

Volt Corleone S.r.l.

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO CON PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE NEL COMUNE DI CORLEONE (PA) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE UBICATE ANCHE NEI COMUNI DI MEZZOJUSO, CAMPOFELICE DI FITALIA E CIMINNA (PA)



Via Degli Arredatori, 8
70026 Modugno (BA) - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361

Azienda con Sistema di Gestione Certificato
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

Tecnico

ing. Danilo POMPONIO

Collaborazioni

ing. Milena MIGLIONICO
ing. Giulia CARELLA
ing. Valentina SAMMARTINO
ing. Alessia NASCENTE
ing. Roberta ALBANESE
ing. Marco D'ARCANGELO
ing. Alessia DECARO
ing. Tommaso MANCINI
ing. Fabio MASTROSERIO
ing. Martino LAPENNA
ing. Roberto CALO'
per. ind. Lambert FANELLI
pianif. terr. Antonio SANTANDREA

Responsabile Commessa

ing. Danilo POMPONIO

ELABORATO		TITOLO	COMMESSA	TIPOLOGIA	
C11		RELAZIONE IDRAULICA	23027	D	
			CODICE ELABORATO		
			DC23027D-C11		
REVISIONE		Tutte le informazioni tecniche contenute nel presente documento sono di proprietà esclusiva della Studio Tecnico BFP S.r.l e non possono essere riprodotte, divulgate o comunque utilizzate senza la sua preventiva autorizzazione scritta. All technical information contained in this document is the exclusive property of Studio Tecnico BFP S.r.l. and may neither be used nor disclosed without its prior written consent. (art. 2575 c.c.)	SOSTITUISCE	SOSTITUITO DA	
00			-	-	
			NOME FILE	PAGINE	
			DC23026D-C11.doc	24 + copertina	
			Elaborato	Controllato	Approvato
REV	DATA	MODIFICA	Nascente	Miglionico	Pomponio
00	09/08/23	Emissione			
01					
02					
03					
04					
05					
06					

INDICE

1. PREMESSA	2
1.1 Inquadramento dell'impianto agrivoltaico.....	3
1.2 Inquadramento del cavidotto.....	5
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE	8
3.1 Il progetto	8
4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	10
5. STUDIO IDROLOGICO	15
6. STUDIO IDRAULICO.....	16
6.1 Analisi idraulica con $Tr = 100$ anni	17
7. INTERFERENZE CAVIDOTTO-RETICOLI IDROGRAFICI	20
8. CONCLUSIONI	24

1. PREMESSA

La presente relazione è relativa al progetto di un impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica della potenza nominale DC di 39.085,20 kWp e potenza AC ai fini della connessione (a $\cos\phi=1$) pari a 34.650,00 kW da realizzarsi nel comune di Corleone (PA) e delle relative opere di connessione da realizzarsi anche nei comuni di Mezzojuso (PA), Campofelice di Fitalia (PA) e Ciminna (PA).

La produzione e la vendita dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico in progetto potrebbero essere regolate secondo le due seguenti alternative:

- con criteri di incentivazione in conto energia, ossia di incentivi pubblici a copertura dei costi di realizzazione, definiti dal Decreto Ministeriale 19 febbraio 2007, emesso dai Ministeri delle Attività Produttive e dell'Ambiente in attuazione del Decreto Legislativo n. 387 del 29 dicembre 2003, quest'ultimo emanato in attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili;
- con criteri di "market parity", ossia la vendita sul mercato energetico all'ingrosso caratterizzato da una reale competitività tra il prezzo di scambio dell'energia prodotta dal fotovoltaico e quello dell'energia prodotta dalle fonti fossili (il fotovoltaico in market parity vende energia sulla borsa elettrica ad un prezzo inferiore a quella prodotta dalle altre fonti convenzionali).

Ai sensi dell'art. 12 del D.Lgs. n. 387/2003 l'opera, rientrante negli "impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili", autorizzata tramite procedimento unico regionale, è dichiarata di pubblica utilità, indifferibile ed urgente.

Tutta la progettazione è stata sviluppata utilizzando tecnologie ad oggi disponibili sul mercato europeo; considerando che la tecnologia fotovoltaica è in rapido sviluppo, dal momento della progettazione definitiva alla realizzazione potranno cambiare le tecnologie e le caratteristiche delle componenti principali (moduli fotovoltaici, inverter, strutture di supporto), ma resteranno invariate le caratteristiche complessive e principali dell'intero impianto in termini di potenza massima di produzione, occupazione del suolo e fabbricati.

La soluzione di connessione (comunicata da TERNA tramite STMG con codice pratica 202200583), prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 36 kV su una nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione 150/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce alle due linee RTN a 150 kV RTN "Ciminna - Casuzze" e "Ciminna - Cappuccini".

Si fa presente che la futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 150/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce alle due linee RTN a 150 kV RTN "Ciminna - Casuzze" e "Ciminna - Cappuccini", alla quale l'impianto agrivoltaico si collegherà **non fa parte del progetto**.

Il progetto prevede, pertanto:

- la realizzazione dell'impianto agrivoltaico;

- la realizzazione del cavidotto AT di connessione alla futura SE.

1.1 Inquadramento dell'impianto agrivoltaico

Il suolo sul quale sarà realizzato l'impianto agrivoltaico ricopre una superficie di circa 55 ettari. Esso ricade nel foglio 1:25.000 delle cartografie dell'Istituto Geografico Militare (IGM Vecchia Ed.) n. 258 II NE "MONTE CARDELLA", ed è catastalmente individuato ai fogli di mappa nn. 42 e 43 del comune di Corleone (PA).

