

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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

Studio idraulico bidimensionale della confluenza "Fiume Tevere - Fiume Aniene"

SCALA:

-

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


NR4E 21 R 09 RI ID0002 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Data
A	Emissione esecutiva	C. CESALI 	Luglio 2021	F. CARAS 	Luglio 2021	T. RAOLETTI 	Luglio 2021	A. VITTOZZI 	Luglio 2021

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


File:

n. Elab.:

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO	7
2.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL' AREA DI INTERVENTO	7
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO	9
3	STUDIO IDRAULICO	13
3.1	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE	13
3.1.1	DATI DI BASE.....	15
3.1.2	GEOMETRIA DEL MODELLO 2D	20
3.1.3	SCABREZZE	22
3.1.4	CONDIZIONI AL CONTORNO	22
3.1.5	SCENARI SIMULATI.....	23
3.2	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	25
3.2.1	SCENARIO DI CALIBRAZIONE DEL MODELLO: EVENTO DEL 2014.....	25
3.2.2	CONFIGURAZIONE “ANTE OPERAM”	27
3.2.3	CONFIGURAZIONE “POST OPERAM”	31
3.3	VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO (VI04 – TEVERE)	35
3.4	VERIFICA DELLA FASE DI CANTIERE (VI04 – VIADOTTO TEVERE)	37
4	VALUTAZIONE DELLO SCALZAMENTO ATTESO	39
5	OPERE DI SISTEMAZIONE/PROTEZIONE IDRAULICA	46
6	CONSIDERAZIONI SULLA NAVIGABILITÀ DEL FIUME TEVERE.....	48
7	COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO	50
8	BIBLIOGRAFIA	52

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 - AREE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA (STRALCIO TAV. 85P DEL P.G.R.A.A.C.), TAV. 1 DI 2.....	8
FIGURA 2 - AREE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA (STRALCIO TAV. 85P DEL P.G.R.A.A.C.), TAV. 2 DI 2.....	9
FIGURA 3 – NUOVO VIADOTTO SUL FIUME TEVERE: PROSPETTO FRONTALE (LATO MARE).	10
FIGURA 4 – NUOVO VIADOTTO SUL FIUME TEVERE: VISTA LATERALE.	10
FIGURA 5 – FIUME TEVERE E FIUME ANIENE: ESTENSIONE DEL RILIEVO LIDAR ED UBICAZIONE DELLE SEZIONI RILEVATE IN ALVEO.	15
FIGURA 6 – FIUME TEVERE: PONTE STRADALE DI TOR DI QUINTO.	16
FIGURA 7 – FIUME TEVERE: PONTE FERROVIARIO DI TOR DI QUINTO.	16
FIGURA 8 – FIUME TEVERE: PONTE FLAMINIO.....	17
FIGURA 9 – FIUME TEVERE: PONTE MILVIO.	17
FIGURA 10 – FIUME TEVERE: PONTE DUCA D’AOSTA.....	17
FIGURA 11 – FIUME TEVERE: PONTE DELLA MUSICA.....	18
FIGURA 12 – FIUME TEVERE: PONTE OGDF VILLA SPADA.	18
FIGURA 13 – FIUME ANIENE: PONTE FERROVIARIO PRATI FISCALI, #1.	18
FIGURA 14 – FIUME ANIENE: PONTE FERROVIARIO PRATI FISCALI, #2.	19
FIGURA 15 – FIUME ANIENE: PONTE VIA DELLE VALLI.	19
FIGURA 16 – FIUME ANIENE: PONTE FERROVARIO CAMPI FLEGREI.	19
FIGURA 17 – FIUME ANIENE: PONTE CAMPI FLEGREI.....	20
FIGURA 18 – MODELLO NUMERICO 2D: DOMINIO DI CALCOLO.....	21
FIGURA 19 – MODELLO 2D DEL FIUME TEVERE E DEL FIUME ANIENE: IMPLEMENTAZIONE DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IN INFOWORKS ICM.	22
FIGURA 20 – FIUME TEVERE E FIUME ANIENE: RICOSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA ASSOCIATI ALL’EVENTO DEL 2014.	23
FIGURA 21 – FIUME TEVERE E FIUME ANIENE: IDROGRAMMI DI PIENA DI PROGETTO CONSIDERATI.....	24
FIGURA 22 – CALIBRAZIONE DEL MODELLO 2D DEL FIUME TEVERE E FIUME ANIENE: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI (EVENTO DEL 2014).	25
FIGURA 23 – CALIBRAZIONE DEL MODELLO NUMERICO 2D: FIUME TEVERE, LIVELLO IDRICO A VILLA SPADA (EVENTO DEL 2014).....	26
FIGURA 24 – CALIBRAZIONE DEL MODELLO NUMERICO 2D: FIUME TEVERE, LIVELLO IDRICO A FORO ITALICO (EVENTO DEL 2014).....	26
FIGURA 25 – CALIBRAZIONE DEL MODELLO NUMERICO 2D: FIUME ANIENE, LIVELLO IDRICO A PONTE SALARIO (EVENTO DEL 2014).	27
FIGURA 26 –MODELLO NUMERICO 2D, SCENARIO I) – ANTE OPERAM: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI (“TEVERE Tr200” – “ANIENE Tr200”), IN CORRISPONDENZA DEL NUOVO VIADOTTO VI04 SUL FIUME TEVERE.	28



 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

FIGURA 27 –MODELLO NUMERICO 2D, SCENARIO I) – ANTE OPERAM: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI (“TEVERE Tr200” – “ANIENE Tr200”), DETTAGLIO IN CORRISPONDENZA DELLA FERMATA DI VAL D’ALA.	29
FIGURA 28 –MODELLO NUMERICO 2D, SCENARIO II) – ANTE OPERAM: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI (“TEVERE Tr20” – “ANIENE Tr200”), DETTAGLIO IN CORRISPONDENZA DELLA FERMATA DI VAL D’ALA.	30
FIGURA 29 –MODELLO NUMERICO 2D, SCENARIO I) – POST OPERAM: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI (“TEVERE Tr200” – “ANIENE Tr200”), IN CORRISPONDENZA DEL NUOVO VIADOTTO VI04 SUL FIUME TEVERE.	32
FIGURA 30 –MODELLO NUMERICO 2D, SCENARIO I) – POST OPERAM: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI (“TEVERE Tr200” – “ANIENE Tr200”), DETTAGLIO IN CORRISPONDENZA DELLA FERMATA DI VAL D’ALA.	33
FIGURA 31 –MODELLO NUMERICO 2D, SCENARIO II) – POST OPERAM: AREE POTENZIALMENTE INONDABILI (“TEVERE Tr20” – “ANIENE Tr200”), DETTAGLIO IN CORRISPONDENZA DELLA FERMATA DI VAL D’ALA.	34
FIGURA 32 – VIADOTTO VI04, CAMPATA DI SCAVALCO DELL’ALVEO INCISO CON LIVELLI IDRICI Tr200.	35
FIGURA 33 – MODELLO NUMERICO 2D, SCENARIO I) – POST OPERAM: MAPPA DEI VETTORI VELOCITÀ IN CORRISPONDENZA DEL VIADOTTO VI04 SUL FIUME TEVERE E RISPETTO DELLA PRESCRIZIONE RELATIVA ALLA LUCE NETTE MINIMA TRA PILE CONTIGUE, COME DA NTC2018.	36
FIGURA 34 – TIPOLOGICO DELL’OPERA PROVVISORIA PREVISTA PER LA REALIZZAZIONE DELLE FONDAZIONI DELLE PILE DEL NUOVO VIADOTTO VI04.	37
FIGURA 35 – VERIFICA DELLA FASE DI CANTIERE (1D): LIVELLO IDRICO NELLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO, ALLA STATO ATTUALE.	38
FIGURA 36 – VERIFICA DELLA FASE DI CANTIERE (1D): LIVELLO IDRICO NELLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO, IN PRESENZA DI OPERE PROVVISORIE.	38
FIGURA 37–DIFFERENTI TIPOLOGIE DI PILE NON UNIFORMI DOTATE DI FONDAZIONI.	42
FIGURA 38–MODELLO 1D: LIVELLO IDRICO DI RIFERIMENTO PER Tr = 1,001 ANNI NELLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO.	43
FIGURA 39 – CALCOLO DELLO SCALZAMENTO IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE.	45
FIGURA 40 – OPERE DI SISTEMAZIONE/PROTEZIONE PREVISTE IN CORRISPONDENZA DELLE PILE DEL VI04: PIANTA.	47

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 - CLASSI DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA (P.G.R.A. - DISTRETTO IDROGRAFICO DELL’APPENNINO CENTRALE).	7
TABELLA 2 – VIADOTTO VI04: VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO.	35
TABELLA 3- FORMULAZIONE CSU: VALORI DEI FATTORI CORRETTIVI K1, K2, K3.	40

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	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, il progetto si articola in 3 lotti funzionali:


- **LOTTO 1** che comprende
 - raddoppio tratta Valle Aurelia - Vigna Clara
 - nuovo collegamento Vigna Clara - Tor di Quinto con interscambio a Tor di Quinto tra la nuova linea e la linea Roma Civitacastellana Viterbo
- **LOTTO 2** composto da
 - **tratta Tor di Quinto – Val d’Ala**
 - modifiche PRG Tiburtina
- **LOTTO 3** costituito da
 - tratta Bivio Pineto – Stazione Aurelia
 - tratta Bivio Tor di Quinto – Roma Smistamento

Le analisi idrauliche condotte sono relative al **LOTTO 2** ed in particolare alla tratta *Tor di Quinto – Val d’Ala*, che si sviluppa in affiancamento al **Fiume Aniene**, nel tratto fluviale finale prima della sua confluenza nel **Fiume Tevere**, attraversando quest’ultimo (mediante il nuovo viadotto VI04) poco prima della confluenza del **Fiume Aniene**.

Lo studio idrologico – idraulico dei due corsi d’acqua a corredo del presente progetto è finalizzato quindi alla verifica di compatibilità idraulica del nuovo viadotto sul Fiume Tevere e del tratto ferroviario (comprese le opere accessorie) che si sviluppa in affiancamento al Fiume Aniene.

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;
- calibrazione del modello numerico 2D sulla base di eventi piena recenti per la determinazione dei coefficienti di scabrezza;
- definizione degli scenari di riferimento per il dimensionamento delle opere in progetto.

 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA												
IDROLOGIA E IDRAULICA 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>21</td> <td>R 09 RI</td> <td>ID 0002 001</td> <td>A</td> <td>6 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	6 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	6 di 52								

E' stato inoltre effettuato il dimensionamento delle opere di protezione attorno alle pile in alveo (o interessate dalla piena di progetto) al fine di inibire possibili fenomeni di erosione e scalzamento, dopo i rimaneggiamenti dovuti alle fasi di realizzazione del viadotto.

Sono studiate anche le fasi di costruzione del nuovo viadotto, in particolare la realizzazione delle sottostrutture di fondazione in alveo. Nello specifico, sono state previste adeguate opere provvisorie ai fini della messa in sicurezza delle aree di lavoro.

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, 2019), nonché alle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Piano Stralcio di Assetto Idrologico del Fiume Tevere (2014), 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*).

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	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 *Tor di Quinto – Val d'Ala* (LOTTO 2), che si sviluppa in corrispondenza della confluenza del *Fiume Aniene* nel *Fiume Tevere*, attraversando quest'ultimo alla progressiva 2+600 circa.

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 riportata 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 prevista per il 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 nelle figure seguenti, l'intervento in progetto attraversa aree classificate a pericolosità idraulica (*P3, elevata*) soltanto in corrispondenza del nuovo attraversamento (viadotto VI04) sul Fiume Tevere.

Tuttavia, è da segnalare la vicinanza del nuovo "binario pari" (in prossimità della Fermata di Val d'Ala) alle aree di pericolosità idraulica del Fiume Aniene.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	8 di 52

Inoltre, la restante 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. NR4E21R09N6ID0002001A, NR4E21R09N6ID0002002A).

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).

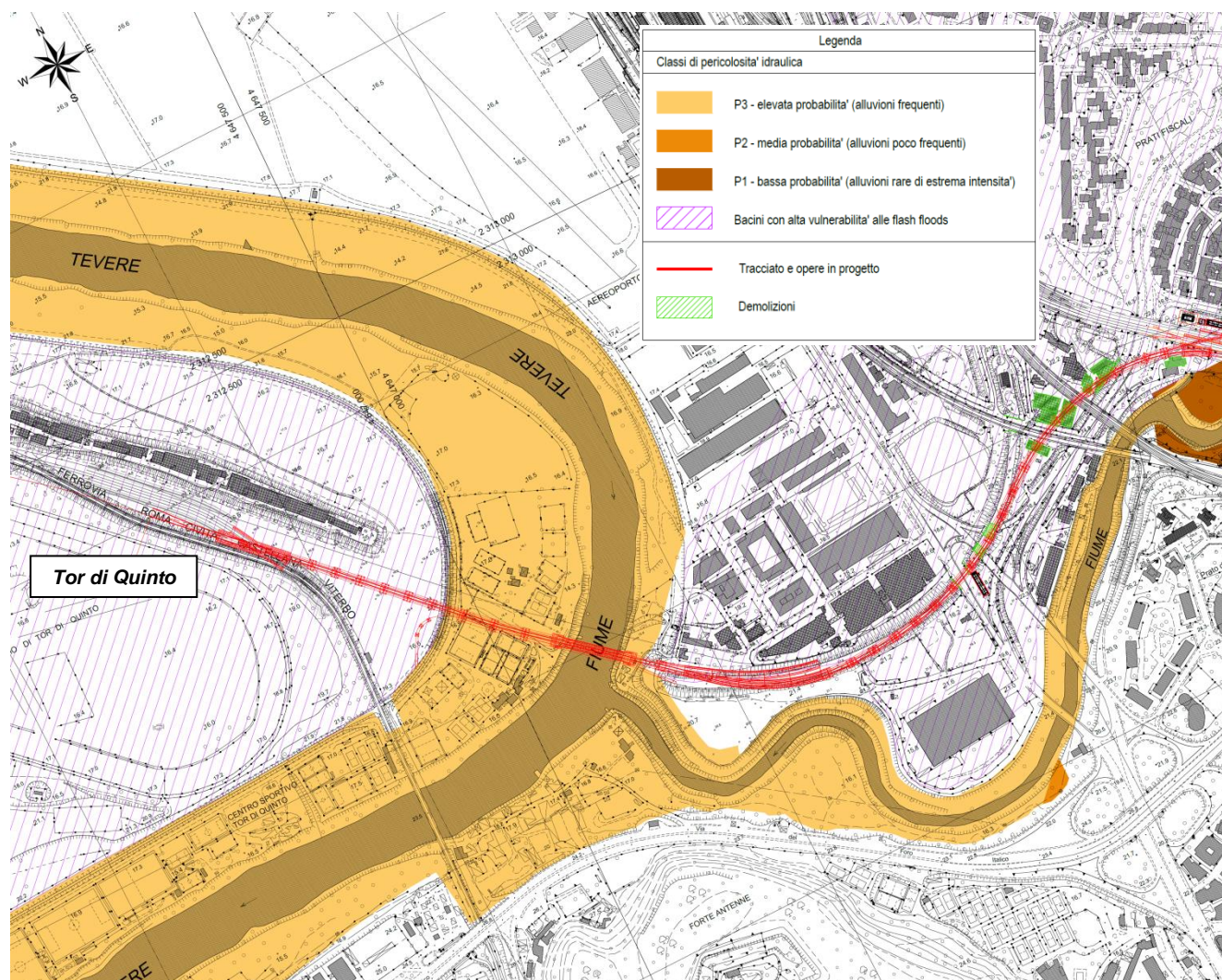


Figura 1 - Aree di pericolosità idraulica (stralcio tav. 85P del P.G.R.A.A.C.), tav. 1 di 2.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	9 di 52

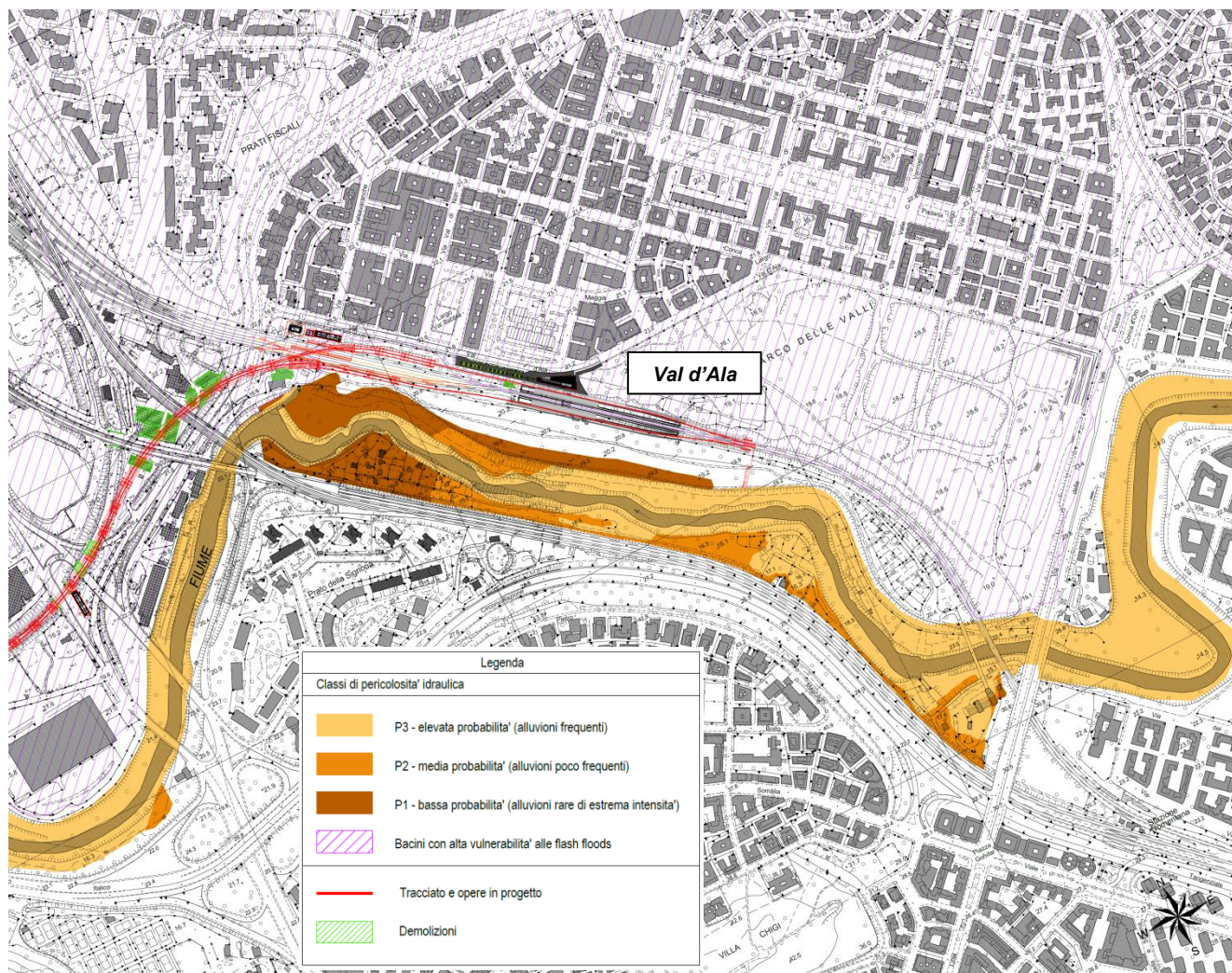


Figura 2 - Aree di pericolosità idraulica (stralcio tav. 85P del P.G.R.A.A.C.), tav. 2 di 2.

