



CENTRALE EOLICA OFFSHORE "RIMINI" (330 MW) ANTISTANTE LA COSTA TRA RIMINI E CATTOLICA

proponente:

EnergiaWind 2020 srl _ Riccardo Ducoli amministratore unico



RELAZIONE SPECIALISTICA DEL PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDROLOGIA E IDRAULICA



Coordinamento:

Tecnoconsult Engineering Construction srl

Ing. Paolo Pierangeli

Albo Ingegneri di Pesaro e Urbino A2162

Autore:

Studio Geologi Associati Rondoni & Darderi

Geologo Matteo Darderi Albo Geologi Regione Marche 489

Geologa Patrizia Rondoni Albo Geologi Regione Marche 123



Febbraio 2022

INDICE DELLA RELAZIONE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI E METODOLOGICI PER L'ELABORAZIONE DELLO STUDIO	4
1.2	UBICAZIONE DELL'IMPIANTO E CARATTERISTICHE DELL'AREA DI INTERVENTO	5
1.3	OPERE PRINCIPALI	7
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	9
2.1	PREMESSA	9
2.2	RAPPORTI DI QUANTO PROGETTATO CON I CONTENUTI DEL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO	11
3	ATTRAVERSAMENTO MEDIANTE T.O.C. DEL TORRENTE AUSA	15
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	18
4.1	PREMESSA	18
4.2	DATI IDROLOGICI DISPONIBILI	18
4.3	DATI GEOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO IN OGGETTO	19
4.4	VALORI DI PORTATA CALCOLATI DALL'AUTORITÀ DI BACINO PER GLI STUDI DI ESONDABILITÀ	19
4.5	VALORI DI PORTATA RIFERIBILI ALLA SEZIONE DI INTERESSE	20
5	VALUTAZIONI IDRAULICHE	21
5.1	PREMESSA	21
5.2	CONDIZIONI DI VERIFICA	23
5.3	MODELLAZIONE GEOMETRICA DELL'ALVEO	24
5.4	RISULTATI VERIFICHE IDRAULICHE	26
6	VALUTAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITA' DI EROSIONE DI FONDO ALVEO	29
6.1	PREMESSA	29
6.2	STIMA DEGLI APPROFONDIMENTI ATTESI	30
7	CONCLUSIONI	31

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore "Rimini" e zone di interdizione (in grigio chiaro).....	5
Figura 1.2 – Area in cui ricadono le alternative (in bianco) con LAYOUT A (in nero) e B, e opere di connessione	6
Figura 1.3 – Opere terrestri di connessione alla RTN; in evidenza, l'approdo del cavo marino con HDD (ellisse grigia)	6

Figura 1.4 – Opere terrestri di collegamento della Centrale Eolica Offshore alla RTN;	8
Figura 2.1 – Bacini idrografici di interesse.....	9
Figura 2.2 – Riprese fotografiche rete idrografica di interesse.....	11
Figura 2.3 – Planimetria (zona occidentale) con indicazioni contenute nel Piano di Assetto Idrogeologico..	13
Figura 2.4 – Planimetria (zona orientale) con indicazioni contenute nel Piano di Assetto Idrogeologico.....	14
Figura 3.1 – Inquadramento intervento su cartografia IGM alla scala 1:25.000.....	15
Figura 3.2 – Inquadramento intervento su Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000, Elemento n°256152 "San Martino Monte l'Abate"	16
Figura 3.3 – Ripresa fotografica della zona posta ad est della sede stradale della S.S.72.	17
Figura 3.4 – Ortofoto ricavata mediante aerofotogrammetria da drone.	17
Figura 5.1 – Situazione del rischio esondazione P.A.I. nella zona di attraversamento del T. Ausa.....	23
Figura 5.2 – Posizione delle sezioni utilizzate nel modello idraulico (in verde). La linea a cerchi rossi rappresenta la rotta della T.O.C. prevista.....	25
Figura 5.3 – Sezione longitudinale del profilo di corrente.	26
Figura 5.4 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione n°4.....	26
Figura 5.5 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione n°3.....	27
Figura 5.6 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione n°2.....	27
Figura 5.7 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione n°1.....	28

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.1 – Superficie dei bacini.	10
Tabella 3.1 – Coordinate del tratto di T.O.C.....	16
Tabella 4.1 – Dati geometrici principali del bacino AUSA.	19
Tabella 4.2 – Sezioni dei principali bacini.....	20
Tabella 4.3 – Portata del bacino AUSA.....	20
Tabella 5.1 – Coefficienti di Manning.....	22
Tabella 5.2 – Distanze reciproche tra le sezioni utilizzate.....	25
Tabella 5.3 – Risultati software HEC-RAS.	28
Tabella 6.1 – Valori calcolati per le arature di fondo.	30

1 INTRODUZIONE

Oggetto dello Studio è l'inquadramento nel sistema idrografico-idraulico di quanto previsto nel progetto delle opere terrestri di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) della Centrale eolica offshore "Rimini", ubicata nel mare antistante la costa tra Rimini e Cattolica.

In particolare, lo Studio di compatibilità idrologico e idraulico si concentra sul tratto in cui l'elettrodotto interrato intercetta il reticolo idrografico del Torrente Ausa e dei suoi affluenti.

Si premette che la transizione del cavo proveniente dalla Stazione di Trasformazione elettrica in mare, avviene con la tecnica denominata Horizontal Directional Drilling (HDD) o Trivellazione Orizzontale Controllata, che per una lunghezza di circa 1450 m consente di bypassare una fascia in mare distante 930 m dalla battigia, la spiaggia, il lungomare, gli edifici prospicienti e il fascio infrastrutturale della ferrovia e della linea Metro-Mare.

L'elettrodotto AAT da 380 kV, alla fine della Trivellazione, raggiunge un buca giunti, da cui parte l'elettrodotto terrestre di collegamento alla RTN.

In uscita dalla buca giunti e con la medesima sezione (conduttori di sezione pari a 630 mm²), l'elettrodotto procede interrato principalmente lungo viabilità esistente, sino a raggiungere dopo circa 11,7 km la Stazione di Transizione aereo_cavo, dove parte il portale dell'elettrodotto aereo 380 kV, lungo circa 450 m, di collegamento allo stallo 380 kV della Stazione TERNA.

L'elettrodotto attraversa la valle del Torrente Ausa e per un tratto di circa 380 m lo attraversa con la tecnica della TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata; per tale motivo sono stati approfonditi sia l'assetto idrologico generale che quello idraulico specifico del corso d'acqua interessato dalle opere, al fine di stabilire la profondità di posa della TOC e in ogni caso di verificare la compatibilità dell'intervento nel suo insieme.

Si riportano alcune brevi note del progetto complessivo della Centrale eolica offshore "Rimini".

La Centrale eolica è composta da 51 aerogeneratori della potenza di 6,45 MW (per 330 MW complessivi) e opere di collegamento alla RTN (Rete di Trasmissione Nazionale), con punto di connessione alla Stazione TERNA "San Martino in Venti" ubicata in comune di Rimini.

Il soggetto proponente è Energia Wind 2020 srl, con sede legale in via Aldo Moro 28 - 25043 Breno (BS) C.F. P. IVA e Iscrizione al Registro delle Imprese di Brescia n. 03466270984.

Il progetto della Centrale Eolica "Rimini" è stato presentato a livello di Preliminare il 30 marzo 2020, allegato all'istanza di Autorizzazione Unica ai sensi dell'art. 12 del D.lgs 387/2003 (secondo quanto stabilito dalla Circolare n. 40 del 05/01/2012 del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, che stabilisce l'articolazione del procedimento in 3 fasi) e **ha superato la prima fase del procedimento**, coordinato dalla Capitaneria di Porto di Rimini e relativo all'istruttoria tecnico amministrativa finalizzata al rilascio della Concessione Demaniale.

L'approfondimento tematico di cui al presente studio costituisce parte integrante del Progetto (approfondito a livello di Definitivo) e della documentazione allegata allo Studio di Impatto Ambientale, documenti redatti in conformità delle norme vigenti e richiesti dal D.lgs 152/2006 e ss.mm.ii. e dalla Circolare 40/2012 relativamente alla fase di Valutazione di Impatto Ambientale e alla fase di Autorizzazione Unica.

1.1 Riferimenti normativi e metodologici per l'elaborazione dello Studio

In riferimento agli aspetti più prettamente geologici nel seguito si riporta l'elenco delle normative di riferimento:

- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.42 del 20.2.2018.
- Circolare n.7 del 21 gennaio 2019: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n. 30.
- Circolare 02.02.2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.01.2008.
- D.M. 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", G.U. 01.06.1988, n. 127. S.O.
- Circolare 09.01.1996 n. 218/24/3 del Ministero dei lavori pubblici "L. 02.02.1974, n. 64. Decreto del Ministro dei lavori pubblici 11.03.1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica", G.U. 29.02.1996, n. 50.

Ai fini della presente relazione è considerata come area vasta la zona del bacino idrografico del Torrente Ausa e dei suoi affluenti sino alle sezioni di chiusura degli attraversamenti dell'elettrodotto.

L'area di sito è invece la zona del Torrente Ausa, in cui per la posa dell'elettrodotto, è prevista una Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) con entrata ed uscita al piano campagna al di fuori delle perimetrazioni di rischio del P.A.I. per il reticolo principale.

Il presente lavoro è stato articolato sviluppando le seguenti fasi:

- inquadramento territoriale generale della zona dove è previsto l'attraversamento e descrizione dell'area in cui è prevista l'opera;
- definizione delle caratteristiche geometriche del bacino sotteso alla sezione di interesse;
- determinazione delle portate al colmo di piena di progetto in corrispondenza della sezione di interesse;
- conclusioni e valutazioni circa la compatibilità di quanto pensato in progetto con la dinamica fluviale.

Si riportano di seguito alcune informazioni utili per l'inquadramento e la caratterizzazione del progetto.

1.2 Ubicazione dell'impianto e caratteristiche dell'area di intervento

Su larga scala l'area di progetto si inserisce nel bacino del mare Adriatico Settentrionale e per ubicazione geografica la centrale eolica offshore impegna il braccio di mare antistante la costa compresa tra Rimini e Cattolica e parte del litorale marchigiano che dal confine della Regione Emilia Romagna prosegue sino a Gabicce e al Colle San Bartolo.

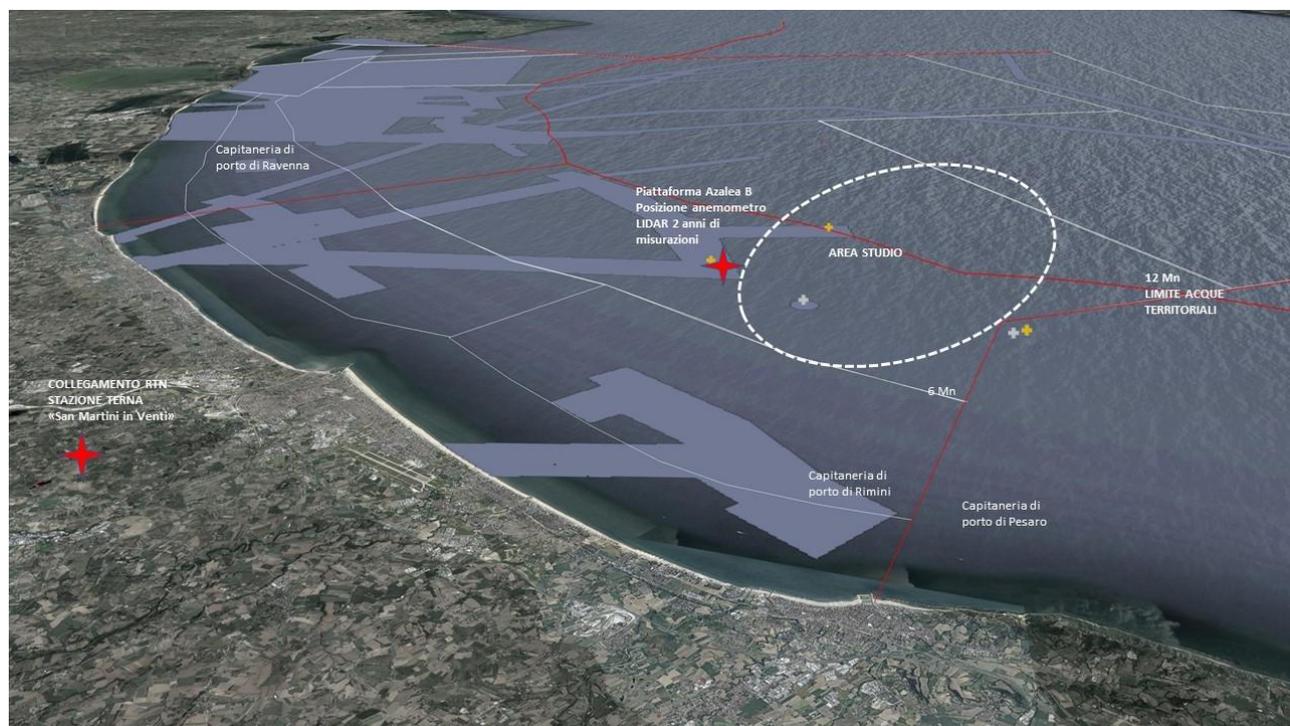


Figura 1.1 – Ubicazione della Centrale eolica offshore "Rimini" e zone di interdizione (in grigio chiaro).

