



REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI CATANIA
COMUNE DI RAMACCA



PROGETTO DEFINITIVO

Realizzazione di un parco agrivoltaico con potenza nominale di 25 MW denominato "Giumarra02" da realizzarsi in loc. "Masseria Magazzinazzo" nel Comune di Ramacca (CT).

Titolo elaborato

Relazione idrologica e idraulica

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0432	E	R01	B

Scala

—

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Giugno 2023	Aggiornamento	CGU	MNA	GZU
Settembre 2021	Prima emissione	CGU	MNA	GZU

Proponente

ITS Medora srl
Via Sebastiano Catania, 137
95123 Catania (CT)

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 Responsabile
(ing. Giorgio ZUCCARO)



 **AENOR**
GESTIONE AMBIENTALE
ISO 14001

Società certificata secondo la norma 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).



Consulenza geologica

 **Studio di Geologia e Geolngegneria**
Dott. Geol. Antonio DE CARLO
Via del Seminario Maggiore 35
85100 Potenza





Sommario

1 Premessa	2
2 Analisi idrologica dello stato di fatto	8
2.1 Bacini idrografici	8
2.2 Tempi di corrivazione	10
2.3 Portate al colmo di piena	10
3 Analisi idraulica dello stato di fatto	14
3.1 Geometria del modello idrodinamico	14
3.2 Portate di piena	16
3.3 Condizioni al contorno	16
3.4 Parametri di scabrezza	16
3.5 Risultati delle simulazioni nella configurazione pre intervento	16
4 Analisi idraulica semplificata	26
5 Analisi idrologica dello stato di progetto	28
6 Analisi idraulica dello stato di progetto	32
7 Criteri di invarianza idrologica e idraulica	35
7.1 Interventi in progetto	37
8 Conclusioni	40
Allegato A: Sezioni trasversali	42
Allegato B: Collocazione dei pozzi disperdenti	57



1 Premessa

La presente relazione accompagna il progetto di realizzazione di un parco agrivoltaico con potenza nominale di 25 MW denominato “Giumarra02” da realizzarsi in loc. “Masseria Magazzinazzo” nel Comune di Ramacca (CT) costituito da:

- n° 42012 pannelli fotovoltaici, completi di relative strutture di sostegno (tracker), di potenza nominale fino a 665 Wp per una potenza nominale complessiva di impianto pari a circa 25 MW;
- Impianto elettrico costituito da:
 - Cavi a BT per il trasporto dell’energia prodotta dai pannelli FV sino agli inverter e poi verso i trasformatori;
 - Un elettrodotto interrato costituito da dorsali a 30 kV di collegamento tra i trasformatori e la sottostazione elettrica AT/MT (150/30 kV);
 - Una sottostazione elettrica AT/MT (150/30 kV) completa di relative apparecchiature ausiliarie (quadri, sistemi di controllo e protezione, trasformatore ausiliario);
 - Un elettrodotto in antenna a 150kV di collegamento dalla sottostazione elettrica di utenza AT/MT alla futura stazione elettrica 380/150 kV che TERNA realizzerà per collegare l’impianto alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN);
 - Sistema di storage (accumulo): realizzato mediante la posa di container attrezzati, atti ad ospitare dei sistemi di accumulo.
- Opere civili di servizio, costituite principalmente dalla struttura di fondazione dei pannelli, dalle opere di viabilità e cantierizzazione e dai cavidotti.

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).

Il presente progetto è oggetto di provvedimento unico ambientale presso il MASE (Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica). Il Provvedimento Unico in materia ambientale (PUA), regolamentato dall’art.27 del D. Lgs.152/2006, ha la finalità di riunire in un unico provvedimento il provvedimento di VIA e il rilascio di ogni altra autorizzazione, intesa, parere, concerto, nulla osta, o atto di assenso in materia ambientale richiesto dalla normativa vigente per la realizzazione e l’esercizio di un progetto.

Per verificare il contesto geologico, morfologico in cui il progetto in parola si inserisce, si è proceduto in uno studio tale da poter sufficientemente inquadrare sotto il profilo geologico, idrogeologico e geomorfologico l’areale coinvolto dall’intervento al fine di poterne sottoscrivere la fattibilità. Ai fini della rappresentazione preliminare delle caratteristiche geologiche latu sensu dell’intera area e, per escludere la presenza di elementi di criticità morfologica, il rilevamento geomorfologico di superficie si è dimostrato utile al raggiungimento dell’obiettivo. Si rimanda al successivo grado di approfondimento della progettazione (progetto esecutivo) la verifica puntuale delle caratteristiche litologiche, geotecniche, idrogeologiche e sismiche dei terreni in affioramento, finalizzate alla ricostruzione del modello litotecnico e sismico dell’areale di sedime di ogni opera da realizzare. In merito saranno eseguite le indagini geognostiche dirette ed indirette



ed analisi e prove geotecniche di laboratorio così come riportato nell'Allegato A.12.a.7 Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche.

Con riferimento alla verifica di fattibilità del progetto ai sensi del cap. 6.12 del D.M. 17/01/2018, in questa fase della progettazione, come già accennato, il rilevamento geologico e geomorfologico effettuato in loco ha confermato macroscopicamente le buone condizioni di stabilità di tutta l'area di sedime del parco agrivoltaico. Infatti, le aree di progetto presentano una morfologia dominata dal paesaggio collinare, in stretta relazione con la natura prevalentemente argillosa dei terreni affioranti. I versanti sono caratterizzati da acclività moderata, con forme addolcite, interrotte da piccoli rilievi isolati costituiti da litotipi più resistenti all'erosione e presentano morfologia articolata, localmente segnata dagli elementi idrografici superficiali, e spesso caratterizzata da processi erosivi. In un intorno significativo e negli stessi siti di progetto non sono state riconosciute forme gravitative legate a movimenti di versante in atto o in preparazione tali da compromettere la fattibilità degli interventi da realizzare. Tale valutazione è congruente con gli strumenti normativi adottati a scala di bacino (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico, redatto dall'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia). I siti, infatti, non ricadono in aree classificate come esposte a pericolosità e rischio da frana per i quali il progetto risulti incompatibile, né interessate da fenomeni di alluvionamento.

Dall'analisi stereoscopica delle foto aeree di qualche anno fa e dal rilevamento geomorfologico in sito, è stato possibile verificare che i pendii in studio presentano un andamento morfologico regolare senza segni di forme e fenomeni di movimenti gravitativi in atto o in preparazione; le pendenze non sono molto accentuate, con un angolo medio non superiore ai 10° e le caratteristiche litotecniche sono più che soddisfacenti. È da evidenziare che il principale fattore di modellamento morfologico è dovuto alla coltivazione agraria dei versanti. Inoltre, le opere previste in progetto richiederanno irrilevanti movimentazioni di terreno; le stesse strade saranno praticamente a "raso" rispetto al piano campagna e, quindi, si procederà essenzialmente allo scotico del terreno vegetale ed alla regolarizzazione e livellazione richiesta dal progetto, utilizzando materiale arido di cava. Anche la posa del cavidotto, per il quale sarà necessario uno scavo limitato nelle dimensioni e nei volumi di terreno rimossi, non intaccherà i fattori di sicurezza preesistenti delle aree attraversate; in merito, nella progettazione esecutiva, si dimostrerà analiticamente come le condizioni tensionali nel terreno, ante e post operam del cavidotto, rimarranno pressoché le stesse. Questo risultato è facilmente intuibile per l'estrema superficialità e "lievità" dell'intervento che non interesserà volumi di terreno significativi, in quanto, la profondità e la larghezza di scavo saranno veramente trascurabili. Quindi, la limitatezza e l'inconsistenza dei volumi di terreno coinvolti, unitamente all'indubbia velocità di esecuzione, non potranno in nessun modo compromettere l'equilibrio dei luoghi che, comunque, si presentano macroscopicamente ed oggettivamente stabili. Anche le metodologie di scavo che si intenderanno utilizzare, essendo poco o per niente invasive, contribuiranno ancora di più alla realizzazione del cavidotto senza incidere sullo stato tensionale dei terreni attraversati. Comunque, in particolari condizioni morfologiche, ad esempio negli attraversamenti dei fossi, sarà possibile posare il cavidotto con le Tecniche di attraversamento no-dig: Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.). La trivellazione orizzontale controllata chiamata anche perforazione orizzontale controllata (HDD), o perforazione direzionale teleguidata, è una vantaggiosa alternativa ai tradizionali metodi d'installazione di linee di servizio. Infatti, una volta studiato la geometria dell'elemento da attraversare, con tale tecnologia è possibile passare con la perforazione e, dunque, con il cavidotto, in totale sicurezza al disotto del corso d'acqua.



Circa la valutazione quantitativa della stabilità dell'area (verifiche di stabilità), che non può prescindere dalle valutazioni scaturite dai rilievi di campo, chiaramente viene rinviata alla fase di progettazione esecutiva del progetto stesso, fase durante la quale verranno eseguite tutte le indagini geognostiche dirette ed indirette finalizzate alla più precisa ricostruzione stratigrafica, litotecnica e sismica del modello del terreno di sedime del parco agrivoltaico di che trattasi, così come già riportato in premessa all'Elaborato A.2: Relazione Geologica e nell'Allegato A.12.a.7 Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche.

Per quanto riguarda la caratterizzazione idrogeologica dei terreni in affioramento sono state fatte delle considerazioni di carattere generale integrate da studi tematici contenuti in bibliografia che hanno avvalorato le considerazioni tecniche a cui si è giunti. In tal senso i terreni interessati direttamente dall'impianto agrivoltaico sono stati definiti come impermeabili con Coefficiente di permeabilità dell'ordine di $K = 10^{-7} - 10^{-8}$ m/s, in quanto afferenti al Complesso Argilloso che essendo costituito da depositi prevalentemente argillosi intensamente tettonizzate con intervalli di arenarie quarzose (Flysch Numidico di Monte Salici), sono da ritenersi impermeabili, in quanto tale complesso, anche se dotato di alta porosità primaria, è praticamente impermeabile a causa delle ridottissime dimensioni dei pori nei quali l'acqua viene fissata come acqua di ritenzione. Ne deriva una circolazione nulla o trascurabile. Inoltre, trattandosi di argilla, anche se coesiva, è comunque soggetta a fessurarsi e a richiudere rapidamente le discontinuità con un comportamento di tipo plastico. Nell'insieme, il complesso litologico è da considerarsi scarsamente permeabile, in quanto anche la permeabilità dovuta alla fratturazione degli strati arenacei è del tutto controllata dalla frazione argillosa. **Tali considerazioni idrogeologiche, anche se fossero scaturite da prove di permeabilità in situ e di laboratorio, comunque avrebbero avuto scarsa valenza nell'approccio che si è dato, in termini teorici ed applicativi, nell'individuazione dei metodi da utilizzare al fine di garantire i principi di invarianza idraulica e idrologica. Infatti, come meglio riportato nei prossimi capitoli dedicati, tale approccio prescinde dalla permeabilità dei terreni in affioramento.**

Comunque, alla luce di tali considerazioni di carattere idrogeologico, a grande scala è possibile affermare che tutte le opere previste in progetto in nessun modo possono interferire anche con eventuali circolazioni effimere di acqua in ambiti superficiali, in quanto, i pannelli saranno allocati su pali di ancoraggio che avranno profondità trascurabili, il cavidotto avrà una profondità compresa entro 1.50 m. Chiaramente nella fase esecutiva i fori di sondaggio previsti saranno attrezzati con tubi piezometrici al fine di verificare la presenza o meno di acque di circolazione superficiale.

Nella stretta area di pertinenza delle opere in progetto non sono state rilevate sorgenti. Anche il cavidotto, per la maggior parte, seguirà la viabilità esistente, mentre gli attraversamenti di fossi o valloni sarà effettuata tramite T.O.C., proprio onde evitare ogni interferenza con il normale deflusso delle acque incanalate (reticolo idrografico). In più, oltre alle strade, anche le piazzole di servizio saranno realizzate in misto granulare, ovvero con materiale drenante, al fine di minimizzare l'interferenza con l'attuale corrivazione delle acque meteoriche superficiali, nonché con il loro seppur minimo drenaggio nei livelli più superficiali dei terreni in affioramento.



Nella presente relazione è stato effettuato un primo studio idrologico-idraulico finalizzato alla determinazione delle attuali condizioni di rischio idraulico, vale a dire prima della realizzazione delle opere previste in progetto. A tal proposito si specifica che, per tutta l'area di intervento, non è presente una perimetrazione che definisca l'attuale livello di rischio idraulico, ma gli interventi sono localizzati nelle immediate vicinanze di diversi rami del reticolo idrografico presenti sulla cartografia IGM della Regione Sicilia, pertanto trovano applicazione le Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del PAI per la determinazione delle aree a diversa pericolosità idraulica per i 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.

Nelle figure seguenti sono mostrate la planimetria dell'impianto di produzione di energia da fonte rinnovabile, incluso il cavidotto, con la sua posizione in relazione al reticolo idrografico desunto dalla cartografia IGM in scala 1:50'000 ed un ingrandimento della sola area di perimetrazione dei pannelli in progetto. Si sottolinea che il cavidotto presenta alcune interferenze con il reticolo in esame, per il quale sarà necessario valutare la profondità di posa per evitare l'escavazione della corrente.

Oltre all'impianto agrivoltaico in progetto, nelle aree di interesse è prevista anche la realizzazione di canalette di drenaggio finalizzate a una corretta gestione delle acque di ruscellamento superficiale. Tali canalette, da realizzare mediante uno scavo a sezione trapezoidale e da rivestire con biostuoie antiersive, saranno di due tipologie: canalette di drenaggio da realizzare a monte dell'impianto e canalette di drenaggio da realizzare a valle. Le prime costituiscono una sorta di canali deviatori in grado di intercettare le acque che attualmente interessano i lotti di intervento per immetterle negli impluvi esistenti. Le seconde sono necessarie per poter garantire il rispetto dei principi di invarianza idrologica e idraulica in quanto le portate che convogliano saranno derivate dalle acque meteoriche zenitali che precipitano sui lotti di intervento e, quindi, su aree che subiranno una leggera riduzione della permeabilità superficiale per effetto della presenza dei pannelli fotovoltaici.

Per verificare la corretta gestione delle acque meteoriche mediante tali opere, quindi, è stato effettuato un secondo studio idrologico-idraulico che ha determinato anche le future condizioni di rischio idraulico, vale a dire dopo la realizzazione delle opere previste in progetto. Anche in questo caso, pertanto, sono stati analizzati i regimi di deflusso a monte e a valle degli elementi idrici nelle immediate vicinanze dell'impianto, nonché l'effettiva estensione delle aree allagabili in modo da verificare la compatibilità degli interventi in progetto con le NTA del PAI.

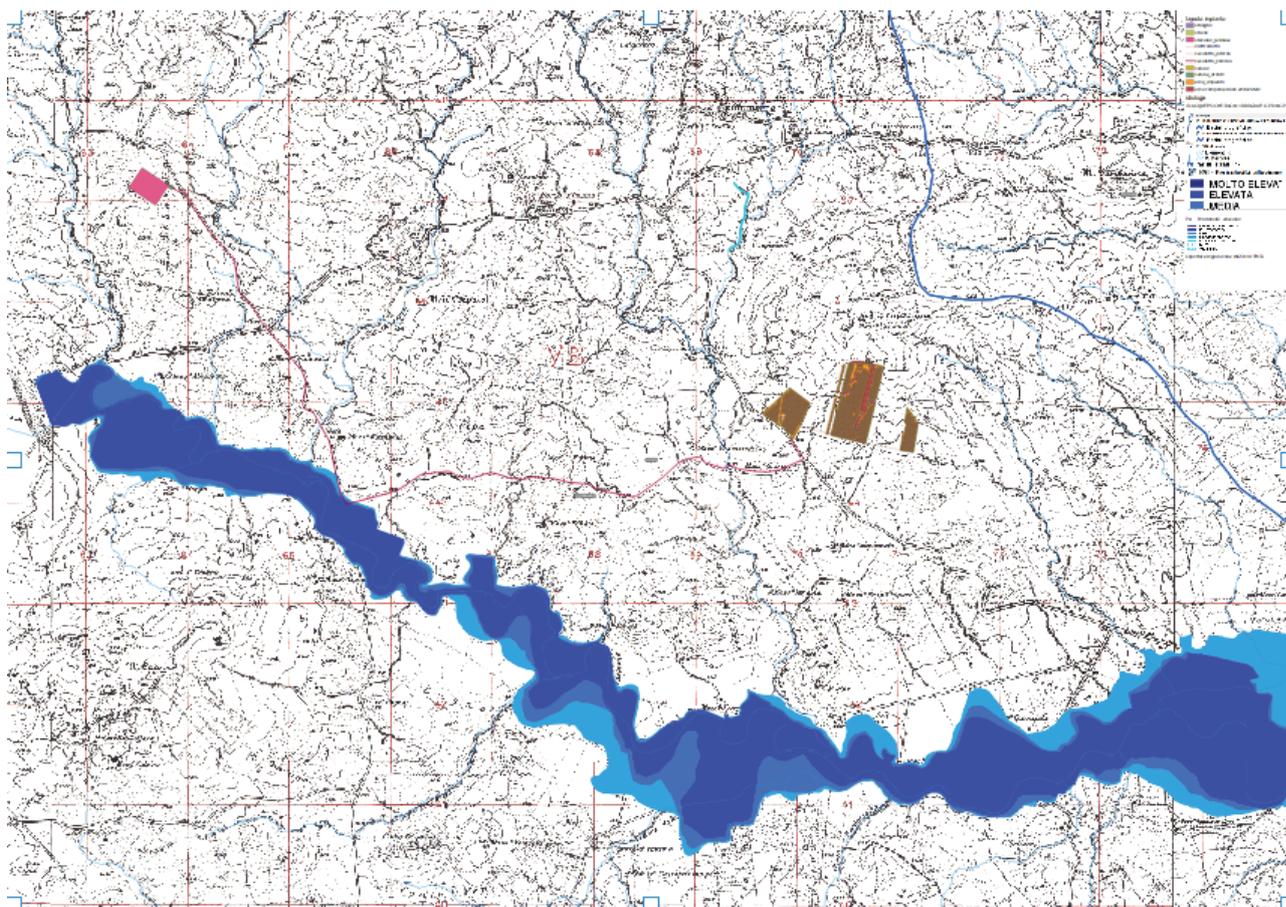


Figura 1: Planimetria della planimetria dell'area di interesse su base IGM con individuazione delle aree PAI

Nelle valutazioni idrologiche, in particolare, sono state determinate le portate al colmo di piena grazie ad un'attenta delimitazione dei bacini idrografici sottesi dagli impluvi esistenti e dalle opere di drenaggio in progetto e 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 gli eventi con i tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni.

