

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

NODO INTERMODALE DI BRINDISI

INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione di compatibilità idraulica – Fiume Grande e Canale di Levante

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I A 7 L 0 0 D 0 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Aut. autorizzato Data |
|------|---------------------|-----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|
| A | Emissione esecutiva | C. Cesari | Maggio 2020 | F. Cabas | Maggio 2020 | T. Paoletti | Maggio 2020 | A. V. Rozzi Maggio 2020 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittorzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° A20783

File: IA7L00D09RIID0002001A.doc

n. Elab.: X

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – Fiume Grande e Canale di Levante | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

INDICE

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | PREMESSA..... | 5 |
| 1.1 | RIFERIMENTI NORMATIVI | 6 |
| 2. | INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO | 7 |
| 2.1 | PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL'AREA DI INTERVENTO | 7 |
| 2.2 | OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO | 9 |
| 3. | STUDIO IDRAULICO | 13 |
| 3.1 | GENERALITÀ | 13 |
| 3.2 | DATI DI BASE | 13 |
| | 3.2.1. Opere in progetto | 15 |
| 3.3 | IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI NUMERICI IDRAULICI..... | 16 |
| 3.4 | FIUME GRANDE | 20 |
| 3.5 | CANALE LEVANTE | 31 |
| 3.6 | VERIFICA DEI FRANCHI DI PROGETTO..... | 42 |
| 4. | SISTEMAZIONI IDRAULICHE | 43 |
| 4.1 | FIUME GRANDE | 43 |
| 4.2 | CANALE LEVANTE | 47 |
| 5. | COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO | 48 |
| 6. | BIBLIOGRAFIA..... | 49 |

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Pericolosità idraulica nell'area di intervento (fonte: P.A.I. – Regione Puglia) | 8 |
| Figura 2 – Opere di sistemazione idraulica sul Canale Levante previste da Regione Puglia e Comune di Brindisi. | 9 |
| Figura 3 – Fiume Grande: ubicazione sezioni d'alveo rilevate. | 14 |
| Figura 4 – Canale Levante: ubicazione sezioni d'alveo rilevate (a sinistra) e disponibili (a destra)..... | 14 |
| Figura 5 – Fiume Grande: nuovo viadotto VI02, prospetto. | 15 |
| Figura 6 – Fiume Grande: nuovo viadotto VI02, pianta..... | 15 |
| Figura 7 – Software Hec Ras 5.0.7: sistema di riferimento..... | 18 |
| Figura 8 – Software Hec Ras 5.0.7: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Hec Ras sulle facce del bordo della cella. | 19 |
| Figura 9 – Fiume Grande: dominio di calcolo del modello numerico 2D. | 21 |
| Figura 10 – Modello 2D del “Fiume Grande”: esempio di implementazione delle opere di attraversamento in Hec Ras. | 22 |
| Figura 11 – Fiume Grande: idrogrammi di piena di progetto. | 23 |
| Figura 12 – Fiume Grande: confronto risultati modello 2D (ante operam, $Tr = 200$ anni) e pianificazione di bacino (aree di pericolosità media, $P2$). | 24 |
| Figura 13 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 30$ anni, ante operam. | 25 |
| Figura 14 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 500$ anni, ante operam. | 26 |
| Figura 15 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 30$ anni, post operam. | 28 |
| Figura 16 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 200$ anni, post operam. | 29 |
| Figura 17 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 500$ anni, post operam. | 30 |
| Figura 18 – Canale Levante: dominio di calcolo del modello numerico 2D. | 32 |
| Figura 19 – Canale Levante: idrogrammi di piena di progetto..... | 33 |
| Figura 20 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 30$ anni, ante operam. | 35 |
| Figura 21 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 200$ anni, ante operam. | 36 |
| Figura 22 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 500$ anni, ante operam. | 37 |
| Figura 23 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 30$ anni, post operam. | 39 |
| Figura 24 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 200$ anni, post operam. | 40 |
| Figura 25 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 500$ anni, post operam. | 41 |
| Figura 26 – Fiume Grande: opere di sistemazione idraulica, sezione tipo..... | 43 |
| Figura 27 – Canale di Levante: opere di sistemazione idraulica. | 47 |



PROGETTO DEFINITIVO

NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE

RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA –
FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|--------------|------|---------|
| IA7K | 00 | D 09 RI | ID 00 02 001 | A | 4 di 49 |

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Classi di pericolosità idraulica (P.A.I. – Regione Puglia). 7

Tabella 2 – Viadotto VI02: verifica del franco idraulico. 42

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|-------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 5 di 49 |

1. **PREMESSA**

Nelle immediate vicinanze della stazione di Brindisi è presente una complessa realtà industriale principalmente legata al Porto e al polo petrolchimico. Il collegamento tra l'area portuale e la stazione di Brindisi, ad oggi, è fortemente penalizzato da una moltitudine di intersezioni a raso all'interno di un'area fortemente urbanizzata.

Obiettivo della presente progettazione consiste nell'incentivare il traffico merci su ferro integrando il sistema portuale con il sistema ferroviario riducendo in questo modo le interferenze tra le attività di terminalizzazione ed il traffico urbano.

Tale intervento presenta elevati vantaggi in termini di sicurezza in quanto, oltre ad allontanare il traffico merci da un tessuto urbano costituito da numerosi passaggi a livello, concentra le operazioni di manovra dei treni merci all'interno della nuova "stazione elementare".

Scopo della presente progettazione è la realizzazione del completamento dell'infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con l'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale (lotto 2).

La tratta in progetto si sviluppa interamente all'interno del bacino del Fiume Grande, attraversando quest'ultimo alla pk 4+550.00, mediante un viadotto (VI02) a campata unica.

Nel tratto compreso tra la pk 1+900.00 (inizio intervento) e la pk 3+200.00 circa, la nuova linea si sviluppa inoltre in stretto affiancamento al Canale di Levante, tributario in destra idraulica del Fiume Grande (con confluenza in quest'ultimo a valle dell'inizio dell'intervento in progetto).

Si è proceduto quindi con lo sviluppo dello studio di compatibilità idraulica della nuova opera di attraversamento sul Fiume Grande (viadotto VI02), nonché della linea ferroviaria in progetto, e delle opere annesse, nel tratto di parallelismo con il Canale di Levante.

Nello specifico, tramite l'implementazione di modelli numerici (idraulici) bidimensionali, è stata valutata la propagazione delle onde di piena, per vari tempi di ritorno, del Fiume Grande e del Canale di Levante ai fini della determinazione dei livelli idrici e delle velocità, nonché delle corrispondenti aree potenzialmente inondabili, nelle configurazioni *ante operam* (stato attuale) e *post operam* (stato di progetto).

Le analisi sono state sviluppate in accordo alla pianificazione di bacino attualmente in vigore, nello specifico alle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia (PAI, 2005), nonché del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA, 2016) del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale, alle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC18) e al Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI, 2020).

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|-------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 6 di 49 |

Infine, in relazione alle velocità della corrente in alveo e nelle zone golenali, al fine di ripristinare lo stato dei luoghi “*ante operam*” e/o di migliorare le attuali condizioni di deflusso, sono state definite anche le opportune opere di protezione e sistemazione del fondo alveo e delle sponde in corrispondenza della nuova opera di attraversamento sul Fiume Grande e della linea in progetto (nello specifico, del rilevato RI01), nel tratto di stretto affiancamento con il Canale di Levante.

1.1 Riferimenti normativi

I principali riferimenti per il presente progetto sono rappresentati dalle seguenti normative e/o strumenti di pianificazione:

- Regio Decreto del 08/05/1904, n.368
- Regio Decreto del 25/07/1904 n.523
- Legge n. 183/1989, “*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*”
- D.M. del 14 febbraio 1997 “*Direttive tecniche per l’individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico*”
- D.L. n. 180/1998 (*Decreto Sarno*)
- Legge n. 365/2000 “*Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile*” (Legge Soverato)
- Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia (PAI, 2005) e relative Norme Tecniche di Attuazione
- D.Lgs. n. 152/2006 “*Norma in materia ambientale*”
- D.Lgs. n. 49/2010 “*Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni*”
- *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico dell’Appennino Meridionale* (PGRA, 2016) e relative Norme Tecniche di Attuazione (NTA)
- Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018)
- Circolare del 21 gennaio 2019, n.7 del C.S.LL.PP., esplicative delle NTC 2018
- Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie (RFIDTCSICSMAIFS001B)

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

2. INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

2.1 Pericolosità idraulica nell'area di intervento

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idraulica del bacino del Fiume Grande (e del sottobacino del Canale di Levante, suo affluente in destra idraulica) e la definizione delle aree di pericolosità è attualmente riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I., 2005) della Regione Puglia e nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A., 2016) redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

In particolare, sono individuate 3 classi di pericolosità idraulica (P3 - alta, P2 - media, P1 - bassa).

La classe di pericolosità alta (**P3**) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento $T_r \leq 30$ anni. La classe di pericolosità media (**P2**) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento compresa tra $T_r = 30 - 200$ anni. La classe di pericolosità bassa (**P1**) fa riferimento ad un evento di piena raro, caratterizzato da un tempo di ritorno compreso tra $T_r = 200 - 500$ anni.

Di seguito, una tabella riepilogativa delle classi di pericolosità adottate.

| T_r (anni) | Pericolosità |
|--------------|--------------|
| 30 | P3 |
| 200 | P2 |
| 500 | P1 |

Tabella 1 - Classi di pericolosità idraulica (P.A.I. – Regione Puglia).

Come è possibile riscontrare nella figura seguente, l'intervento in progetto non ricade in o interferisce con aree di pericolosità idraulica definite nell'ambito del P.A.I., se non in corrispondenza della nuova opera di attraversamento sul Fiume Grande.

Sul Canale Levante non sono definite aree di pericolosità idraulica, ma è nota la sua scarsa officiosità idraulica per via delle frequenti esondazioni (delle portate sia ordinarie che straordinarie) che comportano inevitabili danni alla adiacente centrale Enel.

In ragione di tale insufficienza idraulica, sono in corso di realizzazione da parte del Comune di Brindisi e dell'ente gestore (*Consorzio di Bonifica dell'Arneo*) le opere di sistemazione idraulica del Canale Levante, come da Progetto Esecutivo "Sviluppo di un sistema integrato di servizi di logistica e distribuzione in grado di favorire la connessione tra l'asse nord – sud interno alla regione e la comunicazione con le altre direttrici dei Corridoi internazionali n.8 e 10 - Sistemazione Canale Levante".

Con nota n. 0010075 del 05/08/2014 l'Autorità di Bacino della Regione Puglia ha richiesto esplicitamente che tali "opere di sistemazione del Canale di Levante siano eseguite prima di qualunque opera ferroviaria posta in parallelo al canale stesso nel tratto in cui sono previste esondazioni".

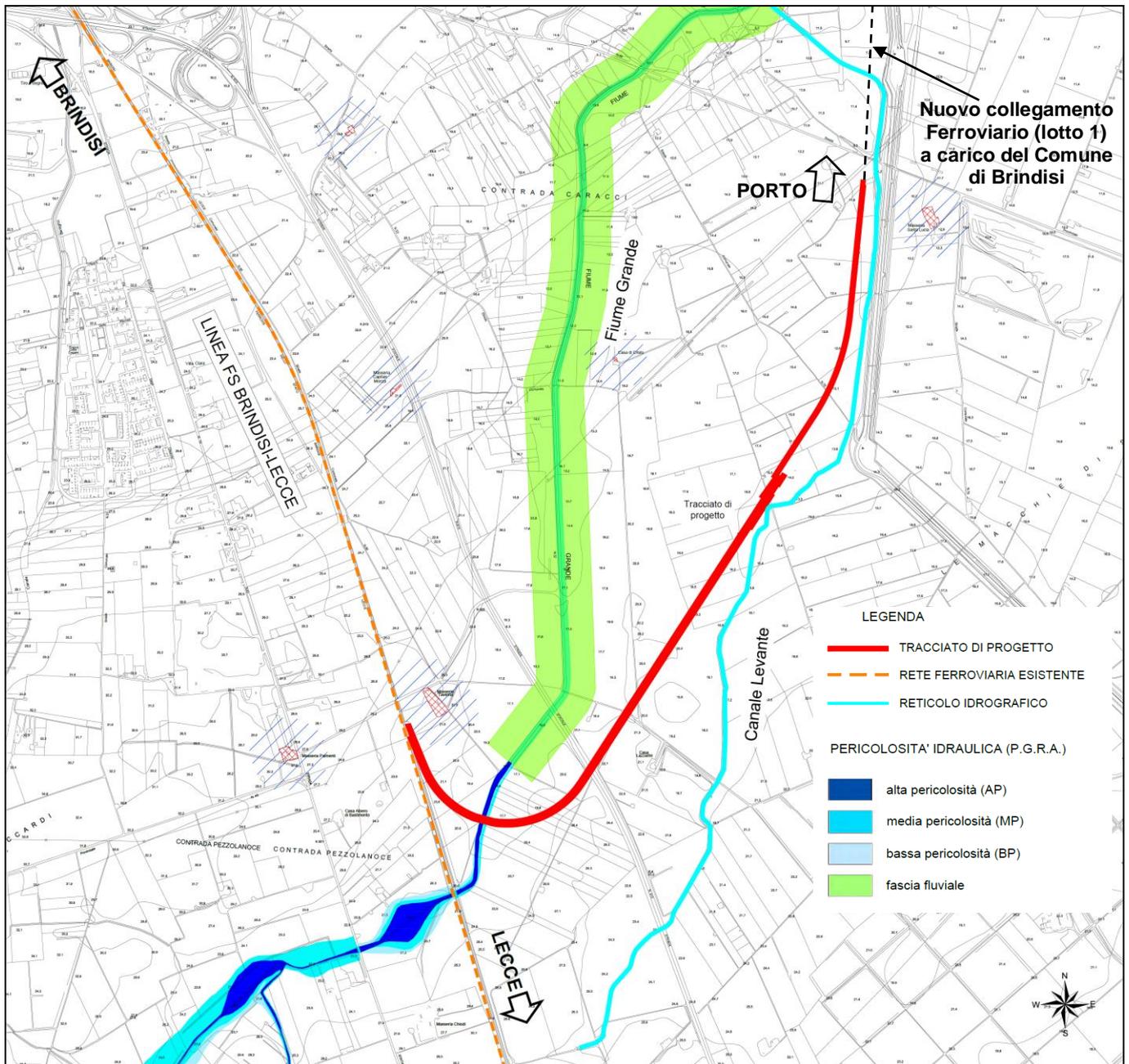


Figura 1 – Pericolosità idraulica nell'area di intervento (fonte: P.A.I. – Regione Puglia).

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|-------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – Fiume Grande e Canale di Levante | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 9 di 49 |

Le opere di sistemazione previste sul Canale Levante consistono in (Figura 2):

- innalzamento di argini di circa 1 m sul piano campagna e allargamento del fondo fino a 6 m, dalla sezione 28 alla sezione 7;
- sistemazione con gabbionate dalla sezione 7 alla sezione 5 garantendo un aumento sostanziale della sezione utile e il transito delle portate in arrivo (per $T_r = 200$ anni), con un opportuno franco di sicurezza;
- demolizione e ricostruzione delle opere d'arte tra la sezione 28 alla sezione 5 con adeguamento delle luci e delle altezze in modo da essere compatibili con le già descritte sistemazioni previste nelle sezioni del Canale di Levante e per renderle sufficienti al transito delle piene con opportuni franchi di sicurezza.

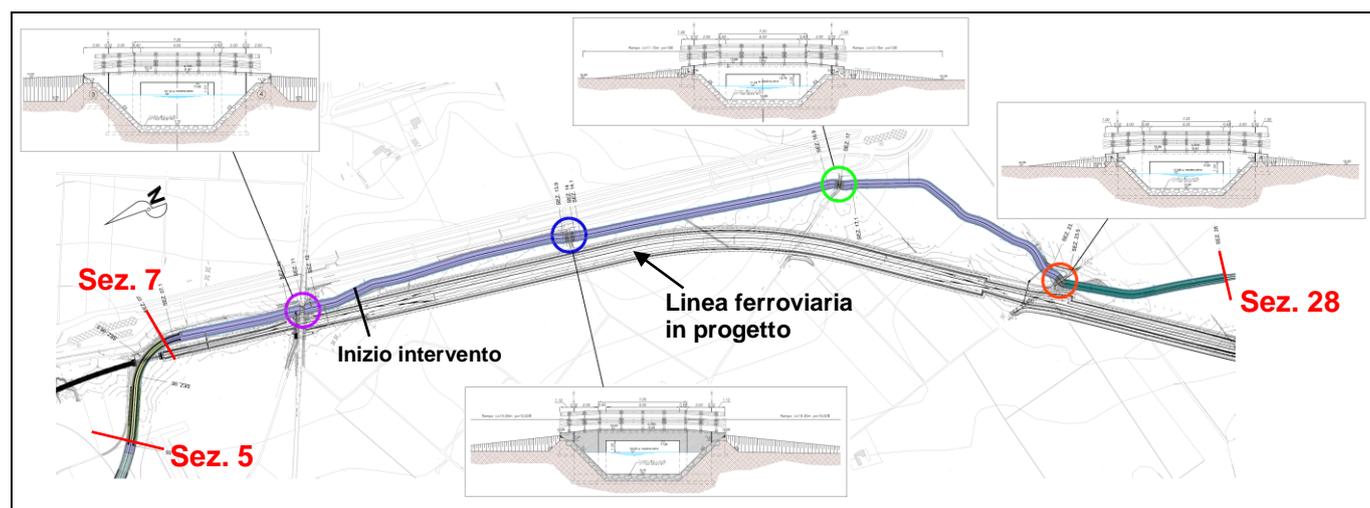


Figura 2 – Opere di sistemazione idraulica sul Canale Levante previste da Regione Puglia e Comune di Brindisi.

