

REGIONE SICILIA

Provincia di Catania

COMUNE DI RAMACCA



AGROVOLTAICO CONTRADA ALBOSPINO

OGGETTO	AMBIENTALE-RELAZIONI	04-AGCA-VIA.04
ELABORATO	RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	CODICE ELABORATO

PROGETTO	IMPIANTO DENOMINATO "AGROVOLTAICO CONTRADA ALBOSPINO", DI POTENZA DI GENERAZIONE PARI A 51,89 MWp, POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 50 MW E POTENZA DEL SISTEMA DI ACCUMULO PARI A 10 MW, SITO IN LOCALITA' ALBOSPINO COMUNE DI RAMACCA (CT)
----------	---

Data	Revisione	Descrizione	Elaborazione	Verifica
Marzo 2022	00	Emissione per procedura di VIA	Ing. D. Cianciolo	Ing. D. Cianciolo

PROPONENTE	FRI-EL SOLAR S.r.l. Piazza del Grano 3 - 39100 Bolzano (BZ) P.IVA 02023090380 +39 0471324210 - fri-elsolar@legalmail.it
------------	---

FRI-EL SOLAR

PROGETTAZIONE	 E-PRIMA E-PRIMA S.R.L. Via Manganelli 20/G - 95030 Nicolosi (CT) tel:095914116 - cell:3339533392 email:info@e-prima.eu
---------------	--

SCALA:	-----
--------	-------

FORMATO:	A4
----------	----

1	INTRODUZIONE	1
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
3	CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO	3
4	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO	3
5	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	5
6	ANALISI IDROLOGICA	6
7	MODELLO A DOPPIA COMPONENTE TCEV.....	11
8	STIMA DELLA PORTATA AL COLMO.....	13
8.1	CALCOLO DELLE PIOGGE NETTE	14
8.2	TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI.....	18
9	VERIFICHE IDRAULICHE.....	21
9.1	MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO	21
9.2	MODELLO DIGITALE DEL TERRENO.....	22
9.3	IMPOSTAZIONI DI CALCOLO.....	23
9.4	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA.....	24
10	SISTEMAZIONE IDRAULICA INTERNA ALLE AREE DI IMPIANTO.....	26
11	CONCLUSIONI.....	27
	ALLEGATO - PLANIMETRIA AREE DI INONDAZIONE	28

1 INTRODUZIONE

Il presente studio è redatto al fine di definire la compatibilità idraulica per la realizzazione di un impianto agrovoltaiico costituito da tracker monoassiali e strutture fisse e relative opere connesse (infrastrutture impiantistiche e civili), ubicato nel Comune di Ramacca (CT), di potenza di generazione pari a 51,89 MWp per complessivi 24,3 ha utilizzati intesi come area occupata dalle strutture, considerando la proiezione al suolo delle strutture fisse inclinate a 30° e dei tracker alla loro massima estensione, ovvero a 0°.

La presente relazione riporta i risultati dell'analisi idrologica ed idraulica del bacino di pertinenza all'interno del quale ricade il lotto di interesse.

Lo studio è basato partendo dal modello digitale del terreno (DTM) 2m x 2m della porzione di territorio relativa ai fogli CTR 632110, 632120, 632150 e 632160.

Si è effettuata un'elaborazione mediante simulazione di calcolo con software HEC-RAS versione 5.0.7 sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dello US Army Corps of Engineers, avendo impostato nei dati di input gli idrogrammi di piena e le opportune condizioni al contorno.



Figura 1.1 – Stralcio planimetrico area di impianto

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in studio si colloca nel settore centro-orientale della Sicilia, all'interno del territorio comunale di Ramacca (CT), in località Contrada Albospino; è ubicata poco più di un 1 km a NE del Lago di Ogliastro e circa 350m a Nord del Fiume Gornalunga (sponda sinistra), è delimitata per un tratto ad Est dalla SP182 e a Sud dalla SS288, mentre nel settore settentrionale diversi lotti di terreno sono delimitati con la SP114, ed è distante circa 3,45 km Ovest in linea d'aria dal Comune di Raddusa. Le quote sono comprese tra i 333 ed i 168 m s.l.m. (variabili tra i diversi campi progettuali) e l'area si estende per un'area complessiva di 184,62 ha.

Nella cartografia dell'Istituto Geografico Militare il sito rientra nella Tavoletta III-NE del Foglio 269 denominata "Castel di Iudica" in scala 1:25.000 (Fig. 2); nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 l'area in esame rientra nel Foglio 632110 "Raddusa" e nel Foglio 632120 "Castel di Iudica".

Coordinate geografiche (riferite ad un punto centrale all'area in studio):

LAT. 37°27'60" N – LONG. 14°35'26" E (WGS84).

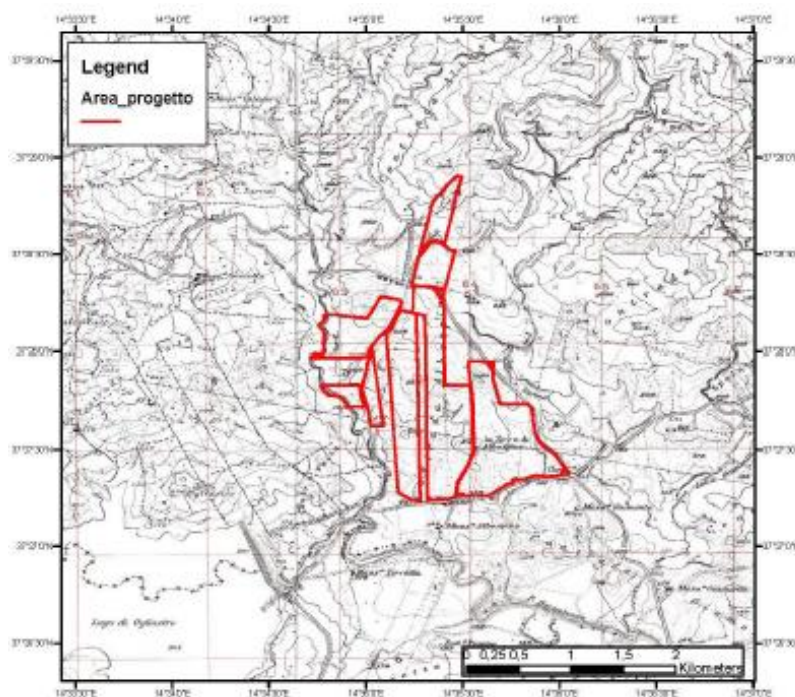


Figura 2.1 – Stralcio della Tavoletta "Castel di Iudica" 269 III-NE

3 CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO

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

Il bacino presenta

Il bacino in oggetto fino alla sezione di chiusura individuata immediatamente a valle dell'impianto, presenta una superficie pari a 134 km².

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

Tabella 3.1 - Caratteristiche morfometriche del bacino

Area (km²)	H_{med} (m.s.l.m.)	H₀ (m.s.l.m.)	L asta principale (km)	i (%)
134	292	197	31	0.6

4 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO

Si sono analizzate le cartografie relative al Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) al fine di evidenziare eventuali livelli di pericolosità e rischio geomorfologico e idraulico in corrispondenza dell'area di impianto.

Di seguito si riportano degli stralci planimetrici con la individuazione del sito in esame, al fine di individuare eventuali sovrapposizioni con zone soggette a pericolosità o a rischio idraulico.

Dalla verifica cartografica si determina, la non sussistenza di zone soggette a pericolosità e/o rischio idraulico in corrispondenza delle aree di impianto, pertanto il layout di progetto rimane completamente fuori da dette zone.

