

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J31H03000180008

## U.O. OPERE CIVILI

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE

NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA

GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD

LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO

### IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

Fosso d'Acquatraversa

SCALA:

-

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

N R 4 E 1 2 R 0 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. CESALI 	Febbraio 2022	F. CABAS 	Febbraio 2022	T. RAOLETTI 	Febbraio 2022	A. VITTOZZI Febbraio 2022

ITALFERR S.p.A.  
U.D. Opere Civili e gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angelo VITTOZZI  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
N° A2/0783

File:

n. Elab.:

 <b>ITALFERR</b> <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>												
<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR4E</td> <td>12</td> <td>R 09 RI</td> <td>ID 0002 001</td> <td>A</td> <td>2 di 19</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR4E	12	R 09 RI	ID 0002 001	A	2 di 19
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR4E	12	R 09 RI	ID 0002 001	A	2 di 19								

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO .....	5
2.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL'AREA DI INTERVENTO .....	5
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO .....	7
3	STUDIO IDRAULICO .....	9
3.1	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE .....	9
3.1.1	DATI DI BASE.....	10
3.1.2	GEOMETRIA DEL MODELLO 2D .....	11
3.1.3	SCABREZZE .....	13
3.1.4	CONDIZIONI AL CONTORNO .....	13
3.1.5	SCENARI SIMULATI.....	15
3.2	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE .....	15
3.2.1	MODELLO 2D - FOSSO D'ACQUATRAVERSA: CONFIGURAZIONE "ANTE OPERAM" .....	15
3.2.2	MODELLO 2D - FOSSO D'ACQUATRAVERSA: CONFIGURAZIONE "POST OPERAM" .....	16
4	COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO .....	18
5	BIBLIOGRAFIA .....	19

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> <b>Relazione idraulica</b>	<b>COMMESSA</b> NR4E	<b>LOTTO</b> 12	<b>CODIFICA</b> R 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 001	<b>REV.</b> A

## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 - AREE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA DA P.G.R.A. (FONTE: AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO CENTRALE).....	6
FIGURA 2 – FOSSO D'ACQUATRAVERSA: ESTENSIONE DEL RILIEVO LIDAR ED UBICAZIONE DELLE SEZIONI RILEVATE IN ALVEO.....	11
FIGURA 3 – MODELLO NUMERICO 2D DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: DOMINIO DI CALCOLO. ....	12
FIGURA 4 – MODELLO 2D DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: IMPLEMENTAZIONE DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IN INFOWORKS ICM. ....	13
FIGURA 5 – FOSSO D'ACQUATRAVERSA: IDROGRAMMI DI PIENA DI PROGETTO. ....	13
FIGURA 6 – MODELLO NUMERICO 2D DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: DEFINIZIONE DELLA CONDIZIONE AL CONTORNO DI VALLE, LIVELLO IDRICO DEL FIUME TEVERE (STRALCIO DELLA TAVOLA 85P DEL P.G.R.A.A.C., 2021).14	
FIGURA 7 – MODELLO NUMERICO 2D DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI, TR200, STATO ANTE OPERAM.....	15
FIGURA 8 – MODELLO NUMERICO 2D DEL FOSSO D'ACQUATRAVERSA: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI, TR200, STATO POST OPERAM.....	16
FIGURA 9 – FOSSO D'ACQUATRAVERSA: SEZIONE “TIPO” DELLE OPERE DI PROTEZIONE DEL RILEVATO.....	17

## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 - CLASSI DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA (P.G.R.A. - DISTRETTO IDROGRAFICO DELL'APPENNINO CENTRALE). ....	5
---	---

	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

## 1 PREMESSA

Il presente studio è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica “*Gronda Merci di Roma Cintura Nord*”, che prevede la chiusura dell’*Anello Ferroviario* mediante la connessione della stazione di Valle Aurelia con la linea che da Roma Smistamento conduce a Tiburtina, passando per le fermate/stazioni di Vigna Clara e di Tor di Quinto.

Nello specifico, la presente relazione si riferisce al **LOTTO 1b** della “*Gronda Merci di Roma Cintura Nord*”, che comprende l’intervento di **nuovo collegamento Vigna Clara - Tor di Quinto con interscambio a Tor di Quinto tra la nuova linea e la linea Roma - Civita Castellana – Viterbo**.

Le analisi idrauliche condotte sono pertanto relative alla nuova tratta di collegamento *Vigna Clara - Tor di Quinto*, che si sviluppa in affiancamento, nella parte iniziale (in uscita dalla fermata di Vigna Clara), al *Fosso d’Acquatraversa*, poco prima della sua confluenza in destra idraulica nel *Fosso della Crescenza* e quindi nel *Fiume Tevere*.

Lo studio idrologico – idraulico del *Fosso d’Acquatraversa* a corredo del presente progetto è finalizzato quindi alla verifica di compatibilità idraulica del tratto di linea ferroviaria ad esso adiacente, ovvero alla verifica dell’eventuale interferenza della linea ferroviaria con le aree di esondazione del corso d’acqua.

Nel dettaglio, lo studio idraulico è stato condotto secondo le seguenti fasi:

- implementazione di un modello numerico bidimensionale (2D), in regime di moto vario, per la determinazione delle aree potenzialmente inondabili e dei corrispondenti tiranti idrici e velocità;
- definizione degli scenari di riferimento per la verifica di compatibilità idraulica delle opere in progetto.

Le analisi sono state sviluppate in accordo alla pianificazione di bacino attualmente in vigore, nello specifico al *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico dell’Appennino Centrale* (PGRAAC, 2021), nonché alle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Piano Stralcio di Assetto Idrologico del Fiume Tevere (2013), alle Norme tecniche delle costruzioni (NTC2018 e relativa circolare applicativa n.7/2019) e al Manuale di Progettazione Ferroviaria (*RFI DTC SI PS MA IFS 001 E – Dicembre 2020*).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

### 2.1 PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL'AREA DI INTERVENTO

L'area oggetto di studio riguarda la tratta *Vigna Clara - Tor di Quinto (LOTTO 1b)*, che si sviluppa (nella sua parte iniziale) in affiancamento al *Fosso d'Acquatraversa*, nello specifico nel tratto tra le progressive 0+200 e 0+600.

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idraulica dell'area di intervento e nello specifico per la definizione delle relative aree di pericolosità è attualmente riportato nel **Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale – P.G.R.A.A.C.** (Il ciclo di pianificazione, ultimo aggiornamento Dicembre 2019, Approvazione definitiva con delibera C.I.P. 27/2021).

In particolare, sono individuate **3 classi di pericolosità idraulica** (*P3 – elevata probabilità, P2 – media probabilità, P1 – scarsa probabilità*).

