



GENNAIO 2023

DEVELOPMENT S.r.L.
IMPIANTO INTEGRATO AGRIVOLTAICO
COLLEGATO ALLA RTN
POTENZA NOMINALE 52,398 MW
LOCALITÀ "POSTA D'INNANZI"
SAN MARCO IN LAMIS (FG)

Montagna

PROGETTO **IMPIANTO**
AGRIVOLTAICO

INTEGRAZIONE: Verifica di compatibilità idrologica e idraulica

Istanza per il rilascio del Provvedimento di VIA di competenza statale, ex art. 23 del D.lgs. n. 152/2006 e ss. mm. ii.

Progettista

Ing. Laura Maria Conti n. ordine Ing. Pavia 1726

Codice elaborato

2748_5331_R011_Rev0_Studio idrologico-idraulico



Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2748_5331_R011_Rev0_Studio idrologico-idraulico	11/2022	Prima emissione	P.Cassarini/ A.Casalicchio	FL	L. Conti

Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Maria Conti	Direzione Tecnica	Ordine Ing. Pavia 1726
Corrado Pluchino	Project Manager	Ord. Ing. Milano A27174
Fabio Lassini	Ingegnere civile Idraulico	Ord. Ing. Milano 29719
Pietro Cassarini	Ingegnere civile Idraulico	
Alessandro Casalicchio	Ingegnere civile Idraulico	



INDICE

1. PREMESSA	4
2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	6
3. DATI DI RIFERIMENTO	7
3.1 LOCALIZZAZIONE.....	7
3.2 DATI TOPOGRAFICI	7
3.2.1 Modello digitale del terreno Regione Puglia 8x8	7
3.2.2 Rilievo topografico in sito GPS	8
4. CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE E CLIMATICHE	10
4.1 INQUADRAMENTO IDROLOGICO, IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO	10
4.2 INQUADRAMENTO DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL'AREA DI PROGETTO	14
4.2.1 Piano Assetto Idrologico (PAI).....	14
4.2.2 Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)	16
4.3 CARATTERISTICHE CLIMATICHE	17
5. ANALISI IDROLOGICA	19
5.1 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO	19
5.2 ANALISI PROBABILISTICA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE	20
5.3 VALUTAZIONE PIOGGIA EFFICACE (NETTA)	23
5.4 DEFINIZIONE BACINO IDROGRAFICO	25
5.5 CALCOLO PORTATE DI PROGETTO.....	27

ALLEGATI

- ALLEGATO 01 Profilo di moto permanente
- ALLEGATO 02 Planimetria aree allagamento e aree a rischio
- ALLEGATO 03 Documentazione Fotografica

1. PREMESSA

Il presente elaborato illustra i risultati di uno studio idrologico e idraulico di dettaglio, eseguito per un tratto specifico di un affluente del torrente Candelaro, sito in comune di San Marco in Lamis (FG) al confine con il comune di San Giovanni Rotondo (FG).

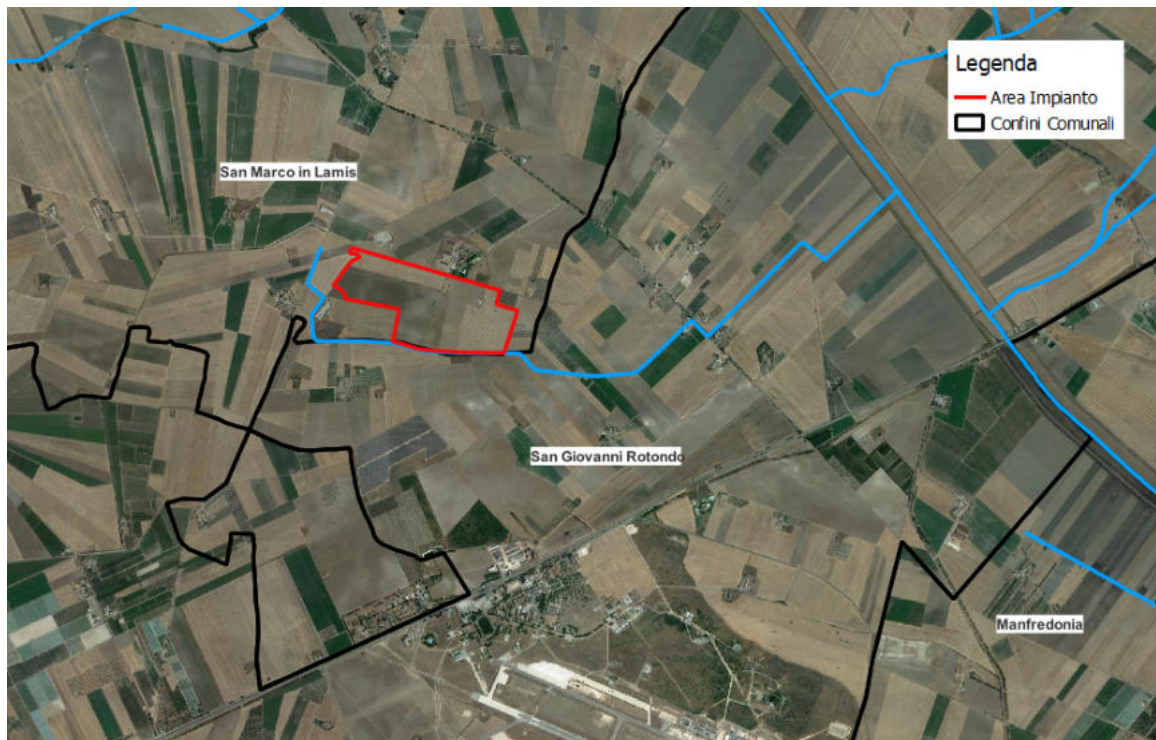


Figura 1.1: Inquadramento dell'area in esame

Lo studio riporta l'analisi idrologica atta alla definizione delle portate con tempo di ritorno 200 anni e la simulazione idraulica di moto permanente monodimensionale del corso d'acqua in analisi.

In riferimento alla nota trasmessa all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, protocollo n. 13355 del 26/10/2022, questa ha richiesto un'integrazione relativamente al procedimento "Istanza per il rilascio del Provvedimento di VIA di competenza statale, ex aer. 23 del D.lgs. n. 152/2006 e ss. mm. ii."

Per quanto esposto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, Protocollo Partenza N. 29666/2022 del 03-11-2022, in relazione all'istanza per il rilascio del Provvedimento di VIA di competenza statale della realizzazione del parco agrivoltaico della potenza nominale di 52 MW nel comune di San Marco in Lamis (FG), si richiede uno studio idrologico – idraulico al fine di individuare le aree in sicurezza idraulica secondo la definizione contenuta nell' art. 36 delle NTA del PAI.

La richiesta cita infatti che il parere finale sull'intervento in progetto potrà essere formulato solo a seguito dell'acquisizione e valutazione di tale studio, redatto ai sensi degli artt. 4, 6 e 10 delle N.T.A. del P.A.I., che dimostri la sussistenza di adeguate condizioni di sicurezza idraulica (riferite ad un evento meteorico con tempo di ritorno di 200 anni, così come definito all'art. 36 delle N.T.A. del P.A.I.) per le parti del campo fotovoltaico che ricadono entro la fascia di 150 metri dal reticolo idrografico, sulla base di un'accurata individuazione dei bacini idrografici sottesi dalle opere interessate dai deflussi e di un rilievo dei luoghi aggiornato, includendo attraversamenti ed altri manufatti interferenti con il reticolo indagato, con conseguente modellazione dei deflussi idraulici risultanti dalle caratteristiche morfologiche ed idrologiche delle aree interessate.



Tale studio è svolto secondo le Norme Tecniche di Attuazione del Piano d'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Puglia, ed è costituito da:

- analisi delle piogge, eseguita utilizzando le indicazioni riportate sul progetto Valutazione Piene (VAPI) del Gruppo Nazionali Difesa Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI);
- valutazione della durata dell'evento pluviometrico di progetto di durata pari al tempo critico del bacino idrografico oggetto di studio (tempo di corrivazione e ietogramma di progetto);
- determinazione delle portate di riferimento e dimensionamento del sistema di collettamento delle stesse;
- modellazione idraulica del corso d'acqua in oggetto con definizione delle fasce di allagamento.

La simulazione idraulica ha mostrato come l'area allagabile risulti non interferente con la recinzione e con l'impianto.



2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

I seguenti documenti sono stato utilizzati come principali riferimenti per lo studio:

- D.Lgs 152/06 e smi;
- DPCM 04/04/2018 in merito alle competenze delle Autorità di Bacino;
- Direttiva Comunitaria 2007/60/CE – Valutazione e gestione del rischio di alluvioni/ D.Lgs. 49/2010;
- Regione Puglia - Servizio Protezione Civile - Centro Funzionale Regionale. Precipitazioni medie e di massima intensità registrate nella stazione pluviometrica locale 1921-2010,
- Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Appennino Meridionale (DAM), elaborato ai sensi dell'art. 7 della direttiva 2007/60/CE e dell'art.7 comma 8 del D.Lgs. 49/2010;
- Piano Gestione Acque (PGA) del Distretto Appennino Meridionale, elaborato ai sensi dell'art. 3 della Direttiva 2000/60/CE e dell'art. 117 del D.Lgs. 152/2006;
- Territorio dell'Unità di Gestione (UoM) Puglia: Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Puglia n. 39 del 30 Novembre 2005 e successivi aggiornamenti;
- Manuale di riferimento del software HEC-RAS "U.S. Army Corps of Engineers' River Analysis System", versione 6.3.1;
- La sistemazione dei bacini idrografici, Vito Ferro, McGraw – Hill editore.

3. DATI DI RIFERIMENTO

3.1 LOCALIZZAZIONE

La richiesta di integrazione riguarda il progetto dell'impianto agrivoltaico di potenza nominale 52 MW. Il layout di progetto ricade nel comune di San Marco in Lamis, circa 17 km dal centro abitato. Le viabilità principali che permettono di raggiungere il campo sono la strada provinciale SP74 e la strada statale SS89 – Garganica.

La figura di seguito riporta il campo dell'impianto in progetto in rosso e in blu il corso d'acqua episodico, affluente del torrente Candelaro.



Figura 3.1: Inquadramento territoriale. In rosso l'area di progetto, in blu il tracciato del corso episodico (affluente del torrente Candelaro).

3.2 DATI TOPOGRAFICI

La campagna investigativa topografica e di rilievo ha interessato tutta l'area di progetto in modo completo e dettagliato.

Sono stati utilizzati i modelli digitali del terreno disponibili dalla fonte ufficiale Regione Puglia e, per una più precisa e dettagliata risoluzione, necessaria per la modellazione fluviale, è stato eseguito un rilievo ottenuto mediante GPS eseguiti nel dicembre 2022, al fine di caratterizzare con precisione i manufatti e le opere di scavalco (ponti e ingressi ai campi) interferenti con il corso d'acqua in esame.

3.2.1 Modello digitale del terreno Regione Puglia 8x8

Attraverso la fonte ufficiale Regione Puglia è stato ottenuto il modello digitale del terreno con una risoluzione spaziale 8x8 metri di tutta l'area di progetto. Il modello in questione è stato utilizzato per l'estrapolazione dei bacini scolanti che interessano l'area progetto.

3.2.2 Rilievo topografico in sito GPS

Nel mese di dicembre 2022, a seguito dell'istanza rilasciata dall'Autorità di Bacino, al fine di elaborare la modellazione fluviale di moto permanente, è stato eseguito un rilievo topografico di dettaglio. Il prodotto richiesto consiste in una tavola formato DWG riportante:

- 47 sezioni, in prossimità dei ponti e dei tratti significativi lungo il canale. La scelta delle sezioni di monte e valle del tratto di canale è stata eseguita in maniera cautelativa, sufficientemente distante dai limiti dell'area di intervento.
- Un piano quotato di tutta l'area in esame e interessata dalla modellazione idraulica di dettaglio

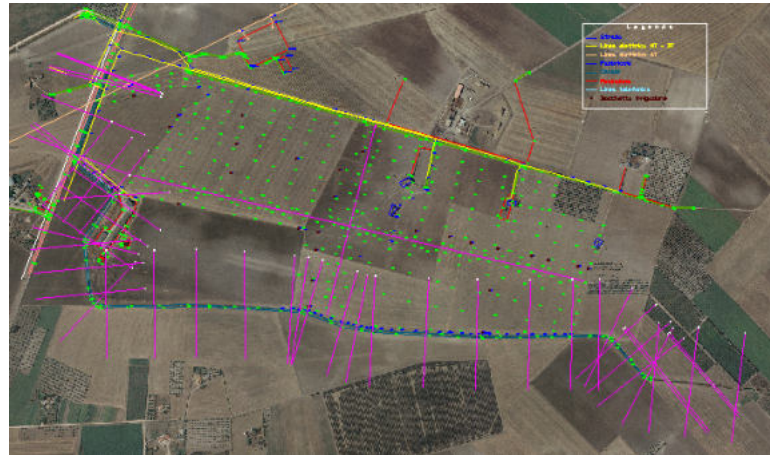


Figura 3.2: Rilievo topografico – realizzato con stazione GPS.

Il rilievo ha interessato le quote assolute e le sezioni trasversali opportunamente georeferenziate, prestando attenzione alle singolarità idrauliche (quali tubazioni, restringimenti, ponti, scatolari o sovrappassi).



Figura 3.3: Ponte interferente con il corso d'acqua in esame



Figura 3.4: Ponti interferenti con il corso d'acqua in esame – rilevati durante il rilievo di dettaglio e successivamente inseriti nella modellazione idraulica

4. CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE E CLIMATICHE

La Puglia presenta una situazione idrologico-ambientale caratterizzata da scarsa disponibilità idrica superficiale avente distribuzione molto differenziata sul territorio. L'area in analisi risulta a carattere torrentizio e come gran parte del resto del territorio pugliese si caratterizza per un esteso sviluppo di solchi erosivi naturali in cui vengono convogliate le acque in occasione di eventi meteorici intensi, a volte compresi in ampie aree endoreiche aventi come recapito finale la falda circolante negli acquiferi carsici profondi.

L'area di interesse ricade nel bacino del Torrente Candelaro, appartenente ai 'Fiumi Settentrionali' della regione pugliese.

4.1 INQUADRAMENTO IDROLOGICO, IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO

L'area interessata dal progetto è posta a valle dell'immissione del torrente Celone nel Candelaro, in destra idraulica di quest'ultimo.

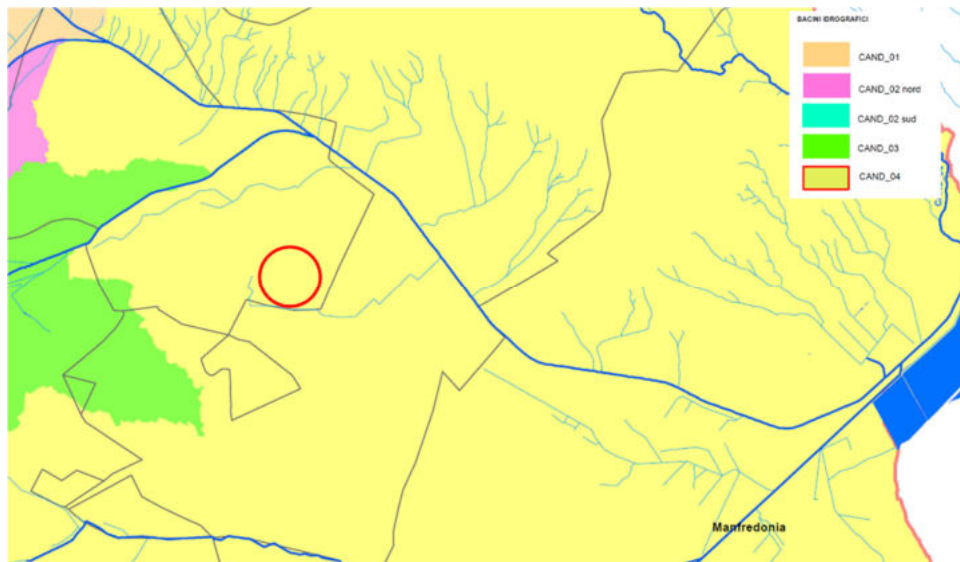


Figura 4.1: Stralcio carta dei corsi d'acqua ricadenti nel bacino del T. Candelaro con area contribuyente uguale o maggiore di 25 kmq (Relazione Candelaro, allegato 2.1). In rosso l'area di progetto.

Il torrente Candelaro si estende per una lunghezza di circa 67 km da nord ovest a sud est, ai piedi del Gargano e presenta un 'andamento irregolare. Il suo bacino idrografico copre una superficie di 2000 kmq con un versante sinistro poco sviluppato al contrario del versante destro che è attraversato da numerosi affluenti come il T. Celone, il T. Sasola ed il T. Triolo. Quest'ultimo è alimentato dal deflusso di numerosi reticoli, tra i maggiori vi ritroviamo i canali Venolo, Ferrane, S. Maria e Pontesano.



Figura 4.2: Canale oggetto di studio

La Figura 4.3 presenta uno stralcio della Carta idrogeomorfologica della Regione Puglia dove si mostra a scala di bacino la tipologia dei depositi e note di dettaglio in merito all'idrografia e alla morfologia.

Le unità presenti nel sito di interesse risultano essere le seguenti: principalmente, l'area del sito interessa un'unità a prevalente componente siltoso-sabbioso e/o arenitica; il territorio nella parte più a nord dell'area di interesse risulta essere invece suolo composto da depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa.

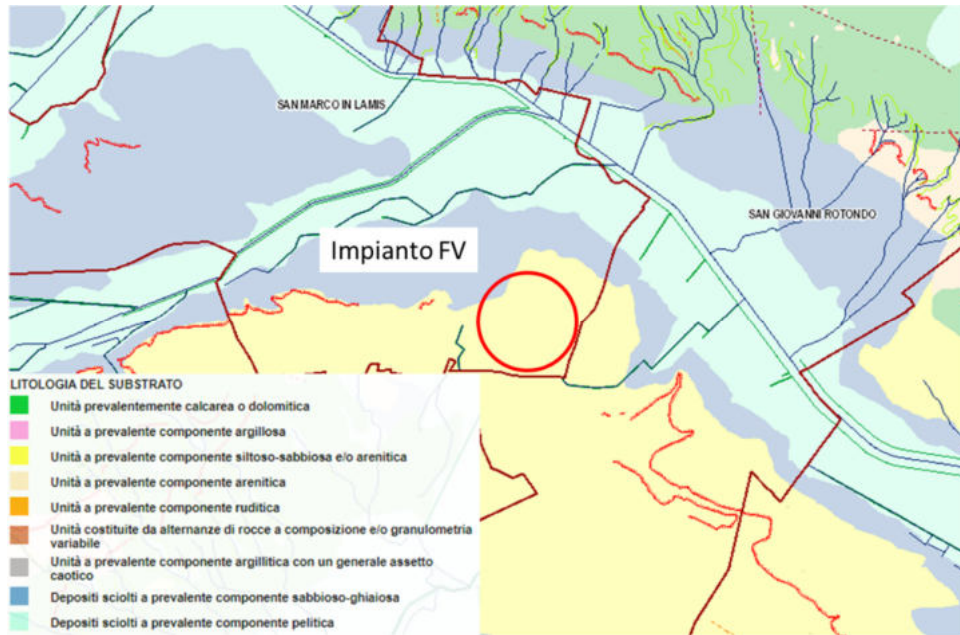


Figura 4.3: Stralcio carta idrogeomorfologica della Regione Puglia (modificata).