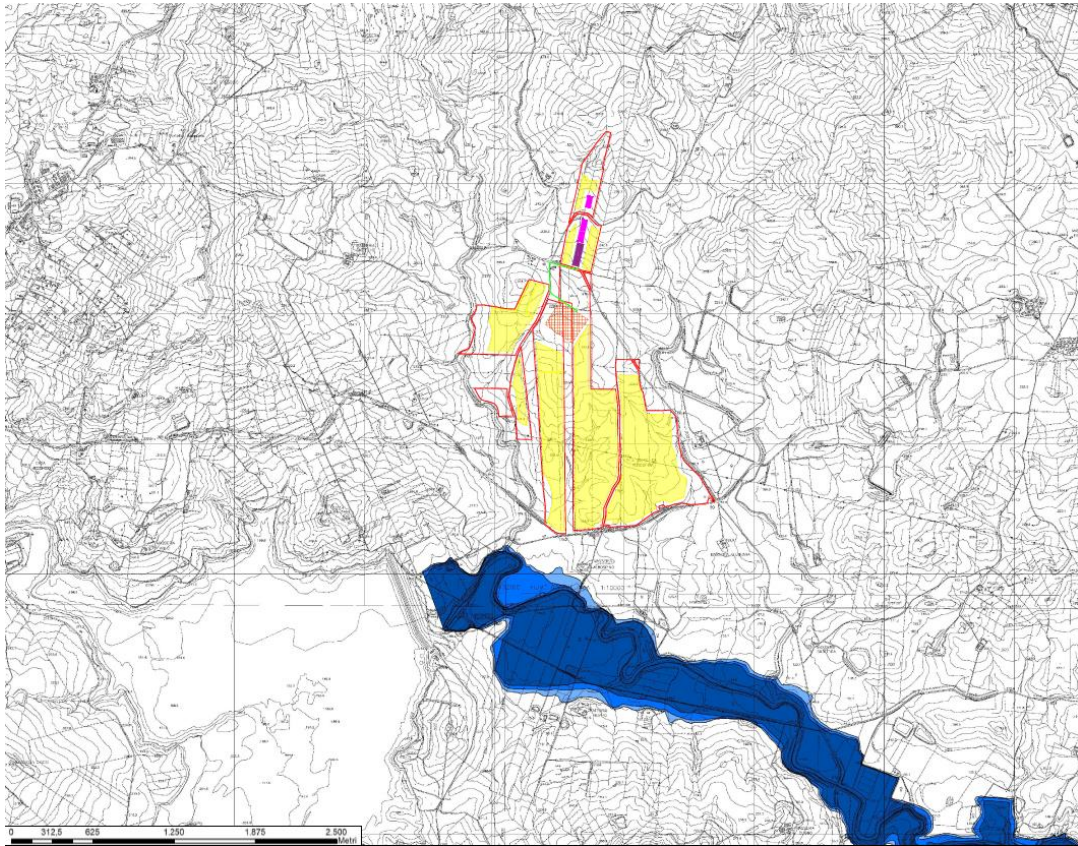


Figura 4.1 – Stralcio Carta della Pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione

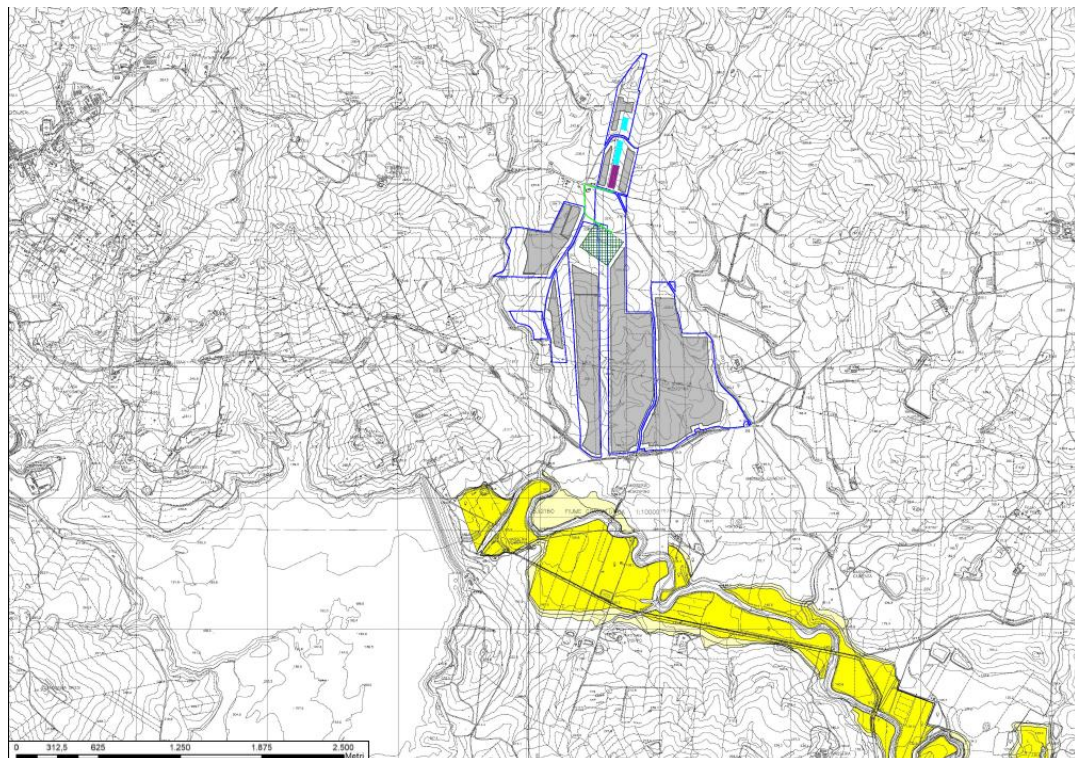


Figura 4.2 – Stralcio CTR 633150 - Carta del Rischio idraulico per fenomeni di esondazione

5 CALCOLO DEL TEMPO 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:

- Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L_a}{0.8 \sqrt{H_{med} - H_0}}$$

dove:

- t_c (ore) è il tempo di corrivazione;
- S (km²) l'area del bacino idrografico;
- L_a (km) la lunghezza dell'asta principale;
- H_{med} (m) l'altitudine media del bacino;
- H_0 (m) la quota della sezione di chiusura.

- Formula di Puglisi e Zanframundo:

$$t_c = 6 \frac{L_a^{2/3}}{d^{1/3}}$$

dove:

- d (m) è il dislivello dell'asta principale.
- L_a (km) la lunghezza dell'asta principale;

- Formula di Kirpich:

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

dove:

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

Tabella 5.1 - Calcolo del tempo di corrivazione

Giandotti (ore)	Puglisi (ore)	Kirpich (ore)	media (ore)	tc progetto (ore)
11.90	10.30	6.60	9.60	10.00

6 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.

Per quanto riguarda i dati degli eventi estremi, si è deciso di adottare le serie dei massimi annuali di durata fissata (1, 3, 6, 12 e 24 ore) della stazione di Piazza Armerina (la più vicina all'area oggetto di studio), attualmente disponibili, non continuativamente, per il periodo 1928-2015 reperibili nella Parte I – tabella III degli Annali Idrologici dell'Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque.

Tabella 6.1 – Altezze di pioggia massime annuali relative alla stazione di Piazza Armerina

STAZIONE PLUVIOMETRICA			PIAZZA ARMERINA		
ANNI DI OSSERVAZIONE			55		
	INTERVALLO DI ORE				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
ANNO	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1928	35.0	35.2	41.2	52.2	77.4
1929	30.0	41.8	41.8	48.6	77.4
1930	56.8	59.6	59.8	59.8	59.8
1931	13.6	40.6	65.0	83.0	127.4
1932	34.2	36.0	36.6	53.0	74.6
1933	13.0	35.6	53.0	80.0	117.0
1934	32.0	35.0	51.6	64.4	78.6
1935	41.6	43.8	54.4	87.0	113.0
1937	42.0	67.0	67.2	67.2	67.2
1942	16.0	25.4	40.2	58.4	91.0
1944	35.8	38.8	60.0	103.0	154.2
1956	11.4	16.0	22.6	23.6	28.6
1960	16.6	22.4	30.4	46.8	50.0
1961	19.8	22.0	23.0	32.2	45.2
1962	12.6	34.0	52.4	57.8	65.4
1963	25.4	30.2	34.2	47.8	61.8
1964	41.0	78.4	89.6	156.6	177.8
1965	32.6	48.4	81.6	86.6	98.8
1966	37.8	66.2	102.0	123.0	138.4
1967	14.4	19.6	30.6	40.6	74.2
1968	15.2	31.0	50.2	72.4	104.4
1969	15.0	26.4	35.2	44.0	46.6
1970	30.2	30.8	39.8	45.6	47.8
1971	29.2	64.6	71.0	71.2	75.0
1972	16.8	30.8	31.6	50.0	53.0
1973	20.0	42.6	70.6	94.2	160.2

STAZIONE PLUVIOMETRICA			PIAZZA ARMERINA		
ANNI DI OSSERVAZIONE			55		
	INTERVALLO DI ORE				
ANNO	1 ora h (mm)	3 ore h (mm)	6 ore h (mm)	12 ore h (mm)	24 ore h (mm)
1974	24.0	33.6	45.0	48.8	51.0
1975	17.6	30.2	36.4	41.0	50.4
1976	23.2	25.6	29.0	57.4	80.4
1978	60.0	77.2	83.8	85.4	91.0
1980	40.0	47.8	47.8	48.8	59.2
1981	26.2	33.0	34.0	34.0	34.2
1983	28.2	30.2	41.0	46.6	69.0
1984	31.0	57.0	63.4	74.6	95.8
1985	14.2	25.4	37.0	68.0	115.2
1986	24.6	32.2	35.0	35.2	35.4
1987	18.0	30.4	30.4	31.4	37.0
1988	18.0	35.0	56.0	79.8	90.8
1989	36.0	36.4	36.4	36.4	36.6
1991	93.0	106.0	109.2	195.6	225.4
1993	21.0	37.0	37.4	37.6	44.0
1997	35.2	55.0	55.0	55.0	81.0
1998	36.0	36.0	38.2	39.0	57.0
1999	28.4	30.6	52.4	77.4	119.0
2000	39.4	40.6	52.6	52.6	61.4
2001	35.2	38.4	38.4	38.4	38.4
2002	30.6	36.2	36.2	36.2	36.4
2004	40.0	62.0	75.2	80.6	84.4
2006	12.8	30.6	48.4	66.6	113.6
2007	13.0	26.4	52.2	85.0	117.0
2008	40.6	64.6	78.0	78.0	79.6
2011	25.4	36.0	57.0	90.4	98.2
2013	26.4	29.0	41.8	49.8	52.8
2014	26.0	40.0	59.6	79.6	88.8
2015	41.0	46.4	55.8	68.2	104.0

Per ogni serie di dati, i valori sono disposti in ordine crescente ed è calcolata, per ognuno di essi, la frequenza cumulata di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N+1}$$

dove i è il numero d'ordine del dato ed N è il numero di dati.