Nello specifico, lo specchio d'acqua complessivo in cui ricadono gli aerogeneratori nelle diverse alternative di configurazione e localizzazione proposte, è compreso nei seguenti limiti:

- a nord ovest da aree concesse a ENI e occupate dalle piattaforme metanifere del gruppo Azalea e da attraversamenti di condotte;
- a nord est dal limite delle acque territoriali (12 MN) per il Layout "A", già oggetto di valutazione nella prima fase istruttoria, e dal limite delle 18 MN per le configurazioni di layout alternative proposte;
- a sud est dalle piattaforme del gruppo "Regina" e dal limite delle competenze amministrative delle Capitanerie di Porto di Rimini e Pesaro;
- a sud ovest da una linea teorica parallela alla costa e coincidente con il limite delle 6 MN per il layout "A" e con il limite delle 9 MN per i layout alternativi, entrambe identificate sia per attenuare la visibilità degli aerogeneratori dalla terra ferma e sia per rispettare le limitazioni relative agli ostacoli e ai pericoli per la navigazione aerea stabilite per l'aeroporto internazionale di Rimini _ San Marino; in tutti i layout proposti gli aerogeneratori mantengono una distanza minima dal ARP (Airport Reference Point) maggiore di 15 km e risultano esterni alla OHS (Other Horizontal Surface).



Figura 1.2 – Area in cui ricadono le alternative (in bianco) con LAYOUT A (in nero) e B, e opere di connessione

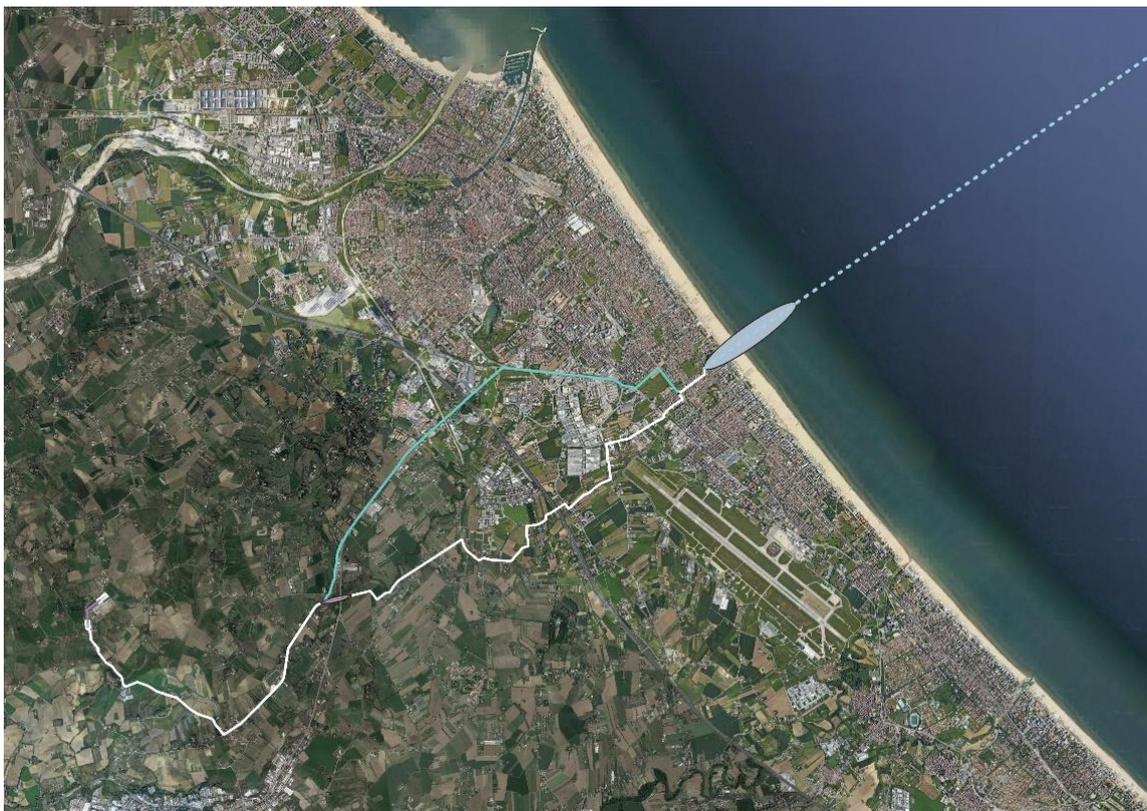


Figura 1.3 – Opere terrestri di connessione alla RTN; in evidenza, l’approdo del cavo marino con HDD (ellisse grigia)

1.3 Opere principali

Si riporta di seguito l'elenco sintetico delle principali opere previste dal progetto.

OPERE IN MARE:

- **51 aerogeneratori di potenza nominale unitaria pari a 6,45 MW, per una capacità complessiva di 330 MW, ancorati al fondale con fondazione del tipo monopilone in acciaio;**

gli aerogeneratori presi come riferimento tecnologico per il progetto sono del tipo MingYang MySE 6.45-180, con hub a 110/125 m di altezza, diametro del rotore pari a 180 m, tronco di transizione con parte fuori acqua pari a 9/10 m, per un range di altezza complessiva massima compreso tra 210/220 m dal medio mare (in tali range di potenza e dimensionali rientrano altri aerogeneratori simili che potrebbero essere considerati in fase di progettazione esecutiva); gli aerogeneratori vengono proposti in configurazioni alternative, comparate per aspetti ambientali in merito alla localizzazione;

- **Una rete elettrica sottomarina a tensione nominale pari a 66 kV che collega gli aerogeneratori in serie, raggruppandoli in 8 sezioni principali, per poi connettersi alla Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) offshore 66/380 kV ;**
- **Una piattaforma marina che ospita la Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) 66/380 kV, attrezzata con 2 trasformatori da 180/200 MVA, 1 reattore per la compensazione della potenza reattiva, apparecchiature, quadri di controllo e manufatti di servizio e accessori;**
- **Un elettrodotto sottomarino di collegamento tra la Stazione Elettrica di Trasformazione (SET) offshore e la buca giunti terra-mare, costituito da un cavo in AT 380 kV di lunghezza pari a 18,15 km di cui 1,45 km realizzato con HDD (Horizontal Directional Drilling) per la parte di transizione terra_mare);**

la parte di approdo e atterraggio (transizione terra-mare del cavo marino realizzata con HDD) inizia in mare a circa 930 m dalla linea di battigia e raggiunge la buca giunti dopo aver bypassato la spiaggia (in corrispondenza del nuovo circolo velico di Bellariva ubicato tra il bagno 98 e 99), il lungomare Giuseppe Di Vittorio, gli edifici prospicienti, la rete ferroviaria e la linea Metro_Mare;

OPERE A TERRA PER LA CONNESSIONE ALLA RTN:

- **Una buca giunti interrata, in cui avviene la giunzione tra la l'elettrodotto sottomarino e quello terrestre, interrata e posizionata nello slargo compreso tra il sottopasso di Viale Portofino e Viale Siracusa, immediatamente a sud ovest della linea Metro_Mare e della Rete Ferroviaria adriatica;**
- **Un elettrodotto terrestre interrato costituito da una terna di cavi isolati in AT 380 kV, di lunghezza pari a circa 11,7 km (con buche giunti ogni 500/600 m), che raggiunge la Stazione di Transizione cavo-aereo adiacente alla SE TERNA 380/150 kV "San Martino in Venti", dove avviene la connessione alla RTN;**

il progetto prevede che il tracciato, a partire dalla buca giunti di collegamento tra il cavo marino e quello terrestre, segua prevalentemente la viabilità esistente secondaria con un percorso preferenziale di circa 11,7 km, di cui circa 380 m in TOC per il superamento della SS N. 72 Rimini/San Marino e del **Torrente Ausa**; si prevede anche un percorso alternativo che si distacca e si ricongiunge al precedente e segue viabilità primaria, per una lunghezza complessiva di 11,6 km.

- **Una Stazione di Transizione cavo-aereo da realizzarsi in prossimità della stazione elettrica TERNA "San Martino in Venti", che ospiterà il reattore, le apparecchiature elettromeccaniche, i locali quadri e misure e il portale di partenza della linea aerea di collegamento alla stazione RTN;**

verrà realizzato un breve tratto stradale di lunghezza pari a circa 130 m e larghezza pari a 7 m incluso banchine laterali, di collegamento tra Via San Martino in Venti e la Stazione Utente;

- **Un elettrodotto aereo trifase lungo circa 450 m, in conduttori nudi binati alla tensione di 380 kV, di connessione con lo stallo a 380 kV nella stazione elettrica "San Martino in Venti" 150/380 kV esistente e di proprietà TERNA S.p.A.;**

- **Un nuovo stallo a 380 kV, previo ampliamento della stazione TERNA "San Martino in Venti", nella parte nord-ovest, e interrimento di un tratto di linea in cavo aereo esistente;**

per la realizzazione del nuovo stallo, come indicato dal gestore della rete TERNA, è previsto l'interrimento dell'ultima campata di un elettrodotto aereo a 132 kV "San Martino-Gambettola" esistente; l'elettrodotto aereo, lungo circa 170 m, e il traliccio di arrivo saranno eliminati e sostituiti da un elettrodotto interrato AT 150 kV, di lunghezza pari a circa 230 m, da realizzare all'interno dell'area di ampliamento della Stazione Elettrica San Martino in Venti.



Figura 1.4 – Opere terrestri di collegamento della Centrale Eolica Offshore alla RTN;

in bianco il tracciato preferenziale dell'elettrodotto e in azzurro il tracciato alternativo.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 Premessa

L'area di progetto appartiene al bacino idrografico del Torrente Ausa. I corsi d'acqua che intersecano l'elettrodotto di progetto sono: il sistema di fossi afferenti al Masere Ausa, a est; il Torrente Ausa nella zona centrale; il sistema di fossi afferenti alla Fossa Budriale ad ovest.

Nella figura seguente vengono riportati i bacini idrografici di interesse, suddividendo quello della Fossa Budriale in sub-bacini (A, B, C e D) considerando le sezioni di chiusura agli attraversamenti stradali che intercettano il cavidotto.

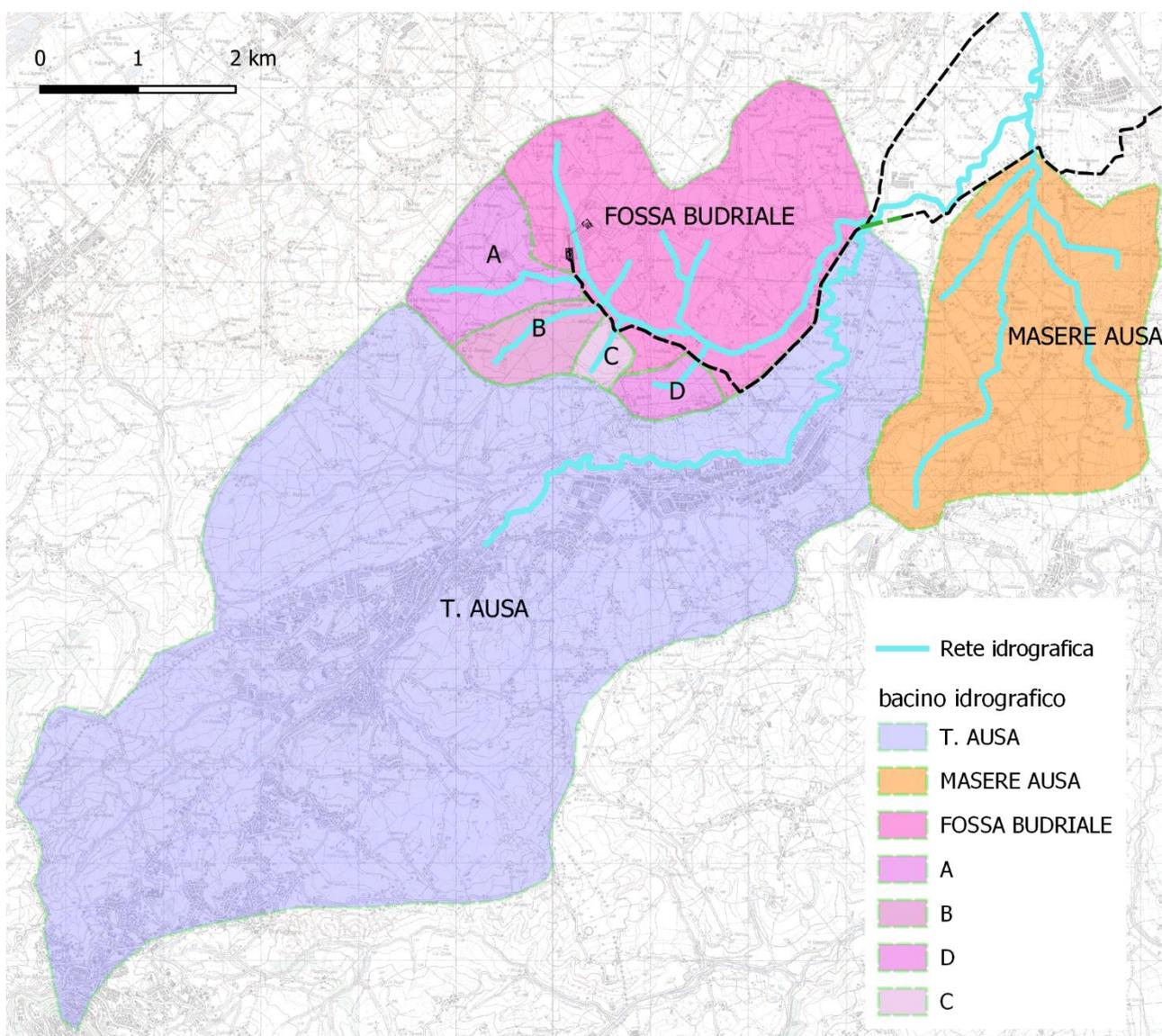


Figura 2.1 – Bacini idrografici di interesse.