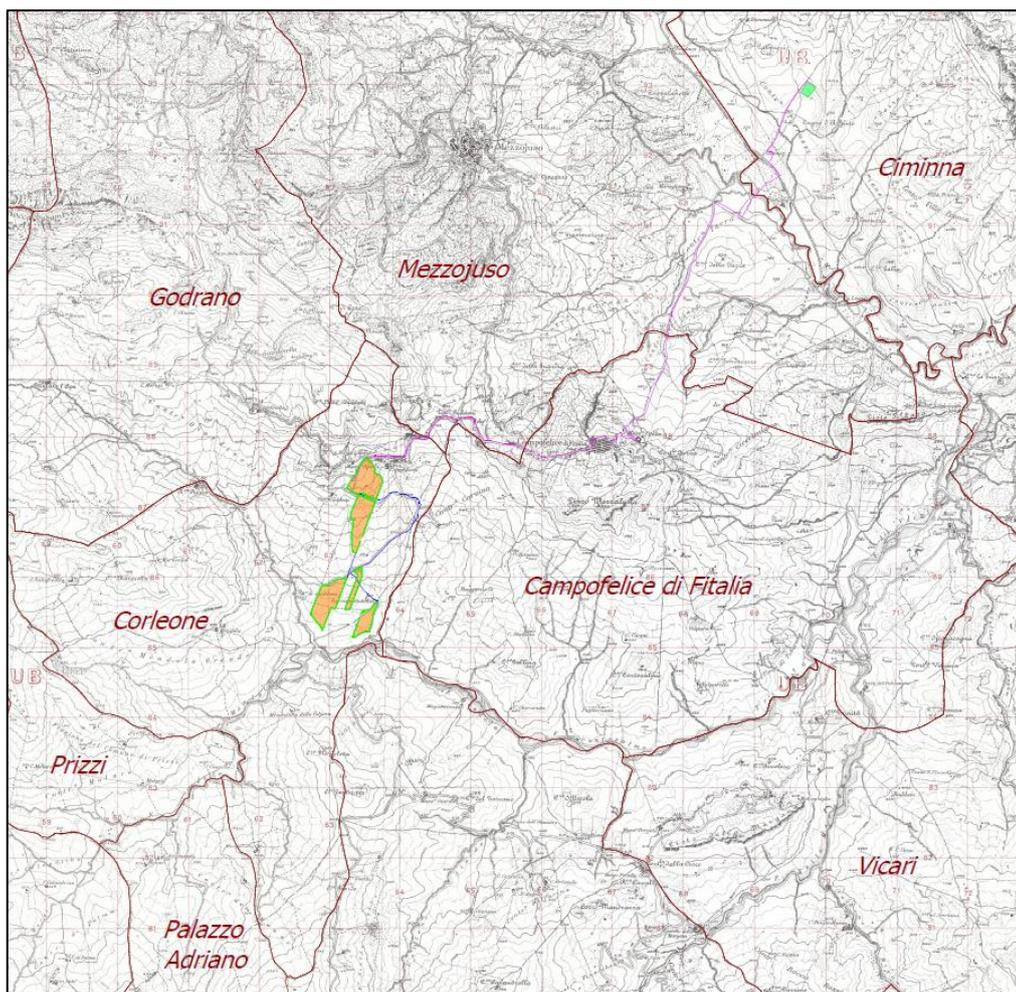


Figura 1 - Inquadramento su IGM dell'impianto agrivoltaico



Figura 2 - Inquadramento su ortofoto dell'impianto agrivoltaico

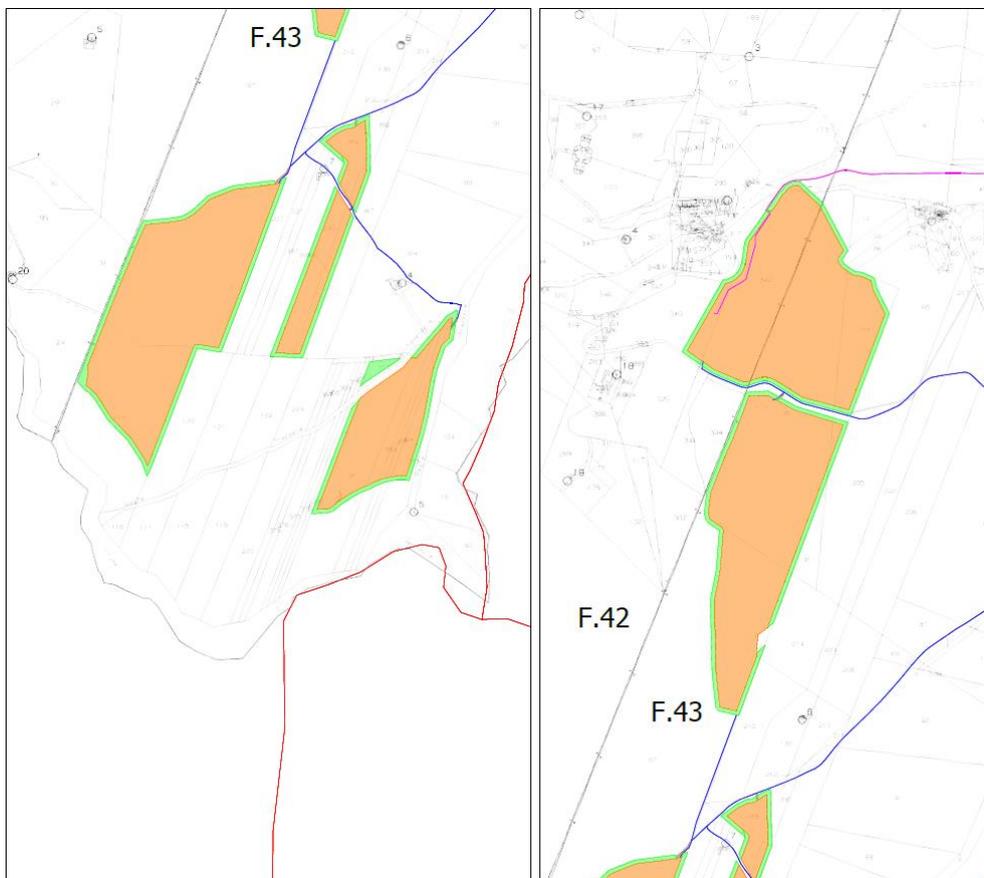


Figura 3 - Inquadramento su stralcio catastale dell'impianto agrivoltaico



1.2 Inquadramento del cavidotto

Come detto in premessa, la soluzione di connessione (comunicata da TERNA tramite STMG con codice pratica 202200583), prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 36 kV su una nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione 150/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce alle due linee RTN a 150 kV RTN "Ciminna - Casuzze" e "Ciminna - Cappuccini".

Il cavidotto AT di connessione tra l'impianto agrivoltaico e la futura Stazione Elettrica, sita nel comune di Ciminna (PA) non oggetto del progetto, si estenderà, per circa 12 km, nei territori di Corleone, Mezzojuso e Ciminna (PA) interessando i fogli di mappa nn. 42 e 43 del Comune di Corleone, nn. 27, 28 e 30 del Comune di Mezzojuso, nn. 1, 2, 4 e 5 del Comune di Campofelice di Fitalia e nn. 19 e 20 del Comune di Ciminna.

L'elettrodotta percorrerà, per la quasi totalità del suo percorso, viabilità pubblica (in particolare la S.P.82 e la S.P.55), ma anche suoli privati lungo viabilità interpoderali.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) costituisce, ai sensi dell'art. 67 del D. Lgs. 152/2006, uno stralcio tematico e funzionale del Piano di Bacino Distrettuale, previsto dall'art. 65 dello stesso decreto. Il P.A.I. definisce lo scenario di riferimento a scala regionale delle situazioni di pericolosità geomorfologica, idraulica e di erosione costiera, ed è strumento conoscitivo, normativo e tecnico-amministrativo di supporto per le politiche di conservazione, difesa e valorizzazione del territorio, ai fini della mitigazione del rischio idrogeologico e della tutela della salute pubblica e dell'ambiente, nonché della salvaguardia degli insediamenti e delle infrastrutture.

L'ambito territoriale di riferimento del P.A.I. è il Distretto Idrografico della Sicilia, previsto dall'art. 51, comma 5, della legge n. 221 del 28 dicembre 2015. Attualmente, il Distretto è suddiviso in n. 102 bacini idrografici e aree territoriali, per il P.A.I. continentale, e in n. 21 unità fisiografiche per il P.A.I. delle coste siciliane.

Tale strumento di pianificazione settoriale tende ad ottimizzare la compatibilità tra la domanda di uso del suolo e la naturale evoluzione geomorfologica del territorio, nel quadro di una politica di governo rispettosa delle condizioni ambientali. Il P.A.I. ha sostanzialmente tre funzioni:

- la *funzione conoscitiva*, che comprende lo studio dell'ambiente fisico e del sistema antropico, nonché della ricognizione delle previsioni degli strumenti urbanistici e dei vincoli idrogeologici e paesaggistici;
- la *funzione normativa e prescrittiva*, destinata alle attività connesse alla tutela del territorio e delle acque fino alla valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico e alla conseguente attività di vincolo;
- la *funzione programmatica*, che fornisce le possibili metodologie d'intervento finalizzate alla mitigazione del rischio.

Gli obiettivi del P.A.I., per quanto riguarda l'assetto idraulico, relative alle nuove attività sono:

- a) migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità idraulica;
- b) garantire il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo;
- c) salvaguardare ed eventualmente ampliare le aree di naturale espansione delle piene, al fine di mantenere e migliorare le condizioni di funzionalità idraulica del corso d'acqua in relazione alla capacità d'invaso e laminazione delle piene delle aree predette;
- d) non costituire in nessun caso un fattore di aumento del rischio idraulico, né localmente né nei territori a valle o a monte, producendo significativi ostacoli al normale libero deflusso delle acque ovvero causando una riduzione significativa della capacità di invaso delle aree interessate;
- e) non costituire un elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione delle specifiche cause di rischio esistenti;

- f) non pregiudicare le sistemazioni idrauliche definitive né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;
- g) garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un ostacolo significativo al regolare deflusso delle acque o un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;
- h) limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque, anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;
- i) impiegare ove possibile, tecniche a basso impatto ambientale;
- j) salvaguardare la risorsa acqua in funzione del minimo deflusso vitale o della potenzialità della falda.

Il P.A.I. definisce e disciplina le aree così denominate: Aree a pericolosità geomorfologica, Aree a rischio geomorfologico, Aree a pericolosità idraulica, Aree a rischio idraulico.

Nelle nuove Norme d'Attuazione (anno 2021) il Piano disciplina le aree come segue:

- **Assetto geomorfologico**
 - art. 21. Aree a pericolosità molto elevata (P4) ed elevata (P3)
 - art. 22. Aree a pericolosità media (P2)
 - art. 23. Aree a pericolosità moderata (P1) e bassa (P0)
 - art. 24. Tipologie dei siti di attenzione
- **Assetto idraulico**
 - art. 26. Aree a pericolosità molto elevata (P4) ed elevata (P3);
 - art. 27. Aree a pericolosità media (P2) e moderata (P1).

Nel quadro di riferimento programmatico della SIA sono stati analizzati i piani e i programmi nell'area vasta prodotti da vari Enti Pubblici, a scala regionale, provinciale e comunale, al fine di correlare il progetto oggetto di studio con la pianificazione territoriale esistente.

In particolare, sono stati analizzati i seguenti strumenti di piano:

- Strumenti urbanistici Generali;
- Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR);
- Analisi Aree E Siti Non Idonei e compatibilità Linee Guida (DM2010) e D.P. 10/10/2017;
- Aree protette Natura 2000, SIC e ZPS e Rete Ecologica Siciliana;
- Piano di Assetto Idrogeologico Sicilia (PAI);
- Piano Tutela Delle Acque (PTA);
- Vincolo Idrogeologico.

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE

3.1 Il progetto

L'impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica oggetto della presente relazione avrà le seguenti caratteristiche (cfr. DW23027D-P01):

- potenza installata lato DC: 39.085,20 kWp;
- potenza dei singoli moduli: 630 Wp;
- n.210 inverter di stringa;
- n. 15 cabine di trasformazione dell'energia elettrica (PCU);
- n. 1 cabina di raccolta utente (MTR);
- n. 1 reattanza shunt;
- rete elettrica interna a 1500 V DC tra i moduli fotovoltaici, tra questi e gli inverter di stringa, e fra questi e le cabine di trasformazione;
- rete elettrica interna a 36 kV per il collegamento tra le varie cabine di trasformazione e la cabina di raccolta utente;
- rete elettrica interna a bassa tensione per l'alimentazione dei servizi ausiliari di centrale (controllo, videosorveglianza, forza motrice, ecc.);
- rete elettrica esterna a 36 kV dalla cabina di raccolta utente alla futura Stazione Elettrica;
- rete telematica interna ed esterna di monitoraggio per il controllo dell'impianto agrivoltaico;
- impianto colturale.

Nel complesso l'intervento di realizzazione dell'impianto agrivoltaico, conterà delle seguenti opere:

- installazione delle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici;
- installazione dei moduli fotovoltaici;
- installazione degli inverter di stringa;
- installazione delle cabine di trasformazione;
- installazione della cabina di raccolta utente e della reattanza shunt;
- realizzazione dei collegamenti elettrici BT e AT di campo;
- realizzazione della viabilità interna ed esterna per l'accesso all'impianto;
- realizzazione del cavidotto AT di vettoriamento esterno al campo agrivoltaico;
- realizzazione dell'impianto colturale.