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 viadotto VI04 sul *Fiume Tevere* (di cui si riportano alcuni prospetti in Figura 3 e Figura 4; per maggiori dettagli, si rimanda comunque ai paragrafi successivi) nonché del tracciato in progetto (comprese le opere accessorie), in adiacenza al *Fiume Aniene*. Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento 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.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	10 di 52

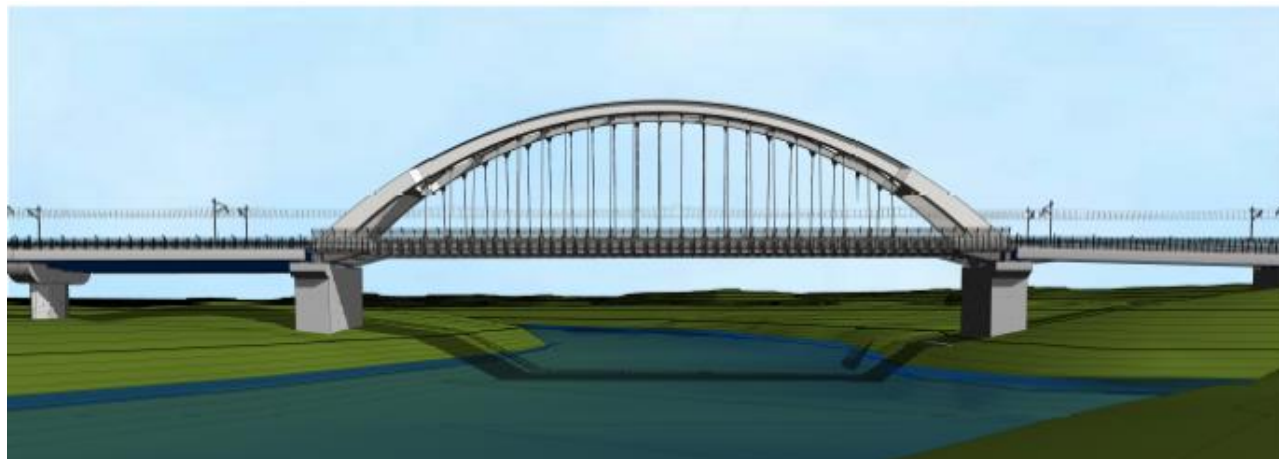



Figura 3 – Nuovo viadotto sul Fiume Tevere: prospetto frontale (lato mare).



Figura 4 – Nuovo viadotto sul Fiume Tevere: vista laterale.

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

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

 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 11 di 52

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

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

“..... Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni ($Tr=200$).....Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente.


Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.

Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo.

Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.”

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

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

 <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA</p>					
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica</p>	<p>COMMESSA NR4E</p>	<p>LOTTO 21</p>	<p>CODIFICA R 09 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 0002 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 12 di 52</p>

Con riferimento alle N.T.A. del P.A.I. dell'Autorità di bacino del Fiume Tevere (2014):

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.

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.”

 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA												
IDROLOGIA E IDRAULICA 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>21</td> <td>R 09 RI</td> <td>ID 0002 001</td> <td>A</td> <td>13 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	13 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	13 di 52								

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 nuova opera di attraversamento sul Fiume Tevere (VI04) e del tracciato di progetto nel suo complesso mediante la simulazione numerica della propagazione delle onde di piena del Fiume Tevere e del Fiume Aniene per un tempo di ritorno di progetto di **200 anni**.

3 STUDIO IDRAULICO

3.1 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE


Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello numerico bidimensionale del *Fiume Tevere* e del *Fiume Aniene* è il software InfoWorks ICM 9.0, sviluppato dalla software house Innowyze 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 con la 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:

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

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

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

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

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.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

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);
- 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 Fiume Tevere e del Fiume Aniene, e delle relative opere di attraversamento esistenti, effettuato dalla Società ITALFERR Spa (2020);
- sezioni trasversali del F. Tevere e F. Aniene fornite dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (campagna topografica del 1997).

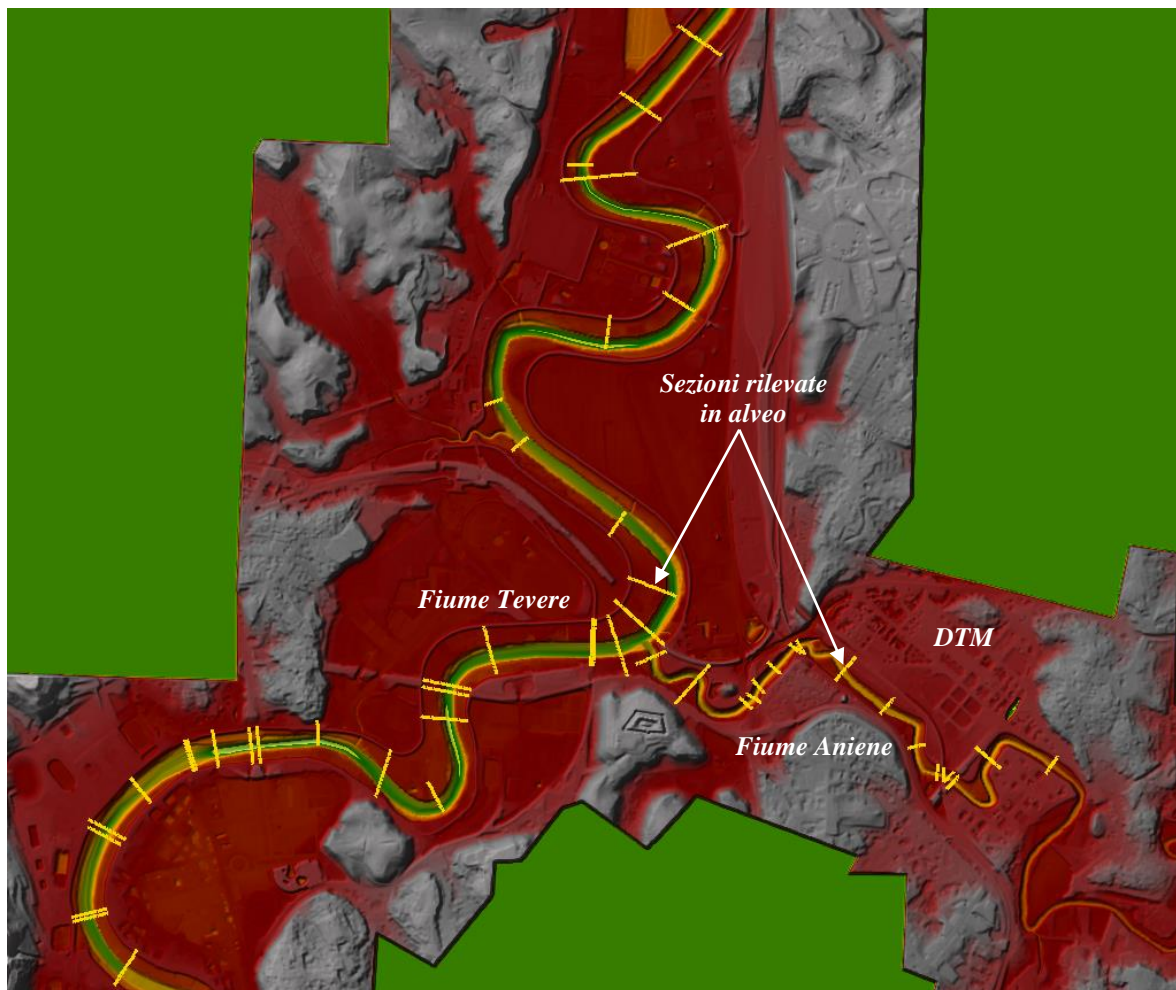



Figura 5 – Fiume Tevere e Fiume Aniene: estensione del rilievo Lidar ed ubicazione delle sezioni rilevate in alveo.

	NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

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 sviluppato, di utilizzare i dati più aggiornati, che riproducessero maggiormente le attuali condizioni in alveo e nelle aree golenali, potenzialmente inondabili.

In Figura 5 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.

Di seguito, le foto dei ponti esistenti “rilevati” sul F. Tevere e sul F. Aniene, e implementati/considerati nel modello numerico 2D.



Figura 6 – Fiume Tevere: ponte stradale di Tor di Quinto.



Figura 7 – Fiume Tevere: ponte ferroviario di Tor di Quinto.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	17 di 52



Figura 8 – Fiume Tevere: Ponte Flaminio.



Figura 9 – Fiume Tevere: Ponte Milvio.



Figura 10 – Fiume Tevere: Ponte Duca d'Aosta.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	18 di 52



Figura 11 – Fiume Tevere: Ponte della Musica.



Figura 12 – Fiume Tevere: Ponte OGDF Villa Spada.



Figura 13 – Fiume Aniene: ponte ferroviario Prati Fiscali, #1.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	19 di 52



Figura 14 – Fiume Aniene: ponte ferroviario Prati Fiscali, #2.



Figura 15 – Fiume Aniene: Ponte via delle Valli.



Figura 16 – Fiume Aniene: ponte ferroviario Campi Flegrei.


	NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A



Figura 17 – Fiume Aniene: ponte Campi Flegrei.

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.

Nello specifico, il modello idraulico del Fiume Tevere e del Fiume Aniene si estende relativamente al tratto fluviale del Fiume Tevere, da una sezione subito a valle della traversa di Castel Giubileo (denominata "TE 21200", rif. tavola 85p del P.G.R.A.A.C.) fino alla sezione denominata "TE 209200" (rif. tavola 86p del P.G.R.A.A.C.), per una estensione totale di circa 12 km; mentre con riferimento al Fiume Aniene, dalla sezione denominata "A007_01" (rif. tavola 86p del P.G.R.A.A.C.) fino alla confluenza nel F. Tevere, per una estensione totale di circa 4 km (Figura 18).

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 100 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 25 m².

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

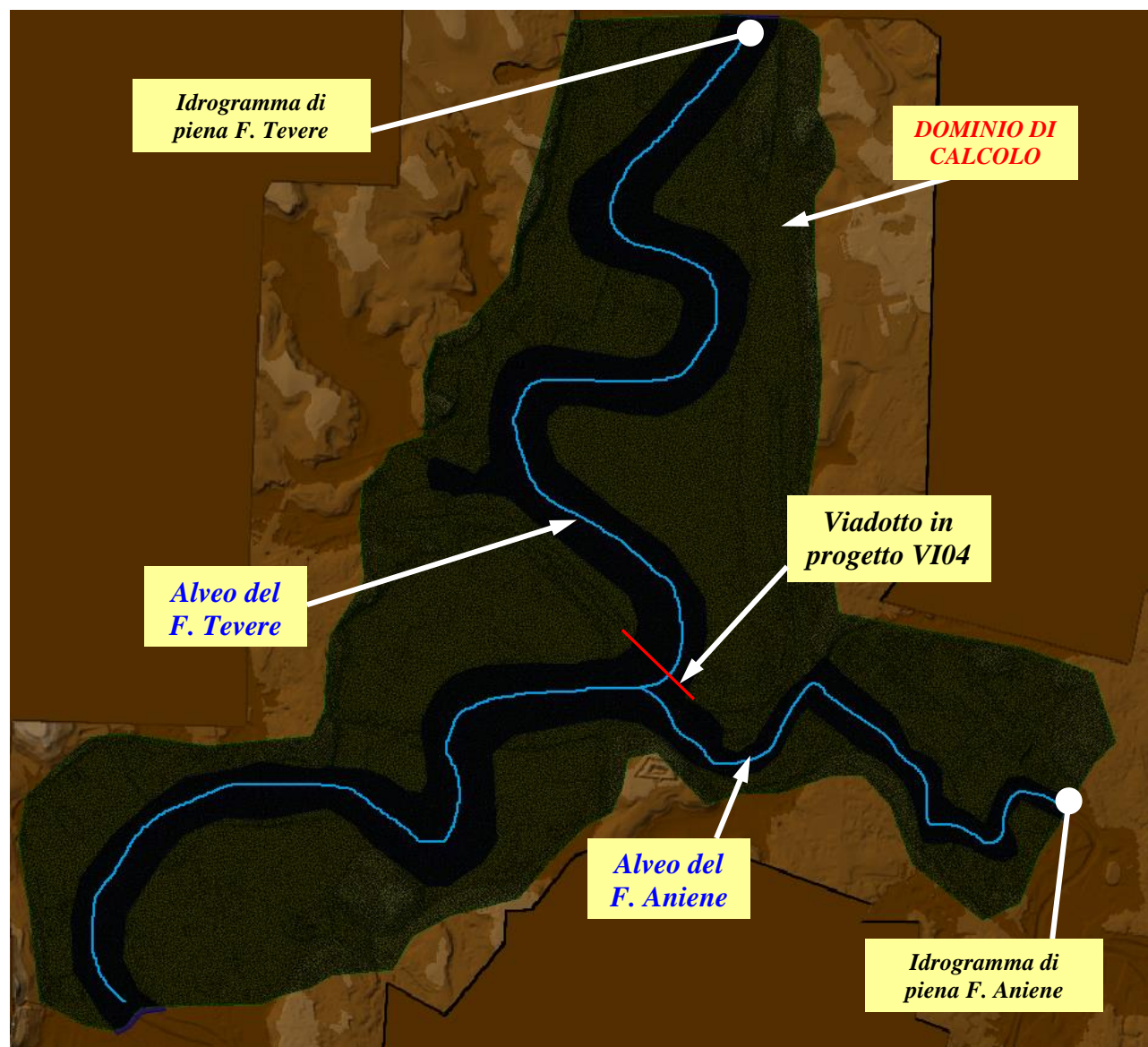



Figura 18 – Modello numerico 2D: dominio di calcolo.

Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione massima degli elementi è pari a 25 m² e una dimensione minima di 10 m².

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).

 IDROLOGIA E IDRAULICA	NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

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 19).

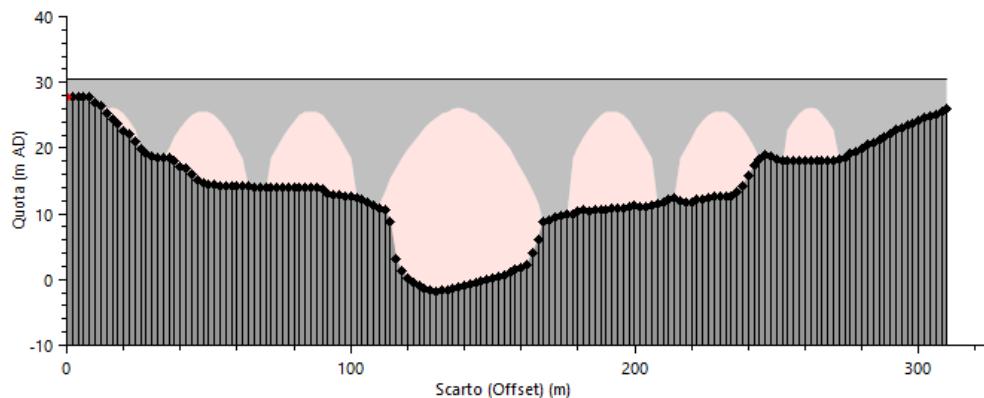


Figura 19 – Modello 2D del Fiume Tevere e del Fiume Aniene: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.

