

COMMITTENTE:



**DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA**

PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA
U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA**

PROGETTO DEFINITIVO

**LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA**
(Infrastrutture strategiche legge n. 443/2001)

Lotto 1: Ripalta- Lesina

**RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA – FIUME FORTORE
RISULTATI DEL MODELLO BIDIMENSIONALE**

SCALA:

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

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

Revis	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
Giugno 2016	EMISSIONE	C. MARSON	Giugno 2016	F. OABAS	Giugno 2016	F. GERNONE	Giugno 2016	F. SACCHI Giugno 2016

INDICE

1	PREMESSA	6
1.1	ELENCO ELABORATI ANNESSI.....	9
2	DESCRIZIONE INTERVENTO DI PROGETTO	10
3	SINTESI TECNICO DESCRITTIVA	12
4	CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE	13
5	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	15
5.1	IL MODELLO NUMERICO.....	16
5.2	GEOMETRIA DEL MODELLO	17
5.3	CONFIGURAZIONI GEOMETRICHE.....	23
5.4	DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE MODELLO.....	29
6	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	30
6.1	SIMULAZIONI ANTE OPERAM.....	30
6.1	CONSIDERAZIONE DI DETTAGLIO SUI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI ANTE OPERAM	34
6.2	SIMULAZIONI POST OPERAM.....	39
7	VERIFICA DELLE OPERE DI PROGETTO	45
7.1	FORNICI IN SINISTRA FORTORE.....	45
7.2	FORNICI DI TRASPARENZA IN ADIACENZA AL PONTE FERROVIARIO ESISTENTE SUL FORTORE.....	47
7.3	VIADOTTO RIPALTA	53
7.4	PROTEZIONE DEI RILEVATI.....	56
7.5	PROTEZIONE DELLE PILE.....	58
8	CRITERI DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	66
8.1	ANALISI DEL TRACCIATO	67
8.2	STUDIO IDROLOGICO.....	71
8.3	VERIFICHE IDRAULICHE.....	71
8.4	SISTEMAZIONI IDRAULICHE	73
8.5	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	73
	BIBLIOGRAFIA	75

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1- Evento 4-5 marzo 2005 – Aree inondate a valle dell' autostrada A14</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2- Evento 22 aprile 2009 – Aree inondate a valle della SS16</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3 – Linea ferroviaria esistente e di progetto.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4 – Area modellata, sezione di applicazione dell'onda di piena in ingresso.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5 – Onde di piena adottate nella modellazione numerica.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6 – Inquadramento territoriale dell'area modellata, viabilità stradali principali.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7 – Attraversamenti del Fiume Fortore</i>	<i>19</i>
<i>Figura 8 – Tombini di attraversamento minori.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9 – DTM di riferimento.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11 – Condizioni al contorno</i>	<i>23</i>
<i>Figura 12 – Configurazione Ante operam 1 e 2.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 13 – Nuova linea ferroviaria, lotto 01, Ripalta Lesina.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 14 – Elementi di trasparenza in sinistra Fortore, zona Olivella 2.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 15 – Elementi di trasparenza, zona Fortore.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 16 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Ante operam 1 – TR200 31</i>	
<i>Figura 17 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Ante operam 2 – TR200 31</i>	
<i>Figura 18 – Massime velocità in corrispondenza degli attraversamenti del F. Fortore – Ante operam 1 – TR200.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 19 – Massime velocità in corrispondenza degli attraversamenti del F. Fortore – Ante operam 2 – TR200.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 20 – Confronto tra le portate che attraversano la sezione A-A, TR 200 anni, ante operam.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 21 – Massime velocità, scavalco della linea esistente, sinistra Fortore – Ante operam 1 – TR300.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 22 – Evento 4-5 marzo 2005 – Collasso del rilevato ferroviario a fianco del tombino Olivella 2</i>	<i>35</i>
<i>Figura 23 – Risagomatura dell'alveo del Fortore, in corrispondenza del ponte ferroviario</i>	<i>36</i>
<i>Figura 24 – Massime velocità, scavalco della linea esistente, destra Fortore – Ante operam 1 – TR300.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 25 – Evento 4-5 marzo 2005 – Allagamento della stazione di Ripalta e tracimazione del rilevato.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 26 – Viadotto ferroviario in progetto.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 27 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Post operam 1 – TR200 39</i>	
<i>Figura 28 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Post operam 2 – TR200 40</i>	
<i>Figura 29 – Massime velocità in corrispondenza dei fornici, sinistra Fortore – Post operam 1 – TR300.....</i>	<i>41</i>



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 11 RI ID0002 001	A	4 DI 75

Figura 30 – Velocità massime, ponte ferroviario sul Fortore – Post operam 1 – TR300.....	42
Figura 31 – Velocità massime, ponte ferroviario sul Fortore – Post operam 2 – TR300.....	42
Figura 32 – Velocità massime, viadotto Ripalta – Post operam 1 – TR300	43
Figura 33 – Velocità massime, viadotto Ripalta – Post operam 2 – TR300	43
Figura 34 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Post Operam 2 Ideale – TR300.....	44
Figura 35 – Velocità massime, ponte ferroviario sul Fortore – Post Operam 2 Ideale – TR300	45
Figura 36 – Manufatti di trasparenza in sinistra Fortore	45
Figura 37 – Elementi di trasparenza attorno al Fortore.	48
Figura 38 – Dettaglio del profilo del viadotto Ripalta.....	54
Figura 39 – Dettaglio della protezione del rilevato in materassi tipo "Reno"	56
Figura 40 – Dettaglio della protezione del rilevato in massi cementati	57
Figura 41 – Protezioni al piede delle pile, sezione longitudinale del viadotto.	62
Figura 42 – Protezioni al piede delle pile - stralcio planimetrico.	63
Figura 43 – Sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità idraulica – tratto a ovest del viadotto di progetto.	68
Figura 44 – Sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità idraulica – tratto a est del viadotto di progetto.	68
Figura 45 – Sovrapposizione del tracciato con l'estensione delle aree allagate – configurazione ante operam 1 – TR 500 anni.....	69
Figura 46 – Sovrapposizione del tracciato con l'estensione delle aree allagate – configurazione post operam 1 – TR 500 anni.....	69
Figura 47 – Sovrapposizione del tracciato con la fascia di riassetto fluviale.	70

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elenco elaborati annessi.	9
Tabella 2 - Valori di scabrezza secondo le NA del PAI Fortore.	29
Tabella 3 – Tempi di ritorno richiesti per le verifiche idrauliche.	30
Tabella 4 – Risultati per TR 200 anni – post operam 1.....	46
Tabella 5 – Risultati per TR 200 anni – post operam 2.....	46
Tabella 6 – Risultati per TR 300 anni – post operam 1.....	46
Tabella 7 – Risultati per TR 300 anni – post operam 2.....	47
Tabella 8 – Risultati per TR 200 anni – post operam 1.....	49
Tabella 9 – Risultati per TR 200 anni – post operam 2.....	49
Tabella 10 – Risultati per TR 200 anni – post operam 2 ideale	50
Tabella 11 – Risultati per TR 300 anni – post operam 1.....	50
Tabella 12 – Risultati per TR 300 anni – post operam 2.....	51



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 11 RI ID0002 001	A	6 DI 76

Tabella 13 – Risultati per TR 300 anni – post operam 2 ideale	51
Tabella 14 – Risultati per TR 200 anni – ponte ferroviario esistente	52
Tabella 15 – Risultati per TR 300 anni – ponte ferroviario esistente	52
Tabella 16 – Franchi richiesti dalle NA – PAI Fortore	53
Tabella 17 – Livelli e franchi per il viadotto di progetto – TR 200 anni	55
Tabella 18 – Livelli e franchi per il viadotto di progetto – TR 300 anni	55
Tabella 19 – Coefficiente correttivo K_1	59
Tabella 20 – Coefficiente correttivo K_3	59
Tabella 21 – Scavi localizzati	61
Tabella 22 – Classi di pericolosità idraulica – PAI Fortore	67

1 PREMESSA

Negli ultimi anni il tratto terminale del fiume Fortore è stato interessato da frequenti esondazioni con allagamento di ampie aree di fondovalle ed il diretto interessamento della sede ferroviaria e delle altre infrastrutture viarie presenti.

In particolare vanno evidenziati gli eventi del 4-5 marzo 2005 e del marzo – aprile 2009. L'evento del 4-5 marzo 2005 è risultato il più intenso ed è stato oggetto di una approfondita indagine nell'ambito degli studi a supporto del Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Fortore. In tale evento la portata scaricata dalla diga fu di circa 550 m³/s secondo i dati forniti dal Consorzio di Bonifica della Capitanata. Il contributo del bacino a valle della diga, ricostruito sulla base delle precipitazioni mediante modello idrologico, di circa 180 m³/s. La portata complessivamente transitata a Ripalta, comprensiva della parte transitata in alveo e di quella esondata nelle aree golenali fu di circa 640 m³/s. Nella Figura 1 si riporta l'immagine delle aree inondate durante l'evento. E' da evidenziare che furono sormontate la SS 16, l'autostrada A14 e la ferrovia Foggia - Termoli.

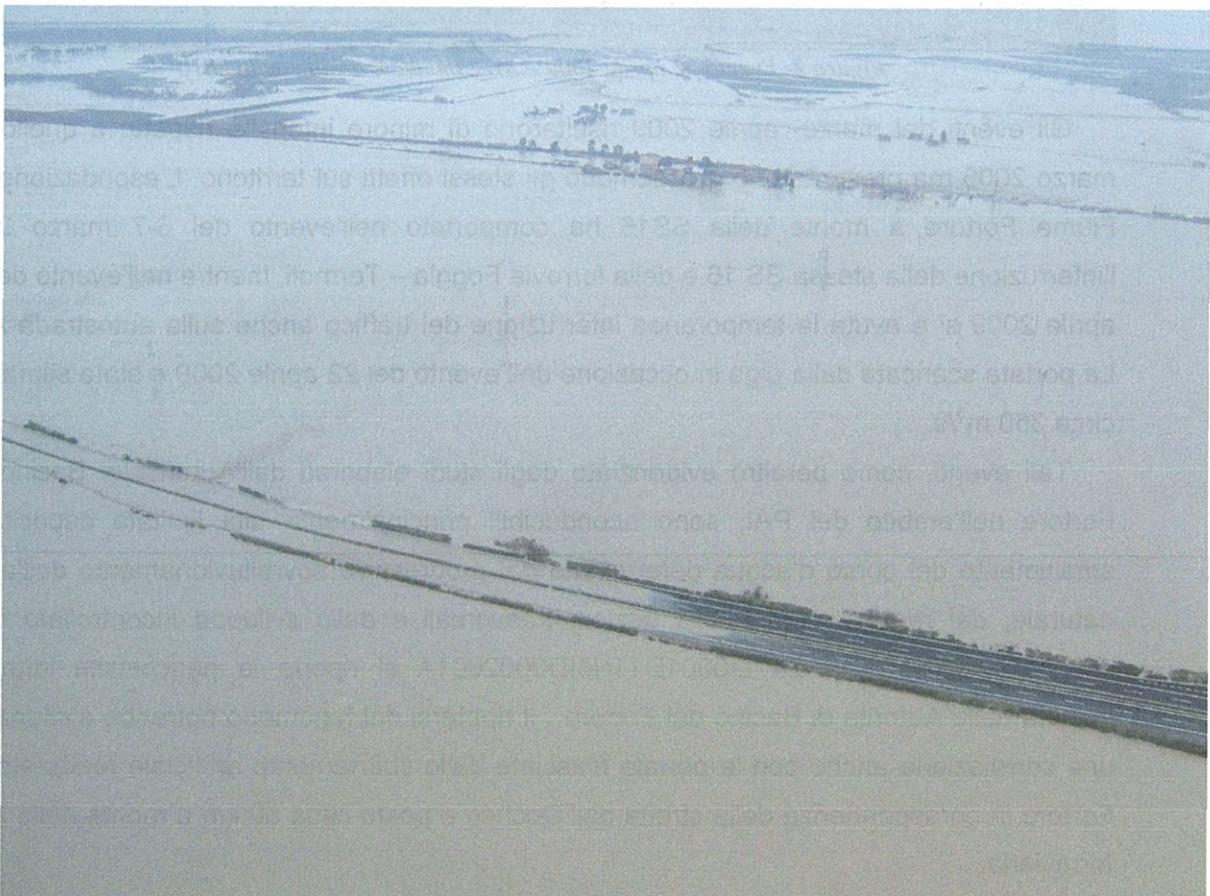


Figura 1- Evento 4-5 marzo 2005 – Aree inondate a valle dell' autostrada A14



Figura 2- Evento 22 aprile 2009 – Aree inondate a valle della SS16

Gli eventi del marzo- aprile 2009 risultarono di minore intensità rispetto a quello del marzo 2005 ma presentarono grossomodo gli stessi effetti sul territorio. L'esonazione del Fiume Fortore a monte della SS16 ha comportato nell'evento del 6-7 marzo 2009 l'interruzione della stessa SS 16 e della ferrovia Foggia – Termoli, mentre nell'evento del 22 aprile 2009 si è avuta la temporanea interruzione del traffico anche sulla autostrada A14. La portata scaricata dalla diga in occasione dell'evento del 22 aprile 2009 è stata stimata in circa 350 m³/s.

Tali eventi, come peraltro evidenziato dagli studi elaborati dall'Autorità di Bacino del Fortore nell'ambito del PAI, sono riconducibili principalmente alla limitata capacità di smaltimento del corso d'acqua determinata dal progressivo sovralluvionamento dell'alveo naturale, dal restringimento delle sezioni trasversali e dallo sviluppo incontrollato della vegetazione. Nella tavola LI0001D11N4ID0002001A si riporta la pericolosità idraulica stimata dalla Autorità di Bacino del Fortore. Il ripetersi del fenomeno potrebbe evidenziare una correlazione anche con le portate rilasciate dallo sbarramento artificiale realizzato sul Fortore in corrispondenza della stretta dell'Occhito e posto circa 50 km a monte della linea ferroviaria.



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 11 RI ID0002 001	A	8 DI 75

Tale circostanza appare particolarmente critica soprattutto in condizioni di invaso pieno (circostanza che normalmente si verifica all'inizio della primavera), quando la laminazione delle piene concentrate dal bacino idrografico sotteso dallo sbarramento può determinare il rilascio dagli scarichi di superficie della diga di portate dell'ordine di diverse centinaia di m^3/s ed evidentemente non compatibili con la capacità di deflusso dell'alveo naturale.

Il presente documento è parte della progettazione definitiva dell'intervento di raddoppio della linea ferroviaria Termoli - Lesina, nella tratta che si sviluppa tra Ripalta e Lesina. La tratta della linea ferroviaria interessata dal presente studio ha uno sviluppo complessivo di circa 6.85 km ed è compresa tra la progressiva km 0+000 e la km 6+844.

La presente relazione descrive lo studio idraulico eseguito mediante modellazione numerica bidimensionale del Fiume Fortore, al fine di definire e verificare le opere di protezione idraulica della linea ferroviaria stessa e successivamente valutare la compatibilità idraulica dell'infrastruttura in progetto.

Lo studio è stato condotto tenendo in considerazione le indicazioni del progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico per il bacino interregionale dei Fiumi Trigno, Bifero e Minori, Saccione e Fortore (PAI) e del piano di gestione del rischio alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino Meridionale di recente emanazione.

Sono stati anche considerati gli effetti sui territori vallivi legati alla gestione della diga di Occhito. Il documento di riferimento è il Piano di Laminazione preventivo dell'invaso di Occhito sul Fiume Fortore redatto dal Politecnico di Bari, attraverso una convenzione con la Regione Puglia, settore Protezione Civile.

Per le simulazioni idrauliche e per la definizione delle aree allagate, nonché dei livelli idrici e delle velocità, si è fatto uso del codice di calcolo bidimensionale denominato Infoworks ICM, sviluppato dalla software house Innovyze.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI ID0002 001	DOCUMENTO A	REV. 9 DI 75

1.1 Elenco elaborati annessi

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Relazione idrologica	-	LI0001D11RIID0001001A
Relazione idraulica nuovi tombini	-	LI0001D11RIID0002004A
Corografia dei bacini idrografici	varie	LI0001D11CZID0001001A
Carta tematica - pericolosità idraulica	1:10'000	LI0001D11N4ID0002001A
Planimetria aree di esondazione ante operam 1 - Livelli idrici massimi	1:20'000	LI0001D11PZID0002001A
Planimetria aree di esondazione ante operam 2 - Livelli idrici massimi	1:20'000	LI0001D11PZID0002002A
Planimetria aree di esondazione post operam 1 - Livelli idrici massimi	1:20'000	LI0001D11PZID0002003A
Planimetria aree di esondazione post operam 2 - Livelli idrici massimi	1:20'000	LI0001D11PZID0002004A
Planimetria aree di esondazione ante operam 1 - Velocità massime	1:20'000	LI0001D11PZID0002005A
Planimetria aree di esondazione ante operam 2 - Velocità massime	1:20'000	LI0001D11PZID0002006A
Planimetria aree di esondazione post operam 1 - Velocità massime	1:20'000	LI0001D11PZID0002007A
Planimetria aree di esondazione post operam 2 - Velocità massime	1:20'000	LI0001D11PZID0002008A
Planimetria aree di esondazione post operam 1 e 2 - Livelli idrici massimi e velocità massime - Evento Tr 300 anni	1:20'000	LI0001D11PZID0002009A
Profilo idraulico e sezioni trasversali Tr200 e Tr300 anni - Configurazione ante operam 1	varie	LI0001D11FZID0002001A
Profilo idraulico e sezioni trasversali Tr200 e Tr300 anni - Configurazione ante operam 2	varie	LI0001D11FZID0002002A
Profilo idraulico e sezioni trasversali Tr200 e Tr300 anni - Configurazione post operam 1	varie	LI0001D11FZID0002003A
Profilo idraulico e sezioni trasversali Tr200 e Tr300 anni - Configurazione post operam 2	varie	LI0001D11FZID0002004A
Tipologico opere di presidio idraulico - fondazioni in alveo e protezione dei rilevati 1/2	varie	LI0001D11BZID0002003A
Tipologico opere di presidio idraulico - fondazioni in alveo e protezione dei rilevati 2/2	varie	LI0001D11BZID0002004A

Tabella 1 – Elenco elaborati annessi.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

2 DESCRIZIONE INTERVENTO DI PROGETTO

La lunghezza complessiva del lotto 1 Ripalta-Lesina della tratta ferroviaria Termoli-Lesina in progetto, e di 6844 metri circa (tra le pk 0+000 e 6+844.842), interamente sviluppato in superficie (Figura 1).

Dal punto di vista orografico esso impegna settori di territorio di pianura posti a quote comprese tra il livello del mare e circa 25 m ssm. Morfologicamente l'area si caratterizza per la presenza di ampi settori pianeggianti o sub-pianeggianti riconducibili alla fascia costiera adriatica ed alla piana alluvionale del F. Fortore, che rappresenta il principale corso d'acqua intercettato lungo il tracciato in progetto alla progressiva chilometrica 1+900 circa. Lungo il tratto oggetto di studio, la linea interseca alcuni corsi d'acqua minori, come il Fosso Olivella 2 (pk 0+250), il Fosso Paradiso (pk 3+475), il Canale della Capoposta (pk 5+743) e il Fosso Pontonicchio (pk 6+712), come evidenziato in Figura 1.

Localmente il tracciato insiste su settori rilevati rispetto al livello del mare rappresentati da terrazzi marini o blandi rilievi collinari.

Dall'inizio della tratta (pk 0+000) fino alla pk 2+400 e, nuovamente, tra la pk 5+400 e la fine dell'intervento (pk 6+844.842), il tracciato in progetto si sviluppa in corrispondenza del rilevato ferroviario esistente; mentre nel tratto intermedio, tra le pk 2+400 e 5+400 si sviluppa in adiacenza allo stesso, sul lato sud. Tra le progressive pk 2+563.8 e 3+738.8, sulle aree golenali in destra Fortore, è prevista la realizzazione del viadotto Ripalta, di lunghezza pari a 1175 m (Figura 1).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 11 RI ID0002 001	REV. A	FOGLIO 11 DI 75

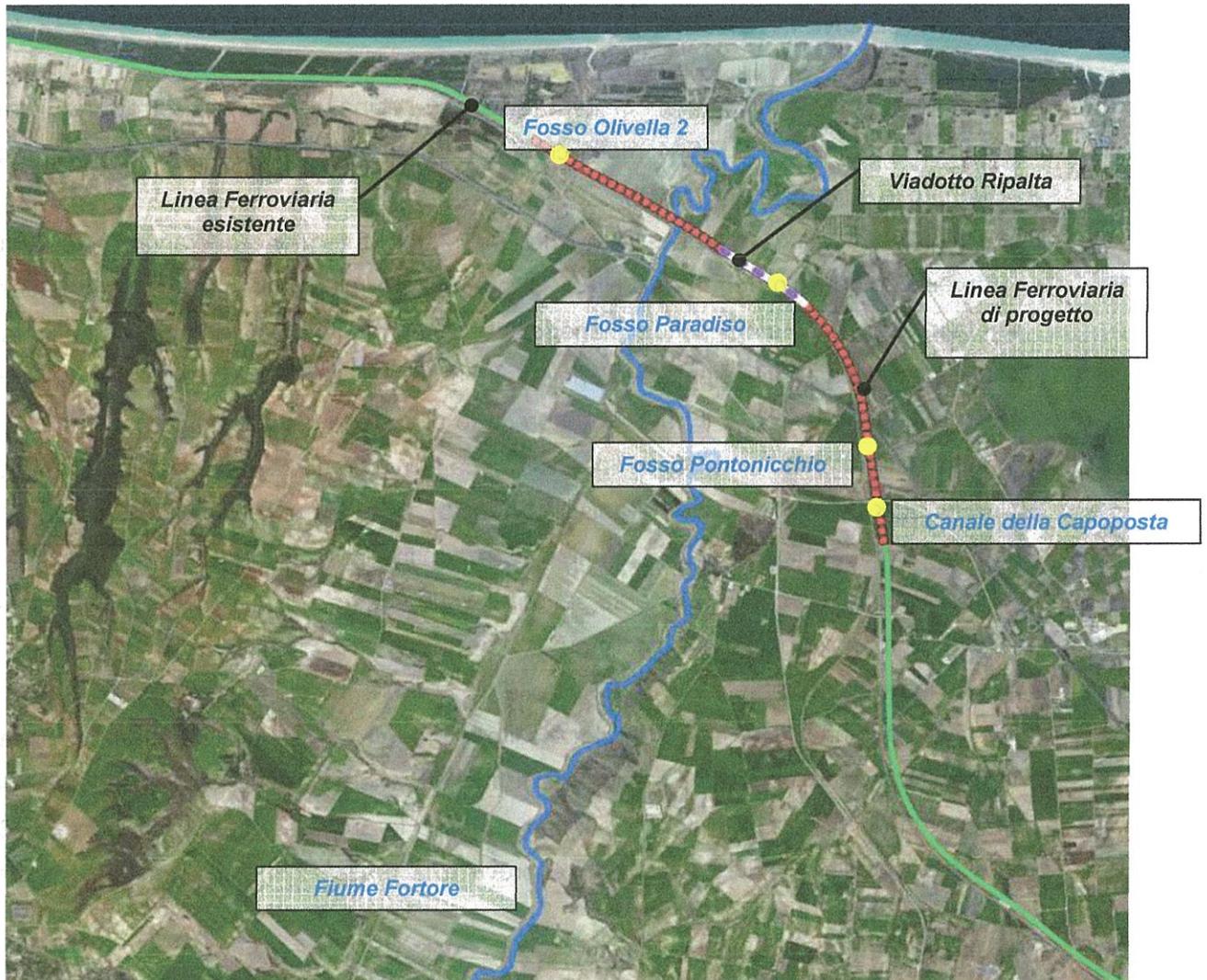


Figura 3 – Linea ferroviaria esistente e di progetto.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. A

3 SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

La fase iniziale del presente approfondimento ha riguardato l'analisi degli input idrologici da applicare al modello idraulico di tipo bidimensionale in moto vario. In particolare ci si è soffermati nell'analisi delle onde di piena, calcolati per eventi caratterizzati da differenti tempi di ritorno. Nei tratti più vallivi dell'asta del Fiume Fortore, la risposta idrologica in termini di portata dell'intero bacino è determinata sia dalle portate rilasciate dagli scarichi della diga di Occhito che dalla risposta dell'interbacino a valle dello sbarramento. Gli studi condotti al fine di investigare le risposte idrologiche in termini di portate dell'intero bacino del Fiume Fortore sono integralmente riportati nella relazione idrologica (elaborato LI0001D11RIID0001001A).

L'analisi svolta all'interno del presente studio è stata eseguita mediante una simulazione numerica di tipo bidimensionale a moto vario.

La geometria del modello è stata sviluppata basandosi su: Modello DTM del terreno, rilievo LIDAR, rilievi Laser Scan e campagna topografica di dettaglio che ha riguardato l'alveo di magra e i manufatti di attraversamento del Fiume Fortore.

Nel modello sono state analizzate cinque differenti configurazioni geometriche, precedenti e successive agli interventi oggetto del presedente progetto definitivo, considerando o meno la realizzazione di opere di sistemazione e difesa idraulica del Fiume Fortore previsti nel progetto di primo Lotto degli 'Interventi prioritari finalizzati all'aumento delle condizioni di sicurezza idraulica' del fiume Fortore (progetto della Regione Puglia e dell'ufficio del commissario straordinario delegato per l'attuazione degli interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico).