La superficie dei bacini indicati nella figura precedente viene riportata nella tabella seguente.

Bacino	Superficie (km ²)
AUSA	34.10
MASERE AUSA	7.71
FOSSA BUDRIALE	7.18
Sub-bacino A	1.59
Sub-bacino B	0.87
Sub-bacino C	0.28
Sub-bacino D	0.51

Tabella 2.1 – Superficie dei bacini.

Come si può osservare i corsi d’acqua che intersecano l’elettrodotto lungo via San Martino in Venti sono alimentati da bacini di limitate dimensioni (Sub-bacini A, B, C e D).

Nella figura seguente vengono riportate le foto dei corsi d’acqua d’interesse.





Figura 2.2 – Riprese fotografiche rete idrografica di interesse.

2.2 Rapporti di quanto progettato con i contenuti del Piano di Assetto Idrogeologico

Nel seguito si riportano due planimetrie riassuntive con l'ubicazione dell'elettrodotto e la "stazione di transizione cavo-aereo" unitamente ai limiti di pericolosità indicati nel P.A.I.

Come evidenziato nelle figure seguenti quanto progettato non interferisce con alcun perimetro di pericolosità derivante da dissesti gravitativi.

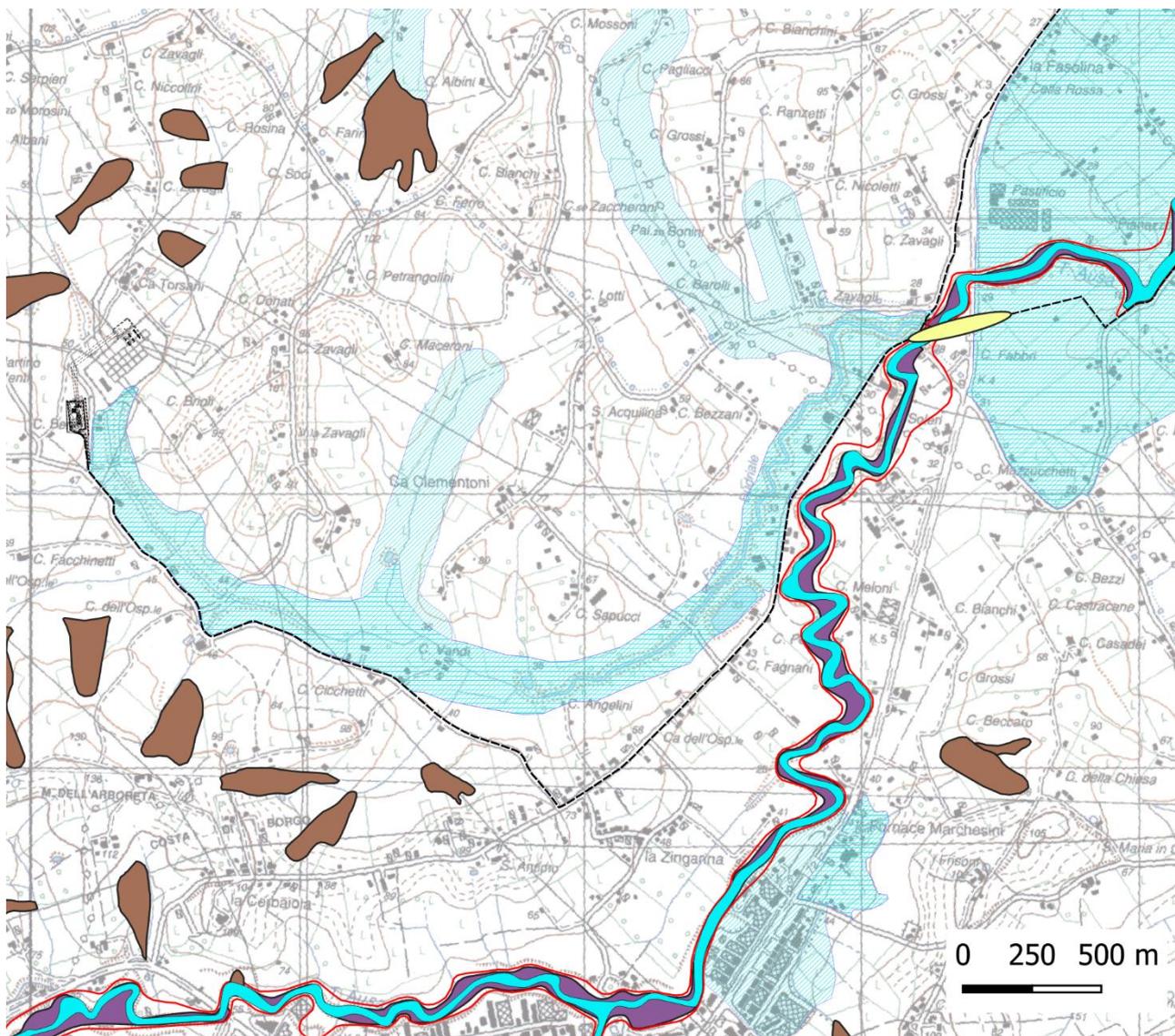
Per quanto attiene alla pericolosità con il reticolo maggiore, l'unica interferenza si ha con il corso del T.Ausa, tuttavia il progetto prevede il superamento della fascia esondabile (sia riferita ai fenomeni con tempo di ritorno di 200 che di 500 anni) mediante la realizzazione di una T.O.C. senza quindi interferire né con l'alveo del torrente né modificando morfologicamente le fasce di territorio interessate dalla pericolosità.

La pericolosità derivante dal reticolo secondario di pianura è stata valutata a partire dal 2011 con l'istituzione del Piano Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.); l'art 20 delle NTA del P.A.I. (nella versione aggiornata al 2016 coordinata al P.G.R.A.) indica due livelli di pericolosità: "aree soggette ad alluvioni frequenti" (elevata probabilità - P3) ed "aree soggette ad alluvioni poco frequenti" (bassa probabilità – P2). Come si evince dalle figure riportate in precedenza, l'elettrodotto, per oltre un chilometro e mezzo, nel tratto che dalla "stazione di transizione cavo-aereo" segue via San Martino in Venti, risulta essere al limite delle "aree soggette ad alluvioni frequenti (P3)"; medesima classificazione di pericolosità si ha inoltre per ampi tratti del percorso a valle dell'intersezione con il Torrente Ausa.

La norme del P.A.I. hanno lasciato la possibilità ai Consorzi di Bonifica di regolamentare le attività consentite nelle zone a pericolosità P2 e P3 derivanti dalla dinamica fluviale del reticolo secondario, limitandosi a

escludere come misura di salvaguardia immediatamente vincolante la realizzazione di vani interrati accessibili nelle zone P3.

Nella parte costiera il progetto interferisce con quelle che sono le aree di pericolosità per inondazione derivanti da mareggiate con eventi correlati a tempi di ritorno da 10 a oltre 100 anni; in realtà si tratta di una interferenza unicamente geometrica in quanto nelle aree perimetrate il progetto prevede l'installazione dell'elettrodotto utilizzando la tecnologia T.O.C. (partendo da un punto esterno alle fasce perimetrate) e senza quindi esporre al rischio alcun manufatto né modificare in nessun modo la pericolosità.



----- elettrodotto

tratti in T.O.C.

Alveo

Aree in dissesto gravitativo da assoggettare a verifica (art. 17 PAI)

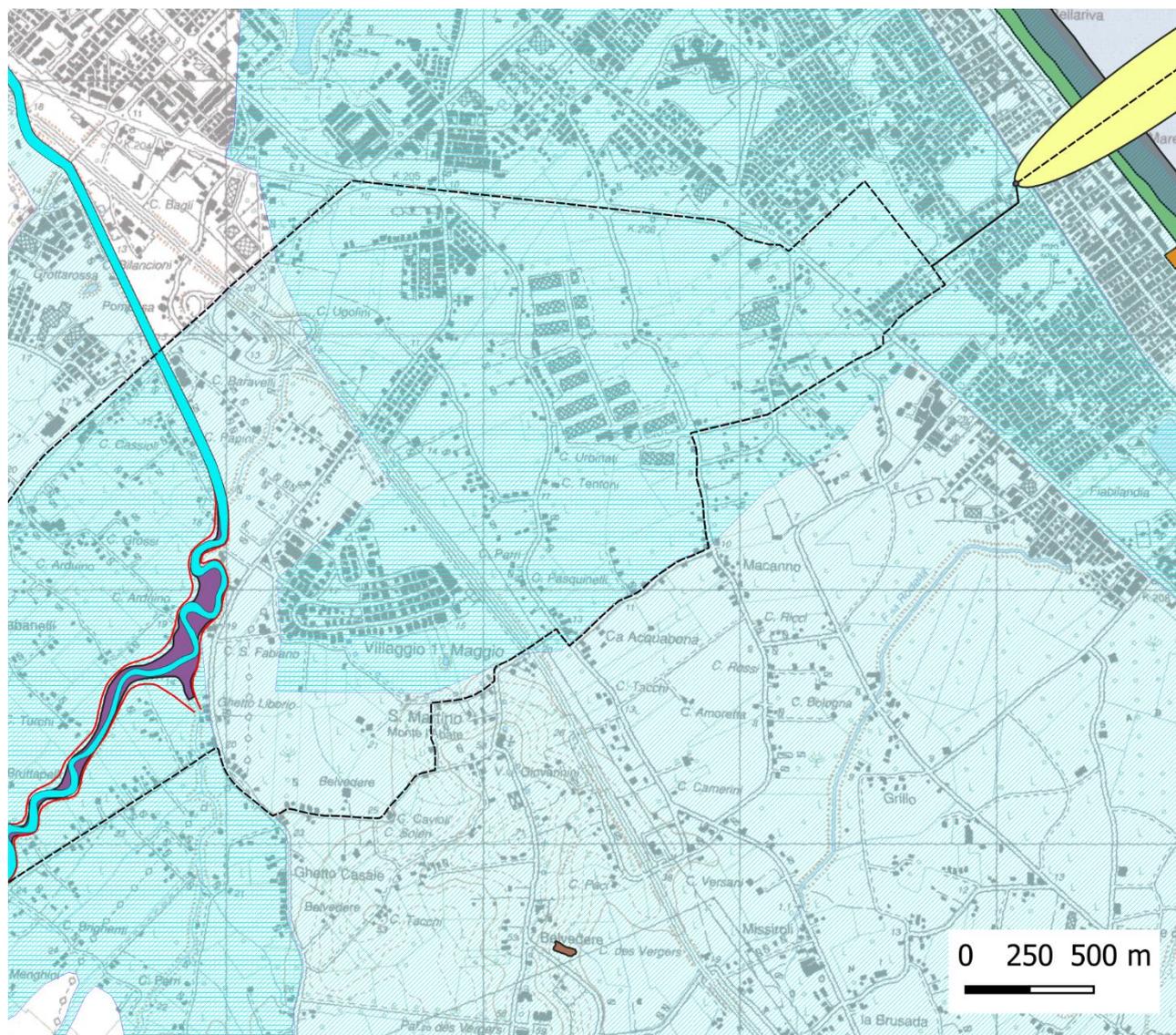
Limite aree esondabili piene con tempo di ritorno di 500 anni (art 10 comma 1 NTA)

Aree esondabili piene con tempo di ritorno di 200 anni (art 9 comma 1 NTA)

Reticolo secondario di pianura. Aree soggette ad alluvioni frequenti (art 20 comma 3 lettera a NTA)

Reticolo secondario di pianura. Aree soggette ad alluvioni poco frequenti (art 20 comma 3 lettera b NTA)

Figura 2.3 – Planimetria (zona occidentale) con indicazioni contenute nel Piano di Assetto Idrogeologico.



----- elettrodotto

 tratti in T.O.C.

 Alveo

 Aree in dissesto gravitativo da assoggettare a verifica (art. 17 PAI)

 Limite aree esondabili piene con tempo di ritorno di 500 anni (art 10 comma 1 NTA)

 Aree esondabili piene con tempo di ritorno di 200 anni (art 9 comma 1 NTA)

 Reticolo secondario di pianura. Aree soggette ad alluvioni frequenti (art 20 comma 3 lettera a NTA)

 Reticolo secondario di pianura. Aree soggette ad alluvioni poco frequenti (art 20 comma 3 lettera b NTA)

 Aree inondabili per mareggiate con tempo di ritorno 10 anni (art. 20 comma 4 lettera a NTA)

 Aree inondabili per mareggiate con tempo di ritorno 100 anni (art. 20 comma 4 lettera b NTA)

 Aree inondabili per mareggiate con tempo di ritorno superiore a 100 anni (art. 20 comma 4 lettera c NTA)

Figura 2.4 – Planimetria (zona orientale) con indicazioni contenute nel Piano di Assetto Idrogeologico.

3 ATTRAVERSAMENTO MEDIANTE T.O.C. DEL TORRENTE AUSA

L'attraversamento in sub-alveo del corso del Torrente Ausa avverrà a sud del territorio Comunale di Rimini nel tratto dell'Ausa a monte della confluenza con il corso d'acqua denominato Fossa Budriole. La posa del cavo, tramite la tecnica T.O.C, riguarderà un tratto di circa 350 mt che oltre a superare il corso d'acqua suddetto sottopasserà anche il rilevato stradale della S.S. 72.