La classe di pericolosità P3 (*Scenario C - elevata probabilità di alluvioni*) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento o tempo di ritorno  $Tr \in 20 - 50$  anni.

La classe di pericolosità P2 (*Scenario B - media probabilità di alluvioni*) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento  $Tr \in 100 - 200$  anni.

La classe di pericolosità P1 (*Scenario A - scarsa probabilità di alluvioni*) fa riferimento ad un evento di piena raro, caratterizzato da un tempo di ritorno  $Tr \in 200 - 500$  anni.

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

$T_r$ (anni)	Pericolosità idraulica
20-50	P3 (elevata)
100-200	P2 (media)
200-500	P1 (bassa)

Tabella 1 - Classi di pericolosità idraulica (P.G.R.A. - Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale).

Come mostrato nella figura seguente, l'intervento in progetto non ricade in aree classificate a pericolosità idraulica. Tuttavia, il tratto ferroviario (*Vigna Clara - Tor di Quinto*) iniziale sopra definito, in uscita dalla fermata di Vigna Clara, è molto prossimo al corso d'acqua e alle relative aree di pericolosità idraulica, che nella vicina località *Due Ponti* interessano una zona piuttosto ampia a causa sia del rigurgito associato alle piene del *Fiume Tevere* sia delle piene dirette del *Fosso d'Acquatraversa* stesso. La sovrapposizione delle due situazioni costituisce un nodo idraulico di particolare criticità.

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R 09 RI	ID 0002 001	A	6 di 19

Inoltre, la maggior parte dell'intervento ricade in "aree con alta vulnerabilità alle flash floods", ossia aree soggette a improvvisi allagamenti o alluvioni, definiti come effetti al suolo di eventi meteorici (improvvisi) brevi (concentrati) ed intensi (rif. NR4E12R09N6ID0002001A).

Quest'ultima classificazione si è resa necessaria per tenere conto degli effetti dei cambiamenti climatici, in accordo agli indirizzi da intraprendere per far fronte agli impatti previsti, riportati nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC), adottata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2015), di cui si terrà conto nel dimensionamento del sistema di drenaggio, nella successiva fase progettuale.

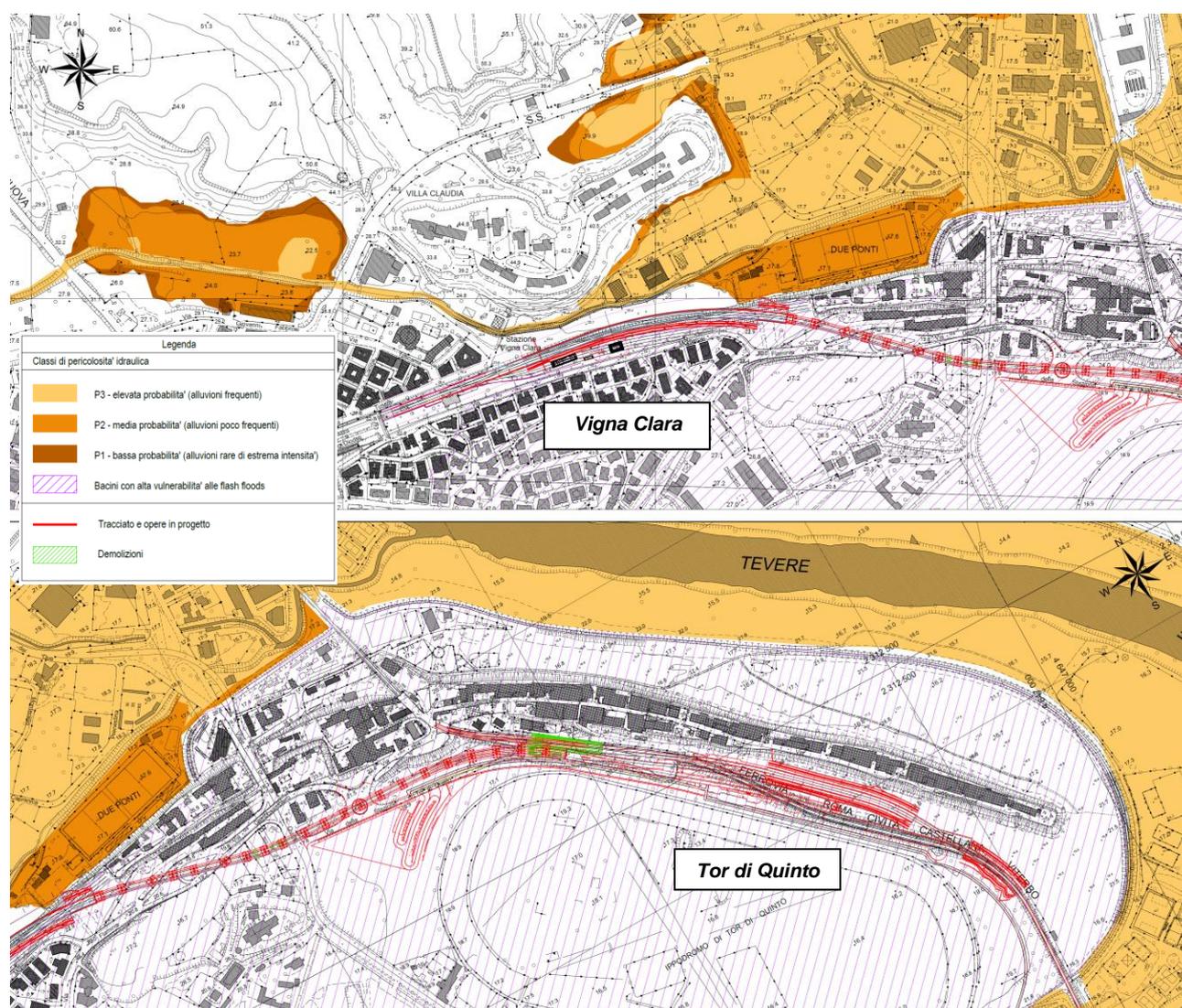


Figura 1 - Aree di pericolosità idraulica da P.G.R.A. (fonte: Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale).

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 7 di 19

## 2.2 OBIETTIVI DELLO STUDIO

In ragione dello scenario di pericolosità idraulica esistente nell'area di intervento, si rende necessario uno studio idraulico di dettaglio, atto a verificare quanto definito nell'ambito della pianificazione di bacino vigente (P.G.R.A.A.C. – II ciclo) e a valutare la compatibilità idraulica del nuovo collegamento ferroviario *Vigna Clara – Tor di Quinto*, nel tratto di suo sviluppo in adiacenza al *Fosso d'Acquatrasversa*.