I valori sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 6.2 – Altezze di pioggia massime annuali ordinate - Stazione di Piazza Armerina

STAZIONE PLUVIOMETRICA				PIAZZA ARMERINA		
ANNI DI OSSERVAZIONE				55		
INTERVALLO DI ORE						
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	
i	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	Fi
1	11.4	16.0	22.6	23.6	28.6	0.0179
2	12.6	19.6	23.0	31.4	34.2	0.0357
3	12.8	22.0	29.0	32.2	35.4	0.0536
4	13.0	22.4	30.4	34.0	36.4	0.0714
5	13.0	25.4	30.4	35.2	36.6	0.0893
6	13.6	25.4	30.6	36.2	37.0	0.1071
7	14.2	25.6	31.6	36.4	38.4	0.1250
8	14.4	26.4	34.0	37.6	44.0	0.1429
9	15.0	26.4	34.2	38.4	45.2	0.1607
10	15.2	29.0	35.0	39.0	46.6	0.1786
11	16.0	30.2	35.2	40.6	47.8	0.1964
12	16.6	30.2	36.2	41.0	50.0	0.2143
13	16.8	30.2	36.4	44.0	50.4	0.2321
14	17.6	30.4	36.4	45.6	51.0	0.2500
15	18.0	30.6	36.6	46.6	52.8	0.2679
16	18.0	30.6	37.0	46.8	53.0	0.2857
17	19.8	30.8	37.4	47.8	57.0	0.3036
18	20.0	30.8	38.2	48.6	59.2	0.3214
19	21.0	31.0	38.4	48.8	59.8	0.3393
20	23.2	32.2	39.8	48.8	61.4	0.3571
21	24.0	33.0	40.2	49.8	61.8	0.3750
22	24.6	33.6	41.0	50.0	65.4	0.3929
23	25.4	34.0	41.2	52.2	67.2	0.4107
24	25.4	35.0	41.8	52.6	69.0	0.4286
25	26.0	35.0	41.8	53.0	74.2	0.4464
26	26.2	35.2	45.0	55.0	74.6	0.4643
27	26.4	35.6	47.8	57.4	75.0	0.4821
28	28.2	36.0	48.4	57.8	77.4	0.5000
29	28.4	36.0	50.2	58.4	77.4	0.5179
30	29.2	36.0	51.6	59.8	78.6	0.5357
31	30.0	36.2	52.2	64.4	79.6	0.5536
32	30.2	36.4	52.4	66.6	80.4	0.5714
33	30.6	37.0	52.4	67.2	81.0	0.5893
34	31.0	38.4	52.6	68.0	84.4	0.6071
35	32.0	38.8	53.0	68.2	88.8	0.6250
36	32.6	40.0	54.4	71.2	90.8	0.6429
37	34.2	40.6	55.0	72.4	91.0	0.6607
38	35.0	40.6	55.8	74.6	91.0	0.6786
39	35.2	41.8	56.0	77.4	95.8	0.6964
40	35.2	42.6	57.0	78.0	98.2	0.7143
41	35.8	43.8	59.6	79.6	98.8	0.7321
42	36.0	46.4	59.8	79.8	104.0	0.7500
43	36.0	47.8	60.0	80.0	104.4	0.7679
44	37.8	48.4	63.4	80.6	113.0	0.7857

STAZIONE PLUVIOMETRICA				PIAZZA ARMERINA		
ANNI DI OSSERVAZIONE				55		
INTERVALLO DI ORE						
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	
i	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	Fi
45	39.4	55.0	65.0	83.0	113.6	0.8036
46	40.0	57.0	67.2	85.0	115.2	0.8214
47	40.0	59.6	70.6	85.4	117.0	0.8393
48	40.6	62.0	71.0	86.6	117.0	0.8571
49	41.0	64.6	75.2	87.0	119.0	0.8750
50	41.0	64.6	78.0	90.4	127.4	0.8929
51	41.6	66.2	81.6	94.2	138.4	0.9107
52	42.0	67.0	83.8	103.0	154.2	0.9286
53	56.8	77.2	89.6	123.0	160.2	0.9464
54	60.0	78.4	102.0	156.6	177.8	0.9643
55	93.0	106.0	109.2	195.6	225.4	0.9821

Per determinare le curve di probabilità pluviometrica bisogna anzitutto adattare una distribuzione di probabilità alle serie dei dati delle piogge intense. Tra le diverse distribuzioni si è scelta la funzione densità di probabilità di Gumbel che, come è noto, ben si adatta agli eventi estremi. Essa, in formule, è espressa come di seguito riportato:

$$P = e^{-e^{-\alpha(h-u)}}$$

I parametri u ed α sono determinati a partire dai momenti del campione di dati analizzati. In particolare essi sono legati alla media ed allo scarto quadratico medio del campione dalle seguenti relazioni:

$$\alpha = 1.283 / \sigma \quad u = \mu - 0.450 \sigma$$

I valori dei parametri delle 5 distribuzioni di Gumbel associate alle serie del campione sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 6.3 – Valori di media, scarto quadratico medio e parametri u e α , relativi alla serie di dati a disposizione, per le differenti durate di osservazione.

	INTERVALLO DI ORE				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
μ (h)	28.96	40.56	50.88	64.84	82.03
σ (h)	14.23	16.85	19.04	30.36	39.40
α (h)	0.090	0.076	0.067	0.042	0.033
u (h)	22.56	32.98	42.31	51.18	64.30

A partire dalle 5 distribuzioni di probabilità determinate, è possibile trovare, per fissata probabilità di non superamento P o per fissato tempo di ritorno T_R , i valori di precipitazione h corrispondenti alle 5 differenti durate utilizzando la relazione:

$$h = u - \frac{\ln [-\ln (P)]}{\alpha}$$

Ai fini della presente analisi si sono fissati differenti tempi di ritorno ($T_r = 2, 5, 10, 20, 50, 100$ e 200 anni) rispetto ai quali calcolare le precipitazioni corrispondenti ad una durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Le distribuzioni di altezze in funzione della durata di pioggia sono state infine regolarizzate attraverso curve interpolanti di equazione:

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

La stima dei parametri a e n è determinabile con il metodo dei minimi quadrati, da cui fissato un tempo di ritorno è possibile calcolare i termini della retta ($\log a, n$) mediante le seguenti espressioni:

$$n = \frac{N \sum_{m=1}^N (\log t \cdot \log h) - \sum_{m=1}^N (\log t) \cdot \sum_{m=1}^N (\log h)}{N \sum_{m=1}^N (\log t)^2 - (\sum_{m=1}^N \log t)^2}$$

$$\log a = \frac{\sum_{m=1}^N (\log h) \cdot \sum_{m=1}^N (\log t)^2 - \sum_{m=1}^N (\log t) \cdot \sum_{m=1}^N (\log t) \cdot (\log h)}{N \sum_{m=1}^N (\log t)^2 - (\sum_{m=1}^N \log t)^2}$$

Sono state così ottenute le curve di probabilità pluviometrica che esprimono il legame tra altezza di pioggia h (mm) e durata t (ore) per fissato tempo di ritorno T_R (anni).

Nella figura successiva vengono rappresentate le suddette curve di probabilità pluviometrica.