Nelle figure seguenti viene riportato l'inquadramento cartografico dell'opera dove, con la linea verde è indicato il percorso del caidotto e con quella rossa con markers il tratto posato con la T.O.C.

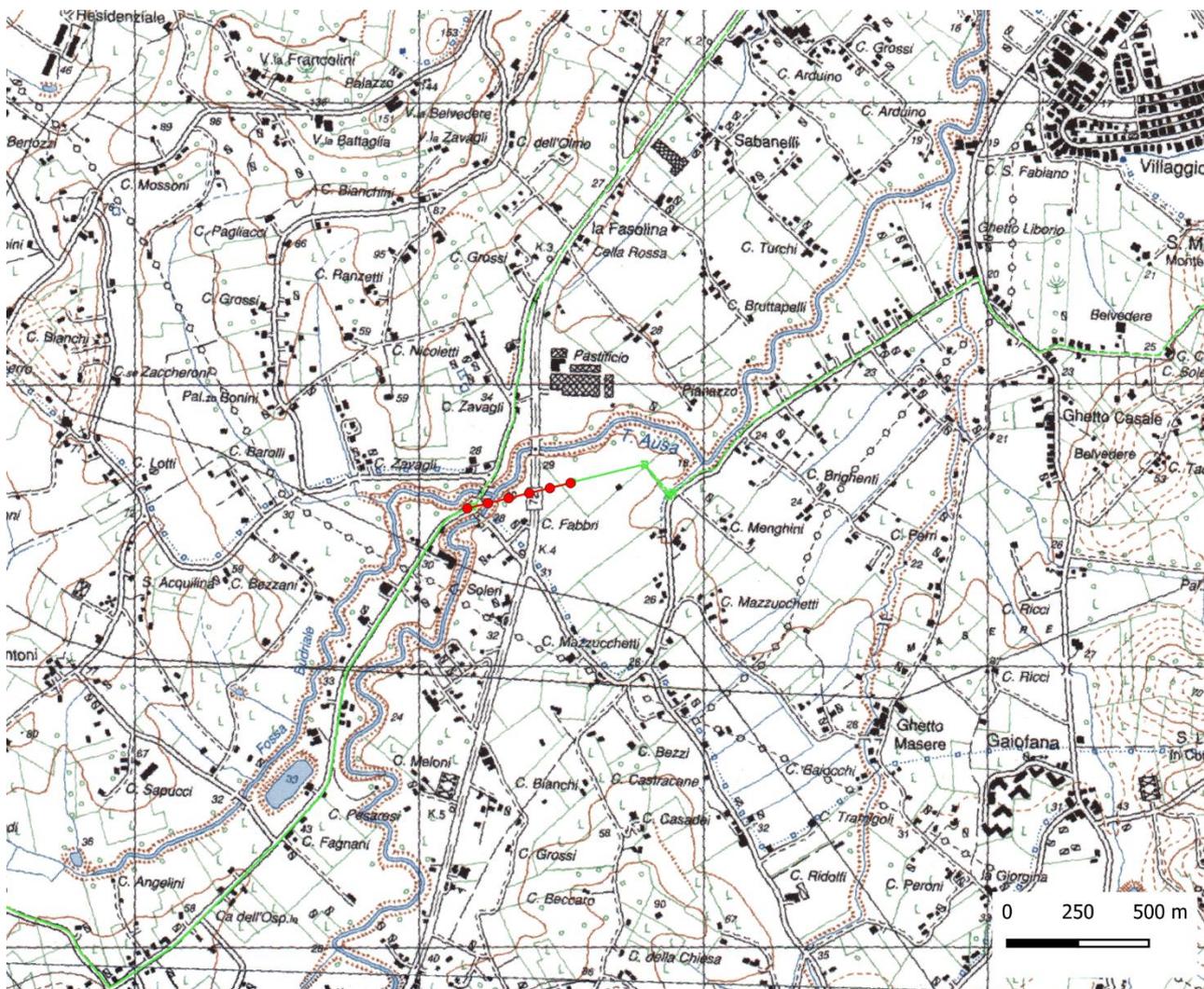


Figura 3.1 – Inquadramento intervento su cartografia IGM alla scala 1:25.000.

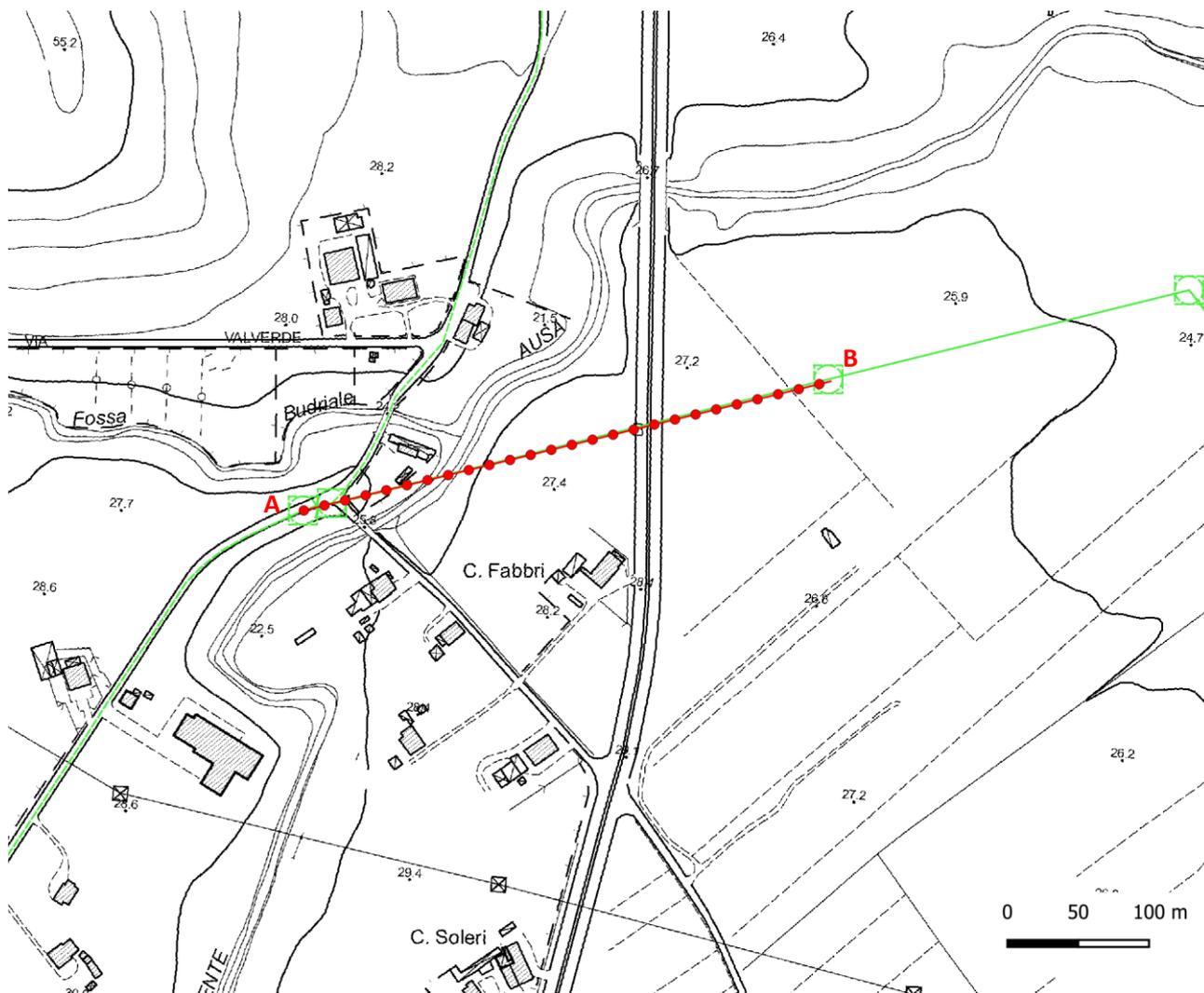


Figura 3.2 – Inquadramento intervento su Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000, Elemento n°256152 “San Martino Monte l’Abate”.

Le coordinate indicative degli estremi del tratto di T.O.C. sono riportate nella tabella seguente:

Coordinate rif EPSG: 3004 – Monte Mario Zona 2		
Punto	Longitudine	Latitudine
A	2323104	4876381
B	2323476	4876474

Tabella 3.1 – Coordinate del tratto di T.O.C.

Come si evince dalle figure il tratto di T.O.C. si sviluppa tra la sede stradale di via Santa Aquilina e l’ampia zona sub pianeggiante presente ad oriente della S.S.72; l’attraversamento dell’alveo avverrà a monte della confluenza da sx della Fossa Budriale.



Figura 3.3 – Ripresa fotografica della zona posta ad est della sede stradale della S.S.72.

Il corso del T. Ausa nella zona in studio risulta inciso rispetto al piano campagna delle zone circostanti e le sponde sono interessate da una folta vegetazione arbustiva ed arborea. Immediatamente a monte della zona di intervento l'alveo presenta uno stretto meandro verso ovest ed il fondo non mostra significativi segni di erosione.

Una visione più di dettaglio della zona di arrivo della T.O.C. su via Santa Aquilina è possibile dalla ortofoto riportata nella figura seguente ottenuta da volo mediante SAPR (drone) appositamente realizzato per il lavoro in oggetto.

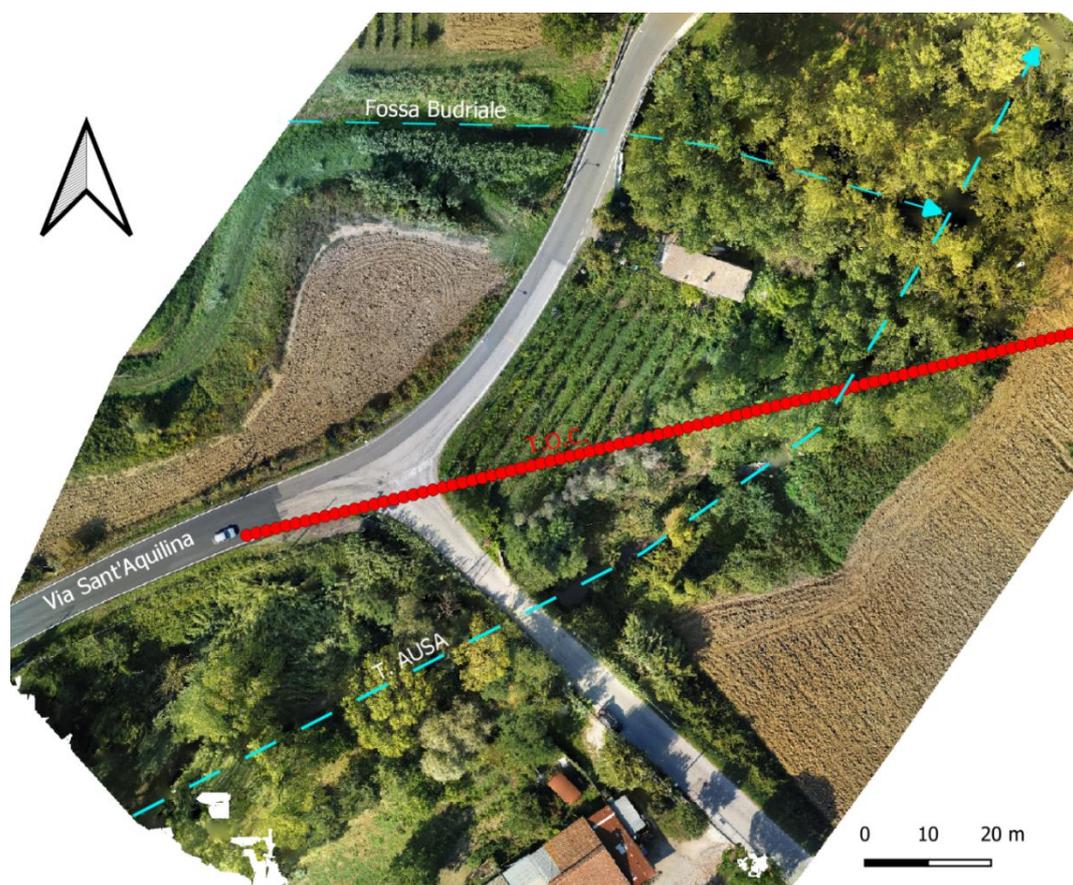


Figura 3.4 – Ortofoto ricavata mediante aerofotogrammetria da drone.

4 VALUTAZIONI IDROLOGICHE

4.1 Premessa

La determinazione delle portate al colmo di piena rappresenta un dato di input imprescindibile per qualsiasi verifica idraulica che riguardi un corso fluviale, sia che si tratti di stimare il livello raggiungibile dal pelo libero dell'acqua che di valutare la possibile erosione di fondo dell'alveo.

Lo studio idrologico assolve questa funzione e può essere sviluppato seguendo diverse metodologie a seconda dei dati disponibili, della precisione necessaria e della possibilità di taratura dei risultati ottenuti dal modello considerato.