Sono stati analizzati eventi di piena con differenti tempi di ritorno (30, 100, 200, 300 e 500 anni) per il tratto terminale del Fiume Fortore. Le simulazioni sono state svolte con un modello bidimensionale ai volumi finiti, in grado di risolvere le equazioni del moto Shallow Water Equations (SWE).

La scelta dei tempi di ritorno è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione Italferr, dalle Norme tecniche delle costruzioni (NTC08) e alle indicazioni riportate nelle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Progetto di Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino interregionale del Fiume Fortore (PAI-Fortore).

In particolare, i risultati del modello per tempi di ritorno pari a 200 e 300 anni hanno permesso:

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. A

1. la scelta delle posizioni delle dimensioni ottimali dei manufatti di trasparenza (fornici) del rilevato ferroviario di progetto;
2. la verifica idraulica del viadotto Ripalta di attraversamento della golena destra del Fiume Fortore in termini di franco idraulico;
3. la determinazione della profondità dell'erosione localizzata nell'intorno delle pile delle viadotto;
4. la definizione delle aree potenzialmente allagabili e la valutazione di eventuali interferenze con la linea ferroviaria in progetto.

4 CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE

In Figura 4 è riportata l'estensione dell'area analizzata, il dominio di calcolo è limitato ad est e a ovest dai versanti della valle del Fiume Fortore, a nord da un tratto della linea di costa adriatica, a sud da una sezione ortogonale all'asse del fiume posta all'altezza del ponte di Civitate. Le simulazioni idrauliche realizzate sono di tipo non stazionario, nella sezioni di monte sono state immesse le onde di piena stimate attraverso l'analisi idrologica. In merito ai metodi di verifica le NTA del PAI stabiliscono che:

" [...] Lo schema di moto permanente può essere utilizzato qualora sia sufficiente determinare i livelli idrometrici senza compiere valutazioni circa la capacità di laminazione del corso d'acqua. La modellazione in moto vario sarà utilizzata qualora il fenomeno di laminazione sia significativo o siano presenti significative esondazioni del corso d'acqua. [...] "

È noto come il Fiume Fortore abbia la tendenza ad allagare ampie aree di territorio, in particolare in prossimità della foce, per cui gli effetti di laminazione delle piene non sono da ritenersi trascurabili.

Nella relazione idrologica sono discusse nel dettaglio le considerazioni idrologiche relative al progetto delle linea ferroviaria. In particolare si espongono e commentano le onde di piena calcolate per il tratto terminale del Fiume Fortore. Nei grafici in Figura 5 sono riportate le onde di piena applicate al modello numerico, per i diversi tempi di ritorno che caratterizzano gli eventi di piena sintetici simulati.

I tempi di ritorno analizzati sono: 30, 100, 200, 300 e 500 anni in accordo con quanto previsto dalle Norme di Attuazione del PAI Fortore.

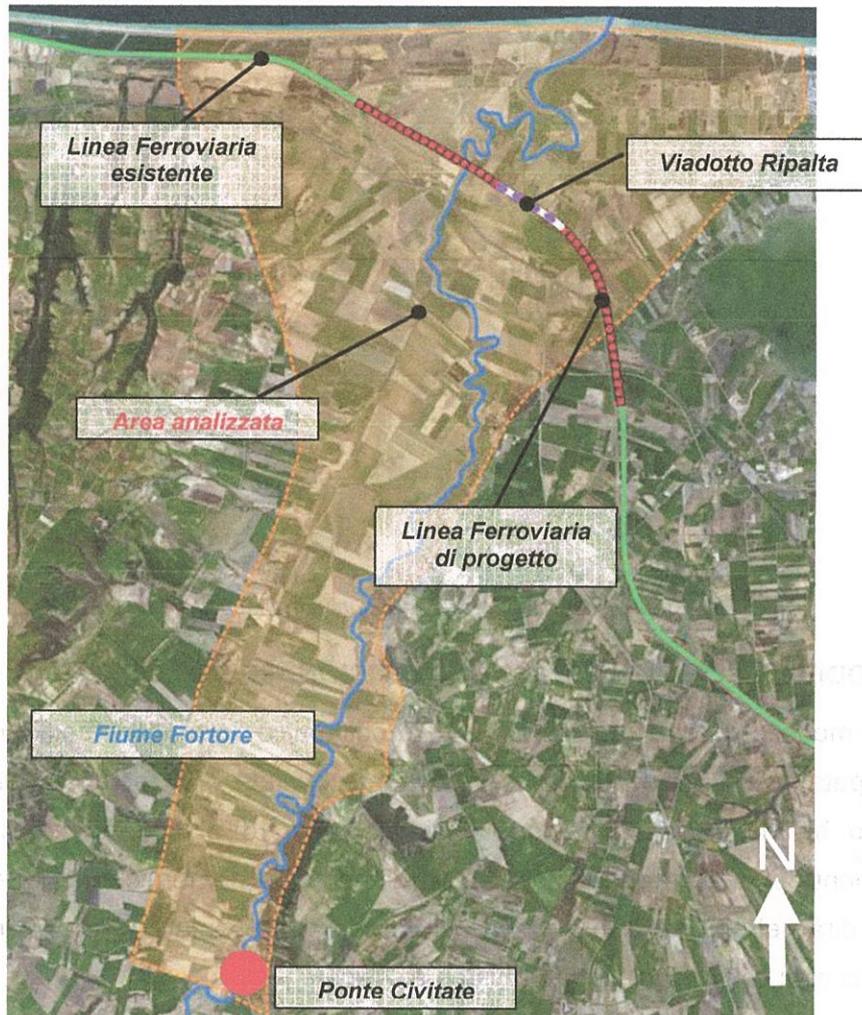


Figura 4 – Area modellata, sezione di applicazione dell'onda di piena in ingresso.

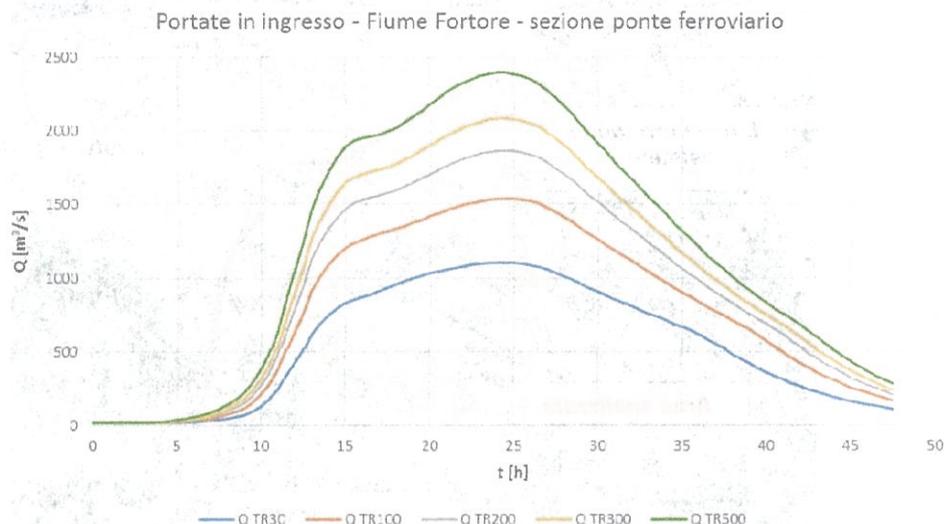


Figura 5 – Onde di piena adottate nella modellazione numerica

5 MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

La modellazione del comportamento idrodinamico delle acque del Fiume Fortore è stata sviluppata, per il tratto compreso tra il ponte Civitate e la foce, mediante un modello di calcolo bidimensionale ai volumi finiti. elementi 1d di tipo "conduits sono stati usati localmente al fine di rappresentare il funzionamento dei fornicci di trasparenza idraulica di cui si dirà nel seguito e in generale al fine di rappresentare il funzionamento dei tombini idraulici al di sotto dei rilevati ferroviario e stradale.

Il software utilizzato per l'implementazione del modello è InfoWorks ICM sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito. La modellazione bidimensionale del 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 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. Sono state condotte diverse simulazioni numeriche imponendo una portata variabile nel tempo alla sezione di immissione (Figura 4 e Figura 5).

5.1 Il modello numerico

Il modello numerico utilizzato per valutare il campo di moto è basato nella procedura descritta da *Alcrudo and Mullet-Marti (2005), Urban inundation models based upon the Shallow Water Equations*. La rappresentazione bidimensionale del moto si basa sulla risoluzione delle shallow water equations (o SWE). Le ipotesi alla base per la soluzione delle SWE sono che il flusso sia orizzontale e che la variazione della velocità nella verticale rispetto alla direzione del moto sia trascurabile. Inoltre le equazioni sono sviluppate accettando a priori l'ipotesi di idrostaticità del gradiente delle pressioni lungo la direzione verticale. La formulazione delle SWE utilizzate nel software InfoWorks ICM è riassunta di seguito:

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

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

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

I termini citati rappresentano rispettivamente:

h il tirante idrico della corrente

u e v rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni x ed 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} è la portata immessa per unità di superficie

u_{1d} e v_{1d} sono le componenti di velocità relative alla portata immessa rispettivamente in direzione x e y

In InfoWorks ICM 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

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 11 RI ID0002 001	REV. A	FOGLIO 17 DI 75

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)

InfoWorks ICM utilizza mesh non strutturate per rappresentare il dominio di calcolo bidimensionale.

5.2 Geometria del modello

Le caratteristiche geometriche dell'area di interesse (in seguito definita *dominio di calcolo*) sono riportate all'interno del modello idraulico tramite una discretizzazione del territorio attraverso elementi generalmente poligonali, nota come mesh. La mesh di calcolo possiede una *risoluzione variabile spazialmente tale per cui l'andamento piano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato a rappresentare il corso d'acqua, alvei e golene, sia i canali secondari e le aree ripariali potenzialmente allagabili.*

La Figura 6 riporta l'estensione del dominio di calcolo delimitato dal poligono in colore arancione.

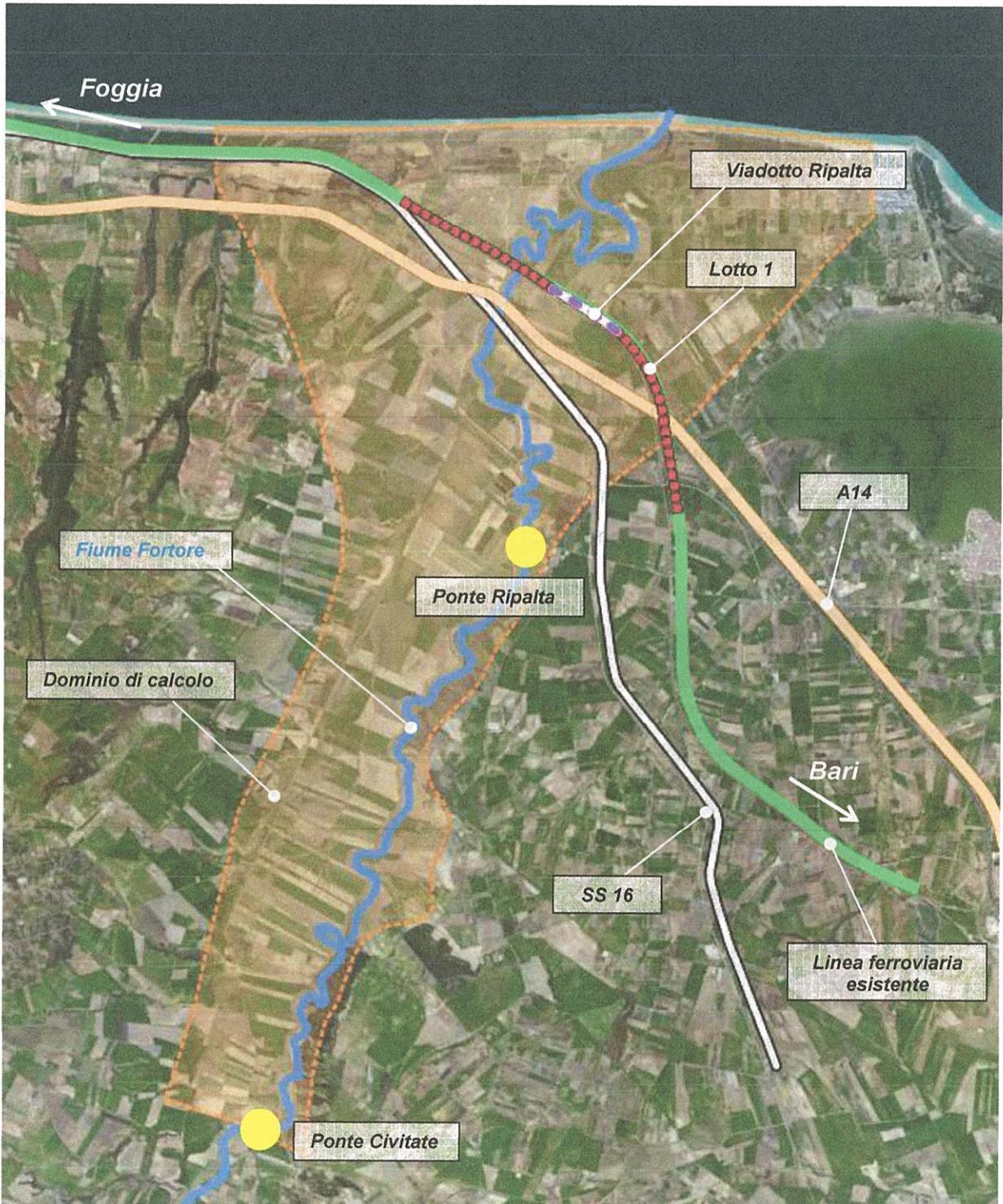


Figura 6 – Inquadramento territoriale dell'area modellata, viabilità stradali principali.

Esso si estende su una superficie di circa 67 km² e comprende l'asta del Fiume Fortore, che si sviluppa, in modo molto sinuoso, per una lunghezza di circa 27 km.

Partendo dalla sezione di monte (ponte Civitate), il dominio di calcolo è contenuto all'interno della valle del Fiume Fortore, questo tratto iniziale ha una lunghezza di circa 14 km, e una larghezza variabile tra 2 e 2.5 km. All'altezza del ponte di Ripalta, la valle del Fortore si apre a ventaglio fino alla foce nel Mare Adriatico; in tal caso la superficie modellata ricopre quasi interamente la valle, così come mostrato in Figura 6.

L'area di maggiore interesse ai fini della modellazione è quella più a valle, posta nelle vicinanze della linea ferroviaria (Figura 6). Lungo questo tratto sono presenti quattro attraversamenti, Figura 7, inseriti all'interno modello sulla base delle geometrie riprodotte dai rilievi di dettaglio. In Figura 8 sono riportate le posizioni dei principali tombini di trasparenza presenti allo stato attuale al di sotto dei rilevati della linea ferroviaria e dell'autostrada. Tali elementi sono stati inseriti all'interno del modello come elementi monodimensionali di tipo "conduits".

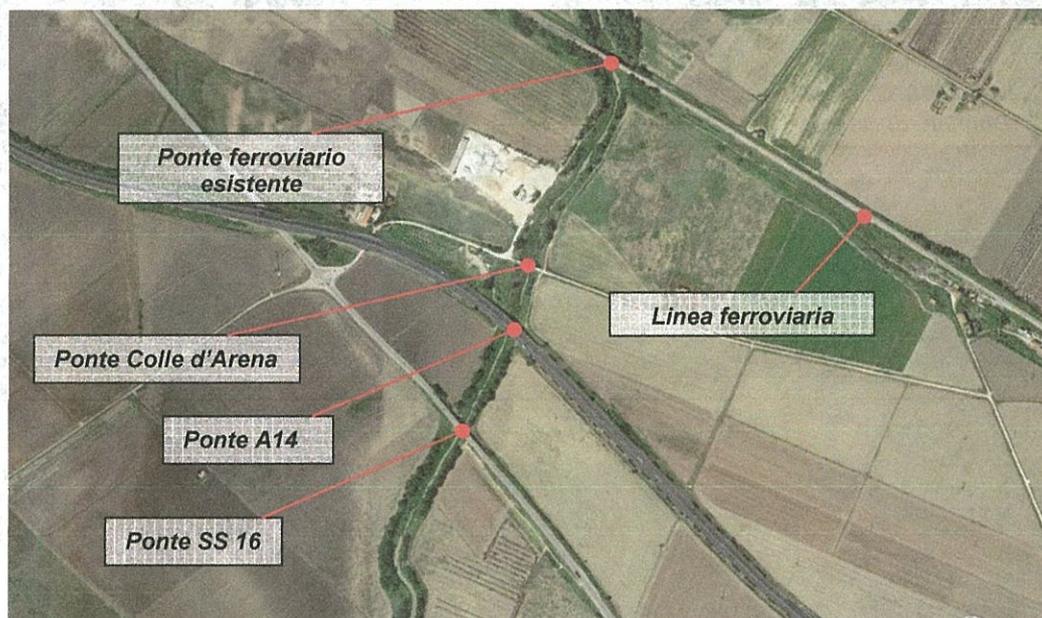


Figura 7 – Attraversamenti del Fiume Fortore

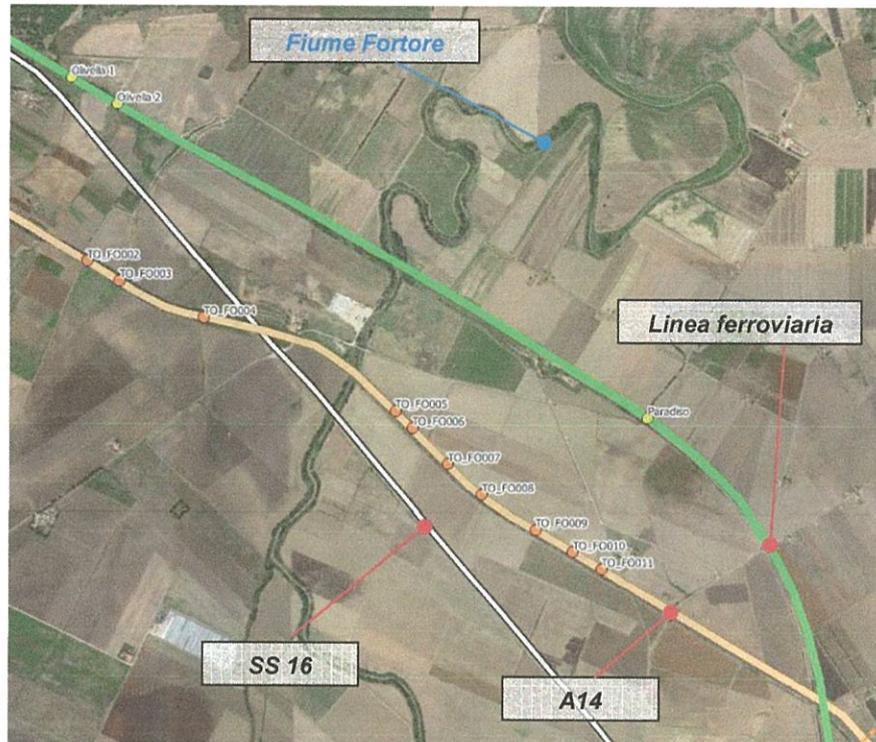


Figura 8 – Tombini di attraversamento minori.

L'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo è basato sull'utilizzo di un DTM che è il risultato dell'unione del rilievo LIDAR effettuato dal Ministero dell'Ambiente, la cui risoluzione è dell'ordine del metro, con il rilievo LIDAR messo a disposizione della regione Puglia effettuato con risoluzione di circa otto metri a completamento delle porzioni di territorio non coperte dal rilievo commissionato dal Ministero. Le risoluzioni del DTM sono adeguate a rappresentarne le caratteristiche piano altimetriche dell'area.

In Figura 9 è rappresentata l'estrapolazione tridimensionale della mappa altimetrica dell'area sopra descritta. In questa figura il dominio di calcolo è rappresentato da un poligono arancione. Sempre in Figura 9 è evidenziato un ingrandimento di una porzione del DTM in cui è possibile apprezzare il livello di dettaglio molto elevato.

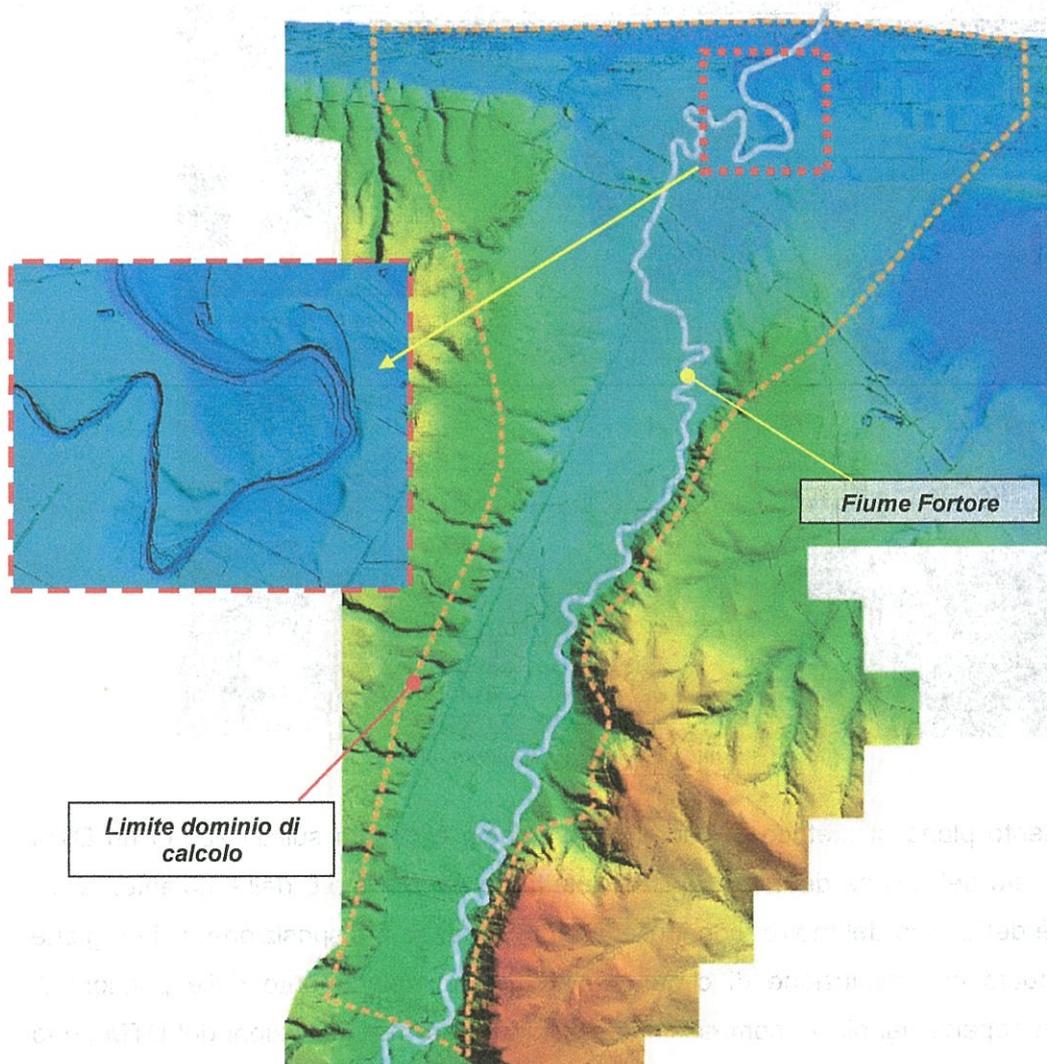


Figura 9 – DTM di riferimento

L'alveo di magra del Fiume Fortore è stato rappresentato con particolare accuratezza. Per il tratto che va dal ponte di Ripalta alla foce è stata definita una superficie che ricostruisce nel dettaglio l'alveo inciso integrando i dati LIDAR e il DTM sulla base di sezioni di rilievo effettuate nel 2016 e sulla base delle sezioni as built dei Primi interventi di ripristino dell'efficienza idraulica lungo l'asta principale del fiume Fortore a valle della diga di Occhito (presenti nel progetto di primo lotto della Regione Puglia e dell'ufficio del commissario straordinario delegato per l'attuazione degli interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico).

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 10, è costituita da circa 630'00 elementi. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 190 m² e che le dimensioni minime non fossero

	LINEA PESCARA - BARI				
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
LI00	01	D 11 RI ID0002 001	A	22 DI 75	

inferiori ad un area di 100 m². È stato effettuato un ulteriore infittimento della mesh nella zona a cavallo degli attraversamenti di valle, dove la dimensione minima degli elementi è pari a 35 m² (Figura 10).

