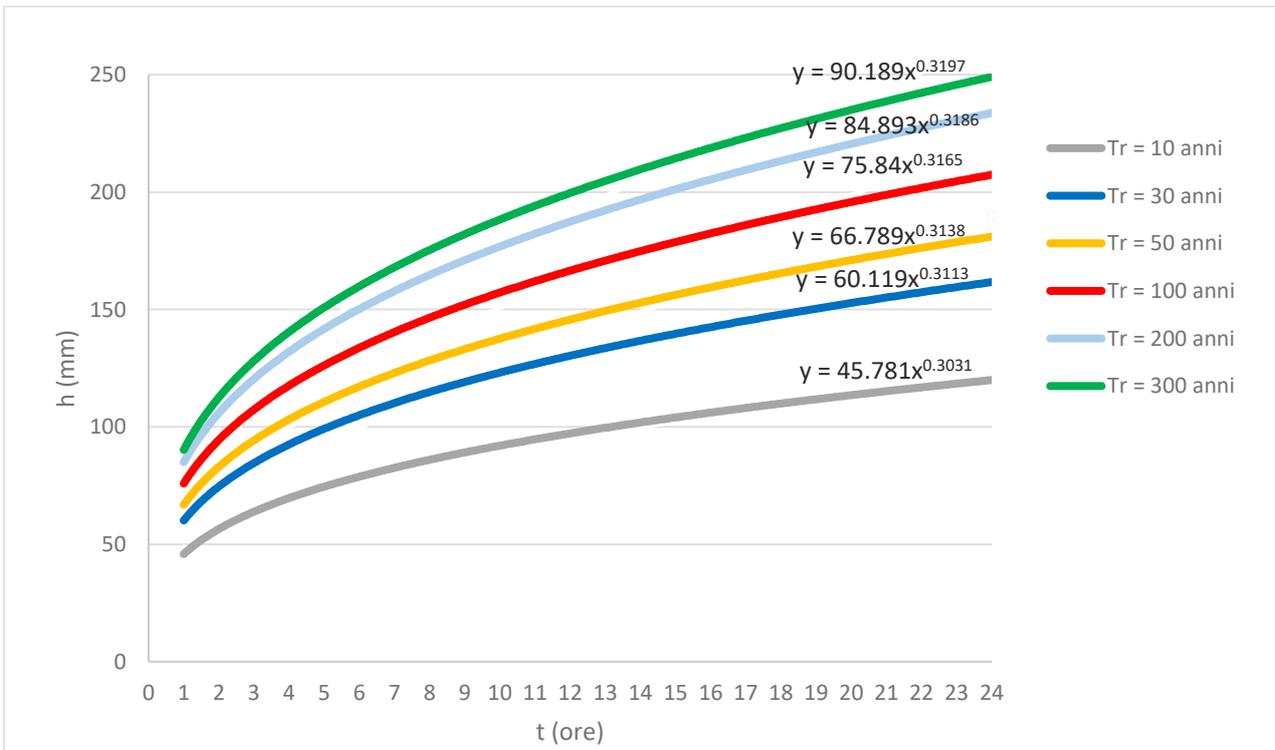


FIGURA 5.2.5- CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (STAZIONE DI RAMACCA)

Di seguito si riporta invece il grafico risultante delle curve pluviometriche mediate tra la stazione di Paternò e quella di Ramacca.

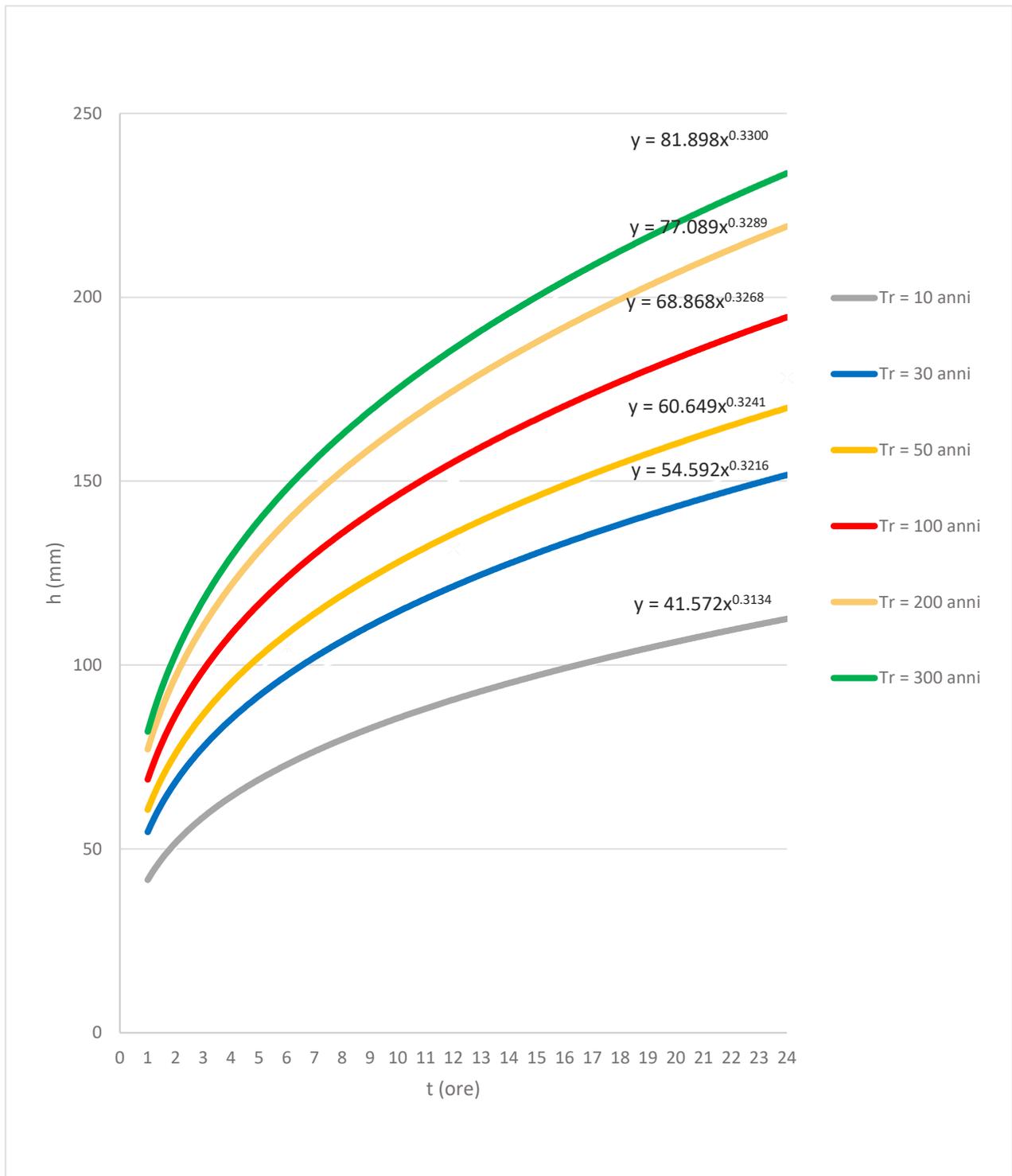


FIGURA 5.2.6- CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (RISULTANTE DELLE STAZIONI DI PATERNÒ E RAMACCA)

6. STIMA DELLA PORTATA AL COLMO

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

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

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

6.1 Calcolo delle piogge nette

L'equazione di continuità del ciclo idrologico:

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

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

Consideriamo gli afflussi uniformemente distribuiti sul bacino.

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

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

$$t_{lag} = 0.6 t_c$$

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

Si assumono pertanto 8 intervalli di Δt

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

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

Il metodo SCS – CN considera una perdita iniziale " I_a " = 0.2 S (*initial abstraction*) che tiene conto della evapotraspirazione.

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

La pioggia netta si ottiene dalla relazione:

$$R = P - S$$

Dove:

R indica la pioggia netta;

P indica la pioggia lorda;

S indica la quantità di pioggia infiltrata nel terreno.

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

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

che combinata con la precedente dà:

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

Tenendo conto infine di I_a avremo:

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

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

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

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

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

TABELLA 6.1.1- TIPO DI SUOLO.

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

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

TABELLA 6.1.2- DETERMINAZIONE DI CN E S'.

CN	S'
50.00	254

Di seguito vengono riportati l'andamento qualitativo delle curve P, R ed S e i valori rappresentati graficamente per i diversi bacini oggetto di studio.

