

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**NODO DI BARI**

**U.O. Coordinamento di Sistema e PFTE**

**PROGETTO PRELIMINARE**

**NODO DI BARI**

**BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE**

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

**Relazione idraulica e di compatibilità idraulica**

SCALA:

-

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

I A 7 X 0 0 R 1 0 R G I D 0 0 0 2 0 0 1 A

| Rev. | Descrizione         | Redatto        | Data        | Verificato     | Data        | Approvato       | Data        | Autorizzato Data              |
|------|---------------------|----------------|-------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|-------------------------------|
| A    | Emissione esecutiva | L. Dinelli<br> | Luglio 2021 | M. Ventura<br> | Luglio 2021 | G. Dimaggio<br> | Luglio 2021 | L. Berardi<br>Luglio 2021<br> |
|      |                     |                |             |                |             |                 |             |                               |
|      |                     |                |             |                |             |                 |             |                               |
|      |                     |                |             |                |             |                 |             |                               |

File: IA7X00R10RGID0002001A.doc

n. Elab.

## Sommario

|   |    |
|---|----|
| 1. Premessa.....  | 3  |
| 2. Normativa di riferimento .....   | 4  |
| 3. Inquadramento idraulico .....  | 5  |
| 4. Analisi delle scelte progettuali.....  | 7  |
| 5. Compatibilità Idraulica.....   | 7  |
| 5.1 Compatibilità dei recapiti.....   | 10 |
| 6. Assunzioni progettuali principali.....   | 13 |
| 7. Input meteorico .....  | 13 |
| 8. Metodologia delle verifiche idrauliche .....   | 14 |
| 9. Acque meteoriche ricadenti sulla piattaforma ferroviaria .....                           | 16 |
| 10. Verifiche canalette ferroviarie .....   | 17 |
| 11. Verifiche impianti di sollevamento .....  | 18 |
| 12. Verifiche Canali di gronda .....  | 20 |
| 13. Modellazione bidimensionale.....  | 21 |
| 13.1 Metodologia operativa .....  | 21 |
| 13.2 Analisi morfologica.....   | 22 |
| 13.3 Analisi idrologica .....   | 22 |
| 13.4 Implementazione del modello numerico idraulico.....                                    | 22 |
| 13.5 Geometria del modello .....  | 27 |
| 13.6 Simulazioni numeriche 2d.....  | 32 |
| 13.7 Risultati delle simulazioni numeriche 2d e descrizione degli interventi idraulici..... | 39 |
| 14. Resilienza ai cambiamenti climatici .....   | 49 |
| 15. Riepilogo verifiche idrauliche.....   | 51 |
| 16. Aspetti qualitativi delle acque .....   | 52 |
| 17. Drenaggio delle viabilità .....   | 52 |
| 18. Conclusioni e indirizzi per le successive fasi progettuali .....                        | 52 |

|   |  |                  |             |                   |                          |           |
|---|--|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
|  | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><b>NODO DI BARI</b><br><b>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</b> |                  |             |                   |                          |           |
|   | <b>RELAZIONE IDRAULICA E DI<br/> COMPATIBILITA' IDRAULICA</b>  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

## 1. Premessa

La linea ferroviaria Foggia – Bari attraversa a raso il territorio comunale di Bari nelle località Palese e Santo Spirito. La direttrice adriatica determina quindi una interruzione del tessuto urbano, con presenza di numerosi passaggi a livello, apportando pesanti ripercussioni sulla mobilità e sulla sicurezza degli abitanti.

Il progetto preliminare della “Variante di tracciato tra Palese e Santo Spirito” è parte di un più vasto complesso progettuale relativo all’evoluzione del Nodo ferroviario di Bari, volto alla razionalizzazione, riorganizzazione e ad un generale miglioramento del trasporto ferroviario, attraverso un organico inserimento delle reti ferroviarie nel territorio urbano della città di Bari e una riqualificazione urbanistica delle aree dismesse.

Il Progetto Preliminare di Bari Nord in oggetto è stato sviluppato come soluzione di variante al Progetto Preliminare del 2009 oggetto di Parere VIA, in ottemperanza a quanto richiesto.

Il nuovo tracciato in variante ha origine dopo Giovinazzo, all’incirca al km 632+000 della linea Adriatica, ha un’estesa complessiva di circa 11,2 km e si sviluppa nella quasi sua interezza al di sotto del piano campagna. La progettazione preliminare è stata sviluppata sulla base della soluzione scelta da RFI al termine del PFTE di 1a fase, in cui sono state confrontate alternative progettuali mediante l’Analisi Multicriteria correlata, che ha consentito di determinare la soluzione vincente, ovvero la soluzione che risponde agli obiettivi dei decisori.

Il processo di progettazione ha inoltre tenuto conto delle osservazioni tecnico-funzionali formulate dalle competenti strutture tecniche di RFI e trasmesse ad Italferr in fase di avvio delle attività di progettazione preliminare, con nota del 19.11.2020 (RFI-DIN-DIS.AD\A0011\P\2020\0000581).

La presente relazione descrive gli interventi idraulici e lo studio idraulico bidimensionale eseguito al fine di valutare la compatibilità idraulica dell’attraversamento ferroviario in progetto.

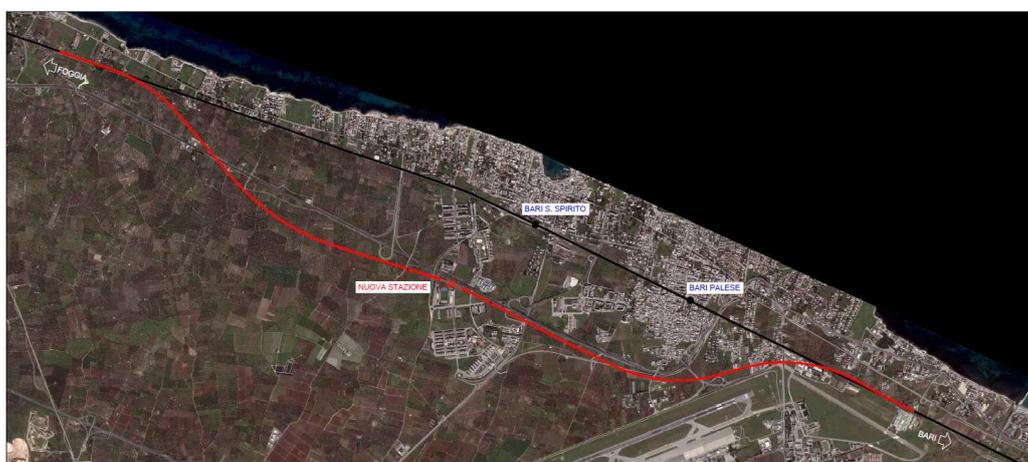


Figura 1 - Stralcio planimetrico dell’intervento

|  | <p><b>PROGETTO PRELIMINARE</b></p> <p><b>NODO DI BARI</b></p> <p>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p>  |           |             |           |           |      |        |      |    |      |             |   |         |
|---|---|-----------|-------------|-----------|-----------|------|--------|------|----|------|-------------|---|---------|
| <p>RELAZIONE IDRAULICA E DI<br/>COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7X</td> <td>00</td> <td>R 10</td> <td>RGID0002001</td> <td>A</td> <td>4 di 53</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA  | LOTTO       | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IA7X | 00 | R 10 | RGID0002001 | A | 4 di 53 |
| COMMESSA  | LOTTO   | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV.      | FOGLIO    |      |        |      |    |      |             |   |         |
| IA7X  | 00  | R 10      | RGID0002001 | A         | 4 di 53   |      |        |      |    |      |             |   |         |

## 2. Normativa di riferimento

Sono state prese in considerazione le disposizioni legislative di seguito elencate.

R.D. 25/07/1904, n. 523 - “Testo unico delle disposizioni di alle opere idrauliche delle diverse categorie”;

R.D. 27/07/1934, n. 1265 - “Testo unico delle leggi sanitarie”;

Circolare 07/01/1974, n. 11633 – “Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto”;

D.M. 12/12/1985 - “Normativa tecnica per le tubazioni”;

Circolare 20/03/1986, n. 27291 – “Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni”;

L.R. 15/05/1986, n. 27 – “Disciplina degli scarichi delle pubbliche fognature e degli scarichi degli insediamenti civili che non recapitano nelle pubbliche fognature e modifiche alla L.R. 18/06/1977, n. 39 e s.m.i.”.

L. 18/05/1989, n. 183 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”;

D.lgs. 16/01/2008, n. 4 - “Codice dell’Ambiente” (modificazioni ed integrazioni al D.lgs. 152/2006, entrato in vigore il 13/02/2008);

D.M. 16/06/2008, n. 131 – “Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici”;

D.M. 04/04/2014 - “Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto”;

Delibera G.R. 06/08/2014. N. 231 “Direttiva 2007/60/CE. Linee di indirizzo strategico per l’elaborazione del Piano di gestione del rischio alluvioni e programma delle attività conoscitive”;

Piano di Gestione Rischio di Alluvioni del Distretto idrografico Appennino Meridionale - (2016-2021);

Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Puglia ;

Manuale di Progettazione RFI – Edizione dicembre/2020;

Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

### 3. Inquadramento idraulico

La linea di progetto percorre un tratto di circa 10 km tra Giovinazzo e Bari , parallelamente alla linea di costa e ad una distanza da essa variabile tra 300 e 1500 m. Morfologicamente il territorio risulta degradante verso il mare in modo tendenzialmente omogeneo con pendenze dell'ordine dello 0,5 – 1 %, senza presentare particolari incisioni o linee di displuvio ben definite. Lo scorrimento superficiale è quindi tendenzialmente distribuito sulla superficie con tiranti modesti, tuttavia da un'analisi del DTM, risultano comunque delle linee di impluvio e accumulo preferenziale, che si manifestano durante gli eventi meteorici importanti. Le principali di queste incisioni "episodiche" sono rappresentate nel reticolo idrografico ufficiale dell'AdB e sono rappresentate nella figura seguente. Il territorio è perlopiù costituito da aree agricole coltivate ad ulivi, con rare abitazioni e zone urbanizzate ad eccezione della zona aeroportuale.



Figura 2 - Reticolo idrografico interferente

|  | <p><b>PROGETTO PRELIMINARE</b></p> <p><b>NODO DI BARI</b></p> <p>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p>  |           |             |           |           |      |        |      |    |      |             |   |         |
|---|---|-----------|-------------|-----------|-----------|------|--------|------|----|------|-------------|---|---------|
| <p>RELAZIONE IDRAULICA E DI<br/>COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7X</td> <td>00</td> <td>R 10</td> <td>RGID0002001</td> <td>A</td> <td>6 di 53</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA  | LOTTO       | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IA7X | 00 | R 10 | RGID0002001 | A | 6 di 53 |
| COMMESSA  | LOTTO   | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV.      | FOGLIO    |      |        |      |    |      |             |   |         |
| IA7X  | 00  | R 10      | RGID0002001 | A         | 6 di 53   |      |        |      |    |      |             |   |         |

Nel dettaglio:

**Incisione 1:** non risulta interferente con il tracciato di progetto, che nel primo tratto prevedrà la sola sostituzione dell'armamento esistente senza realizzazione di nuove opere.

**Incisione 2:** L'interferenza verrà risolta con un tombino doppia canna (IN032 - 2x4x3). Di questa interferenza è stato sviluppato modello bidimensionale (intervento 1).

**Incisione 3:** L'interferenza verrà risolta con una galleria artificiale, pertanto non verrà realizzato alcun ostacolo al deflusso idrico di superficie, che manterrà le caratteristiche attuali una volta terminati i lavori. È stato eseguito modello 2D anche di questa incisione (intervento 2).

**Incisione 4:** L'interferenza verrà risolta con una galleria artificiale, pertanto non verrà realizzato alcun ostacolo al deflusso idrico di superficie, che manterrà le caratteristiche attuali una volta terminati i lavori. Non è stato eseguito modello 2D in quanto la presenza del rilevato stradale esistente, impedisce il collegamento con l'area della trincea di stazione.

**Incisione 5:** L'interferenza verrà risolta con una galleria artificiale, pertanto non verrà realizzato alcun ostacolo al deflusso idrico di superficie, che manterrà le caratteristiche attuali una volta terminati i lavori. È stato sviluppato modello 2D per via della vicinanza con una trincea di progetto, seppur non direttamente interferente con l'asta (intervento 3).

**Incisione 6 (Lama Balice):** non risulta interferente con il tracciato di progetto, tuttavia tale Lama è stata individuata per il recapito di un canale di gronda a difesa della linea di progetto nel tratto di trincea verso Bari.

|  | <p><b>PROGETTO PRELIMINARE</b></p> <p><b>NODO DI BARI</b></p> <p>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p>  |           |             |           |           |      |        |      |    |      |             |   |         |
|---|---|-----------|-------------|-----------|-----------|------|--------|------|----|------|-------------|---|---------|
| <p>RELAZIONE IDRAULICA E DI<br/>COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7X</td> <td>00</td> <td>R 10</td> <td>RGID0002001</td> <td>A</td> <td>7 di 53</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA  | LOTTO       | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IA7X | 00 | R 10 | RGID0002001 | A | 7 di 53 |
| COMMESSA  | LOTTO   | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV.      | FOGLIO    |      |        |      |    |      |             |   |         |
| IA7X  | 00  | R 10      | RGID0002001 | A         | 7 di 53   |      |        |      |    |      |             |   |         |

#### 4. Analisi delle scelte progettuali

Come accennato nel paragrafo precedente, è stato evidenziato che il tracciato ferroviario di progetto interferisce con una serie di bacini idrografici, che seppur non caratterizzati da incisioni ben visibili sul territorio, possono dar luogo, per i tempi di ritorno di progetto, a portate non trascurabili (vedi relazione idrologica).

La presenza di lunghe trincee ferroviarie previste nel PFTE di prima fase richiede, per garantire la sicurezza dell'infrastruttura e dei passeggeri, un sistema di difesa idraulica a monte delle stesse (canali di gronda), in grado di intercettare e convogliare le acque di scorrimento superficiale (evitando che queste possano interessare la piattaforma ferroviaria) e allo stesso tempo non determinare un aumento dei livelli idrici a monte, rispetto alle condizioni ante-operam.

È stato valutato, che tale sistema di raccolta, avrebbe inevitabilmente determinato una concentrazione dei deflussi e, non potendo contare su dei recapiti idonei nel reticolo idrografico di superficie (praticamente inesistente), avrebbe richiesto la realizzazione di numerosi bacini di laminazione e condotte/canali di scarico a mare, con i conseguenti impatti sul territorio, sulle infrastrutture esistenti e sulle proprietà.

Pertanto, la direzione progettuale è stata quella di limitare il più possibile l'estensione delle trincee compatibilmente con le esigenze funzionali, geometriche, costruttive, economiche, di sicurezza e di esercizio della linea.

La riduzione delle trincee a fronte di un aumento delle gallerie artificiali, operato in questa fase, ha consentito di mitigare notevolmente l'impatto della linea sull'idrografia di superficie (oltre che sul territorio in generale), lasciandola inalterata per gran parte del tracciato e prevedendo il sistema di difesa precedentemente descritto, solo laddove non è risultato tecnicamente fattibile l'introduzione di tratti coperti (trincee di approccio, stazione e piazzale F.F.P.)

#### 5. Compatibilità Idraulica

Gli interventi in progetto sono stati analizzati con riferimento agli strumenti normativi vigenti in materia riportati di seguito:

- P.A.I.- Piano di Assetto Idrogeologico (2019)
- PRGA- Piano di Gestione delle Alluvioni (2016)

Nella Relazione di Piano vengono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica attraverso l'inquadramento e la caratterizzazione degli eventi alluvionali responsabili di conseguenze negative sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o semplicemente, che abbiano creato condizioni di disagio

o allarme. Tale individuazione è un importante strumento che ha condotto alla delimitazione delle aree a potenziale rischio inondazione.

Nella presente analisi è stato considerato anche lo studio sviluppato dall’Autorità di Bacino Pugliese “Analisi Delle Criticità Connesse alle Interferenze tra la Rete Infrastrutturale ed il Reticolo Idrografico Pugliese” (del 2015).

Come evidenziato dalle planimetrie di inquadramento della pericolosità e del rischio idraulico, **il tracciato in progetto non interferisce con aree a preesistente pericolosità** rispetto alle carte del PGRA (2016-2021) e del PAI (2020), che in quest’area coincidono.

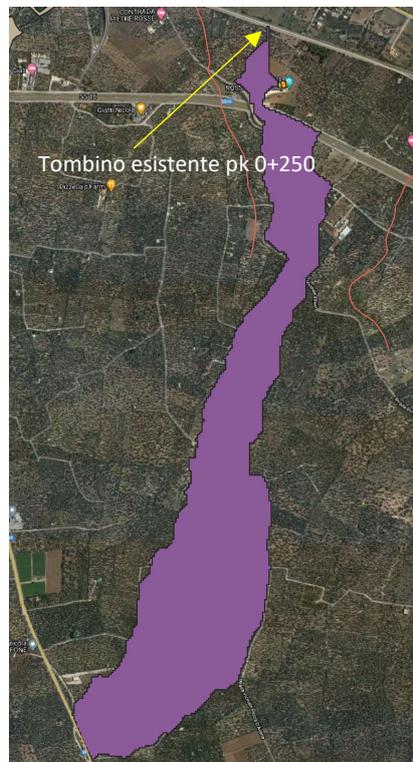


*Figura 3 - Inquadramento della pericolosità idraulica*

La compatibilità idraulica degli interventi in progetto è stata valutata anche in riferimento a quanto previsto dal Manuale di Progettazione ferroviaria RFI (RFI DTC SI CS MA IFS 001D) e dall’Aggiornamento delle Norme tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) e Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

I **tombini esistenti**, nei tratti di ricucitura sulla linea storica, per le quali non è stato previsto un rifacimento/adeguamento per motivi strutturali e che non rientrano all'interno di un'area di rischio idraulico (PAI/PGRA), né nell'archivio delle opere critiche redatto dal gestore della rete, non sono state verificate idraulicamente per il rispetto dei franchi delle NTC vigenti e Circolare sopra richiamata.

Tuttavia, per il **tombino esistente** alla pk 0+250, che si trova in un tratto in cui il progetto prevede la sostituzione del solo armamento, è stata comunque valutata una portata Tr200 anni con il metodo razionale e un tirante idrico di moto uniforme. Si è così potuto constatare che, seppur il tombino non rispetta i franchi delle attuali normative è in grado di smaltire la portata di progetto senza interessare il piano del ferro.



