

**ELETTRODOTTO 380 kV "GISSI – LARINO – FOGGIA"**  
**INTEGRAZIONI AL SIA**

**STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA**  
**DEI SOSTEGNI IN INGRESSO ALLA SE DI FOGGIA**



**Storia delle revisioni**

| Rev. n° | Data       | Descrizione     |
|---------|------------|-----------------|
| 00      | 23/12/2015 | Prima emissione |

| Elaborato   | Verificato                 | Approvato                 |
|---|----------------------------|---------------------------|
| <br>G. Ceroni<br>G.P. Stigliano<br>C. Pertot | A. Serrapica<br>ING/S-/SAM | N. Rivabene<br>ING/SI-SAM |

## INDICE

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>PREMESSA.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2</b>  | <b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1       | Descrizione del tracciato e delle opere in progetto .....                    | 4         |
| <b>3</b>  | <b>BACINO DI RIFERIMENTO .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>4</b>  | <b>PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI): PIANO PER</b>           |           |
|           | <b>L'ASSETTO IDRAULICO .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>5</b>  | <b>PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE .....</b>                      | <b>10</b> |
| <b>6</b>  | <b>RILIEVI DI TERRENO .....</b>  | <b>17</b> |
| 6.1       | Rilievo topografico .....  | 17        |
| 6.2       | Rilievo fotografico .....  | 19        |
| <b>7</b>  | <b>ANALISI IDRAULICA.....</b>  | <b>25</b> |
| 7.1       | Descrizione del software di calcolo .....                                    | 25        |
| 7.1.1     | Caratteristiche principali.....  | 25        |
| 7.1.2     | Procedura di calcolo.....  | 26        |
| 7.1.3     | Applicazione dell'equazione della conservazione della quantità di moto ..... | 28        |
| 7.2       | Stima delle portate di progetto.....   | 29        |
| 7.3       | Coefficienti di perdita energetica, condizioni al contorno .....             | 30        |
| 7.4       | Simulazione stato di fatto .....   | 33        |
| 7.5       | Simulazione post-operam.....   | 38        |
| 7.6       | Stima dell'estensione dell'area esondata .....                               | 44        |
| <b>8</b>  | <b>COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'ELETTRODOTTO.....</b>                       | <b>47</b> |
| <b>9</b>  | <b>MOTIVAZIONI TECNICHE IN MERITO ALL'ESSENZIALITÀ E NON</b>                 |           |
|           | <b>DELOCALIZZABILITÀ DELL'OPERA.....</b>                                     | <b>48</b> |
| 9.1       | Essenzialità dell'opera .....  | 48        |
| 9.2       | Non delocalizzabilità dei sostegni.....                                      | 51        |
| <b>10</b> | <b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>11</b> | <b>ALLEGATI.....</b>   | <b>55</b> |

## 1 PREMESSA

Nell'ambito della progettazione del nuovo elettrodotto a doppia terna 380 kV Gissi-Larino-Foggia, gli scriventi sono stati incaricati di redigere uno studio di compatibilità idraulica lungo una tratta del torrente Celone in Comune di Foggia in arrivo alla Stazione Elettrica di Foggia.

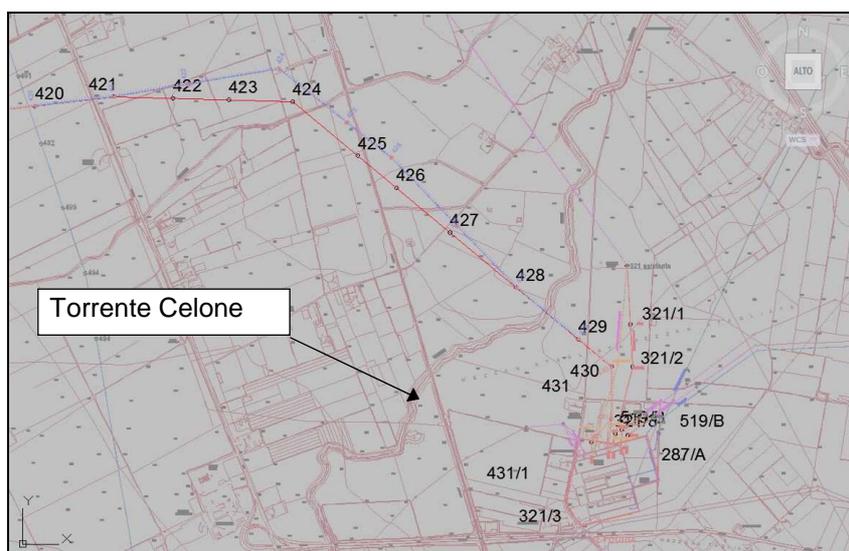
In particolare lo studio è stato esteso al tratto compreso tra la stazione di Foggia e la linea ferrovia Bologna ÷ Bari (sostegni n° 426-427-428-429-430) dove l'opera in progetto attraversa il Torrente Celone con la campata sottesa ai sostegni n° 428 e 429, ed è finalizzato alla verifica di eventuali interferenze del nuovo elettrodotto con i flussi di piena del Torrente Celone.

L'attività condotta ha comportato le seguenti fasi:

1. Analisi della documentazione e degli studi disponibili prodotti dall'AdB Puglia e da altri enti competenti in materia;
2. Esecuzione di un rilievo topografico di dettaglio di tutto il tratto in esame: alveo di magra, argini esistenti in sinistra e in destra idraulica, terreno esterno agli argini;
3. Esecuzione di verifiche idrauliche dell'asta in esame attraverso modellazione matematica specialistica;
4. Individuazione delle aree esondabili sulla base delle ipotesi assunte e definizione delle interferenze dell'elettrodotto in progetto rispetto ai flussi idraulici di piena.

Nel seguito vengono descritte in dettaglio le verifiche svolte, rimandando agli elaborati grafici allegati per ulteriori informazioni relativamente al presente studio.

La figura seguente mostra una planimetria dell'area in esame con l'ubicazione dell'elettrodotto in progetto. Nell'Allegato 1 al presente documento si riportano le schede monografiche dei sostegni analizzati.



*Figura 1.1: Planimetria area con elettrodotto in progetto.*

## **2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

### **2.1 Descrizione del tracciato e delle opere in progetto**

Il tracciato del nuovo elettrodotto in progetto interessa i territori di Abruzzo, Molise e Puglia. Il tratto oggetto della presente relazione, di lunghezza complessiva di circa 140 km, compreso tra il sostegno n. 139 dell'elettrodotto 380 kV “Villanova – Gissi” nel comune di Gissi e la stazione elettrica di Foggia, passando per la stazione di Larino.

L'intera opera è sintetizzata come segue:

- Intervento 1 Elettrodotto aereo 380 kV doppia terna “Gissi - Larino” ed opere connesse
- Intervento 2 Elettrodotto aereo 380 kV doppia terna “Larino – Foggia” ed opere connesse
- Intervento 3 Riassetto elettrodotti aerei 380 kV in ingresso alla S.E. di Larino
- Intervento 4 Riassetto elettrodotti aerei 380 kV in ingresso alla S.E. di Foggia

L'opera sarà costituita prevalentemente da una palificata in doppia terna con sostegni di tipo tronco piramidale e da tratti in semplice terna con sostegni di tipo a delta finalizzati ad effettuare l'entra-esce di una terna nella stazione elettrica di Larino.

### 3 BACINO DI RIFERIMENTO

Il Torrente Celone fa parte dei Fiumi settentrionali della Regione Puglia e costituisce un affluente del Fiume Candelaro che sfocia nel Mar Adriatico nel Golfo del Gargano. È gestito dal Consorzio per la Bonifica della Capitanata che ha il compito di progettare, eseguire, mantenere e gestire le opere di bonifica del suo territorio; il Consorzio concorre inoltre alla realizzazione delle attività di difesa del suolo, gestisce ed utilizza le risorse idriche per un razionale sviluppo economico e sociale. In particolare, il Consorzio della Capitanata gestisce anche la diga di Torrebianca sul Torrente Celone, posta circa 12 km a monte del tratto in esame, che influenza direttamente i deflussi idrici nei tratti di valle.

Di seguito si riportano i dati del bacino di riferimento riferiti alla sezione di chiusura del tratto in esame.

- Superficie sottesa: 230 km<sup>2</sup>
- Lunghezza asta: 42 km
- Quota media: 320 m s.l.m.
- Quota sezione di chiusura: 52 m s.l.m.
- Tempo di Corrivazione (calcolato secondo la formula di Giandotti senza tenere conto della presenza della diga di Torrebianca): 9.4 ore

Le figure seguenti mostrano la mappa del contesto generale dove si inserisce l'area in esame.



*Figura 3.1: Estratto Mappa da googlemaps.*



*Figura 3.2: Estratto Mappa da googlemaps (modalità satellite).*

#### **4 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI): PIANO PER L'ASSETTO IDRAULICO**

Le finalità principali del Piano perseguono l'obiettivo di migliorare le condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologica per ridurre gli attuali livelli di pericolosità e consentire uno sviluppo sostenibile del territorio.

Relativamente all'ambito idraulico, il PAI ha in sintesi i seguenti obiettivi:

- Sistemazione, conservazione e recupero del suolo nei bacini idrografici
- Riordino del vincolo idrogeologico
- Difesa, sistemazione e regolazione dei corsi d'acqua
- Svolgimento dei servizi di polizia idraulica e gestione degli impianti

Più nello specifico vengono perseguiti tali obiettivi mediante le seguenti attività:

- Definizione del quadro di rischio idraulico e idrogeologico
- Adeguamento degli strumenti urbanistici e territoriali
- Apposizione di vincoli e prescrizioni sulle destinazioni d'uso più idonee per i suoli in relazione al grado di rischio associato
- Individuazione degli interventi di recupero e tutela del territorio

Le finalità del Piano per l'assetto idraulico riguardano innanzitutto:

- a) l'individuazione degli alvei e delle fasce di territorio inondabili per piene con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni dei principali corsi d'acqua del bacino interregionale;
- b) la definizione di una strategia di gestione finalizzata a salvaguardare le dinamiche idrauliche naturali, con particolare riferimento alle esondazioni e alla evoluzione morfologica degli alvei, a favorire il mantenimento e il ripristino di caratteri di naturalità del reticolo idrografico;
- c) la definizione di una politica di prevenzione e di mitigazione del rischio idraulico attraverso la formulazione di indirizzi e norme vincolanti relative ad una pianificazione del territorio compatibile con le situazioni di dissesto idrogeologico e la predisposizione di un quadro di interventi specifici, definito nei tipi di intervento, nelle priorità di attuazione e nel fabbisogno economico di massima.

Il PAI non si limita quindi ad indicare i criteri di definizione del rischio idraulico ma affronta anche la problematica della pianificazione territoriale indicando nello specifico quali sono le opere e gli interventi possibili nelle aree dei bacini idrografici in relazione alla classe di pericolosità di appartenenza.

Sono individuate a tale scopo n. 3 aree a diversa pericolosità idraulica successivamente definite (Art. 36):

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

Le aree inondabili così individuate e classificate sono soggette alle norme specifiche di assetto idraulico ed urbanistico di cui agli Art.6 ,Art.7, Art.8 e Art.9 delle Norme di attuazione del Piano di Bacino.

Il PAI individua e perimetra inoltre la **Fascia di pertinenza fluviale** (definita all'Art.36 delle norme), che comprende l'alveo attivo, le aree golenali e le porzioni contermini di ampiezza pari a 75 m per lato ove non individuate cartograficamente.

All'interno delle fasce di pertinenza fluviale, soggette alla disciplina di cui all'Art. 10 delle NTA sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

Le **Norme Tecniche di Attuazione** del Piano di Bacino Stralcio Assetto idrogeologico definiscono gli interventi possibili nelle aree ad Alta, Media e Bassa pericolosità idraulica e nelle Fasce di Pertinenza Fluviale.

Nelle aree ad alta e media pericolosità idraulica (Art. 7 comma 1 lettera d e Art. 8 comma 1 lettera d delle NTA) sono tra l'altro consentiti:

*interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino.*

In ogni caso le opere realizzabili (secondo l'Art. 4 – Disposizioni Generali delle NTA) devono essere tali da:

- a) *migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità idraulica;*
- b) *non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a valle o a monte, producendo significativi ostacoli al normale libero deflusso delle acque ovvero causando una riduzione significativa della capacità di invaso delle aree interessate;*
- c) *non costituire un elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione delle specifiche cause di rischio esistenti;*
- d) *non pregiudicare le sistemazioni idrauliche definitive né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;*
- e) *garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un ostacolo significativo al regolare deflusso delle acque;*
- f) *limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;*

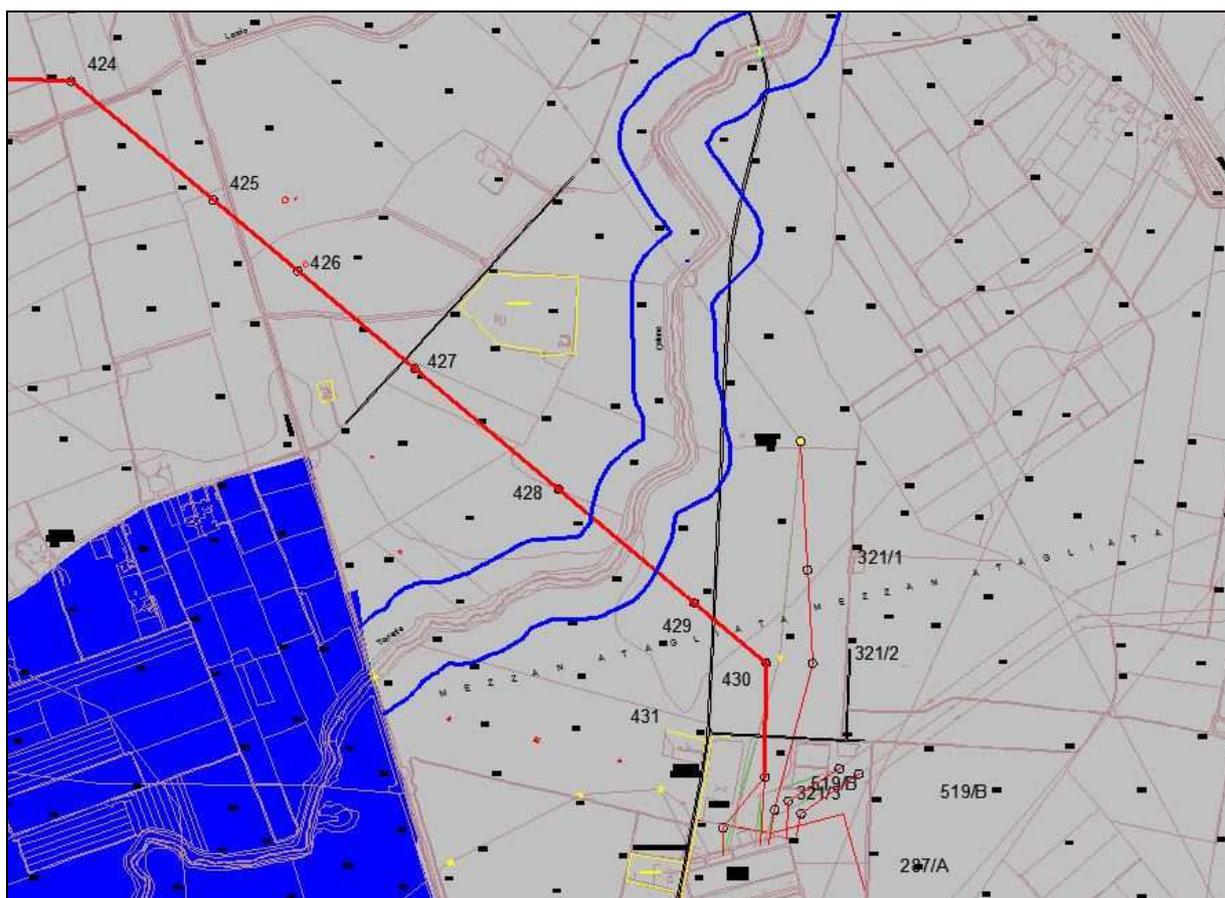
g) rispondere a criteri di basso impatto ambientale facendo ricorso, laddove possibile, all'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica.

**In sostanza i nuovi interventi sono consentiti purché non aumentino le condizioni di rischio idraulico.**

Le nuove infrastrutture, la cui esecuzione deve essere sottoposta al parere preventivo vincolante dell'AdBP, devono avere le seguenti caratteristiche:

1. non essere diversamente localizzabili
2. essere coerenti con la pianificazione degli interventi di mitigazione
3. essere coerenti con gli obiettivi del piano
4. non aumentare le condizioni di rischio idraulico

Nella seguente figura viene mostrata l'ubicazione dei sostegni oggetto del presente studio in rapporto alle aree a pericolosità idraulica (AP) indicata con campitura blu piena, ed alla fascia di pertinenza idraulica, indicata con limiti blu, definite dal PAI.



*Figura 4.1: Cartografia PAI con ubicazione del tracciato.*

Come osservabile i tralci in esame risultano esterni alla fascia di pertinenza fluviale ed alle fasce a pericolosità idraulica definite nel PAI.

## **5 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE**

Il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49, recante titolo “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni”, disciplina le attività di valutazione e di gestione dei rischi di alluvioni al fine di ridurre le conseguenze negative per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali derivanti dalle stesse alluvioni (art. 1 co. 1), secondo le seguenti fasi:

- valutazione preliminare del rischio di alluvioni entro il 22 settembre 2011 (art. 4);
- aggiornamento e realizzazione delle mappe della pericolosità e delle mappe del rischio di alluvioni entro il 22 giugno 2013 (art. 6);
- ultimazione e pubblicazione dei piani di gestione del rischio di alluvioni entro il 22 giugno 2015 (art.7), ferme restando le competenze regionali e del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile ai sensi del punto b) comma 3 dello stesso articolo;
- successivi aggiornamenti (2019, 2021).

Con riferimento alla prima delle previste fasi, l'articolo 4, comma 4, del D.Lgs. n. 49/2010, prevede che la valutazione preliminare del rischio di alluvioni non sia effettuata qualora vengano adottate le Misure Transitorie di cui all'articolo 11 comma 1; detto articolo dispone che le Autorità di Bacino non svolgono la valutazione preliminare del rischio di alluvioni di cui all'articolo 4, se hanno deciso, prima del 22 dicembre 2010, di elaborare mappe della pericolosità e mappe del rischio di alluvioni e di predisporre piani di gestione del rischio di alluvioni, conformemente alle disposizioni di cui agli art. 5, 6 e 7. Vista anche la presenza del Piano di Assetto Idrogeologico, documento in cui è già ricompresa la valutazione preliminare del rischio di alluvioni, con Delibera n. 64 del 16.12.2010 il Comitato Istituzionale dell'AdBP interregionale ha stabilito di adottare le suddette misure transitorie, e di elaborare le mappe della pericolosità e le mappe del rischio di alluvioni, nonché di predisporre piani di gestione del rischio di alluvioni, conformemente alle disposizioni di cui agli art. 5, 6 e 7 e nei limiti temporali fissati dal suddetto D.Lgs..

L'AdBP interregionale ha redatto, in una prima fase di lavoro, le mappe della pericolosità idraulica, propedeutiche a quelle del rischio di alluvioni.

In tale ambito, sono stati applicati i seguenti criteri:

- inserimento e caratterizzazione, secondo i parametri previsti dal decreto, del PAI vigente e degli ultimi aggiornamenti disponibili che abbiano conseguito almeno un passaggio di condivisione formale;
- individuazione delle “Fasce fluviali” sulla restante porzione del territorio non coperta da perimetrazioni idrauliche ma interessate dal reticolo idrografico opportunamente individuato in ordine alla significatività.

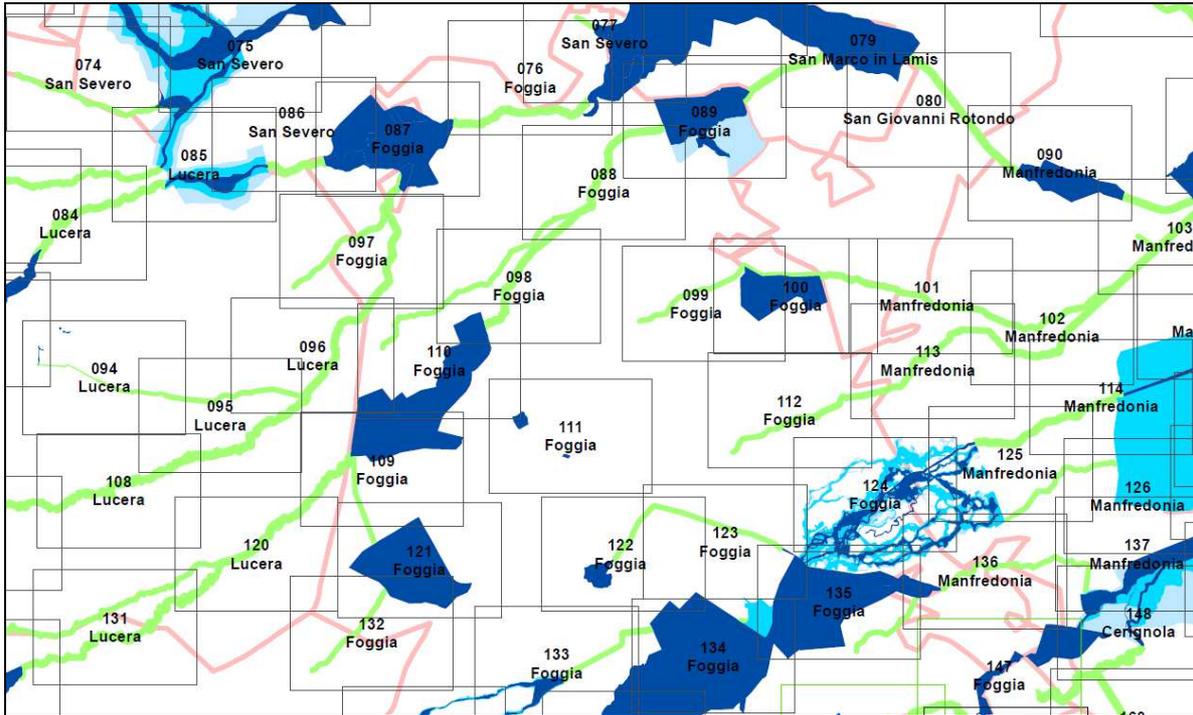
Le mappe di pericolosità e rischio, elaborate entro il termine di scadenza del 22 giugno 2013 ai sensi dell'art. 6 del D.Lgs. 49/2010, contengono le aree in cui possono verificarsi fenomeni alluvionali e la relativa determinazione del rischio sulla base delle informazioni di dettaglio derivante principalmente dalle carte tecniche regionali.