3.1.3 Scabrezze

I valori del coefficiente di scabrezza (Manning, n) adottati:


- per l'alveo inciso, $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$ per il tratto del Fiume Tevere a monte della confluenza del Fiume Aniene, $n = 0.075 \text{ s/m}^{1/3}$ per il tratto del Fiume Tevere a valle della confluenza del Fiume Aniene, $n = 0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ per il tratto fluviale del Fiume Aniene;
- per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili, $n = 0.100 \text{ s/m}^{1/3}$

sono stati dedotti mediante un processo di calibrazione del modello numerico sviluppato, basato sulla simulazione dell'evento di piena verificatosi nel 2014, introdotto e descritto nella relazione idrologica annessa (rif. NR4E21R09RIID0001001A), i cui risultati sono descritti in dettaglio nei paragrafi seguenti.

3.1.4 Condizioni al contorno

Per quanto concerne le condizioni al contorno considerate nel modello sviluppato, a monte (nelle sezioni iniziali, relativamente ai tratti fluviali del Fiume Tevere e del Fiume Aniene) è stata assegnata la condizione “*Inflow*”, corrispondente agli idrogrammi di piena associati ad un determinato tempo di ritorno, secondo gli scenari simulati, descritti nella relazione idrologica annessa (rif. NR4E21R09RIID0001001A).

A valle invece, è stata imposta la condizione “*Normal Condition*”, ossia di livello idrico di moto uniforme, in ragione della sufficiente estensione del modello a valle della sezione di attraversamento in progetto.

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

3.1.5 Scenari simulati

E' stata dapprima condotta la simulazione della propagazione dell'onda di piena relativa all'evento del gennaio-febbraio 2014, come anticipato nella relazione idrologica annessa, ai fini della calibrazione e della verifica di attendibilità del modello numerico sviluppato. I corrispondenti idrogrammi di piena sono stati ricostruiti a partire dai valori di portata al colmo registrati/misurati durante l'evento, e indicati/riportati nell'elaborato NR4E21R09RIID0001001A (i.e. F. Tevere: 1742 m³/s; F. Aniene: 170 m³/s), e dalla forma delle onde di piena fornite dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale. Inoltre, gli idrogrammi di piena sono stati sfalsati di 7 ore, in accordo alle registrazioni idrometriche, nello specifico agli orari in cui sono stati misurati i picchi/colmi di portata (Figura 20).

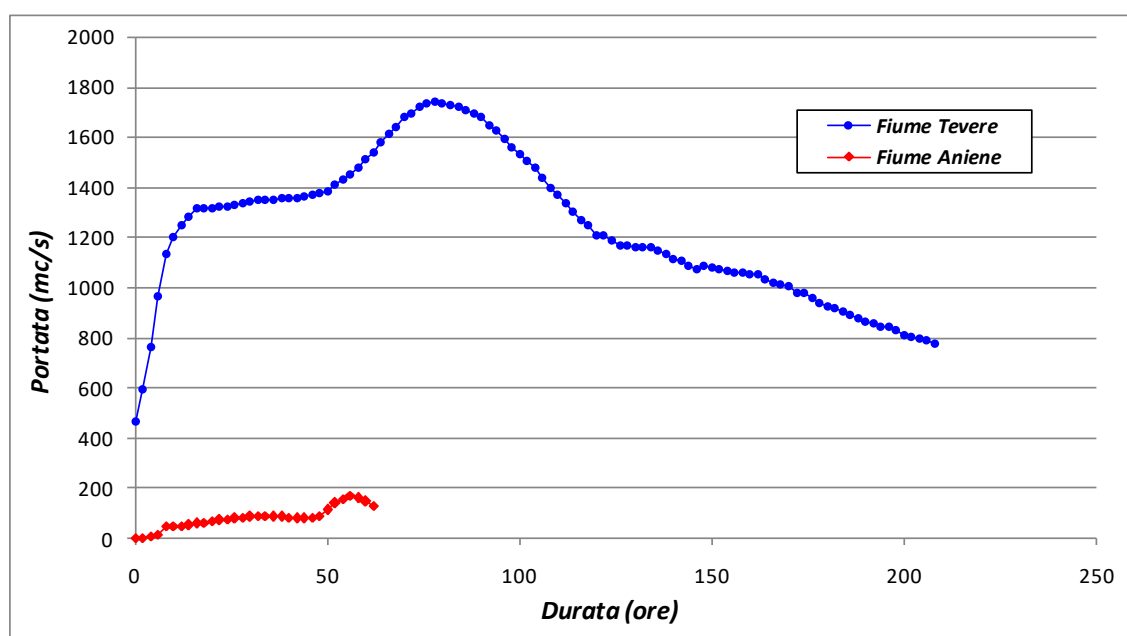



Figura 20 – Fiume Tevere e Fiume Aniene: ricostruzione degli idrogrammi di piena associati all'evento del 2014.

Successivamente, ai fini della verifica di compatibilità idraulica del nuovo viadotto VI04 sul Fiume Tevere e della linea ferroviaria in progetto nel suo complesso nel tratto di adiacenza con il Fiume Aniene, si è proceduto alla simulazione delle onde di piena riferite ai tempi di ritorno (Tr) di progetto, 200 anni, **con riferimento alle situazioni “ante operam” e “post operam”**, nei seguenti scenari:

- I) evento con $Tr = 200$ anni del Fiume Tevere + evento con $Tr = 200$ anni del Fiume Aniene, con posizione dei colmi di piena coincidente;
- II) evento con $Tr = 20$ anni del Fiume Tevere + evento con $Tr = 200$ anni del Fiume Aniene, con posizione dei colmi di piena coincidente.

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Le situazioni “ante operam” e “post operam” identificano le seguenti configurazioni geometriche:

- *stato attuale* (ante operam) caratterizzata dalla geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto, comprese le opere di attraversamento fluviale esistenti
- *stato di progetto* (post operam) ovvero 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,...).

La portata del Fiume Tevere con $Tr = 20$ anni (tempo ritorno inferiore considerato nella pianificazione di bacino, rif. Tabella 1) è stata ricavata per interpolazione dei valori disponibili per i rimanenti tempi di ritorno; il corrispondente idrogramma è stato ricavato a partire dalla forma delle onde di piena fornite dall’Autorità di Distretto dell’Appennino Centrale (rif. NR4E21R09RIID0001001A).

Nella figura seguente sono riportati gli idrogrammi di piena di progetto considerati.

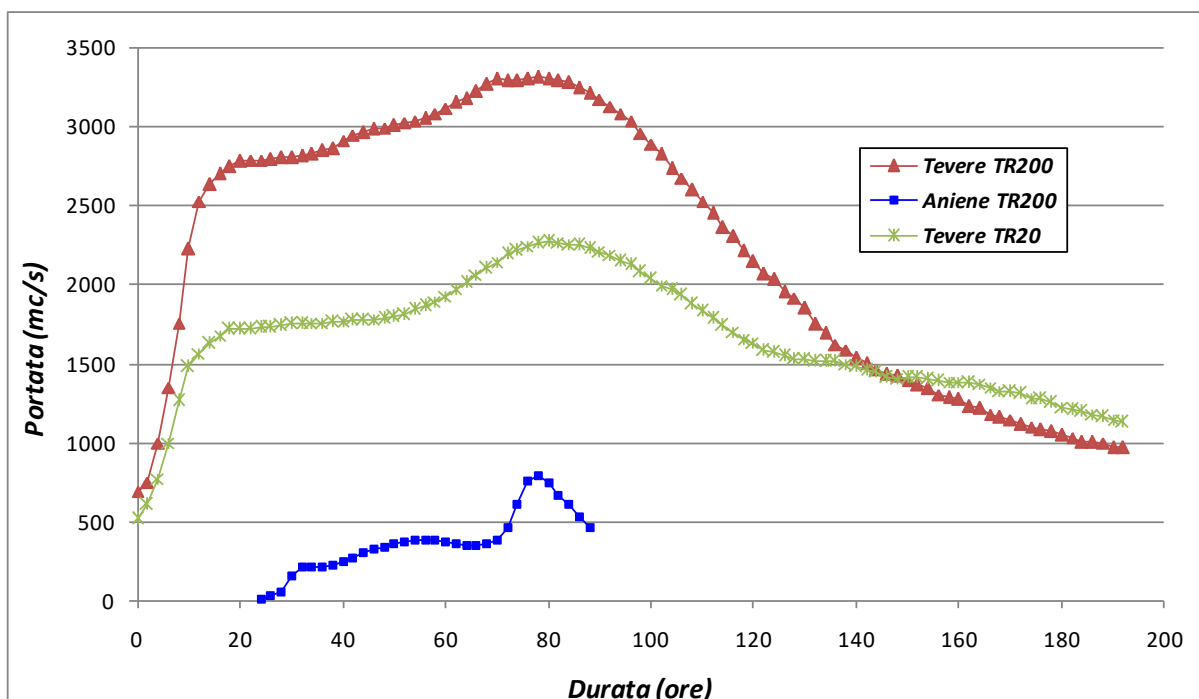



Figura 21 – Fiume Tevere e Fiume Aniene: idrogrammi di piena di progetto considerati.

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

3.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

3.2.1 Scenario di calibrazione del modello: evento del 2014

La calibrazione del modello è stata condotta prendendo come riferimento le registrazioni idrometriche disponibili per i tratti fluviali oggetto di studio, misurate durante l'evento del 2014, modificando in modo iterativo il valore dei coefficienti di scabrezza assegnati distintamente per i tratti di fluviali del F. Tevere a monte e a valle della confluenza del F. Aniene, e del F. Aniene stesso.

Il migliore risultato (in termini di livelli idrici), mostrato nelle figure seguenti, è stato ottenuto assegnando i valori scabrezza sopra indicati (i.e. per l'alveo inciso, $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$ per il tratto del Fiume Tevere a monte della confluenza del Fiume Aniene, $n = 0.075 \text{ s/m}^{1/3}$ per il tratto del Fiume Tevere a valle della confluenza del Fiume Aniene, $n = 0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ per il tratto fluviale del Fiume Aniene; per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili, $n = 0.100 \text{ s/m}^{1/3}$).



Figura 22 – Calibrazione del modello 2D del Fiume Tevere e Fiume Aniene: aree potenzialmente inondabili (evento del 2014).

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	26 di 52

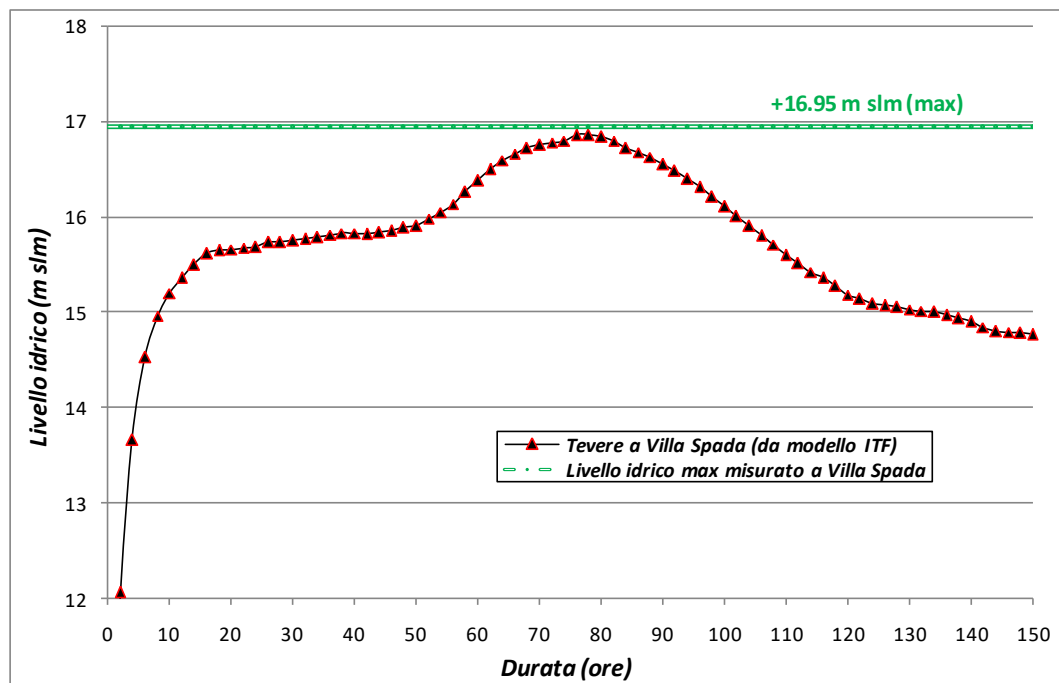


Figura 23 – Calibrazione del modello numerico 2D: Fiume Tevere, livello idrico a Villa Spada (evento del 2014).

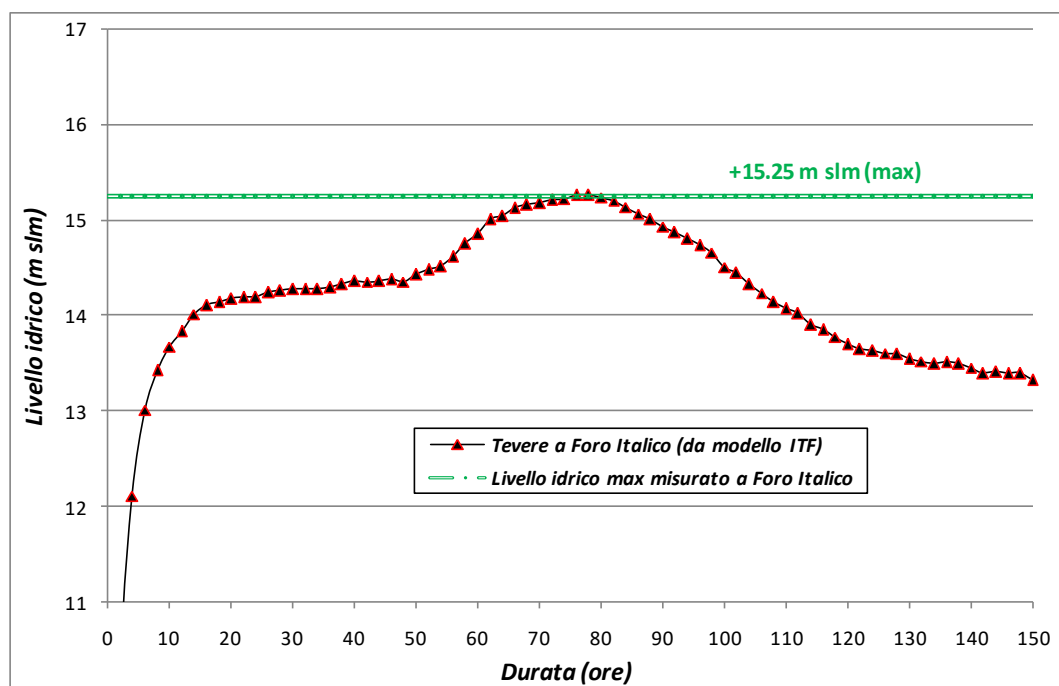



Figura 24 – Calibrazione del modello numerico 2D: Fiume Tevere, livello idrico a Foro Italico (evento del 2014).

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

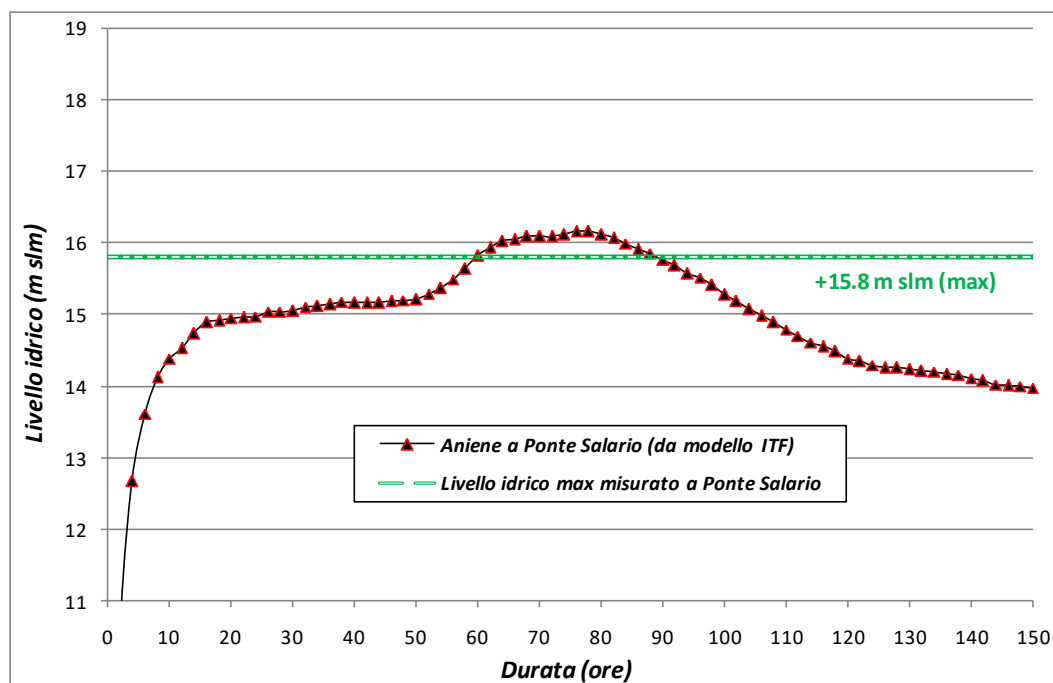


Figura 25 – Calibrazione del modello numerico 2D: Fiume Aniene, livello idrico a Ponte Salario (evento del 2014).