In generale è possibile pervenire alla stima di una portata di riferimento per un corso d'acqua nei seguenti modi:

- a) utilizzando i dati di portata misurati in stazioni idrografiche presenti nel corso d'acqua di riferimento; il numero degli eventi estremi registrati nella serie disponibile deve essere tale da permettere l'elaborazione statistica con sufficiente confidenza dei risultati ottenuti;
- b) quando non sono disponibili dati di deflussi fluviali osservati per il corso d'acqua applicabili alla sezione di interesse è possibile applicare metodi che si propongono di utilizzare dati di deflusso fluviale osservati in località limitrofe, per le quali si perviene alla stima della portata al colmo di piena che viene successivamente ragguagliata alla sezione di interesse utilizzando criteri di similarità (metodo della similitudine idrologica);
- c) utilizzando metodi di regionalizzazione nei quali la stima delle portate al colmo viene ricavata riferendosi a parametri caratteristici del bacino idrografico in oggetto;
- d) ricorrendo al metodo indiretto (afflussi-deflussi) che stima la portata del corso d'acqua sulla base dei dati pluviometrici delle stazioni prese come riferimento, ricorrendo a diversi modelli di trasformazione che consentono di determinare la risposta idrologica del bacino (deflussi superficiali), attraverso la simulazione dei processi che intervengono nella trasformazione tra gli afflussi e i deflussi.

4.2 Dati idrologici disponibili

Il Torrente Ausa ricade tra quelli studiati dall'Autorità Interregionale di Bacino Marecchia-Conca e per i quali, a seguito di verifiche idrologico/idrauliche, sono stati determinati i limiti di pericolosità derivante da esondazioni correlate ad eventi con tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni. Per le verifiche eseguite nel presente lavoro si sono considerati come dati di ingresso per le portate quelle riportate nel lavoro dell'Autorità di bacino ed indicate nel prosieguo del capitolo.

4.3 Dati geometrici del bacino idrografico in oggetto

Come detto in precedenza la posa dell'elettrodotto con tecnologia T.O.C. interferisce planimetricamente con il percorso del Torrente Ausa poco a monte della confluenza con il Fossa Budriale. Nella figura 2.1 è riportato il limite del bacino idrografico alla sezione di chiusura di interesse.

Il bacino idrografico considerato si sviluppa nei territori dei comuni di Rimini (a nord), Coriano (ad est), Verucchio (piccola porzione ad ovest) e nello stato di San Marino (zona centrale e meridionale) dove lo spartiacque raggiunge la quota massima (circa 525 m slm).

Nella tabella seguente vengono riassunti i dati geometrici principali del bacino di interesse che sono stati calcolati anche utilizzando il Modello Digitale del Terreno (maglia 5x5 mt) reso disponibile nel sito cartografico della regione Emilia-Romagna.

Bacino	Superficie (km ²)	Altitudine sezione di chiusura (mslm)	Lunghezza asta fluviale (km)	Perimetro Spartiacque (km)
T. Ausa	34.1	17.1	14.2	30.9

Tabella 4.1 – Dati geometrici principali del bacino AUSA.

4.4 Valori di portata calcolati dall'Autorità di Bacino per gli studi di esondabilità

Nel Piano Stralcio di Bacino per l'assetto Idrogeologico, l'Autorità Interregionale di Bacino Marecchia-conca ha riportato i risultati dei calcoli idrologici eseguiti per le 7 aste fluviali principali di competenza su ciascuna delle quali sono state considerate diverse sezioni per valutare le discontinuità più significative nelle caratteristiche delle piene. L'analisi idrologica ha avuto lo scopo di fornire, per ogni sezione, i valori di portata degli eventi di piena e i relativi idrogrammi di riferimento da adottarsi per le successive indagini idrauliche; poiché non esistono serie storiche utilizzabili di misure in alcuno dei corsi d'acqua studiati, l'analisi è stata volta necessariamente ai metodi di inferenza statistica. Il principale riferimento è costituito dal Progetto VA.PI. (GNDCI-CNR, 1995 – '98). Il "Progetto Speciale VA.PI." (VALutazione Piene) è finalizzato alla quantificazione probabilistica degli eventi di piena sull'intero territorio nazionale; per l'areale Romagna - Marche, entro cui i 7 bacini maggiori ricadono, sono state attuate alcune modifiche al progetto VA.PI. nazionale per calibrare maggiormente i risultati sulla realtà dei bacini di interesse.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di portata al colmo indicati nella tabella 2.7.1. della relazione del P.A.I. calcolati con tempi di ritorno da 10 a 1000 anni. Due sono le sezioni considerate per il corso del Torrente Ausa, la posizione della zona di intervento è in posizione intermedia tra queste.

Tab. 2.7.1 Sezioni di interesse individuate nei sette bacini principali, relative portate massime al colmo e corrispondenti deflussi specifici in funzione del tempo di ritorno, secondo la regionalizzazione "VA.PI." modificata

Bacino	Corpo idrico	Codice sotto_bacino	Toponimo identificativo della sezione di chiusura	Area imbriferia (km²)	Portate al colmo (m³/s) per tempi di ritorno di anni:							Q _{20g}	Corrisp. portate specifiche (m³/s/km²)						
					5	10	20	50	100	200	500		1000	10	20	50	100	200	500
Uso	T. Uso	B26.01	P.te Uso di Sogliano	40.5	52	69	86	108	125	142	165	182	31	1.71	2.13	2.68	3.10	3.51	4.06
	T. Uso	B26.02	Poggio Berni (inizio rilievi asta fluviale)	92.5	77	102	127	160	184	209	242	267	57	1.10	1.37	1.73	1.99	2.26	2.62
	T. Uso	B26.03	S. Vito di Rimini	107.0	87	115	143	180	209	237	274	302	65	1.08	1.34	1.69	1.95	2.21	2.56
	T. Uso	B26.04	Confluenza nell'Uso	130.4	103	136	169	213	246	279	322	356	77	1.04	1.29	1.63	1.88	2.14	2.47
	T. Uso	B26.05	Foce	140.7	109	144	179	226	261	296	342	378	83	1.02	1.27	1.60	1.85	2.10	2.43
Marecchia-Ausa	F. Marecchia	B27.01	Monte confluenza del T. Il Presale	45.9	49	65	81	102	118	134	155	171	28	1.42	1.77	2.23	2.57	2.92	3.38
	F. Marecchia	B27.02	Valle confluenza del T. Il Presale	96.9	105	139	173	217	251	285	330	364	72	1.43	1.78	2.24	2.59	2.94	3.40
	F. Marecchia	B27.03	Monte confluenza Senatello	153.6	163	216	268	337	390	443	512	565	112	1.40	1.75	2.20	2.54	2.88	3.33
	F. Marecchia	B27.04	Valle confluenza del T. Senatello (inizio rilievi asta fluviale)	202.7	214	283	352	444	513	582	673	743	148	1.40	1.74	2.19	2.53	2.87	3.32
	F. Marecchia	B27.05	Maciano di Pennabilli	265.5	274	362	451	567	656	744	861	949	191	1.36	1.70	2.14	2.47	2.80	3.24
	F. Marecchia	B27.06	Secchiano di Novafeltria	342.5	342	452	562	707	817	928	1073	1184	240	1.32	1.64	2.07	2.39	2.71	3.13
	F. Marecchia	B27.07	Pietraotta di San Leo	365.1	358	474	589	742	857	972	1125	1241	252	1.30	1.61	2.03	2.35	2.66	3.08
	F. Marecchia	B27.08	Valle confluenza del T. Mazzocco	412.0	396	524	652	821	948	1076	1245	1373	281	1.27	1.58	1.99	2.30	2.61	3.02
	F. Marecchia	B27.09	P.te Verucchio	465.7	434	574	713	898	1038	1178	1363	1503	310	1.23	1.53	1.93	2.23	2.53	2.93
	F. Marecchia	B27.10	Santarcangelo di Romagna	494.5	449	594	739	930	1075	1220	1412	1557	323	1.20	1.49	1.88	2.17	2.47	2.85
	T. Ausa	B27.11	Confine di stato Repubblica di S. Marino	24.8	38	51	63	79	92	104	120	133	23	2.04	2.54	3.20	3.69	4.19	4.85
	T. Ausa	B27.12	Confluenza in Marecchia	72.0	53	71	88	111	128	145	168	185	41	0.98	1.22	1.54	1.78	2.02	2.33
	F. Marecchia	B27.13	Foce	609.9	502	664	826	1040	1202	1364	1578	1741	369	1.09	1.35	1.71	1.97	2.24	2.59
Marano	T. Marano	B28.01	Confine di stato Repubblica di S. Marino (inizio rilievi asta fluviale)	28.2	46	61	76	96	111	126	146	161	28	2.18	2.71	3.41	3.95	4.48	5.18
	T. Marano	B28.02	Ospedaletto di Coriano	40.0	64	84	105	132	153	173	201	221	39	2.11	2.62	3.30	3.82	4.33	5.01
	T. Marano	B28.03	C.se del Molino di Riccione	54.2	80	106	131	165	191	217	251	277	50	1.95	2.42	3.05	3.53	4.00	4.63
	T. Marano	B28.04	Foce	60.4	84	111	138	174	201	228	263	291	53	1.84	2.28	2.87	3.32	3.77	4.36
Melo	R. Melo	B29.01	C.se del Molino di Riccione (inizio rilievi asta fluviale)	19.6	40	53	66	83	96	109	126	139	24	2.70	3.36	4.24	4.89	5.55	6.43
	R. Melo	B29.02	Valle confluenza R. Bessanigo	34.7	65	85	106	134	154	175	203	224	40	2.46	3.06	3.85	4.45	5.05	5.84
	R. Melo	B29.03	Foce	47.0	75	99	123	154	178	202	234	258	46	2.10	2.61	3.28	3.79	4.31	4.98
Conca	T. Conca	B30.01	Confine con M. Colombo e Montegrignano (inizio rilievi asta fluviale)	40.2	63	83	103	130	150	170	197	37	2.06	2.56	3.23	3.73	4.23	4.89	
	T. Conca	B30.02	Taverna di Monte Colombo	81.9	79	104	129	163	188	213	247	272	57	1.27	1.58	1.99	2.30	2.60	3.01
	T. Conca	B30.03	Valle confluenza del T. Ventena di Gemmano	125.5	114	151	188	236	273	310	358	395	83	1.20	1.50	1.88	2.18	2.47	2.86
	T. Conca	B30.04	Morciano di Romagna	141.6	126	166	207	261	301	342	395	436	93	1.18	1.46	1.84	2.13	2.41	2.79
	T. Conca	B30.05	Foce	162.4	140	185	230	289	334	379	439	484	103	1.14	1.41	1.78	2.06	2.34	2.70
Ventena	T. Ventena	B31.01	C.se Torri di Morciano di Romagna	29.2	31	41	51	64	75	85	98	108	17	1.41	1.75	2.21	2.55	2.90	3.35
	T. Ventena	B31.02	S. Giovanni in Marignano (inizio rilievi asta fluviale)	36.7	36	48	60	75	87	98	114	125	20	1.30	1.62	2.04	2.36	2.68	3.10
	T. Ventena	B31.03	Foce	42.3	39	52	65	82	94	107	124	137	23	1.23	1.53	1.93	2.23	2.53	2.93
Tavollo	T. Tavollo	B32.01	Tavallia	28.1	30	40	50	63	72	82	95	105	17	1.42	1.77	2.23	2.58	2.92	3.38
	T. Tavollo	B32.02	P.te presso S. Giovanni in Marignano (inizio rilievi asta fluviale)	48.7	43	57	71	89	103	117	136	149	25	1.17	1.46	1.83	2.12	2.41	2.78
	T. Tavollo	B32.03	Valle confluenza F.ssa Tavollo	68.5	51	68	84	106	123	139	161	178	39	0.99	1.23	1.55	1.79	2.03	2.35
	T. Tavollo	B32.04	Foce	79.3	59	78	96	121	140	159	184	203	45	0.98	1.22	1.53	1.77	2.01	2.32
F. Foglia	B40.01	Poca a monte di Belforte	65.7	67	89	111	139	161	183	212	233	48	1.36	1.69	2.12	2.45	2.78	3.22	

Tabella 4.2 – Sezioni dei principali bacini.

4.5 Valori di portata riferibili alla sezione di interesse

Il valore di portata generabile dal bacino alla sezione di chiusura al punto in cui è previsto l'interramento del cavo tramite T.O.C. è ricavabile dai valori calcolati dall'Autorità di Bacino per le due sezioni indicate nella tabella precedente utilizzando il metodo della "similitudine idrologica" in ragione della formula seguente:

$$Q_2 = Q_1 * \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^m$$

Dove:

"Q₂" e "Q₁" sono le portate nelle generiche sezioni 1 e 2

"S₂" e "S₁" sono le superfici dei bacini sottese alle sezioni 1 e 2

"m" è un parametro adimensionale che può essere determinato inserendo nella formula precedente i valori noti di portata e superficie indicati nella tabella riportata sopra (il valore di "m" risulta pari quindi a 0.31).

I valori di portata al colmo per la sezione di interesse possono quindi essere stimati dalla formula indicata in precedenza partendo dai valori di superficie e portata della sezione di monte e considerando la superficie sottesa dalla sezione di riferimento.

Nella tabella che segue sono indicati i valori di portata sviluppati dal bacino idrografico alla sezione di interesse, considerando eventi con tempi di ritorno di 100 e 200 anni.

Bacino	Superficie (km²)	Portata al colmo di piena (TR100 anni)	Portata al colmo di piena (TR 200 anni)
T. Ausa – sezione di progetto	34.1	101.5	115.0

Tabella 4.3 – Portata del bacino AUSA.