Nelle valutazioni sulla compatibilità idraulica delle opere in progetto, inoltre, è stato considerato, come valore di riferimento per il franco di sicurezza, 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.

In generale, 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.

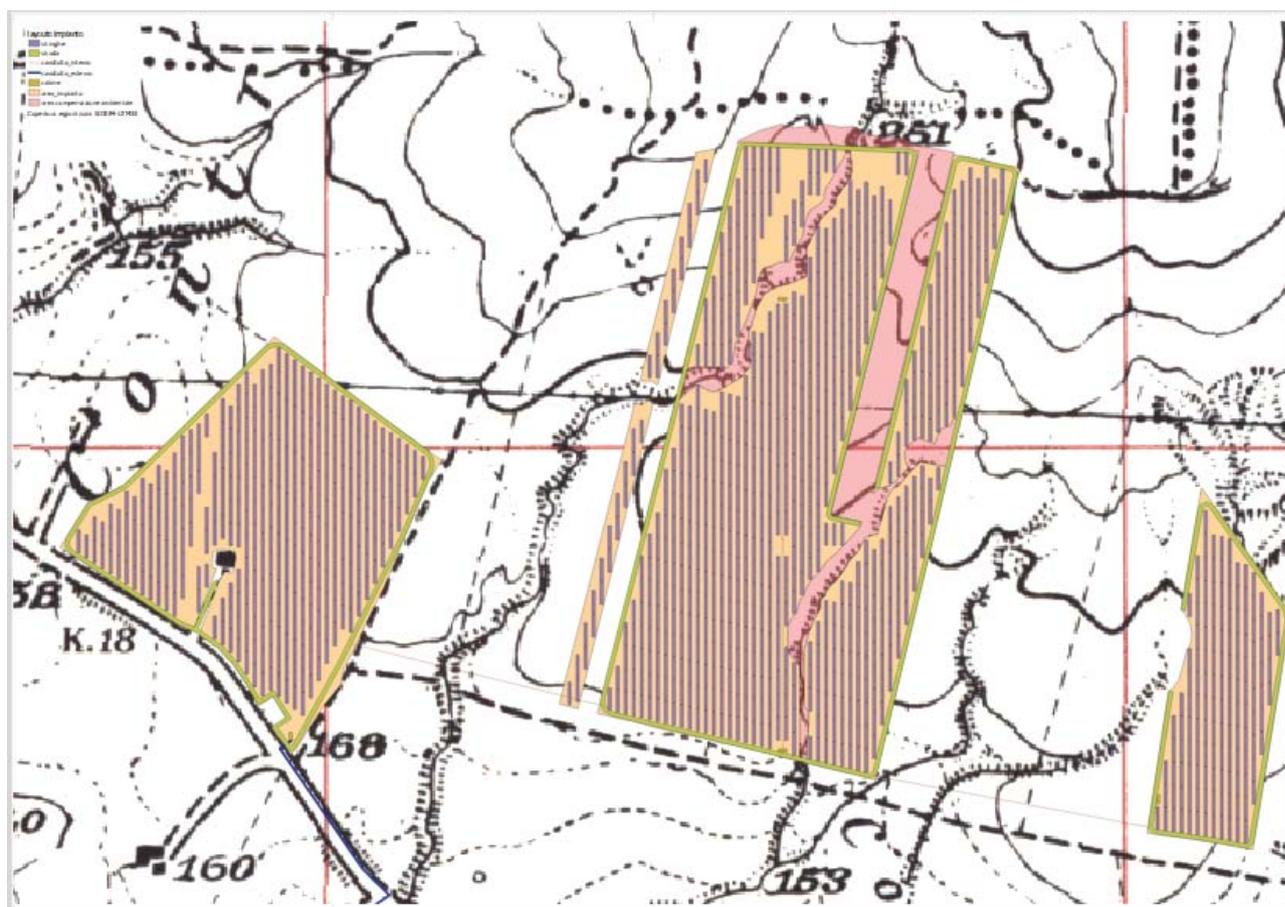


Figura 2: Ingrandimento dell'area oggetto di intervento su base IGM

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 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 debba essere applicato al presente progetto in quanto si prevede una minima variazione di permeabilità delle aree prettamente agricole a seguito dell'installazione dei moduli fotovoltaici, generando una leggera variazione dei regimi di deflusso superficiale. Tale variabilità è leggibile in termini di diminuzione del tempo di corrivazione dei bacini analizzati e, conseguentemente, di aumento delle portate e dei volumi idrici.

Pertanto, al fine di compensare tali variazioni, si prevede la realizzazione di pozzi perdenti interrati nella parte terminale dei canali di valle con dimensioni variabili in funzione dei volumi da smaltire **garantendo, quindi, la invarianza idrologica**. Immediatamente a monte di ogni pozzo, inoltre, si prevede il posizionamento di un sistema di separazione delle acque tramite uno scolmatore con efflusso a stramazzo dimensionato in modo da consentire il deflusso della portata dello stato di fatto verso i recapiti finali (così come accade attualmente) **garantendo, quindi, la invarianza idraulica**, mentre convoglierà la portata eccedente verso i pozzi.



2 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.

2.1 Bacini idrografici

Nella figura seguente sono mostrati gli impluvi in esame che, vista l'assenza di toponimi, sono stati nominati con le lettere A, B, C, D ed E 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 in scala 1:50'000 formato WMS che il Modello Digitale del Terreno (Digital Terrain Model, DTM) della Regione Sicilia.

Nella tabella seguente sono indicate le caratteristiche fisiografiche dei bacini ricavate dal DTM della Regione Sicilia con dimensioni di cella di 1x1 m.

Caratteristiche fisiografiche								
Bacino idrografico	S (km ²)	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (km)	i (%)	N (-)	c (-)
Bacino A	0.473	358.83	258.49	168.52	0.93	20.48	0.4	0.40
Bacino B	0.163	321.02	215.67	164.11	0.53	29.35	0.4	0.40
Bacino C	0.076	266.57	198.01	167.19	0.46	21.41	0.4	0.40
Bacino D	0.110	331.69	239.88	175.08	0.40	38.93	0.4	0.40
Bacino E	0.071	267.92	195.29	169.67	0.38	25.66	0.4	0.40

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;
- "y" (%): pendenza media di versante;
- "c" (-): coefficiente di deflusso.

Come valore per il coefficiente di deflusso è stato utilizzato il parametro di Kerby con valore pari a 0.40 in quanto l'area sottesa dai due bacini idrografici è costituita da pascoli e colture non intensive.

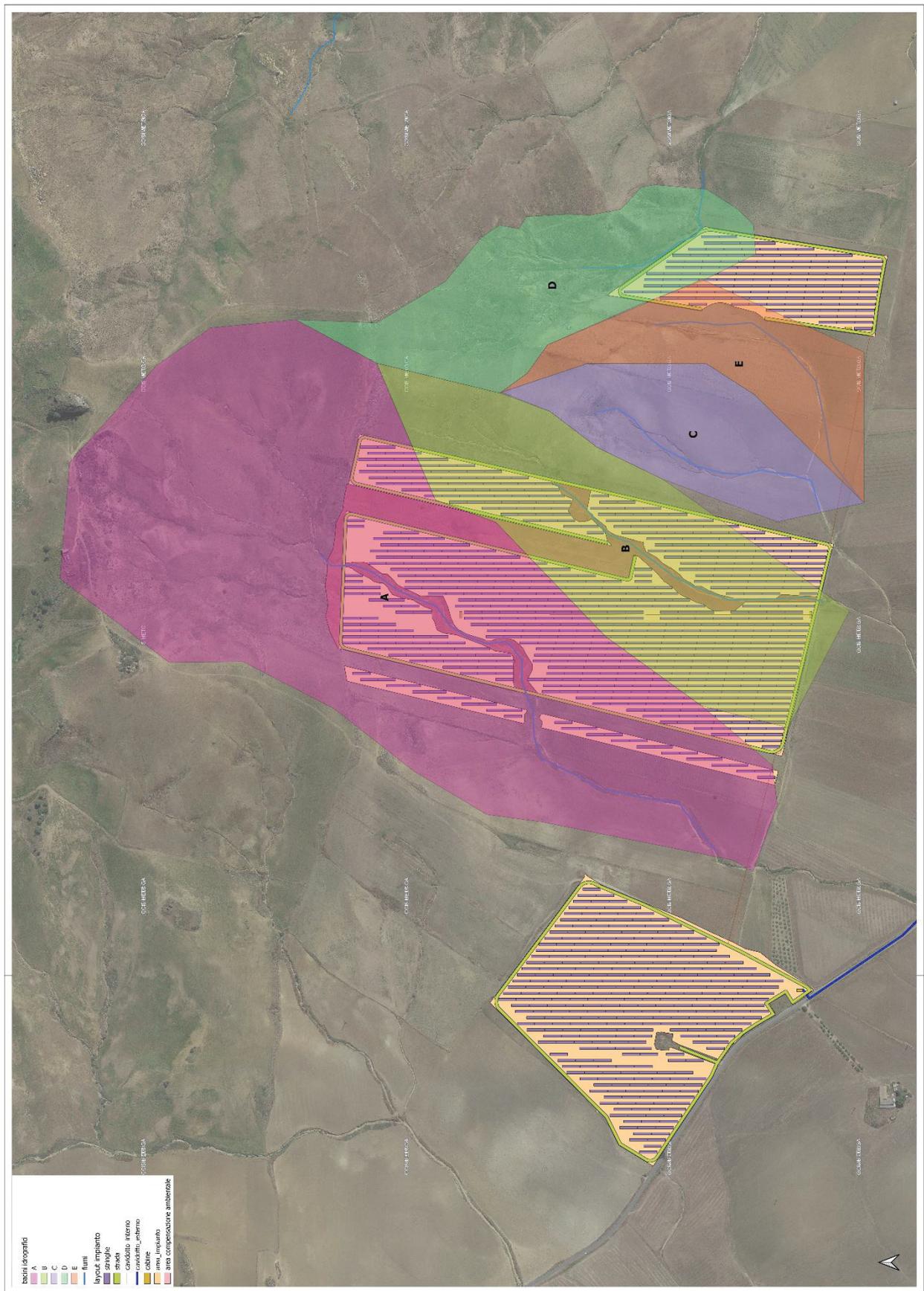


Figura 3: Corografia dei bacini idrografici afferenti alle aste fluviali limitrofe all’impianto in esame



2.2 Tempi di corrivazione

In funzione delle caratteristiche fisiografiche dei bacini individuati, sono stati riportati, nella tabella seguente, differenti valori per i tempi di corrivazione in base a diverse formulazioni.

Tempi di corrivazione								
Bacino idrografico	Giandotti (h)	Kerby (h)	Kirpich (h)	Ventura (h)	Pezzoli (h)	Pasini (h)	media 1 (h)	tc (h)
Bacino A	0.5	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Bacino B	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Bacino C	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.14	0.1
Bacino D	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
Bacino E	0.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1

Tabella 2

Viste le aree dei bacini si è deciso di adottare la media di tutti i valori di corrivazione, esclusa la formula di Giandotti.

La seguente formula di Kerby, in particolare, risulta essenziale per la determinazione del tempo di corrivazione:

$$tc = \frac{(0.342 * L * i)^{0.467}}{\sqrt{k}}$$

Dove:

- "k" (-): parametro di Kerby;
- "L" (km): lunghezza dell'asta;
- "i" (%): pendenza media del bacino.

Il parametro di Kerby decresce con l'aumentare del grado di impermeabilizzazione, pertanto risulta influente per la determinazione delle variazioni del tempo di corrivazione tra le condizioni *ante operam* e *post operam*. **Per la condizione qui descritta, relativa allo stato di fatto, è stato preso in considerazione un valore pari a 0.4, in linea con i valori delle classi di uso del suolo riportati in letteratura. Questo valore, tuttavia, decrescerà nella successiva analisi relativa alla configurazione dello stato di progetto.**

2.3 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 C".

Il metodo scelto prevede il calcolo del fattore di crescita "K_T" che varia in funzione del tempo di ritorno, con la seguente espressione:

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



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

$$SZO C K_T = 0.1031 + 0.658 \ln (T)$$



Figura 4: 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 (-)
Bacini	2.7	3.1	3.9

Tabella 3

Al terzo livello di regionalizzazione, stimati i parametri a ed n sulla base della carta delle "iso- a " e delle "iso- n ", con valori pari a:

- $a = 23 \text{ [mm} \cdot \text{h}^n]$
- $n = 0.33$

è possibile determinare i valori delle altezze di pioggia, in funzione dei parametri della curva di possibilità pluviometrica e del tempo di ritorno. Di seguito si riportano i valori delle altezze di pioggia per i bacini in esame.



Intensità di precipitazione (VAPI pluviometria)			
Bacino idrografico	i50 (mm/h)	i100 (mm/h)	i300 (mm/h)
Bacino A	211.7	247.7	304.9
Bacino B	315.2	368.9	454.0
Bacino C	234.6	274.5	337.9
Bacino D	281.3	329.2	405.2
Bacino E	248.3	290.6	357.7

Tabella 4

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:

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

in cui:

Q = portata di piena [m³/sec];

ϕ = coefficiente di deflusso;

h = pioggia netta [m];

S = area del bacino [km²];

t_c = tempo di corrivazione [h].

Portate al colmo di piena (VAPI pluviometria)			
Bacino idrografico	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q300 (m ³ /s)
Bacino A	11.1	13.0	16.0
Bacino B	5.7	6.7	8.2
Bacino C	2.0	2.3	2.9
Bacino D	3.4	4.0	5.0
Bacino E	2.0	2.3	2.8

Tabella 5

Coefficienti udometrici			
Bacino idrografico	u50 (m ³ /s·km ²)	u100 (m ³ /s·km ²)	u300 (m ³ /s·km ²)
Bacino A	23.5	27.5	33.9
Bacino B	35.0	41.0	50.4
Bacino C	26.1	30.5	37.5
Bacino D	31.3	36.6	45.0
Bacino E	27.6	32.3	39.7

Tabella 6



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.



3 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.

3.1 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	101.20	246.49	0.1228
A2	-2	101.20	81.24	234.06	0.1864
A3	-3	182.44	89.24	218.92	0.1316
A4	-4	271.68	128.75	207.18	0.0850
A5	-5	400.43	133.48	196.24	0.0633
A6	-6	533.91	105.89	187.79	0.0648
A7	-7	639.79	90.46	180.93	0.0335
A8	-8	730.25	71.48	177.90	0.0435
A9	-9	801.73	95.61	174.79	0.0337
A10	-10	897.33	0.00	171.57	0.0835
B1	-1	0.00	104.53	213.65	0.2132
B2	-2	104.53	233.40	191.37	0.0815
B3	-3	337.93	0.00	172.35	0.1222
C1	-1	0.00	128.14	219.08	0.1868
C2	-2	128.14	187.11	195.14	0.1175
C3	-3	315.25	0.00	173.15	0.1457
E1	-1	0.00	149.56	197.24	0.093
E2	-2	149.56	132.49	183.32	0.057
E3	-3	282.05	0.00	175.75	0.0762
D1	-1	0.00	105.39	204.44	0.133
D2	-2	105.39	105.05	190.42	0.093
D3	-3	210.44	91.53	180.66	0.077
D4	-4	301.97	0.00	173.60	0.1021

Tabella 7



3.2 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.

3.3 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.

3.4 Parametri di scabrezza

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

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

3.5 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 figure seguenti, in particolare, sono mostrate le planimetrie delle aree allagabili dei tratti di impluvi analizzati, mentre nella tabella seguente 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.

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	246.49	11.1	247.26	0.77	6.96	3.81	2.91	482.55	1.88
A2	-2	101.20	234.06	11.1	234.90	0.84	14.66	2.88	3.85	319.57	1.80
A3	-3	182.44	218.92	11.1	219.83	0.91	4.47	5.48	2.02	989.08	2.60
A4	-4	271.68	207.18	11.1	207.81	0.63	10.14	3.06	3.62	325.27	1.64
A5	-5	400.43	196.24	11.1	196.70	0.46	15.90	2.45	4.53	224.72	1.47
A6	-6	533.91	187.79	11.1	188.47	0.68	20.92	1.90	5.86	134.77	1.14
A7	-7	639.79	180.93	11.1	181.75	0.82	9.61	2.93	3.78	289.81	1.49
A8	-8	730.25	177.90	11.1	178.65	0.75	16.45	1.91	5.82	126.23	1.02
A9	-9	801.73	174.79	11.1	175.85	1.06	11.09	2.26	4.90	166.40	1.09
A10	-10	897.33	171.57	11.1	172.19	0.62	23.93	1.67	6.63	105.47	1.02
B1	-1	0.00	213.65	5.7	214.17	0.52	4.41	4.15	1.38	628.91	2.37
B2	-2	104.53	191.37	5.7	191.95	0.58	5.03	3.94	1.45	581.63	2.34
B3	-3	337.93	172.35	5.7	172.77	0.42	11.89	1.77	3.23	118.37	1.08
C1	-1	0.00	219.08	2.0	219.39	0.31	9.93	1.91	1.04	191.02	1.89
C2	-2	128.14	195.14	2.0	195.35	0.21	7.56	2.14	0.93	226.33	1.95
C3	-3	315.25	173.15	2.0	173.44	0.29	5.90	1.83	1.09	144.73	1.36
E1	-1	0.00	197.24	2.0	197.57	0.33	4.81	2.07	0.96	180.77	1.48
E2	-2	149.56	183.32	2.0	183.65	0.33	6.50	1.85	1.08	152.01	1.44
E3	-3	282.05	175.75	2.0	176.05	0.30	9.72	1.26	1.59	71.18	0.99
D1	-1	0.00	204.44	3.4	204.77	0.33	13.37	1.90	1.79	173.32	1.66
D2	-2	105.39	190.42	3.4	190.64	0.22	15.40	1.81	1.88	161.38	1.65
D3	-3	210.44	180.66	3.4	181.15	0.49	9.81	1.73	1.96	125.86	1.23
D4	-4	301.97	173.60	3.4	173.94	0.34	7.16	2.21	1.54	199.42	1.52