Superficie = 70 ha

Lunghezza asta = 2,7Km

Tc= 1,15hr

C= 0,3

Q200=  $(c \cdot i \cdot S / 360) = 5.6 \text{ mc/s}$

|  |   |                  |             |                   |                          |           |
|--|---|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><br><b>NODO DI BARI</b><br><br>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE |                  |             |                   |                          |           |
|  | RELAZIONE IDRAULICA E DI<br>COMPATIBILITA' IDRAULICA  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

Verifica moto uniforme:

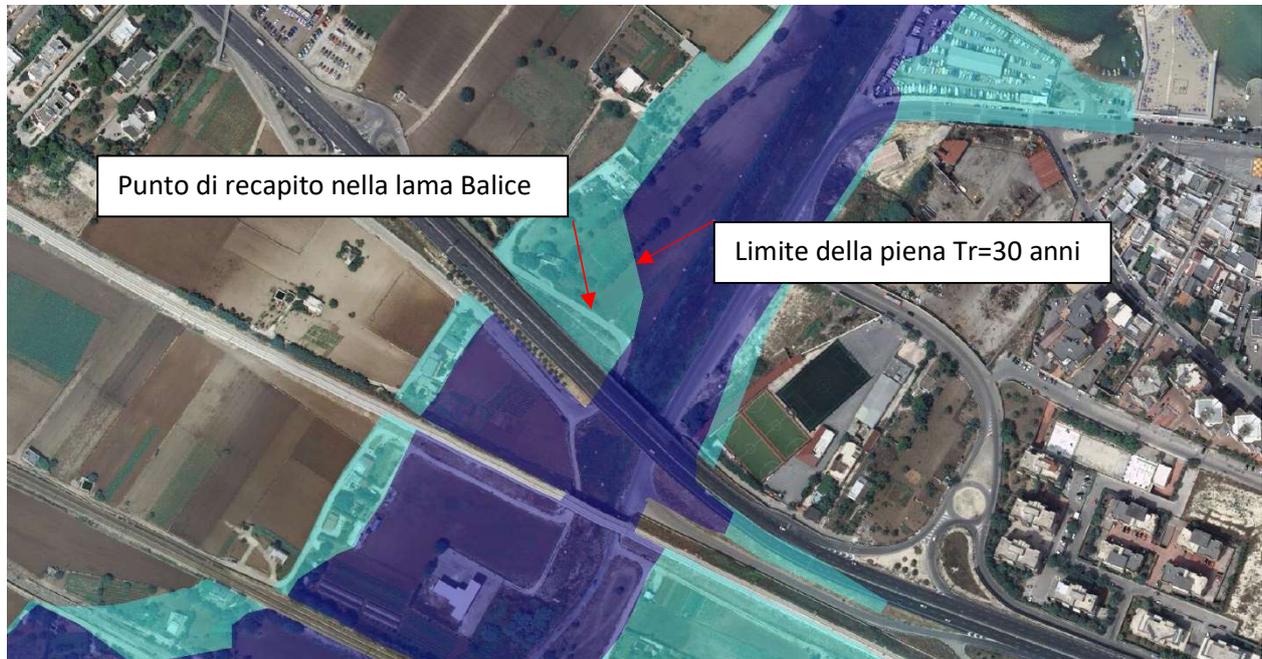
| TOMBINO ESISTENTE PK 0+250 |        |        |             |
|----------------------------|--------|--------|-------------|
| Quota d'imbocco            | $h_m$  |        | m           |
| Quota di sbocco            | $h_v$  |        | m           |
| Lunghezza canale           | $l$    |        | m           |
| Pendenza del canale        | $i$    | 0.0200 |             |
| Tirante idrico             | $h$    | 1.30   | m           |
| Larghezza di base          | $L$    | 1.00   | m           |
| Altezza massima            | $H$    | 1.40   | m           |
| Riempimento                | $h/H$  | 0.93   |             |
| Scabrezza di Strickler     | $k_s$  | 60     | $m^{1/3}/s$ |
| Area                       | $A$    | 1.301  | $m^2$       |
| Contorno bagnato           | $P$    | 3.60   | m           |
| Larghezza del pelo libero  | $B$    | 1.00   | m           |
| Raggio idraulico           | $R$    | 0.36   | m           |
| Coefficiente di resistenza | $\chi$ | 50.634 | $m^{0.5}/s$ |
| Portata                    | $q$    | 5.600  | $m^3/s$     |
| Velocità                   | $V$    | 4.304  | m/s         |

### 5.1 Compatibilità dei recapiti

Per quanto riguarda i recapiti finali, essi sono costituiti da un recapito a mare ed un recapito nella Lama Balice.

Il **recapito a mare** è relativo ad una lunga condotta (D1500mm) che inizia dallo scarico di fondo della vasca di laminazione IN06 posta a valle del sistema di difesa della stazione che si sviluppa interamente in trincea. La quota di scarico finale è fissata sopra il livello del mare, ed è prevista una scogliera per la protezione contro l'erosione, è stata inserita inoltre una valvola anti-riflusso per evitare ingresso di acqua di mare nella condotta, in caso di alta marea. La portata scaricata è di circa 6mc/s

Lo **scarico nella Lama Balice** è relativo al canale di gronda a difesa della trincea di approccio lato Bari ed avviene con un tombino doppia canna dotato di valvola anti-riflusso. La quota di scarico è fissata a circa 50cm sopra il livello di piena con  $T_r=30$  anni della Lama Balice, deducibile dalle carte PAI.



*Figura 4 - Punto di scarico nella Lama Balice con aree inondabili piena Tr 30 anni (PAI)*

Il punto di scarico è stato scelto a valle di tutte le opere di attraversamento presenti sulla Lama. L'opera di recapito è costituita da una scogliera in massi per evitare l'erosione localizzata allo scarico, che andrà dimensionata nelle successive fasi. Per quanto riguarda la compatibilità relativamente a tempi di ritorno di 200 anni, si ritiene non realistica una contemporaneità dei due picchi di piena relativi ai due bacini, in quanto la differenza tra le durate degli eventi critici dei due bacini è notevole (1,46 ore per il bacino di progetto e 12 ore circa per la Lama Balice). La portata scaricata Tr200 anni è di circa 17 mc/s. In ogni caso si prevede una valvola anti-riflusso che impedisca lo scarico durante eventi di piena più rari. Tutto il tratto di canale a monte del recapito ed interferente con l'area di esondazione della lama sarà realizzato con una copertura. Nelle fasi successive, sarà possibile ottimizzare le quote di scarico, anche contando su rilievi di dettaglio e ridurre gli impatti su eventuali adeguamenti altimetrici della viabilità secondaria.

SEZIONE LONGITUDINALE  
OPERA DI RECAPITO LAMA  
BALICE  
scala 1:50

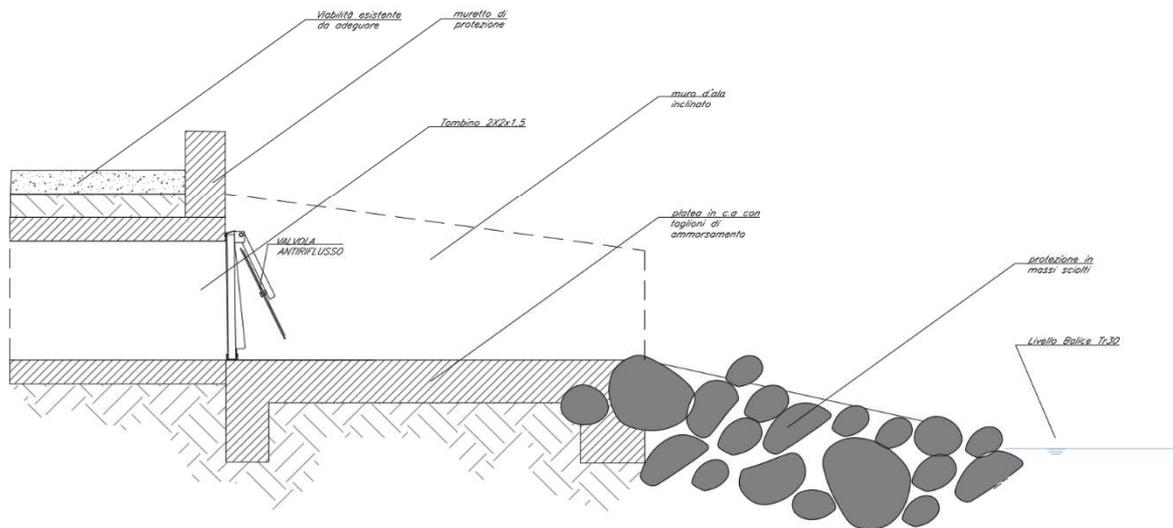


Figura 5 – Sezione longitudinale opera di recapito Lama Balice

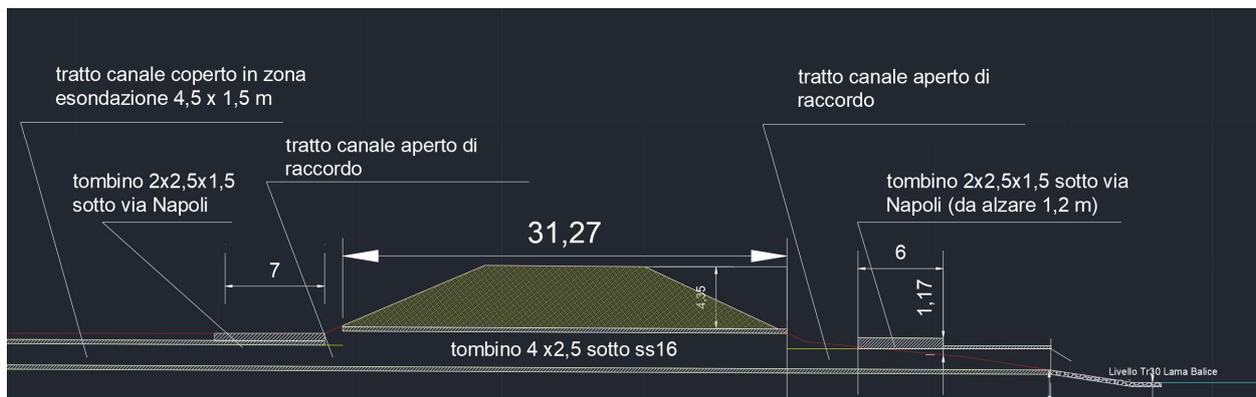


Figura 6 – Sezione longitudinale opera di recapito Lama Balice

|   |   |                  |             |                   |                          |           |
|---|---|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
|  | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><b>NODO DI BARI</b><br>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE |                  |             |                   |                          |           |
|   | RELAZIONE IDRAULICA E DI<br>COMPATIBILITA' IDRAULICA  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

## 6. Assunzioni progettuali principali

Per lo svolgimento delle verifiche idrauliche, è stato fatto riferimento ai seguenti criteri progettuali che tengono conto sia delle disposizioni normative sia di regole di buona progettazione:

- Tempo di ritorno verifica di tombini e canali di gronda: 200 anni
- Tempo di ritorno per la verifica del drenaggio di piattaforma e impianti di sollevamento: 100 anni
- Tempo di ritorno per la verifica dei bacini di laminazione: 200 anni
- Tempo di ritorno per la verifica di “black out” dell’impianto di sollevamento in corda molle: 100 anni (durata 1 ora).
- Massimo riempimento tombini ferroviari e stradali: 2/3 della luce.
- Massimo riempimento collettore idraulici di grande diametro: 70%
- Franco minimo canali di gronda e vasche: 0,2 m/90%
- Velocità massima canali e collettori: 5 m/s
- Velocità minima canalette: 0,6 m/s

Scabrezze:

Tombini e canali cls:  $K_s = 66.6 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Collettori CLS:  $K_s = 80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Collettori PEAD:  $K_s = 90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

## 7. Input meteorico

Per la definizione delle portate transitanti nei sistemi di drenaggio si utilizza il metodo cinematico, a partire dalla curva di possibilità pluviometrica relativa ad un tempo di ritorno pari a 100 anni per la piattaforma ferroviaria (come da prescrizioni del manuale RFI/Italferr).

I parametri caratteristici di tale curva sono ottenuti partendo dall’analisi idrologica riportata nella relativa relazione idrologica. Nelle seguenti tabelle vengono rappresentati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica per tempi inferiori e superiori all’ora.

| Metodo       | Tr (anni)                        | 25    | 50    | 100   | 200    | n (-) |
|--------------|----------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Frechet Bari | $a \text{ (mm/ore}^{-n}\text{)}$ | 59.03 | 72.39 | 88.46 | 108.46 | 0.227 |

Tabella 1 - Curva IDF di progetto  $t > 1h$ .

|  |   |                  |             |                   |                          |           |
|--|---|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><br><b>NODO DI BARI</b><br><br>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE |                  |             |                   |                          |           |
|  | RELAZIONE IDRAULICA E DI<br>COMPATIBILITA' IDRAULICA  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

| Metodo       | Tr (anni)         | 25    | 50    | 100   | 200    | n (-) |
|--------------|-------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Frechet Bari | $a (mm/ore^{-n})$ | 59.03 | 72.39 | 88.46 | 108.46 | 0.227 |

Tabella 2 - Curva IDF di progetto per  $t < 1h$ .

## 8. Metodologia delle verifiche idrauliche

### 8.1 Metodo cinematico

Le portate pluviali sono state calcolate con il metodo della corrivazione; tale metodo è conforme alle indicazioni riportate sul "Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie".

Le portate sono state calcolate con la formula razionale:

$$Q(T) = 278 \cdot \Phi \cdot A_b \cdot i(t_c, T)$$

in cui:

$Q(T)$ , è la massima portata al colmo dell'anno, in  $m^3/s$ , relativa al tempo di ritorno  $T$ ,

$T$ , è il tempo di ritorno di progetti, in anni,

$A_b$ , è l'area del bacino in esame, in  $km^2$ ,

$t_c$ , è il tempo di concentrazione, in h, parametro che regola la concentrazione dei deflussi,

$i(t_c, T)$ , è l'intensità di pioggia di durata  $t_c$ , in  $mm/h$ , con tempo di ritorno di progetto,

$\Phi$ , è il coefficiente di deflusso, parametro che rappresenta le perdite idrologiche:

0.90 piattaforma ferroviaria

0.80 per la pavimentazione drenante

0.30 bacino esterno

0.50 per i rilevati in progetto

Il tempo di concentrazione dei bacini in esame è determinato con la formula seguente:

$$t_c = t_r + t_p$$

con il seguente significato dei simboli:

$t_c$ , tempo di concentrazione (s),

$t_r$ , tempo medio impiegato dalla particella liquida per raggiungere, per ruscellamento superficiale o scorrimento nelle incisioni naturali, il collettore o canale in esame, variabile tra 300 e 900 s.

|   |   |                  |             |                   |                          |           |
|---|---|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
|  | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><b>NODO DI BARI</b><br>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE |                  |             |                   |                          |           |
|   | RELAZIONE IDRAULICA E DI<br>COMPATIBILITA' IDRAULICA  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

tp, tempo di percorrenza nel collettore o canale in esame, funzione della velocità di scorrimento dell'acqua, in s.

In particolare, data l'estensione delle aree contribuenti e lo sviluppo della rete di drenaggio, il tempo di corrivazione è stato determinato con la formula cinematica sopra definita, con un valore minimo pari a 10', dato che tempi inferiori non sarebbero realisticamente validi.

## 8.2 Verifica in moto uniforme

Definiti i parametri pluviometrici e il metodo di trasformazione afflussi/deflussi, si effettua il dimensionamento delle opere idrauliche in progetto. La verifica idraulica degli specchi in progetto viene effettuata valutando le altezze idriche e le velocità relative alle portate di progetto tramite l'espressione di Chezy:

$$V = k * \sqrt{R * i} \quad \text{Eq. 12}$$

e l'equazione di continuità

$$Q = \sigma V \quad \text{Eq. 13}$$

dove K, il coefficiente di scabrezza, è stato valutato secondo la formula di Gaukler-Strickler:

$$K = K_s R^{1/6} \quad \text{Eq. 14}$$

ottenendo:

$$Q = A K_s R^{2/3} i^{1/2} \quad \text{Eq. 15}$$

dove:

$Q$  la portata (m<sup>3</sup>/s)

$i$  la pendenza media del fosso (m/m);

$A$  la sezione idrica (m<sup>2</sup>);

$K_s$  il coefficiente di scabrezza di Gaukler-Strickler,

$R$  il raggio idraulico pari al rapporto tra sezione idrica e perimetro bagnato (m).

In base alle relazioni di cui sopra, sarà possibile verificare le differenti opere idrauliche, tenendo conto dei seguenti vincoli di progetto:

- la velocità minima di moto uniforme non deve essere inferiore a 0,5÷0,6 m/s, al fine di evitare il deposito di sedimenti sul fondo;
- la velocità massima non deve essere maggiore di 5 m/s, al fine di contenere i fenomeni di abrasione (Circolare n. 11633 del 07.01.1974 del Ministero dei Lavori Pubblici);
- il grado di riempimento, per le opere idrauliche connesse alla piattaforma ferroviaria, deve essere non superiore al 70% per diametri maggiori o uguali al DN500;

|  | <p><b>PROGETTO PRELIMINARE</b></p> <p><b>NODO DI BARI</b></p> <p>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p>   |           |             |           |           |      |        |      |    |      |             |   |          |
|---|--|-----------|-------------|-----------|-----------|------|--------|------|----|------|-------------|---|----------|
| <p>RELAZIONE IDRAULICA E DI<br/>COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7X</td> <td>00</td> <td>R 10</td> <td>RGID0002001</td> <td>A</td> <td>16 di 53</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA  | LOTTO       | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IA7X | 00 | R 10 | RGID0002001 | A | 16 di 53 |
| COMMESSA  | LOTTO  | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV.      | FOGLIO    |      |        |      |    |      |             |   |          |
| IA7X  | 00   | R 10      | RGID0002001 | A         | 16 di 53  |      |        |      |    |      |             |   |          |

- il grado di riempimento per le opere idrauliche deve essere non superiore al 50% per le condotte con DN minore di 500 mm.

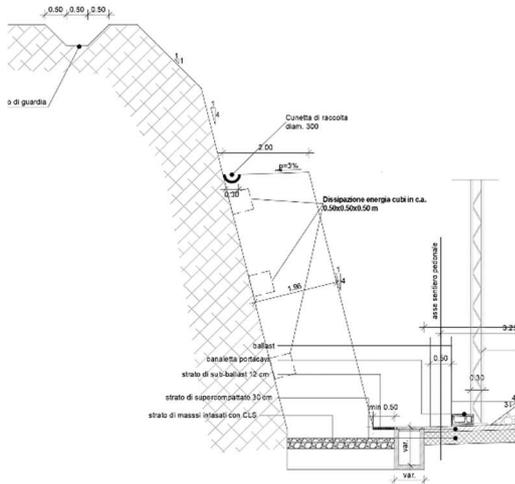
Il calcolo del grado di riempimento e delle velocità all'interno degli elementi idraulici verrà effettuato mediante l'utilizzo delle scale di deflusso.