L'area in questione idrograficamente appartiene al bacino del Candelaro.

Il territorio pugliese è suddivisibile nei seguenti ambiti territoriali omogenei:

- Gargano;
- Fiumi Settentrionali (**Candelaro**, Cervaro e Carapelle);
- Ofanto;
- Bari e Brindisi;
- Arco Ionico;
- Salento.

L'ambito territoriale dei Fiumi Settentrionali è caratterizzato dalla presenza di corsi d'acqua che sottendono bacini di alimentazione di rilevante estensione, dell'ordine di alcune migliaia di km², che comprendono settori altimetrici di territorio che variano da quello montuoso a quello di pianura. I corsi d'acqua principali sono rappresentati dal Candelaro, Cervaro e Carapelle.

Il torrente Candelaro è un fiume della provincia di Foggia, lungo circa 70 km, utilizzato per l'irrigazione dei campi. A causa dell'utilizzo dell'acqua del fiume per scopi irrigui, le portate hanno subito nel corso degli anni una diminuzione repentina. Tra gli affluenti vi sono il canale Radicosa, il torrente Triolo, il torrente Salsola e il torrente Celone.

I Fiumi Settentrionali sottendono bacini di elevata estensione che comprendono settori altimetrici del territorio che variano da quello montano a quello di pianura. Le aree del Tavoliere, ove le pendenze si riducono notevolmente, sono quelle maggiormente interessate dai fenomeni di allagamento legati principalmente al sormonto delle strutture arginali lungo i principali corsi d'acqua sino alla foce, all'insufficienza degli attraversamenti idraulici, le cui luci possono risultare ostruite da vegetazione o materiale trasportato dalla corrente e all'insufficienza delle sezioni al contenimento delle portate idrologiche.

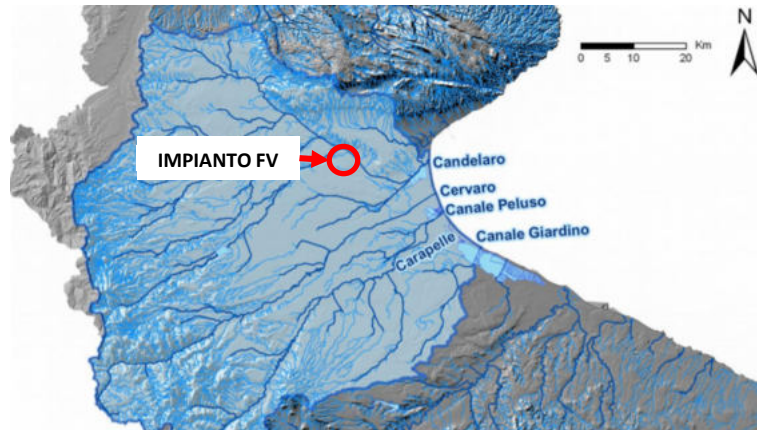


Figura 4.4: Corpi idrici superficiali (Relazione PGRA - AdB Puglia) ed ubicazione area di progetto.



Figura 4.5: Definizione bacini principali. L'area di studio (in rosso) ricade all'interno del bacino del Candelaro.

L'area di studio, idrograficamente, ricade nel bacino del Candelaro. Nel paragrafo 5.5, in maniera più dettagliata, verrà identificato il sotto-bacino e gli apporti idrologici del canale in analisi, al fine di identificare le portate critiche in funzione del tempo di ritorno.



4.2 INQUADRAMENTO DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL'AREA DI PROGETTO

Il comune di San Marco in Lamis appartiene all'unità di gestione (UoM) del Bacino Regionale Puglia e Interregionale Ofanto (ITR1661020) del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (DAM).

Con D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. sono state soppresse le Autorità di Bacino di cui alla ex L.183/89 e istituite, in ciascun distretto idrografico, le Autorità di Bacino Distrettuali. Ai sensi dell'art. 64, comma 1, del suddetto D.lgs. 152/2006, come modificato dall'art. 51, comma 5 della Legge 221/2015, il territorio nazionale è stato ripartito in 7 distretti idrografici tra i quali quello dell'Appennino Meridionale, comprendente i bacini idrografici nazionali Liri-Garigliano e Volturno, i bacini interregionali Sele, Sinni e Noce, Bradano, Saccione, Fortore e Biferno, Ofanto, Lao, Trigno ed i bacini regionali della Campania, della **Puglia**, della Basilicata, della Calabria, del Molise.

Le Autorità di Bacino Distrettuali, dalla data di entrata in vigore del D.M. n. 294/2016, a seguito della soppressione delle Autorità di Bacino Nazionali, Interregionali e Regionali, esercitano le funzioni e i compiti in materia di difesa del suolo, tutela delle acque e gestione delle risorse idriche previsti in capo alle stesse dalla normativa vigente nonché ogni altra funzione attribuita dalla legge o dai regolamenti. Con il DPCM del 4 aprile 2018 (pubblicato su G.U. n. 135 del 13/06/2018) - emanato ai sensi dell'art. 63, c. 4 del decreto legislativo n. 152/2006 - è stata infine data definitiva operatività al processo di riordino delle funzioni in materia di difesa del suolo e di tutela delle acque avviato con Legge 221/2015 e con D.M. 294/2016.

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, in base alle norme vigenti, ha fatto proprie le attività di pianificazione e programmazione a scala di Bacino e di Distretto idrografico relative alla difesa, tutela, uso e gestione sostenibile delle risorse suolo e acqua, alla salvaguardia degli aspetti ambientali svolte dalle ex Autorità di Bacino Nazionali, Regionali, Interregionali in base al disposto della ex legge 183/89 e concorre, pertanto, alla difesa, alla tutela e al risanamento del suolo e del sottosuolo, alla tutela quali-quantitativa della risorsa idrica, alla mitigazione del rischio idrogeologico, alla lotta alla desertificazione, alla tutela della fascia costiera ed al risanamento del litorale (in riferimento agli articoli 53, 54 e 65 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i.).

La pianificazione di bacino fino ad oggi svolta dalle ex Autorità di Bacino ripresa ed integrata dall'Autorità di Distretto, costituisce riferimento per la programmazione di azioni condivise e partecipate in ambito di governo del territorio a scala di bacino e di distretto idrografico.

4.2.1 Piano Assetto Idrologico (PAI)

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia (PAI) è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologica necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

Il PAI costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Il PAI trova applicazione nei territori su cui ha competenza l'Autorità di Bacino della Puglia, definiti secondo le indicazioni contenute nella Legge 183/89 e nelle delibere del Consiglio regionale n. 109 del 18 dicembre 1991 e n. 110 del 18 dicembre 1991 in cui si stabilisce apposita intesa con le Regioni Basilicata e Campania per il governo sul bacino idrografico interregionale del fiume Ofanto e dalla Legge Regionale n. 12 del 20/04/2001 riguardante l'intesa raggiunta tra le Regioni Abruzzo, Campania,

Molise e Puglia per l'istituzione dell'Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore.

L'assetto idrogeologico comprende:

- a) l'assetto idraulico riguardante le **aree a pericolosità e a rischio idraulico**;
- b) l'assetto dei versanti riguardante le aree a pericolosità e a rischio di frana.

4.2.1.1 Classi di Pericolosità idraulica

Il PAI individua e perimetra a scala di bacino le aree inondabili per eventi con tempo di ritorno assegnato e le classifica in base al livello di pericolosità idraulica.

Si individuano le seguenti tre classi di aree a diversa pericolosità idraulica:

1) per le aree studiate su base idraulica:

- a) **Aree a pericolosità idraulica alta (AP)**: aree inondabili per tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni;
- b) **Aree a pericolosità idraulica moderata (MP)**: aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 30 e minore o uguale a 200 anni;
- c) **Aree a pericolosità idraulica bassa (BP)**: aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 200 e minore o uguale a 500 anni.

L'elenco degli interventi consentiti in corrispondenza delle aree di pericolosità idraulica si riporta negli artt. 7,8 e 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI Regione Puglia.

L'area di progetto non interessa zone caratterizzate da pericolosità idraulica, come riportato in Figura 4.6.

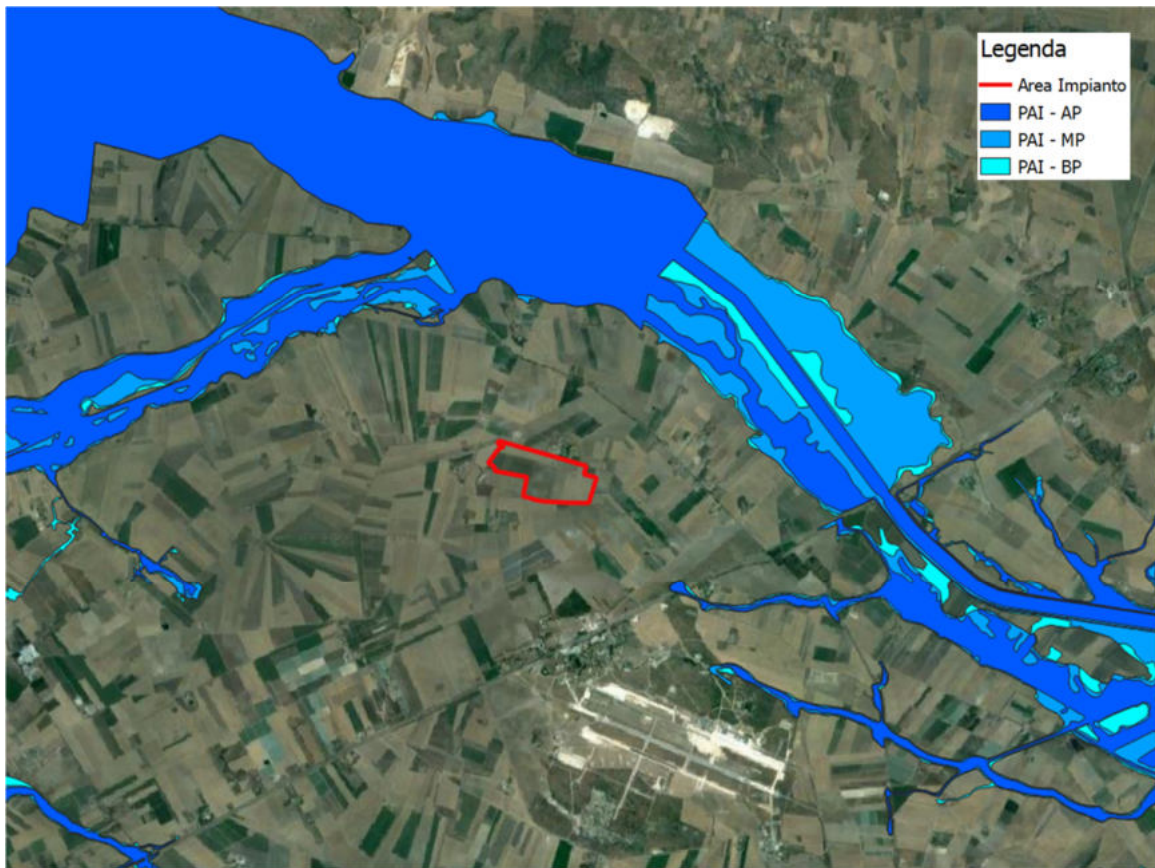




Figura 4.6: stralcio assetto idrologico (PAI) Puglia/Ofanto UoM ITR161I020

4.2.2 Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)

Il Piano di Gestione del rischio alluvioni (PGRA) è lo strumento di riferimento nella pianificazione in ambito distrettuale della strategia per la gestione del rischio da alluvioni. In considerazione dell'art.7 co.6 lett. a) e b) del D.Lgs. 49/2010, gli Enti territorialmente interessati sono tenuti a conformarsi alle disposizioni del PGRA rispettandone le prescrizioni nel settore urbanistico, ai sensi dei commi 4 e 6 dell'articolo 65 del decreto legislativo n. 152 del 2006 e predisponendo o adeguando, nella loro veste di organi di protezione civile, per quanto di competenza, i piani urgenti di emergenza di cui all'articolo 67, comma 5, del decreto legislativo n. 152 del 2006, facendo salvi i piani urgenti di emergenza già predisposti ai sensi dell'articolo 1, comma 4, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, convertito, con modificazioni, dalla legge 3 agosto 1998, n. 267. Si specifica, inoltre, che dalla data di pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale e sul Bollettini Regionali, negli ambiti perimetrati dalle mappe del PGRA e non ricompresi nei P AI, vigono misure di salvaguardia, le quali decadono con l'adozione del Decreto Segretariale di aggiornamento dei relativi PAI e, comunque, non oltre novanta giorni dalla data di pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale e sui Bollettini Ufficiali delle Regioni della delibera di adozione di tali misure di salvaguardia da parte della Conferenza Istituzionale permanente.

La perimetrazione delle aree allagabili rispetto tre diversi livelli di pericolosità è disponibile sul geoportale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

4.2.2.1 Definizione degli scenari di probabilità nel Distretto

La definizione degli scenari di probabilità nel Distretto dell'Appennino Meridionale partendo dalle indicazioni fornite dal D.Lgs. 49/2010 tiene conto innanzitutto dell'origine dell'alluvione (fluviale, pluviale, marina da elevato trasporto solido). Per le alluvioni di origine fluviale i tempi di ritorno utilizzati nelle modellazioni sono i seguenti:

- a) **Aree ad alta pericolosità (HPH):** aree inondabili per tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni;
- b) **Aree a media pericolosità (MPH):** aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore o uguale a 200 anni;
- c) **Aree a bassa pericolosità (LPH):** aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 200 anni e minore o uguale a 500 anni.

Come di seguito mostrato, l'area di impianto non interferisce con aree a pericolosità idraulica mappate nel PGRA.

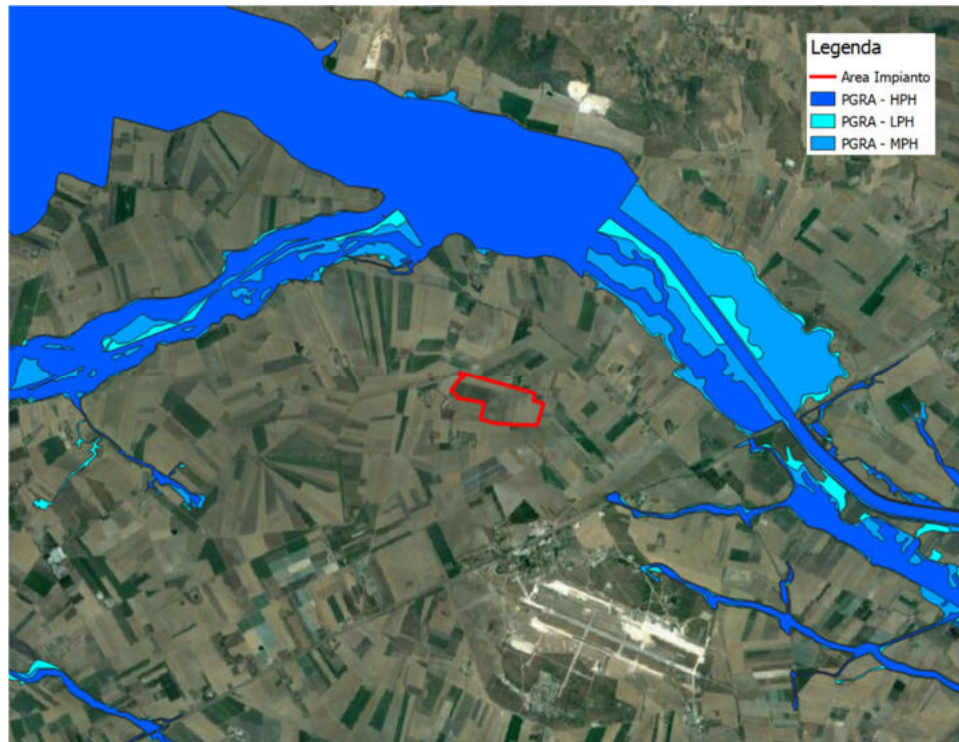


Figura 4.7: stralcio PGRA 2021 – Estensione dell'area allagabile associata a tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

4.3 CARATTERISTICHE CLIMATICHE

All'interno della Relazione di piano del PAI è descritto come la regione Puglia sia "caratterizzata da un clima tipicamente mediterraneo, con inverno mite e poco piovoso e stagione estiva calda e secca.

I mesi estivi sono caratterizzati da siccità dovuta alle masse d'aria calda e secca tropicale che dominano sul bacino del Mediterraneo.

I mesi invernali e autunnali presentano frequente nuvolosità e piogge relativamente abbondanti, recate in genere da venti sciroccali, avvicendate con periodi sereni e piuttosto freddi provocati da venti settentrionali e di Nord Est.

I giorni piovosi sono scarsi: il loro numero è compreso tra 60 e 80. Annualmente la regione riceve in media poco più di 600 mm di pioggia; la maggiore piovosità si osserva sul Gargano con 1.100-1.200 mm totali annui, interessato da piogge di tipo orografico a cui si aggiungono quelle d'origine frontale legate al ciclo genesi del Mediterraneo orientale.

La minore piovosità si osserva sul Tavoliere, con valori totali annui al di sotto dei 450 mm ed in una ristretta fascia costiera intorno a Taranto. Nel Subappennino Dauno si avvicina a 900 mm annui e la maggior parte delle aree pianeggianti ha meno di 700 mm annui. In tutta la regione, le precipitazioni si concentrano per oltre il 60% nei mesi autunno-invernali, con massimi nel Salento dove raggiungono l'80%.

Il ciclo annuo mostra un solo massimo di piovosità ben distinto in novembre o in dicembre, mentre il minimo quasi sempre ricade in luglio per tutta la regione.

La stagione estiva è caratterizzata da una generale aridità su tutto il territorio: infatti, ad eccezione del Gargano e del Subappennino dove si hanno precipitazioni di poco superiori a 50 mm, i valori sono inferiori a 30 mm; in alcuni anni i mesi estivi sono stati del tutto privi di pioggia. Succede, tuttavia, che

non siano infrequenti i brevi ed intensi rovesci estivi con punte 30-50 mm in pochi minuti. Elevata è, infine, la variabilità inter-annuale delle piogge: si può passare in una qualunque stazione dai 300 mm di un anno ai 900-1.000 mm dell'anno seguente, come è accaduto a Bari nel 1913 (371 mm) e nel 1915 (1.095 mm).” (Fonte Autorità di Bacino della Puglia - Dicembre 2004 – RELAZIONE DI PIANO)

Dal sito della Protezione Civile, <http://www.protezionecivile.puglia.it>, è possibile scaricare i dati di interesse meteorologico e idrologico. Il dataset fornito è articolato in 127 record, uno per stazione di monitoraggio presente sul territorio pugliese.