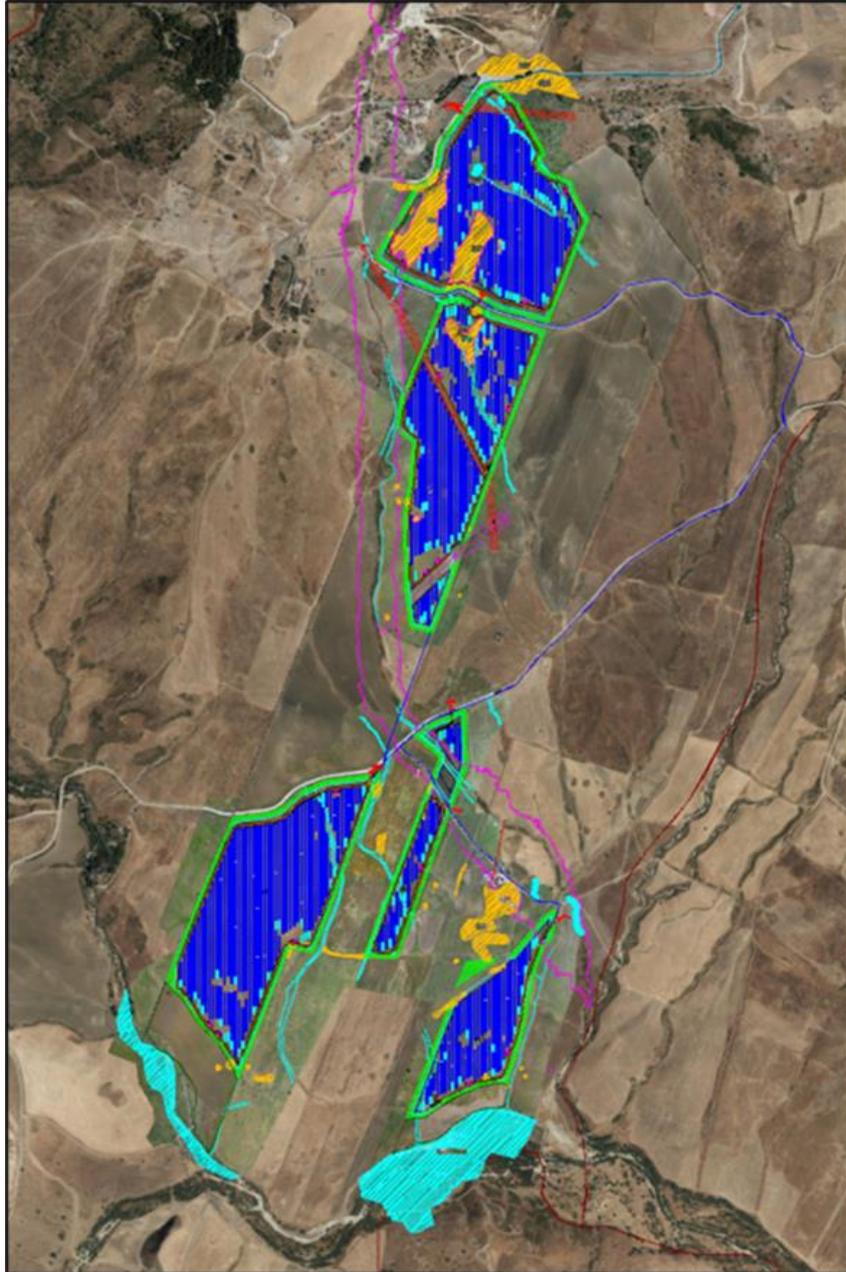


Figura 4 - Layout impianto agrivoltaico

4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'area interessata dall'impianto agrivoltaico ricade all'interno del bacino idrografico del "Fiume San Leonardo", censito dal P.A.I. al numero 033.

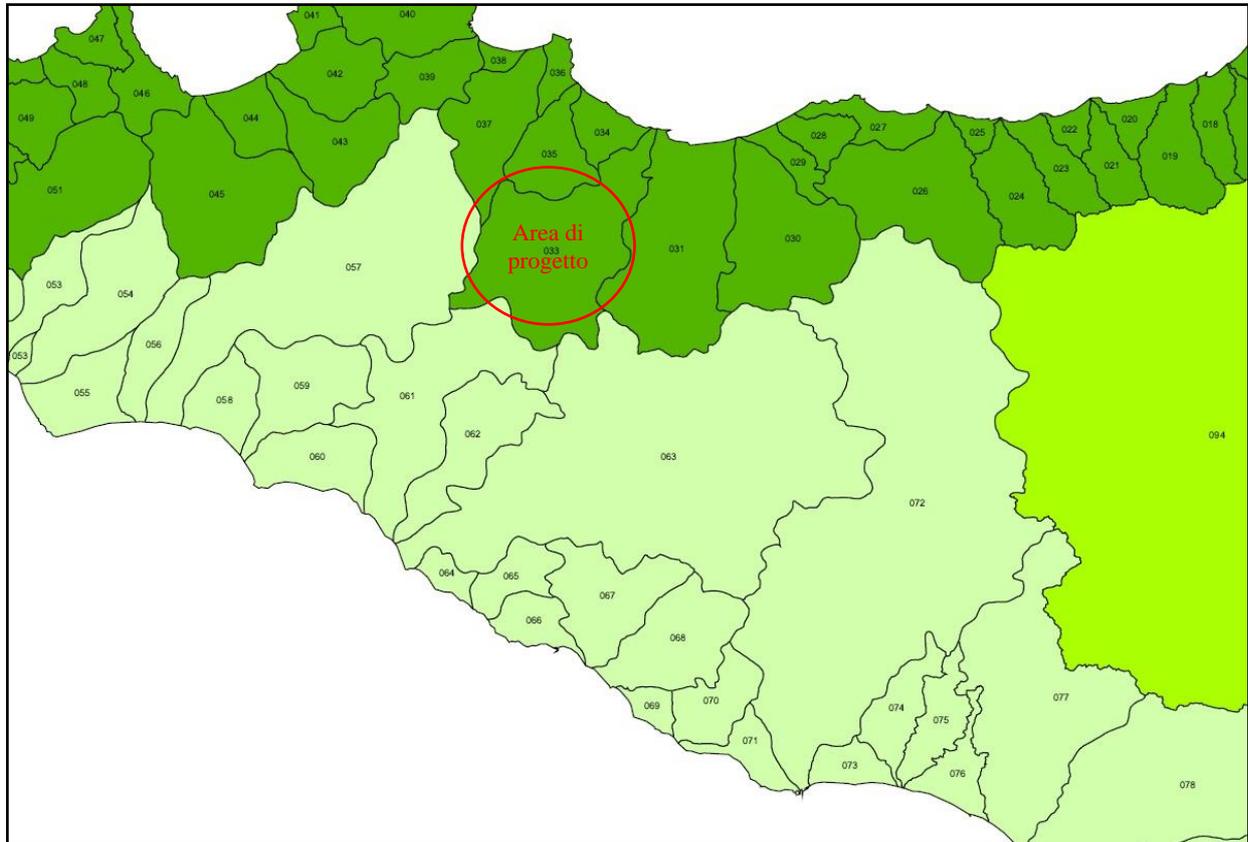


Figura 5: Stralcio dei Bacini idrografici della Regione Sicilia

L'attuale condizione geomorfologica del bacino del S. Leonardo è la conseguenza di processi tettonici (tettonica compressiva miocenica e tettonica distensiva plio-quadernaria) cui ha fatto seguito l'azione geomorfologica degli agenti esogeni che hanno modellato la superficie topografica generando le attuali morfostrutture.

Il Fiume San Leonardo è il corso d'acqua principale della costa settentrionale della Sicilia.

Il suo bacino idrografico si estende per circa 506 Km² di cui circa quattrocento sono stati dichiarati montani con R.D n° 3301 del 2/11/1933.

Il bacino si sviluppa tra la catena costiera (Monti di Trabia, Monte S. Calogero) e le propaggini settentrionali dei Monti Sicani (M. Cardellia, M. Barracù, Monti di Prizzi); esso confina ad est con il bacino del F. Torto, a SE con quello del F. Platani, a sud con quello del F. Sosio, a SO con quello del Belice sinistro e ad ovest con quello del F. Milicia.

