



REGIONE SICILIA
REGIONE
SICILIA



COMUNE DI
TRAPANI



PROVINCIA DI
TRAPANI

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borrromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borrromea"

Titolo elaborato

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

Codice elaborato

F0454AR13B

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni Di Santo)



Gruppo di lavoro

ing. Giuseppe MANZI
ing. Mauro MARELLA
ing. Marco LORUSSO
dott. for. Luigi ZUCCARO
arch. Gaia TELESCA
ing. Beniamino D'ERCOLE
ing. Rosanna SANTARSIERO
Dott.ssa Giorgia Dotoli
ing. Gerardo SCAVONE



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

Committente



SOLAR PIANA BORROMEA S.r.l
via Durini 9 20122 Milano (MI)

Amministratore unico
GIANLUCA VENERONI

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Luglio 2022	Prima emissione	SLO	MLO	MMA
Settembre 2023	Emissione per integrazioni enti	GDO	GDS	LZU

File sorgente: **F0454AR13A_Relazione idrologica e idraulica.docx**

Sommario

Premessa	1
1 Analisi idrologica dello stato di fatto	3
1.1 Bacini idrografici	3
1.2 Tempi di corrivazione	4
1.3 Portate al colmo di piena	5
2 Analisi idraulica dello stato di fatto	8
2.1 Geometria del modello idrodinamico	9
2.2 Portate di piena	10
2.3 Condizioni al contorno	10
2.4 Parametri di scabrezza	11
2.5 Risultati delle simulazioni nella configurazione pre-intervento	11
3 Analisi idraulica semplificata	16
4 Analisi idraulica dello stato di progetto	21
5 Criteri di invarianza idrologica e idraulica	25
5.1 Interventi in progetto	26
6 Conclusioni	27

Premessa

La presente relazione accompagna il progetto definitivo di realizzazione di un impianto Agro-fotovoltaico di produzione di energia da fonte fotovoltaica con potenza nominale di 54,5 MW sito nel comune di Trapani in località Piana Borromea. L'area di intervento presenta un'estensione complessiva di circa 90 ettari ed interessa terreni a funzione prevalentemente agricola.

Per le finalità della presente analisi, appare opportuno ricordare che il sito di interesse è posto nelle vicinanze di diversi impluvi del reticolo idrografico e risulta esterno rispetto alle aree perimetrate dall'attuale Piano Stralcio per la Difesa del Rischio Idrogeologico (PAI).

Poiché nel caso in oggetto non è presente per tutta l'area di intervento una perimetrazione che definisca il livello di rischio idraulico, ma gli interventi sono localizzati nelle immediate vicinanze di rami del reticolo idrografico presenti sull'IGM della Regione Sicilia, trovano applicazione le NTA del PAI per la determinazione delle aree a diversa pericolosità idraulica.

Per tali ragioni, pertanto, è stato realizzato il presente studio di compatibilità idrologica ed idraulica che analizza compiutamente i regimi di deflusso a monte e a valle nonché l'effettiva estensione delle aree allagabili in modo da verificare la compatibilità degli interventi in progetto con le NTA del PAI.

Nelle figure seguenti sono mostrate la planimetria dell'impianto di produzione di energia da fonte rinnovabile con la sua posizione in relazione al reticolo idrografico desunto dalla cartografia.

Le analisi idrologiche, illustrate in dettaglio nel seguito, sono state condotte mediante l'utilizzo del metodo VAPI Sicilia (come previsto all'interno del citato PAI) al fine di stabilire le portate al colmo di piena per eventi con tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni.

Tali portate sono state utilizzate nella successiva analisi idraulica che, grazie all'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello US Army Corps of Engineers, è finalizzata alla valutazione delle modalità di deflusso degli eventi di piena al fine di stabilire i massimi valori del livello di pelo libero e, di conseguenza, di valutare le effettive estensioni delle aree a diversa pericolosità idraulica.

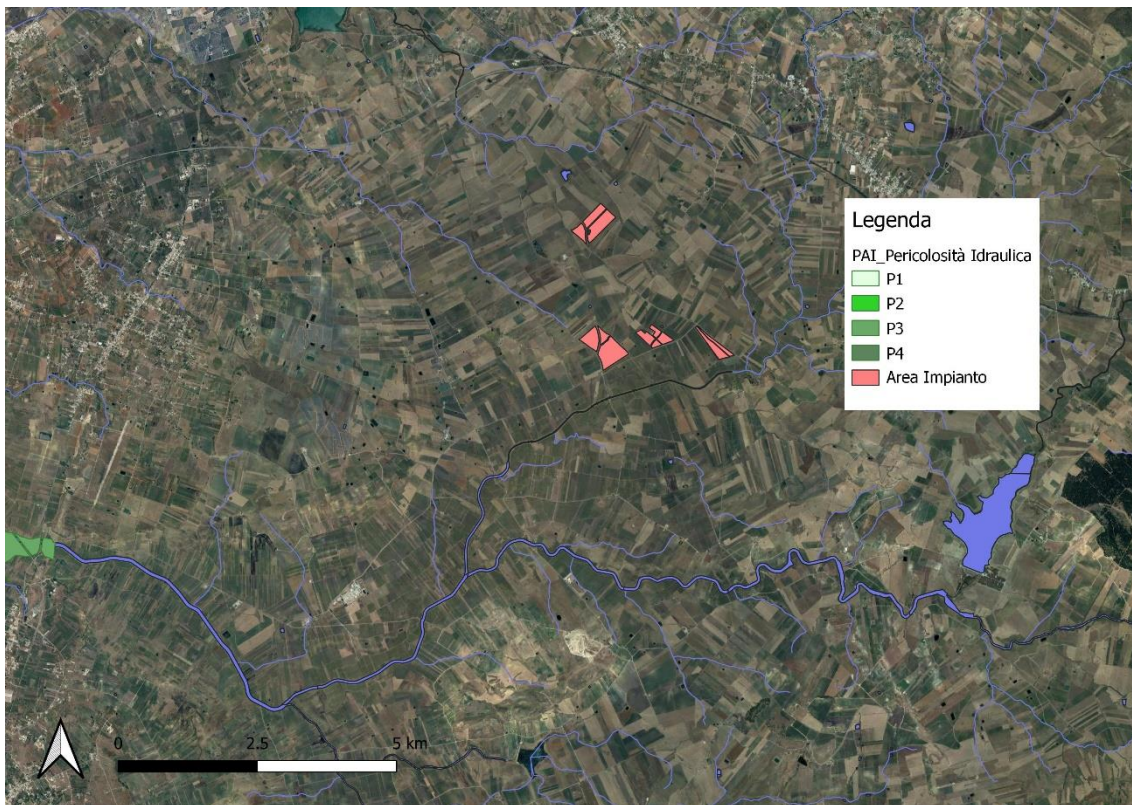


Figura 1: Planimetria dell'area di interesse su ortofoto con individuazione del reticolo idrografico

Per favorire il deflusso delle acque di ruscellamento saranno inoltre realizzati dei canali in terra, di forma trapezoidale, dimensionati in modo da ottenere un'adeguata capacità di drenaggio dell'intera area. Tali canali dovranno essere rivestiti con biostuoie antierosive ancorate al terreno.

In funzione di tali interventi, pertanto, nel presente studio è stata effettuata un'ulteriore analisi idrologica volta alla determinazione delle portate al colmo di piena mediante il metodo VAPI Sicilia e un'analisi idraulica in moto uniforme volta alla valutazione della capacità di drenaggio di tutti i canali.

Come valore di riferimento per il franco di sicurezza è stato considerato quello prescritto dalla "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) del 2001 che prevede:

- il 50% dell'altezza utile se questa non supera i 40 cm;
- 20 cm se l'altezza utile è compresa tra i 40 e i 100 cm;
- il 20% dell'altezza utile se questa è superiore a 100 cm.

Successivamente al dimensionamento dei canali, è stata effettuata un'analisi di invarianza idrologica e idraulica considerando i bacini idrografici dei canali di valle, i quali hanno la funzione di captare le acque che scorrono all'interno dell'impianto e che non devono gravare sulle portate afferenti agli impluvi a causa della riduzione di permeabilità generata dalla presenza dello stesso impianto. Nei capitoli seguenti saranno esplicitate nel dettaglio le modalità di analisi.

1 Analisi idrologica dello stato di fatto

Le finalità della presente sezione consistono nella determinazione delle attuali condizioni di rischio idraulico prima della realizzazione delle opere previste in progetto. Di conseguenza, nella presente analisi idrologica sono state determinate le portate al colmo di piena mediante l'utilizzo del metodo VAPI Sicilia come illustrato all'interno della Relazione di Piano del PAI, redatto dall'Autorità di Bacino della Sicilia.

Per tali scopi, sono state individuate le caratteristiche dei bacini idrografici che, successivamente, sono state utilizzate per la definizione dei tempi di corrivazione. Grazie al metodo VAPI, infine, sono state calcolate le massime altezze della precipitazione critica per i bacini individuati e, mediante l'utilizzo del metodo razionale, sono state valutate le portate al colmo di piena.

1.1 Bacini idrografici

Nella figura seguente sono mostrati gli impluvi in esame insieme ai bacini idrografici sottesi dalle sezioni di chiusura individuate in corrispondenza dei punti più a valle dei tratti di intervento. La delimitazione è stata effettuata utilizzando sia la cartografia IGM che il Modello Digitale del Terreno (Digital Terrain Model, DTM) della Regione Sicilia.