3.2.2 Configurazione “ante operam”

3.2.2.1 Scenario I (Tevere Tr200 + Aniene Tr200)

Si riportano di seguito i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili relative allo scenario I), considerato di progetto per il nuovo viadotto VI04 sul Fiume Tevere, nella configurazione geometrica “ante operam” (stato attuale).

Nello specifico, in corrispondenza della sezione di attraversamento di progetto (VI04) sul Fiume Tevere, il livello idrico associato alla piena con tempo di ritorno di 200 anni si attesta a +19.63 m slm, congruentemente con il valore indicato nei documenti della pianificazione di bacino (rif. sezione denominata “TE21050, Allegato “Caratteristiche del deflusso” – P.G.R.A.A.C., 2016).

Relativamente al tratto che si estende dalla confluenza “Tevere-Aniene” alla fermata di Val d’Ala, il Fiume Aniene esonda in zona Campi Flegrei e in zona Prati Fiscali, presumibilmente a causa del forte rigurgito operato dai livelli idrici nel Fiume Tevere.

I risultati evidenziano il possibile sormonto (allo stato attuale) della linea ferroviaria esistente in corrispondenza della fermata di Val d’Ala e della “futura” spalla (lato Val d’Ala) del nuovo Viadotto VI07 “Val d’Ala” (come evidenziato in Figura 27, dai cerchi in colore nero).

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	28 di 52

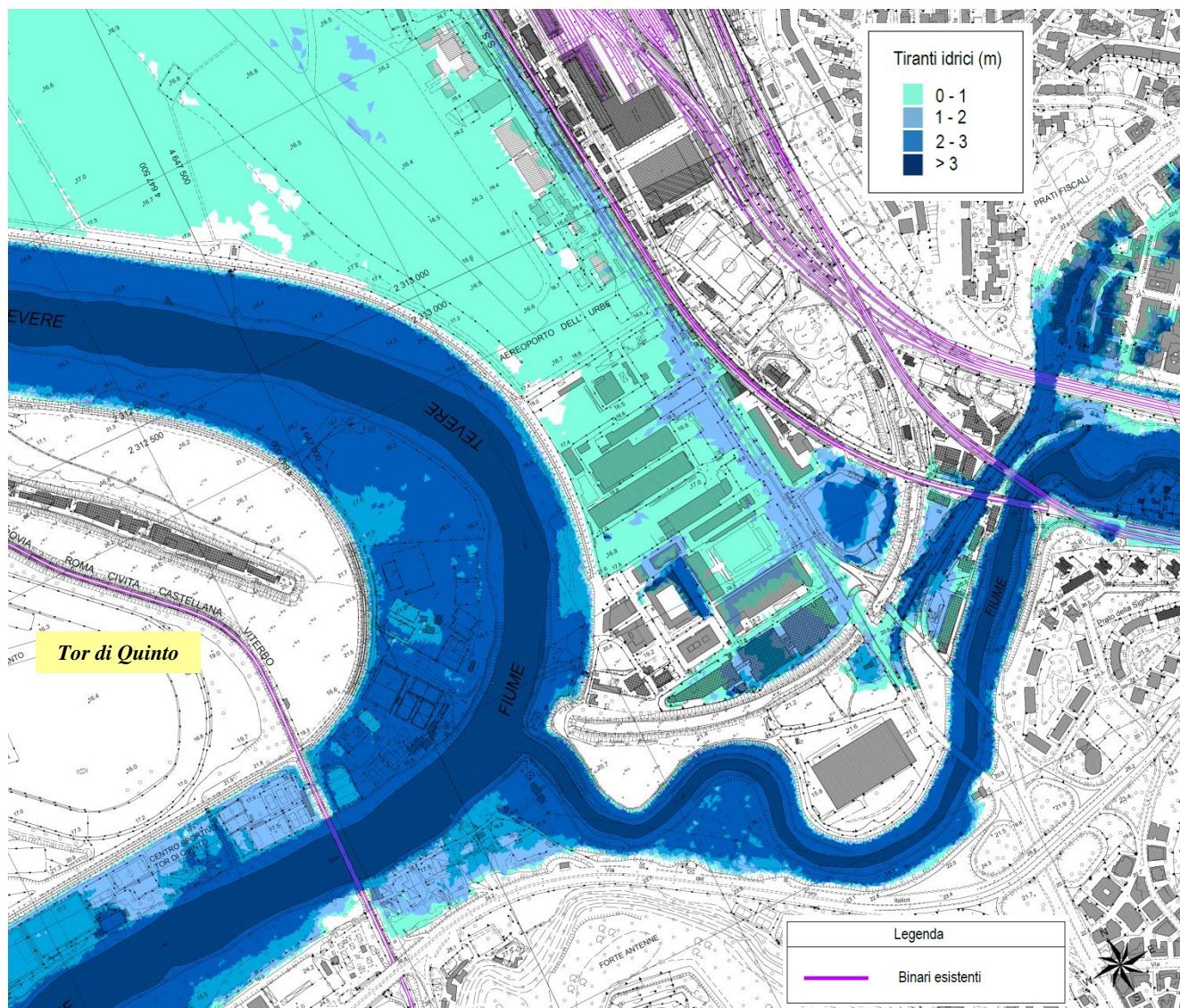


Figura 26 –Modello numerico 2D, scenario I) – ante operam: aree potenzialmente inondabili (“Tevere Tr200” – “Aniene Tr200”), in corrispondenza del nuovo viadotto VI04 sul Fiume Tevere.

Va segnalato che il livello idrico in corrispondenza della sez. A003 sul Fiume Aniene (Figura 27) in tale scenario I) si attesta a +21.2 m slm, a fronte di un livello idrico, nella stessa sezione, di +20.0 m slm (per Tr200) riportato nei documenti della pianificazione di bacino (rif. Allegato “Caratteristiche del deflusso” – P.G.R.A.A.C., 2016), ad indicare la maggiore gravosità dello scenario (I) simulato nel presente studio idraulico (stesso tempo di ritorno e stessa posizione dei picchi di piena dei fiumi Tevere e Aniene).

Per maggiori dettagli, si rimanda alle tavole grafiche annesse, rif. NR4E21R09P6ID0002001A, NR4E21R09P6ID0002002A, NR4E21R09P6ID0002003A).

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	29 di 52

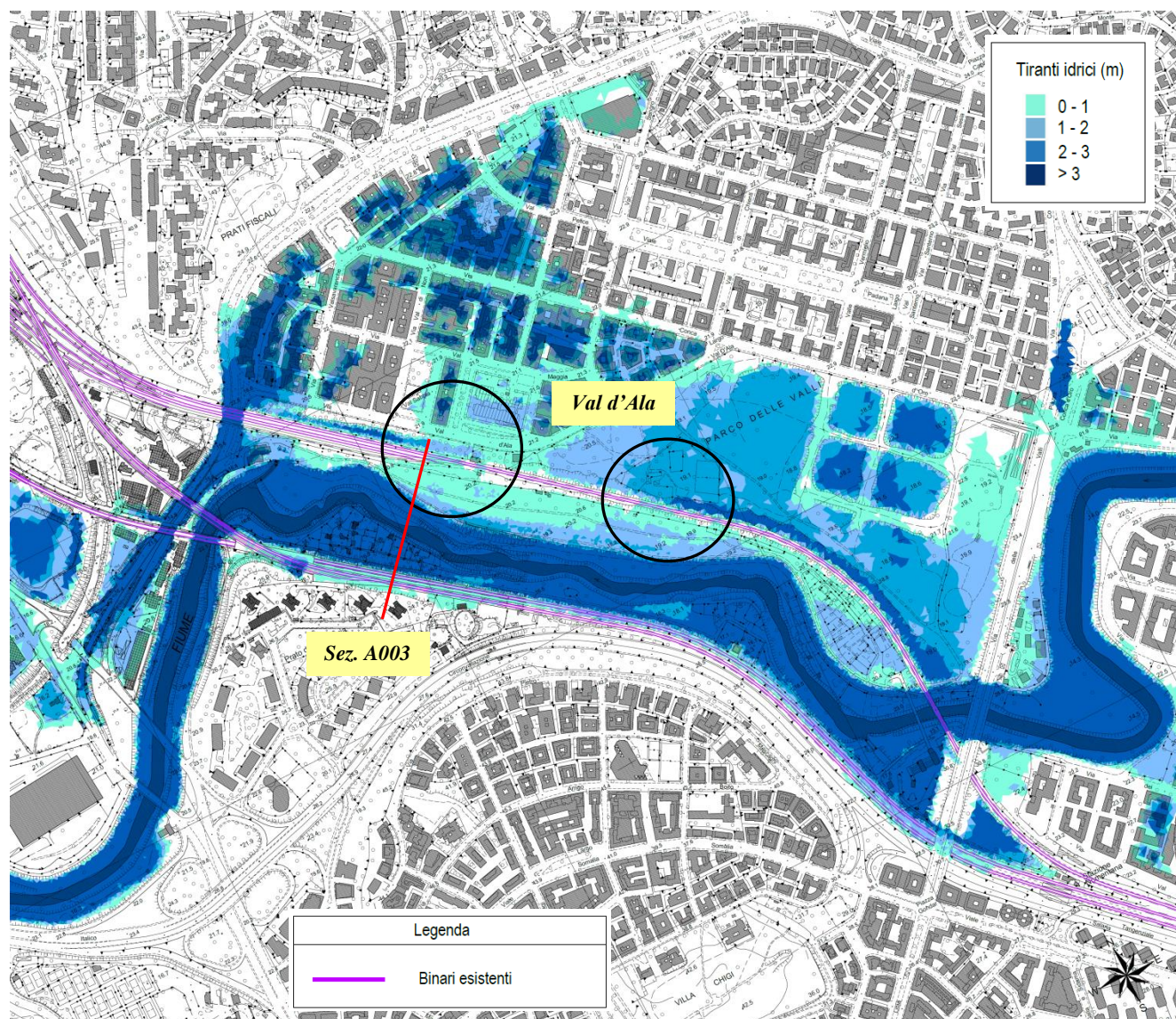


Figura 27 – Modello numerico 2D, scenario I) – ante operam: aree potenzialmente inondabili (“Tevere Tr200” – “Aniene Tr200”), dettaglio in corrispondenza della fermata di Val d’Ala.

3.2.2.2 Scenario II (Tevere Tr20 + Aniene Tr200)

Al fine di meglio comprendere l’eventuale sormonto della linea esistente in corrispondenza della fermata di Val d’Ala evidenziato nella simulazione numerica dello scenario I) – ante operam, si è proceduto alla simulazione dello scenario II) che prevede stessa posizione dei picchi di piena di Tevere e Aniene, ma associati a tempi di ritorno differenti (Tr20 per il Fiume Tevere e Tr200 per il Fiume Aniene). Si riportano di seguito i corrispondenti risultati in termini di aree potenzialmente inondabili nel tratto di affiancamento della linea ferroviaria al Fiume Aniene (rif. NR4E21R09P6ID0002007A).

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	30 di 52

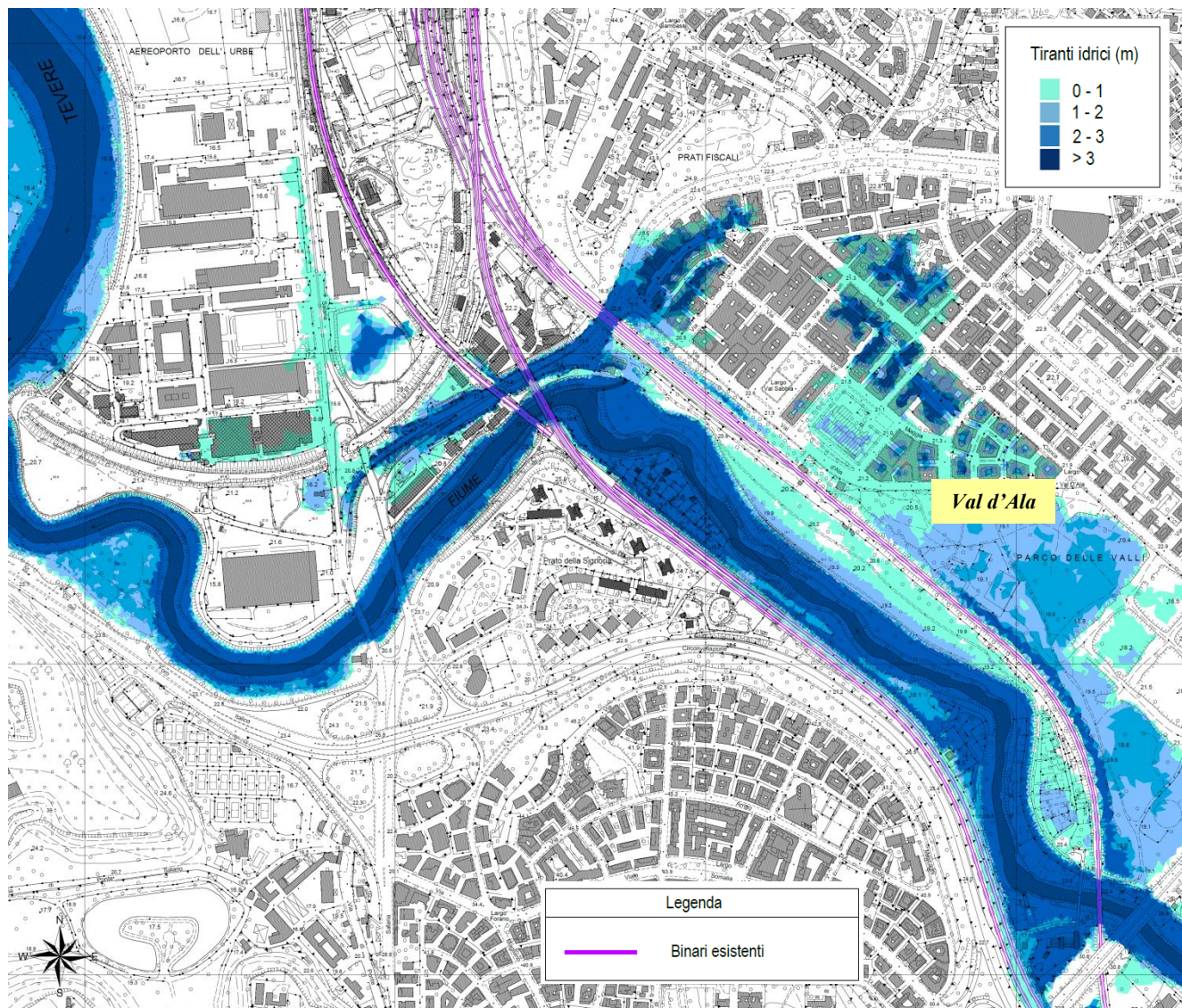



Figura 28 – Modello numerico 2D, scenario II) – ante operam: aree potenzialmente inondabili (“Tevere Tr20” – “Aniene Tr200”), dettaglio in corrispondenza della fermata di Val d’Ala.

In tal caso, non si evidenziano sormonti della linea ferroviaria esistente ed il livello idrico in corrispondenza della medesima sez. A003 (sul Fiume Aniene) si attesta a +20.6 m slm, sempre comunque superiore al valore di +20.0 m slm (per Tr200 del Fiume Aniene) riportato, per la stessa sezione, nei documenti della pianificazione di bacino (rif. Allegato “Caratteristiche del deflusso” – P.G.R.A.A.C., 2016).

Per ottenere nella sezione denominata A003 sul Fiume Aniene lo stesso livello idrico Tr200 indicato nel P.G.R.A.A.C., occorre considerare, contemporaneamente alla portata Tr200 del F. Aniene, una portata del Fiume Tevere corrispondente ad un *tempo di ritorno di 10 anni* (valore al colmo pari a 1970 mc/s circa, ricavato da interpolazione dei valori disponibili per gli altri tempi di ritorno).

	NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 31 di 52

3.2.3 Configurazione “post operam”

Si è proceduto all’implementazione delle opere in progetto all’interno del modello numerico 2D. Nello specifico, il viadotto VI04 in progetto sul Fiume Tevere, nonché gli altri viadotti VI06, VI07, VI09 previsti nel LOTTO 2, in ragione della loro elevazione, sono stati implementati introducendo nella mesh di calcolo dei poligoni “vuoti”, rappresentanti l’ingombro delle pile in pianta. Il rilevato esistente lungo il quale si sviluppa il nuovo VI06 verrà demolito fino a quota +20.0 m slm, comunque più elevata rispetto alla quota raggiunta dalle acque esondate nelle aree limitrofe.