In ragione della prescrizione dell'AdB della Regione Puglia, la configurazione finale (di progetto) di tali opere di sistemazione idraulica previste (ed in corso di realizzazione) sul Canale Levante, è stata considerata come scenario di riferimento *ante operam (attuale)* nelle analisi idrauliche sviluppate e descritte nella presente relazione, finalizzate alla verifica di compatibilità idraulica della nuova linea ferroviaria in progetto.

2.2 Obiettivi dello studio idraulico

L'intervento in progetto si compone di due lotti:

- **Lotto 1:** opere a carico del Comune di Brindisi (a cura del Comune e in corso di realizzazione):

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

- Binario di corretto tracciato (Binario III) e precedenza in sinistra (Binario IV) della suddetta nuova Stazione Elementare;
 - Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la Dorsale del Consorzio ASI di Brindisi (Porto di Brindisi) e la nuova Stazione Elementare per l'arrivo/partenza di treni merci a modulo 750m (circa 1,78 Km)
- **Lotto 2:** opere a carico di RFI, oggetto della presente progettazione:
- Binari I e II della nuova stazione per l'arrivo/partenza treni di merci a modulo 750m
 - Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la suddetta nuova Stazione Elementare e la linea Bari – Lecce (OO.CC. + armamento)
 - Posto di comunicazione e bivio di collegamento della nuova tratta con la Linea Adriatica (al km 764+230 circa della linea Bari – Lecce)
 - Impianti di trazione elettrica e apparati tecnologici della nuova stazione merci, della tratta di collegamento tra questa e la Linea Adriatica e del bivio sulla Linea Adriatica per l'allaccio della nuova linea.

Dal punto di vista idrologico-idraulico, la linea in progetto si sviluppa all'interno del bacino del Fiume Grande, attraversando quest'ultimo alla pk 4+550.00, ed in stretto affiancamento al Canale di Levante tra le pk 1+900.00 e 3+200.00 circa.

Obiettivo del presente studio idraulico è quindi quello di valutare la compatibilità idraulica della nuova opera di attraversamento (VI02) sul Fiume Grande nonché della linea ferroviaria, comprese le opere accessorie, nel tratto di parallelismo o stretto affiancamento con il Canale Levante.

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento devono osservare le prescrizioni del Manuale di Progettazione RFI (MdP, 2020), nonché le indicazioni riportate nelle NTC2018 (normativa di riferimento del presente progetto) e nella relativa circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019.

In sintesi, con riferimento al **MdP RFI**, le opere idrauliche di attraversamento devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati da un tempo di ritorno di **200 anni**; relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, si specifica quanto segue:

- il franco idraulico tra la quota di intradosso del manufatto ed il livello idrico corrispondente alla piena di progetto ($Tr = 200 \text{ anni}$) non deve essere inferiore a **1.5 m** nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- il franco minimo tra la quota di intradosso del manufatto e la quota di carico idraulico totale ($Tr = 200 \text{ anni}$) deve essere almeno pari a **50 cm**.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 11 di 49 |

Inoltre, nel caso di rilevati vulnerabili per esondazione di corsi d'acqua, “*dovrà essere garantito un franco non inferiore a 1 m tra la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento) e la massima altezza raggiungibile dalla quota di massima piena di progetto; le scarpate dovranno essere protette da apposite opere di difesa progettate sulla base dei parametri indicati nei piani di bacino o negli studi idraulici di progetto.*”

Con riferimento alle **Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018)**, l'opera deve rispondere ai seguenti requisiti:

“..... Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 anni ($T_r=200$).....Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione. Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.”

Nella relativa **circolare applicativa n.7 del 21 gennaio 2019**, si asserisce inoltre:

“Quando, per caratteristiche del territorio e del corso d'acqua, si possa verificare nella sezione oggetto dell'attraversamento il transito di tronchi di rilevanti dimensioni, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50 m, e da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia indicativamente non inferiore a 6÷7 m. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave sarà comunque non inferiore alla quota della sommità arginale per l'intera luce. Per tutti gli attraversamenti è opportuno che sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature.”

Con riferimento alle **NTA del P.A.I. dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia (2005)**:

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

ARTICOLO 5 - “Interventi per la mitigazione della pericolosità idraulica”

Nelle aree di cui agli artt. 6, 7, 8, 9 e 10 sono consentiti:

a) gli interventi idraulici e le opere idrauliche per la messa in sicurezza delle aree e per la riduzione o l'eliminazione della pericolosità;

ARTICOLO 7 – “Interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.)”

Nelle aree ad alta probabilità di inondazione, oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:

.....

d) 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;

ARTICOLO 10 – “Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale”

1. Ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, il PAI individua le fasce di pertinenza fluviale.

2. All'interno delle fasce di pertinenza fluviale 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.

In definitiva, in accordo al MdP e alle NTC2018, nonché alle indicazioni riportate nelle NTA del P.A.I. dell'AdB Puglia (circa la definizione delle classi di pericolosità idraulica, sopra descritta), è stato sviluppato uno studio di compatibilità idraulica del nuovo viadotto (VI02) sul Fiume Grande, nonché della linea ferroviaria in progetto (in affiancamento al Canale Levante), tramite simulazioni numeriche idrauliche dei corsi d'acqua in esame, per i tempi di ritorno di **30, 200 e 500 anni**.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – Fiume Grande e Canale di Levante | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 13 di 49 |

3. STUDIO IDRAULICO

3.1 Generalità

Con riferimento ai sottobacini individuati nello studio idrologico annesso:

- 1) *Fiume Grande*
- 2) *Canale Levante*

sono stati sviluppati i modelli (numerici) idraulici bidimensionali (2D), in regime di moto vario, del Fiume Grande (2D) e del Canale Levante (1D+2D, accoppiati), finalizzati alla determinazione dei livelli idrici e delle velocità, nonché delle aree potenzialmente inondabili (per le portate di piena di riferimento), in corrispondenza del nuovo viadotto VI02 (Fiume Grande) e lungo il tratto di linea in stretto affiancamento al Canale Levante.

3.2 Dati di Base

I dati cartografici e topografici a disposizione per l'implementazione dei modelli numerici sopra introdotti sono:

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione a terra 1x1 m, fornito dal Ministero dell'Ambiente;
- rilievo di sezioni (batimetriche) trasversali del Fiume Grande e del Canale Levante, e delle relative opere di attraversamento esistenti;
- sezioni trasversali del Canale Levante riportate nel Progetto Esecutivo “*Sviluppo di un sistema integrato di servizi di logistica e distribuzione in grado di favorire la connessione tra l'asse nord – sud interno alla regione e la comunicazione con le altre direttrici dei Corridoi internazionali n.8 e 10 - Sistemazione Canale Levante*”.

Il confronto tra le diverse informazioni, ed in particolare tra le sezioni trasversali dell'alveo rilevate durante apposite campagne topografiche ed i rilievi LiDAR, ha permesso, nell'implementazione dei modelli numerici sviluppati, di utilizzare i dati più aggiornati, che riproducessero maggiormente le attuali condizioni in alveo e nelle aree golenali, potenzialmente inondabili.

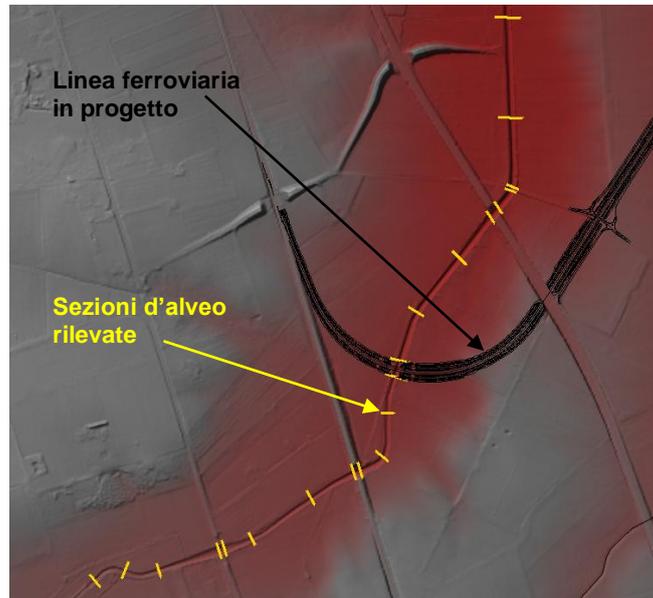


Figura 3 – Fiume Grande: ubicazione sezioni d'alveo rilevate.

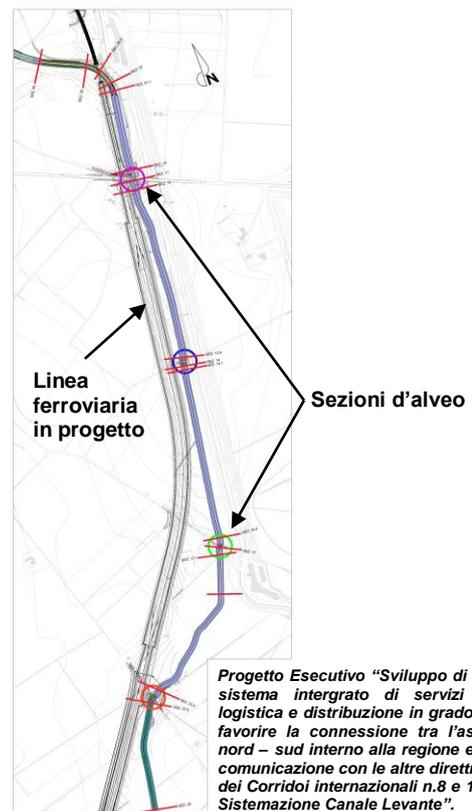
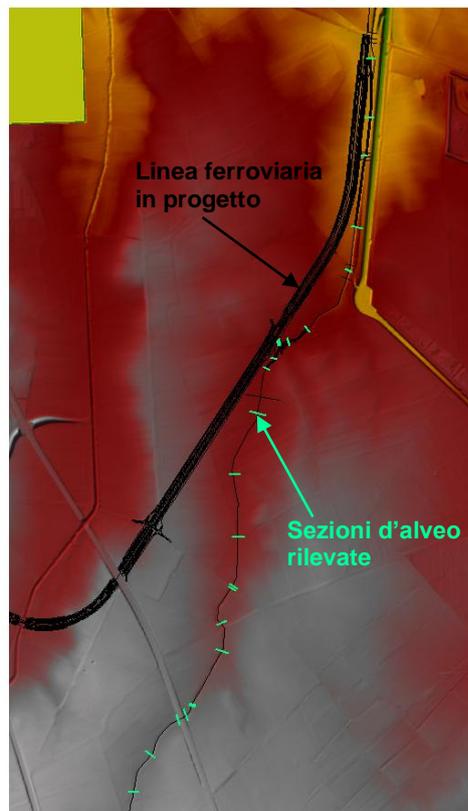


Figura 4 – Canale Levante: ubicazione sezioni d'alveo rilevate (a sinistra) e disponibili (a destra).

3.2.1. Opere in progetto

Come anzidetto, la linea ferroviaria in progetto attraversa il Fiume Grande alla pk 4+550.00, mediante un viadotto ad unica campata, con luce pari a 52 metri circa.

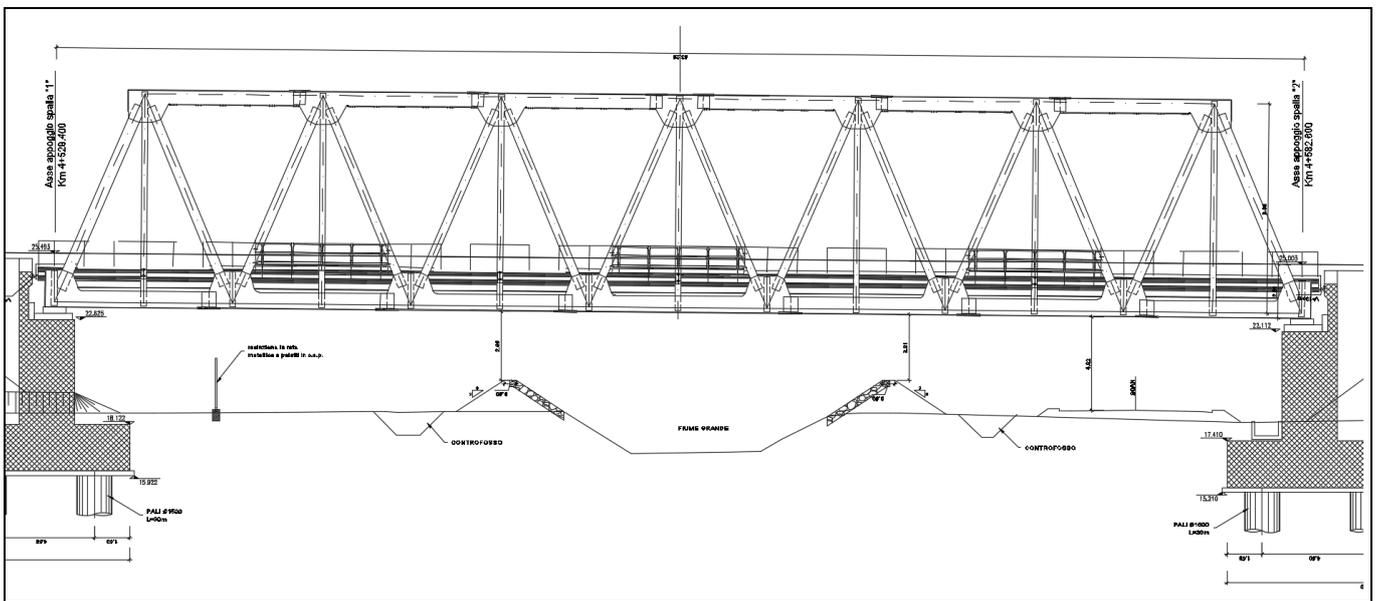


Figura 5 – Fiume Grande: nuovo viadotto VI02, prospetto.

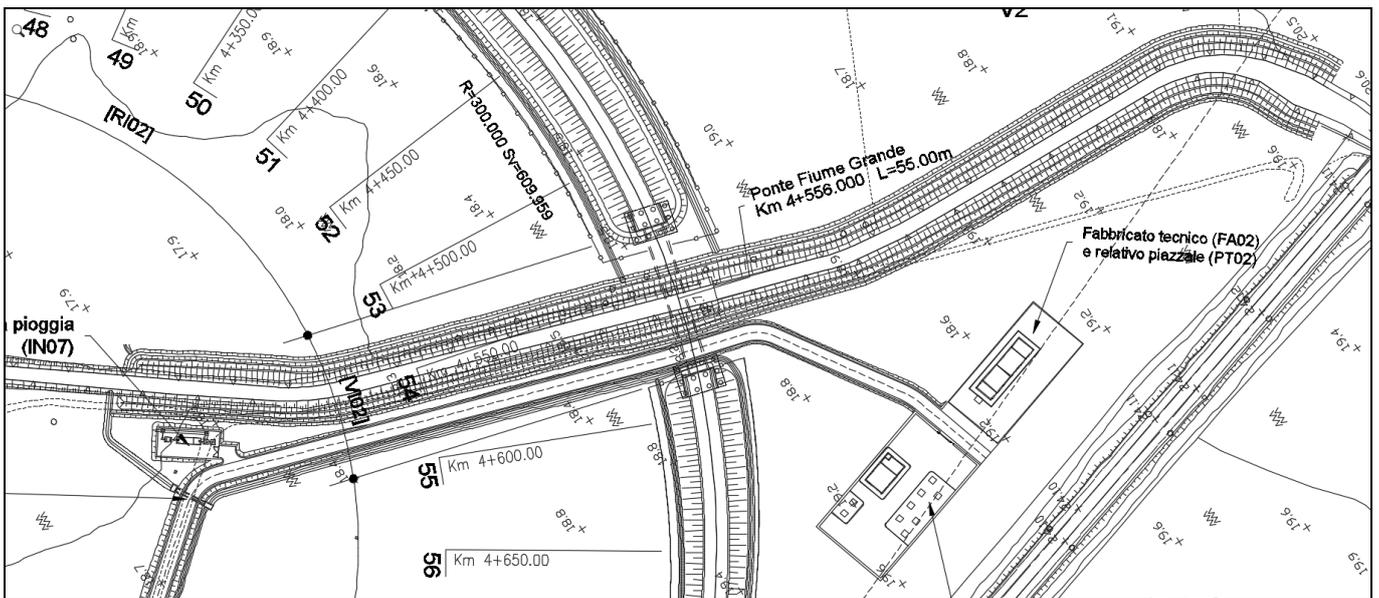


Figura 6 – Fiume Grande: nuovo viadotto VI02, pianta.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 16 di 49 |

Come meglio descritto nei paragrafi successivi, sul Fiume Grande sono previste anche opere di sistemazione idraulica della stessa tipologia di quelle in corso di realizzazione sul Canale Levante (i.e. arginature su piano campagna e rivestimento delle sponde e del fondo alveo), atte a ridurre/eliminare le esondazioni nella zona di intervento, senza modificare/aumentare la pericolosità nelle aree limitrofe, come dimostrato dai risultati delle simulazioni numeriche idrauliche sviluppate.