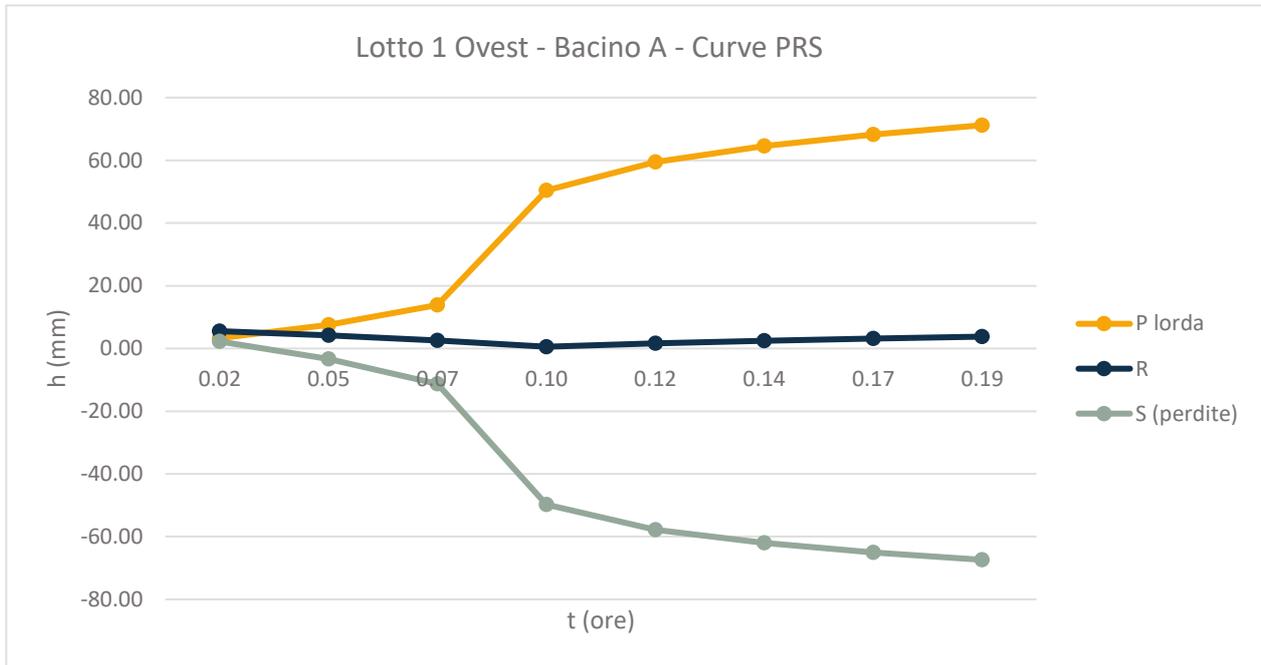


FIGURE 6.1.1- LOTTO 1 OVEST – BACINO A - PIOGGE LORDE, NETTE E PERDITE

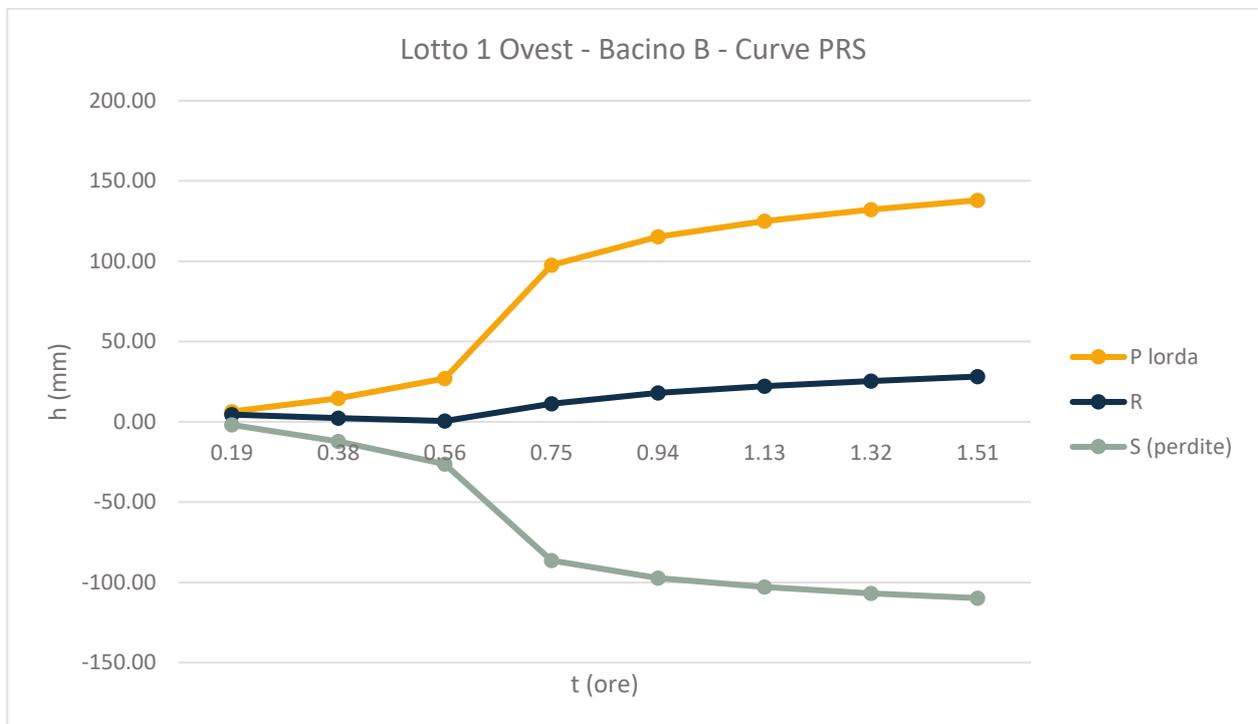


FIGURE 6.1.2- LOTTO 1 OVEST – BACINO B - PIOGGE LORDE, NETTE E PERDITE

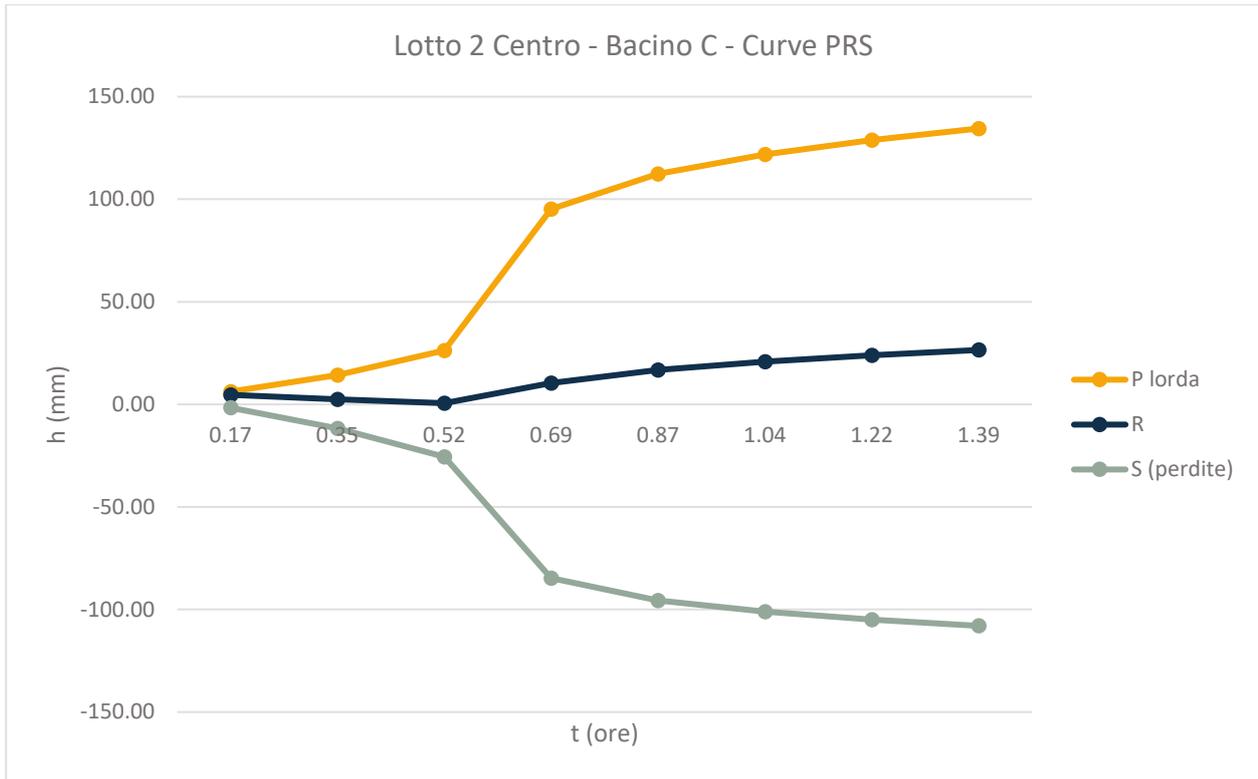


FIGURE 6.1.3- LOTTO 2 CENTRO – BACINO C - PIOGGE LORDE, NETTE E PERDITE

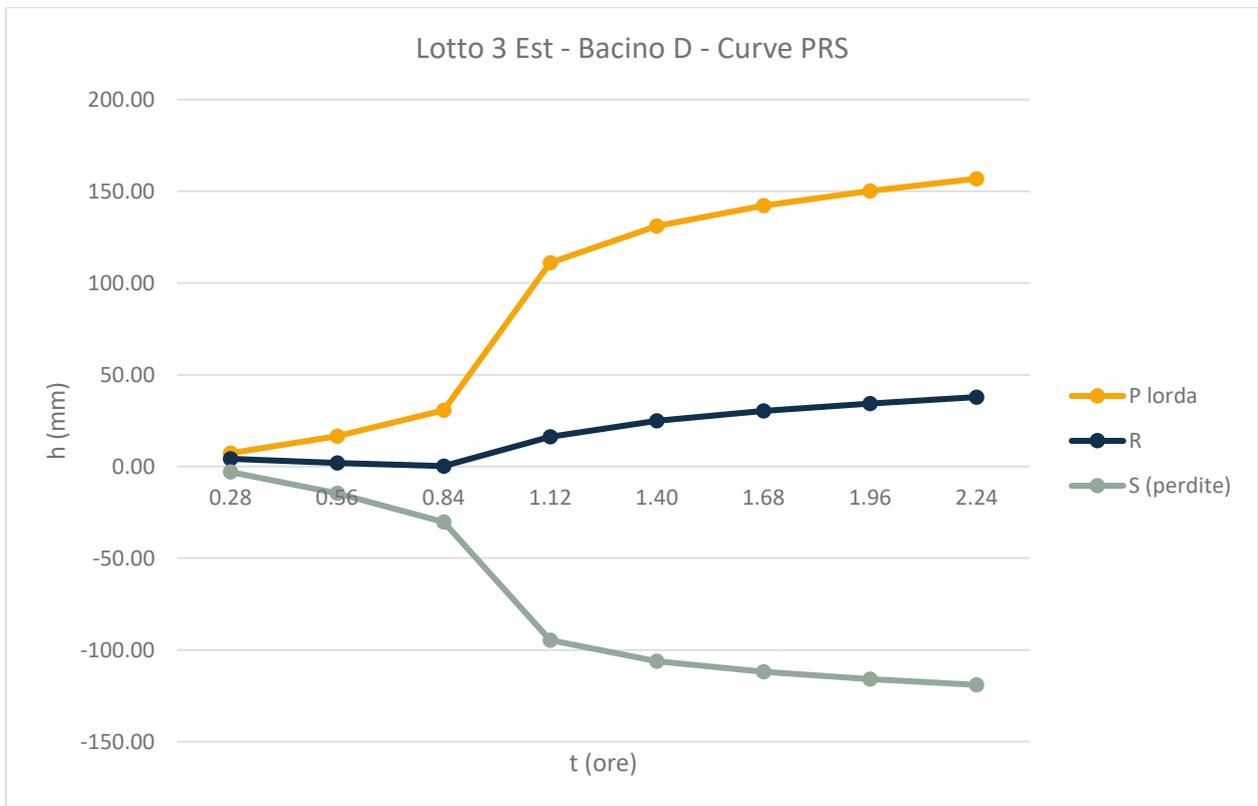


FIGURE 6.1.4- LOTTO 3 EST – BACINO D - PIOGGE LORDE, NETTE E PERDITE

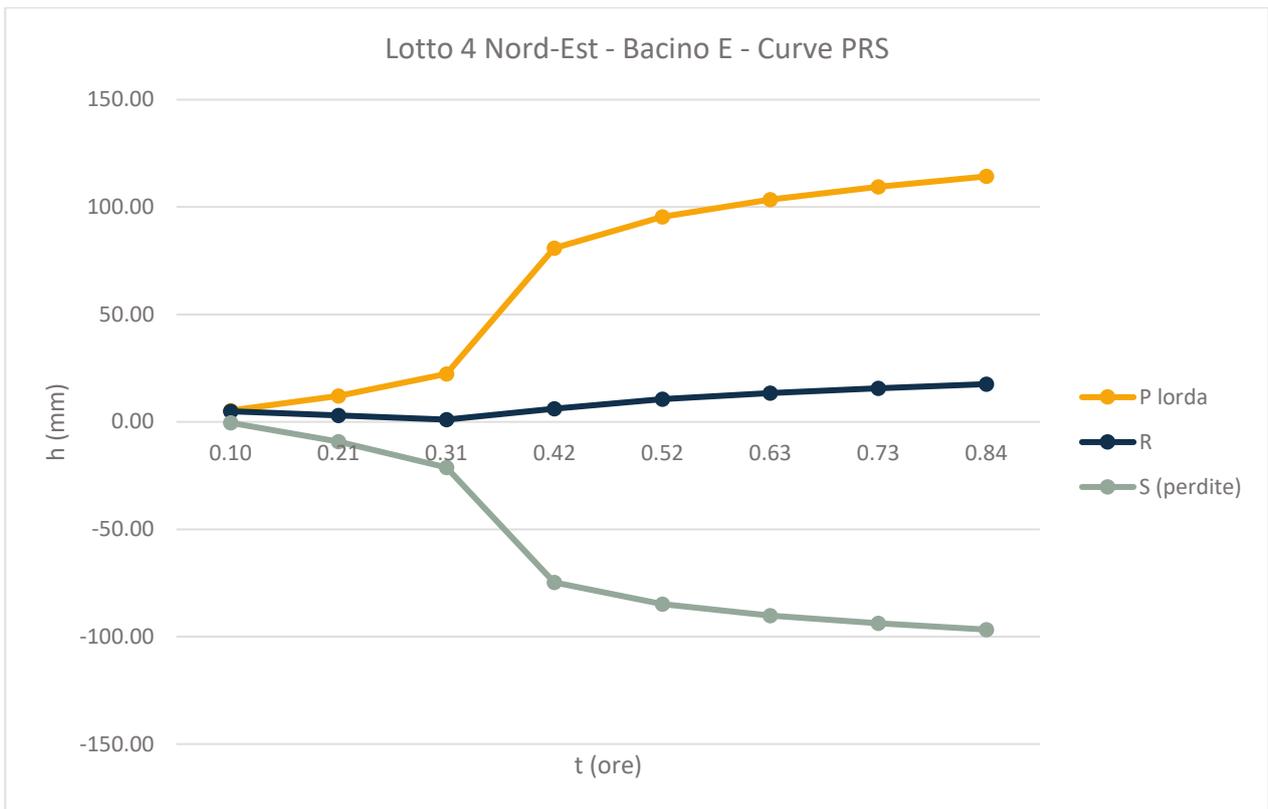


FIGURE 6.1.5- LOTTO 4 NORD-EST – BACINO E - PIOGGE LORDE, NETTE E PERDITE

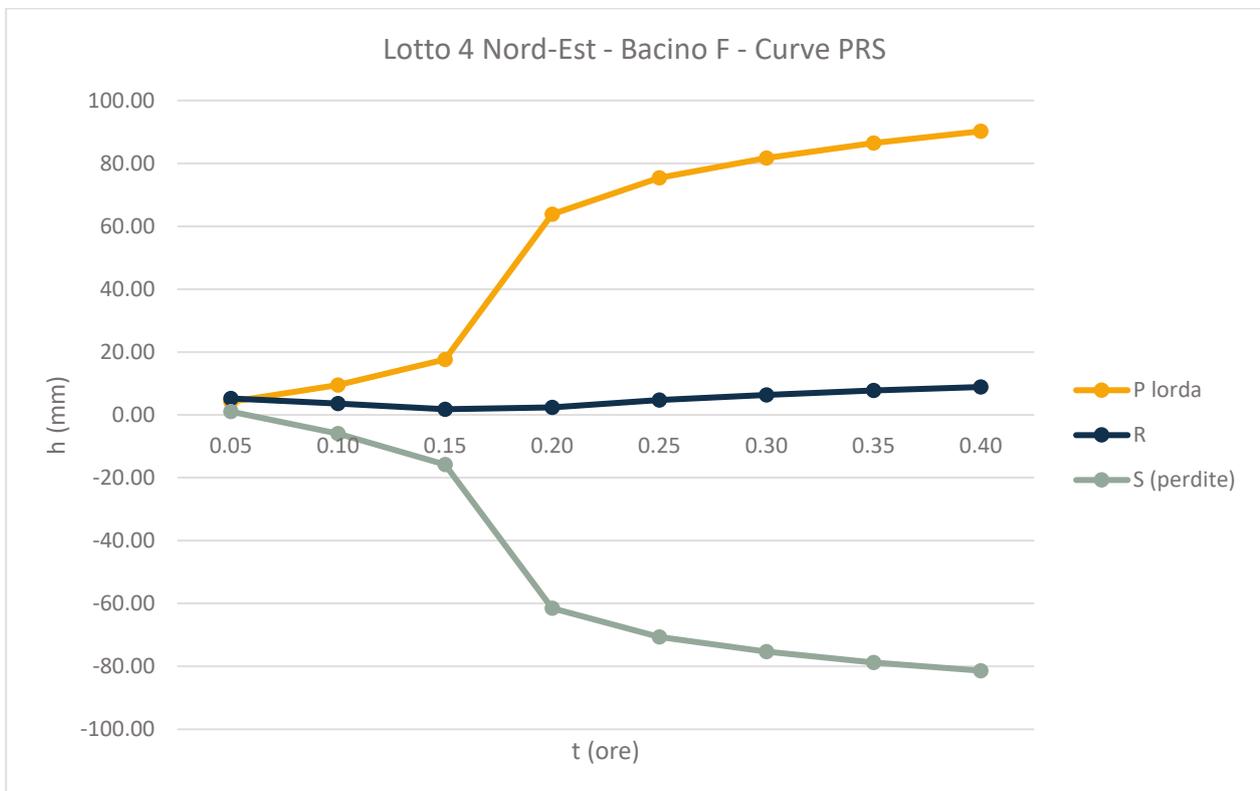


FIGURE 6.1.6- LOTTO 4 NORD-EST – BACINO F - PIOGGE LORDE, NETTE E PERDITE

6.2 Trasformazione afflussi-deflussi

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

Si definiscono alcune grandezze utilizzate nel metodo SCS – CN:

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

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

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

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

dove i è il numero di intervalli scelto.

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

METODO ANALITICO

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

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

I valori trovati vengono riportati direttamente mediante gli idrogrammi di piena per ciascun bacino individuato.