Sono stati inseriti i rilevati, su scatolari, di approccio ai viadotti VI07, VI09, nonché i muri di sostegno previsti in corrispondenza della fermata di Val d’Ala, da ambo i lati, tra le progressive 4+130 e 4+500 circa.

Sono stati inseriti nel modello 2D anche i vari fabbricati tecnologici (CTE, FA02, FA03, FA04) previsti lungo lo sviluppo della linea ferroviaria nonché il fabbricato viaggiatori (FV02) della nuova fermata di Val d’Ala. Ricadendo in aree potenzialmente inondabili, come risulta dalle simulazioni per la configurazione “ante operam” sopra descritta, tali fabbricati sono stati implementati (nella configurazione di progetto) sopraelevati da piano campagna, al fine di determinarne la quota di calpestio tale da evitarne l’allagamento.

3.2.3.1 Scenario I (Tevere Tr200 + Aniene Tr200)

Di seguito si riportano i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili relative allo scenario I), nella configurazione geometrica “post operam” (stato di progetto).

In corrispondenza della sezione di attraversamento di progetto (VI04) sul Fiume Tevere, il livello idrico associato alla piena con tempo di ritorno di 200 anni si attesta a +19.65 m slm, appena 2 cm più elevato di quello valutato nella configurazione “ante operam”.

Non si verifica il possibile sormonto della linea ferroviaria esistente in quel di Val d’Ala; i muri di sostegno previsti da ambo i lati tra le progressive 4+130 e 4+500 circa nell’ambito di stazione, nonché i rilevati di approccio dei nuovi viadotti VI07 e VI09 impediscono alle acque esondate di raggiungere i binari (esistenti) nei tratti evidenziati sopra in Figura 27.

I fabbricati denominati CTE, FA02, FA03, FA04, FV02 dovranno essere sopraelevati da p.c. di almeno 50 cm, al fine di evitarne il possibile allagamento. Comunque, laddove possibile, compatibilmente con le esigenze degli apparati e dei sistemi tecnologici, nella successiva fase progettuale tali fabbricati potranno essere riposizionati in aree non potenzialmente inondabili.

Per maggiori dettagli, si rimanda alle tavole grafiche annesse, rif. NR4E21R09P6ID0002004A, NR4E21R09P6ID0002005A, NR4E21R09P6ID0002006A).

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	32 di 52

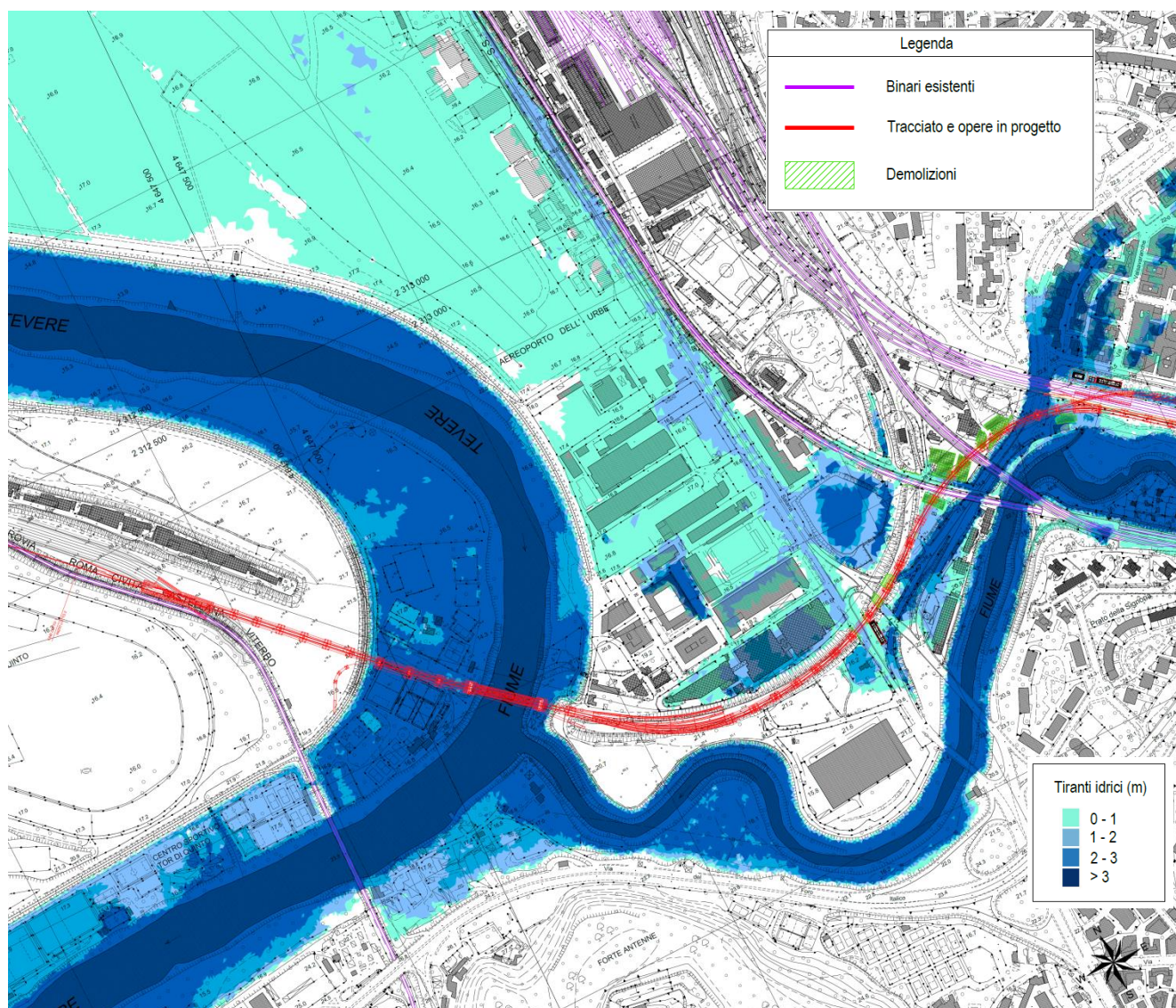


Figura 29 –Modello numerico 2D, scenario I) – post operam: aree potenzialmente inondabili (“Tevere Tr200” – “Aniene Tr200”), in corrispondenza del nuovo viadotto VI04 sul Fiume Tevere.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	33 di 52

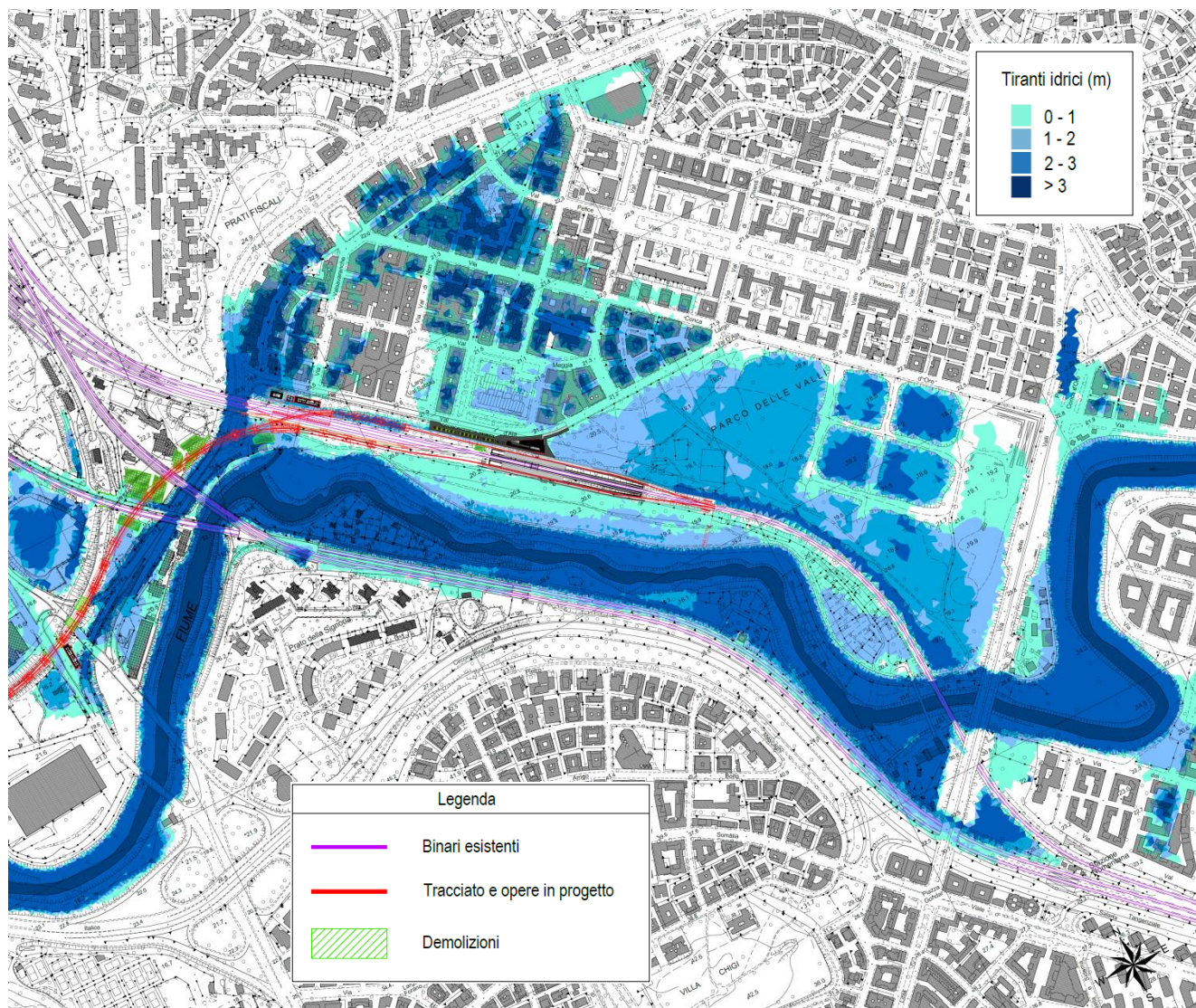


Figura 30 –Modello numerico 2D, scenario I) – post operam: aree potenzialmente inondabili (“Tevere Tr200” – “Aniene Tr200”), dettaglio in corrispondenza della fermata di Val d’Ala.

3.2.3.2 Scenario II (Tevere Tr20 + Aniene Tr200)

Con riferimento alle considerazioni esposte nel paragrafo precedente, già per lo scenario I), più cautelativo e gravoso dello scenario II, nella configurazione “post operam” non si evidenziano particolari criticità, ovvero le opere previste in progetto sono “funzionali” anche alla risoluzione delle problematiche di possibile sormonto evidenziate dai risultati delle simulazioni numeriche relative alla configurazione “ante operam”.

Per completezza si riportano comunque anche i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili relative allo scenario II) - “post operam”, a questo punto non più indicativo (rif. NR4E21R09P6ID0002008A).

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	34 di 52

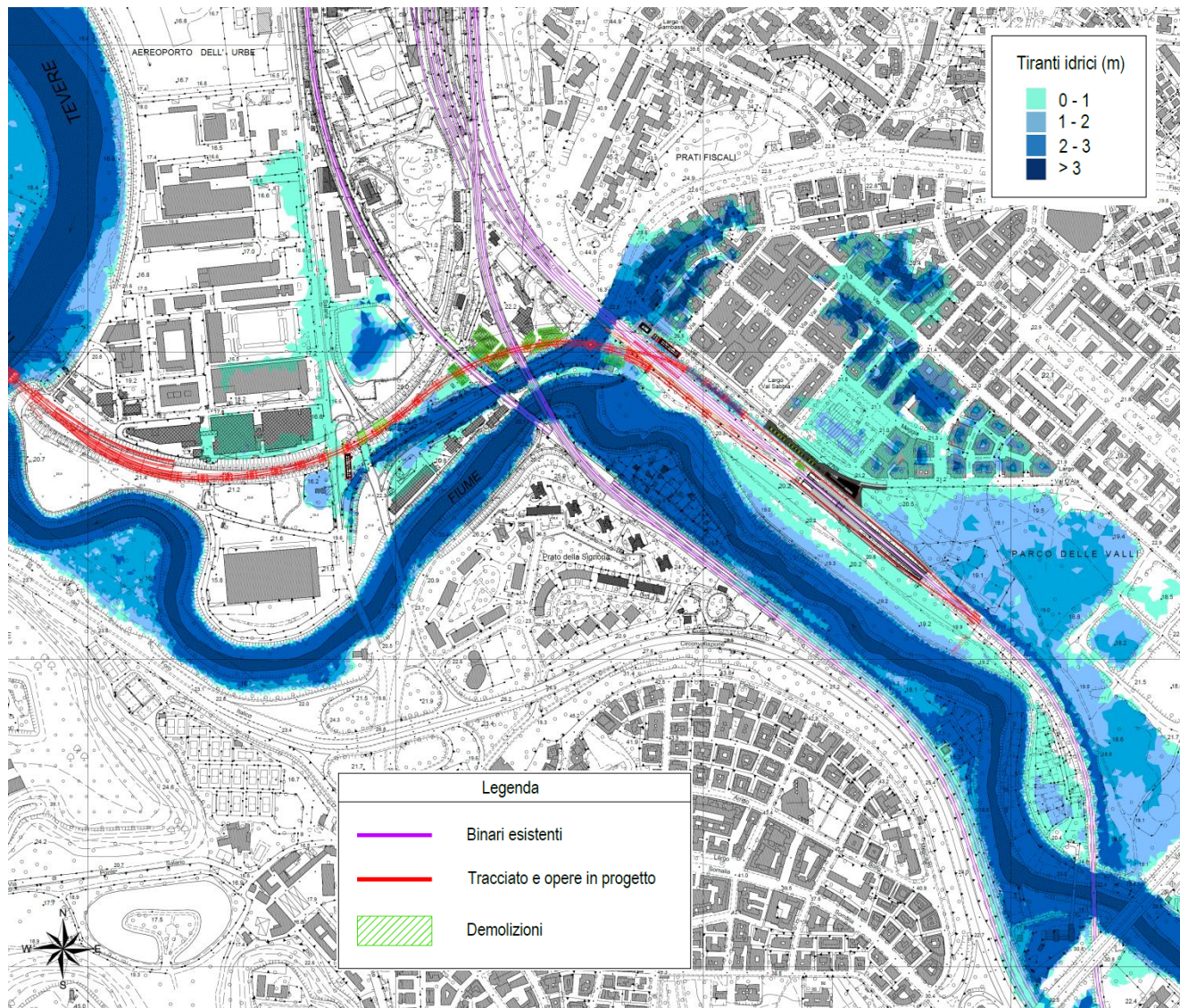



Figura 31 –Modello numerico 2D, scenario II) – post operam: aree potenzialmente inondabili (“Tevere Tr20” – “Aniene Tr200”), dettaglio in corrispondenza della fermata di Val d’Ala.

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

3.3 VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO (VI04 – TEVERE)

La verifica del franco idraulico di progetto eseguita secondo le normative vigenti dimostra la compatibilità idraulica del viadotto VI04 in progetto sul F. Tevere, come riportato nella tabella seguente (i livelli idrici si riferiscono allo scenario I) – “Tevere Tr200 + Aniene Tr200”).

Quota impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
27.05	19.65	19.85	+7.40 (> 1.50 m)	+7.20 (> 0.50 m)	OK

Tabella 2 – Viadotto VI04: verifica del franco idraulico di progetto.

E' garantita inoltre una distanza minima di 6 - 7 m tra il fondo alveo e la quota di sottotrave (quota intradosso: +27.05 m slm, quota minima fondo alveo: -0.58 m slm, da cui una distanza “intradosso-fondo alveo” = +27.63 m), in ragione di eventuali fenomeni di trasporto solido di fondo e/o di materiale galleggiante.