Tabella 8



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	246.49	13.0	247.31	0.82	7.14	4.01	3.24	521.79	1.90
A2	-2	101.20	234.06	13.0	234.92	0.86	14.88	3.06	4.25	349.67	1.83
A3	-3	182.44	218.92	13.0	219.89	0.97	4.77	5.65	2.30	1028.33	2.60
A4	-4	271.68	207.18	13.0	207.85	0.67	10.64	3.22	4.04	352.71	1.67
A5	-5	400.43	196.24	13.0	196.73	0.49	16.67	2.55	5.10	237.36	1.47
A6	-6	533.91	187.79	13.0	188.50	0.71	22.00	1.99	6.55	145.01	1.16
A7	-7	639.79	180.93	13.0	181.80	0.87	10.01	3.05	4.27	304.73	1.49
A8	-8	730.25	177.90	13.0	178.69	0.79	16.85	1.99	6.53	133.60	1.02
A9	-9	801.73	174.79	13.0	175.91	1.12	11.92	2.36	5.52	177.11	1.11
A10	-10	897.33	171.57	13.0	172.24	0.67	29.55	1.64	7.93	102.35	1.01
B1	-1	0.00	213.65	6.7	214.20	0.55	4.61	4.34	1.54	674.26	2.40
B2	-2	104.53	191.37	6.7	191.99	0.62	5.35	4.10	1.63	618.10	2.37
B3	-3	337.93	172.35	6.7	172.80	0.45	12.24	1.86	3.59	128.34	1.10
C1	-1	0.00	219.08	2.3	219.40	0.32	9.98	2.02	1.14	207.10	1.91
C2	-2	128.14	195.14	2.3	195.36	0.22	7.78	2.24	1.03	242.05	1.97
C3	-3	315.25	173.15	2.3	173.46	0.31	6.09	1.91	1.20	154.24	1.37
E1	-1	0.00	197.24	2.3	197.59	0.35	5.02	2.15	1.07	191.53	1.49
E2	-2	149.56	183.32	2.3	183.67	0.35	6.84	1.91	1.20	160.59	1.46
E3	-3	282.05	175.75	2.3	176.07	0.32	9.94	1.31	1.76	75.02	0.99
D1	-1	0.00	204.44	4.0	204.78	0.34	13.65	2.01	1.99	188.41	1.68
D2	-2	105.39	190.42	4.0	190.66	0.24	18.03	1.81	2.21	161.97	1.65
D3	-3	210.44	180.66	4.0	181.18	0.52	10.09	1.82	2.19	136.04	1.25
D4	-4	301.97	173.60	4.0	173.96	0.36	7.47	2.31	1.73	214.37	1.54

Tabella 9

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	246.49	16.0	247.38	0.89	7.40	4.29	3.73	577.59	1.93
A2	-2	101.20	234.06	16.0	234.96	0.90	15.21	3.30	4.85	393.10	1.87
A3	-3	182.44	218.92	16.0	219.97	1.05	5.18	5.88	2.72	1084.93	2.59
A4	-4	271.68	207.18	16.0	207.90	0.72	11.35	3.44	4.65	392.16	1.72
A5	-5	400.43	196.24	16.0	196.78	0.54	17.77	2.68	5.96	255.01	1.48
A6	-6	533.91	187.79	16.0	188.54	0.75	22.82	2.14	7.48	162.85	1.19
A7	-7	639.79	180.93	16.0	181.87	0.94	10.61	3.20	5.00	324.45	1.49
A8	-8	730.25	177.90	16.0	178.75	0.85	17.43	2.11	7.60	143.85	1.02
A9	-9	801.73	174.79	16.0	175.98	1.19	13.01	2.50	6.40	195.54	1.14
A10	-10	897.33	171.57	16.0	172.28	0.71	32.48	1.72	9.29	110.37	1.03
B1	-1	0.00	213.65	8.2	214.25	0.60	4.88	4.60	1.78	734.85	2.43
B2	-2	104.53	191.37	8.2	192.06	0.69	7.26	3.95	2.08	585.82	2.36
B3	-3	337.93	172.35	8.2	172.84	0.49	12.74	1.98	4.13	140.80	1.11
C1	-1	0.00	219.08	2.9	219.42	0.34	10.06	2.21	1.31	236.63	1.95
C2	-2	128.14	195.14	2.9	195.38	0.24	8.17	2.41	1.20	270.10	2.01
C3	-3	315.25	173.15	2.9	173.49	0.34	6.46	2.05	1.42	171.06	1.40
E1	-1	0.00	197.24	2.8	197.63	0.39	5.34	2.28	1.23	207.88	1.51
E2	-2	149.56	183.32	2.8	183.70	0.38	7.36	2.01	1.39	172.77	1.48
E3	-3	282.05	175.75	2.8	176.09	0.34	10.24	1.40	2.00	83.24	1.01
D1	-1	0.00	204.44	5.0	204.80	0.36	14.00	2.17	2.30	212.36	1.71
D2	-2	105.39	190.42	5.0	190.68	0.26	18.54	1.96	2.55	182.22	1.68
D3	-3	210.44	180.66	5.0	181.21	0.55	10.52	1.96	2.55	151.21	1.27
D4	-4	301.97	173.60	5.0	174.00	0.40	7.96	2.47	2.03	235.99	1.56

Tabella 10



Nelle figure successive sono mostrate le mappe dei tiranti idrici ricavati 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 ad alta (Pericolosità Molto elevata: T = 50 anni), media (Pericolosità Elevata: T = 100 anni) e bassa (Pericolosità Media: T = 300 anni) pericolosità idraulica.



Figura 6: Planimetria dei tiranti idrici nella configurazione pre intervento con un tempo di ritorno di 50 anni



Figura 7: Planimetria dei tiranti idrici nella configurazione pre intervento con un tempo di ritorno di 100 anni

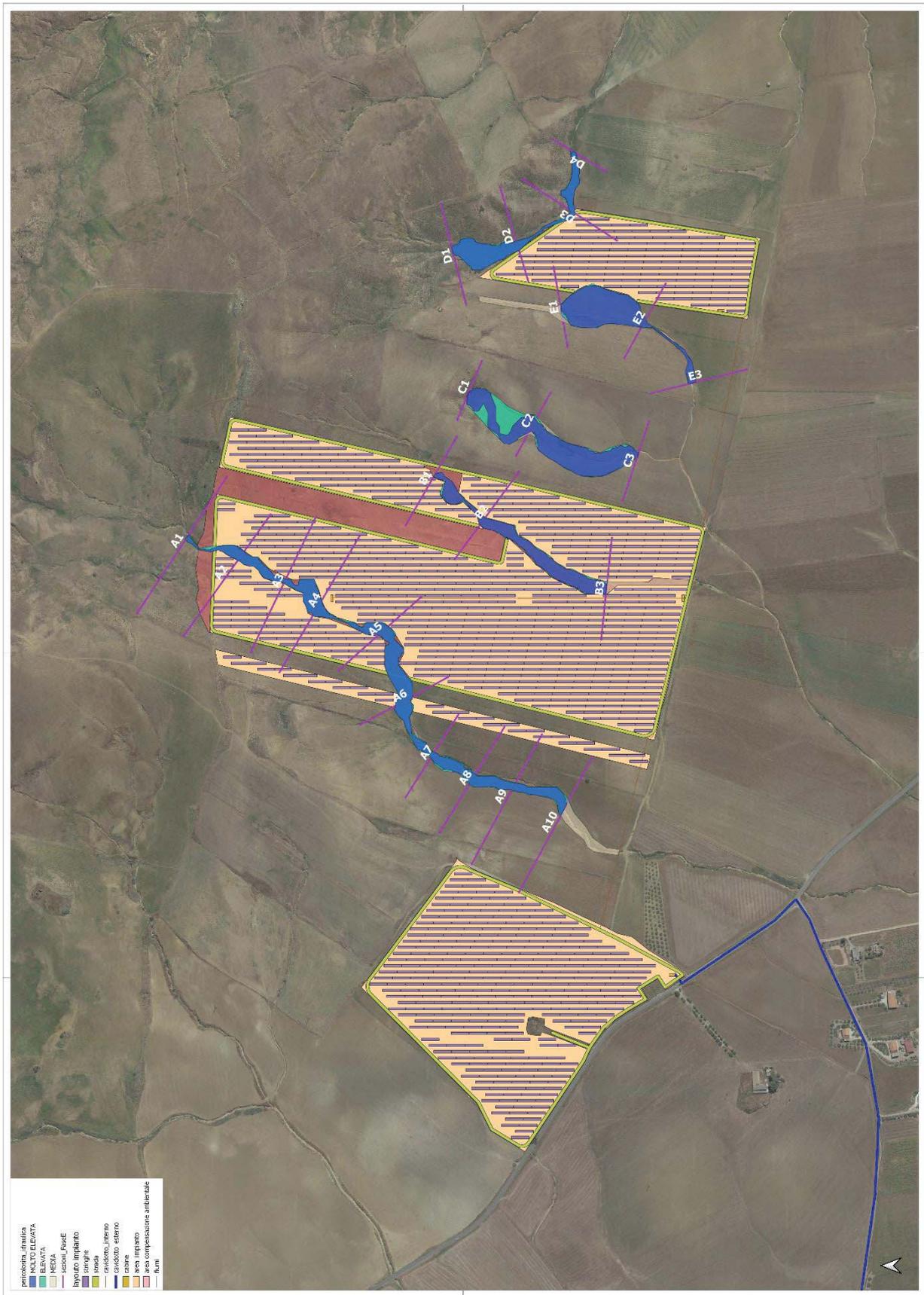


Figura 9: Planimetria delle aree allagabili



Nelle figure precedenti si nota come i lotti di intervento siano parzialmente interessati dalle aree allagabili per gli eventi considerati. Affinché non ci siano interferenze con le aree perimetrate, è stata considerata la fascia di perimetrazione per un tempo di ritorno di 300 anni, rispetto alla quale non verranno posizionati i moduli fotovoltaici, garantendo una condizione di sicurezza idraulica per l'intero impianto.

Per quanto riguarda il cavidotto, invece, sono presenti diverse interferenze con il reticolo idrografico che sono riportate nella mappa di seguito.

Le interferenze per le quali non è possibile effettuare uno staffaggio alle opere idrauliche esistenti hanno ritenuto necessaria un'analisi idraulica “semplificata”, illustrata nel capitolo seguente, volta a determinare la profondità di escavazione massima della corrente, in funzione della quale impostare la profondità di posa del cavidotto stesso.

Per tali ragioni, pertanto, è possibile affermare che gli interventi in progetto saranno realizzati in aree in sicurezza idraulica ai sensi delle NTA del PAI.

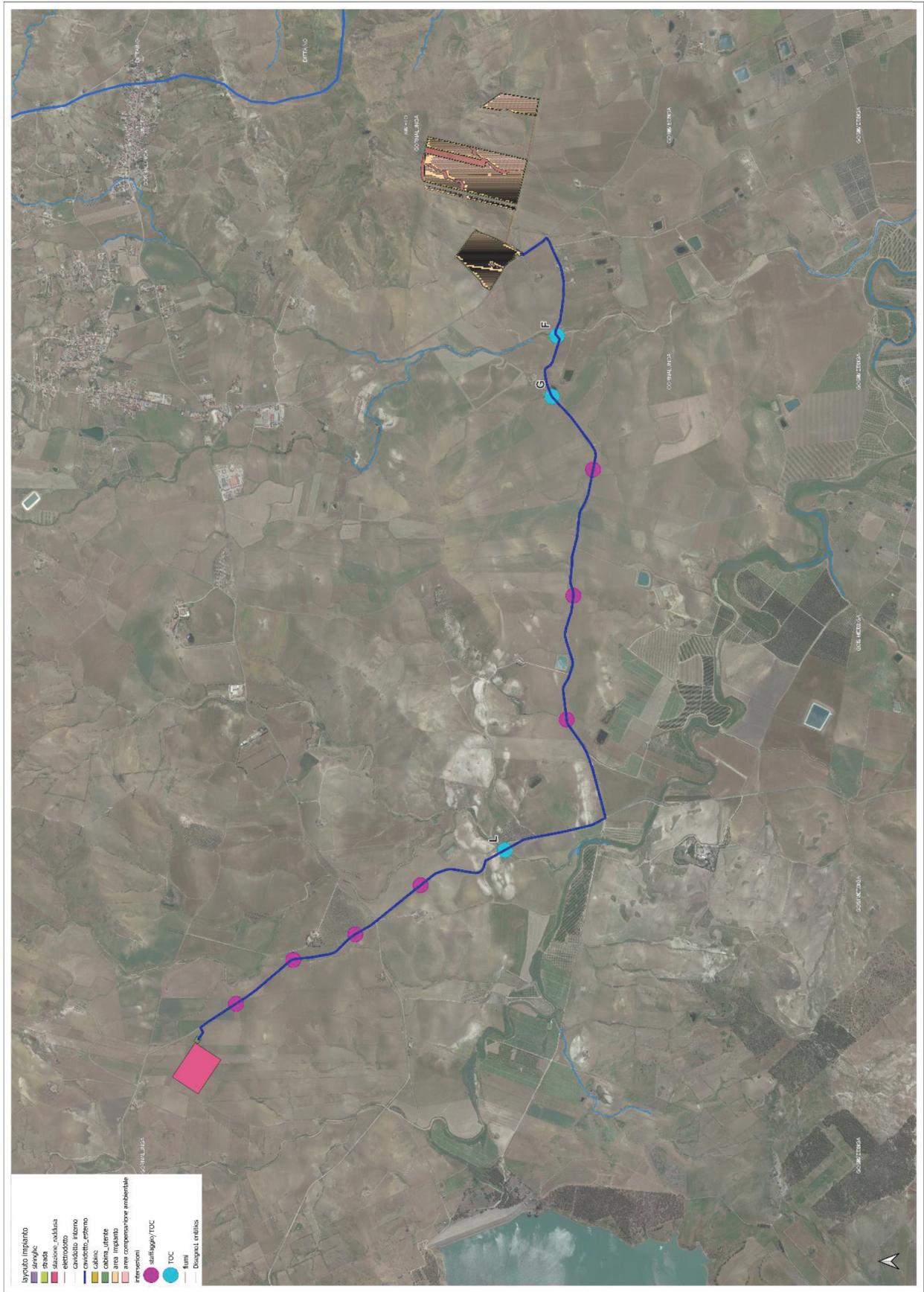


Figura 10: Individuazione dell'interferenza con il cavidotto



4 Analisi idraulica semplificata

Per dimensionare adeguatamente la quota di posa del cavidotto in corrispondenza del punto di intersezione con un ramo 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 sopra descritti.

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):

$$\Psi = 8 \cdot (\Theta - 0.047)^{\frac{3}{2}}$$

dove:

- " Ψ " (-): parametro di trasporto;
- " Θ " (-): parametro di stabilità.

Tali parametri sono definiti dalle espressioni seguenti:

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

dove:

- " q_s " (m^2/s): portata solida (volumetrica) per unità di larghezza;
- " g " (m/s^2): accelerazione di gravità;
- " d " (m): diametro caratteristico del sedimento;
- " γ_s " (N/m^3): peso specifico del sedimento;
- " γ " (N/m^3): peso specifico dell'acqua;
- " R " (m): raggio idraulico;
- " 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 calcoli effettuati per il calcolo della concentrazione del sedimento utilizzando la formula di Meyer-Peter e Müller per i tratti dell'impiuvio in esame. In



particolare nel caso di specie vengono analizzate le interferenze rappresentata in celeste nell'immagine precedente, per la quale è prevista la risoluzione tramite TOC, mentre per tutte le altre si procederà attraverso staffaggio alle opere idrauliche preesistenti.

Analisi del trasporto solido - Tr100						
Sezione	γ (N/m ³)	γ_s (N/m ³)	d (m)	j (-)	R (m)	θ (-)
F2	9810	25000	0.00002	0.009	1.390	393.6
G2	9810	25000	0.00002	0.019	0.190	115.4
L2	9810	25000	0.00002	0.005	0.480	77.5
Sezione	Ψ (-)	q_s (m ² /s)	b (m)	Q (m ³ /s)	C (-)	C (ppm)
F2	62457	0.0218	85.99	142.2	0.013	13166
G2	9910	0.0035	62.83	10.6	0.020	20476
L2	5453	0.0019	57.06	121.5	0.001	893

Tabella 11

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".

Massima profondità di erosione - Tr100			
Sezione	Regime depth (m)	Regime width (m)	Regime slope (-)
F2	0.25	315.80	0.00430
G2	0.08	107.41	0.00058
L2	1.35	79.24	0.000214

Tabella 12

Come è possibile osservare nella tabella precedente, i risultati dell'applicazione di tale metodologia indicano una profondità di scavo massima pari a 1.35m. Al fine di tenere conto di un franco minimo di sicurezza pari a 1.00 m, si prevede di porre in opera l'intero pacchetto contenente il cavidotto in progetto, per il punto in esame, ad una profondità di almeno 2.50 m. Ad ogni modo, tale metodologia rappresenta solo un punto di partenza e i dati verranno poi dettagliati prima dell'inizio dei lavori per poter procedere con la tecnica della T.O.C.

Si sottolinea che, in tale progetto non sono state analizzate le interferenze idrauliche con il cavidotto interno ritenendo la quota di posa dello stesso sufficiente ad evitare l'erosione della corrente. Si fa notare altresì, che tale teoria è avvalorata dalle dimensioni dei bacini (A, B, C, D ed E), paragonabili al bacino G e non ai bacini più grandi F e G, le cui portate producono un effetto erosivo maggiore come è possibile vedere dalla tabella sopra riportata.



5 Analisi idrologica dello stato di progetto

Le finalità della presente sezione consistono nella valutazione delle condizioni di deflusso delle acque meteoriche nella configurazione di "stato di progetto", vale a dire dopo la realizzazione delle opere previste in progetto. Di conseguenza, nella presente analisi idrologica sono state rideterminate le portate al colmo di piena mediante l'utilizzo del metodo VAPI Sicilia in base alla presenza delle opere di drenaggio finalizzate alla migliore gestione delle acque di ruscellamento superficiale.

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.

Di seguito si riporta una planimetria dei bacini e dei canali in progetto, i quali sono stati posizionati tenendo conto del buffer disponibile per le opere a servizio dell'impianto agrivoltaico e delle naturali pendenze del terreno, onde evitare deflussi in contropendenza. I bacini permettono di valutare le portate afferenti ai canali di monte che allontanano le acque meteoriche dall'impianto sversandole direttamente negli impluvi esistenti; mentre **i canali di valle captano le acque che scorrono all'interno delle aree dell'impianto agrivoltaico** e che necessitano di essere trattate prima di essere sversate nel recapito finale.