In merito all'utilizzo delle mappe come strumento conoscitivo per la pericolosità idraulica è opportuno precisare quanto segue:

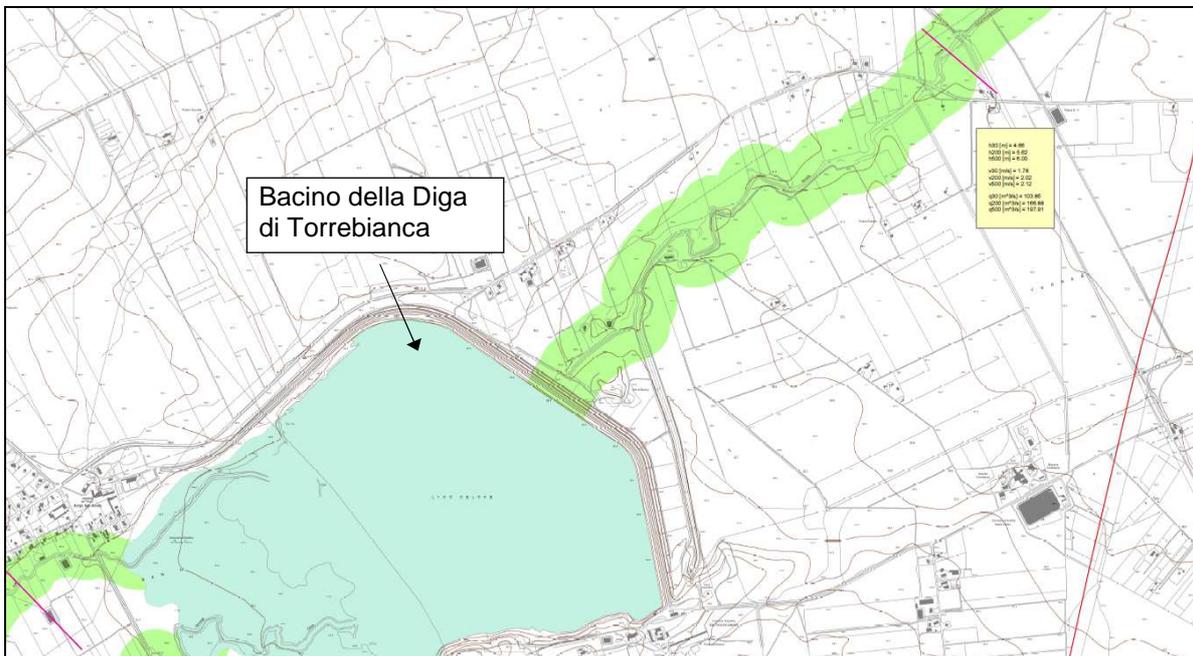
- le mappe della Direttiva Alluvioni non sostituiscono il Piano di Assetto Idrogeologico, il quale resta l'unico strumento normativo di vincolo sul territorio, attraverso i seguenti articoli del Titolo II - Assetto Idraulico delle Norme Tecniche di Attuazione:
  - art. 4. Disposizioni generali,
  - art. 6. Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali,
  - art. 7. Interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.),
  - art. 8. Interventi consentiti nelle aree a media pericolosità idraulica (M.P.),
  - art. 9. Interventi consentiti nelle aree a bassa pericolosità idraulica (B.P.),
  - art. 10. Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale.
- le Mappe di Pericolosità e Rischio hanno frequenza e modalità di aggiornamento differenti rispetto al PAI; ne consegue che il PAI può contenere perimetrazioni non presenti nelle mappe di pericolosità e rischio;
- considerata la finalità (non vincolistica, ma conoscitiva) delle Mappe di Pericolosità e Rischio, si è scelto di inserirvi perimetrazioni che ancora non avevano concluso l'iter burocratico per l'aggiornamento del PAI alla data di redazione delle Mappe; ne consegue che le Mappe possono contenere perimetrazioni non presenti nel PAI vigente.

Al fine di allineare i due strumenti è previsto l'aggiornamento delle mappe, entro il 22 settembre 2019 ai sensi dell'art. 12 comma 2 del D.Lgs. 49/2010.

Le figure seguenti mostrano gli estratti delle mappe di pericolosità ad oggi disponibili inerenti il torrente Celone in prossimità del tratto in esame. Si può notare che appena a monte dell'area viene individuata una zona ad alta pericolosità idraulica (aree in blu scuro) dove il Celone esonda anche in presenza di piene con tempo di ritorno 30 anni. Quest'area viene estesa fino alla ferrovia che rappresenta il limite di monte dell'area analizzata nel presente studio. La Figura 5.1 mostra l'inquadramento generale, mentre le successive riportano gli estratti delle singole tavole di dettaglio che riportano anche le portate delle piene stimate dallo studio dell'AdBP per questi tratti.



*Figura 5.1: Mappe di pericolosità (All. 2.1.0).*



*Figura 5.2: Mappe di pericolosità (Tavola 120).*

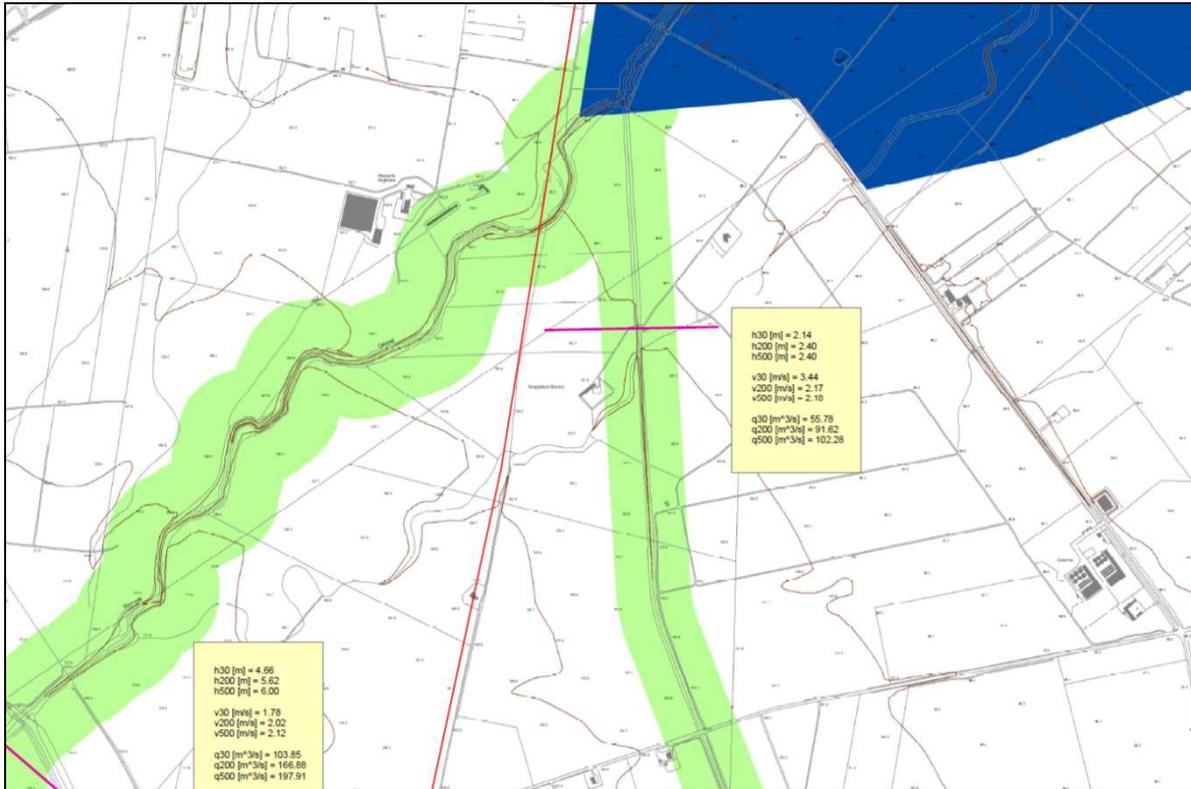


Figura 5.3: Mappe di pericolosità (Tavola 109).

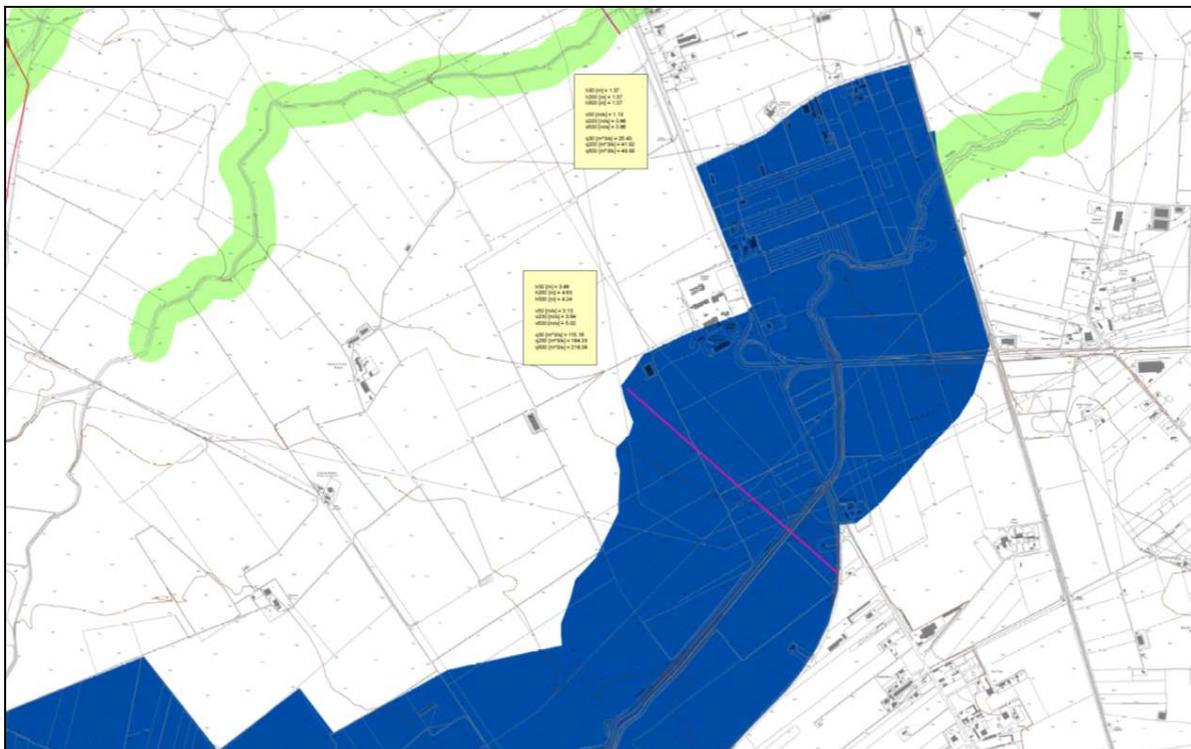
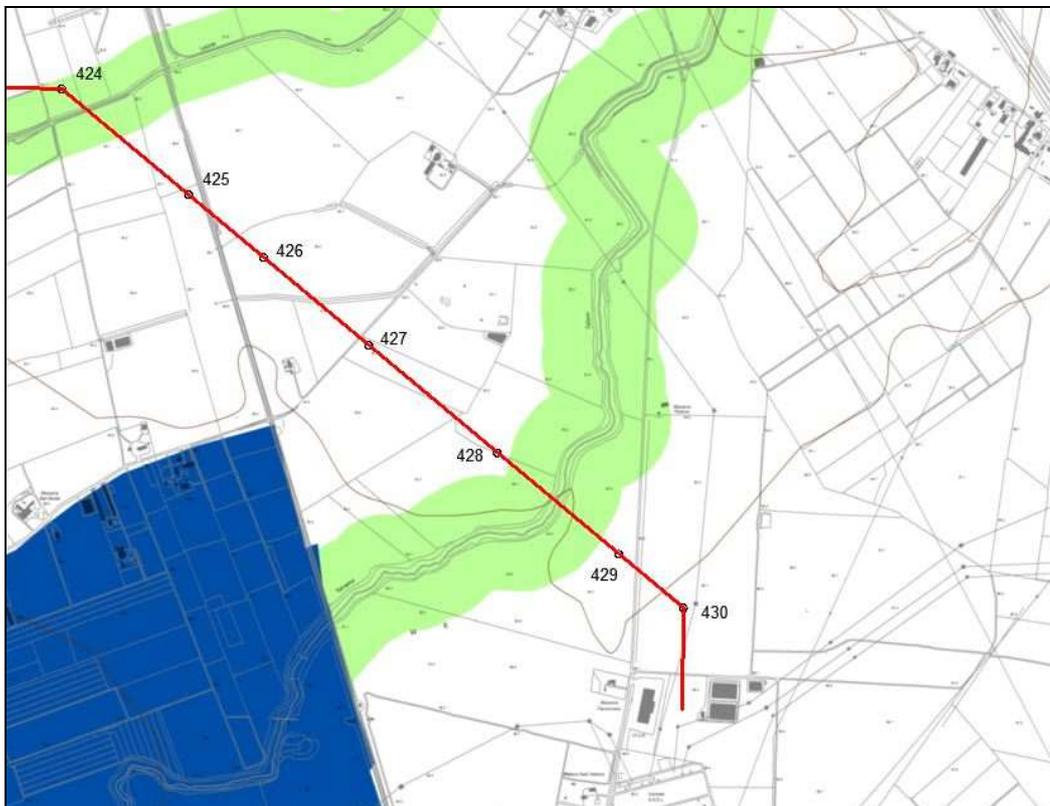


Figura 5.4: Mappe di pericolosità (Tavola 110).



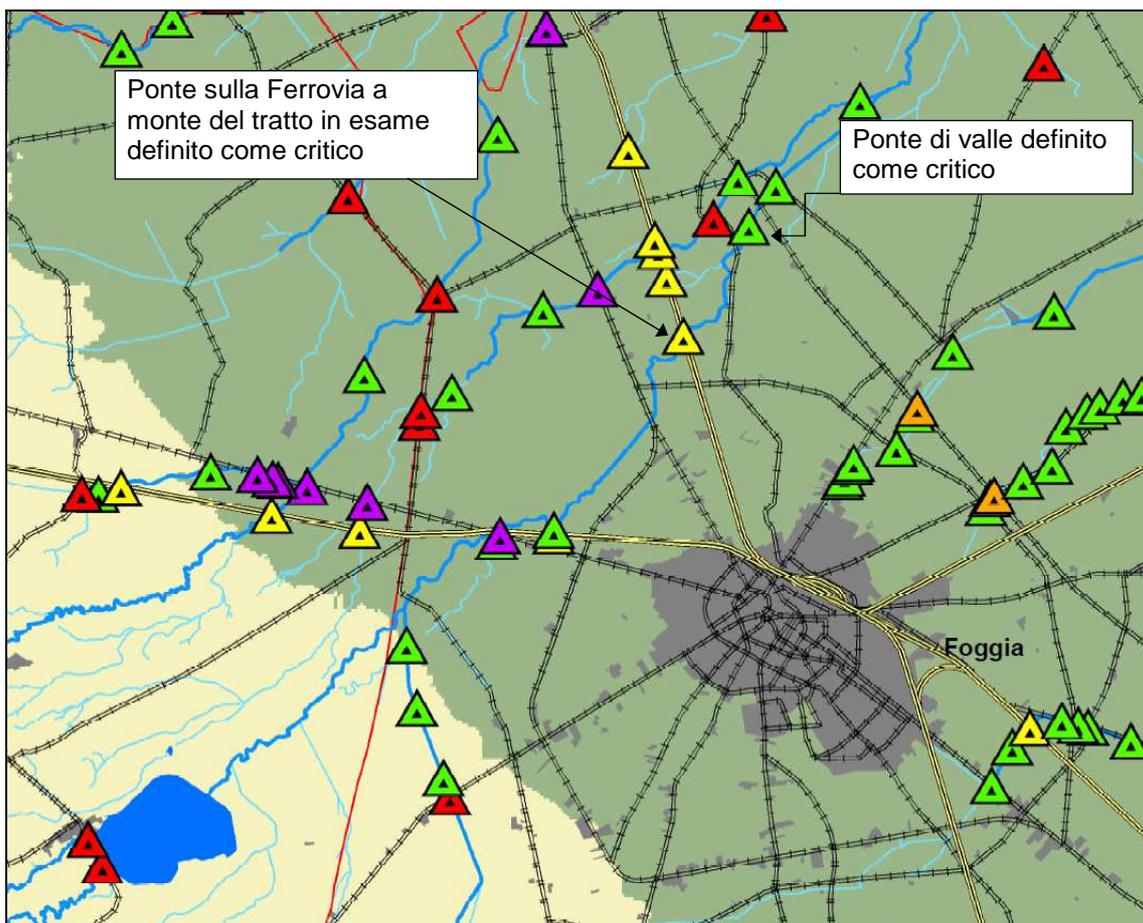
*Figura 5.5: Mappe di pericolosità (Tavola 98).*



*Figura 5.6: Mappe di pericolosità (Tavola 98) con ubicazione del tracciato.*

La Figura 5.6 evidenzia che i sostegni oggetto del presente studio sono esterni sia alle aree a pericolosità idraulica, indicate in blu, che alle Fasce Fluviali, indicate in verde.

Negli allegati al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni vengono inoltre individuate le opere di attraversamento dei fiumi che possono diventare critici durante gli eventi di piena; per completezza si riporta l'estratto della tavola relativa a tali opere critiche da cui si desume che entrambi i ponti di monte e di valle dell'area in esame risultano critici.



*Figura 5.7: Opere di attraversamento idraulico critiche per i Fiumi settentrionali (All. 3.3.2).*

Al fine di mitigare il rischio di alluvioni nel territorio di competenza dell'AdBP, sono state individuate le cosiddette 'misure' che rappresentano gli interventi necessari per eliminare o ridurre il rischio di alluvioni: nello specifico, è stata individuata la misura n. 2003 relativa all'area ad alta pericolosità idraulica individuata a monte della ferrovia, la cui ubicazione è mostrata in Figura 5.8 ed in Figura 5.9 di seguito riportate.

La misura citata, il cui iter progettuale non è ancora stato avviato, è finalizzata alla mitigazione della pericolosità idraulica del torrente Celone nella tratta medio valliva, e comporterà la realizzazione di interventi di sistemazione idraulica per complessivi € 11.000.000,00 (Codice Rendis 161R191/G1).

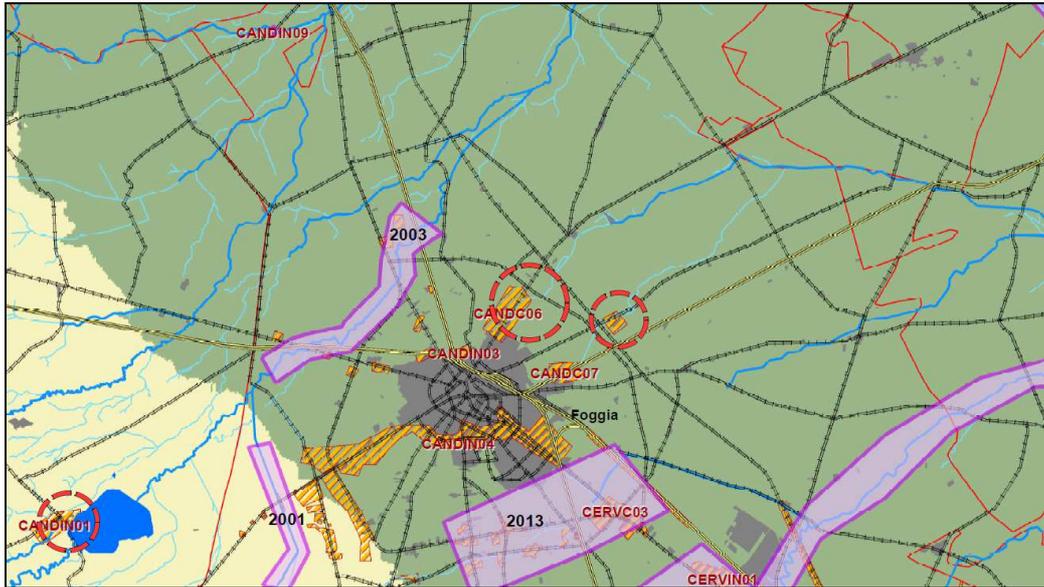


Figura 5.8: Misure Fiumi Settentrionali (All. 3.2.2).

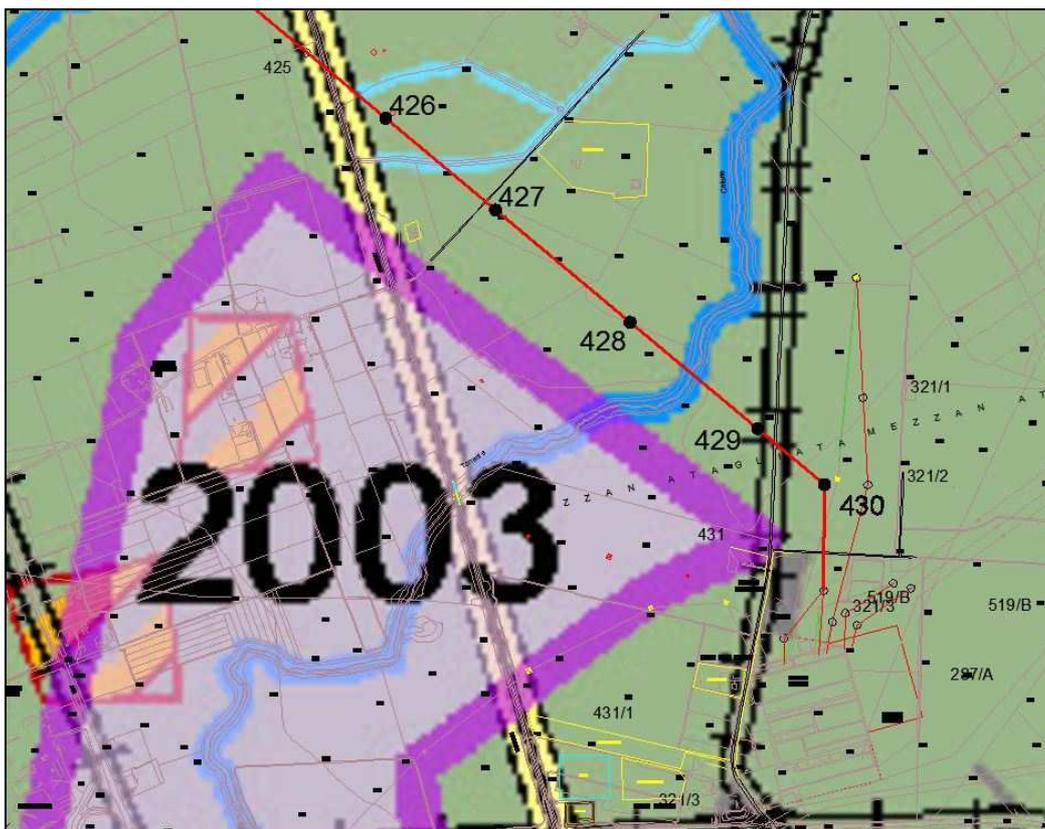


Figura 5.9: Misure Fiumi Settentrionali (All. 3.2.2).