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte devono osservare le prescrizioni del Manuale di Progettazione ferroviaria RFI (MdP, rif. *RFI DTC SI PS MA IFS 001 E*, 2020), nonché le indicazioni riportate nelle NTC2018 e nella relativa circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019. In sintesi, con riferimento al MdP RFI, le opere in progetto devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati da un tempo di ritorno di 200 anni. Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, nel caso di rilevati vulnerabili per esondazione di corsi d'acqua, si specifica quanto segue:

*“Dovrà essere garantito un franco non inferiore a 1 m tra la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento) e la massima altezza raggiungibile dalla quota di massima piena di progetto; le scarpate dovranno essere protette da apposite opere di difesa progettate sulla base dei parametri indicati nei piani di bacino o negli studi idraulici di progetto.”*

Nella circolare applicativa n.7 del 21 gennaio 2019 delle NTC2018, si asserisce:

*“.....è opportuno che sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature.....”*

Con riferimento alle N.T.A. del P.A.I. dell'Autorità di bacino del Fiume Tevere (2013):

### **Art. 28 - La fascia A (pericolosità elevata)**

*“Nella fascia definita A il P.A.I. persegue l'obiettivo di garantire generali condizioni di sicurezza idraulica, assicurando il libero deflusso della piena di riferimento e il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo e favorendo l'evoluzione naturale del fiume.*

*Nella fascia A sono ammessi esclusivamente:*

.....

*e) gli interventi di ampliamento di opere pubbliche o di pubblico interesse, riferiti a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché di realizzazione di nuove infrastrutture lineari e/o a rete non altrimenti localizzabili, compresa la realizzazione di manufatti funzionalmente connessi e comunque ricompresi all'interno dell'area di pertinenza della stessa opera pubblica.....”*

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO					
<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 8 di 19

**Art. 29. La fascia B (pericolosità media)**

*“Nella fascia B il P.A.I. persegue l'obiettivo di mantenere e migliorare le condizioni di invaso della piena di riferimento, unitamente alla conservazione e al miglioramento delle caratteristiche naturali e ambientali.*

*Nella fascia B, sono ammessi: a) tutti gli interventi già consentiti nella fascia A di cui all'art.28 anche con aumento di volume e ampliamento e modifica delle destinazioni d'uso;*

.....

*Gli interventi sono realizzati in condizione di sicurezza idraulica ed in modo da non costituire significativo ostacolo al libero deflusso e /o significativa riduzione dell'attuale capacità di invaso, impedimento alla realizzazione di interventi di attenuazione e/o riduzione delle condizioni di rischio idraulico e coerentemente con la pianificazione degli interventi di protezione civile.”*

**Art. 30. La fascia C (pericolosità bassa)**

*“Nella fascia C il P.A.I. persegue l'obiettivo di aumentare il livello di sicurezza delle popolazioni mediante la predisposizione prioritaria, da parte degli Enti competenti ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225 e successive modificazioni e/o integrazioni, di programmi di previsione e prevenzione, nonché dei piani di emergenza, tenuto conto delle ipotesi di rischio derivanti dalle indicazioni del P.A.I.*

*I programmi di previsione e prevenzione ed i piani di emergenza per la difesa delle popolazioni e dei loro territori investono anche i territori individuati come Fascia A e Fascia B.*

*L'autorità idraulica competente esprime parere di cui al R.D. n. 523/1904 nei casi di nuove realizzazioni di infrastrutture lineari quali ferrovie, autostrade e strade extraurbane.”*

In definitiva, in accordo al MdP e alle NTC2018, nonché alle indicazioni riportate nelle NTA del P.A.I. dell'AdB Fiume Tevere (circa la definizione delle classi di pericolosità idraulica, sopra descritta), è stato sviluppato lo studio di compatibilità idraulica della tratta *Vigna Clara – Tor di Quinto* mediante la simulazione numerica della propagazione delle onde di piena del *Fosso d'Acquatrasversa* (in questa fase) per il tempo di ritorno di progetto di **200 anni**.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

### 3 STUDIO IDRAULICO

#### 3.1 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello numerico bidimensionale del *Fosso d'Acquatrasversa* è il software InfoWorks ICM 9.0, sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito (UK).

La modellazione bidimensionale di un corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza la propagazione delle onde di piena nell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue riuscendo a modellare il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature; è possibile inoltre rappresentare con un elevato grado di dettaglio la propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle. Allo stesso tempo la rappresentazione in termini bidimensionali del campo di velocità consente di analizzare l'evoluzione degli allagamenti indotti dal propagarsi delle onde di piena all'interno dell'area esaminata.

Il software impiegato è in grado di contenere all'interno dello stesso modello numerico elementi di tipo bidimensionale e monodimensionale.

Il modello numerico utilizzato risolve le equazioni in condizioni di moto vario. Per valutare il campo di moto, il modello numerico implementato in InfoWorks ICM è basato sulla procedura proposta da Alcrudo and Mullet-Marti (2005), *Urban inundation models based upon the Shallow Water Equations*.

La rappresentazione bidimensionale del moto si basa sulla risoluzione delle shallow water equations (o SWE). Le ipotesi alla base per la soluzione delle SWE sono che il flusso sia orizzontale e che la variazione della velocità nella verticale rispetto alla direzione del moto sia trascurabile.

Inoltre, le equazioni sono sviluppate accettando a priori l'ipotesi di idrostaticità del gradiente delle pressioni lungo la direzione verticale.

La formulazione delle SWE utilizzate nel software InfoWorks ICM è riassunta di seguito:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( hu^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1d}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( hv^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial x} = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1d}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> <b>Relazione idraulica</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

I termini citati rappresentano rispettivamente:  $h$ , il tirante idrico della corrente;  $u$  e  $v$ , rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni  $x$  e  $y$ ;  $t$ , il tempo;  $g$ , l'accelerazione di gravità;  $S_{0,x}$ ,  $S_{0,y}$  le componenti dovute alle tensioni tangenziali al fondo, rispettivamente in direzione  $x$  e  $y$ ;  $S_{f,x}$ ,  $S_{f,y}$ , le componenti dovute alla pendenza del fondo, rispettivamente in direzione  $x$  e  $y$ ;  $q_{1D}$ , la portata immessa per unità di superficie;  $u_{1d}$  e  $v_{1d}$ , le componenti di velocità relative alla portata immessa rispettivamente in direzione  $x$  e  $y$ .