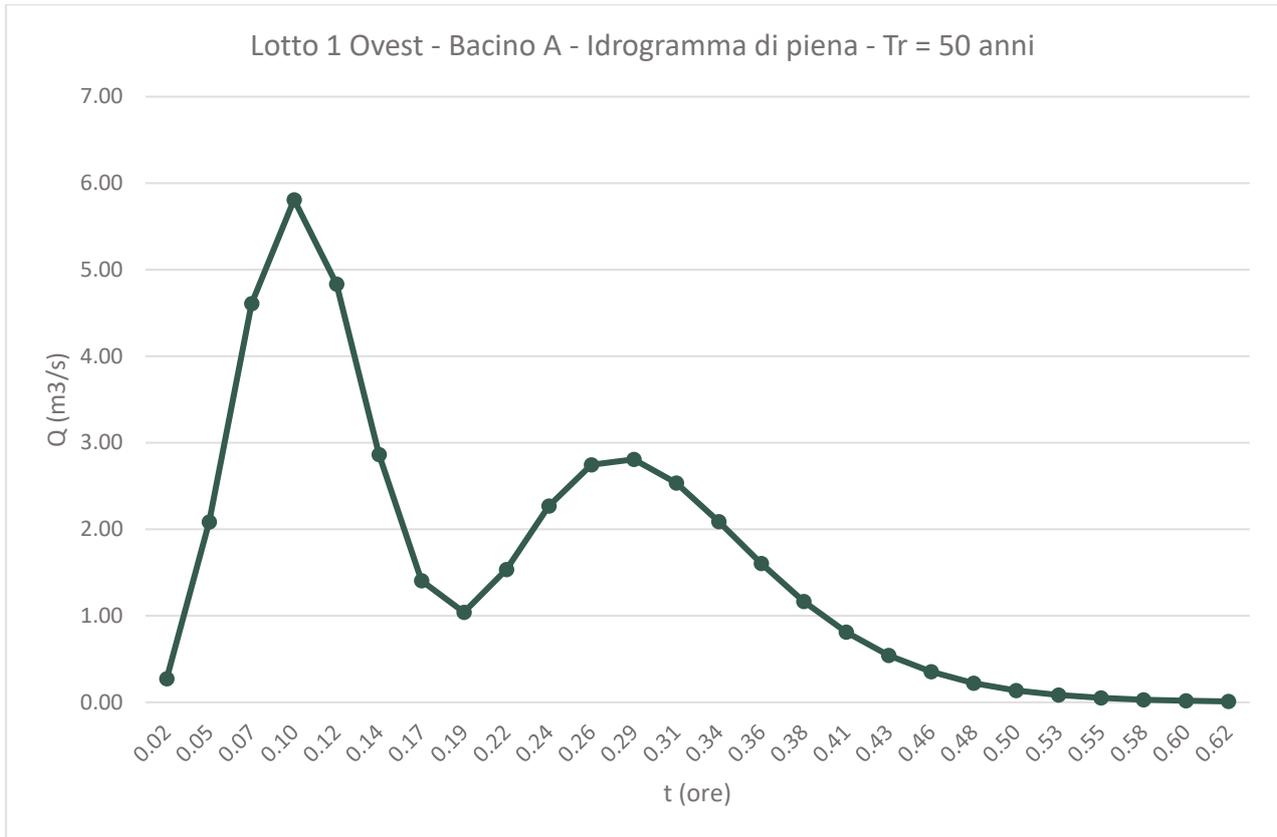


FIGURA 6.2.1- LOTTO 1 - BACINO A - IDROGRAMMA DI PIENA- TR 50 ANNI

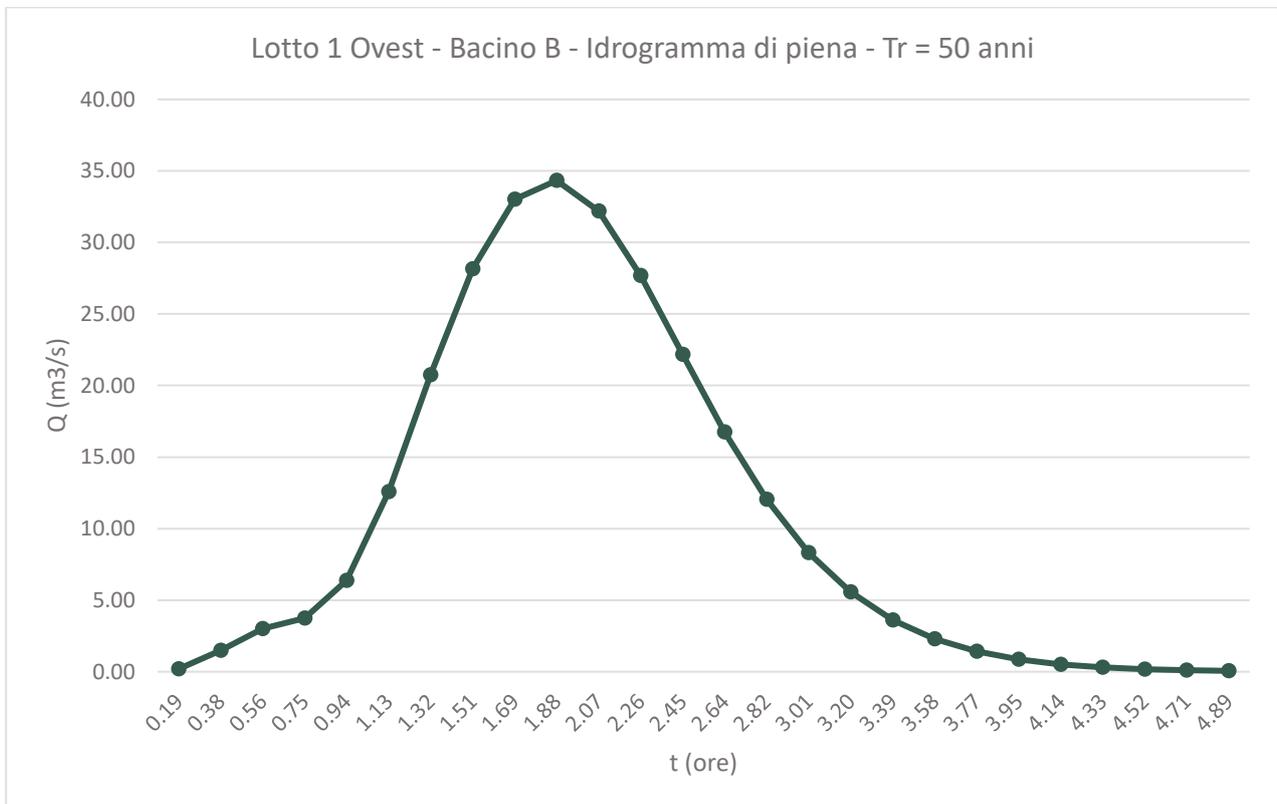


FIGURA 6.2.2- LOTTO 1 - BACINO B - IDROGRAMMA DI PIENA- TR 50 ANNI

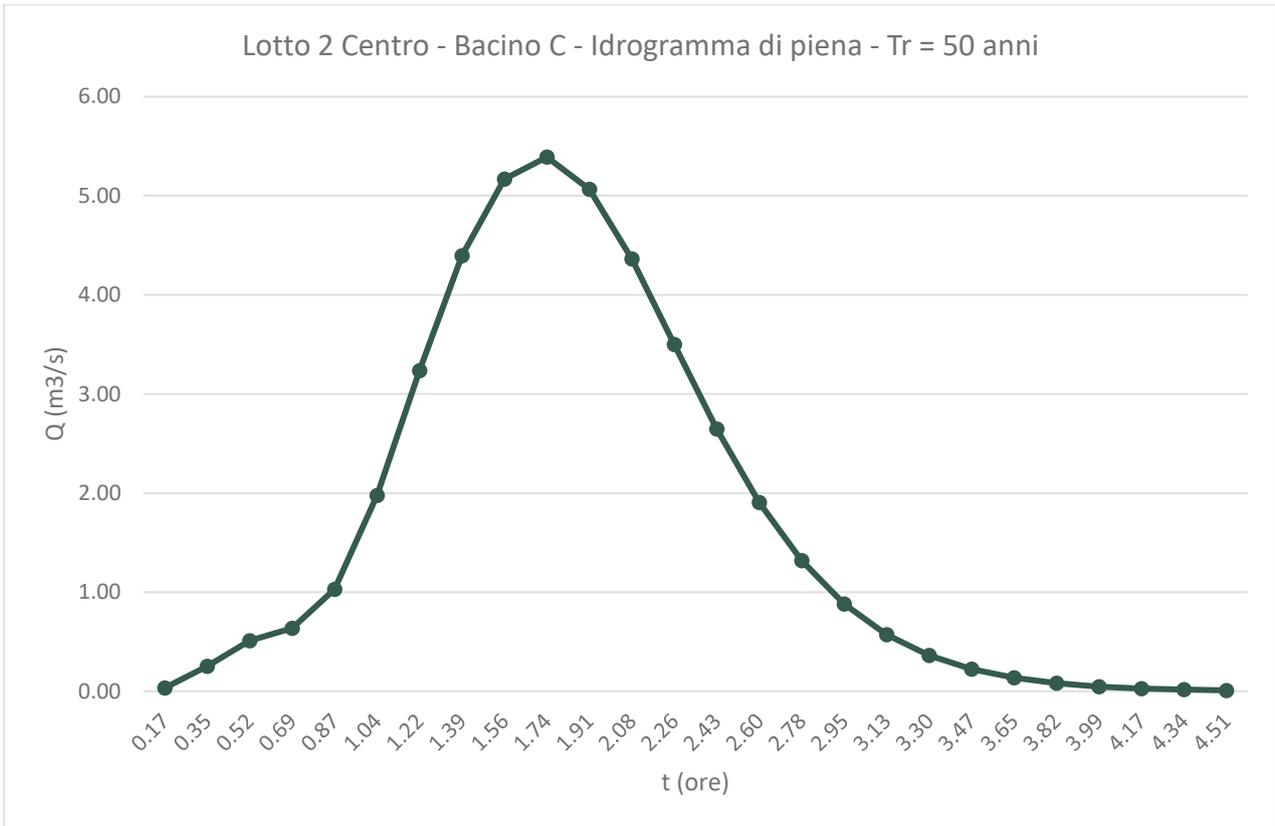


FIGURA 6.2.3- LOTTO 2 - BACINO C - IDROGRAMMA DI PIENA- T_R 50 ANNI

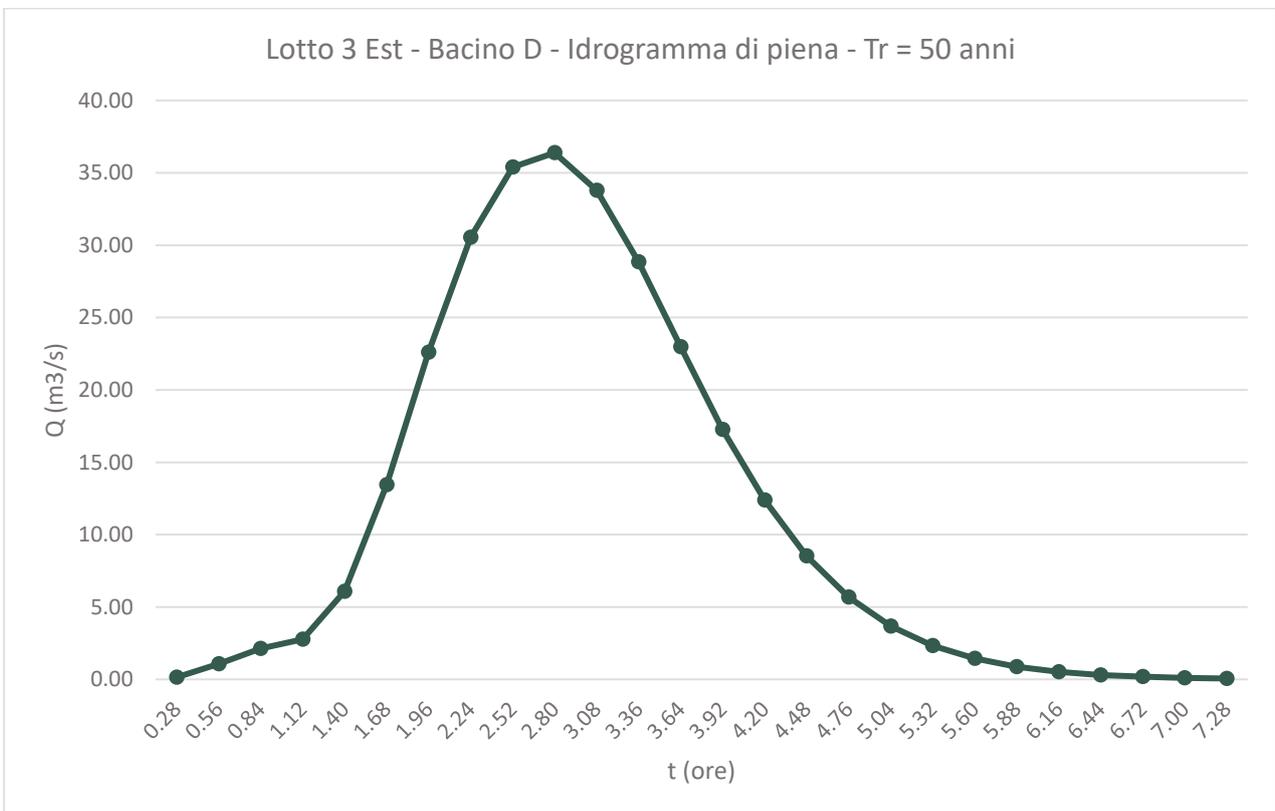


FIGURA 6.2.4- LOTTO 3 - BACINO D - IDROGRAMMA DI PIENA- T_R 50 ANNI

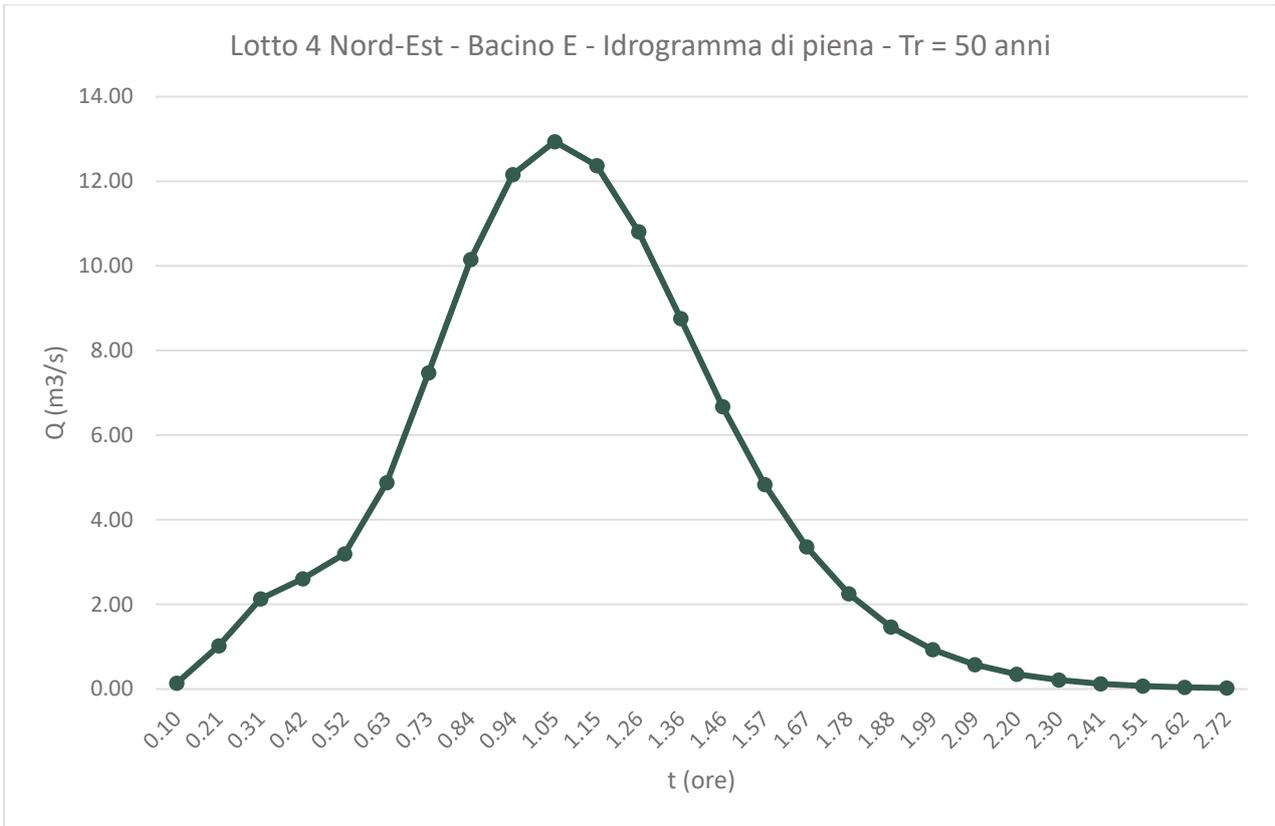


FIGURA 6.2.5- LOTTO 4 - BACINO E - IDROGRAMMA DI PIENA- T_R 50 ANNI

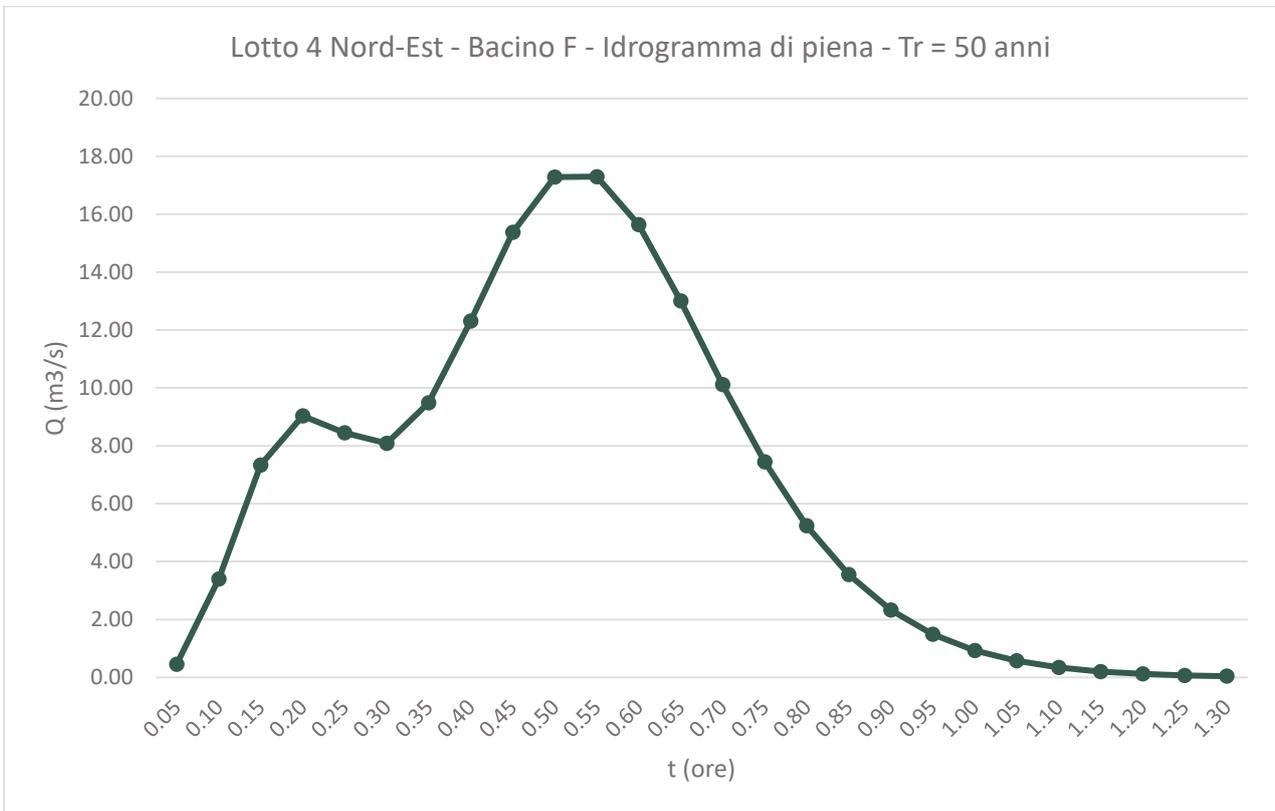


FIGURA 6.2.6- LOTTO 4 - BACINO F - IDROGRAMMA DI PIENA- T_R 50 ANNI

Nella successiva immagine si riporta un grafico riepilogativo con tutti gli idrogrammi di piena individuati per i diversi bacini.

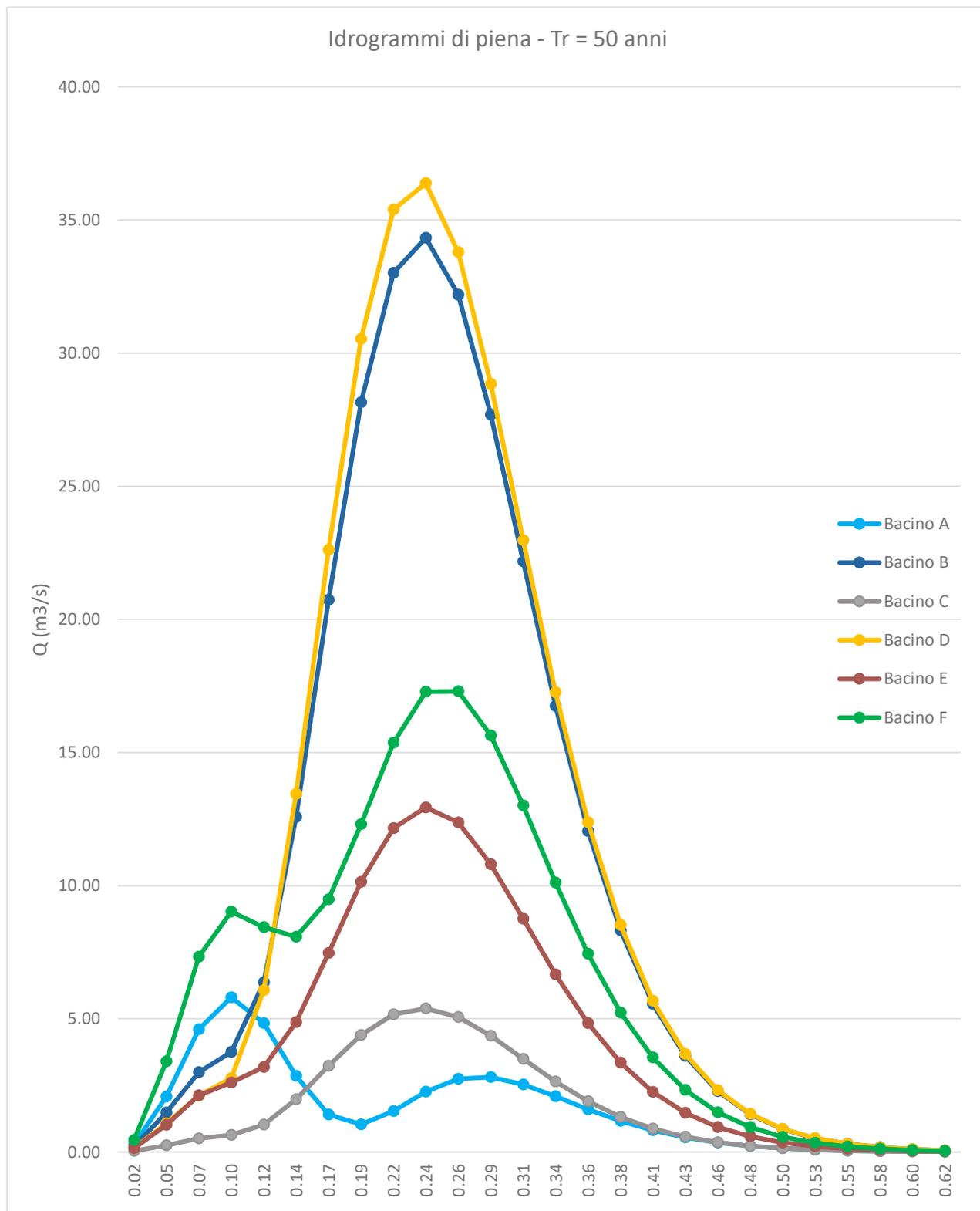


FIGURA 6.2.7- IDROGRAMMI DI PIENA- Tr 50 ANNI

7. STUDIO PER LA VALUTAZIONE DEL PRINCIPIO DI INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA

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

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

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

- Incolto e uso agricolo $\varphi = 0$

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

Tabella 7.1- VALORI DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO. ALLEGATO 1 DELLA LEGGE REGIONALE 29 APRILE 2015, N.11 (DISCIPLINA ORGANICA IN MATERIA DI DIFESA DEL SUOLO E DI UTILIZZAZIONE DELLE ACQUE) DEL FRIULI-VENEZIA GIULIA.

USO DEL SUOLO	ϕ
TETTI A FALDE	0.90-1.00
TETTI METALLICI	0.90-1.00
TETTI A TEGOLE	0.80-0.90
TETTI PIANI CON RIVESTIMENTO IN CLS	0.70-0.80
TETTI PIANI RICOPERTI DI TERRA	0.30-0.40
COPERTURE PIANE CON GHIAIETTO	0.80-0.90
COPERTURE PIANE SEMINATE AD ERBA	0.20-0.30
RIVESTIMENTI BITUMINOSI	0.90-1.00
PAVIMENTAZIONI ASFALTATE	0.80-0.90
PAVIMENTAZIONI CON ASFALTO POROSO	0.40-0.50
MASSICCIATA IN STRADE ORDINARIE	0.40-0.80
PAVIMENTAZIONI DI PIETRA O MATTONELLE	0.80-0.90
LASTRICATURE MISTE, CLINKER, PIASTRELLE	0.70-0.80
LASTRICATURE MEDIO-GRANDI CON FUGHE APERTE	0.60-0.70
STRADE E MARCIAPIEDI	0.80-0.90
SUPERFICI SEMI-PERMEABILI	0.60-0.70
STRADE IN TERRA	0.40-0.60
RIVESTIMENTI DRENANTI, SUPERFICI A GHIAIETTO	0.40-0.50
VIALI E SUPERFICI INGHAIAATE	0.20-0.60
ZONE CON GHIAIA NON COMPRESSA	0.10-0.30
SUPERFICI BOScate	0.10-0.30
SUPERFICI DI GIARDINI E CIMITERI	0.10-0.30
PRATI DI CAMPI SPORTIVI	0.10-0.20
TERRENI COLTIVATI	0.20-0.60
TERRENI INCOLTI, STERRATI NON COMPATTI	0.20-0.30
PRATI, PASCOLI	0.10-0.50

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

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

Dove ϕ sono i coefficienti di deflusso delle aree elementari omogenee A_i .

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

Con riferimento all'Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021, per l'utilizzo ante-operam, si è attribuito a queste aree un coefficiente di deflusso pari a 0 corrispondente al valore cautelativo tabellato per terreno incolto e uso agricolo.

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

7.1 Lotto 1 – Ovest

Nella figura a seguire si riporta l'inquadramento del lotto 1 - Ovest.



FIGURA 7.1.1- INQUADRAMENTO LOTTO1 - OVEST.

Si riportano di seguito le tabelle inerenti all'uso del suolo ante e post operam del lotto in oggetto.

TABELLA 7.1.1- UTILIZZO SUOLO ANTE-OPERAM LOTTO 1 - OVEST.

Utilizzo suolo Ante-Operam			
	Area Lotto 1 - Ovest [ha]	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di intervento	30,868	0	Valore incolto e uso agricolo riportato in Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021
Media ponderata		Totale ϕ 0,00	

TABELLA 7.1.2- UTILIZZO SUOLO POST-OPERAM LOTTO 1 - OVEST.

Utilizzo suolo Post-Operam			
	Area Lotto 1 - Ovest [ha]	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di progetto	30,8683		
Superficie occupata dai moduli fotovoltaici a 0°	10,3945	0,40	Valore riportato in Normativa cautelativamente aumentato
Pali infissi	0,0024	1,00	Valore cautelativo
Cabine di trasformazione (sottocampo)	0,0184	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Cabina utente (monitoraggio)	0,0225	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Cabina di consegna	0,0000	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Piazzole cabine di trasformazione	0,0865	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Piazzola cabina utente	0,0132	1,00	Superficie perfettamente impermeabile
Piazzola cabina di consegna	0,0000	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Viabilità impianto	1,0298	0,70	Valore cautelativo superfici inghiaiate
Mitigazione perimetrale	5,6041	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Compensazione	0,1547	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Prato permanente polifita	9,0009	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Area da sfalciare	2,2672	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Aree libere da intervento	2,2741	0,20	Valore ante operam cautelativamente aumentato
Media ponderata	Totale Lotto 1 - Ovest ϕ		
	0,343		

7.2 Lotto 2- Centro

Nella figura a seguire si riporta l'inquadramento del lotto 2 - Centro.



FIGURA 7.2.1- INQUADRAMENTO LOTTO 2 - CENTRO.

Si riportano di seguito le tabelle inerenti all'uso del suolo ante e post operam del lotto in oggetto.

TABELLA 7.2.1- UTILIZZO SUOLO ANTE-OPERAM LOTTO 2 - CENTRO.

Utilizzo suolo Ante-Operam			
	Area Lotto 2 - Centro [ha]	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di intervento	18,0236	0	Valore incolto e uso agricolo riportato in Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021
Media ponderata		Totale ϕ	
		0,00	

TABELLA 7.2.2- UTILIZZO SUOLO POST-OPERAM LOTTO 2 - CENTRO.

Utilizzo suolo Post-Operam			
	Area Lotto 2 - Centro [ha]	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di progetto	18,0236		
Superficie occupata dai moduli fotovoltaici a 0°	2,9571	0,40	Valore riportato in Normativa cautelativamente aumentato
Pali infissi	0,0007	1,00	Valore cautelativo
Cabine di trasformazione (sottocampo)	0,0230	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Piazzole cabine di trasformazione	0,1081	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Viabilità impianto	0,2927	0,70	Valore cautelativo superfici inghiaiate
Mitigazione perimetrale	2,3288	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Compensazione	0,2834	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Prato permanente polifita	9,2658	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Area da sfalciare	0,6450	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Aree libere da intervento	2,1190	0,20	Valore ante operam cautelativamente aumentato
Media ponderata	Totale Lotto 2 - Centro ϕ		
	0,316		

7.3 Lotto 3 - Est

Nella figura a seguire si riporta l'inquadramento del lotto 3 - Est.

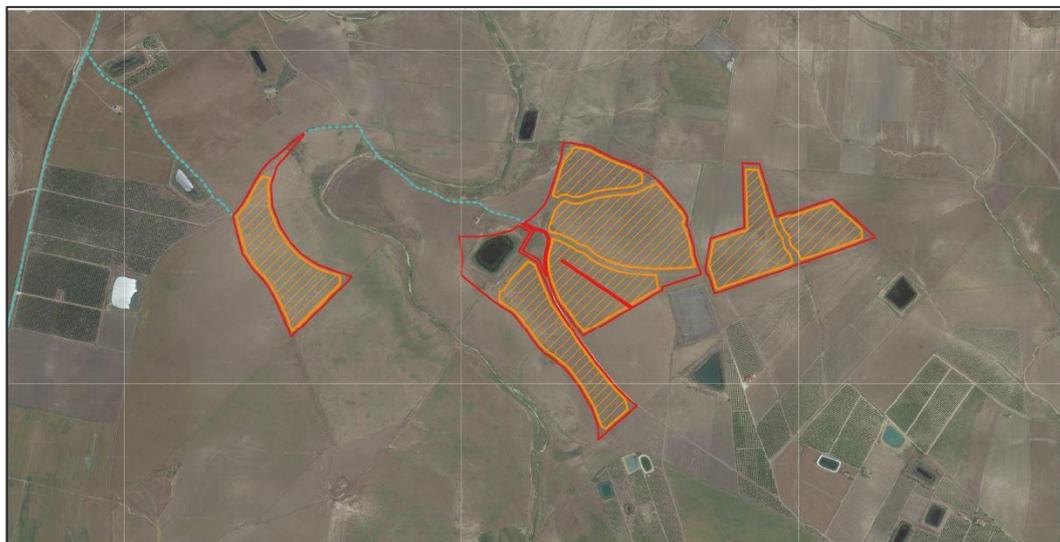


FIGURA 7.3.1- INQUADRAMENTO LOTTO 3 - EST.

Si riportano di seguito le tabelle inerenti all'uso del suolo ante e post operam del lotto in oggetto.

TABELLA 7.3.1- UTILIZZO SUOLO ANTE-OPERAM LOTTO 3 - EST.

Utilizzo suolo Ante-Operam			
	Area Lotto 3 - Est [ha]	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di intervento	42,3824	0	Valore incolto e uso agricolo riportato in Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021
Media ponderata		Totale ϕ	
		0,00	

TABELLA 7.3.2- UTILIZZO SUOLO POST-OPERAM LOTTO 3 - EST.

Utilizzo suolo Post-Operam			
	Area Lotto 3 - Est [ha]	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di progetto	42,3824		
Superficie occupata dai moduli fotovoltaici a 0°	17,3220	0,40	Valore riportato in Normativa
Pali infissi	0,0040	0,30	Valore cautelativo
Cabine di trasformazione (sottocampo)	0,0322	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Piazzole cabine di trasformazione	0,1513	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Viabilità impianto	0,7371	0,70	Valore cautelativo superfici inghiaiate
Mitigazione perimetrale	4,4975	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Compensazione	0,9525	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Prato permanente polifita	8,6321	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Area da sfalciare	3,7779	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Aree libere da intervento	6,2758	0,20	Valore ante operam cautelativamente aumentato
Media ponderata	Totale Lotto 3 - Est ϕ		
	0,336		

7.4 Lotto 4 – Nord-Est

Nella figura a seguire si riporta l'inquadramento del lotto 4 Nord - Est.



FIGURA 7.4.1- INQUADRAMENTO LOTTO 4 - NORD - EST.

Si riportano di seguito le tabelle inerenti all'uso del suolo ante e post operam del lotto in oggetto.

TABELLA 7.4.1- UTILIZZO SUOLO ANTE-OPERAM LOTTO 4 - NORD-EST.

Utilizzo suolo Ante-Operam			
	Area Lotto 4 - Nord-Est [ha]	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di intervento	18,1900	0	Valore incolto e uso agricolo riportato in Allegato 2 del DDG 102 del 23/06/2021
Media ponderata		Totale ϕ	
		0,00	

TABELLA 7.4.2- UTILIZZO SUOLO POST-OPERAM LOTTO 4 - NORD-EST.