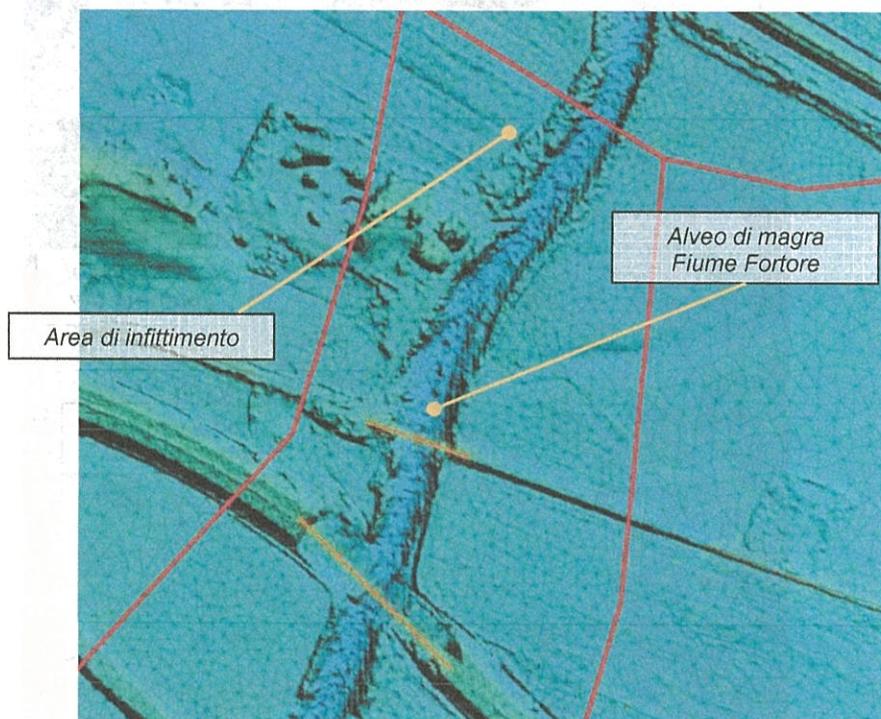


Figura 10 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM

La Figura 11 rappresenta, in modo schematico, le condizioni al contorno del modello realizzato. In particolare, per quanto riguarda le condizioni di valle lungo la linea di costa è stato imposto un livello di marea costante, pari a 1 m smm. Con il fine di non bloccare i flussi idrici generati dall'espansione dell'allagamento nel tratto di valle del modello, è stata applicata in destra idraulica, una condizione di tipo "dry", ovvero il flusso che raggiunge la linea di confine esce definitivamente dal dominio di calcolo, non è ammesso il flusso in verso opposto. L'area di maggiore interesse nella presente analisi è quella parte del dominio di calcolo a ridosso della linea ferroviaria di progetto (Figura 6). Com'è noto le condizioni al contorno del dominio possono introdurre degli effetti di bordo la cui influenza va eliminata. A tale scopo, il dominio è stato esteso verso monte, in modo tale da allontanare la posizione della sezione di immissione della portata dall'area di interesse. Le linee tratteggiate in colore arancione, riportate in Figura 11, identificano le condizioni al contorno di tipo "wall", cioè la condizione di impermeabilità. Sulla base dei risultati delle simulazioni preliminari, tali bordi non vengono mai raggiunti dagli allagamenti del Fortore.

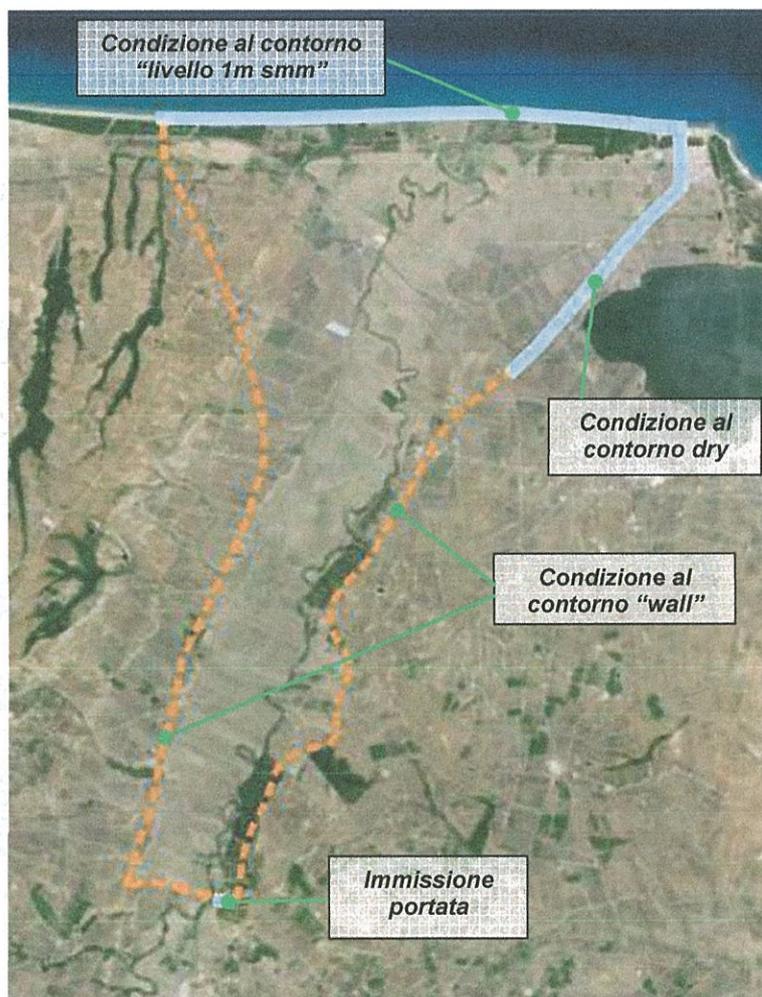


Figura 11 – Condizioni al contorno

5.3 Configurazioni geometriche

Partendo da quanto stabilito dalle NTA del PAI Fortore, “ [...] Negli studi connessi alla realizzazione di opere idrauliche vanno condotti calcoli per definire le condizioni di deflusso allo stato attuale, allo stato di progetto e nelle eventuali fasi intermedie. [...] ”, nella presente analisi sono state simulate cinque differenti configurazioni geometriche, ante e post operam, nel seguito descritte:

- Ante operam 1: rappresenta lo stato attuale dei luoghi e delle opere ferroviarie e idrauliche, non sono presenti interventi sulla linea ferroviaria esistente. Recentemente è stata realizzata una prima risagomatura dell’alveo di magra assieme ad una parziale rimozione delle vegetazione ripariale di un tratto del Fiume Fortore, Figura 12. Per la geometria dell’alveo sistemato si è fatto sezioni di rilievo

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

effettuate nel 2016 e alle sezioni as built 2014 nell'ambito dei Primi interventi di ripristino dell'efficienza idraulica lungo l'asta principale del fiume Fortore a valle della diga di Occhito (presenti nel progetto di primo lotto della Regione Puglia e dell'ufficio del commissario straordinario delegato per l'attuazione degli interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico)

- Ante operam 2: come per la configurazione precedente non sono presenti interventi sulla linea ferroviaria. Vengono inseriti all'interno del modello numerico le opere di sistemazione del Fiume Fortore descritte all'interno del progetto definitivo "Interventi prioritari finalizzati all'aumento delle condizioni di sicurezza idraulica del corso d'acqua lungo l'asta principale del Fiume Fortore sotteso alla diga di Occhito" – primo lotto. Tali interventi di futura realizzazione, consistono in:

1. Realizzazione di due tratti arginali, Figura 12, in destra e sinistra idraulica;
2. Risagomatura dell'alveo di magra del fiume del progetto definitivo sopra citato, Figura 12;
3. Demolizione del ponte stradale Colle d'Arena.

Gli interventi riportati ai tre punti precedenti sono opere oggetto di appalto da parte della Regione Puglia.

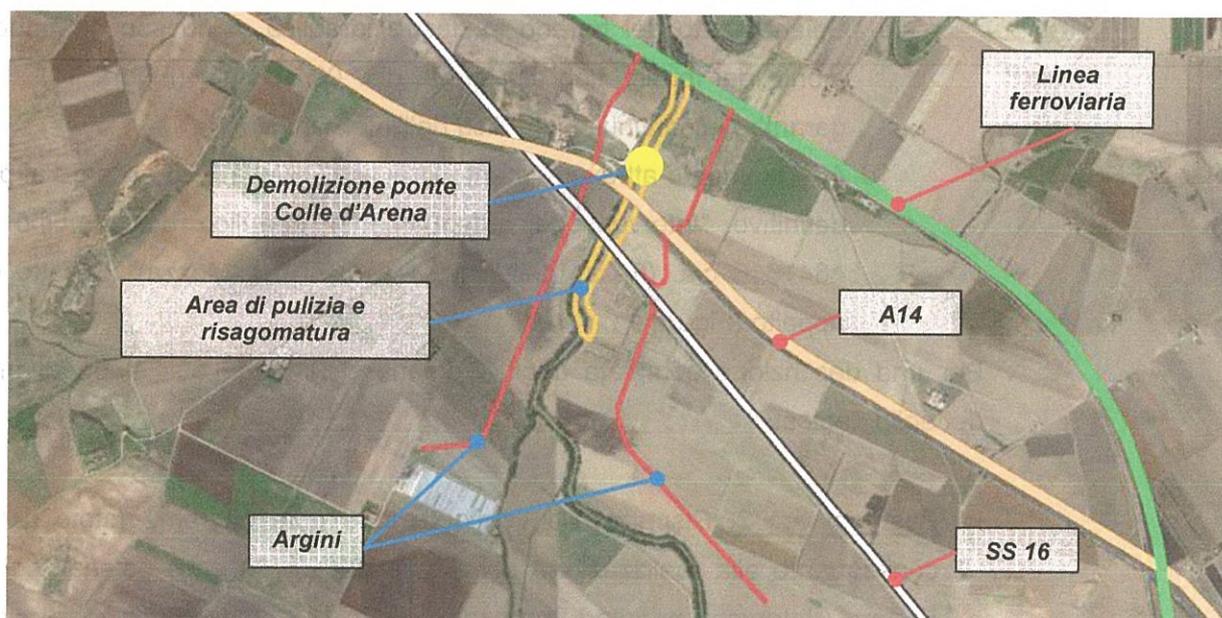


Figura 12 – Configurazione Ante operam 1 e 2.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina					
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. A	FOGGIO 25 DI 75

- Post operam 1: Rispetto alla configurazione ante operam1 (stato attuale dei luoghi), sono stati inseriti gli interventi previsti nel presente progetto definitivo della linea ferroviaria – lotto 01 che sono:
 1. Raddoppio della linea ferroviaria, che comprende tratti in rilevato e tratti in trincea (Figura 13);
 2. Realizzazione del viadotto Ripalta, lunghezza pari a 1175 m, tra la prog. 2+563.8 e la prog. 3+738.8 (Figura 13);
 3. Demolizione del rilevato ferroviario esistente nel tratto in affiancamento al viadotto Ripalta, Figura 13;
 4. Realizzazione di 8 tombini di trasparenza di dimensioni 3.0x2.0m, da realizzarsi tra la pk 0+303.6 e pk 0+411.60 (Figura 14);
 5. Realizzazione di 6 fornici di trasparenza in sinistra Fortore, di dimensioni 6 x 3 m, tra la pk 1+755.47 e la pk 1+830.2 (Figura 14);
 6. Realizzazione di 4 fornici di trasparenza in destra Fortore, di dimensioni 6 x 3 m, tra la pk 2+047.12 e la pk 2+092.14 (Figura 14);
 7. Realizzazione di 6 fornici di trasparenza in destra Fortore, di dimensioni 4 x 3 m, tra la pk 2+107.16 e la pk 2+182.38 (Figura 14);
 8. livellamento del terreno in sinistra idraulica, a ridosso dell'imbocco di monte dei fornici, fino alla quota di 8.00 m ssm al fine di garantire la continuità idraulica dell'intervento (Figura 14);
 9. Spianamento del terreno in destra idraulica, a ridosso dell'imbocco di monte dei fornici, fino alla quota di 7.00 m ssm (Figura 14) al fine di garantire la continuità idraulica dell'intervento;
 10. Adeguamento attraversamento idraulico Olivella 2, in accordo al progetto definitivo "Intervento di adeguamento idraulico del tombino al km 464+616 c.a. (Fosso Olivella 2 – Loc. Torre Mozza)" oggetto di altro appalto (Figura 13).

Per una descrizione completa degli interventi si rimanda agli elaborati grafici di dettaglio dedicati.

- Post operam 2: Rispetto alla configurazione ante operam2 (stato dei luoghi conseguente alla realizzazione delle arginature nelle aree golenali del Fiume Fortore ("Interventi prioritari finalizzati all'aumento delle condizioni di sicurezza

idraulica del corso d'acqua lungo l'asta principale del Fiume Fortore sotteso alla diga di Occhito" – primo lotto Sono stati inseriti gli interventi previsti nel presente progetto definitivo della linea ferroviaria – lotto 01), sono stati implementati gli interventi di cui ai punti 1-10 di cui alla configurazione Post-operam1.

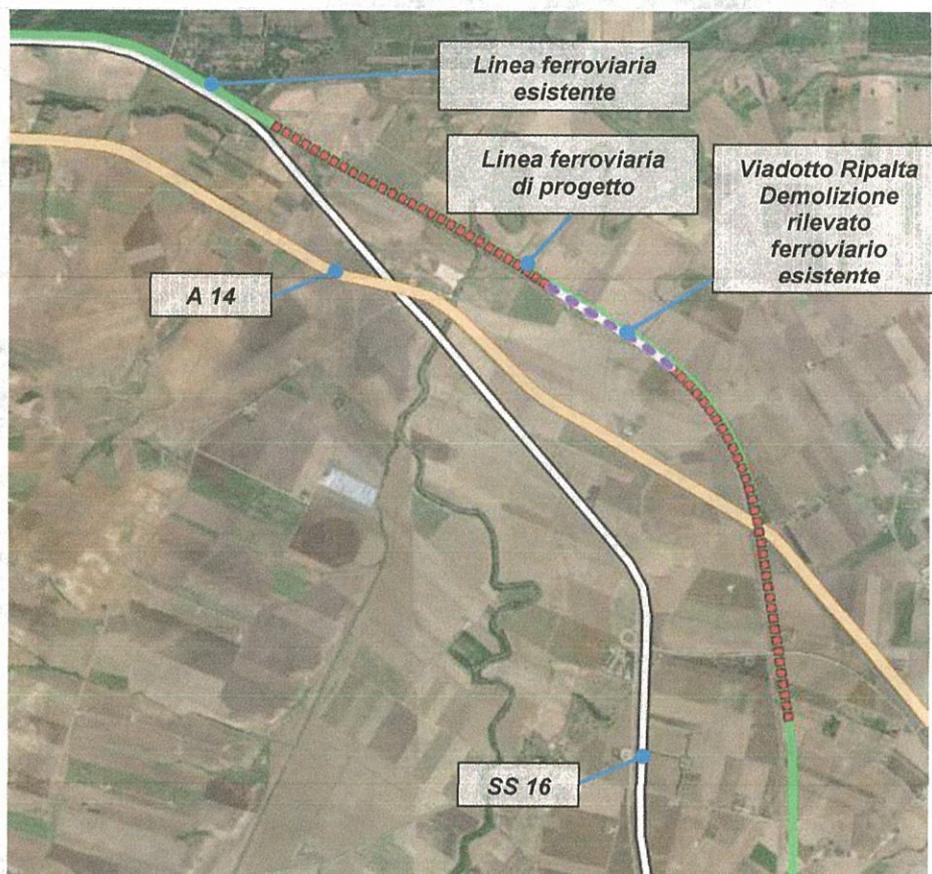


Figura 13 – Nuova linea ferroviaria, lotto 01, Ripalta Lesina.

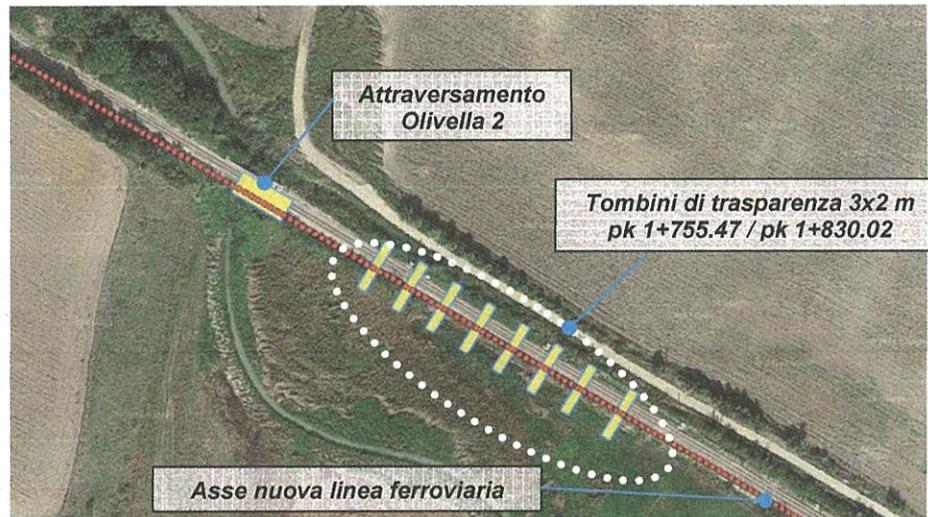


Figura 14 – Elementi di trasparenza in sinistra Fortore, zona Olivella 2.

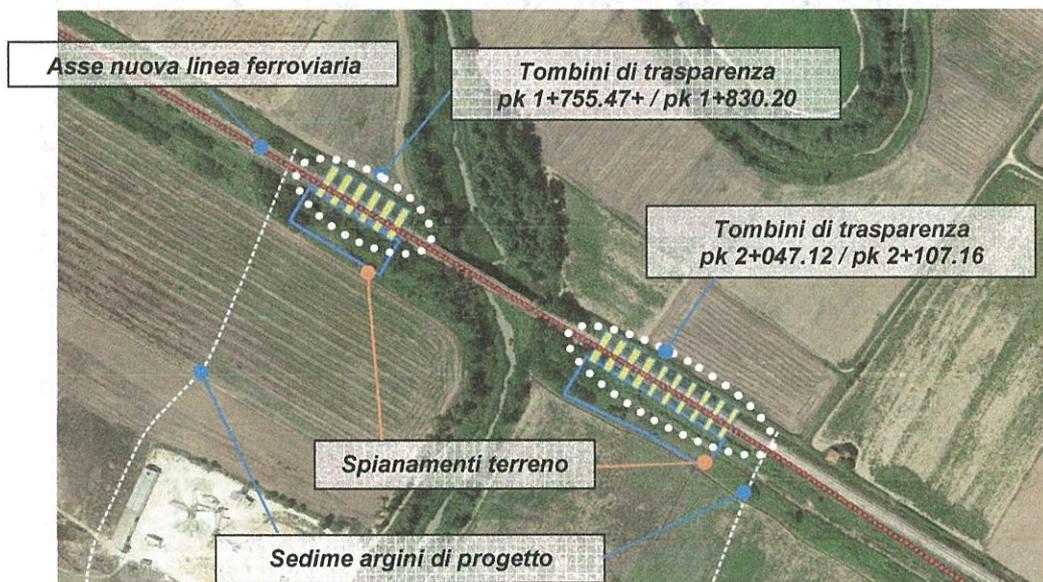


Figura 15 – Elementi di trasparenza, zona Fortore.

- Post operam 2 – ideale: come verrà meglio esposto nel seguito, per la configurazione di progetto post operam 2 è stata osservata una tracimazione degli argini a monte dell'asse ferroviario. Questa fuoriuscita di portata comporta una riduzione dei flussi che attraversano la linea di progetto. Al fine di verificare le opere in progetto nelle condizioni più cautelative per le opere ferroviarie è stata implementata una configurazione 'ideale' in cui non si hanno tracimazioni delle arginature e tutto il volume idrico dell'onda di piena attraversa il ponte ferroviario. Tale configurazione differisce dalla configurazione post-operam2 in

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO L100	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

quanto le arginature sono state innalzate ed estese fino a contenere senza tracimazioni le portate di piena di progetto del Fiume Fortore.

	LINEA PESCARA - BARI				
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 11 RI	ID0002 001	A	29 DI 75

5.4 Definizione delle scabrezze modello

Per la definizione delle scabrezze dell'area in esame sono stati utilizzati i valori suggeriti all'interno delle NTA del PAI Fortore, riportati nella tabella che segue:

Descrizione del corso d'acqua	$K_s [m^{1/3}s^{-1}]$
Alvei naturali con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea, fondo mobile con materiale di grossa pezzatura, alvei in roccia con sporgenze e grossi massi	20-25
Alvei naturali tortuosi con presenza di vegetazione arbustiva e arborea, fondo mobile con sedimenti di media pezzatura	25-30
Alvei naturali rettilinei con scarsa presenza di vegetazione arbustiva e arborea, fondo mobile con sedimenti di piccola pezzatura	30-35
Alvei artificiali inerbiti in assenza di vegetazione arbustiva e arborea	35-40
Alvei artificiali rivestiti in calcestruzzo in assenza di manufatti interferenti con le acqua	40-45

Tabella 2 - Valori di scabrezza secondo le NA del PAI Fortore.

Per l'alveo di magra non sistemato sono stati assegnati due valori, $k_s=25 m^{1/3}/s$ (scabrezza secondo Gauckler-Strickler) e $k_s=35 m^{1/3}/s$ per quei tratti di Fortore ripuliti dalla vegetazione ripariale (Figura 12). Per le golene invece i coefficienti utilizzati sono $k_s=30 m^{1/3}/s$. Dall'analisi delle ortofoto le aree esterne agli alvei sono apparse scarsamente vegetate, presentando un andamento pianeggiante e regolare, diversamente dal sedime del corso d'acqua, dov' è presente allo stato attuale una ricca vegetazione di piccolo e medio fusto, nonché un andamento dell'alveo non rettilineo.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 11 RIID0002 001	REV. A	FOGLIO 30 DI 75

6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

I risultati delle simulazioni numeriche sono riportati negli elaborati grafici allegati come planimetrie delle aree di esondazione. In tali elaborati sono rappresentati i livelli e le velocità ricavati dalla simulazioni numeriche per onde di piena caratterizzate da tempi di ritorno di 30, 100, 200, 300 e 500 anni. In tali elaborati grafici sono esposti i risultati ottenuti adottando le quattro configurazioni geometriche descritte precedentemente, Ante Operam 1 e 2, Post Operam 1 e 2.

Le diverse normative – regolamenti, richiedono di eseguire le verifiche delle opere per i tempi di ritorno 200 o 300 anni, in particolare:

Normativa	TR richiesto per le verifiche
<i>NTC 2008</i>	≥ 200 anni
<i>NA – PAI Fortore</i>	200 anni
<i>Manuale di progettazione ferroviaria</i>	300 anni (*)

Tabella 3 – Tempi di ritorno richiesti per le verifiche idrauliche.

(*) Il tempo di ritorno TR 300 anni, per corsi d'acqua i cui bacini idrografici superano i 10 kmq di estensione, come nel caso del Fiume Fortore.

6.1 Simulazioni Ante Operam

Nelle figure *Figura 16* e *Figura 17* sono riportati i massimi livelli idrici e l'estensione delle aree allagate ottenute rispettivamente per le configurazioni ante operam 1 e 2, per la piena con tempo di ritorno 200 anni. In entrambi casi, i flussi generati dal F. Fortore tendono ad espandersi "a ventaglio" verso valle, occupando vaste aree in prossimità della foce del corso d'acqua. Gli ovali in magenta riportati sulle figure sottostanti evidenziano le tracimazioni dei rilevati stradali e ferroviari, sia in destra che in sinistra Fortore e per entrambe le configurazioni ante operam. In particolare nella configurazione ante operam 1 è rappresenta una condizione del corso d'acqua paragonabile qualitativamente a quella che si è verificata per le piene del novembre 2005 e dell'aprile 2009. Infatti si osservano le medesime tracimazioni dei rilevati, si vedano le foto riportate in *Figura 1* e *Figura 2*.