Il contributo degli effetti turbolenti viene considerato limitatamente alla turbolenza localizzata alla parete (*wall friction*), mentre gli effetti turbolenti legati alle fluttuazioni di velocità nelle regioni più interne del fluido vengono trascurate. In genere si ingloba quest'ultimo effetto dissipativo nel termine che rappresenta la dissipazione localizzazione alla parete. La formulazione conservativa delle SWE è essenziale al fine di preservare la massa e la quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette di rappresentare le discontinuità nel flusso e i cambiamenti tra moto gradualmente e rapidamente vario (*gradually varied flow* e *rapidly varied flow*). Le SWE, applicate in forma conservativa, sono discretizzate usando lo schema esplicito di primo ordine ai volumi finiti. Gli schemi ai volumi finiti utilizzano volumi di controllo per rappresentare le aree di interesse. Il dominio di calcolo è suddiviso in forme geometriche in grado di interpretare le caratteristiche peculiari del campo di moto stesso sulle quali vengono integrate le SWE.

Lo schema che risolve le SWE è basato sullo schema numerico di Gudonov con i flussi numerici attraverso i contorni dei volumi di controllo calcolati. La metodologia secondo i volumi finiti è considerata essere vantaggiosa in termini di flessibilità della geometria e semplicità concettuale.

Per ciascun elemento di calcolo il timestep richiesto è calcolato utilizzando le condizioni di Courant-Friedrichs-Lewy al fine di raggiungere la stabilità numerica. La formulazione della condizione di Courant-Friedrichs-Lewy è la seguente:

$$c \frac{\Delta x}{\Delta t} \leq 1$$

dove:  $c$  è il numero di Courant (il valore di default è 0.95). Inoltre, InfoWorks ICM utilizza mesh non strutturate per rappresentare il dominio di calcolo bidimensionale.

### 3.1.1 Dati di base

I dati cartografici e topografici a disposizione per l'implementazione del modello numerico sopra introdotto sono:

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR) ad alta risoluzione (50 punti a metro quadrato) eseguito dalla Società Italferr SPA (2020);

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1 m x 1 m, fornito dal Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare (MATTM, 2008);
- rilievo di sezioni (batimetriche) trasversali del Fosso d'Acquatraversa e delle relative opere di attraversamento esistenti, effettuato dalla Società ITALFERR Spa (2020).

In Figura 2 è mostrata l'estensione del rilievo Lidar considerato e l'ubicazione delle sezioni rilevate in alveo sulla base delle quali è stato poi costruito il DTM (*Digital Terrain Model*) di riferimento per il modello numerico implementato.

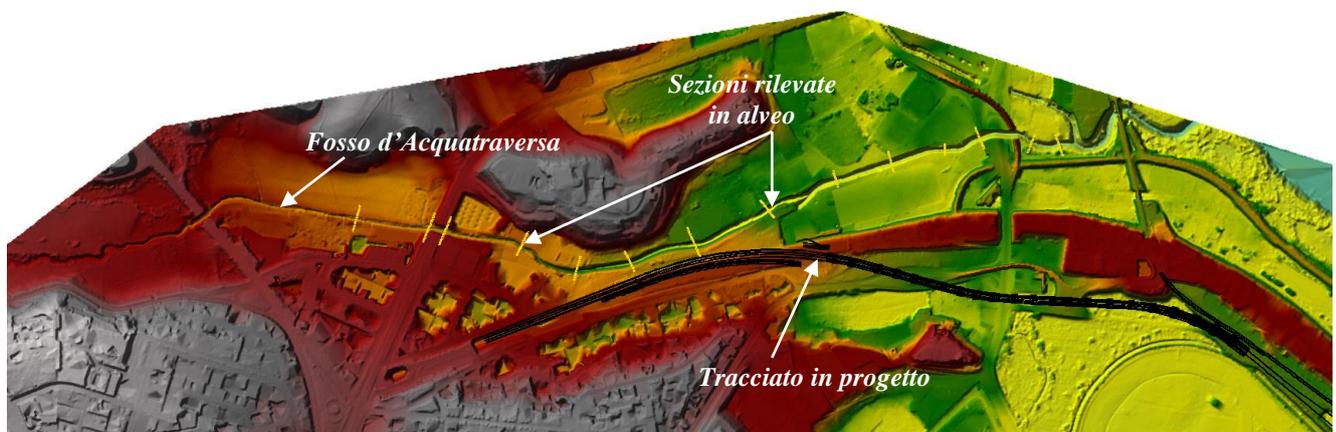


Figura 2 – Fosso d'Acquatraversa: estensione del rilievo Lidar ed ubicazione delle sezioni rilevate in alveo.

Il confronto tra le diverse informazioni, ed in particolare tra le sezioni trasversali dell'alveo rilevate durante apposite campagne topografiche ed i rilievi LiDAR, ha permesso, nell'implementazione del modello numerico 2D sviluppato, di utilizzare i dati più aggiornati che riproducessero maggiormente le attuali condizioni in alveo e nelle aree golenali, potenzialmente inondabili.

### 3.1.2 Geometria del modello 2D

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> <b>Relazione idraulica</b>	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Nello specifico, il modello idraulico del *Fosso d'Acquatraversa* si estende da una sezione a monte dell'attraversamento di via Cassia Nuova fino alla confluenza nel *Fosso della Crescenza*, per una estensione totale di circa 2 km.

La geometria del modello 2D è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l'area di studio, precedentemente descritti.

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

La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 49 m<sup>2</sup> e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 16 m<sup>2</sup>.

Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione massima degli elementi pari a 16 m<sup>2</sup> e una dimensione minima di 4 m<sup>2</sup>.