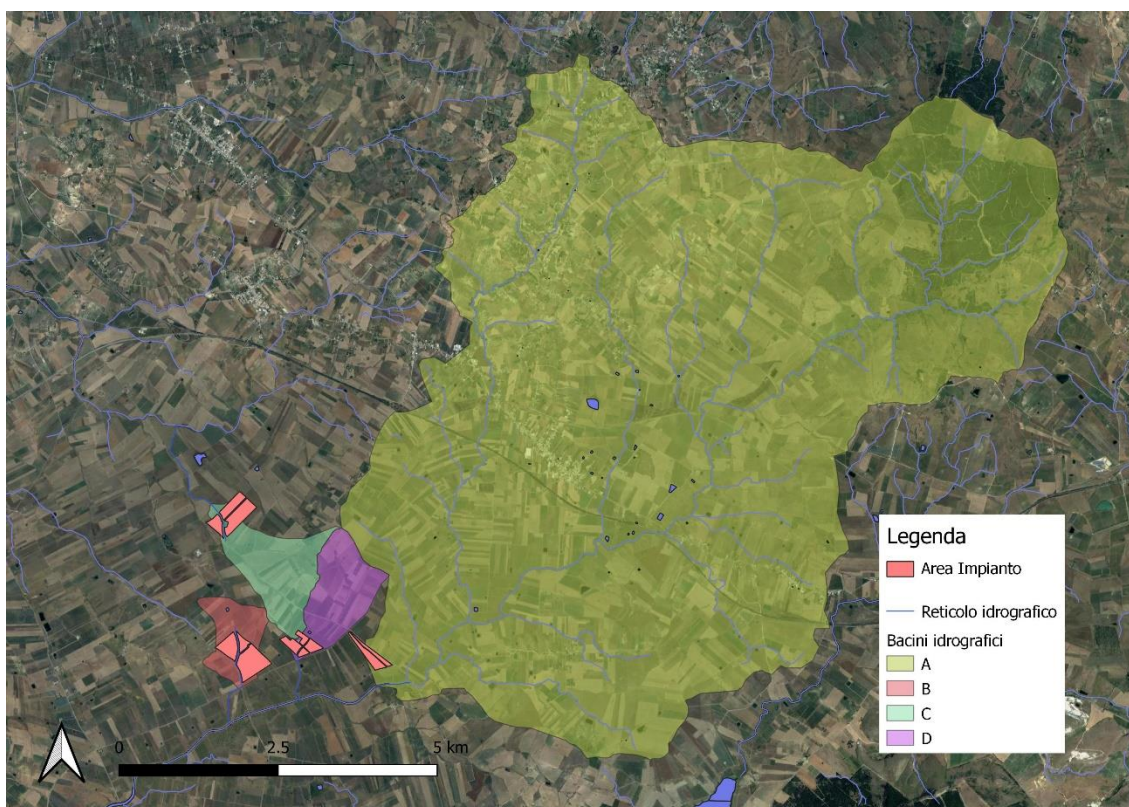


Figura 2: Corografia dei bacini idrografici afferenti alle aste fluviali limitrofe all'impianto in esame

Nella tabella seguente sono indicate le caratteristiche fisiografiche dei bacini ricavate dal DTM della Regione Sicilia con dimensioni di cella di 2x2m.

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borrromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borrromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

Caratteristiche fisiografiche							
Bacino idrografico	S (km ²)	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (km)	i (%)	c (-)
Bacino A	75.052	642.24	244.20	88.66	17.15	3.23	0.185
Bacino B	0.993	135.93	92.28	75.57	1.83	3.31	0.116
Bacino C	1.822	166.61	112.46	79.90	1.75	4.95	0.116
Bacino D	1.531	176.02	122.27	82.83	3.09	3.01	0.116

Tabella 1

Nella precedente tabella sono state indicate le seguenti grandezze:

- "S" (km²): superficie del bacino;
- "Hmax" (mslm): quota massima;
- "Hmed" (mslm): quota media;
- "Hmin" (mslm): quota minima;
- "L" (km): lunghezza dell'asta principale;
- "i" (%): pendenza dell'asta principale;
- "c" (-): coefficiente di deflusso.

Per il calcolo del coefficiente di deflusso "c" (ϕ della formula razionale), è stata utilizzata la formula proposta dal VAPI che esprime lo stesso in funzione della percentuale di superficie permeabile del bacino (pp):

$$\phi = \frac{9,25}{pp}$$

Considerate le caratteristiche idrogeologiche e di uso del suolo, la percentuale di superficie permeabile è stata assunta pari allo 50% per il bacino A e all'80% per i bacini B, C e D.

1.2 Tempi di corrivazione

Per il calcolo del tempo di corrivazione, è stata utilizzata la formulazione proposta dal VAPI che lo esprime in funzione dell'area del bacino in esame:

$$t_c = 0,35 * \sqrt{A}$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori determinati per il tempo di corrivazione.

Tempi di corrivazione	
Bacino idrografico	tc (h)
Bacino A	3.0
Bacino B	0.3
Bacino C	0.5
Bacino D	0.4

Tabella 2 – Tempo di corrivazione dei bacini in esame

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borrromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borrromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

1.3 Portate al colmo di piena

Ai fini del calcolo delle portate al colmo di piena è stato utilizzato il metodo VAPI Sicilia così come consigliato dalla Relazione di Piano del PAI (redatto dall'Autorità di Bacino della Sicilia).

Nella figura seguente è mostrata una corografia della Sicilia con l'individuazione delle zone pluviometriche omogenee del metodo VAPI. Il sito di interesse, in particolare, è situato nella "zona pluviometrica omogenea A".

Il metodo scelto prevede il calcolo del fattore di crescita " K_T " che varia in funzione del tempo di ritorno (T) e della durata dell'evento meteorico (d):

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

Di conseguenza l'equazione precedente assume la seguente espressione per l'area di interesse:

$$SZO A K_T = 0.5391 - 0.001635 d + (0.0002212 d^2 + 0.00117 d + 0.9966) \ln(T)$$



Figura 3: Corografia della Sicilia con la delimitazione delle zone pluviometriche omogenee del VAPI

Nella seguente tabella, pertanto, si riportano i valori del K_T per i tre tempi di ritorno considerati.

Fattori di crescita			
Bacino idrografico	K50 (-)	K100 (-)	K300 (-)
Bacino A	4.5	5.2	6.4
Bacino B	4.4	5.1	6.2
Bacino C	4.4	5.1	6.2
Bacino D	4.4	5.1	6.2

Tabella 3 – Fattori di crescita per i bacini in esame

Al terzo livello di regionalizzazione, stimati i parametri a ed n sulla base delle carte delle "iso- a " e delle "iso- n ", è possibile determinare i valori delle altezze di pioggia in funzione dei parametri della curva di possibilità pluviometrica e del tempo di ritorno.

Nella figura seguente è mostrata la carta delle "iso- a " e la carta delle "iso- n " della curva di possibilità pluviometrica

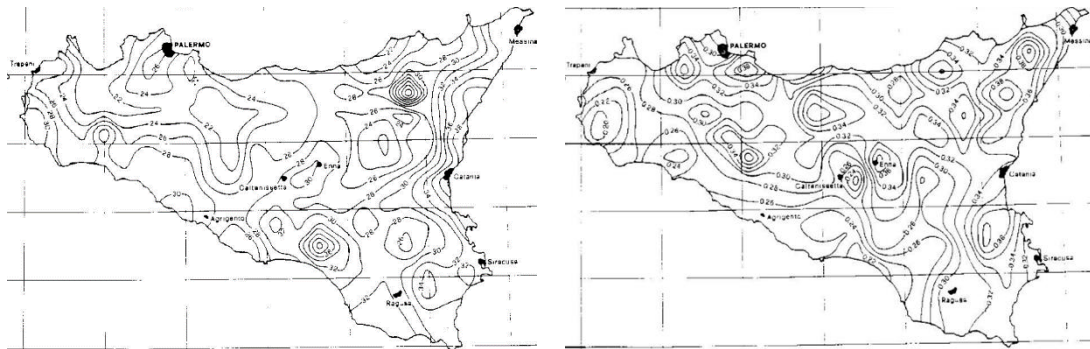


Figura 4: Corografia della Sicilia con la delimitazione delle iso- a ed iso- n della curva di possibilità pluviometrica

Di seguito si riportano i valori dei parametri a ed n e i valori delle altezze di pioggia per i bacini in esame.

Curve di possibilità pluviometrica ed altezze di precipitazione (VAPI pluviometrica)					
Bacino idrografico	a' (-)	n (-)	h_{50} (mm)	h_{100} (mm)	h_{300} (mm)
Bacino A	24.0	0.3	143.3	165.7	201.3
Bacino B	25.0	0.2	58.0	67.0	81.3
Bacino C	25.0	0.2	70.1	81.1	98.4
Bacino D	25.0	0.2	66.4	76.8	93.1

Tabella 4 – Parametri delle curve di possibilità pluviometrica dei bacini in esame

Le portate di riferimento per la successiva analisi idraulica sono quelle riportate nella tabella seguente, determinate con il metodo razionale. La schematizzazione alla base del metodo si basa sulle seguenti ipotesi fondamentali:

1. La pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari a:

$$Q = \frac{S \cdot h^*}{3.6 \cdot tc} * \phi$$

in cui:

- Q = portata di piena [m³/sec];
- ϕ = coefficiente di deflusso;
- h = pioggia netta [m];
- S = area del bacino [km²];

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

t_c = tempo di corrivazione [h].

Portate al colmo di piena (VAPI pluviometria)			
Bacino idrografico	Q50 (m³/s)	Q100 (m³/s)	Q300 (m³/s)
Bacino A	182.3	210.8	256.0
Bacino B	5.3	6.1	7.4
Bacino C	8.7	10.0	12.2
Bacino D	7.5	8.7	10.6

Tabella 5 – Portate al colmo di piena dei bacini in esame

Coefficienti udometrici			
Bacino idrografico	u50 (m³/s·km²)	u100 (m³/s·km²)	u300 (m³/s·km²)
Bacino A	2.4	2.8	3.4
Bacino B	5.3	6.2	7.5
Bacino C	4.8	5.5	6.7
Bacino D	4.9	5.7	6.9

Tabella 6 – Coefficienti udometrici dei bacini in esame

I valori riportati nella Tabella precedente risultano assolutamente in linea con quelli riscontrabili in caso di bacini idrografici di dimensioni e caratteristiche simili a quelli in esame.

2 Analisi idraulica dello stato di fatto

Nella presente analisi idraulica sono illustrate le condizioni di deflusso dei corsi d'acqua che lambiscono l'area di interesse.

L'analisi è stata effettuata mediante l'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello US Army Corps of Engineers. Per ragioni cautelative le portate, immesse come condizioni al contorno di monte all'interno del modello, sono state considerate costanti nel tempo e le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto permanente.

I tempi di ritorno utilizzati, pari a 50, 100 e 300 anni, corrispondono ai tempi di ritorno di riferimento per la delimitazione delle aree a Pericolosità Molto elevata, Elevata e Media del PAI.

All'interno del modello di calcolo sono state inserite le seguenti informazioni:

- geometria dei corsi d'acqua;
- portate di piena;
- condizioni al contorno;
- coefficienti di scabrezza.