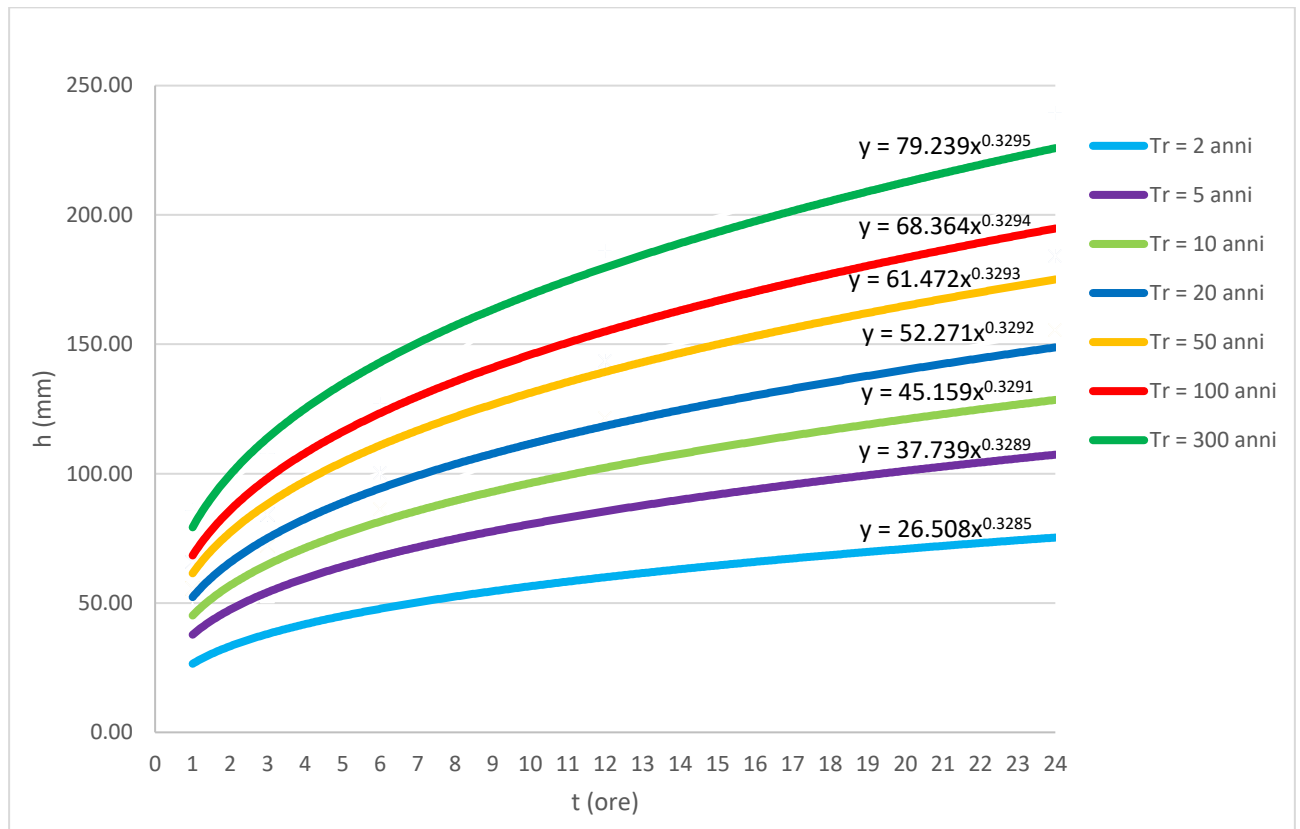


Figura 6.1 – Curve di probabilità pluviometrica (Stazione di Piazza Armerina)

7 MODELLO A DOPPIA COMPONENTE TCEV

Al calcolo effettuato per la determinazione delle curve di probabilità pluviometrica, è stato inoltre applicato in via cautelativa, il modello a coppia componente TCEV, messo a punto utilizzando una particolare tecnica di regionalizzazione ed una legge di probabilità a quattro parametri.

Il suddetto modello, tarato sui massimi di precipitazione di breve durata registrati dal Servizio Idrografico Siciliano, distingue, all'interno di tali valori, tra eventi eccezionali estremamente elevati e valori ordinati più frequenti; ciò è dovuto a differenti fenomenologie metereologiche, riprodotte da due funzioni di probabilità di Gumbel.

Sulla base di un'analisi di tipo regionale, la Sicilia è stata quindi suddivisa in tre sottozone omogenee A, B e C come rappresentato nella successiva figura.

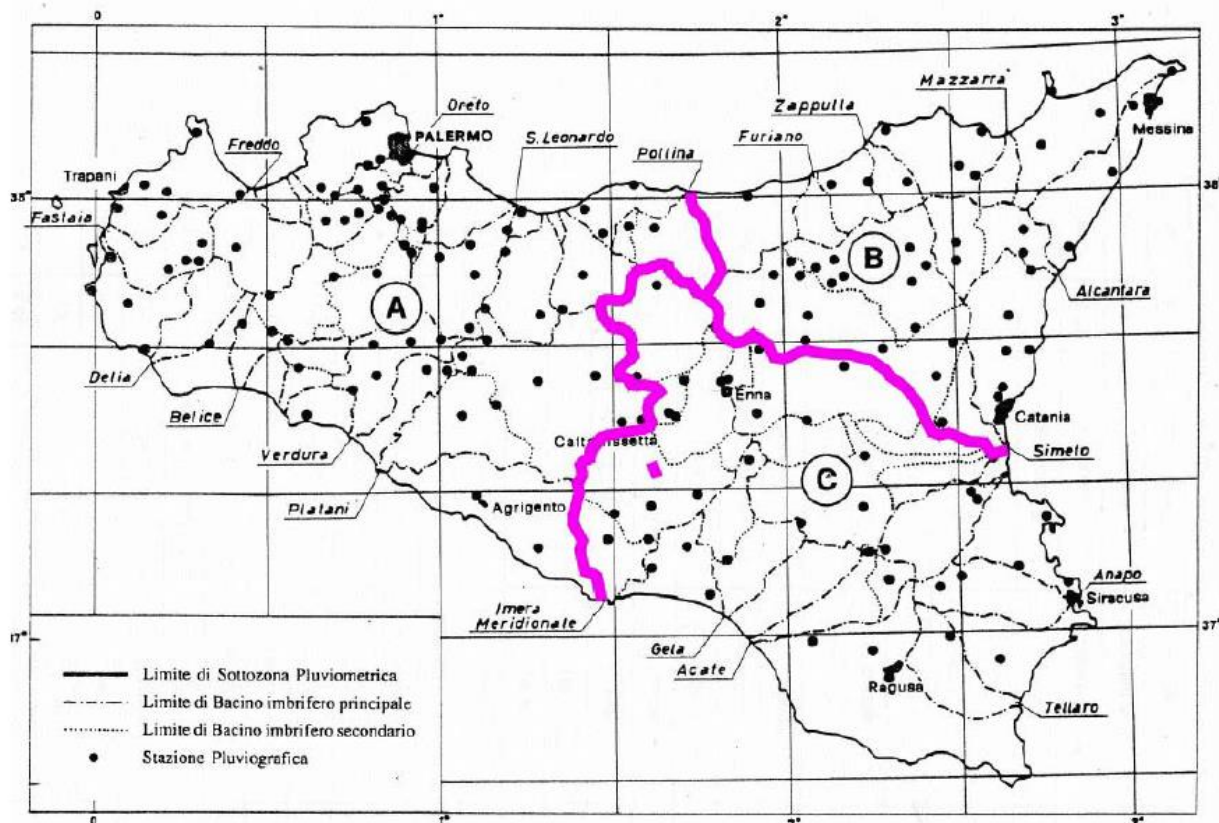


Figura 7.1 - Metodo TCEV. Suddivisione del territorio in sottozone omogenee

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:

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

In cui t (ore) indica la durata della pioggia e T (anni) il tempo di ritorno.

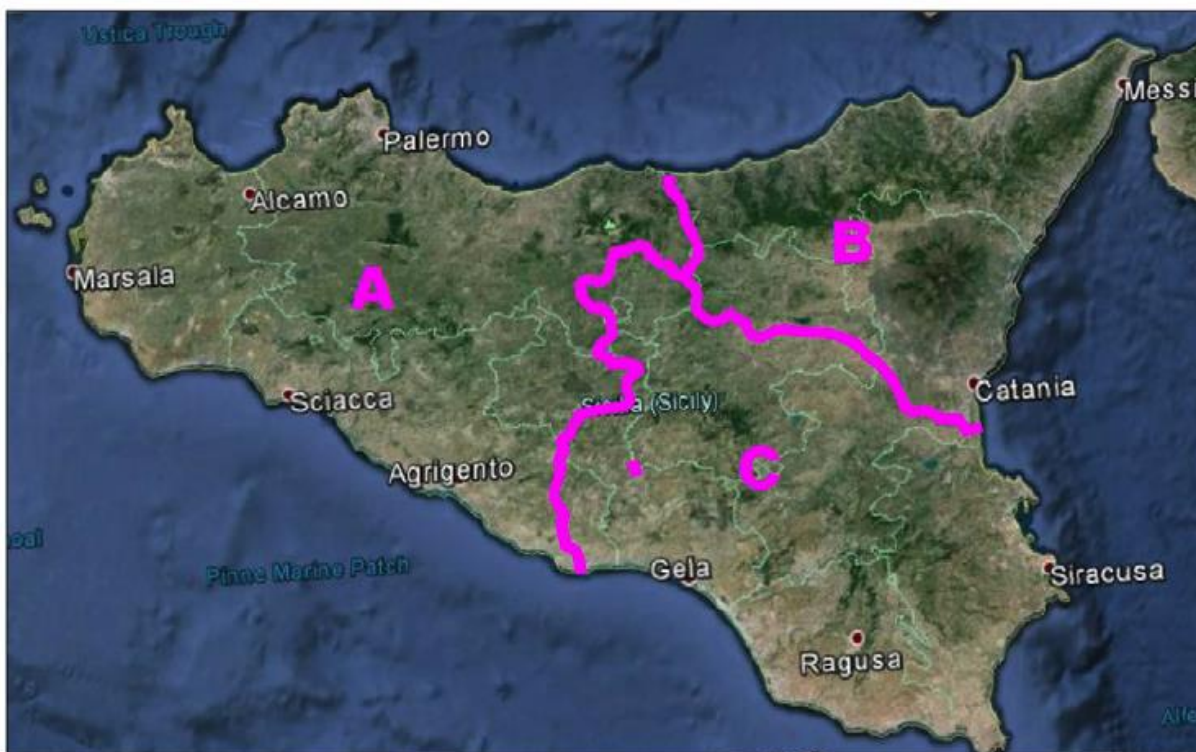


Figura 7.2 - Individuazione della sottozona di appartenenza (sottozona C)

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

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

8 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.