Il regime pluviometrico regionale evidenzia che quello della Puglia centrale, dopo quello del Tavoliere di Foggia, risulta il clima più arido; dai 450 mm annui di acqua intorno a Taranto si arriva fino ai 600-700 mm nella parte più alta della Murgia, per poi riscendere a circa 550 mm intorno a Bari. Caratteristica per la Puglia è la distribuzione non ideale delle piogge che prevalentemente avvengono nel semestre settembre-marzo, creando spesso situazioni di intensa e prolungata siccità nel restante periodo dell'anno. Frequente, anche se in modo irregolare, soprattutto nel periodo estivo, è il fenomeno della grandine che risulta molto dannoso per il mondo agricolo e forestale, in particolare sulle fasce costiere.

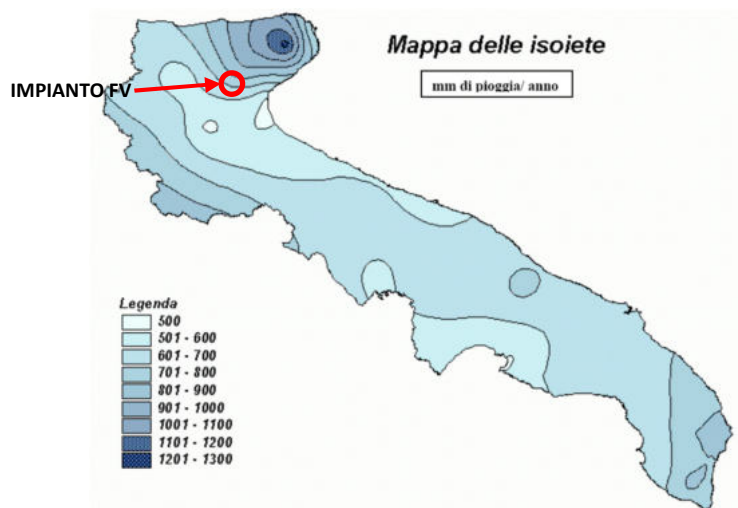


Figura 4.8: Mappa delle isoiete della Regione Puglia.



5. ANALISI IDROLOGICA

5.1 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO

L'evento di pioggia di progetto alla base dei calcoli idrologici e della simulazione/dimensionamento idraulico è scelto in base al concetto di tempo di ritorno.

Il periodo di ritorno di un evento, definito anche come "tempo di ritorno", è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

Oltre al concetto di tempo di ritorno vi è poi la probabilità che un evento con tempo di ritorno T si realizzi in N anni:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

Il grafico riportato di seguito esprime il rischio di superare l'evento con tempo di ritorno T durante N anni.

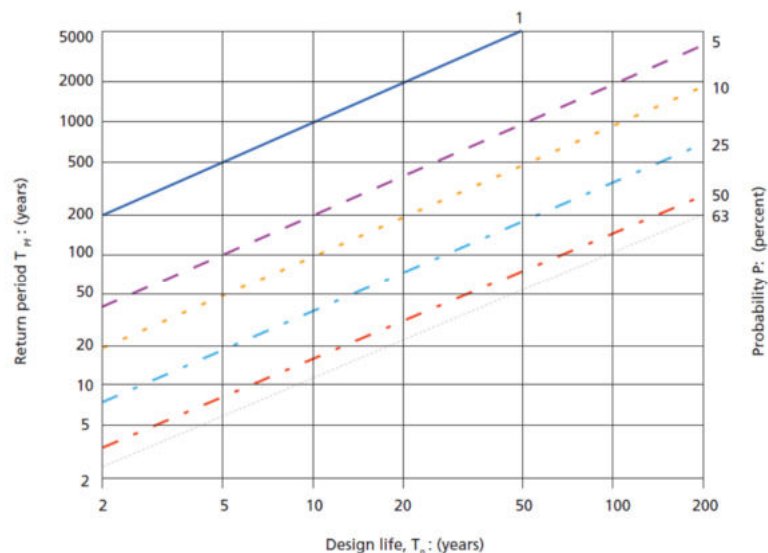


Figura 5.1: Probabilità che un evento con determinate Tempo di ritorno si verifichi in N anni.

Oggetto di studio è la stima delle condizioni di sicurezza idraulica, come definite dall'art. 36 del PAI, per possibili esondazioni del corso d'acqua episodico affluente del Canale Santa Maria, che si sviluppa nel corridoio morfologico che separa i sottocampi 1 e 2 (in sinistra idraulica) e i sottocampi da 3 a 6 (in destra idraulica), a seguito di eventi meteorici aventi tempi di ritorno di 200 anni, e per i quali valgono le disposizioni di cui gli artt. 6 e 10 dalle Norme Tecniche di Attuazione del PAI.

Il tempo di ritorno per il calcolo della precipitazione di progetto è stato assunto pari a **200 anni**.

5.2 ANALISI PROBABILISTICA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE

Per l'applicazione del metodo dell'invaso lineare, impiegato nella stima delle portate meteoriche superficiali è stato necessario determinare la curva di possibilità climatica caratteristica dell'area oggetto di intervento.

Secondo quanto previsto dalla "Relazione di Piano (dic. 2004) – AdB" lo studio idrologico a livello di bacino per la determinazione delle portate attese con diversi tempi di ritorno è da condurre in conformità a quanto previsto dal progetto Valutazione Piene (VaPi) del Gruppo Nazionali di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCl) e deve in ogni caso tener conto dei dati raccolti dagli Uffici periferici dell'ex Servizio Mareografico e Idrografico Nazionale e da eventuali elaborazioni dei dati prodotti dagli stessi Uffici.

L'analisi pluviometrica è stata svolta sulla base dell'Analisi regionale delle piogge massime annuali di durata compresa tra 1 ora e 24 ore. Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987) in cui per l'individuazione delle regioni omogenee di primo e secondo livello è stato fatto ricorso a generazioni sintetiche Montecarlo in grado di riprodurre la struttura correlativa delle serie osservate (Gabriele e Liritano, 1994).

Il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia dal punto di vista dell'approccio pluviometrico, sulla base dei risultati ottenuti è stato pertanto suddiviso in 6 aree pluviometriche omogenee, per ognuna delle quali è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica.

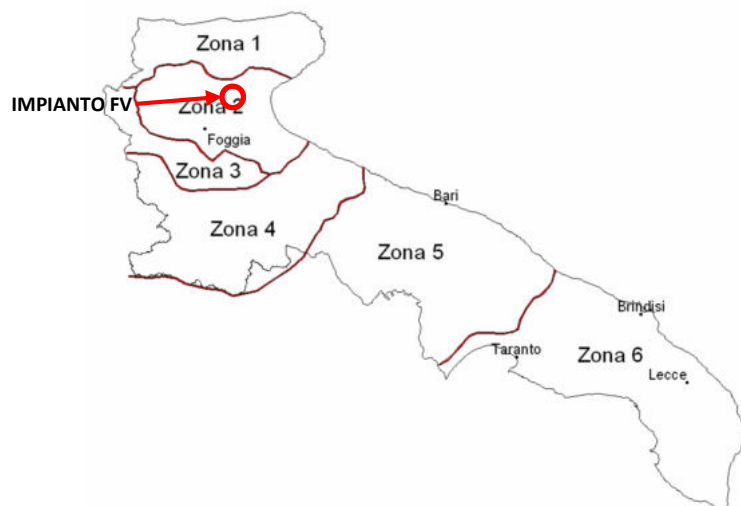
L'area in cui ricade l'intervento in oggetto è nella sottozona omogenea 2 della Puglia settentrionale, da cui risulta la seguente equazione determinante la CPP:

$$h(t, z) = 22,23 T_c^{0,247}$$

Dove:

$h(t, z)$ = Altezza della pioggia (mm) per fissata durata t e quota z ;

T_c = durata dell'evento pluviale (ore).



La Curva di Possibilità pluviometrica permette di stimare le altezze di precipitazione relative ad eventi pluviali con durate superiori ad 1h, in quanto i parametri di tale equazione vengono ottenuti mediante l'analisi di eventi pluviometrici di lunga durata ($t > 60$ minuti). Nel caso di eventi brevi ($t < 60$ minuti) è possibile stimare le altezze di precipitazione mediante la legge di Bell:



$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^s$$

Dove:

$h_{60,T}$ = Altezza di precipitazione (mm) con durata pari a 60 min e fissato T;

s = coefficiente dipendente dalla regione in esame, per la Puglia assunto pari a 0,227.

A tali altezze di precipitazione vanno applicati inoltre coefficienti moltiplicativi relativamente al Fattore di Crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al Fattore di Riduzione Areale K_A (funzione della superficie del bacino espressa in kmq, e della durata dell'evento di progetto espressa in ore).

Per le zone 1-2-3-4 (Puglia Settentrionale):

$$K_T = 0,5648 + 0,415 \ln T$$

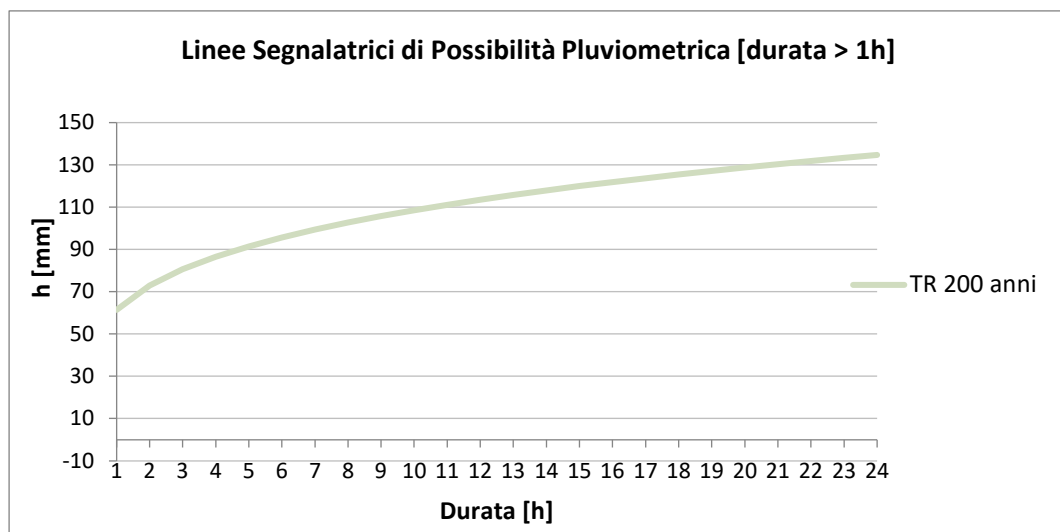
dove T è il Tempo di Ritorno di progetto considerato.

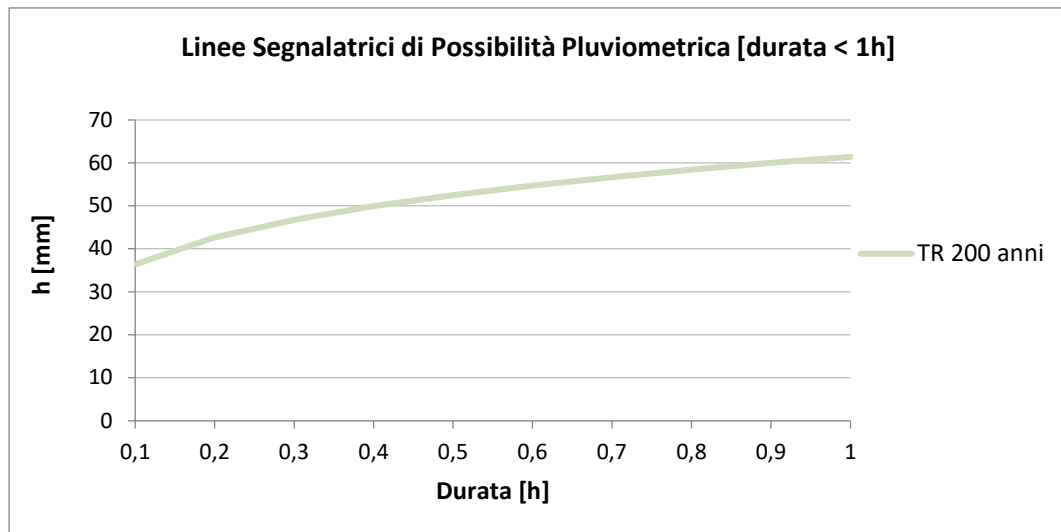
Nel caso in cui si debba condurre uno studio idrologico in un'area estesa, la precipitazione deve essere ragguagliata alla superficie del bacino idrografico considerato per tener conto del fatto che la precipitazione, calcolata come descritto in precedenza, è un valore puntuale e quindi va opportunamente ridotta di un valore (Fattore di Riduzione Areale) che dipende dall'estensione dell'area studiata e dalla durata dell'evento. Per quanto concerne il Fattore di Riduzione Areale K_A :

$$K_A = 1 - (1 - e^{-0.0021A}) \cdot e^{-0.53d^{0.25}}$$

Tale fattore di correzione è stato trascurato nel contesto di progetto in quanto i bacini idrografici di riferimento risultano di estensione limitata.

Di seguito si riportano le Curve di Possibilità pluviometrica distinte per eventi pluviali di durata superiore o inferiore ad 1h e per tempo di ritorno 200 anni.





Nella tabella seguente si riportano inoltre, per diverse durate (0,5 -24 h), i valori delle altezze di precipitazione $h_T(t)$ espresse in mm, con tempo di ritorno fissato a 200 anni.

*Tabella 5-1: Altezza di pioggia per le diverse durate*

DURATA EVENTO CRITICO [h]	ALTEZZA PIOGGIA CRITICA PER TR 200 ANNI [mm]
0,5	52
1	61
2	73
3	81
4	87
5	91
6	96
7	99
8	103
9	106
10	108
11	111
12	113
13	116
14	118
15	120
16	122
17	124
18	125
19	127
20	129
21	130
22	132
23	133
24	135

5.3 VALUTAZIONE PIOGGIA EFFICACE (NETTA)

La determinazione della pioggia efficace ovvero della porzione di volume della precipitazione che contribuisce effettivamente alla formazione dell'onda di piena è stata eseguita applicando il "metodo percentuale" ϕ .

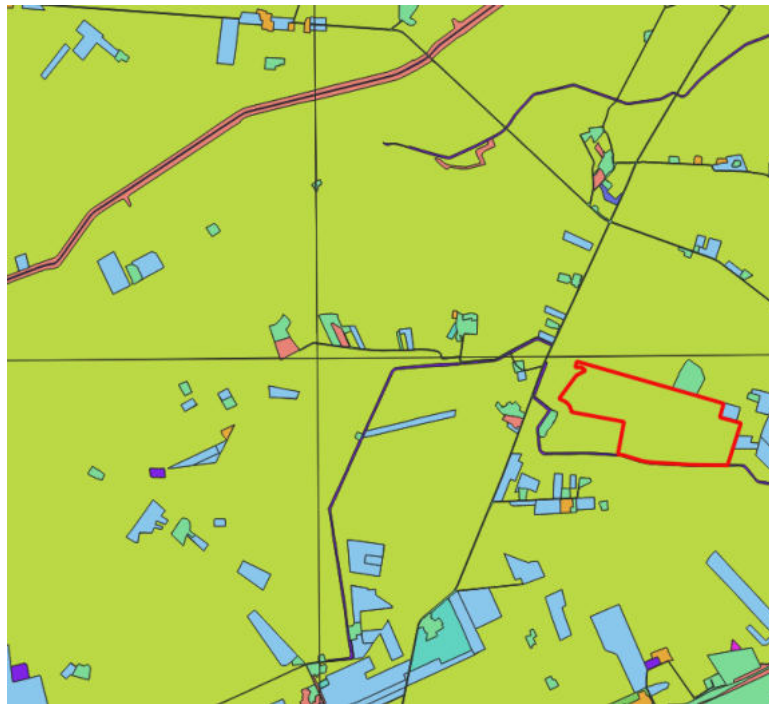
Questo metodo ipotizza che le perdite costituiscano una percentuale costante della quantità di pioggia durante l'evento.

Si considera il coefficiente di deflusso ϕ , caratteristico dell'evento nella sua totalità, come rapporto tra il volume di precipitazione netta (P_{netta}) ed il volume di precipitazione totale (P):

$$\phi = \frac{P_{netta}}{P}$$

Al fine di ottenere lo ietogramma di pioggia netta, la pioggia sintetica “di progetto” viene moltiplicata per il parametro ϕ , ammettendosi così che i fenomeni di infiltrazione e perdita idrica siano costanti durante tutta la durata dell’evento piovoso.

L’area dei bacini idrografici in analisi si sviluppa su aree prevalentemente seminative di tipo semplice ed il terreno in esame, secondo l’analisi dell’Autorità di Bacino della Puglia, aggiornata al 2013, riguardo la stima del Curve Number (CN) e della capacità di assorbimento delle diverse unità geolitologiche della regione (metodo SCS-CN), ricade nella categoria di permeabilità di tipo B. Valutando precisamente, per ciascun bacino idrografico, la distribuzione areale della tipologia di uso del suolo e dei valori di CN, il valore finale del CN è stato assunto variabile tra 75 e 78.



*Figura 5.2: Stralcio carta uso del suolo (Fonte: Regione Puglia).
In rosso l’area di progetto.*

Si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all'atto della piena. Lo stato di imbibimento viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena.

A seconda di tale valore, vengono identificate le tre classi AMC I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

Nell’ipotesi di ACM III il CN corrispondente risulta variabile tra 89 e 88.

Nella figura di seguito si riporta il grafico di correlazione CN-SCS/coefficiente di deflusso.

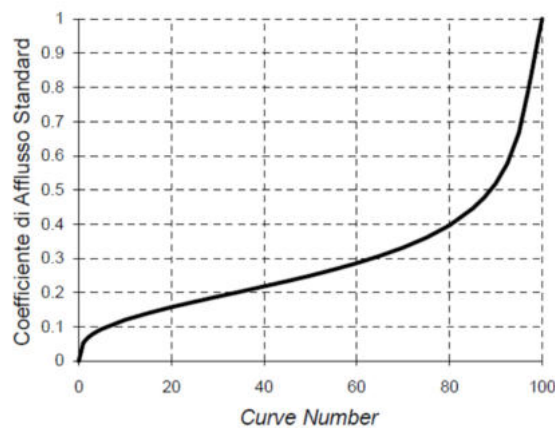


Figura 5.3: Correlazione da letteratura SCS-CN vs. coeff. afflusso/deflusso.