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

2.1 Geometria del modello idrodinamico

Stato di fatto - Sezioni					
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Parz. (m)	Fondo (mslm)	Pendenza (m/m)
A1	-1	0.00	47.07	90.01	0.0019
A2	-2	47.07	47.80	89.92	0.0111
A3	-3	94.87	49.03	89.39	0.0086
A4	-4	143.90	57.27	88.97	0.0040
A5	-5	201.17	58.18	88.74	0.0077
A6	-6	259.34	58.52	88.29	0.0050
A7	-7	317.87	70.76	88.00	0.0051
A8	-8	388.63	52.11	87.64	0.0094
A9	-9	440.73	56.73	87.15	0.0032
A10	-10	497.46	0.00	86.97	0.0061
B1	-1	0.000	58.839	91.210	0.0073
B2	-2	58.839	69.932	90.780	0.0056
B3	-3	128.771	58.321	90.390	0.0058
B4	-4	187.092	61.981	90.050	0.0095
B5	-5	249.073	219.134	89.460	0.0134
B6	-6	468.207	24.061	86.530	0.0075
B7	-7	492.268	51.774	86.350	0.0133
B8	-8	544.042	50.997	85.660	0.0073
B9	-9	595.039	31.371	85.290	0.0217
B10	-10	626.410	43.857	84.610	0.0062
B11	-11	670.267	65.330	84.340	0.0087
B12	-12	735.597	74.508	83.770	0.0119
B13	-13	810.105	53.470	82.880	0.0075
B14	-14	863.575	65.967	82.480	0.0115
B15	-15	929.54	17.86	81.72	-0.0274
B17	-17	947.40	53.38	82.21	0.0317
B18	-18	1,000.78	65.21	80.52	0.0018
B19	-19	1,065.99	71.42	80.40	0.0027
B20	-20	1,137.41	0.00	80.21	0.0097
B21	-21	0.00	62.35	91.33	0.0160
B22	-22	62.35	51.78	90.33	0.0238
B23	-23	114.13	72.74	89.10	0.0124
B24	-24	186.87	68.79	88.20	0.0112
B25	-25	255.66	5.58	87.43	-0.0251
B27	-27	261.23	0.00	87.57	0.0144
C1	-1	0.00	56.83	88.94	0.0030
C2	-2	56.83	62.36	88.77	0.0106
C3	-3	119.19	45.93	88.11	0.0063
C4	-4	165.12	59.39	87.82	0.0022
C5	-5	224.51	71.89	87.69	0.0159
C6	-6	296.40	68.89	86.55	0.0077
C7	-7	365.30	69.09	86.02	0.0236
C8	-8	434.39	0.00	84.39	0.0105
D1	-1	0.00	93.75	94.73	0.0099
D2	-2	93.75	85.71	93.80	0.0103
D3	-3	179.46	72.11	92.92	0.0183
D4	-4	251.57	77.65	91.60	0.0030
D5	-5	329.22	122.30	91.37	0.0077
D6	-6	451.51	0.00	90.43	0.0095

Tabella 7

Nella figura seguente è presente la planimetria dell'area in esame con l'indicazione delle tracce delle sezioni trasversali utilizzate.

Le sezioni trasversali sono state riportate nella tabella precedente con l'indicazione del nome della sezione inserito nel modello ("station") delle distanze parziali e progressive, delle quote di fondo e delle pendenze.

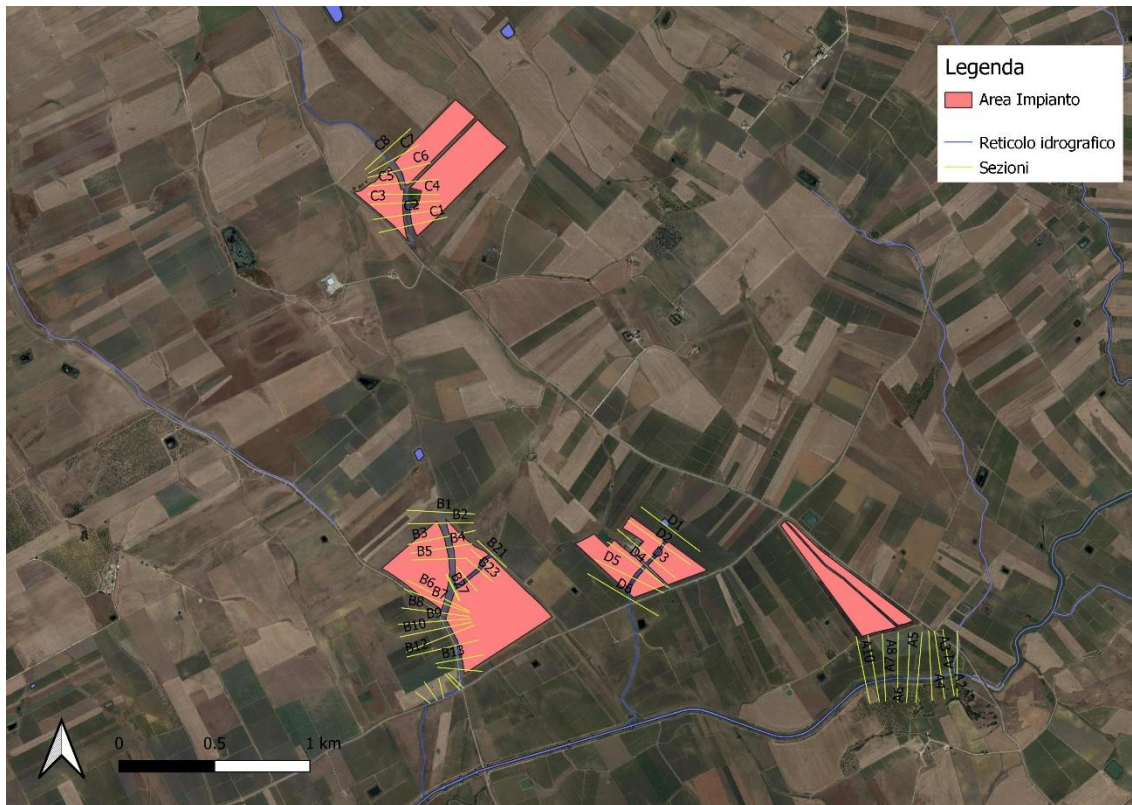


Figura 5: Planimetria dei corsi d'acqua analizzati con l'individuazione delle sezioni trasversali rilevate

2.2 Portate di piena

Come portate al colmo di piena sono state considerate quelle ricavate nella precedente analisi idrologica (cfr. la precedente Tabella 5).

Come precisato in precedenza, le portate sono state considerate, per ragioni cautelative, costanti nel tempo e le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto permanente.

2.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno, necessarie per l'esecuzione di simulazioni idrodinamiche con il modello, sono le seguenti:

- condizione al contorno di monte: scala di deflusso in moto uniforme della corrente con una pendenza pari a quella media del ramo rilevato;
- condizione al contorno di valle: scala di deflusso in moto uniforme della corrente con una pendenza pari a quella media del ramo rilevato.

2.4 Parametri di scabrezza

Come parametro di scabrezza è stato utilizzato un coefficiente di Gauckler-Strickler pari a $20 \text{ s/m}^{1/3}$ (corrispondente ad un coefficiente secondo Manning pari a $0.050 \text{ s/m}^{1/3}$).

Tale coefficiente è stato determinato in base a quanto stabilito nelle tabelle parametriche riportate all'interno del "Manuale dell'Ingegnere" (83a edizione, Nuovo Colombo, Hoepli, 2001) in corrispondenza di "piccoli corsi di pianura, puliti, diritti e senza ristagni d'acqua".

2.5 Risultati delle simulazioni nella configurazione pre-intervento

Come già anticipato in precedenza, le simulazioni sono state effettuate utilizzando il modello di calcolo HEC-RAS dello US Army Corps of Engineers. Tali simulazioni sono state effettuate, per ragioni cautelative, in regime di moto permanente della corrente.

Si è anche verificato come tali condizioni risultino molto cautelative dato che, in caso di simulazioni non stazionarie, i livelli di pelo libero riscontrabili siano nettamente inferiori a causa del fenomeno della laminazione dei colmi di piena.

Nelle tabelle seguenti sono presenti tutti i valori numerici ottenuti dal modello nella configurazione pre-intervento.

Per la delimitazione delle aree allagabili per gli eventi con i tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni, in particolare, è stato utilizzato il DTM della Regione Sicilia.

La metodologia seguita, ripetuta per ciascun evento di piena, è la seguente:

- in base ai risultati forniti dal modello idrodinamico monodimensionale sono stati assegnati i valori dei livelli di pelo libero a ciascuna sezione trasversale;
- è stato realizzato un TIN ("triangulated irregular network", rete irregolare di triangoli) in grado di rappresentare la superficie del pelo libero;
- il TIN precedente è stato convertito in GRID delle stesse dimensioni del DTM;
- è stata effettuata una sottrazione, cella per cella, tra il GRID della superficie del pelo libero e il DTM in modo da ottenere il GRID delle altezze d'acqua.