## 9. Acque meteoriche ricadenti sulla piattaforma ferroviaria

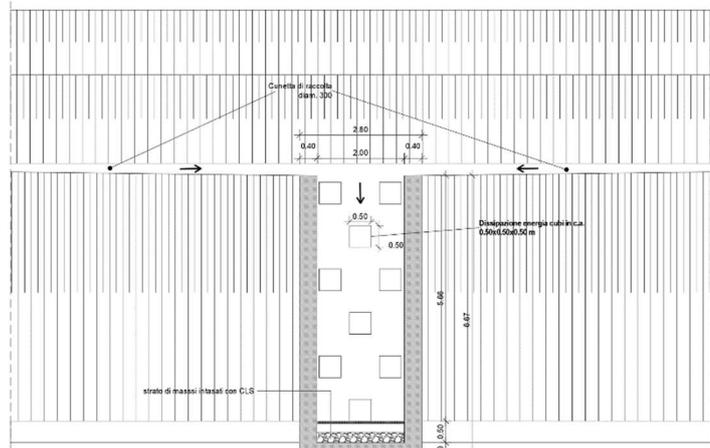
Il sistema di drenaggio di piattaforma è relativo ai contributi meteorici che si hanno nei tratti in trincea ed in rilevato.

In trincea, le canalette poste ai margini della piattaforma convogliano le acque della ferrovia e delle scarpate, indirizzandole agli impianti di sollevamento posti agli imbocchi di tutte le gallerie artificiali.

Solo in un caso, laddove è presente una galleria con punto di minimo interno, l'impianto di sollevamento viene ubicato in corrispondenza del punto di minimo. In questo caso viene anche realizzato un volume di invaso che tenga conto di un eventuale blackout ed in grado di immagazzinare un volume di acqua relativo alle superfici scolanti afferenti per un evento con durata 1 ora e tempo di ritorno 100 anni. Qualora la trincea sia profonda e dotata di banca intermedia, questa sarà dotata di una canaletta semicircolare a ridosso della scarpata, mentre la banca avrà una pendenza trasversale verso la canaletta stessa. Laddove la canaletta di scolo della banca non possa recapitare al di fuori della trincea, saranno previsti degli "scivoli" per far confluire le acque all'interno delle canalette posta a quota piattaforma. Si stima che tali scivoli dovranno essere disposti ad un interasse massimo di 90m ma potrà essere necessario un passo più frequente in funzione della pendenza longitudinale assegnabile alla banca.



*Figura 7 - Sezione cunetta di scarico semicircolare, scivolo dotato di cubi in cls e canaletta posta a quota piattaforma*



*Figura 8 - Prospetto cunetta di scarico semicircolare, scivolo dotato di cubi in cls e canaletta di scarico posta a quota piattaforma*

Nei tratti in rilevato, le acque meteoriche defluiscono al cordolo bituminoso di delimitazione del ciglio ferroviario e da questo al fosso di guardia tramite embrici; sul lato del rilevato in cui è presente il canale di gronda, gli embrici scaricheranno direttamente all'interno di esso, mentre sul lato opposto la sezione del fosso di guardia è quella standard trapezoidale.

Il recapito dei tratti in rilevato è costituito dalla vasca di laminazione IN04.

## 10. Verifiche canalette ferroviarie

La verifica delle canalette ferroviarie è stata effettuata per un tempo di ritorno massimo pari a 100 anni. Sono state verificate solo le canalette nella condizione idraulica peggiore, cioè quelle con pendenza minima e massima. Nella tabella seguente sono rappresentati i parametri idraulici per ciascuna di esse.

| Verifica canalette |       |                          |                              |         |         |        |          |
|--------------------|-------|--------------------------|------------------------------|---------|---------|--------|----------|
| TRATTO             | L (m) | A <sub>tratto</sub> (ha) | A <sub>tratto rid</sub> (ha) | J (m/m) | V (m/s) | GR (%) | TIPO     |
| Canaletta U imin   | 1525  | 1.05                     | 0.94                         | 0.0009  | 0.70    | 67.4   | U 60x100 |
| Canaletta U imax   | 1680  | 0.39                     | 0.35                         | 0.012   | 1.67    | 38.8   | U 50X50  |

*Tabella 3 – Verifica canalette.*

## 11. Verifiche impianti di sollevamento

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche delle trincee in progetto e il calcolo delle portate per il dimensionamento degli impianti di sollevamento.

È stato inoltre calcolato il volume di compenso utilizzando il metodo cinematico delle vasche di laminazione.

### METODO CINEMATICO O DELLA CORRIVAZIONE

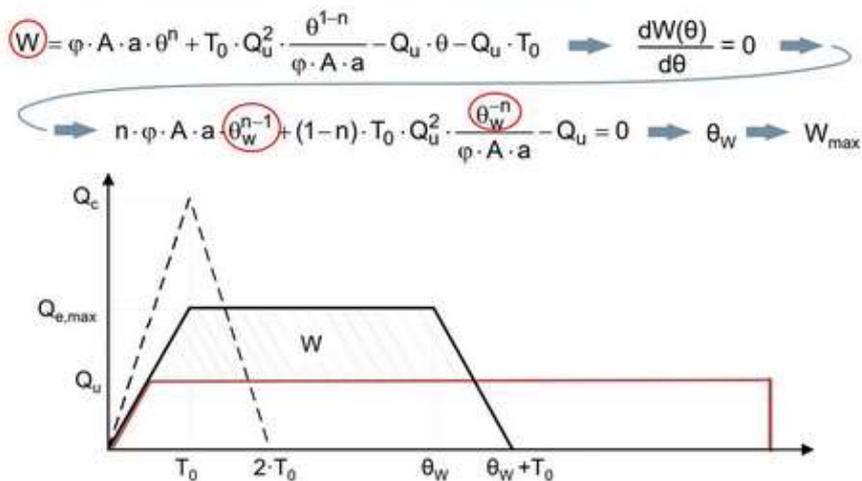


Figura 9 – Schema di calcolo metodo cinematico o della corrivazione.

Per tutte le vasche è stato considerato il volume massimo di 120 mc.

Per l'impianto alla pk 2+000, in cui si ha un punto di minimo in galleria, è stato considerato un volume di invaso stimato considerando un blackout di 1 ora con una curva di pioggia Tr 100 anni.

| Caratteristiche trincea |       |                          |                              |               |   |
|-------------------------|-------|--------------------------|------------------------------|---------------|---|
| Impianto                | Pk    | L <sub>trincea</sub> (m) | h <sub>max trincea</sub> (m) | Largh.max (m) | A <sub>affrente</sub> (m <sup>2</sup> ) |
| 1                       | 2+000 | 500                      | 12                           | 33            | 16500                                   |
| 3                       | 4+843 | 351                      | 12                           | 33            | 11583                                   |
| 4                       | 5+243 | 233                      | 12                           | 33            | 7689                                    |
| 5                       | 6+100 | 225                      | 10                           | 28            | 6300                                    |
| 6                       | 6+625 | 300                      | 10                           | 28            | 8400                                    |
| 7                       | 9+778 | 590                      | 8                            | 27            | 15930                                   |

Tabella 4 – Caratteristiche trincea.

| Calcolo portate e caratteristiche impianto |              |             |                       |                        |                               |               |            |
|--|--------------|-------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|---------------|------------|
| t.acc (h)                                  | t.rete (min) | t.corr(min) | Q <sub>p</sub> (mc/s) | V <sub>comp</sub> (mc) | Q <sub>soll, max</sub> (mc/s) | Pr. geod. (m) | L prem.(m) |
| 5  | 8            | 13          | 1.17                  | 1500                   | 0.3                           | 15            | 200        |
| 5  | 6            | 11          | 0.96                  | 50                     | 0.7                           | 11            | 120        |
| 5  | 4            | 9           | 0.75                  | 100                    | 0.3                           | 11            | 30         |
| 5  | 4            | 9           | 0.62                  | 60                     | 0.3                           | 12            | 30         |
| 5  | 5            | 10          | 0.74                  | 120                    | 0.3                           | 11            | 100        |
| 5  | 10           | 15          | 1.04                  | 60                     | 0.7                           | 10            | 30         |

Tabella 5 – Calcolo portate e caratteristiche impianto.

| Stima Volume Black out |          |
|------------------------|----------|
| durata ore             | 1        |
| Superficie (mq)        | 42072    |
| Hpioggia (m)           | 0.08864  |
| Volume BlackOut (mc)   | 3369.262 |

Tabella 6 – Stima volumi di Blackout

## 12.Verifiche Canali di gronda

La verifica delle canalette ferroviarie è stata effettuata per un tempo di ritorno massimo pari a 200 anni. I bacini dei canali sono rappresentati nella figura seguente.

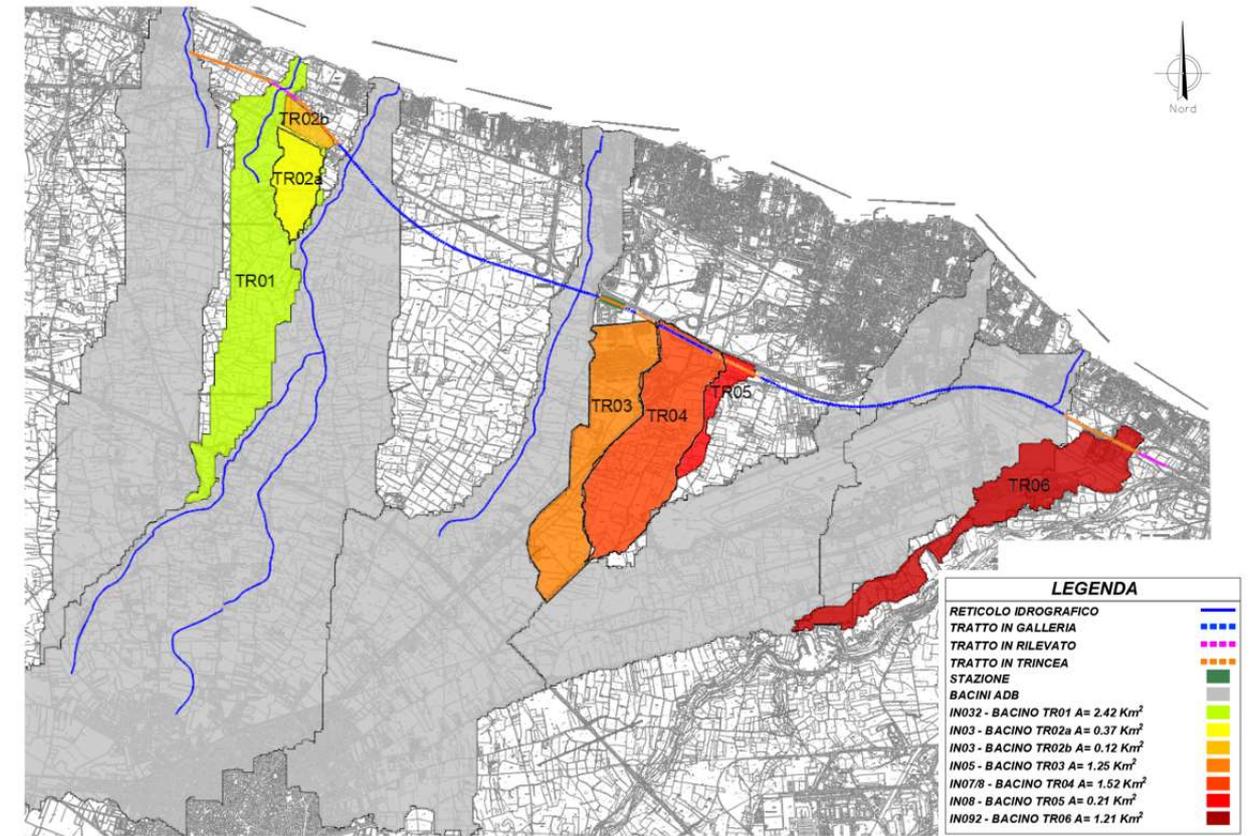


Figura 10 – Bacini idrografici estratti dal modello digitale del terreno.

| Verifica canali di gronda      |       |         |          |         |        |             |
|--------------------------------|-------|---------|----------|---------|--------|-------------|
| TRATTO                         | L (m) | J (m/m) | Q (m³/s) | V (m/s) | GR (%) | TIPO        |
| C. gronda (TR02a+TR02b) – IN03 | 731   | 0.005   | 11.7     | 3.481   | 42%    | R 4000X2000 |
| C. gronda (TR03) – IN05        | 402   | 0.005   | 19.4     | 4.142   | 78%    | R 3000X2000 |
| C. gronda (TR05) – IN08        | 451   | 0.005   | 5.2      | 2.838   | 31%    | R 3000X2000 |
| C. gronda (TR06) – IN09        | 712   | 0.0055  | 17.5     | 4.033   | 78%    | R 2000X3000 |

Tabella 7 – Verifica canali di gronda.

|  | <p><b>PROGETTO PRELIMINARE</b></p> <p><b>NODO DI BARI</b></p> <p>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p>   |           |             |           |           |      |        |      |    |      |             |   |          |
|---|--|-----------|-------------|-----------|-----------|------|--------|------|----|------|-------------|---|----------|
| <p>RELAZIONE IDRAULICA E DI<br/>COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7X</td> <td>00</td> <td>R 10</td> <td>RGID0002001</td> <td>A</td> <td>21 di 53</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA  | LOTTO       | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IA7X | 00 | R 10 | RGID0002001 | A | 21 di 53 |
| COMMESSA  | LOTTO  | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV.      | FOGLIO    |      |        |      |    |      |             |   |          |
| IA7X  | 00   | R 10      | RGID0002001 | A         | 21 di 53  |      |        |      |    |      |             |   |          |

### 13. Modellazione bidimensionale

Con lo scopo di verificare gli effetti delle opere in progetto, nei confronti delle aree circostanti durante eventi di pioggia con  $T_r = 200$  anni, e allo stesso tempo valutare l'efficacia delle opere di difesa previste a presidio della linea ferroviaria, sono stati sviluppati dei modelli bidimensionali in corrispondenza delle incisioni classificate dal reticolo idrografico ufficiale ed interferenti con la linea di progetto. Poiché, per l'incisione 3, non è prevista la realizzazione di opere fuori terra e l'area di deflusso è ben confinata dalle infrastrutture esistenti, si avrebbe configurazione ante-post del tutto analoga, pertanto non è stato sviluppato in questa fase il modello 2D per questa incisione.

Data la caratteristica del territorio, in cui non è semplice individuare esattamente le incisioni, se non con linee di impluvio molto appiattite ed apprezzabili solo attraverso un'analisi del DTM, si è deciso di ricorrere allo strumento di modellazione "rain-on-grid" reso disponibile da HEC-RAS ed implementato nell'ultima versione del software. Tale tool consente di riprodurre il fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi (incluse perdite idrologiche), inserendo come input uno ietogramma di progetto anziché un'idrogramma.

Il modello è in grado quindi di riprodurre il percorso della pioggia che cade nel dominio di calcolo, ovviamente l'effetto grafico sarà quello di visualizzare aree allagate molto più estese rispetto al classico modello 2D, in quanto tiranti idrici seppur piccoli saranno presenti su tutta l'area della griglia interessata da precipitazione. Tuttavia, il giudizio dei risultati sarà operato sul confronto ante-post e pertanto questo aspetto sarà influente.

#### 13.1 Metodologia operativa

Nel presente capitolo sono esposti gli *steps* operativi che hanno permesso la determinazione dei parametri idrologici ed idraulici necessari a valutare la compatibilità idraulica dell'attraversamento ferroviario in progetto sulla linea Foggia-Bari. Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento (esistenti, nel caso specifico) devono osservare le prescrizioni del Manuale di Progettazione RFI (MdP), nonché le indicazioni riportate nelle Nuove NTC2018 (e nella relativa circolare applicativa del 7 gennaio 2019).

- 1) **Analisi Morfologica** ha permesso di determinare i bacini idrografici afferenti all'opera in progetto.
- 2) **Analisi Idrologica** ha consentito di determinare le caratteristiche idrologiche dei bacini nonché le altezze di pioggia critiche nei singoli bacini.
- 3) **Analisi Idraulica** ha individuato l'esatta estensione delle aree allagate in corrispondenza dei vari tempi di ritorno definiti dalla normativa sia relativamente allo stato dei luoghi che relativamente alla condizione postintervento.

|  | <p><b>PROGETTO PRELIMINARE</b></p> <p><b>NODO DI BARI</b></p> <p>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p>   |           |             |           |           |      |        |      |    |      |             |   |          |
|---|--|-----------|-------------|-----------|-----------|------|--------|------|----|------|-------------|---|----------|
| <p>RELAZIONE IDRAULICA E DI<br/>COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7X</td> <td>00</td> <td>R 10</td> <td>RGID0002001</td> <td>A</td> <td>22 di 53</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA  | LOTTO       | FASE-ENTE | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IA7X | 00 | R 10 | RGID0002001 | A | 22 di 53 |
| COMMESSA  | LOTTO  | FASE-ENTE | DOCUMENTO   | REV.      | FOGLIO    |      |        |      |    |      |             |   |          |
| IA7X  | 00   | R 10      | RGID0002001 | A         | 22 di 53  |      |        |      |    |      |             |   |          |

### 13.2 Analisi morfologica

Il territorio comunale di Bari è caratterizzato dalla presenza di una vasta rete di reticoli idrografici che alimentano i bacini delle lame principali del territorio provinciale;

Lo sviluppo planimetrico dei bacini idrografici è stato definito attraverso l'utilizzo di QGIS sulla base di un rilievo laseraltimetrico LIDAR con risoluzione 1x1 m. Una volta estratti i bacini idrografici si è pertanto proceduto al calcolo delle corrispondenti caratteristiche morfometriche.

Nelle figure 6 (precedente), si riportano i bacini idrografici dei corsi d'acqua interferenti con l'intervento in progetto.

### 13.3 Analisi idrologica

L'input idrologico necessario al corretto funzionamento del modello 2D è stato determinato, sulla base dello studio idrologico annesso al presente progetto, al quale si rimanda per maggiori dettagli. L'input idrologico verrà descritto in dettaglio successivamente nel paragrafo riguardante le condizioni al contorno del modello.

### 13.4 Implementazione del modello numerico idraulico

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello bidimensionale è il software Hec-Ras 6.0 sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione nel 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. 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 stramazzo 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.
- *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

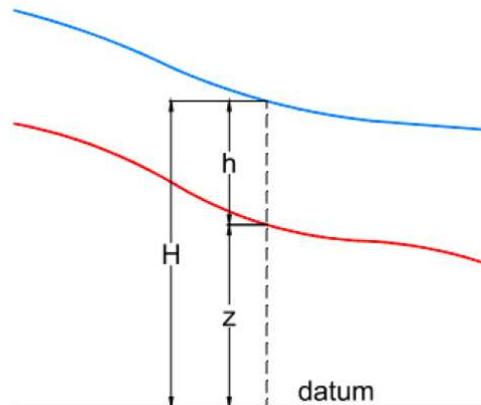


Figura 11 – Software Hec Ras 6.0 : sistema di riferimento.