I valori di portata sono stati ricavati con le stesse modalità descritte nel capitolo 2, perciò di seguito si riportano i valori ottenuti, distinguendo i bacini di monte da quelli di valle, **questi ultimi evidenziati in rosso e caratterizzati da un coefficiente di Kerby maggiorato da 0.2 a 0.4.**

Come anticipato in precedenza, infatti, le opere deputate alla gestione delle acque di ruscellamento superficiale sono costituite principalmente da canali di drenaggio da realizzare a monte dell'impianto e **canali di drenaggio da realizzare a valle**. I primi costituiscono una sorta di canali deviatori in grado di intercettare le acque che attualmente interessano i lotti di intervento per immetterle negli impluvi esistenti. I secondi sono necessari per poter garantire il rispetto dei principi di invarianza idrologica e idraulica in quanto le portate che convoglieranno saranno derivate dalle acque meteoriche zenitali che precipitano sui lotti di intervento e, quindi, su aree che subiranno una leggera riduzione della permeabilità superficiale per effetto della presenza dei pannelli fotovoltaici.

Caratteristiche fisiografiche								
Bacino idrografico	S (km ²)	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (km)	i (%)	N (-)	c (-)
Bacino 1	0.072	218.96	178.09	154.53	0.14	47.38	0.4	0.40
Bacino 2	0.112	189.34	171.21	154.60	0.11	31.58	0.4	0.40
Bacino 3	0.044	298.31	235.74	188.29	0.13	83.35	0.4	0.40
Bacino 4	0.038	323.39	256.58	204.00	0.31	38.27	0.4	0.40
Bacino 5	0.051	268.50	231.57	189.08	0.47	16.76	0.4	0.40
Bacino 6	0.141	322.26	234.10	172.59	0.54	27.51	0.4	0.40
Bacino 7	0.092	289.50	203.11	165.76	0.59	21.01	0.4	0.40
Bacino 8	0.071	331.62	262.07	165.78	0.19	85.48	0.4	0.40
Bacino 9	0.014	212.17	197.62	181.14	0.54	5.77	0.4	0.40
Bacino 10	0.005	215.46	200.62	187.63	0.66	4.25	0.4	0.40
Bacino 11	0.013	196.37	182.03	169.45	0.73	3.71	0.4	0.40
Bacino 12	0.010	188.75	181.54	172.74	0.94	1.70	0.4	0.40
Bacino 13	0.020	202.27	192.18	184.43	0.94	1.90	0.4	0.40
Bacino 14	0.037	217.58	181.45	165.52	0.40	13.02	0.4	0.40
Bacino 15	0.003	215.78	206.02	196.03	0.08	23.62	0.4	0.40

Tabella 13

Tempi di corrivazione								
Bacino idrografico	Giandotti (h)	Kerby (h)	Kirpich (h)	Ventura (h)	Pezzoli (h)	Pasini (h)	media 1 (h)	tc (h)
Bacino 1	0.33	0.06	0.02	0.05	0.01	0.03	0.04	0.04
Bacino 2	0.46	0.06	0.02	0.08	0.01	0.04	0.04	0.04
Bacino 3	0.19	0.05	0.01	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03
Bacino 4	0.22	0.10	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05
Bacino 5	0.31	0.14	0.07	0.07	0.06	0.08	0.09	0.09
Bacino 6	0.37	0.14	0.07	0.09	0.06	0.09	0.09	0.09
Bacino 7	0.43	0.15	0.08	0.08	0.07	0.09	0.10	0.10
Bacino 8	0.17	0.06	0.02	0.04	0.01	0.03	0.03	0.03
Bacino 9	0.39	0.20	0.12	0.06	0.12	0.09	0.12	0.12
Bacino 10	0.44	0.23	0.16	0.04	0.17	0.08	0.14	0.14
Bacino 11	0.55	0.25	0.18	0.08	0.21	0.12	0.17	0.17
Bacino 12	0.76	0.34	0.30	0.10	0.40	0.17	0.26	0.26
Bacino 13	0.89	0.33	0.29	0.13	0.38	0.21	0.27	0.27
Bacino 14	0.43	0.14	0.07	0.07	0.06	0.07	0.08	0.08
Bacino 15	0.13	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02

Tabella 14



Portate al colmo di piena (VAPI pluviometria)				
Bacino idrografico	Q10 (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q300 (m ³ /s)
Bacino 1	2.787	4.612	5.397	6.642
Bacino 2	3.853	6.375	7.461	9.182
Bacino 3	2.102	3.478	4.071	5.010
Bacino 4	1.185	1.961	2.295	2.824
Bacino 5	1.094	1.811	2.119	2.608
Bacino 6	2.964	4.904	5.740	7.064
Bacino 7	1.846	3.055	3.575	4.400
Bacino 8	2.926	4.841	5.665	6.973
Bacino 9	0.240	0.397	0.465	0.572
Bacino 10	0.073	0.121	0.142	0.175
Bacino 11	0.181	0.299	0.350	0.431
Bacino 12	0.097	0.161	0.188	0.231
Bacino 13	0.201	0.333	0.389	0.479
Bacino 14	0.814	1.347	1.576	1.940
Bacino 15	0.146	0.242	0.283	0.348

Tabella 15

I valori riportati nelle tabelle precedenti sono assolutamente in linea con quelli riscontrabili in caso di bacini idrografici di dimensioni e caratteristiche simili a quelli in esame.



6 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 delle canalette 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 compresa tra i 40 e i 100 cm, pertanto è stato considerato un franco di sicurezza pari a 20 cm.

Inoltre, data la presenza di impluvi interni all'impianto, al fine di consentire un maggior grado di protezione, saranno previsti canali perimetrali agli impluvi stessi, il tutto per **ridurre il livello di rischio idraulico in tutte le loro aree circostanti**. La strategia di dimensionamento e realizzazione è analoga a quella dei canali di drenaggio di monte e valle.

Nelle tabelle seguenti sono mostrate le verifiche idrauliche con il calcolo della capacità di drenaggio dei canali 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 con le dimensioni di progetto. Tali tabelle dimostrano che le portate di progetto, corrispondenti a quelle da smaltire e determinate nel capitolo precedente, risultano sempre inferiori a quelle defluibili in funzione delle dimensioni di progetto.

Ciò significa, pertanto, che la scelta delle dimensioni dei canali risulta correttamente verificata rispetto alle portate di progetto da smaltire, anche tenendo conto del suddetto franco di sicurezza stabilito dalla normativa di settore. Nella tabella seguente in giallo sono evidenziate le pendenze ricalcolate rispetto a quelle naturali.



Opera	Input				
	Pendenza (-)	Scabrezza (m ^{1/2} /s)	Base minore (m)	Base maggiore (m)	Altezza (m)
1	0.06	30	1.00	3.00	1.00
2	0.10	30	1.00	3.00	1.00
3	0.25	30	0.80	2.40	0.80
4	0.11	30	0.70	2.10	0.70
5	0.11	30	0.80	2.40	0.80
6	0.11	30	1.00	3.00	1.00
7	0.10	30	0.80	2.40	0.80
8	0.15	30	0.90	2.70	0.90
9	0.09	30	0.50	1.50	0.50
10	0.07	30	0.40	1.20	0.40
11	0.13	30	0.50	1.50	0.50
12	0.10	30	0.40	1.20	0.40
13	0.08	30	0.50	1.50	0.50
14	0.10	30	0.80	2.40	0.80
15	0.18	30	0.40	1.20	0.40

Opera					Raggio idraulico (m)
	Franco di sicurezza (m)	Tirante idrico (m)	Pendenza di sponda (m/m)	Area (m ²)	
1	0.20	0.80	1.00	1.44	0.44
2	0.20	0.80	1.00	1.44	0.44
3	0.20	0.60	1.00	0.84	0.34
4	0.20	0.50	1.00	0.60	0.28
5	0.20	0.60	1.00	0.84	0.34
6	0.20	0.80	1.00	1.20	0.37
7	0.20	0.60	1.00	0.84	0.34
8	0.20	0.70	1.00	1.12	0.39
9	0.20	0.30	1.00	0.24	0.18
10	0.20	0.20	1.00	0.12	0.12
11	0.20	0.30	1.00	0.24	0.18
12	0.20	0.20	1.00	0.12	0.12
13	0.20	0.30	1.00	0.24	0.18
14	0.20	0.60	1.00	0.84	0.34
15	0.20	0.20	1.00	0.12	0.12



Opera	Output				
	Velocità media (m/s)	Portata defluita (m ³ /s)	Portata di progetto (m ³ /s)	Numero di Froude (-)	Larghezza del pelo lib. (m)
1	4.14	5.96	5.397	1.10	2.60
2	5.50	7.92	7.461	1.46	2.60
3	7.24	6.09	4.071	2.26	2.00
4	4.23	2.54	2.295	1.46	1.70
5	4.89	4.11	2.119	1.52	2.00
6	5.03	6.03	5.740	1.47	2.60
7	4.49	3.77	3.575	1.40	2.00
8	6.29	7.04	5.665	1.80	2.30
9	2.92	0.70	0.465	1.34	1.10
10	1.93	0.23	0.142	1.12	0.80
11	3.40	0.82	0.350	1.57	1.10
12	2.35	0.28	0.188	1.37	0.80
13	2.74	0.66	0.389	1.26	1.10
14	4.64	3.89	1.576	1.44	2.00
15	3.17	0.38	0.283	1.85	0.80

Tabella 16

In conclusione, pertanto, è possibile affermare che, anche nel caso dello stato di progetto, i lotti di intervento risultano interessati dalle aree allagabili per gli eventi considerati, ma a seguito dello spostamento di alcuni moduli fotovoltaici con la creazione di aree di compensazione ambientale e alla realizzazione delle canalette perimetrali, gli interventi in progetto si trovano in area in sicurezza idraulica ai sensi delle NTA del PAI.



7 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 diminuzione del tempo di corrivazione dei bacini analizzati e, conseguentemente, di aumento delle portate afferenti ai ricettori. A sua volta, il tempo di corrivazione è correlato al coefficiente di deflusso che, nel caso di specie, è rappresentato dal coefficiente di Kerby che decresce con l'aumentare del grado di impermeabilizzazione (cfr. le precedenti analisi idrologiche). **Per la condizione *ante operam* tale parametro è posto pari a 0.4, mentre nella condizione *post operam* pari a 0.2; valori in linea con le classi di uso del suolo riportate in letteratura.** Si sottolinea, però, che il tempo di corrivazione è frutto di una media tra varie formule, tra cui quella di Kerby, così come riportato nei capitoli 2 e 6.

Per effetto di tale modifica, in particolare, il tempo di corrivazione dello stato di progetto subisce una diminuzione che comporta, oltre all'incremento di portata al colmo, anche una sorta di "accorciamento" dell'idrogramma di piena (che, per ragioni di semplicità, è stato considerato di tipo triangolare). Nella figura seguente è mostrato un esempio della variazione dell'idrogramma nel passaggio dalla configurazione *ante operam* a quella *post operam*.

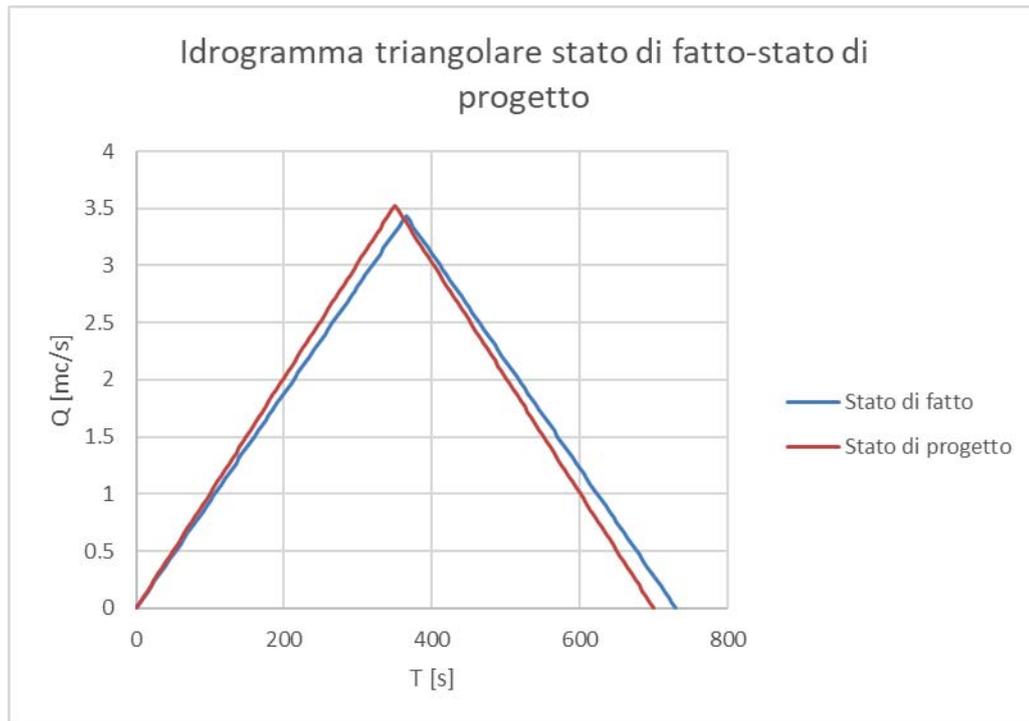


Figura 12: Confronto tra idrogrammi ante e post operam su uno dei bacini di valle oggetto di analisi

Al fine di rendere l'analisi più cautelativa e poter procedere al confronto diretto fra le portate, tuttavia, è stato effettuato uno slittamento in avanti dei tempi dell'idrogramma dello stato di progetto in modo da rendere i due tempi di corrivazione coincidenti, come riportato di seguito. Tale modifica risulta certamente cautelativa in quanto mantiene le stesse portate, ma impone un aumento del volume sotteso dall'idrogramma (perché aumentano i tempi, ma non cambiano le portate).

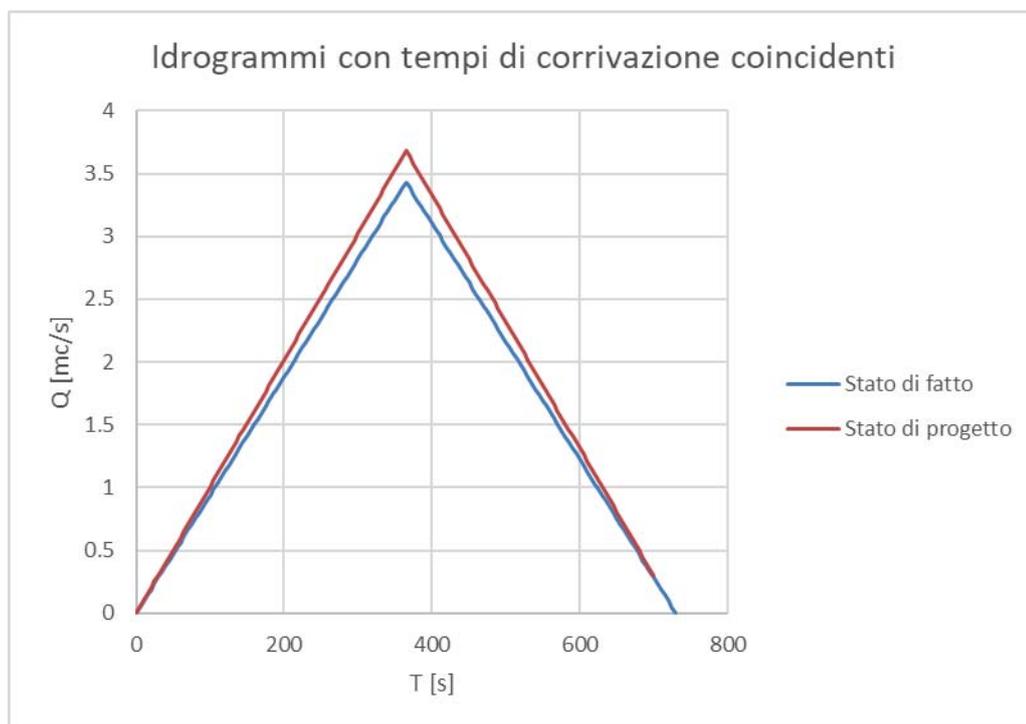


Figura 13: Confronto tra idrogrammi ante e post operam con tempi di corrivazione coincidenti

In questo modo, inoltre, dalla differenza fra i valori di portata registrati nella condizione di stato di fatto e quelli dello stato di progetto, è possibile determinare:

- 1) la portata eccedente da trattare opportunamente per rispettare il **principio di invarianza idraulica**;
- 2) il volume eccedente da trattare opportunamente per rispettare il **principio di invarianza idrologica**.

7.1 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 tramite uno scolmatore con efflusso a stramazzo dimensionato 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]
Bacino 2	7.89	7.46	0.44	67.10
Bacino 5	2.26	2.12	0.14	44.43
Bacino 6	6.10	5.73	0.36	114.03
Bacino 7	3.80	3.56	0.24	82.11
Bacino 9	0.50	0.46	0.03	13.26
Bacino 10	0.15	0.14	0.009	4.81
Bacino 12	0.20	0.18	0.009	9.04
Bacino 13	0.41	0.38	0.018	18.15
Bacino 14	1.68	1.57	0.11	32.35

Tabella 17

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

Per le canalette che avranno uno stesso recapito finale, è possibile pensare alla collocazione di pozzi comuni, al fine di ottenere sia un vantaggio in termini di spazio che in termini economici.

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

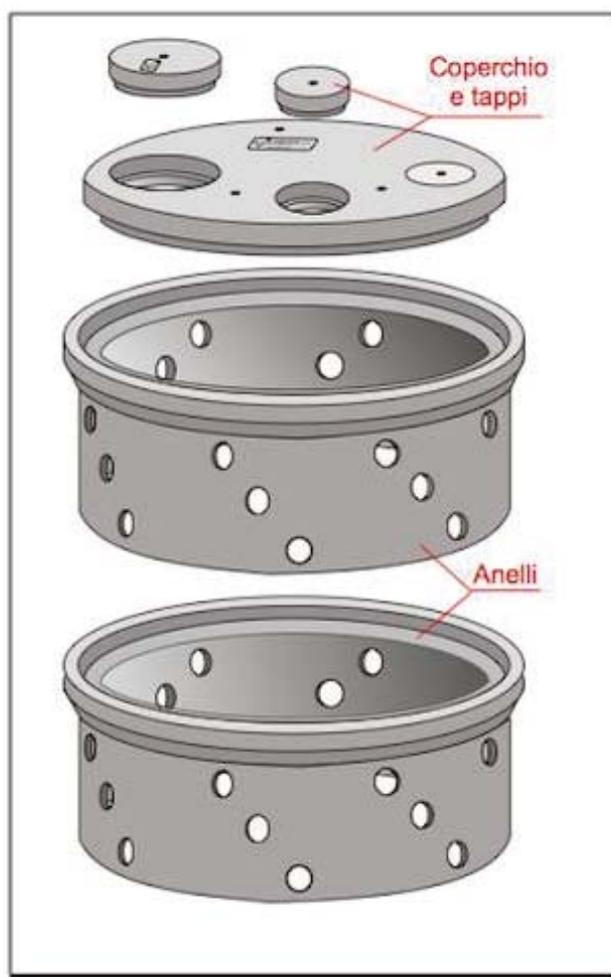


Figura 14: Immagine tipo pozzi disperdenti

Nell'allegato B sono mostrate con maggior dettaglio le posizioni dei pozzi disperdenti previsti in progetto.