La Figura 5.9 evidenzia che i sostegni in progetto sono esterni all'area interessata dalla realizzazione delle opere previste nella citata Misura 2003.

## **6 RILIEVI DI TERRENO**

### **6.1 Rilievo topografico**

Al fine di individuare le esatte caratteristiche topografiche dell'asta in esame e del terreno circostante è stato effettuato uno specifico rilievo topografico; tale rilievo ha coperto una lunghezza dell'asta di circa 2 km dal ponte della ferrovia a monte fino al ponte della strada provinciale a valle; l'estensione copre una larghezza massima di circa 2 km a cavallo del torrente; la presenza di campi privati inaccessibili durante le campagne di rilievo o di aree non raggiungibili ha ristretto localmente l'area rilevata.

Lungo l'asta in esame sono state battute sezioni trasversali distanziate mediamente di circa 50 m. L'alveo fluviale è stato battuto in alcune sezioni dove è stato possibile avvicinarsi con la strumentazione al corso d'acqua; è stata riscontrata una pendenza media di 0.3% che è stata utilizzata per collegare le sezioni che non è stato fisicamente possibile raggiungere. Gli argini sinistro e destro ed il terreno compreso sono stati battuti lungo tutto il tratto.

Per ragioni di completezza sono stati inoltre rilevati i sostegni esistenti e le opere principali presenti nell'area come ad esempio i ponti di monte e di valle.

In generale, il rilievo ottenuto ha permesso di definire con adeguata precisione il terreno e l'andamento del torrente.

Per lo scopo di cui sopra si è scelto di operare con un rilievo topografico a terra, avvalendosi di strumentazione GNSS (Global Navigation Satellite System) marca Topcon modello Hiper II, in configurazione Rover con appoggio alla rete di Stazioni Permanenti Netgeo, inquadrato nel sistema nazionale ETRF2000-RDN. Tale configurazione strumentale permette di ottenere direttamente in campagna le coordinate (lat., long., elevazione ellissoidica) avvalendosi della correzione differenziale delle stazioni permanenti vicine alla zona di rilievo (modalità VRS Virtual Reference Station) inviata tramite internet mobile da un server remoto e registrate nel controller associato alla strumentazione GNSS. L'accuratezza del sistema è dell'ordine dei 2-3 cm per la componente orizzontale e di 3-4 cm per quella verticale con alcuni punti intorno ai 5 cm.

Con detta strumentazione si è operato in campagna creando una maglia di punti rilevati ogni 50 m circa, raffittendo detta scansione laddove la conformazione del terreno o dei manufatti lo ha richiesto, ad esempio lungo gli argini del torrente, lungo le strade e le recinzioni.

Per il rilievo della sezione dei due ponti, quello ferroviario e quello stradale, posti ai due estremi del tratto di torrente oggetto di rilievo, si è scelto di operare con strumentazione tradizionale, Stazione Totale con distanziometro laser, riagganciando questo rilievo a quello GNSS mediante alcuni punti comuni, individuati su spigoli di manufatti, rilevati con entrambe le metodologie.

I dati registrati a bordo macchina sono stati scaricati su PC ed elaborati con software dedicati.

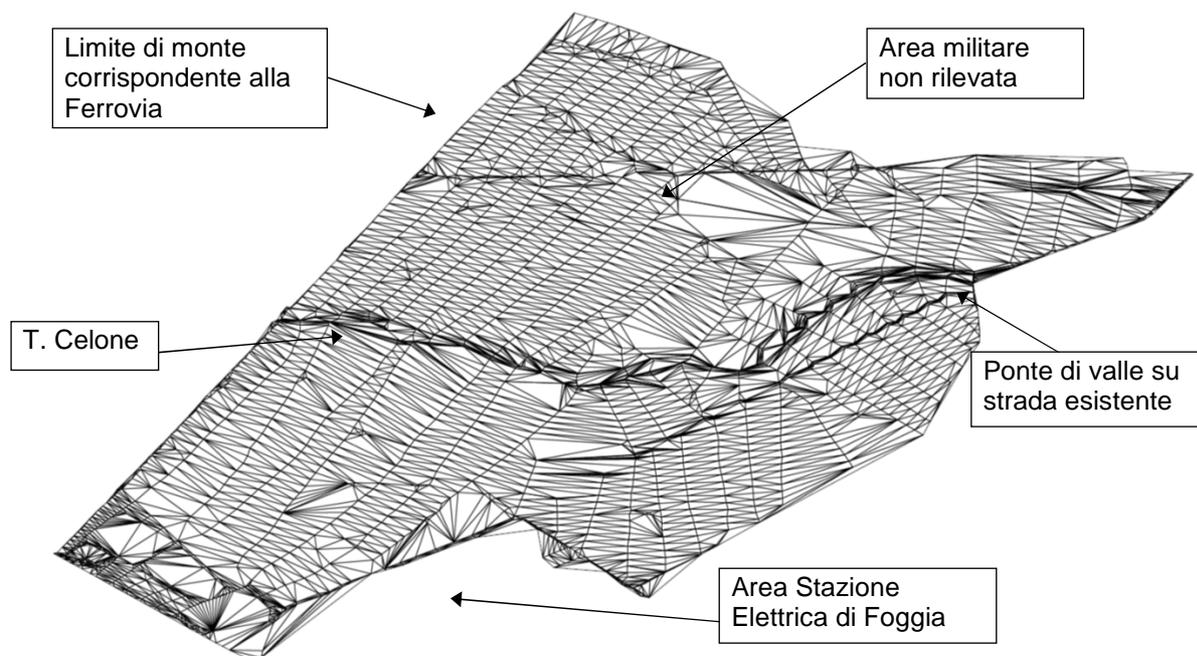
In particolar modo, mediante software, si sono trasformate le coordinate geografiche grezze (lat., long., elevazione ellissoidica) espresse nel sistema ETRF2000-RDN in coordinate piane (nord, est, quota) nel sistema UTM – ETRF2000. Questa operazione di proiezione cartografica, che permette la sovrapposizione del rilievo alla Carta Tecnica Regionale, è necessaria al fine di poter lavorare sia con software topografici che con CAD.

Particolare attenzione si è posta nella trasformazione del valore della elevazione ellissoidica di ogni singolo punto, quota espressa a partire dalla superficie dell'ellissoide di riferimento, nella quota sul livello del mare, oggigiorno espressa a partire dalla superficie del geoide.

Per rendere tali quote confrontabili con quelle espresse nella cartografia ufficiale della Regione Puglia (riferite al Sistema Nazionale Genova 1942), le stesse sono state trasformate con l'uso di un grigliato IGMI (Istituto Geografico Militare Italiano) centrato localmente, espressione del Geoide ITALGEO2005, mediante il quale si raggiungono valori di quota sul livello del mare confrontabili con quelli della livellazione di alta precisione IGMI (Sistema Nazionale Genova 1942) con scostamento medio tra sistemi di 0,04m (Dati IGMI).

Eseguite le debite trasformazioni si è provveduto alla restituzione del piano quotato, alla sua sovrapposizione alla CTR, alla definizione delle sezioni trasversali e del torrente ed alla loro restituzione grafica.

Di seguito si riporta un esempio di TIN (Triangular Irregular Network) ottenuto dal rilievo svolto: si possono notare il Celone, l'area all'esterno degli argini sostanzialmente pianeggiante e i limiti del rilievo stesso. In sinistra idrografica è presente un'area militare che non è stato possibile rilevare anche se si può affermare che anch'essa risulta piana rispetto al terreno circostante.



*Figura 6.1: TIN (Triangular Irregular Network) ottenuto dal rilievo dell'area.*

Le tavole grafiche allegate riportano il rilievo eseguito e le sezioni trasversali più significative.

## **6.2 Rilievo fotografico**

Durante la campagna topografica eseguita in sito sono state effettuate riprese fotografiche dell'area. Nel seguito vengono riportate le immagini più significative che chiariscono meglio le caratteristiche morfologiche e la presenza di elementi antropici; questi elementi influiscono inoltre sulle sezioni idrauliche trasversali e quindi sul modello idraulico.

La documentazione viene suddivisa in due gruppi principali, rispettivamente all'interno e all'esterno degli argini esistenti. All'interno degli argini si vedono i ponti di attraversamento di monte e di valle, la vegetazione spontanea presente lungo l'alveo di magra e sugli argini, mentre all'esterno si vedono soprattutto campi agricoli dove non ci sono strutture di rilievo a meno di alcuni insediamenti e dei tralicci esistenti o in costruzione. Lungo il rilevato della ferrovia si sono riscontrati n. 2 ponti che permettono il deflusso idrico superficiale durante possibili esondazioni dagli argini: questi ponti sono in muratura ad arco di età non precisata.

In sostanza dal punto di vista idraulico è possibile affermare che lungo l'alveo è presente una vegetazione rigogliosa spontanea mentre all'esterno la superficie risulta soprattutto agricola; tali elementi verranno tenuti in considerazione nella stima dei coefficienti di scabrezza da inserire come input nel programma di calcolo.

### Torrente Celone



*Figura 6.2: Ponte ferroviario a monte.*



*Figura 6.3: Torrente Celone (sezione a valle del Ponte ferroviario).*



*Figura 6.4: Torrente Celone (sezione idraulica caratteristica del tratto in esame).*



*Figura 6.5: Torrente Celone (sezione appena a monte del Ponte di valle).*



*Figura 6.6: Argine esterno in destra idrografica verso valle.*



*Figura 6.7: Ponte stradale di valle.*

**Aree esterne agli argini**



*Figura 6.8: Rilevato ferroviario lungo il confine di monte dell'area in esame in destra idrografica.*



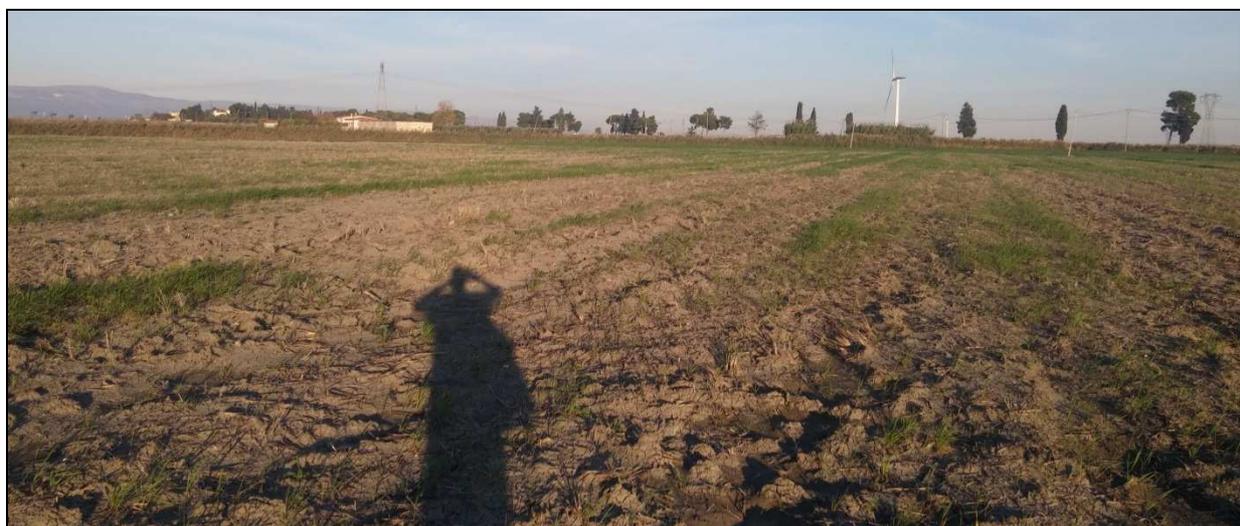
*Figura 6.9: Rilevato ferroviario con ponte in muratura lungo il confine di monte dell'area in esame in destra idrografica.*



*Figura 6.10: Rilevato ferroviario con ponte in muratura lungo il confine di monte dell'area in sinistra idrografica.*



*Figura 6.11: Campo in destra idrografica.*



*Figura 6.12: Campo in sinistra idrografica.*



*Figura 6.13: Campo in sinistra idrografica.*



*Figura 6.14: Campo in sinistra idrografica.*

## 7 ANALISI IDRAULICA

Le scelte effettuate, con particolare riferimento all'adozione delle condizioni al contorno, devono considerarsi cautelative nell'ottica del perseguimento della tutela idraulica del territorio attraversato.

Al fine di testare la capacità di deflusso del Torrente Celone è stata effettuata un'analisi idraulica mediante l'utilizzo del programma Hec-Ras (descritto nel seguito).

Le simulazioni sono state effettuate nelle seguenti condizioni:

- stato di fatto;
- stato di progetto in presenza dei tralicci dell'elettrodotto.

Nei modelli idraulici sono state inserite le sezioni battute dal rilievo topografico prima della proiezione cartografica effettuata per rendere compatibili le quote rilevate con le quote della Carta Tecnica Regionale; pertanto, le quote delle sezioni del modello risultano più basse di circa 26 cm rispetto alle quote indicate nelle tavole allegate. Tale scostamento non ha influito nei risultati idraulici in quanto la proiezione cartografica ha determinato essenzialmente una traslazione verticale delle quote dei punti battuti.

### 7.1 Descrizione del software di calcolo

#### 7.1.1 Caratteristiche principali

Per le simulazioni del deflusso di piena in condizioni di moto permanente è stato utilizzato il software di calcolo Hec-Ras (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), versione 4.1, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dello U.S. Army Corps of Engineers. Hec-Ras è un sistema integrato di software, progettato per uso interattivo in un ambiente multiutente; esso risulta costituito dai seguenti moduli:

- interfaccia grafica;
- routines per l'analisi idraulica;
- routines di memorizzazione e gestione dati;

- routines di graficizzazione e presentazione dei risultati.

Il programma può gestire un'intera rete di canali, un sistema ad albero o un singolo ramo; esso è in grado di modellare il moto permanente in regime di corrente lenta, veloce o regime misto.

La procedura utilizzata nei calcoli si basa sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia; le perdite di carico valutate sono quelle distribuite (equazione di Manning) e quelle localizzate causate dalla contrazione o espansione della vena liquida (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica).

Numerose esperienze ed applicazioni di letteratura hanno mostrato che l'ipotesi di moto monodimensionale conduce in casi analoghi a quello in esame a risultati accettabili dal punto di vista ingegneristico; utilizzando le ipotesi del moto monodimensionale è possibile infatti ricostruire l'andamento del pelo libero tenendo conto di tutte le strutture presenti lungo un alveo quali ponti, briglie, sfioratori laterali, argini, ostacoli di vario genere. In presenza della geometria di progetto è possibile identificare tutte le grandezze utili per uno studio idraulico come ad esempio la velocità della corrente e le pendenze dei singoli tratti.

L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni. Ciò si verifica: in condizione di regime misto, nei punti di passaggio da corrente veloce a lenta, in corrispondenza dei ponti e dei tombini oppure nei pressi delle confluenze fra corsi d'acqua.

Nei calcoli possono essere considerati gli effetti di punti singolari quali ponti, tombini di varia forma e con aperture singole o multiple, soglie sfioranti e paratoie; inoltre si possono confrontare e valutare direttamente gli effetti indotti da una sistemazione idraulica (riprofilatura o arginatura) riportando sulle stesse sezioni trasversali del corso d'acqua la traccia del pelo libero nelle condizioni post-operam e ante-operam.

Il modello Hec-Ras ha permesso di valutare i punti dove il torrente esonda in relazione all'altezza idrica e all'altezza degli argini. Una volta definiti i punti di esondazione, l'estensione dell'area interessata dalla piena all'esterno degli argini è stata definita attraverso l'analisi morfologica del terreno, valutando per gravità la direzione della corrente; in altre parole, l'area bagnata risulta l'involuppo dei punti aventi una quota topografica più bassa rispetto al terreno naturale (all'esterno degli argini) in corrispondenza del punto stesso di esondazione.

### **7.1.2 Procedura di calcolo**

Utilizzando il procedimento iterativo il software determina il profilo di moto permanente risolvendo la seguente equazione:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (4.1)$$

dove:

$Y_1, Y_2$ : altezza d'acqua nella sezione trasversale;  
 $Z_1, Z_2$ : quota del fondo nella sezione trasversale;  
 $V_1, V_2$ : velocità media nella sezione trasversale;  
 $\alpha_1, \alpha_2$ : coefficiente di Coriolis;  
 $g$ : accelerazione gravitazionale 9.81 m/s<sup>2</sup>;  
 $h_e$ : perdita di carico totale tra le sezioni 1 e 2.

Le perdite di carico tra due sezioni comprendono sia la dissipazione localizzata che quella distribuita. L'equazione è la seguente:

$$h_e = L S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (4.2)$$

dove:

- L: distanza tra le due sezioni contigue 1 e 2;
- $S_f$ : pendenza della linea dell'energia;
- C: coefficiente per le perdite di carico localizzate.

Per la determinazione del valore della pendenza motrice  $S_f$  il programma calcola la conduttanza totale della sezione trasversale sommando la conduttanza di tutte le parti della sezione trasversale comprese fra due punti contigui. La conduttanza può essere così definita:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{S_f}} \quad (4.3)$$

dove:

- $K = 1.486 A R^{2/3}/n$  = conduttanza della porzione di golena considerata con:
  - n = coefficiente di scabrezza di Manning;
  - A = area della sezione idrica;
  - R = raggio idraulico.

Per la determinazione delle perdite di carico localizzate il programma valuta la variazione del termine cinetico tra due sezioni contigue e lo moltiplica per il coefficiente di contrazione/espansione della vena liquida.

Hec-Ras è in grado di calcolare la perdita di energia dovuta a ponti e/o sottopassi suddividendoli in tre parti distinte: la prima rappresenta la perdita che si ha nel ramo immediatamente a valle della struttura dove avviene l'espansione del flusso, la seconda nella struttura stessa e la terza nel ramo immediatamente a monte dell'imbocco dove la vena liquida subisce la contrazione.

La procedura seguita dal programma per la definizione del profilo idrico risulta così schematizzabile:

- acquisizione della quota del pelo libero nella sezione di monte o valle a seconda che si operi in regime di corrente veloce o lenta;
- in base all'altezza d'acqua assunta si calcola la velocità media nella sezione e la conduttanza totale;
- con i valori derivanti dallo step b si calcola il valore di  $S_f$  e si risolve l'equazione (4.2);
- con i valori derivanti dallo step b e c ricava la quota del pelo libero risolvendo l'equazione (4.1);
- si paragona la quota del pelo libero assunto nello step a con quello derivante dallo step d e se la differenza non è superiore alla tolleranza imposta si riprende dallo step a imponendo una quota del pelo libero pari alla quota dell'iterazione precedente maggiorata del 70% della differenza ottenuta fra la quota

calcolata e quella assunta. Il metodo usato per la determinazione della quota definitiva del pelo libero è quello della secante.

### 7.1.3 Applicazione dell'equazione della conservazione della quantità di moto

In alternativa all'equazione di bilancio energetico, e tipicamente per tratti di non linearità della corrente (risalti idraulici, ponti, confluenze, etc.), viene utilizzata l'equazione di bilancio di quantità di moto, nella forma:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \rho \Delta V_x \quad (4.4)$$

dove:

- P forze dovute alla pressione idrostatica nelle sezioni 1 e 2;
- $W_x$  forza peso nella direzione x;
- $F_f$  forza di attrito tra le sezioni 1 e 2;
- Q portata;
- $\rho$  densità dell'acqua;
- $\Delta V_x$  variazione di velocità tra le sezioni 1 e 2, nella direzione x;

essendo:

$$P = \gamma A Y \cos \theta \quad (4.5)$$

con:

- $\gamma$  peso specifico dell'acqua;
- A area di deflusso;
- Y affondamento del baricentro della sezione della corrente;

$$W_x = \gamma \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \text{sen} \theta \quad (4.6)$$

con:

- L distanza tra le due sezioni successive;

$$\text{sen} \theta = \frac{Z_1 - Z_2}{L} \quad (4.7)$$

con:

- $Z_i$  quota fondo della sezione i-esima;

con:

$$F_f = \tau P L \quad (4.8)$$

con

- $\tau$  tensione superficiale d'attrito;
- P sviluppo medio del contorno bagnato nelle sezioni 1 e 2;

$$\tau = \gamma R S_f \quad (4.9)$$

dove:

- R raggio idraulico;
- $S_f$  gradiente idraulico.

## 7.2 Stima delle portate di progetto

La stima delle portate di progetto è stata effettuata analizzando gli elaborati dell’Autorità di Bacino della Puglia (AdBP) disponibili al momento della redazione del presente documento; le portate fanno riferimento ai 3 tempi di ritorno indicati dai criteri dell’AdBP pari in particolare 30, 200 e 500 anni. I valori utilizzati nel calcolo sono stati desunti dalle mappe di pericolosità più sopra riportate con riferimento alle portate dichiarate nelle sezioni disponibili lungo il torrente Celone nell’intorno dell’area in esame riassunte nella seguente tabella.

| Sezione  | Posizione                          | Tavola di riferimento | q30 (m <sup>3</sup> /s) | q200 (m <sup>3</sup> /s) | q500 (m <sup>3</sup> /s) |
|----------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1        | A valle della Diga di Torrebianca  | 120                   | 103,85                  | 166,88                   | 197,91                   |
| 2        | In corrispondenza della confluenza | 109                   | 159,63                  | 258,50                   | 300,19                   |
| <b>3</b> | <b>A monte della Ferrovia</b>      | <b>110</b>            | <b>115,16</b>           | <b>184,33</b>            | <b>218,38</b>            |
| <b>4</b> | <b>A valle del tratto in esame</b> | <b>98</b>             | <b>118,96</b>           | <b>198,33</b>            | <b>223,79</b>            |

*Tabella 7.1: Portate di piena desunte dalle mappe di pericolosità dell’AdBP.*

I criteri definiti dalle linee guida dell’AdBP e dalla Relazione di piano, in relazione ai dati idraulici del bacino e dell’asta fluviale sopra riportate, portano a valori di portate di progetto teoriche TR200 dell’ordine di 400-500 m<sup>3</sup>/s, decisamente più elevate rispetto a quelle indicate nelle mappe di pericolosità di cui alle precedenti figure. Si evidenzia che il calcolo teorico non tiene conto di elementi che modificano di fatto le portate di piena nei tratti medio-vallivi del Celone: in particolare si fa riferimento alla presenza della Diga di Torrebianca, che non può essere considerata trasparente rispetto all’onda di piena, ed alla presenza di tratti dove il Celone spaglia disperdendo volumi d’acqua importanti (Tavole 109-110).