In virtù delle proprietà del terreno esistente, il parametro ϕ è stato quindi assunto variabile tra 0,48 e 0,51.

5.4 DEFINIZIONE BACINO IDROGRAFICO

Nel presente paragrafo si identifica l'area scolante e le principali caratteristiche sulla base delle quali calcolare le portate idrologiche di riferimento.

È stata eseguita una simulazione del modello digitale del terreno disponibile con lo scopo di identificare le principali informazioni morfologiche ed idrologiche a scala di bacino (pendenze e isoipse, delimitazione del bacino idrografico, rete principale e secondaria).

La simulazione è stata condotta mediante algoritmi TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models – Utah State University) e successivamente rielaborata in ambiente GIS.

Attraverso il modello digitale del terreno della Regione Puglia di risoluzione 8x8, è stato rilevato il bacino del corso episodico in analisi. Lo studio della topografia del territorio è stato poi approfondito con un rilievo GPS di dettaglio.

Le informazioni provenienti dall'analisi topografica del modello digitale del terreno e dal rilievo di dettaglio sono state integrate con alcune valutazioni effettuate sul campo.

I risultati ottenuti dallo studio dell'area di interesse conducono a definire i seguenti apporti idrologici al corso d'acqua in esame:

- Apporto 1: il corso d'acqua risulta ricevere una portata in testa proveniente da un tombino circolare in calcestruzzo di diametro DN=2.00 m che, a sua volta, riceve acqua da un canale irriguo che funge da gronda e che scorre in direzione sud/ovest– nord/est. Ne consegue, che la portata immessa nel corso d'acqua in esame risulta "modulata" dalla capacità di smaltimento di tale manufatto;



Figura 5.4: Tombino DN 2000 a monte del corso d'acqua in esame

- Apporto 2: la strada provinciale SP74 funge da barriera per l'acqua proveniente da est: l'apporto al corso d'acqua in esame dato dall'area interclusa tra il canale irriguo di "gronda" e la strada SP74 è veicolato da un tombino, stimato essere circolare DN=1.00 m. Ne consegue, che la portata immessa nel corso d'acqua in esame risulta "modulata" dalla capacità di smaltimento di tale manufatto;

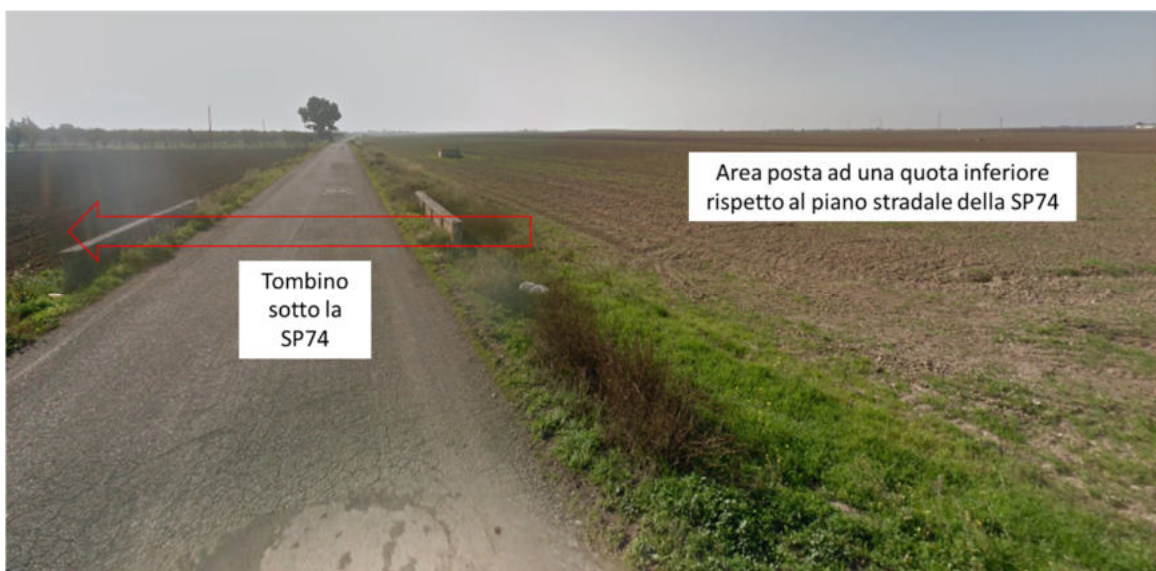


Figura 5.5: Tombino sotto la strada provinciale SP74

- Apporto 3: bacino naturale con sezione di chiusura a valle dell'area del campo fotovoltaico

Si riporta di seguito uno schema esplicativo degli apporti considerati nello schema idrologico – idraulico del presente studio:

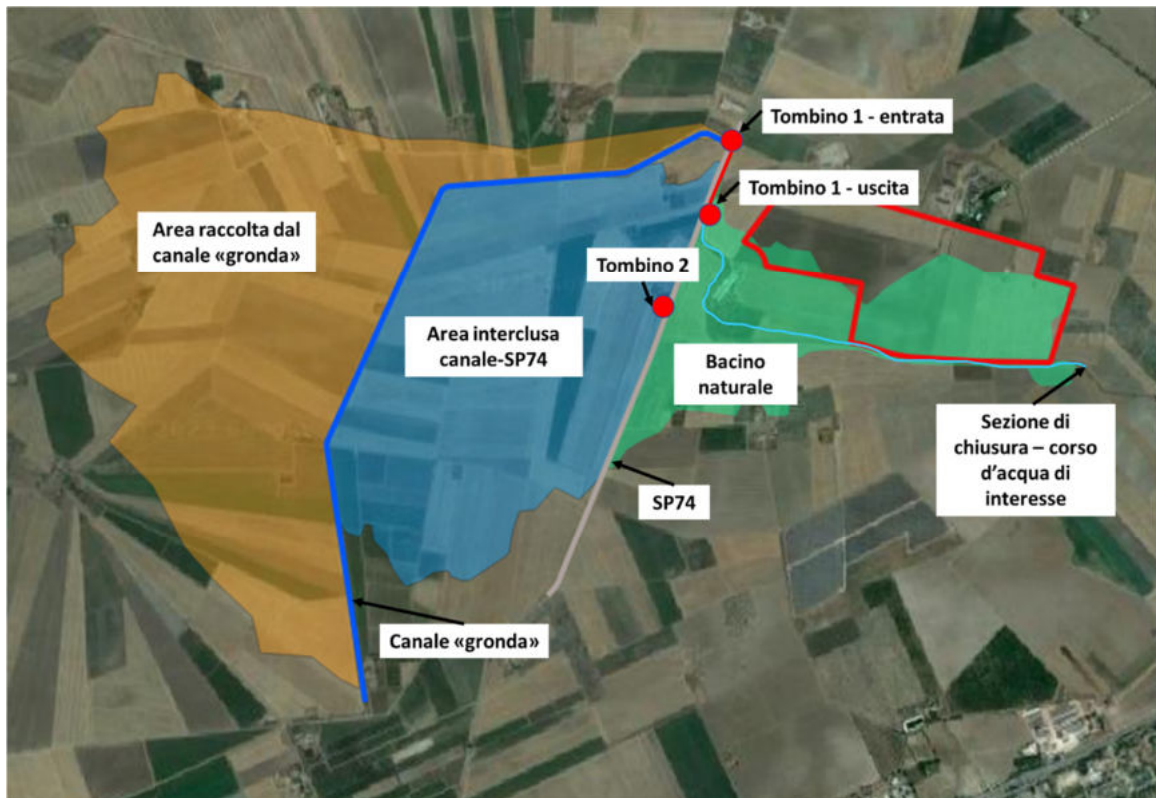


Figura 5.6: Schema idrologico – idraulico per lo studio del corso d’acqua in esame

5.5 CALCOLO PORTATE DI PROGETTO

Si riporta di seguito il calcolo di ciascun apporto al corso d’acqua in esame.

La portata relativa al Tombino 1 è stata calcolata considerando un funzionamento a battente dato da un carico h d’acqua pari all’altezza della sezione del canale a monte dell’ingresso del manufatto, valutato rispetto al baricentro della sezione del manufatto. Si precisa che al fine di ottenere una valutazione precisa della geometria del canale in corrispondenza dell’imbocco del tombino è stato condotto un rilievo di dettaglio specifico.

La portata è stata quindi calcolata adottando la seguente formulazione:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

dove A è l’area della sezione e μ è il coefficiente di contrazione, pari a 0.61.

Considerando un carico massimo instaurabile a monte della luce pari a 1.10 m (come risultante dal rilievo), la portata immessa in testa al corso d’acqua in esame (apporto 1) risulta essere pari a 8.90 mc/s.

La portata immessa nel corso d’acqua in esame relativa, invece, al Tombino 2 (in attraversamento della strada provinciale SP74) è stata calcolata considerando il passaggio di una portata corrispondente ad un grado di riempimento del manufatto pari a 80%.

Si riporta di seguito il calcolo della portata risultante:



Tabella 5-2: Portata Tombino 2 – SP74

D [m]	% Riempimento	i [m/m]	Ks	Q [m3/s]
1	80%	0.001	80	0.77

La portata relativa all'apporto del bacino naturale e valutata alla sezione di chiusura posta a valle dell'area di impianto è stata calcolata, invece, usando la formula razionale.

Per calcolare la portata di scolo dal bacino imbrifero, si è determinato l'evento critico, cioè l'evento meteorico che produce la massima portata al colmo (portata critica). A tal fine si è adottato il modello cinematico (o della corrivazione).

Ipotizzando che la precipitazione sia a intensità costante e che la curva tempi aree del bacino sia lineare, la durata critica coincide con il tempo di corrivazione del bacino e la portata critica (portata di progetto) è data dall'espressione:

$$Q_p = \phi \cdot \frac{i(T_0, t_c) \cdot A}{360}$$

Dove:

Q_p = portata critica (netta) [m³/s];

ϕ = coefficiente di deflusso, mediante il quale si tiene conto delle perdite per infiltrazione e detenzione superficiale [adimensionale];

$i(T_0, t_c)$ = intensità media della precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino (t_c - min) ed avente un tempo di ritorno (T - anni) [mm/h];

A = superficie del bacino [ha].

Il valore del tempo di corrivazione è stato calcolato come somma del tempo di entrata in rete più il tempo di rete. Il tempo di ritorno per questa modellazione idraulica è stato assunto pari a **200 anni**.

Sulle base di queste considerazioni, il risultato della portata è riportato nella tabella seguente.

Tabella 5-3: Valutazione portata apporto 3 - bacino idrografico naturale

BACINO	
S [ha]	80,12
Lasta [m]	1720
t_c [h]	0,73
Kt [-]	2,76
h(60) [mm]	61
h(t) [mm]	57

BACINO	
Intensità [mm/h]	78
Coeff. deflusso	0,48
Portata al colmo [mc/s]	8,39

Come riportato nello studio idraulico del corso d’acqua (capitolo seguente) le portate qui calcolate sono state considerate come input idrologici per la modellazione di dettaglio.

In particolare, le portate provenienti dai tombini sono state considerate come apporti puntuali posti rispettivamente nella sezione di monte del corso d’acqua, e in una sezione posta in corrispondenza del punto del corso d’acqua più prossimo al Tombino 2; la portata naturale, invece, è stata distribuita linearmente lungo l’asta del corso d’acqua in 6 punti.

Si riporta di seguito lo schema assunto nella successiva modellazione idraulica degli apporti puntuali (in rosso), distribuiti lungo l’asta in esame, risultanti dall’analisi idrologica e funzionali alla modellazione idraulica di dettaglio:



Figura 5.7: Schema idrologico – idraulico adottato per l’inserimento delle portate di progetto nella modellazione idraulica

Lungo l’asta del corso d’acqua, in conclusione, la portata di progetto risulta variabile, , crescente verso valle, come riportato nella seguente tabella:



Tabella 5-4: Andamento della portata di progetto lungo il corso d'acqua in esame

PORTATA	
Q [mc/s]	
Q1	8,90
Q2	12,57
Q3	13,67
Q4	14,77
Q5	15,87
Q6	16,97
Q7	18,06



6. ANALISI E VERIFICA IDRAULICA

6.1 MODELLAZIONE

6.1.1 Software HEC-RAS

Lo studio idraulico del deflusso di piena del corso episodico in analisi è stato sviluppato mediante l'impiego di un software (HEC-RAS, *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*, versione 6.3.1.) in grado di operare in condizioni di moto permanente monodimensionale (portata costante e geometria dell'alveo variabile).

Questo modello consente di calcolare la variazione del pelo libero per condizioni di moto permanente o anche gradualmente variato. Il sistema può considerare sia una rete completa di canali, sia un sistema endoreico e sia infine un singolo corso d'acqua.

La componente di moto permanente è in grado di modellare correnti lenti, veloci e miste.

La procedura di calcolo è basata sulla soluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale.

Le perdite di energia considerate sono dovute alla scabrezza (eq. di Manning) ed alla contrazione e/o espansione della vena fluida, attraverso un coefficiente moltiplicatore della variazione dell'energia cinetica.

L'equazione dei momenti è utilizzata nelle situazioni in cui il pelo libero dell'acqua subisce variazioni repentine. Questa situazione comprende la valutazione in corrente mista (es: risalto idraulico), dell'idraulica dei ponti e dei profili in corrispondenza della confluenza tra diversi corsi d'acqua.

L'effetto di diverse ostruzioni quali ponti, tombini, briglie e strutture in genere lungo i corsi d'acqua può essere considerata nei calcoli idraulici. Il sistema di calcolo in modo permanente è concepito per applicazioni nella sistemazione dei corsi d'acqua e delle pianure alluvionali e per gli studi finalizzati alla determinazione delle aree allagabili con diversi tempi di ritorno in caso di esondazioni dai corsi d'acqua. È inoltre possibile valutare il cambiamento nelle caratteristiche di moto dovuto alla rettifica della sezione e/o alla realizzazione di argini.

6.1.2 Ipotesi di moto

Il moto ipotizzato è **monodimensionale** (si considera solo la direzione principale del flusso, trascurando eventuali deflussi in altre direzioni) e **permanente** (la sezione varia gradualmente e la portata è costante).

Nel caso monodimensionale in condizioni stazionarie, ovvero quando si considera soltanto la componente di velocità nella direzione longitudinale del moto, il calcolo dei profili di corrente si basa sulla risoluzione dell'equazione dell'energia tra due sezioni consecutive 1 e 2 mediante il processo iterativo, detto "standard step". Il metodo standard step a passo fissato è una procedura iterativa che consente di determinare la differenza di tirante idraulico tra due sezioni successive la prima con tirante noto e la seconda con tirante ignoto poste a distanza nota.

$$h_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + z_2 = h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + z_1 + h_e$$

Dove:

- h_1 e h_2 sono i tiranti idrici nelle due sezioni consecutive;
- z_1 e z_2 sono le quote geodetiche relative al punto più depresso di ciascuna sezione
- α_1 e α_2 sono i coefficienti di ragguglio;
- V_1 e V_2 le velocità medie delle due sezioni;



- g è l'accelerazione di gravità;
- h_e la perdita di carico totale del tratto considerato.

Il programma calcola le perdite di carico h_e come la somma tra le perdite distribuite e le perdite concentrate e per il calcolo di queste ultime richiede un valore di contrazione ed uno di espansione relativo a ciascuna delle sezioni trasversali dell'alveo fluviale. Per i coefficienti di perdita localizzata, sono stati assunti i valori standard da manuale di HEC-RAS (Tabella 6-1).

L'effetto di diverse ostruzioni quali ponti, tombini, briglie e strutture in genere lungo i corsi d'acqua è stato considerato nei calcoli idraulici.

Tabella 6-1: valori tipici dei coefficienti di contrazione – espansione in caso di interferenze.

	Subcritical Flow Contraction and Expansion Coefficients	
	Contraction	Expansion
No transition loss computed	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Typical Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Il software esegue quindi una procedura iterativa: noti i coefficienti di espansione e contrazione relativi alle sezioni, i coefficienti di scabrezza dell'alveo e le condizioni al contorno ipotizza il tirante idrico della sezione ignota, calcola le perdite di carico, fino a verificare l'equazione di conservazione dell'energia, con assegnata tolleranza.

6.1.3 Modello geometrico della rete

Per la realizzazione del modello geometrico fluviale sono state utilizzate le sezioni topografiche rese disponibili dal topografo in data Dicembre 2022.

Il tratto in analisi misura circa 2,7 km e interessa l'attraversamento di 4 ponti. Per la caratterizzazione di tale tratto sono state considerate 53 sezioni rappresentative, nei pressi delle singolarità idrauliche o almeno ogni 50-100 metri, come indicato in Figura 6.2.

In alcuni tratti particolarmente tortuosi le sezioni sono state infittite mediante interpolazione lineare tra due sezioni, una a monte e una a valle, in modo da garantire una corretta modellazione numerica su HecRas.

In relazione alle caratteristiche geometriche, morfologiche e planimetriche dei tratti analizzati, è stato assunto un singolo valore di scabrezza, espresso mediante il coefficiente n di Manning, rispetto ad alveo del canale e aree di espansione pari a $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$, valore medio ben rappresentativo nel caso di canale non vegetato/poco inerbito con sponde non vegetate o aree di espansione non vegetate. Di seguito un'immagine rappresentativa del tratto in esame.



Figura 6.1: Foto rappresentativa del canale e delle aree di espansione



Figura 6.2: Sezioni trasversali dell'alveo e dei ponti modellate in Hec Ras, in rosso il perimetro dell'impianto fotovoltaico

A seguito del rilievo topografico, intorno alla sezione 539 del modello è stata identificata una ostruzione, impiegata allo stato di fatto come attraversamento del canale, Figura 6.3: Ostruzione del canale alla sezione 539



Figura 6.3: Ostruzione del canale alla sezione 539

Al fine di evitare eventuali rigurgiti ed allagamenti nel perimetro di progetto si raccomanda in fase di esecuzione dei lavori il disfacimento dell'ostruzione.

6.1.4 Modello dei ponti

Lungo il tratto in analisi si è riscontrata la presenza di 4 ponti (Figura 3.2), modellati in HecRas nelle sezioni 2651, 2422, 199 e 63.

Ogni impalcato permette il sottopassaggio del canale rispetto alla strada. I ponti possono avere una soletta in calcestruzzo e le acque passano attraverso un culvert.

La geometria dei ponti è nota in seguito all'attività di rilievo. **In allegato si riporta la documentazione fotografica dei ponti e tombinature riscontrati nel tratto in analisi.**

Con particolare riferimento alla modellazione idraulica dei ponti, HEC-RAS dispone di una completa serie di equazioni per l'analisi del flusso in condizioni di questi particolari manufatti. Senza entrare nel dettaglio e rimandando per maggiori ragguagli ai manuali tecnici, si richiamano brevemente i principali metodi a disposizione.