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

Stato di fatto - T = 50 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m ³ /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m ²)	Tensione di parete (N/m ²)	Numero di Froude (-)
A1	-1	0.00	90.01	182.3	93.86	3.85	85.43	2.56	71.17	172.13	0.90
A2	-2	47.07	89.92	182.3	93.33	3.41	44.55	2.41	75.57	120.66	0.59
A3	-3	94.87	89.39	182.3	92.96	3.57	37.05	2.52	72.29	126.16	0.58
A4	-4	143.90	88.97	182.3	92.76	3.79	62.01	2.12	86.54	58.53	0.47
A5	-5	201.17	88.74	182.3	92.23	3.49	75.08	2.75	68.72	83.60	0.67
A6	-6	259.34	88.29	182.3	92.01	3.72	107.00	1.54	118.27	56.73	0.47
A7	-7	317.87	88.00	182.3	91.77	3.77	105.71	1.39	131.41	44.04	0.40
A8	-8	388.63	87.64	182.3	91.52	3.88	105.02	1.36	134.31	41.79	0.38
A9	-9	440.73	87.15	182.3	91.00	3.85	71.68	2.37	76.82	136.07	0.73
A10	-10	497.46	86.97	182.3	90.53	3.56	48.84	2.24	81.35	97.40	0.54
B1	-1	0.00	91.21	5.3	91.75	0.54	56.85	0.59	9.00	15.71	0.47
B2	-2	58.84	90.78	5.3	91.25	0.47	29.70	0.69	7.67	18.39	0.43
B3	-3	128.77	90.39	5.3	90.74	0.35	45.16	0.60	8.91	14.91	0.43
B4	-4	187.09	90.05	5.3	90.29	0.24	62.35	0.52	10.10	12.39	0.42
B5	-5	249.07	89.46	5.3	89.79	0.33	84.59	0.47	11.22	10.73	0.41
B6	-6	468.21	86.53	5.3	87.21	0.68	30.76	0.89	5.97	33.40	0.64
B7	-7	492.27	86.35	5.3	87.02	0.67	52.65	0.49	10.73	10.17	0.35
B8	-8	544.04	85.66	5.3	86.67	1.01	26.96	0.75	7.06	21.62	0.47
B9	-9	595.04	85.29	5.3	86.10	0.81	16.53	1.05	5.05	40.21	0.61
B10	-10	626.41	84.61	5.3	85.55	0.94	6.79	1.58	3.35	78.74	0.72
B11	-11	670.27	84.34	5.3	85.08	0.74	22.71	0.82	6.45	25.21	0.49
B12	-12	735.60	83.77	5.3	84.23	0.46	19.42	1.09	4.88	45.83	0.69
B13	-13	810.11	82.88	5.3	83.70	0.82	30.78	0.57	9.31	11.85	0.33
B14	-14	863.58	82.48	5.3	83.09	0.61	24.15	1.33	4.00	78.70	1.04
B15	-15	929.54	81.72	5.3	82.71	0.99	68.77	0.29	18.30	3.20	0.18
B17	-17	947.40	82.21	5.3	82.40	0.19	52.62	0.99	5.34	51.76	0.99
B18	-18	1,000.78	80.52	5.3	81.47	0.95	35.87	0.40	13.16	5.57	0.21
B19	-19	1,065.99	80.40	5.3	81.30	0.90	48.97	0.49	10.72	9.96	0.34
B20	-20	1,137.41	80.21	5.3	80.83	0.62	50.91	0.61	8.73	16.29	0.47
B21	-21	0.00	91.33	5.3	91.72	0.39	96.16	0.46	11.56	10.44	0.42
B22	-22	62.35	90.33	5.3	90.64	0.31	25.61	1.20	4.41	63.81	0.93
B23	-23	114.13	89.10	5.3	89.69	0.59	49.79	0.64	8.23	18.53	0.51
B24	-24	186.87	88.20	5.3	88.85	0.65	62.86	0.59	8.97	16.40	0.50
B25	-25	255.66	87.43	5.3	88.08	0.65	54.30	0.60	8.78	16.41	0.48
B27	-27	261.23	87.57	5.3	87.95	0.38	48.18	0.70	7.59	22.18	0.56
C1	-1	0.00	88.94	8.7	89.75	0.81	30.27	0.56	15.62	9.49	0.25
C2	-2	56.83	88.77	8.7	89.37	0.60	16.39	1.55	5.63	83.85	0.84
C3	-3	119.19	88.11	8.7	88.90	0.79	32.44	0.69	12.66	15.90	0.35
C4	-4	165.12	87.82	8.7	88.74	0.92	47.79	0.54	16.04	10.40	0.30
C5	-5	224.51	87.69	8.7	88.15	0.46	19.41	1.64	5.31	101.39	1.00
C6	-6	296.40	86.55	8.7	87.25	0.70	40.90	0.63	13.87	13.84	0.34
C7	-7	365.30	86.02	8.7	86.56	0.54	27.87	1.31	6.64	67.96	0.86
C8	-8	434.39	84.39	8.7	85.41	1.02	10.54	1.41	6.17	58.72	0.59
D1	-1	0.00	94.73	7.5	95.15	0.42	40.39	0.55	13.54	10.84	0.31
D2	-2	93.75	93.80	7.5	94.58	0.78	86.03	0.63	11.82	19.15	0.55
D3	-3	179.46	92.92	7.5	93.59	0.67	84.58	0.63	12.49	13.68	0.47
D4	-4	251.57	91.60	7.5	92.65	1.05	85.75	0.70	10.80	23.37	0.62
D5	-5	329.22	91.37	7.5	91.97	0.60	91.99	0.46	16.47	9.02	0.34
D6	-6	451.51	90.43	7.5	91.13	0.70	92.62	0.55	13.73	13.82	0.45

Tabella 8

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

Stato di fatto - T = 100 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m ³ /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m ²)	Tensione di parete (N/m ²)	Numero di Froude (-)
A1	-1	0.00	90.01	210.8	94.25	4.24	128.12	1.81	116.49	83.28	0.61
A2	-2	47.07	89.92	210.8	93.71	3.79	102.95	2.08	101.18	107.46	0.67
A3	-3	94.87	89.39	210.8	93.13	3.74	38.31	2.67	78.99	138.75	0.59
A4	-4	143.90	88.97	210.8	92.93	3.96	100.73	2.24	100.20	46.32	0.49
A5	-5	201.17	88.74	210.8	92.34	3.60	92.88	2.94	78.08	83.12	0.70
A6	-6	259.34	88.29	210.8	92.16	3.87	109.56	1.56	134.83	56.32	0.45
A7	-7	317.87	88.00	210.8	91.96	3.96	108.42	1.39	151.26	42.77	0.38
A8	-8	388.63	87.64	210.8	91.75	4.11	116.41	1.33	158.69	39.17	0.36
A9	-9	440.73	87.15	210.8	91.42	4.27	120.59	1.85	114.79	71.45	0.57
A10	-10	497.46	86.97	210.8	91.07	4.10	208.79	1.53	149.28	42.53	0.49
B1	-1	0.00	91.21	6.1	91.78	0.57	58.28	0.59	10.28	15.38	0.45
B2	-2	58.84	90.78	6.1	91.28	0.50	33.07	0.7	8.69	18.87	0.44
B3	-3	128.77	90.39	6.1	90.76	0.37	51.94	0.6	10.15	15.25	0.43
B4	-4	187.09	90.05	6.1	90.3	0.25	65.14	0.55	11.18	13.14	0.42
B5	-5	249.07	89.46	6.1	89.81	0.35	85.37	0.5	12.29	11.52	0.42
B6	-6	468.21	86.53	6.1	87.23	0.70	31.97	0.93	6.58	35.74	0.65
B7	-7	492.27	86.35	6.1	87.05	0.70	56.75	0.5	12.16	10.32	0.35
B8	-8	544.04	85.66	6.1	86.71	1.05	32.81	0.73	8.31	20.94	0.47
B9	-9	595.04	85.29	6.1	86.16	0.87	21.47	0.98	6.21	35.88	0.58
B10	-10	626.41	84.61	6.1	85.6	0.99	7.15	1.66	3.68	85.35	0.74
B11	-11	670.27	84.34	6.1	85.11	0.77	24.39	0.86	7.11	27.28	0.51
B12	-12	735.60	83.77	6.1	84.25	0.48	19.66	1.12	5.44	47.35	0.68
B13	-13	810.11	82.88	6.1	83.73	0.85	31.97	0.6	10.17	12.95	0.34
B14	-14	863.58	82.48	6.1	83.11	0.63	25.75	1.34	4.56	78.17	1.01
B15	-15	929.54	81.72	6.1	82.74	1.02	70.18	0.30	20.37	3.33	0.18
B17	-17	947.40	82.21	6.1	82.41	0.20	54.34	1.03	5.93	54.29	0.99
B18	-18	1,000.78	80.52	6.1	81.50	0.98	38.02	0.42	14.51	5.98	0.22
B19	-19	1,065.99	80.40	6.1	81.33	0.93	58.33	0.50	12.32	10.11	0.34
B20	-20	1,137.41	80.21	6.1	80.85	0.64	52.33	0.64	9.60	17.44	0.47
B21	-21	0.00	91.33	6.1	91.73	0.40	100.87	0.49	12.35	12.04	0.45
B22	-22	62.35	90.33	6.1	90.68	0.35	29.94	1.09	5.58	51.36	0.81
B23	-23	114.13	89.10	6.1	89.69	0.59	49.98	0.73	8.37	23.61	0.57
B24	-24	186.87	88.20	6.1	88.88	0.68	76.19	0.54	11.31	13.47	0.45
B25	-25	255.66	87.43	6.1	88.08	0.65	53.17	0.71	8.54	23.03	0.57
B27	-27	261.23	87.57	6.1	87.97	0.40	51.61	0.72	8.49	23.15	0.57
C1	-1	0.00	88.94	10.0	89.80	0.86	30.72	0.59	16.93	10.45	0.25
C2	-2	56.83	88.77	10.0	89.40	0.63	16.66	1.62	6.16	90.19	0.85
C3	-3	119.19	88.11	10.0	88.94	0.83	33.37	0.72	13.85	17.20	0.36
C4	-4	165.12	87.82	10.0	88.77	0.95	48.62	0.57	17.59	11.14	0.30
C5	-5	224.51	87.69	10.0	88.18	0.49	21.03	1.68	5.96	105.16	1.01
C6	-6	296.40	86.55	10.0	87.28	0.73	42.12	0.67	15.00	15.38	0.36
C7	-7	365.30	86.02	10.0	86.60	0.58	29.37	1.32	7.57	67.33	0.83
C8	-8	434.39	84.39	10.0	85.48	1.09	11.38	1.44	6.92	60.92	0.59
D1	-1	0.00	94.73	8.7	95.18	0.45	40.80	0.60	14.61	12.24	0.32
D2	-2	93.75	93.80	8.7	94.59	0.79	87.16	0.67	13.02	20.65	0.55
D3	-3	179.46	92.92	8.7	93.61	0.69	89.59	0.67	13.94	14.59	0.48
D4	-4	251.57	91.60	8.7	92.66	1.06	90.86	0.72	12.14	24.30	0.62
D5	-5	329.22	91.37	8.7	91.99	0.62	94.22	0.48	18.18	9.72	0.35
D6	-6	451.51	90.43	8.7	91.15	0.72	96.98	0.57	15.29	14.70	0.46