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 8).

**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.

**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,  $\nu_t$  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:

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

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.

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 invaso 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.

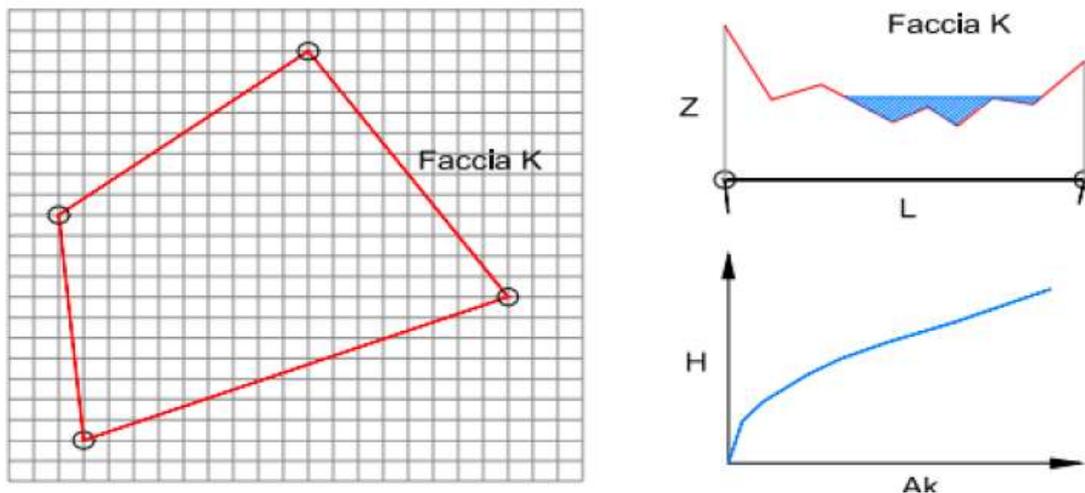


Figura 12 – Software Hec Ras 6.0: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Ras sulle facce del bordo della cella.

La nuova versione 6.0 beta del software HEC-RAS è stata rilasciata in forma definitiva, questa versione contiene una serie di importanti novità e aggiornamenti rispetto alle precedenti, di seguito si riportano un elenco delle principali nuove funzionalità del software:

- inserimento dei ponti nelle aree 2D;
- nuove possibilità di modificare il modello digitale del terreno direttamente nel Mapper;
- miglioramenti nella gestione della generazione della maglia di calcolo all'interno delle aree 2D;
- utilizzo di mappe di pioggia come condizione al contorno sulle aree 2D insieme alla possibilità di utilizzare tre diversi metodi di calcolo della pioggia netta (SCS Curve Number, Deficit and Constant e Green Ampt);
- simulazione del trasporto solido anche nei modelli bidimensionali;
- modellazione di colate detritiche;
- possibilità di utilizzo di nuovi metodi di calcolo per la modellazione mono e bidimensionale che permettono una maggiore stabilità e velocità nell'esecuzione della simulazione;
- visualizzazione tridimensionale dei risultati;
- potenziamento dei modelli fisici per la modellazione del dam break.

**Nel nostro specifico caso la modellazione verrà effettuata utilizzando le piogge mediante la nuova funzionalità di calcolo della pioggia netta su una determinata mesh2d con il metodo dell'SCS.**

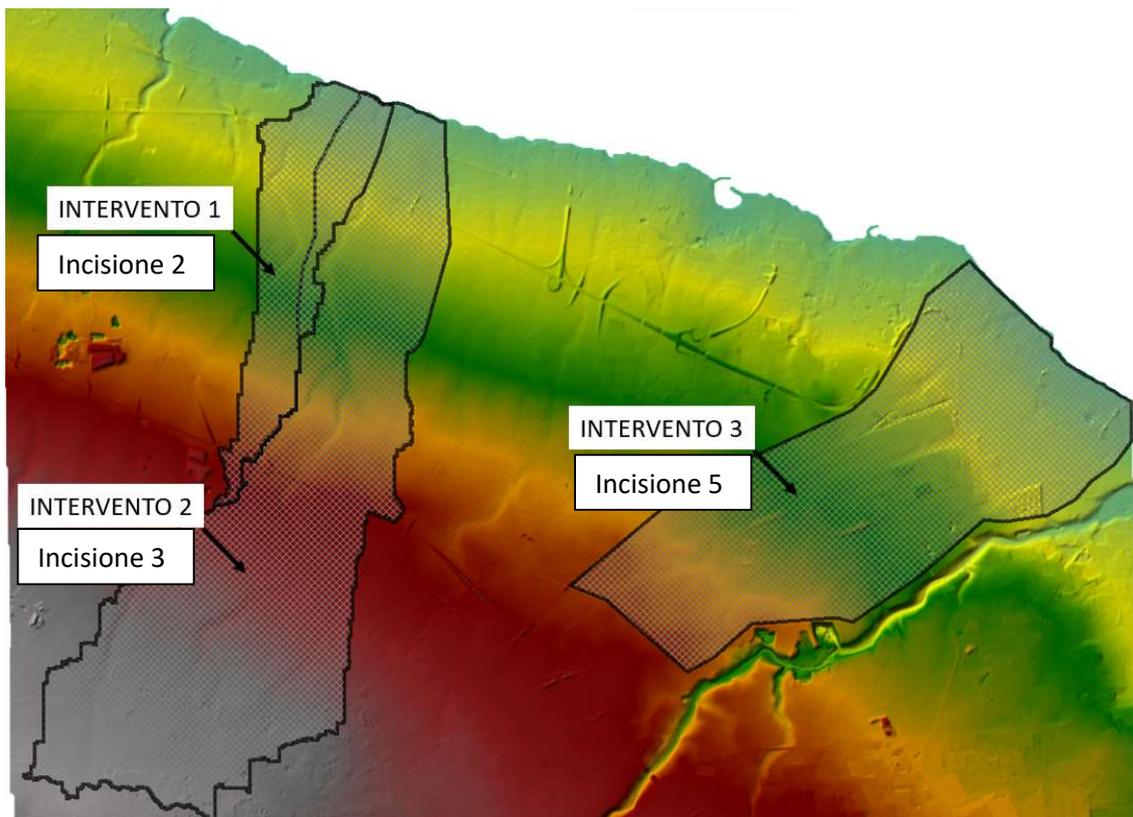
|   |   |                  |             |                   |                          |           |
|---|---|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
|  | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><b>NODO DI BARI</b><br>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE |                  |             |                   |                          |           |
|   | RELAZIONE IDRAULICA E DI<br>COMPATIBILITA' IDRAULICA  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

### 13.5 Geometria del modello

#### Creazione della mesh di calcolo

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 piano 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.

Sono stati realizzate tre mesh di calcolo per tre differenti modelli rappresentati nelle figure sottostanti. La geometria del modello sopra introdotta è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l'area di studio, precedentemente descritti. Il perimetro della mesh di calcolo è stato costruito sulla base dei bacini afferenti i canali di gronda.



*Figura 13 – Mesh di calcolo per i singoli interventi.*

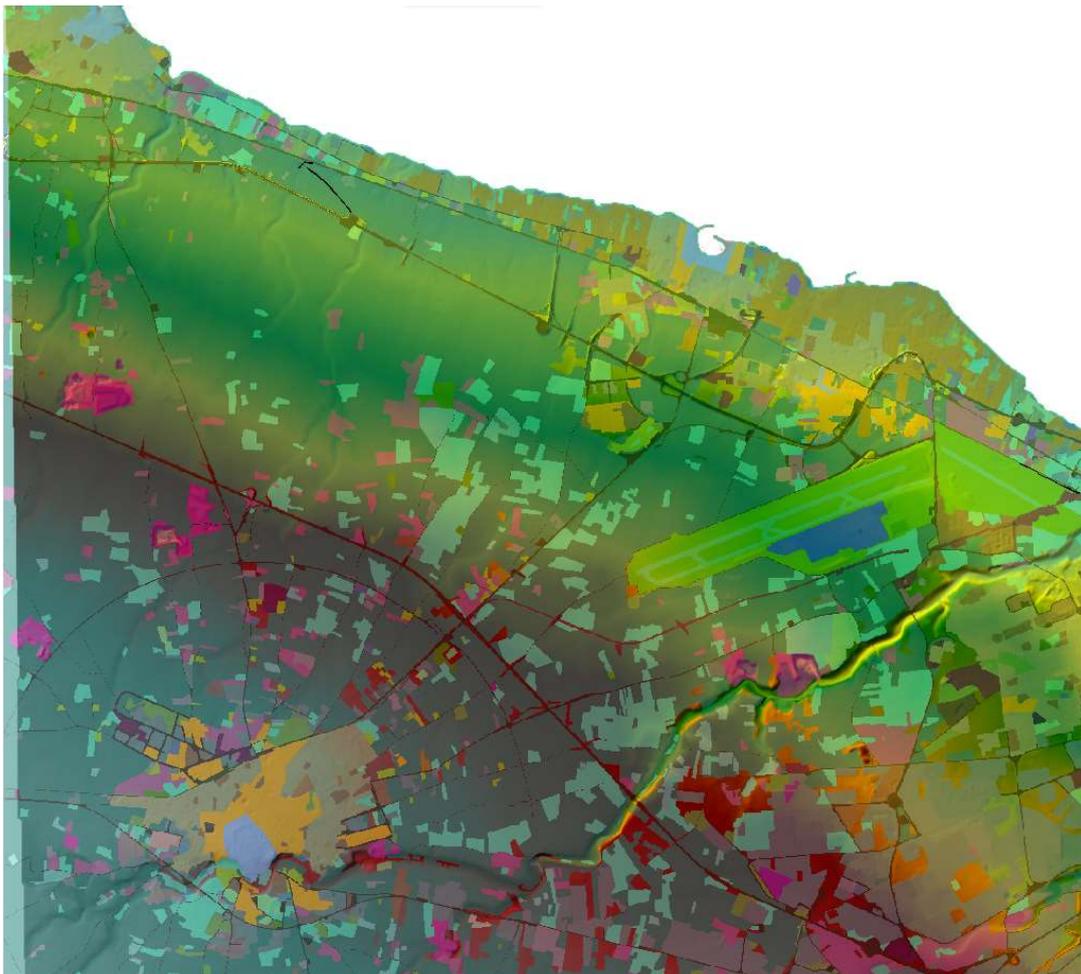
La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo mediante l'utilizzo di braklines, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza

|   |   |                  |             |                   |                          |           |
|---|---|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
|  | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><b>NODO DI BARI</b><br>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE |                  |             |                   |                          |           |
|   | RELAZIONE IDRAULICA E DI<br>COMPATIBILITA' IDRAULICA  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, muri ,rilevati, etc.

### Scabrezze

Per una simulazione più accurata dopo avere generato e inserito all'interno del programma il terreno digitalizzato può essere utile associare a quest'ultimo e quindi alle aree 2D dei valori di scabrezza variabili che simulino l'eterogeneità reale delle aree inondabili nei confronti del deflusso. Questa variabilità spaziale viene creata mediante uno shapefile e inserita all'interno di HEC-RAS nel RAS Mapper. Successivamente mediante l'apposita finestra si assegnano i vari land use alle singole aree. Nell'immagine di seguito riportata si possono osservare i vari land use a cui corrispondono diversi valori di scabrezza che andranno a modificare le caratteristiche del deflusso all'interno della simulazione, come ad esempio velocità dell'acqua.



*Figura 14 - Shapefile del coefficiente di manning*

| land use  | n    | land use  | n     |
|---|------|---|-------|
| aree estrattive   | 0.02 | cantieri e spazi in costruzione e scavi                                       | 0.06  |
| vigneti   | 0.06 | pista   | 0.02  |
| aree sportive (calcio, atletica, tennis, etc)                                   | 0.02 | tessuto residenziale continuo antico e denso                                  | 0.03  |
| aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali | 0.1  | depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli                   | 0.02  |
| sistemi colturali e particellari complessi                                      | 0.17 | aree aeroportuali ed eliporti   | 0.22  |
| suoli rimaneggiati e artefatti  | 0.02 | insediamento in disuso  | 0.06  |
| aree portuali   | 0.02 | insediamenti produttivi agricoli  | 0.06  |
| superfici a copertura erbacea densa   | 0.06 | reti ferroviarie comprese le superfici annesse                                | 0.02  |
| insediamento industriale o artigianale con spazi annessi                        | 0.06 | reti stradali e spazi accessori   | 0.017 |
| tessuto residenziale discontinuo  | 0.18 | cimiteri  | 0.06  |
| seminativi semplici in aree non irrigue   | 0.17 | insediamenti ospedalieri  | 0.03  |
| insediamento degli impianti tecnologici   | 0.03 | colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree irrigue     | 0.17  |
| tessuto residenziale continuo, denso recente, alto                              | 0.18 | hangar e strutture aeroportuali   | 0.16  |
| tessuto residenziale sparso   | 0.06 | reti ed aree per la distribuzione, la produzione e il trasporto dell'energia  | 0.02  |
| aree verdi urbane   | 0.22 | insediamento commerciale  | 0.03  |
| uliveti   | 0.06 | campeggi, strutture turistiche ricettive a bungalows o simili                 | 0.06  |
| insediamento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati                  | 0.03 | colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree non irrigue | 0.17  |
| frutteti e frutti minori  | 0.06 | tessuto residenziale continuo, denso recente e basso                          | 0.03  |
| colture temporanee associate a colture permanenti                               | 0.17 | tessuto residenziale rado e nucleiiforme                                      | 0.16  |

*Tabella 8 – Tabella coefficienti di manning.*

### Calcolo della pioggia netta con il metodo SCS

Utilizzando l'uso suolo della regione Puglia in ambiente GIS è stato possibile associare i valori di CN ad ogni tipologia di land use. Le perdite iniziali dovute all'intercettazione (Ia) sono state assunte pari a 0.2.

La seguente tabella è stata caricata sul Ras Mapper mediante l'inserimento dello shaperfile uso suolo.

| land use  | CN | Ia  |
|---|----|-----|
| aree estrattive   | 76 | 0.2 |
| vigneti   | 85 | 0.2 |
| aree sportive (calcio, atletica, tennis, etc)                                   | 93 | 0.2 |
| aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali | 85 | 0.2 |
| sistemi colturali e particellari complessi                                      | 91 | 0.2 |
| suoli rimaneggiati e artefatti  | 78 | 0.2 |
| aree portuali   | 93 | 0.2 |
| superfici a copertura erbacea densa   | 74 | 0.2 |
| insediamento industriale o artigianale con spazi annessi                        | 86 | 0.2 |
| tessuto residenziale discontinuo  | 84 | 0.2 |
| seminativi semplici in aree non irrigue   | 91 | 0.2 |
| insediamento degli impianti tecnologici   | 83 | 0.2 |
| tessuto residenziale continuo, denso recente, alto                              | 86 | 0.2 |
| tessuto residenziale sparso   | 83 | 0.2 |
| aree verdi urbane   | 76 | 0.2 |
| uliveti   | 85 | 0.2 |
| insediamento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati                  | 83 | 0.2 |
| frutteti e frutti minori  | 85 | 0.2 |
| colture temporanee associate a colture permanenti                               | 85 | 0.2 |

*Tabella 9 – Tabella coefficienti Curve Number e Ia.*

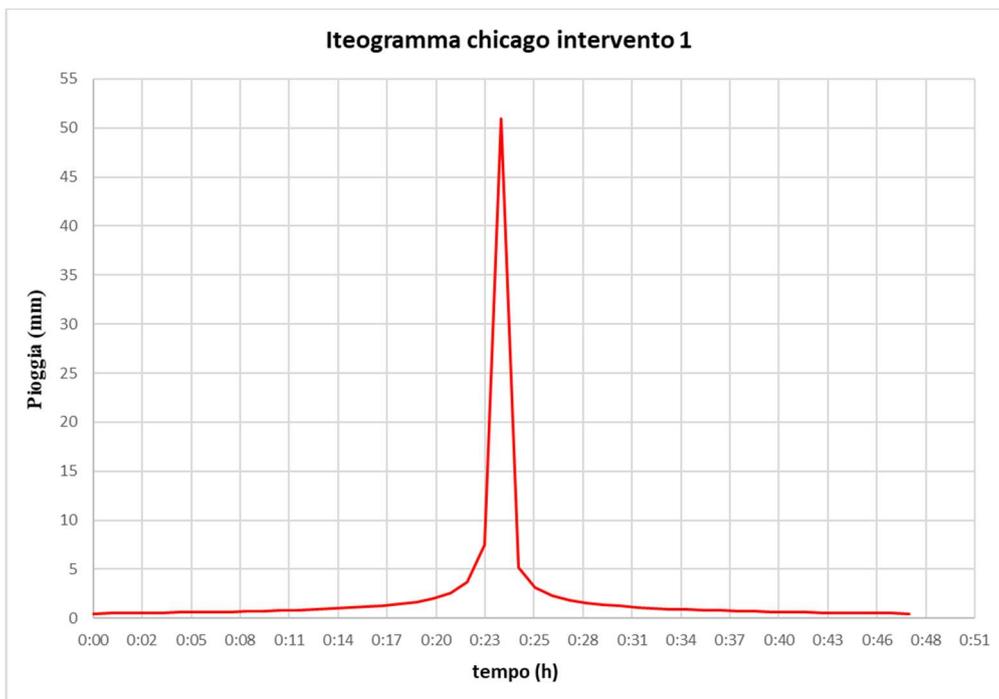
| land use  | CN | la  |
|---|----|-----|
| cantieri e spazi in costruzione e scavi                                       | 92 | 0.2 |
| pista   | 98 | 0.2 |
| tessuto residenziale continuo antico e denso                                  | 93 | 0.2 |
| depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli                   | 99 | 0.2 |
| aree aeroportuali ed eliporti   | 76 | 0.2 |
| insediamento in disuso  | 83 | 0.2 |
| insediamenti produttivi agricoli  | 85 | 0.2 |
| reti ferroviarie comprese le superfici annesse                                | 99 | 0.2 |
| reti stradali e spazi accessori   | 99 | 0.2 |
| cimiteri  | 83 | 0.2 |
| insediamenti ospedalieri  | 99 | 0.2 |
| colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree irrigue     | 85 | 0.2 |
| hangar e strutture aeroportuali   | 93 | 0.2 |
| reti ed aree per la distribuzione, la produzione e il trasporto dell'energia  | 86 | 0.2 |
| insediamento commerciale  | 83 | 0.2 |
| campeggi, strutture turistiche ricettive a bungalows o simili                 | 83 | 0.2 |
| colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree non irrigue | 85 | 0.2 |
| tessuto residenziale continuo, denso recente e basso                          | 87 | 0.2 |
| tessuto residenziale rado e nucleiforme                                       | 83 | 0.2 |