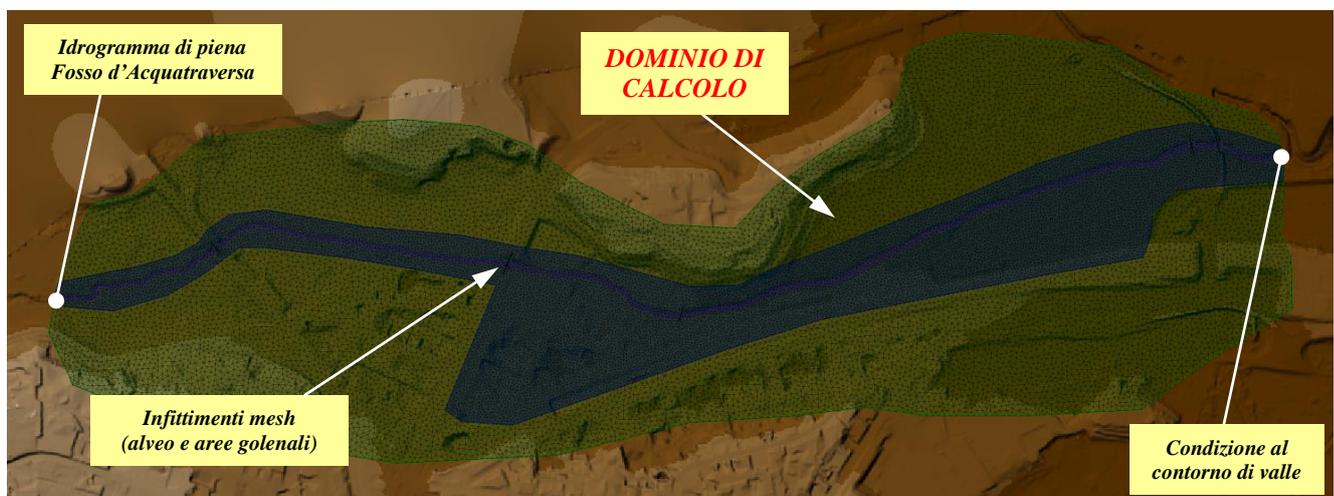


Figura 3 – Modello numerico 2D del Fosso d'Acquatraversa: dominio di calcolo.

Le opere di attraversamento sono state invece implementate tramite appositi elementi disponibili nel software di calcolo (InfoWorks ICM 9.0).

Nello specifico, la riproduzione di un ponte è ottenuta mediante due tipologie di “linea”: 1) Struttura lineare 2D Base (per rappresentare la sezione d'alveo di attraversamento); 2) Struttura lineare – Ponte 2D (per rappresentare l'impalcato e le luci).

Mediante la prima linea, viene estratta dal DTM di base la sezione d'alveo in corrispondenza del ponte/viadotto; tramite la seconda linea, viene definita la struttura (impalcato, campate/pile) dell'opera di attraversamento (Figura 4).

 <b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 13 di 19

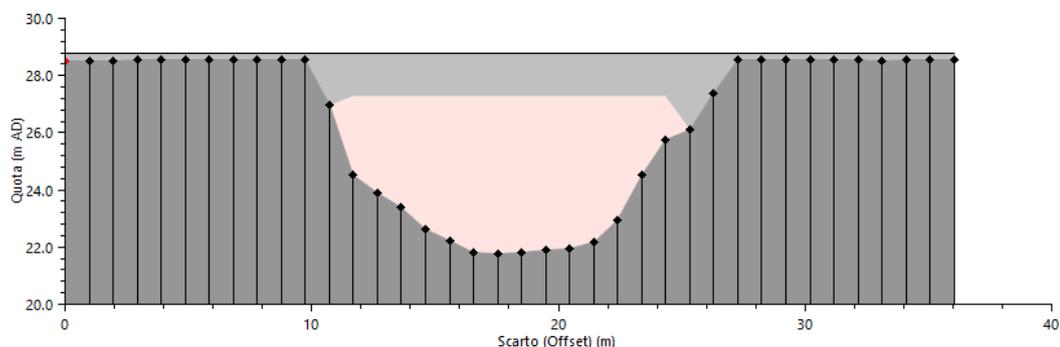


Figura 4 – Modello 2D del Fosso d'Acquatrasversa: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.

### 3.1.3 Scabrezze

Sono adottati i seguenti valori del coefficiente di scabrezza (Manning,  $n$ ):

- per l'alveo inciso,  $n = 0.040 \text{ s/m}^{1/3}$
- per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili,  $n = 0.06 \text{ s/m}^{1/3}$

in accordo alle indicazioni riportate nei documenti della pianificazione di bacino vigente, per corsi d'acqua in ambito urbano.

### 3.1.4 Condizioni al contorno

Per quanto concerne le condizioni al contorno considerate nel modello 2D sviluppato, a monte (nella sezione iniziale) è stata assegnata la condizione “Inflow”, corrispondente all'idrogramma di piena associato ad un determinato tempo di ritorno ( $Tr_{200}$ ), così come determinati nello studio idrologico annesso (rif. NR4E12R09RIID0001001A).

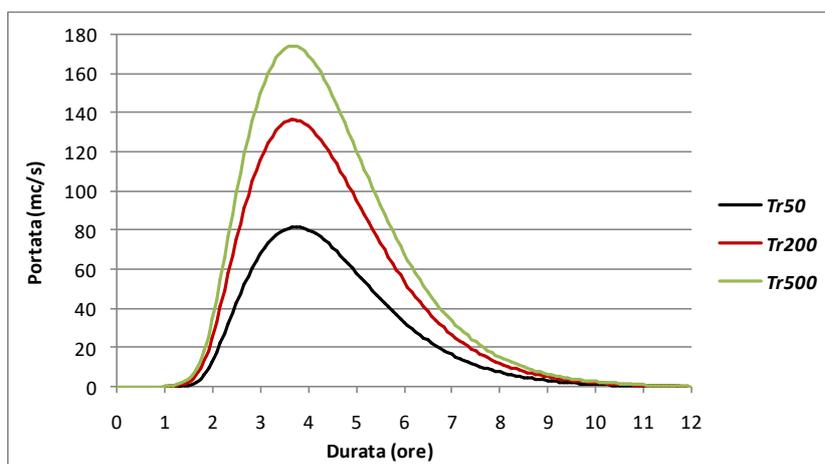


Figura 5 – Fosso d'Acquatrasversa: idrogrammi di piena di progetto.

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R 09 RI	ID 0002 001	A	14 di 19

A valle invece, è stata imposta la condizione “Level”, ossia di livello idrico noto, pari al livello idrico *Tr200* del Fiume Tevere, dedotto dai documenti a corredo della pianificazione di bacino vigente (P.G.R.A.A.C., 2021). Nello specifico, con riferimento alla mappa/tavola 85P riportata nella figura seguente, la confluenza del Torrente Crescenza (nel quale confluisce il Fosso d’Acquatraversa) si attesta all’incirca alla sezione del Fiume Tevere denominata “21090”, alla quale corrisponde secondo il documento “*Allegato – Caratteristiche del deflusso – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – Distretto idrografico dell’Appennino Centrale*” (marzo 2016) una quota del livello idrico associato alla piena con tempo di ritorno di 200 anni pari a +19.90 m slm, imposto quindi costante per tutta la durata della simulazione della propagazione della piena *Tr200* del Fosso d’Acquatraversa, nell’ipotesi cautelativa di contemporaneità delle piene.