8.1 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)

$$t_{lag} = 0.6 t_c = 1.91 \text{ ore}$$

$$\Delta t_{max} = 0.29 t_{lag} = 0.5549 \text{ ore}$$

Si assumono pertanto 8 intervalli di $\Delta t = 0,1288$ (considerando una pioggia della durata pari al tempo di corrivazione $t_c = 1.030$ ore).

Nelle successive tabelle sono riportati i valori delle h di pioggia e le differenze Δh per ogni intervallo e per un tempo di ritorno fissato pari a $T = 100$ anni.

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

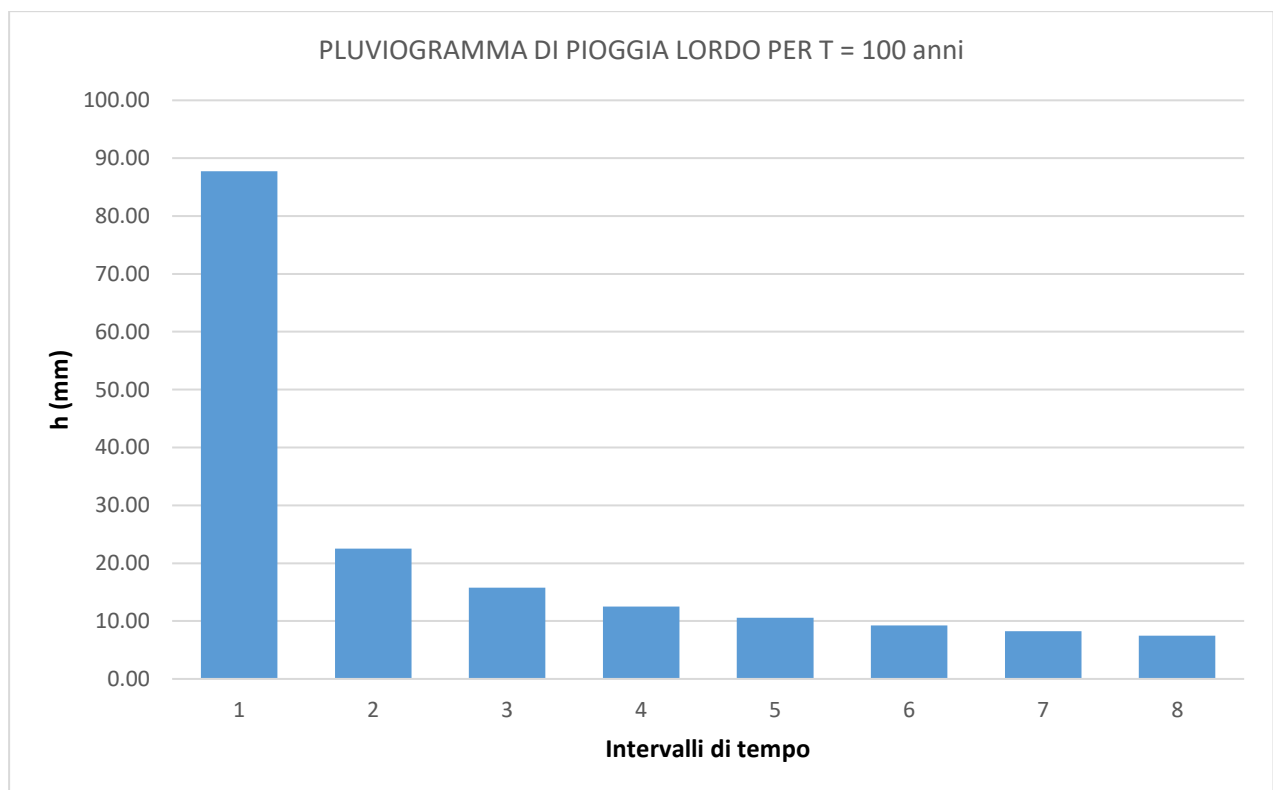


Figura 8.1.1 – Pluviogramma lordo di pioggia in serie decrescente

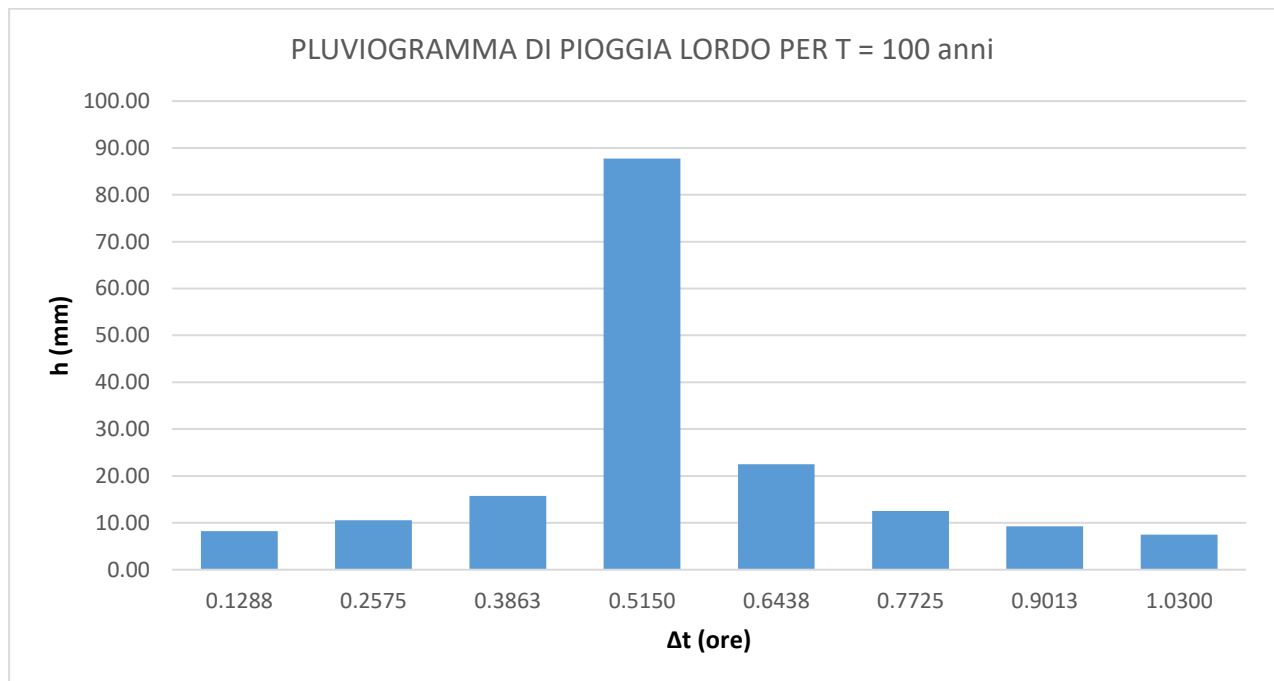


Figura 8.1.2 – Pluviogramma lordo di pioggia

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

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

La pioggia netta si ottiene dalla relazione:

$$R = P - S$$

Dove:

R indica la pioggia netta;

P indica la pioggia lorda;

S indica la quantità di pioggia infiltrata nel terreno.

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

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

Che combinata con la precedente dà:

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

Tenendo conto infine di I_a avremo:

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

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

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

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

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

Tabella 8.1.1 – Tipo di suolo

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

Il valore del CN, considerando la zona come spazio aperto con manto erboso superiore al 75% dell'area, viene assunto cautelativamente pari a 50

Tabella 8.1.2 – 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 (riassunti in tabella) relativi allo studio in questione, rappresentati anche graficamente.