*Tabella 10 – Tabella coefficienti Curve Number e la.*

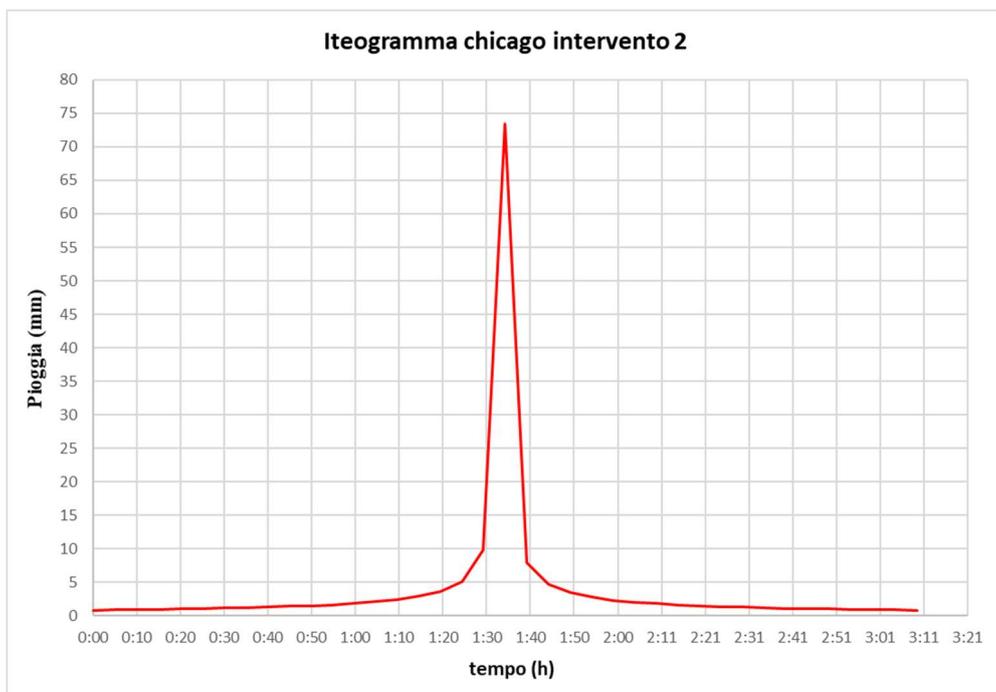
### **Condizioni al contorno**

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

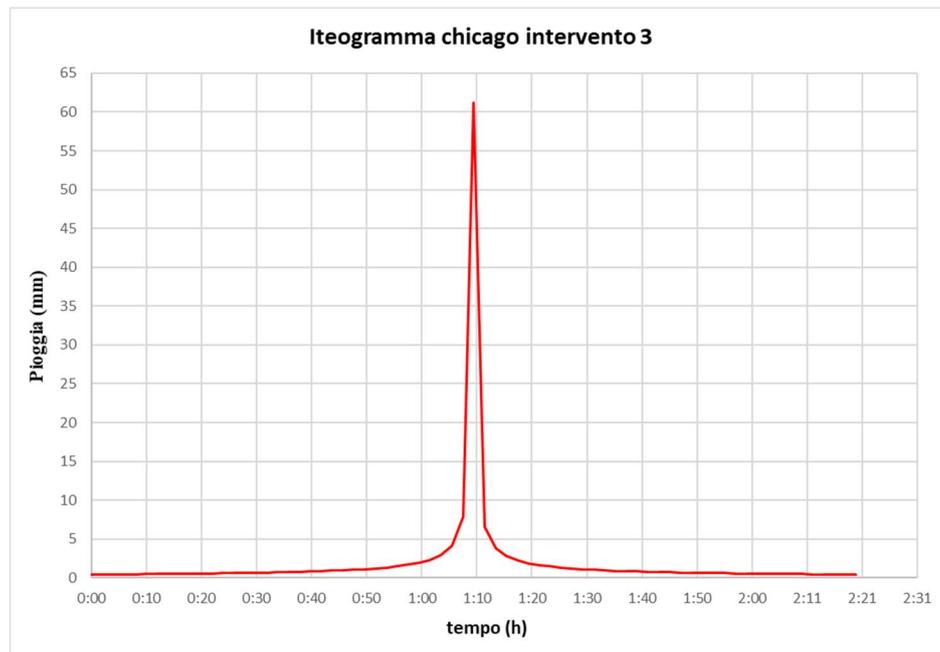
- Condizioni al contorno sui bordi della mesh: è stata associata su tutto il contorno della mesh una condizione al contorno di tipo “normal depth” che prevede la definizione del valore della cadente della linea dei carichi totali, che in prima approssimazione può essere approssimabile con la pendenza del terreno lungo il bordo o con la pendenza dei canali di gronda;
- Input idrologico (pioggia): sono stati associati alla mesh gli ietogrammi di pioggia necessari al corretto funzionamento del modello. Gli ietogrammi utilizzati (figure seguenti) sono del tipo “Chicago” e sono stati estratti utilizzando le leggi di pioggia specificate nella relazione idrologica.



*Figura 15 – Iteogramma chicago intervento 1.*



*Figura 16 – Iteogramma Chicago intervento 2.*



*Figura 7 – Iteogramma Chicago intervento 3.*

### 13.6 Simulazioni numeriche 2d

Nelle figure seguenti si riportano le aree inondabili (tiranti e velocità) interferenti con l'infrastruttura in progetto per tutti e tre le mesh considerate.

**Intervento 1 - Tiranti**

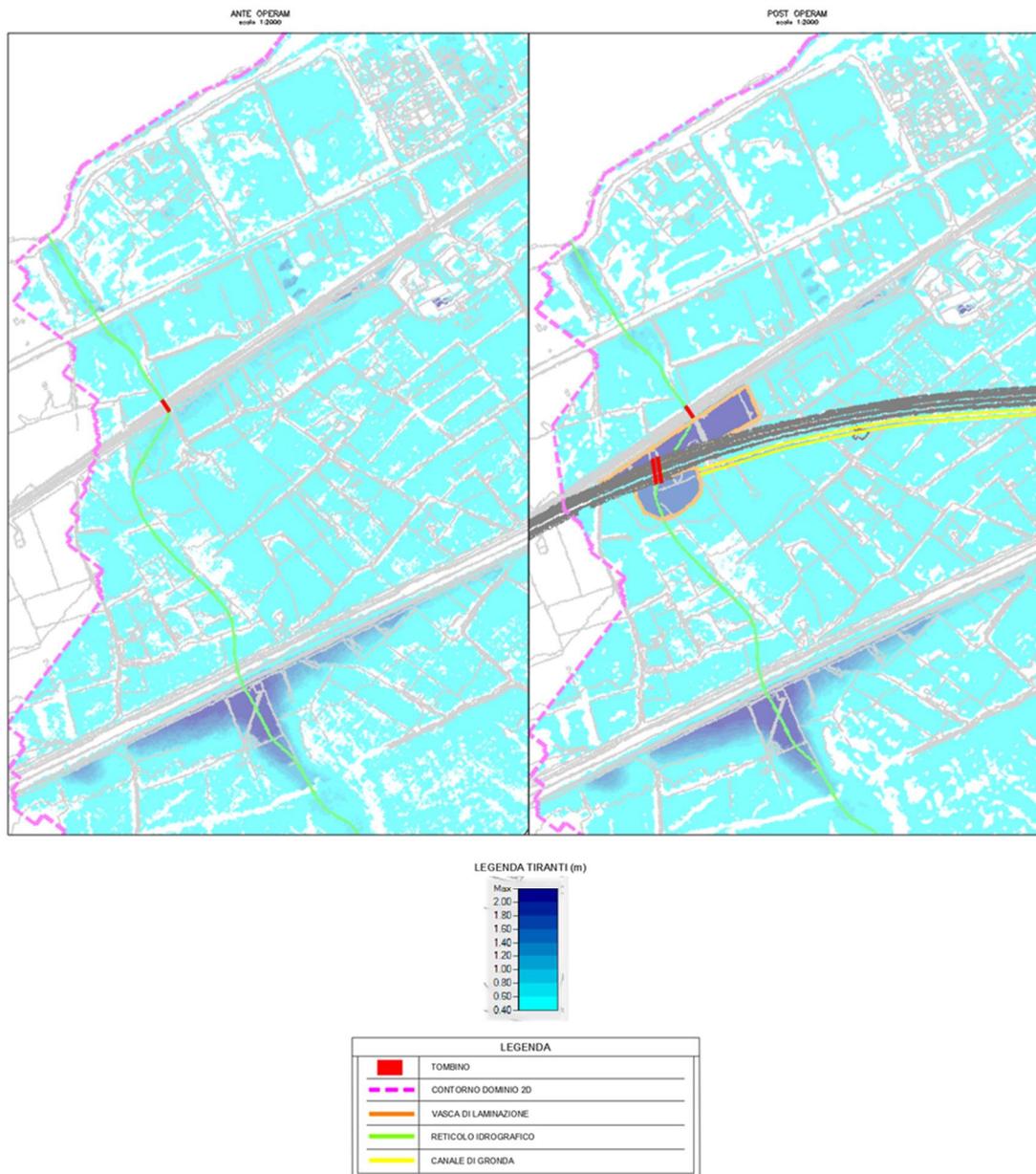


Figura 18 – Intervento 1: tiranti.

**Intervento 1 - Velocità**

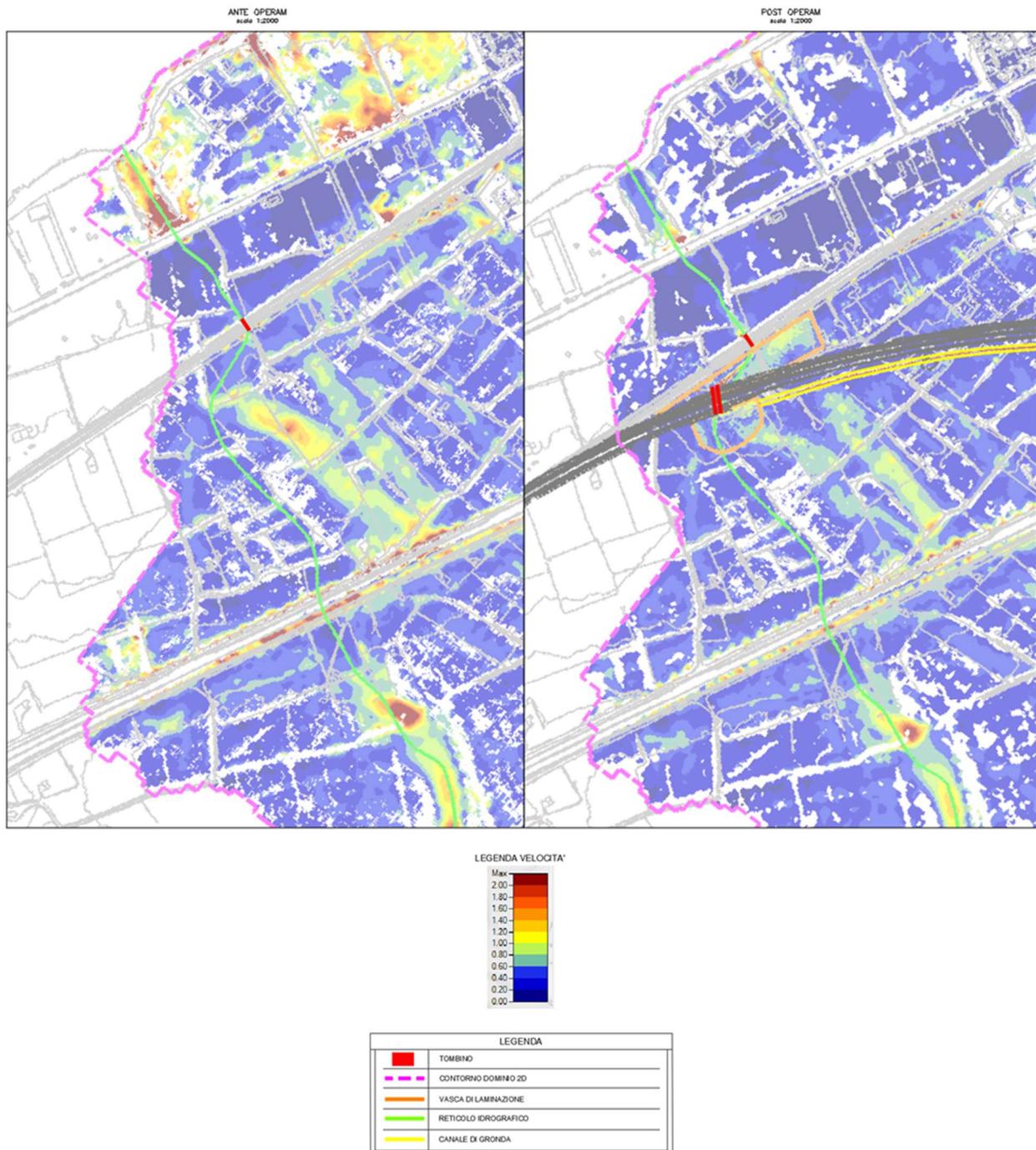
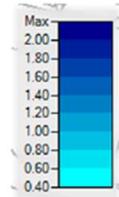


Figura 19 – Intervento 1: velocità.

**Intervento 2 - Tiranti**



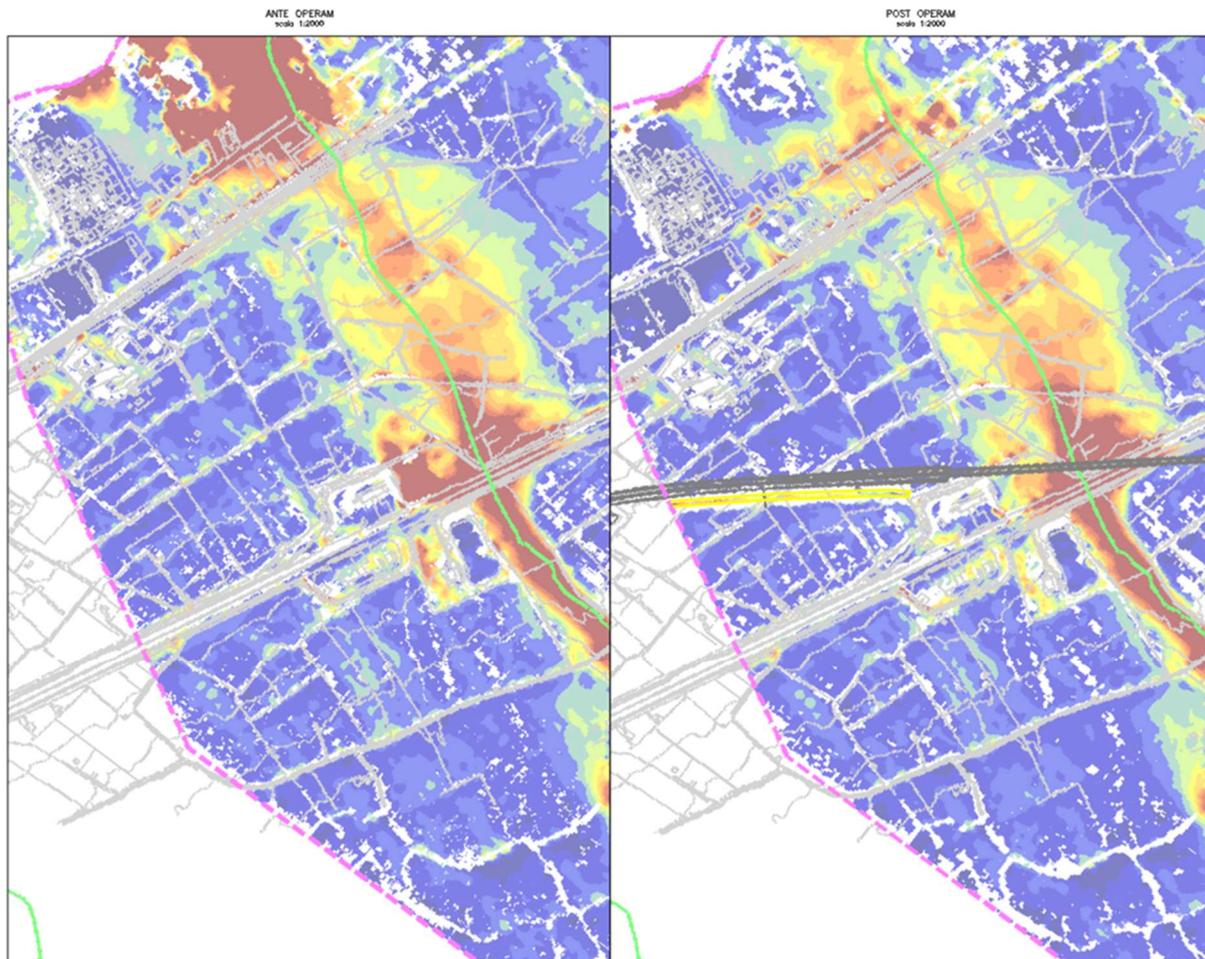
LEGENDA TIRANTI (m)



| LEGENDA   |                      |
|---|----------------------|
|  | RETICOLO IDROGRAFICO |
|  | CONTORNO DOMINIO 2D  |
|  | CANALE DI GRONDA     |

Figura 8 – Intervento 2: tiranti.