Utilizzo suolo Post-Operam			
	Area Lotto 4 – Nord-Est [ha]	Coeff. Deflusso ϕ	Note
Area di progetto	18,1900		
Superficie occupata dai moduli fotovoltaici a 0°	6,5994	0,40	Valore riportato in Normativa
Pali infissi	0,0015	0,30	Valore cautelativo
Cabine di trasformazione (sottocampo)	0,0184	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Cabina utente (monitoraggio)	0,0075	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Cabina di consegna	0,0060	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Piazzole cabine di trasformazione	0,0865	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Piazzola cabina utente	0,0044	1,00	Superficie perfettamente impermeabile
Piazzola cabina di consegna	0,0200	1,00	Superficie perfettamente permeabile
Viabilità impianto	0,3627	0,70	Valore cautelativo superfici inghiaiate
Mitigazione perimetrale	1,7966	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Prato permanente polifita	6,4365	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Area da sfalciare	1,4388	0,30	Valore cautelativo superfici di giardini
Aree libere da intervento	1,4117	0,20	Valore ante operam cautelativamente aumentato
Media ponderata	Totale Area Lotto 4 Nord-Est ϕ		
		0,342	

8. MISURE IDRAULICHE DI MITIGAZIONE

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

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

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

dove:

- V_{max} è il volume di invaso necessario per non superare la portata limite allo scarico;
- S è la superficie scolante a monte della vasca/invaso di laminazione;
- φ è coefficiente di deflusso medio ponderale dell'area drenante;
- a ed n sono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica determinati per un tempo di ritorno pari a 30 anni (come specificato in normativa) considerando la media delle curve delle stazioni Paternò e Ramacca;
- Q_{IMP} è la portata limite ammessa allo scarico (in m^3/s) corrispondente ad un coefficiente udometrico pari a 20 l/s per ettaro di superficie impermeabilizzata dall'intervento di urbanizzazione (si considera una superficie impermeabile molto cautelativa, pari al 30%).

8.1 Volumi di laminazione e sistemi di drenaggio- Lotto 1 Ovest

I volumi di laminazione della zona oggetto di intervento, sono stati determinati adottando il metodo semplificato delle piogge. I volumi di laminazione, da cui dipende la progettazione delle trincee, sono calcolati nella tabella a seguire.

TABELLA 8.1.1- VOLUMI DI LAMINAZIONE LOTTO 1.

CALCOLO VOLUMI DI LAMINAZIONE DA ALLEGATO 2 DDG 102/2021						
Zona di impianto	S [ha]	φ	a	n	Q imp [m^3/s]	Vmax [m^3]
LOTTO 1 - OVEST	10,5845	0,343	54,592	0,3216	0,617366	1210,78

Per quello che concerne le trincee drenanti, la lunghezza di progetto è stata incrementata di un 20% rispetto quella necessaria derivante da calcolo. Nella tabella seguente si calcola la lunghezza della trincea.

TABELLA 8.1.2- CALCOLO TRINCEE DRENANTI PERIMETRALI LOTTO 1.

CALCOLO DELLE OPERE DI COMPENSAZIONE PER LA LAMINAZIONE DEI VOLUMI IN ECCESSO							
Zona di impianto	Area fosso [m ²]	Area trincea [m ²]	Area totale [m ²]	Lunghezza fossi per compensazione [m]	Lunghezza fossi drenanti da progetto [m]	Lunghezza fossi drenanti da progetto incrementati del 20% [m]	Scelta della lunghezza della trincea drenante [m]
LOTTO 1 - OVEST	0,72	0,4	1,12	1081,06	1082	1298,4	1299

La disposizione delle trincee è stata ricavata osservando la possibile direzione delle linee di flusso determinate a partire dal DEM. La rappresentazione del percorso del filetto fluido viene raffigurato nell'immagine a seguire.

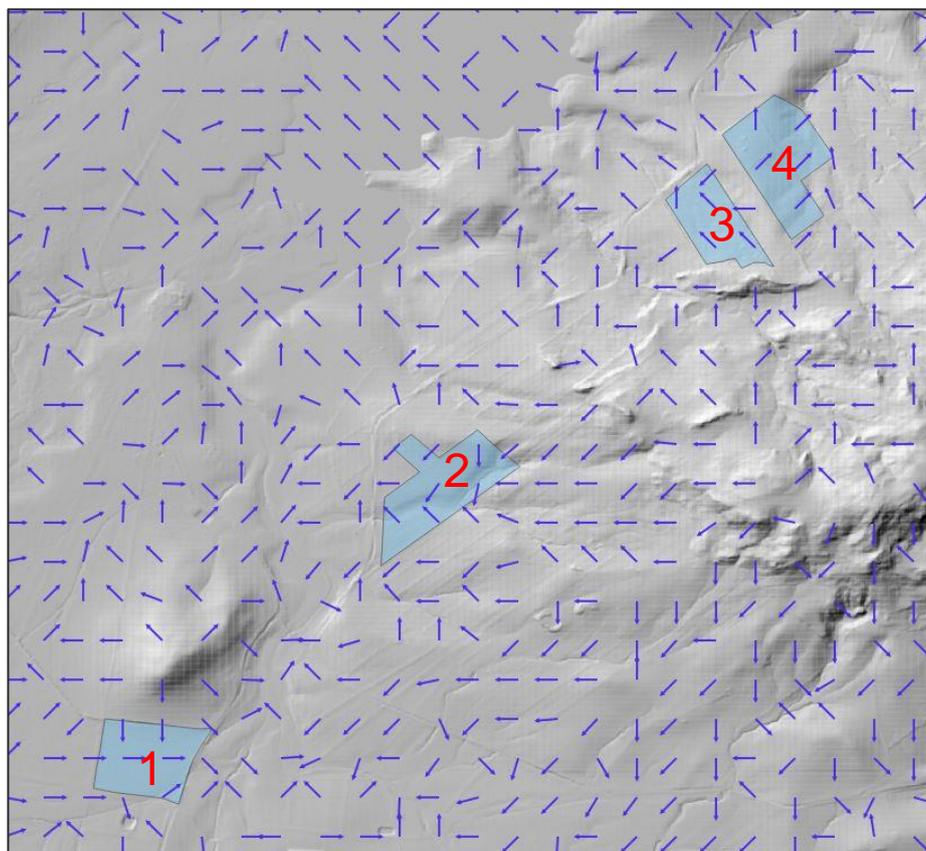


FIGURA 8.1.1- LINEE DI FLUSSO LOTTO 1

Nelle immagini a seguire un ingrandimento nelle singole zone costituenti il lotto 1.

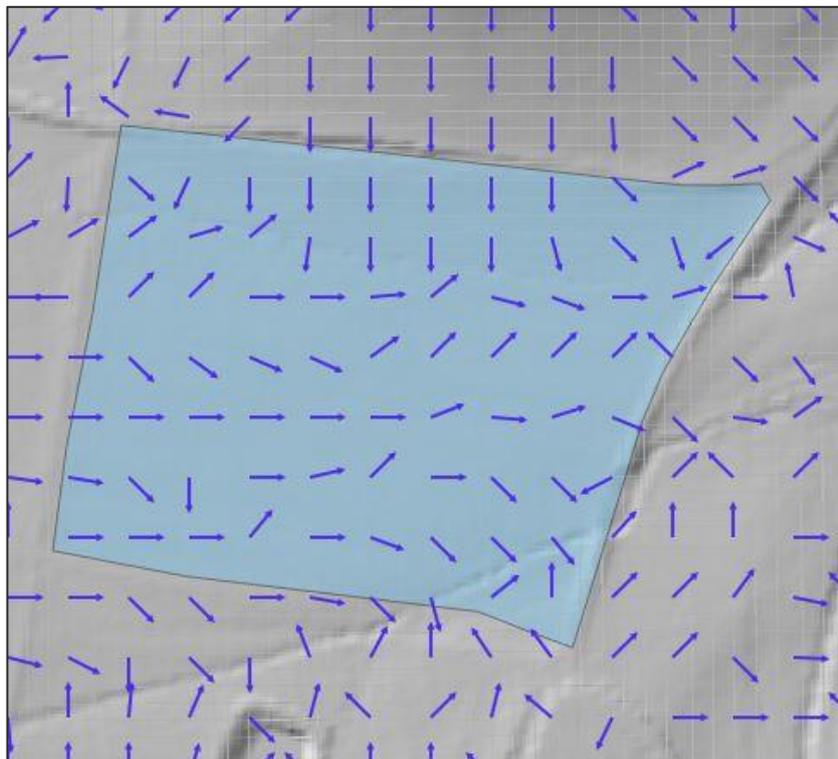


FIGURA 8.1.2- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO AREA 1 LOTTO 1

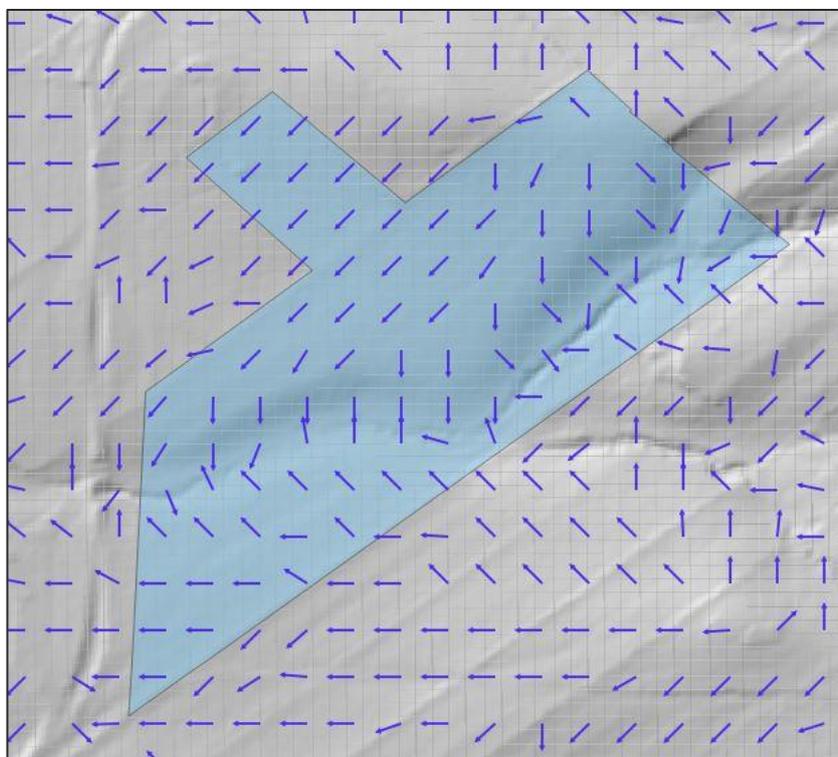


FIGURA 8.1.3- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO AREA 2 LOTTO 1

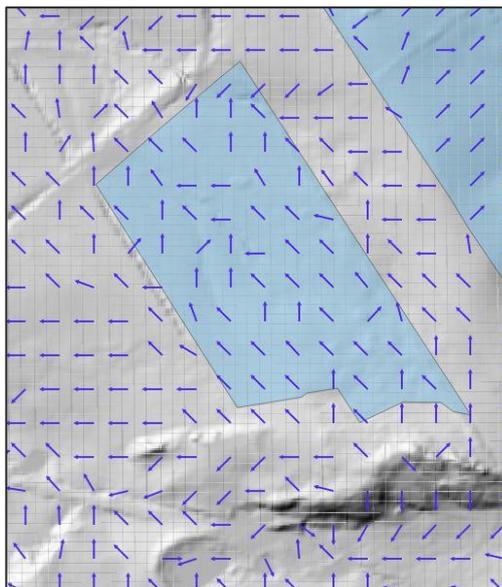


FIGURA 8.1.4- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO AREA 3 LOTTO 1

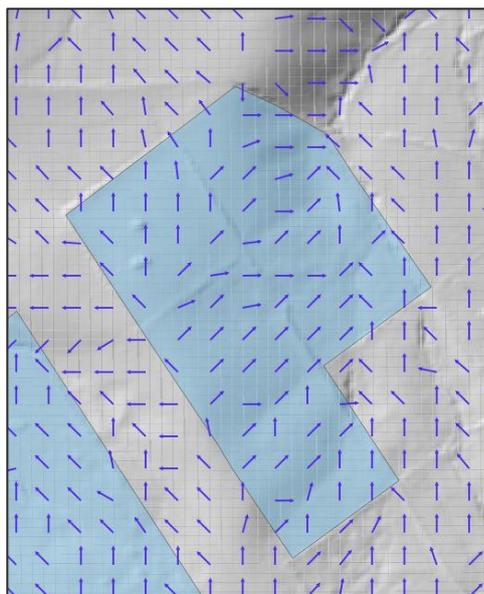


FIGURA 8.1.5- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO AREA 4 LOTTO 1

Come si può notare dalle immagini sopra riportate la direzione dei vettori di flusso è in maggior parte entrante nella zona perimetrale, da qui la scelta di disporre il sistema di trincee in tali fasce. Nelle figure sottostanti si rappresentano le zone di intervento complete del sistema di trincee drenanti (tratto arancione).

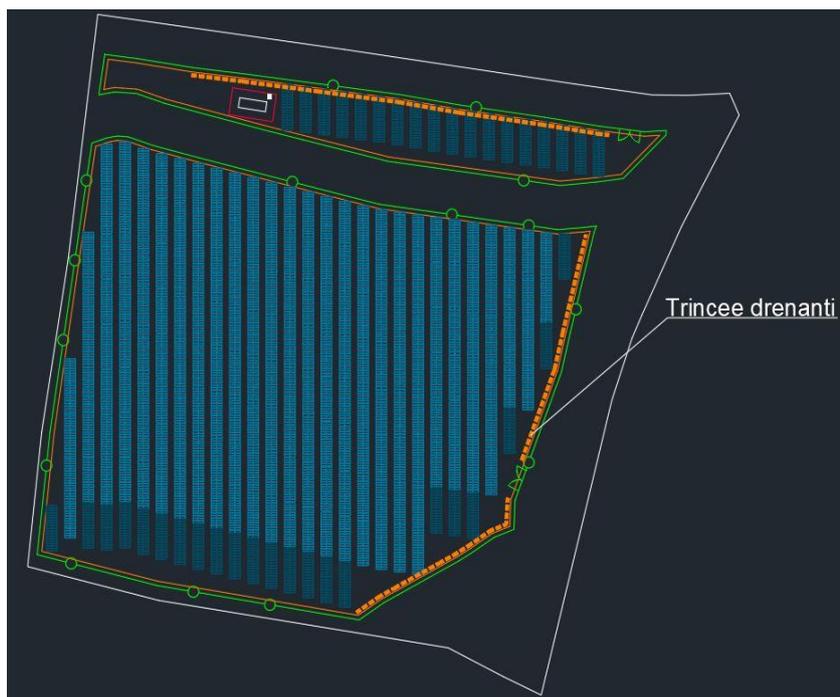


FIGURA 8.1.6- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 1 – ZONA 1

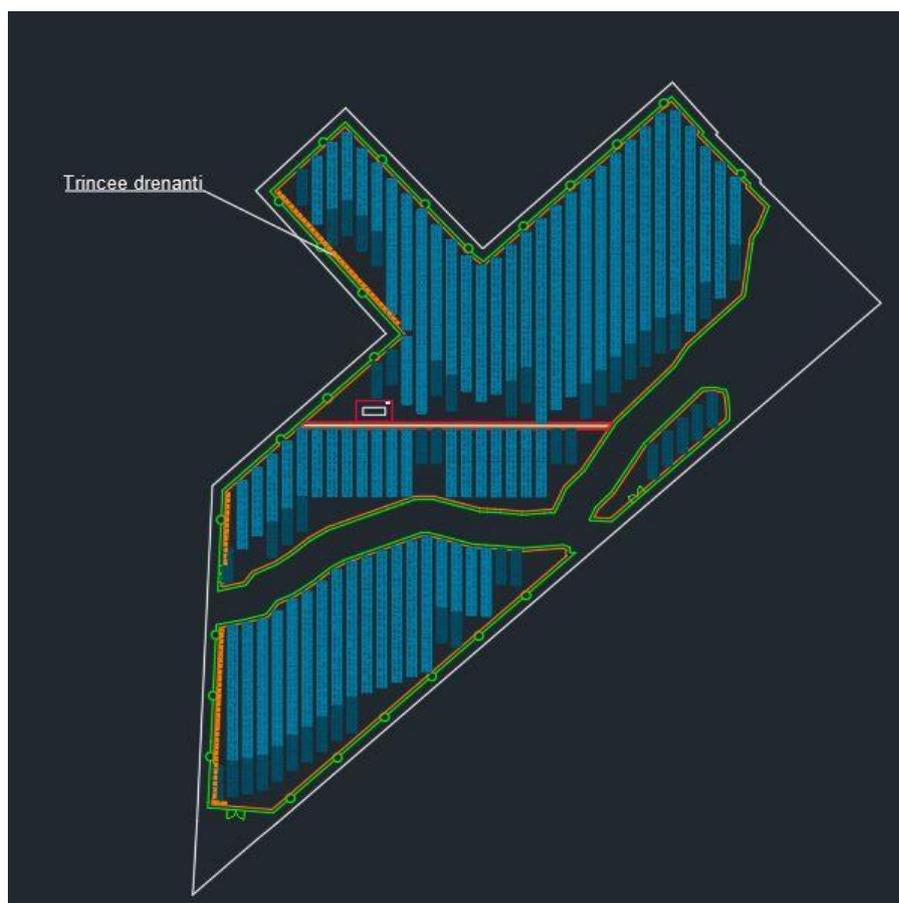


FIGURA 8.1.7- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 1 - ZONA 2

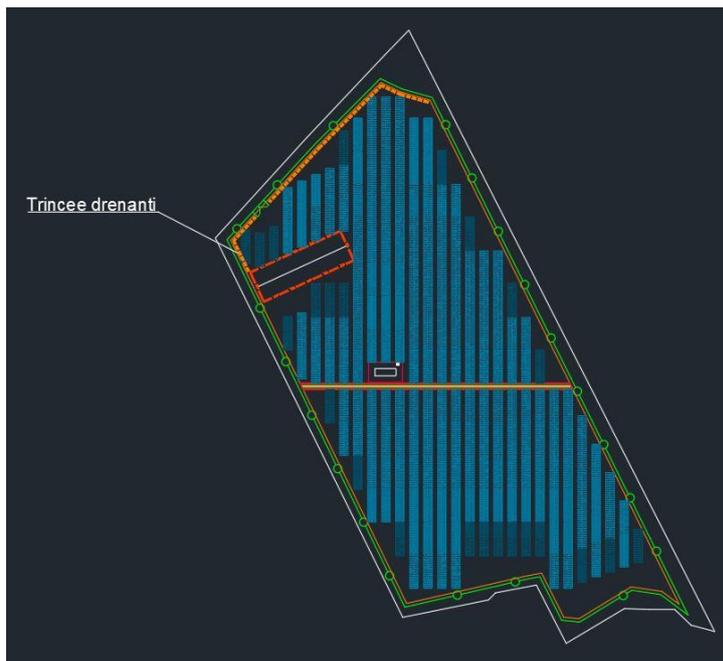


FIGURA 8.1.8- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 1 - ZONA 3



FIGURA 8.1.9- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 1 - ZONA 4

8.2 Volumi di laminazione e sistemi di drenaggio - Lotto 2 Centro

I volumi di laminazione della zona oggetto di intervento, sono stati determinati adottando il metodo semplificato delle piogge. I volumi di laminazione, da cui dipende la progettazione delle trincee, sono calcolati nella tabella a seguire.

TABELLA 8.2.1- VOLUMI DI LAMINAZIONE LOTTO 2

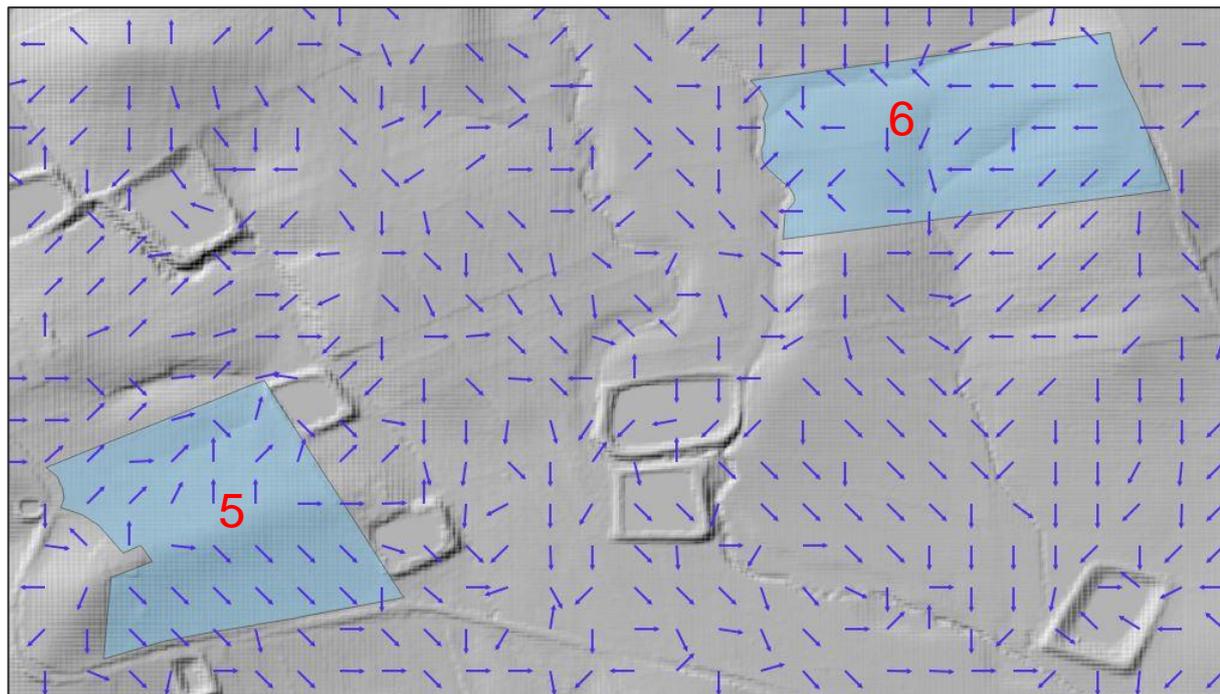
CALCOLO VOLUMI DI LAMINAZIONE DA ALLEGATO 2 DDG 102/2021						
Zona di impianto	S [ha]	ϕ	a	n	Q imp m ³ /s]	Vmax [m ³]
LOTTO 2 - CENTRO	5,7002	0,316	54,592	0,3216	0,360472	557,05

Per quello che concerne le trincee drenanti, la lunghezza di progetto è stata incrementata di un 20% rispetto quella necessaria derivante da calcolo. Nella tabella seguente si calcola la lunghezza della trincea.