8 Conclusioni

La presente relazione accompagna il progetto di realizzazione di un parco agrivoltaico con potenza nominale di 25 MW denominato “Giumarra02” da realizzarsi in loc. “Masseria Magazzinazzo” nel Comune di Ramacca (CT).

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

Il presente progetto è oggetto di provvedimento unico ambientale presso il MASE (Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica). Il Provvedimento Unico in materia ambientale (PUA), regolamentato dall’art.27 del D.Lgs.152/2006, ha la finalità di riunire in un unico provvedimento il provvedimento di VIA e il rilascio di ogni altra autorizzazione, intesa, parere, concerto, nulla osta, o atto di assenso in materia ambientale richiesto dalla normativa vigente per la realizzazione e l’esercizio di un progetto.

Le informazioni geologiche contenute nella relazione geologica preliminare hanno permesso di fornire tutte le informazioni necessarie per comprendere le modalità di drenaggio dell’area per valutare al meglio i presupposti dell’invarianza idraulica.

Nella presente relazione è stato effettuato un primo studio idrologico-idraulico finalizzato alla determinazione delle attuali condizioni di rischio idraulico, vale a dire prima della realizzazione delle opere previste in progetto.

Oltre all’impianto agrivoltaico in progetto, nelle aree di interesse è prevista anche la realizzazione di canalette di drenaggio finalizzate a una corretta gestione delle acque di ruscellamento superficiale. Per verificare l’efficacia di tale gestione, quindi, è stato effettuato un secondo studio idrologico-idraulico che ha determinato anche le future condizioni di rischio idraulico e, di conseguenza, è stata verificata anche la compatibilità degli interventi in progetto con le NTA del PAI.

Con lo scopo di garantire i **principi di invarianza idraulica e idrologica** sono state valutate le minime variazioni di permeabilità delle aree per effetto dell’installazione dei moduli fotovoltaici. Tali variazioni generano una leggera variazione dei regimi di deflusso superficiale e comportano un leggero aumento delle portate e dei volumi idrici.

Pertanto, al fine di compensare tali variazioni, si prevede la realizzazione di pozzi perdenti interrati nella zona di valle **garantendo, quindi, la invarianza idrologica**. Immediatamente a monte di ogni pozzo, inoltre, si prevede il posizionamento di un sistema di separazione delle acque tramite uno scolmatore dimensionato in modo da consentire il deflusso della portata dello stato di fatto verso i recapiti finali (così come accade attualmente) **garantendo, quindi, l’invarianza idraulica**, mentre convoglierà la portata eccedente verso i pozzi.

Per quanto riguarda gli aspetti ambientali connessi con quelli idrologici e idraulici, pertanto, è possibile affermare che gli studi effettuati nel presente elaborato hanno accertato che **le opere in progetto risultano compatibili con il territorio in esame** in quanto:

- 1) non alterano il livello di pericolosità idraulica delle aree di intervento né di quelle contermini;
- 2) non modificano il regime dei deflussi superficiali in quanto rispettano i principi di invarianza idrologica e idraulica;



- 3) non intervengono sulle attuali condizioni di deflusso dei corpi idrici recettori esterni alle aree di intervento.



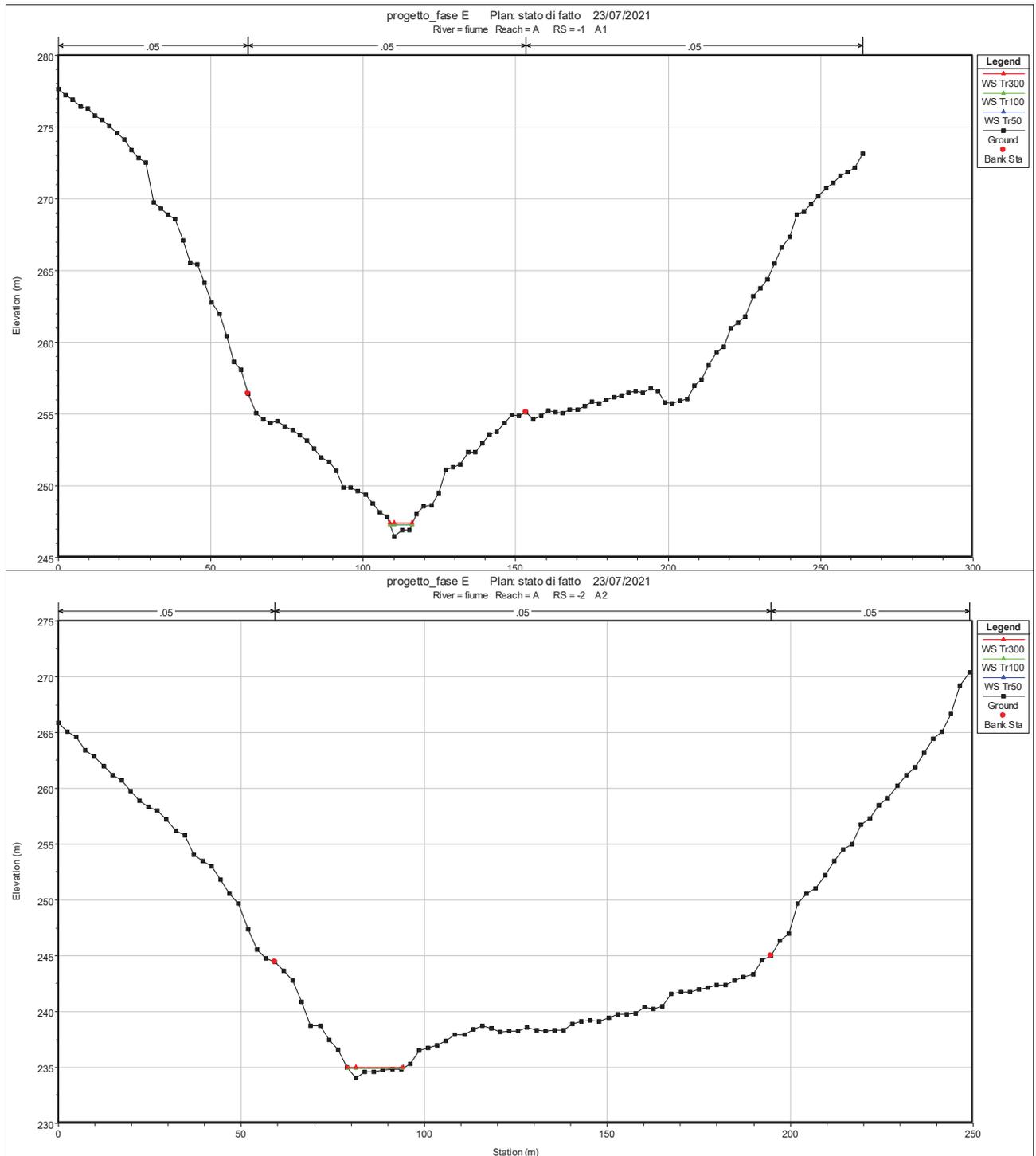
Allegato A: Sezioni trasversali

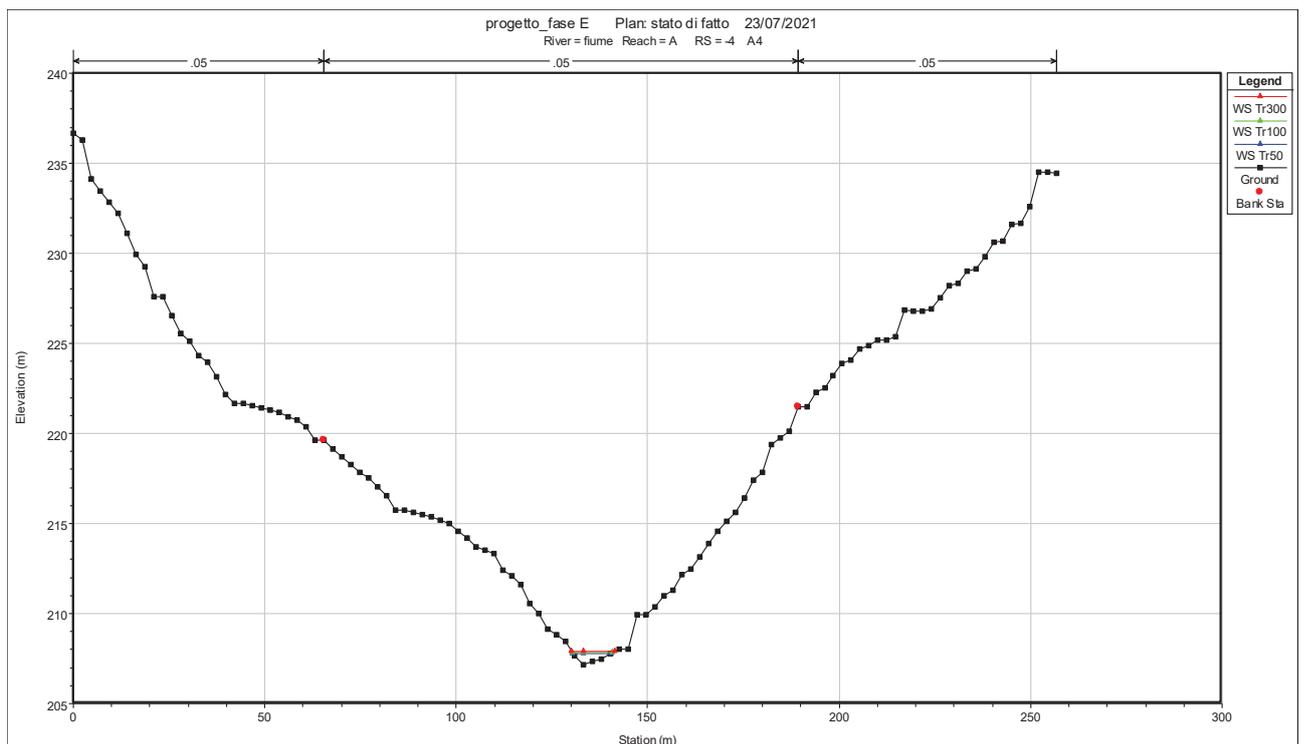
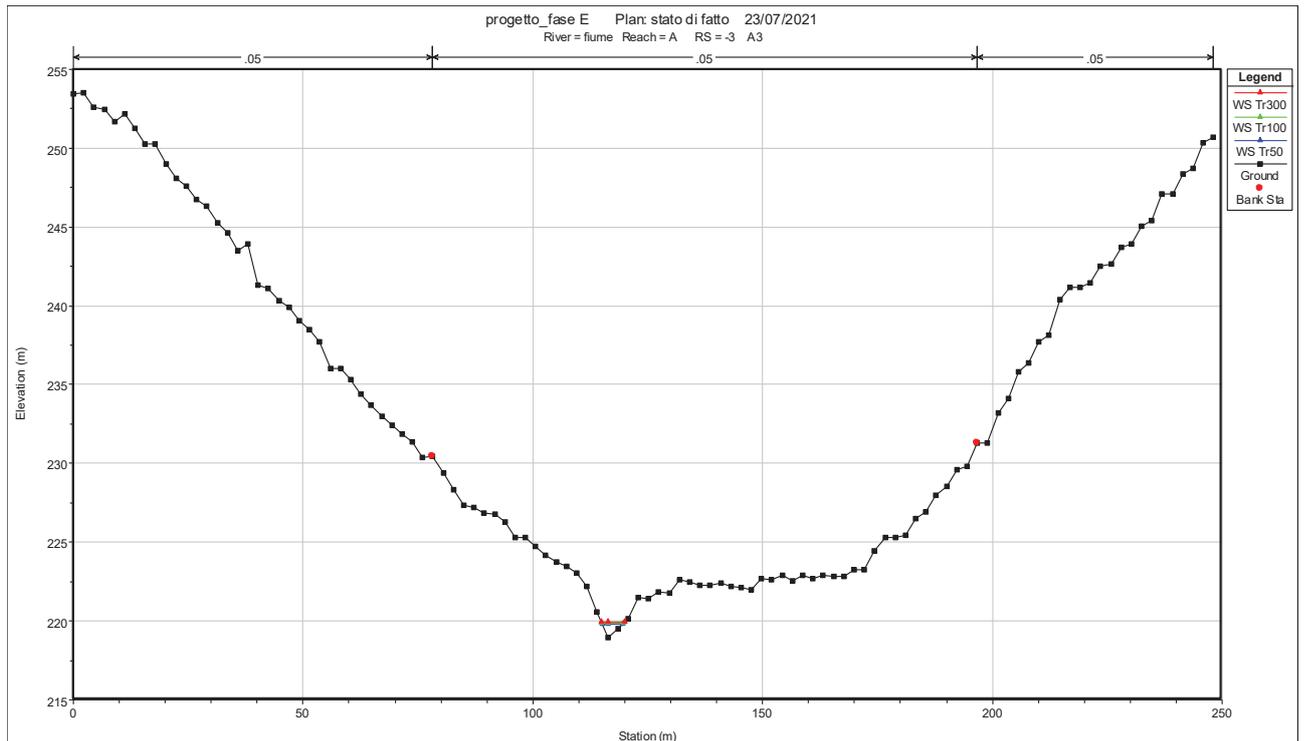


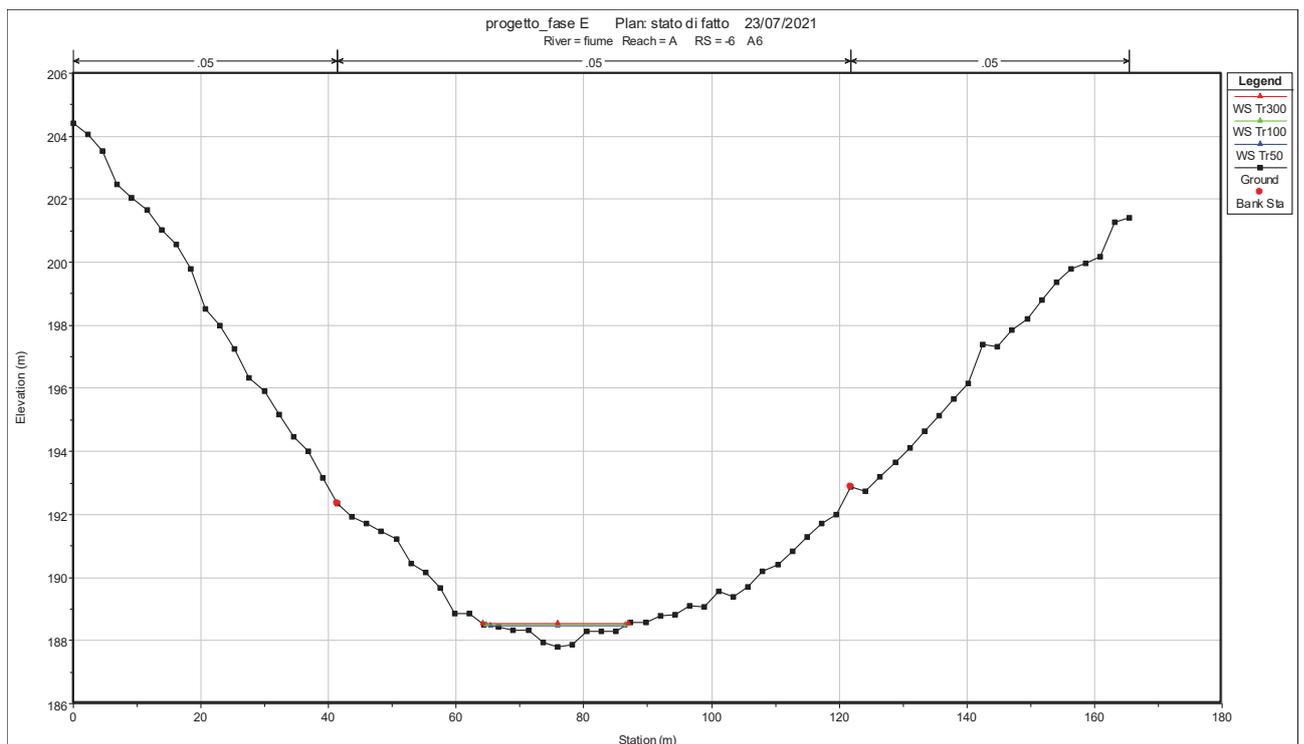
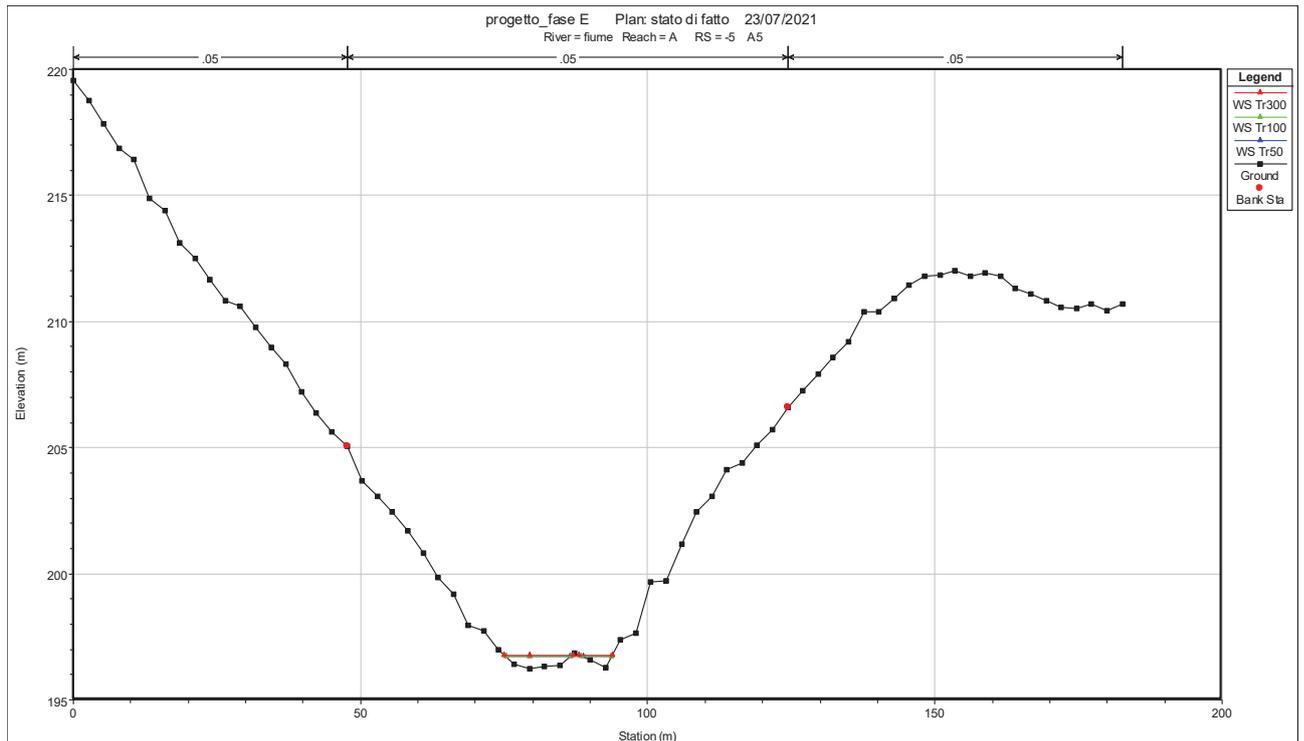
Nel presente allegato sono mostrate le sezioni trasversali utilizzate nelle simulazioni (viste da monte verso valle) con l'indicazione dei livelli idrici di piena in occasione dell'evento con i tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni.