**Intervento 2 - Velocità**



LEGENDA VELOCITA'

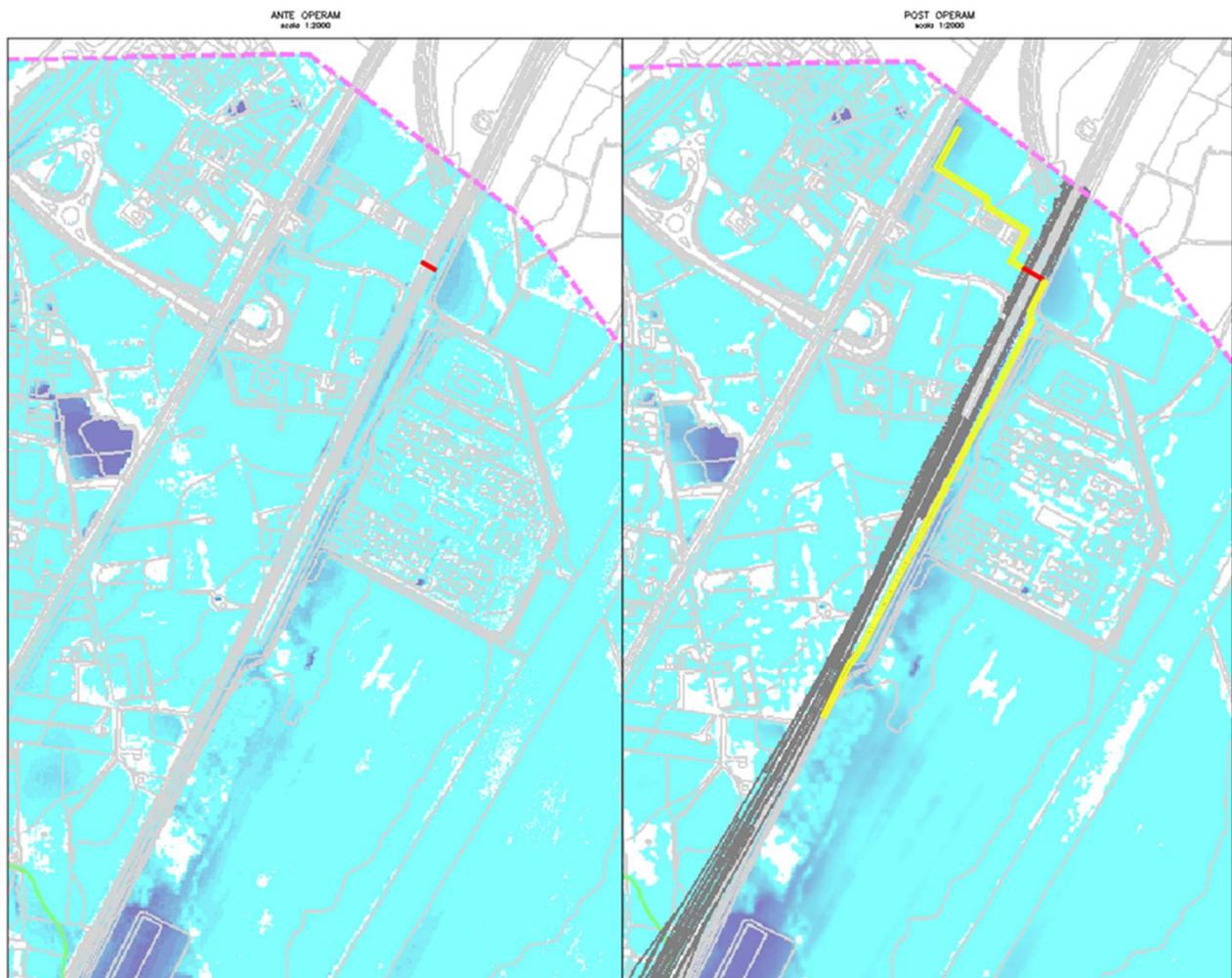


LEGENDA

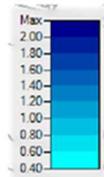
|   |                      |
|---|----------------------|
|  | RETICOLO IDROGRAFICO |
|  | CONTORNO DOMINIO 2D  |
|  | CANALE DI GRONDA     |

Figura 9 – Intervento 2: velocità.

**Intervento 3 - Tiranti**



LEGENDA TIRANTI (m)



LEGENDA

|   |                      |
|---|----------------------|
|  | TOMBINO              |
|  | CONTORNO DOMINIO 2D  |
|  | RETICOLO IDROGRAFICO |
|  | CANALE DI GRONDA     |

Figura 10 – Intervento 3: tiranti.

**Intervento 3 - Velocità**

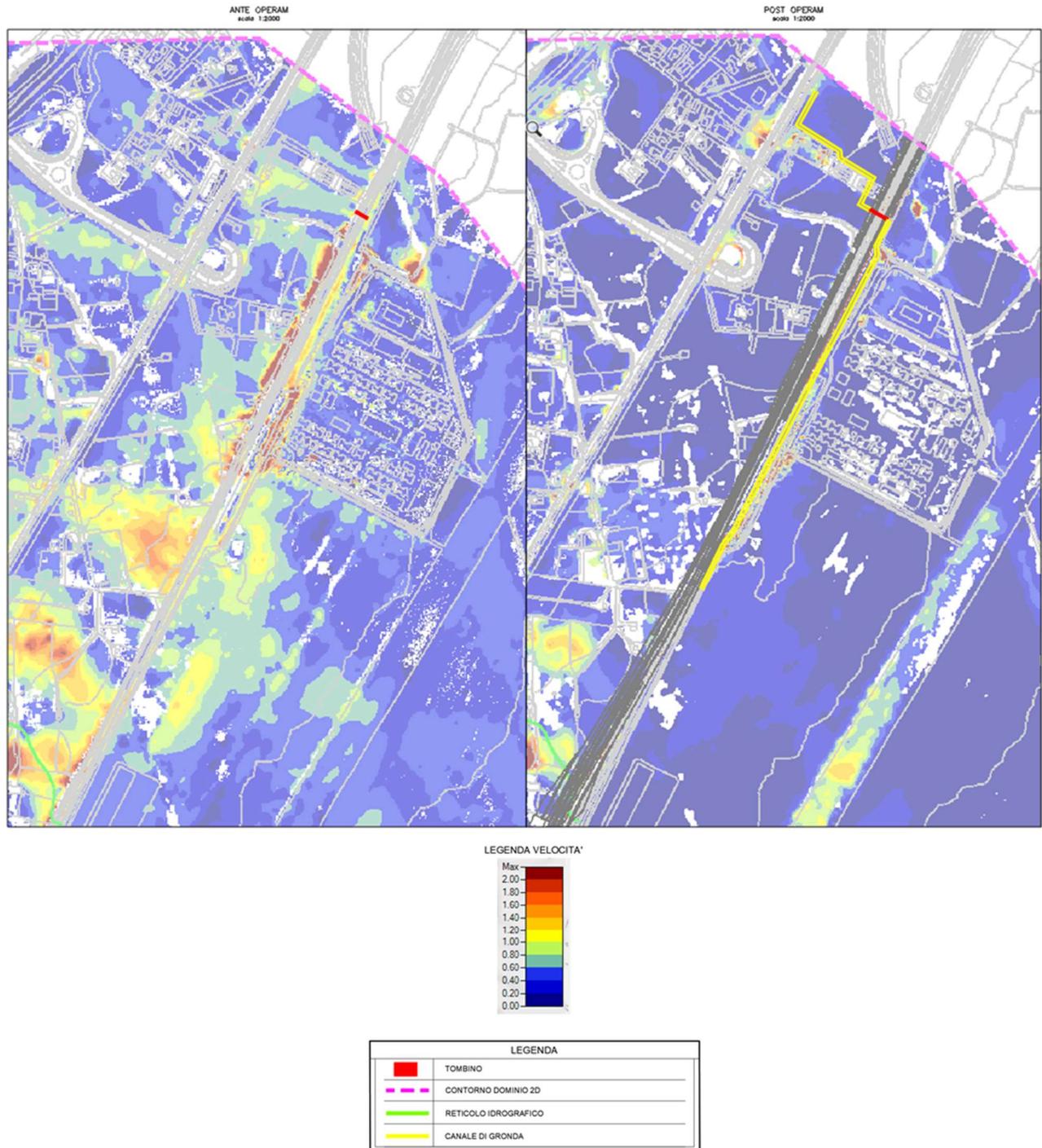


Figura 11 – Intervento 3: velocità.

|  |   |                  |             |                   |                          |           |
|--|---|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><br><b>NODO DI BARI</b><br><br>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE |                  |             |                   |                          |           |
|  | RELAZIONE IDRAULICA E DI<br>COMPATIBILITA' IDRAULICA  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

### 13.7 Risultati delle simulazioni numeriche 2d e descrizione degli interventi idraulici

#### **Intervento 1 - incisione 2**

Gli interventi idraulici in progetto prevedono la realizzazione di un canale di gronda in calcestruzzo armato 4x2m per la difesa del rilevato/trincea in progetto. L'impianto di sollevamento all'inizio della GA01 scaricherà tramite la condotta premente le acque di piattaforma ferroviaria all'interno del canale di gronda. Le acque verranno convogliate verso valle mediante un tombino doppia canna 2x4x3 metri.

#### **Vasca IN04**

Per evitare di allagare le zone a valle per via della concentrazione dei deflussi a valle del tombino si è deciso di realizzare due vasche di laminazione (collegate tra di loro) a monte e a valle del tombino doppia canna con volume utile pari a 27.000 m<sup>3</sup>. Le vasche verranno realizzate in parte in scavo ed in parte mediante dei muri in calcestruzzo e la vasca a valle avrà come recapito finale il tombino esistente presente sulla vecchia linea ferroviaria.

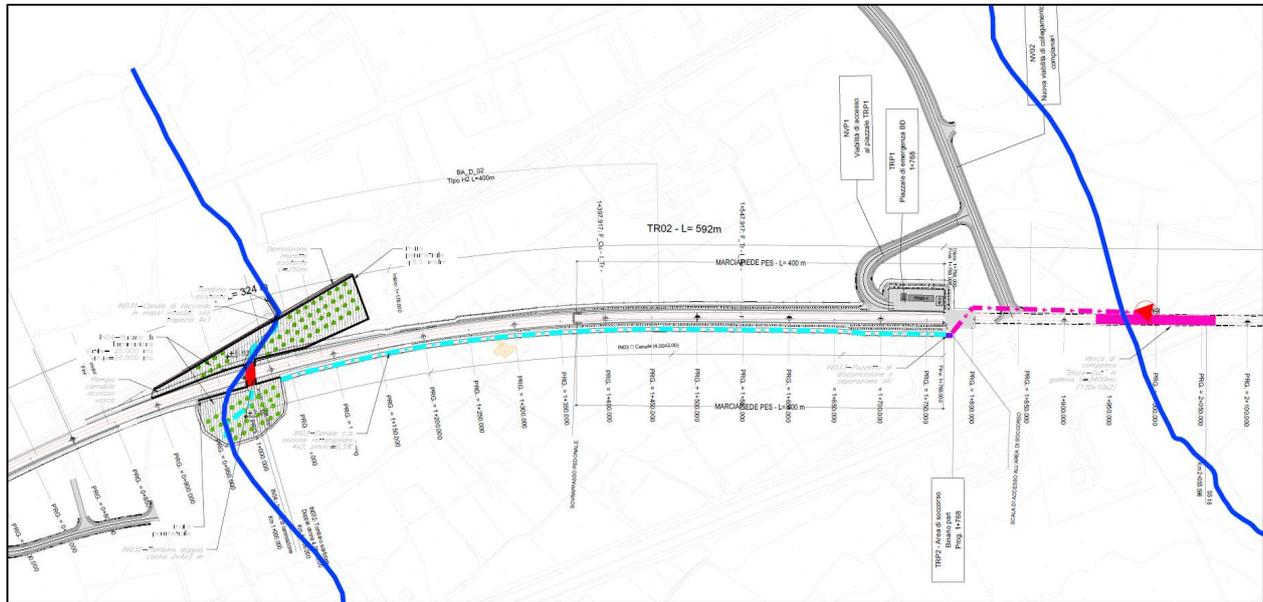
L'area della vasca impegnerà principalmente una porzione di territorio, interclusa tra la nuova linea e quella esistente. In caso di dismissione della linea storica, sarà possibile ottimizzare il dimensionamento della vasca aumentandone la superficie e riducendo le altezze di scavo e dei muri.

Il volume della vasca è stato dimensionato tramite il modello 2D stesso, in modo iterativo fino ad ottenere un volume ed un franco adeguato. È prevista inoltre la ripiantumazione di ulivi sul fondo della vasca, consentendo l'accesso ad essa con una rampa. La vasca avrà quindi un uso promiscuo agricolo-idraulico per mitigare gli impatti sia visivi che espropriativi ed ambientali. Si rimanda ad una fase successiva il dettaglio gestionale di utilizzo di tali vasche. Un canale di magra sarà previsto sul fondo della vasca per veicolare le portate ordinarie senza interessare tutta la superficie del fondo della vasca, che sarà allagata solo per eventi più rari.

Dai risultati delle simulazioni 2D, la realizzazione delle casse di laminazione permette di ridurre l'impatto dell'intervento in progetto sulla capacità di deflusso della zona in esame. Come rappresentato nella figura seguente il tombino doppia canna è verificato per le portate di progetto e i livelli massimi nella vasca.

| <b>Verifica tombino</b> |                  |                    |                  |           |               |
|-------------------------|------------------|--------------------|------------------|-----------|---------------|
| <b>L tombino</b>        | <b>H tombino</b> | <b>Tirante max</b> | <b>H tombino</b> | <b>GR</b> | <b>Franco</b> |
| (m)                     | (m)              | (m.s.l.m)          | (m.s.l.m)        | %         | (m)           |
| 4                       | 3                | 9.3                | 10.49            | 0.62      | 1.14          |

*Tabella 11 – Verifica tombino doppia canna.*



*Figura 12 – Planimetria idraulica intervento 1.*

**Intervento 2 - incisione 3**

In questo tratto la linea è in galleria artificiale.

Dai risultati delle simulazioni 2D si evince che la presenza della galleria nel tratto in esame non comporta differenze in termini di tiranti e velocità tra ante e post operam e non determina situazione di rischio ai tratti di linea di progetto adiacenti.

**Intervento 3 - incisione 5**

Gli interventi idraulici in progetto prevedono la realizzazione di un canale di gronda in calcestruzzo armato 2x3m per la difesa del rilevato/trincea in progetto. L’impianto di sollevamento alla fine della GA04 scaricherà tramite la condotta premente le acque di piattaforma ferroviaria all’interno del canale di gronda. Le acque verranno convogliate verso valle mediante un tombino 4x2 metri disposto lungo la ferrovia esistente. A valle del tombino verrà realizzato un collettore scatolare 4x2 con recapito finale la Lama Balice.

Dai risultati delle simulazioni 2D, la realizzazione del collettore scatolare a valle permette di ridurre l’impatto dell’intervento in progetto sulla capacità di deflusso della zona in esame.



*Figura 13 – Planimetria idraulica intervento 3.*

**Opere di difesa idraulica della nuova stazione.**

Gli interventi idraulici in progetto prevedono la realizzazione di due canali di gronda in calcestruzzo armato 3x2m per la difesa del rilevato/trincea in progetto. Gli impianti di sollevamento presenti sulla trincea TR05 scaricheranno tramite le condotte prementi le acque di piattaforma ferroviaria all’interno del canale di gronda. Lungo la galleria GA03 è presente un collettore in PEAD DN1500 (IN07) che riceverà le acque del canale di gronda IN08 per scaricarle in un tombino 4x3m presente prima della stazione in progetto.

A protezione della stazione in progetto e per la piattaforma ferroviaria verrà realizzato un canale di gronda 3x2 (IN05) il cui recapito finale sarà il tombino citato in precedenza. Anche gli impianti di sollevamento presente nei pressi della stazione scaricheranno nel canale di gronda e nella vasca di laminazione IN06.

**Vasca IN06**

Per evitare di allagare le zone a valle per via della concentrazione dei deflussi a valle del tombino si è deciso di realizzare una vasca di laminazione a valle del tombino con volume utile pari a 90.000 m<sup>3</sup>. La vasca avrà come recapito finale il mare. Lo scarico avverrà mediante collettore DN1500 e per un tratto di circa 400m con un D2000. È prevista inoltre la ripiantumazione di ulivi sul fondo della vasca, consentendo l’accesso ad essa con due rampe. La vasca avrà quindi un uso promiscuo agricolo-idraulico per mitigare gli impatti sia visivi che espropriativi ed ambientali. Si rimanda ad una fase successiva il dettaglio gestionale di utilizzo di tali vasche. Un canale di magra sarà previsto sul fondo della vasca per veicolare le portate

ordinarie senza interessare tutta la superficie del fondo della vasca, che sarà allagata solo per eventi più rari.

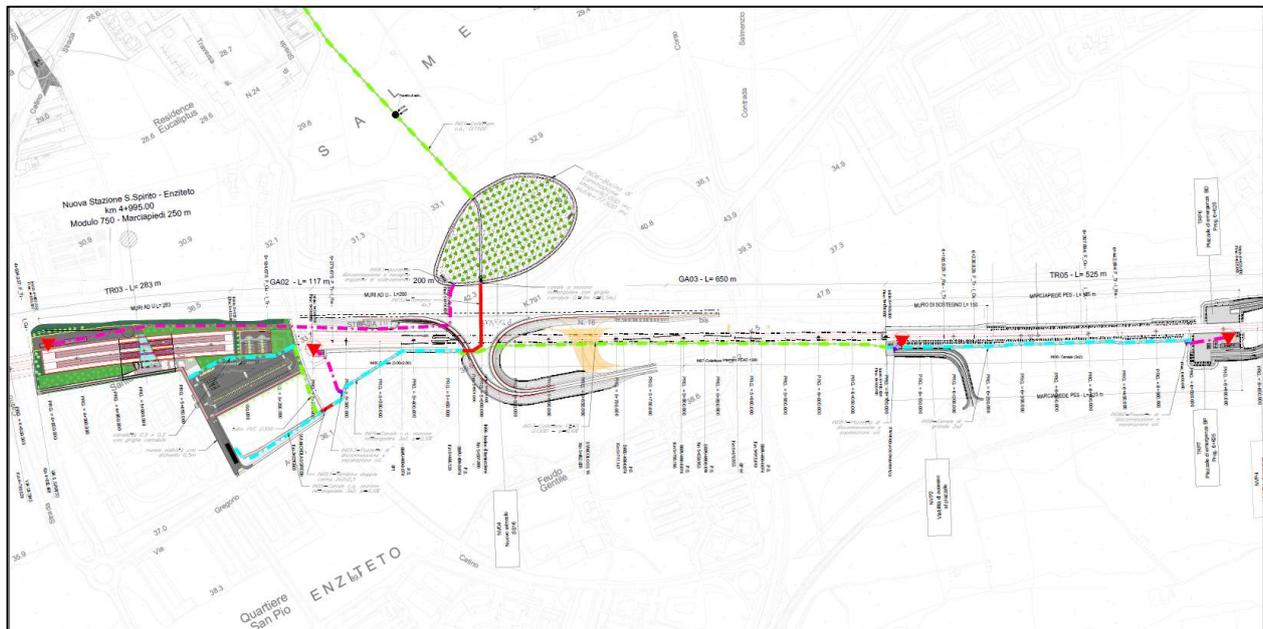
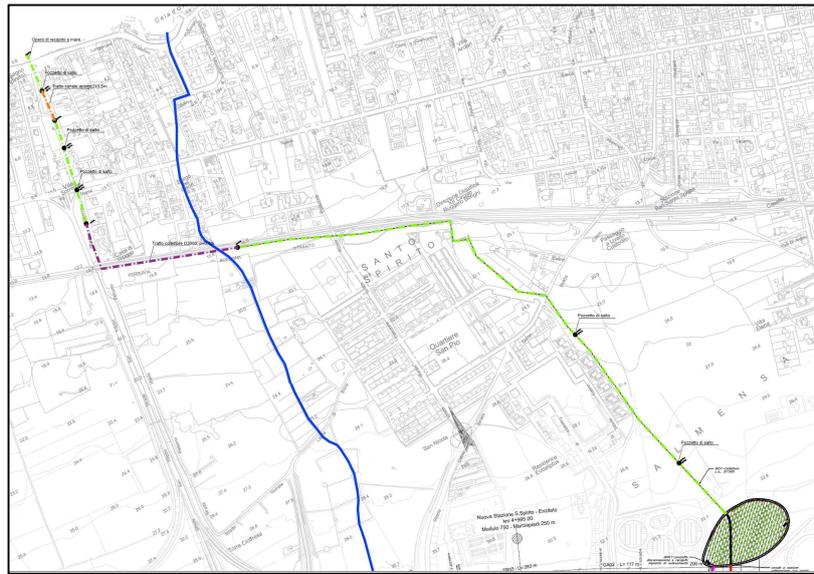


Figura 26 – Intervento pk 5+500.