Tabella 9

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

Stato di fatto - T = 300 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m ³ /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m ²)	Tensione di parete (N/m ²)	Numero di Froude (-)
A1	-1	0.00	90.01	256.0	94.40	4.39	129.12	1.90	135.00	87.30	0.59
A2	-2	47.07	89.92	256.0	93.99	4.07	123.35	1.92	133.67	87.87	0.59
A3	-3	94.87	89.39	256.0	93.33	3.94	95.72	2.93	92.24	74.96	0.64
A4	-4	143.90	88.97	256.0	93.13	4.16	123.64	2.37	124.31	49.63	0.51
A5	-5	201.17	88.74	256.0	92.54	3.80	105.91	3.03	98.32	96.28	0.71
A6	-6	259.34	88.29	256.0	92.35	4.06	118.54	1.64	155.87	60.77	0.46
A7	-7	317.87	88.00	256.0	92.13	4.13	114.60	1.50	170.72	48.45	0.39
A8	-8	388.63	87.64	256.0	91.90	4.26	123.22	1.44	177.50	45.33	0.38
A9	-9	440.73	87.15	256.0	91.53	4.38	130.66	2.01	129.72	82.55	0.60
A10	-10	497.46	86.97	256.0	91.18	4.21	230.20	1.62	174.02	45.04	0.50
B1	-1	0.00	91.21	7.4	91.80	0.59	62.30	0.61	12.05	16.01	0.45
B2	-2	58.84	90.78	7.4	91.32	0.54	35.15	0.75	9.92	20.82	0.45
B3	-3	128.77	90.39	7.4	90.79	0.40	56.56	0.62	11.85	16.11	0.44
B4	-4	187.09	90.05	7.4	90.33	0.28	69.26	0.59	12.64	14.81	0.44
B5	-5	249.07	89.46	7.4	89.83	0.37	86.71	0.53	14.02	12.54	0.42
B6	-6	468.21	86.53	7.4	87.26	0.73	33.64	0.99	7.46	39.92	0.67
B7	-7	492.27	86.35	7.4	87.09	0.74	66.64	0.50	14.92	9.94	0.33
B8	-8	544.04	85.66	7.4	86.75	1.09	36.12	0.77	9.59	22.75	0.48
B9	-9	595.04	85.29	7.4	86.23	0.94	26.58	0.93	7.95	31.90	0.54
B10	-10	626.41	84.61	7.4	85.66	1.05	7.66	1.78	4.16	96.24	0.77
B11	-11	670.27	84.34	7.4	85.16	0.82	26.98	0.90	8.21	29.65	0.52
B12	-12	735.60	83.77	7.4	84.30	0.53	20.01	1.18	6.28	50.21	0.67
B13	-13	810.11	82.88	7.4	83.77	0.89	35.15	0.63	11.76	14.00	0.35
B14	-14	863.58	82.48	7.4	83.13	0.65	27.28	1.44	5.14	88.78	1.06
B15	-15	929.54	81.72	7.4	82.76	1.04	70.74	0.34	21.52	4.32	0.20
B17	-17	947.40	82.21	7.4	82.42	0.21	55.56	1.15	6.44	66.33	1.08
B18	-18	1,000.78	80.52	7.4	81.54	1.02	39.80	0.46	16.14	6.97	0.23
B19	-19	1,065.99	80.40	7.4	81.36	0.96	63.52	0.52	14.21	10.95	0.35
B20	-20	1,137.41	80.21	7.4	80.87	0.66	54.49	0.68	10.95	19.12	0.48
B21	-21	0.00	91.33	7.4	91.75	0.42	110.86	0.50	14.86	11.87	0.43
B22	-22	62.35	90.33	7.4	90.70	0.37	33.49	1.19	6.23	60.62	0.88
B23	-23	114.13	89.10	7.4	89.72	0.62	51.95	0.75	9.84	24.17	0.55
B24	-24	186.87	88.20	7.4	88.89	0.69	78.77	0.59	12.50	15.86	0.47
B25	-25	255.66	87.43	7.4	88.12	0.69	62.67	0.69	10.76	20.90	0.53
B27	-27	261.23	87.57	7.4	87.99	0.42	55.65	0.75	9.81	24.88	0.57
C1	-1	0.00	88.94	12.2	89.87	0.93	31.48	0.64	19.16	11.74	0.26
C2	-2	56.83	88.77	12.2	89.45	0.68	17.09	1.73	7.06	98.66	0.86
C3	-3	119.19	88.11	12.2	88.99	0.88	34.75	0.78	15.68	19.44	0.37
C4	-4	165.12	87.82	12.2	88.83	1.01	51.70	0.60	20.18	12.28	0.31
C5	-5	224.51	87.69	12.2	88.24	0.55	27.39	1.64	7.46	101.33	1.00
C6	-6	296.40	86.55	12.2	87.32	0.77	44.00	0.72	16.92	17.54	0.37
C7	-7	365.30	86.02	12.2	86.65	0.63	32.59	1.30	9.35	63.33	0.78
C8	-8	434.39	84.39	12.2	85.61	1.22	15.00	1.40	8.69	58.40	0.59
D1	-1	0.00	94.73	10.6	95.22	0.49	41.42	0.65	16.25	14.26	0.33
D2	-2	93.75	93.80	10.6	94.62	0.82	116.36	0.67	16.02	18.51	0.55
D3	-3	179.46	92.92	10.6	93.63	0.71	97.30	0.71	16.12	16.14	0.49
D4	-4	251.57	91.60	10.6	92.69	1.09	96.92	0.75	14.22	25.37	0.62
D5	-5	329.22	91.37	10.6	92.02	0.65	100.63	0.51	20.95	10.59	0.35
D6	-6	451.51	90.43	10.6	91.17	0.74	102.24	0.60	17.58	16.03	0.46

Tabella 10

Nella figura successiva sono mostrate le mappe di allagamento ricavate secondo la metodologia suddetta per i tre tempi di ritorno considerati. Tali tempi di ritorno, in linea con il PAI Sicilia, corrispondono rispettivamente alle aree a pericolosità molto elevata (T = 50 anni), elevata (T = 100 anni) e media (T = 300 anni).

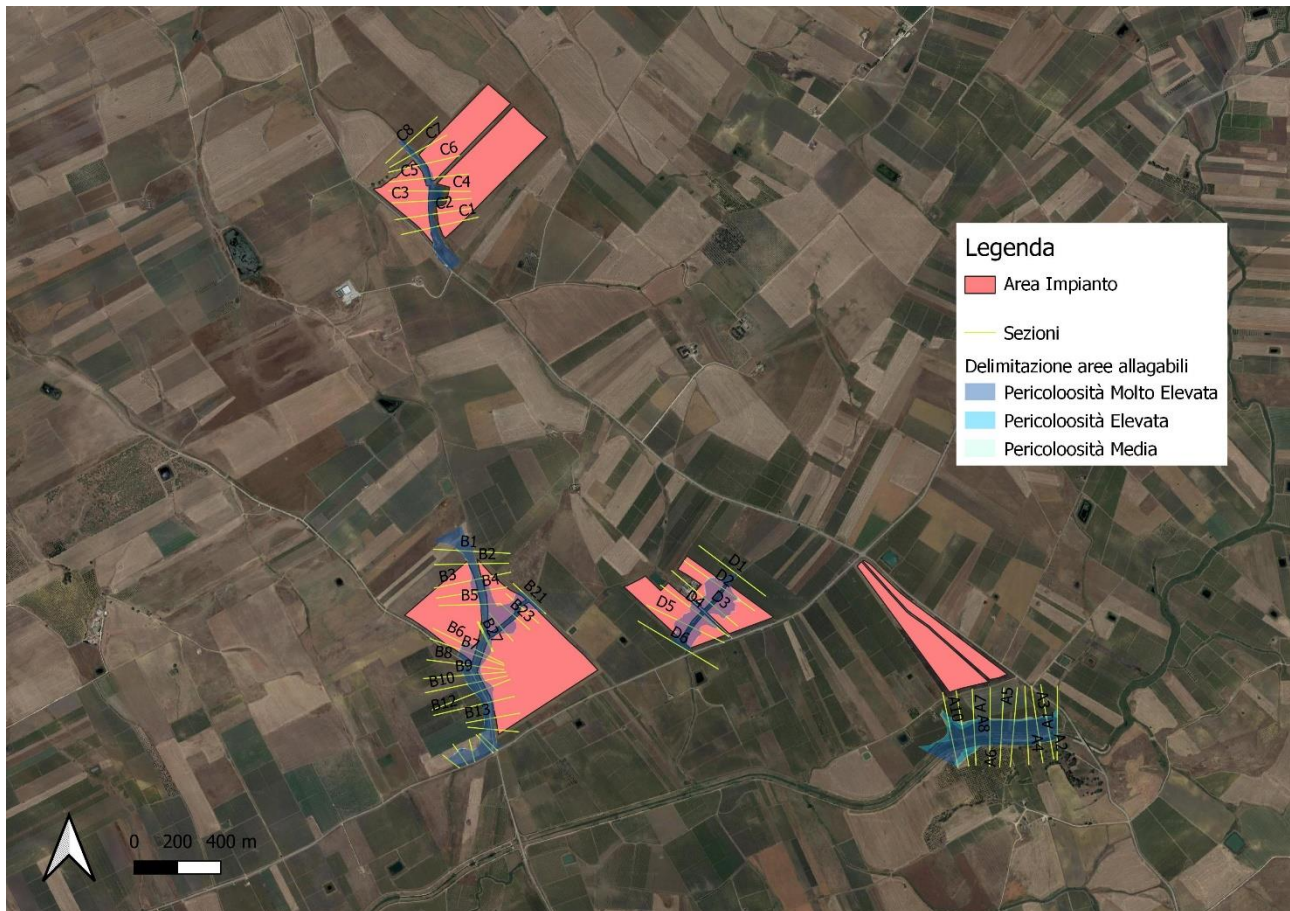


Figura 6: Planimetria delle aree allagabili ante operam

Nelle figure precedenti si nota come i lotti di intervento siano parzialmente interessati dalle aree allagabili per gli eventi considerati. Per garantire una condizione di sicurezza idraulica per l'intero impianto, si applicano le seguenti scelte progettuali:

- nel caso delle aste A e C, non verranno posizionati i moduli fotovoltaici all'interno della fascia di perimetrazione per un tempo di ritorno di 300 anni;
- nel caso delle aste B e D, come meglio descritto nel capitolo successivo, saranno realizzati dei canali in terra, di forma trapezoidale, dimensionati in modo da ottenere un'adeguata capacità di drenaggio dell'intera area e ridurre al minimo le aree allagabili.

3 Analisi idraulica semplificata

Analizzando il percorso del cavidotto esterno verso la sottostazione, si evidenziano diversi punti di intersezione con il reticolo idrografico esistente. Per essi si ritiene necessaria un'analisi della profondità di escavazione in quanto non sono presenti opere idonee su cui ancorare il cavidotto.