5 VALUTAZIONI IDRAULICHE

5.1 Premessa

Per l'elaborazione delle verifiche idrauliche è stato utilizzato il Software HEC-RAS (River Analysis System), sviluppato ed implementato dal U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. Il software è impiegato per la modellazione del profilo delle correnti a pelo libero. Di seguito vengono brevemente elencate le ipotesi di calcolo, le equazioni di base, i criteri di suddivisione delle sezioni per il calcolo della distribuzione delle portate e delle velocità, le formule adottate per il calcolo delle perdite di carico e la metodologia iterativa di risoluzione del problema. Il profilo del pelo libero è calcolato da una sezione trasversale alla successiva, risolvendo l'equazione del bilancio energetico con un processo iterativo chiamato Standard Step Method che tiene conto della profondità dell'acqua nelle sezioni, della quota del fondo alveo, della velocità media dell'acqua e della perdita di carico totale. Tale perdita di carico totale è calcolata tra due sezioni trasversali successive e tiene conto delle perdite per attrito e di quelle per contrazione o espansione del flusso. La determinazione del deflusso complessivo e del coefficiente di velocità per una data sezione trasversale richiede che il flusso sia suddiviso in ambiti nei quali la velocità sia uniformemente distribuita. Il metodo in tal senso utilizzato dal software HEC-RAS consiste nel suddividere il flusso complessivo in contributi dovuti al flusso all'interno rispettivamente dell'alveo principale e delle golene, utilizzando come base per la suddivisione i punti che definiscono le variazioni del valore delle scabrezze (n-value break point) all'interno della sezione trasversale. La capacità di deflusso di ciascun ambito è calcolata con l'equazione di Manning tenendo conto della capacità di deflusso, della scabrezza di alveo e golene e della sezione liquida di ciascun ambito considerato. L'equazione ha la forma seguente:

$$Q = k S_f^{1/2}$$

dove S_f è la pendenza d'attrito media e genericamente mediata, come le altre grandezze, tra due sezioni.

$$k = A R^{2/3} / n$$

dove:

K = capacità di deflusso di un ambito omogeneo;

n = coefficiente di scabrezza di Manning di un ambito omogeneo;

A = sezione liquida di un ambito omogeneo;

R = raggio idraulico (area / perimetro bagnato) di un ambito omogeneo.

Il programma, per default, somma tutti i contributi al deflusso dei vari ambiti omogenei esterni al letto per ottenere la capacità di deflusso delle golene sinistra e destra, mentre la capacità di deflusso dell'alveo principale è normalmente calcolata con riferimento ad un singolo ambito. In questo caso il deflusso totale della sezione trasversale è ottenuto come somma delle tre capacità di deflusso (sinistra, alveo e destra). Il programma infine permette di inserire la presenza degli argini (levees) dell'alveo in qualsiasi punto della sezione; in questo modo si definisce che il flusso dell'acqua non può andare ad occupare la parte dell'alveo oltre l'argine fintantoché il suo livello si mantiene inferiore alla quota massima dell'argine stesso.

La scelta del coefficiente di scabrezza più appropriato è particolarmente significativa per la affidabilità del calcolo del profilo liquido. Il valore della scabrezza è fortemente variabile e dipende da vari fattori tra cui:

- la ruvidità delle superfici;
- la presenza di vegetazione;

- l'irregolarità dell'alveo;
- la presenza di zone di erosione e deposito;
- la presenza di ostruzioni ed ostacoli;
- le dimensioni e la forma dell'alveo;

In generale i coefficienti di scabrezza dovrebbero essere calibrati ogni volta che sono disponibili informazioni su un profilo liquido osservato; se non esistono dati misurati, per scegliere il coefficiente di scabrezza occorre riferirsi a valori stimati in corsi d'acqua con caratteristiche simili o a valori ottenuti da prove di laboratorio. Per l'elaborazione in oggetto, ci si è riferiti ai valori del coefficiente di Manning "n" relativi a corsi d'acqua naturali, disponibile nel Manuale di Chow (1959). Chow presenta numerose tipologie di canali e fotografie di corsi d'acqua nei quali è stato calibrato il coefficiente "n", in ogni caso, il riferimento per le tipologie più comuni di alveo naturale si trova sintetizzato nella tabella seguente.

Descrizione del tipo di alveo naturale	Coefficiente di Manning		
	Minimo	Normale	Massimo
Canale principale			
Alveo pulito, rettilineo e senza forme di fondo	0.025	0.030	0.033
Come sopra, con ciottoli ed erbacce	0.030	0.035	0.040
Alveo pulito, sinuoso, con forme di fondo longitudinali	0.033	0.040	0.045
Come sopra con ciottoli ed erbacce	0.035	0.045	0.050
Come sopra, con forme di fondo più pronunciate	0.040	0.048	0.055
Come sopra ma con più ciottoli al fondo	0.045	0.050	0.060
Alveo stagnante, con zone profonde ed erbacce	0.050	0.070	0.080
Alveo pieno di erbacce, zone profonde e canali ostruiti da cespugli e legname	0.070	0.100	0.150
Golene e piani di scorrimento	Minimo	Normale	Massimo
Pascoli privi di cespugli con erba bassa	0.025	0.030	0.035
Pascoli privi di cespugli con erba alta	0.030	0.035	0.050
Terreni coltivati senza coltivazioni	0.020	0.030	0.040
Terreni coltivati con coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
Terreni coltivati con coltivazioni distribuite	0.030	0.040	0.050
Cespugli sporadici, con molte erbacce	0.035	0.050	0.070
Pochi cespugli e arbusti, in inverno	0.035	0.050	0.060
Pochi cespugli e arbusti, in estate	0.040	0.060	0.080
Molti cespugli e arbusti, in inverno	0.045	0.070	0.110
Molti cespugli e arbusti, in estate	0.070	0.100	0.160
Pianori puliti con ceppi d'albero	0.030	0.040	0.050
Come sopra, con numerosi alberelli	0.050	0.060	0.080
Numerosi tronchi d'albero, flusso al di sotto dei rami	0.080	0.100	0.120
Come sopra ma con flusso attraverso i rami	0.100	0.120	0.160
Salici folti in estate	0.110	0.150	0.200

Tabella 5.1 – Coefficienti di Manning.

Essendo HEC-RAS un software sviluppato per la valutazione dei profili del pelo libero nell'ipotesi di moto a carattere monodimensionale, per ciascuna sezione trasversale esso determina un solo livello orizzontale del pelo libero e dunque una sola energia media. Per una data quota del pelo libero quindi, l'energia cinetica media è determinata attraverso una media pesata delle energie cinetiche calcolate sulle tre componenti di deflusso presenti nella golena sinistra, nell'alveo principale e nella golena destra.

Per svolgere la simulazione e calcolare il livello del pelo libero in una sezione, è necessario conoscere la medesima grandezza in una sezione prossima a questa. Il programma provvede automaticamente al riconoscimento, per tratti, del regime di corrente che si può effettivamente instaurare per la portata assegnata e se la corrente, ad esempio nel primo tratto di monte è veloce, esso adotterà quale altezza di riferimento quella fornita in input per l'estremo di monte, viceversa se la corrente del tratto finale è lenta, quale altezza di controllo sarà adottata quella fornita in input per la sezione terminale di valle. Nei tratti intermedi il programma adotta analoghi criteri. Nei casi in cui il regime di corrente passa da condizioni di corrente veloce a corrente lenta e/o viceversa, il programma deve eseguire i calcoli in modalità di calcolo mista (mixed flow, modalità impostata per le verifiche effettuate), ovvero il calcolo dei profili da valle verso monte (come in una corrente lenta) seguito da un riscontro di calcolo da monte verso valle (correnti veloci), in modo da localizzare tutti i risalti idraulici.

5.2 Condizioni di verifica

Come detto, l'installazione del cavo elettrico sotto il corso del Torrente Ausa avverrà ricorrendo a tecnologia che non modificherà l'alveo né in fase di installazione né tantomeno a lavoro concluso; inoltre i punti di partenza e arrivo del tratto realizzato in T.O.C. sono esterni rispetto alle perimetrazioni di rischio esondazione indicate dall'Autorità di Bacino nel P.A.I. per il reticolo principale.

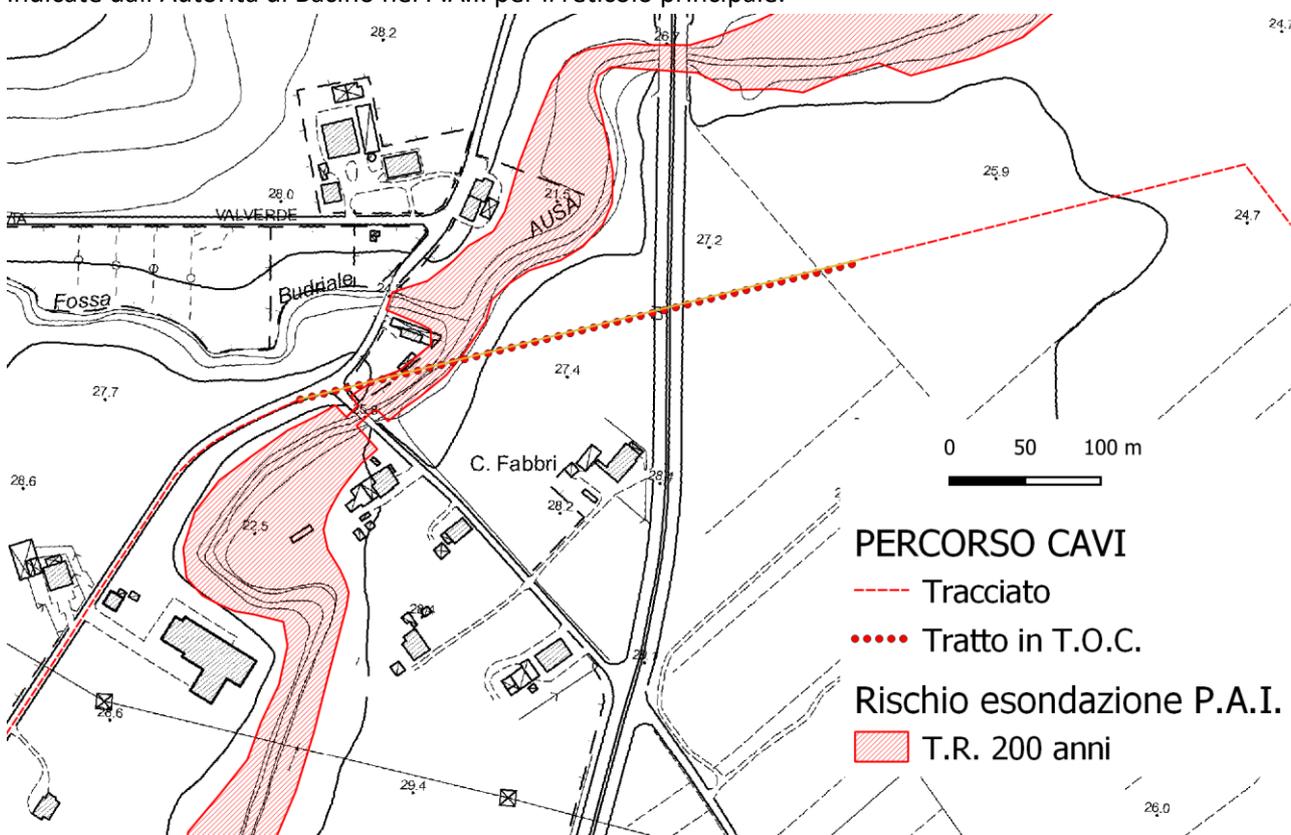


Figura 5.1 – Situazione del rischio esondazione P.A.I. nella zona di attraversamento del T. Ausa.

Lo studio idraulico è stato quindi realizzato non tanto per la perimetrazione delle aree di rischio ma piuttosto per la determinazione delle caratteristiche di deflusso del corso d'acqua (velocità media della corrente, il numero di Froude ed i carichi) nella zona dove planimetricamente è prevista l'interazione tra cavidotto e

torrente; tali caratteristiche sono infatti servite per stimare i fenomeni erosivi di fondo alveo e per verificare la compatibilità della dinamica fluviale con le quote di attraversamento previste.

Le verifiche sono state eseguite in regime di moto permanente utilizzando il software HEC-RAS ver. 6.1.0. ed imponendo una portata pari a quella correlata ad eventi con tempi di ritorno di 200 anni e calcolata come indicato nel capitolo precedente ($115 \text{ m}^3/\text{s}$) che è stata mantenuta costante in tutto il tratto sottoposto a verifica. Le condizioni al contorno, imposte alle estremità del tronco d'alveo oggetto di studio, sono costituite da un flusso in moto uniforme "normal depth" a monte ed a valle, in considerazione delle pendenze al fondo individuate per i tratti immediatamente esterni all'estremità del tronco. Per il coefficiente d'attrito si è fatto riferimento agli indici di scabrezza di Manning "n", i cui valori caratteristici, assunti costanti per l'intero tratto considerato, sono:

- 0,035 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,050 per le aree di deflusso oltre i limiti d'alveo (LOB, ROB).

5.3 Modellazione geometrica dell'alveo

La parte geometrica del modello idraulico di verifica consta in un tratto di alveo di lunghezza circa pari a 300 m. L'andamento altimetrico di alveo e parti di territorio circostante è stata desunta dal modello digitale del terreno reso disponibile nel portale cartografico della Regione Emilia Romagna; in particolare sono state ricavate n°4 sezioni circa ortogonali alla direzione del corso d'acqua.

La figura seguente riporta la posizione delle sezioni utilizzate per modellare nel software HEC-RAS la geometria del T. Ausa nella cartografia regionale CTR.