Tabella 8.1.3 - Piogge lorde, nette e perdite: valori per tempo di ritorno 100 anni

t (ore)	h lorda (mm)	P lorda (mm)	P - I _a (mm)	R (mm)	P netta (mm)	s (mm)	S (perdite) (mm)
0.1288	8.24	8.24	-29.86	3.977	3.98	-4.27	-4.27
0.2575	10.56	18.80	-19.30	1.586	-2.39	-12.95	-17.22
0.3863	15.75	34.55	-3.55	0.050	-1.54	-17.28	-34.50
0.5150	87.75	122.30	84.20	20.963	20.91	-66.84	-101.34
0.6438	22.50	144.80	106.70	31.563	10.60	-11.90	-113.24
0.7725	12.52	157.32	119.22	38.082	6.52	-6.00	-119.24
0.9013	9.22	166.54	128.44	43.136	5.05	-4.17	-123.40
1.0300	7.49	174.03	135.93	47.385	4.25	-3.24	-126.64

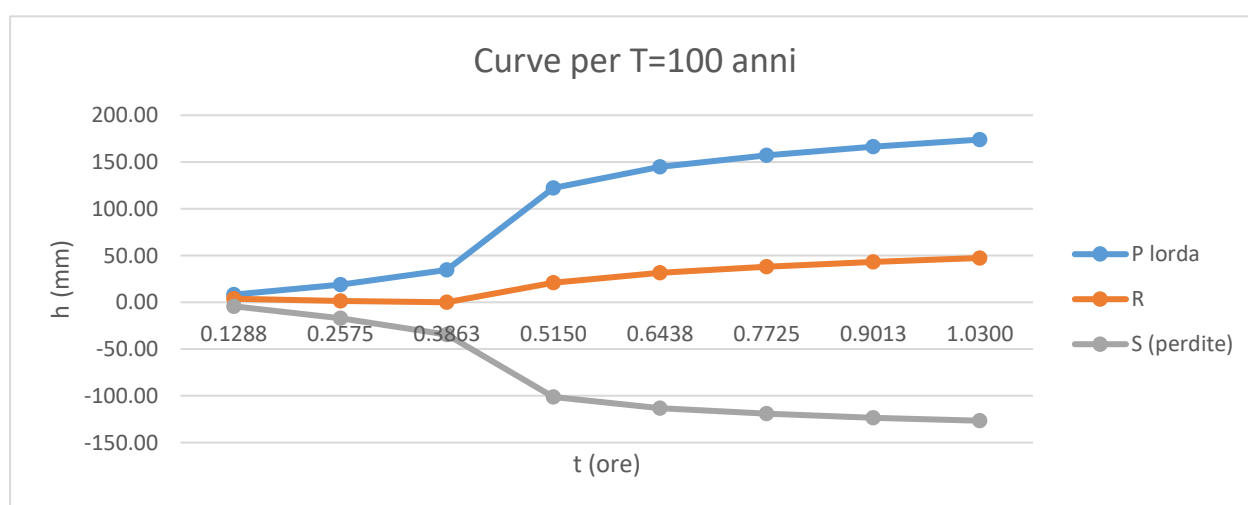


Figura 8.1.3 - Piogge lorde, nette e perdite

8.2 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:

Tempo di picco $t_{picco} = 0.5 \Delta t + t_{lag} = 0.6824 \text{ ore}$

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

$$U_{picco} = 0.2084 \frac{S (km^2)}{t_{picco}} = 0.9620 \quad \left(\frac{m^3}{s \text{ mm}} \right)$$

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:

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

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

Tabella 8.2.1 - Valori portate per tempo di ritorno 100 anni

i	t	t/tpicco	U	P netta	Q (m³/s)
1	0.13	0.1887	0.0291	3.98	0.12
2	0.26	0.3774	0.2286	-2.39	0.84
3	0.39	0.5660	0.5540	-1.54	1.61
4	0.52	0.7547	0.8301	20.91	2.23
5	0.64	0.9434	0.9555	10.60	6.05
6	0.77	1.1321	0.9310	6.52	14.34
7	0.90	1.3208	0.8086	5.05	24.39
8	1.03	1.5094	0.6456	4.25	32.88
9	1.16	1.6981	0.4833		37.92
10	1.29	1.8868	0.3439		38.78
11	1.42	2.0755	0.2349		35.87
12	1.55	2.2642	0.1551		30.51
13	1.67	2.4528	0.0995		24.23
14	1.80	2.6415	0.0623		18.18
15	1.93	2.8302	0.0382		13.01
16	2.06	3.0189	0.0230		8.95
17	2.19	3.2075	0.0137		5.96
18	2.32	3.3962	0.0080		3.85
19	2.45	3.5849	0.0046		2.43
20	2.58	3.7736	0.0026		1.50
21	2.70	3.9623	0.0015		0.91
22	2.83	4.1509	0.0008		0.54
23	2.96	4.3396	0.0005		0.32
24	3.09	4.5283	0.0003		0.19
25	3.22	4.7170	0.0001		0.11
26	3.35	4.9057	0.0000		0.06

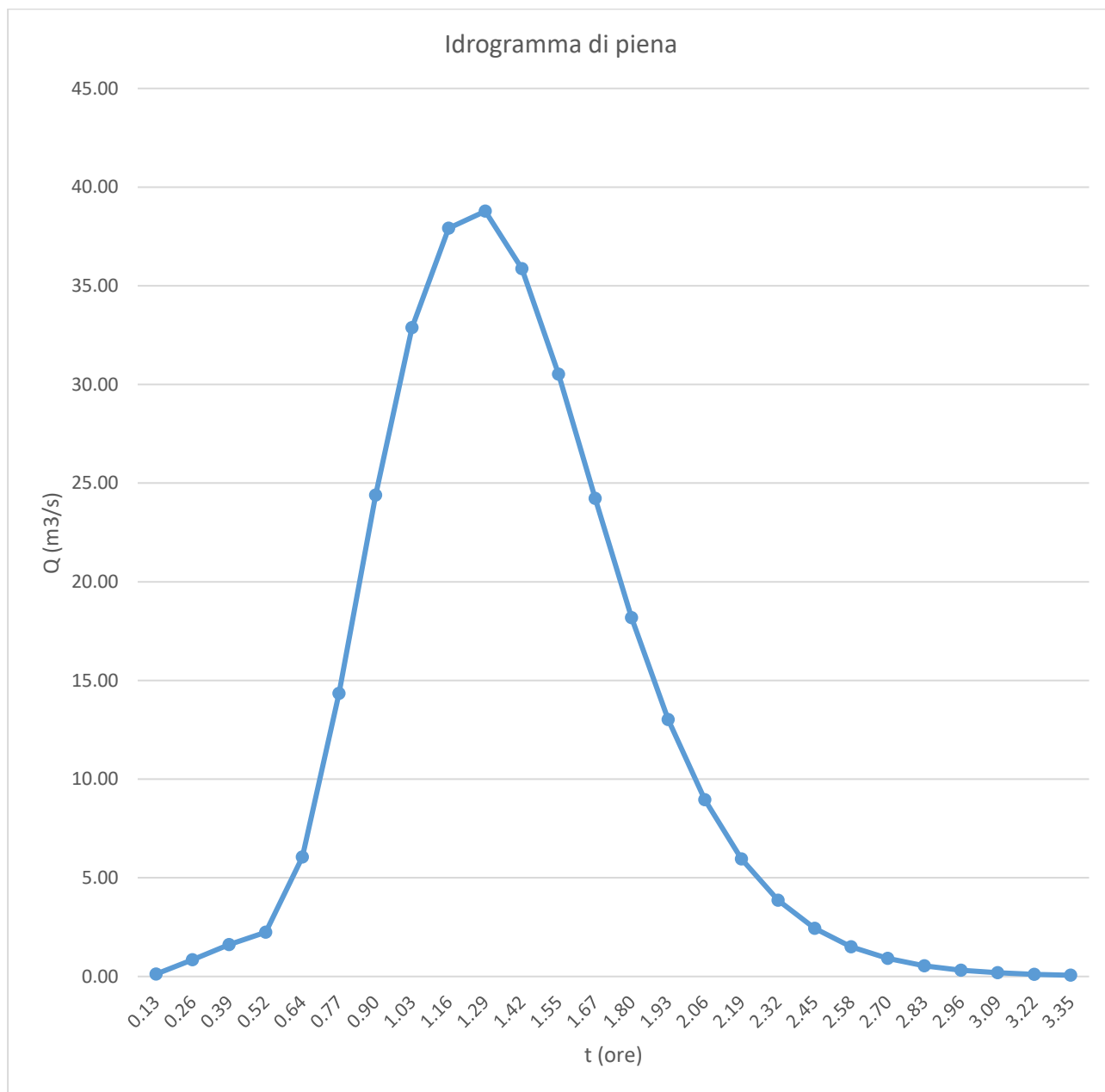


Figura 8.2.1 – Idrogramma di piena per T=100 anni

9 VERIFICHE IDRAULICHE

9.1 MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO

La simulazione della propagazione dell'onda di piena lungo il tratto di valle del bacino considerato, con conseguente ricostruzione delle aree di inondazione in prossimità dell'area di interesse, per il tempo di ritorno pari a 100 anni, è stata effettuata mediante modellazione 2D in moto non stazionario con l'ausilio del *software HEC-RAS 5.0.7* sviluppato dall' "Hydrologic Engineering Center" dello *US Army Corps of Engineers*, in ottemperanza alla procedure di "metodologia completa" dettate dal PAI.

L'utilizzo di questo tipo di modelli integrati permette una più accurata analisi rispetto ai precedenti modelli monodimensionali estesi, fornendo risultati di output altamente fedeli ai valori osservati.

Nelle suddette ipotesi, il *software* utilizza la nota equazione di conservazione dell'energia tra le generiche sezioni trasversali di monte (M) e di valle (V).

$$Z_M + H_M + \frac{v_M^2}{2g} = Z_V + H_V + \frac{v_V^2}{2g} + \Delta H$$

Dove:

- Z è la quota del thalweg dal l.m.m.;
- H è l'altezza del pelo libero;
- v la velocità;
- g l'accelerazione di gravità;
- ΔH le perdite di carico nel tratto L

Le perdite di carico della corrente:

$$\Delta H = L J_m + C \left| \frac{v_V^2}{2g} - \frac{v_M^2}{2g} \right|$$

Sono funzione della cadente J_m , di L , delle altezze cinetiche e di un coefficiente C di contrazione/espansione.