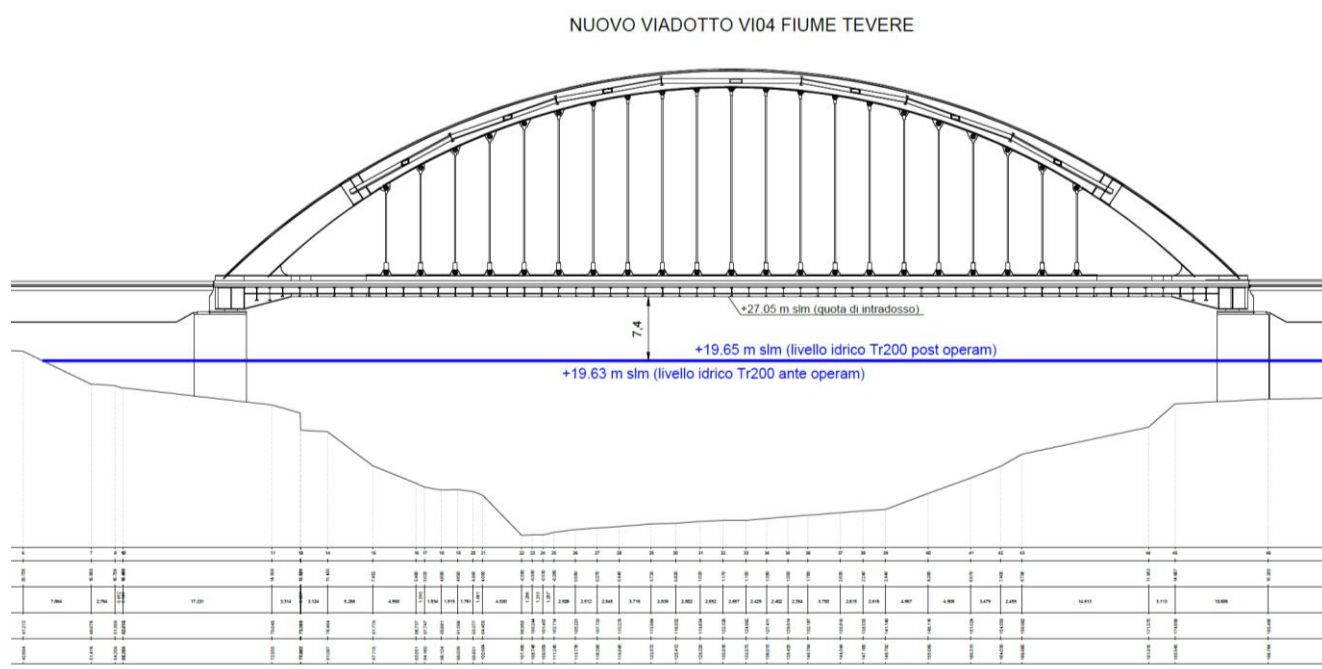



Figura 32 – Viadotto VI04, campata di scavalco dell'alveo inciso con livelli idrici Tr200.

Il nuovo viadotto attraversa anche l'argine in destra del Fiume Tevere con un franco tra quota di intradosso e sommità arginale di 3,2 metri; inoltre le pile di scavalco dell'argine, si attestano ad una distanza maggiore a 10 metri, dal piede sia esterno che interno, in ottemperanza dell'art. 96, comma f), del R.D. 523/1904 (rif. NR4E21R09WZID0002001A).

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

La scansione delle pile assegnata al viadotto in progetto (12 campate, di cui 6 con luce da 40 metri, 4 con luce da 51 metri di cui una necessaria per lo scavalco dell'argine destro, 1 con luce da 120 metri di scavalco dell'alveo inciso del Fiume Tevere e 1 con luce da 46 metri in corrispondenza della spalla lato Val d'Ala) consente di rispettare la prescrizione di una luce netta minima di 40 metri in direzione ortogonale alla corrente, in ottemperanza delle NTC2018, come mostrato nella figura seguente riportante la mappa dei vettori velocità (scenario I – “post operam”).

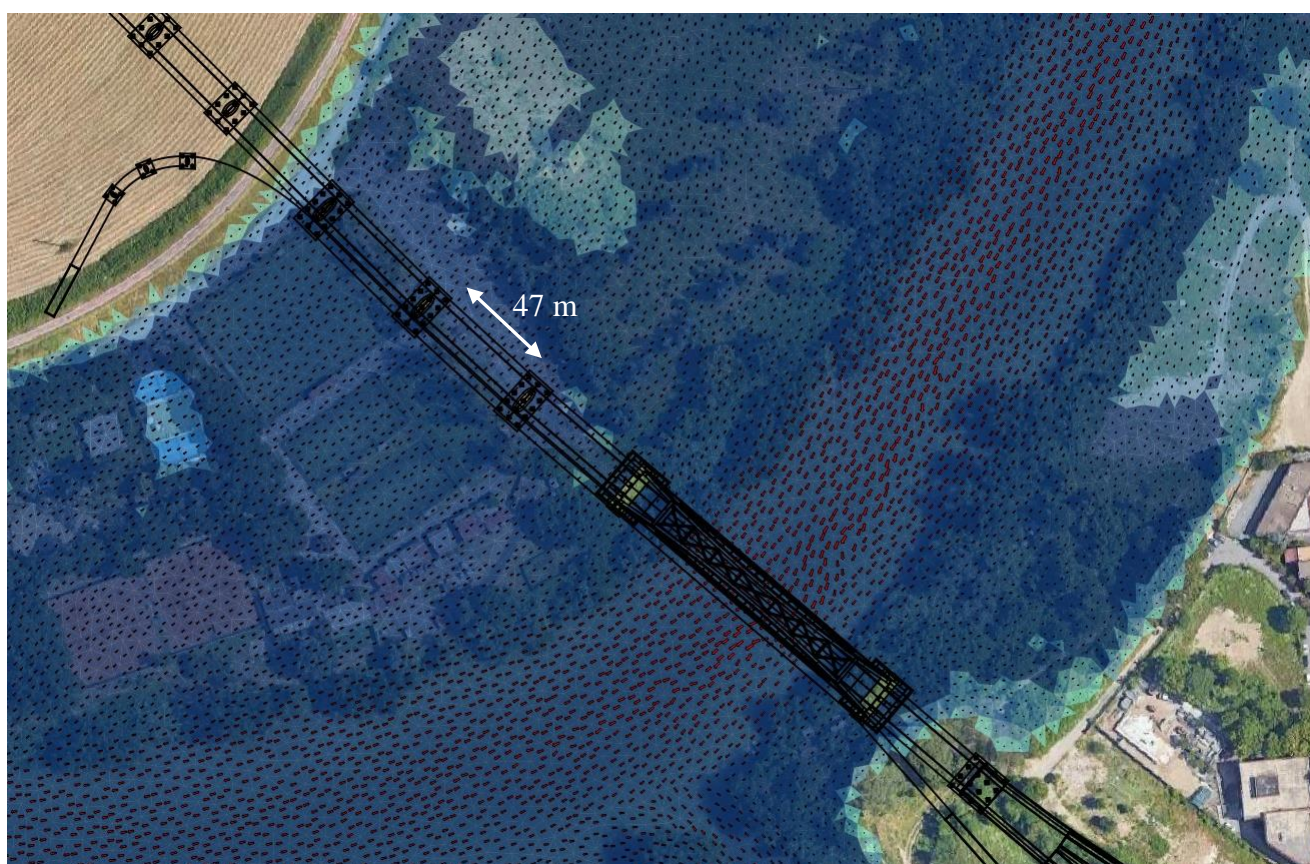



Figura 33 – Modello numerico 2D, scenario I) – post operam: mappa dei vettori velocità in corrispondenza del viadotto VI04 sul Fiume Tevere e rispetto della prescrizione relativa alla luce nette minima tra pile contigue, come da NTC2018.

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

3.4 VERIFICA DELLA FASE DI CANTIERE (VI04 – VIADOTTO TEVERE)

Ai fini della verifica della fase transitoria di cantiere, si è proceduto all'implementazione di un modello numerico monodimensionale (in regime di moto permanente) del Fiume Tevere, sulla base dei rilievi batimetrici disponibili (descritti nei capitoli di cui sopra), tramite l'utilizzo del codice di calcolo HEC RAS. In analogia alle analisi sviluppate in precedenza, per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning), per l'alveo inciso del Fiume Tevere è stato adottato il valore $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$ nel tratto a monte della confluenza del Fiume Aniene e $n = 0.075 \text{ s/m}^{1/3}$ per il tratto del Fiume Tevere a valle della confluenza del Fiume Aniene; per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili, è stato considerato il valore $n = 0.100 \text{ s/m}^{1/3}$.

In ipotesi di regime di corrente mista, come condizione al contorno di monte, è stata imposta la condizione "Critical Depth" (condizione di altezza critica, nella sezione iniziale del modello, a valle della traversa di Castel Giubileo), mentre come condizione al contorno di valle, è stata imposta la condizione "Normal Depth" (condizione di moto uniforme).

Per la realizzazione del viadotto VI04 sul Fiume Tevere, ed in particolare delle sottostrutture di fondazione in corrispondenza delle sponde, si prevede la messa in opera di diaframmi di pali (diametro 1 m, lunghezza 14 m) tirantati, secondo lo schema riportato in figura.

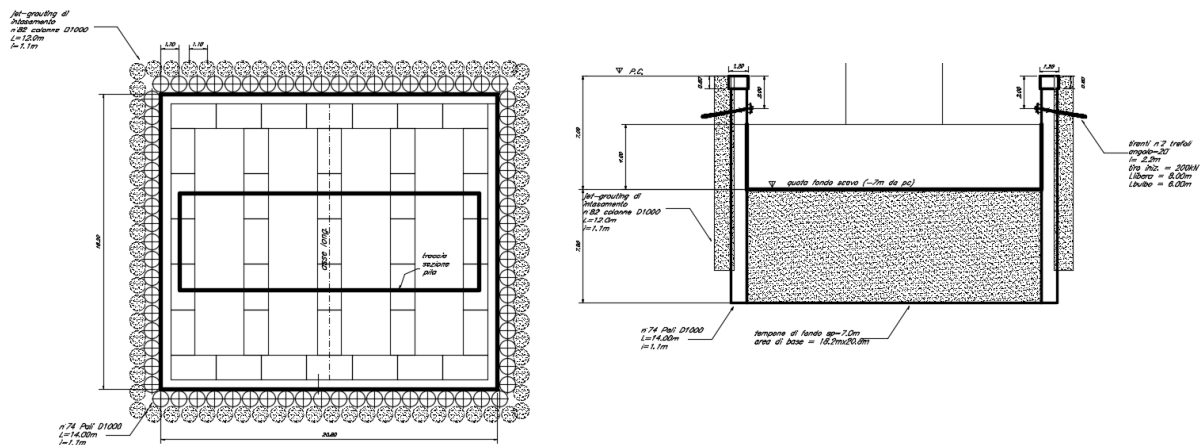


Figura 34 – Tipologico dell'opera provvisoria prevista per la realizzazione delle fondazioni delle pile del nuovo viadotto VI04.

In via cautelativa, è stata ipotizzata la realizzazione in contemporanea delle pile di scavalco (VI04) dell'alveo inciso. Con riferimento quindi allo studio idrologico annesso (rif. NR4R21R09RIID0001001A), ed in particolare alla curva di durata del Fiume Tevere, si è scelto di considerare la portata corrispondente ad una durata di superamento pari a **60 giorni** (i.e. **410 mc/s**), cioè si è ipotizzato che la portata del corso d'acqua che transita in sicurezza nella configurazione di cantiere sia pari o inferiore a quella presente per 10 mesi all'anno nel tratto fluviale di interesse.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	38 di 52

Le opere provvisionali previste (i.e. diaframmi di pali) sono state simulate nel modello 1D HEC RAS tramite l'opzione "Obstructions". Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di tiranti idrici) nella sezione di attraversamento in progetto, allo stato attuale e nella configurazione di cantiere, da considerare per la definizione della quota di sommità delle opere provvisionali stesse.

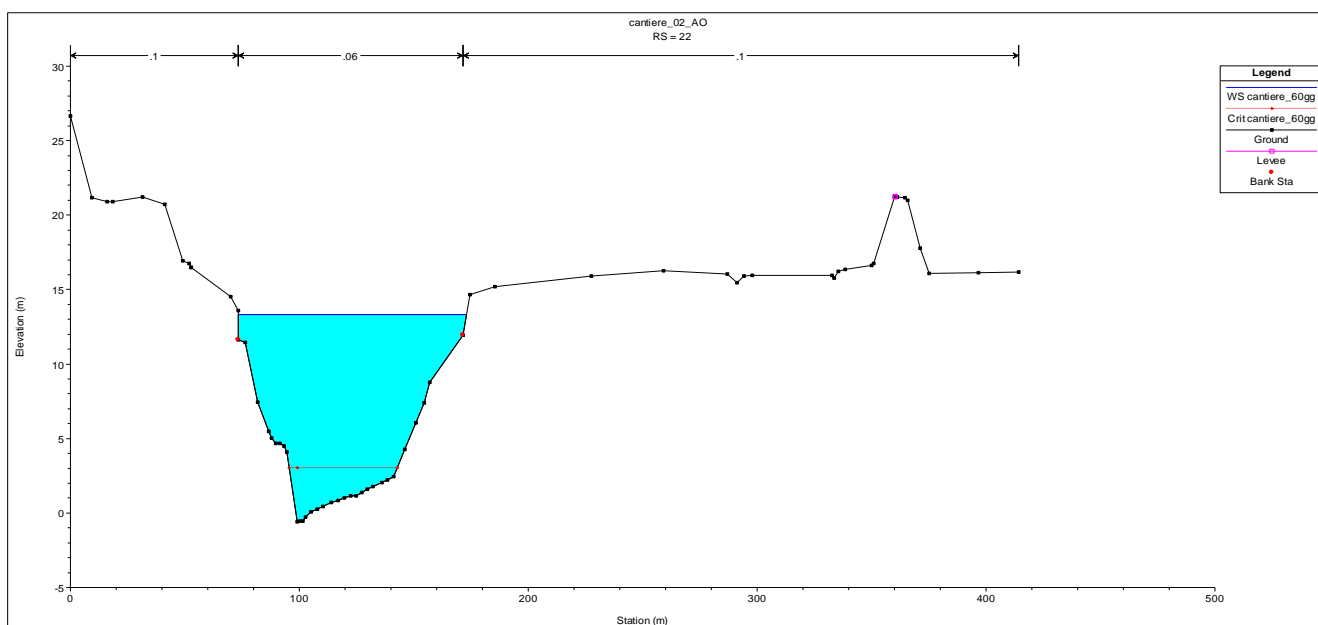


Figura 35 – Verifica della fase di cantiere (1D): livello idrico nella sezione di attraversamento, allo stato attuale.

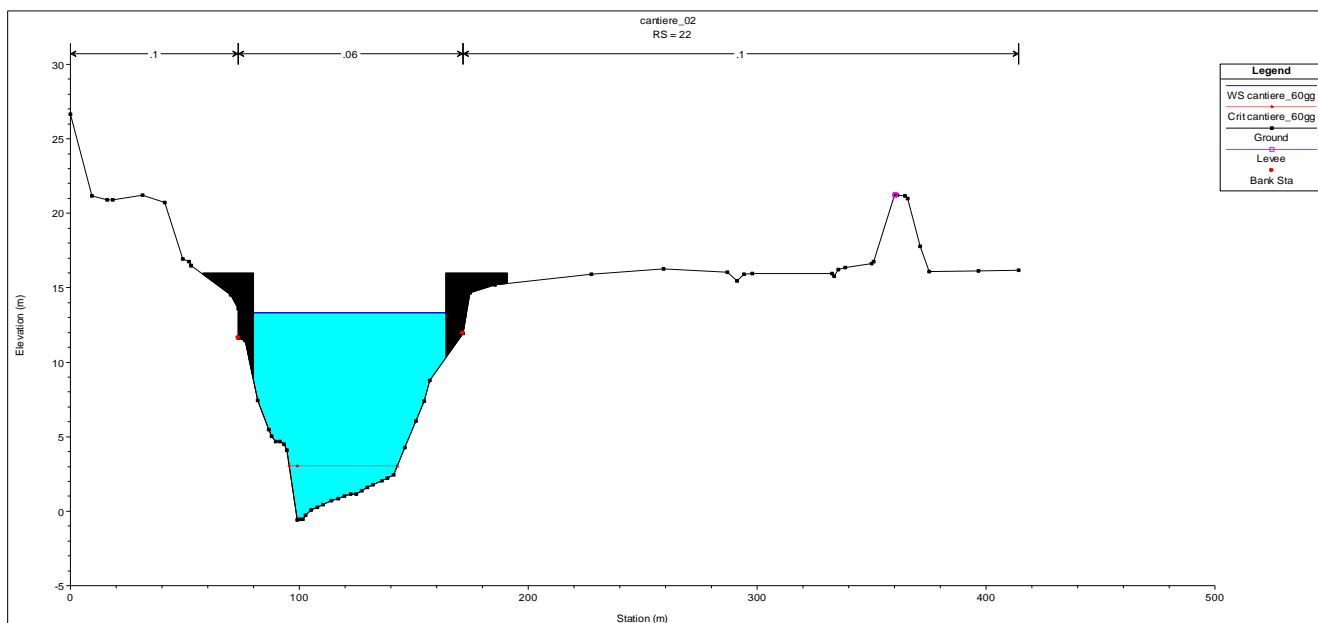



Figura 36 – Verifica della fase di cantiere (1D): livello idrico nella sezione di attraversamento, in presenza di opere provvisionali.

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Nello specifico, allo stato attuale nella sezione di attraversamento in progetto il livello idrico si attesta a quota +13.33 m slm; nella configurazione di cantiere, a **+13.35 m slm**. Pertanto, ammettendo un franco idraulico di **1 metro**, la sommità dei diaframmi di pali dovrà attestarsi almeno a quota **+14.35 m slm**.

Con riferimento agli elaborati specialistici di geotecnica (ai quali si rimanda per maggiori dettagli), la sommità delle opere provvisionali è stabilita coincidente con la quota del piano campagna, che si attesta a +15.20 m slm in sponda destra e +14.7 m slm in sponda sinistra, da cui il soddisfacimento del criterio di dimensionamento sopra descritto.

4 VALUTAZIONE DELLO SCALZAMENTO ATTESO

Si è proceduto alla valutazione della profondità massima di erosione attesa attorno alle pile del nuovo viadotto VI04 in progetto, interessate dalle piene del Fiume Tevere. Nello specifico, si è fatto riferimento a quanto indicato nelle NTC2018:

“Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma $Tr = 1,001$) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente $\Psi 0$ unitario. Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all'evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione $\Psi 1$.”