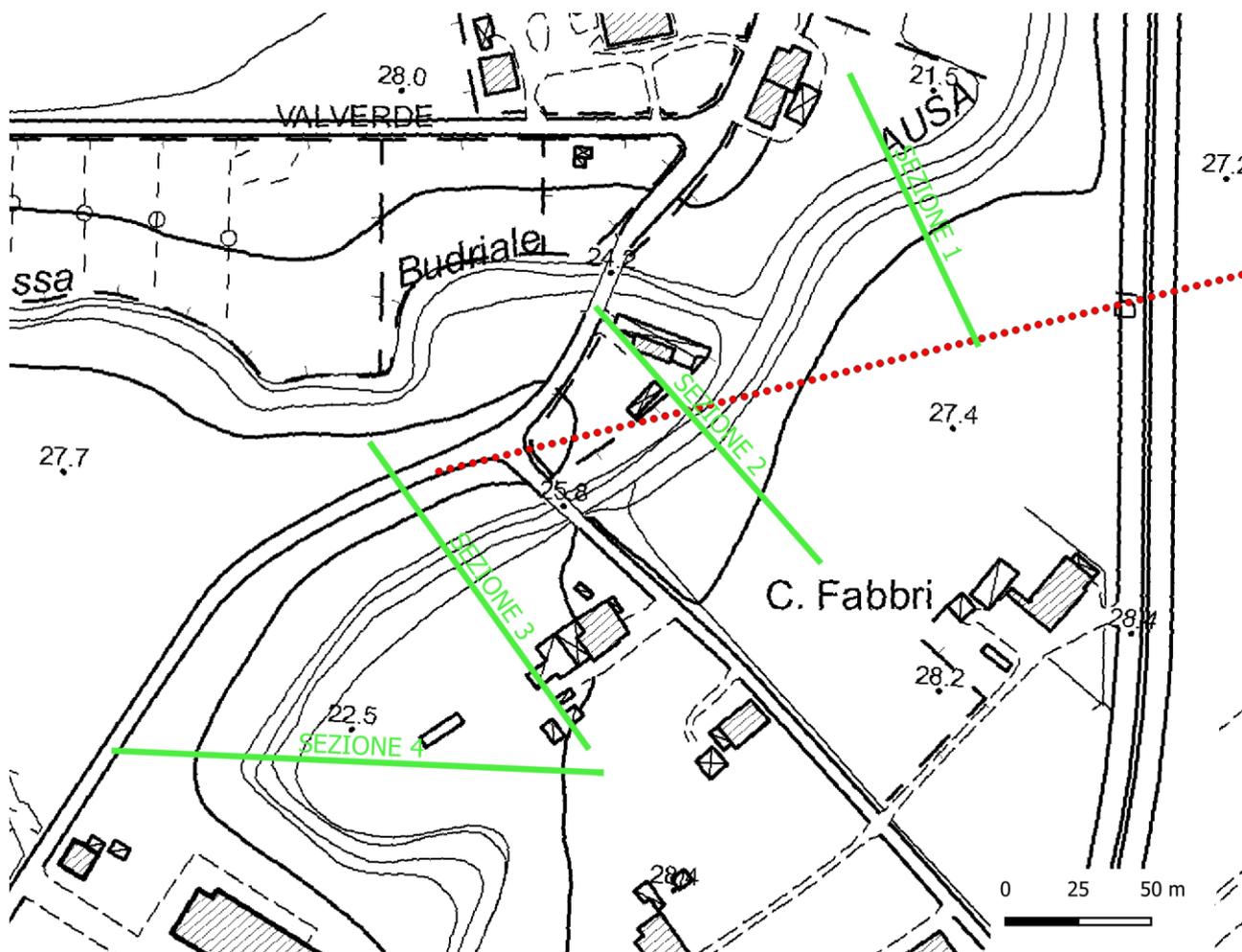


Figura 5.2 – Posizione delle sezioni utilizzate nel modello idraulico (in verde). La linea a cerchi rossi rappresenta la rotta della T.O.C. prevista.

Nella tabella seguente vengono indicate le distanze reciproche tra le sezioni utilizzate, viene inoltre riportata l'indicazione di ciascuna sezione (River Station) nei tabulati di output del software.

SEZIONE	River Station	Distanza progressiva (mt)	Distanza dalla sezione seguente (mt)	Posizione
Sezione 4	4	0	94.0	Sezione di monte
Sezione 3	3	94.0	97.0	/
Sezione 2	2	191.0	108.0	Sezione di interferenza con T.O.C.
Sezione 1	1	299.0	/	Sezione di valle

Tabella 5.2 – Distanze reciproche tra le sezioni utilizzate.

Per migliorare la risposta numerica dell'elaborazione, nel calcolo sono state utilizzate anche "sezioni intermedie", create in maniera automatizzata dal software interpolazione lineare tra le sezioni di input immediatamente a monte ed a valle (è stata imposta una distanza minima tra le sezioni di 20 mt).

5.4 Risultati verifiche idrauliche

Le figure e tavole seguenti rappresentano i risultati ottenuti dalle verifiche idrauliche eseguite; in particolare la sezione seguente riporta il profilo longitudinale raggiunto dalla superficie dell'acqua per verifiche relativamente al valore di portata correlato all'evento con tempo di ritorno di 200 anni.

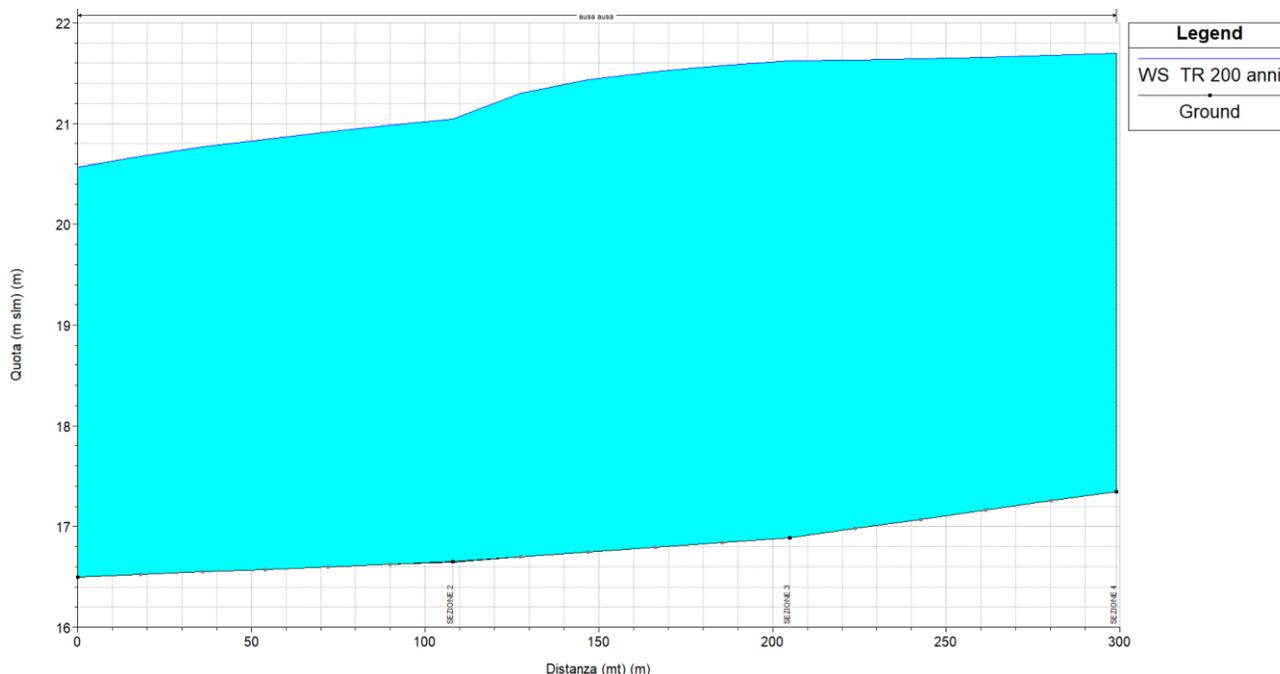


Figura 5.3 – Sezione longitudinale del profilo di corrente.

Nelle figure seguenti sono riportate le sezioni utilizzate nel modello idraulico con il livello calcolato nelle verifiche.

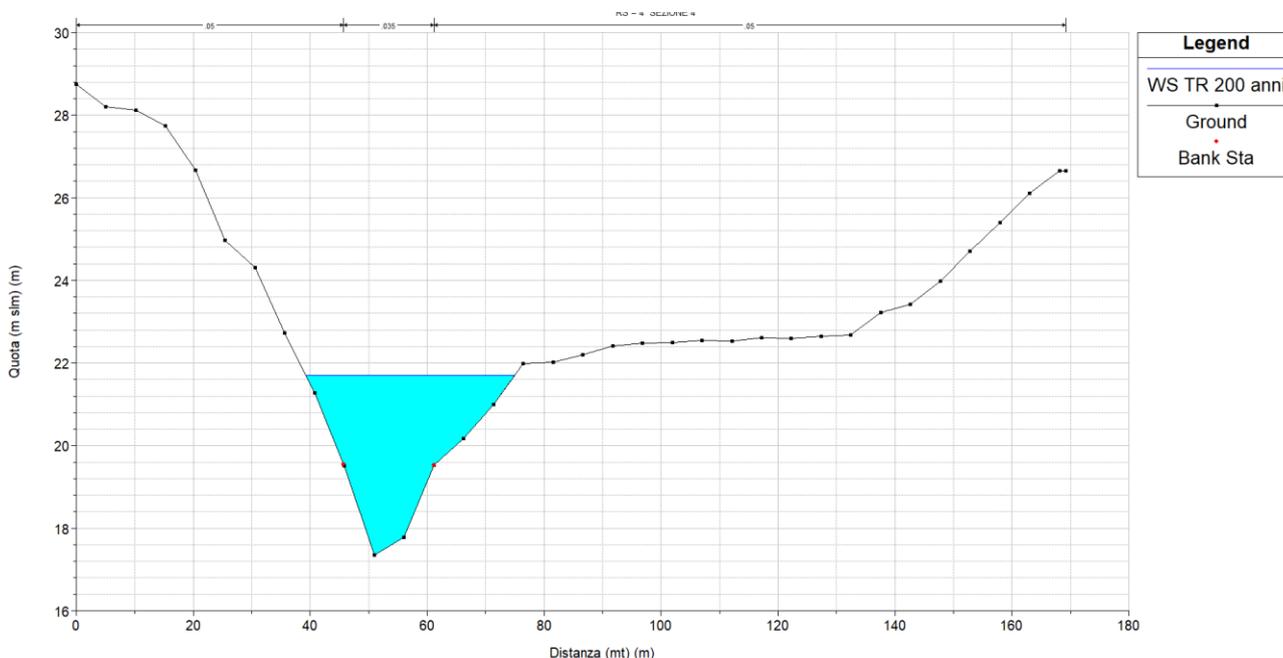


Figura 5.4 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione n°4.

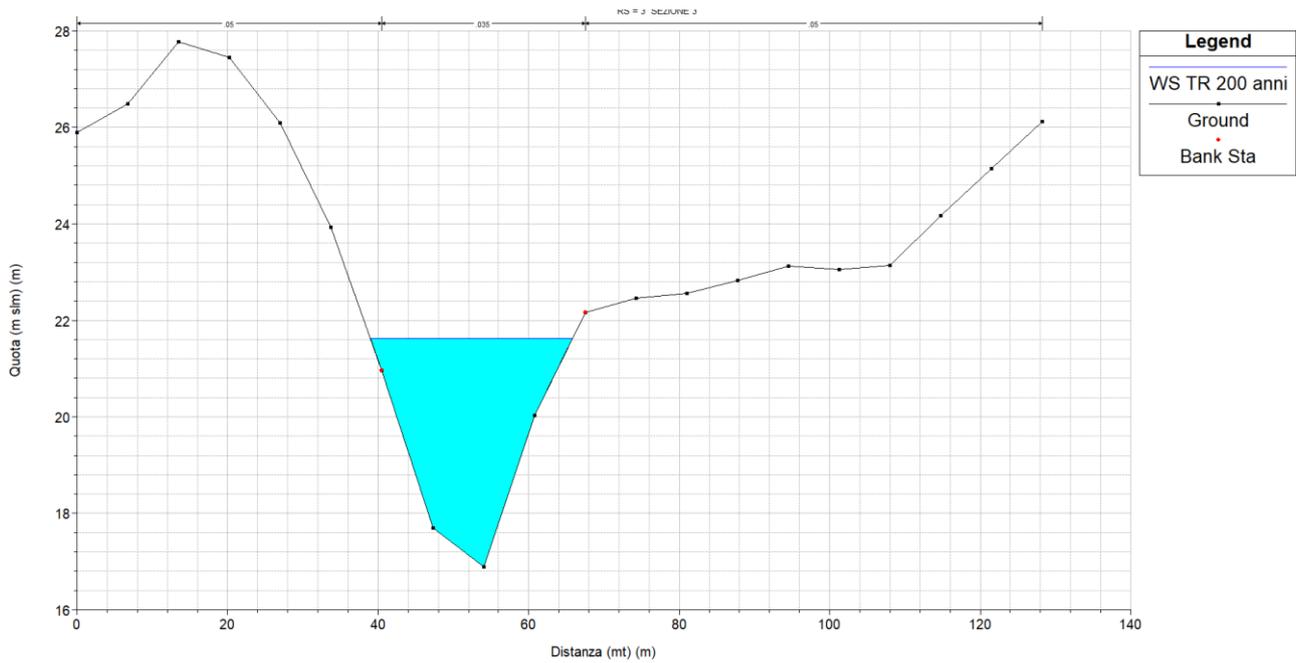


Figura 5.5 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione n°3.