La configurazione di progetto consente di rispettare le prescrizioni riportate nelle NTC2018 (e nella relativa circolare esplicitare), anche con riferimento al transito dei mezzi di manutenzione del corso d'acqua da parte dell'ente gestore (i.e. *Consorzio di Bonifica dell'Arneo*), nonché nel R.D. n.368/1904 e R.D. n.523/1904, relativamente alla distanza di 10 metri dalle sponde e/o dal piede degli argini.

3.3 Implementazione dei modelli numerici idraulici

3.3.1. Modello bidimensionale

Il codice di calcolo numerico utilizzato per l'implementazione dei modelli 2D del Fiume Grande e del Canale Levante è il software Hec-Ras 5.0.7 sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione del software Hec Ras sono:

- Modellazione combinata 1D e 2D che prevede la possibilità di eseguire una simulazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario che permettendo di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando come sopra descritto la modellazione 1D per l'alveo, e la modellazione 2D aree inondabili esterne.
- Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
- Algoritmo di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – Fiume Grande e Canale di Levante | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 17 di 49 |

L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.

- Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo permettendo una perfetta coerenza a ogni step tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzone è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia.
- Maglie computazionali strutturate e non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
- Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: All'interno di HEC-RAS le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborata per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale dove vengono elaborate in tabelle che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle) basandosi su questi dati. Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molto grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.
- Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni: La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS-Mapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte.
- Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori saranno in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 18 di 49 |

- Motori di calcolo a 64 e 32 bit: HEC-RAS è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit

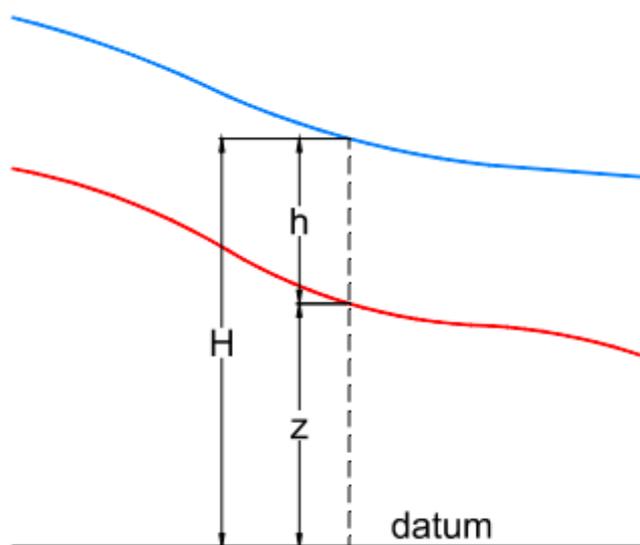


Figura 7 – Software Hec Ras 5.0.7: sistema di riferimento.

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti. Si riporta di seguito il sistema di riferimento di HEC-RAS 2D, ove la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$, l'altezza idrica con $h(x,y,t)$ e l'altezza del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$ (Figura 7).

Conservazione della massa: assumendo il fluido incomprimibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial (h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x e y , e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni od uscite di acqua.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

Conservazione della quantità di moto: quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes. In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

in cui oltre ai simboli già illustrati, g è l'accelerazione di gravità, ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, c_f è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis. Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, $|V|$ è il modulo del vettore velocità, C è il coefficiente di Chézy e R è il raggio idraulico. Utilizzando la formula di Manning $C = R^{1/6}/n$, in cui n è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g |V|}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli.

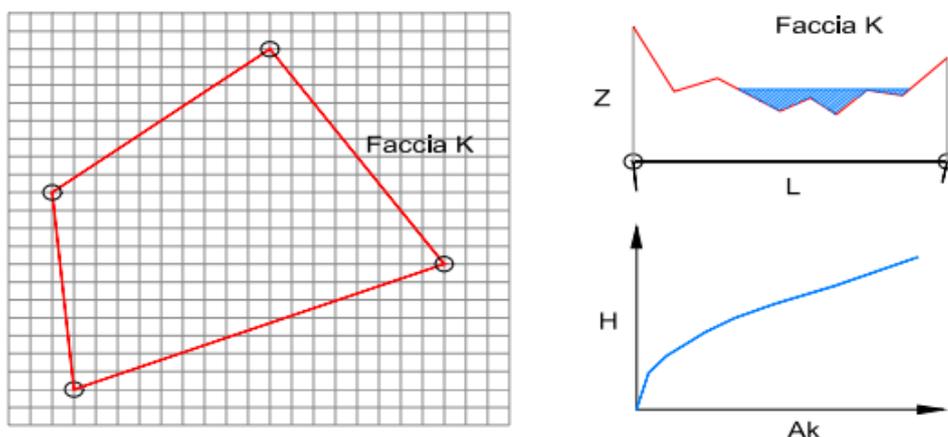


Figura 8 – Software Hec Ras 5.0.7: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Hec Ras sulle facce del bordo della cella.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 20 di 49 |

Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo infatti in fase di pre-processing viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa.

Vengono così determinate: curva di vaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

3.4 Fiume Grande

3.4.1. Geometria del modello 2D

Le caratteristiche geometriche della zona di interesse (in seguito definita dominio di calcolo) sono riportate all'interno del modello idraulico numerico tramite una discretizzazione del territorio attraverso elementi generalmente poligonali, nota come mesh.

La mesh di calcolo possiede una risoluzione variabile spazialmente tale per cui l'andamento plano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato a rappresentare il corso d'acqua, alvei e golene, sia i canali secondari e le aree ripariali potenzialmente allagabili.

Nello specifico, il modello idraulico del Fiume Grande ha una estensione massima di circa 4 km.

In particolare, il modello si estende per circa 1 km a monte dell'attraversamento in progetto e per i rimanenti 3 km a valle di quest'ultimo, fino alla confluenza del Canale di Levante.

La geometria del modello è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l'area di studio, precedentemente descritti.

La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in Hec Ras, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 45 m^2 e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 1.5 m^2 (per una dimensione media di circa 25 m^2). Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione degli elementi è pari a $2 \times 2 \text{ m}^2$.

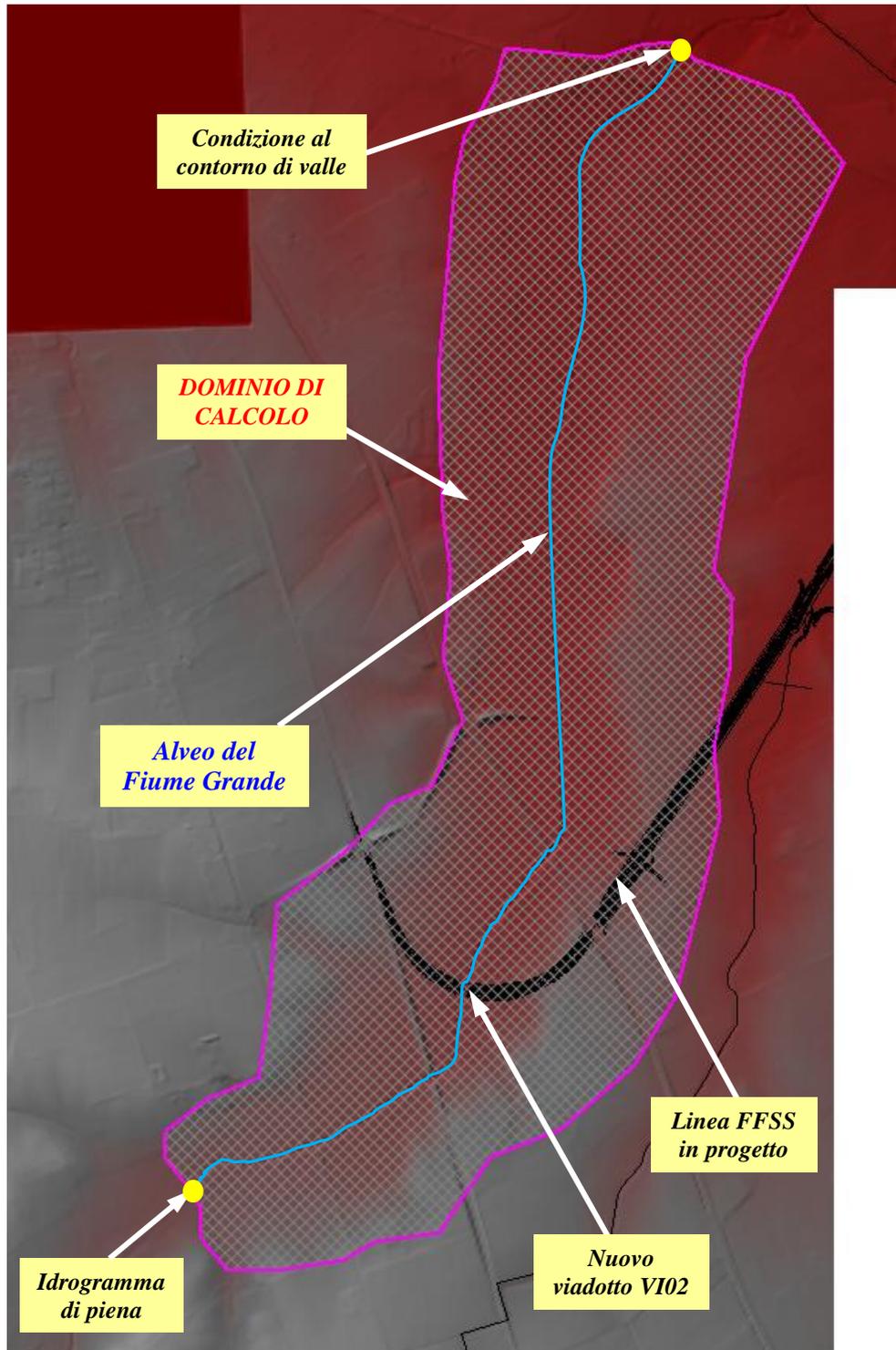


Figura 9 – Fiume Grande: dominio di calcolo del modello numerico 2D.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – Fiume Grande e Canale di Levante | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 22 di 49 |

Le opere di attraversamento sul Fiume Grande sono state invece implementate tramite appositi elementi disponibili nel software di calcolo (HecRas). Nello specifico, la riproduzione di un ponte è ottenuta mediante l'utilizzo di una "2D flow areas connection" (tramite cui viene estratta dal DTM di base la sezione d'alveo) lungo la quale viene definito il "weir/embankment" e le aperture/luci dell'attraversamento (*culverts*).

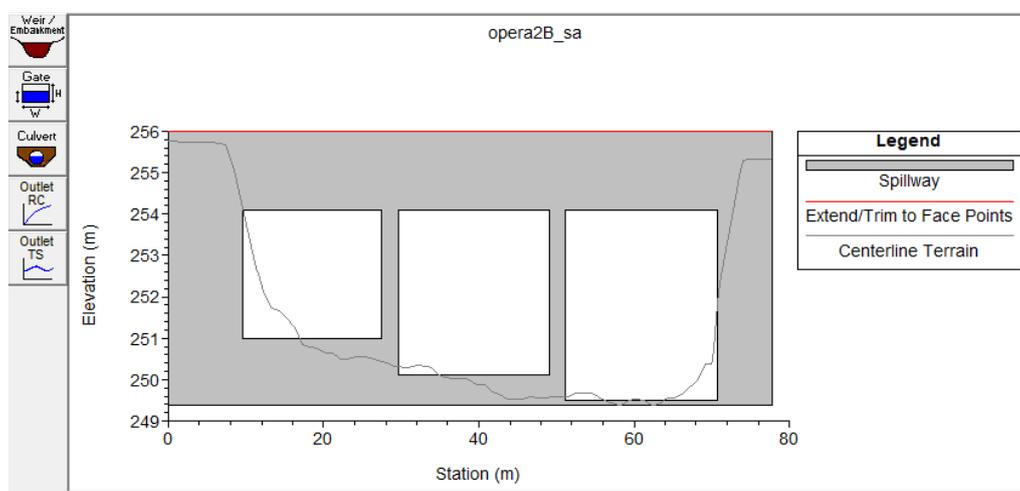


Figura 10 – Modello 2D del "Fiume Grande": esempio di implementazione delle opere di attraversamento in Hec Ras.

3.4.2. Scabrezze

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning, n), in analogia alle simulazioni condotte nell'ambito degli studi sviluppati dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia, sono stati adottati i seguenti valori:

- per l'alveo inciso, $n = 0.035 \text{ s/m}^{1/3}$;
- per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili, $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$.

3.4.3. Condizioni al contorno

Nello specifico, gli idrogrammi di riferimento imposti come condizione al contorno di monte sono quelli ricavati nello studio idrologico annesso, al quale si rimanda per maggiori dettagli.

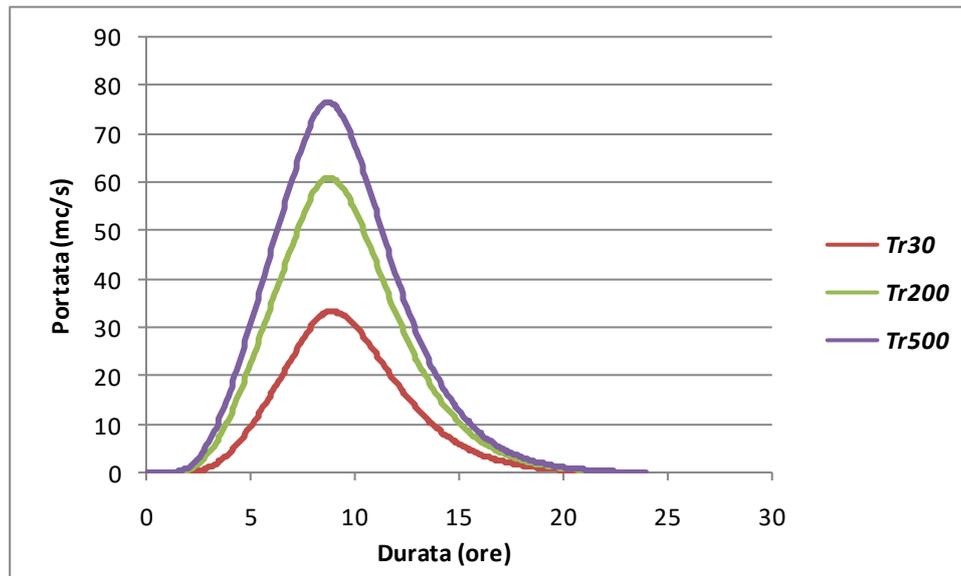


Figura 11 – Fiume Grande: idrogrammi di piena di progetto.

Come condizione di valle, in ragione di una sufficiente estensione del modello (a valle dell'opera di attraversamento in progetto), cioè tale da non influenzare al variare di essa la propagazione delle piene del Fiume Grande, è stata imposta la condizione di *moto uniforme* ($slope = 0.001$).

3.4.4. Scenari simulati

Come precedentemente introdotto, si è proceduto alla simulazione delle onde di piena del Fiume Grande riferite ai tempi di ritorno (Tr) di 30, 200 e 500 anni, nelle seguenti configurazioni geometriche:

- ante operam: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto, unitamente alle opere di attraversamento esistenti;
- post operam: si intende la geometria ottenuta dall'inserimento delle opere in progetto che possono modificare l'attuale espansione delle piene, nonché di interventi di risoluzione di eventuali criticità di natura idraulica o di miglioramento delle condizioni di deflusso (i.e. opere di sistemazione/riprofilatura, argini,...).

3.4.5. Risultati delle simulazioni numeriche 2D

SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON PERIMETRAZIONE PAI

Nella figura seguente è riportato il confronto tra le aree di esondazione, corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 anni ottenute nel presente studio, e le aree di pericolosità idraulica P2 (media) derivanti dallo studio condotto nell'ambito del P.A.I. della Regione Puglia.