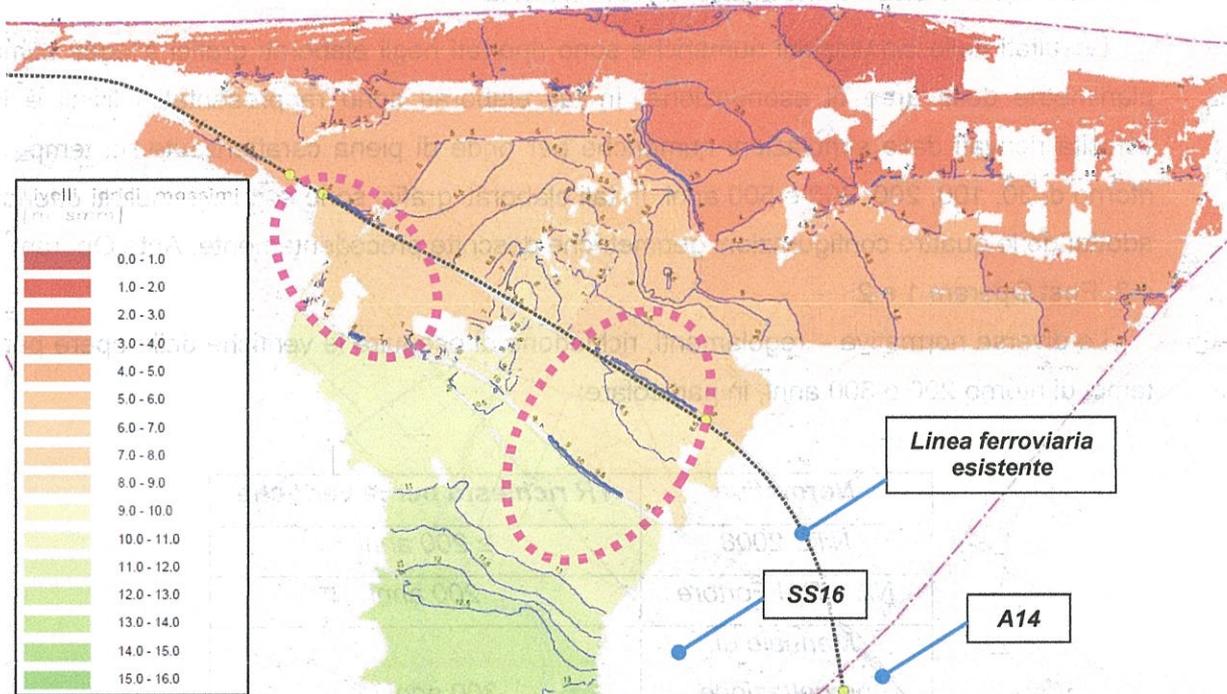


Figura 16 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Ante operam 1 – TR200

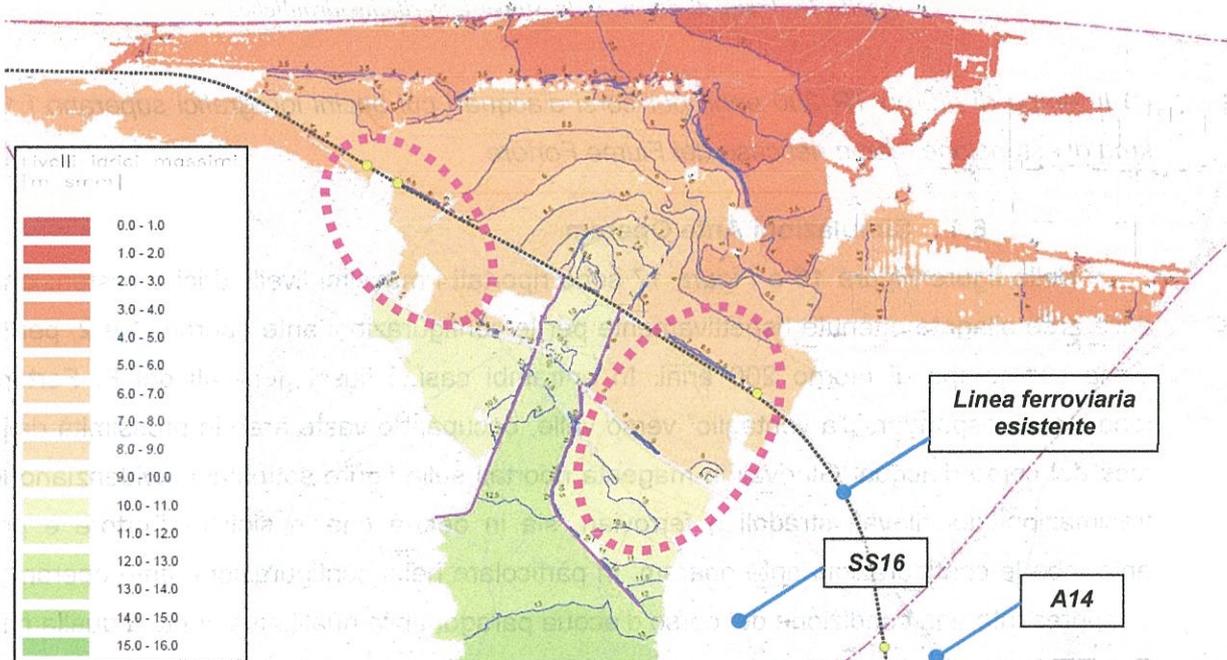


Figura 17 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Ante operam 2 – TR200

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO L100	LOTTO 01	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. A

I risultati per la configurazione Ante operam 2 mostrano che le arginature vengono sia aggirate che tracimate (*Figura 17*), in particolare nei tratti a monte del rilevato dell'autostrada A14.

Nelle figure *Figura 18* e *Figura 19* sono rappresentate le massime velocità ottenute per la piena TR 200 anni per entrambe le configurazioni ante operam, in corrispondenza degli attraversamenti del Fiume Fortore. Come si osserva, la particolare collocazione planimetrica delle arginature ha l'effetto di concentrare i flussi un'area più centrale del corso d'acqua, riducendo l'apporto verso le golene. La portata che defluisce attraverso la sezione A-A (*Figura 18*, *Figura 19* – linea verde) è notevolmente superiore nella configurazione ante operam 2 rispetto allo stato precedente la realizzazione delle arginature, come mostrato dal confronto tra i due idrogrammi di *Figura 20*. All'aumento delle portate corrisponde un aumento dei livelli idrici e delle velocità. Lungo la sezione A-A, i livelli si attestano attorno a 8.40 m smm nella configurazione senza arginature, prossimi a 9.75 m smm nel secondo caso, mentre l'intradosso del ponte ferroviario esistente posto poco più a valle è di circa 10.60 m smm.

Lungo la sezione A-A, le velocità massime non superano 1.85 m/s nella configurazione ante operam 1 e sono inferiori a 3.30 m/s nella configurazione ante operam 2.

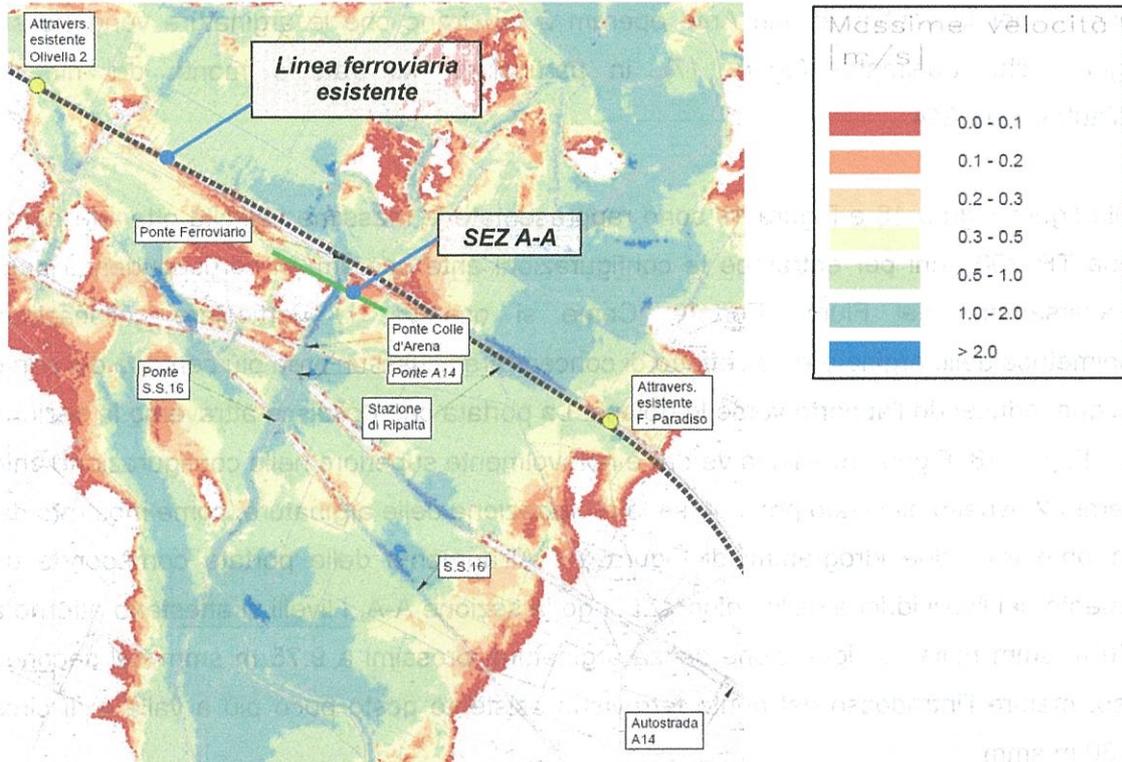
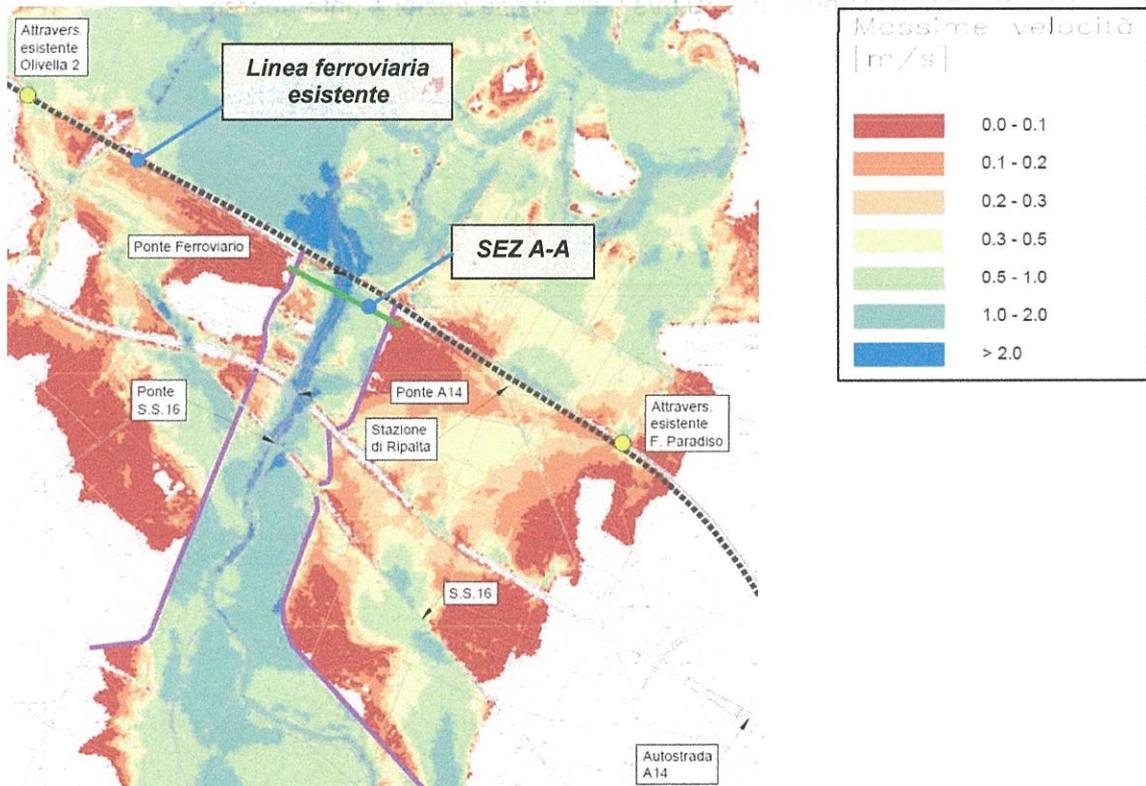


Figura 18 – Massime velocità in corrispondenza degli attraversamenti del F. Fortore – Ante operam 1 – TR200



	LINEA PESCARA - BARI				
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 11 RI	ID0002 001	A	34 DI 75

Figura 19 – Massime velocità in corrispondenza degli attraversamenti del F. Fortore – Ante operam 2 – TR200



Figura 20 – Confronto tra le portate che attraversano la sezione A-A, TR 200 anni, ante operam

In generale, tali evidenze appaiono, in termini qualitativi, non solo per l'evento TR 200 anni, ma anche per gli altri tempi di ritorno analizzati. Per un'esposizione dettagliata dei risultati si faccia riferimento alle planimetrie prodotte, dove sono esposti gli involucri dei massimi livelli idrici e le massime velocità ottenute per i diversi eventi di piena analizzati.

6.1 Considerazione di dettaglio sui risultati delle simulazioni ante operam

Le simulazioni idrauliche hanno evidenziato alcuni punti di criticità per la linea ferroviaria, di seguito elencate:

- In sinistra idraulica, tra le progressive 0+250 e 0+850 circa, i livelli idrici interessano il piano del ferro della linea ferroviaria esistente, da monte verso valle Fortore, sia per la configurazione ante operam 1 che per la configurazione ante operam 2. In particolare nel primo caso, in assenza degli interventi di sistemazione del corso d'acqua e delle arginature, i livelli idrici massimi TR 300 anni si attestano attorno a 6.7 m smm, mentre il piano del ferro esistente varia tra 6.3 e 6.7 m smm. Le massime velocità in questo settore di linea sono dell'ordine di 1 m/s (Figura 21). I livelli idrici stimati e le massime velocità attese possono potenzialmente compromettere la stabilità del rilevato ferroviario. Il tratto considerato comprende anche l'attraversamento Olivella 2, manufatto che è stato soggetto ad un crollo durante la piena del 2005, si veda la foto di Figura 22.

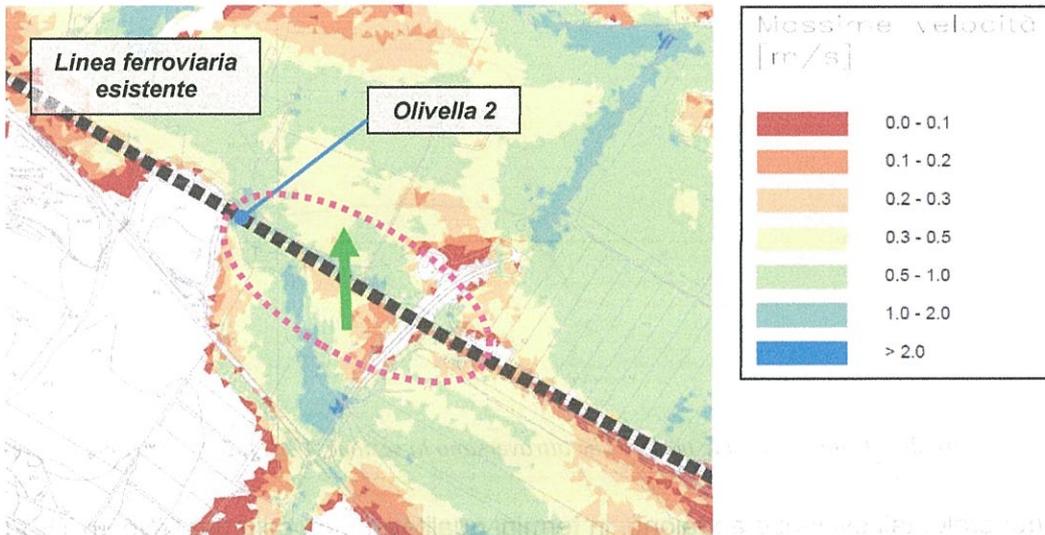


Figura 21 – Massime velocità, scavalco della linea esistente, sinistra Fortore – Ante operam 1 – TR300



Figura 22 – Evento 4-5 marzo 2005 – Collasso del rilevato ferroviario a fianco del tombino Olivella 2

Per superare questa criticità, viene proposta come soluzione progettuale la realizzazione di 8 tombini di trasparenza di dimensioni 3.0 x 2.0 m, da realizzarsi tra la pk 0+303.6 e pk 0+411.60, con quota di scorrimento 3.00 m ssm (Figura 14). E' da precisare che per l'attraversamento Olivella 2 è già stato predisposto un progetto definitivo di sistemazione ("Intervento di adeguamento idraulico del tombino al km 464+616 c.a. (Fosso Olivella 2 – Loc. Torre Mozza)"). Tali opere appaiono particolarmente prioritarie nella configurazione precedente alla realizzazione degli argini (ante operam 1), poiché in questo caso si ha un apporto di portata notevolmente superiore verso le aree esterne al Fortore, sia in sinistra che destra idraulica.

- Come descritto nel precedente paragrafo, per effetto delle arginature si ha un notevole incremento di portata che attraversa il ponte esistente sul Fiume Fortore (Figura 20). L'incremento di portata, assieme all'effetto di restringimento della sezione utile comporta un incremento dei livelli idrici massimi e una conseguente riduzione del franco idraulico dell'attraversamento esistente. Nelle opere oggetto di altro appalto, "Interventi prioritari finalizzati all'aumento delle condizioni di sicurezza idraulica del corso d'acqua lungo l'asta principale del Fiume Fortore sotteso alla diga di Occhito" – primo lotto, è stata prevista una risagomatura dell'alveo di magra del Fortore, Figura 23.

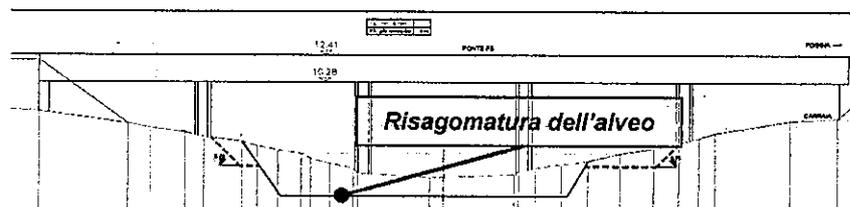


Figura 23 – Risagomatura dell'alveo del Fortore, in corrispondenza del ponte ferroviario

Accanto a questo intervento, per compensare l'effetto di innalzamento del livello idrico si prevede di aumentare la trasparenza idraulica del rilevato ferroviario nel tratto compreso tra le arginature di prossima realizzazione. L'incremento di area utile al deflusso sarà realizzato grazie all'inserimento di fornici di trasparenza. Le aperture previste sono: 6 fornici di trasparenza in sinistra Fortore, di dimensioni minime 6 x 3 m, tra la pk 1+755.47 e la pk 1+830.20, con quota di scorrimento 8.00 m ssm; 4 fornici di trasparenza in destra Fortore, di dimensioni 6 x 3 m, tra la pk 2+247.12 e la pk 2+092.14, con quota di scorrimento 7.30 m ssm; 6 fornici di trasparenza in destra Fortore, di dimensioni 4 x 3 m, tra la pk 2+107.16 e la pk 2+382.38, con quota di scorrimento 7.00 m ssm (Figura 14). Per favorire l'immissione di portata nei fornici verranno realizzati due livellamenti del terreno al fine di garantire la continuità idraulica tra monte e valle del rilevato ferroviario: in sinistra idraulica, a ridosso dell'imbocco di monte dei fornici, fino alla quota di 8.00 m ssm (Figura 14) e in destra idraulica, a ridosso dell'imbocco di monte dei fornici, fino alla quota di 7.00 m ssm (Figura 14). La realizzazione di fornici di trasparenza in adiacenza al ponte esistente sul Fortore è indicata come intervento prioritario nel programma degli interventi previsti nell'ambito del PAI della AdB Fortore e indicata tra le prescrizioni della delibera CIPE del

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 11 RI ID0002 001	REV. A	FOGLIO 37 DI 75

gennaio 2015.

- All'altezza della stazione di Ripalta tra le chilometriche 2+650 e 3+400: per ogni tempo di ritorno analizzato, le simulazioni mostrano che i livelli idrici interessano il piano del ferro della linea ferroviaria esistente tra le chilometriche 2+650 e 3+400, in modo particolare nelle configurazioni ante operam 1, in Figura 24, è riportato uno stralcio planimetrico della mappatura delle velocità massime. I livelli idrici massimi raggiungono per la simulazione TR 300 valori di 8.30 – 8.50 m smm, mentre il piano del ferro varia tra 7.20 e 8.30 m smm. Tale criticità è apparsa chiara anche durante l'evento del marzo 2005 (Figura 25).

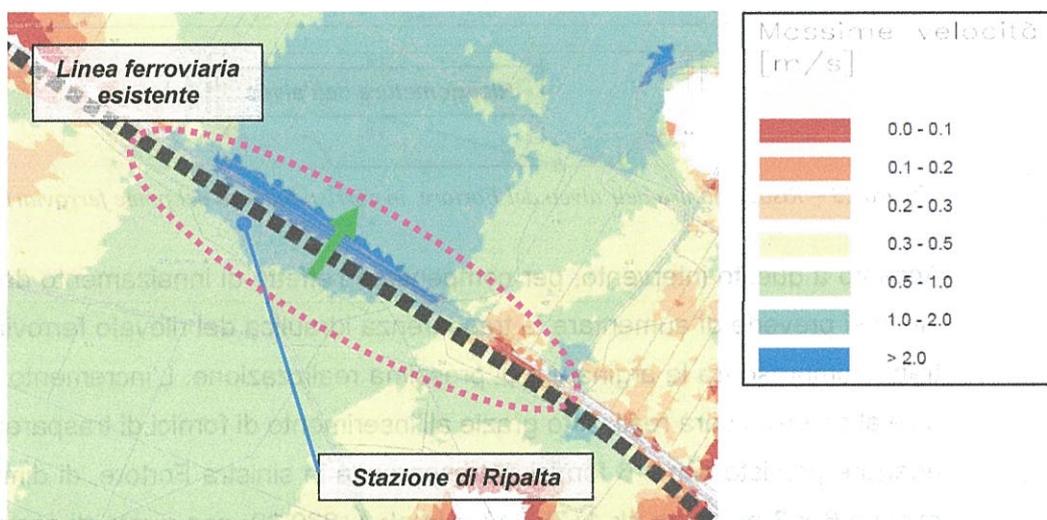


Figura 24 – Massime velocità, scavalco della linea esistente, destra Fortore – Ante operam 1 – TR300

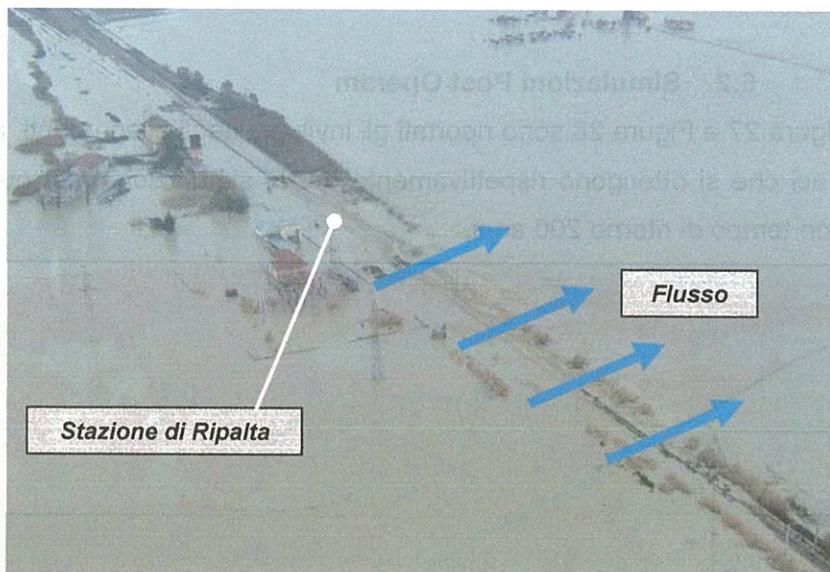


Figura 25 – Evento 4-5 marzo 2005 – Allagamento della stazione di Ripalta e tracimazione del rilevato.

La soluzione progettuale prevede l'attraversamento di tale area attraverso un viadotto in tale tratto di linea la realizzazione di un viadotto nel tratto compreso tra la pk 2+563.80 e 3+738.80. L'attraversamento in progetto poserà su 46 pile, con interasse di 25 m. Il nuovo piano del ferro varierà tra 13.30 e 14.40 m smm, la distanza media tra piano del ferro e l'intradosso delle travi è di circa 3.30 m. Per massimizzare la trasparenza del tratto è prevista la demolizione del rilevato ferroviario esistente nel segmento adiacente al viadotto Ripalta, Figura 26.



Figura 26 – Viadotto ferroviario in progetto.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI ID0002 001	DOCUMENTO REV.	FOGLIO A 39 DI 75

6.2 Simulazioni Post Operam

Nella Figura 27 e Figura 28 sono riportati gli involuipi degli allagamenti, assieme ai massimi livelli idrici che si ottengono rispettivamente per le simulazioni post operam 1 e 2, per la piena con tempo di ritorno 200 anni.