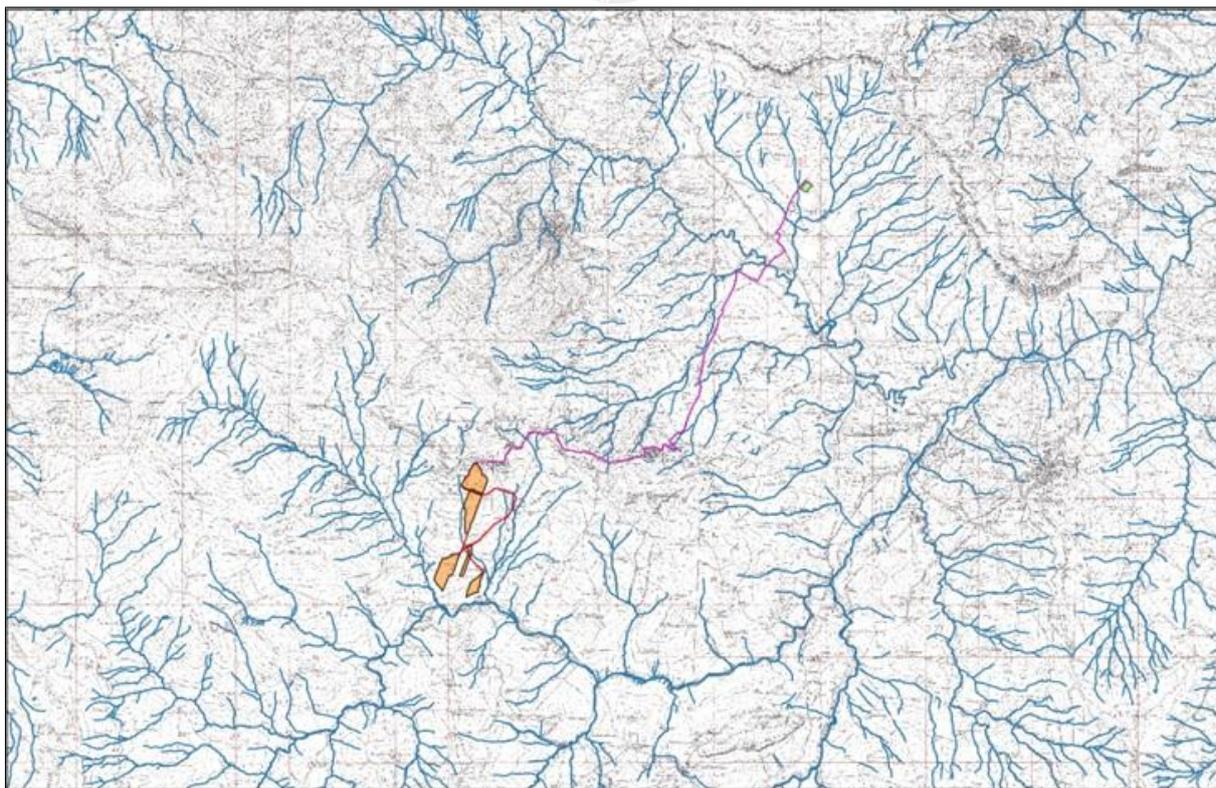


Figura 6: Reticoli idrografici su IGM 25.000

Per definire il microclima dell'area territoriale dei bacini idrografici del Fiume San Leonardo, sono stati considerati gli elementi climatici *temperatura e piovosità* registrati presso le stazioni termopluviometriche e pluviometriche situate all'interno dell'area in esame o limitrofe ad essa. Le stazioni pluviometriche e termo-pluviometriche presenti nel bacino del Fiume San Leonardo, secondo i dati presenti nel P.A.I. del bacino di appartenenza, sono le seguenti:

STAZIONE	LOCALITA'	STRUMENTO	QUOTA (m s.l.m.)	COORDINATE (UTM)	
				Lat.	Long.
Caccamo	Caccamo	Pluviometro	521	4.199.326	382.823
Campofelice di Fitalia	Campofelice di Fitalia	Pluviometro	730	4.186.627	366.500
Ciminna	Ciminna	Termo-pluviometro	500	4.195.780	372.512
Mezzojuso	Mezzojuso	Pluviometro	500	4.192.199	365.124
Monumentale	Termini Imerese	Pluviometro	6	4.204.833	385.830
Vicari	Vicari	Pluviometro	650	4.186.511	373.836

Figura 7: Elenco delle stazioni pluviometriche e termo-pluviometriche del bacino del F. San Leonardo

La stazione pluviometrica in prossimità dell’impianto agrivoltaico in esame è la *Stazione di Campofelice di Fitalia (PA)*, come si può notare dall’immagine seguente.



Figura 7: Ubicazione delle stazioni pluviometriche con indicazione dell’impianto

Di seguito si riporta, per l’ultimo trimestre dell’anno corrente 2023, le informazioni registrate mese per mese dei valori dell’altezza di pioggia e dei giorni piovosi.

Stazioni	maggio 2023						giugno 2023						luglio 2023						Ultimo giorno piovoso *	Precipitazioni cumulate dal 1° gen **	
	Precipitazioni (mm) **			Giorni piovosi (%) **			Precipitazioni (mm) **			Giorni piovosi (%) **			Precipitazioni (mm) **			Giorni piovosi (%) **					
	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec
Alta	5	44,8	48,6	20	20	36,4	19,6	4,6	0	30	20	0	0	...	...	0	...	...	15/06/2023	...
Camporeale	7	59,2	52,6	20	60	27,3	29,6	5,2	0	30	20	0	0,2	...	...	0	...	...	15/06/2023	...
Castelbuono	39,8	88,6	9,4	30	40	18,2	25,8	15,2	0	30	30	0	0	...	...	0	...	...	16/06/2023	...
Contessa Entellina	5,2	63,6	21	10	60	18,2	13,8	11,2	0	30	20	0	0	...	...	0	...	...	15/06/2023	...
Corleone	14	65,6	58,2	40	60	36,4	38	28,4	0	30	30	0	0	...	...	0	...	...	16/06/2023	...
Gangi	34	64,8	55,6	50	30	36,4	70	13	0	50	30	0	0	...	...	0	...	...	16/06/2023	...
Giuliana	8,4	74	20,8	30	60	27,3	57,4	8,6	0	40	20	0	0	...	...	0	...	...	15/06/2023	...
Lascari	30	96	13	30	40	27,3	26	16,2	0,8	30	30	0	0	...	...	0	...	...	16/06/2023	...
Mezzojuso	38,6	50,4	74,5	30	60	36,4	42,4	8,4	0	40	10	0	0	...	...	0	...	...	14/06/2023	...
Misilmeri	36	63	25,8	20	40	27,3	27,4	4,8	0	40	20	0	0	...	...	0	...	...	15/06/2023	...
Monreale Biferara	11,2	58,8	67,2	40	60	45,5	35,5	8	0	50	10	0	0	...	...	0	...	...	14/06/2023	...
Monreale Vigna Api	9,4	60,6	52,6	20	50	27,3	31	8	0	40	20	0	0	...	...	0	...	...	15/06/2023	...
Palermo	4,4	93,2	10,4	20	60	27,3	28,4	7,2	0	20	20	0	0	...	...	0	...	...	16/06/2023	...
Partinico	6,2	70	33,6	30	40	27,3	26,6	17,4	0	20	20	0	0	...	...	0	...	...	16/06/2023	...
Petralia Sottana	14,4	62,2	54,6	30	40	45,5	30	2,8	0	40	10	0	0	...	...	0	...	...	15/06/2023	...
Polizzi Generosa	29,8	49,4	83	50	20	45,5	23,2	23,4	0	30	30	0	0	...	...	0	...	...	16/06/2023	...
Prizzi	13,2	71,4	36,9	40	60	18,2	50	9	0	30	20	0	0	...	...	0	...	...	15/06/2023	...
Scialfani Bagni	8	53,6	123,2	20	30	45,5	33,2	4,4	0	40	10	0	0	...	...	0	...	...	14/06/2023	...
Stazioni	maggio 2023						giugno 2023						luglio 2023						Ultimo giorno piovoso *	Precipitazioni cumulate dal 1° gen **	
	Precipitazioni (mm) **			Giorni piovosi (%) **			Precipitazioni (mm) **			Giorni piovosi (%) **			Precipitazioni (mm) **			Giorni piovosi (%) **					
	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec	I. dec	II. dec	III. dec
Termini Imerese	28,2	67,8	37	20	50	27,3	50,2	8,8	0	20	20	0	0	...	...	0	...	...	15/06/2023	...

Figura 8: Dati misurati dalle stazioni meteo della Provincia di Palermo

Secondo le perimetrazioni del P.A.I., l'impianto agrivoltaico di progetto risulta esterno alle aree a pericolosità idraulica P4, P3, P2 e P1.