Per quanto riguarda la Diga di Torrebianca, non avendo a disposizione le portate in uscita dalla diga nei vari scenari di progetto, gli scriventi non hanno modo di definire autonomamente le portate di progetto relative ai periodi di ritorno indicati dalle linee guida. Inoltre, appena a monte del tratto in esame oltre la ferrovia viene individuata dalle mappe citate una vasta area ad Alta Pericolosità idraulica dove il Celone disperde una parte dei volumi d’acqua in occasione di piena, determinando al contempo una riduzione delle portate convogliate dall’alveo del torrente. Tali riscontri (la presenza della diga e delle aree di esondabilità) spiegano le differenze tra le portate di progetto calcolate in funzione dei dati di bacino e le portate dichiarate nelle mappe di pericolosità che risultano inferiori.

Si precisa che nel presente studio non verranno tenuti in considerazione gli interventi (misure) previsti per mitigare le esondazioni in quest’area: tali interventi, definiti come Misura n. 2003 “Mitigazione della pericolosità idraulica del torrente Celone nella tratta medio valliva”, non sono ancora stati progettati ma risultano attualmente in previsione per ridurre il rischio idraulico nel Comune di Foggia. Non essendoci quindi una precisa indicazione degli interventi previsti e della data di esecuzione dei lavori, non è possibile allo stato considerarli nella modellazione idraulica.

Con riferimento alla portata di piena avente un tempo di ritorno di 200 anni, nel calcolo di compatibilità idraulica si assume la portata di progetto ottenuta mediando opportunamente i 2 valori indicati a cavallo dell'area in esame pari a 192 m<sup>3</sup>/s; i risultati dei calcoli idraulici vengono descritti nel Capitolo 4.

### 7.3 Coefficienti di perdita energetica, condizioni al contorno

In relazione alle caratteristiche morfologiche del corso d'acqua è stato assunto un unico valore di scabrezza (espresso mediante il coefficiente n di Manning): 0.040 s/m<sup>1/3</sup>.

Per i coefficienti di perdita localizzata si sono assunti i valori standard:

- • Corrente accelerata = 0.1 (0.3 coeff. contrazione in corrispondenza dei tombini)
- • Corrente ritardata = 0.3 (0.5 coeff. espansione in corrispondenza dei tombini)

L'alveo si presenta generalmente a debole pendenza, pertanto la condizione al contorno di riferimento per il tracciamento del profilo è quella di valle: nel modello è stata pertanto inserita una quota idrometrica pari all'altezza del torrente alla sezione di chiusura in condizioni di moto uniforme, come usuale per le correnti di tipo lento.

Per quanto riguarda la condizione al contorno di monte, che deve essere inserita per esigenze di software, si è posta l'altezza della corrente pari a quella di stato critico.

Il modello del corso d'acqua viene creato nel software tramite l'inserimento di sezioni caratteristiche, chiamate River Station (RS=River Station). Le sezioni inserite corrispondono alle sezioni battute durante il rilievo topografico disponibile. In totale sono state inserite n. 33 sezioni comprese tra il ponte sulla ferrovia a monte e il ponte sulla strada provinciale a valle; la sezione RS0 corrisponde alla sezione di valle in corrispondenza del ponte sulla strada esistente, mentre la sezione RS44 corrisponde alla sezione del rilievo in prossimità del ponte sulla ferrovia. Complessivamente il profilo idraulico ha una lunghezza di 2080 m circa; la distanza tra le sezioni idrauliche è pari generalmente a circa 50 m nel tratto di monte e a cavallo dei tralicci in progetto, mentre aumenta a circa 80 m nel tratto più a valle. Ciò è dovuto principalmente alla riduzione del numero di punti battuti a valle causata dalla difficoltà di accesso in questa porzione dell'area in esame.

Per definire in maniera completa lo sviluppo del torrente le sezioni inserite sono state successivamente interpolate attraverso un'apposita funzione del software.

La tabella seguente riassume le grandezze geometriche delle sezioni idrauliche inserite nel modello di calcolo.

| River Sta | Profile | Q Total             | Min Ch EI | Levee EI Left | Levee EI Right |
|-----------|---------|---------------------|-----------|---------------|----------------|
|           |         | (m <sup>3</sup> /s) | (m)       | (m)           | (m)            |
| 44        | PF 1    | 192                 | 52.5      | 59.2          | 59.16          |
| 42        | PF 1    | 192                 | 52.46     | 59.58         | 59.65          |
| 40        | PF 1    | 192                 | 52.28     | 59.35         | 59.13          |
| 39        | PF 1    | 192                 | 52.17     | 59.16         | 58.88          |
| 38        | PF 1    | 192                 | 52.04     | 58.81         | 58.63          |

| River Sta | Profile | Q Total | Min Ch EI | Levee EI Left | Levee EI Right |
|-----------|---------|---------|-----------|---------------|----------------|
|           |         | (m3/s)  | (m)       | (m)           | (m)            |
| 36        | PF 1    | 192     | 51.48     | 58.50         | 58.48          |
| 35        | PF 1    | 192     | 51.43     | 57.82         | 57.91          |
| 34        | PF 1    | 192     | 51.37     | 57.63         | 57.41          |
| 33        | PF 1    | 192     | 51.17     | 57.29         | 57.2           |
| 32        | PF 1    | 192     | 51.05     | 57.56         | 57.39          |
| 31        | PF 1    | 192     | 50.9      | 58.04         | 57.28          |
| 30        | PF 1    | 192     | 50.78     | 57.74         | 57.16          |
| 29        | PF 1    | 192     | 50.46     | 57.43         | 56.63          |
| 28        | PF 1    | 192     | 50.13     | 56.49         | 56.26          |
| 27        | PF 1    | 192     | 49.81     | 55.67         | 56.46          |
| 26.6      | PF 1    | 192     | 49.49     | 55.86         | 56.35          |
| 26.4      | PF 1    | 192     | 49.49     | 55.86         | 56.35          |
| 25        | PF 1    | 192     | 49.17     | 55.72         | 56.06          |
| 23        | PF 1    | 192     | 48.87     | 55.61         | 55.4           |
| 21        | PF 1    | 192     | 48.59     | 55.49         | 55.14          |
| 19        | PF 1    | 192     | 48.16     | 55.17         | 55.74          |
| 18        | PF 1    | 192     | 48.24     | 54.9          | 55.36          |
| 17        | PF 1    | 192     | 47.9      | 54.76         | 54.85          |
| 16        | PF 1    | 192     | 48.1      | 54.73         | 54.54          |
| 15        | PF 1    | 192     | 48.05     | 54.19         | 54.28          |
| 12        | PF 1    | 192     | 47.63     | 53.63         | 53.25          |
| 9         | PF 1    | 192     | 47.27     | 53.31         | 52.79          |
| 8         | PF 1    | 192     | 47.15     | 53.24         | 52.77          |
| 6         | PF 1    | 192     | 46.91     | 53.1          | 52.73          |
| 4         | PF 1    | 192     | 46.65     | 52.56         | 52.68          |
| 3         | PF 1    | 192     | 46.49     | 52.58         | 52.24          |
| 1         | PF 1    | 192     | 46.17     | 52.82         | 52.9           |
| 0.5       | Bridge  |         |           |               |                |
| 0         | PF 1    | 192     | 46.15     | 52.82         | 52.9           |

*Tabella 7.2: Caratteristiche geometriche sezioni idrauliche.*

Con riferimento alle tabelle e alle figure riportate nei paragrafi successivi, di seguito si riporta la legenda dei parametri idraulici citati.

| River Sta | Sezione idraulica                                 |
|-----------|---|
| Q total   | Portata totale nella sezione idraulica            |
| Min Ch EI | Quota minima dell'alveo                           |
| W.S. Elev | Quota di calcolo del livello dell'acqua           |
| Crit W.S. | Quota corrispondente all'altezza critica del moto |
| E.G. Elev | Quota dell'energia totale                         |

| River Sta      | Sezione idraulica                                |
|----------------|--|
| E.G. Slope     | Pendenza dell'energia totale                     |
| Vel Chnl       | Velocità media dell'acqua all'interno dell'alveo |
| Flow Area      | Area bagnata                                     |
| Top Width      | Larghezza dell'area bagnata                      |
| Froude # Chl   | Numero di Froude dell'alveo                      |
| Levee El Left  | Quota dell'argine sinistro                       |
| Levee El Right | Quota dell'argine destro                         |
| EG             | Energia totale                                   |
| WS             | Livello dell'acqua                               |
| Crit           | Altezza critica                                  |
| Ground         | Profilo della sezione                            |
| Levee          | Argine   |
| Bank Sta       | Limite dell'alveo                                |

*Tabella 7.3: Legenda parametri idraulici.*

Relativamente alle due simulazioni effettuate, nei paragrafi seguenti, sono riportati le sezioni e i profili estratti dal programma di calcolo.

Il valore della portata di progetto con tempo di ritorno duecentennale è pari a 192 m<sup>3</sup>/s: di seguito si verifica se tale portata possa defluire attraverso il ponte di monte. La portata di deflusso attraverso un ponte ad arco può essere valutata infatti mediante la seguente espressione semplificata:

$$Q_{\max} = b \sqrt{\frac{g \cdot H^3}{1.5^3}}$$

con  $H=0.7 \cdot H_C + 0.3 \cdot H_L$

Dove:

b: larghezza della luce del ponte di generica sezione rettangolare

H: altezza del ponte di generica sezione rettangolare

H<sub>C</sub> e H<sub>L</sub>: rispettivamente l'altezza centrale e l'altezza laterale di un ponte ad arco

La relazione precedente si basa su alcune ipotesi semplificative che rendono i risultati affetti da margini di errore di cui occorre tenere conto nelle valutazioni ingegneristiche oggetto della presente relazione. Per questo, considerando unicamente la campata principale del ponte sulla ferrovia e considerando che la campata laterale risulta parzialmente interrata, la massima portata smaltibile complessivamente dal ponte di monte risulta pari a circa 1.5 volte la portata calcolata per la singola campata; si ha quindi una portata di circa 300 m<sup>3</sup>/s (si veda la seguente tabella) superiore alla portata duecentennale di progetto, pari come detto a 192 m<sup>3</sup>/s.

|                    |      |
|--------------------|------|
| B (m)              | 7,34 |
| H <sub>C</sub> (m) | 6,7  |
| H <sub>L</sub> (m) | 5,5  |
| H (m)              | 6.28 |

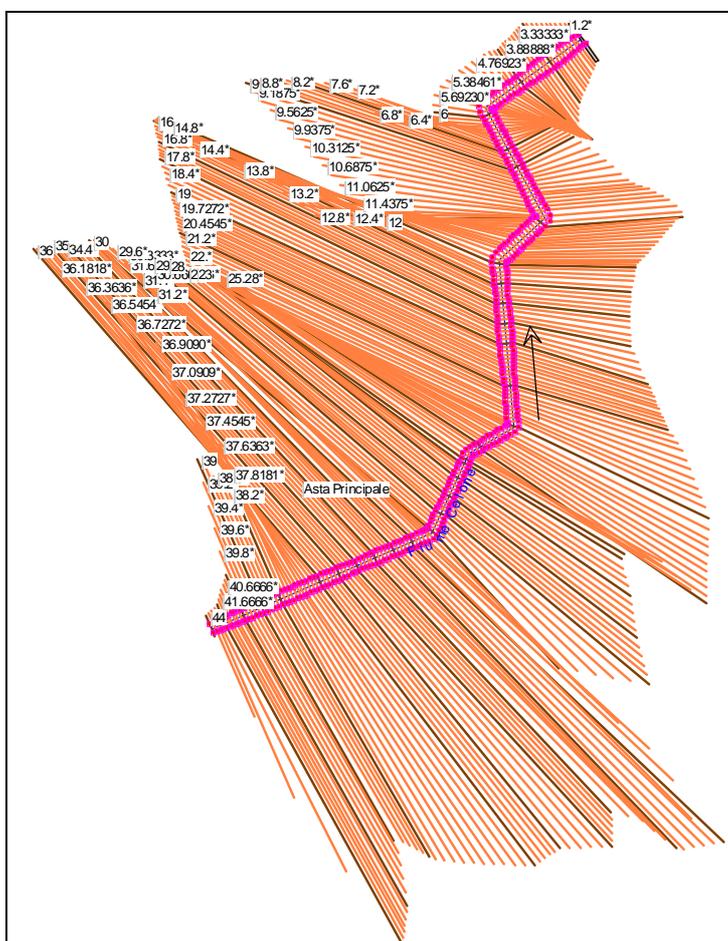
|   |       |
|---|-------|
| $Q_{\text{singola}} \text{ (m}^3\text{/s)}$     | 196.9 |
| $Q_{\text{complessiva}} \text{ (m}^3\text{/s)}$ | 300   |

*Tabella 7.4: Portata smaltibile dal ponte ferroviario di monte.*

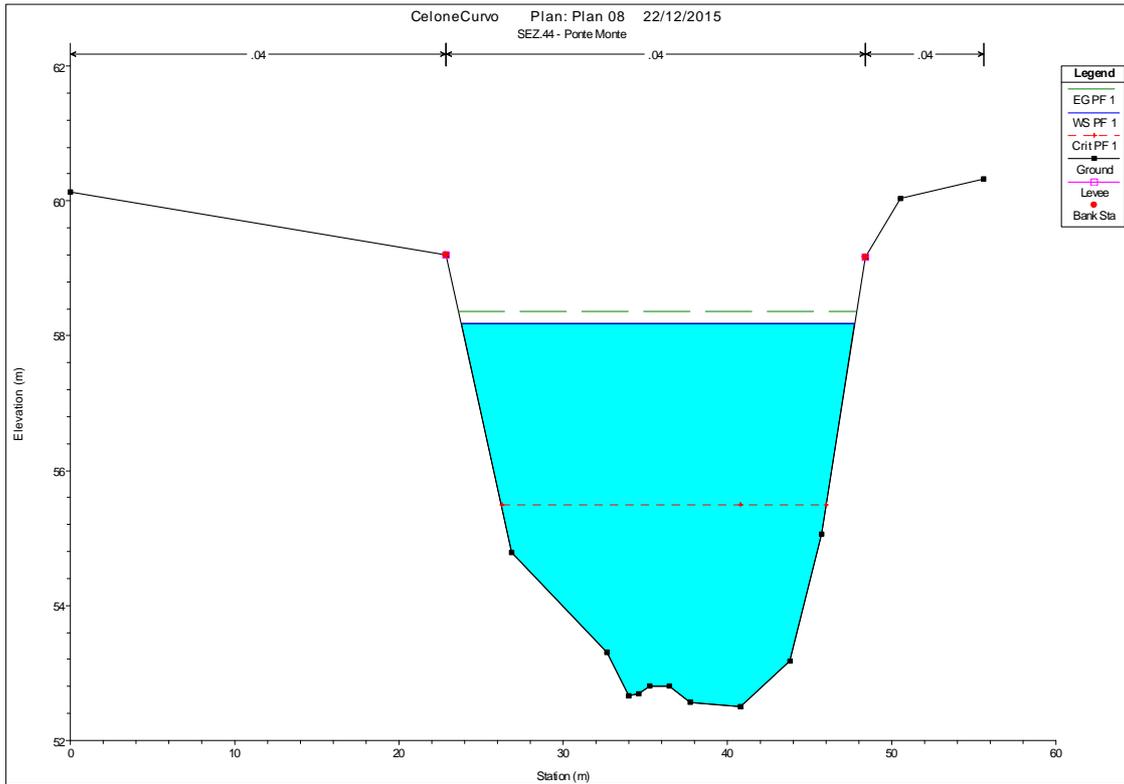
## 7.4 Simulazione stato di fatto

La simulazione ante operam, effettuata con il software Hec-Ras, è necessaria per determinare il rischio idraulico dell'area in progetto e per poter poi valutare gli effetti che l'intervento progettato avrà sulle onde di piena del torrente. I coefficienti di scabrezza utilizzati ( $n$ ) sono pari a  $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$ . Come detto, il tempo di ritorno della piena assunto nei calcoli è pari a 200 anni.

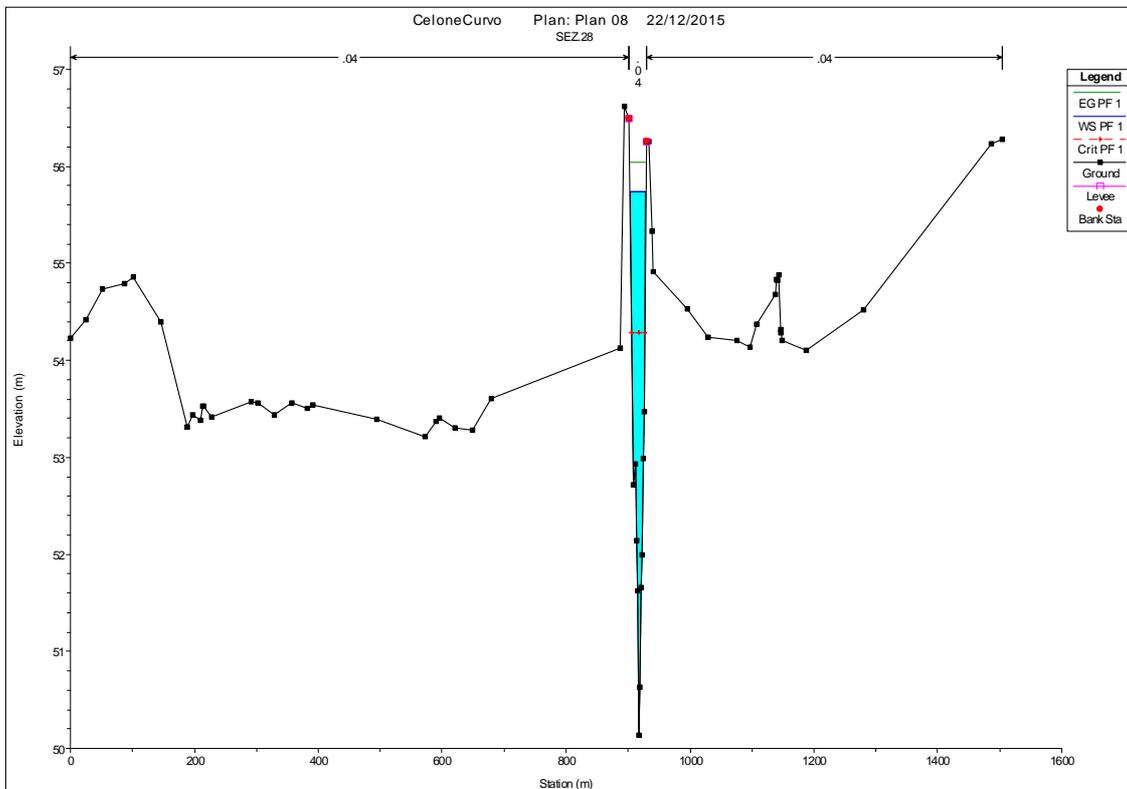
Di seguito si riportano: l'elaborazione 3D, le sezioni idrauliche più significative (di monte, in corrispondenza di esondazioni lungo l'asta e di valle), il profilo idraulico e i valori dei principali parametri idraulici ottenuti dai calcoli.



*Figura 7.1: Planimetria 3D sezioni modello di calcolo.*



*Figura 7.2: Sezione idraulica di monte (RS44).*



*Figura 7.3: Sezione idraulica a monte dell'elettrodotto (RS28).*

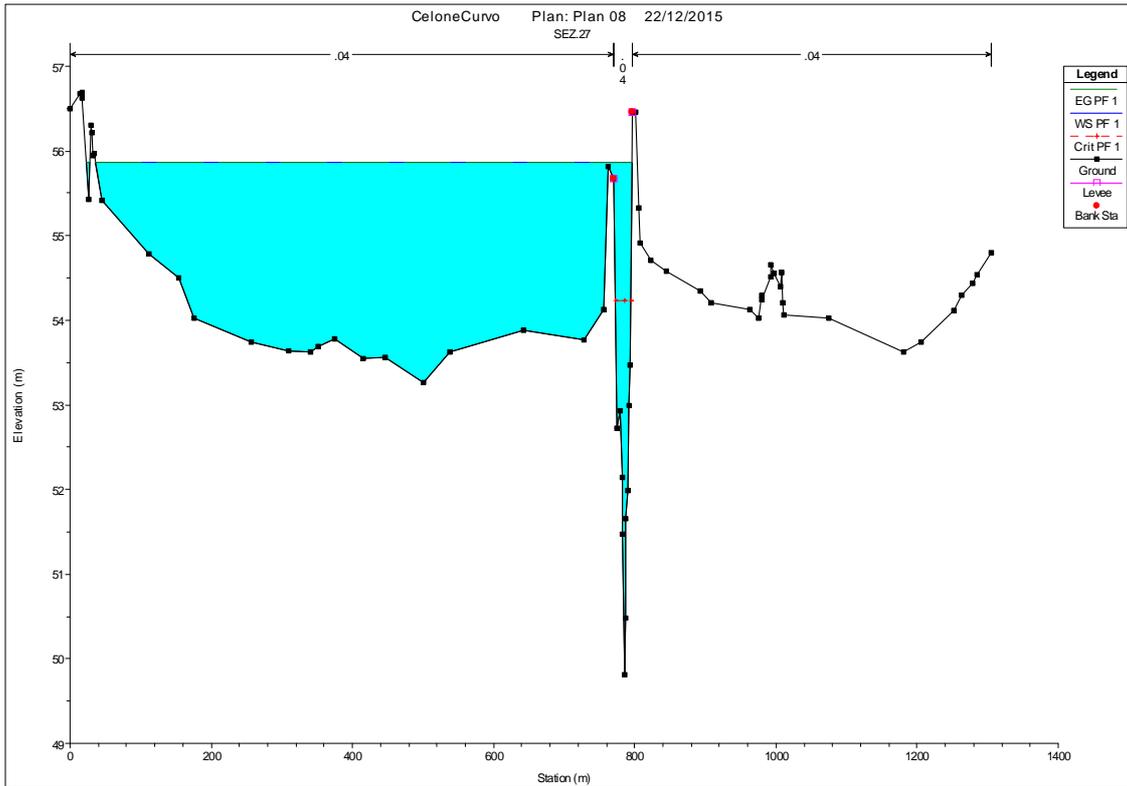


Figura 7.4: Sezione idraulica in prossimità dei punti di esondazione (RS27).