La cadente J viene ricavata dall'equazione di moto uniforme di Manning:

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}}{n} \cdot J^{\frac{1}{2}}$$

Dove A è l'area bagnata, $R=A/P$ è il raggio idraulico (P contorno bagnato) ed n è il coefficiente di scabrezza del quale esistono numerosi valori proposti in letteratura al variare delle caratteristiche dell'alveo.

La scelta di utilizzare questo software offre la possibilità di realizzare una modellazione 2D che permette di inserire, all'interno del modello digitale del terreno (DEM con risoluzione 2mx2m), l'area 2D oggetto di indagine.

A tal proposito, si è eseguito uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione HEC-RAS, condotta in regime di moto vario.

L'area 2D viene aggiunta nel modello disegnando un poligono, definendo il modello digitale del terreno e quindi agganciando l'area 2D al modello monodimensionale attraverso l'uso di uno sfioratore laterale (lateral structure). Il programma risolve le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità.

Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.

Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce anche miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.

9.2 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Nello sviluppo di un modello 2D è fondamentale definire il modello del terreno su cui simulare l'evento di allagamento dovuto al sormonto arginale.

Nel caso in esame si è utilizzato il DTM relativo alla base cartografica CTR n° 632070, che nello specifico ha una risoluzione 2m x 2m.

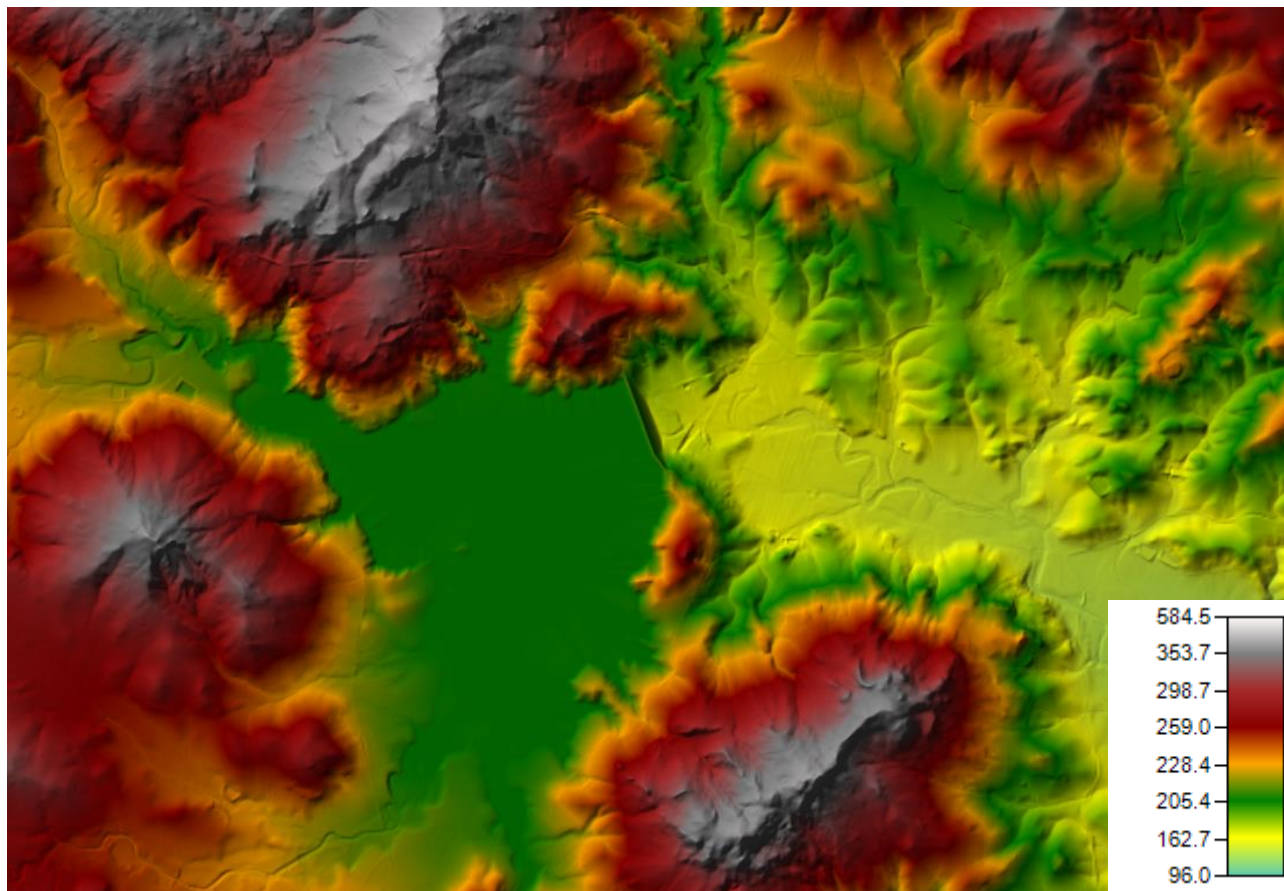


Figura 9.2.1 - Modello digitale del terreno (2m x 2m)

9.3 IMPOSTAZIONI DI CALCOLO

La grande espansione dell'area di bacino permette di modellare la piena senza l'influenza "pesante" delle condizioni al contorno inserite nell'area stessa: infatti i risultati ottenuti mostrano chiaramente come l'andamento dell'inondazione dipenda in maniera significativa dall'andamento altimetrico del terreno.

HEC-RAS permette di inserire 4 tipologie di condizioni al contorno:

- Stage Hydrograph;
- Flow Hydrograph;
- Rating Curve;
- Normal Depth.

Si è utilizzata la seconda condizione al contorno **Flow Hydrograph** per inserire l'idrogramma in ingresso nell'area 2D, nella sezione di monte.

Definito e generato lo "sfondo" per il progetto in analisi, cioè l'andamento digitale del terreno e del corpo idrico, si passa alla creazione del grigliato di calcolo che costituirà il corpo dell'area 2D, per lo sviluppo della simulazione vera e propria.

Lo schema risolutivo si basa su un algoritmo ai volumi finiti che permette di utilizzare per il calcolo una maglia computazionale strutturata e non strutturata che può essere composta da celle con 3, 4, 5, 6 lati fino ad un massimo di 8.

Le celle sono state ipotizzate di dimensione 5x5 m: valore che è risultato essere un buon compromesso fra la precisione di calcolo necessaria e la stabilità stessa del modello numerico.

Il calcolo è stato effettuato con analisi bidimensionale pura in moto vario.

Le immissioni delle condizioni al contorno per i tre diversi tempi di ritorno sono state effettuate per:

- l'upstream (inserendo come Boundary Condition l'idrogramma di piena)
- il downstream (inserendo come Boundary Condition la pendenza dell'alveo di valle)

9.4 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Il modello è stato elaborato e si è effettuata un'analisi con le ipotesi, i dati e le condizioni al contorno sopra riportati.

L'output del modello 2D è di tipo grafico e riporta le aree di inondazione in seguito ad evento di piena con tempo di ritorno fissato pari a $T=100$ anni.

Nella seguente immagine si riportano le zone di inondazione.