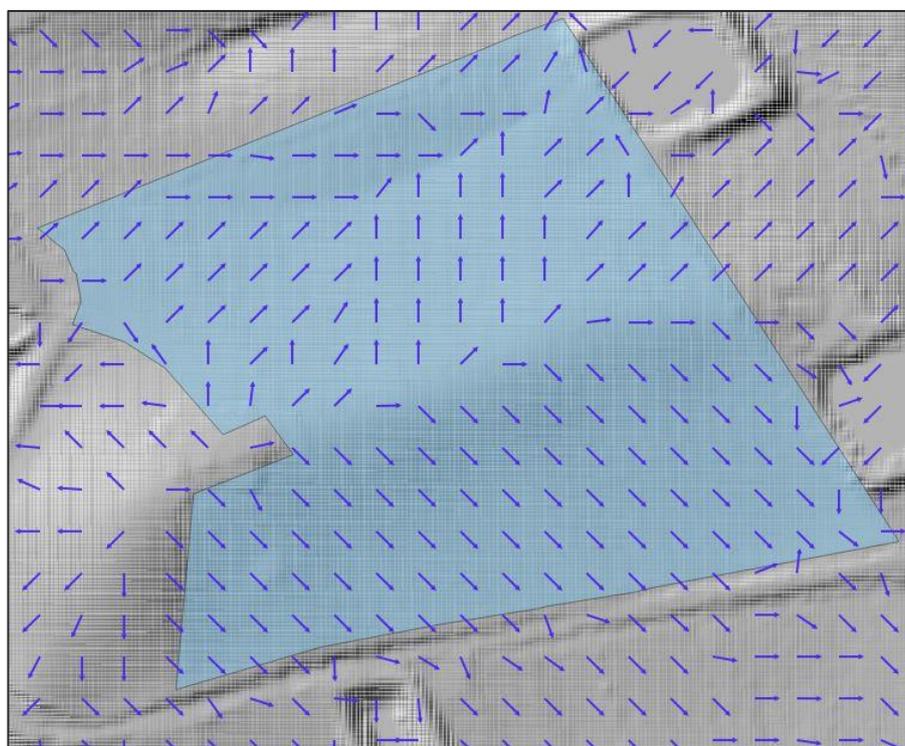
TABELLA 8.2.2- CALCOLO TRINCEE DRENANTI PERIMETRALI LOTTO 2

CALCOLO DELLE OPERE DI COMPENSAZIONE PER LA LAMINAZIONE DEI VOLUMI IN ECCESSO							
Zona di impianto	Area fosso [m ²]	Area trincea [m ²]	Area totale [m ²]	Lunghezza fossi per compensazione [m]	Lunghezza fossi drenanti da progetto [m]	Lunghezza fossi drenanti da progetto incrementati del 20% [m]	Scelta della lunghezza della trincea drenante [m]
LOTTO 2 - CENTRO	0,72	0,4	1,12	497,36	498	597,6	598

La disposizione delle trincee è stata ricavata osservando la possibile direzione delle linee di flusso determinate a partire dal DEM. La rappresentazione del percorso del filetto fluido viene raffigurato nell'immagine a seguire.

**FIGURA 8.2.1- LINEE DI FLUSSO LOTTO 2**

Nelle immagini a seguire un ingrandimento nelle singole zone costituenti il lotto 2.

**FIGURA 8.2.2- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO LOTTO 2 - ZONA 5**

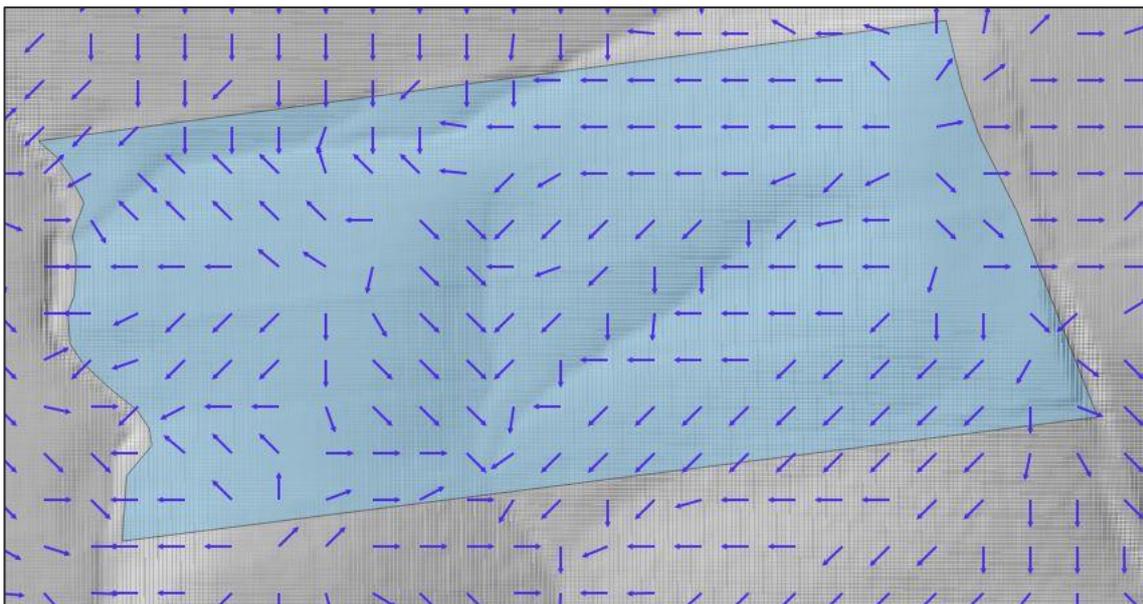


FIGURA 8.2.3- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO LOTTO 2 - ZONA 6

Come si può notare dalle immagine sopra riportate la direzione dei vettori di flusso è in maggior parte entrante nella zona perimetrale, da qui la scelta di disporre il sistema di trincee in tali fasce. Nelle figure sottostanti si rappresentano le zone di intervento complete del sistema di trincee drenanti (tratto arancione).



FIGURA 8.2.4- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 2 - ZONA 5



FIGURA 8.2.5- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 2 - ZONA 6

8.3 Volumi di laminazione e sistemi di drenaggio - Lotto 3 Est

I volumi di laminazione della zona oggetto di intervento, sono stati determinati adottando il metodo semplificato delle piogge. I volumi di laminazione, da cui dipende la progettazione delle trincee, sono calcolati nella tabella a seguire.

TABELLA 8.3.1- VOLUMI DI LAMINAZIONE LOTTO 3.

CALCOLO VOLUMI DI LAMINAZIONE DA ALLEGATO 2 DDG 102/2021						
Zona di impianto	S [ha]	ϕ	a	n	Q imp [m ³ /s]	Vmax [m ³]
LOTTO 3 - Est	14,2426	0,336	54,592	0,3216	0,847648	1566,52

Per quello che concerne le trincee drenanti, la lunghezza di progetto è stata incrementata di un 20% rispetto quella necessaria derivante da calcolo. Nella tabella seguente si calcola la lunghezza della trincea.

TABELLA 8.3.2- CALCOLO TRINCEE DRENANTI PERIMETRALI LOTTO 3.

CALCOLO DELLE OPERE DI COMPENSAZIONE PER LA LAMINAZIONE DEI VOLUMI IN ECCESSO							
Zona di impianto	Area fosso [m ²]	Area trincea [m ²]	Area totale [m ²]	Lunghezza fossi per compensazione [m]	Lunghezza fossi drenanti da progetto [m]	Lunghezza fossi drenanti da progetto incrementati del 20% [m]	Scelta della lunghezza della trincea drenante [m]
LOTTO 3 - Est	0,72	0,4	1,12	1398,67	1399	1678,8	1679

La disposizione delle trincee è stata ricavata osservando la possibile direzione delle linee di flusso determinate a partire dal DEM. La rappresentazione del percorso del filetto fluido viene raffigurato nell'immagine a seguire.

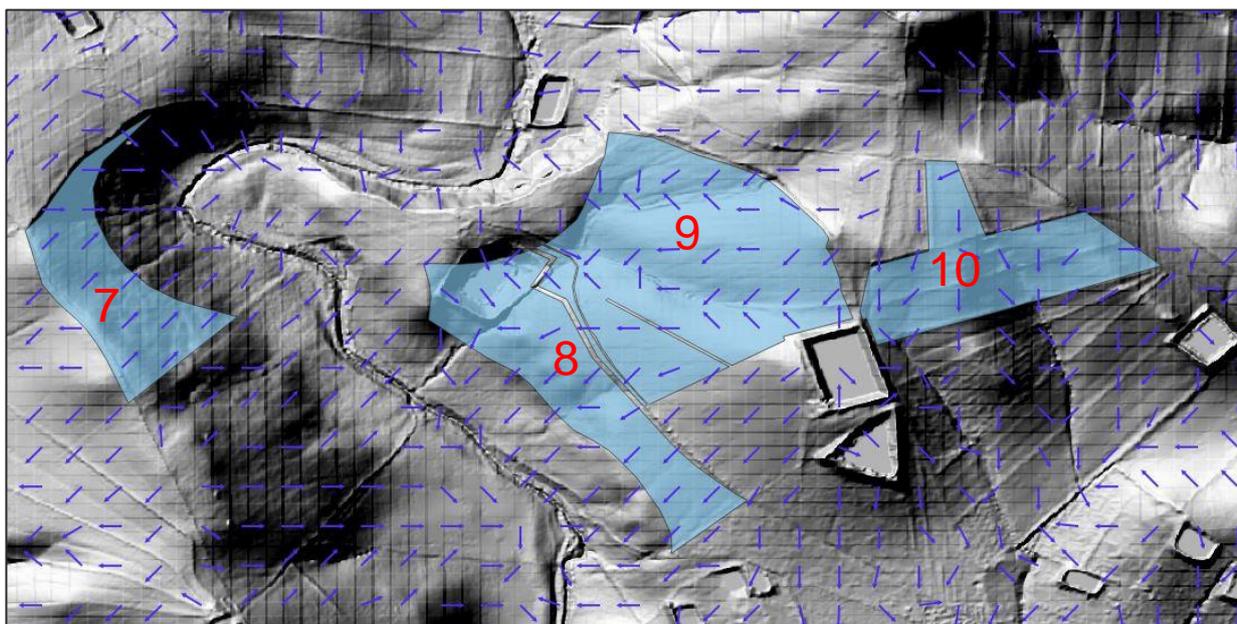


FIGURA 8.3.1- LINEE DI FLUSSO LOTTO 3

Nelle immagini a seguire un ingrandimento nelle singole zone costituenti il lotto 3.

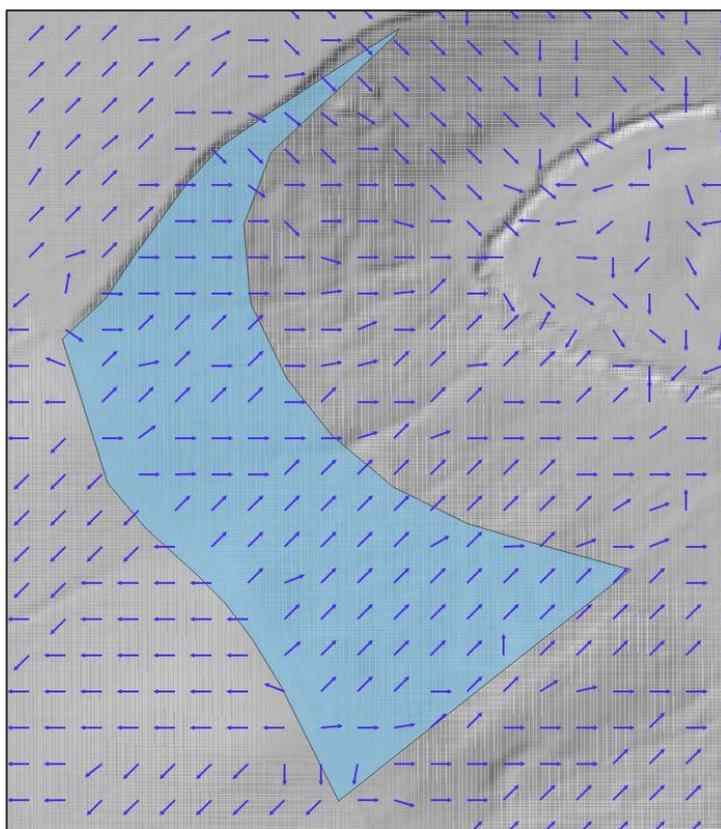


FIGURA 8.3.2- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO LOTTO 3 - AREA 7

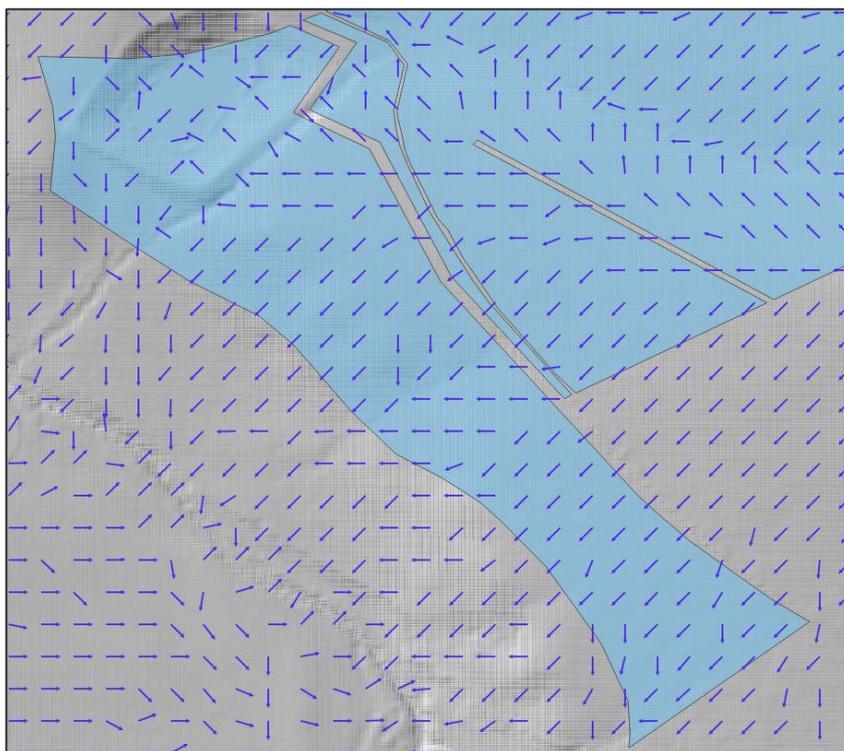
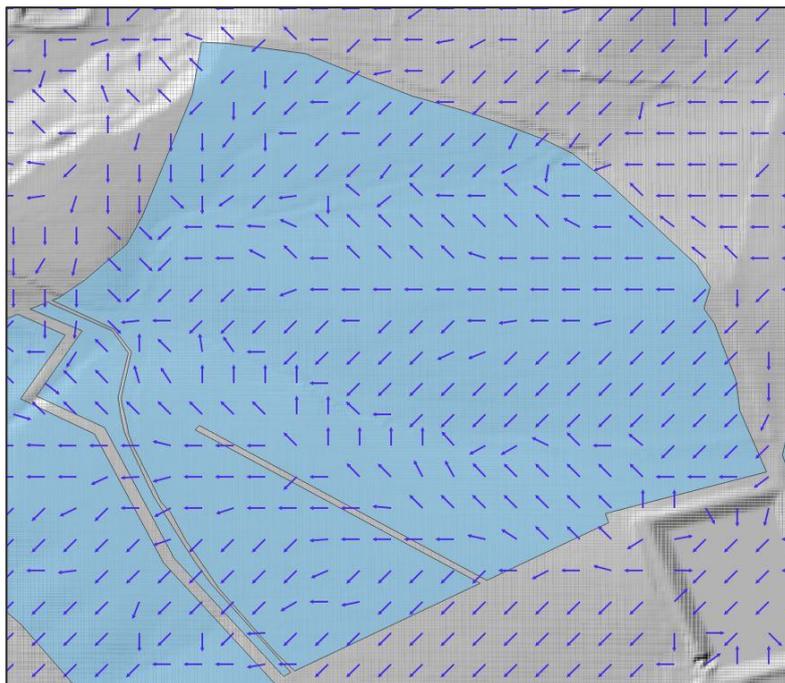
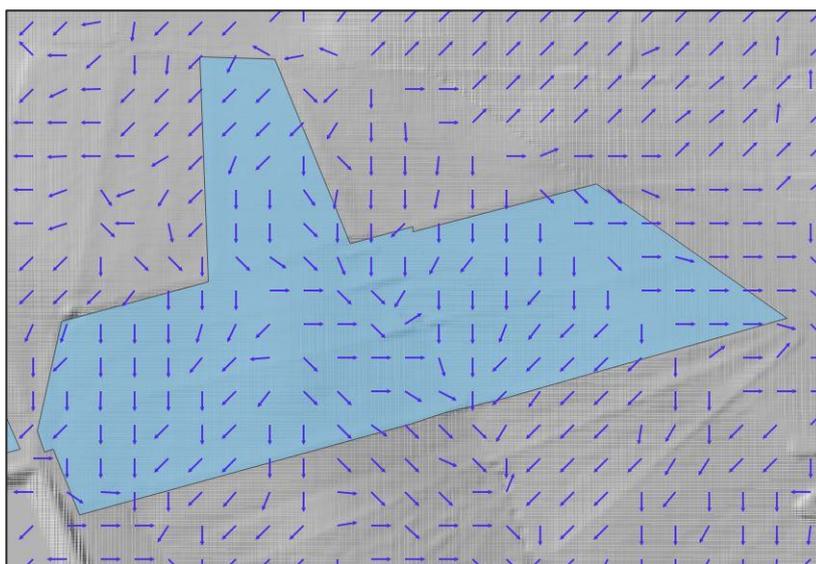


FIGURA 8.3.3- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO LOTTO 3 - AREA 8

**FIGURA 8.3.4- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO LOTTO 3 - AREA 9****FIGURA 8.3.5- INGRANDIMENTO LINEE DI FLUSSO LOTTO 3 - AREA 10**

Come si può notare dalle immagini sopra riportata la direzione dei vettori di flusso è in maggior parte entrante nella zona perimetrale, da qui la scelta di disporre il sistema di trincee in tali fasce. Nelle figure sottostanti si rappresentano le zone di intervento complete del sistema di trincee drenanti (tratto arancione).