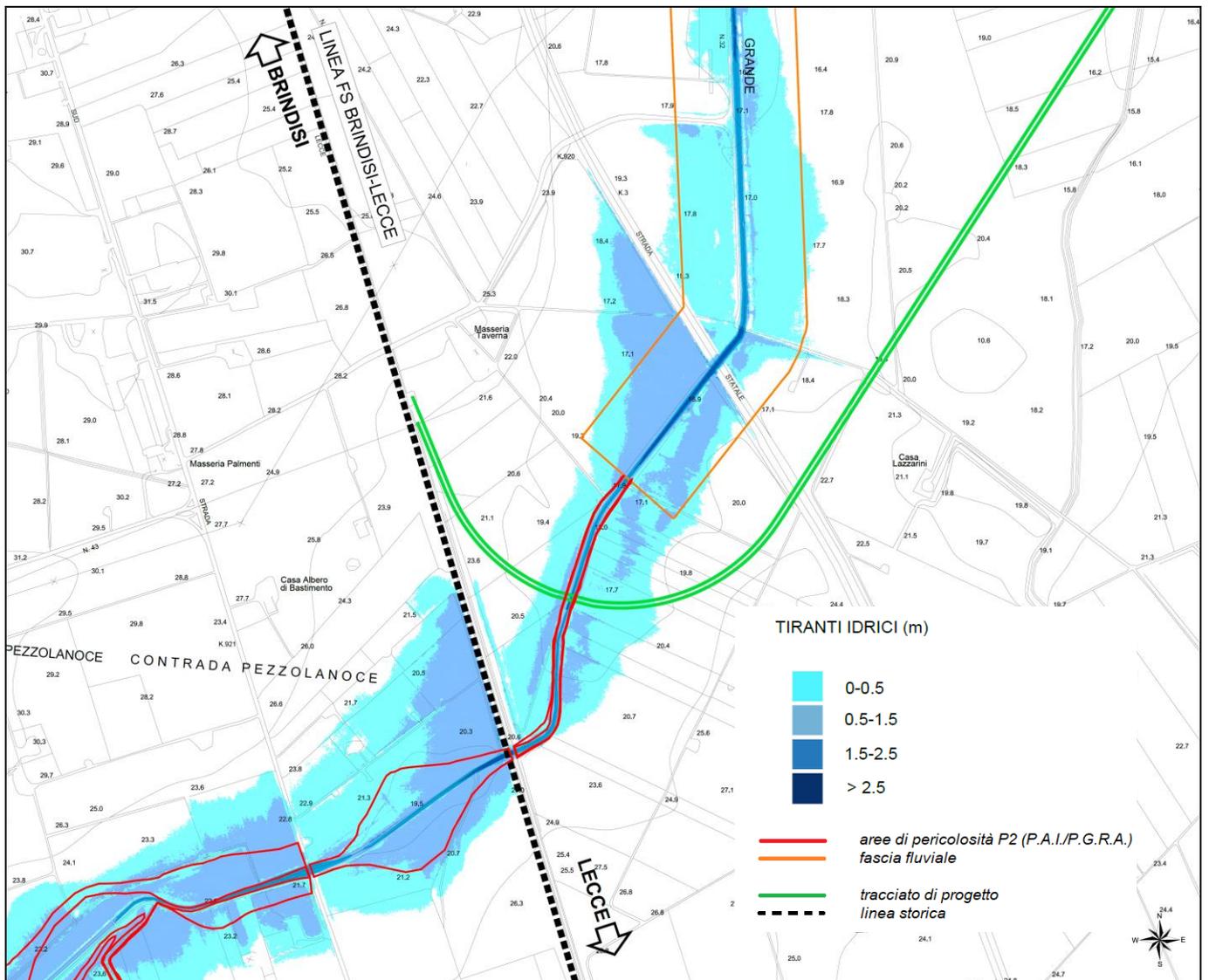


Figura 12 – Fiume Grande: confronto risultati modello 2D (ante operam, Tr = 200 anni) e pianificazione di bacino (aree di pericolosità media, P2).

Si osservano apprezzabili differenze, imputabili principalmente alla diversa base cartografica (più dettagliata nel presente studio) utilizzata per l'implementazione del modello numerico idraulico 2D, nonché alla tipologia di modello adottato per la simulazione della propagazione delle piene del Fiume Grande, presumibilmente di tipo monodimensionale negli studi del P.A.I..

Si riportano inoltre i risultati (in termini di aree potenzialmente inondabili) per i rimanenti tempi di ritorno indagati ($T_r = 30$ e 500 anni).

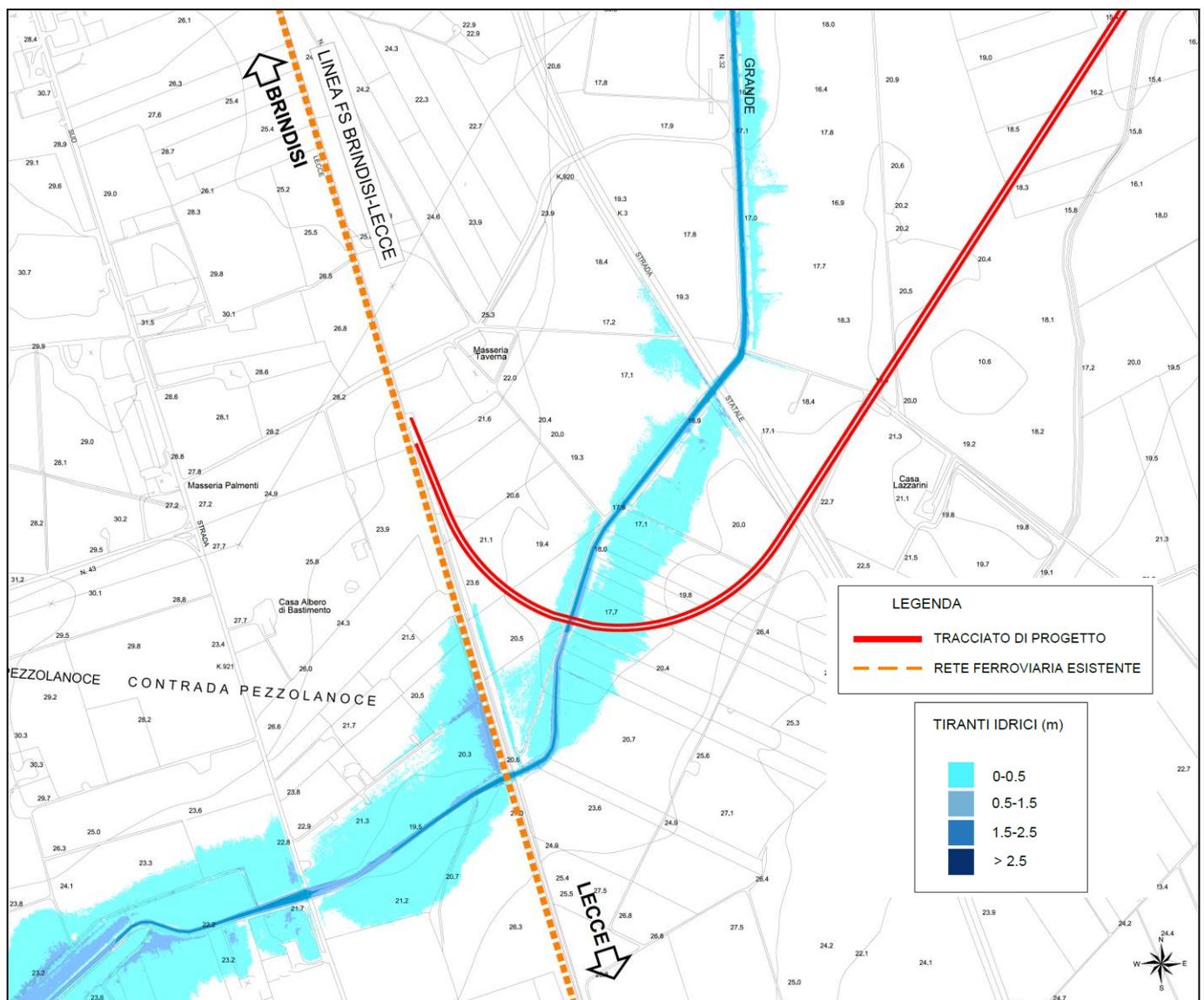


Figura 13 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per $T_r = 30$ anni, ante operam.

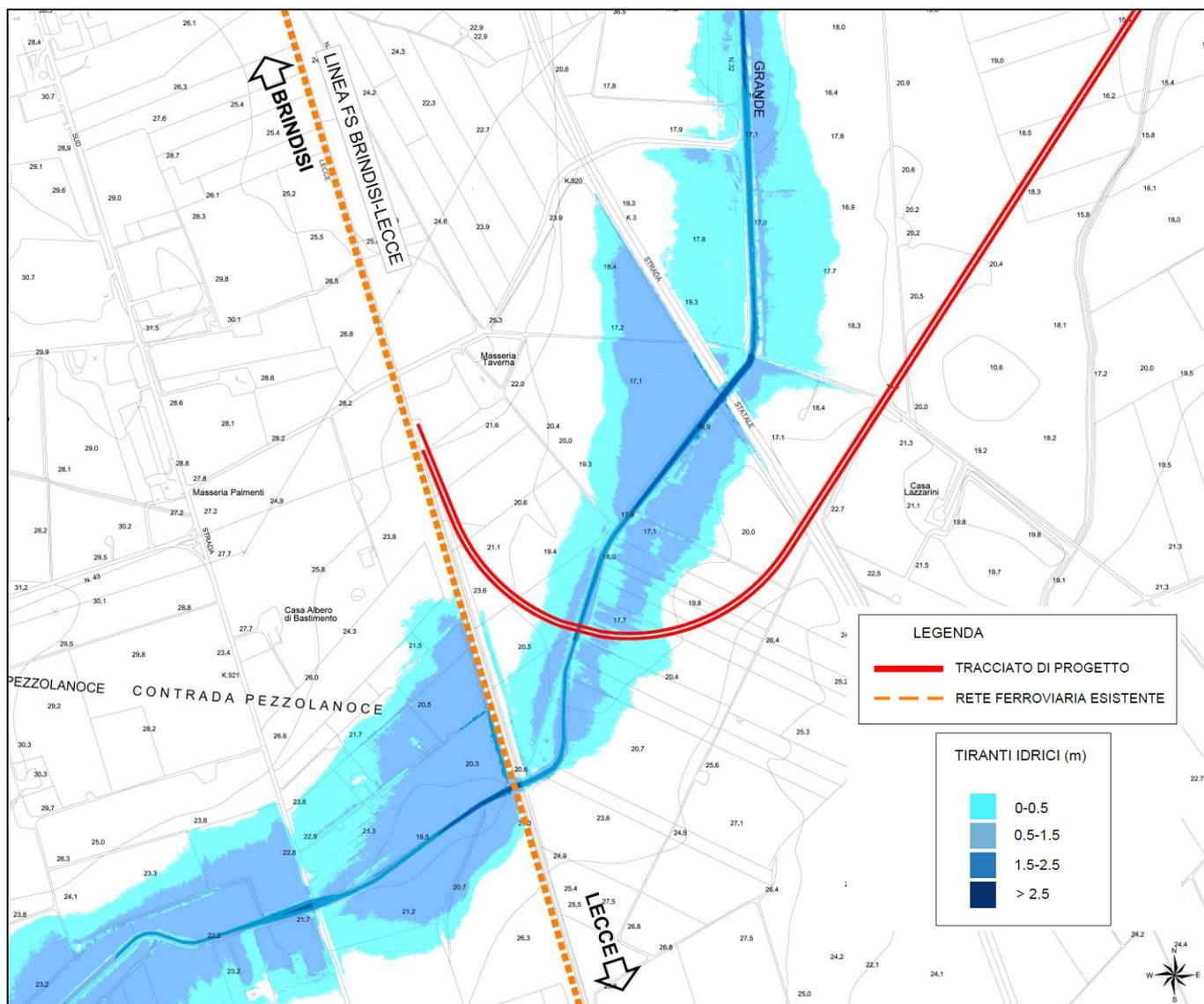


Figura 14 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per $T_r = 500$ anni, ante operam.

Nello specifico, i risultati delle modellazioni numeriche dimostrano l'insufficienza idraulica del Fiume Grande (già per tempi di ritorno relativamente modesti, $T_r = 30$ anni), nel tratto di intervento, con conseguente esondazione delle portate di riferimento ed inondazione delle aree destinate alla realizzazione dei rilevati di approccio del nuovo viadotto e della nuova SSE (in sinistra idraulica).

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 27 di 49 |

Ai fini della compatibilità idraulica del nuovo intervento, nonché della riduzione della pericolosità idraulica nell'area in esame, si prevedono quindi opportune opere di sistemazione del Fiume Grande della stessa tipologia di quelle in corso di realizzazione sul Canale Levante (i.e. arginature e rivestimento del fondo e delle sponde), per un tratto fluviale di circa 500 metri (a partire dalla sezione immediatamente a valle del ponte esistente sulla linea FFSS storica Brindisi-Lecce). Per maggiori dettagli, si rimanda al paragrafo relativo alle sistemazioni idrauliche.

SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM

Gli interventi previsti (nello specifico, le opere di arginatura sul Fiume Grande) per la risoluzione delle criticità idrauliche evidenziate dalle simulazioni numeriche nello stato “*ante operam*” sono stati implementati mediante opportune modifiche (con geometrie 1D “*ausiliare*” costruite appositamente nel software Hec Ras) del modello digitale del terreno (DTM) di base.

Nelle figure seguenti si riportano le aree di allagamento nelle condizioni “*post operam*” per i vari tempi di ritorno considerati.

E' evidente il miglioramento dal punto di vista della pericolosità idraulica nell'area di intervento.

Le opere previste in progetto consentono di eliminare/ridurre le esondazioni delle piene del Fiume Grande a valle della linea FFSS storica (Brindisi - Lecce), in particolare in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto (VI02) e della “*nuova*” SSE.

Nello specifico, le opere di arginatura in progetto sul Fiume Grande, sebbene comportino un incremento dei livelli idrici nell'alveo inciso (“*contenuti*” dalle arginature), non inducono variazioni (o aumenti) delle aree di esondazione (e quindi di pericolosità idraulica) nelle aree limitrofe allo stato attuale.

Il livello idrico (corrispondente al tempo di ritorno di progetto, $Tr = 200$ anni, come da NTC2018 e MdP RFI 2020), nella sezione immediatamente a monte del nuovo viadotto, si attesta a +19.32 m slm (a fronte di una quota minima di intradosso di +22.95 m slm).

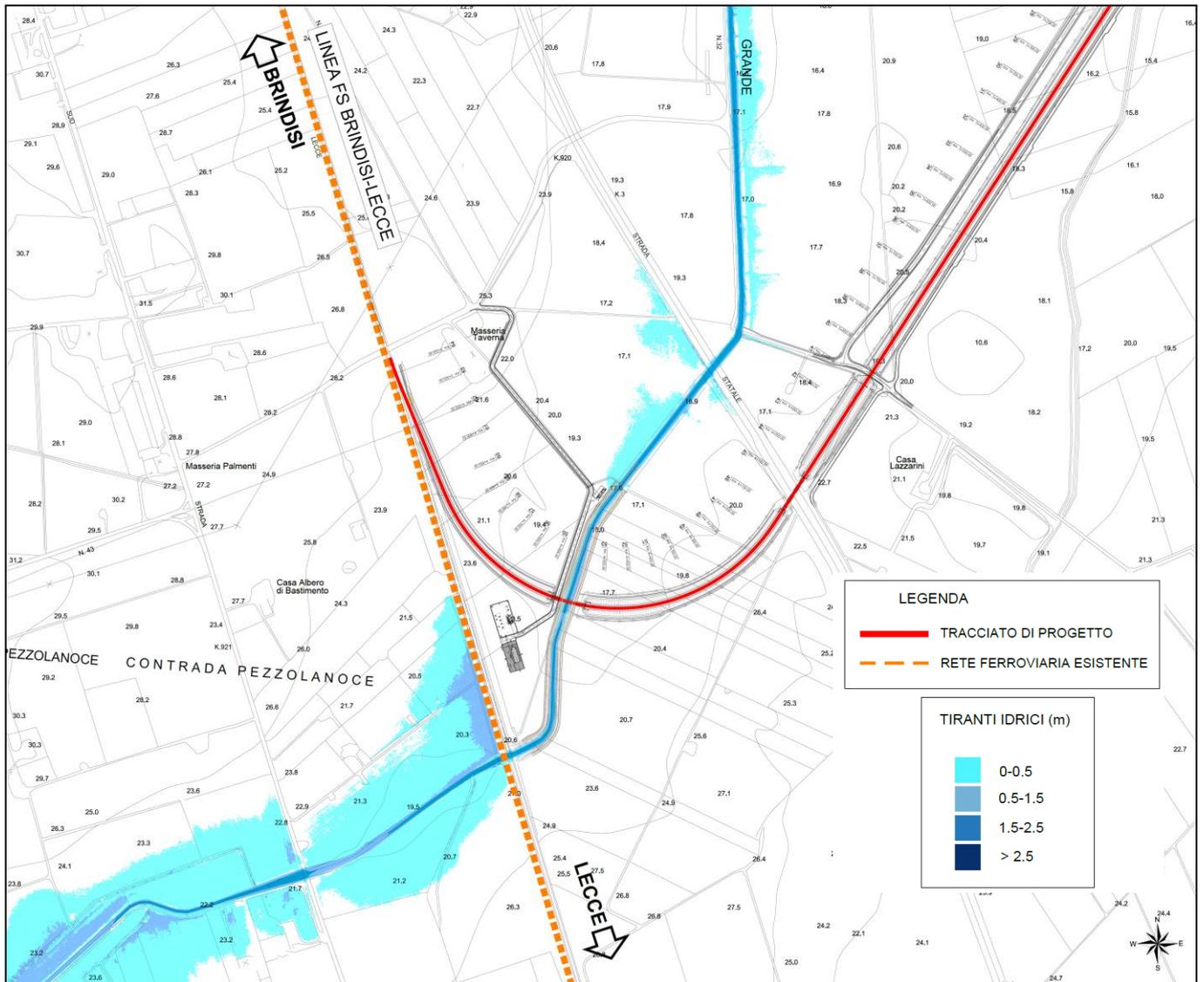


Figura 15 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per Tr = 30 anni, post operam.