HEC-RAS è in grado di modellare situazioni di flusso così definite:

- **Low flow:** si verifica quando il flusso che attraversa il ponte avviene come in un canale aperto, con la superficie libera al di sotto del punto più alto dell'intradosso del ponte. I metodi di calcolo utilizzabili sono: equazione dell'energia, equazione dei momenti, metodo di Yarnell e metodo WSPRO;
- **Weir flow:** si innesca quando la superficie libera raggiunge la quota di estradosso del ponte. Vengono applicate nel calcolo le classiche equazioni delle luci a stramazzo;
- **Pressure flow:** si verifica quando la superficie libera supera la quota di intradosso del ponte. HEC-RAS assume nel calcolo l'equazione più appropriata tra quelle disponibili per descrivere il flusso attraverso la luce del ponte.



- High flow: si verifica quando il ponte risulta fortemente sommerso; il programma in questo caso applica automaticamente l'equazione dell'energia.

6.1.5 Portate di progetto

In accordo coi calcoli idraulici introdotti nel Paragrafo 5.5, le portate duecentennali di progetto sono state assegnate al modello come segue:

- una portata di **8.9 m³/s** è stata assegnata alla sezione più a monte del modello, 2669, che rappresenta la portata derivante dalla tombinatura a battente
- una portata di **8.9 m³/s + 3.67 m³/s = 12.57 m³/s** è stata assegnata alla sezione 1939
- una portata crescente da **12.57 m³/s a 18.06 m³/s** è stata assegnata alle sezioni dalla 1903 alla fine del modello.

Si veda il Paragrafo 5.5 per maggiori dettagli.

6.2 RISULTATI SIMULAZIONE

Nella prima figura in allegato è schematizzato l'andamento del profilo idrico risultante dalla simulazione idraulica in moto permanente monodimensionale.

Ognuno dei ponti presenti, a seguito di un evento di tempo di ritorno 200 anni, risulta trascinato/sommerso, ad eccezione del primo ponte modellato alla sezione 2651.

La Tabella 6-2 mostra i risultati ottenuti nella simulazione in corrispondenza delle sezioni modellate.

L'area allagabile secondo i risultati del software non oltrepassa mai la fascia di rispetto della recinzione dell'impianto di progetto.

I casi più critici di allagamento del corso d'acqua simulato, si sperimentano dalla sezione 1804 alla fine del modello in golena destra, quindi in direzione opposta al sito di interesse. L'andamento orografico del terreno in quella zona è decrescente allontanandosi dal campo fotovoltaico in progetto.

L'unica casistica di allagamento della golena in sponda sinistra degna di nota, quindi nel lato in cui è presente il sito di interesse, è quella relativa all'area nei pressi dei due ponti finali modellati su HecRas.

A causa dell'effetto di ostruzione dei ponti e dell'aumento della portata proseguendo verso valle, per via della convergenza della portata proveniente dal bacino 2, si verifica un allagamento in entrambe le golene. Nei pressi dell'ultimo ponte si verifica un risalto idraulico. Si veda Figura 6.4.

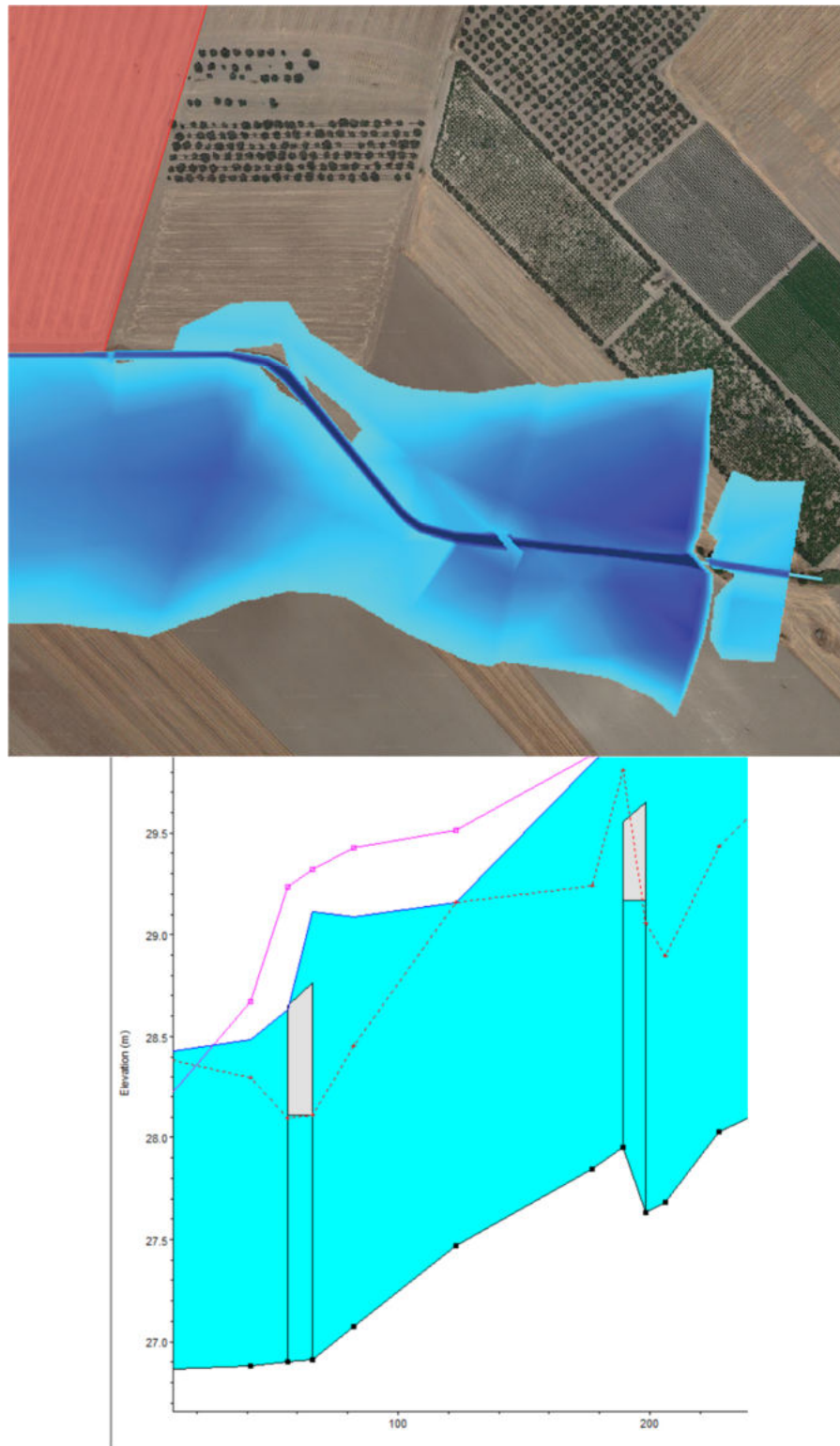


Figura 6.4: Planimetria e Profilo di moto permanente al passaggio dei due ponti finali. Nei pressi dell'ultimo impalcato si sviluppa un risalto idraulico.



Tabella 6-2: Risultati simulazione HEC RAS – Tr 200 anni.

NOME SEZIONE	PORTATA DI PROGETTO [M3/S]	QUOTA TALWEG [M SLM]	TIRANTE IDRICO [M SLM]	ALTEZZA CRITICA [M SLM]	VELOCITÀ CORRENTE [M/S]	AREA BAGNATA [M2]	ESTENSIONE SINISTRA [M]	ESTENSIONE GOLENA DESTRA [M]	ESTENSIONE TOTALE [M]
2669	8.9	39.67	41.73	40.87	1.03	8.65	314.71	327.6	716.36
2655	8.9	39.89	41.71	40.96	1.07	8.28	323.567	343.33	736.63
2651	8.9	39.9	41.71	40.95	1	8.86	337.8	350.6	747.11
Bridge									
2642	8.9	39.91	41.68	41.04	1.12	7.94	369	381.8	776.88
2636	8.9	39.91	41.63	41.08	1.35	6.6	387.5	400.4	794.11
2546	8.9	39.72	41.44	40.83	1.28	6.97	510	520.5	900.14
2422	8.9	39.45	41.13	40.62	1.4	6.37	585.6	597.4	957.43
2417	8.9	39.44	41.17	40.38	0.9	9.89	607	621.2	981.34
Bridge									
2407	8.9	39.42	41.05	40.52	1.27	7.01	627.3	642.1	1000.09
2393	8.9	39.38	41.04	40.35	0.97	9.17	632.9	647.7	1013.02
2379	8.9	39.37	40.96	40.49	1.45	6.16	646.4	657	1037.40
2322	8.9	39.18	40.37	40.37	2.61	3.41	632.3	641.2	1059.89
2257	8.9	38.25	39.73	39.29	1.35	6.62	606.6	621.7	1073.98
2216	8.9	37.96	39.61	39.12	1.43	6.23	661.2	672.1	1114.60
2184	8.9	37.78	39.53	38.97	1.37	6.51	707.1	717.9	1141.75
2129	8.9	37.76	39.42	38.84	1.24	7.2	761.5	773.2	1152.27
2096	8.9	37.83	39.26	38.92	1.62	5.51	793	801.9	1161.91
2058	8.9	37.64	39.11	38.73	1.5	6.36	804.2	812.1	1166.59
2038	8.9	37.57	39.01	38.68	1.64	5.49	813.45	822.05	1172.31
2018	8.9	37.42	38.97	38.5	1.35	6.59	822.7	832	1179.97
1939	12.57	37.23	38.65	38.42	1.96	6.43	842.6	853.6	1145.06
1903	12.57	36.97	38.58	38.09	1.45	8.74	839.5	850.4	1139.64
1804	13.67	36.78	38.4	38.35	1.13	22.43	779.1	788	1071.27
1712	13.67	36.69	38.35	38.17	0.53	48.03	726.3	734.3	1016.54
1626	13.67	36.44	37.81	37.81	2.8	4.88	678.2	686.7	967.86



Impianto Agrivoltaico Collegato alla RTN 80 MW

Relazione idrologica e idraulica

NOME SEZIONE	PORTATA DI PROGETTO [M3/S]	QUOTA TALWEG [M SLM]	TIRANTE IDRICO [M SLM]	ALTEZZA CRITICA [M SLM]	VELOCITÀ CORRENTE [M/S]	AREA BAGNATA [M2]	ESTENSIONE GOLENA SINISTRA [M]	ESTENSIONE GOLENA DESTRA [M]	ESTENSIONE TOTALE [M]
1496	14.77	35.91	37.51	37.25	0.46	49.18	612.9	621.3	912.11
1359	14.77	35.96	37.51	37.18	0.05	298.48	571.3	579.2	875.45
1326	14.77	35.77	37.51	37.15	0.04	353.45	561.9	571.5	874.23
1285	14.77	35.64	37.04	37.04	2.91	5.07	561.7	571.1	868.12
1201	14.77	35.55	37.01	37.01	0.03	364.68	565.6	573.1	870.67
1150	14.77	35.54	36.91	36.91	0.03	408.82	563.1	572.2	874.18
1097	15.87	34.79	36.66	36.25	2.07	7.65	558	567.4	865.74
968	15.87	34.03	35.43	35.43	2.98	5.32	537	547	847.04
822	16.97	31.92	33.43	33.43	0.4	68.34	506	515.4	815.28
671	16.97	31.26	32.51	32.51	0.26	76.33	477.3	484.1	781.99
535	18.06	30.8	32.1	32.08	0.15	120.68	433.5	439.6	719.62
500	18.06	30.48	32.1	31.68	0.13	148.39	430.9	437.8	717.71
434	18.06	30.09	31.6	31.6	2.96	6.11	430.6	440.3	718.35
397	18.06	28.68	30.8	30.22	1.81	9.95	418.1	426.3	713.98
364	18.06	28.54	30.65	30.16	1.98	9.13	401	412.9	715.32
338	18.06	28.43	30.48	30.11	2.19	8.25	403.5	415.3	705.79
277	18.06	28.19	29.92	29.79	2.68	6.74	416.3	427.4	720.98
249	18.06	28.03	29.95	29.43	1.67	11.56	407.9	418.5	704.66
227	18.06	27.68	30.01	28.9	0.78	27.79	427.5	439.4	688.52
Bridge									
199	18.06	27.85	29.84	29.24	1.44	14.88	427.5	442	688.22
144	18.06	27.47	29.16	29.16	3.12	5.78	419.2	430.2	681.73
104	18.06	27.07	29.09	28.45	1.52	11.88	421.2	438.1	695.77
Bridge									
63	18.06	26.88	28.48	28.3	2.25	8.03	423.4	441.6	694.13
21	18.06	26.86	28.41	28.41	1.34	22.85	426.1	436.1	684.46

Impianto Agrivoltaico Collegato alla RTN 80 MW

Relazione idrologica e idraulica





6.2.1 Sezioni rappresentative

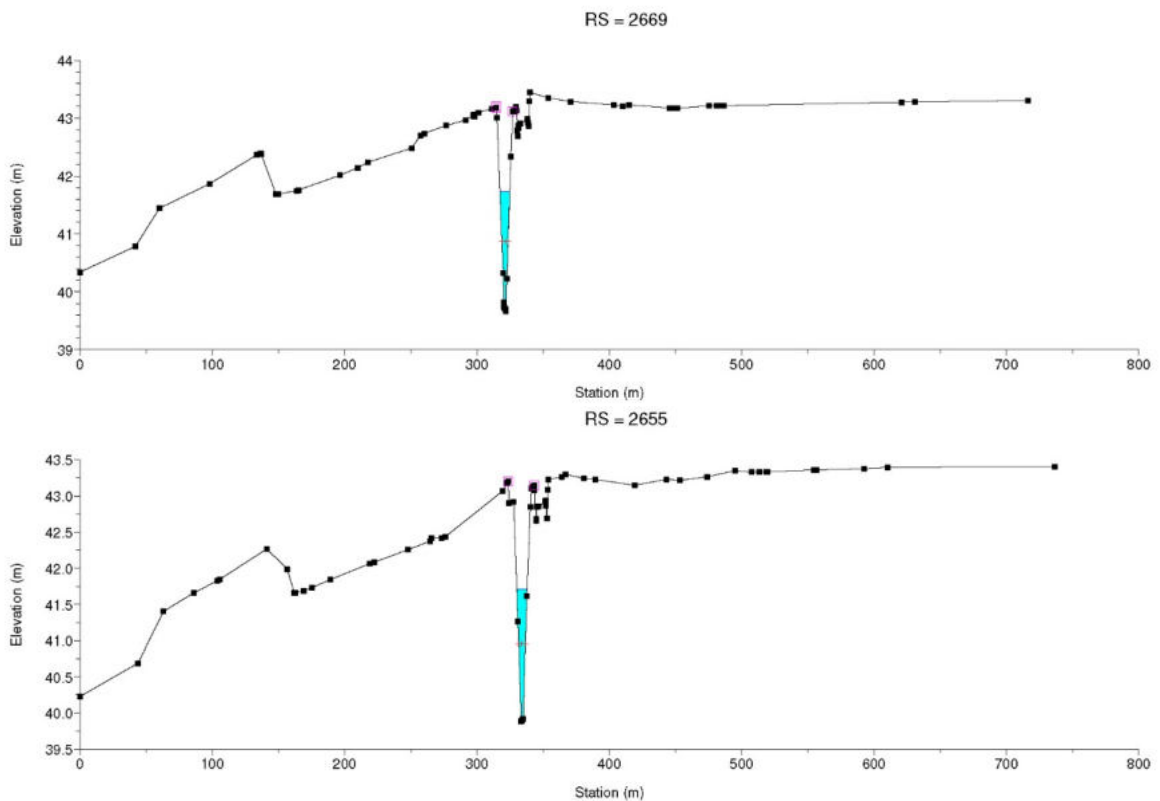
Al fine di rappresentare l'allagamento nei pressi del layout di impianto, si riportano le sezioni dell'alveo con rispettivo tirante idrico, per tempo di ritorno 200 anni.