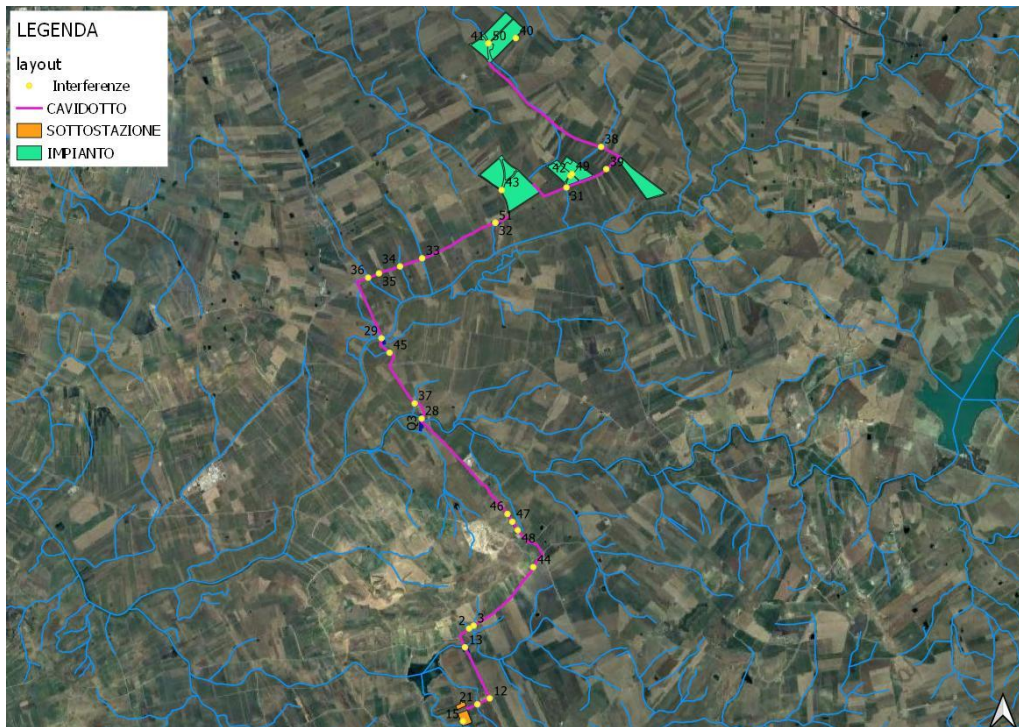


Figura 7: Intersezioni tra il reticolo idrografico e il cavidotto

Per dimensionare adeguatamente la quota di posa del cavidotto in corrispondenza dei punti di intersezione con i rami del reticolo idrografico, è stata calcolata la profondità massima di escavazione da parte della corrente e, per tali scopi, sono stati utilizzati i risultati dell'analisi idraulica per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni.

Il calcolo della massima profondità di erosione viene effettuato mediante l'utilizzo della seguente formula di Meyer-Peter e Müller espressa nell'ipotesi di "alveo largo" ed esplicitata da Chien (Montuori, "Complementi di Idraulica", Liguori, 1997):

$$\Psi = 8 \cdot (\Theta - 0.047)^3$$

dove:

- "Ψ" = parametro di trasporto [-];
- "Θ" = parametro di stabilità [-].

Tali parametri sono definiti dalle espressioni seguenti:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi = \frac{q_s}{\sqrt{g \cdot d^3 \cdot \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}}} \\ \Theta = \frac{\gamma \cdot R \cdot j}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} \end{array} \right.$$

in cui:

- " q_s " = portata solida (volumetrica) per unità di larghezza [m^2/s];
- " g " = accelerazione di gravità [m/s^2];
- " d " = diametro caratteristico del sedimento [m];
- " γ_s " = peso specifico del sedimento [N/m^3];
- " γ " = peso specifico dell'acqua [N/m^3];
- " R " = raggio idraulico [m];
- " j " = cadente piezometrica [-].

Grazie a tale formula è possibile calcolare la portata solida trasportabile dalla corrente una volta noti:

- alcuni parametri caratteristici del deflusso come la portata liquida, il raggio idraulico, la larghezza del pelo libero e la cadente piezometrica che sono stati calcolati nella precedente analisi idraulica;
- alcuni parametri caratteristici del sedimento come il diametro e il peso specifico.

Dopo aver determinato il valore della portata solida, infine, è possibile calcolare la concentrazione volumetrica del sedimento dividendo la portata solida per quella liquida.

Per i parametri caratteristici del sedimento si è scelto di considerare il diametro di separazione tra "limo a grana grossa" e "limo a grana media", pari a 0.02 mm, ed un peso specifico di 25'000 N/m^3 , date le caratteristiche del terreno.

Nella tabella seguente sono presenti i valori dei parametri utilizzati per il calcolo della concentrazione del sedimento utilizzando la formula di Meyer-Peter e Müller per il tratto dell'impluvio in esame.

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borrromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borrromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

Analisi del trasporto solido - Tr100						
Sezione modello	γ (N/m ³)	γ_s (N/m ³)	d (m)	j (-)	R (m)	θ (-)
A2	9810	25000	0.00002	0.01187	0.120	46.0
B2	9810	25000	0.00002	0.01486	0.240	115.2
C2	9810	25000	0.00002	0.01094	0.140	49.4
D2	9810	25000	0.00002	0.00230	0.260	19.3
E2	9810	25000	0.00002	0.05395	0.140	243.9
F2	9810	25000	0.00002	0.01192	0.170	65.4
G2	9810	25000	0.00002	0.10051	0.130	421.9
H2	9810	25000	0.00002	0.04452	0.300	431.3
I2	9810	25000	0.00002	0.15773	0.180	916.8
L2	9810	25000	0.00002	0.00142	0.360	16.6
M2	9810	25000	0.00002	0.01785	0.250	144.1
N2	9810	25000	0.00002	0.04379	0.160	226.2
O2	9810	25000	0.00002	0.00678	0.190	41.6
P2	9810	25000	0.00002	0.01252	1.050	424.4
Q2	9810	25000	0.00002	0.01184	0.440	168.2
R2	9810	25000	0.00002	0.00529	0.240	41.0
S2	9810	25000	0.00002	0.01361	0.690	303.3
T2	9810	25000	0.00002	0.00538	0.420	73.0
U2	9810	25000	0.00002	0.01533	0.180	89.1
V2	9810	25000	0.00002	0.01525	2.430	1196.8

Sezione modello	Ψ (-)	q_s (m ² /s)	b (m)	Q (m ³ /s)	C (-)	C (ppm)
A2	2491	0.0009	5.55	4.6	0.00105	1048
B2	9883	0.0034	8.25	16.0	0.00178	1776
C2	2778	0.0010	5.68	5.3	0.00104	1038
D2	674	0.0002	11.02	6.6	0.00039	392
E2	30463	0.0106	0.55	1.0	0.00584	5841
F2	4228	0.0015	1.74	1.9	0.00135	1350
G2	69321	0.0242	2.22	5.9	0.00909	9093
H2	71650	0.0250	3.53	11.6	0.00760	7601
I2	222062	0.0774	2.29	8.7	0.02038	20376
L2	537	0.0002	9.09	6.0	0.00028	283
M2	13834	0.0048	4.66	7.7	0.00292	2918
N2	27214	0.0095	2.92	6.1	0.00454	4541
O2	2144	0.0007	3.69	3.0	0.00092	919
P2	69932	0.0244	27.04	103.8	0.00635	6350
Q2	17439	0.0061	18.58	34.6	0.00326	3264
R2	2095	0.0007	9.95	8.4	0.00087	865
S2	42244	0.0147	9.89	31.1	0.00468	4683
T2	4985	0.0017	22.90	28.9	0.00138	1377
U2	6726	0.0023	11.00	14.8	0.00174	1743
V2	331197	0.1155	78.99	538.3	0.01694	16942

Tabella 11 – Parametri di calcolo della concentrazione del sedimento

Come mostrato nella tabella precedente, pertanto, la concentrazione volumetrica "C" è strettamente legata al tempo di ritorno considerato. Tali valori sono stati utilizzati come parametri di ingresso per il modulo "Hydraulic design - Stable Channel Design" del modello HEC-RAS dello US Army Corps of Engineers (modello già utilizzato all'interno per il calcolo delle caratteristiche idrodinamiche).

Nella tabella seguente sono presenti i risultati del calcolo della massima profondità di erosione effettuato con tale modulo e, in particolare, utilizzando il metodo "Regime".

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borrromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borrromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

Massima profondità di erosione - Tr100			
Sezione modello	Regime depth (m)	Regime width (m)	Regime slope (-)
A2	0.41	9.16	0.00071
B2	0.45	21.91	0.00072
C2	0.43	9.79	0.000689
D2	0.88	6.78	0.000377
E2	0.08	9.78	0.001502
F2	0.26	6.63	0.000918
G2	0.11	29.56	0.001151
H2	0.16	37.92	0.00102
I2	0.07	53.59	0.001059
L2	0.95	5.96	0.000343
M2	0.25	19.31	0.000944
N2	0.18	21.33	0.001075
O2	0.39	6.97	0.000716
P2	0.36	103.8	0.000699
Q2	0.39	43.23	0.000755
R2	0.56	11.34	0.00059
S2	0.30	48.90	0.00082
T2	0.64	26.09	0.000588
U2	0.44	20.88	0.000721
V2	0.33	384.53	0.000538

Tabella 12 – Massima profondità di scavo per la sezione in esame

Come è possibile osservare nella tabella precedente, i risultati dell'applicazione di tale metodologia indicano una profondità di scavo variabile, in funzione del punto considerato, tra 7 cm e 95 cm.

Al fine di tenere conto di un franco minimo di sicurezza pari a 1.00 m, bisognerà arrivare ad una profondità variabile tra 1.07 m e 1.95 m mediante l'utilizzo della TOC per la posa in opera di tutti gli elementi in progetto.

Sezione Modello	Interferenza
A	51
B	33
C	34
D	36
E	46
F	47
G	48
H	3
I	2
L	13
M	12
N	21
O	38
P	37
Q	28
R	45
S	41-50
T	31-42-49-39
U	43
V	29

Tabella: 1 Sezione modello – Interferenza

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

interferenze	regime depth (m)	profondità di posa (m)
51	0.41	1.41
33	0.45	1.45
34	0.43	1.43
36	0.88	1.88
46	0.08	1.08
47	0.26	1.26
48	0.11	1.11
3	0.16	1.16
2	0.07	1.07
13	0.95	1.95
12	0.25	1.25
21	0.18	1.18
38	0.39	1.39
37	0.36	1.36
28	0.39	1.39
45	0.56	1.56
41	0.30	1.30
50	0.3	1.30
31	0.64	1.64
42	0.64	1.64
49	0.64	1.64
39	0.64	1.64
43	0.44	1.44
29	0.33	1.33

Tabella: 2 Interferenza – Profondità di posa del cavidotto

4 Analisi idraulica dello stato di progetto

Come anticipato in precedenza, lo scopo del presente capitolo consiste nel verificare le modalità di deflusso degli eventi di piena con i tempi di ritorno di riferimento e, di conseguenza, progettare dei canali in terra di dimensioni opportune che risultino sufficienti a consentire il deflusso di tali eventi.

Per tali scopi, pertanto, si è considerato un valore di riferimento per il franco di sicurezza corrispondente a quello prescritto dalla "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) del 2001 che prevede:

- il 50% dell'altezza utile se questa non supera i 40 cm;
- 20 cm se l'altezza utile è compresa tra i 40 e i 100 cm;
- il 20% dell'altezza utile se questa è superiore a 100 cm.

Tutti i canali in progetto presentano un'altezza utile superiore ai 100 cm, pertanto, è stato considerato un franco di sicurezza pari al 20%.

Si precisa che i canali saranno rivestiti con biostuoia antiersiva.