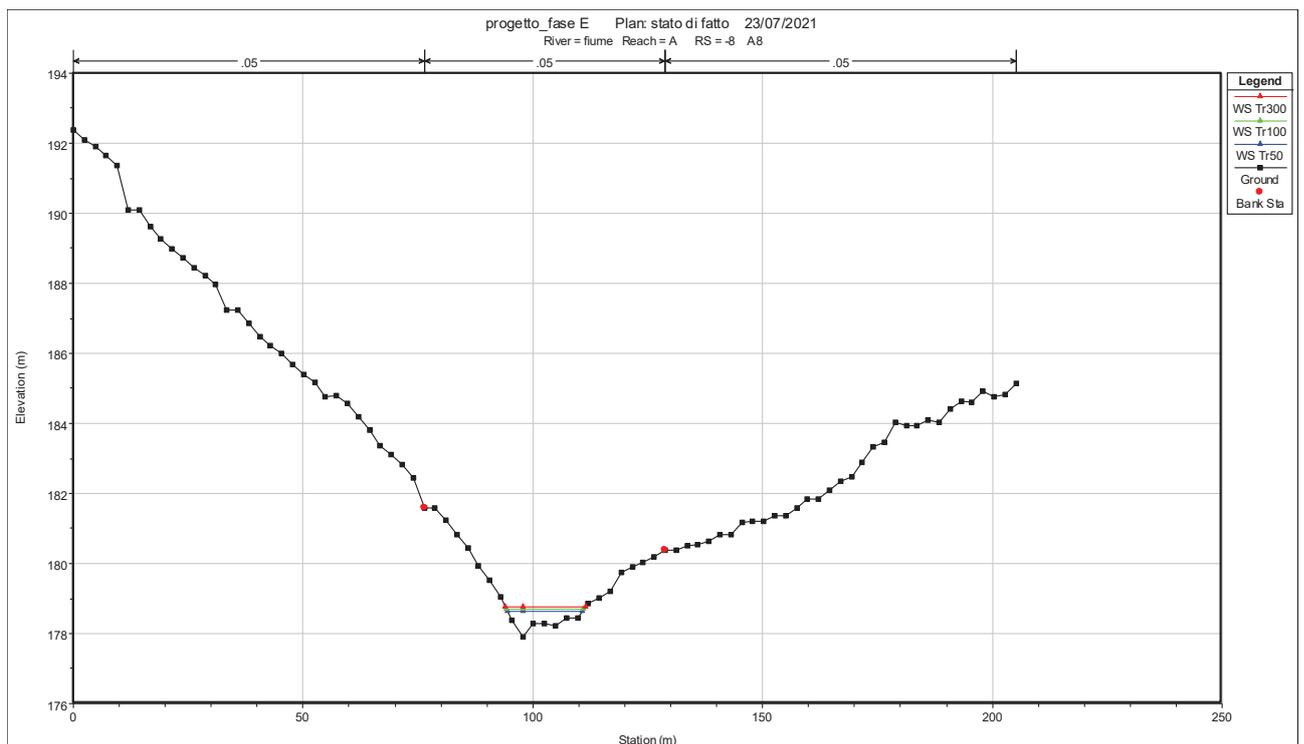
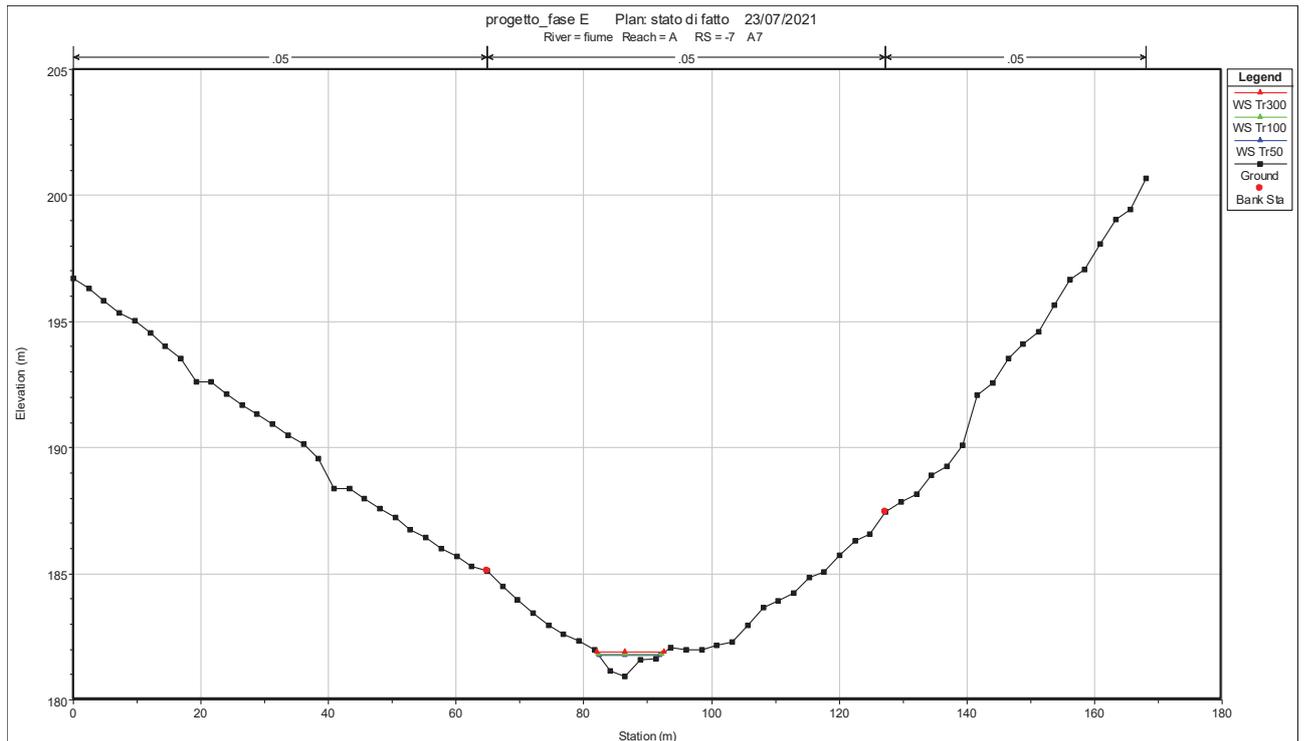
Nella tabella seguente è mostrato l'elenco delle sezioni trasversali utilizzate.

Stato di fatto - Sezioni					
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Parz. (m)	Fondo (mslm)	Pendenza (m/m)
A1	-1	0.00	101.20	246.49	0.1228
A2	-2	101.20	81.24	234.06	0.1864
A3	-3	182.44	89.24	218.92	0.1316
A4	-4	271.68	128.75	207.18	0.0850
A5	-5	400.43	133.48	196.24	0.0633
A6	-6	533.91	105.89	187.79	0.0648
A7	-7	639.79	90.46	180.93	0.0335
A8	-8	730.25	71.48	177.90	0.0435
A9	-9	801.73	95.61	174.79	0.0337
A10	-10	897.33	0.00	171.57	0.0835
B1	-1	0.00	104.53	213.65	0.2132
B2	-2	104.53	233.40	191.37	0.0815
B3	-3	337.93	0.00	172.35	0.1222
C1	-1	0.00	128.14	219.08	0.1868
C2	-2	128.14	187.11	195.14	0.1175
C3	-3	315.25	0.00	173.15	0.1457
E1	-1	0.00	149.56	197.24	0.093
E2	-2	149.56	132.49	183.32	0.057
E3	-3	282.05	0.00	175.75	0.0762
D1	-1	0.00	105.39	204.44	0.133
D2	-2	105.39	105.05	190.42	0.093
D3	-3	210.44	91.53	180.66	0.077
D4	-4	301.97	0.00	173.60	0.1021









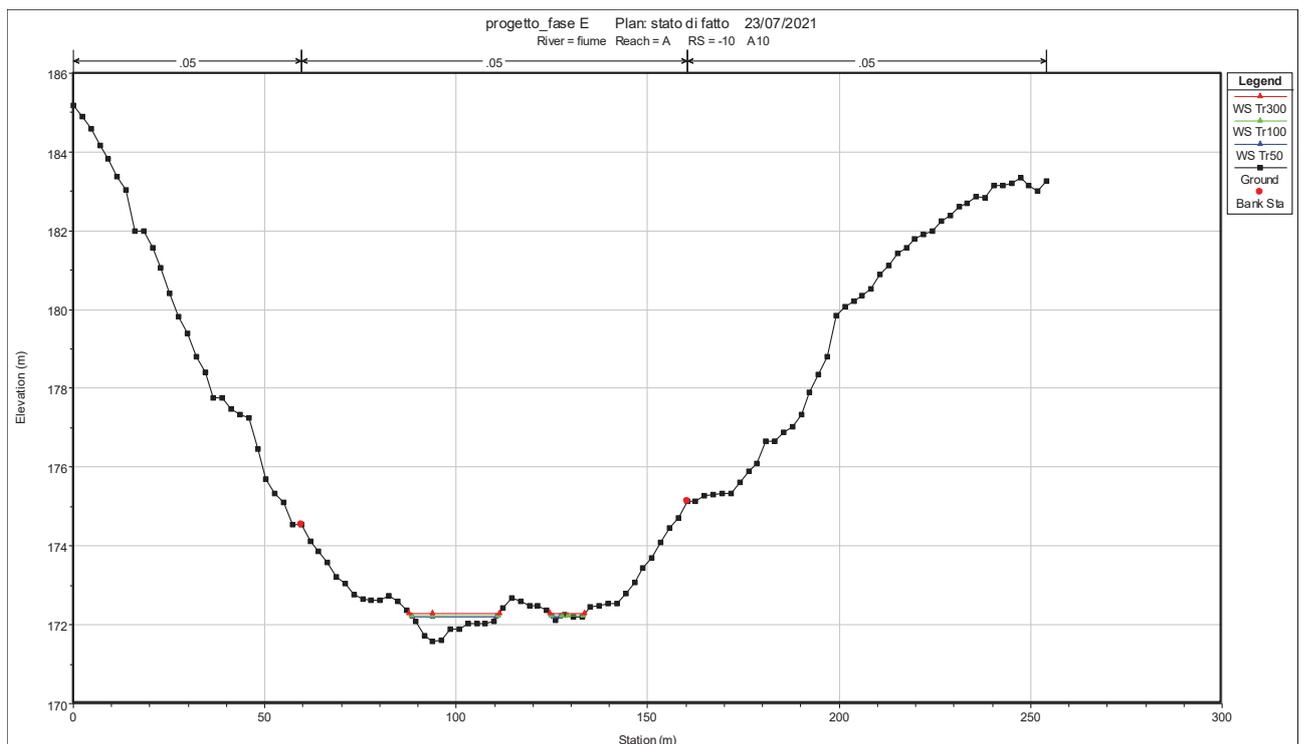
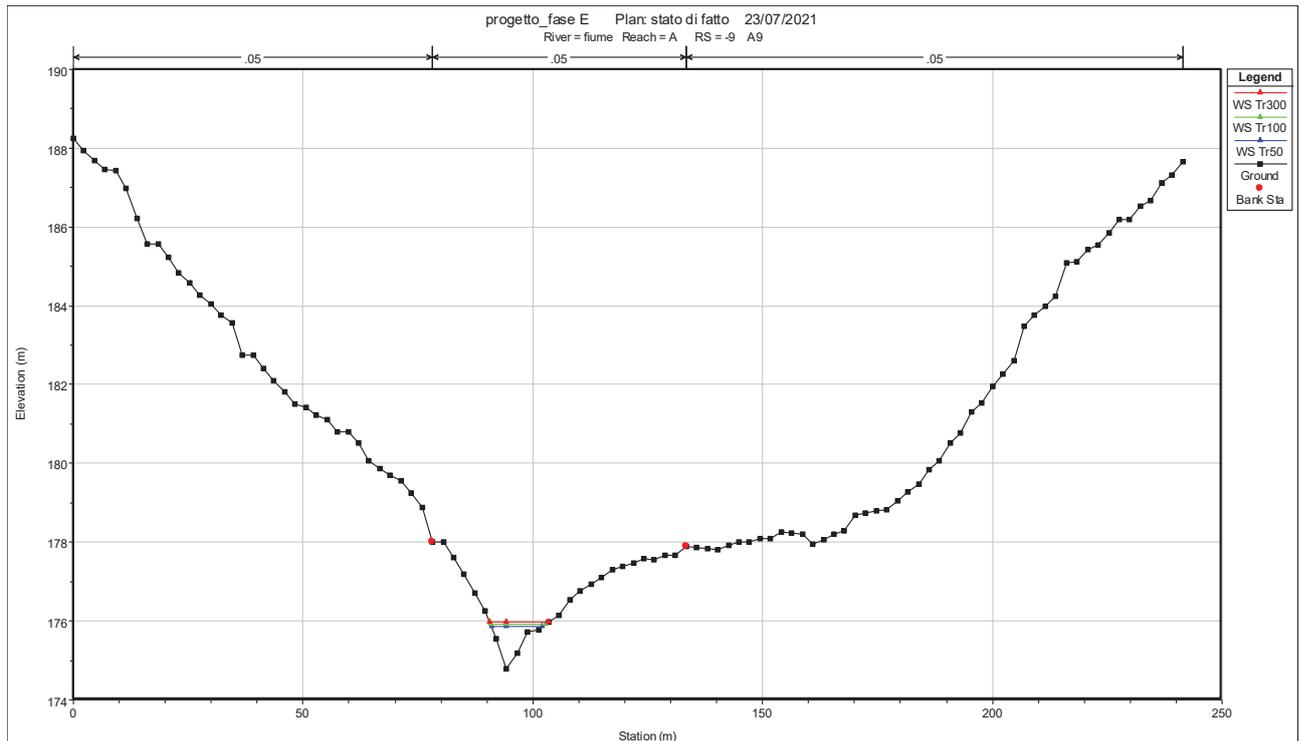
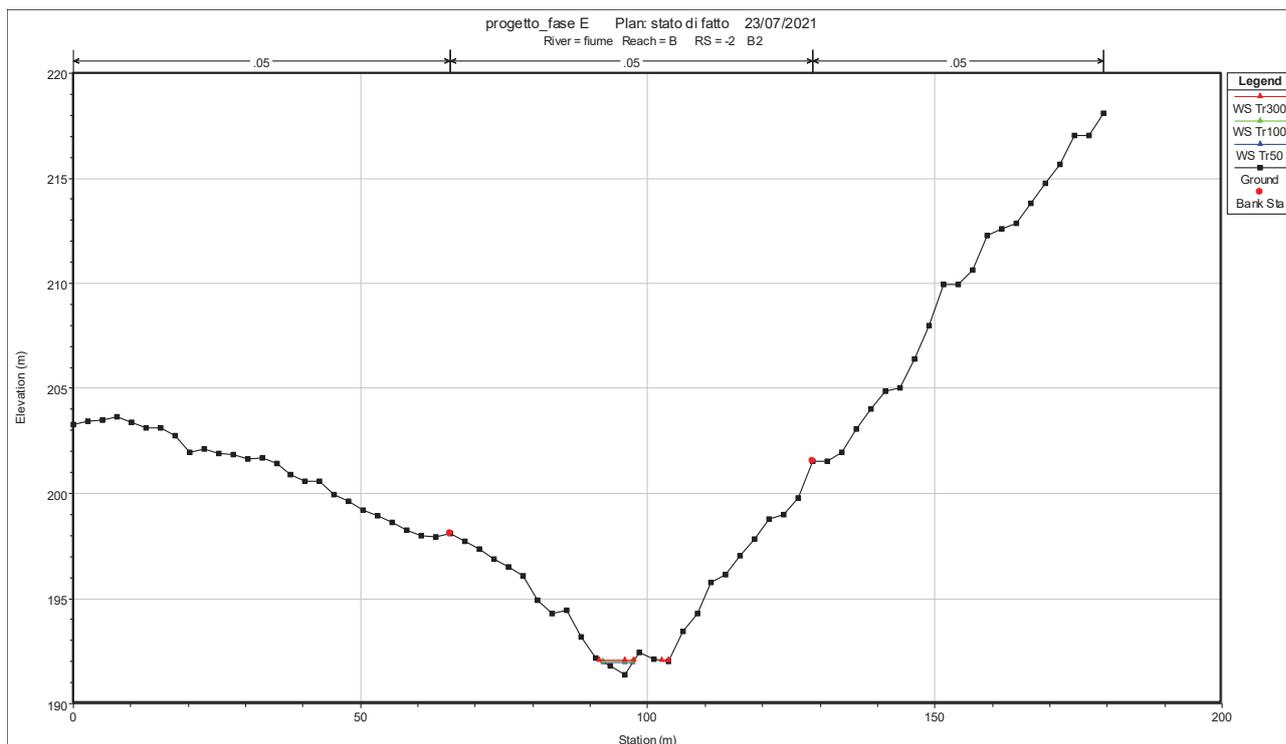
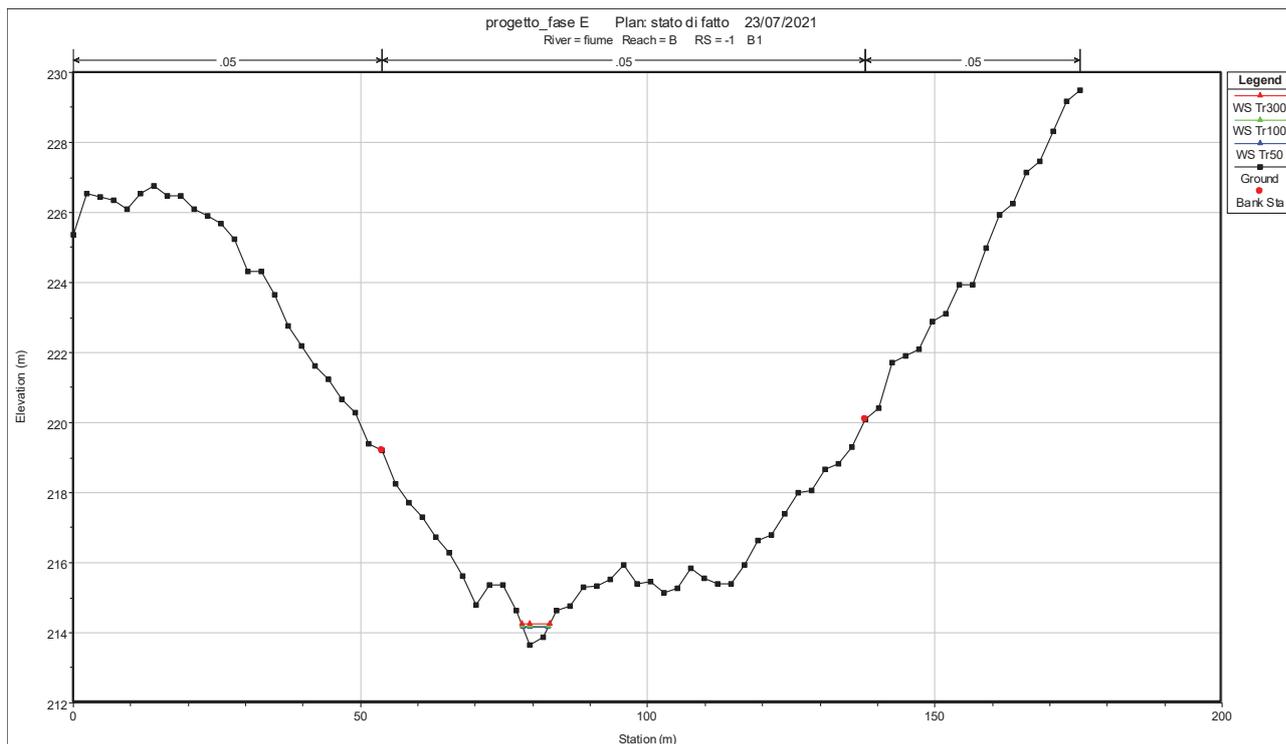