Sono state applicate le seguenti due formulazioni disponibili in letteratura. Come valore di progetto dello scalzamento è stato considerato il valore massimo ottenuto dalle due relazioni.

Formulazione CSU

La profondità di scalzamento attesa può essere stimata come:


$$\frac{Y_s}{Y_1} = 2 \cdot K_1 K_2 K_3 K_4 \left(\frac{a}{Y_1} \right)^{0.65} FR^{0.43}$$

in cui

K_1 , K_2 , K_3 sono fattori correttivi legati alla forma delle pile, all'angolo di attacco e alle condizioni del fondo alveo (vedi tabella seguente)

K_4 è un fattore correttiva legato al materiale di fondo alveo, valutabile come:

$$K_4 = [1 - 0.89(1 - V_r)^{0.053}]^{0.5}$$

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

dove $V_r = \frac{V_0 - V_i}{V_{c90} - V_i}$, $V_i = 0.645(d_{50}/a)^{0.053} V_{c50}$, $V_{c90} = 10.95(Y_1)^{1/6} d_{90}^{1/3}$,

$V_{c50} = 10.95(Y_1)^{1/6} d_{50}^{1/3}$, d_{50}, d_{90} = diametro corrispondente al 50% e al 90 % di passante in peso

- Y_s , la profondità di scalzamento;
- Y_1 , l'altezza della corrente;
- a , la larghezza della pila;
- FR , il numero di Froude ($FR = \frac{V_0}{\sqrt{gY_1}}$)

Correction Factor, K_1		Correction Factor, K_2			
Shape of Pier Nose	K_1	Angle	L/a=4	L/a=8	L/a=12
(a) Square nose	1.1	0	1.0	1.0	1.0
(b) Round nose	1.0	15	1.5	2.0	2.5
(c) Circular cylinder	1.0	30	2.0	2.75	3.5
(d) Group of cylinders	1.0	45	2.3	3.3	4.3
(e) Sharp nose	0.9	90	2.5	3.9	5.0
		Angle = skew angle of flow L = length of pier			

Bed Condition	Dune Height ft	K_3
Clear-Water Scour	N/A	1.1
Plane bed and Antidune flow	N/A	1.1
Small Dunes	$10 > H \geq 2$	1.1
Medium Dunes	$30 > H \geq 10$	1.2 to 1.1
Large Dunes	$H \geq 30$	1.3

Tabella 3- Formulazione CSU: valori dei fattori correttivi K_1, K_2, K_3 .


Formulazione di Sheppard – Melville

La profondità di scalzamento attesa può essere valutata come:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{y_s}{a^*} = 2.5f_1 f_2 f_3 \quad \text{for } 0.4 < \frac{V_1}{V_c} < 1.0 \\ \frac{y_s}{a^*} = f_1 \left[2.2 \left(\frac{\frac{V_1}{V_c} - 1}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) + 2.5f_3 \left(\frac{\frac{V_{1p}}{V_c} - \frac{V_1}{V_c}}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) \right] \quad \text{for } 1 < \frac{V_1}{V_c} < \frac{V_{1p}}{V_c} \\ \frac{y_s}{a^*} = 2.2f_1 \quad \text{for } \frac{V_1}{V_c} > \frac{V_{1p}}{V_c} \end{array} \right.$$

con

- $V_{1p} = \max(V_{1p1}, V_{1p2})$
- $V_{1p1} = 5V_c$; $V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$

 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

- $$V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{73.5y_1}{d_{50} [Re(2.85 - 0.58 \ln(Re)) + 0.002Re] + \frac{111}{Re} - 6} \right) & \text{for } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{2.21y_1}{d_{50}} \right) & \text{for } Re > 70 \end{cases}$$
- $$Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}; \quad u^* = \left[16.2 \cdot d_{50} \left(\frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{50}} - d_{50} (38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005 \right) \right]^{0.5}$$
- $$y_1 = \text{tirante idrico (m)}$$
- $$f_1 = \tanh \left[\left(\frac{y_1}{a^*} \right)^{0.4} \right]; \quad f_2 = \left\{ 1 - 1.2 \left[\ln \left(\frac{V_1}{V_c} \right) \right]^2 \right\}; \quad f_3 = \left[\frac{\left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)}{0.4 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{1.2} + 10.6 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{-0.13}} \right]$$
- $$a^* = K_s a_p; \quad a_p = a \cdot \cos \theta + L \cdot \sin \theta; \quad K_s = \begin{cases} 1 & (\text{pila circolare}) \\ 0.86 + 0.97 \left(\left| \frac{\pi \theta}{180} - \frac{\pi}{4} \right| \right)^4 & (\text{pila rettangolare}) \end{cases}$$

(a = larghezza della pila; L = lunghezza della pila; θ = angolo di attacco [°])

Secondo gli studi condotti da Sheppard et al. (2013), riguardanti il confronto tra i valori di scalzamento osservati in laboratorio e in sito e quelli valutati secondo le più comuni ed utilizzate formule per il calcolo dello scalzamento (tra cui anche quelle di Melville, Froehlich, Breusers e CSU), la formulazione SM fornisce valori più attendibili (e prossimi a quelli misurati) rispetto alle altre, per i seguenti campi di valori:

$$\frac{V_1}{V_c} = 0.4 \div 7.6 \quad \frac{y_1}{a} = 0.05 \div 10 \quad \frac{a}{d_{50}} = 3.65 \div 65047 \quad FR = 0.03 \div 1.95$$

all'interno dei quali ricadono i valori dei parametri (tirante, velocità, d_{50} ,...), relativi al corso d'acqua oggetto di studio (Fiume Tevere).

In generale, è possibile riscontrare quattro differenti scenari di erosione localizzata:

- CASO I: la fondazione della pila rimane al di sotto della buca erosiva;
- CASO II: la sommità della fondazione è esposta al flusso della corrente all'interno della buca erosiva;
- CASO III: la sommità della fondazione giace al di sopra del fondo alveo;
- CASO IV: la sommità della fondazione si trova al di sotto o in prossimità del pelo libero.

Nel CASO I l'erosione localizzata viene calcolata facendo riferimento alla larghezza della pila b in quanto la presenza della fondazione risulta essere ininfluenza nel processo erosivo.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NR4E

21

R 09 RI

ID 0002 001

A

42 di 52

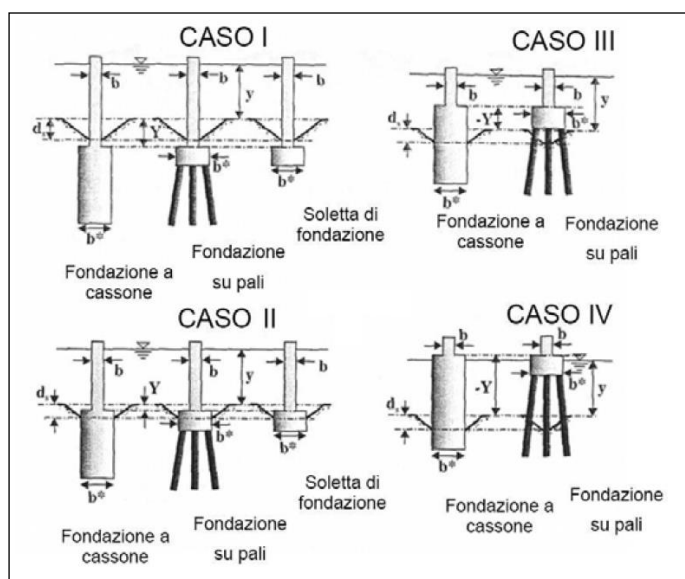


Figura 37–Diverse tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.

Nei CASI II e III invece occorre fare riferimento alla procedura di calcolo proposta da Melville e Raudkivi (1996) che utilizza una larghezza della pila equivalente ben definita come:

$$b_e = b \cdot \left(\frac{h_0 + Y}{h_0 + b^*} \right) + b^* \cdot \left(\frac{b^* - Y}{h_0 + b^*} \right)$$

dove h_0 : profondità media della corrente rispetto al fondo alveo; Y : altezza massima della buca erosiva; b^* : larghezza della fondazione.

Per quanto riguarda il CASO IV, infine, l'erosione localizzata può essere calcolata utilizzando come larghezza equivalente della pila la larghezza della fondazione b^* dal momento che il fenomeno interessa maggiormente la fondazione stessa.

E' stato effettuato dunque il calcolo dello scalzamento, relativo alla piena di progetto, $Tr = 200$ anni, e alla piena che si verifica mediamente ogni anno ($Tr = 1,001$), considerando dapprima le dimensioni delle sole pile. Per quanto concerne il calcolo dello scalzamento per la piena $Tr = 1,001$ del Fiume Tevere, è stata eseguita una simulazione numerica secondo il modello monodimensionale HECRAS sviluppato per la fase di cantiere, ma nello stato *post operam*, i.e. con pile del viadotto VI04 implementate nella geometria del modello, considerando il massimo valore di portata fornito dalla curva di durata delle portate, ovvero 697 mc/s (con durata pari a 10 giorni), riportata nella relazione idrologica annessa (NR4E21R09RIID0002001A).

Di seguito, si riportano i risultati in termini di livelli idrici attesi nella sezione di attraversamento in progetto.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	43 di 52

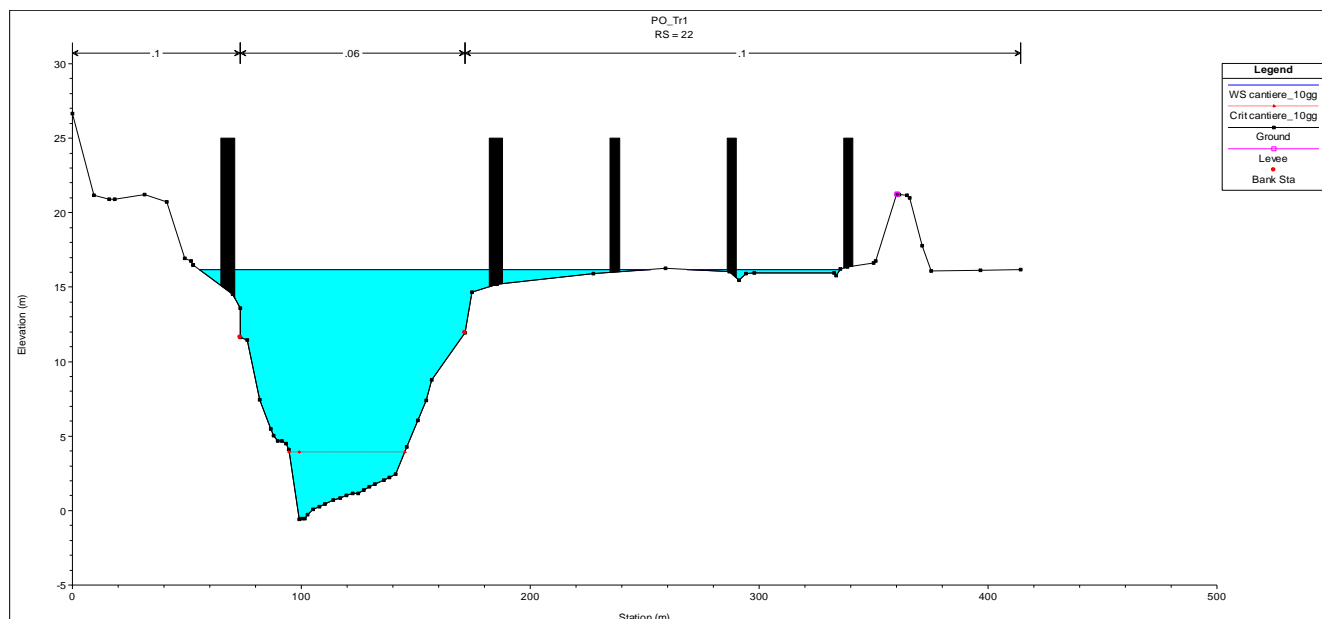


Figura 38–Modello 1D: livello idrico di riferimento per $Tr = 1,001$ anni nella sezione di attraversamento.

Per quanto concerne il materiale potenzialmente erodibile sul fondo, si è fatto riferimento alle analisi granulometriche effettuate su campioni di materiale prelevati durante i sondaggi (denominati *XL151VG01*, *XL151VG02*) eseguiti in corrispondenza dell'alveo inciso del Fiume Tevere. In particolare, si ha $d_{50} = 0.01$ mm, $d_{90} = 0.1$ mm.


Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di scalzamento attesi per $Tr = 1,001$ anni e $Tr = 200$ anni, in corrispondenza delle pile interessate dalle piene di riferimento.

Valori scalzamento ($Tr = 1,001$ anni)

ID PILA	Forma pila	D (m) [pila]	L (m) [pila]	h (m)	v (m/s)	Skew Angle (°)	Fr (l)	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila
P8	pseudo-rettangolare	4	10.2	0.6	0.1	0	0.041	0	0.70	0.70
P9	pseudo-rettangolare	4	10.2	0.2	0.1	0	0.071	0	0.70	0.70
P10	pseudo-rettangolare	6	21	1.2	0.1	0	0.029	0	0.95	0.95
P11	pseudo-rettangolare	6	21	2	0.1	0	0.023	0	1.00	1.00

Valori scalzamento ($Tr = 200$ anni)

ID PILA	Forma pila	D (m) [pila]	L (m) [pila]	h (m)	v (m/s)	Skew Angle (°)	Fr (l)	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila
P7	pseudo-rettangolare	4	10.2	3	0.5	0	0.092	1.8	2.1	2.1
P8	pseudo-rettangolare	4	10.2	3.2	0.5	0	0.089	1.8	2.1	2.1
P9	pseudo-rettangolare	4	10.2	3.6	0.5	0	0.084	1.9	3.7	3.7
P10	pseudo-rettangolare	6	21	5	1	0	0.143	3.7	5.8	5.8
P11	pseudo-rettangolare	6	21	9	1	0	0.106	3.7	6.9	6.9

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A


Confrontando i valori di scalzamento atteso con quelli di ricoprimento dei plinti di fondazione (almeno 2 metri per le pile di scavalco P10, P11; 1 metro per le rimanenti pile P9, P8, P7) si evince che in corrispondenza delle pile del VI04 i fenomeni di erosione innescati dalla piena $Tr=200$ anni (per la piena $Tr=1,001$ anni, i valori di scalzamento attesi sono invece inferiori all'affondamento dei plinti) possono interessare anche le fondazioni (scalzamento atteso maggiore del ricoprimento). Per tali pile, il calcolo dello scalzamento atteso è stato quindi ripetuto considerando le dimensioni equivalenti del sistema “*pila – plinto*”, valutate con la formulazione proposta da Melville e Raudkivi (1996), precedentemente introdotta (per le pile di scavalco “rettangolari” P11 e P10, si prevede la realizzazione di fondazioni “*plinto su pali*”, di forma rettangolare e dimensioni 18 m x 22 m; mentre per le pile pseudo-rettangolari P9, P8, P7 si prevede la realizzazione di fondazioni “*plinto su pali*”, di forma rettangolare e dimensioni 12 m x 20 m).

Di seguito, i valori definitivi di scalzamento, per le pile interessate dalle piene di riferimento del F. Tevere, da considerare nel dimensionamento delle fondazioni.

ID pila	Ys (m) Pila-Plinto Tr = 200	Ys (m) Pila-Plinto Tr = 1
P7	6.40	0
P8	6.50	0.70
P9	6.50	0.70
P10	12.90	0.95
P11	14.60	1.00

Con riferimento alla configurazione di cantiere, si è proceduto anche alla stima dello scalzamento atteso in corrispondenza delle opere provvisionali (diaframmi di pali), necessarie per la realizzazione delle pile di scavalco P10, P11. A tal proposito, per la valutazione dello scalzamento atteso in corrispondenza di tali opere provvisionali, si è fatto riferimento alla metodologia della FHWA, generalmente applicata alle spalle. In particolare, considerando lo schema riportato nella figura seguente, si introducono le seguenti variabili:

- θ = angolo compreso tra la direzione principale della corrente e l'asse dell'opera
- L = lunghezza di influenza dell'opera

 IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	NPP 0258 – GRONDA MERCI DI ROMA GRONDA MERCI DI ROMA CINTURA NORD PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI 2^ FASE LOTTO 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 45 di 52

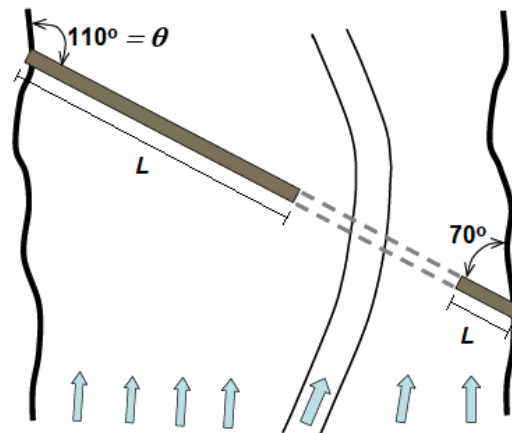


Figura 39 – Calcolo dello scalzamento in corrispondenza delle spalle.