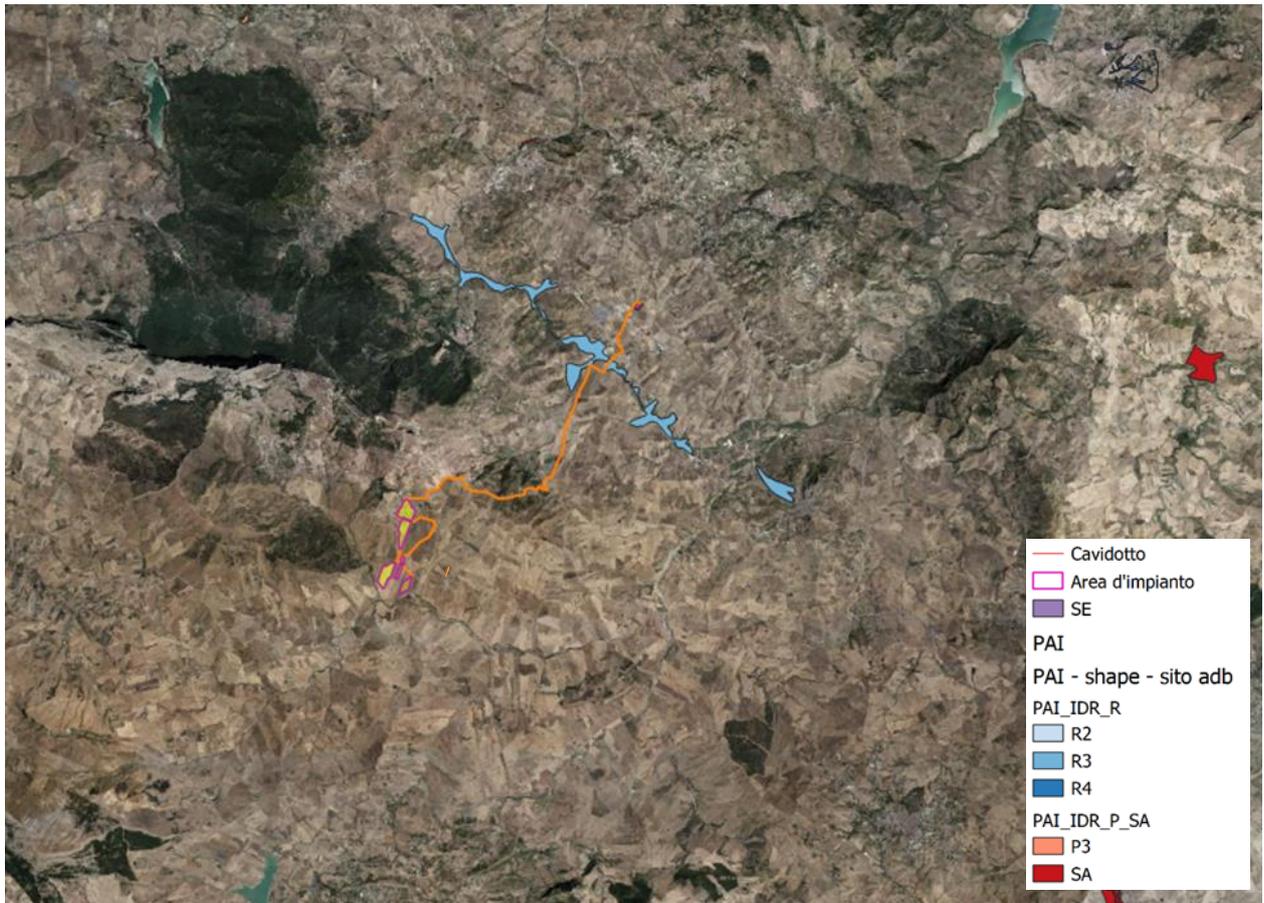


Figura 9: Stralcio delle perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica del PAI

Geologicamente l'area oggetto di studio rientra nel Foglio 258 "Corleone" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

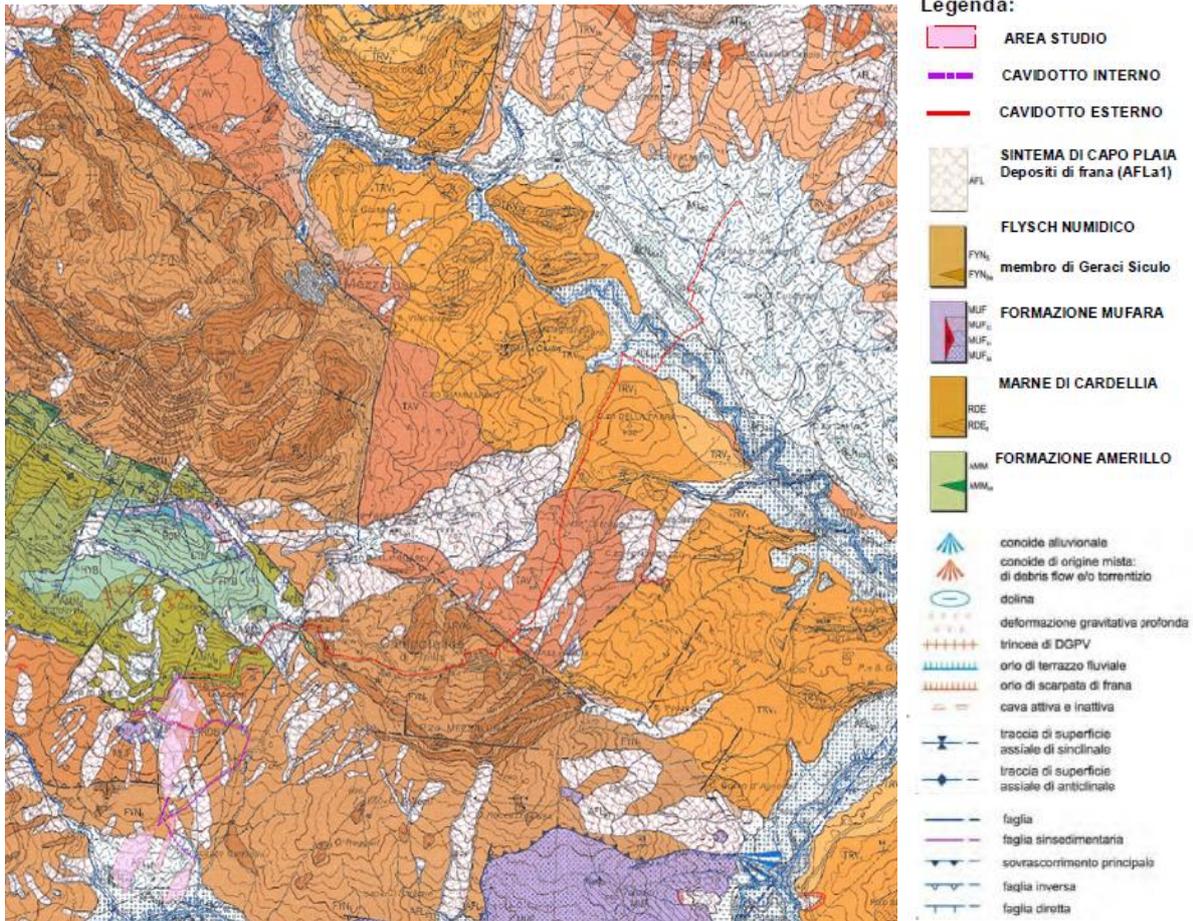


Figura 10: Inquadramento geologico



5. STUDIO IDROLOGICO

Lo studio idrologico ha permesso di stimare le portate al colmo di piena all'interno dei bacini idrografici di studio per tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni. Nello specifico, è stato utilizzato il tempo di ritorno di 100 anni per la determinazione delle aree in cui è stato rilevato il rischio di alluvione, al fine di valutare le condizioni di sicurezza dell'intervento. Le portate di piena centennali, quindi, sono state utilizzate come input nella modellazione idraulica per perimetrare l'impronta allagabile a 100 anni (output). Di seguito, si riportano i risultati dell'analisi idrologica.

Bacini	Q ₅₀ (mc/s)	Q ₁₀₀ (mc/s)	Q ₃₀₀ (mc/s)
Bacino 1	13.30	15.11	17.98



6. STUDIO IDRAULICO

La seguente analisi idraulica consiste nella modellazione bidimensionale del comportamento idraulico dei corpi idrici che interferiscono con l'area di impianto, in condizioni di moto non stazionario e allo stato attuale, attraverso l'ausilio del software HEC-RAS 5.0.7.

Il codice di calcolo HEC-RAS è un programma sviluppato presso l'Hydrological Engineering Center (HEC) dall'United States Army Corps of Engineering (USACE), utilizzato per l'implementazione di modelli numerico-idraulici di canali naturali ed artificiali e per ricostruire con un accettabile grado di approssimazione, la geometria, la dinamica fluviale e la risposta di un corso d'acqua agli interventi in alveo.

La modellazione bidimensionale in regime di moto vario ha consentito la simulazione del deflusso nelle due direzioni piane, partendo da una rappresentazione 2D della morfologia dell'alveo e delle aree golenali limitrofe, definita con un modello digitale del terreno.

Le leggi fisiche che regolano il moto vario di una corrente a pelo libero sono l'equazione di conservazione della massa e l'equazione di conservazione della quantità di moto:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) - q_l V_l = 0$$

le cui variabili introdotte hanno il seguente significato:

- Q = portata defluente in alveo
- q_l = portata immessa lateralmente per unità di lunghezza
- A = sezione idrica della corrente
- g = accelerazione di gravità
- V = velocità media di deflusso della corrente
- V_l = velocità media di deflusso della portata immessa lateralmente;
- S_f = slope friction
- z = quota di pelo libero, che è legata al tirante idrico e alla quota di fondo alveo.

La risoluzione del sistema di equazioni suddetto è affidata al metodo delle differenze finite, il quale permette di riscrivere le equazioni in termini di differenze finite, evitando di dover risolvere delle derivate parziali: si passa così da un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali ad un sistema di equazioni algebriche.

In particolare, la modellazione 2D in HEC-RAS utilizza uno schema di tipo implicito ai volumi finiti, noto come "box scheme". L'algoritmo di soluzione di tipo implicito consente di utilizzare passi

temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti; l'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti. Per testare la stabilità del modello si è utilizzato il criterio di Courant – Friedrichs – Lewy, abbreviato con CFL, secondo il quale un modello è stabile se è soddisfatta la seguente condizione:

- caso unidimensionale

$$C = \frac{u \cdot \Delta t}{\Delta x} < C_{max}$$

- caso bidimensionale

$$C = \frac{u_x \cdot \Delta t}{\Delta x} + \frac{u_y \cdot \Delta t}{\Delta y} < C_{max}$$

dove u rappresenta la velocità di flusso, Δt è l'intervallo temporale e Δx è l'intervallo spaziale e il numero adimensionale C è chiamato numero di Courant.

La costante C_{max} dipende dalla tipologia di equazione che deve essere risolta e dal tipo di schema numerico utilizzato per la soluzione (esplicito o implicito). Se si utilizza uno schema esplicito allora C_{max} è pari a 1; se invece lo schema è di tipo implicito sono tollerati valori di C_{max} più elevati.

6.1 Analisi idraulica con $Tr = 100$ anni

Definito e generato il modello digitale del terreno (*Terrain*), si è passato alla creazione del grigliato di calcolo (*2D Flow Area*) che costituisce il corpo vero e proprio dell'area 2D rappresentativa della piana alluvionale, per lo sviluppo della modellazione bidimensionale.

Per una simulazione accurata, è possibile associare alle aree 2D dei valori di scabrezza variabili che simulino l'eterogeneità reale delle aree inondabili.