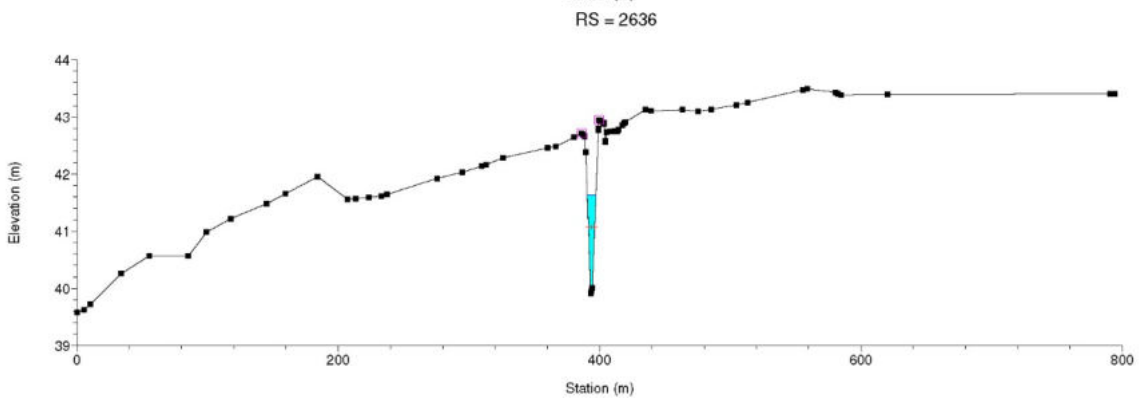
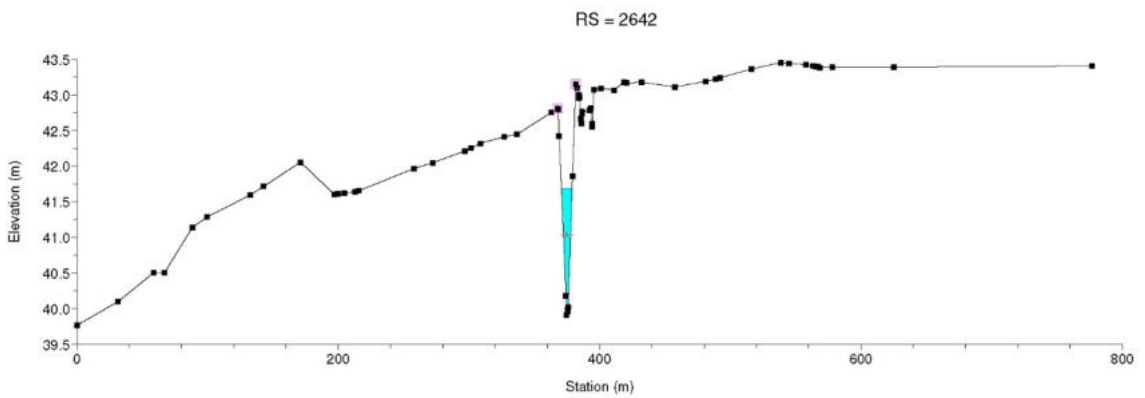
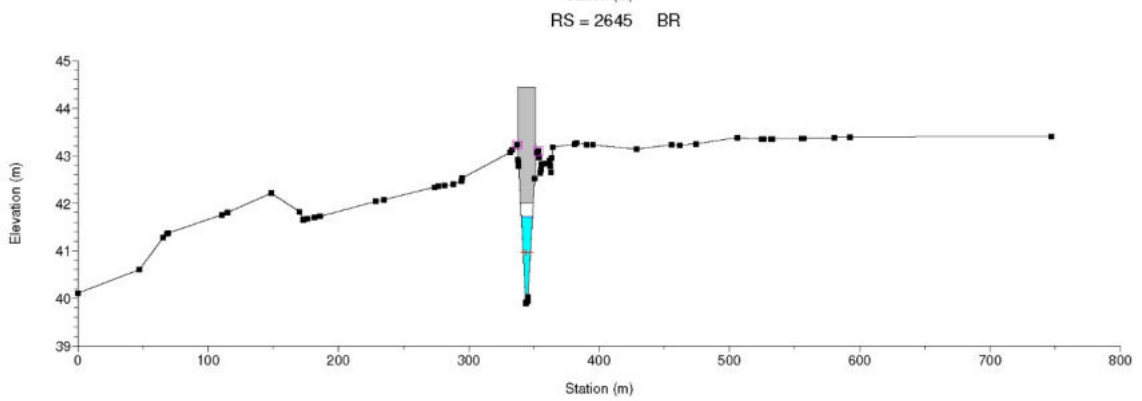
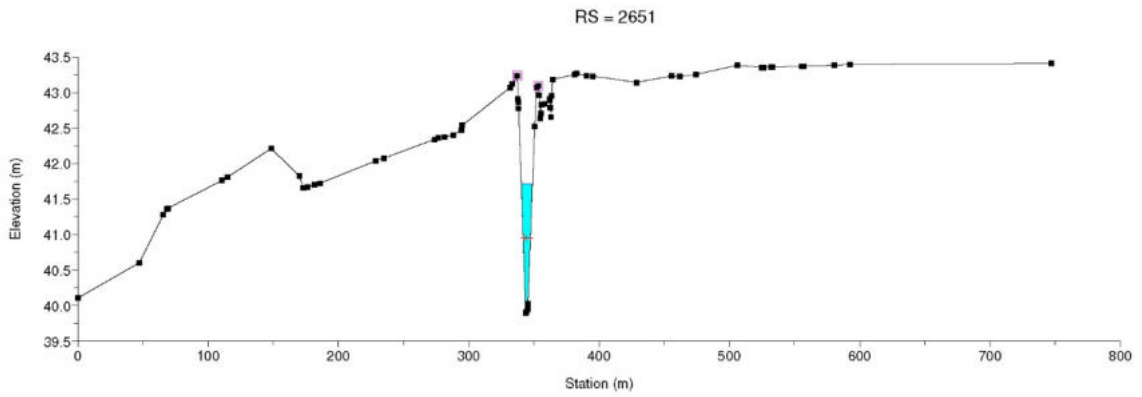
Qui di seguito si riportano le sezioni da 2669 a 535. Il loro eventuale allagamento interesserebbe direttamente il layout dell'impianto agrivoltaico, compromettendo la compatibilità idraulica.

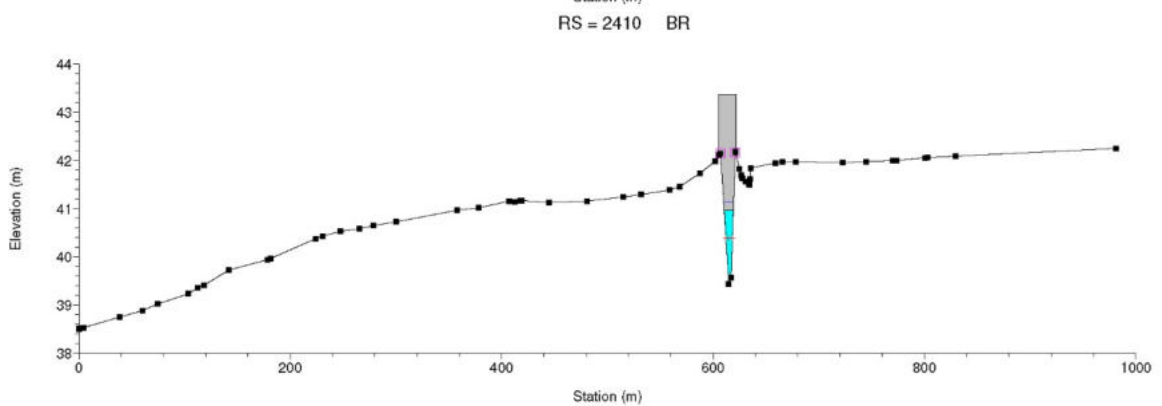
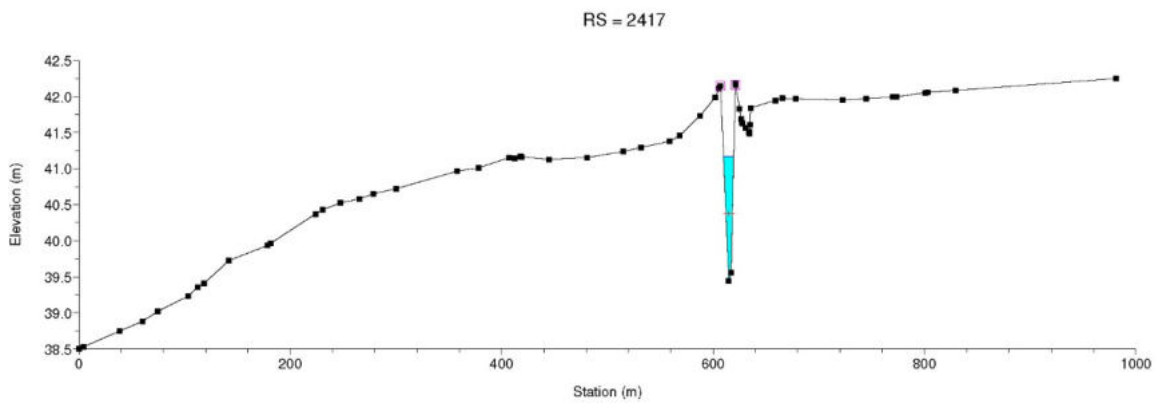
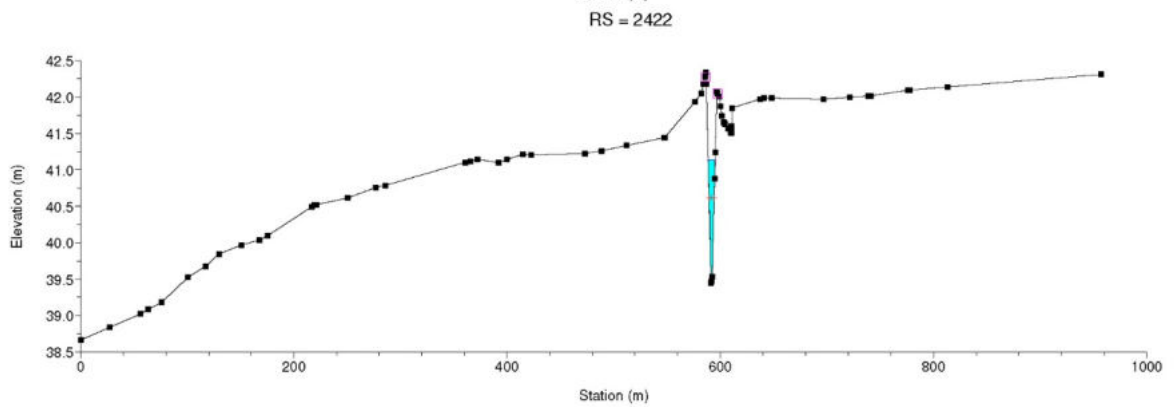
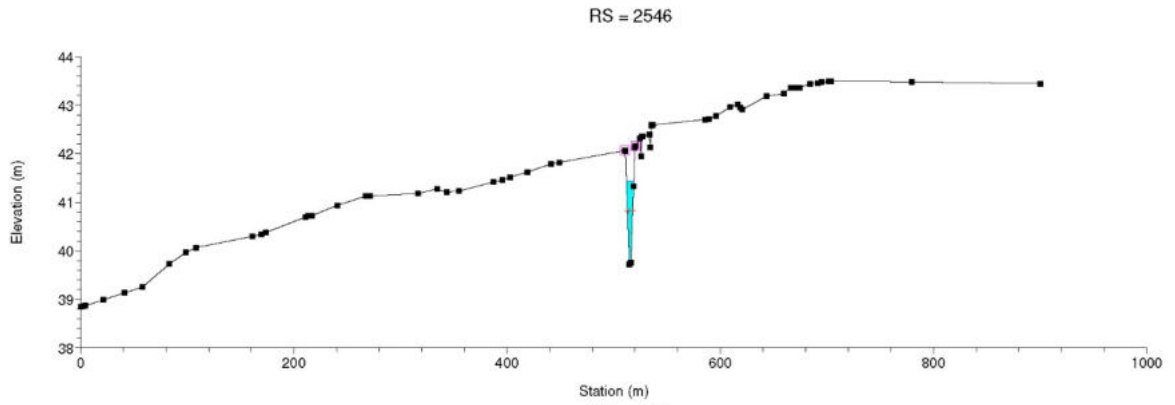
Nelle sezioni seguenti, per tempo di ritorno 200 anni, si rappresentano:

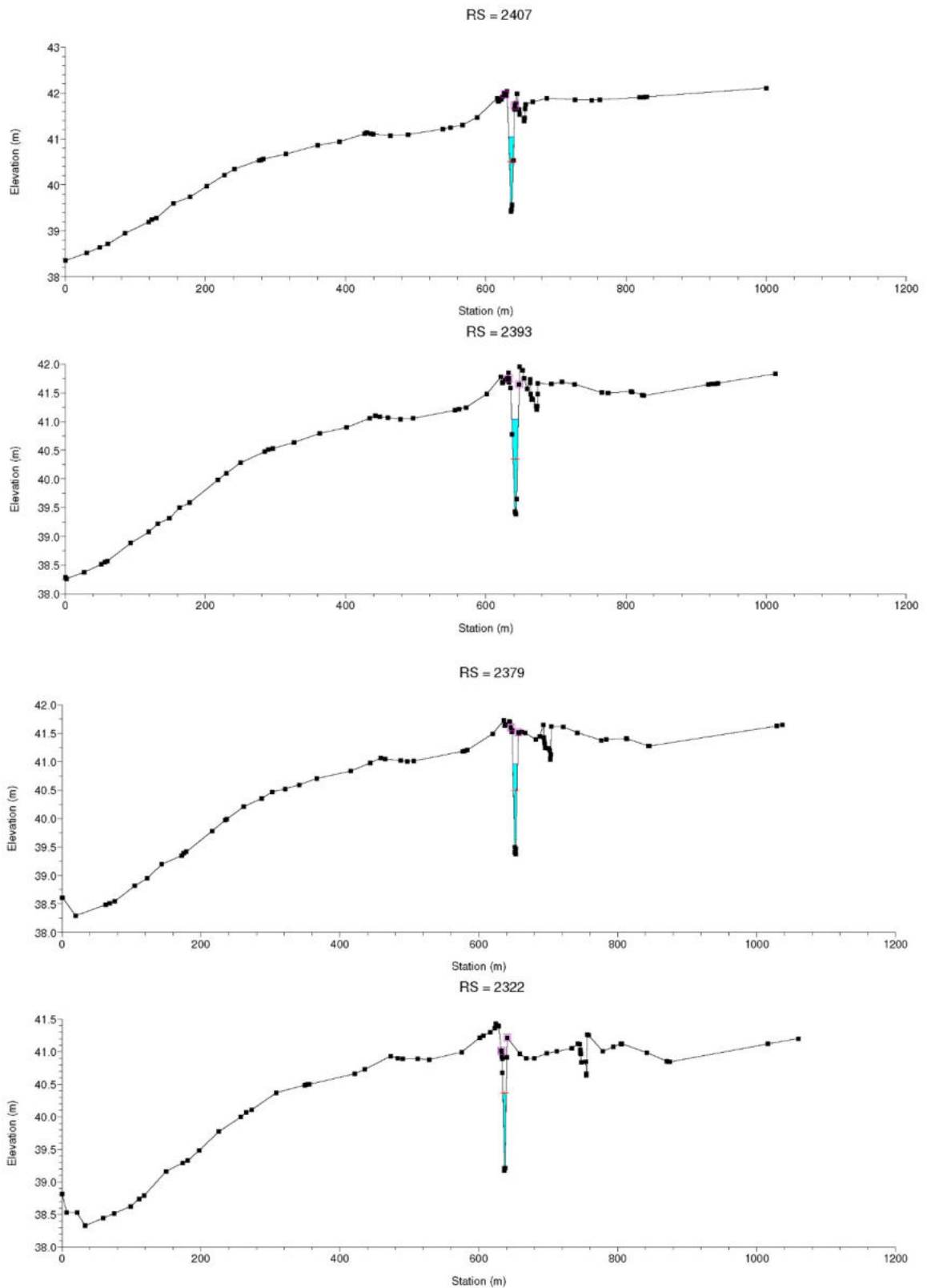
- tirante di moto permanente
- altezza critica
- sezione trasversale dell'alveo ottenuta dall'interpolazione dei nodi rilevati
- argini

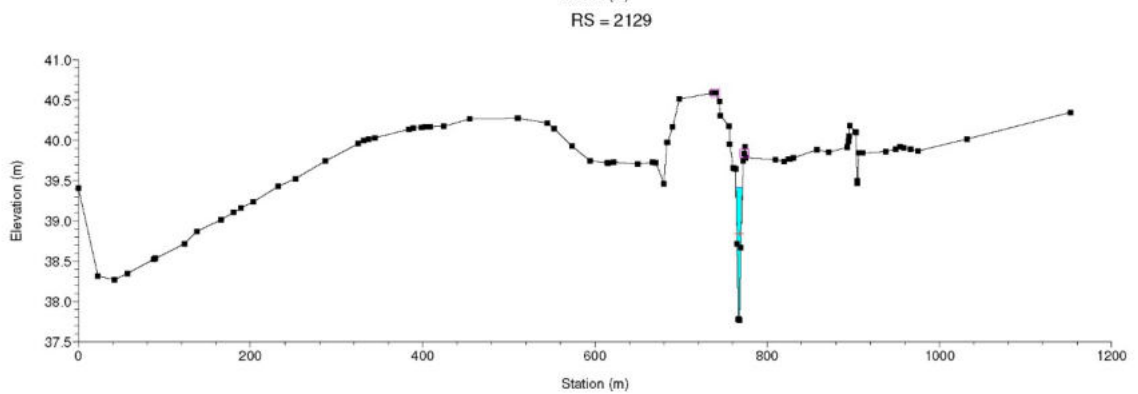
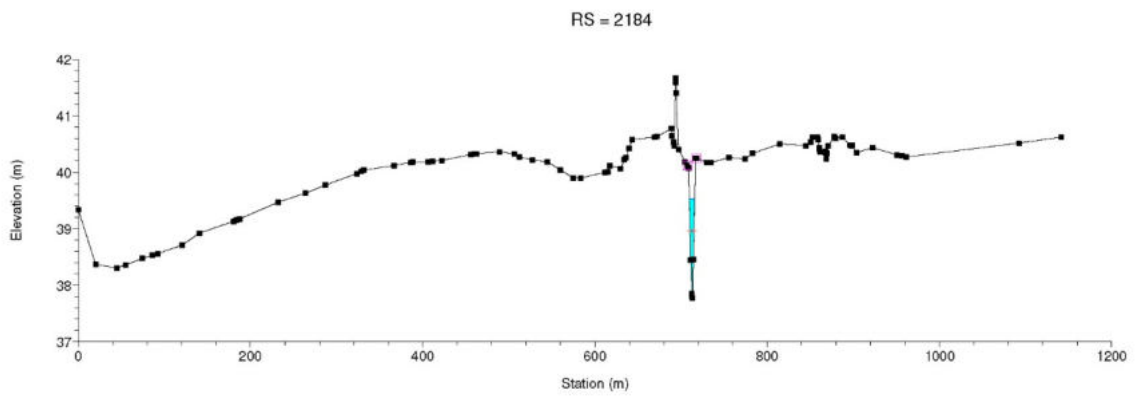
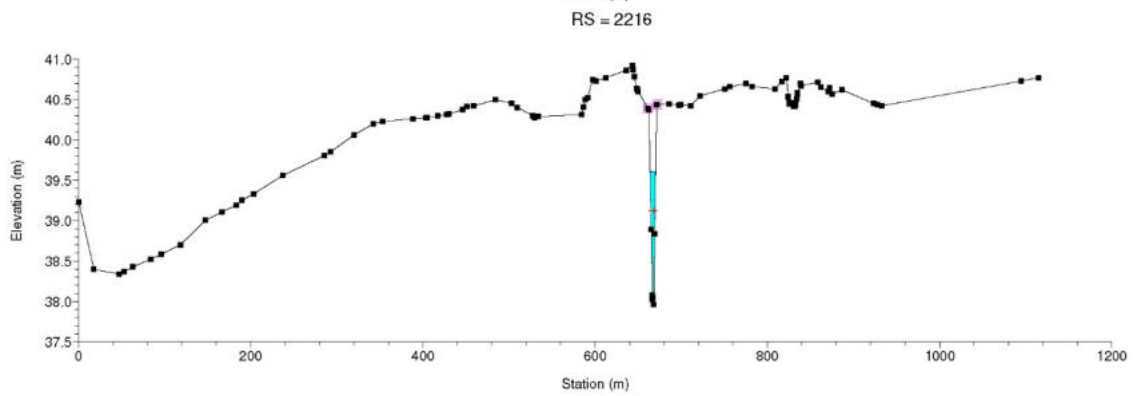
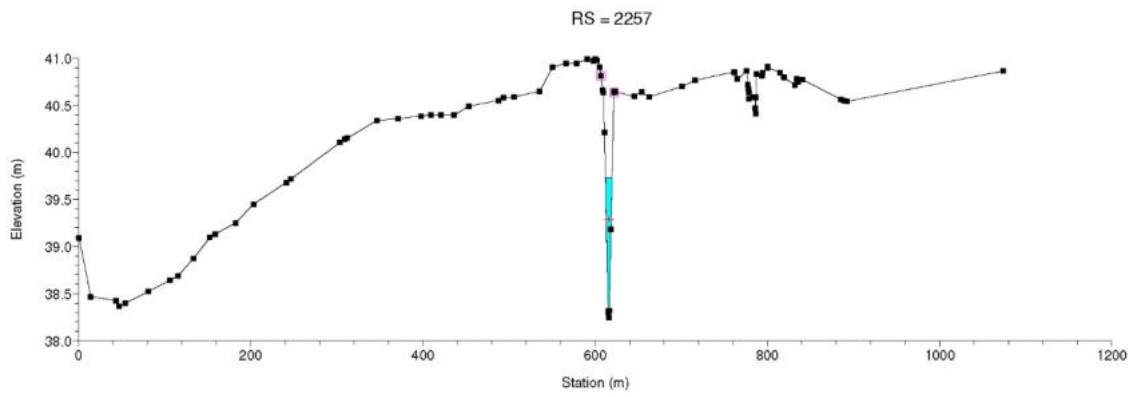
Legend	
WS PF 1	(Blue line with square markers)
Crit PF 1	(Red dashed line with square markers)
Ground	(Black line with square markers)
Levee	(Pink line with square markers)