FIGURA 8.3.6- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 3 - ZONA 7

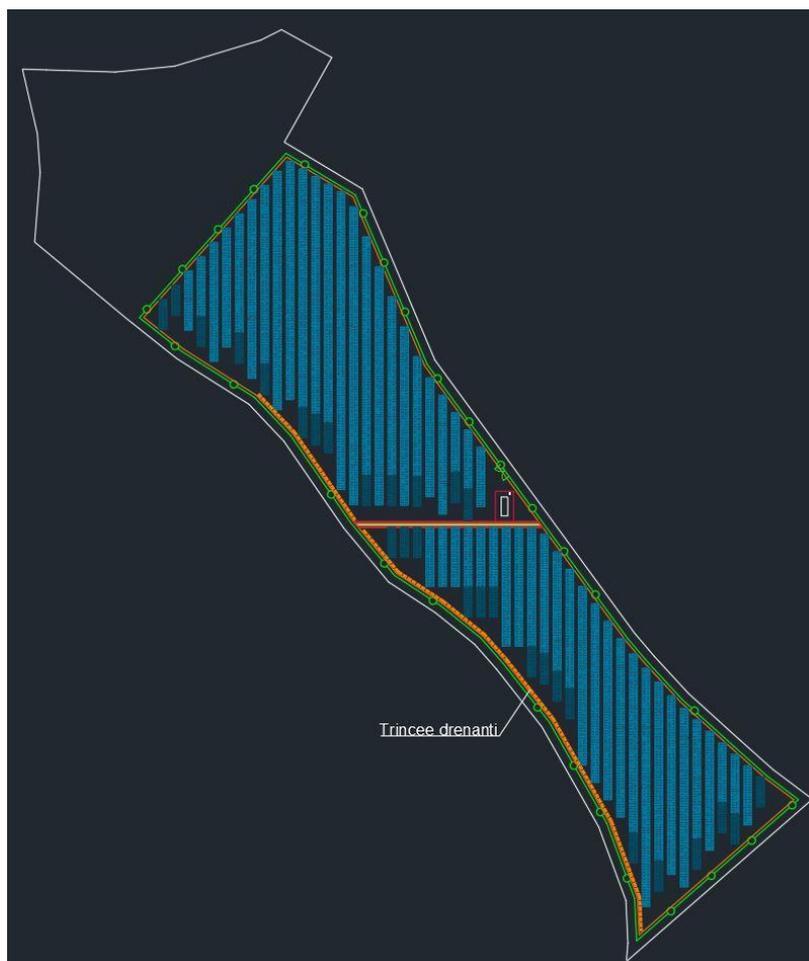


FIGURA 8.3.7- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 3 - ZONA 8



FIGURA 8.3.8- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 3 - ZONA 9

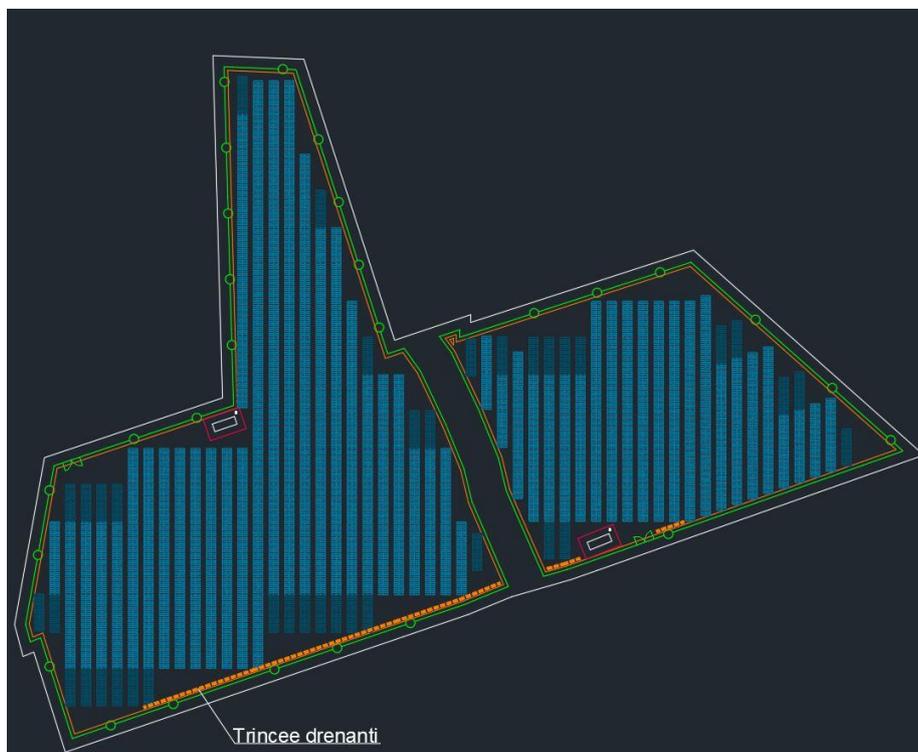


FIGURA 8.3.9- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 3 - ZONA 10

8.4 Volumi di laminazione e sistemi di drenaggio - Lotto 4 Nord-Est

I volumi di laminazione della zona oggetto di intervento, sono stati determinati adottando il metodo semplificato delle piogge. I volumi di laminazione, da cui dipende la progettazione delle trincee, sono calcolati nella tabella a seguire.

TABELLA 8.4.1- VOLUMI DI LAMINAZIONE LOTTO 4.

CALCOLO VOLUMI DI LAMINAZIONE DA ALLEGATO 2 DDG 102/2021						
Zona di impianto	S [ha]	ϕ	a	n	Q imp [m ³ /s]	Vmax [m ³]
LOTTO 4 - Nord-Est	6,2208	0,342	54,592	0,3216	0,3638	707,96

Per quello che concerne le trincee drenanti, la lunghezza di progetto è stata incrementata di un 20% rispetto quella necessaria derivante da calcolo. Nella tabella seguente si calcola la lunghezza della trincea.

TABELLA 8.4.2- CALCOLO TRINCEE DRENANTI PERIMETRALI LOTTO 4

CALCOLO DELLE OPERE DI COMPENSAZIONE PER LA LAMINAZIONE DEI VOLUMI IN ECCESSO							
Zona di impianto	Area fosso [m ²]	Area trincea [m ²]	Area totale [m ²]	Lunghezza fossi per compensazione [m]	Lunghezza fossi drenanti da progetto [m]	Lunghezza fossi drenanti da progetto incrementati del 20% [m]	Scelta della lunghezza della trincea drenante [m]
LOTTO 4 - Nord-Est	0,72	0,4	1,12	632,11	633	759,6	760

La disposizione delle trincee è stata ricavata osservando la possibile direzione delle linee di flusso determinate a partire dal DEM. La rappresentazione del percorso del filetto fluido viene raffigurato nell'immagine a seguire.

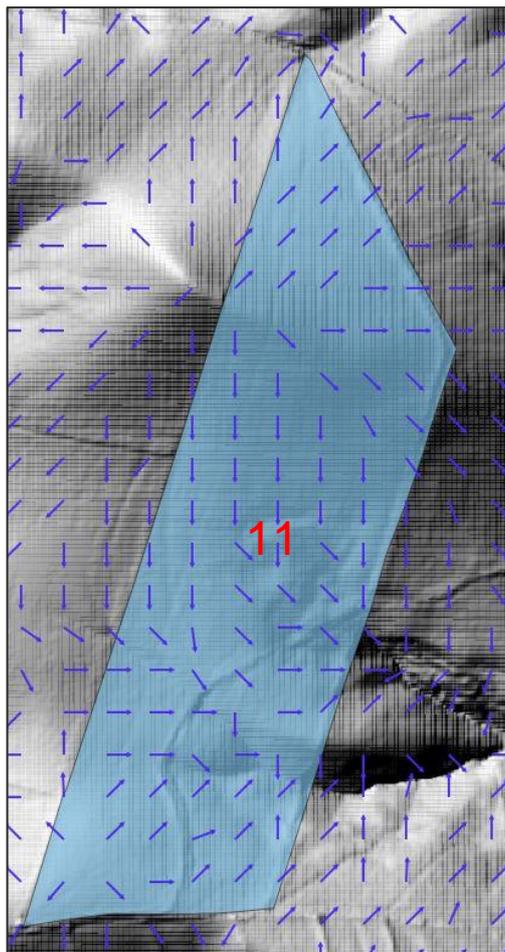


FIGURA 8.4.1- LINEE DI FLUSSO LOTTO 4 - ZONA 11

Come si può notare dall'immagine sopra riportata la direzione dei vettori di flusso è in maggior parte entrante nella zona perimetrale, da qui la scelta di disporre il sistema di trincee in tale zona. Nelle figure sottostanti si rappresentano le zone di intervento complete del sistema di trincee drenanti (tratto arancione).

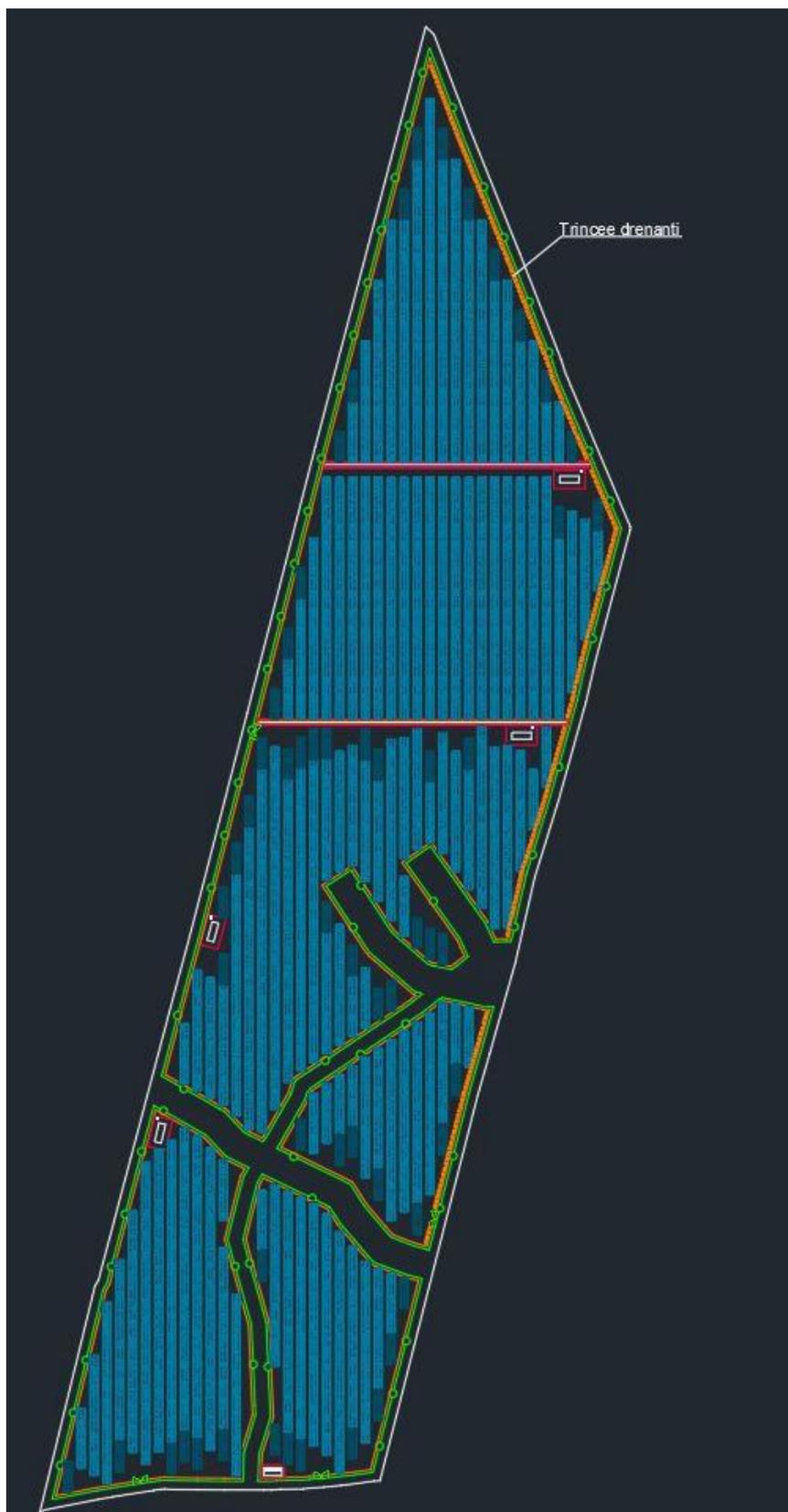


FIGURA 8.4.2- SISTEMAZIONE TRINCEE DRENANTI LOTTO 4 - AREA 11

8.5 Trincee drenanti su fossi

Al fine di assicurare l'invarianza idrologica e idraulica del sito in oggetto, si prevede la **realizzazione di fossi con inserimento di trincee drenanti al loro interno** mediante l'approfondimento dello scavo fino ad 1.00 m al di sotto della base minore della sezione trapezoidale del fosso, con successivo riempimento in materiale arido drenante e rivestimento con telo in tessuto non tessuto in modo da evitare il progressivo interrimento della frazione fine all'interno della trincea. Tali sistemi sono stati progettati tenendo conto del trasporto di materiale fine che, come noto, tendono ad occludere i pori del materiale di riempimento delle trincee, con conseguente riduzione della capacità filtrante. Il sistema di deflusso verso il CIR (corpo idrico ricettore) è stato progettato considerando:

- Realizzazione di fossi con funzione di captazione e convogliamento;
- Trincee drenanti poste al di sotto dei fossi.

Le trincee drenanti vengono realizzate mediante uno scavo di 1m sotto la base minore della sezione trapezoidale del fosso, con successivo riempimento in materiale arido drenante e rivestimento con telo in tessuto non tessuto.

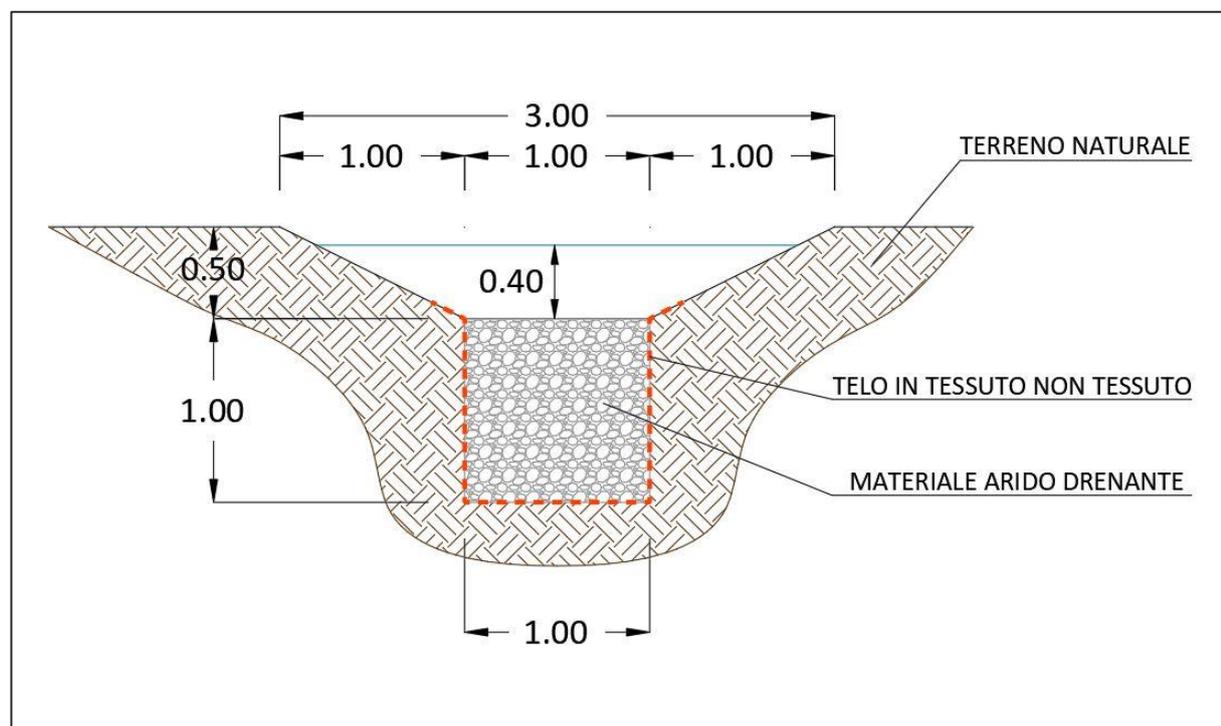


FIGURA 8.5.1- SEZIONE TRASVERSALE SISTEMA FOSSI + TRINCEE

Tale soluzione, consente di aumentare la capacità drenante del suolo garantendo l'infiltrazione delle acque nel terreno oltre che assicurare un effetto di laminazione dovuto ad un rilascio graduale delle portate accumulate, sfruttando la naturale pendenza del terreno. I volumi stoccati, infine, per naturale pendenza del terreno, potranno defluire per gravità verso i fossi naturali esistenti situati a valle del lotto dell'area di impianto.

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

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

8.6 Interventi di manutenzione

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

Le attività di manutenzione saranno costituite da:

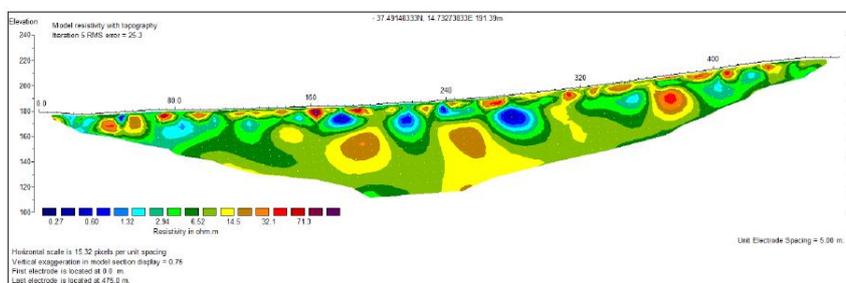
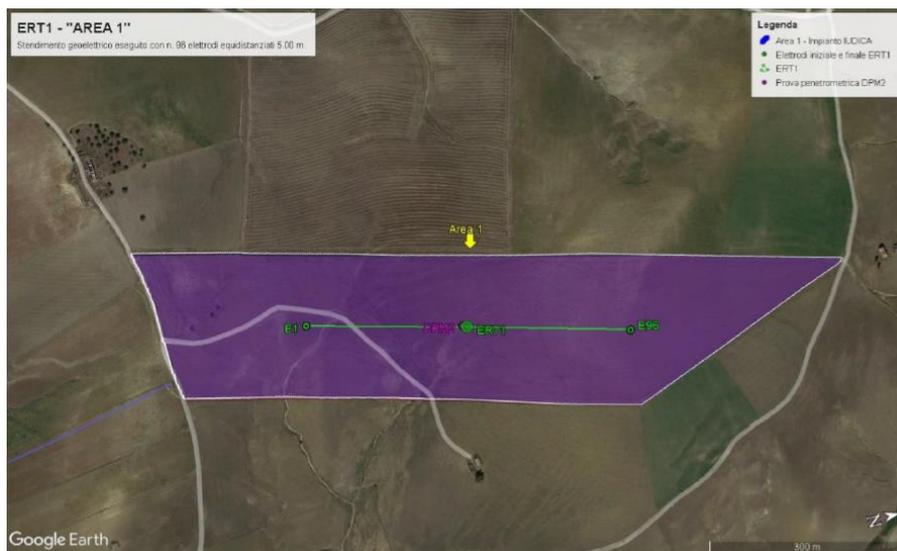
- lo sfalcio e il decespugliamento della vegetazione dei fossi e pulizia da rifiuti;
- la manutenzione periodica della vegetazione arborea sulle sponde o di fogliame con effetti potenziali di ostruzione a valle dei fossi;

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

9. INDAGINI PER LA VALUTAZIONE DELLA PRESENZA DI FALDA

Al fine di valutare la presenza della falda e le sue caratteristiche, sono state condotte delle prove geofisiche.

Nello specifico si riportano i risultati delle tomografie elettriche (ERT 2D) relative a n°8 lotti complessivi, ricadenti all'interno delle n°4 macro aree di impianto.