I valori di portata per il dimensionamento dei canali sono stati ricavati considerando la riduzione di permeabilità generata dalla presenza dello stesso impianto. Le portate di riferimento per la successiva analisi idraulica sono quelle riportate nella tabella seguente:

Portate al colmo di piena (VAPI pluviometria)			
Bacino idrografico	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q300 (m ³ /s)
Bacino B	6.1	7.0	8.5
Bacino D	7.8	9.0	10.9

Tabella 13 - Sezioni interessate dagli interventi di risagomatura

Nella tabella successiva sono riportate le sezioni sulle quali effettuare gli interventi di risagomatura con le dimensioni di progetto che verranno verificate di seguito.

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

	Pendenza (-)	Scabrezza (m ² /s)	Base minore (m)	Base maggiore (m)	Altezza (m)
Sezione B1	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B2	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B3	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B4	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B5	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B6	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B7	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B8	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B9	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B10	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B11	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B12	0.0103	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B21	0.0144	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B22	0.0144	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B23	0.0144	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B24	0.0144	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B25	0.0144	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione B27	0.0144	33.33333333	1.50	4.50	1.50
Sezione D1	0.0095	33.33333333	1.00	5.00	2.00
Sezione D2	0.0095	33.33333333	1.00	5.00	2.00
Sezione D3	0.0095	33.33333333	1.00	5.00	2.00
Sezione D4	0.0095	33.33333333	1.00	5.00	2.00
Sezione D5	0.0095	33.33333333	1.00	5.00	2.00
Sezione D6	0.0095	33.33333333	1.00	5.00	2.00

Tabella 14

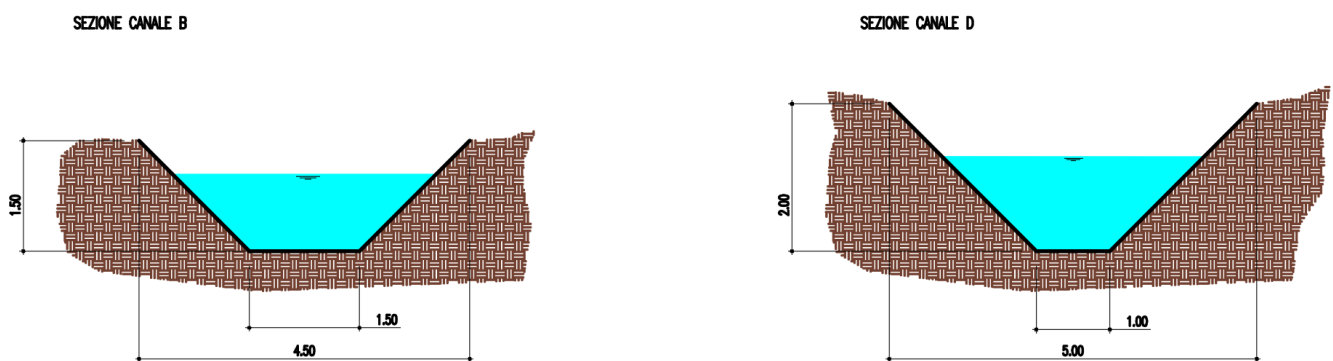


Figura 8: Sezioni canali di progetto

Nelle tabelle seguenti sono presenti tutti i valori numerici ottenuti dal modello nella configurazione post-intervento.

Impianto Agro-Fotovoltaico "Piana Borrromea" della potenza di 54,5 MW integrato con impianto di accumulo da 10MW e relative opere di connessione da realizzare nel comune di Trapani in località "Borrromea"

RS.12.REL.0015.S1 Relazione idrologica e idraulica

Stato di fatto - T = 100 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m ³ /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m ²)	Tensione di parete (N/m ²)	Numero di Froude (-)
D1	-1	0.00	93.73	9.0	95.17	1.44	3.89	2.55	3.53	64.94	0.86
D2	-2	93.75	92.84	9.0	94.28	1.44	3.90	2.54	3.54	64.25	0.85
D3	-3	179.46	92.02	9.0	93.46	1.44	3.88	2.56	3.52	65.24	0.86
D4	-4	251.57	91.33	9.0	92.78	1.45	3.89	2.54	3.54	64.46	0.85
D5	-5	329.22	90.60	9.0	92.04	1.44	3.88	2.56	3.52	65.14	0.86
D6	-6	451.51	89.43	9.0	90.87	1.44	3.89	2.55	3.53	64.71	0.85
B1	-1	0.00	91.21	7.0	92.30	1.09	3.69	2.47	2.84	63.12	0.90
B2	-2	58.84	90.60	7.0	91.71	1.11	3.70	2.44	2.86	61.82	0.89
B3	-3	128.77	89.89	7.0	90.98	1.09	3.69	2.46	2.84	62.85	0.90
B4	-4	187.09	89.29	7.0	90.39	1.10	3.70	2.45	2.86	62.05	0.89
B5	-5	249.07	88.65	7.0	89.74	1.09	3.69	2.46	2.84	62.82	0.90
B6	-6	468.21	86.40	7.0	87.49	1.09	3.70	2.45	2.85	62.38	0.89
B7	-7	492.27	86.15	7.0	87.25	1.10	3.70	2.45	2.86	62.03	0.89
B8	-8	544.04	85.62	7.0	86.71	1.09	3.69	2.46	2.84	62.88	0.90
B9	-9	595.04	85.09	7.0	86.19	1.10	3.71	2.44	2.87	61.54	0.89
B10	-10	626.41	84.77	7.0	85.85	1.08	3.67	2.50	2.80	64.79	0.91
B11	-11	670.27	84.32	7.0	85.47	1.15	3.81	2.29	3.06	53.42	0.81
B12	-12	735.60	83.65	7.0	84.67	1.02	3.55	2.70	2.60	76.57	1.01
B13	-13	810.11	82.88	6.1	83.73	0.85	31.97	0.60	10.17	12.95	0.34
B14	-14	863.58	82.48	6.1	83.11	0.63	25.75	1.34	4.56	78.17	1.01
B15	-15	929.54	81.72	6.1	82.74	1.02	70.18	0.30	20.37	3.33	0.18
B17	-17	947.40	82.21	6.1	82.41	0.20	54.34	1.03	5.93	54.29	0.99
B18	-18	1,000.78	80.52	6.1	81.50	0.98	38.00	0.42	14.50	5.99	0.22
B19	-19	1,065.99	80.40	6.1	81.33	0.93	58.21	0.50	12.27	10.19	0.35
B20	-20	1,137.41	80.21	6.1	80.85	0.64	52.33	0.64	9.60	17.44	0.47
B21	-21	0.00	91.33	7.0	92.33	1.00	3.51	2.78	2.52	81.87	1.05
B22	-22	62.35	90.43	7.0	91.44	1.01	3.51	2.78	2.52	81.87	1.05
B23	-23	114.13	89.69	7.0	90.69	1.00	3.51	2.78	2.52	81.87	1.05
B24	-24	186.87	88.64	7.0	89.65	1.01	3.51	2.78	2.52	81.87	1.05
B25	-25	255.66	87.65	7.0	88.65	1.00	3.51	2.78	2.52	81.88	1.05
B27	-27	261.23	87.57	7.0	88.57	1.00	3.51	2.78	2.52	81.87	1.05

Tabella 15 – Parametri risultanti dal modello nella configurazione post-intervento

Nella figura successiva sono mostrate le mappe di allagamento ricavate secondo la metodologia suddetta per i tre tempi di ritorno considerati. Tali tempi di ritorno, in linea con il PAI Sicilia, corrispondono rispettivamente alle aree a pericolosità molto elevata (T = 50 anni), elevata (T = 100 anni) e media (T = 300 anni).

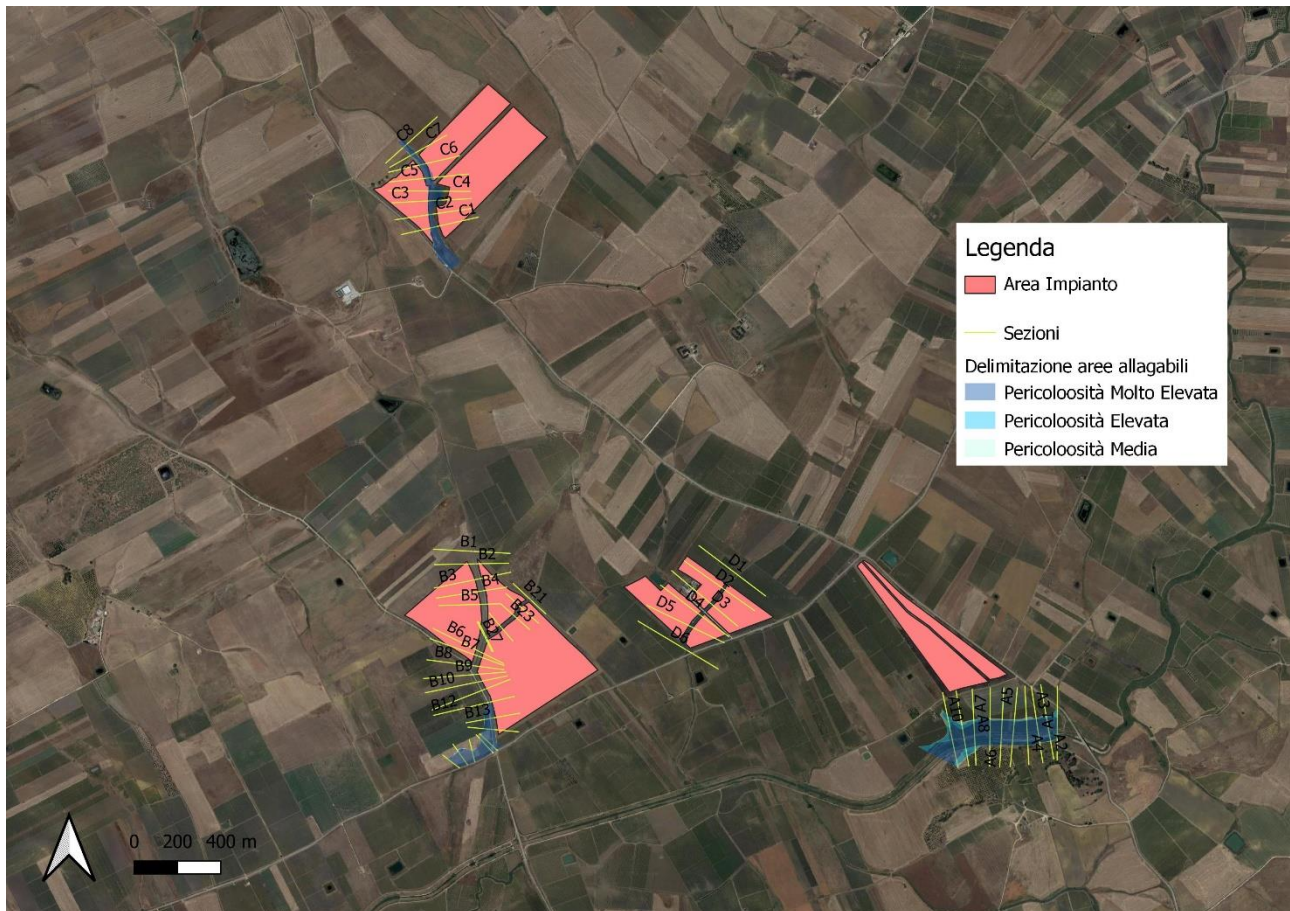


Figura 9: Planimetria delle aree allagabili post operam

Dalla figura precedente si può notare che, a seguito dell'intervento in progetto, le aree allagabili si siano notevolmente ridotte e che l'impianto si trova in sicurezza idraulica.