Figura 15: Sezioni trasversali impluvio A



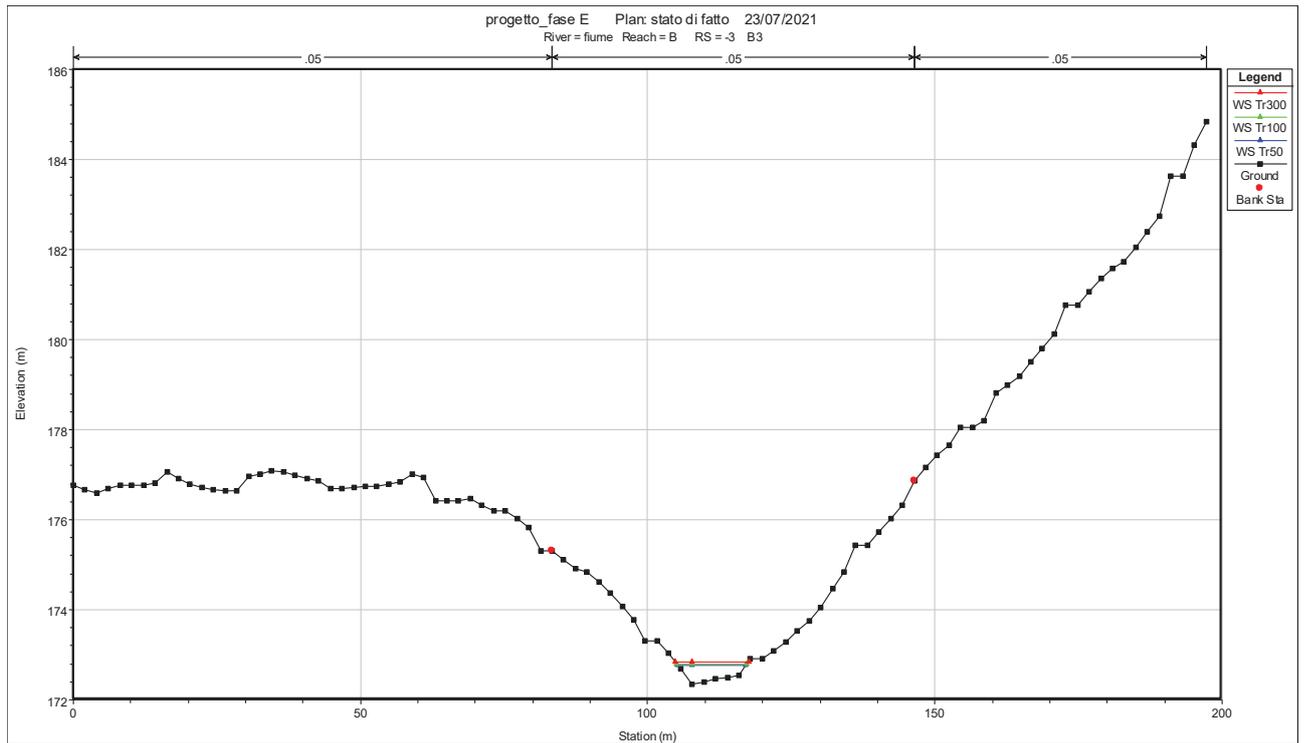
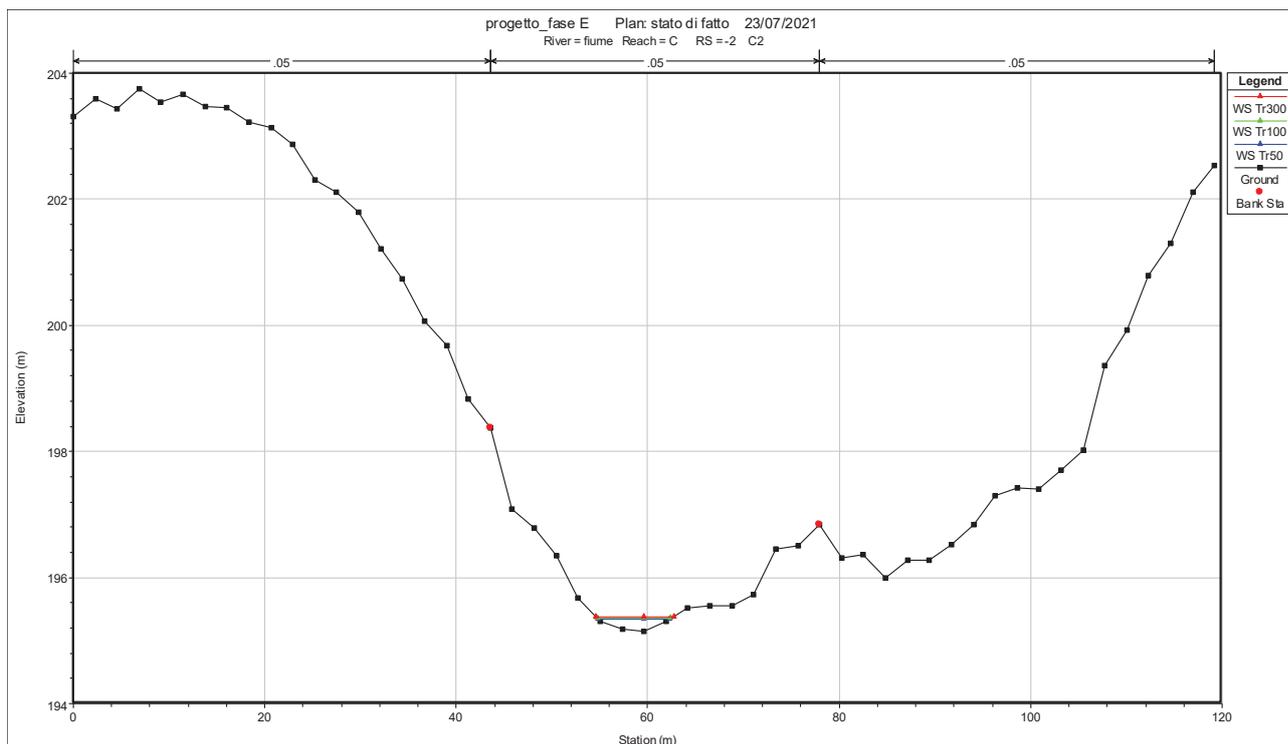
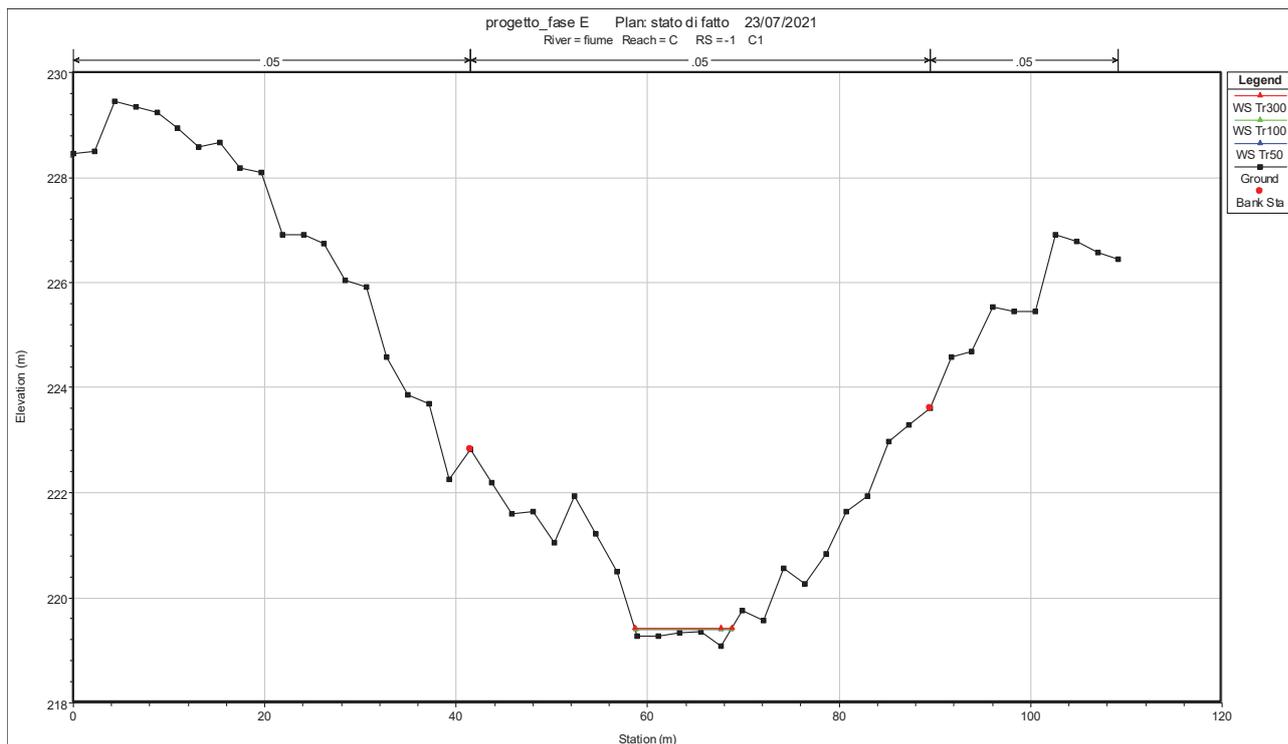


Figura 16: Sezioni trasversali impluvio B



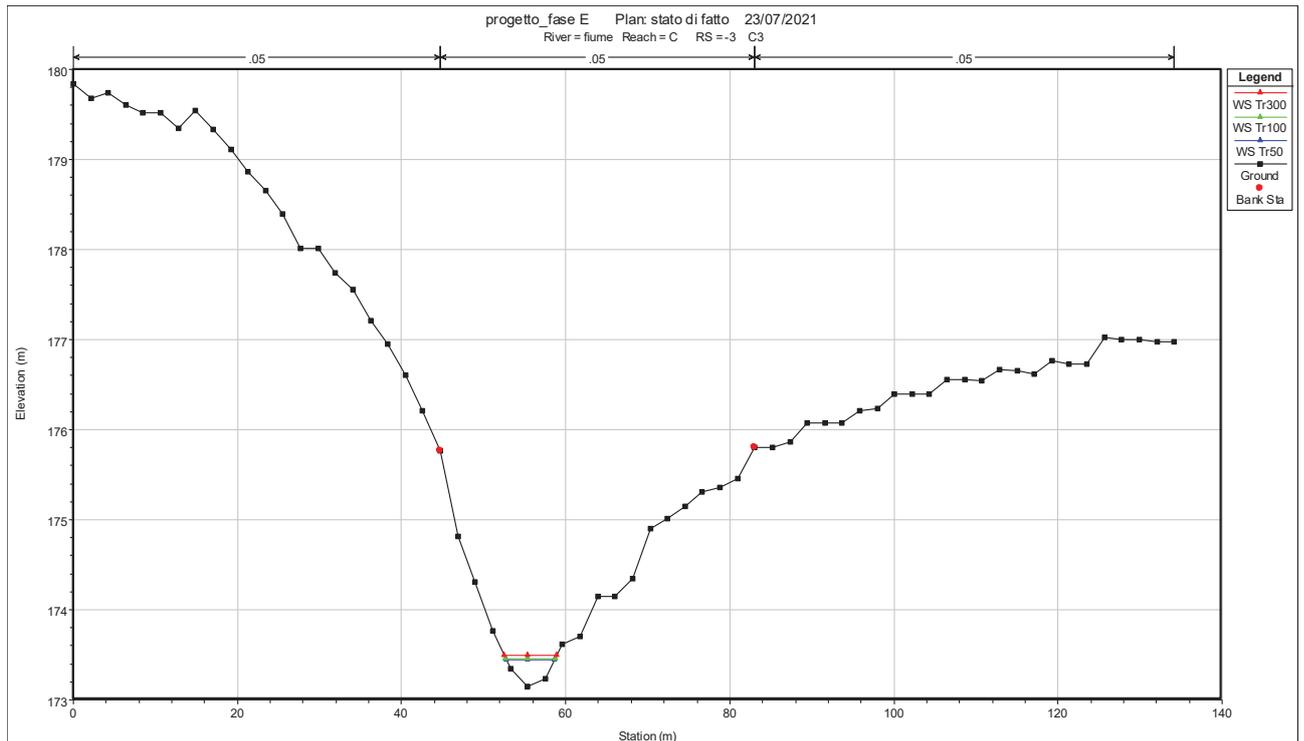
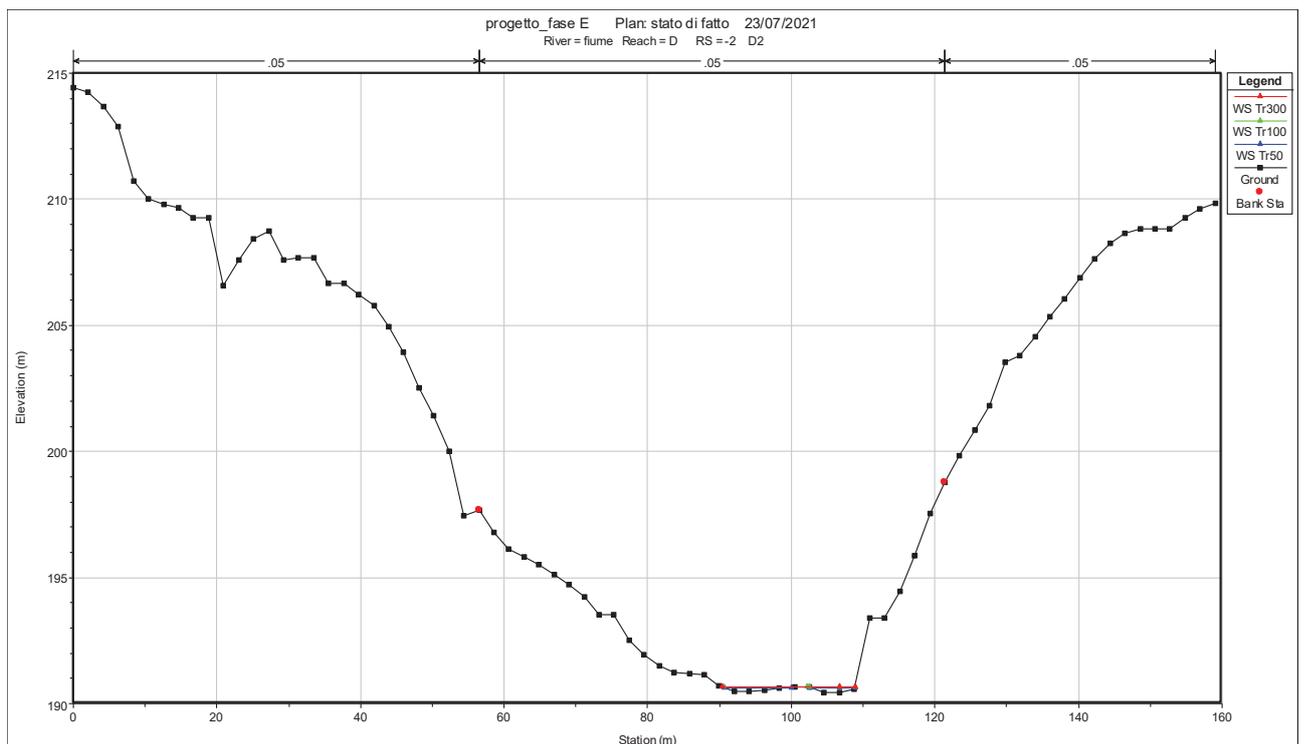
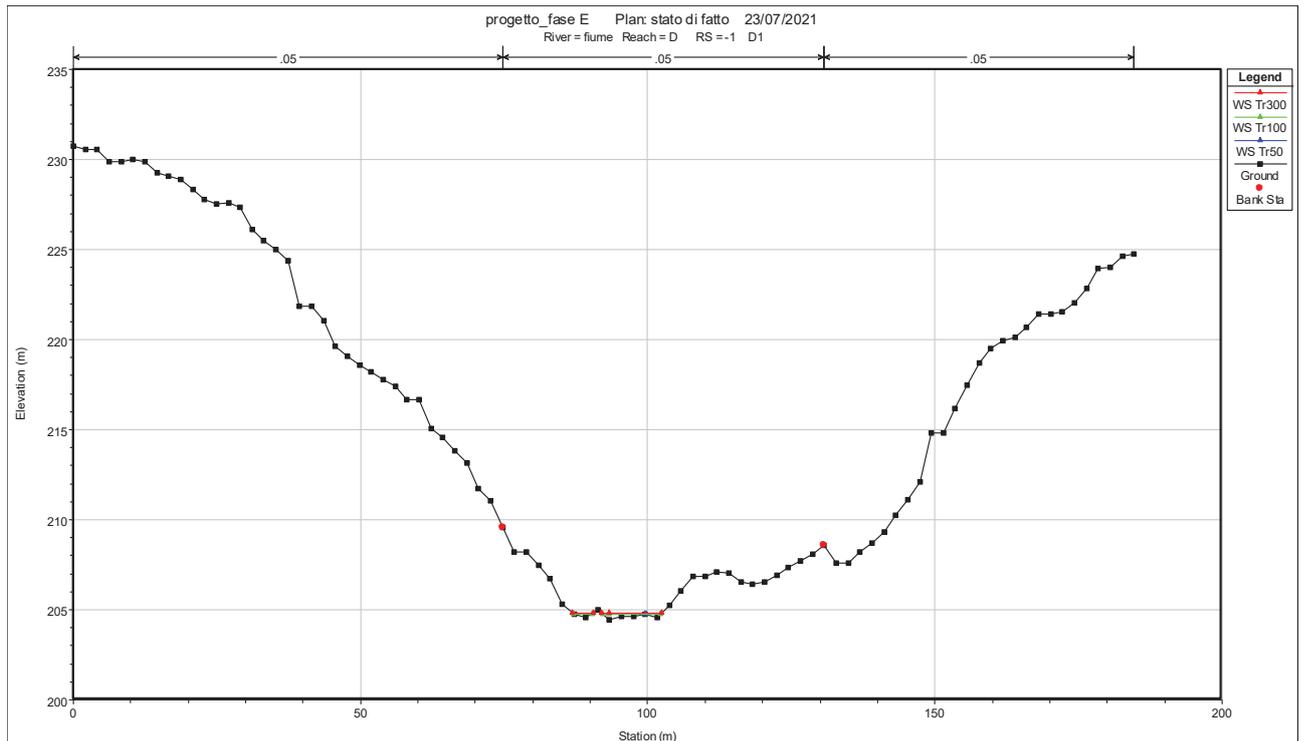