MODELLO GEORESISTIVO

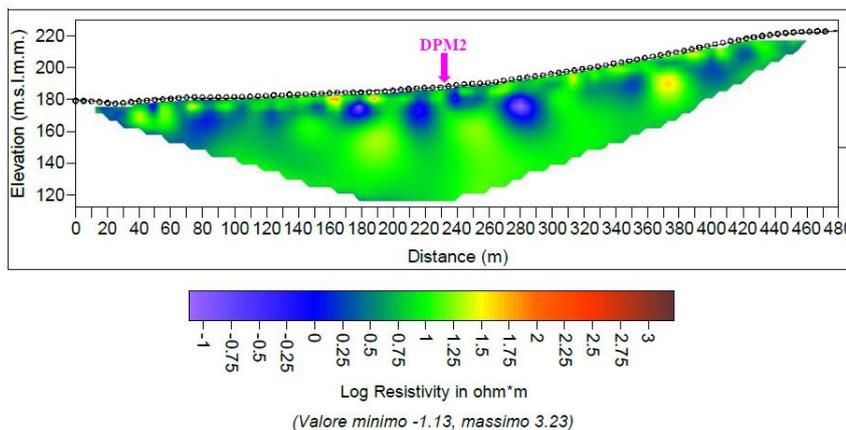
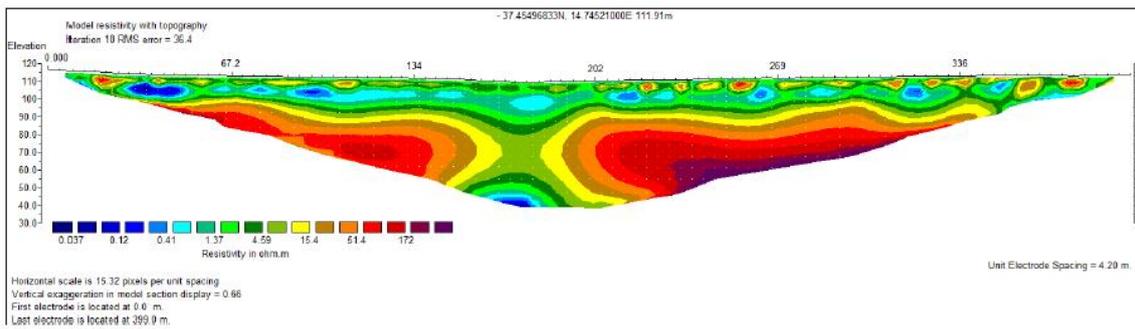
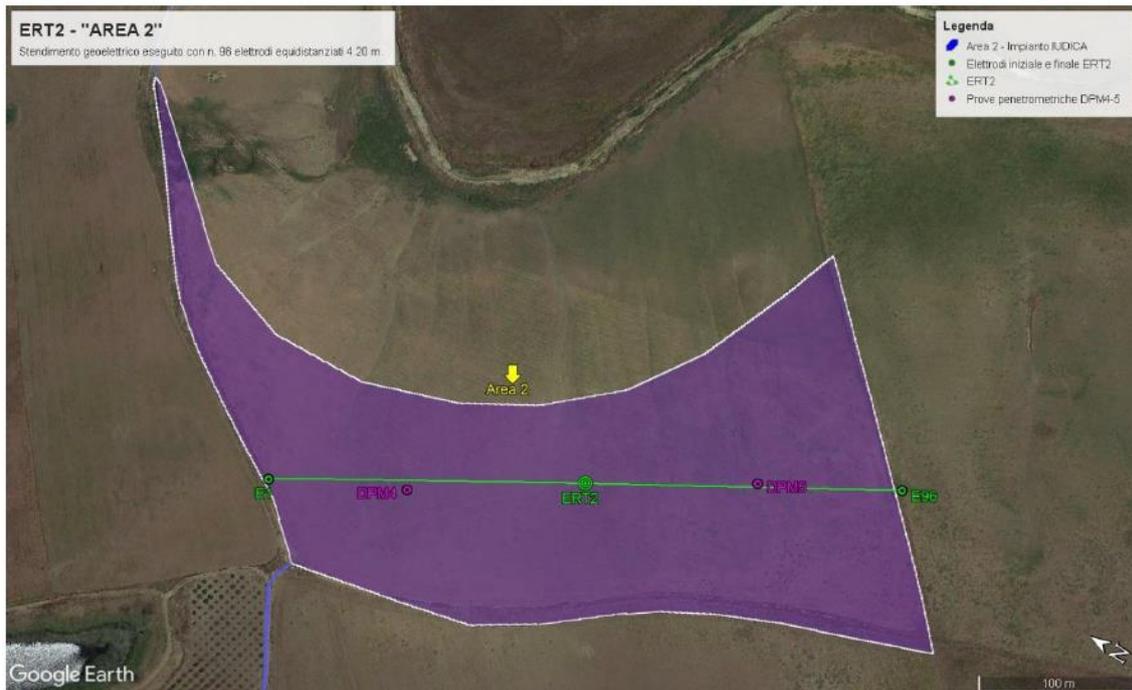


FIGURA 9.1- PLANIMETRIA E PROFILO MODELLO GEORESISTIVO – AREA 1



MODELLO GEORESISTIVO

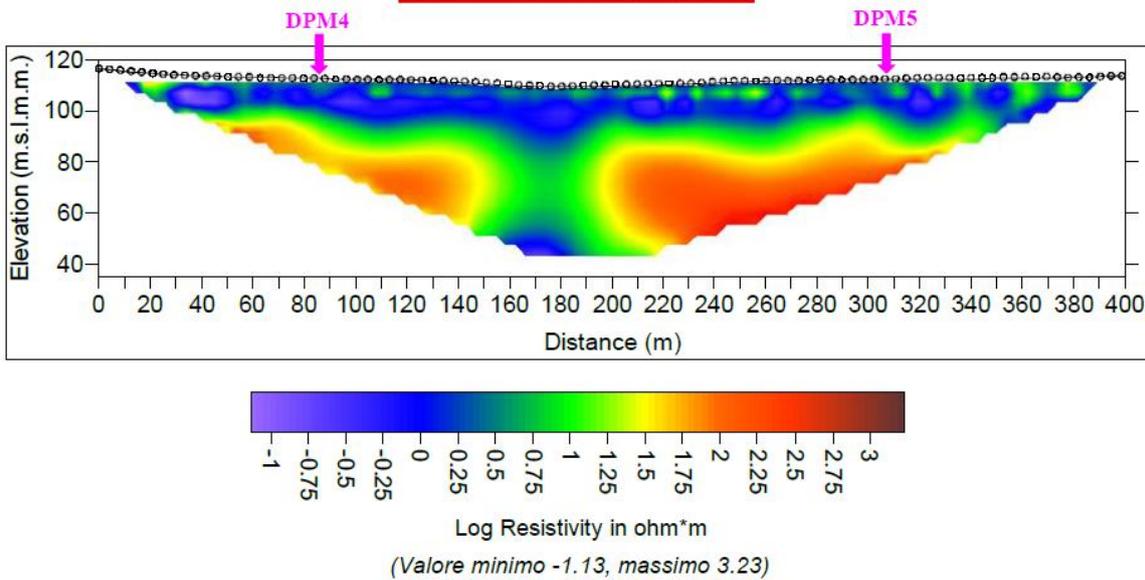


FIGURA 9.2- PLANIMETRIA E PROFILO MODELLO GEORESISTIVO – AREA 2

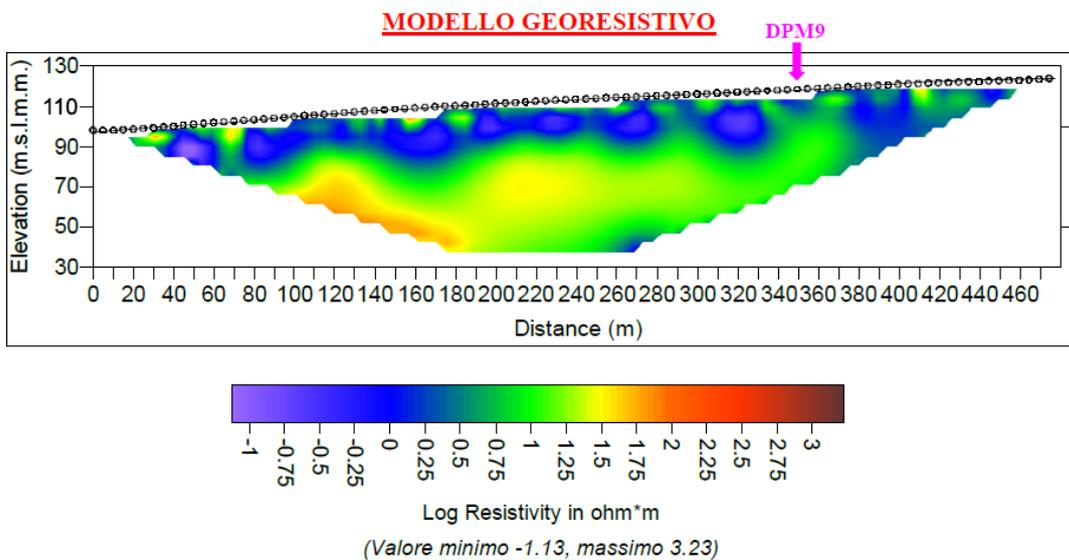
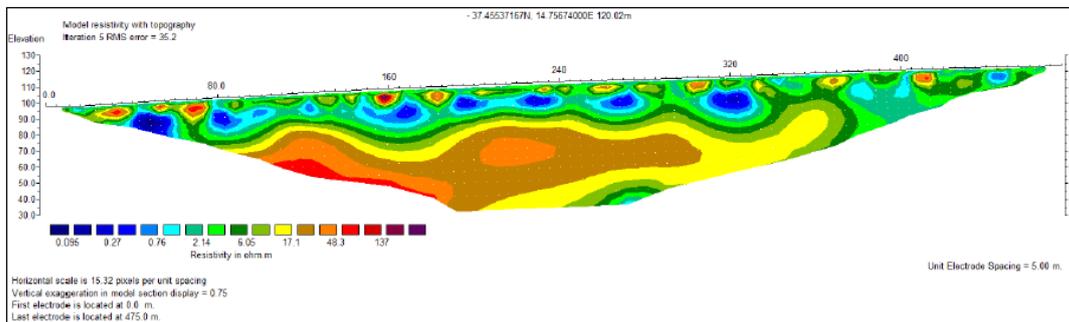


FIGURA 9.3- PLANIMETRIA E PROFILO MODELLO GEORESISTIVO – AREA 3

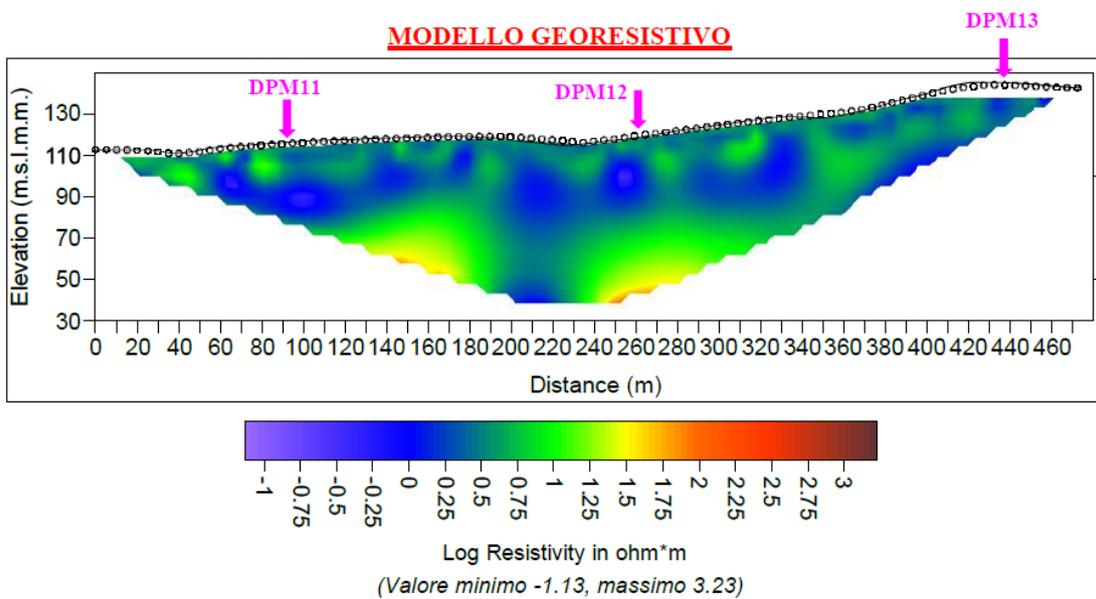
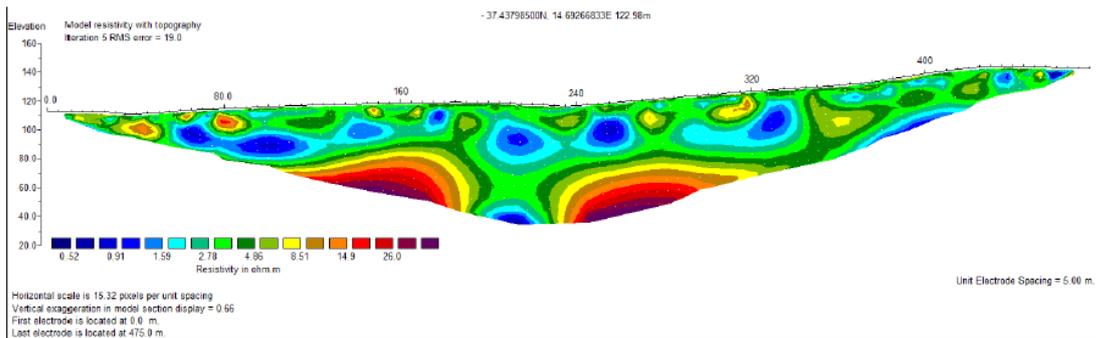
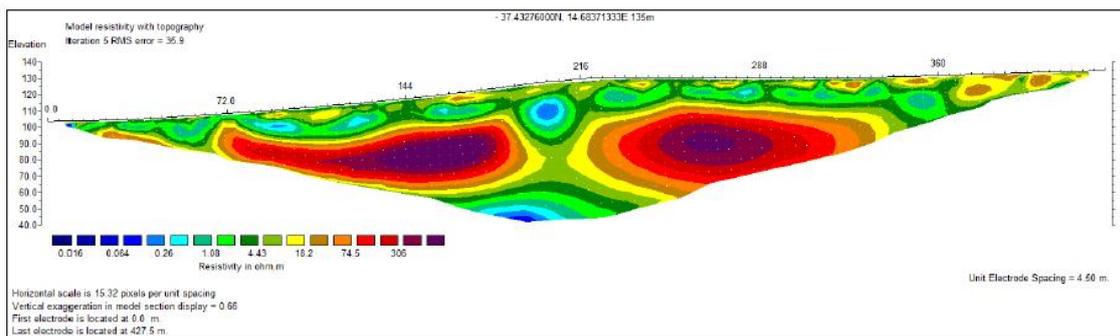


FIGURA 9.4- PLANIMETRIA E PROFILO MODELLO GEORESISTIVO – AREA 4



MODELLO GEORESISTIVO

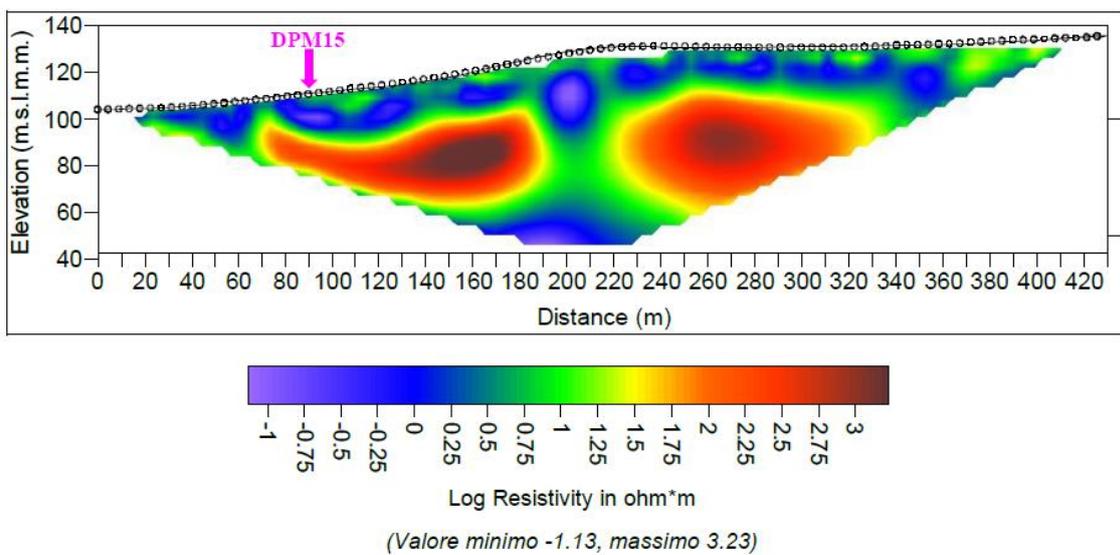


FIGURA 9.5- PLANIMETRIA E PROFILO MODELLO GEORESISTIVO – AREA 5

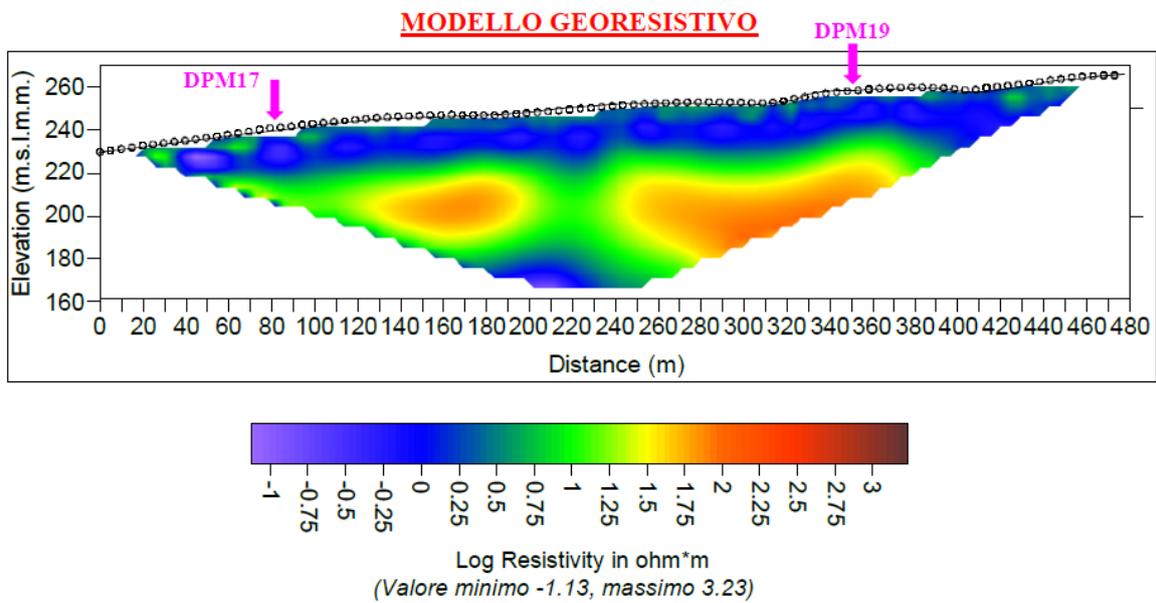
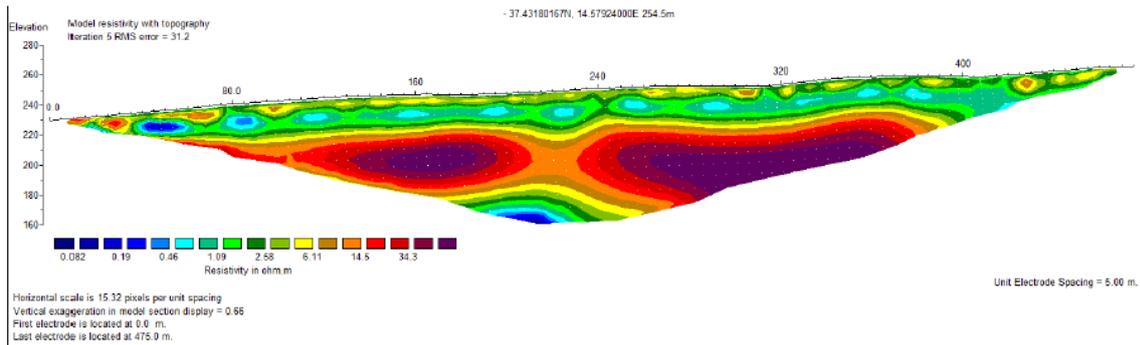


FIGURA 9.6- PLANIMETRIA E PROFILO MODELLO GEORESISTIVO – AREA 6

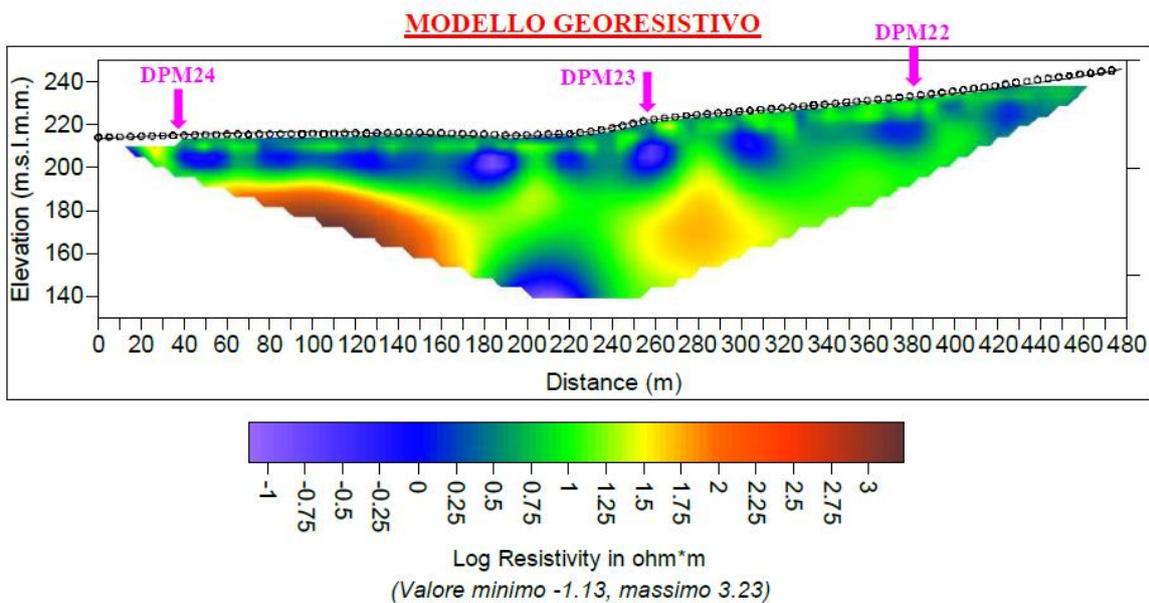
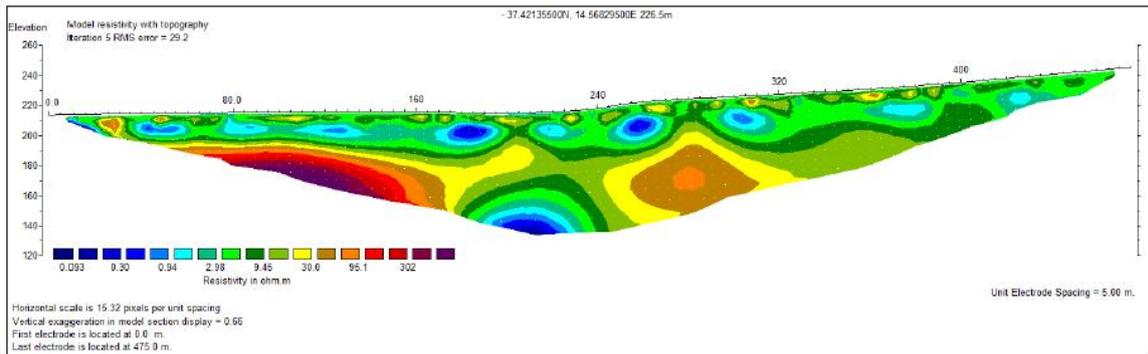
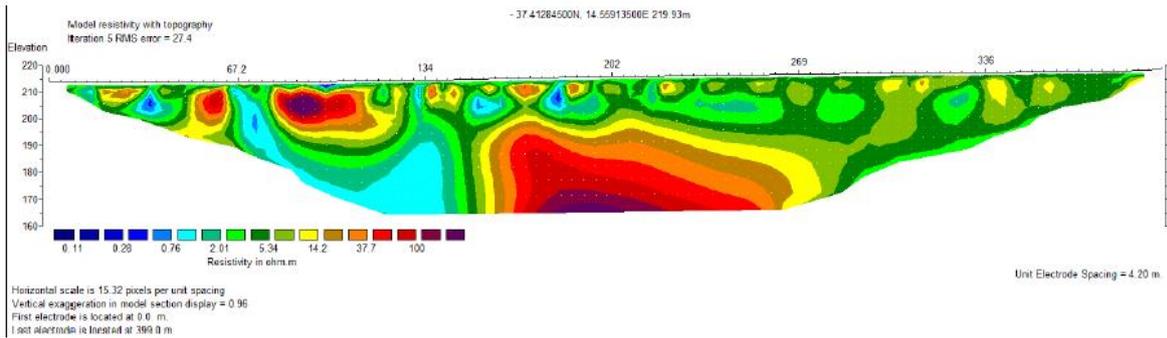