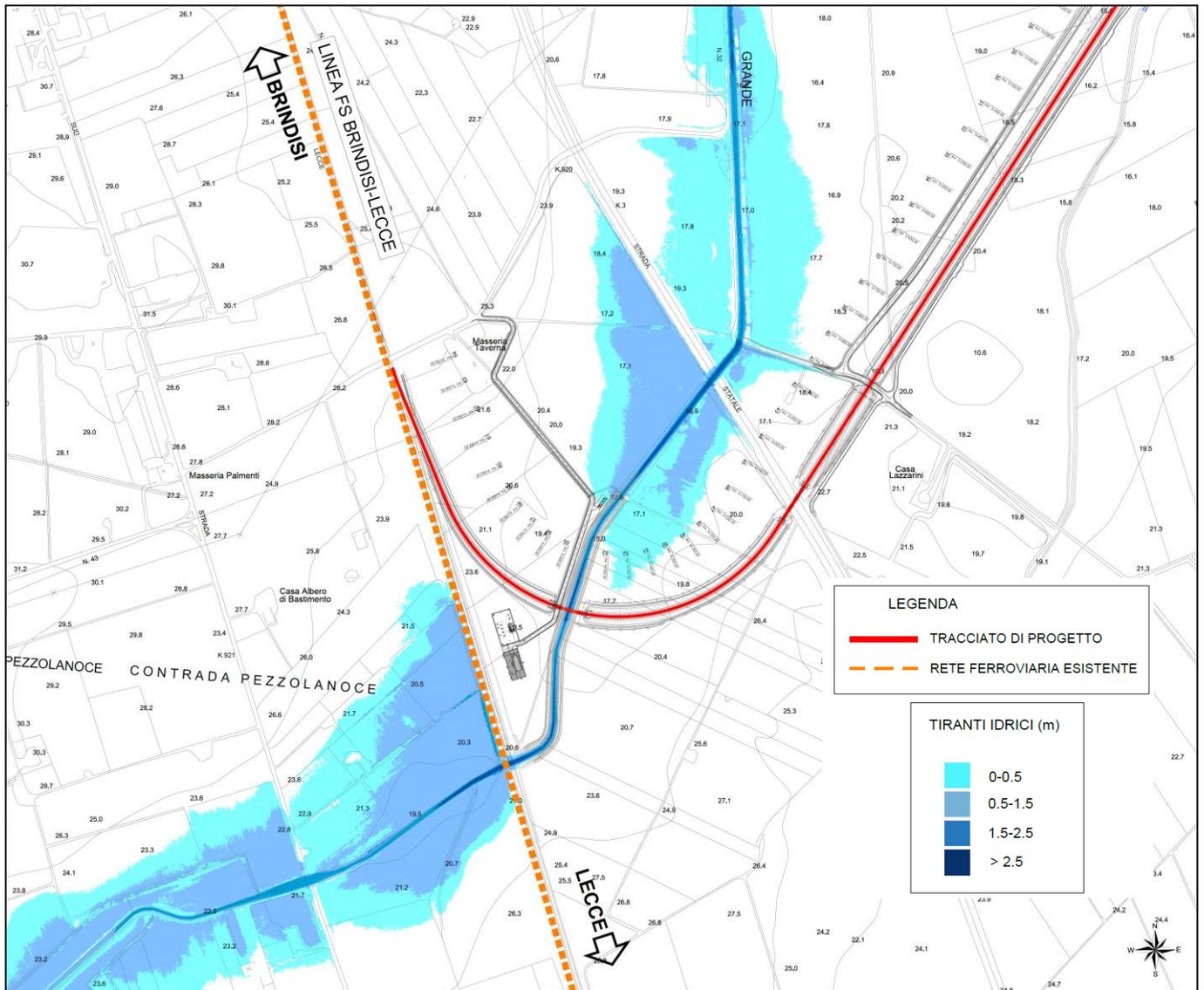


Figura 16 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per Tr = 200 anni, post operam.

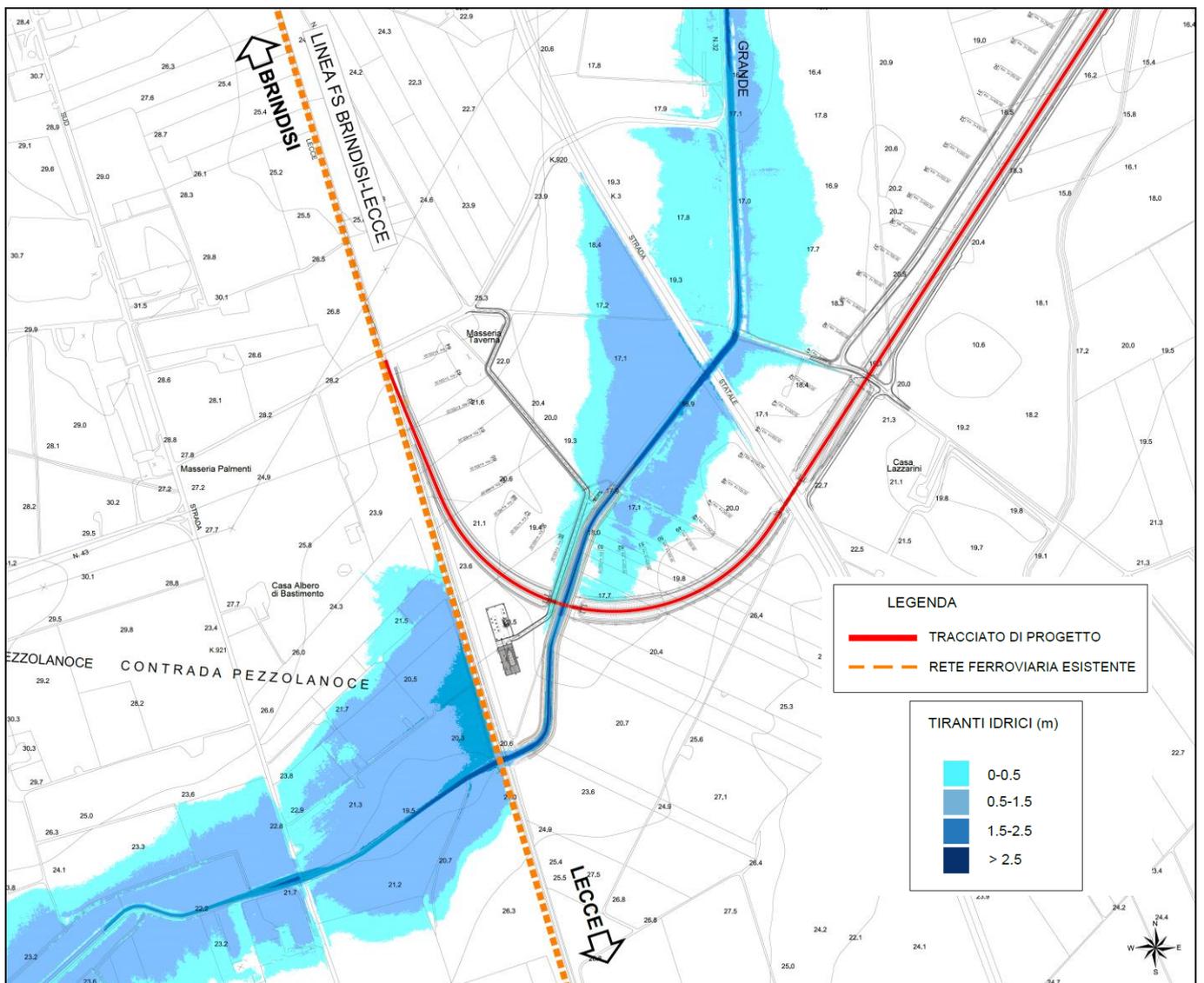


Figura 17 – Modello 2D del Fiume Grande: aree potenzialmente inondabili per Tr = 500 anni, post operam.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – Fiume Grande e Canale di Levante | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

3.5 Canale Levante

3.5.1. Geometria del modello 1D-2D

Per il Canale Levante è stato sviluppato un modello numerico mono-bidimensionale (1D+2D accoppiati), tramite l'impiego del software Hec Ras 5.0.7..

In particolare:

- per la modellazione (secondo l'approccio 1D) dell'alveo inciso si è fatto riferimento alle sezioni di rilievo topografico, effettuato nell'ambito del presente progetto, e (come anzidetto) alle sezioni di progetto (in corso di realizzazione) definite nell'ambito del Progetto Esecutivo “Sviluppo di un sistema integrato di servizi di logistica e distribuzione in grado di favorire la connessione tra l'asse nord – sud interno alla regione e la comunicazione con le altre direttrici dei Corridoi internazionali n.8 e 10 - Sistemazione Canale Levante”.
- per le aree esterne all'alveo inciso si è ricorso alle reti di calcolo 2D (“2D flow areas”), le cui caratteristiche topografiche sono state desunte dal modello digitale del terreno, a maglia 1m x 1m, fornito dal Ministero dell'Ambiente. La mesh di calcolo è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica presenti in HECRAS, definendo opportune break lines o zone di “infittimento” in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

Le aree “bidimensionali” (2D flow areas) sono state collegate al modello 1D tramite appositi elementi presenti in Hec-Ras, denominati “lateral structure”, attraverso cui si ha lo scambio bidirezionale delle portate tra modello monodimensionale e bidimensionale. La geometria delle lateral structure è stata ripresa dai dati DTM ed integrata con i rilievi topografici eseguiti e/o disponibili.

La scelta dell'impiego dell'approccio accoppiato 1D+2D (a differenza dell'approccio 2D puro adottato per il Fiume Grande) è semplicemente legata alla disponibilità delle sezioni di progetto del Canale Levante (rif. “Progetto Esecutivo del Comune di Brindisi”) già implementate nel codice di calcolo Hec Ras, utilizzato nelle relative verifiche, anche nel Progetto Esecutivo suddetto.

Nello specifico, il modello idraulico del Canale Levante ha una estensione massima di circa 3.5 km. In particolare, il modello si estende a partire dalla sezione immediatamente a valle della Strada Comunale Formosa, fino alla confluenza nel Fiume Grande. La creazione della mesh di calcolo 2D è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 45 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 2 m² (per una dimensione media di circa 25 m²). Gli infittimenti della mesh sono stati sviluppati imponendo una dimensione degli elementi è pari a 2x2 m².

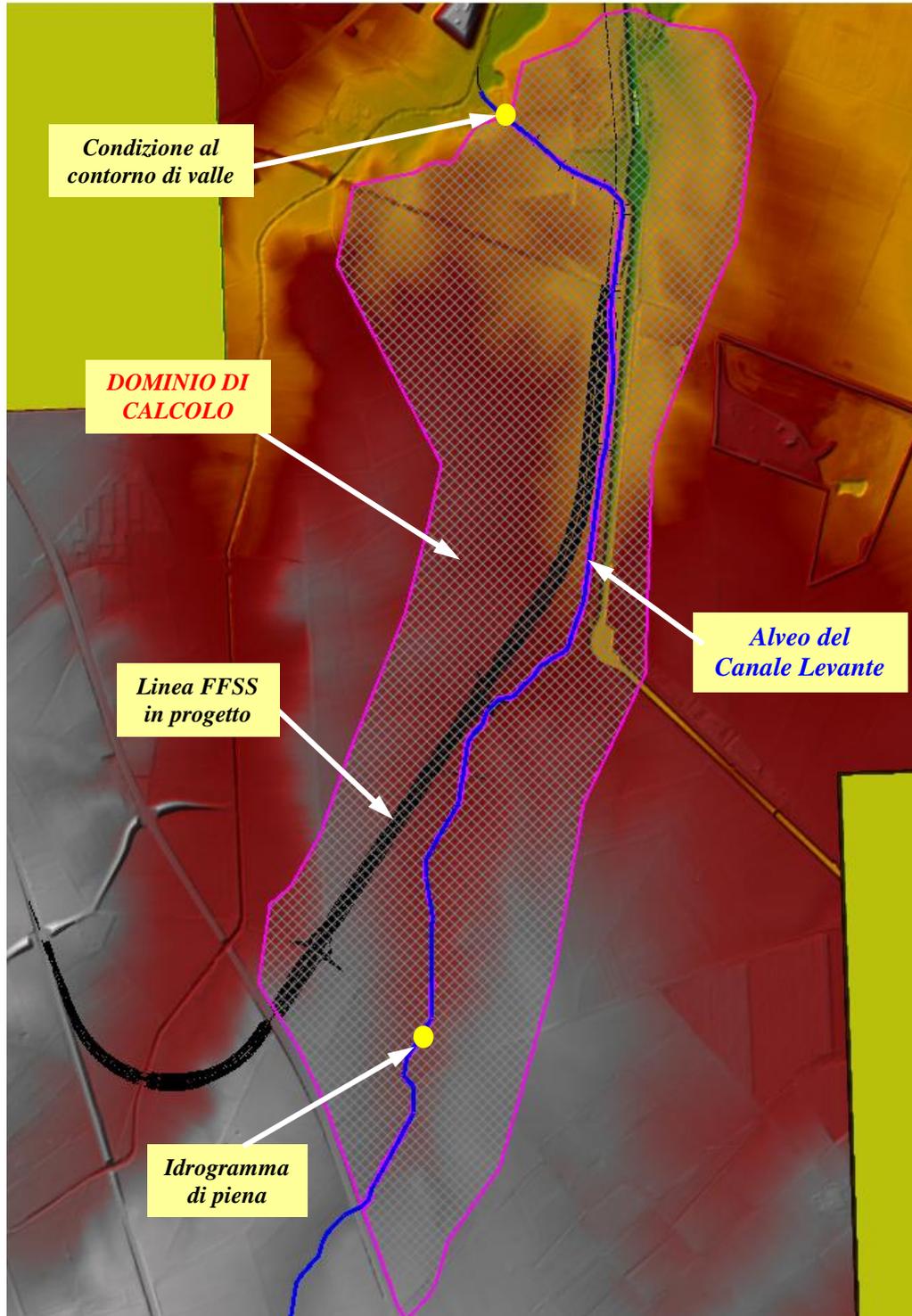


Figura 18 – Canale Levante: dominio di calcolo del modello numerico 2D.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – Fiume Grande e Canale di Levante | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 33 di 49 |

Le opere di attraversamento esistenti sul Canale Levante sono state invece implementate tramite appositi elementi disponibili nel software di calcolo (HecRas), relativamente all'approccio monodimensionale (1D). Nello specifico, la riproduzione di un ponte è ottenuta mediante l'inserimento dell'elemento "bridge" in corrispondenza del quale viene definito il "weir/embankment" (i.e. impalcato) e le aperture/luci dell'opera di attraversamento (culverts), analogamente a quanto già descritto in precedenza, con riferimento all'approccio bidimensionale (2D) applicato sul Fiume Grande.

3.5.2. Scabrezze

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning, n), in analogia alle simulazioni condotte nell'ambito degli studi a corredo del Progetto Esecutivo "Sviluppo di un sistema integrato di servizi di logistica e distribuzione in grado di favorire la connessione tra l'asse nord – sud interno alla regione e la comunicazione con le altre direttrici dei Corridoi internazionali n.8 e 10 - Sistemazione Canale Levante", sono stati adottati i seguenti valori:

- per l'alveo inciso, $n = 0.030 \text{ s/m}^{1/3}$;
- per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili, $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$.