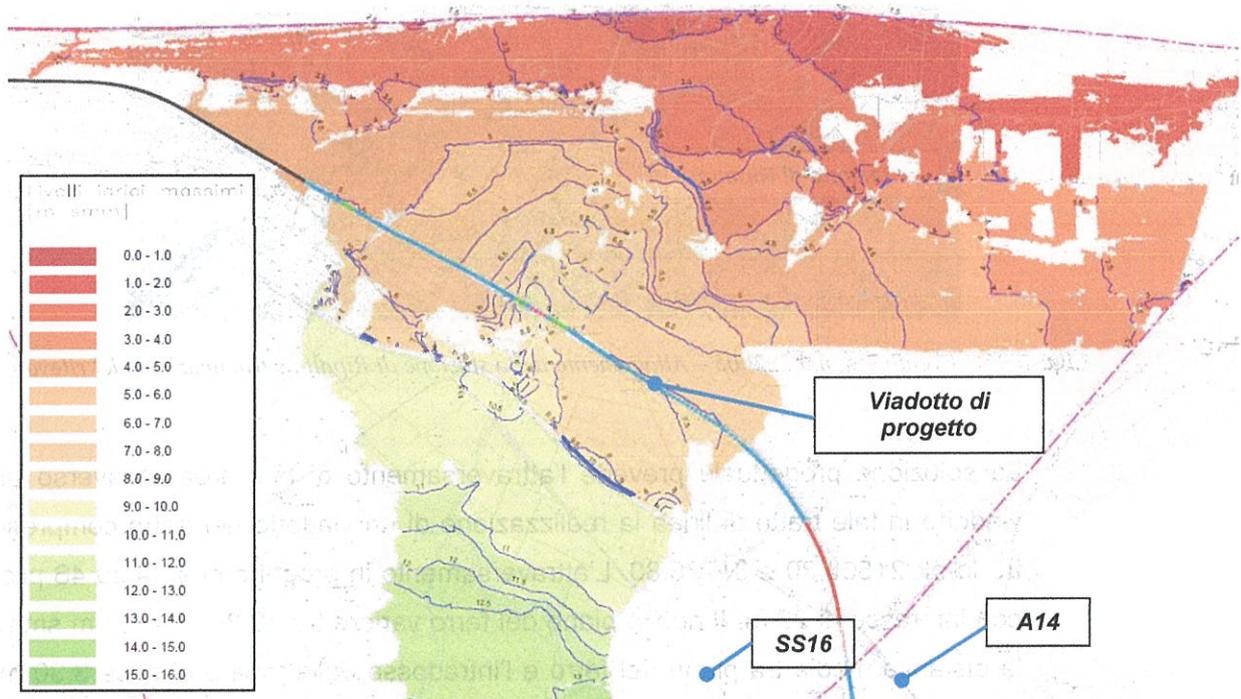


Figura 27 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Post operam 1 – TR200

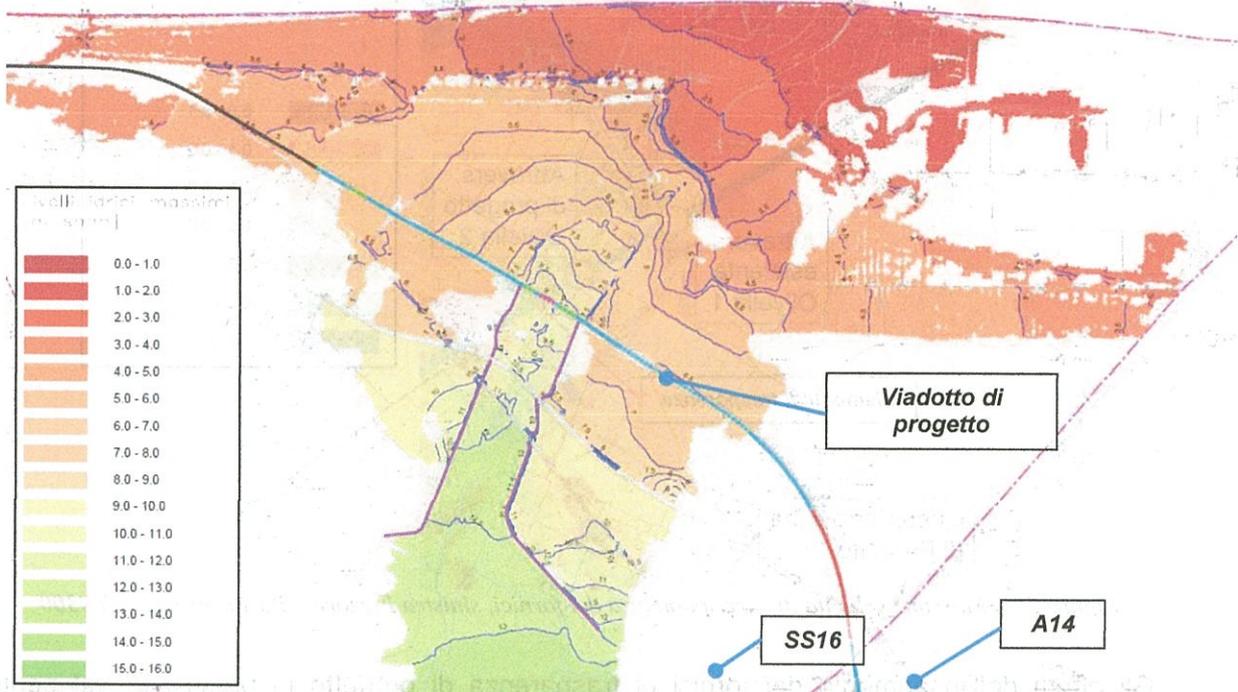


Figura 28 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Post operam 2 – TR200

Le principali differenze rispetto alle configurazioni ante operam si notano in corrispondenza della linea ferroviaria di progetto. In sinistra idraulica, tra le progressive 0+250 e 0+850 circa, grazie all'inserimento degli 8 fornicelli di trasparenza di sezione 3x2 m assieme all'ampliamento dell'attraversamento Olivella 2, non si verifica la tracimazione del rilevato ferroviario, per entrambe le configurazioni post operam e per ogni tempo di ritorno analizzato. Le portate defluiscono attraverso le aperture non interferendo negativamente con il rilevato ferroviario di progetto, i livelli idrici massimi a monte dei fornicelli di trasparenza non superano la quota di 5.60 m s.m., per la simulazione TR 300 anni (il piano del ferro varia in questo tratto tra 6.30 e 6.70 m s.m.). Le massime velocità in questo settore di linea sono dell'ordine di 1 m/s (Figura 29).

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 11 RI ID0002 001	REV. A	FOGLIO 41 DI 75

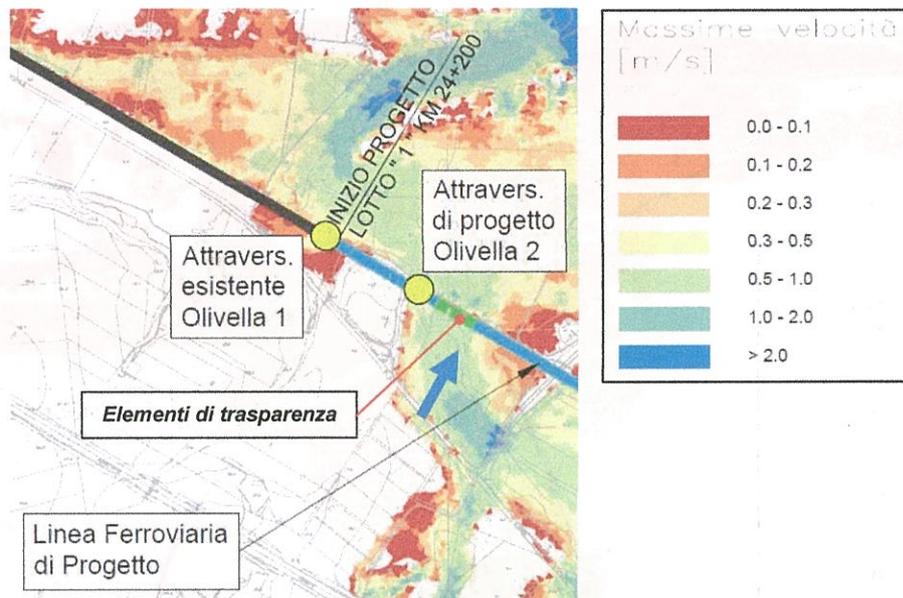


Figura 29 – Massime velocità in corrispondenza dei fornici, sinistra Fortore – Post operam 1 – TR300

Gli effetti dell'inserimento dei fornici di trasparenza di progetto in prossimità del ponte esistente sul fiume Fortore sono particolarmente evidenti nella configurazione post operam 2 (che vede implementate le arginature nelle aree golenali del Fiume Fortore).

Per la piena TR 300 anni, poco a monte del ponte ferroviario, i livelli si attestano attorno a 8.40 m smm nella configurazione post operam 1 in assenza di arginature (valore prossimo allo stato ante operam 1), e sono prossimi a 9.30 m smm nella condizione post operam 2 (nella configurazione ante operam2 il livello massimo era di circa 9.75 m smm), mentre l'intradosso del ponte ferroviario esistente posto poco più a valle è di circa 10.60 m smm. I valori numerici evidenziano l'effetto positivo dei fornici previsti in progetto.

Le simulazioni numeriche mostrano per la piena TR 300 anni, in corrispondenza del ponte ferroviario sul Fortore esistente, velocità massime dell'ordine di 1-2 m/s nella configurazione post operam 1 e superiori a 2 m/s per la configurazione post operam 2.

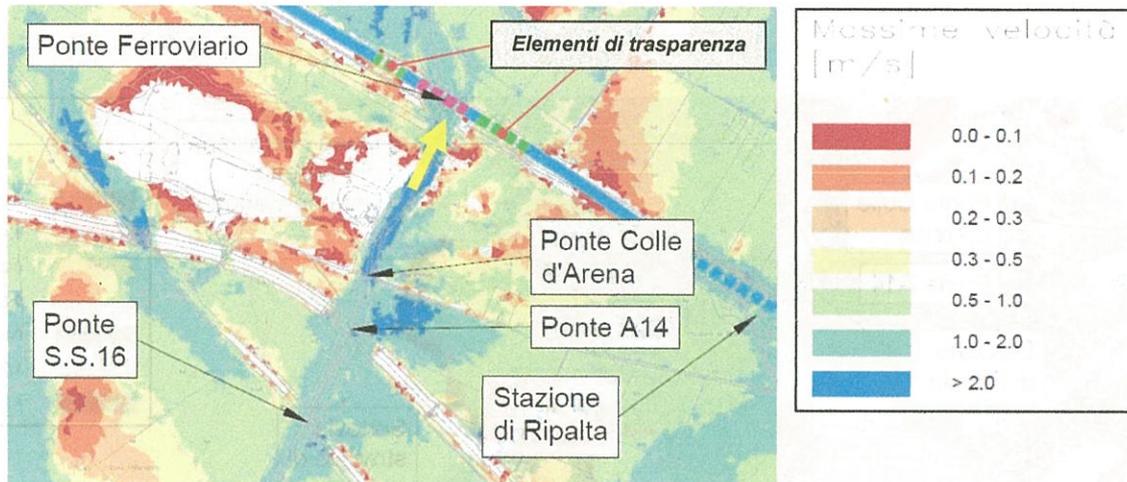


Figura 30 – Velocità massime, ponte ferroviario sul Fortore – Post operam 1 – TR300

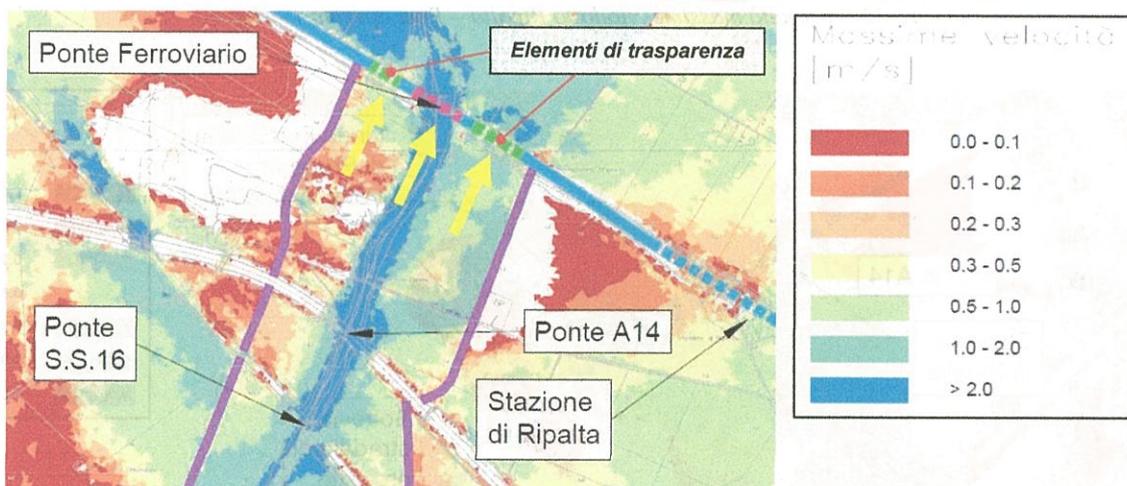


Figura 31 – Velocità massime, ponte ferroviario sul Fortore – Post operam 2 – TR300

La realizzazione del viadotto Ripalta di progetto permette ai flussi di attraversare la linea ferroviaria in condizioni di sicurezza. Per la piena TR 300 anni, i livelli idrici massimi variano tra 7.10 e 7.70 m smm nella configurazione post operam 1, e tra 6.35 e 7.10 m smm per la condizione post operam 2. La quota dell'intradosso minima del viadotto di progetto è pari a 10.07 m smm, il franco minimo sul livello idrico è all'incirca di 2.37 m, per entrambe le configurazioni progettuali. I maggiori livelli idrici e le maggiori velocità (Figura 32 e Figura 33) al di sotto del viadotto nella condizione in assenza di arginature nelle aree golenali del fiume Fortore sono dovuti alle maggiori portate che defluiscono nelle aree esterne all'alveo del Fortore, sia in destra che sinistra idraulica.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI ID0002 001	DOCUMENTO A	REV. A

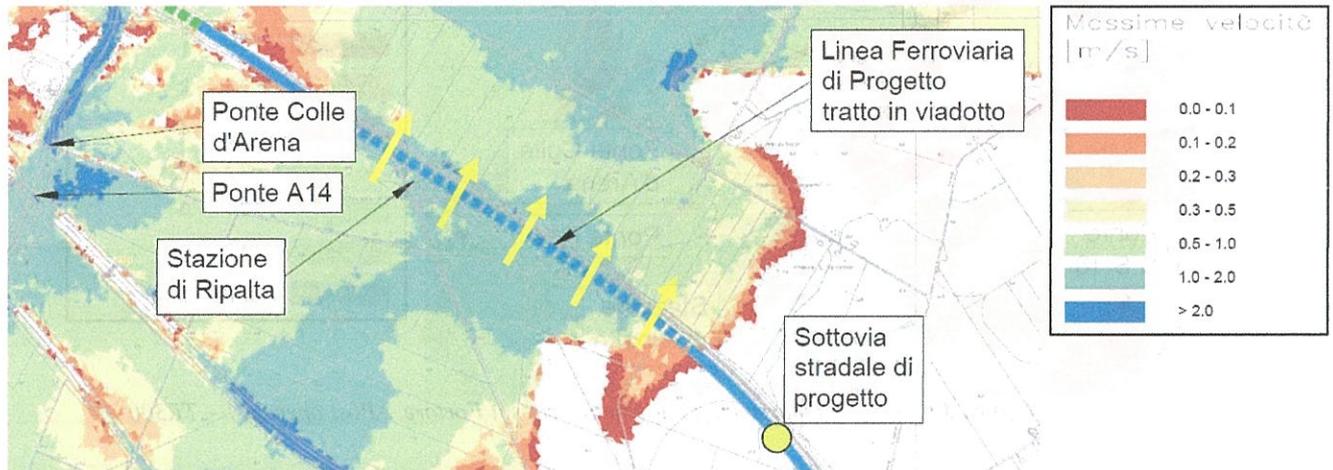


Figura 32 – Velocità massime, viadotto Ripalta – Post operam 1 – TR300

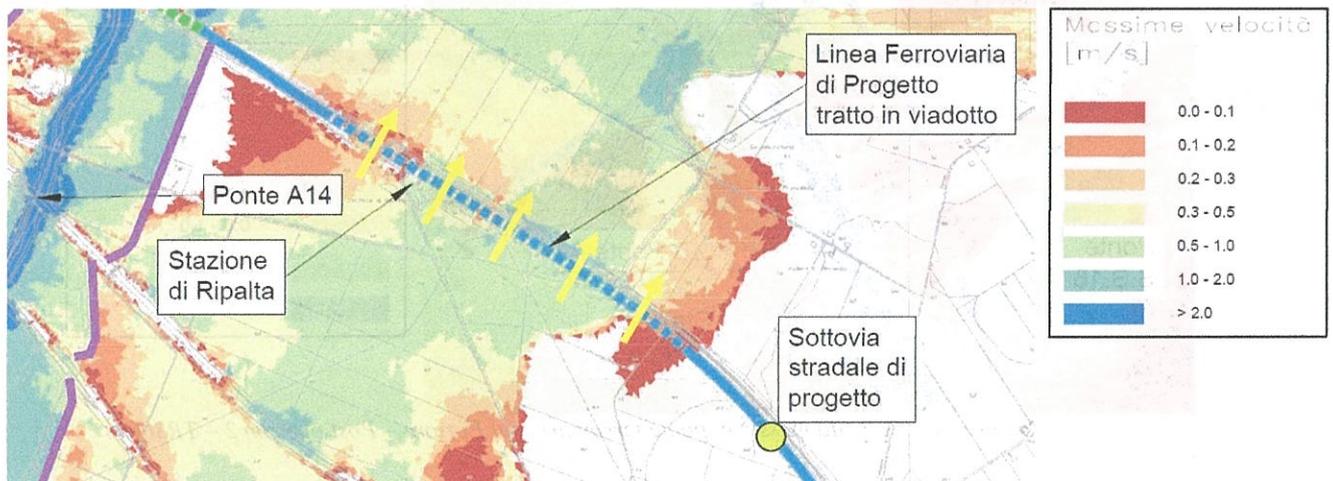


Figura 33 – Velocità massime, viadotto Ripalta – Post operam 2 – TR300

In Figura 36 è riportata l'estensione degli allagamenti e dei livelli massimi per la condizione post operam 2 – ideale. Come detto in precedenza, paragrafo 5.3, in tale configurazione le arginature sono state fittiziamente rialzate ed estese planimetricamente, in modo da impedire le tracimazioni delle opere arginali e consentire all'intera portata immessa a monte di attraversare i ponti esistenti, nonché i manufatti di trasparenza previsti. Lo scopo di tale configurazione è quella di verificare il funzionamento idraulico delle opere in progetto nelle condizioni idraulicamente più sfavorevoli.

Per ogni evento di piena simulato, l'estensione massima degli allagamenti, Figura 36, è inferiore a quella delle altre configurazioni, sia ante che post operam. In sinistra Fortore, gli

allagamenti che si manifestano a monte della line ferroviaria sono dovuti a flussi di rigurgito che attraversano i manufatti di trasparenza, con verso opposto a quello principale della corrente. In tale tratto i rilevati arginali non vengono comunque scavalcati. In destra Fortore, il viadotto di progetto viene solo lambito degli allagamenti di valle. Le simulazioni non evidenziano portate che attraversano l'opera, né da monte verso valle né da valle verso monte. Tra le arginature, a monte del ponte ferroviario i livelli massimi non superano i 9.47 m smm per la piena TR 200 anni e i 9.62 m smm per la piena TR 300 anni mentre l'intradosso del ponte ferroviario esistente ha una quota minima di 10.57 m smm.

In Figura 37, sono riportati i moduli delle velocità massime, per la piena TR 300 anni, a monte della linea ferroviaria le velocità massime sono di 3.3 m/s.

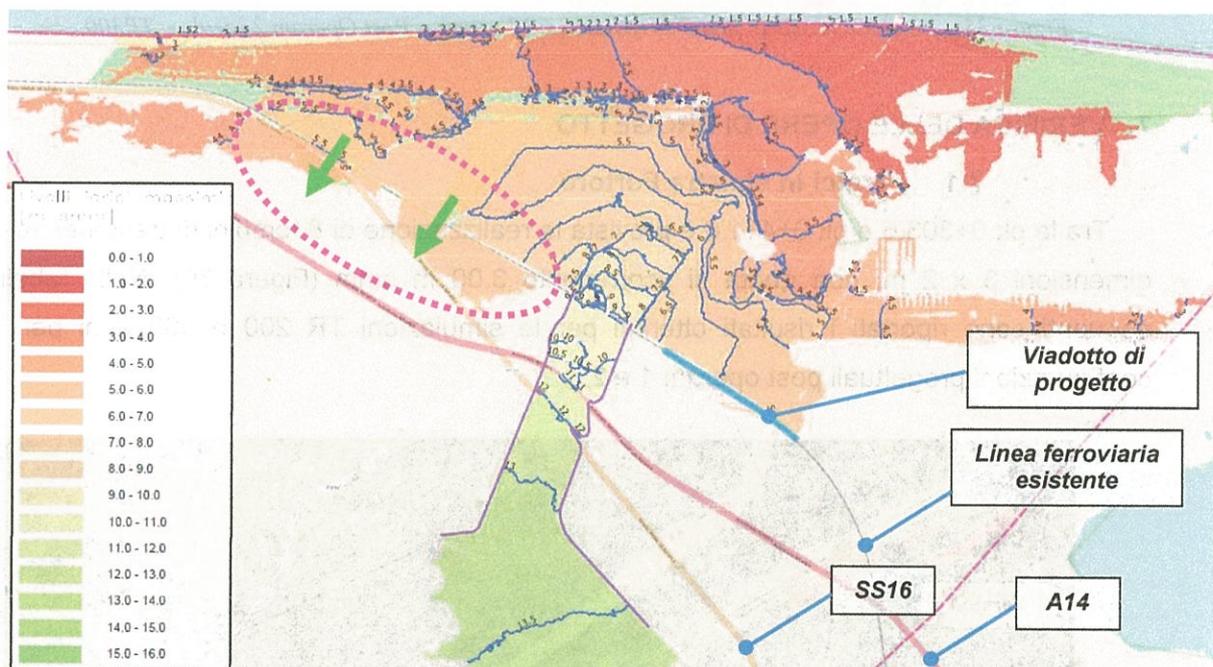
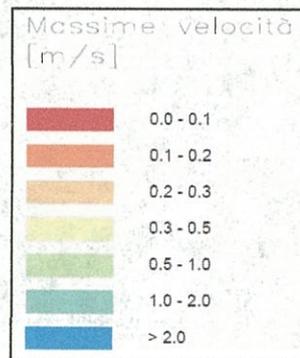


Figura 34 – Massima estensione dell'allagamento e massimi livelli idrici – Post Operam 2 Ideale – TR300



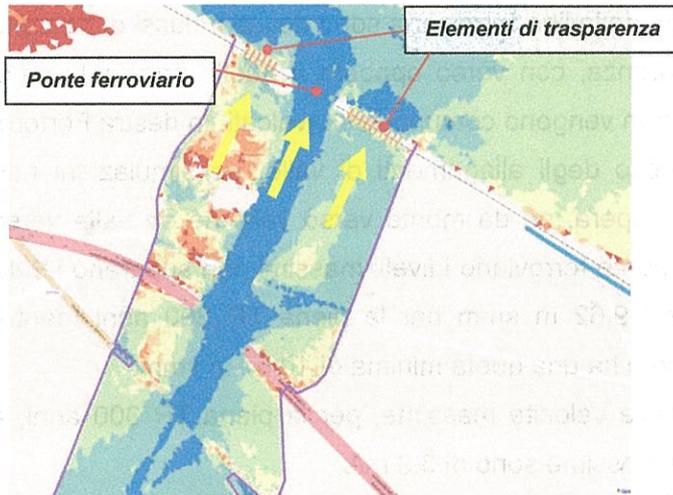


Figura 35 – Velocità massime, ponte ferroviario sul Fortore – Post Operam 2 Ideale – TR300

7 VERIFICA DELLE OPERE DI PROGETTO

7.1 Fornici in sinistra Fortore

Tra la pk 0+303.6 e pk 0+411.6 è prevista la realizzazione di 8 tombini di trasparenza di dimensioni 3 x 2 m, con quota di scorrimento 3.00 m smm (Figura 36). Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati ottenuti per le simulazioni TR 200 e 300 anni per le configurazioni progettuali post operam 1 e 2.



Figura 36 – Manufatti di trasparenza in sinistra Fortore

SIMULAZIONI TR 200 anni

id	Dimensioni B X H [m]	Quota di scorrimento [m smm]	Quota intradosso [m smm]	Qmax [m ³ /s]	Grado di riemp. MAX	Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]	Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]	Franco [m]
Olivella 2	3 x (3x3.5)	1.40	4.90	54.40	>1	5.18	5.11	-
Trasp. 01	3x2	3.00	5.00	22.30	>1	5.40	4.90	-
Trasp. 02	3x2	3.00	5.00	22.50	>1	5.40	4.94	-
Trasp. 03	3x2	3.00	5.00	26.48	>1	5.40	5.01	-
Trasp. 04	3x2	3.00	5.00	20.80	>1	5.40	4.98	-
Trasp. 05	3x2	3.00	5.00	28.16	>1	5.40	5.07	-
Trasp. 06	3x2	3.00	5.00	27.20	>1	5.40	5.03	-
Trasp. 07	3x2	3.00	5.00	28.70	>1	5.40	5.06	-
Trasp. 08	3x2	3.00	5.00	18.50	>1	5.40	5.01	-

Tabella 4 – Risultati per TR 200 anni – post operam 1

id	Dimensioni B X H [m]	Quota di scorrimento [m smm]	Quota intradosso [m smm]	Qmax [m ³ /s]	Grado di riemp. MAX	Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]	Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]	Franco [m]
Olivella 2	3 x (3x3.5)	1.40	4.90	30.06	>1	5.32	5.18	-
Trasp. 01	3x2	3.00	5.00	8.93	>1	5.32	5.18	-
Trasp. 02	3x2	3.00	5.00	9.91	>1	5.32	5.18	-
Trasp. 03	3x2	3.00	5.00	8.63	>1	5.32	5.18	-
Trasp. 04	3x2	3.00	5.00	8.72	>1	5.32	5.18	-
Trasp. 05	3x2	3.00	5.00	20.70	>1	5.32	5.18	-
Trasp. 06	3x2	3.00	5.00	8.07	>1	5.32	5.18	-
Trasp. 07	3x2	3.00	5.00	21.36	>1	5.32	5.18	-
Trasp. 08	3x2	3.00	5.00	6.75	>1	5.32	5.18	-

Tabella 5 – Risultati per TR 200 anni – post operam 2
SIMULAZIONI TR 300 anni

id	Dimensioni B X H [m]	Quota di scorrimento [m smm]	Quota intradosso [m smm]	Qmax [m ³ /s]	Grado di riemp. MAX	Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]	Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]	Franco [m]
Olivella 2	3 x (3x3.5)	1.40	4.90	61.90	>1	5.33	5.24	-
Trasp. 01	3x2	3.00	5.00	24.99	>1	5.50	4.95	-
Trasp. 02	3x2	3.00	5.00	25.26	>1	5.55	5.00	-
Trasp. 03	3x2	3.00	5.00	28.79	>1	5.52	5.08	-
Trasp. 04	3x2	3.00	5.00	24.30	>1	5.56	5.05	-
Trasp. 05	3x2	3.00	5.00	30.21	>1	5.48	5.13	-
Trasp. 06	3x2	3.00	5.00	29.90	>1	5.46	5.10	-
Trasp. 07	3x2	3.00	5.00	30.78	>1	5.50	5.13	-
Trasp. 08	3x2	3.00	5.00	21.55	>1	5.47	5.08	-

Tabella 6 – Risultati per TR 300 anni – post operam 1

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

<i>id</i>	<i>Dimensioni B X H [m]</i>	<i>Quota di scorrimento [m smm]</i>	<i>Quota intradosso [m smm]</i>	<i>Qmax [m³/s]</i>	<i>Grado di riemp. MAX</i>	<i>Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]</i>	<i>Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]</i>	<i>Franco [m]</i>
<i>Olivella 2</i>	3 x (3x3.5)	1.40	4.90	57.00	>1	5.51	5.43	-
<i>Trasp. 01</i>	3x2	3.00	5.00	15.70	>1	5.58	5.34	-
<i>Trasp. 02</i>	3x2	3.00	5.00	16.30	>1	5.58	5.19	-
<i>Trasp. 03</i>	3x2	3.00	5.00	15.40	>1	5.58	5.30	-
<i>Trasp. 04</i>	3x2	3.00	5.00	15.55	>1	5.58	5.34	-
<i>Trasp. 05</i>	3x2	3.00	5.00	24.36	>1	5.58	5.39	-
<i>Trasp. 06</i>	3x2	3.00	5.00	15.00	>1	5.58	5.35	-
<i>Trasp. 07</i>	3x2	3.00	5.00	25.00	>1	5.58	5.35	-
<i>Trasp. 08</i>	3x2	3.00	5.00	13.50	>1	5.58	5.33	-

Tabella 7 – Risultati per TR 300 anni – post operam 2

Dai risultati riportati nelle tabelle si deduce come, per i tempi di ritorno analizzati, i tombini preventivati garantiscano la trasparenza del rilevato ferroviario. Infatti la linea ferroviaria non viene più tracimata per effetto degli allagamenti generati dalla piena del Fortore, i livelli idrici, sia a monte che a valle del rilevato ferroviario risultano inferiori alla quota del piano del ferro in quel tratto variabile a 6.30 e 6.70 m smm. In base a quanto simulato, il funzionamento dei manufatti avviene in pressione. Generalmente la configurazione post operam 1 è la più gravosa in termini di portata e livelli idrici, poiché in assenza di argini, le portate del Fortore si espandono maggiormente verso le golene del corso d'acqua, così da gravare maggiormente sul rilevato ferroviario.