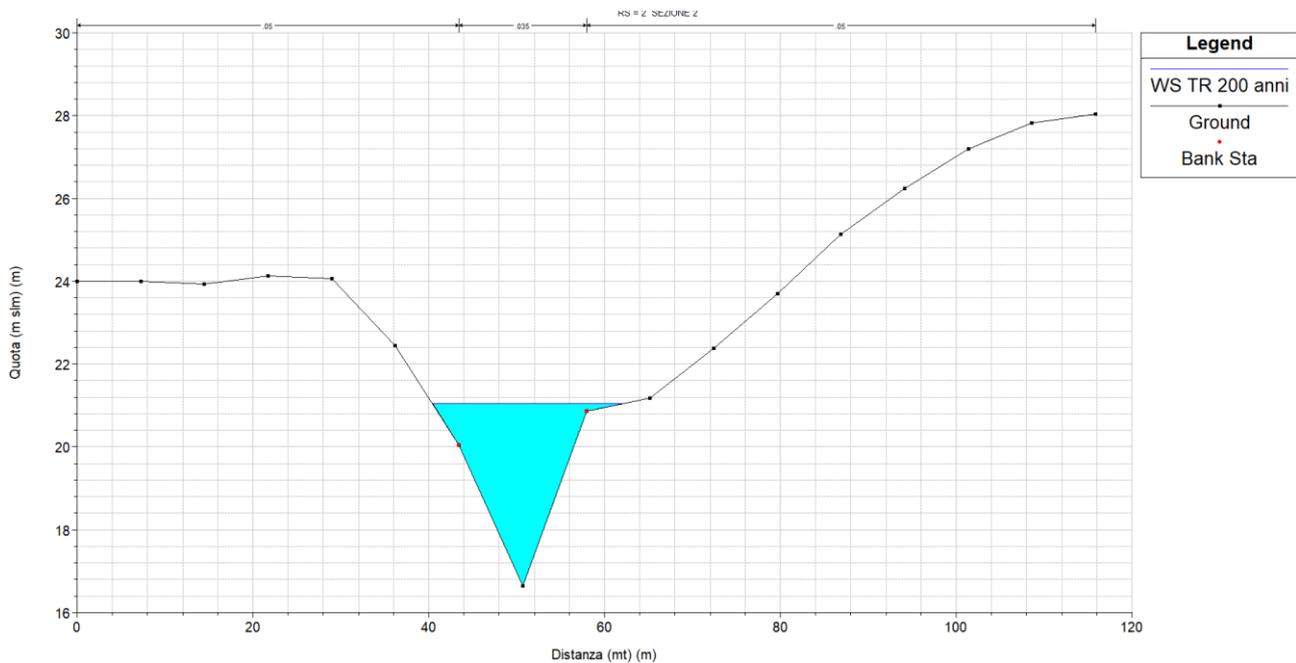


Figura 5.6 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione n°2.

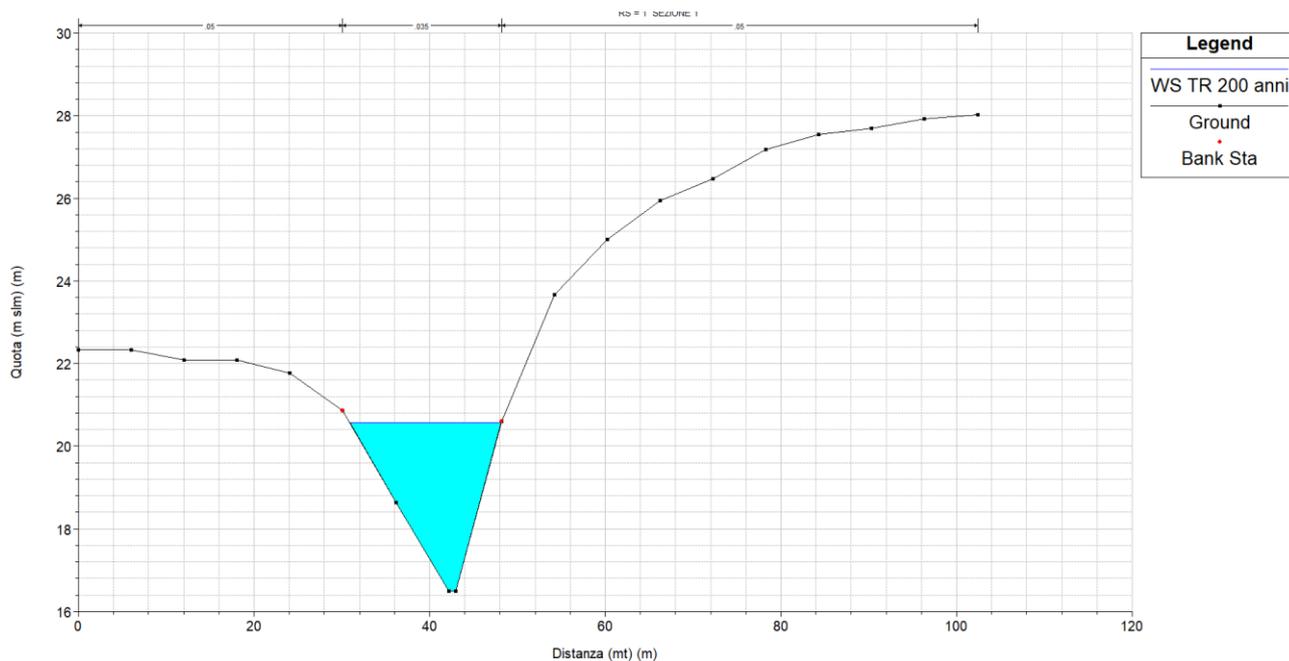


Figura 5.7 – Risultato della verifica idraulica – livello raggiunto nella sezione n°1.

Nella tabella seguente viene riassunto quanto ottenuto dal software HEC-RAS.

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Hydr depth C	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m)	(m2)	(m)	
4	115.00	17.35	21.70	20.05	21.86	0.000873	1.88	3.47	76.63	35.69	0.32
3	115.00	16.89	21.62		21.76	0.000924	1.64	2.77	70.56	26.78	0.31
2	115.00	16.65	21.05		21.55	0.004220	3.15	2.50	38.04	21.71	0.64
1	115.00	16.50	20.57	19.95	21.06	0.005002	3.11	2.15	36.97	17.23	0.68

Tabella 5.3 – Risultati software HEC-RAS.

Dove:

River Sta = Numero progressivo sezione

Q Total = Portata defluente attraverso la sezione

Min Ch El = Quota minima di fondo alveo

W.S. Elev = Quota raggiunta dall'acqua

Crit W.S. = Quota critica del pelo libero

E.G. Elev = Quota della linea di energia per il profilo liquido calcolato

E.G. Slope = Pendenza della linea di energia

Vel Chnel = Velocità media corrente in alveo

Hydr depth C = Altezza liquida media nel canale principale

Flow Area = Area della sezione interessata dal flusso

Top Width = Larghezza superficiale della sezione interessata dal flusso

Froude Chn = Numero di Froude

6 VALUTAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITA' DI EROSIONE DI FONDO ALVEO

6.1 Premessa

Ai fini della progettazione del passaggio del cavo elettrico al disotto dell'alveo del T.Ausa occorre, come detto, verificare la possibilità dell'erosione massima generabile dal corso d'acqua al fine di considerare una adeguata profondità di ricoprimento. Per la stima delle eventuali erosioni localizzate del letto e dei potenziali fenomeni di escavazione in alveo si ricorre a formulazioni estremamente cautelative, in modo che un eventuale approfondimento, rispetto alla quota minima iniziale del fondo, non possa interessare il cavidotto. Per la valutazione si fa riferimento agli studi di Yalin (1964), Nordin (1965) ed altri, che hanno proposto di assegnare alle possibili escavazioni un valore cautelativo, pari ad una percentuale dell'altezza idrometrica di piena determinata (in particolare, venne dimostrato che, per granulometrie comprese nel campo delle sabbie, la profondità del fenomeno risulta comunque inferiore a 1/6 o al massimo 1/3 dell'altezza idrica). **Una generalizzazione prudentiale, proposta in Italia, sulla base di osservazioni dirette nei corsi d'acqua della pianura padana, estende il limite massimo dei fenomeni di escavazione per aratura, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente, ad un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.** Pertanto, una stima della profondità delle potenziali escavazioni del fondo (Z) è data, in corrispondenza di una assegnata sezione, in ragione del 50% del battente idrometrico di piena (ho):

$$Z = 0,5 \cdot h_o$$

Per quanto attiene alla formazione di buche ed approfondimenti locali, le condizioni necessarie per lo sviluppo del fenomeno sembrano individuarsi nella formazione di correnti particolarmente veloci sul fondo e nella presenza di irregolarità geometriche dell'alveo, che innescano il fenomeno stesso. In questi casi e quando le dimensioni granulometriche del materiale di fondo sono inferiori a 5 cm, i valori raggiungibili dalle suddette erosioni sono generalmente indipendenti dalla granulometria; per dimensioni dei grani maggiori di 5 cm, invece, all'aumentare della pezzatura diminuisce la profondità dell'erosione. In termini "qualitativi", per determinare un valore cautelativo dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota media iniziale del fondo, indipendentemente dal diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena, tra i modelli disponibili (Schoklitsch, Eggemberger, Adami), la formula di Schoklitsch è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici e determina un valore medio rappresentativo dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota media iniziale del fondo:

$$S = 0,378 \cdot H^{1/2} \cdot q^{0,35} + 2,15 \cdot a$$

Dove:

S è la profondità massima degli approfondimenti rispetto alla quota media del fondo, nella sezione d'alveo considerata,

$H = h_o + v^2/2 \cdot g$ rappresenta il carico totale relativo alla sezione immediatamente a monte della buca;

$q = Q_{Max} / L$ è la portata specifica per unità di larghezza L della corrente di piena in alveo;

a è dato dal dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle della buca ed è assunto in funzione delle caratteristiche geometriche del corso d'acqua, sulla base del dislivello locale del fondo alveo, in

corrispondenza della massima incisione, relativo ad una lunghezza pari all'altezza idrica massima ivi determinata.

6.2 Stima degli approfondimenti attesi

La valutazione dei fenomeni erosivi in alveo è stata eseguita considerando la portata al colmo correlata al tempo di ritorno di 200 anni ed utilizzando anche i dati caratteristici della corrente ricavati con la modellazione idraulica riportata al capitolo precedente.

Nella tabella seguente si riportano i valori calcolati per le arature di fondo e per gli approfondimenti localizzati così come dettagliato al paragrafo precedente.

Sezione	Q Total	Vel Chnl	Hydr depth C	Top Width	Portata specifica	Carico totale	Approfondimenti localizzati	Arature di fondo
	(m ³ /s)	(m/s)	(m)	(m)	(m ³ /sec m)	(m)	(m)	(m)
4	115.00	1.88	3.47	35.69	0.32	3.65	1.30	1.73
3	115.00	1.64	2.77	26.78	0.31	2.91	1.29	1.38
2	115.00	3.15	2.50	21.71	0.64	3.00	1.40	1.25
1	115.00	3.11	2.15	17.23	0.68	2.64	1.41	1.07

Tabella 6.1 – Valori calcolati per le arature di fondo.

Come si evince dalla tabella precedente, per il tratto in studio è ipotizzabile un approfondimento massimo dell'alveo di circa 2 metri; va però considerato che i valori indicati sono da considerare solo come una stima essendo molte le variabili che influenzano la reale dinamica dei corsi d'acqua e che le formule utilizzate si basano per la maggior parte su dati ottenuti da prove eseguite in laboratorio su modelli a scala ridotta e che non riescono a replicare precisamente le variabili condizioni degli alvei in natura.

Per quanto detto, un atteggiamento di cautela si rende necessario e quindi il franco tra la base del corso d'acqua e la parte superiore del cavidotto andrà aumentato ad almeno 3 mt.

7 CONCLUSIONI

Il progetto come detto prevede che il cavidotto superi il corso del T. Ausa, in tale zona la posa verrà realizzata mediante la tecnologia della Trivellazione Orizzontale Controllata senza quindi determinare alterazioni del alveo ne delle zone adiacenti. Infatti tutta la fascia perimetrata a rischio di esondazione dal P.A.I. (per evento con tempo di ritorno di 200 anni) verrà superata senza scavi ed opere a cielo aperto. Non sono quindi prevedibili incrementi del rischio idraulico derivanti dall'opera in oggetto.

Le verifiche idrauliche hanno permesso anche di stimare gli approfondimenti massimi del fondo alveo derivanti dalla dinamica fluviale per il tratto di corso d'acqua analizzato. Le quote di progetto permettono il mantenimento di un sufficiente margine di sicurezza tra fondo del corso d'acqua ed il cavidotto anche in condizioni idrodinamiche particolarmente severe (TR 200 anni).

Per quanto detto si ritiene che **la realizzazione dell'opera di attraversamento** non determini mutamenti significativi delle condizioni morfologiche, idrauliche ne idrogeologiche dell'ambito fluviale in cui si inserisce e che quindi **risulta del tutto compatibile con la dinamica del corso d'acqua**.