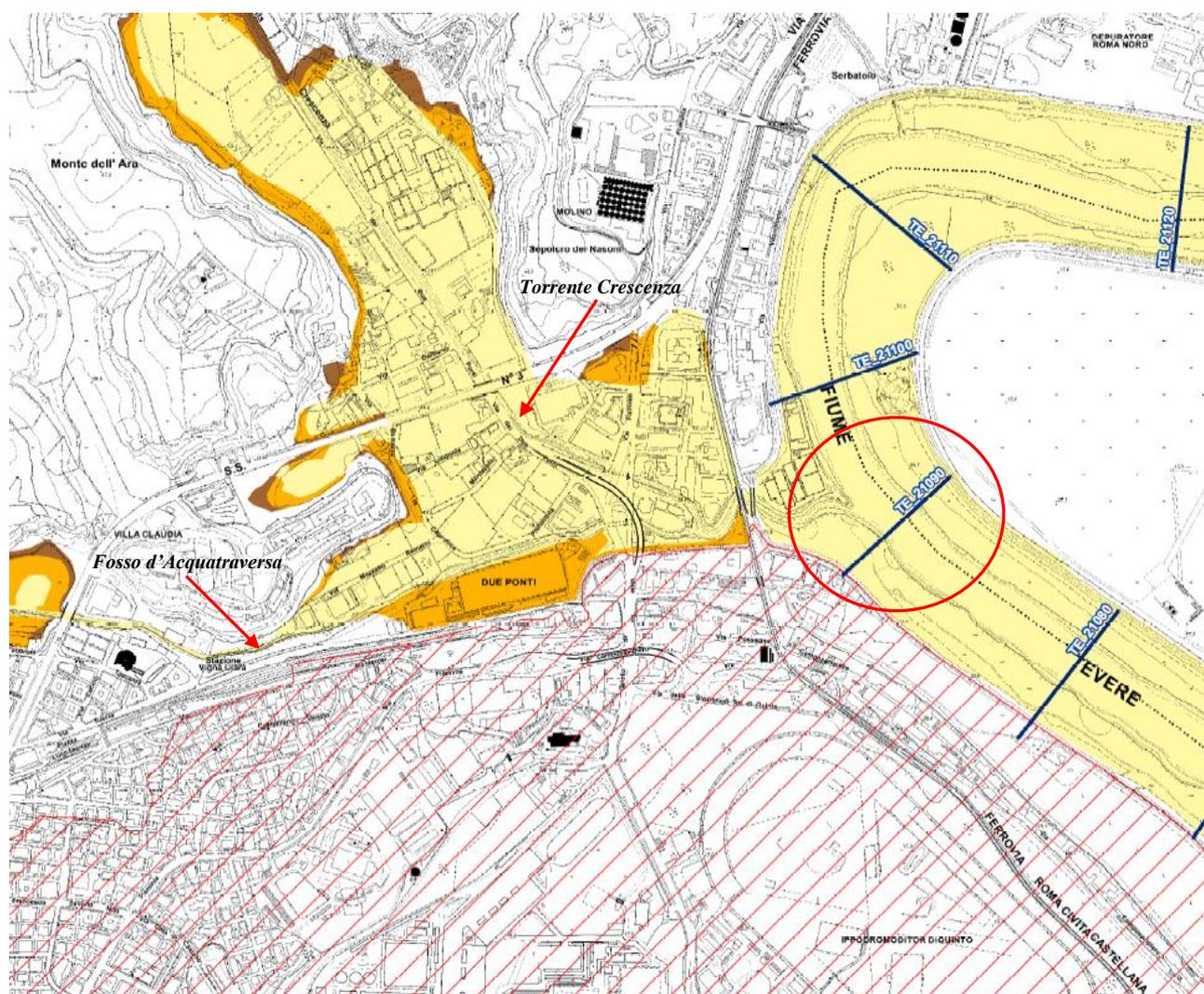


Figura 6 – Modello numerico 2D del Fosso d’Acquatraversa: definizione della condizione al contorno di valle, livello idrico del Fiume Tevere (stralcio della Tavola 85P del P.G.R.A.A.C., 2021).

 <b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b>	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	<b>Relazione idraulica</b>	<b>COMMESSA</b> NR4E	<b>LOTTO</b> 12	<b>CODIFICA</b> R 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 001	<b>REV.</b> A

### 3.1.5 Scenari simulati

Come anzidetto, si è proceduto alla simulazione dell'onda di piena del *Fosso d'Acquatraversa* riferita al tempo di ritorno ( $T_r$ ) di progetto di 200 anni, nelle seguenti configurazioni geometriche:

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

## 3.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

### 3.2.1 Modello 2D - Fosso d'Acquatraversa: configurazione "ante operam"

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche 2D, in termini di aree potenzialmente inondabili, per un tempo di ritorno di 200 anni, allo stato attuale, in quel di Vigna Clara e località Due Ponti.