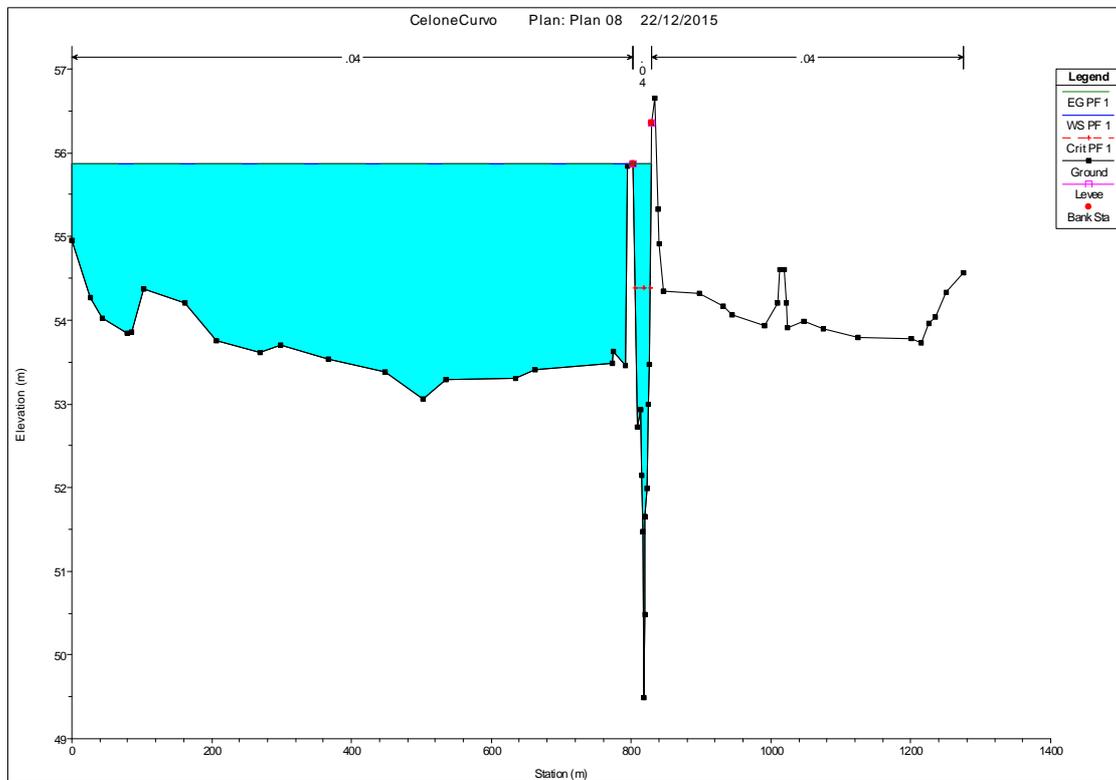


Figura 7.5: Sezione idraulica in prossimità dei tralicci dell'elettrodotto (RS26.4-26.6).

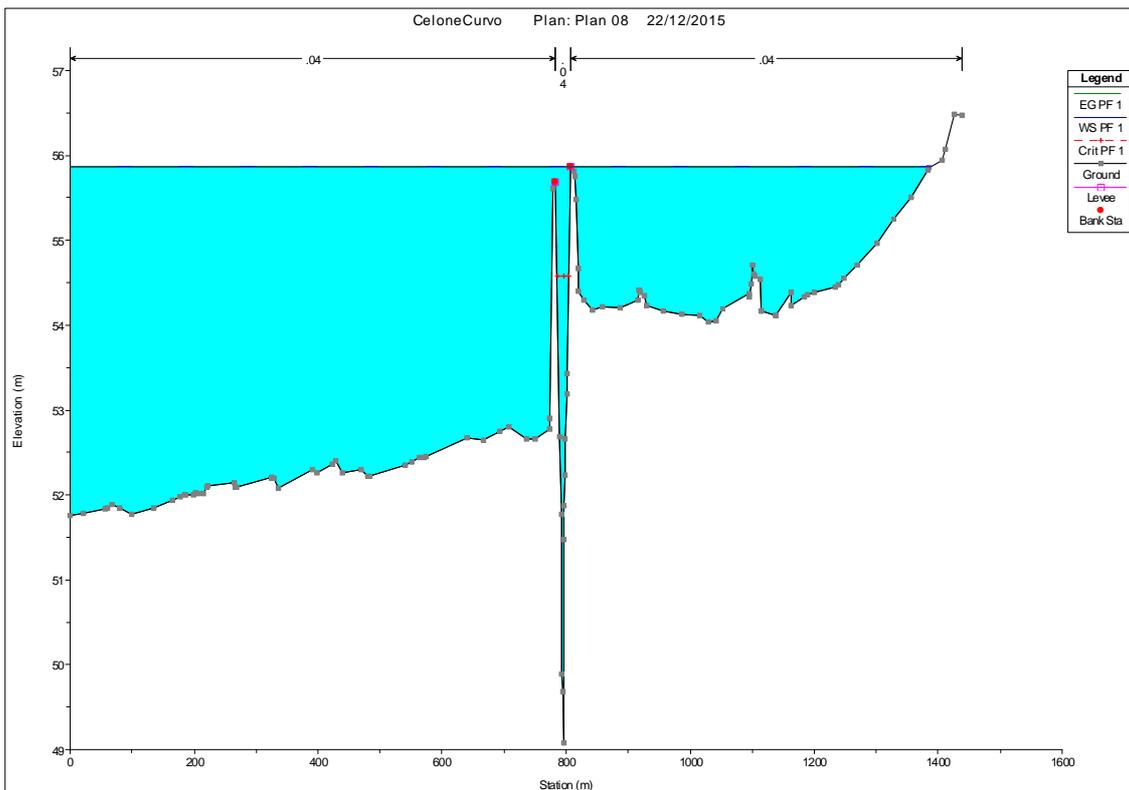


Figura 7.6: Sezione idraulica in prossimità dei punti di esondazione (RS24).

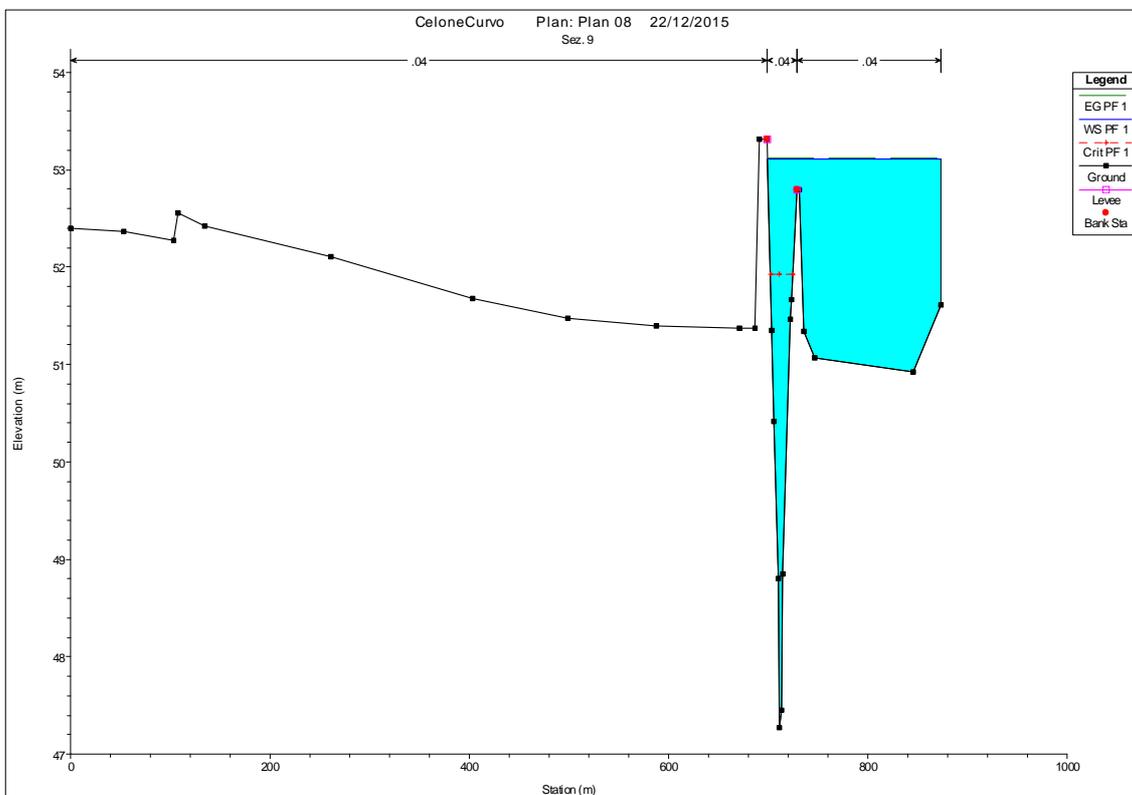
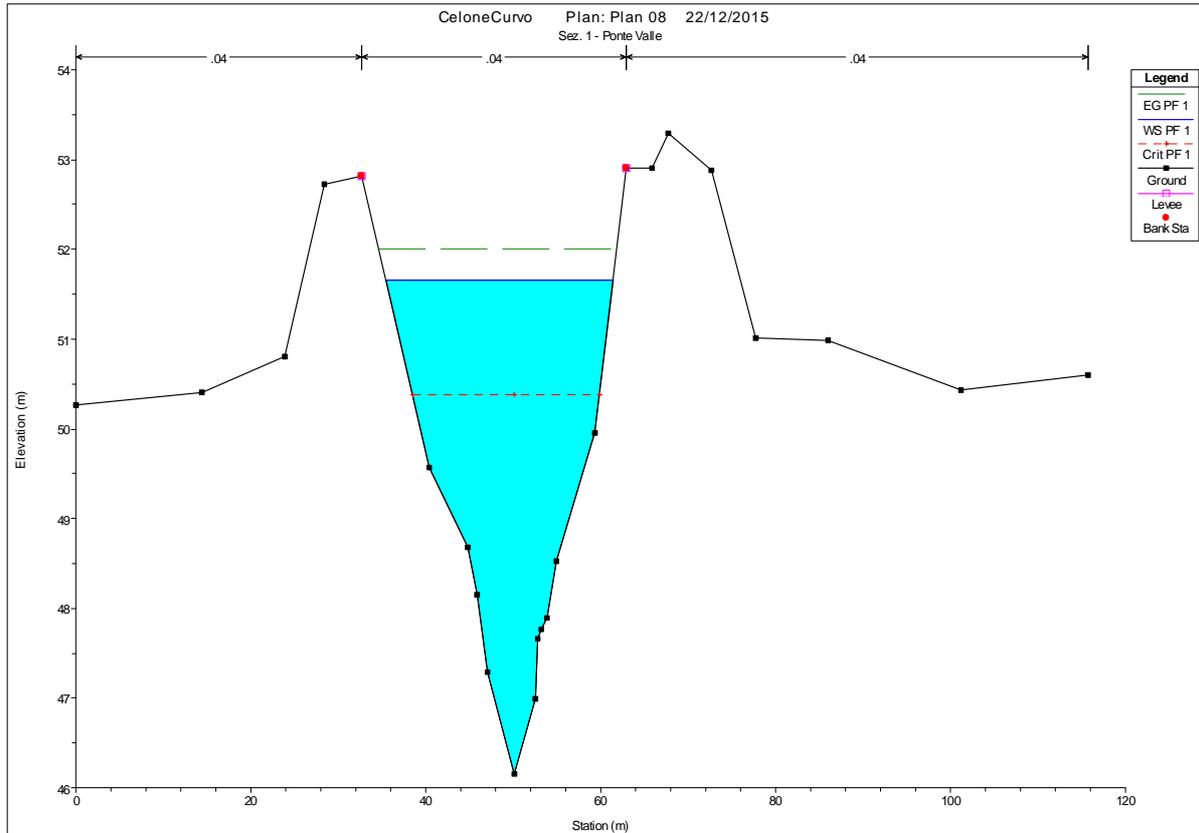
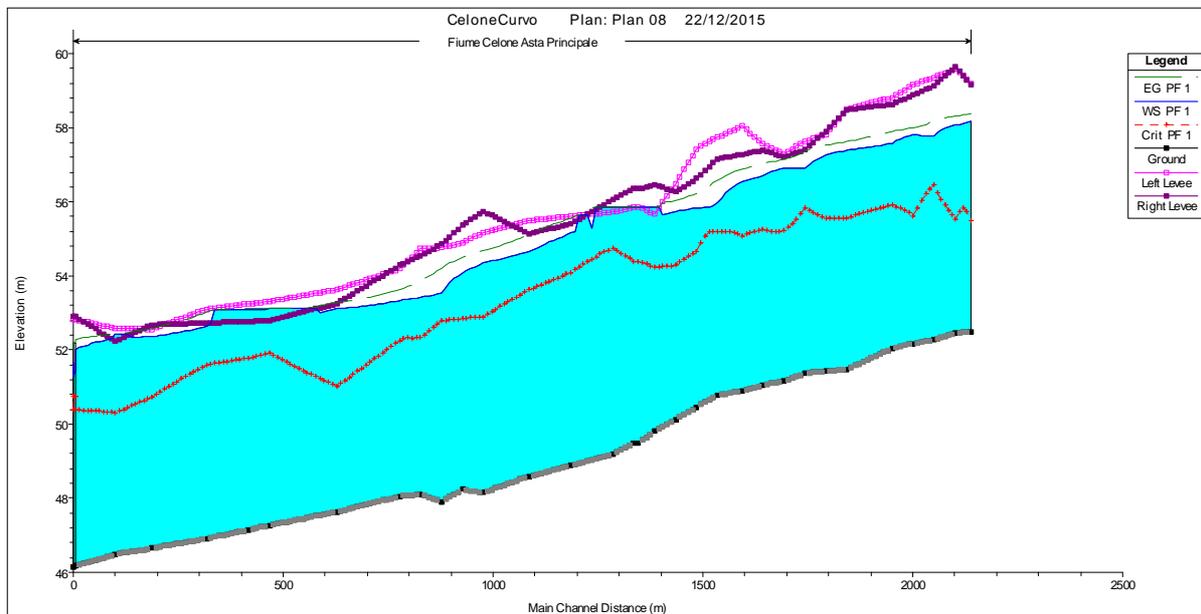


Figura 7.7: Sezione idraulica in prossimità dei punti di esondazione (RS09).



*Figura 7.8: Sezione idraulica di valle (RS00).*



*Figura 7.9: Profilo idraulico.*

| River Sta | Profile | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Slope<br>(m/m) | Vel Chnl<br>(m/s) | Flow Area<br>(m2) | Top Width<br>(m) | Froude # Chl |
|-----------|---------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| 44        | PF 1    | 192               | 52.5             | 58.18            | 55.49            | 58.36            | 0.001072            | 1.91              | 100.75            | 23.96            | 0.3          |
| 42        | PF 1    | 192               | 52.46            | 58.08            | 55.53            | 58.31            | 0.00144             | 2.11              | 90.82             | 23.29            | 0.34         |
| 40        | PF 1    | 192               | 52.28            | 57.78            | 56.44            | 58.17            | 0.00385             | 2.78              | 69.18             | 24.55            | 0.53         |
| 39        | PF 1    | 192               | 52.17            | 57.81            | 55.6             | 57.99            | 0.001309            | 1.91              | 100.35            | 29.71            | 0.33         |
| 38        | PF 1    | 192               | 52.04            | 57.58            | 55.92            | 57.89            | 0.002661            | 2.46              | 78                | 26.15            | 0.45         |
| 36        | PF 1    | 192               | 51.48            | 57.39            | 55.56            | 57.63            | 0.001823            | 2.16              | 89.04             | 28.42            | 0.39         |
| 35        | PF 1    | 192               | 51.43            | 57.26            | 55.55            | 57.53            | 0.00222             | 2.28              | 84.12             | 28.48            | 0.42         |
| 34        | PF 1    | 192               | 51.37            | 56.89            | 55.83            | 57.35            | 0.004417            | 3.01              | 63.76             | 23.33            | 0.58         |
| 33        | PF 1    | 192               | 51.17            | 56.92            | 55.23            | 57.14            | 0.001871            | 2.08              | 92.28             | 30.7             | 0.38         |
| 32        | PF 1    | 192               | 51.05            | 56.71            | 55.25            | 57.02            | 0.002681            | 2.49              | 77.24             | 26.17            | 0.46         |
| 31        | PF 1    | 192               | 50.9             | 56.54            | 55.07            | 56.88            | 0.003054            | 2.59              | 74.26             | 25.45            | 0.48         |
| 30        | PF 1    | 192               | 50.78            | 55.97            | 55.19            | 56.58            | 0.006567            | 3.47              | 55.36             | 20.39            | 0.67         |
| 29        | PF 1    | 192               | 50.46            | 55.84            | 54.64            | 56.22            | 0.00346             | 2.72              | 70.56             | 25.54            | 0.52         |
| 28        | PF 1    | 192               | 50.13            | 55.73            | 54.29            | 56.04            | 0.00265             | 2.48              | 77.47             | 25.53            | 0.45         |
| 27        | PF 1    | 192               | 49.81            | 55.87            | 54.22            | 55.87            | 0.000011            | 0.16              | 1483.36           | 764.68           | 0.03         |
| 26.6      | PF 1    | 192               | 49.49            | 55.87            | 54.39            | 55.87            | 0.000006            | 0.11              | 1852.76           | 828.65           | 0.02         |
| 26.4      | PF 1    | 192               | 49.49            | 55.87            | 54.39            | 55.87            | 0.000006            | 0.11              | 1852.71           | 828.65           | 0.02         |
| 25        | PF 1    | 192               | 49.17            | 55.87            | 54.75            | 55.87            | 0.000001            | 0.05              | 2718.52           | 765.49           | 0.01         |
| 23        | PF 1    | 192               | 48.87            | 55.15            | 54.09            | 55.56            | 0.004315            | 2.84              | 67.63             | 26.21            | 0.56         |
| 21        | PF 1    | 192               | 48.59            | 54.65            | 53.64            | 55.12            | 0.004668            | 3.04              | 63.1              | 23.28            | 0.59         |
| 19        | PF 1    | 192               | 48.16            | 54.35            | 52.89            | 54.67            | 0.002971            | 2.51              | 76.51             | 26.92            | 0.48         |
| 18        | PF 1    | 192               | 48.24            | 54.07            | 52.85            | 54.49            | 0.004007            | 2.85              | 67.31             | 24.27            | 0.55         |
| 17        | PF 1    | 192               | 47.9             | 53.54            | 52.8             | 54.21            | 0.006931            | 3.61              | 53.12             | 19.35            | 0.7          |
| 16        | PF 1    | 192               | 48.1             | 53.42            | 52.32            | 53.86            | 0.004691            | 2.94              | 65.3              | 25.85            | 0.59         |
| 15        | PF 1    | 192               | 48.05            | 53.33            | 52.26            | 53.63            | 0.003075            | 2.4               | 80.07             | 33.19            | 0.49         |
| 12        | PF 1    | 192               | 47.63            | 53.11            | 51.02            | 53.28            | 0.001421            | 1.82              | 105.54            | 36.11            | 0.34         |
| 9         | PF 1    | 192               | 47.27            | 53.11            | 51.93            | 53.12            | 0.000177            | 0.58              | 360.74            | 173.97           | 0.12         |
| 8         | PF 1    | 192               | 47.15            | 53.09            | 51.78            | 53.11            | 0.000195            | 0.63              | 330.27            | 148.64           | 0.12         |
| 6         | PF 1    | 192               | 46.91            | 52.64            | 51.6             | 53.02            | 0.004102            | 2.72              | 70.52             | 28.47            | 0.55         |
| 4         | PF 1    | 192               | 46.65            | 52.37            | 50.73            | 52.59            | 0.001962            | 2.06              | 93.19             | 33.65            | 0.4          |
| 3         | PF 1    | 192               | 46.49            | 52.42            | 50.3             | 52.44            | 0.000205            | 0.72              | 319.43            | 149.22           | 0.13         |
| 1         | PF 1    | 192               | 46.17            | 52.01            | 50.39            | 52.28            | 0.002263            | 2.33              | 82.54             | 27.23            | 0.43         |
| 0.5       |         | Bridge            |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| 0         | PF 1    | 192               | 46.15            | 51.65            | 50.38            | 52               | 0.003173            | 2.63              | 73.1              | 25.94            | 0.5          |

*Tabella 7.5: Principali parametri idraulici.*

La simulazione condotta evidenzia alcune situazioni in cui la corrente in caso di piena di progetto esonda rispetto all'alveo delimitato dagli argini esistenti: queste esondazioni si verificano sostanzialmente dove le altezze degli argini risultano minori rispetto agli altri tratti del Torrente. Le esondazioni avvengono sia in sinistra idraulica tra le sezioni RS27 e RS24, sia in destra idraulica tra le sezioni RS24 e RS25 e nel tratto di valle tra le sezioni RS09 e RS03.