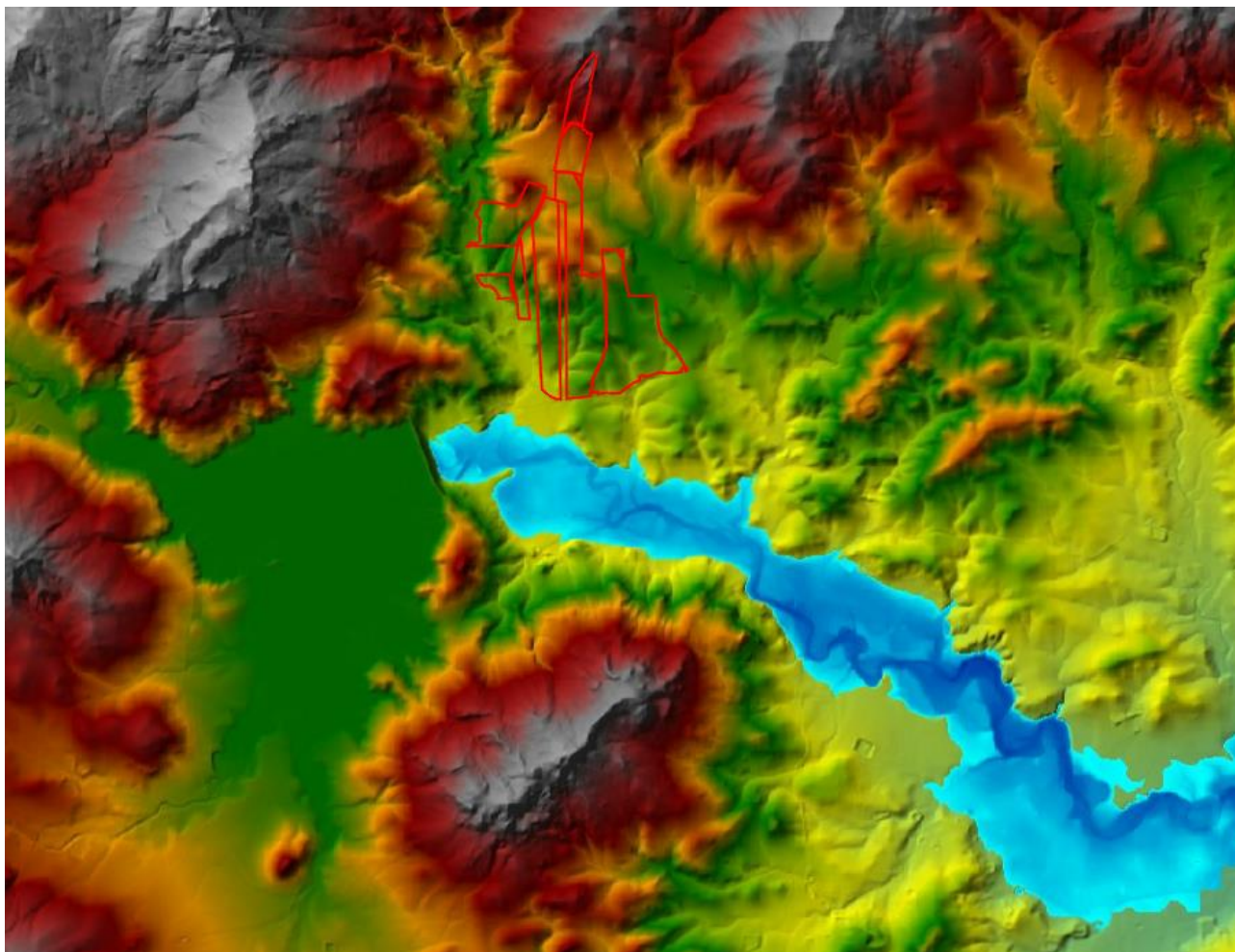


Figura 9.4.1 - Individuazione in macroscale delle zone di inondazione

Dai risultati si evince come l'inondazione non interessa l'area oggetto di studio.

Pertanto, l'impianto fotovoltaico in progetto non si sovrappone nè le già citate zone a pericolosità e rischio inondazione censite dal PAI, né con le aree di inondazione calcolate da simulazione idraulica di dettaglio per tempo di ritorno pari a 100 anni.

10 SISTEMAZIONE IDRAULICA INTERNA ALLE AREE DI IMPIANTO

Per tutte le aree di impianto, si è prevista una fascia di rispetto pari a 20m per lato a partire da ogni asta torrentizia individuata all'interno dell'area di impianto (per un totale di 40m complessivi), in modo da mantenere inalterata l'idraulica originaria di superficie e non creare delle interferenze con le opere in progetto. Si fa presente inoltre che, per l'esclusiva parte Nord dell'impianto, in corrispondenza della collocazione della nuova sottostazione, si è modificato l'attuale percorso del canale di scolo esistente.

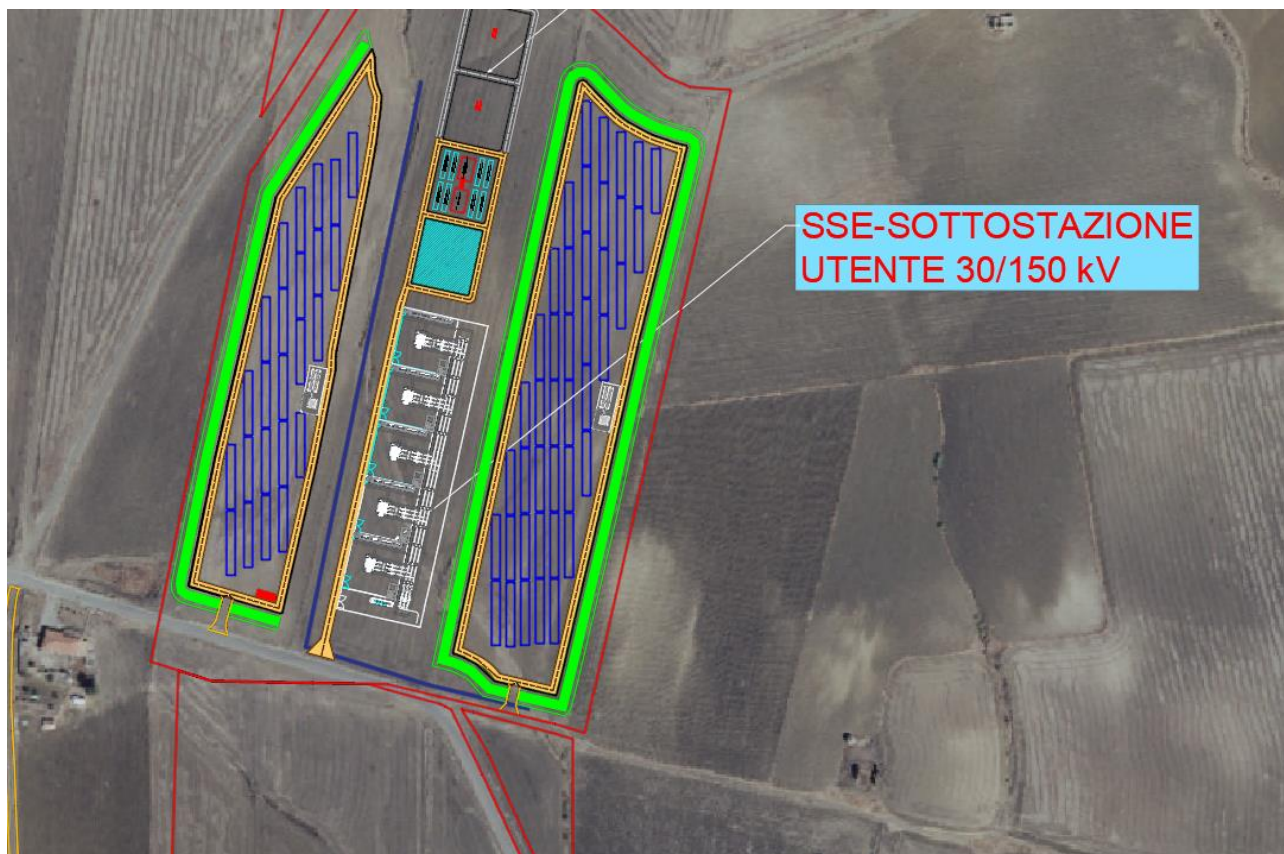


Figura 10.1 - Individuazione nuovo percorso del canale di scolo (traccia in blu)

Nello specifico, in planimetria si è evidenziato il nuovo percorso del canale di scolo, al fine di ripristinare l'idraulica di superficie e non interferire con le opere in progetto.

Per la sagoma geometrica del fosso, si prevede la realizzazione di una sezione idraulica almeno pari a quella esistente, consistente nello specifico in una sezione trapezoidale avente base maggiore pari a 3m e base minore pari a 1m con altezza del fosso anch'essa pari ad 1m. Tale modifica consente di aumentare il percorso del fosso, garantendo sia la connessione a monte e la riconnessione a valle sullo stesso sedime dell'attuale fosso esistente.

Tutti gli interventi previsti consentono di garantire la cura pedissequa dell'impatto nel sistema geomorfologico e idrogeologico esistente, nel rispetto del principio di invarianza idraulica dell'area.

11 CONCLUSIONI

Alla luce delle verifiche di non sussistenza di zone soggette a pericolosità ed a rischio geomorfologico e/o idraulico in corrispondenza del sito oggetto di studio ed in seguito al calcolo idrologico e alla simulazione 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;
- Date le pendenze dell'area di progetto, non si riscontrano problemi di ristagno idrico, infatti le acque meteoriche riescono in parte ad infiltrarsi nel terreno ricaricandone la falda che a defluire naturalmente verso gli impluvi di valle per gravità.
- 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 mutue posizioni dei pannelli e la loro altezza rispetto al suolo.
- Risulta, inoltre, assolutamente non invasiva la tecnica di installazione dei pilastri di sostegno dei trackers. Infatti, non vi sono elementi in calcestruzzo di appoggio, quali plinti e/o travi di fondazione, che con la loro presenza avrebbero potuto ingenerare delle superfici impermeabili. Semmai i punti di infissione potrebbero addirittura rappresentare dei punti preferenziali di infiltrazione contribuendo ad una seppur lieve riduzione delle acque di ruscellamento.
- Le aree di inondazione, in seguito al calcolo della simulazione di evento di piena, nonché al collasso della diga con tempo di ritorno associato pari a 100 anni, non risultano sovrapporsi con l'area destinata all'ubicazione dell'impianto fotovoltaico.
- Si è prevista, infine, una fascia di rispetto pari a 20m per lato (per un totale di 40m) a partire da ogni asta torrentizia individuata all'interno dell'area di impianto, in modo da mantenere inalterata l'idraulica originaria di superficie ed al fine di garantire la cura pedissequa dell'impatto nel sistema geomorfologico e idrogeologico esistente, nel rispetto del principio di invarianza idraulica dell'area.

ALLEGATO - PLANIMETRIA AREE DI INONDAZIONE

PLANIMETRIA INONDAZIONE (Tr = 100 anni)
Scala 1:20'000