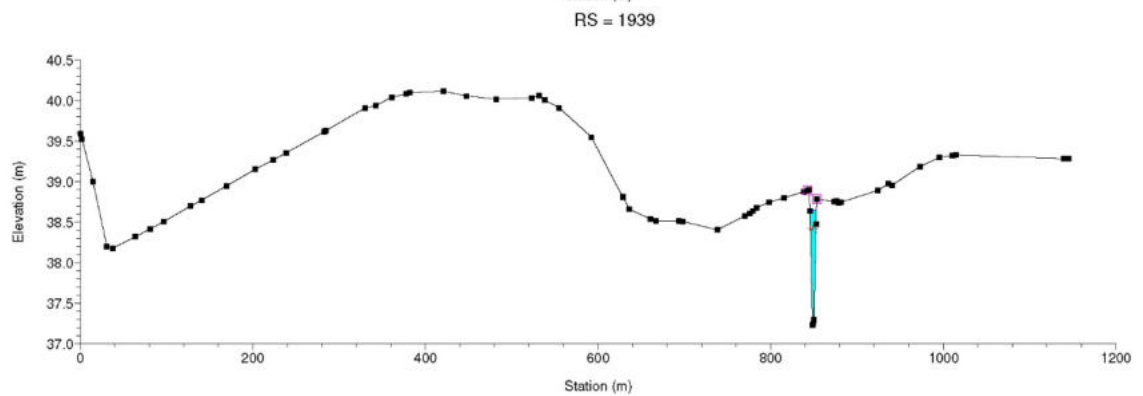
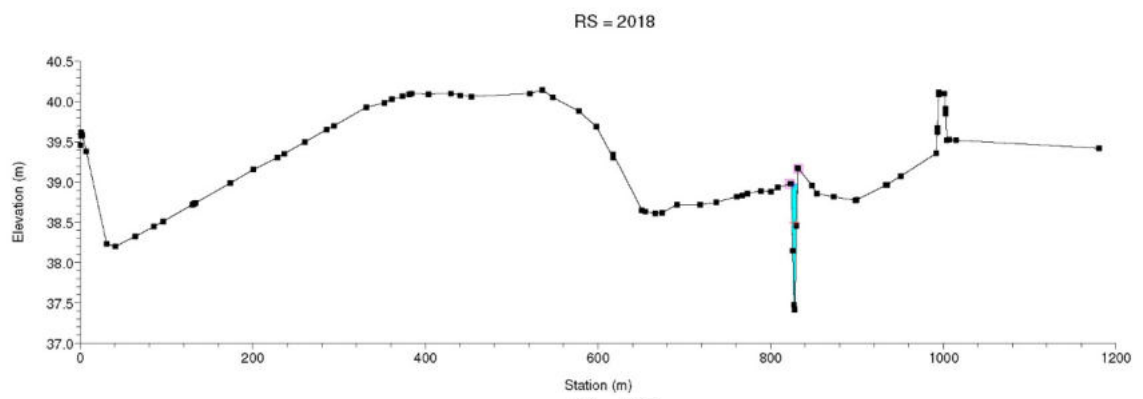
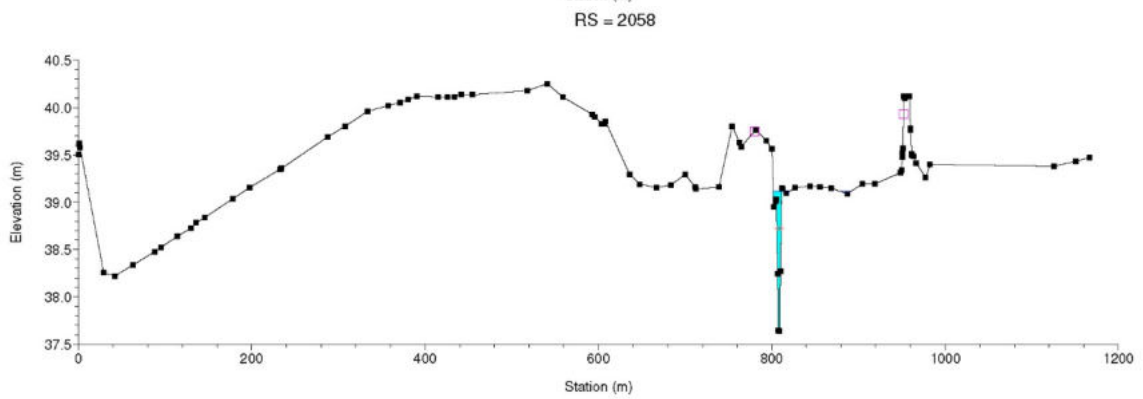
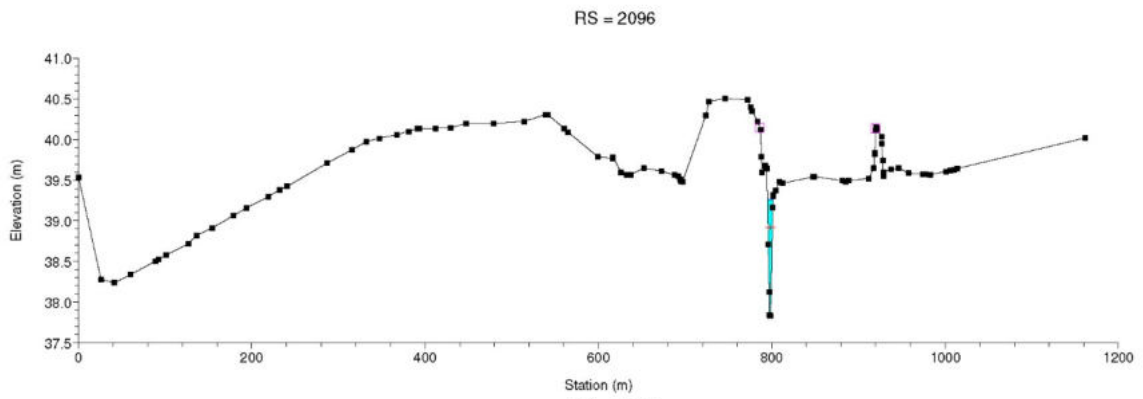


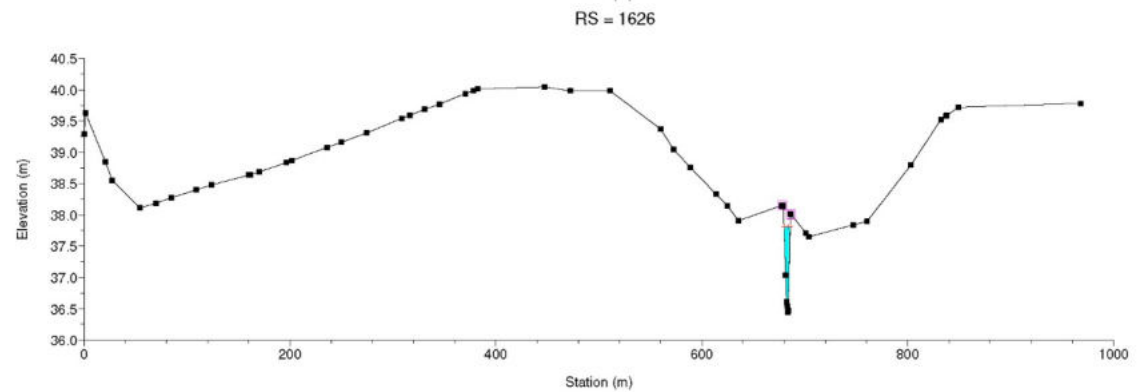
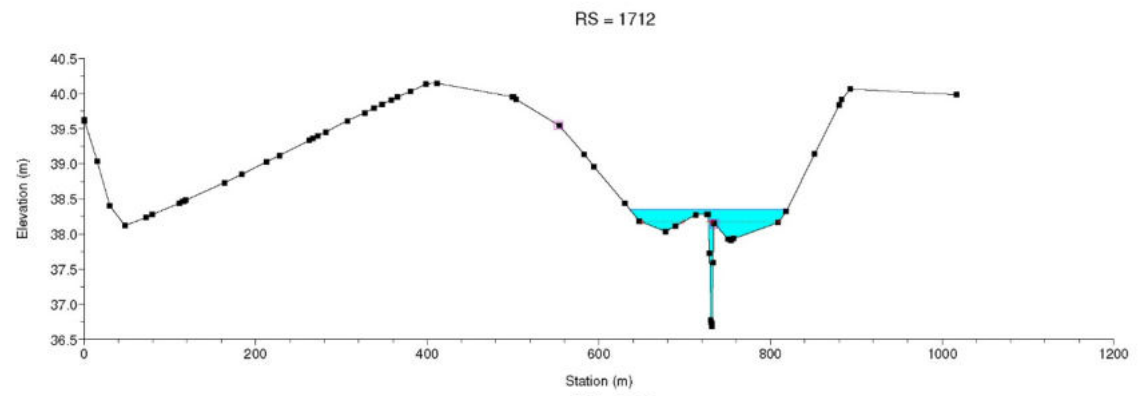
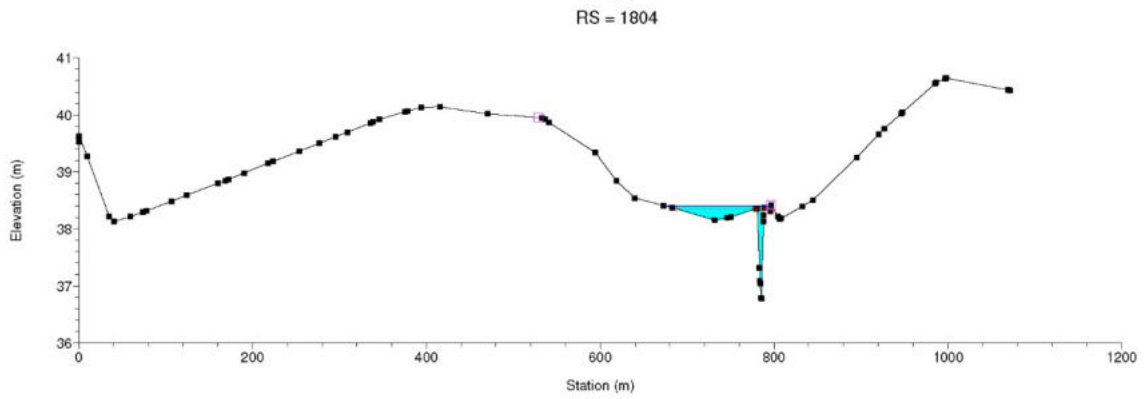
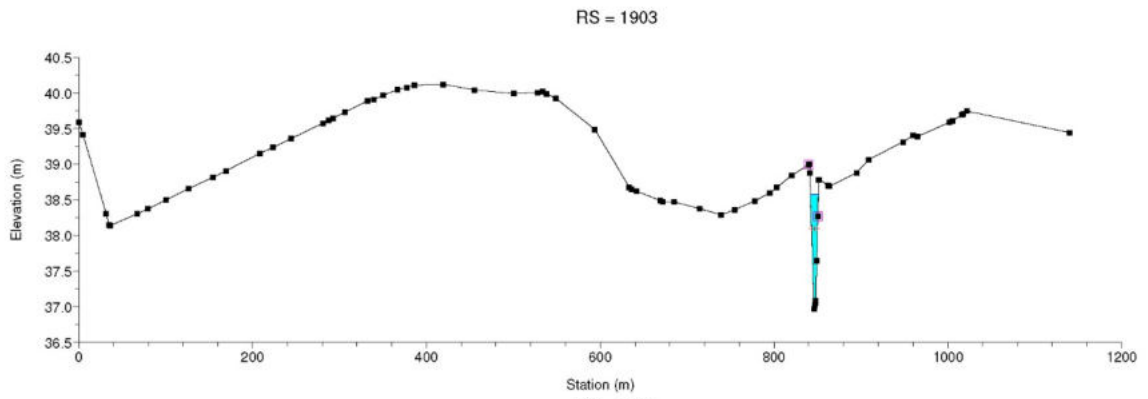


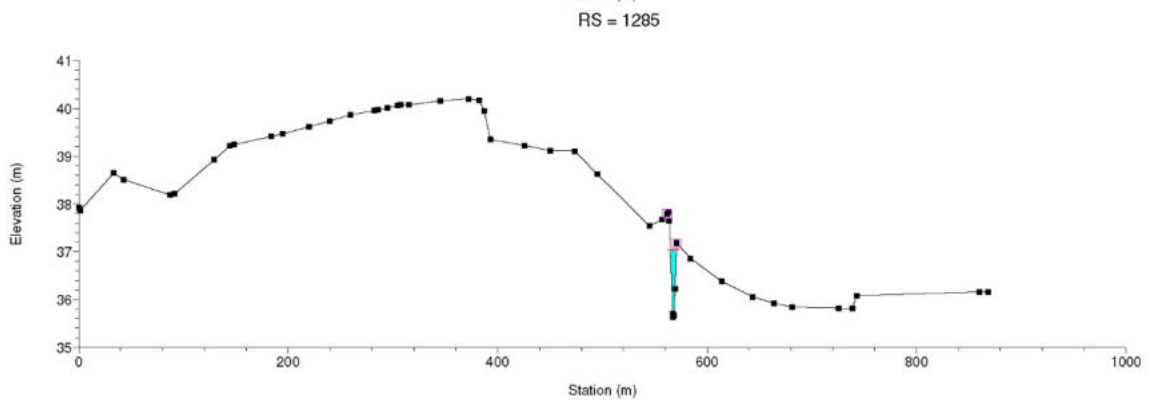
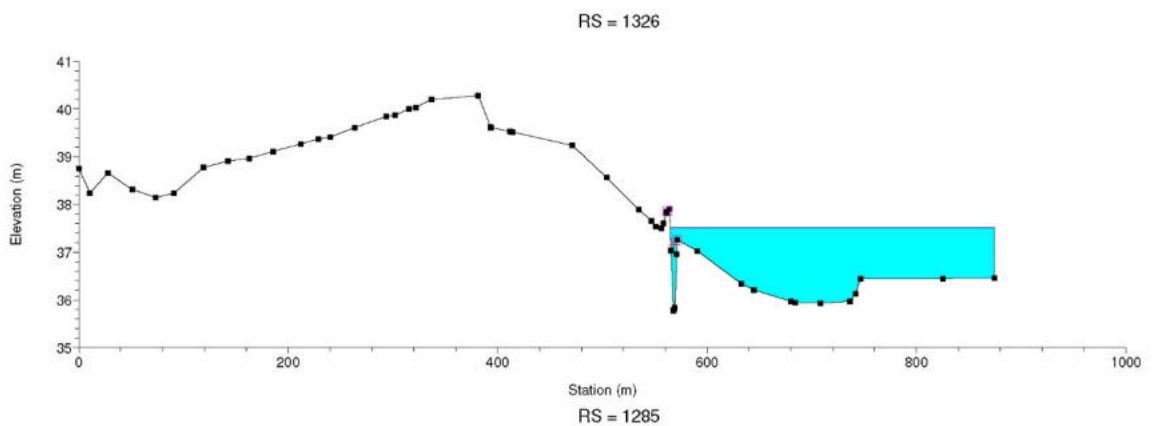
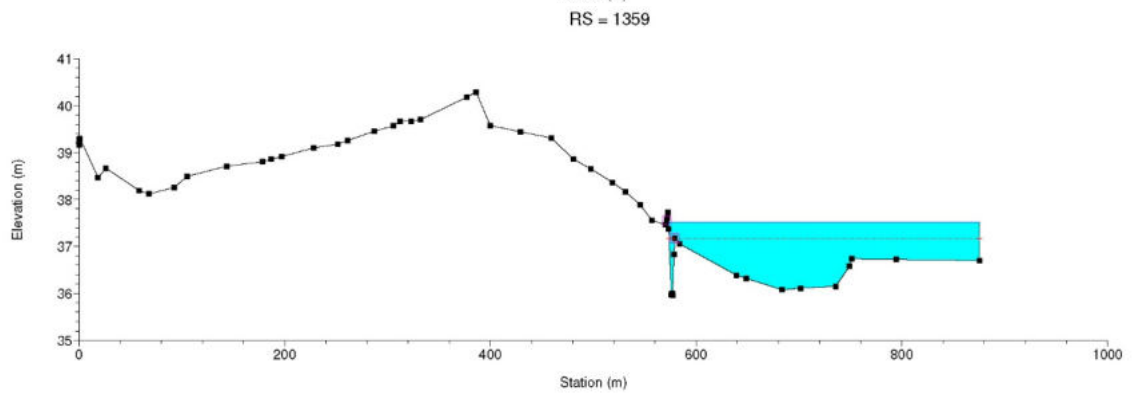
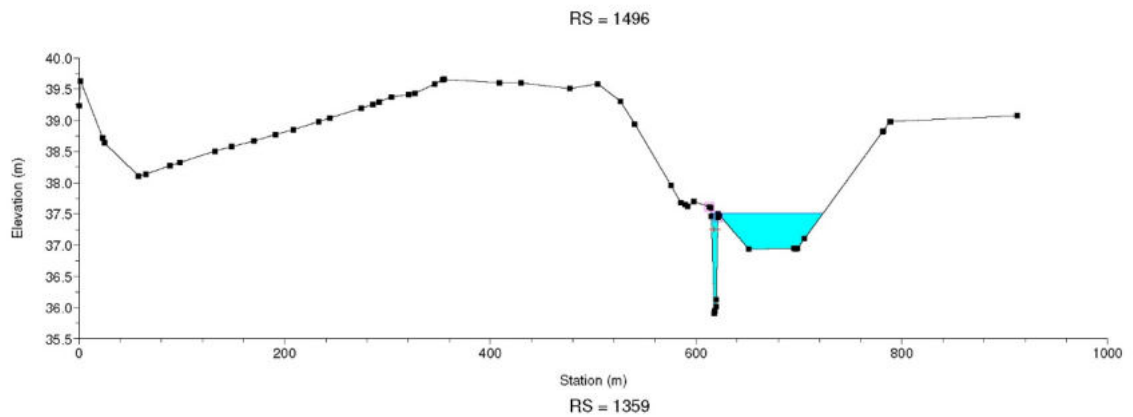