Figura 17: Sezioni trasversali impluvio C



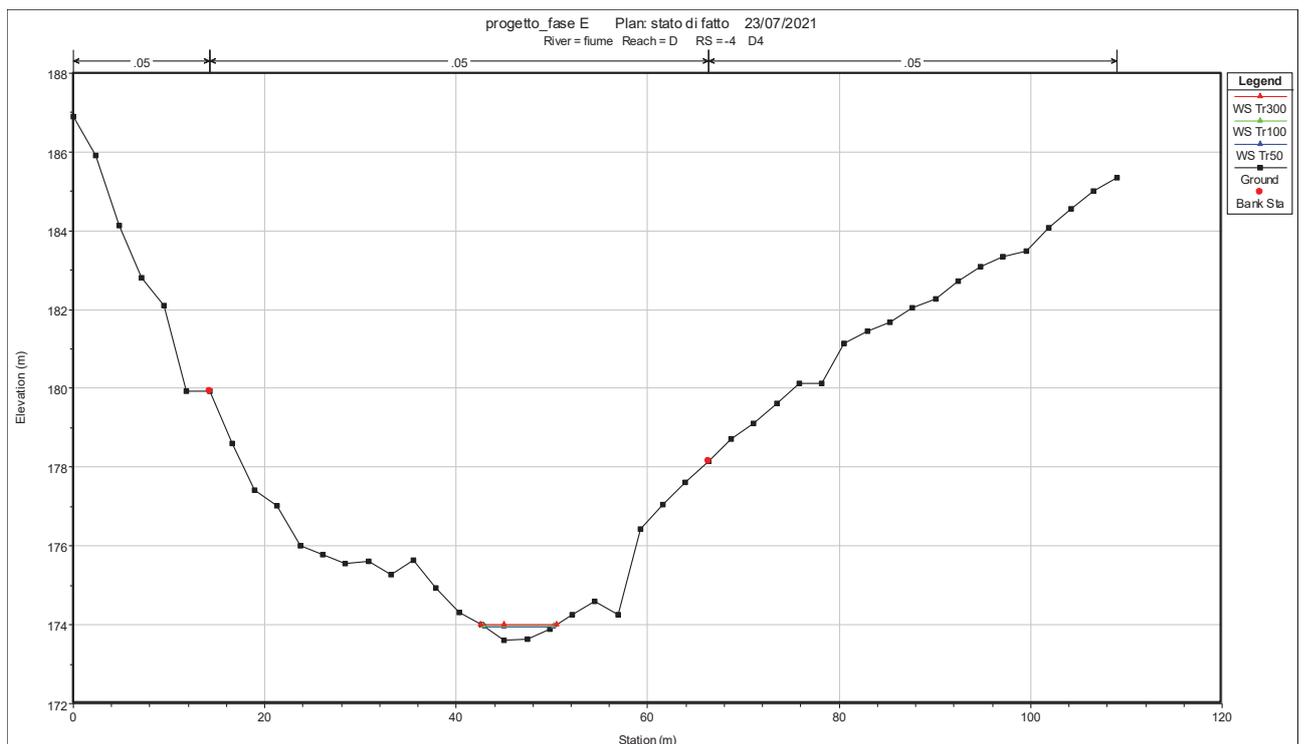
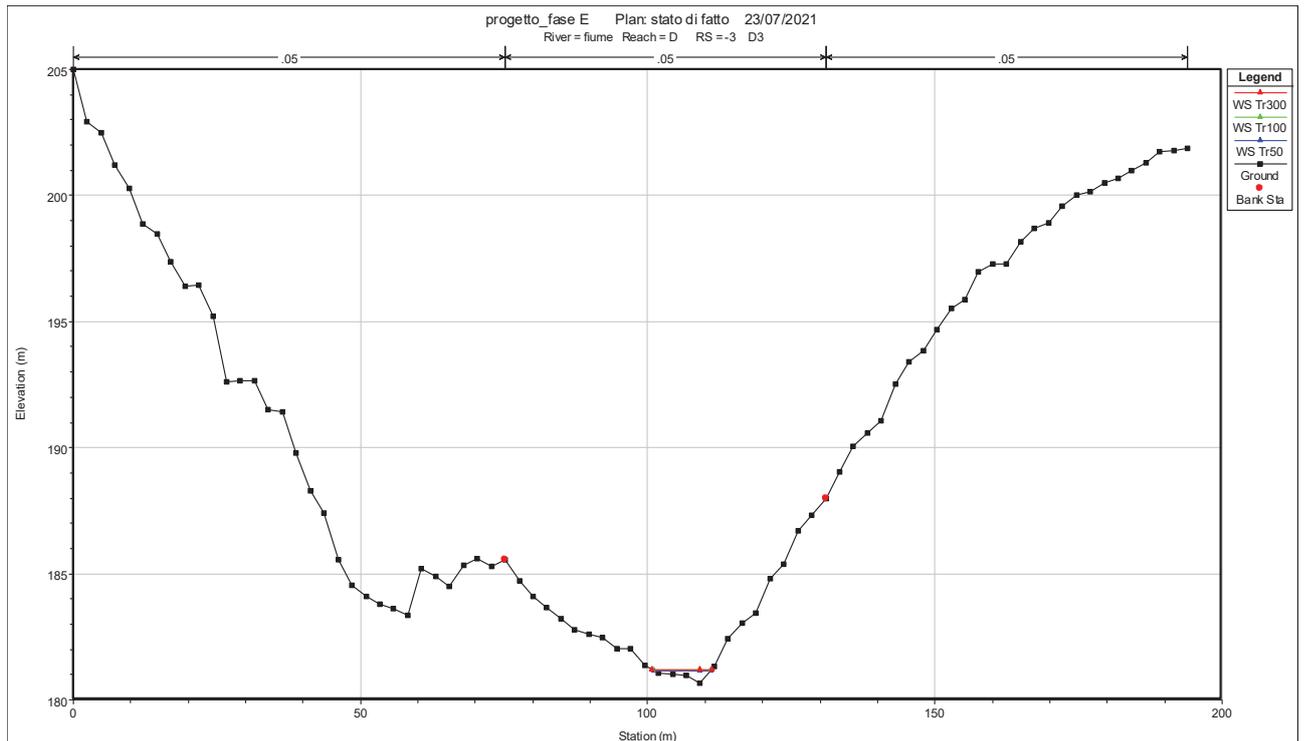
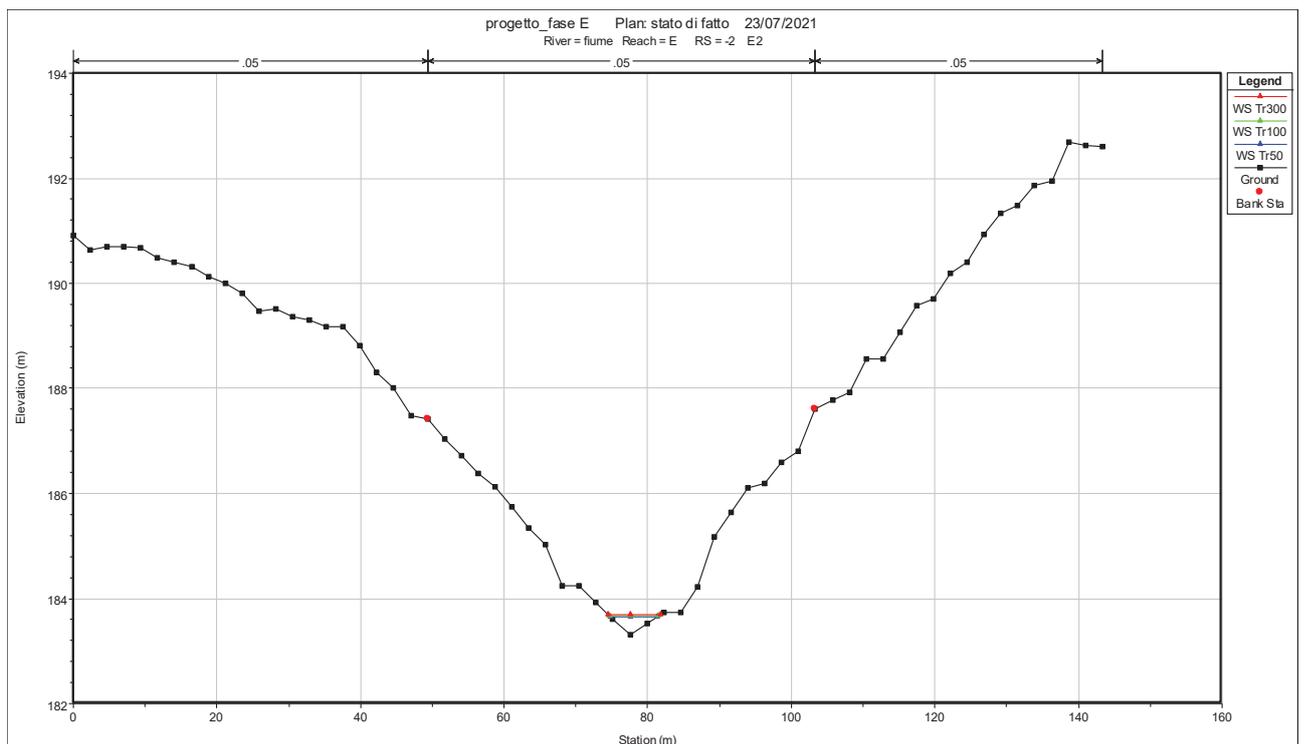
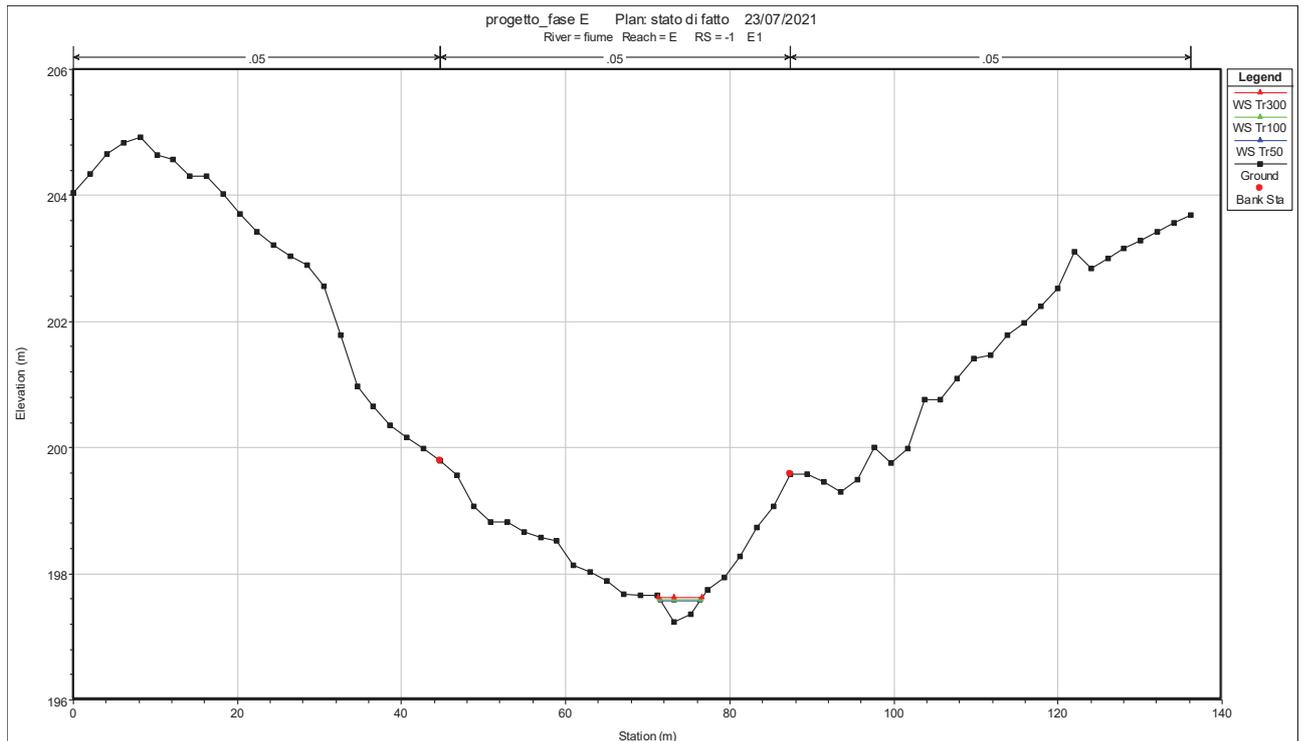


Figura 18: Sezioni trasversali impluvio D



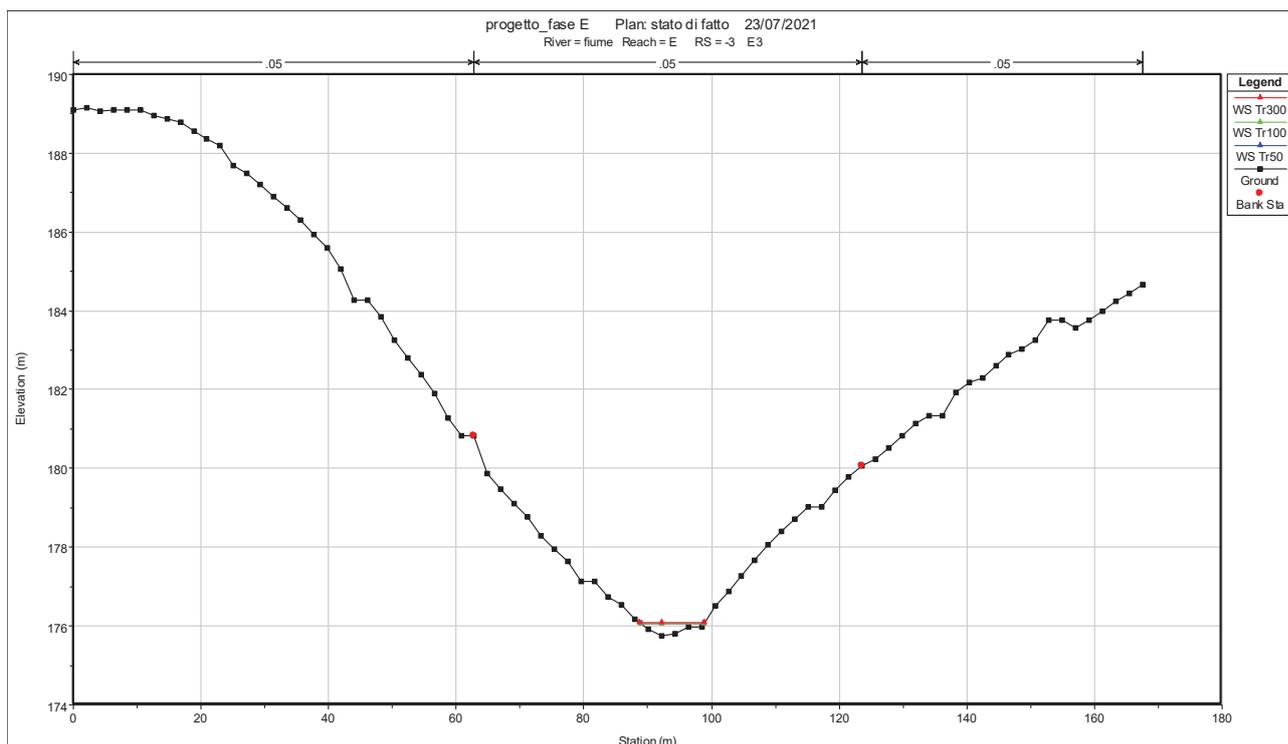


Figura 19: Sezioni trasversali impluvio E



Allegato B: Collocazione dei pozzi disperdenti

- pozzi
- fiumi
- - - canalette

layout impianto

- stringhe
- strada
- cavidotto_interno
- cavidotto_esterno
- cabine
- area_impianto
- area compensazione ambientale