3.5.3. Condizioni al contorno

Nello specifico, gli idrogrammi di riferimento imposti come condizione al contorno di monte sono quelli ricavati nello studio idrologico annesso, al quale si rimanda per maggiori dettagli.

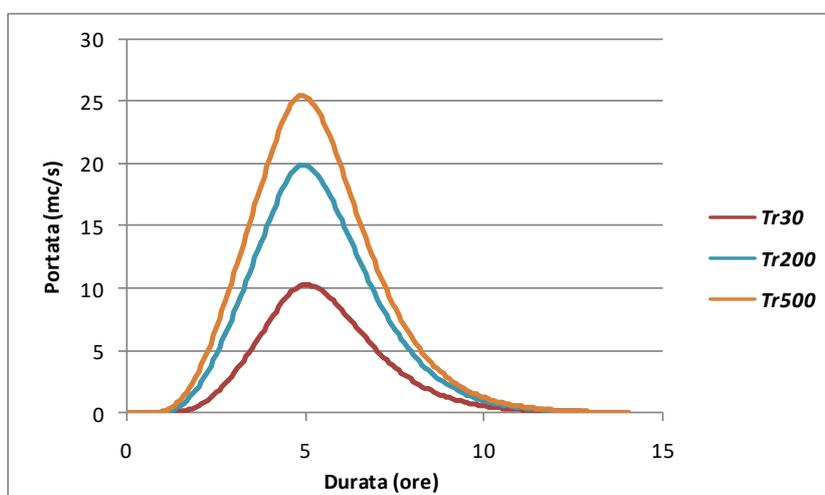


Figura 19 – Canale Levante: idrogrammi di piena di progetto.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

Come condizione di valle, in analogia alle simulazioni condotte nell'ambito degli studi a corredo del Progetto Esecutivo "Sviluppo di un sistema integrato di servizi di logistica e distribuzione in grado di favorire la connessione tra l'asse nord – sud interno alla regione e la comunicazione con le altre direttrici dei Corridoi internazionali n.8 e 10 - Sistemazione Canale Levante", è stata imposta la condizione di *moto uniforme* ($slope = 0.004$).

3.5.4. Scenari simulati

Come precedentemente introdotto, si è proceduto alla simulazione delle onde di piena del Canale Levante riferite ai tempi di ritorno (T_r) di 30, 200 e 500 anni, nelle seguenti configurazioni geometriche:

- ante operam: si intende in tal caso la geometria della configurazione di progetto adottata nell'ambito delle simulazioni a corredo del Progetto Esecutivo "Sviluppo di un sistema integrato di servizi di logistica e distribuzione in grado di favorire la connessione tra l'asse nord – sud interno alla regione e la comunicazione con le altre direttrici dei Corridoi internazionali n.8 e 10 - Sistemazione Canale Levante", che prevede (a partire dalla sezione 28, sopra definita) opportune opere di sistemazione idraulica (in corso di realizzazione), atte ad eliminare le frequenti esondazioni del Canale Levante, come precedentemente specificato;
- post operam: si intende la geometria ottenuta dall'inserimento delle opere in progetto che possono modificare l'attuale espansione delle piene, nonché di interventi di risoluzione di eventuali criticità di natura idraulica o di miglioramento delle condizioni di deflusso (i.e. opere di sistemazione/riprofilatura, argini,...).

3.5.5. Risultati delle simulazioni numeriche 2D

SCENARIO ANTE OPERAM

Si riportano i risultati (in termini di aree di esondazione) per i tempi di ritorno indagati ($T_r = 30, 200$ e 500 anni), relativamente allo scenario ante operam, come sopra definito.

Come anzidetto, sul Canale Levante, nell'ambito del presente progetto, non sono previste opere di attraversamento, ma la nuova linea si sviluppa in stretto affiancamento ad esso. Pertanto, in tal caso, lo studio idraulico (a differenza di quello sul Fiume Grande, finalizzato alla verifica idraulica del nuovo viadotto) ha lo scopo di verificare e confutare le risultanze degli studi a corredo del Progetto Esecutivo di riferimento sopra richiamato ed individuare eventuali aree di esondazione, che interessino la nuova tratta ferroviaria, non rilevate nelle modellazioni monodimensionali (effettuare nel Progetto Esecutivo suddetto).

Nello specifico, i risultati delle modellazioni numeriche effettuate nel presente studio dimostrano l'insufficienza idraulica del Canale Levante (già per tempi di ritorno modesti, $T_r = 30$ anni) nel tratto a monte della sezione denominata "28" (in corrispondenza della quale iniziano le opere di sistemazione, in corso di realizzazione, definito nell'ambito del Progetto Esecutivo "Sviluppo di un sistema integrato di servizi di logistica e distribuzione in grado di favorire la connessione tra l'asse nord – sud interno alla regione e la comunicazione con le altre direttrici dei Corridoi internazionali n.8 e 10 - Sistemazione Canale Levante").

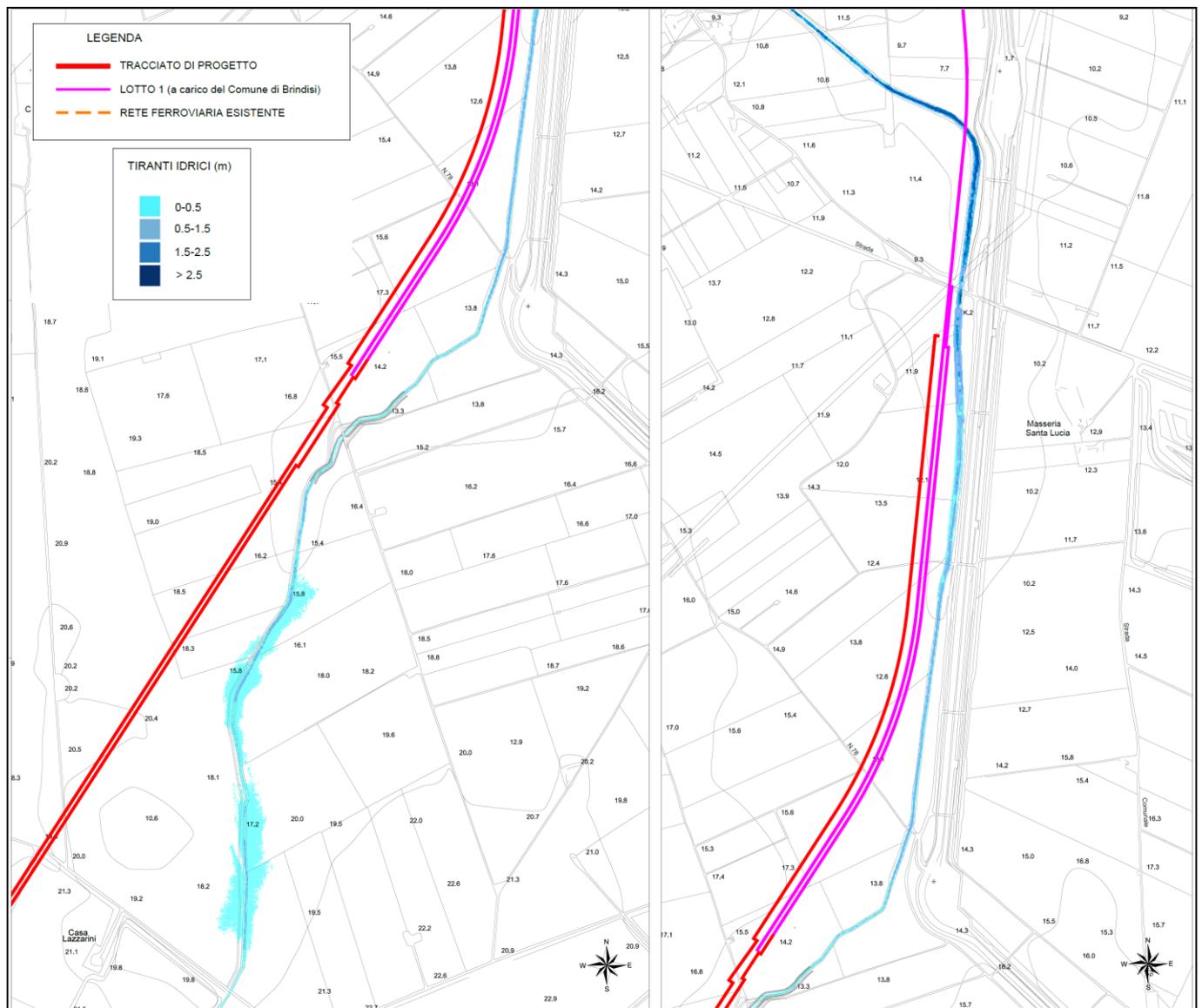


Figura 20 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $T_r = 30$ anni, ante operam.

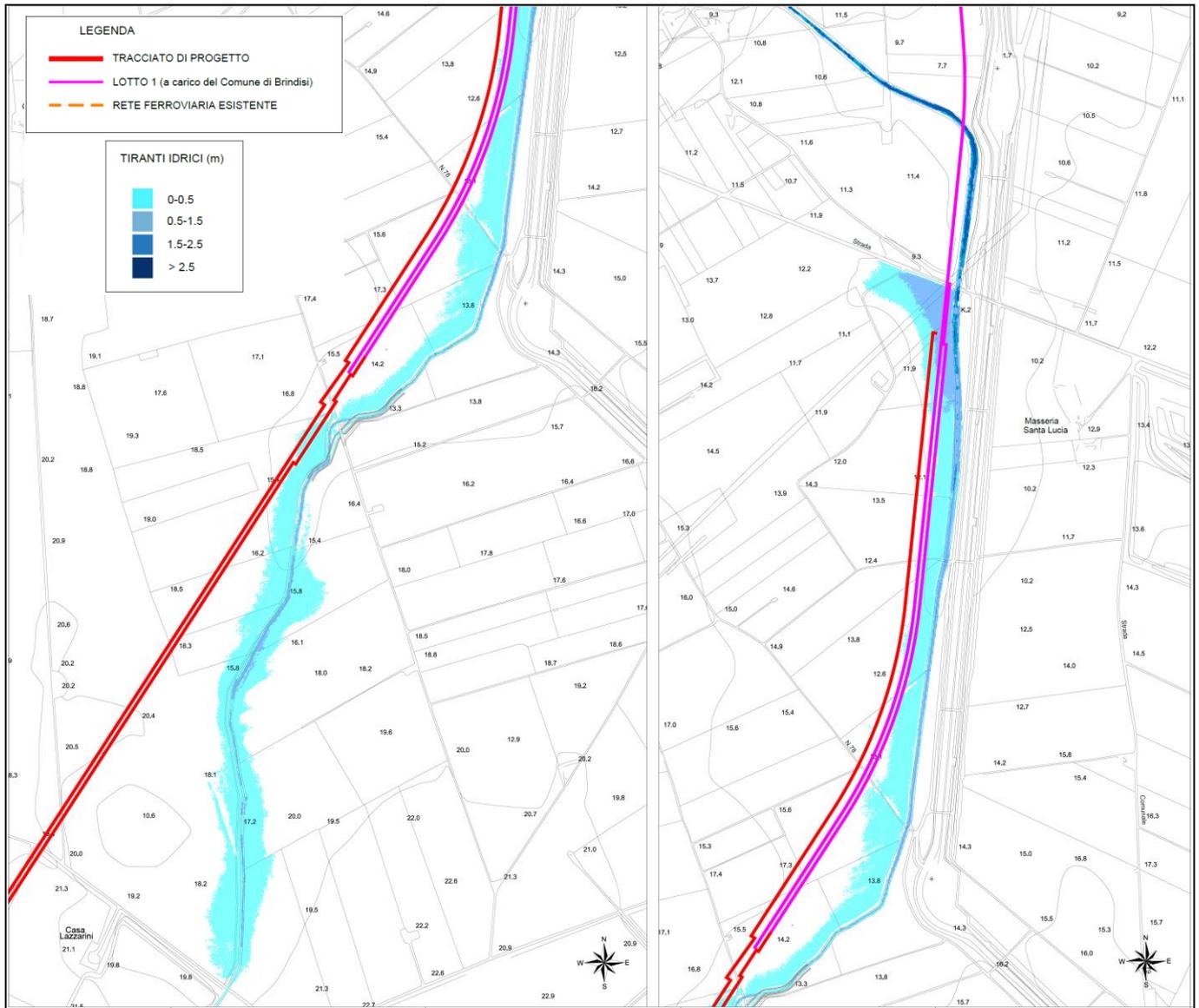


Figura 21 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 200$ anni, ante operam.

Nello specifico, l'esonazione della portata di progetto (Tr 200 anni) si manifesta nel tratto fluviale in adiacenza al nuovo tratto ferroviario che si estende dalla prog. 3+000 alla prog. 3+800 (rilevato RI01), lungo il quale non sono previste opere di sistemazione idraulica, nell'ambito del Progetto Esecutivo di riferimento sopra citato.

Tale esondazione è evidenziata anche nel modello numerico 1D sviluppato per il dimensionamento delle opere di sistemazione in corso di realizzazione e, come da modello bidimensionale sviluppato nel presente studio, si propaga (a partire dalle sezioni a monte della sezione 28) verso le aree di valle, interessando la zona sede dell'intervento in progetto, non potendo neanche "rientrare" in alveo per la presenza proprio delle nuove arginature.

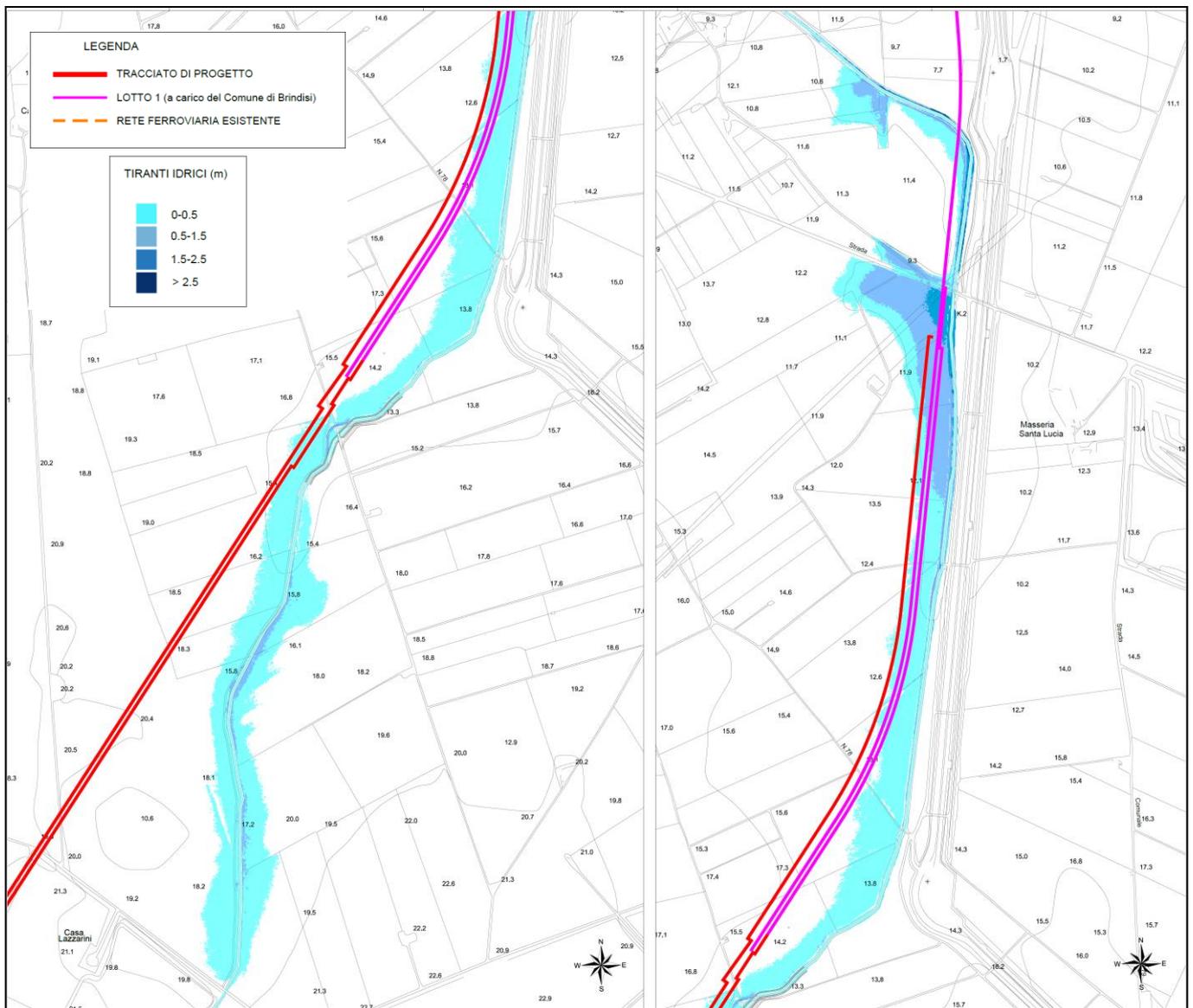


Figura 22 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $Tr = 500$ anni, ante operam.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 38 di 49 |

Ai fini della compatibilità idraulica del nuovo intervento, nonché della riduzione della pericolosità idraulica nell'area in esame, si prevedono quindi opportune opere di sistemazione del Canale Levante nel tratto a monte della sezione 28, nonché delle aree golenali limitrofe.