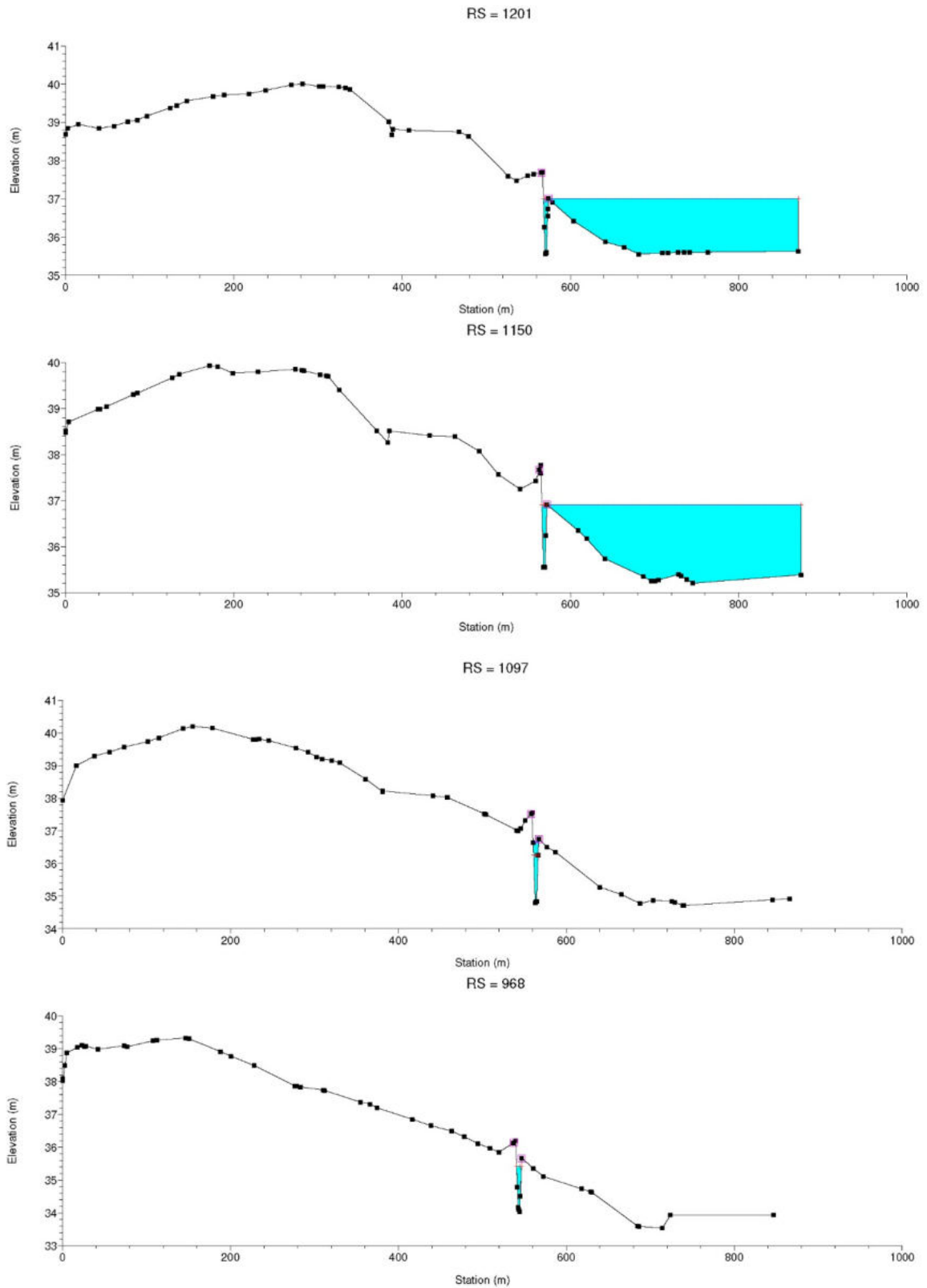


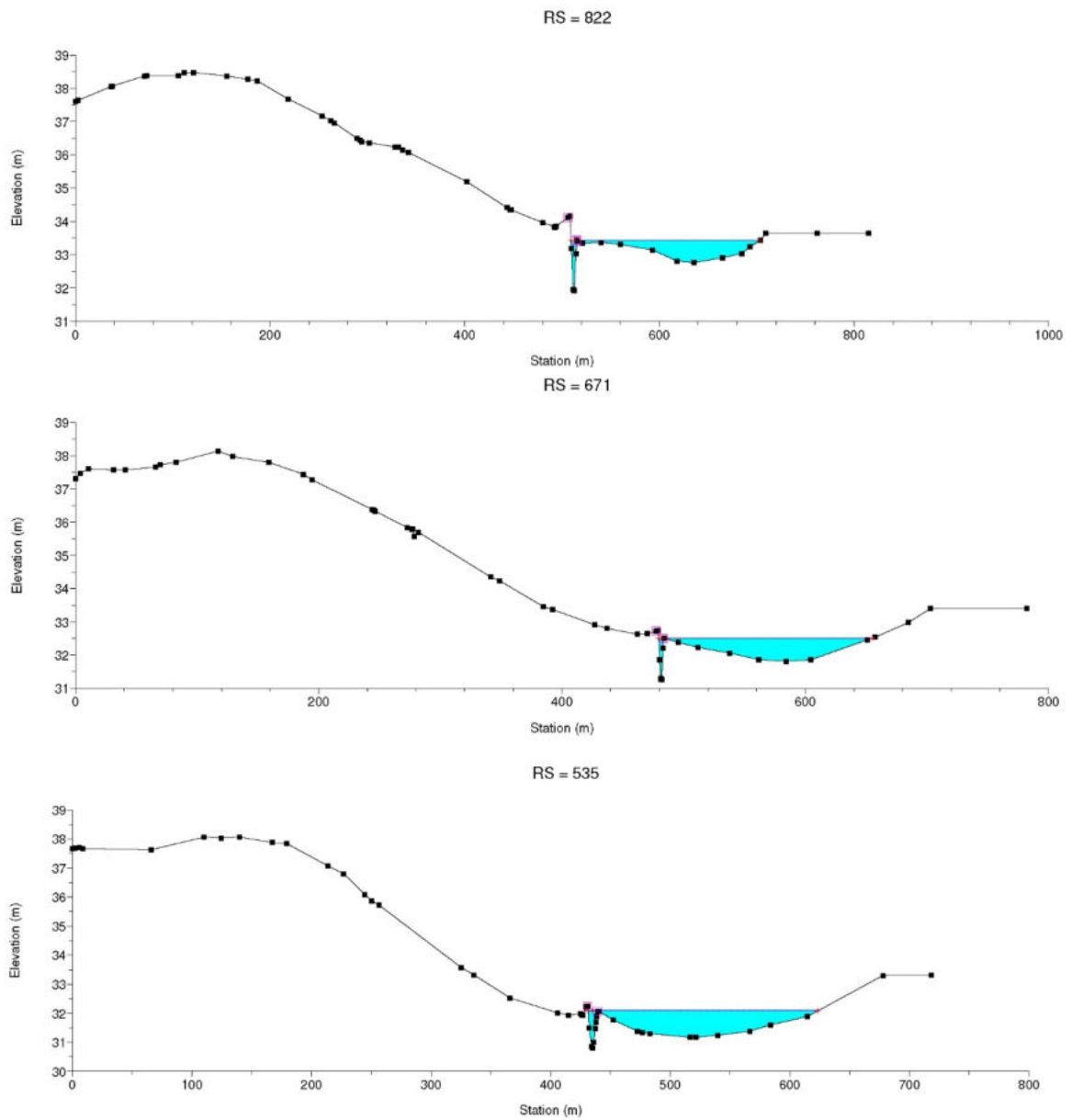














7. CONCLUSIONI

L'analisi condotta nel presente studio ha avuto lo scopo di chiarire le condizioni di piena (Tempo di ritorno 200 anni) nel tratto indagato, in particolar modo nei pressi del layout di impianto, per evidenziare eventuali criticità o interferenze con l'impianto in progetto.

I confini del layout previsto ricadono entro la fascia di rispetto di 150 metri da un corso idrico episodico. Le norme tecniche di attuazione del PAI Puglia, di cui gli artt. 4,6 e 10, prevedono che venga rispettato tale vincolo, o che venga fatto uno studio di compatibilità idraulica per assicurarsi che il layout non sia soggetto a rischio allagamento in caso di portate con tempo di ritorno 200 anni.

La modellazione idraulica di dettaglio è stata preceduta da un'analisi dettagliata della morfologia del territorio: osservando il modello digitale del terreno fornito dalla Regione Puglia e approfondendo la conoscenza delle condizioni morfologiche locali con un rilievo di dettaglio, è stato possibile riconoscere che le direzioni preferenziali di allagamento nel caso in cui l'alveo del canale in esame risulti insufficiente sono divergenti dall'area dell'impianto fotovoltaico. L'area di impianto si trova infatti in un punto di "alto idraulico" (relativo) in riferimento alla morfologia del bacino idrografico di interesse; la direzione preferenziale del deflusso della portata esondata in occasione di eventi estremi risulta orientata verso sud, in destra idraulica.

Al fine di verificare la compatibilità dell'intervento, è stato ricreato il profilo di moto permanente monodimensionale e rispettiva area allagabile. L'attività di rilievo ha permesso la realizzazione di 53 sezioni, in prossimità dei ponti e almeno ogni 50-100 metri, mettendo in evidenza le quote dell'alveo, degli argini e delle golene.

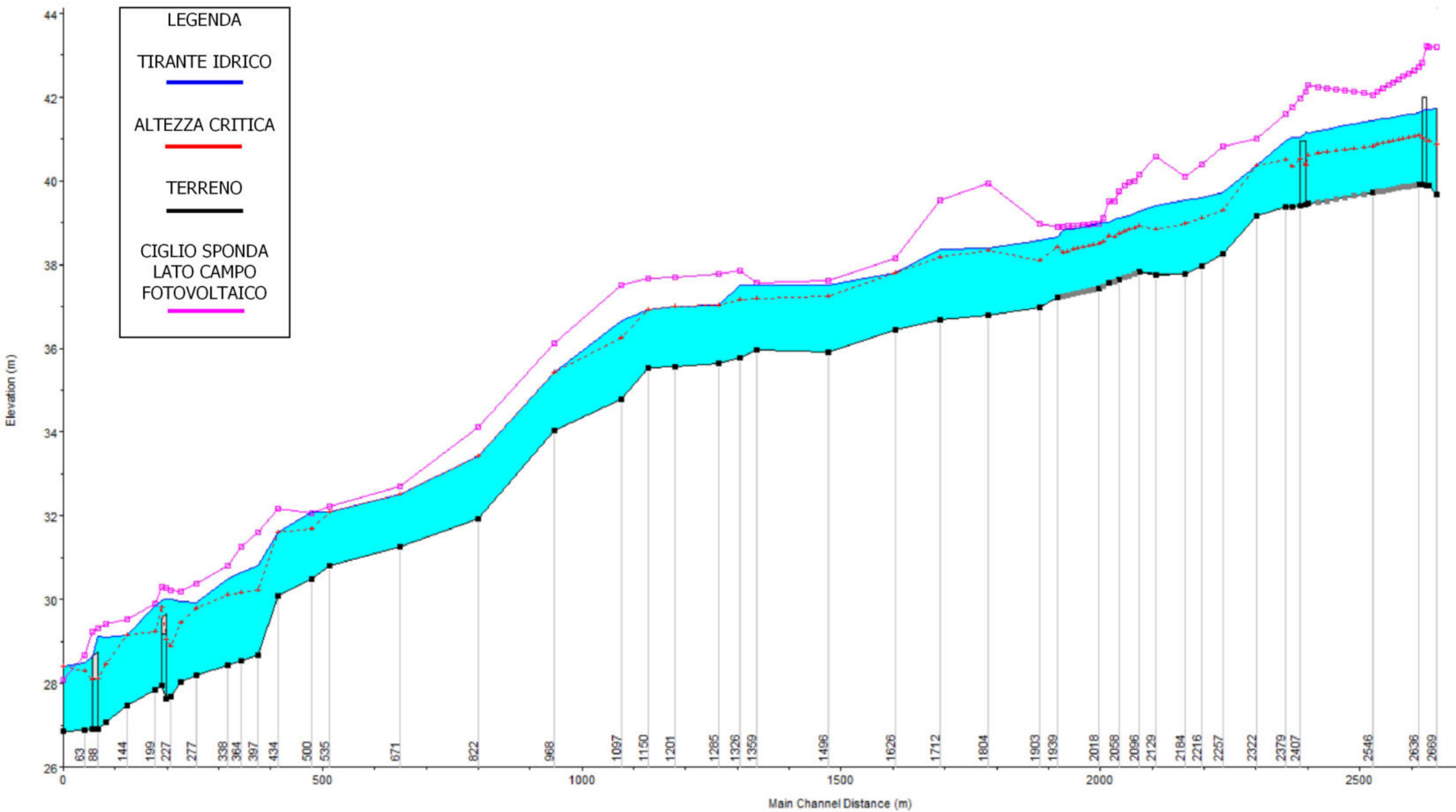
Tramite l'impiego del software HEC-RAS è stato possibile tracciare il profilo di moto permanente monodimensionale e valutare l'allagamento nella piana alluvionale rispetto ad ogni sezione, per un tempo di ritorno di 200 anni. Si assume un'interpolazione lineare tra due sezioni consecutive.

Dalle simulazioni non si riscontrano allagamenti entro i confini del layout e l'impianto risulta quindi idraulicamente compatibile con la pericolosità idraulica del sito, avvalorando lo studio topografico prodromico alla modellazione idraulica che ha permesso di individuare le direzioni preferenziali del deflusso superficiale conseguente ad eventi eccezionali.

I casi più critici di allagamento del corso d'acqua simulato, si sperimentano dalla sezione 1804 alla fine del modello in golena destra, quindi in direzione opposta al sito di interesse.

Al fine di evitare eventuali rigurgiti ed allagamenti nel perimetro di progetto si raccomanda in fase di esecuzione dei lavori il disfacimento dell'ostruzione presente alla progressiva 539, impiegata, allo stato di fatto, come attraversamento del canale esistente.

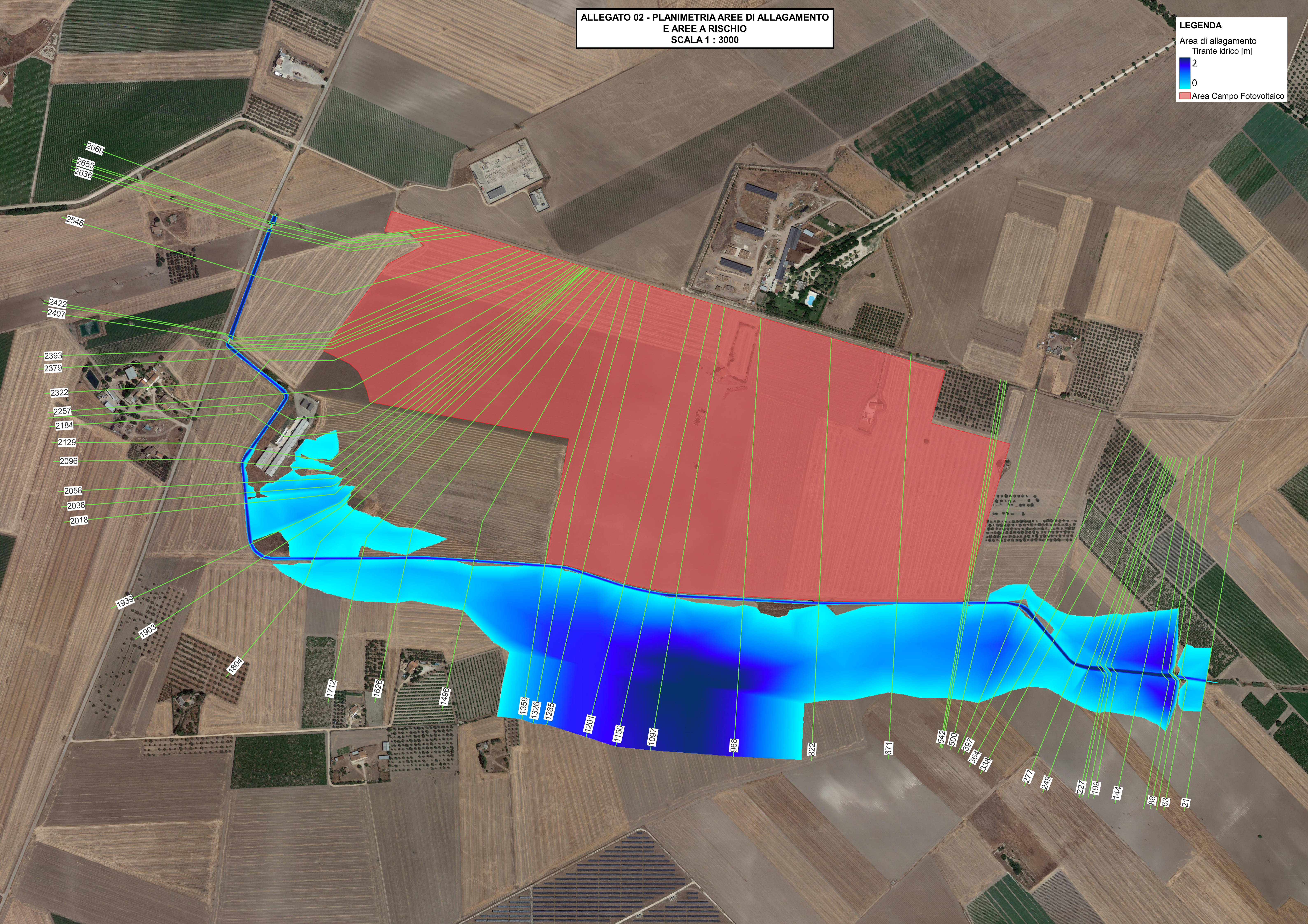
ALLEGATO 01 : PROFILO DI MOTO PERMANENTE



ALLEGATO 02 - PLANIMETRIA AREE DI ALLAGAMENTO
E AREE A RISCHIO
SCALA 1 : 3000

LEGENDA

- Area di allagamento
- Tirante idrico [m]
- 2
- 0
- Area Campo Fotovoltaico



2669
2655
2636
2546
2422
2407
2393
2379
2322
2257
2184
2129
2096
2058
2038
2018
1939
1903
1802
1712
1626
1496
1359
1326
1285
1201
1150
1097
968
822
671
542
500
397
364
338
277
249
227
199
144
88
63
21

VISTA 1



VISTA 2



VISTA 3



VISTA 4



VISTA 5



VISTA 6



VISTA 7



ALLEGATO 03 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

VISTA 8



VISTA 9



VISTA 10



VISTA 11



VISTA 12