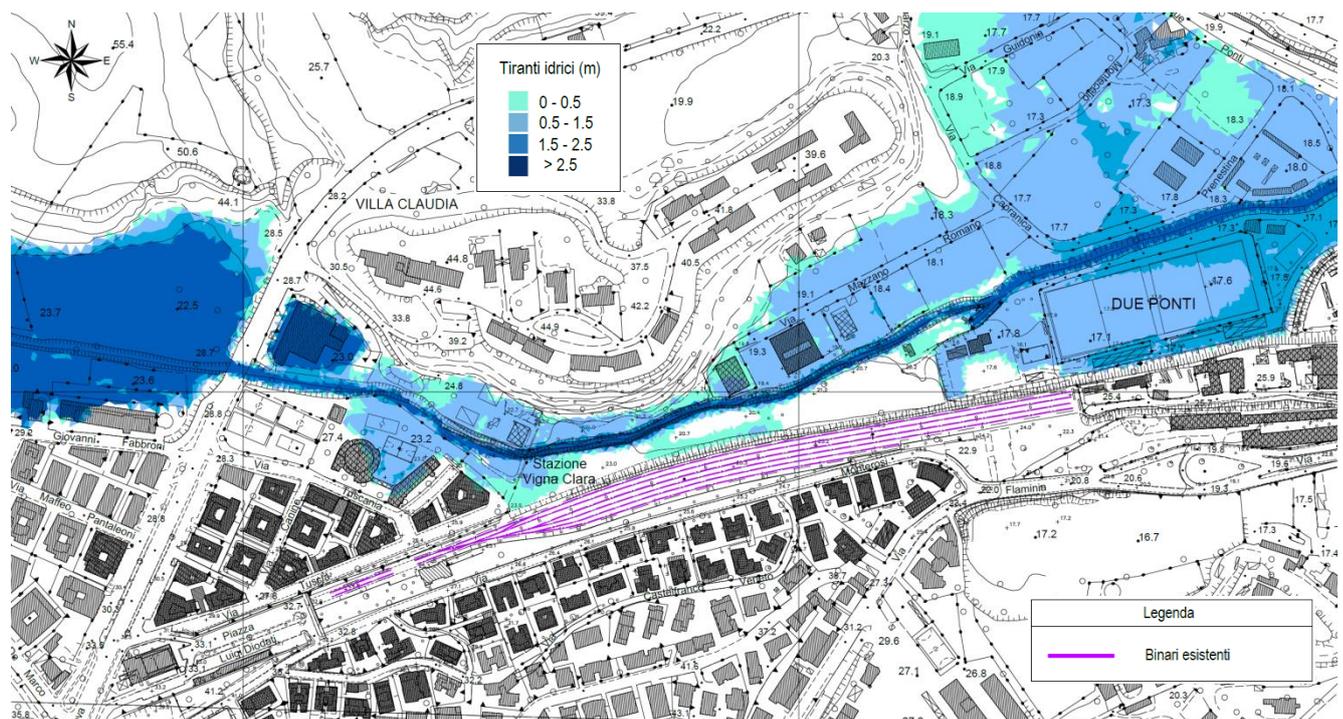


Figura 7 – Modello numerico 2D del Fosso d'Acquatraversa: aree potenzialmente inondabili,  $T_r$ 200, stato ante operam.

 <b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b>	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
	<b>Relazione idraulica</b>	<b>COMMESSA</b> NR4E	<b>LOTTO</b> 12	<b>CODIFICA</b> R 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 0002 001	<b>REV.</b> A

Come si evince dalle figura precedente, sono confermate le aree di pericolosità indicate nelle mappe del P.G.R.A. dell’Autorità di bacino distrettuale dell’Appennino Centrale, seppure con qualche (minima) differenza in termini di estensione, dovuta principalmente alla base cartografica/topografica più aggiornata adottata per l’implementazione del modello 2D nel presente progetto.

In tale scenario (“*ante operam, Tr200*”), la linea ferroviaria esistente (in particolare il piede delle scarpate del rilevato lato Fosso d’Acquatraversa alle progressive 0+200 e 0+350 circa) risulterebbe interessata marginalmente dalle acque esondate, con tiranti e velocità di modesta entità (30-40 cm, 0.2÷0.4 m/s, cfr. NR4E12R09P6ID0002001A, NR4E12R09P6ID0002003A).

### 3.2.2 Modello 2D - Fosso d’Acquatraversa: configurazione “*post operam*”

Si è proceduto dunque alla simulazione numerica 2D della propagazione della piena Tr200 del Fosso d’Acquatraversa nella configurazione di progetto. Nello specifico, nel tratto di affiancamento al corso d’acqua, si prevede la realizzazione di un nuovo rilevato fra muri che, superata la zona di sovrapposizione con il fascio di binari esistente presso la fermata di Vigna Clara, prende quota per poi approssicare al viadotto di scavalco della via Flaminia Vecchia. Tale nuovo rilevato è stato implementato nella geometria del modello 2D attraverso l’inserimento di un poligono “vuoto” rappresentante l’ingombro in pianta del rilevato stesso.

Di seguito, i risultati ottenuti in termini di aree potenzialmente inondabili.

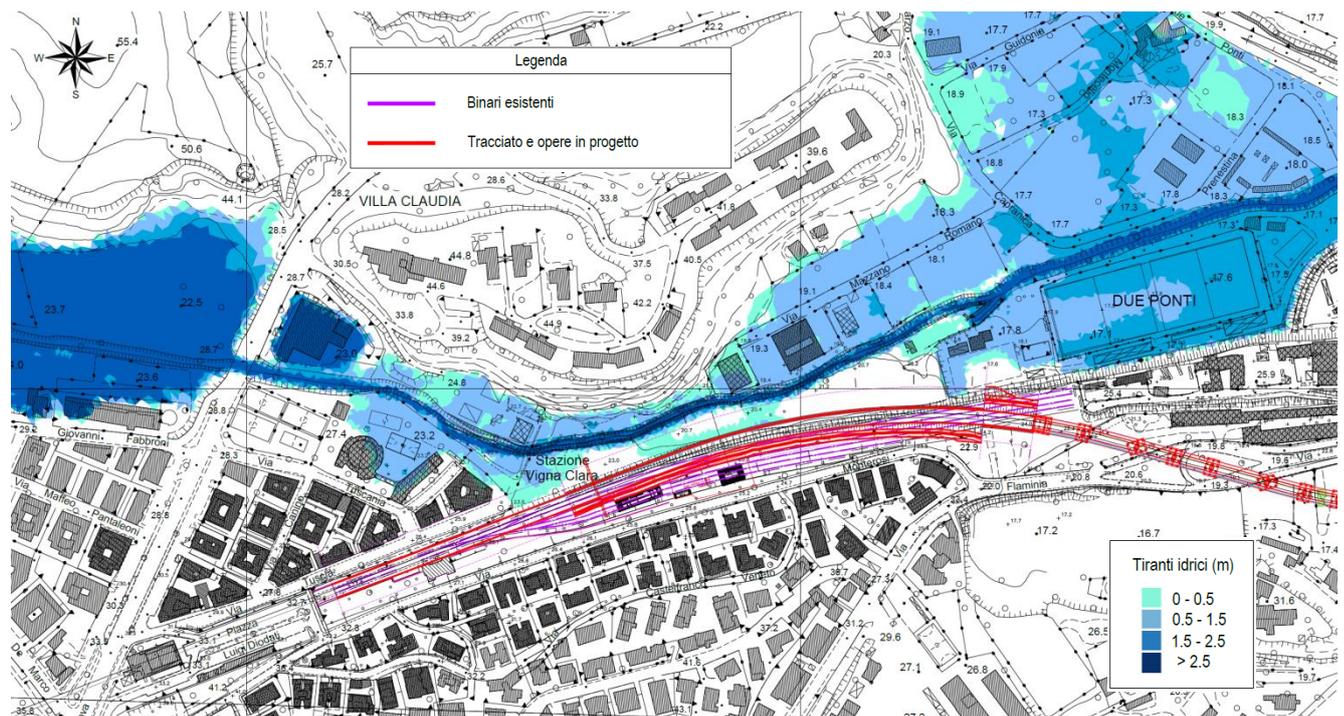


Figura 8 – Modello numerico 2D del Fosso d’Acquatraversa: aree potenzialmente inondabili, Tr200, stato *post operam*.