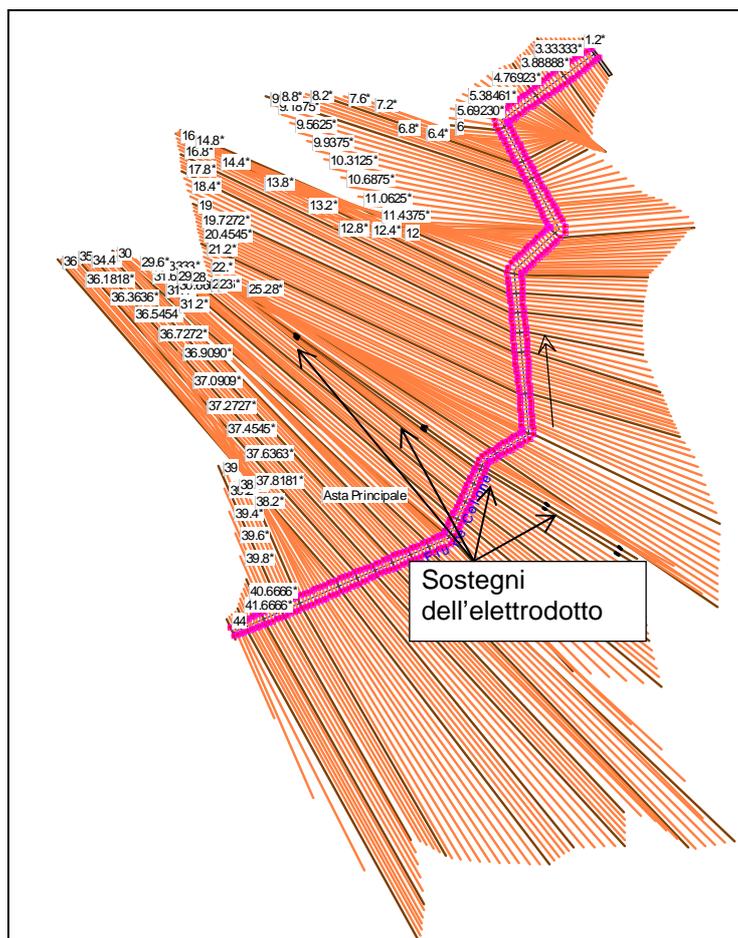
Nel paragrafo successivo viene analizzata la situazione di progetto in presenza dei tralicci del nuovo elettrodotto per valutare gli effetti sullo scorrimento delle portate di piena.

## 7.5 Simulazione post-operam

L'area dove sono previsti i sostegni dell'elettrodotto in esame risulta interessata da fenomeni di esondazione con piena duecentennale: occorre quindi verificare se le opere in progetto determinano una situazione di aggravio rispetto alle condizioni di deflusso della piena. Per tale motivo, rispetto al modello che schematizza

lo stato di fatto descritto nel precedente paragrafo, vengono inseriti nel modello i sostegni previsti ubicati in tutti i casi all'esterno degli argini ad una distanza minima di circa 180 m. I sostegni vengono modellati inserendo nelle sezioni (RS26.6-26.4) la presenza di ostacoli fissi di larghezza pari a 10 m, dove non può passare la corrente. Tale schematizzazione risulta evidentemente cautelativa perché nella realtà i sostegni sono composti da carpenteria metallica reticolare non completamente ceca rispetto alla corrente.

Di seguito si riportano: l'elaborazione 3D, le sezioni idrauliche più significative (di monte, in corrispondenza di esondazioni lungo l'asta e di valle), il profilo idraulico e i valori dei principali parametri idraulici ottenuti dai calcoli.



*Figura 7.10: Elaborazione 3D vista dall'alto.*

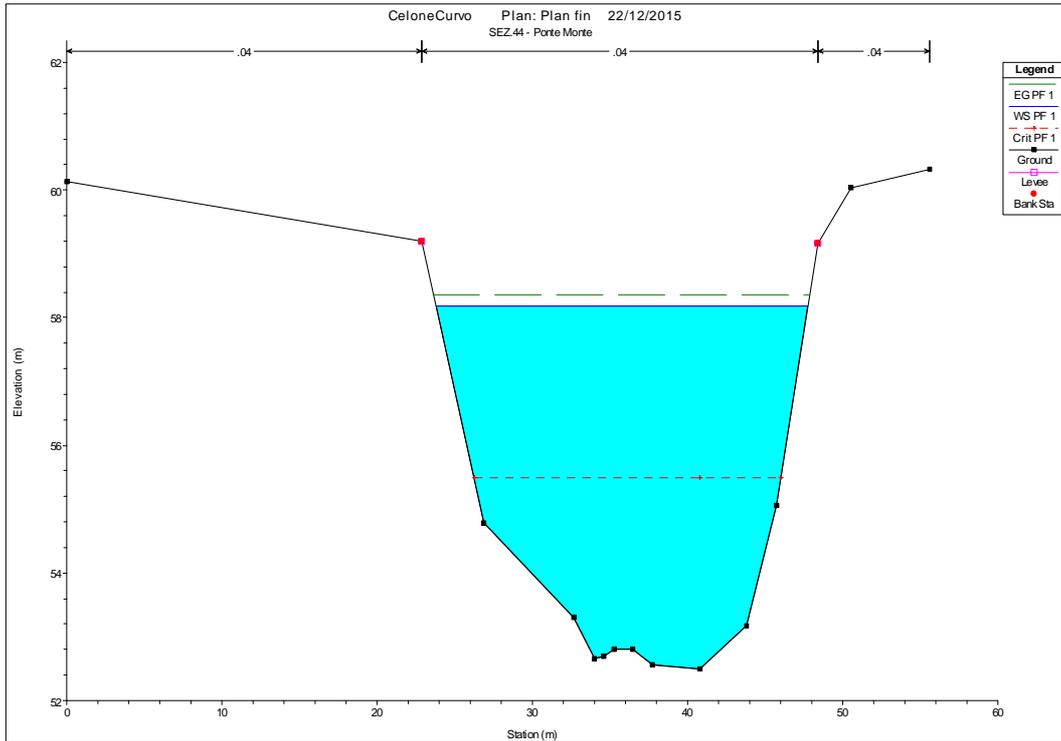


Figura 7.11: Sezione idraulica di monte (RS44).

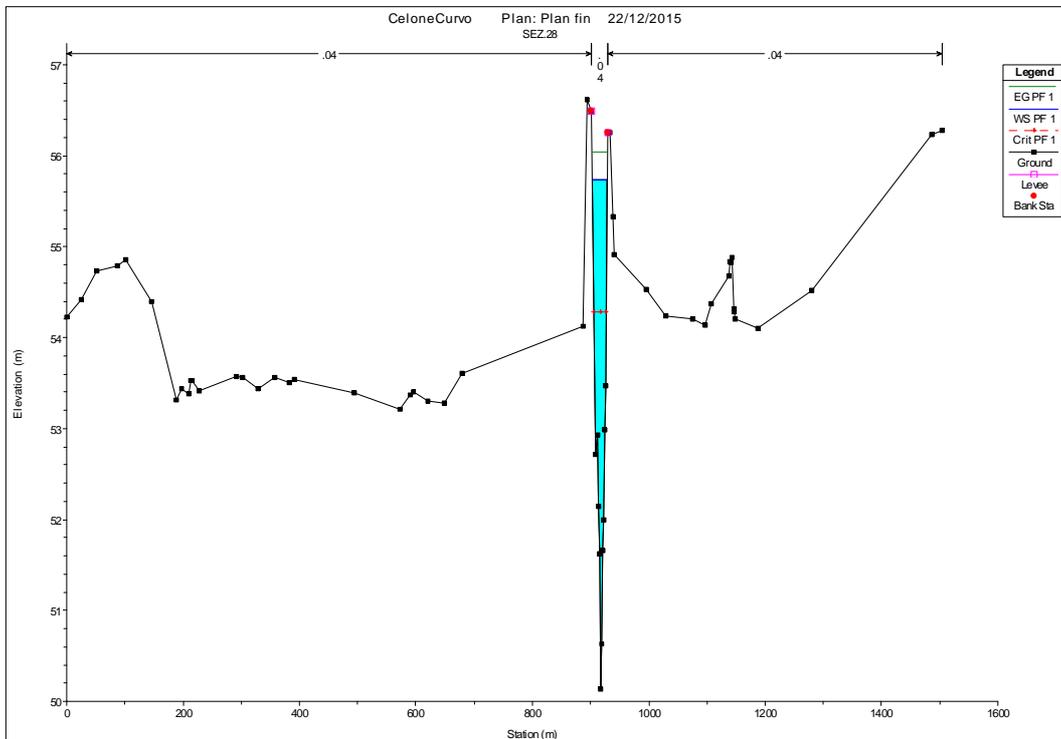
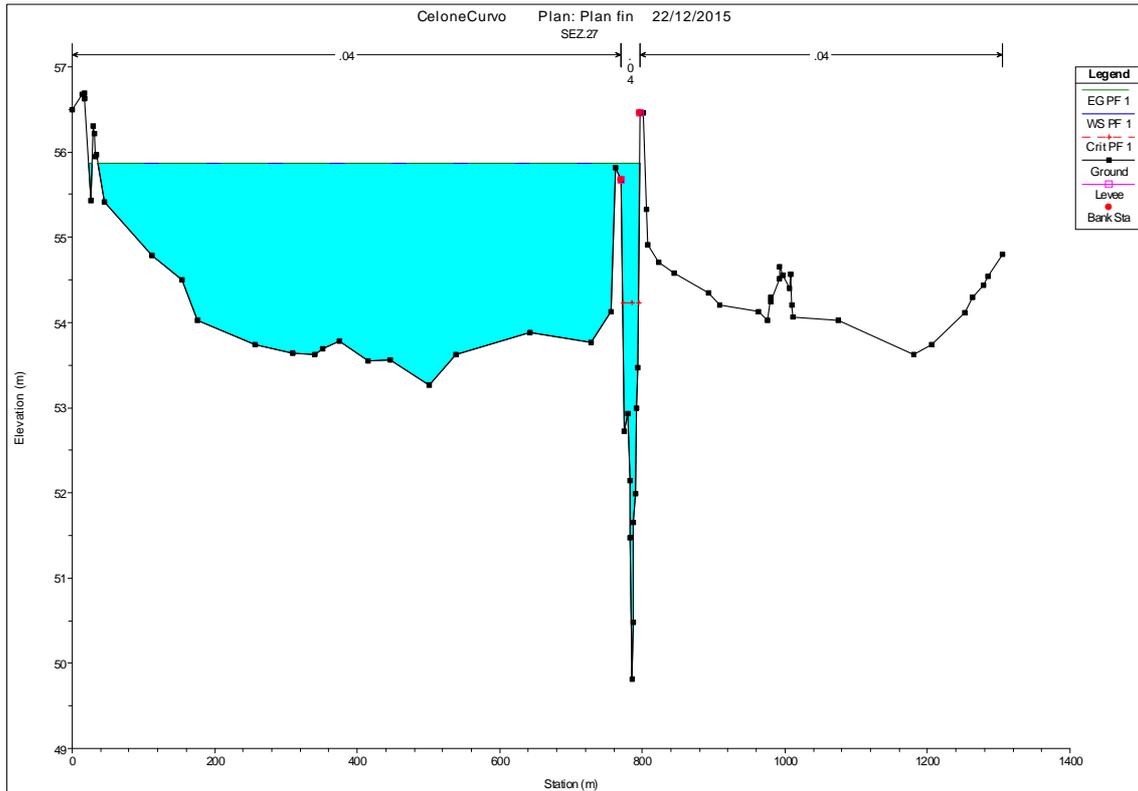
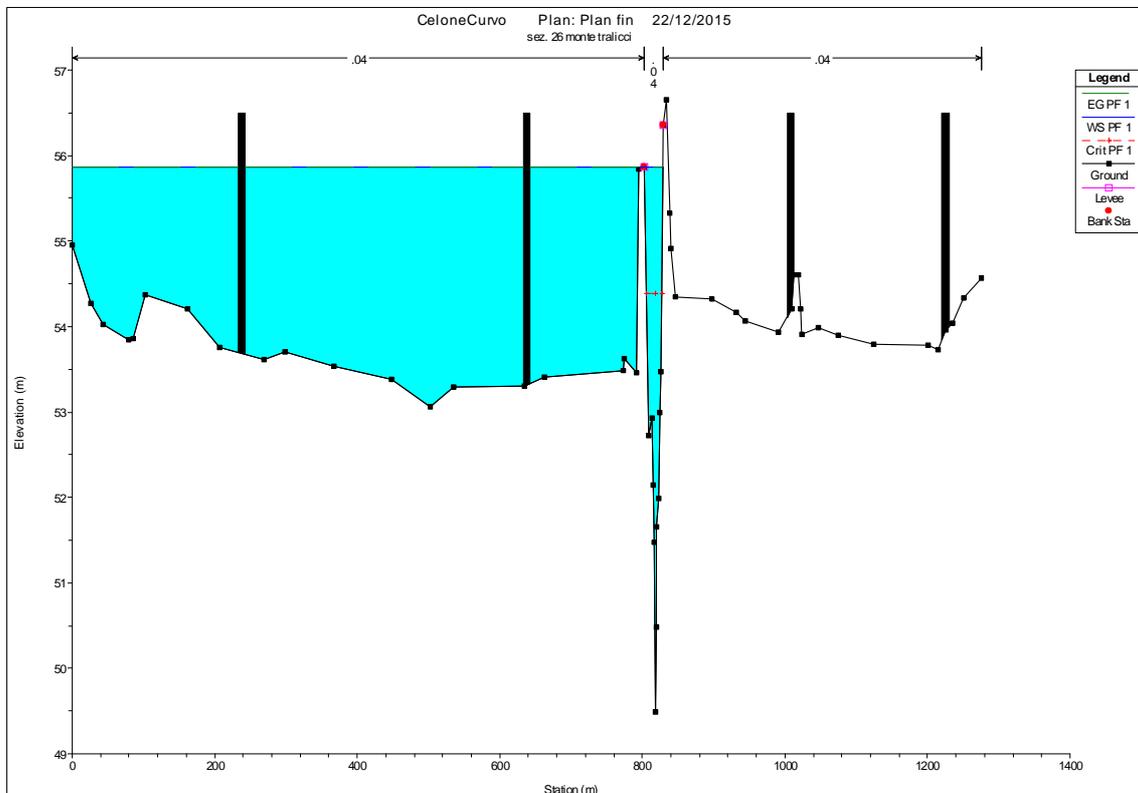


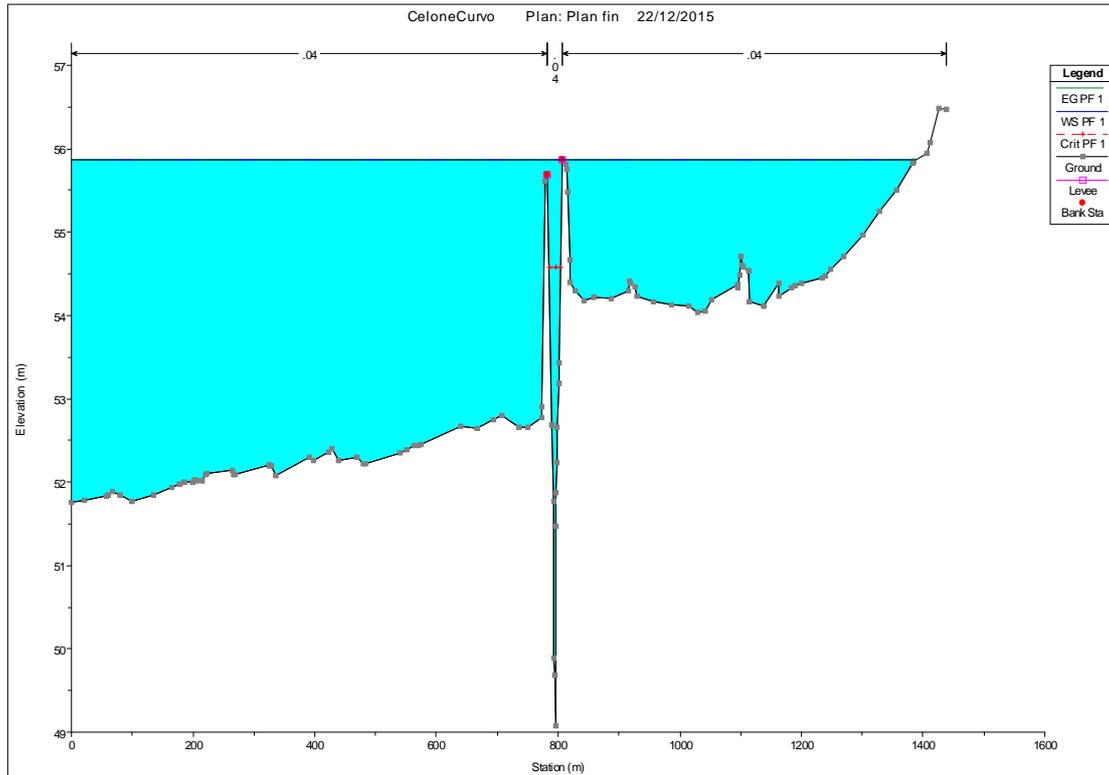
Figura 7.12: Sezione idraulica a monte dell'elettrodotto (RS28).



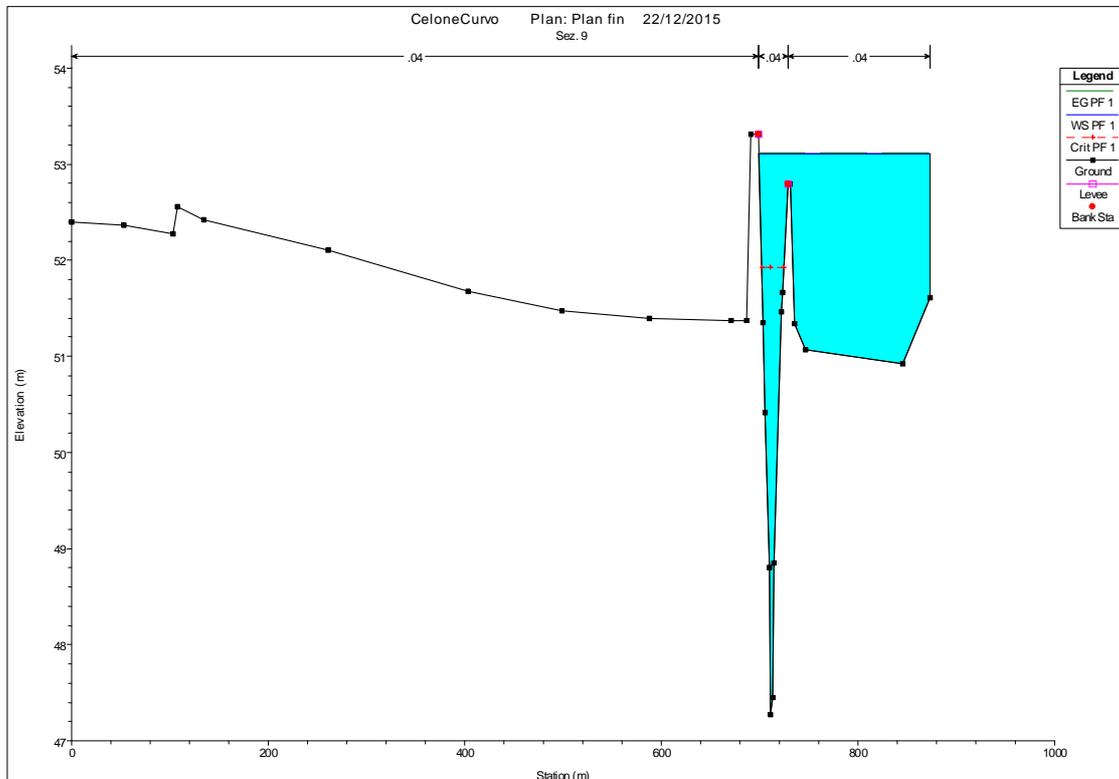
*Figura 7.13: Sezione idraulica in prossimità dei punti di esondazione (RS27).*



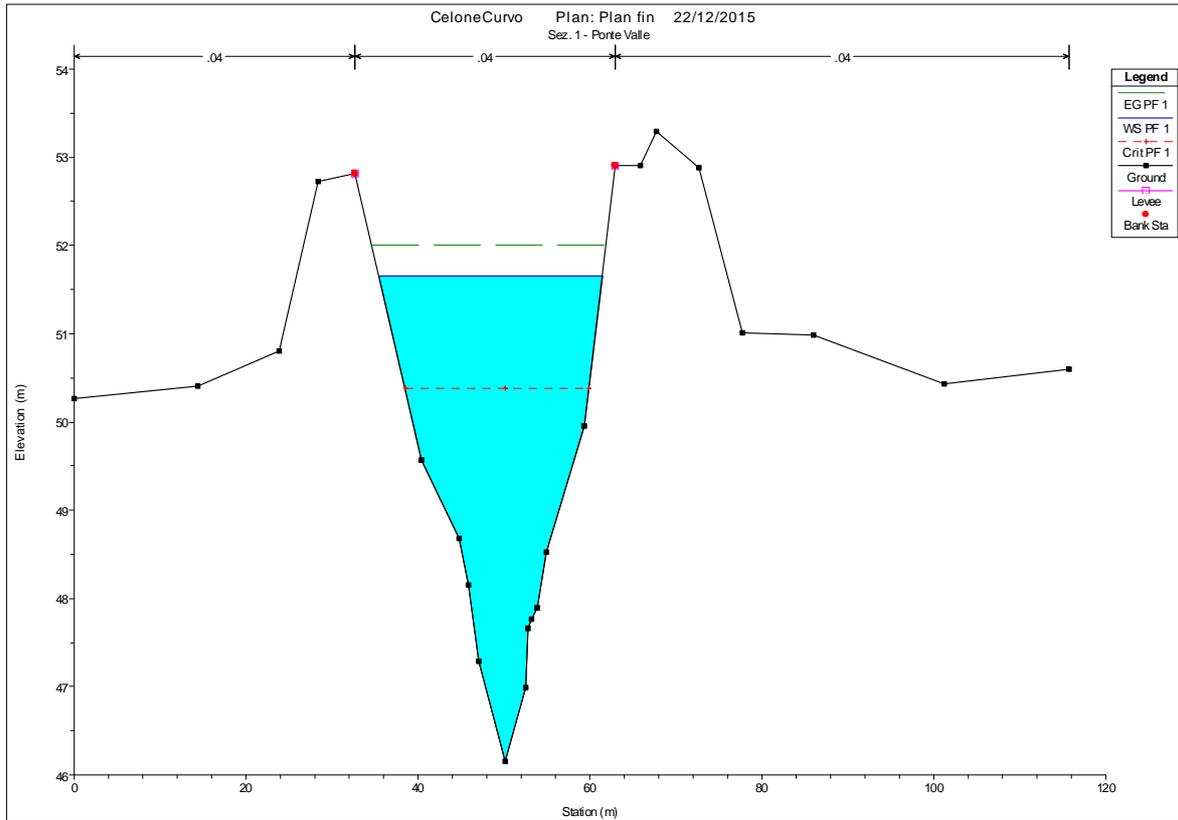
*Figura 7.14: Sezione idraulica in prossimità dei tralicci dell'elettrodotto (RS26.4-26.6).*