Si sottolinea, inoltre, che le opere progettate risultano in grado di garantire la sicurezza idraulica in quanto sono state dimensionate in funzione dell'evento meteorico con tempo di ritorno di 100 anni.

Per favorire il deflusso delle acque di ruscellamento superficiale, i canali oggetto di risagomatura saranno rivestiti con biostuoie antierosive ancorate al terreno sottostante.

5 Criteri di invarianza idrologica e idraulica

Uno dei principali effetti dell'urbanizzazione risiede nel consumo di suolo che dal punto di vista idrologico e idraulico si concretizza nell'impermeabilizzazione delle superfici, inficiando il ciclo idrologico del territorio circostante a causa dell'aumento della vulnerabilità dei sistemi ambientali presenti.

L'impermeabilizzazione dei suoli, in generale, tende a:

- ridurre i tempi di corrivazione delle acque meteoriche intensificando i fenomeni alluvionali;
- ridurre le quantità d'acqua di infiltrazione a ricarica delle falde e delle acque sotterranee;
- aumentare lo scorrimento superficiale (run-off), con conseguente aumento dell'erosione del suolo, del trasporto solido e dell'inquinamento delle acque;

In particolare, il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) della Regione Sicilia approvato con DPCM 7 marzo 2019 persegue l'integrazione degli obiettivi della Direttiva alluvioni 2007/60/CE nella pianificazione territoriale e in quella urbanistica.

Al fine di attuare un uso sostenibile del suolo, oltre che garantire la compatibilità delle trasformazioni territoriali nelle aree a differente pericolosità idraulica, vengono introdotti i principi di invarianza idraulica e/o idrologica da perseguire negli interventi di trasformazione territoriale nelle aree classificate come a rischio idraulico e ad indirizzare le previsioni nelle altre aree in modo da non aggravare o creare nuove situazioni di eventuale pericolosità.

Nel caso specifico, il principio di invarianza si ritiene che debba essere applicato in quanto si prevede una minima variazione di permeabilità delle aree prettamente agricole a seguito dell'installazione dei moduli fotovoltaici, generando una modifica del regime di deflusso superficiale.

Tale variabilità è leggibile in termini di aumento delle portate afferenti ai ricettori. Nella figura seguente è mostrato un esempio della variazione dell'idrogramma nel passaggio dalla configurazione ante operam a quella post operam.

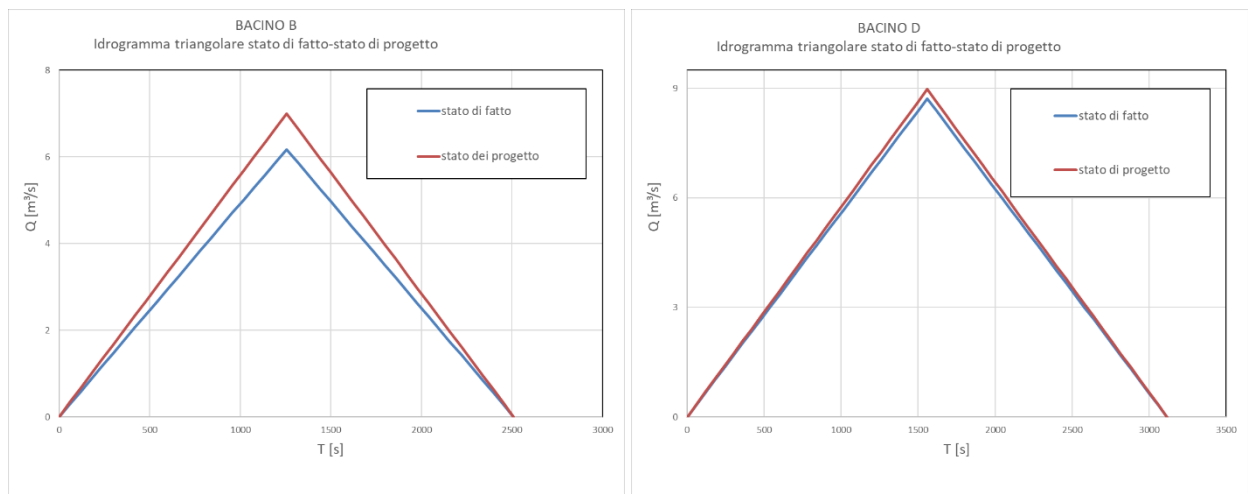


Figura 10: Confronto tra idrogrammi ante e post operam

Dalla differenza fra i valori di portata registrati nella condizione di stato di fatto e quelli dello stato di progetto, è possibile determinare:

- la portata eccedente da trattare opportunamente per rispettare il principio di invarianza idraulica;

- il volume eccedente da trattare opportunamente per rispettare il principio di invarianza idrologica.

5.1 Interventi in progetto

Oltre alle canalette precedentemente dimensionate, per il rispetto del principio di invarianza idraulica ed evitare l'incremento delle portate negli elementi idrici ricettori, si prevedono:

- nella parte terminale dei canali di valle dei pozzi perdenti interrati con dimensioni variabili in funzione dei volumi da smaltire per ogni bacino;
- a monte dei pozzi perdenti la predisposizione di un sistema di separazione delle acque in funzione della portata di progetto: il sistema così fatto permetterà il deflusso della portata dello stato di fatto (garantendo, quindi, l'invarianza idraulica) verso gli elementi idrici più prossimi all'impianto (così come accade attualmente), mentre convoglierà la portata eccedente verso i sistemi di dispersione.

Nella tabella di seguito si riportano i valori delle portate e dei volumi di progetto.

	Q progetto [mc/s]	Q stato di fatto [mc/s]	Q eccedente [mc/s]	Volume di progetto [mc]
Canale B	7.00	6.17	0.83	1037.11
Canale D	8.97	8.71	0.26	403.22

Tabella 16

La dimensione dei pozzi disperdenti dipende dal numero di anelli prefabbricati sovrapposti.

Essi saranno completamente interrati e carrabili. Nella figura seguente, si riporta un esempio tipologico.

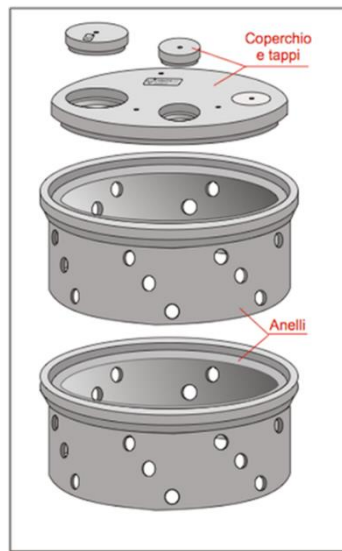


Figura 11: Immagine tipo pozzi disperdenti

6 Conclusioni

La presente relazione accompagna il progetto definitivo di realizzazione di un impianto Agro-fotovoltaico di produzione di energia da fonte fotovoltaica con potenza nominale di 54.5 MW sito nel comune di Trapani in località Piana Borrromea.

L'area oggetto di studio ricade nell'ambito di competenza Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia e, benché non interessata da pericolosità idraulica, risulta caratterizzata dalla presenza, nelle immediate vicinanze, di rami del reticolo idrografico della Regione Sicilia appartenenti ai bacini idrografici del Fiume Birgi e del Fiume Lenzi-Baiata.

Dato che, in questo caso, non è presente per tutta l'area di intervento una perimetrazione che definisca il livello di rischio idraulico, ma gli interventi sono localizzati nelle immediate vicinanze di rami del reticolo idrografico, trovano applicazione le NTA del PAI per la determinazione delle aree a diversa pericolosità idraulica.

Per tali ragioni, pertanto, è stato realizzato il presente studio idrologico ed idraulico che analizza compiutamente i regimi di deflusso a monte e a valle nonché l'effettiva estensione delle aree allagabili in modo da verificare la compatibilità degli interventi in progetto con le NTA del PAI.

Le analisi idrologiche sono state condotte mediante l'utilizzo del metodo VAPI Sicilia (come previsto all'interno del citato PAI) al fine di stabilire le portate al colmo di piena per eventi con tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni.

Tali portate sono state utilizzate nella successiva analisi idraulica che, grazie all'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello US Army Corps of Engineers, è finalizzata alla valutazione delle modalità di deflusso degli eventi di piena al fine di stabilire i massimi valori del livello di pelo libero e, di conseguenza, di valutare le effettive estensioni delle aree a diversa pericolosità idraulica.

Inoltre, per favorire il deflusso delle acque di ruscellamento saranno realizzati dei canali in terra, di forma trapezoidale, dimensionati in modo da ottenere un'adeguata capacità di drenaggio dell'intera area. Tali canali dovranno essere rivestiti con biostuoie antiersive ancorate al terreno.

In funzione di tali interventi, pertanto, nel presente studio è stata effettuata un'ulteriore analisi idrologica volta alla determinazione delle portate al colmo di piena mediante il metodo VAPI Sicilia e un'analisi idraulica in moto uniforme volta alla valutazione della capacità di drenaggio di tutti i canali.

Come valore di riferimento per il franco di sicurezza è stato considerato quello prescritto dalla "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) del 2001 che prevede:

- il 50% dell'altezza utile se questa non supera i 40 cm;
- 20 cm se l'altezza utile è compresa tra i 40 e i 100 cm;
- il 20% dell'altezza utile se questa è superiore a 100 cm.

Successivamente al dimensionamento dei canali, è stata effettuata un'analisi di invarianza idrologica e idraulica considerando i bacini idrografici dei canali di valle, i quali hanno la funzione di captare le acque che scorrono all'interno dell'impianto e che non devono gravare sulle portate afferenti agli impluvi a causa della riduzione di permeabilità generata dalla presenza dello stesso impianto.

A seguito dell'intervento in progetto, le aree allagabili si riducono notevolmente e l'impianto si trova in sicurezza idraulica.