Tali opere consistono in un opportuno rimodellamento del terreno o del piano campagna limitrofo alla sezione n.28, nonché in una lieve riprofilatura/risagomatura della sezione d'alveo del Canale Levante (con rivestimento spondale), per un tratto di circa 100 metri a monte della sez. 28.

Per maggiori dettagli, si rimanda comunque al paragrafo relativo alle sistemazioni idrauliche.

SCENARIO POST OPERAM

Gli interventi previsti sul Canale Levante per la risoluzione delle criticità idrauliche evidenziate dalle simulazioni numeriche nello stato “*ante operam*” sono stati implementati mediante modifiche della mesh di calcolo (2D), con opportune “*breaklines*”, e delle sezioni del tratto fluviale 1D.

Nelle figure seguenti si riportano le aree di allagamento nelle condizioni “*post operam*” per i vari tempi di ritorno considerati.

E' evidente il miglioramento dal punto di vista delle aree di esondazione. Le opere previste in progetto consentono di eliminare/ridurre le esondazioni delle piene del Canale Levante e la loro propagazione verso valle, nelle aree sede dell'intervento in progetto.

Rimangono inalterate le condizioni di pericolosità idraulica nelle aree limitrofe.

Per maggiori dettagli, si rimanda comunque agli elaborati grafici annessi.

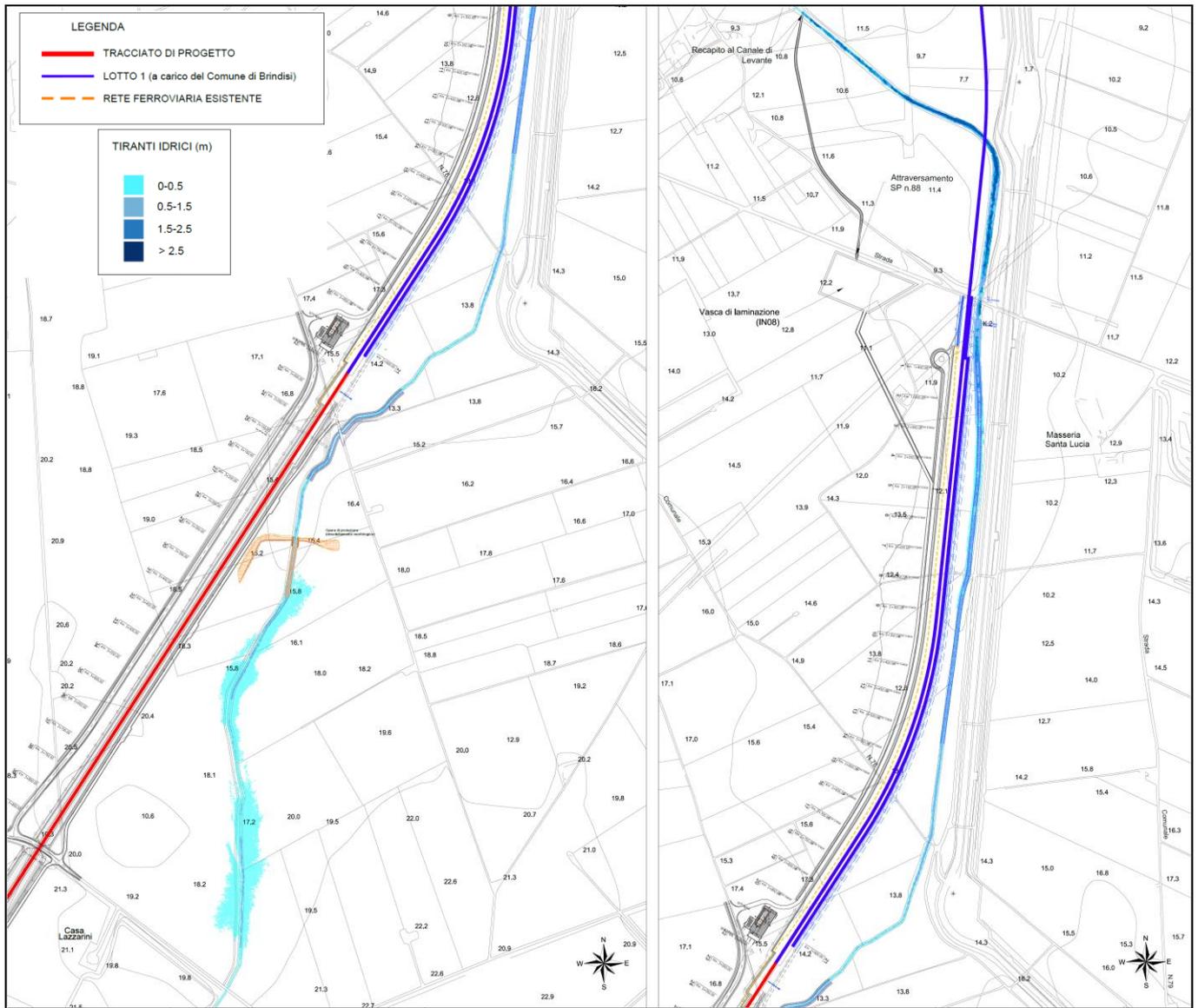


Figura 23 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $T_r = 30$ anni, post operam.

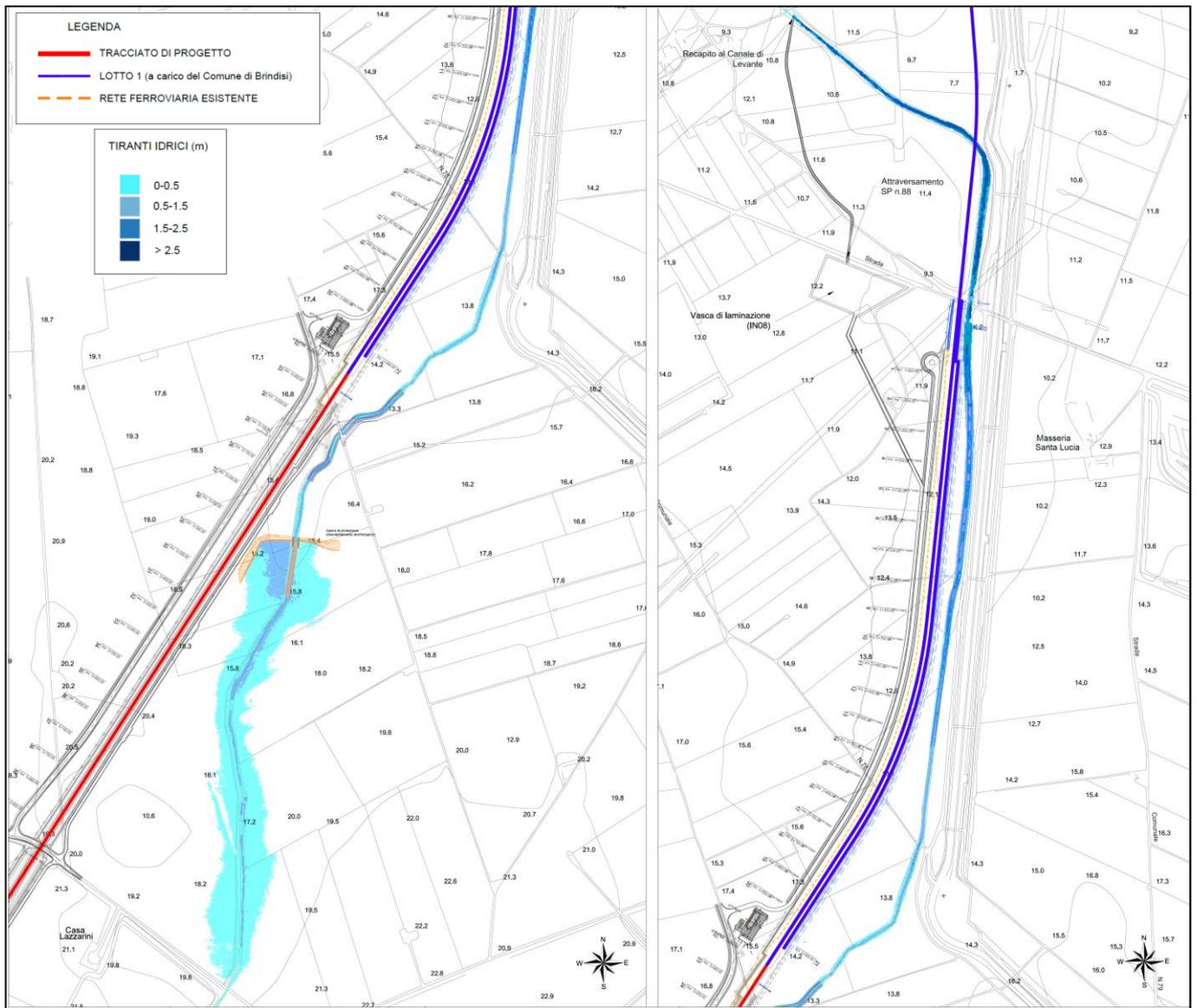


Figura 24 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $T_r = 200$ anni, post operam.

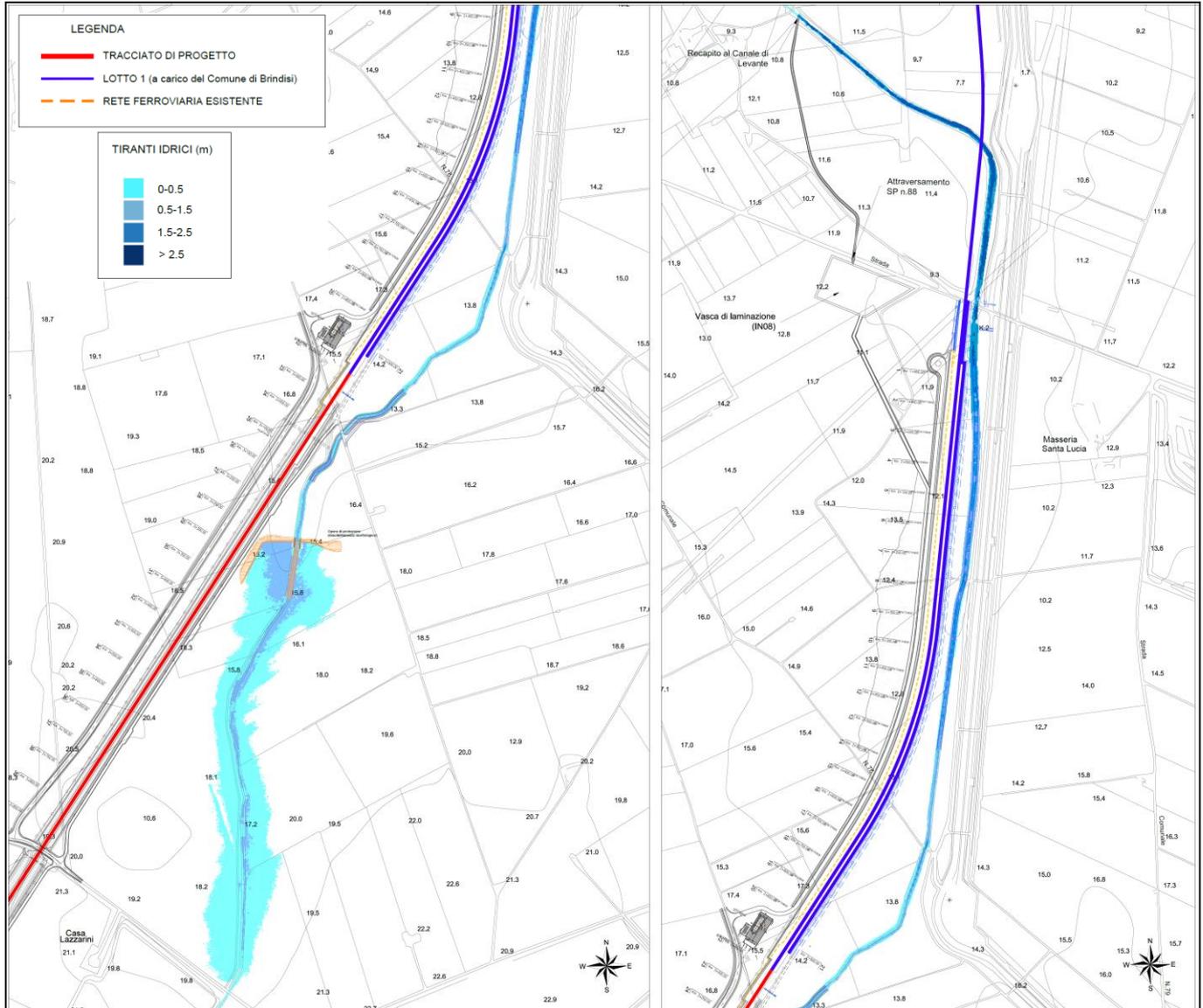


Figura 25 – Modello 1D+2D del Canale Levante: aree potenzialmente inondabili per $T_r = 500$ anni, post operam.

Il Canale di Levante costituirà il recapito finale del sistema di drenaggio della piattaforma ferroviaria. In particolare, riceverà le acque in uscita dalla vasca di laminazione prevista in progetto (ubicata in prossimità dell'inizio dell'intervento), in corrispondenza di una sezione ubicata in prossimità della confluenza con il Fiume Grande.

| | | | | | | |
|--|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

3.6 Verifica dei franchi di progetto

3.6.1. Viadotto VI02 (Fiume Grande)

La verifica del franco di progetto eseguita secondo le normative vigenti (i.e. NTC2018 e MdP RFI 2020), con riferimento alla piena *Tr200* del Fiume Grande, dimostra la compatibilità idraulica del nuovo viadotto VI02 come riportato nella tabella seguente.

| Quota minima impalcato [m slm] | Livello di piena Tr200 [m slm] | Carico totale Tr200 [m slm] | Franco sul livello idrico Tr200 [m] | Franco sul carico totale Tr200 [m] | Verifica |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| +22.95 | +19.32 | +20.15 | +3.63 (> 1.50 m) | +2.80 (> 0.50 m) | OK |

Tabella 2 – Viadotto VI02: verifica del franco idraulico.

Inoltre, è garantita una distanza minima di 6 - 7 m tra il fondo alveo e la quota di sottotrave, in ragione di eventuali fenomeni di trasporto solido di fondo e/o di materiale galleggiante.

In realtà non sono da temersi fenomeni di trasporto solido al fondo, per via del rivestimento, già attualmente e parzialmente presente sul fondo e sulle sponde del Fiume Grande, nel tratto fluviale di interesse (che verrà ripristinato nell'ambito del presente progetto, come meglio descritto nel paragrafo successivo).

Inoltre, come anzidetto, la distanza tra la quota di intradosso e quella di fondo alveo in corrispondenza del viadotto VI02, si attesta a +6.02 m (q. intradosso = +22.95 m slm; q. fondo alveo = +16.93 m slm).

Come descritto in precedenza, il viadotto VI02 è costituito di una unica campata da 52 metri circa, che scavalca completamente l'alveo inciso (o la sezione bagnata dalla piena di riferimento, *Tr200*), in accordo con le NTC 2018.

Sono rispettate anche le distanze minime dalle sponde e/o dal piede degli argini (10 metri) in accordo ai R.D. n.368/1904 e n.523/1904.

4. SISTEMAZIONI IDRAULICHE

Si è proceduto al dimensionamento delle opere di sistemazione e protezione idraulica atte a ripristinare e/o mantenere la sezione d'alveo in una configurazione (attuale o di progetto) inalterata, e quindi proteggerla da possibili fenomeni di erosione, nonché a contribuire alla stabilità dell'alveo inciso, in accordo ai risultati delle simulazioni numeriche effettuate, sopra descritte.

4.1 Fiume Grande

Sul Fiume Grande sono previsti i seguenti interventi di sistemazione idraulica:

- arginature, con relativi controfossi, per un tratto fluviale di circa 500 m in corrispondenza del VI02;
- rivestimento delle sponde e del fondo alveo in massi sciolti, intasati con malta o cementati.

secondo la sezione tipo riportata nella figura seguente.