FIGURA 9.7- PLANIMETRIA E PROFILO MODELLO GEORESISTIVO – AREA 7



MODELLO GEORESISTIVO

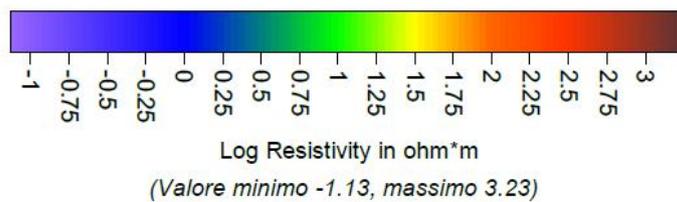
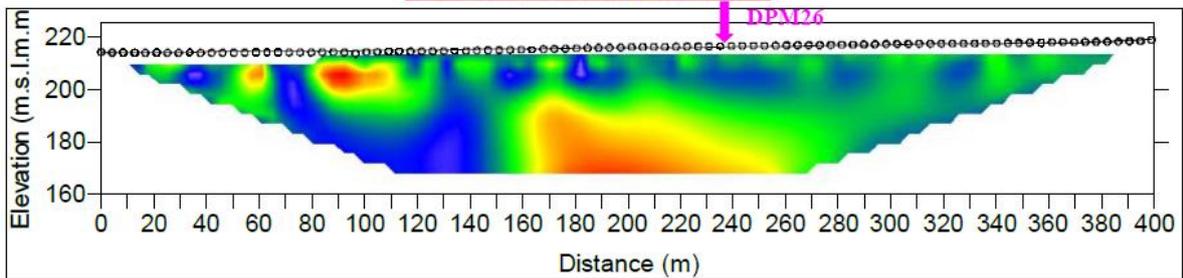


FIGURA 9.8 - PLANIMETRIA E PROFILO MODELLO GEORESISTIVO – AREA 8

Come si evince dalle risultanze delle indagini geoelettriche, non si segnala presenza di falda fino alla profondità investigata (70m circa). In tale distanza infatti non si ha evidenza della presenza di falde freatiche libere o anche in sacche.

Tuttavia, si nota superficialmente, entro i primi metri di spessore della copertura un brusco calo della resistività localizzato in sacche subcircolari (nelle due dimensioni), probabilmente connesso al ruscellamento superficiale delle acque meteoriche. Tale valore di resistività si rialza velocemente con l'aumentare della profondità, salvo poi ridiscendere a profondità superiore ai 50 m.

Tale distribuzione risulta in linea con l'assenza di pozzi nelle diverse zone investigate. L'approvvigionamento idrico infatti proviene dalla pressoché diffusa presenza di vasche di accumulo artificiali.

Dalle risultanze ottenute, pertanto, si può affermare che le opere di mitigazione idraulica previste in progetto sono perfettamente funzionali agli scopi di agevolare l'infiltrazione delle acque negli strati più profondi del terreno e di laminare i volumi in eccesso, in quanto non interferenti con il livello di falda.

Per maggiori dettagli sulle risultanze delle indagini geoelettriche, si invita alla consultazione dell'elaborato "IUDICA-IAR10.4_ALL.3_Risultati Tomografie Elettriche ERT 2D"

10. INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO

Nel presente capitolo si provvederà a verificare le interferenze del cavidotto con il reticolo idrografico realizzati con tecnologia T.O.C al fine di individuare la profondità di passaggio che ne garantisca la protezione dalle sollecitazioni idrodinamiche dei deflussi di piena, dai conseguenti fenomeni erosivi e dall'evoluzione morfologica dell'alveo.

10.1 T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata)

Di seguito l'elenco delle interferenze per le quali si procederà alla posa dei cavi con l'ausilio di tecnica non invasiva No Dig.

TABELLA 10.1. – CENSIMENTO INTERFERENZE IN TOC CON IL RETICOLO IDROGRAFICO

ID INTERFERENZA	ID corso d'acqua
1.06	Vallone Olmo
1.16	Corso d'acqua non rappresentabile
1.17	Corso d'acqua non rappresentabile
2.09	Corso d'acqua non rappresentabile
2.10	Corso d'acqua non rappresentabile
2.11	Fiume Gornalunga
2.12	Corso d'acqua non rappresentabile

Nello specifico si prevede di adottare la tecnologia del Horizontal Directional Drilling (HDD) che prevede l'esecuzione della perforazione eseguita mediante utensile direzionabile. La capacità di controllo della traiettoria plano-altimetrica è data dall'impiego contemporaneo di un sistema di guida e di una testa perforante direzionabile. La posizione della testa di scavo è monitorata in continuo grazie alla presenza di una sonda: è così possibile controllare il tracciato della perforazione con il profilo di progetto, riscontrare e correggere in tempo reale eventuali deviazioni. Il controllo elettronico plano-altimetrico della perforazione in uno all'utilizzo di tubazioni flessibili (tipo in PEAD) permettono la realizzazione di tracciati di notevole curvatura. Operativamente la realizzazione dell'attraversamento prevede tre macro fasi che sinteticamente si riportano nel seguito:

1. Esecuzione della postazione di partenza dove viene posizionato l'impianto di perforazione. Realizzazione di un foro pilota di piccolo diametro che, rispettando il profilo di progetto, avrà il suo punto di approdo sul lato opposto a quello di immissione. Il foro in questione, è eseguito mediante lancia di perforazione e l'inserimento nel terreno della

batteria di aste mentre, l'asportazione del terreno scavato avviene per mezzo di fanghi bentonitici a circolazione continua.

2. Alesatura del foro mediante allargamento del foro pilota al fine di raggiungere il diametro richiesto per l'alloggiamento della condotta. L'operazione viene eseguita con l'ausilio di getti di fango che consentono l'asportazione del terreno e la stabilizzazione delle pareti del foro mentre gli alesatori compattatori ruotano per effetto del moto trasmesso dalle aste ed esercitano un'azione fresante allargando il foro.

3. Tiro della tubazione – procedendo nella stessa direzione della alesatura il tubo in PEAD di attraversamento viene agganciato all'alesatore e viene trainato fino ad occupare l'intera lunghezza della perforazione. Un apposito giunto evita che il moto rotatorio dell'alesatore possa indurre nella tubazione una sollecitazione di tipo torsionale.

La tecnologia utilizzata (HDD) permette di limitare i punti di intervento al punto di lancio e di arrivo in cui si effettueranno gli scavi per posizionare la strumentazione. Prima di effettuare la perforazione verranno eseguite una serie di indagini, quali ad esempio l'introspezione mediante radar della natura del sottosuolo e della presenza di altri impianti (indagine litologica) che consentano di ricostruire la situazione del sottosuolo nel tratto interessato dalla posa dei tubi.

In attesa di più approfondite indagini, è stata fornita una stima riguardante la profondità del profilo di trivellazione della TOC e in particolare sulla distanza tra la linea di Thalweg, che individua il punto più basso dell'alveo del fiume, e il cavidotto.

10.2 Calcolo profondità di posa per gli attraversamenti

La profondità da assegnare al profilo di trivellazione in corrispondenza delle interferenze dipende sia dal margine di sicurezza che si vuole tenere in corrispondenza di tali punti critici da sottopassare, che da esigenze di carattere geotecnico intrinseche alla trivellazione.

In merito alla profondità da tenere al di sotto dei corsi d'acqua, occorre valutare rispettivamente tramite adeguate verifiche di tipo idraulico o geotecnico la probabile evoluzione morfologica planoaltimetrica dell'alveo o la profondità della superficie di scivolamento, tenendo presente un orizzonte temporale adeguato alla vita del cavidotto.

Un altro aspetto importante da tenere in debito conto, spesso però sottovalutato, è quello relativo alla resistenza del terreno nei confronti della pressione dei fanghi di trivellazione, di cui si riferisce successivamente. Tale aspetto va affrontato perché condiziona la scelta del profilo di trivellazione.

Infatti una TOC troppo superficiale può determinare la rottura del terreno sovrastante con venuta a giorno dei fanghi e conseguenti danni ambientali.

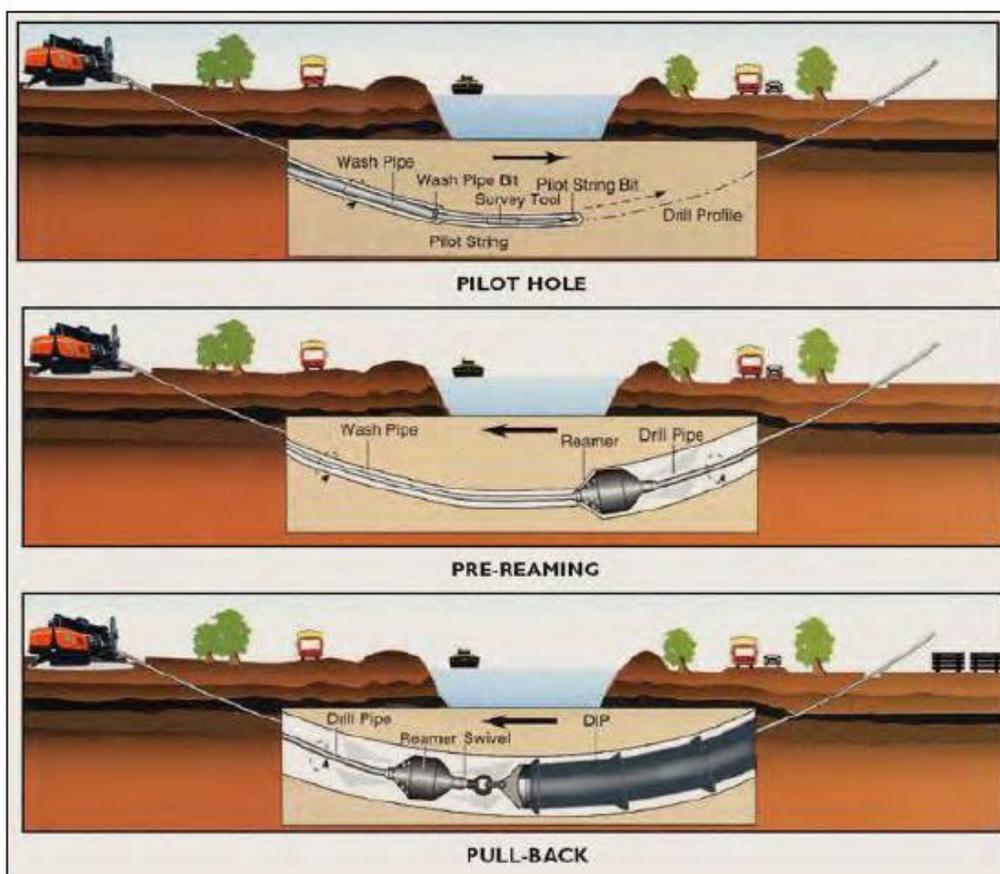


FIGURA 10.2.1- FASI REALIZZATIVE TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA

Si procede alla stima della profondità massima di potenziale erosione del fondo alveo dei bacini interessati. Tale stima sarà utile a determinare la profondità di realizzazione degli attraversamenti in TOC.

10.3 Verifica della profondità di erosione

Nel corso del tempo, il fondo degli alvei dei fiumi può subire modifiche di forma, spesso anche importanti. Ciò è dovuto sia alle caratteristiche proprie dell'alveo, come, ad esempio, curve strette o discontinuità di fondo, oppure da elementi antropici, come opere effettuate all'interno dell'alveo. Le sezioni in esame presentano bassissime pendenze e un andamento tortuoso, ma non tale da alterare profondamente le caratteristiche della corrente.

Le analisi di natura sperimentale disponibili, forniscono delle indicazioni attendibili circa l'entità dei fenomeni, ma è importante sottolineare che ogni formula empirica che si trova nella letteratura di settore è legata a specifici casi studiati. Per tenere conto di ciò, i risultati ottenuti dal calcolo empirico sono stati opportunamente amplificati con un adeguato coefficiente moltiplicativo di sicurezza.

Tra i fenomeni responsabili di erosioni di fondo alveo si rilevano: formazione di buche locali o approfondimenti e propagazione di barre alterne. Per quanto riguarda la formazione locale di buche, in genere queste erosioni avvengono in corrispondenza di discontinuità del fondo o in alvei costituiti da un materiale di fondo essenzialmente granulare, sempre in concomitanza con correnti particolarmente veloci e irregolarità geometriche dell'alveo. Per quanto riguarda invece il fenomeno delle barre alterne, si tratta di sedimenti che si propagano lentamente nel fondo degli alvei, determinando una sequenza di zone di scavo e di deposito.

Considerata la natura del terreno, il calcolo della profondità di erosione è stato condotto considerando essenzialmente il fenomeno della formazione di buche locali o approfondimenti. Fra i modelli empirici più noti in letteratura per tali stime, ci si riferisce nel presente studio alla formula di Schoklitsch, la quale presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici, che si riporta di seguito:

$$S = 0.378 \cdot H^{1/2} \cdot q^{0.35} + 2.15 \cdot a$$

dove:

S = profondità di erosione;

H = carico totale in corrispondenza della sezione a valle della buca;

q = Q/L è la portata per unità di larghezza L della corrente in piena;

a = dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle della buca.

Negli alvei a bassa pendenza ed a sezione larga, come nei casi in esame, se l'altezza idrica della corrente in piena risulta più elevata della sommità dell'alveo, H si può calcolare come di seguito

$$H = 1.2 \cdot ha$$

dove ha è l'altezza degli argini.

Cautelativamente i calcoli sono stati condotti con riferimento a fenomeni di piena caratterizzati da tempi di ritorno di 100 anni.

Di seguito i dati ottenuti.

TABELLA 10.3.1 – CALCOLO PROFONDITÀ DI EROSIONE

Interferenza	ha	H	Portata Q	L	a	S
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m³/s</i>	<i>m</i>		<i>m</i>
1.06	1.9	2.28	60	30	0.8	2.45
1.16	2	2.4	25.34	5	1	3.18
1.17	1.9	2.28	30.68	4	0.9	3.10
2.09	1.8	2.16	30.89	13	0.4	1.61
2.10	1.9	2.28	31.53	3	0.1	1.52
2.11	1.8	2.16	1578.00*	110	1	3.56
2.12	2	2.4	29.98	7	0.6	2.26

* Riferimento portata da appendice idraulica PAI bacino 094 sezione GO-72

10.3.1 Calcolo della profondità di posa

Come detto precedentemente, per il calcolo della profondità di posa della condotta, si moltiplicano i valori ottenuti per un coefficiente di sicurezza pari a 1,2.

$$P_{posa} = 1.2 \cdot S$$

TABELLA 10.3.2 – CALCOLO PROFONDITÀ DI POSA DEL CAVIDOTTO

ID Interferenza	S	P _{posa}
	<i>m</i>	<i>m</i>
1.06	2.45	2.94
1.16	3.18	3.82
1.17	3.10	3.72
2.09	1.61	1.93
2.10	1.52	1.82
2.11	3.56	4.27
2.12	2.26	2.72

11. CONCLUSIONI

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

- Le opere in progetto, secondo le Norme del PAI, rientrano fra quelle consentite, data la valutazione di rischio nullo ad esse associato e dall'analisi degli effetti indotti sulle aree limitrofe;
- L'impatto delle opere da realizzare sull'attuale assetto idraulico nelle zone limitrofe a monte e a valle non determina una variazione delle attuali nulle condizioni del rischio d'inondazione;
- La presenza di pannelli, non costituisce una reale "impermeabilizzazione" della stessa, date anche le posizioni mutue dei pannelli e la loro altezza rispetto al suolo. Inoltre, a differenza degli impianti fissi tradizionali in cui le acque meteoriche defluendo sui pannelli ricadono a terra in maniera localizzata sempre sulla stessa area, la tipologia di impianto in progetto è dotato invece di trackers che ruotano nel tempo permettendo di garantire un deflusso delle acque meteoriche a terra ben distribuito;
- Risulta, inoltre, assolutamente non invasiva la tecnica di installazione dei pilastrini di sostegno dei trackers. Infatti, non vi sono elementi in calcestruzzo di appoggio, quali plinti e/o travi di fondazione, che con la loro presenza avrebbero potuto ingenerare delle superfici impermeabili. Semmai i punti di infissione potrebbero addirittura rappresentare dei punti preferenziali di infiltrazione contribuendo ad una seppur lieve riduzione delle acque di ruscellamento.
- Il raffronto tra le condizioni ante e post-operam evidenzia come la realizzazione dell'impianto comporti un aumento del coefficiente di deflusso medio dei siti di progetto che, nello specifico, passa da valori ante operam pari a 0 (valore cautelativo tabellato dal DDG 102/2021 per terreno incolto o ad uso agricolo) a valori superiori a 0,3 riferito alle condizioni post-operam.
- Si prevede, pertanto, l'inserimento di opere di compensazione costituite nello specifico da aste di trincee drenanti posizionate su fossi di guardia, opportunamente ubicate all'interno dell'area di impianto in modo da captare efficientemente le acque di ruscellamento superficiale. Le opere di compensazione, così calcolate, consentono sia di far infiltrare le acque negli strati più profondi del terreno, che di stoccare i volumi in eccesso derivanti dalla realizzazione delle opere, garantendo l'invarianza idraulica dell'intero sistema progettuale.
- Le sopracitate opere di mitigazione e compensazione idraulica hanno quindi la funzione di laminare le portate eccedenti ed escludere la velocizzazione dello smaltimento delle acque

fuori dal perimetro progettuale. Ai fini dell'invarianza idraulica ed alla scelta degli interventi di mitigazione idraulica ci si è attenuti al D.D.G. DRU e AdB n. 102/2021 con particolare riferimento a quanto indicato nell'allegato 2.

- All'interno dell'area di impianto non sono state previste variazioni del livello del suolo di calpestio tra la condizione attuale e quella di progetto, e verranno mantenuti i profili del terreno esistenti.
- Non sono stati previsti argini perimetrali, che risulterebbero una variazione del livello di suolo.
- Si prevede, inoltre, 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.
- Dalle risultanze delle indagini geoelettriche, non si segnala presenza di falda fino alla profondità investigata (70m circa). In tale distanza infatti non si ha evidenza della presenza di falde freatiche libere o anche in sacche. Pertanto, si può affermare che le opere di mitigazione idraulica previste in progetto sono perfettamente funzionali agli scopi di agevolare l'infiltrazione delle acque negli strati più profondi del terreno e di laminare i volumi in eccesso, in quanto non interferenti con il livello di falda.
- Infine, In corrispondenza delle interferenze con il reticolo idrografico in cui verrà adottata la modalità di attraversamento in TOC, si è calcolata per ogni singola sovrapposizione, la profondità di posa del cavidotto che ne garantisca la protezione dalle azioni idrodinamiche dei deflussi di piena e dai conseguenti fenomeni erosivi. Considerata la natura del terreno, il calcolo della profondità di erosione è stato condotto considerando essenzialmente il fenomeno della formazione di buche locali o approfondimenti. Fra i modelli empirici più noti in letteratura per tali stime, ci si è riferito nel presente studio alla formula di Schoklitsch.

Alla luce delle analisi effettuate, si può infine affermare che i siti oggetto di studio risultano compatibili per la realizzazione delle opere in progetto.