La verifica idraulica del sistema sopra descritto, per via delle complessità della rete, è stata verificata con l'ausilio del modello SWMM in moto vario (Dynamic Wave). Si riporta di seguito uno stralcio dello schema e i principali risultati. Anche la tubazione D1500 è stata inserita nel modello per la verifica dei riempimenti.

Per l'input di pioggia è stato considerato uno letogramma Chicago di durata 1,5 ore ( $>tc$ ) e un tempo di Ritorno 200 anni, la trasformazione afflussi-deflussi è stata calibrata per ottenere valori di portata confrontabili con quelli stimati nello studio idrologico (valori massimi)

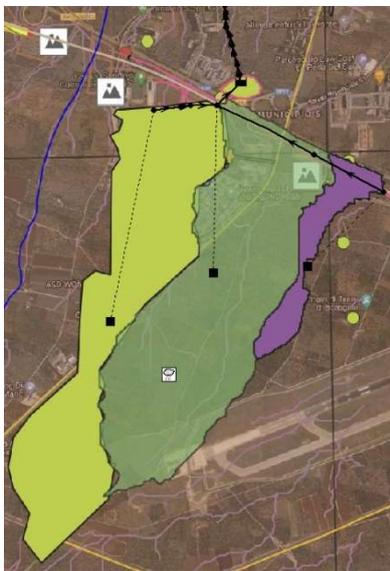
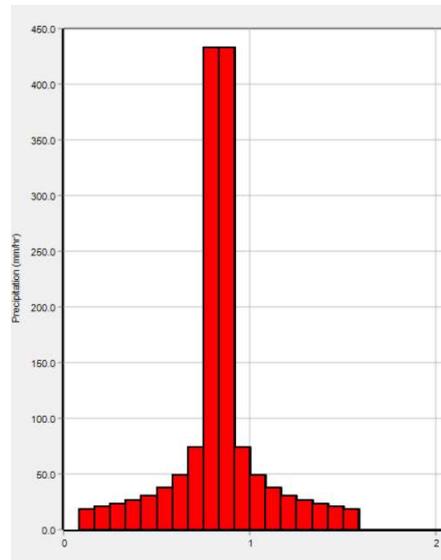


Figura 27- schema idraulico SWMM



Figura 28 – schema idraulico SWMM



*Figura 14-letogramma Chicago impiegato*

Risultati:

Canale IN05: franco minimo = 0,2m

Tombino IN051: riempimento max= 60%

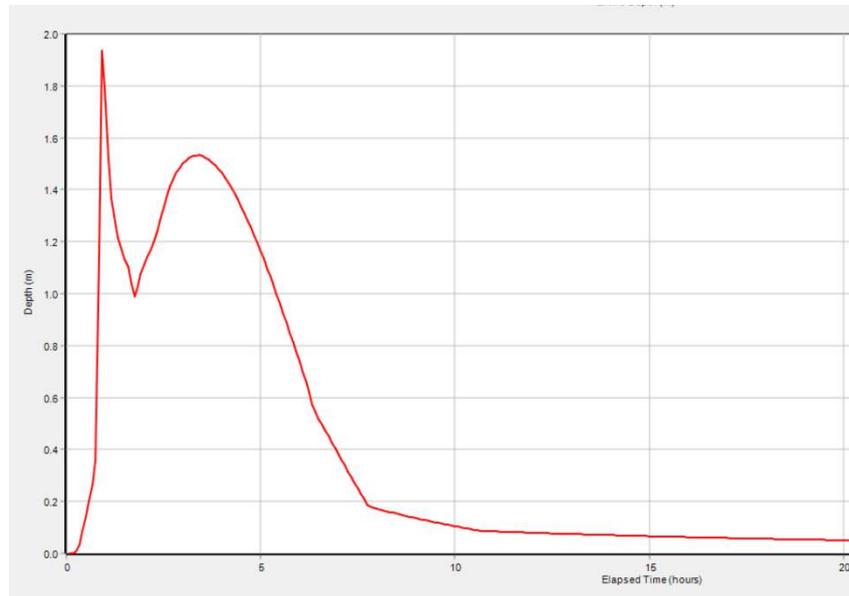
Tombino IN052: riempimento max = 64%

Vasca di laminazione: franco minimo= 0,2m (livello max 3,8 m)

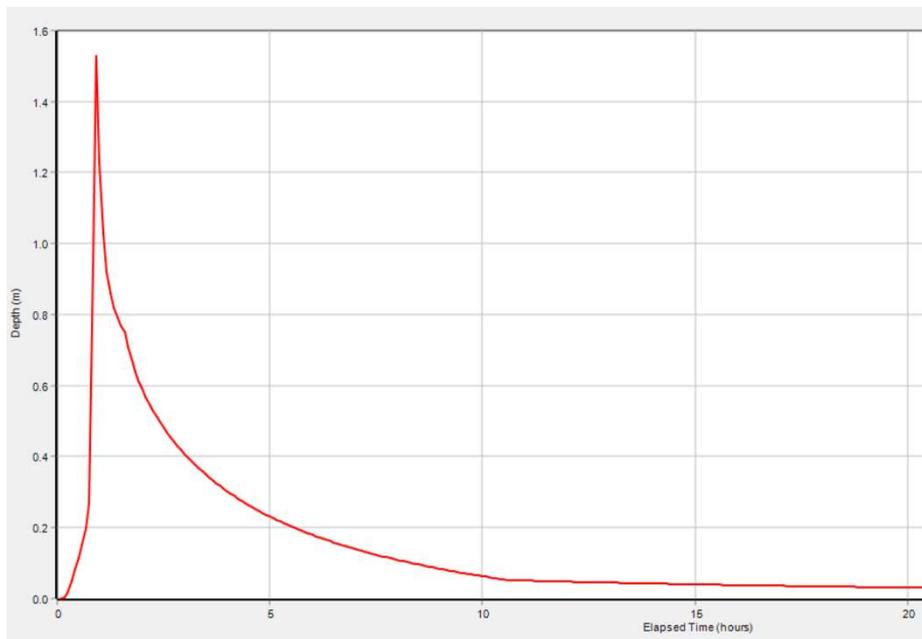
Collettore IN01: riempimento massimo= 70%

Collettore IN07: riempimento massimo= 66%

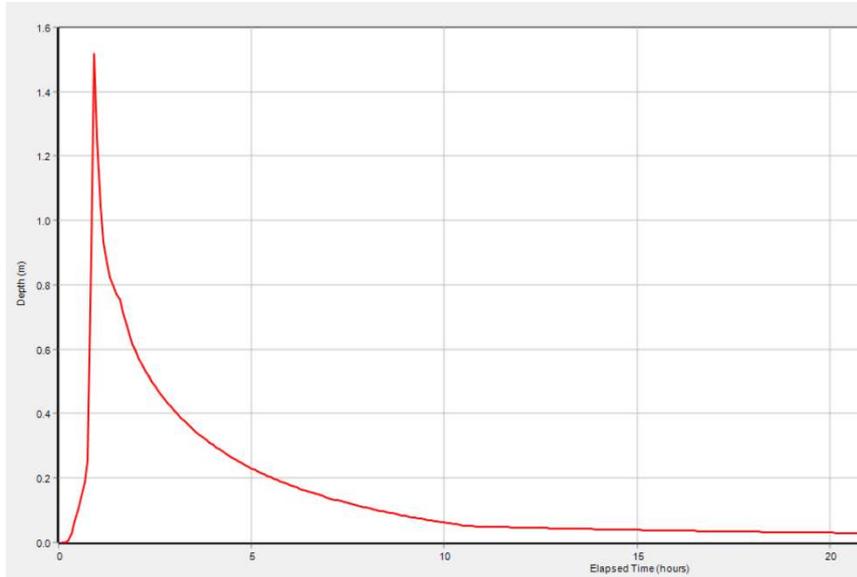
Canale IN08: franco minimo= 1,2m



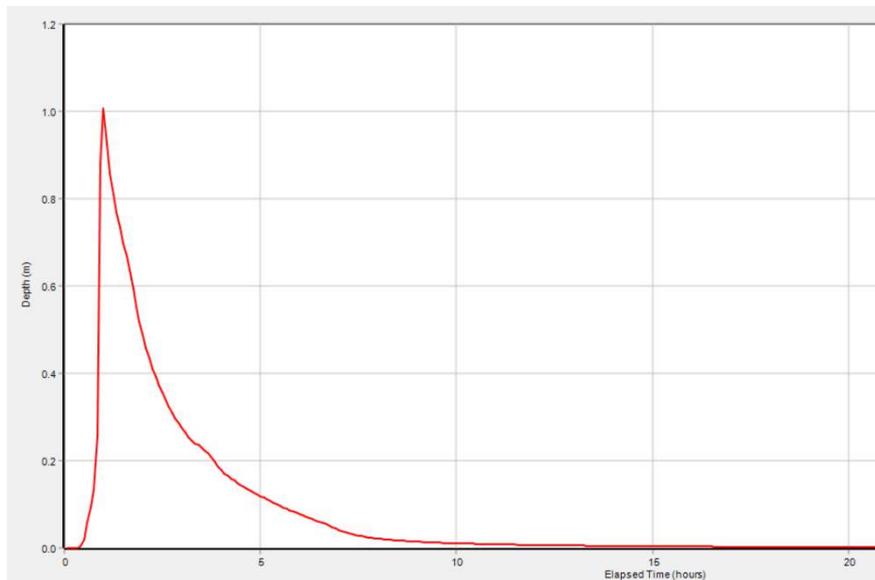
*Figura 15 - Livello idrico tombino IN052*



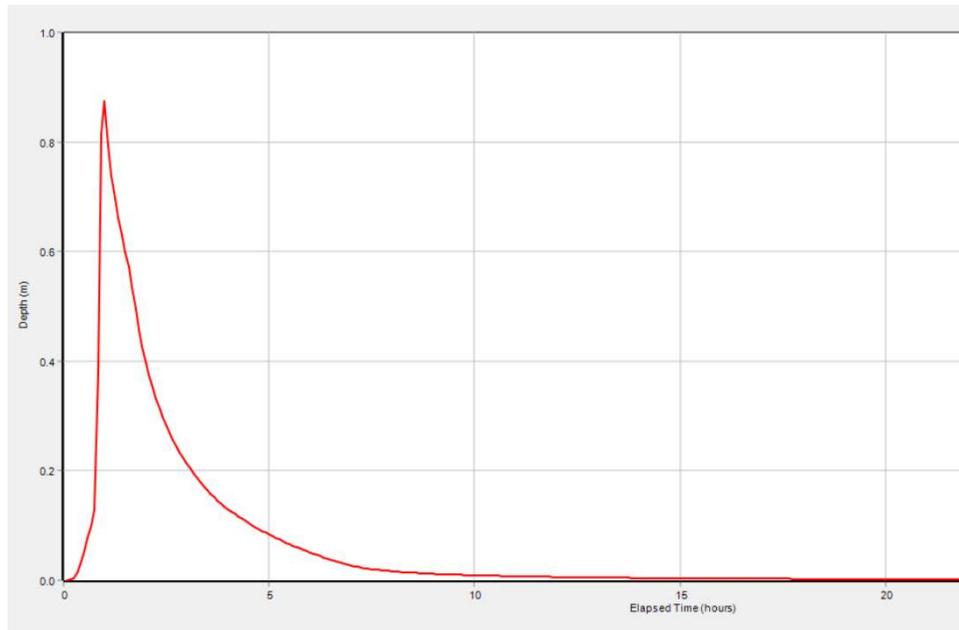
*Figura 16 - Livello idrico canale IN05*



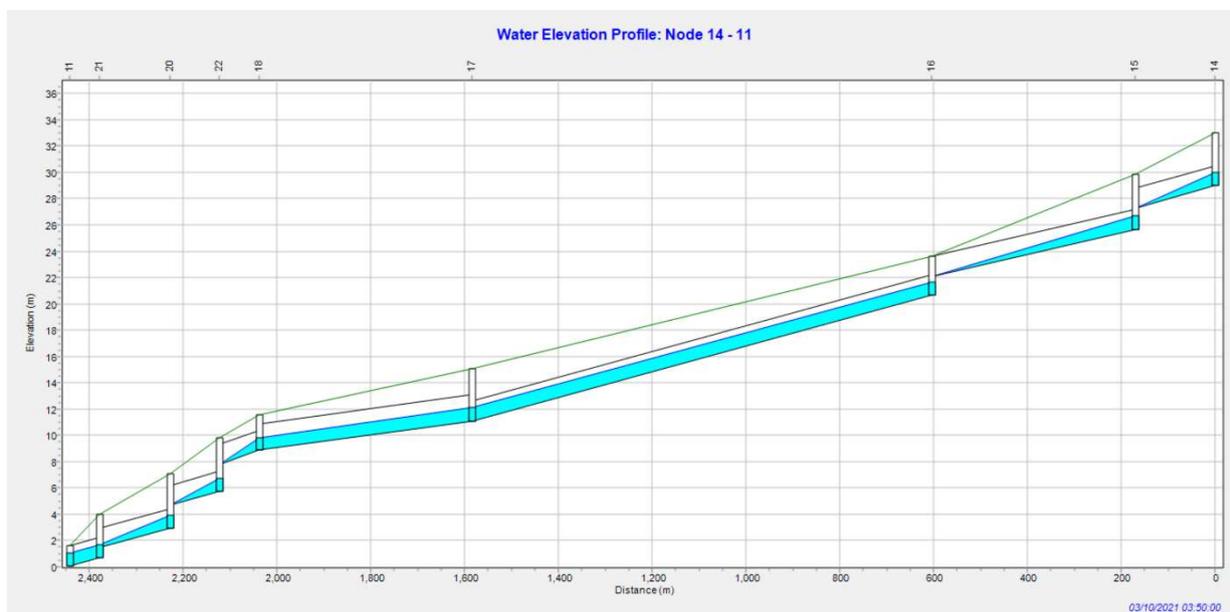
*Figura 17 - Livello idrico tombino IN051*



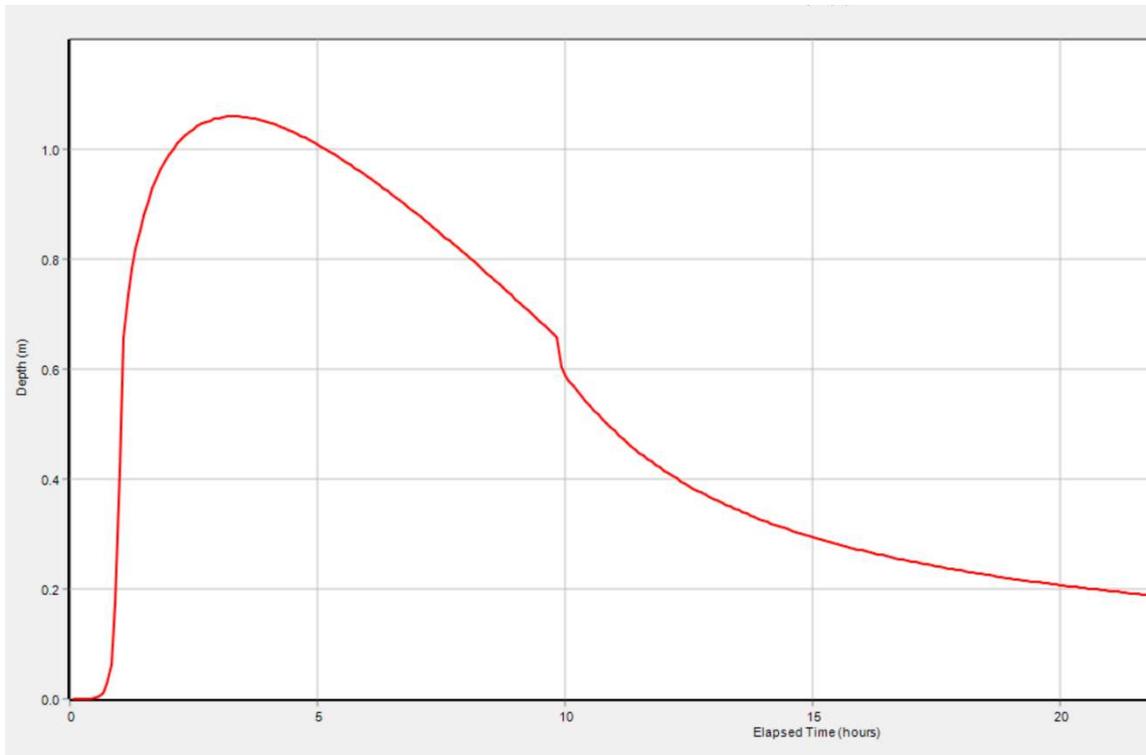
*Figura 18 - Livello idrico collettore IN07*



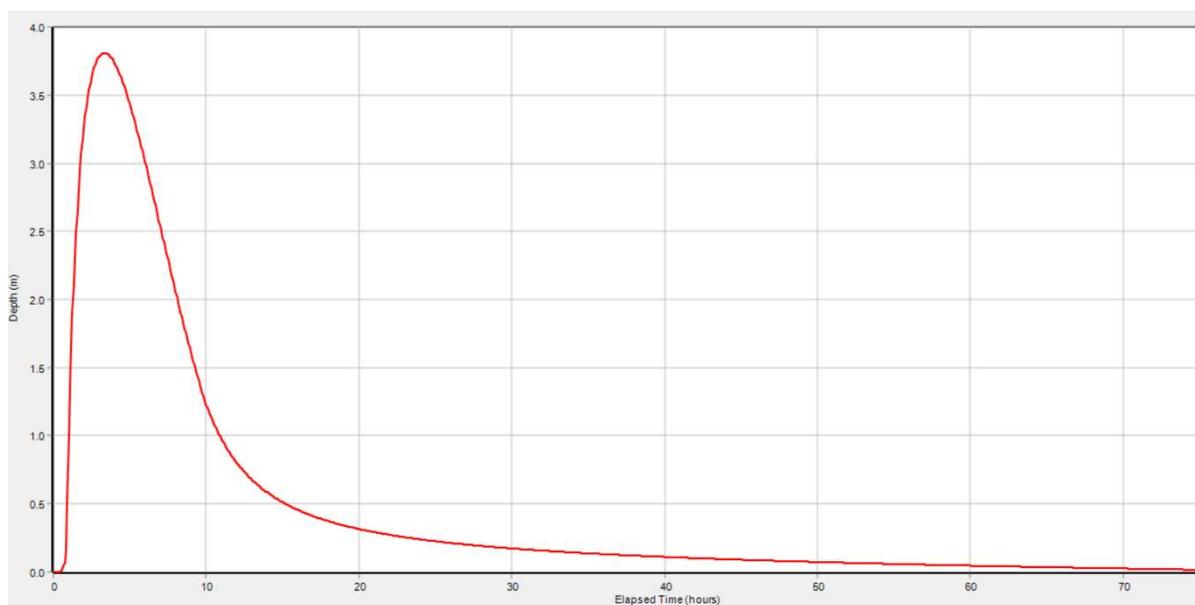
*Figura 19 - Livello idrico canale IN08*