Questa variabilità spaziale è stata ottenuta dalla sovrapposizione dell'area 2D di calcolo con la Carta d'Uso del Suolo e dall'attribuzione del coefficiente di scabrezza di Manning relativo alle varie tipologie di uso del suolo. Nel caso specifico, si è attribuito un coefficiente di scabrezza di Manning pari a 0.040 corrispondente alla classe UDS "Seminativi semplici in aree non irrigue".

Nelle simulazioni idrauliche effettuate in condizioni di moto vario per i vari bacini idrografici di studio, come condizione al contorno di valle si è associata la condizione di *Normal Depth*, mentre per la condizione di monte è stata utilizzata l'opzione del *Flow Hydrograph*, mediante l'inserimento dell'idrogramma di piena con intervalli temporali pari a 10 minuti, considerando un giorno di simulazione.

Si riporta l'idrogramma di piena inserito come condizione di monte nelle simulazioni idrauliche, relativo al bacino idrografico di studio dell'area di impianto. Il picco dell'idrogramma rappresenta la portata di piena di un evento meteorico con tempo di ritorno $Tr = 100$ anni.

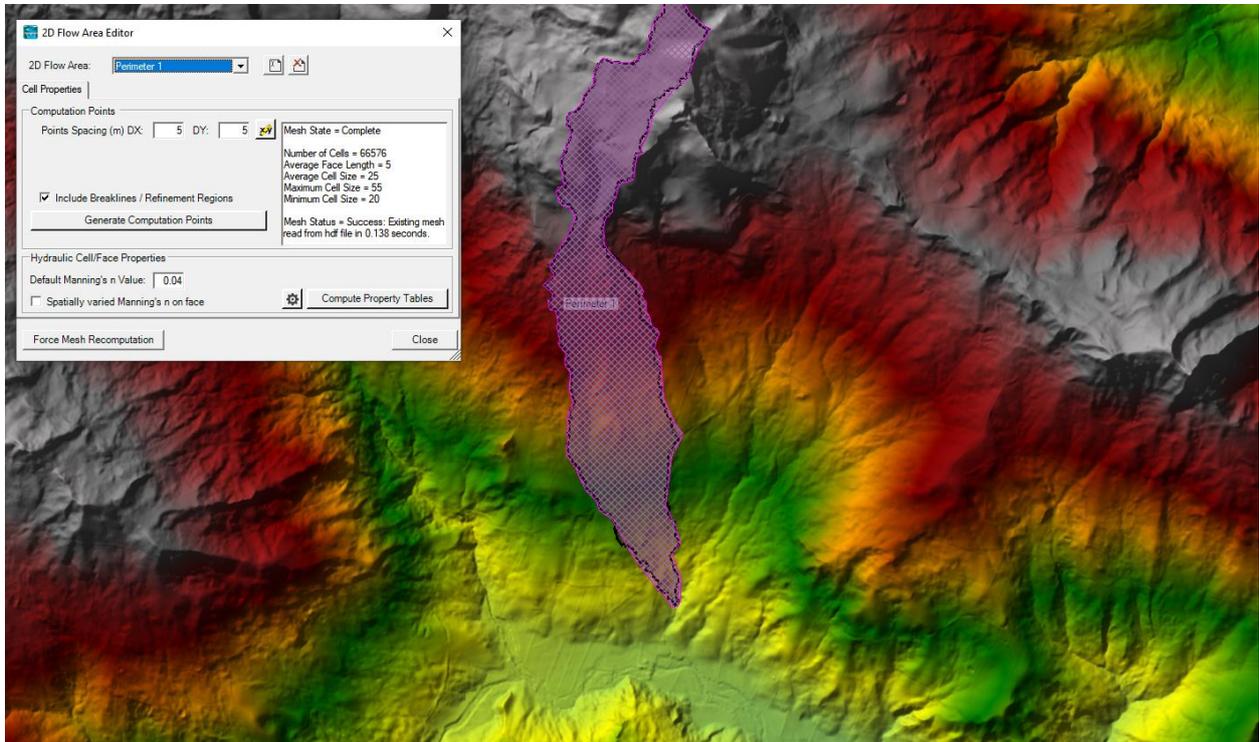


Figura 11: Griglia di calcolo 5x5 m del Bacino

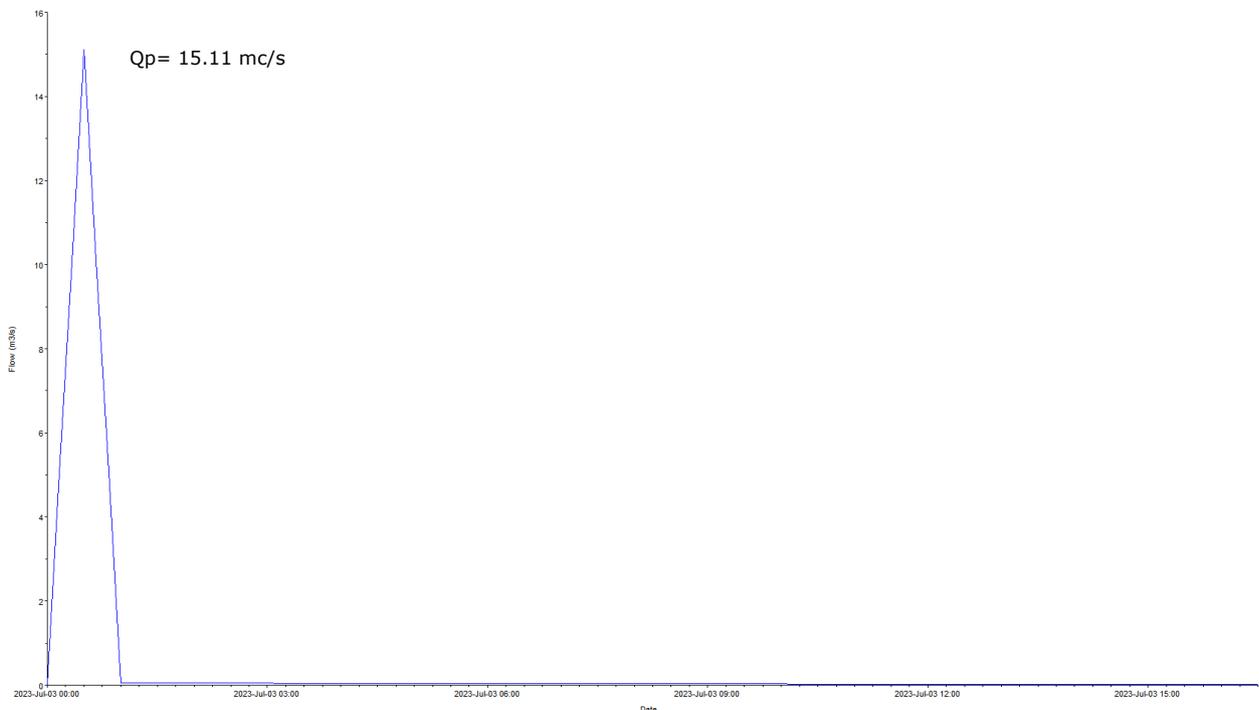


Figura 12: Idrogramma di piena in input

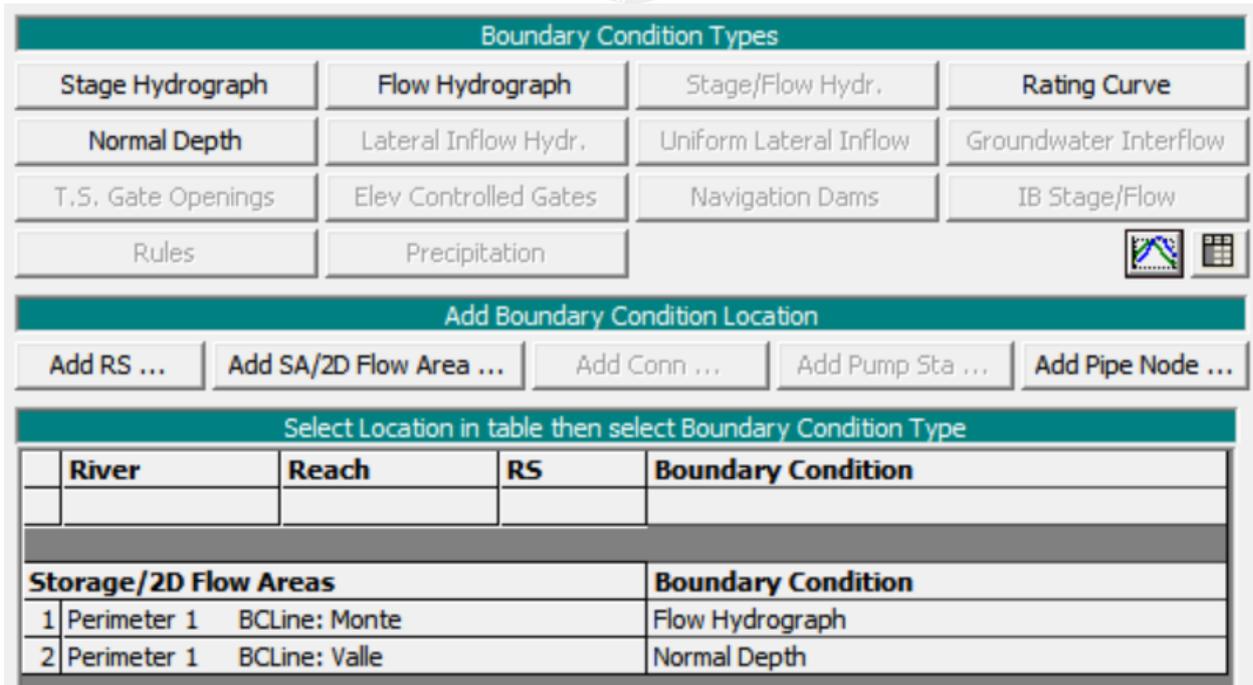


Figura 13: Boundary conditions per il Bacino

Di seguito, si riportano i risultati delle modellazioni idrauliche in termini di perimetrazione dell'area allagabile e mappa dei tiranti idrici con tempo di ritorno di 100 anni. Come si può notare l'area d'impianto è esterna alle aree inondabili, solo alcuni tratti di cavidotto attraversano dei reticoli.