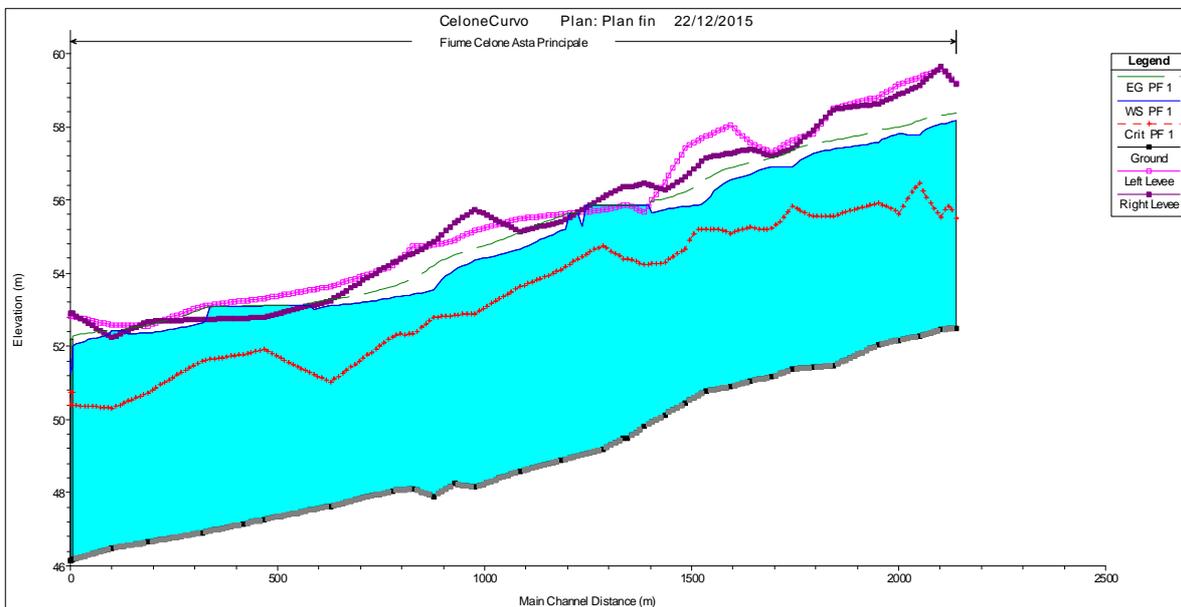
*Figura 7.15: Sezione idraulica in prossimità dei punti di esondazione (RS24).*



*Figura 7.16: Sezione idraulica in prossimità dei punti di esondazione (RS09).*



*Figura 7.17: Sezione idraulica di valle (RS00).*



*Figura 7.18: Profilo idraulico.*

| River Sta | Profile | Q Total             | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area         | Top Width | Froude # Chl |
|-----------|---------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|-------------------|-----------|--------------|
|           |         | (m <sup>3</sup> /s) | (m)       | (m)       | (m)       | (m)       | (m/m)      | (m/s)    | (m <sup>2</sup> ) | (m)       |              |
| 44        | PF 1    | 192                 | 52.5      | 58.18     | 55.49     | 58.36     | 0.001072   | 1.91     | 100.75            | 23.96     | 0.3          |
| 42        | PF 1    | 192                 | 52.46     | 58.08     | 55.53     | 58.31     | 0.00144    | 2.11     | 90.82             | 23.29     | 0.34         |
| 40        | PF 1    | 192                 | 52.28     | 57.78     | 56.44     | 58.17     | 0.00385    | 2.78     | 69.18             | 24.55     | 0.53         |
| 39        | PF 1    | 192                 | 52.17     | 57.81     | 55.6      | 57.99     | 0.001309   | 1.91     | 100.35            | 29.71     | 0.33         |
| 38        | PF 1    | 192                 | 52.04     | 57.58     | 55.92     | 57.89     | 0.002661   | 2.46     | 78                | 26.15     | 0.45         |
| 36        | PF 1    | 192                 | 51.48     | 57.39     | 55.56     | 57.63     | 0.001823   | 2.16     | 89.04             | 28.42     | 0.39         |
| 35        | PF 1    | 192                 | 51.43     | 57.26     | 55.55     | 57.53     | 0.00222    | 2.28     | 84.12             | 28.48     | 0.42         |
| 34        | PF 1    | 192                 | 51.37     | 56.89     | 55.83     | 57.35     | 0.004417   | 3.01     | 63.76             | 23.33     | 0.58         |
| 33        | PF 1    | 192                 | 51.17     | 56.92     | 55.23     | 57.14     | 0.001871   | 2.08     | 92.28             | 30.7      | 0.38         |
| 32        | PF 1    | 192                 | 51.05     | 56.71     | 55.25     | 57.02     | 0.002681   | 2.49     | 77.24             | 26.17     | 0.46         |
| 31        | PF 1    | 192                 | 50.9      | 56.54     | 55.07     | 56.88     | 0.003054   | 2.59     | 74.26             | 25.45     | 0.48         |
| 30        | PF 1    | 192                 | 50.78     | 55.97     | 55.19     | 56.58     | 0.006567   | 3.47     | 55.36             | 20.39     | 0.67         |
| 29        | PF 1    | 192                 | 50.46     | 55.84     | 54.64     | 56.22     | 0.00346    | 2.72     | 70.56             | 25.54     | 0.52         |
| 28        | PF 1    | 192                 | 50.13     | 55.73     | 54.29     | 56.04     | 0.00265    | 2.48     | 77.47             | 25.53     | 0.45         |
| 27        | PF 1    | 192                 | 49.81     | 55.87     | 54.22     | 55.87     | 0.000011   | 0.16     | 1483.37           | 764.68    | 0.03         |
| 26.6      | PF 1    | 192                 | 49.49     | 55.87     | 54.39     | 55.87     | 0.000006   | 0.12     | 1805.39           | 808.65    | 0.02         |
| 26.4      | PF 1    | 192                 | 49.49     | 55.87     | 54.39     | 55.87     | 0.000006   | 0.12     | 1805.34           | 808.65    | 0.02         |
| 25        | PF 1    | 192                 | 49.17     | 55.87     | 54.75     | 55.87     | 0.000001   | 0.05     | 2718.52           | 765.49    | 0.01         |
| 23        | PF 1    | 192                 | 48.87     | 55.15     | 54.09     | 55.56     | 0.004315   | 2.84     | 67.63             | 26.21     | 0.56         |
| 21        | PF 1    | 192                 | 48.59     | 54.65     | 53.64     | 55.12     | 0.004668   | 3.04     | 63.1              | 23.28     | 0.59         |
| 19        | PF 1    | 192                 | 48.16     | 54.35     | 52.89     | 54.67     | 0.002971   | 2.51     | 76.51             | 26.92     | 0.48         |
| 18        | PF 1    | 192                 | 48.24     | 54.07     | 52.85     | 54.49     | 0.004007   | 2.85     | 67.31             | 24.27     | 0.55         |
| 17        | PF 1    | 192                 | 47.9      | 53.54     | 52.8      | 54.21     | 0.006931   | 3.61     | 53.12             | 19.35     | 0.7          |
| 16        | PF 1    | 192                 | 48.1      | 53.42     | 52.32     | 53.86     | 0.004691   | 2.94     | 65.3              | 25.85     | 0.59         |
| 15        | PF 1    | 192                 | 48.05     | 53.33     | 52.26     | 53.63     | 0.003075   | 2.4      | 80.07             | 33.19     | 0.49         |
| 12        | PF 1    | 192                 | 47.63     | 53.11     | 51.02     | 53.28     | 0.001421   | 1.82     | 105.54            | 36.11     | 0.34         |
| 9         | PF 1    | 192                 | 47.27     | 53.11     | 51.93     | 53.12     | 0.000177   | 0.58     | 360.74            | 173.97    | 0.12         |
| 8         | PF 1    | 192                 | 47.15     | 53.09     | 51.78     | 53.11     | 0.000195   | 0.63     | 330.27            | 148.64    | 0.12         |
| 6         | PF 1    | 192                 | 46.91     | 52.64     | 51.6      | 53.02     | 0.004102   | 2.72     | 70.52             | 28.47     | 0.55         |
| 4         | PF 1    | 192                 | 46.65     | 52.37     | 50.73     | 52.59     | 0.001962   | 2.06     | 93.19             | 33.65     | 0.4          |
| 3         | PF 1    | 192                 | 46.49     | 52.42     | 50.3      | 52.44     | 0.000205   | 0.72     | 319.43            | 149.22    | 0.13         |
| 1         | PF 1    | 192                 | 46.17     | 52.01     | 50.39     | 52.28     | 0.002263   | 2.33     | 82.54             | 27.23     | 0.43         |
| 0.5       |         | Bridge              |           |           |           |           |            |          |                   |           |              |
| 0         | PF 1    | 192                 | 46.15     | 51.65     | 50.38     | 52        | 0.003173   | 2.63     | 73.1              | 25.94     | 0.5          |

*Tabella 7.6: Principali parametri idraulici.*

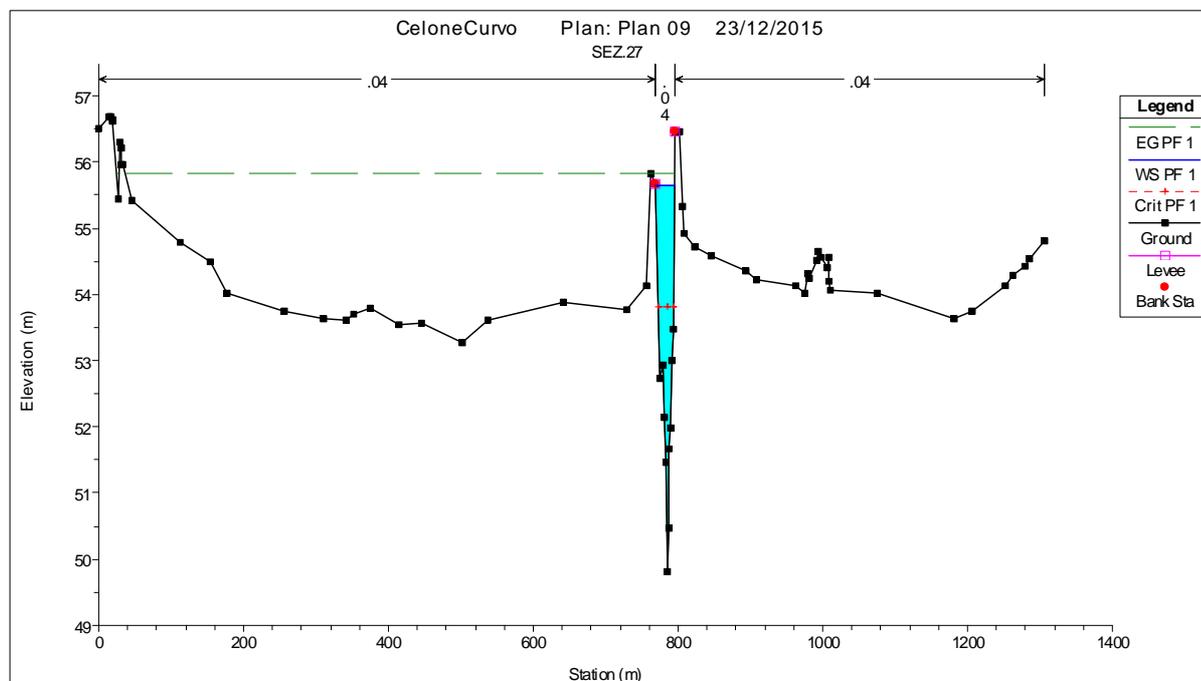
La simulazione evidenzia anche in questo caso alcune sezioni dove la corrente in caso di piena di progetto esonda rispetto all'alveo delimitato dagli argini esistenti: tali esondazioni si verificano nei medesimi punti dell'analisi precedente relativa allo stato di fatto. Le esondazioni avvengono sia in sinistra idraulica tra le sezioni RS 27 e RS24, sia in destra idraulica tra le sezioni RS24 e RS25 e nel tratto di valle tra le sezioni RS09 e RS03.

Tali tratti (ad eccezione dell'ultimo tratto di valle tra le sezioni RS09 e RS03) si trovano in corrispondenza dell'Elettrodotto in progetto.

## 7.6 Stima dell'estensione dell'area esondata

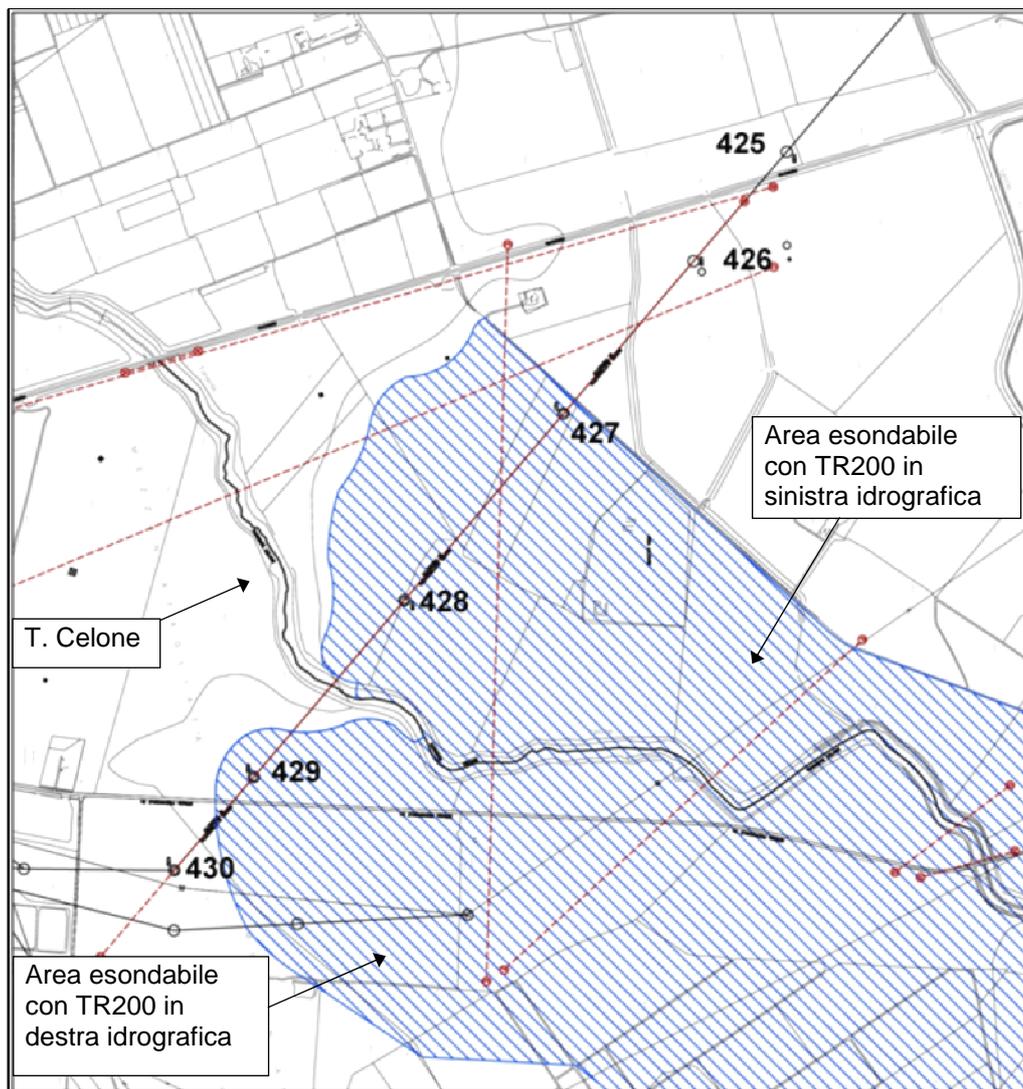
Per la valutazione dell'estensione dell'area esondata dalla piena di progetto con  $T_r$  pari a 200 anni, si è valutato l'assetto topografico del terreno dal punto di esondazione ed il volume esondato.

Lo studio idraulico effettuato mostra che la portata massima smaltibile in alveo dal Torrente Celone senza che si verificano fenomeni di esondazione è di circa  $140 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nell'immagine seguente si mostra la sezione idraulica RS27 della simulazione idraulica con portata pari a  $140 \text{ m}^3/\text{s}$  che evidenzia che il livello dell'acqua è inferiore alle quote degli argini.



*Figura 7.19: Sezione idraulica RS27 con portata pari a  $140 \text{ m}^3/\text{s}$ .*

Per valutare l'estensione delle aree esondabili nell'intorno del Torrente Celone, in corrispondenza delle sezioni sopra riportate, è stato stimato il volume delle acque non smaltibili in alveo. Considerando un idrogramma di piena tipico dell'area in esame e la massima portata smaltibile in alveo dal Torrente ( $140 \text{ m}^3/\text{s}$ ), il volume d'acqua esondabile nell'evento di piena è stimato in circa  $600.000 \text{ m}^3$ . Assumendo una ripartizione per il 50% in sinistra idraulica e per il 50% in destra idraulica del torrente, in funzione della lunghezza dei tratti arginali aventi altezza insufficiente a contenere la piena, è possibile stimare un'area di esondazione avente l'estensione mostrata nella seguente figura, limitata da elementi di risalto topografico desunti dal rilievo, coincidenti perlopiù con tracciati stradali e rilevati arginali.



*Figura 7.20: Planimetria con l'indicazione delle aree esondate.*

Sulla base dell'assetto topografico dell'area di esondazione e del volume di acqua esondata il tirante idraulico risulta inferiore a circa 50 cm con velocità di flusso inferiore a 1 m/s; tali valori non pregiudicano la fattibilità tecnica degli interventi in progetto.

La precedente Figura evidenzia che i sostegni n° 427, 428 e 429 ricadono all'interno dell'area di esondabilità con TR200.

Risulta peraltro evidente dalle verifiche idrauliche condotte che il flusso di piena in alveo non viene in alcun modo influenzato dalla presenza dei tralicci, modellati come detto cautelativamente come aree completamente cieche alla corrente. I sostegni risultano infatti lambiti dal passaggio della piena e non producono ostacoli al normale libero deflusso delle acque o riduzioni della capacità di invaso delle aree di esondazione; le altezze della corrente non vengono modificate ed i fenomeni di esondazione risultano verificarsi nei medesimi punti della situazione ante-operam.

## **8 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'ELETTRODOTTO**

La Stazione di Foggia è posta a sud del Torrente Celone ad una distanza di circa 200 m dallo stesso, in destra idraulica; essa rappresenta il terminale meridionale del nuovo elettrodotto di lunghezza complessiva di 140 km circa che interessa a nord oltre la parte settentrionale della Puglia anche i territori di Abruzzo e Molise. I sostegni 427, 428 e 429, interni all'area esondabile per la piena con tempo di ritorno di 200, non sono delocalizzabili per i motivi tecnici delineati nel § 8.1.

Nell'area di realizzazione dei nuovi sostegni in progetto la pianificazione di bacino non prevede nuovi interventi di mitigazione, come ad esempio quelli previsti dalla Misura n° 2003 ubicata appena più a monte. Inoltre i nuovi sostegni dell'Elettrodotto si trovano ad una distanza minima di circa 180 m dall'alveo del Torrente Celone, ben distanti quindi dagli argini fluviali che delimitano il corso d'acqua. Pertanto non potranno interferire nemmeno con eventuali futuri interventi di mitigazione idraulica in questo tratto del torrente, considerato che generalmente gli interventi di mitigazione sono realizzati all'interno dell'alveo di magra (interventi di pulizia fluviale) o lungo gli argini stessi (interventi di soprizzo o ringrosso arginale).

In merito alla verifica di compatibilità idraulica delle opere in progetto occorre verificare che le nuove opere previste nelle aree esondabili, in particolare i nuovi sostegni dell'elettrodotto siano coerenti con gli obiettivi del piano, che non determinino un peggioramento delle condizioni di sicurezza idraulica dell'area e non provochino situazioni di potenziale pericolo per la cittadinanza. Le verifiche idrauliche di cui alla presente relazione hanno evidenziato che la situazione post-operam risulta assolutamente analoga alla situazione ante-operam in quanto la corrente di piena, in termini di velocità ed altezza idraulica, ha le medesime caratteristiche prima e dopo la realizzazione dei nuovi sostegni; pertanto le opere in progetto, ancorché schematizzate cautelativamente come elementi ciechi alla corrente idraulica, non comportano apprezzabili incrementi del rischio idraulico non costituendo ostacolo al normale libero deflusso delle acque o riduzioni della capacità di invaso delle aree di naturale esondazione. I valori di tirante idraulico e di velocità di flusso in corrispondenza delle opere in progetto sono tali da non pregiudicarne la fattibilità tecnica.

**Per quanto appena esposto, i risultati del presente studio dimostrano la compatibilità idraulica dei nuovi sostegni n° 427-428-429 dell'elettrodotto previsti in prossimità del Torrente Celone, ubicati all'interno dell'area di esondazione della piena con tempo di ritorno di 200 anni, in relazione ai contenuti e ai requisiti del PAI redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia.**

I sostegni n° 426 e 430 sono esterni all'area di esondazione della piena con tempi di ritorno di 200 anni.

Alla presente relazione vengono allegate n. 2 tavole grafiche (Allegato n. 1 e 2) in cui si mostrano rispettivamente una planimetria dell'area in esame rilevata con indicazione dell'estensione dell'area interessata dalla piena duecentennale, nonché le principali sezioni trasversali al Torrente Celone utilizzate nello studio idraulico.

## 9 MOTIVAZIONI TECNICHE IN MERITO ALL'ESSENZIALITÀ E NON DELOCALIZZABILITÀ DELL'OPERA

### 9.1 Essenzialità dell'opera

L'ingente produzione termoelettrica collocata nei poli di Brindisi e della Calabria, nonché una consistente produzione da fonte rinnovabile concentrata nell'area compresa tra Foggia, Benevento ed Avellino, determinano elevati transiti di correnti verso le aree di carico presenti in Campania e nelle regioni fortemente deficitarie di energia del centro Italia (Abruzzo e Marche) in direzione Sud – Centro Sud sulle dorsali 380 kV adriatica in uscita dalla Puglia.

Il sistema elettrico della regione Puglia è caratterizzato da un basso livello di magliatura della rete di trasmissione AAT e da un elevato transito. Particolarmente critica risulta la sezione di rete a nord-ovest della Puglia, dove è presente la sola stazione elettrica di Foggia a 380 kV di collegamento tra le reti delle regioni Campania, Molise e Puglia, in cui convergono i flussi di energia diretti verso le stazioni elettriche a 380 kV site in Campania e verso la costa adriatica (Figura 9.1). La dorsale adriatica che da Foggia si dirama verso Nord rappresenta un collo di bottiglia per la trasmissione di energia tra le zone di mercato Sud e Centro-Sud: su tale direttrice risulta attualmente installata una potenza termoelettrica che supera 1600 MW nominali e su cui confluisce gran parte della potenza proveniente dalle centrali termoelettriche di Brindisi, nonché gran parte della potenza eolica e fotovoltaica proveniente dalla Puglia. Tale topologia determina gli attuali stringenti limiti di scambio tra le zone di mercato, in particolare “Sud → Centro Sud”.