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	12	R 09 RI	ID 0002 001	A	17 di 19

Come per la linea esistente nella configurazione ante operam, anche la nuova linea, ed in particolare il nuovo rilevato fra muri previsto tra le progressive 0+200 e 0+600, risulta marginalmente interessata dalle acque esondate (Tr200) del Fosso d'Acquatraversa (tra le progressive 0+300 e 0+350), con tiranti e velocità dalla medesima entità di quella riscontrata nelle simulazioni dello stato attuale (cfr. NR4E12R09P6ID0002002A, NR4E12R09P6ID0002004A, NR4E12R09WZID0002001A).

Nel tratto di maggiore vicinanza della nuova linea FFSS al corso d'acqua, il livello idrico si attesta a quota +22.05 m slm, a fronte di una quota del piano ferro di progetto di +25.90 m slm.

Si prevede comunque la posa in opera di materassi tipo Reno a protezione del piede del muro del nuovo rilevato, al fine di inibire l'innescò di eventuali fenomeni di erosione o sotto-escavazione.

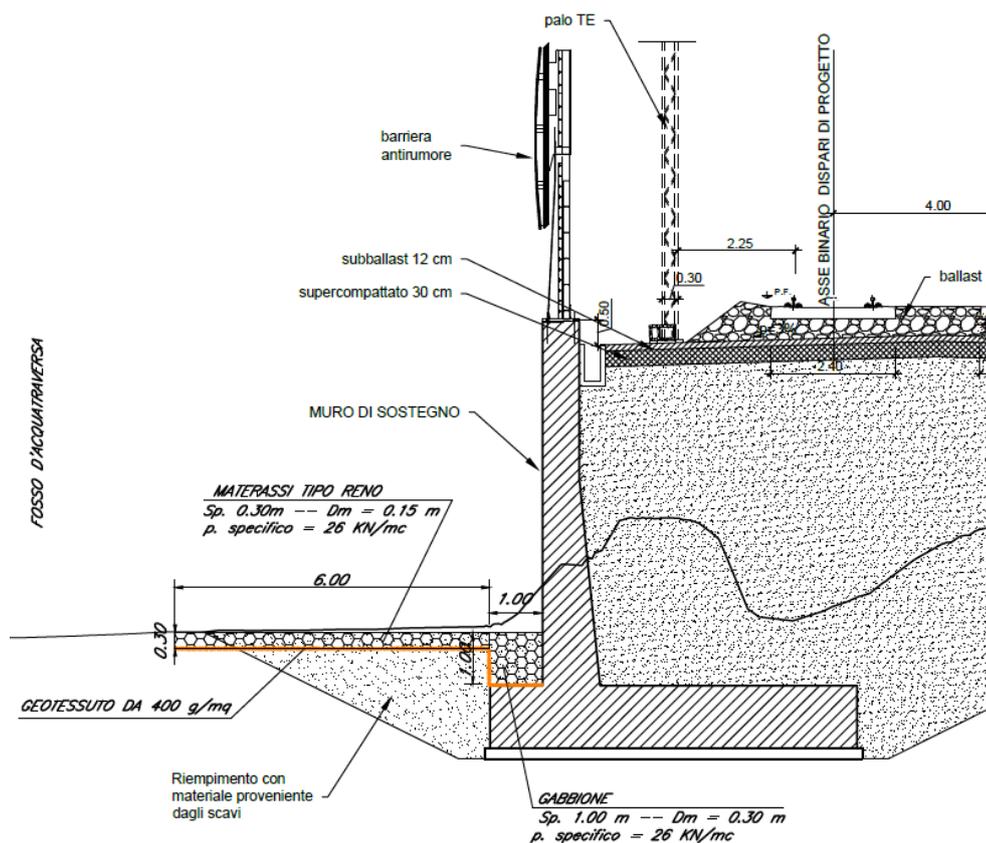


Figura 9 – Fosso d'Acquatraversa: sezione "tipo" delle opere di protezione del rilevato.

	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b>  <b>Relazione idraulica</b>	<b>COMMESSA</b>  NR4E	<b>LOTTO</b>  12	<b>CODIFICA</b>  R 09 RI	<b>DOCUMENTO</b>  ID 0002 001	<b>REV.</b>  A	<b>FOGLIO</b>  18 di 19

#### 4 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento al par. 3.8.1.2.1.2 – Parte II Sezione 3 “Corpo Stradale” del Manuale di Progettazione Ferroviaria, nel caso di rilevati vulnerabili per esondazione di corsi d’acqua, “*dovrà essere garantito un franco non inferiore a 1 m tra la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento) e la massima altezza raggiungibile dalla quota di massima piena di progetto; le scarpate dovranno essere protette da apposite opere di difesa progettate sulla base dei parametri indicati nei piani di bacino o negli studi idraulici di progetto.*”

Come si evince dai risultati delle simulazioni numeriche descritte nel capitolo precedente, la tratta ferroviaria in progetto, *Vigna Clara – Tor di Quinto*, ed in particolare il “nuovo” rilevato da progr. 0+200 a progr. 0+600 circa, risulta marginalmente interessata dalle acque esondate del *Fosso d’Acquatrasversa*, associate alla piena di progetto (i.e. con tempo di ritorno di 200 anni). In ragione della modesta entità dei tiranti al piede del rilevato, è ampiamente garantito il franco minimo di 1 metro tra piano di regolamento e livello idrico Tr200 (cfr. NR4E12R09WZID0002001A).

A protezione del piede del nuovo rilevato fra muri sono state previste comunque opportune opere di protezione (i.e. materassi tipo Reno), in accordo sempre alle indicazioni riportate nel Manuale di Progettazione Ferroviaria. Il confronto tra i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili, livelli idrici e velocità, ottenuti nelle simulazioni numeriche bidimensionali effettuate, non ha evidenziato differenze significative tra le configurazioni ante e post operam. Pertanto, l’attuale situazione di pericolosità idraulica del territorio rimane invariata a seguito anche della realizzazione della tratta ferroviaria in progetto.

In definitiva, le analisi e le verifiche idrauliche svolte dimostrano la compatibilità (ai sensi delle N.T.A. della pianificazione di bacino vigente) delle opere in progetto in termini sia di franco di sicurezza sia di interferenza con le aree potenzialmente inondabili del Fosso d’Acquatrasversa.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA</b> <b>GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD</b> <b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE</b> <b>LOTTO 1b TRATTA VIGNA CLARA - TOR DI QUINTO</b>					
<b>IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 12	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 19 di 19

## 5 BIBLIOGRAFIA

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

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

Maione U., Brath A., *L'ingegneria naturalistica nella sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizione BIOS, 1998.

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

Manuale di progettazione RFI (2020).

Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) – D.M. 17 gennaio 2018 e Circolare esplicativa delle NTC 2018 n. 7 del 21 gennaio 2019

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (aggiornamento dicembre 2019, approvazione 2021).

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

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

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