7.2 Fornici di trasparenza in adiacenza al ponte ferroviario esistente sul Fortore

Nelle tabelle riportate a seguire, sono esposti i risultati dedotti dalle simulazioni duecentennali e trecentennali, per tre diverse configurazioni progettuali, post operam 1, post operam 2 e post operam 2 – ideale. Si ricorda che la terza configurazione è stata implementata all'interno del modello per verificare, nella configurazione più sfavorevole, gli elementi di trasparenza posti tra le arginature di futura realizzazione. La modifica ideale alle arginature, garantisce che l'intera onda di piena transiti attraverso i 16 fornicelli di trasparenza e il ponte ferroviario esistente, evidenziati in Figura 37.

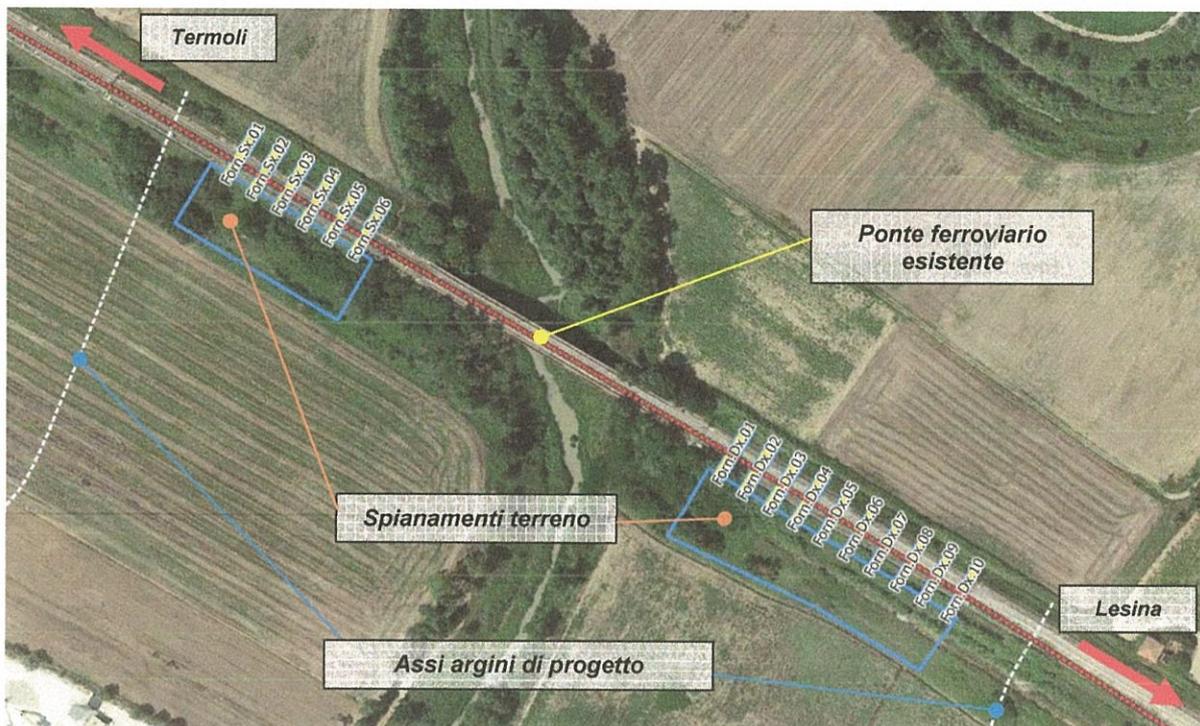


Figura 37 – Elementi di trasparenza attorno al Fortore.



ITALFERR

LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 11 RI ID0002 001	A	49 DI 75

SIMULAZIONI TR 200 anni

id	Dimensioni B X H [m]	Quota di scorrimento [m smm]	Quota intradosso [m smm]	Qmax [m ³ /s]	Grado di riemp. MAX	Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]	Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]	Franco [m]
Forn. Sx. 01	6x3	8.00	11.00	0.00	0.05	8.05	7.96	2.95
Forn. Sx. 02	6x3	8.00	11.00	0.20	0.07	8.09	7.64	2.91
Forn. Sx. 03	6x3	8.00	11.00	0.86	0.10	8.12	7.67	2.88
Forn. Sx. 04	6x3	8.00	11.00	1.26	0.11	8.15	7.78	2.85
Forn. Sx. 05	6x3	8.00	11.00	0.17	0.06	8.08	8.04	2.92
Forn. Sx. 06	6x3	8.00	11.00	0.10	0.06	8.07	8.04	2.93
Forn. Dx 01	6x3	7.30	10.30	4.84	0.26	7.75	8.03	2.27
Forn. Dx 02	6x3	7.30	10.30	4.92	0.26	7.75	8.02	2.28
Forn. Dx 03	6x3	7.30	10.30	5.10	0.26	7.75	8.02	2.28
Forn. Dx 04	6x3	7.30	10.30	2.98	0.27	7.75	8.02	2.28
Forn. Dx 05	4x3	7.00	10.00	0.96	0.28	7.75	8.09	1.91
Forn. Dx 06	4x3	7.00	10.00	1.43	0.28	7.75	7.83	2.17
Forn. Dx 07	4x3	7.00	10.00	1.70	0.29	7.75	7.87	2.13
Forn. Dx 08	4x3	7.00	10.00	3.65	0.29	7.75	7.81	2.19
Forn. Dx 09	4x3	7.00	10.00	4.43	0.29	7.75	7.78	2.22
Forn. Dx 10	4x3	7.00	10.00	4.00	0.28	7.75	7.79	2.21

Tabella 8 – Risultati per TR 200 anni – post operam 1

id	Dimensioni B X H [m]	Quota di scorrimento [m smm]	Quota intradosso [m smm]	Qmax [m ³ /s]	Grado di riemp. MAX	Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]	Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]	Franco [m]
Forn. Sx. 01	6x3	8.00	11.00	13.03	0.37	9.06	8.36	1.94
Forn. Sx. 02	6x3	8.00	11.00	13.40	0.34	9.06	8.53	1.94
Forn. Sx. 03	6x3	8.00	11.00	12.76	0.34	9.06	8.58	1.94
Forn. Sx. 04	6x3	8.00	11.00	8.05	0.38	9.06	8.58	1.94
Forn. Sx. 05	6x3	8.00	11.00	9.94	0.35	9.06	8.68	1.94
Forn. Sx. 06	6x3	8.00	11.00	11.88	0.35	9.06	8.78	1.94
Forn. Dx 01	6x3	7.30	10.30	44.00	0.73	9.30	9.11	1.00
Forn. Dx 02	6x3	7.30	10.30	43.00	0.68	9.30	9.28	1.00
Forn. Dx 03	6x3	7.30	10.30	34.50	0.72	9.30	9.27	1.00
Forn. Dx 04	6x3	7.30	10.30	41.40	0.70	9.30	9.12	1.00
Forn. Dx 05	4x3	7.00	10.00	26.14	0.75	9.30	9.12	0.70
Forn. Dx 06	4x3	7.00	10.00	27.68	0.74	9.30	9.00	0.70
Forn. Dx 07	4x3	7.00	10.00	26.55	0.76	9.30	9.00	0.70
Forn. Dx 08	4x3	7.00	10.00	26.40	0.77	9.30	9.06	0.70
Forn. Dx 09	4x3	7.00	10.00	30.50	0.74	9.30	8.89	0.70
Forn. Dx 10	4x3	7.00	10.00	30.70	0.68	9.30	8.61	0.70

Tabella 9 – Risultati per TR 200 anni – post operam 2



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 11 RI ID0002 001	A	50 DI 75

id	Dimensioni B X H [m]	Quota di scorrimento [m smm]	Quota intradosso [m smm]	Q _{max} [m ³ /s]	Grado di riemp. MAX	Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]	Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]	Franco [m]
Forn. Sx. 01	6x3	8.00	11.00	19.47	0.44	9.34	9.17	1.66
Forn. Sx. 02	6x3	8.00	11.00	19.78	0.41	9.27	9.06	1.73
Forn. Sx. 03	6x3	8.00	11.00	18.37	0.41	9.25	9.06	1.75
Forn. Sx. 04	6x3	8.00	11.00	13.15	0.46	9.37	9.33	1.63
Forn. Sx. 05	6x3	8.00	11.00	14.49	0.42	9.27	9.17	1.73
Forn. Sx. 06	6x3	8.00	11.00	18.32	0.42	9.27	9.09	1.73
Forn. Dx 01	6x3	7.30	10.30	60.03	0.79	9.80	9.41	0.50
Forn. Dx 02	6x3	7.30	10.30	47.16	0.79	9.74	9.46	0.56
Forn. Dx 03	6x3	7.30	10.30	42.82	0.79	9.73	9.50	0.57
Forn. Dx 04	6x3	7.30	10.30	52.48	0.77	9.71	9.38	0.59
Forn. Dx 05	4x3	7.00	10.00	34.08	0.83	9.54	9.26	0.46
Forn. Dx 06	4x3	7.00	10.00	37.41	0.81	9.51	9.17	0.49
Forn. Dx 07	4x3	7.00	10.00	34.78	0.84	9.57	9.28	0.43
Forn. Dx 08	4x3	7.00	10.00	33.71	0.86	9.62	9.36	0.38
Forn. Dx 09	4x3	7.00	10.00	41.56	0.82	9.55	9.15	0.45
Forn. Dx 10	4x3	7.00	10.00	37.28	0.76	9.36	8.76	0.64

Tabella 10 – Risultati per TR 200 anni – post operam 2 ideale

SIMULAZIONI TR 300 anni

id	Dimensioni B X H [m]	Quota di scorrimento [m smm]	Quota intradosso [m smm]	Q _{max} [m ³ /s]	Grado di riemp. MAX	Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]	Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]	Franco [m]
Forn. Sx. 01	6x3	8.00	11.00	0.05	0.05	8.16	8.11	2.84
Forn. Sx. 02	6x3	8.00	11.00	0.26	0.07	8.20	8.22	2.80
Forn. Sx. 03	6x3	8.00	11.00	0.95	0.10	8.24	8.31	2.76
Forn. Sx. 04	6x3	8.00	11.00	1.38	0.12	8.26	8.36	2.74
Forn. Sx. 05	6x3	8.00	11.00	0.20	0.06	8.18	8.16	2.82
Forn. Sx. 06	6x3	8.00	11.00	0.10	0.06	8.18	8.18	2.82
Forn. Dx 01	6x3	7.30	10.30	5.59	0.28	8.14	8.06	2.16
Forn. Dx 02	6x3	7.30	10.30	5.58	0.27	8.12	8.06	2.18
Forn. Dx 03	6x3	7.30	10.30	5.84	0.27	8.14	8.06	2.16
Forn. Dx 04	6x3	7.30	10.30	3.55	0.29	8.17	8.13	2.13
Forn. Dx 05	4x3	7.00	10.00	1.52	0.30	7.90	7.89	2.10
Forn. Dx 06	4x3	7.00	10.00	2.05	0.30	7.90	7.88	2.10
Forn. Dx 07	4x3	7.00	10.00	2.64	0.31	7.92	7.89	2.08
Forn. Dx 08	4x3	7.00	10.00	4.43	0.31	7.93	7.86	2.07
Forn. Dx 09	4x3	7.00	10.00	5.17	0.30	7.93	7.83	2.07
Forn. Dx 10	4x3	7.00	10.00	4.66	0.30	7.90	7.83	2.10

Tabella 11 – Risultati per TR 300 anni – post operam 1



LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
LI00 01 D 11 RI ID0002 001 A 51 DI 75

id	Dimensioni B X H [m]	Quota di scorrimento [m smm]	Quota intradosso [m smm]	Qmax [m ³ /s]	Grado di riemp. MAX	Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]	Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]	Franco [m]
Forn. Sx. 01	6x3	8.00	11.00	13.90	0.38	9.10	8.39	1.90
Forn. Sx. 02	6x3	8.00	11.00	14.25	0.36	9.10	8.56	1.90
Forn. Sx. 03	6x3	8.00	11.00	13.52	0.35	9.10	8.61	1.90
Forn. Sx. 04	6x3	8.00	11.00	8.82	0.39	9.10	8.61	1.90
Forn. Sx. 05	6x3	8.00	11.00	10.61	0.36	9.10	8.71	1.90
Forn. Sx. 06	6x3	8.00	11.00	12.65	0.36	9.10	8.81	1.90
Forn. Dx 01	6x3	7.30	10.30	45.00	0.75	9.38	9.15	0.92
Forn. Dx 02	6x3	7.30	10.30	43.70	0.70	9.38	9.32	0.92
Forn. Dx 03	6x3	7.30	10.30	35.70	0.73	9.38	9.30	0.92
Forn. Dx 04	6x3	7.30	10.30	42.70	0.70	9.38	9.16	0.92
Forn. Dx 05	4x3	7.00	10.00	27.00	0.76	9.38	9.01	0.62
Forn. Dx 06	4x3	7.00	10.00	28.70	0.75	9.38	8.94	0.62
Forn. Dx 07	4x3	7.00	10.00	27.50	0.77	9.38	9.04	0.62
Forn. Dx 08	4x3	7.00	10.00	27.34	0.78	9.38	9.10	0.62
Forn. Dx 09	4x3	7.00	10.00	31.59	0.75	9.38	8.90	0.62
Forn. Dx 10	4x3	7.00	10.00	31.63	0.69	9.38	8.63	0.62

Tabella 12 – Risultati per TR 300 anni – post operam 2

id	Dimensioni B X H [m]	Quota di scorrimento [m smm]	Quota intradosso [m smm]	Qmax [m ³ /s]	Grado di riemp. MAX	Livello idrico massimo a monte linea FS [m smm]	Livello idrico massimo a valle linea FS [m smm]	Franco [m]
Forn. Sx. 01	6x3	8.00	11.00	25.19	0.50	9.54	9.34	1.46
Forn. Sx. 02	6x3	8.00	11.00	25.53	0.47	9.46	9.22	1.54
Forn. Sx. 03	6x3	8.00	11.00	23.46	0.47	9.44	9.24	1.56
Forn. Sx. 04	6x3	8.00	11.00	18.53	0.52	9.59	9.50	1.41
Forn. Sx. 05	6x3	8.00	11.00	19.37	0.48	9.47	9.26	1.53
Forn. Sx. 06	6x3	8.00	11.00	24.34	0.48	9.36	9.55	1.45
Forn. Dx 01	6x3	7.30	10.30	67.70	0.86	9.61	9.55	0.69
Forn. Dx 02	6x3	7.30	10.30	54.07	0.85	9.55	9.62	0.68
Forn. Dx 03	6x3	7.30	10.30	48.48	0.85	9.53	9.67	0.63
Forn. Dx 04	6x3	7.30	10.30	59.68	0.83	9.50	9.53	0.77
Forn. Dx 05	4x3	7.00	10.00	38.66	0.89	9.65	9.40	0.35
Forn. Dx 06	4x3	7.00	10.00	42.79	0.87	9.62	9.31	0.38
Forn. Dx 07	4x3	7.00	10.00	39.51	0.90	9.68	9.42	0.32
Forn. Dx 08	4x3	7.00	10.00	38.26	0.92	9.74	9.50	0.26
Forn. Dx 09	4x3	7.00	10.00	46.25	0.89	9.66	9.28	0.34
Forn. Dx 10	4x3	7.00	10.00	42.01	0.83	9.47	8.85	0.53

Tabella 13 – Risultati per TR 300 anni – post operam 2 ideale

Sulla base dei risultati appena esposti, si evince come i fornicci mantengono il funzionamento a pelo libero, i gradi di riempimento sono sempre inferiori all'unità, anche nella configurazione post operam 2 – ideale, la più gravosa in termini di portate e livelli idrici. Nella condizione post operam 1, in assenza di arginature, i livelli che si instaurano a monte della linea ferroviaria sono tali da attivare in misura ridotta i manufatti di trasparenza. Per tale configurazione, i gradi di riempimento e le massime portate transitate sono decisamente inferiori a quelli calcolati per le altre due geometrie implementate nel modello.



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 11 RI ID0002 001	A	52 DI 75

Nel seguito sono riportati i livelli idrici ed energetici, valutati a monte del ponte ferroviario esistente, estratti dai risultati delle simulazioni numeriche, per le piene TR 200 e 300 anni, sia per le configurazioni ante e post operam (Tabella 14 e Tabella 15). Si consideri che l'intradosso del ponte ferroviario esistente ha una quota minima di 10.57 m smm.

	Ante operam 1		Post operam 1		
	Liv. Idrico [m smm]	8.38	8.31	-	-
Franco sul livello idrico [m]	2.19	2.26	-	-	
Liv. energetico [m smm]	8.48	8.42	-	-	
Franco sul livello energetico [m]	2.09	2.15	-	-	
TR 200 anni	Ante operam 2		Post operam 2		Post operam 2 - ideale
	Liv. Idrico [m smm]	9.65	9.22	9.47	9.47
	Franco sul livello idrico [m]	0.92	1.35	1.10	1.10
	Liv. energetico [m smm]	10.09	9.48	9.78	9.78
Franco sul livello energetico [m]	0.48	1.09	0.79	0.79	

Tabella 14 – Risultati per TR 200 anni – ponte ferroviario esistente

	Ante operam 1		Post operam 1		
	Liv. Idrico [m smm]	8.41	8.34	-	-
Franco sul livello idrico [m]	2.16	2.23	-	-	
Liv. energetico [m smm]	8.52	8.46	-	-	
Franco sul livello energetico [m]	2.05	2.11	-	-	
TR 300 anni	Ante operam 2		Post operam 2		Post operam 2 - ideale
	Liv. Idrico [m smm]	9.66	9.27	9.62	9.62
	Franco sul livello idrico [m]	0.91	1.3	0.95	0.95
	Liv. energetico [m smm]	10.14	9.53	9.96	9.96
Franco sul livello energetico [m]	0.43	1.04	0.61	0.61	

Tabella 15 – Risultati per TR 300 anni – ponte ferroviario esistente

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Sulla base dei valori numerici appena esposti è possibile affermare come le aperture introdotte a cavallo del rilevato ferroviario, abbiamo un effetto migliorativo sia in termini di franchi minimi sul livello idrico che sul livello energetico. A tale scopo si confrontino i valori riportati per le configurazioni ante operam 1 e post operam 1; i valori calcolati per l' ante operam 2 e il post operam 2.

7.3 Viadotto Ripalta

Nel presente paragrafo verranno espone le verifiche dei franchi minimi del viadotto Ripalta, secondo i regolamenti e le normative in vigore.

Le Norme Tecniche delle Costruzioni prevedono per gli intradossi dei ponti di nuova realizzazione un franco idraulico di almeno 1.5-2.0m, per la una piena con tempo di ritorno superiore o uguale a 200 anni.

Il Manuale tecnico di progettazione ferroviario prevede un franco minimo di 1 m rispetto al livello idrico e di 0.5 m rispetto al livello energetico. Per bacini con di estensione superiore a 10 km², come nel caso del Fortore, si adotta come piena di riferimento quella trecentennale.

Le Norme di Attuazione contenute all'interno del Progetto di Piano stralcio per l'assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Fortore richiedono che gli attraversamenti che interessano i corsi d'acqua debbano essere progettati tenendo conto della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni. I franchi minimi sono riportati nella tabella seguente.

Stato del bacino sotteso	Tipo di opere	
	Argini e difese spondali	Attraversamenti
Sufficientemente sistemato	cm 50	cm 75
Poco sistemato ma non dissestato	cm 75	cm 100
Dissestato	cm 100	cm 150

Tabella 16 – Franchi richiesti dalle NA – PAI Fortore

All'interno delle NTA viene comunque richiesto che il franco non sia inferiore al carico cinetico della corrente; in altri termini, il franco minimo sul livello energetico deve essere superiore a zero.

Nella Tabella 17 e Tabella 18, sono riportati i valori dei livelli idrici e i franchi ottenuti per le simulazioni TR 200 e 300 anni, nelle configurazioni progettuali post operam 1 e 2. I

franchi minimi si verificano in corrispondenza della trave di impalcato che collega la spalla sinistra A con la pila 01, l'intradosso di tale trave ha una quota assoluta di 10.07 m smm (Figura 38).

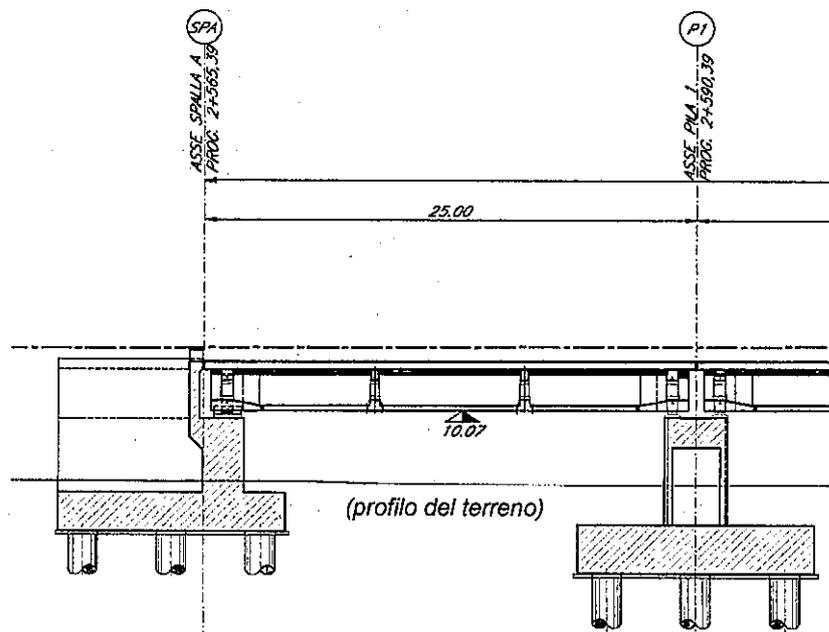


Figura 38 – Dettaglio del profilo del viadotto Ripalta

Le prescrizioni delle Norme tecniche delle costruzioni vengono rispettate per ogni tempo di ritorno e per ogni configurazione progettuale.

Per la piena TR 300 anni, il franco minimo rispetto al livello idrico è ampiamente superiore a 1 m, così come il franco sul carico totale, supera i 0.50 m minimi richiesti. Tale risultanza consente di verificare quanto richiesto dal regolamento Italferr.

I franchi ottenuti per la piena duecentennale, sono superiori ai minimi richiesti dalle NTA del PAI Fortore, anche ponendosi nella condizione più sfavorevole di "bacino dissestato". Inoltre i carichi cinetici sono sempre superiori ai franchi sui livelli idrici.

TR 200 anni	<i>Post operam 1</i>	
	Liv. Idrico [m smm]	7.53
	Franco sul livello idrico [m]	2.54
	Liv. energetico [m smm]	7.62
	Carico cinetico [m]	0.09
	<i>Post operam 2</i>	
	Liv. Idrico [m smm]	6.95
	Franco sul livello idrico [m]	3.12
Liv. energetico [m smm]	7.05	
Carico cinetico [m]	0.10	

Tabella 17 – Livelli e franchi per il viadotto di progetto – TR 200 anni

TR 300 anni	<i>Post operam 1</i>	
	Liv. Idrico [m smm]	7.64
	Franco sul livello idrico [m]	2.43
	Liv. energetico [m smm]	7.73
	Franco sul livello energetico [m]	2.34
	<i>Post operam 2</i>	
	Liv. Idrico [m smm]	7.15
	Franco sul livello idrico [m]	2.92
Liv. energetico [m smm]	7.23	
Franco sul livello energetico [m]	2.84	

Tabella 18 – Livelli e franchi per il viadotto di progetto – TR 300 anni

7.4 Protezione dei rilevati

Parte del rilevato di progetto viene lambito, sia a monte che a valle della linea ferroviaria dagli allagamenti del Fiume Fortore, come riportato nelle planimetrie delle aree di esondazione allegate. Con il fine di proteggere l'infrastruttura in progetto dagli effetti negativi della corrente. Sono previste due tipologie di protezioni:

Protezione in materassi tipo "Reno": Questo tipo di rivestimento del rilevato viene adottato laddove le velocità della corrente non sono particolarmente elevate. Il dettaglio della tipologico è riportato nella figura sottostante. I rivestimenti vengono estesi in altezza fino a una quota superiore di almeno 50 cm rispetto al massimo livello idrico raggiunto per la piena con TR 300 anni.