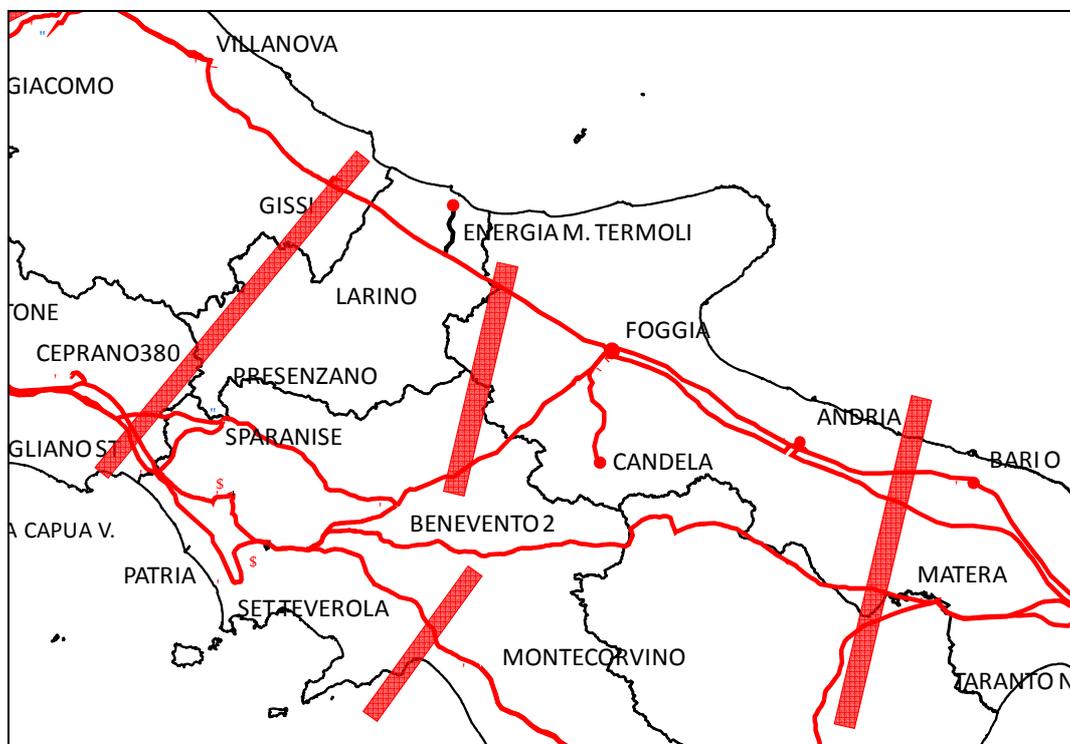
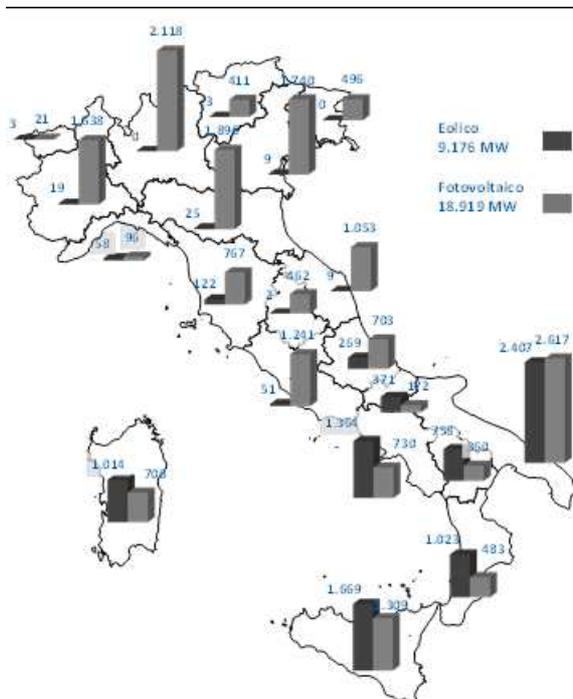


Figura 9.1: Rete di trasmissione AAT e sezioni critiche

In considerazione della stagnazione dei consumi e della consistente crescita di impianti alimentati da fonti rinnovabili non programmabili (FRNP) (Figura 9.2), l'incremento dei flussi dall'area Sud verso il Centro sono diventati sempre più critici, contribuendo ad acuire ulteriormente la caratteristica di sovraccapacità produttiva caratterizzante l'area del Sud Italia.



*Figura 9.2: Potenza eolica e fotovoltaica installata al 2015 (MW)*

Tali fattori, il conseguente aumento delle congestioni tra le zone di mercato e la relativa perdita di efficienza del sistema, rendono oggi **quanto mai improrogabile la realizzazione delle infrastrutture elettriche** che fanno parte del Piano di Sviluppo della Rete di Trasmissione Nazionale di Terna e, nel caso specifico, della infrastruttura elettrica “Elettrodotto 380 kV Foggia - Villanova”.

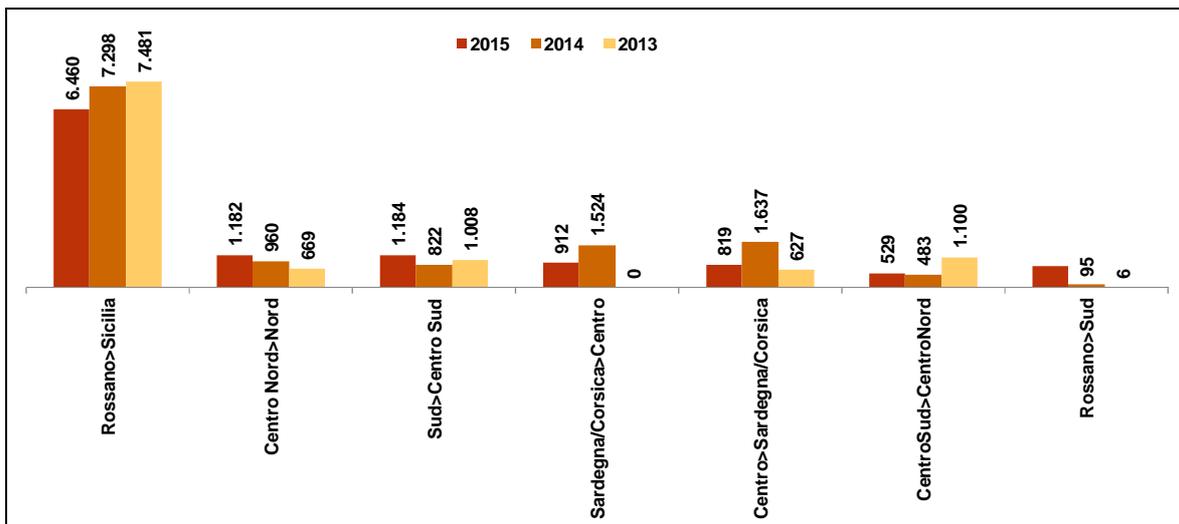
Le manifestazioni di quanto descritto si sono già concretizzate, nel corso degli ultimi anni, in termini di differenziale di prezzo tra zone di mercato e di ore di saturazione dei limiti interzonali.

Come messo in evidenza in Figura 9.3, la sovraccapacità produttiva che caratterizza l'Area Sud si traduce nel prezzo zonale più basso di tutte le altre zone di mercato.

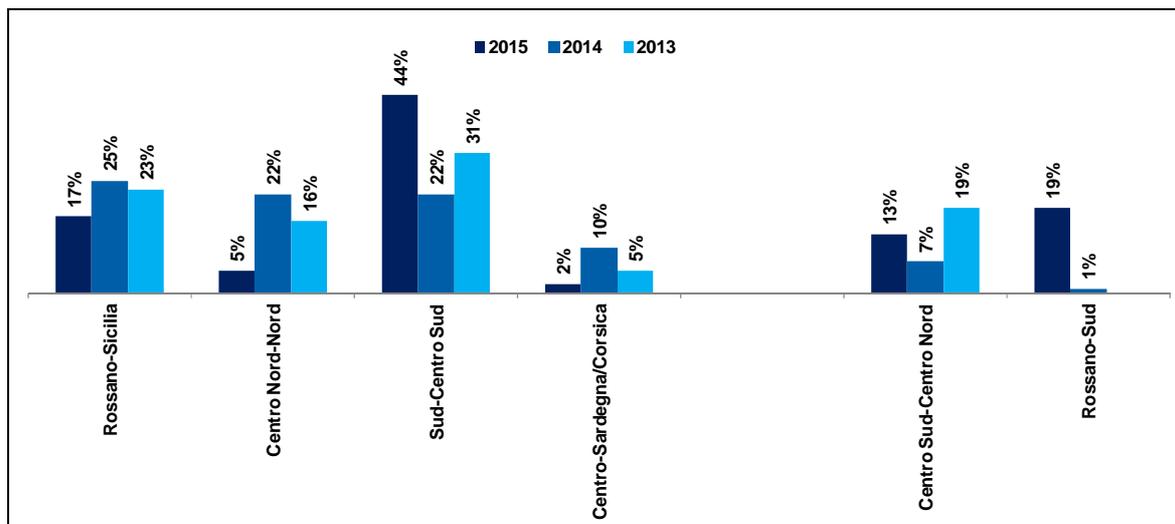


*Figura 9.3: Esiti del Mercato del Giorno Prima (luglio 2014 – giugno 2015)*

Tale situazione si traduce in una frequente saturazione dei margini di scambio tra zone di mercato (Figura 9.4 e Figura 9.5), rispetto ai cui limiti, come evidenziato sopra, la debolezza della rete AAT a nord di Foggia ha un impatto determinante. Come si può notare dalle seguenti figure, nel 2015 si è registrato un incremento della rendita da congestione sulla sezione Sud – Centro Sud rispetto al 2014 e 2013, oltre ad un incremento dei volumi di ore di congestione di circa il 44%).



*Figura 9.4: Ore di congestione tra zone di mercato negli ultimi tre anni*



*Figura 9.5: % di incidenza su rendita da congestione tra zone di mercato negli ultimi tre anni*

In risposta a tale grave pregiudizio per l'efficiente e più economico funzionamento del mercato elettrico, ovvero per consentire la produzione degli impianti alimentati da fonte rinnovabile non programmabile che godono di priorità di dispacciamento, Terna ha previsto sin dal 2007, nel Piano di Sviluppo della Rete di Trasmissione Nazionale, la realizzazione del raddoppio della direttrice adriatica tra le SE Foggia e SE Villanova, finalizzato ad incrementare i limiti di transito tra Zone di Mercato.

Tale esigenza e il suddetto intervento prioritario di sviluppo sono stati quindi rappresentati nelle diverse annualità del Piano di Sviluppo, quest'ultime sottoposte ad approvazione e già approvati da parte delle Autorità competenti. Sulla base di ciò Terna ha poi progettato ed avviato in iter autorizzativo nel corso del 2012 il progetto del nuovo collegamento 380 kV “Foggia – Gissi”.

Da quanto suindicato emerge proprio la necessità di rimuovere il cosiddetto “collo di bottiglia” sulla rete a 380 kV presente tra le stazioni di Foggia e Gissi, raddoppiando la direttrice a 380 kV esistente “Foggia – S. Severo – Larino – Gissi – Villanova”. Tale intervento, così com'è stato studiato, è l'unica infrastruttura elettrica atta al perseguimento dell'incremento di scambio tra le zone di mercato, nonché all'incremento di capacità produttiva liberata dagli impianti rinnovabili ubicati nell'area Sud. Pertanto si conferma la necessità di realizzare il nuovo elettrodotto 380 kV a partire dalla SE 380 kV di Foggia verso il nodo elettrico di Gissi, che sulla base di quanto sopra detto si configura quindi come opera strategica, **essenziale e non delocalizzabile**.

## 9.2 Non delocalizzabilità dei sostegni

Il tracciato dell'elettrodotto in doppia terna a 380 kV Gissi-Larino-Foggia si attesta nella fase terminale del suo percorso alla SE di Foggia. I sostegni del tratto finale, dallo studio idraulico effettuato, risultano essere posizionati in area esondabile.

Nel caso specifico, considerata la notevole larghezza dell'area esondabile (circa 1,5 km) che circonda, per buona parte, la S/E di Foggia e viste le condizioni plano altimetriche non ottimali (zona pianeggiante), non è possibile riuscire ad oltrepassare tale area senza infiggervi alcun sostegno (per i motivi già evidenziati nel

paragrafo precedente). Inoltre poiché trattasi delle ultime 5 campate di ingresso alla S/E le stesse sono difficilmente delocalizzabili per loro natura poiché il punto di arrivo è immutabile.

Inoltre, nel caso specifico, a questo livello di tensione non è nemmeno percorribile la soluzioni in cavo interrato poiché oltre ad avere un impatto negativo sull'ambiente presenta tutta una serie di problematiche di carattere tecnico ed economico.

Dal punto di vista **strutturale ed elettrico** la realizzazione di un tratto in cavo rispetto ad uno in aereo comporta tutta una serie di maggiori problematiche poiché le caratteristiche elettriche delle linee in cavo interrato rispetto a quelle aeree con conduttori nudi sono profondamente diverse.

Le principali problematiche che rendono non percorribile agilmente la soluzione in cavo interrato sono:

- **Riscaldamento eccessivo** dei conduttori che si traduce nella diminuzione di trasporto di energia;
- **Difficoltà nell'isolamento elettrico**,
- **Degrado accelerato** dei materiali componenti il cavo dovuta al sovra riscaldamento dei materiali isolanti; (la vita media dei cavi ne risulta particolarmente accorciata proprio per effetto del degrado degli isolanti);
- **Squilibri** nei flussi di potenza con possibili sovraccarichi che si manifestano nelle parti di rete in cui sono presenti cavi;
- **Ridotta affidabilità elettrica delle linee** per i collegamenti in cavo, infatti per questi è necessario adottare opportuni sistemi di protezione meccanica per minimizzare il rischio di danneggiamenti meccanici ed elettrici provenienti da sollecitazioni esterne naturali o prodotte dall'uomo. In particolar modo nella gestione del sistema elettrico, gli impianti sono protetti da sistemi di protezione che intervengono in caso di guasto interrompendo la circolazione di corrente. Nel caso degli elettrodotti in cavo i sistemi di protezione, a seguito del guasto non possono effettuare il tentativo di richiusura dal momento che ciò comporterebbe un rischio di esplosione del cavo stesso qualora il guasto non fosse di natura transitoria;
- in caso di **guasti i tempi di ripristino molto elevati**. Le tecnologie costruttive dei cavi ad alta e altissima tensione sono complesse, comportano l'impiego di più tipi di materiali isolanti, solidi e liquidi, ma anche di altri tipi di materiali opportunamente integrati nelle loro funzioni. Questa complessità è foriera, in caso di guasto o danneggiamento, di conseguenze particolarmente gravi. Quasi il 50% dei guasti sono imputabili a difetti interni e i restanti attribuiti a fattori esterni. Le riparazioni sui cavi XLPE richiedono mediamente dai 25 ai 35 giorni anche se ci sono state situazioni nelle quali a causa della indisponibilità dei materiali a scorta si sono superati i 200 giorni di indisponibilità dell'impianto.

Da un punto di vista **ambientale** la realizzazione di un elettrodotto in cavo interrato in AAT prevede la posa di cavi con interessamento “fisico” di una fascia di terreno larga almeno 20 m per tutta la lunghezza del tracciato interessato. Contrariamente nella soluzione aerea si interessa il tracciato solo puntualmente limitatamente alla sola area dei sostegni. La soluzioni in cavo provoca quindi un maggior sfruttamento del territorio dando origine alle seguenti implicazioni negative:

- sulla fascia è **interdetta qualsiasi coltivazione** arborea , quindi, con impatti negativi sulla vegetazione; sulle coltivazioni; sul microambiente e sulla fauna;

- le **attività di cantiere** che prevedono scavi **durano per un periodo di tempo molto maggiore** (40 - 50 giorni per km) rispetto alla soluzione aerea (10-15 gg a sostegno - puntuali);
- **maggior porzione di terreno interessata dagli scavi** con ripercussioni negative sulla componente idrogeologica (maggiore rischio inondazioni, ed eventuali frane).

Inoltre nel caso specifico per poter realizzare l'interramento del tratto terminale della linea in oggetto sarebbe necessario realizzazione una stazioni di transizione aereo – cavo in corrispondenza delle ultime campate del tracciato e una in corrispondenza dell'attuale portale di arrivo aereo presso la SE di Foggia. Si tratta di vere e proprie stazioni elettriche, con un ingombro minimo di 70m x 70m da realizzarsi una nelle immediate vicinanze dell'attuale SE di Foggia, sempre nelle medesime aree esondabili individuate nello studio idraulico, e l'altra che si configura come un ampliamento della stazione elettrica esistente.

Non da ultimo c'è da evidenziare che, poiché a parità di potenza trasmissibile, una linea aerea a 380 kV in doppia terna a 380 kV corrisponde a quattro terne in cavo (fascia di ingombro di circa 20÷25 m) a titolo indicativo il costo di un collegamento a 380 kV in cavo è circa 10÷13 volte quello di una linea aerea.

Quindi l'interramento comporterebbe da un lato difficoltà sul piano elettrico e gestionale della linea e dall'altro un maggior impatto sul territorio con la realizzazione di due ulteriori “stazioni” (che risulterebbero un'appendice di quella esistente) e un maggior impatto in termini di scavi e movimenti terra con conseguente ripercussione negativa sulla componente morfologica e idrogeologica oltre che un maggior impegno economico.

In considerazione di quanto sopra riportato, la soluzione tecnica più ragionevole per attraversare l'area rimane pertanto quella della soluzione aerea con l'infissione di sostegni in tale area.

Per quanto attiene alle tecniche e le modalità realizzative si evidenzia che i sostegni, che saranno del tipo unificato a traliccio, in virtù della loro struttura metallica reticolare non rappresenteranno una barriera alle acque di deflusso del fiume in caso di esondazione. Inoltre al fine di aumentare la sicurezza della struttura, si potrà prevedere la realizzazione di fondazioni di tipo indiretto, mediante l'infissione di pali trivellati per ogni piedino dei sostegni fino a profondità adeguate (20-25 metri), che permetteranno di scongiurare i fenomeni di scalzamento al piede garantendo la stabilità gravitazionale dell'opera e migliorandone gli scarichi sul terreno. Un'ulteriore soluzione, già adottata in casi analoghi in presenza di aree esondabili, potrebbe essere quella di allungare i pali trivellati facendoli fuoriuscire di un paio di metri dal piano campagna migliorando ulteriormente l'impatto dell'opera nei confronti dei deflussi delle acque. L'utilizzo dei pali trivellati e comunque di fondazioni profonde garantisce un minor volume di terreno movimentato nelle fasi di scavo, in rapporto alla fondazione superficiale di tipo unificato, minimizzando l'impatto dell'opera sulla morfologia delle aree oggetto di installazione dei sostegni.

## 10 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### Documenti Autorità di Bacino della Puglia

Autorità di Bacino della Puglia (AdBP) - Piano di bacino stralcio assetto idrogeologico (PAI) - norme tecniche di attuazione Novembre 2005.

Autorità di Bacino della Puglia (AdBP) - Piano di bacino stralcio assetto idrogeologico (PAI) – Relazione di Piano Dicembre 2004.

Autorità di Bacino Interregionale della Puglia (D.Lgs. 49/2010) Redazione delle mappe di pericolosità idraulica nell'ambito del D.Lgs. 23 febbraio 2010, n.49. - Relazione generale (Rev. 1).

Autorità di Bacino Interregionale della Puglia - Piano di gestione del Rischio di alluvione (Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 - D.Lgs. 219/2010) Mappe della pericolosità idraulica – scala 1.5.000 – giugno 2013.

Autorità di Bacino Interregionale della Puglia (D.Lgs. 49/2010) Redazione delle mappe del rischio di alluvioni ai sensi del D.Lgs. 23 febbraio 2010, n.49. - Relazione generale.

Autorità di Bacino Interregionale della Puglia - Piano di gestione del Rischio di alluvione (Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010) – Relazione generale – Luglio 2015.

Autorità di Bacino Interregionale della Puglia - Piano di gestione del Rischio di alluvioni (Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 - D.Lgs. 219/2010) – Sintesi delle Misure a scala locale – Elaborato 3.0.2 – luglio 2015.

Autorità di Bacino Interregionale della Puglia - Piano di gestione del Rischio di alluvioni (Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 - D.Lgs. 219/2010) – Schede delle Misure per l'ambito territoriale omogeneo 'Fiumi settentrionali' – Elaborato 3.1.2 – luglio 2015.

Autorità di Bacino Interregionale della Puglia - Piano di gestione del Rischio di alluvioni (Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 - D.Lgs. 219/2010) – Misure Fiumi Settentrionali scala 1.100.000 - Elaborato 3.2.2 – luglio 2015.

Autorità di Bacino Interregionale della Puglia - Piano di gestione del Rischio di alluvioni (Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 - D.Lgs. 219/2010) - Opere di attraversamento idraulico critiche per l'ambito territoriale omogeneo 'Fiumi settentrionali' – Scala 1:100.000 – Elaborato 3.3.2.

### Documenti Consorzio per la Bonifica della Capitanata

Quaderni del consorzio per la Bonifica della Capitanata - 4.06 - Attività e territorio – Claudio Grenzi Editore, 2007.

Quaderni del consorzio per la Bonifica della Capitanata - 1.05 - Le grandi opere idriche – Claudio Grenzi Editore, 2007.

### Bibliografia

E. Usai: Manuale di idrologia per la progettazione - Hoepli, 2012.

S. Sanna: Sistemazioni idraulico-forestali nella difesa del suolo - Dario Flaccovio Editore, 2007.

HEC-RAS ver. 4.1, River Analysis System: User's Manual - US Army Corps of Engineers, 2010.

## 11 ALLEGATI

| <b>Titolo elaborato</b>                                     | <b>Scala</b>    |
|---|-----------------|
| Allegato 1 – Schede monografiche                            |                 |
| Tavola 1 – Rilievo Topografico – Planimetria stato di fatto | 1:2.000         |
| Tavola 2 – Rilievo Topografico – Sezioni stato di fatto     | 1:200 e 1:2.000 |