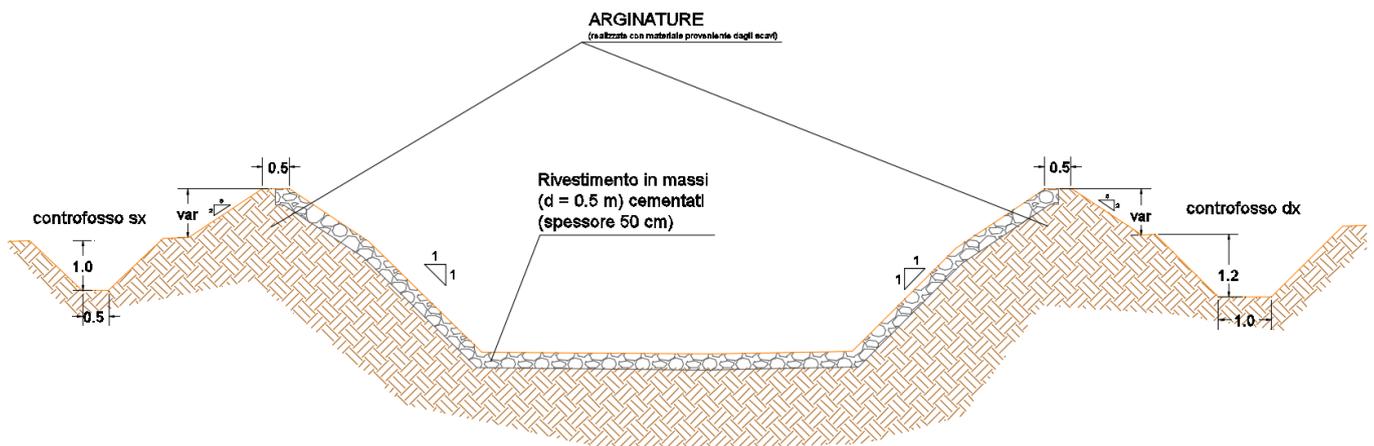


Figura 26 – Fiume Grande: opere di sistemazione idraulica, sezione tipo.

Per il dimensionamento del rivestimento in massi (sulle sponde e sul fondo alveo), si è fatto riferimento alla relazione (FHWA, 1989):

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| | RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – Fiume Grande e Canale di Levante | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A |

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi; V_a = velocità media (ft/s); d_{avg} = tirante medio (ft); $C_{sg} = 2.12/(S_g-1)^{1.5}$; S_g = peso specifico dei massi (t/mc); $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$ (SF = coefficiente di sicurezza, $\in [1,2]$); $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici del corso d'acqua in esame):

- *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.0162*
- *tiranti idrici: 1.5 ÷ 14.8 m*
- *velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s*
- *portate: 35 ÷ 2200 mc/s*
- *d50: 0.15 ÷ 0.70 m*

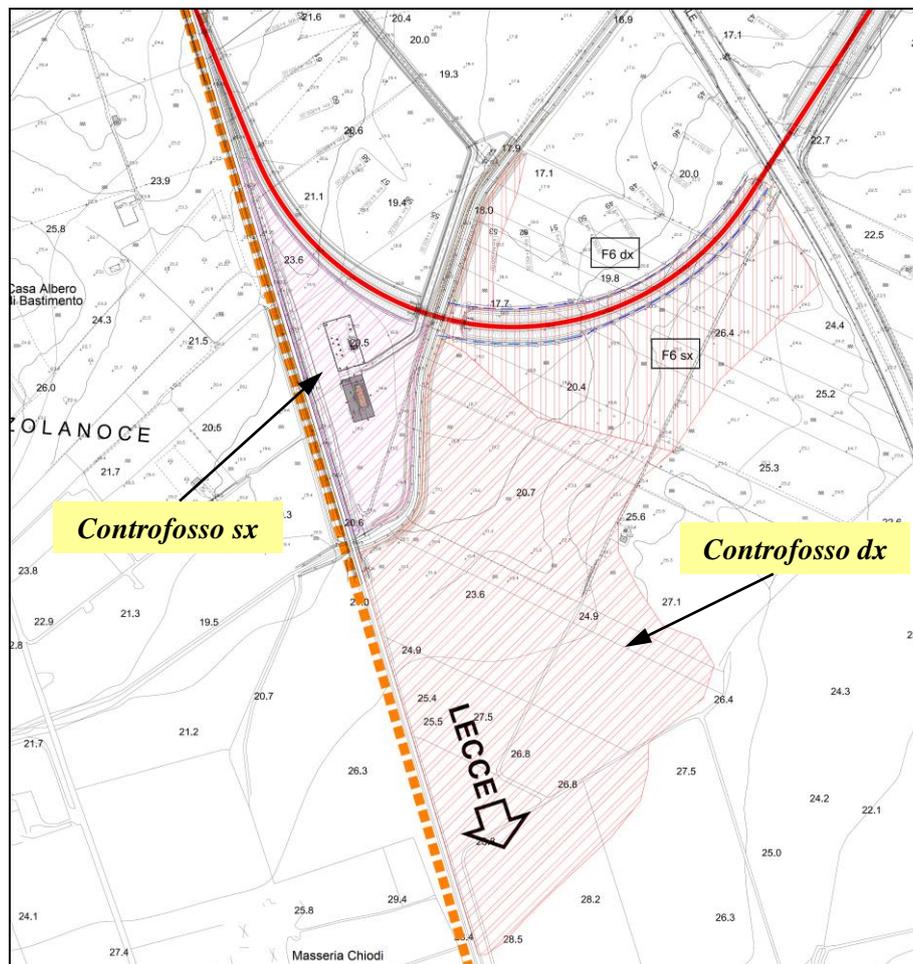
Considerando i seguenti parametri: $S_g = 2.6$ t/mc; $SF = 1.5$, $\theta = 45^\circ$ (1/1); $\phi = 50^\circ$, $h = 2$ m e $v = 2.7$ m/s (per la portata di progetto, $Tr200$, da modello 2D), si ottiene **$d_{50} = 0.50$ m**. Si prevede comunque di cementare (o intasare con malta) i massi per conferirne una maggiore stabilità e rendere impermeabile le sponde fino alla sommità delle arginature.

Per garantire il drenaggio delle aree limitrofe, si prevede la realizzazione, al piede delle arginature previste, da ambo i lati, di opportuni controfossi.

Si è proceduto quindi al dimensionamento di tali controfossi individuando dapprima le aree scolanti afferenti (riportate nella figura seguente) e successivamente le corrispondenti portate al colmo di progetto (per $Tr200$ anni). Nelle tabelle seguenti, sono indicati i parametri morfometrici di tali aree scolanti.

| Area scolante in SX | |
|--------------------------------|---------|
| A (kmq) | 0.03387 |
| L (km) | 0.26 |
| H_{max} (m slm) | 24.3 |
| H_{min} (m slm) | 16.9 |
| H_{med} (m slm) | 19.55 |
| P (m/m) | 0.036 |

| Area scolante in DX | |
|--------------------------------|------|
| A (kmq) | 0.20 |
| L (km) | 0.5 |
| H_{max} (m slm) | 29.3 |
| H_{min} (m slm) | 16.1 |
| H_{med} (m slm) | 23.1 |
| P (m/m) | 0.03 |



Con riferimento alla metodologia esposta nella relazione idrologica annessa, il valore del Curve Number (CN) per le aree di drenaggio afferenti ai controfossi si attesta a 72.

Il valore del tempo di corrivazione (τ_c) è stato valutato tramite la formula di Ventura, risultata più cautelativa tra quelle adottate e considerate più consone alla natura pianeggiante del bacino del Fiume Grande (rif. studio idrologico annesso). Per le due aree scolanti in esame, SX (sinistra) e DX (destra), $\tau_c = 0.12$ h e $\tau_c = 0.33$ h, rispettivamente. Applicando infine la formula razionale (unitamente alle curve di possibilità pluviometrica derivanti dalla metodologia VAPI, $a = 97.6$ mm/hⁿ, $n = 0.17$, come da studio idrologico annesso), si ottengono i seguenti valori di portata al colmo di progetto (Tr_{200}) per i due controfossi.

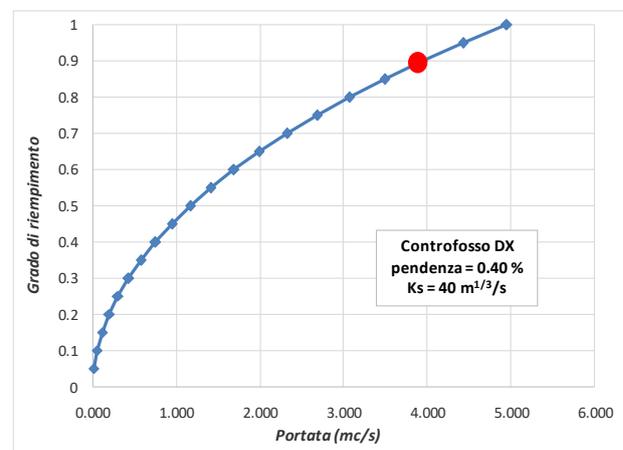
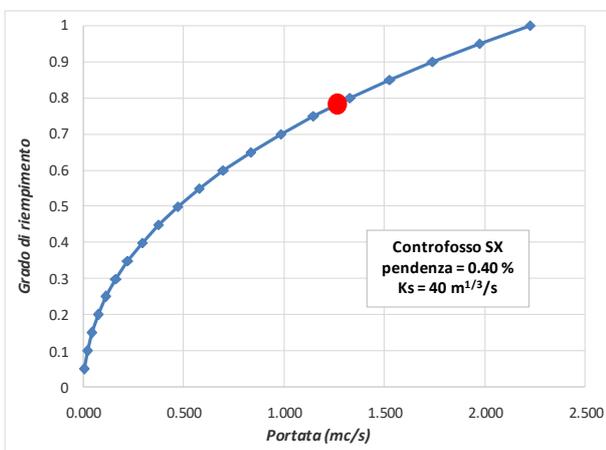
| Area scolante | Q_{200} (mc/s) |
|---------------|------------------|
| SX | 1.24 |
| DX | 3.95 |

Si precisa che per il controfosso in destra sono incluse nel calcolo della portata anche le aree afferenti ai fossi (F6) di guardia del nuovo rilevato; in sinistra idraulica, il sistema di drenaggio della piattaforma stradale confluisce nel controfosso della viabilità di accesso alla SSE.

Ricorrendo alla ben nota formula di Chezy ($Q = A \cdot \sqrt{K \cdot i}$), con coefficiente di scabrezza alla Kutter ($K = 100 \cdot \sqrt{K \cdot i} / (m + \sqrt{K \cdot i})$) pari a $m = 1.25$ m^{1/2} (corrispondente ad un coefficiente di Gauckler-Strickler pari a circa 40 m^{1/3}/s, tipico per canali regolari in terra), sono state determinate le scale di deflusso dei controfossi in progetto. In particolare, i due controfossi hanno le seguenti dimensioni:

- SX, sezione trapezoidale, base = 0.50 m, altezza = 1 m, sponde = 1/1, pendenza min = 0.4%
- DX, sezione trapezoidale, base = 1.0 m, altezza = 1.2, sponde = 1/1, pendenza min = 0.4%

in grado di convogliare le rispettive portate di progetto (Tr_{200}).



4.2 Canale Levante

Sul Canale Levante sono previsti i seguenti interventi di sistemazione idraulica:

- rimodellamento del terreno o piano campagna in prossimità della sezione n.28;
- risagomatura delle sponde per un tratto di circa 100 m, a monte della sezione n.28;
- rivestimento in massi sciolti delle sponde e del fondo alveo (intasati con malta o cementati).

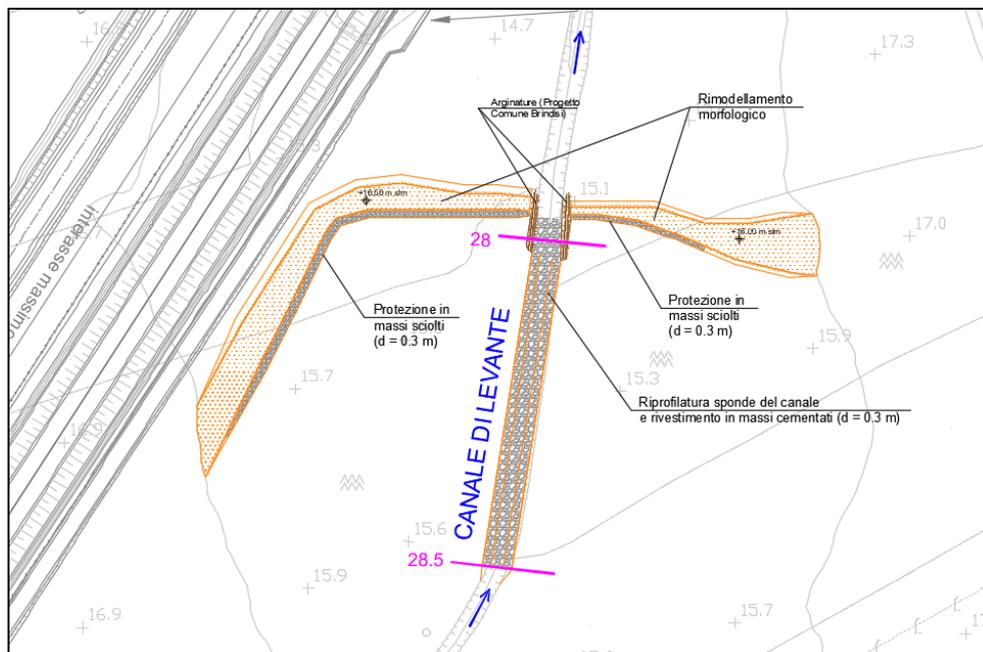


Figura 27 – Canale di Levante: opere di sistemazione idraulica.

Il rivestimento in massi è stato dimensionato ricorrendo alla formula (*) e considerando i seguenti parametri: $S_g = 2.6 \text{ t/mc}$; $SF = 1.5$, $\theta = 34^\circ (2/3)$; $\phi = 45^\circ$, $h = 1 \text{ m}$ e $v = 2.5 \text{ m/s}$ (per la portata di progetto, $Tr200$, da modello 2D), si ottiene $d_{50} = 0.30 \text{ m}$. Si prevede comunque di cementare (o intasare con malta) i massi per conferirne una maggiore stabilità.

Per maggiori dettagli, si rimanda alle tavole grafiche annesse alla presente relazione.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – Fiume Grande e Canale di Levante | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 48 di 49 |

5. COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento alle NTC 2018, nello specifico al Par. 5.1, relativo alla compatibilità idraulica delle opere di attraversamento (nel caso specifico il VI02 sul Fiume Grande), si asserisce:

*“Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d’acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. **Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente.** Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d’acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione. **Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l’intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1.50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l’intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l’intradosso delle strutture non sia costituito da un’unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale.**”*

Il viadotto in progetto (VI02, sul Canale Levante) è caratterizzato da luci e franchi nel rispetto della normativa vigente. E' rispettato infatti il franco minimo di 1,5 metri nei confronti del livello idrico corrispondente alla piena di progetto (*Tr200*), nonché la distanza minima tra il fondo alveo e la quota di intradosso di impalcato.

E' da sottolineare che le opere di sistemazione e protezione previste in progetto, atte a mantenere la configurazione dell'alveo il più possibile inalterata tra lo stato attuale e di progetto, limitano/riducono le aree potenzialmente inondabili, interessate dall'esondazione delle piene del Fiume Grande e del Canale Levante, senza alterare/peggiore le attuali condizioni di pericolosità nell'area di intervento.

In definitiva, le analisi e le verifiche idrauliche svolte dimostrano la compatibilità del nuovo viadotto VI02, dell'infrastruttura ferroviaria, nonché delle opere annesse (i.e. viabilità, fabbricati, SSE.....), in termini sia di franco di sicurezza sia di possibile interferenza con le aree potenzialmente inondabili.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE | | | | | |
| RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA – FIUME GRANDE E CANALE DI LEVANTE | COMMESSA IA7K | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 02 001 | REV. A | FOGLIO 49 di 49 |

6. BIBLIOGRAFIA

Autorità di Bacino della Puglia – Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI)

Autorità di Bacino della Puglia - *STUDIO PER LA DEFINIZIONE DELLE OPERE NECESSARIE ALLA MESSA IN SICUREZZA DEL RETICOLO IDRAULICO INTERESSATO DAGLI EVENTI ALLUVIONALI DI OTTOBRE E NOVEMBRE 2005 NELLE PROVINCE DI BARI E BRINDISI*. 2012, Accordo di programma quadro in materia di difesa del suolo finanziato con risorse della delibera CIPE 35/2005

Analisi Regionale dei massimi annuali delle precipitazioni Puglia centro-meridionale, GNDCI Linea 1. Rapporti di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia

Corine Land Cover 2012 IV Livello - ISPRA

Soil Conservation Service, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.

Rainfall Depth – Duration Relationship for South Italy, (1996) Vito Ferro and Vincenzo Bagarello, Journal of Hydrologic Engineering/October 1996.

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Manuale di progettazione RFI (2020).

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, 2018 (circolare applicativa, 7 gennaio 2019),

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer, pp. 84-146, 2003.

VenTe Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.