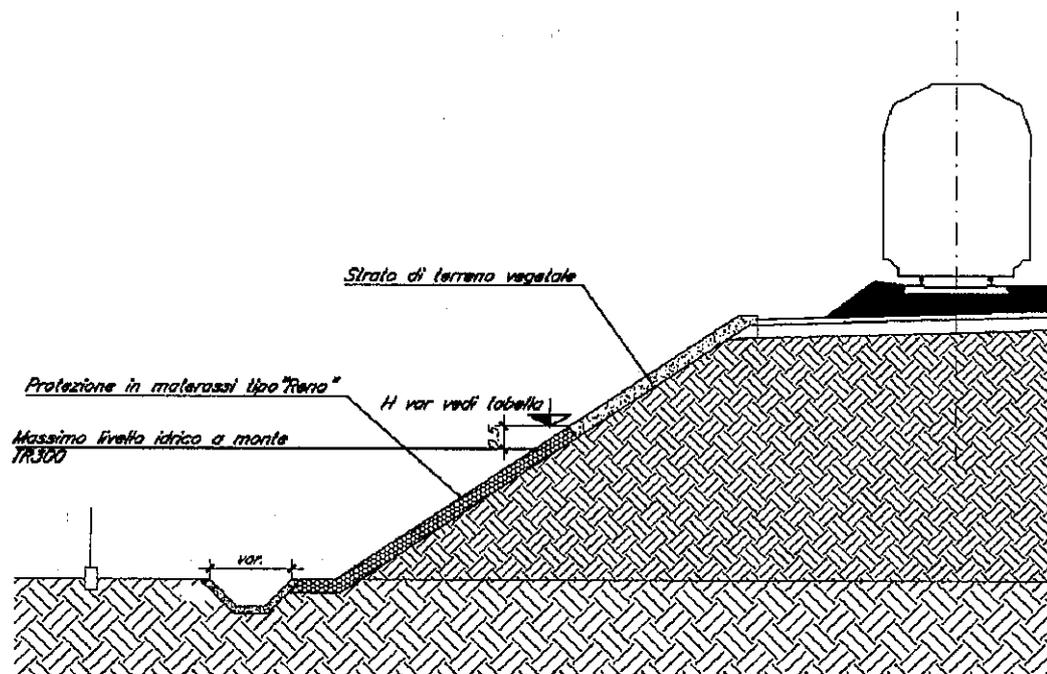


Figura 39 – Dettaglio della protezione del rilevato in materassi tipo "Reno"

Protezione in massi cementati: questo tipo di protezione verrà impiegata in quel tratto di rilevato ferroviario compreso tra le arginature di progetto ("Interventi prioritari finalizzati all'aumento delle condizioni di sicurezza idraulica del corso d'acqua lungo l'asta principale del Fiume Fortore sotteso alla diga di Occhito" – interventi oggetto di altro appalto). Questo tipo di protezione è da preferirsi rispetto alla precedente poiché garantisce una maggiore resistenza all'effetto

erosivo della corrente. I risultati delle simulazioni, in particolare nella configurazione post operam 2, mostrano poco a monte della linea ferroviaria, velocità dell'ordine dei 2 m/s. I rivestimenti vengono estesi in altezza fino a una quota superiore di almeno 100 cm rispetto al massimo livello idrico raggiunto per la piene TR 300 anni.

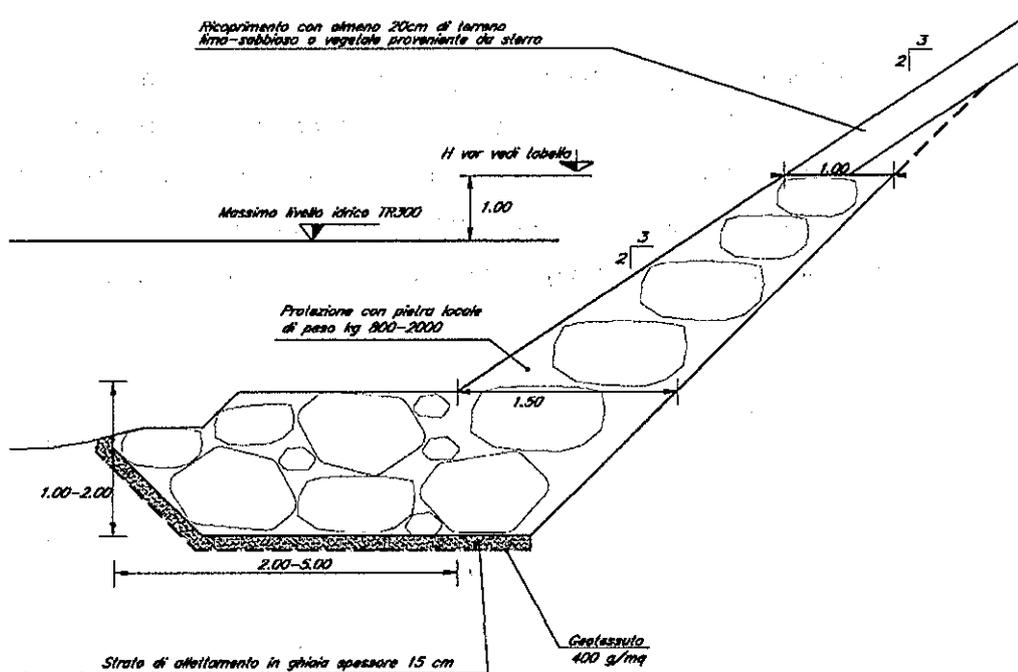


Figura 40 – Dettaglio della protezione del rilevato in massi cementati

Nell'elaborato grafico LI0001D11BZID0002004A sono riportati i dettagli tipologici delle protezioni, la loro disposizione planimetrica nonché le quote di sommità dei rivestimenti.



ITALFERR

LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 11 RI ID0002 001	A	58 DI 75

7.5 Protezione delle pile

Per la valutazione dello scalzamento prodotto dalla corrente in prossimità delle pile di un viadotto, al fine di definire la quota d'imposta delle fondazioni, non esiste una teoria univoca che consenta di interpretare il fenomeno nella sua complessità. Di conseguenza, per ottenere delle stime le più verosimili possibili, usualmente sono utilizzate diverse metodologie di calcolo, mediando i singoli risultati ottenuti. E' da precisare che le formule generalmente utilizzate, nel caso di tiranti comparabili con la larghezza della pila, come nel caso in esame, forniscono risultati eccessivi, rispetto a quanto riscontrato nella realtà.

Una formulazione presente in letteratura, che tiene conto di tale fenomeno, è l'equazione HEC-18 riportata nella monografia "Evaluating Scour at bridge - Fifth Edition" edita dalla Federal Highway Administration. Essa è basata sull'equazione CSU ed è raccomandata sia in presenza che in assenza di trasporto solido. L'equazione calcola la massima profondità di scavo y_s per pile semplici in canali con fondo sabbioso nel modo seguente:

$$y_s = 2.0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \left(\frac{a}{y} \right)^{0.65} \cdot y \cdot Fr_1^{0.43}$$

dove

K_1 fattore correttivo legato alla forma della pila

K_2 fattore correttivo dipendente dall'angolo di attacco della corrente

K_3 fattore correttivo legato alle condizioni del fondo

a larghezza della pila della pila [m];

y profondità della corrente subito a monte della pila [m];

Fr_1 numero di Froude in corrispondenza della pila.

Per pile allineate con la corrente esistono delle limitazioni nella profondità di erosione ricavate sperimentalmente, ossia:

$$y_s \leq 2.4 \cdot a \quad \text{se } Fr_1 \leq 0.80;$$

$$y_s \leq 3 \cdot a \quad \text{se } Fr_1 \geq 0.80;$$

Le tabelle seguenti riportano invece i fattori correttivi K_1 e K_3 :

Forma del pila	K_1
Squadrata	1.10
Arrotondata	1.00
Circolare	1.00
Gruppo di pali	1.00
Triangolare	0.90

Tabella 19 – Coefficiente correttivo K_1

Configurazione fondo alveo	Altezza dune (m)	K_3
Clear – water	-	1.10
Piatto	-	1.10
Piccole dune	$0.60 \leq H < 3.00$	1.10
Dune medie	$3.00 \leq H < 9.00$	1.10 ÷ 1.20
Dune grandi	$H \geq 9.00$	1.30

Tabella 20 – Coefficiente correttivo K_3

Il coefficiente K_2 è stimato attraverso l'espressione seguente:

$$K_2 = \left(\cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0.65}$$

dove L è la lunghezza della pila in direzione della corrente e θ angolo di attacco della corrente.

Se $\frac{L}{a} \geq 12$ il rapporto assume il valore massimo pari a 12.

Nel caso di pile tozze con basse profondità della corrente tale relazione può essere utilizzata introducendo un fattore correttivo inferiore all'unità.

L'applicazione di tali fattori è vincolata al soddisfacimento delle seguenti condizioni:

- Il rapporto tra la profondità della corrente e la larghezza della pila deve essere inferiore a 0.8 ($y/a < 0.8$);
- Il rapporto tra la larghezza della pila e il diametro medio dei sedimenti è maggiore di 50 ($a/d_{50} > 50$);
- Il numero di Froude deve essere inferiore a 1.

Il fattore correttivo da applicare all'equazione precedente può essere calcolato nel modo seguente:



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L100	01	D 11 RI ID0002 001	A	60 DI 75

$$K_w = 2.58 \left(\frac{y}{a} \right)^{0.34} F_{r1}^{0.65} \text{ per } V/V_c < 1$$

$$K_w = 1.00 \left(\frac{y}{a} \right)^{0.13} F_{r1}^{0.25} \text{ per } V/V_c > 1$$

Dove V è la velocità media di approccio della corrente indisturbata e V_c la velocità critica di incipiente movimento dei sedimenti.

L'analisi dell'escavazione localizzata per le pile del viadotto è stata eseguita con riferimento ad una piena con tempo di ritorno pari a 300 anni, nella condizione post operam 1, la più gravosa in termini di portata transitante al di sotto del viadotto.

Tutte le pile del viadotto, di forma rettangolare con spigoli arrotondati, hanno una lunghezza di 11.4m, una larghezza di 3.2 m. Lo zoccolo di fondazione invece ha forma quadrata a spigoli vivi, di lato pari a 12 m.

La tabella seguente riporta i dati utilizzati e i risultati ottenuti per la determinazione della massima profondità di scavo per le pile e i plinti, in particolare: il tirante idraulico (y), l'angolo di incidenza della corrente rispetto all'asse longitudinale della pila, il numero di Froude, il rapporto tra tirante e larghezza della pila e del plinti y/a (necessariamente < 0.8 per l'applicazione del fattore correttivo), le profondità di scavo per la pila e il plinto. Tiranti, velocità, angolo di incidenza e numero di Froude sono stati dedotti puntualmente sulla base dei risultati del modello bidimensionale.

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Fr	y/a pila	y/a plinto	Scavo pila CSU ridotto [m]	Scavo plinto CSU ridotto [m]
P01	0.48	1.24	27.68	0.57	0.15	0.04	3.54	5.14
P02	0.41	1.21	34.02	0.60	0.13	0.03	3.66	5.05
P03	0.37	0.68	23.39	0.35	0.12	0.03	2.13	3.22
P04	0.55	1.12	0.68	0.48	0.17	0.05	1.89	4.06
P05	0.66	1.12	16.13	0.44	0.21	0.06	2.92	4.75
P06	0.68	1.27	4.99	0.49	0.21	0.06	2.46	4.76
P07	0.70	1.04	12.59	0.40	0.22	0.06	2.62	4.47
P08	0.70	1.22	18.06	0.47	0.22	0.06	3.24	5.17
P09	0.54	1.28	24.06	0.56	0.17	0.04	3.53	5.28
P10	0.49	1.35	18.06	0.62	0.15	0.04	3.28	5.23
P11	0.47	1.58	12.06	0.74	0.15	0.04	3.24	5.57
P12	0.38	1.29	12.06	0.67	0.12	0.03	2.75	4.72
P13	0.98	1.26	12.06	0.41	0.31	0.08	3.07	5.27
P14	1.16	1.40	12.06	0.42	0.36	0.10	3.40	5.83
P15	1.22	1.16	18.06	0.34	0.38	0.10	3.37	5.37
P16	0.89	1.16	24.06	0.39	0.28	0.07	3.53	5.28
P17	0.95	1.33	24.06	0.44	0.30	0.08	3.91	5.85
P18	0.92	1.15	29.06	0.38	0.29	0.08	3.76	5.38
P19	0.80	1.41	24.06	0.50	0.25	0.07	3.97	5.95
P20	0.70	1.22	35.06	0.47	0.22	0.06	4.00	5.47
P21	0.71	1.45	29.06	0.55	0.22	0.06	4.23	6.07
P22	1.29	1.29	24.06	0.36	0.40	0.11	3.99	5.98
P23	1.29	1.37	24.06	0.39	0.40	0.11	4.15	6.22
P24	1.33	1.29	29.06	0.36	0.42	0.11	4.28	6.14
P25	1.33	1.44	29.06	0.40	0.42	0.11	4.62	6.62
P26	1.33	1.42	29.06	0.39	0.42	0.11	4.56	6.54
P27	1.39	1.34	29.06	0.36	0.43	0.12	4.41	6.33
P28	1.36	1.47	29.05	0.40	0.43	0.11	4.68	6.71
P29	1.34	1.36	34.96	0.38	0.42	0.11	4.73	6.47
P30	1.34	1.42	40.83	0.39	0.42	0.11	5.09	6.69
P31	1.33	1.38	40.58	0.38	0.42	0.11	4.99	6.57
P32	1.35	1.25	40.24	0.34	0.42	0.11	4.66	6.16
P33	1.52	1.34	39.91	0.35	0.47	0.13	4.95	6.56
P34	1.62	1.38	33.41	0.35	0.50	0.13	4.82	6.67
P35	1.26	1.30	38.94	0.37	0.39	0.11	4.70	6.25
P36	1.67	1.19	49.29	0.30	0.52	0.14	4.93	6.14
P37	1.41	1.28	48.70	0.34	0.44	0.12	5.02	6.27
P38	1.10	1.40	54.01	0.43	0.34	0.09	5.30	6.41
P39	1.12	1.35	53.32	0.41	0.35	0.09	5.17	6.28
P40	1.28	0.87	58.62	0.25	0.40	0.11	3.98	4.69
P41	1.31	0.63	68.93	0.18	0.41	0.11	3.30	3.65
P42	1.21	0.51	62.24	0.15	0.38	0.10	2.77	3.20
P43	1.24	0.41	50.90	0.12	0.39	0.10	2.31	2.85
P44	1.12	0.37	50.10	0.11	0.35	0.09	2.09	2.59
P45	1.17	0.16	49.41	0.05	0.37	0.10	1.19	1.49
P46	1.05	0.13	37.72	0.04	0.33	0.09	0.95	1.28

Tabella 21 – Scavi localizzati

Per la quasi totalità delle pile, lo scavo supera l'altezza di minimo ricoprimento delle fondazioni, pari a 2m. In altre parole, sulla base dei risultati ottenuti dalla modellazione idraulica, e applicando il metodo CSU, si può affermare che, in assenza di adeguate protezioni, i plinti di fondazione sarebbero interessati dai fenomeni di scavo localizzato. Secondo il modello utilizzato, l'altezza di scavo cresce all'aumentare della larghezza della pila in alveo. Per ogni pila, l'altezza di scavo da considerare è quella riportata nell'ultima colonna della Tabella 21. Il valore dell'altezza di scavo è riferito alla quota del terreno nella configurazione iniziale.

Per tutte le pile lambite dalla corrente sono state previste delle protezioni al piede con un riempimento di materiale sciolto di diametro medio pari a 30 cm, assieme a una copertura finale costituita da materassi tipo "Reno" dello spessore di 30 cm, e gabbioni di sezione 1 x 1 m. Il materiale di sciolto andrà a riempire uno scavo che si estende dalla base dei plinti, fino alla quota del piano campagna, le pareti laterali dello scavo avranno un'inclinazione 1/1. Negli elaborati grafici LI0001D11BZID0002003A e LI0001D11BZID0002004A sono riportati i tipologici delle protezioni dei plinti, richiamati alla Figura 41 e Figura 42. Il rivestimento in materassi reno si estenderà per tutta la lunghezza del viadotto, su una fascia larga all'incirca 28 m.

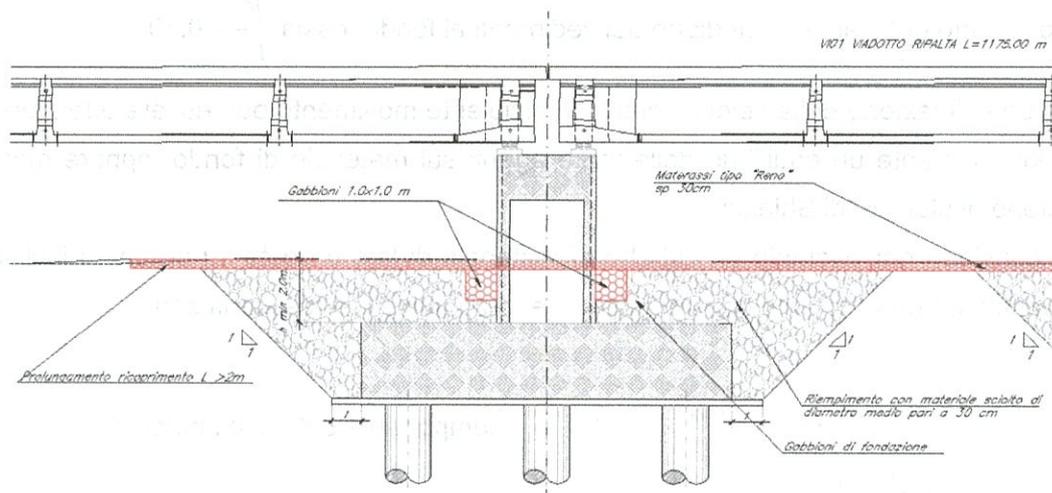


Figura 41 – Protezioni al piede delle pile, sezione longitudinale del viadotto.

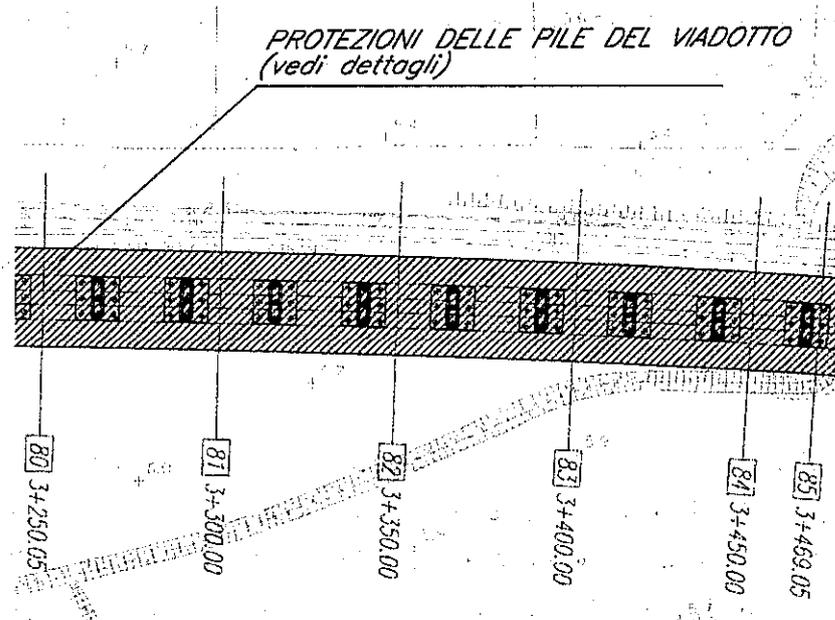


Figura 42 – Protezioni al piede delle pile - stralcio planimetrico.

Il dimensionamento delle protezioni attorno alla pila è stato effettuato in accordo all'equazione di Breusers per la determinazione dello scavo localizzato in prossimità di una pila da ponte. Tale relazione evidenzia che i processi di escavazione localizzata non si instaurano quando la velocità media è inferiore a metà della velocità critica di incipiente movimento del diametro medio dei sedimenti al fondo, ossia $\frac{V}{V_c} \leq 0.50$.

La valutazione della velocità critica di incipiente movimento può essere effettuata in due modi: mediante un equilibrio delle forze agenti sul materiale di fondo, oppure mediante il criterio di stabilità di Shields.

Si consideri per esempio un cubetto di materiale di lato d posto su un piano inclinato α e investito da una corrente con velocità v . Le forze attive F e resistenti sono:

$$F_1 = G \cdot \sin \alpha = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d^3 \cdot \sin \alpha \quad \text{componente del peso immerso}$$

$$F_2 = \frac{C_D \cdot d^2 \cdot \rho_w \cdot v_f^2}{2} \quad \text{spinta idrodinamica}$$

$$R = f \cdot G \cdot \cos \alpha = f \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d^3 \cdot \cos \alpha \quad \text{resistenza d'attrito}$$

essendo, rispettivamente $C_D \cong 0.5 \div 1$ e $f \cong 0.6 \div 0.8$ i coefficienti di resistenza

idrodinamica e d'attrito e v_f la velocità media che agisce sulla faccia del cubetto: quindi in prossimità al fondo, solitamente indicata come velocità al fondo.

Le condizioni di equilibrio allo scorrimento e alla rotazione rispetto allo spigolo di valle:

$$F_1 + F_2 = R \quad \text{e} \quad (F_1 + F_2) \cdot \frac{d}{2} = \frac{G \cdot d}{2} \cdot \cos \alpha$$

danno modo di dedurre il valore della

velocità critica v_{cr} che dà luogo al moto. I due valori della velocità, ritenuto che possa, per le pendenze esigue, porsi $\sin \alpha \cong 0$ e $\cos \alpha \cong 1$, sono rispettivamente:

$$v_{cr} = v_0 \cdot \sqrt{f} \quad v_{cr} = v_0$$

Dove:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}{C_D \cdot \gamma_w}}$$

Essendo $f < 1$ si può dedurre come sia più facile il trascinarsi del materiale rispetto al ribaltamento.

Assegnati i valori di $C_D \cong 0.8$ e $f \cong 0.6$ si ottiene:

$$v_{cr} = 0.85 \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}{\gamma_w}}$$

Dalla quale assunto $\gamma_s = 26000 \text{ N/m}^3$, si ha rispettivamente

$$v_{cr} \cong 5 \cdot \sqrt{d} \quad \text{e} \quad v_{cr} \cong 6 \cdot \sqrt{d}$$

E' ritenuto che il coefficiente associato a \sqrt{d} debba essere maggiore a 8 per determinare il movimento.

Una deduzione può farsi anche a partire dalla relazione di Shields ottenendo:

$$v_{cr} = K_s \cdot R_H^{1/6} \sqrt{0.06 \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right) \cdot \sqrt{d}}$$

Nel presente studio il valore della velocità critica è stato assunto pari al minore tra i due calcolati con le due metodologie precedentemente descritte. Si è ipotizzato un diametro del materiale sciolto pari a 0.30 m.

- Equilibrio delle forze: $v_{cr} \cong 5 \cdot \sqrt{d} = 3.21 \text{ m/s}$



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 11 RI ID0002 001	A	65 DI 75

- Relazione di Shields:

$$v_{cr} = K_s \cdot R_H^{1/6} \sqrt{0.06 \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right)} \cdot \sqrt{d} = 4.37 \div 5.56 \text{ m/s}$$

Nella precedente equazione si è scelto come raggio idraulico il valore puntuale minimo e massimo di tiranti (Tabella 21), $K_s=30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Le velocità massime della corrente risultano sempre inferiori alla metà della velocità critica di incipiente di movimento (criterio di Breusers), per cui il dimensionamento delle protezioni delle pile risulta verificato.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 11 RI ID0002 001	REV. A	FOGLIO 66 DI 75

8 CRITERI DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Le opere in progetto sono funzionali al raddoppio della linea ferroviaria Termoli – Lesina nel tratto compreso tra Ripalta e Lesina per una lunghezza complessiva di circa 6.85 km.

Il tracciato della linea si sviluppa per una sua parte all'interno delle aree fluviali e perifluviali del Fiume Fortore. Vengono anche intersecati dei corsi d'acqua minori, il fosso Olivella 2, il fosso Paradiso, il fosso Pontonicchio e il fosso Capoposta.

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica dell'infrastruttura di progetto con il territorio ed è stata analizzata la sicurezza del corpo ferroviario, identificando in termini di funzionalità e sicurezza i manufatti di presidio idraulico più opportuni, garantendo un miglioramento delle interferenze delle opere ferroviarie esistenti e di progetto con il normale deflusso delle acque.