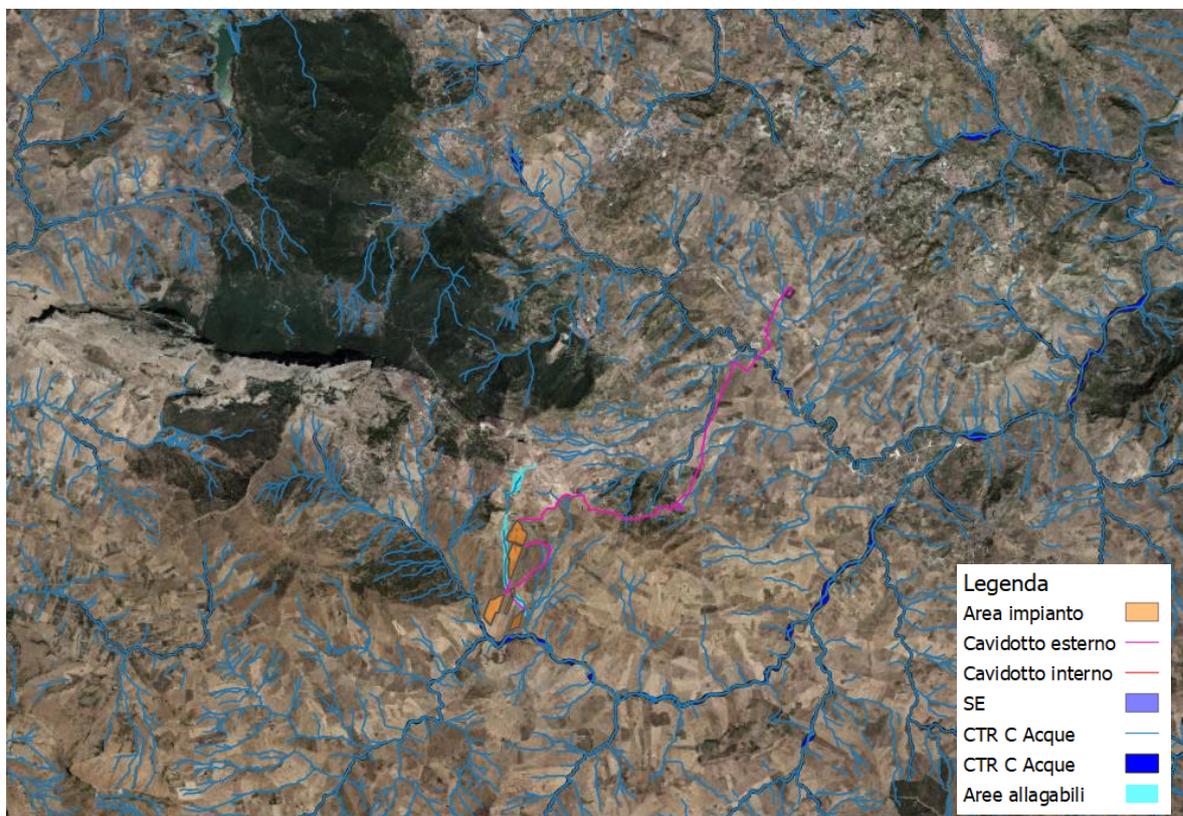


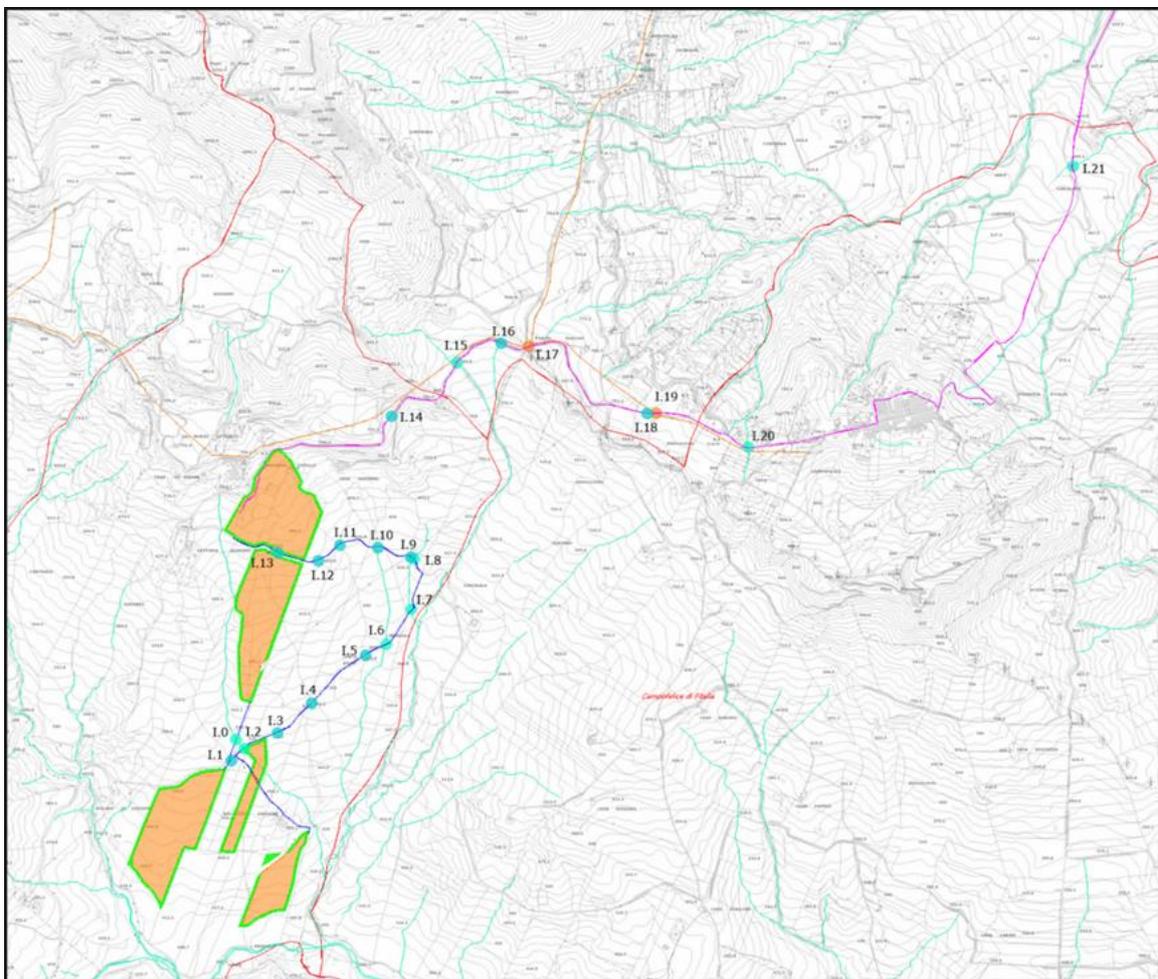
Figura 14: Stralcio mappa area allagabile con $Tr=100$ anni

7. INTERFERENZE CAVIDOTTO-RETICOLI IDROGRAFICI

Il presente paragrafo è redatto al fine di fornire una descrizione della tecnica di posa del cavidotto interrato di connessione, in corrispondenza dei diversi punti di interferenza con il reticolo idrografico, rilevati dall'analisi della cartografia.

In totale sono emerse **n. 25 interferenze** affrontate per tipologie di risoluzione:

- *Interferenza I.0, I.1, I.2, I.3, I.4, I.5, I.6, I.7, I.8, I.9, I.10, I.11, I.12, I.13, I.14, I.15, I.16, I.18, I.20, I.21, I.22, I.23, I.24* – Attraversamento trasversale dei reticoli idrografici;
- *Interferenza I.17, I.19* – Attraversamento delle condotte idriche.