*Figura 20 - Collettore di recapito a mare IN01 a valle della vasca*



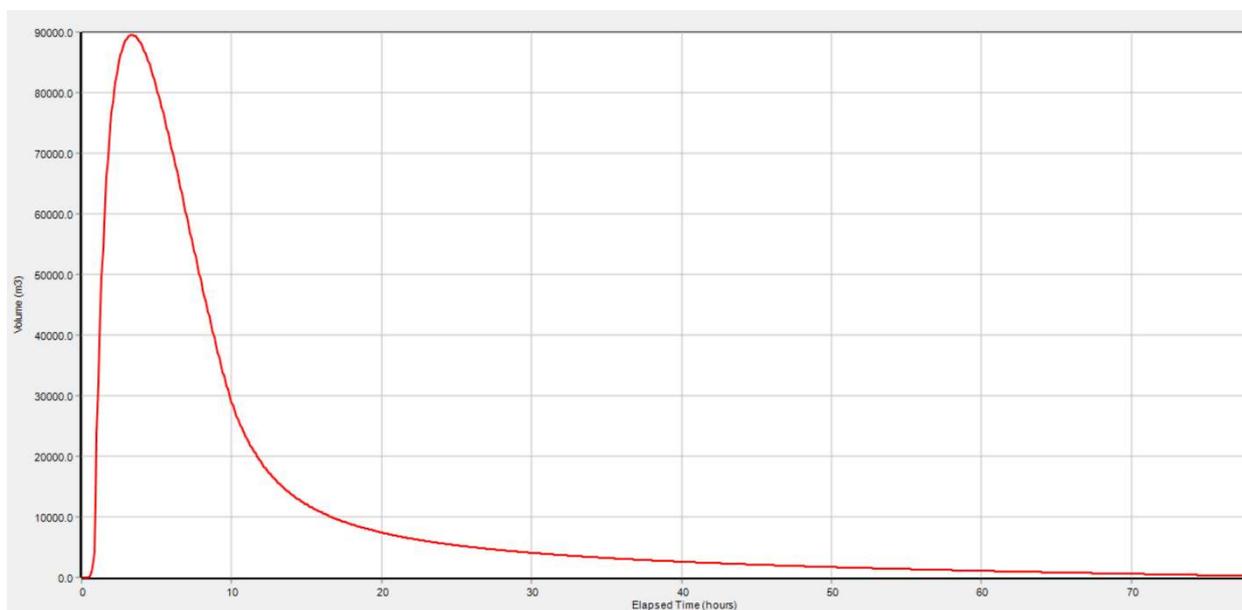
*Figura 36– Livello idrico collettore di recapito a mare IN01*



*Figura 37 – Livello idrico vasca di laminazione IN06*

Considerando un coefficiente di permeabilità di circa  $1 \times 10^{-6}$  m/s, deducibile dalla relazione geologica, lo svuotamento completo della vasca avviene dopo circa 72 ore dalla fine dell'evento considerato. Tuttavia la vasca tornerà ad avere un volume disponibile per invasare un evento successivo di stessa entità dopo circa 24 ore dalla fine del primo evento.

Il volume massimo raggiunto è di 90.000 mc



*Figura 38 – Volume invasato vasca di laminazione IN06*

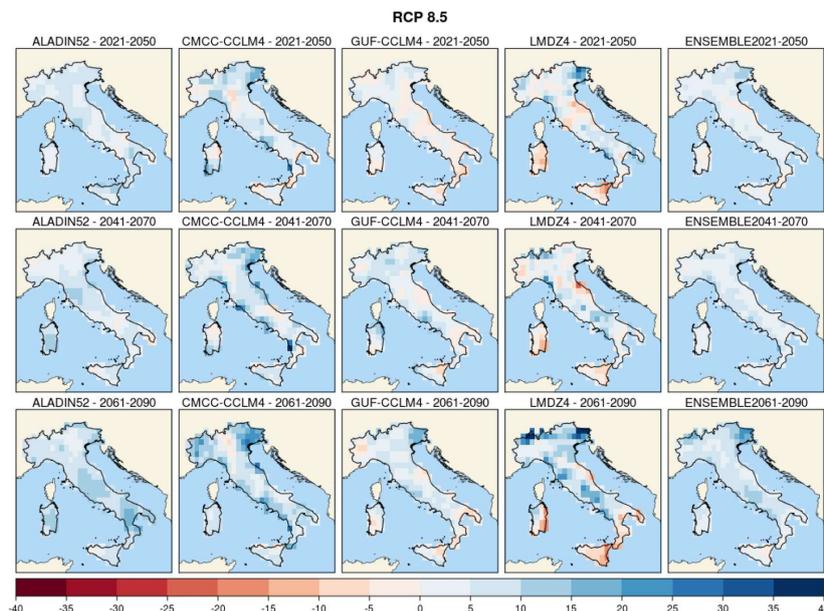
## 14. Resilienza ai cambiamenti climatici

Con riferimento al rapporto dell'ISPRA (Stato dell'ambiente 58/2015), in cui vengono indicate diverse proiezioni sugli effetti dei cambiamenti climatici nei confronti delle precipitazioni, si possono ottenere alcune informazioni rispetto alle tendenze dei fenomeni piovosi fino all'anno 2090 con utilizzo di 4 modelli e secondo due scenari di emissione. Nonostante i risultati siano in alcuni casi contrastanti tra i diversi modelli, mediamente si può concludere che, a fronte di una generale diminuzione della piovosità complessiva sul territorio nazionale, ci si aspetta un aumento dei millimetri di pioggia giornalieri.

Le proiezioni, disponibili nel rapporto, fanno riferimento al dato di altezza di pioggia giornaliera e pertanto risulta difficile estrapolare il dato rispetto alle durate orarie o addirittura sub-orarie, che caratterizzano gli eventi considerati nella maggior parte delle progettazioni di opere idrauliche di drenaggio (scrosci).

In analogia ad altri progetti, si propone di adottare la seguente metodologia che prevede di applicare la percentuale di aumento di intensità giornaliera (rispetto al periodo di riferimento) anche agli eventi di durata oraria e sub-oraria.

Ricavando dai grafici del documento ISPRA, l'aumento di altezza giornaliera, si evince che per l'area di progetto si avrebbe un aumento giornaliero di circa 5 mm, ottenuto come media dei 4 modelli disponibili.



*Figura 39 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP 8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).*

Confrontando tale valore con la media giornaliera della serie storica (1977-2019) disponibile per la stazione pluviometrica di Bari (vedi relazione idrologica), si può considerare per l'area di progetto, un aumento di circa l'8% per il trentennio 2061-2090 nello scenario di emissione più gravoso (RCP8.5). Aumentando di tale percentuale, le portate al colmo di progetto stimate con il modello idrologico, si otterrebbero dei valori ancora compatibili con le opere progettate, come evidenziato nella tabella riepilogativa del paragrafo successivo.

Poiché il manuale di RFI, richiede una valutazione circa la resilienza delle opere di maggior importanza (in questo caso i canali di gronda) rispetto a portate superiori a quello di progetto, è stato previsto a tal fine, l'utilizzo di una sezione di canale che presenta un innalzamento del piedritto di valle per 1,5 m oltre il piano campagna, tale accorgimento consente di proteggere la linea anche qualora dovessero verificarsi eventi con tempi di ritorno maggiori rispetto a quello di progetto per i quali la sezione in scavo risulterebbe insufficiente.

|  |   |                  |             |                   |                          |           |
|--|---|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><br><b>NODO DI BARI</b><br><br>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE |                  |             |                   |                          |           |
|  | RELAZIONE IDRAULICA E DI<br>COMPATIBILITA' IDRAULICA  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

## 15.Riepilogo verifiche idrauliche

Si riporta di seguito una tabella riepilogative delle principali verifiche idrauliche condotte, con una stima degli impatti dovuti ai cambiamenti climatici, rispetto alla procedura precedentemente descritta. Per le opere per le quali sono stati eseguiti calcoli di maggior dettaglio (come, ad esempio, i modelli 2D e le verifiche SWMM) si faccia riferimento a questi ultimi, le verifiche in moto uniforme sono state fatte su tutte le opere per completezza e per un confronto con gli aumenti di portata dovuti ai cambiamenti climatici che non sono stati modellati.

| wbs   | Verifica             |               |                            |                                  |         |               | Verifica Cambiamenti Climatici |         |               |
|-------|----------------------|---------------|----------------------------|----------------------------------|---------|---------------|--------------------------------|---------|---------------|
|       | tipologia            | verifica      | dimensioni<br>(m x m)/D(m) | Qprogetto<br>(m <sup>3</sup> /s) | GR<br>% | Franco<br>(m) | Qc.c.<br>(m <sup>3</sup> /s)   | GR<br>% | Franco<br>(m) |
| IN032 | TOMBINO              | Livello 2D    | 2x4x3                      |                                  | 62      | 1.14          |                                |         |               |
| IN032 | TOMBINO              | Moto uniforme | 2x4x3                      | 31                               | 44      | 1.68          | 33.48                          | 46      | 1.61          |
| IN03  | CANALE               | Moto uniforme | 4x2                        | 11.7                             | 42      |               | 12.63                          | 46      | 1.1           |
| IN05  | CANALE               | Moto uniforme | 3x2                        | 19.4                             | 78      |               | 20.95                          | 87      | 0.27          |
| IN051 | TOMBINO              | Moto uniforme | 2x2x2.5                    | 19.4                             | 50      | 1.24          | 20.95                          | 52      | 1.2           |
| IN052 | TOMBINO              | Moto uniforme | 4x3                        | 35<br>(swmm)                     | 64      | 1.1           | 37.8                           | 67      | 1             |
| IN01  | COLLETTORE           | Moto uniforme | 1.5                        | 6.05<br>(swmm)                   | 68      |               | 6.48                           | 73      |               |
| IN01  | COLLETTORE<br>(PEAD) | Moto uniforme | 1.5                        | 5.2                              | 68      |               | 5.6                            | 72      |               |
| IN08  | CANALE               | Moto uniforme | 3x2                        | 5.2                              | 31      |               | 5.6                            | 33      | 1.3           |
| IN09  | CANALE               | Moto uniforme | 2x3                        | 17.5                             | 78      |               | 18.9                           | 84      | 0.5           |
| IN092 | TOMBINO              | Moto uniforme | 4x2                        | 17.5                             | 45      | 1.1           | 18.9                           | 48      | 1.5           |
| IN093 | TOMBINO              | Moto uniforme | 4x2.5                      | 17.5                             | 50      | 1.25          | 18.9                           | 53      | 1.2           |
| IN095 | TOMBINO              | Moto uniforme | 4x2.5                      | 17.5                             | 50      | 1.25          | 18.9                           | 53      | 1.2           |

Tabella 12 – Verifiche idrauliche

## 16. Aspetti qualitativi delle acque

Per le acque meteoriche di drenaggio ferroviario non sono stati previsti trattamenti per la depurazione delle acque, tuttavia prima del recapito le acque provenienti dagli impianti di sollevamento vengono raccolte in pozzetti in cui è prevista una sedimentazione e una separazione meccanica di eventuali olii. Le acque che recapitano a mare o nella Lama Balice sono principalmente acque di versante o comunque acque che non richiedono trattamenti rispetto alla normativa vigente.

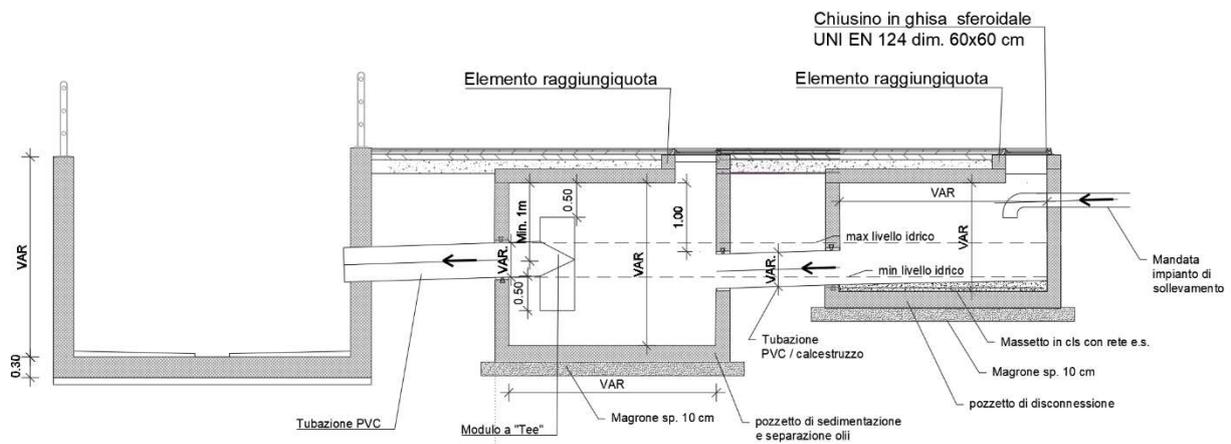


Figura 210 – Sezione manufatti di sedimentazione e disoleatura delle acque di drenaggio ferroviario

## 17. Drenaggio delle viabilità

Poiché non sono presenti nuove viabilità ma solo adeguamenti di viabilità esistenti, si prevede il ripristino del sistema di drenaggio presente, rimandando alla fase successive eventuali considerazioni di maggior dettaglio.

## 18. Conclusioni e indirizzi per le successive fasi progettuali

Il presente studio ha avuto come obiettivo quello di coniugare nel modo più accurato possibile, le esigenze di tracciato con gli aspetti della sicurezza idraulica, intendendo questi ultimi riferiti sia alle aree interferenti con il progetto sia alle opere ferroviarie stesse. Data la necessità di sviluppare il tracciato al di sotto del piano campagna, è stata condotta un'analisi multi-criterio, per ridurre al massimo l'estensione delle trincee aperte, sostituendole con gallerie artificiali. Tale indirizzo è stato dettato dalle caratteristiche del territorio e del contesto idrografico di superficie, costituito sostanzialmente da un piano inclinato degradante verso mare ed in cui la linea di progetto si andava a posizionare nel tratto vallivo e con una

|   |   |                  |             |                   |                          |           |
|---|---|------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-----------|
|  | <b>PROGETTO PRELIMINARE</b><br><b>NODO DI BARI</b><br>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE |                  |             |                   |                          |           |
|   | RELAZIONE IDRAULICA E DI<br>COMPATIBILITA' IDRAULICA  | COMMESSA<br>IA7X | LOTTO<br>00 | FASE-ENTE<br>R 10 | DOCUMENTO<br>RGID0002001 | REV.<br>A |

direzione dell'asse prevalentemente ortogonale alle linee di flusso. È evidente come tale configurazione risulti critica per una trincea aperta che sostanzialmente si troverebbe ad intercettare porzioni di bacini non trascurabili, ponendo l'attenzione sulla difesa del binario e conseguentemente della gestione e concentrazione delle acque di superficie intercettate. Massimizzare l'estensione delle gallerie artificiali ha quindi consentito di ridurre l'impatto sul reticolo idrografico che, dopo la realizzazione, risulterà inalterato rispetto alle condizioni ante-operam per gran parte del tracciato, limitando le interferenze ai tratti di linea in cui non è stato possibile prevedere tratti coperti (trincee di approccio, stazione e piazzale FFP).

Per i tratti interferenti più importanti sono stati condotti studi di dettaglio con modello bidimensionale, volti ad analizzare la compatibilità dell'opera rispetto allo scenario ante-operam ed in particolare a verificare che la presenza delle opere di difesa non andassero a peggiorare sostanzialmente le condizioni di allagamento preesistenti. Il modello ha dato anche la possibilità di verificare i dimensionamenti delle opere di difesa, di cui è stata fatta anche una verifica in moto uniforme. Lo schema idraulico proposto ha fatto nascere la necessità di realizzare 2 vasche di laminazione, 1 scarico a mare ed 1 scarico nella Lama Balice. Per il drenaggio della linea, quasi totalmente in galleria e trincea, sono stati previsti degli impianti di sollevamento. È stata infine condotta una stima per valutare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle opere in progetto.

Nelle successive fasi della progettazione sarà opportuno approfondire i seguenti aspetti:

- **Trasporto solido** e possibilità di intasamento delle opere con conseguenti indicazioni sulla manutenzione. È opportuno, tuttavia, anticipare che date le basse velocità di scorrimento e l'assenza di aste incise, non ci si aspettano particolari fenomeni erosivi e di deposito.
- **Dimensionamento delle scogliere.** Sarà opportuno verificare, in base alle velocità di progetto, quali siano le dimensioni idonei dei massi previsti a difesa dell'erosione agli scarichi. Per l'opera di recapito a mare applicando ad esempio la formula consigliata da HEC14  $D_{50} = 0.2 \cdot D(Q/(\sqrt{g} \cdot D^{2.5}))^{4/3} (D/TW)$ , si otterrebbe un  $D_{50} = 0,5$  m. Per lo scarico nella Lama Balice, viste le maggiori portate, sarà preferibile un utilizzo di massi intasati.
- **Studio delle maree.** Per la compatibilità dello scarico mare è raccomandabile una verifica delle oscillazioni delle maree
- **Idraulica di piattaforma ferroviaria e verifica di tutti i tratti di canaletta compresi quelli posti sulle banche intermedie.**
- **Idraulica di drenaggio piazzale stazione con predisposizione trattamento acque di prima pioggia.**
- **Definizione delle opere necessarie per il raggiungimento dei CAM (Criteri Ambientali Minimi) nell'area di stazione (vasche per riuso acque e pavimentazioni drenanti).**
- **Verifica in moto permanente/vario di tutti i canali di gronda.**
- **Idraulica di piattaforma delle viabilità ed eventuale trattamento acque di prima pioggia.**