Determinate tali variabili, in relazione al valore della quantità L'/Y_1 ($L' = L \cdot \cos(90-\theta)$; Y_1 = altezza della corrente in corrispondenza della spalla), si procede al calcolo dello scalzamento mediante le formulazioni di Froehlich e di Hire, in accordo alle seguenti indicazioni:

$$\begin{cases} \frac{L'}{Y_1} \leq 25 \rightarrow \text{Froehlich} \\ \frac{L'}{Y_1} > 25 \rightarrow \text{Hire} \end{cases}$$

Formulazione di Froehlich

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 2.27K_1K_2 \left(\frac{L'}{Y_1} \right)^{0.43} FR^{0.61} + 1$$

con $K_1 = 0.82$, $K_2 = (\theta/90)^{0.13}$, FR = numero di Froude.


Formulazione di Hire

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 4FR^{0.33} \frac{K_1}{0.55} K_2$$

con K_1 e K_2 , come sopra definiti.

Di seguito, i valori di scalzamento attesi in corrispondenza dei diaframmi provvisori (i valori delle variabili idrauliche sono estratti dalle simulazioni numeriche secondo modello 1D per la cosiddetta “fase di cantiere”), che risultano del tutto compatibili con la lunghezza dei pali dei diaframmi medesimi.

ID Opera	L [m]	θ (°)	h (m)	v (m/s)	Y_s (m)
Opera provvisoria SX	9.6	90	4.5	0.5	2.40
Opera provvisoria DX	9.1	90	3	0.5	2.10

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

5 OPERE DI SISTEMAZIONE/PROTEZIONE IDRAULICA

Si è proceduto al dimensionamento delle opere di sistemazione/protezione idraulica delle pile interessate dalla piena di progetto (Tr200) del Fiume Tevere.

A tal proposito si è fatto riferimento alla formulazione riportata in “*Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance-Third Edition - Volume 2*”, Publication No. FHWA-NHI-09-112 (Hydraulic Engineering Circular No. 23, September 2009):

$$d_{50} = \frac{0,692 \cdot (V_{des})^2}{(S_g - 1) \cdot 2g}$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi (m); V_{des} = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s); S_g = peso specifico dei massi (t/m^3).

La velocità di progetto deve rappresentare le condizioni nelle immediate vicinanze delle pile. Qualora si dovesse adottare un valore medio di velocità, questo deve essere opportunamente moltiplicato per i fattori che sono funzione della forma della pila e della sua posizione rispetto all'alveo:

$$V_{des} = K_1 K_2 V_{avg}$$

Se si dispone di una distribuzione di velocità risultante da modello fisico o da calcolo idraulico 1D o 2D, allora si può utilizzare solamente il coefficiente della forma della pila. Sarebbe opportuno considerare il valore massimo della velocità nell'alveo attivo V_{max} , dal momento che l'alveo stesso può spostarsi nel tempo e la massima velocità impatterebbe le pile:

$$V_{des} = K_1 V_{max}$$

in cui V_{des} = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s); K_1 = fattore di forma pari a 1,5 per pile circolari “round-nose” o 1,7 per pile a spigoli vivi; K_2 = fattore di correzione della velocità per l'ubicazione nell'alveo (varia da 0,9 per pile vicino le sponde in alveo rettilineo, fino a 1,7 per pile immerse nel filone principale della corrente); V_{avg} = velocità media nell'alveo in corrispondenza del ponte (m/s); V_{max} = velocità massima nell'alveo attivo (m/s).

In particolare, nel caso in esame, per le pile di scavalco P10 e P11 in corrispondenza delle sponde, nonché per le sistemazioni spondali, è stato adottato il valore di velocità in alveo al piede della sponda (1.5 m/s, dedotto dai risultati delle simulazioni numeriche 2D), nella sezione di attraversamento, unitamente ai seguenti parametri: $S_g = 2 t/m^3$; $K_1 = K_2 = 1.7$, da cui un diametro d_{50} dei massi di protezione pari a **0.70 m**.

Per le rimanenti pile nell'area golenale, P7, P8, P9, il valore massimo di velocità ammonta a 0.5 m/s (come da modello numerico 2D), da cui un diametro d_{50} dei massi di rivestimento pari a **0.20-0.30 m**.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica


COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	47 di 52

Nello specifico, per le pile di scavalco e le opere di protezione spondale si prevede di realizzare un rivestimento in massi ($d_{50} = 0.70 \text{ m}$) legati con funi di acciaio. Se ne prevede anche al legatura per una maggiore stabilità (il calcolo effettuato prescinde dalla legatura dei massi, non contemplata nelle formulazioni adottate).

Per le pile pseudo-rettangolari nelle aree esterne, si prevede di rivestire il p.c. attorno alla pila con massi sciolti ($d_{50} = 0.30 \text{ m}$). Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati grafici annessi NR4E21R09PZID0002001A, NR4E21R09BZID0002001A.



Figura 40 – Opere di sistemazione/protezione previste in corrispondenza delle pile del VI04: pianta.

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

6 CONSIDERAZIONI SULLA NAVIGABILITÀ DEL FIUME TEVERE

Con riferimento al Piano Stralcio per l'Assetto Idrologico (i.e. P.S.5., da Castel Giubileo alla foce), si considera linea navigabile di seconda categoria il tratto “..25) Terni-Orte-Roma-Mare Tirreno: a) Fiume Tevere, da Ponte Felice al mare; b) Canale di Fiumicino, escluse le opere portuali..”

In particolare, la navigazione è dichiarata marittima, ed è sottoposta a vigilanza da parte della Capitaneria di porto di Roma, il solo tratto che va dal mare sino all'Idroscalo del Littorio a monte dell'Acquacetosa.

Secondo art. 39 del R.D. 11-07-1913 n. 959 “..sono nelle attribuzioni del Ministero dei lavori pubblici: a) il regime e la pulizia delle vie navigabili, i progetti e le opere relative alla navigazione ..”.


Inoltre “L'Ufficio del Genio civile per il Tevere e l'Agro Romano, quando si tratti di eseguire lavori che possano interessare la navigazione del fiume, dovrà, allo scopo di assicurarne l'esercizio, prendere preventivi accordi con la capitaneria di porto di Roma. Lo stesso Ufficio del Genio Civile provocherà il parere dell'Autorità marittima suddetta sulle concessioni di sua competenza.”

Attualmente, per effetto del decentramento amministrativo e del conseguente trasferimento del personale dell'ex Ufficio del Genio civile per il Tevere e l'Agro Romano nelle strutture tecniche della Regione Lazio (ex A.R.D.I.S.), le principali competenze in materia di gestione e manutenzione delle vie navigabili e di vigilanza idraulica connessa alla navigazione spettano alla Regione Lazio.

Le attività di pianificazione, programmazione relative alla navigazione interna sono svolte dalle Autorità di Bacino per effetto del comma L) dell'art.3 della Legge 183/1989 recepita dalla Regione Lazio con L.R. n. 53 del 11-12-1998 nell'art. 13.

Per quanto riguarda gli aspetti normativi relativi ai natanti da utilizzare in funzione delle vie navigabili si è ancora in fase di accordi internazionali. La classificazione proposta dalla Commissioni di esperti della Conferenza Europea dei Ministri dei trasporti (C.E.M.T.) e citata nel “Piano Direttore e studi di fattibilità degli interventi finalizzati alla navigabilità del Fiume Tevere a Roma da Castel Giubileo alla foce” è quella riportata nella tabella seguente.

CLASSE DELLE VIE NAVIGABILI	CLASSIFICA DEI NATANTI				
	TONNELLAGGIO	IMMERSIONE	LARGHEZZA	LUNGHEZZA	TIRANTE D'ARIA
	t	m	m	m	m
I	300	2,2	5	38,5	3,55
II	600	2,5	6,6	50	4,2
III	1000	2,5	8,2	67	3,95
IV	1350	2,5	9,5	80	4,4
V	2000	2,7	11,5	95	6,7

 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Nella progettazione di massima degli interventi per la navigabilità del Tevere è fatto cenno alla classe 0 relativa alla “Proposta di normativa per la redazione dei progetti di vie navigabili interne” che pur non avendo valenza ufficiale rappresenta un utile documento di riferimento. Tale classe è stata introdotta per idrovie a carattere storico ed è caratterizzata da natanti aventi le seguenti dimensioni:

NATANTE CLASSE 0			
TONNELLAGGIO	IMMERSIONE	LARGHEZZA	LUNGHEZZA
t	m	m	m
Da 36 - 120	Da 1 a 1.6	Da 4 a 6	Da 20 a 30

Ai fini della navigabilità vengono individuate la portata minima disponibile per 355 giorni all'anno e la portata massima con durata di 10 giorni nell'anno medio.

Nello specifico, relativamente ai tratti fluviali del Fiume Tevere a monte e a valle della confluenza del Fiume Aniene, si ha:


TRATTA	Q ₃₅₅	Q ₁₀
Tevere: Mare Tirreno - confluenza dell'Aniene	118 m³/s	665 m³/s
Tevere urbano a monte della confluenza dell'Aniene	104 m³/s	600 m³/s

Tali portate, considerate compatibili con la navigazione, devono assicurare un tirante idrico pari al pescaggio (o immersione) dell'imbarcazione +0.5 m di franco.

Inoltre, in corrispondenza di ponti e/o manufatti deve essere assicurato il tirante d'aria minimo tipico della classe dei natanti utilizzata lungo una data via navigabile, almeno per la portata di navigazione.

Con riferimento al viadotto VI04 previsto in progetto sul Fiume Tevere (in un tratto dichiarato o potenzialmente navigabile), il tirante d'aria garantito rispetto al livello idrico associato alla piena con tempo di ritorno di 200 anni si attesta già a 7.4 m circa, superiore al tirante d'aria associato alla classe più elevata (V) di natanti, come sopra indicato (considerando inoltre che per la navigabilità del Tevere, si è fatto cenno all'utilizzo della classe 0).

Pertanto, il nuovo viadotto VI04 in progetto è compatibile anche con il servizio di navigabilità che si vorrà garantire sul Fiume Tevere, a seguito degli interventi previsti dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere o dal Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale.

 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 50 di 52

7 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento alle NTC 2018, al Cap. 5, si asserisce:

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

Il viadotto in progetto VI04 sul Fiume Tevere è caratterizzato da luci e franchi nel rispetto della normativa vigente. E’ rispettato infatti il franco minimo di 1,5 metri nei confronti del livello idrico corrispondente alla piena di progetto (Tr200), nonché la distanza minima tra pile contigue in alveo (40 metri), e tra il fondo alveo e la quota di intradosso di impalcato (6-7 m).

E’ stato trattato il tema relativo alle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni delle pile interessate dalla piena di progetto nonché alle relative opere di protezione.

Anche lo scavalco degli argini (ovvero dell’argine destro) del Fiume Tevere tramite la campata P6 - P7 del nuovo viadotto VI04 è caratterizzato da franchi e distanze nel rispetto della normativa vigente. Nello specifico, il franco tra la quota di intradosso e la sommità arginale è superiore a 3,2 metri; inoltre le pile P6 e P7 di scavalco degli argini, si attestano ad una distanza maggiore a 10 metri, dal piede sia esterno che interno, in ottemperanza dell’art. 96, comma f), del R.D. 523/1904.

E’ da sottolineare che 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 operam* e *post operam*.

IDROLOGIA E IDRAULICA

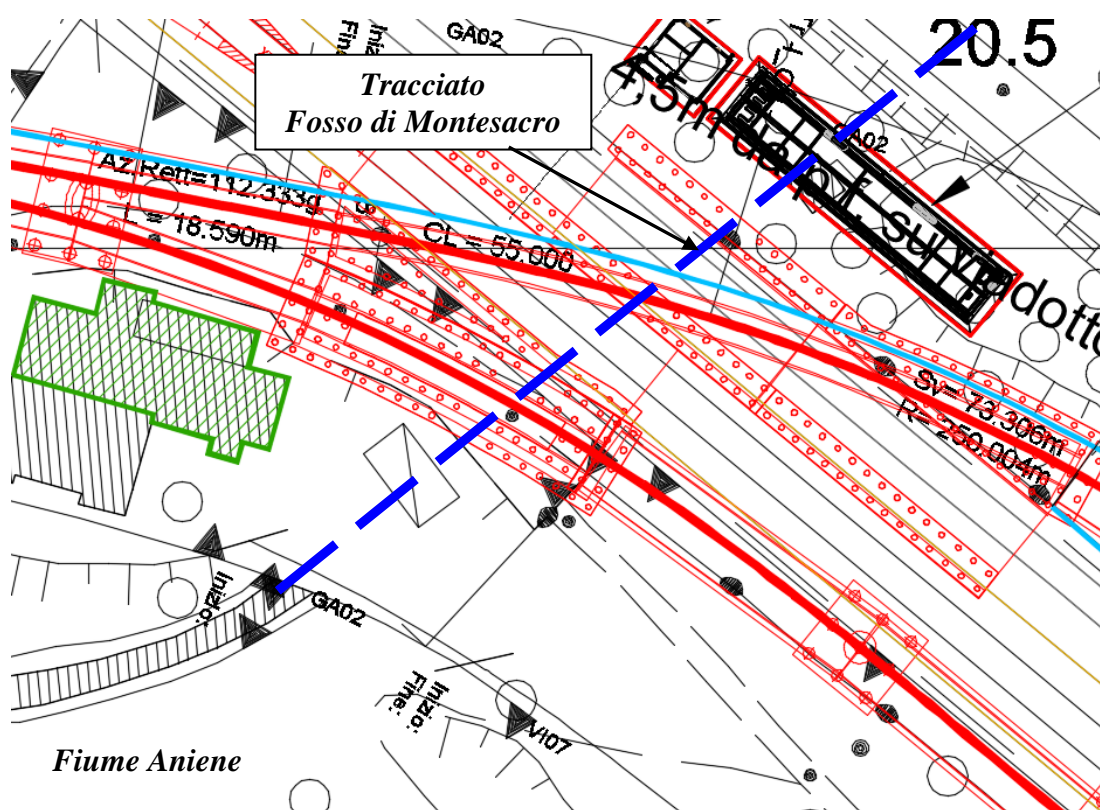
Relazione idraulica


COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR4E	21	R 09 RI	ID 0002 001	A	51 di 52

Sebbene ricadenti in o interferenti con aree di pericolosità idraulica, l'intervento in progetto è comunque consentito (ricadendo nella fattispecie 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...."), come indicato nelle NTA della pianificazione di bacino vigente (NTA del Piano di Bacino del Fiume Tevere, P.S.5, 2014).

Laddove interferenti con le aree di esondazione, i rilevati (in particolare quelli di approccio su scatolari, RI03, al VI09, in affiancamento al Fiume Aniene) sono stati inoltre opportunamente dotati di opere di protezione al piede (materassi tipo Reno, da prog. 3+950 a prog. 4+085) al fine di inibire l'innescò di fenomeni di erosione o sottoescavazione.

Si segnala inoltre l'interferenza del tracciato in progetto, e in particolare del nuovo manufatto scatolare (galleria artificiale, GA02) alla prog. 3+850 con il Fosso di Montesacro (affluente del Fiume Aniene), corso d'acqua già completamente tombato al di sotto della città (zona *Prati Fiscali*) e già attraversato dalla linea FS esistente. In particolare, l'interferenza riguarda le sottostrutture di fondazione della galleria artificiale. A tal proposito, in questa fase è stata prevista una configurazione della palificata di fondazione tale da non interferire con il manufatto esistente, presente al di sotto della linea FS. Nella successiva fase progettuale, saranno eseguiti rilievi di maggiore dettaglio al fine di meglio verificare e confermare la soluzione proposta.



 ITALFERR 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 2 TRATTA TOR DI QUINTO – VAL D'ALA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA NR4E	LOTTO 21	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

In definitiva, le analisi e le verifiche idrauliche svolte dimostrano la compatibilità del nuovo viadotto VI04 sul Fiume Tevere, dell'infrastruttura ferroviaria nel tratto di affiancamento al Fiume Aniene, nonché delle opere annesse (i.e. viabilità, fabbricati, SSE.....), in termini sia di franco di sicurezza (è stato indicato di prevedere i fabbricati tecnologici sopraelevati di 0,50 m da p.c.) sia di possibile interferenza con le aree potenzialmente inondabili.

8 BIBLIOGRAFIA

- Autorità di Bacino del Fiume Tevere. *Ipotesi di regolazione dei deflussi ai fini del governo delle piene nel bacino del Tevere*. Direttiva Presidente del Consiglio dei Ministri del 27/02/2004.
- 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 Stralcio per l'Assetto Idrologico (Autorità di Bacino del Fiume Tevere). P.S.5. Relazione Generale. *“PROBLEMI STRATEGICI: LA NAVIGABILITÀ DEL TEVERE”*.
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (aggiornamento dicembre 2019).
- Progetto di piano di bacino del fiume Tevere, 5° stralcio funzionale, per il tratto metropolitano da Castel Giubileo alla foce (PS5) – *Relazione generale*, 2014.
- Progetto di piano di bacino del fiume Tevere, 5° stralcio funzionale, per il tratto metropolitano da Castel Giubileo alla foce (PS5) – *Norme tecniche di attuazione e allegati*, 2014.
- 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.