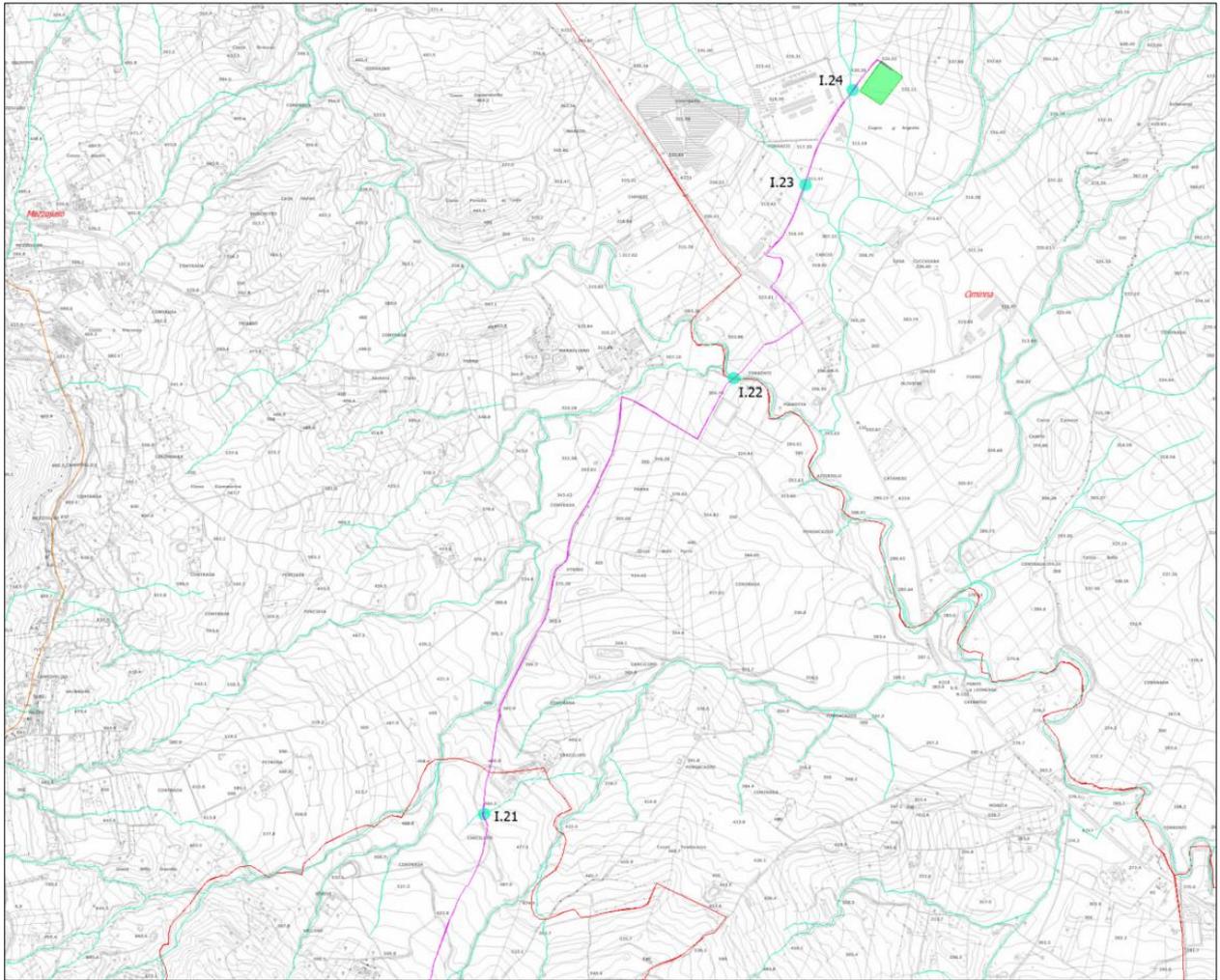


Figura 15: Intersezioni tra i cavidotti e il reticolo idrografico

Le intersezioni tra il cavidotto interrato e i reticoli idrografici possono essere, generalmente, risolte con diverse modalità costruttive:

- con scavi semplici a cielo aperto nei periodi asciutti per corsi d'acqua secondari di tipo episodico, definiti come corsi d'acqua temporanei con acqua in alveo solo in seguito ad eventi di precipitazione particolarmente intensi, anche meno di una volta ogni 5 anni;
- in presenza di un'infrastruttura esistente, con posa in opera in spalla al ponte con canaline di protezione passacavi in modo da non modificare la morfologia dei reticoli idrografici;
- con l'utilizzo della tecnica della Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) per corsi d'acqua principali. Si prevede la posa del cavo ad una profondità maggiore di 2.0 m rispetto al fondo alveo, salvo diverse prescrizioni delle Autorità competenti, in modo da non interferire né con il deflusso superficiale né con gli eventuali scorrimenti sotterranei.

Nello specifico, la tecnica della T.O.C. consente di posare linee di servizio al di sotto di strade, fiumi e torrenti, con nullo o scarso impatto sulla superficie. In questo caso, la scelta della metodologia T.O.C, oltre che per motivi di minore interferenza sul regime idraulico e, quindi, di minore impatto ambientale, deriva anche dalla impossibilità di eseguire scavi a cielo aperto.

Tale tecnica consiste essenzialmente nella posa del cavidotto interrato mediante una trivellazione eseguita da una apposita macchina, la quale permette di controllare l'andamento plano-altimetrico del cavo per mezzo di un radio-controllo.

L'esecuzione della T.O.C. costa essenzialmente di 3 fasi successive di lavoro:

1. *Foro pilota*: si realizza un foro pilota infilando nel terreno, mediante spinta e rotazione, una successione di aste di perforazione teleguidate, in modo da creare un percorso sotterraneo da un punto di partenza ad uno di arrivo. La punta di perforazione viene spinta nel terreno attraverso delle aste cave metalliche, abbastanza elastiche da permettere la realizzazione di curve altimetriche;
2. *Alesatura o allargamento del foro pilota*: realizzato il foro pilota, questo viene allargato tirando, a ritroso, alesatori di dimensioni crescenti fino all'ottenimento del foro della dimensione voluta, montati al posto della punta di perforazione;
3. *Posa della tubazione*: vengono posati in opera i tubi camicia che ospiteranno il cavidotto interrato. All'interno del tubo guaina, che sarà a tenuta stagna, saranno inseriti i cavi di potenza. In prossimità degli attraversamenti potranno essere installate apposite paline segnaletiche indicanti la presenza dell'elettrodotto interrato. Gli eventuali pozzetti di testata dell'attraversamento saranno realizzati in cemento gettato in opera sigillati, completi di chiusini carrabili in ghisa.

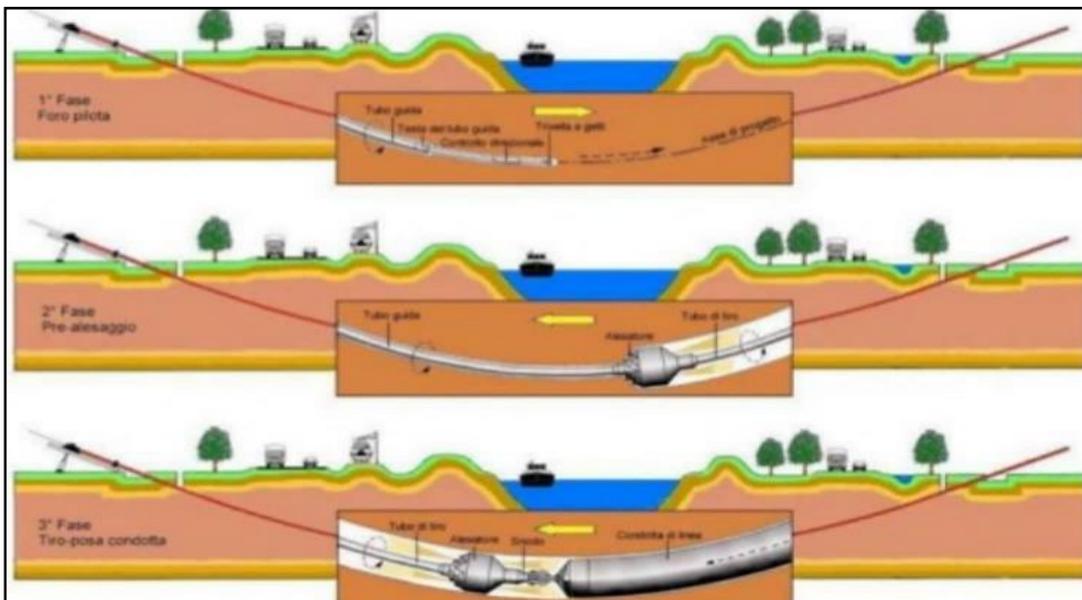


Figura 8: Fasi di realizzazione della T.O.C.

Nel caso in esame, le interferenze del cavidotto interrato con i reticoli idrografici sarà risolta con scavo a cielo aperto o mediante la tecnica della T.O.C., la quale avrà estensione variabile dipendente dalla larghezza delle aree inondabili determinate con un $Tr = 100$ anni, tenendo conto anche che i punti di ingresso e uscita delle perforazioni dovranno essere poste all'esterno delle aree allagabili, e profondità d'esecuzione in subalvea maggiore di 2.00 m.

Tuttavia, per maggior dettagli, si rimanda all'elaborato grafico "Percorso del cavidotto con indicazione delle interferenze e tipologico attraversamenti".

8. CONCLUSIONI

La presente relazione idraulica ha consentito di perimetrare l'effettiva impronta allagabile e la mappa dei battenti idrici della rete idrografica potenzialmente soggetta a criticità, relativa ad un evento meteorico con tempo di ritorno pari a 100 anni.

La modellazione idraulica è stata svolta in modo bidimensionale e in condizioni di moto non stazionario, utilizzando il software HEC-RAS River Analysis System per i reticoli nell'area di impianto e per analizzare i punti di interferenza del cavidotto interno ed esterno con i reticoli idrografici.

Dai risultati delle modellazioni di flooding, si può osservare che l'area d'impianto risulta essere esterna alle aree inondabili, non comportando alcuna variazione del livello di sicurezza dei reticoli idrografici di studio.

Relativamente alle intersezioni del tracciato del cavidotto di connessione con i reticoli idrografici, si può affermare che la posa in opera dei cavi interrati è prevista mediante scavo semplice a cielo aperto o la tecnica della T.O.C., ad una profondità maggiore di 2.00 mt al di sotto del fondo alveo, salvo diverse prescrizioni delle autorità competenti, in modo da non interferire né con il deflusso superficiale né con gli eventuali scorrimenti sotterranei e mediante passaggio dell'elettrodotta in spalla al ponte.

Nella condizione dello stato di progetto, si può affermare che gli interventi risultano compatibili con le finalità e prescrizioni del PAI.