Gli strumenti normativi presi a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto sono:

- Progetto di Piano Straicio per l'Assetto idrogeologico del Bacino Interregionale del Fiume Fortore (PAI) – *Relazione Generale* – assetto di versante e assetto idraulico – redatto dall'Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore – documento adottato nel settembre 2006;
- Progetto di Piano Straicio per l'Assetto idrogeologico del Bacino Interregionale del Fiume Fortore (PAI) – *Norme di Attuazione* – assetto di versante e assetto idraulico – redatto dall'Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore – documento adottato nel settembre 2006;

Il PAI individua porzioni di territorio caratterizzate da una condizione di pericolosità idraulica. In sede di redazione del piano, la valutazione della pericolosità idraulica è stata condotta utilizzando sia i risultati dell'analisi idraulica (per le aree di fondovalle più importanti, oggetto di rilievo topografico) sia quelli dell'analisi geomorfologica storico-inventariale (per le rimanenti, meno importanti), in modo da coprire tutta l'Area di Studio.

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

Al fine di garantire la sicurezza idraulica della linea ferroviaria, la trasparenza idraulica dei rilevati ferroviaria è stata migliorata attraverso l'inserimento di manufatti di trasparenza inseriti nei tratti di linea in cui le simulazioni idrauliche hanno evidenziato maggiori criticità. La linea ferroviaria in progetto attraversa le aree in destra idraulica in viadotto con il fine di

	LINEA PESCARA - BARI				
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 11 RI	ID0002 001	A	67 DI 75

rendere idraulicamente trasparente il tratto interessato.

Congiuntamente all'analisi della cartografia del PAI, è stato realizzato un modello bidimensionale del Fiume Fortore, al fine di verificare con maggior precisione l'effettiva estensione delle aree a potenziale allagamento del fiume, assieme a una stima accurata dei livelli idrici e delle velocità.

8.1 Analisi del tracciato

Il tracciato ferroviario in parte si sviluppa in aree di pericolosità idraulica, si vedano la Figura 43 e la Figura 44. In Tabella 22 sono riportate le definizioni della relazione generale del PAI – Fortore. Nel caso in esame le aree sono state studiate dall' AdB su base idraulica, attraverso una modellazione numerica.

Classe di Pericolosità	Tempo di ritorno area inondabile (per le aree studiate su base idraulica)	Tipologia area (per le aree studiate su base geomorfologica)
P3	Inferiore a 30 anni	Alveo attivo, aree golenali e alluvioni inserite nella dinamica fluviale di breve periodo.
P2	Tra 30 anni e 200 anni	Alveo attivo, aree golenali e alluvioni inserite nella dinamica fluviale di medio periodo.
P1	Tra 200 anni e 500 anni	Alveo attivo, aree golenali e alluvioni di fondovalle inserite nella dinamica fluviale di lungo periodo

Tabella 22 – Classi di pericolosità idraulica – PAI Fortore

Secondo le carte di pericolosità il tracciato ricade all'interno dell'area di pericolosità nel tratto compreso tra le progressive 0+000 e 4+200 circa (Figura 43), la parte rimanente del lotto 1 non rientra in alcuna area di pericolosità.

Si confrontino le aree pubblicate all'interno del PAI con quelle dedotte dalle simulazioni numeriche, per la piena TR 300 anni, per la configurazione ante operam 1 e post operam 1 (descritte al paragrafo 5.3). Nell'area di studio, si nota una buona corrispondenza tra le estensioni delle aree allagabili, una certa difformità si osserva in destra Fortore, dove l'area P3 risulta più estesa della corrispondente delimitazione TR 500 anni dedotta dal modello numerico qui sviluppato.

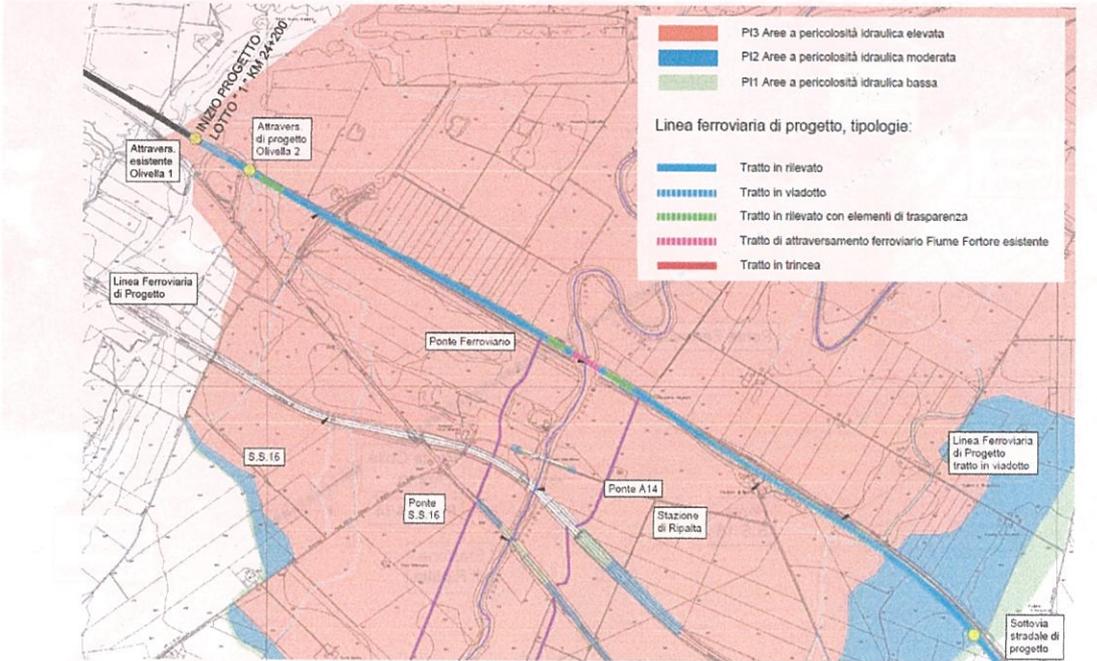


Figura 43 – Sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità idraulica – tratto a ovest del viadotto di progetto.

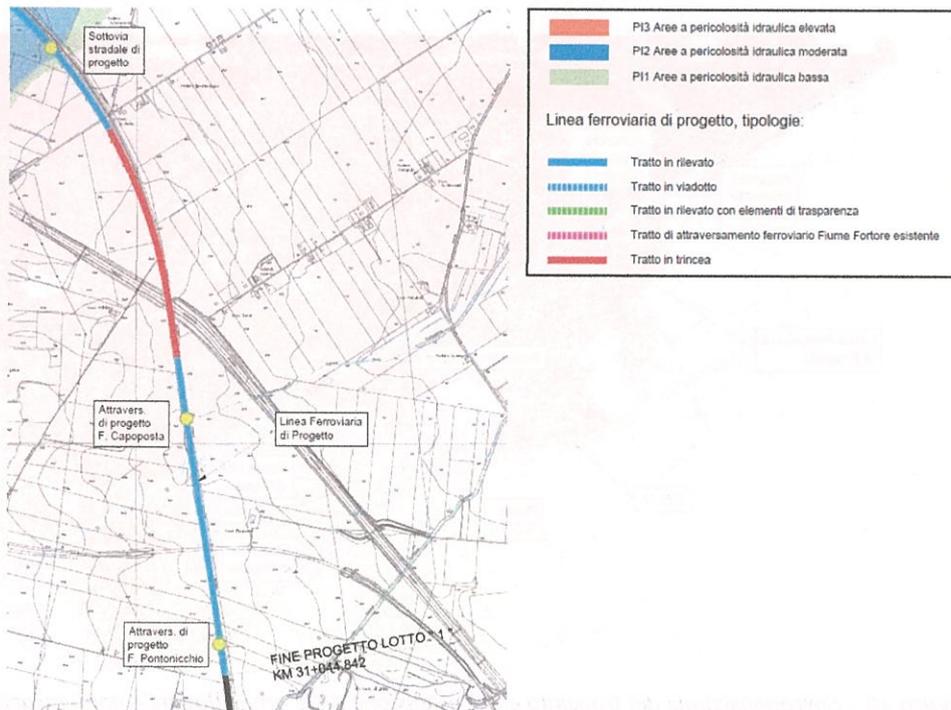


Figura 44 – Sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità idraulica – tratto a est del viadotto di progetto.

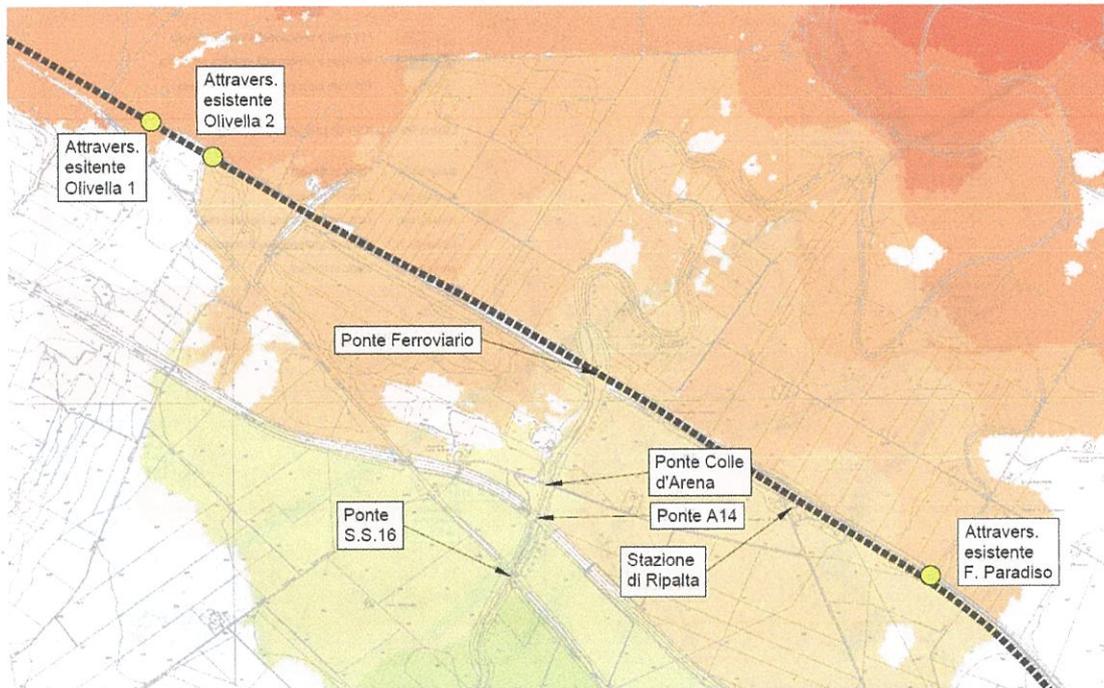


Figura 45 – Sovrapposizione del tracciato con l'estensione delle aree allagate – configurazione ante operam 1 – TR 500 anni

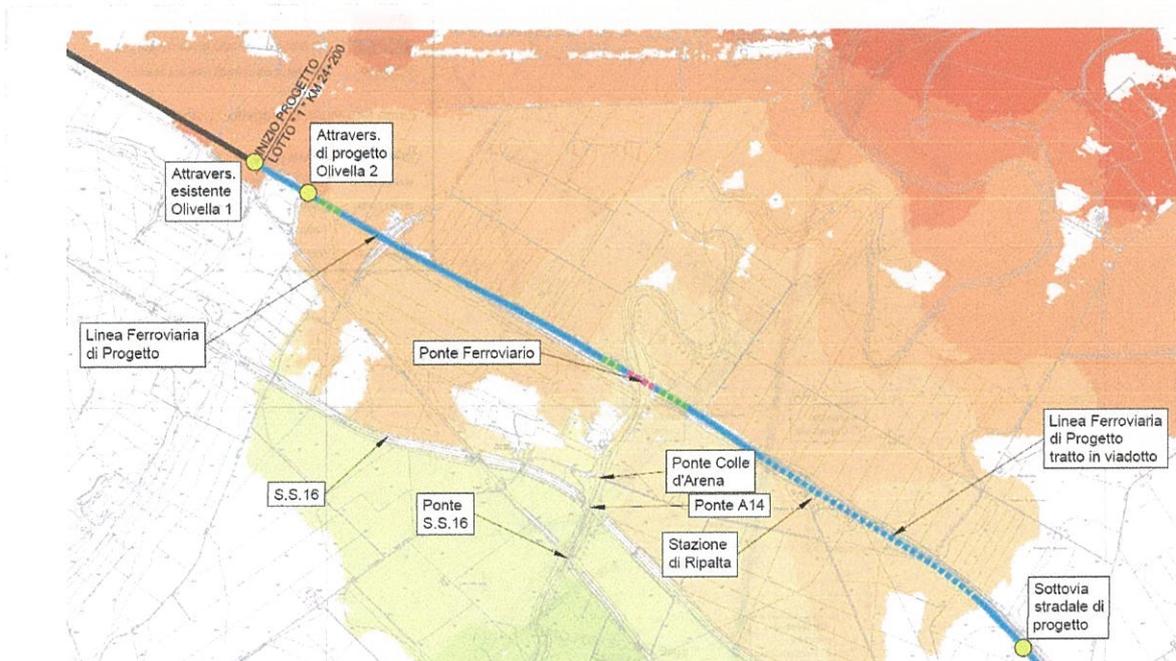


Figura 46 – Sovrapposizione del tracciato con l'estensione delle aree allagate – configurazione post operam 1 – TR 500 anni

Si riporta di seguito la sovrapposizione dell'asse del tracciato di progetto con la fascia di riassetto fluviale definita dell' AdB del Fortore. All'interno delle NTA, è contenuta la seguente definizione di tale area :

“...Fascia di riassetto fluviale: insieme delle aree all’interno delle quali si possono far defluire con sicurezza le portate caratteristiche di un corso d’acqua, comprese quelle relative ad eventi estremi e ad eventi con tempi di ritorno (TR) di 200 anni, mediante la realizzazione di tutte le opere necessarie all’assetto definitivo del corso d’acqua come previsto dal presente PAI in funzione del ripristino di una adeguata sezione idraulica, della realizzazione degli interventi di laminazione, della riqualificazione ambientale del corso d’acqua, della difesa di aree di particolare pregio ambientale connesse al corso d’acqua e di tutela della pubblica incolumità”.

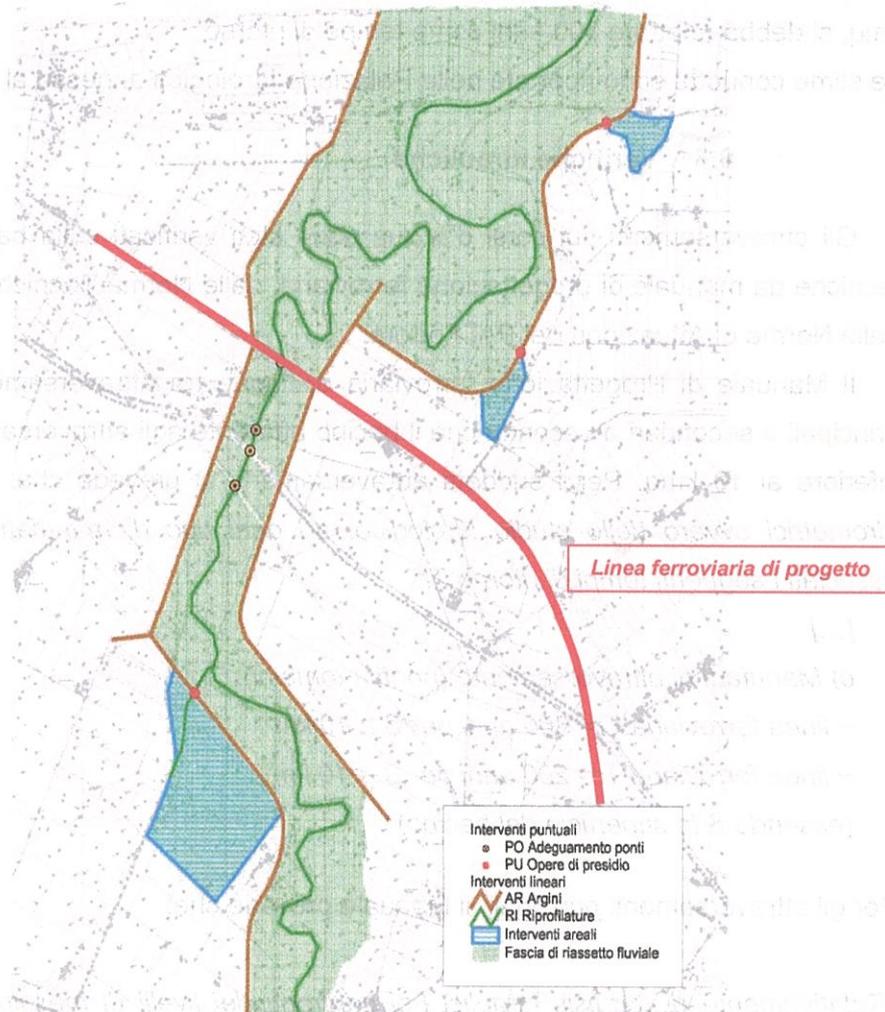


Figura 47 – Sovrapposizione del tracciato con la fascia di riassetto fluviale.

Tale fascia viene occupata dal tracciato solo in corrispondenza dell’attraversamento del Fiume Fortore.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11 RI ID0002 001	DOCUMENTO A	REV. A

8.2 Studio idrologico

Lo studio idrologico per il Fiume Fortore è stato condotto con l'obiettivo di valutare le onde di piena di progetto

In base a quanto richiesto delle NTA del PAI – Fortore e dal manuale di progettazione ferroviaria, le analisi idrologiche sono state condotte per i seguenti tempi di ritorno: 30, 100, 200, 300 e 500 anni. In accordo al PAI Fortore, la portata di progetto di opere strutturali è quella con tempo di ritorno di 200 anni. Il manuale di progettazione ferroviaria richiede che per la verifica degli attraversamenti di corsi d'acqua con bacino imbrifero superiore a 10 kmq, si debba adottare 300 anni come tempo di ritorno.

Le stime condotte sono riportate nelle Relazione Idrologica annessa al progetto.

8.3 Verifiche idrauliche

Gli attraversamenti sui corsi d'acqua sono stati verificati sulla base delle prescrizioni tecniche da manuale di progettazione ferroviaria, dalle Norme Tecniche delle Costruzioni e dalle Norme di Attuazione del PAI Fortore.

Il Manuale di Progettazione ferroviaria distingue tra attraversamenti di corsi d'acqua principali e secondari a seconda che il bacino afferente agli attraversamenti sia superiore o inferiore ai 10 kmq. Per i suddetti attraversamenti si prevede che: *"Sulla base dei dati idrometrici ovvero dello studio idrologico, ad ogni tipo di manufatto idraulico verranno associati i seguenti tempi di ritorno T_r :*

[...]

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria $T_r = 300$ anni per $S \geq 10$ km².

- linea ferroviaria $T_r = 200$ anni per $S < 10$ km².

(essendo S la superficie del bacino)

Per gli attraversamenti principali, il Manuale prevede che:

"Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:

- franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, calcolato come precedentemente descritto, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI00	01	D 11 RI ID0002 001	A	72 DI 75

- *posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;*

- *posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.*

- *Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto considerando le dimensioni del plinto invece che quelle della pila."*

Le Norme di Attuazione del PAI Fortore esprimono a riguardo le modalità con cui eseguire le verifiche idrauliche:

"Le verifiche idrauliche saranno condotte a seconda dei casi con modelli di moto permanente, vario monodimensionale, vario bidimensionale.

Lo schema di moto permanente può essere utilizzato qualora sia sufficiente determinare i livelli idrometrici senza compiere valutazioni circa la capacità di laminazione del corso d'acqua.

La modellazione in moto vario sarà utilizzata qualora il fenomeno di laminazione sia significativo o siano presenti significative esondazioni del corso d'acqua.

La relazione idraulica dovrà evidenziare le condizioni al contorno che si sono assunte e le scabrezze. Si dovrà determinare la massima portata smaltibile in alveo e le aree inondabili con tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni.

Negli studi connessi alla realizzazione di opere idrauliche vanno condotti calcoli per definire le condizioni di deflusso allo stato attuale, allo stato di progetto e nelle eventuali fasi intermedie. I progetti che non garantiscono la messa in sicurezza per tempo di ritorno 200 anni devono stimare il rischio residuo".

Vista la non trascurabilità degli effetti di laminazione e la tendenza ad invadere le aree golenali muovendosi lungo direzioni non parallele al corso d'acqua, per il Fiume Fortore si è scelto di sviluppare un modello idraulico a moto vario di tipo bidimensionale. Sono state considerate diverse configurazioni progettuali, ante e post operam che comprendono configurazioni attuali, intermedie e progettuali.

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina					
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI00	01	D 11	RI ID0002 001	A	73 DI 75

I coefficienti di scabrezza adottati sono quelli previsti delle Norme di Attuazione del PAI – Fortore (si veda il paragrafo 5.4), così come i franchi minimi per le verifiche idrauliche (paragrafo 7.3).

8.4 Sistemazioni idrauliche

Gli interventi previsti sono stati definiti applicando, laddove possibile, criteri di ingegneria naturalistica ed utilizzando laddove possibile, opere di protezione di tipo "elastico" quali massi sciolti e materassi tipo "Reno", che costituiscono un'affidabile protezione degli stessi dall'azione erosiva della corrente di piena.

Le sistemazioni idrauliche sono state progettate in generale con lo scopo di:

- assicurare con il periodo di ritorno previsto la sicurezza dell'infrastruttura ferroviaria;
- diminuire le eventuali condizioni di rischio, eliminando o riducendo eventuali esondazioni nella zona di intervento;
- non alterare le condizioni di deflusso idrico e solido nel tratto oggetto di studio;
- impedire divagazioni che possano andare ad interessare le opere di fondazione delle pile o delle spalle;
- evitare le conseguenze derivanti dai fenomeni di erosione localizzata.

8.5 Analisi di compatibilità idraulica

L'infrastruttura ferroviaria di progetto in parte insiste sulle aree di pericolosità idraulica P1, P2 e P3.

Sulla base delle risultanze dello studio idrologico – idraulico sono stati definiti:

- manufatti di trasparenza del rilevato ferroviario, laddove necessario;
- adeguate protezioni dei rilevati ferroviari;
- la rete di drenaggio per la piattaforma ferroviaria e stradale;
- la protezione delle pile, relativamente a quelle interessate da azioni della corrente.

Si rimanda ai paragrafi precedenti per la descrizione degli interventi di presidio previsti.

Le soluzioni prescelte seguono gli indirizzi indicati nelle norme nazionali ed in quelle riportate nelle norme di attuazione del PAI, in quanto:

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO LI00	LOTTO 01	CODIFICA D 11	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. A

- ✓ il potenziamento della linea ferroviaria in progetto risponde a specifiche esigenze di sviluppo ed è legata a fattori di pubblico interesse;
- ✓ le opere previste non aggravano lo stato di dissesto, piuttosto migliorano l'efficienza idrogeologica del suolo, tenendo in conto gli impatti sull'ambiente fluviale e sul paesaggio;
- ✓ sono state preferite, laddove possibile, tecniche di ingegneria naturalistica finalizzata alla rinaturalizzazione degli alvei;
- ✓ gli studi idrologici-idraulici sviluppati per verificare la compatibilità delle opere rispettano le indicazioni delle Norme di Attuazione del PAI, della Normativa nazionale;
- ✓ per il viadotto la protezione delle pile con materassi tipo Reno garantisce la sicurezza dell'opera rendendo stabile il fondo e prevenendo eventuali dissesti da erosione;
- ✓ in generale, l'intervento proposto non aggrava la funzionalità idraulica dell'area, piuttosto migliora la trasparenza idraulica dell'infrastruttura ferroviaria esistente, aumentando la capacità di smaltimento dei flussi di piena del territorio circostante.

Alla luce delle precedenti considerazioni, la configurazione finale di progetto risulta idraulicamente compatibile con le norme della legislazione vigente di protezione dai rischi idraulici e con la conformazione odierna dei luoghi.

	LINEA PESCARA - BARI				
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: Lotto 1: Ripalta - Lesina				
	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	L100	01	D 11 RI ID0002 001	A	75 DI 75

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Manuale di ingegneria Civile e ambientale*, vol. 1, IV edizione, Zanichelli-ESAC.
- Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico del Bacino Interregionale del Fiume Fortore (PAI) – *Relazione Generale* – assetto di versante e assetto idraulico – redatto dall'Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore, 2006;
- Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico del Bacino Interregionale del Fiume Fortore (PAI) – *Norme di Attuazione* – redatto dall'Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore, 2006;
- Cavalli M., Tarolli Paolo, *Application of LIDAR technology for river analysis, Italian Journal of engineering Geology and Environment. Special Issues 1 (2011)*.
- Chow V. T. (1959). *Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York*.
- Da Deppo L., Datei C. e Salandin P. (2005) *Sistemazione dei corsi d'acqua*, V edizione, Libreria internazionale Cortina, Padova.
- King I. P., and Norton W. R. (1978). "Recent application of RMA's finite element models for twodimensional hydrodynamic and water quality". *Finite elements in Water Resources II, Pentech Press, London, 2.81-2.99*.
- Rodi W. (1993), "Turbulence models and their application in hydraulics - A state of the art Review". *International Association for Hydraulic Research*.
- Shioni K., and Knight D. W. (1991). "Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel". *J. Fluid. Mech.*, 222, 617-646.
- Zanichelli G., Caroni e Fiorotto V.(2004) On parameter selection in 2D numerical modeling of a River bifurcation, *ASCE Journal of hydraulics engineering*, vol. 130 n.3.