

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica e di compatibilità idraulica
Modellazione bidimensionale

SCALA:

-

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

L I 0 2 0 2 D 7 8 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	M. Coccato	04/2018	A.Tortora	04/2018	B.Bianchi	03/2018	D.Tiberti 03/2019
B	Emissione per Cds	G. De Cianni	10/2018	A.Tortora	10/2018	B.Bianchi	10/2018	
C	Emissione definitiva	M. Coccato	03/2019	G. De Cianni	03/2019	B.Bianchi	03/2019	

ITAN CERES S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direz. Distrettuale
UO Infrastrutture Sud
Dott. Ing. Danilo Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10475

File: LI0202D78RIID0002001C.doc

n. Elab.:

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 2 DI 72


INDICE

1	PREMESSA	6
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO ITALFERR.....	7
3	CONDIZIONI IDROLOGICHE	9
4	EVOLUZIONE GEO-MORFOLOGIA DELL'AVEO DEL BIFERNO	12
5	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	22
5.1	IL MODELLO NUMERICO.....	22
5.2	GEOMETRIA DEL MODELLO	24
5.3	CONFIGURAZIONI GEOMETRICHE.....	30
5.4	DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE MODELLO.....	32
6	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE.....	34
6.1	SIMULAZIONI ANTE OPERAM.....	34
6.2	SIMULAZIONI POST OPERAM.....	40
7	VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO	45
7.1	NUOVO VIADOTTO	45
7.2	PROTEZIONE DELLE PILE.....	50
7.2.1	Metodi di calcolo della verifica allo scalzamento	50
7.2.2	Verifica allo scalzamento	55
7.2.3	Protezione delle pile dall'erosione: calcolo delle tensioni agenti e resistenti	62
7.2.4	Definizione delle opere di protezione spondale	64
8	CRITERI DI COMPATIBILITA' IDRAULICA.....	65
8.1	ANALISI DEL TRACCIATO	66
8.2	VERIFICHE IDRAULICHE.....	69
8.3	SISTEMAZIONI IDRAULICHE	70
8.4	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	71
	BIBLIOGRAFIA	72

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. C

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 – Area modellata, sezione di applicazione dell'onda di piena in ingresso.</i>	9
<i>Figura 2 – Onde di piena adottate nella modellazione numerica (fonte: Autorità di Bacino)</i>	10
<i>Figura 3 – Idrogrammi di piena del fiume Biferno alla sezione in corrispondenza del nuovo viadotto ferroviario (fonte: Autorità di Bacino)</i>	11
<i>Figura 4 – Sezioni trasversali mostranti l'incisione del canale fluviale durante il periodo compreso tra il 1954 e il 2013 (da Scorpio et al. 2015): a) Fiume Trigno; b) Fiume Biferno.</i>	12
<i>Figura 5 – Inquadramento del bacino idrografico del Fiume Biferno</i>	13
<i>Figura 6 – Evoluzione del doppio meandro posto a valle della confluenza del torrente Tentillo dal 1869 (A) al 1954 (B) e al 1992 (C)</i>	14
<i>Figura 7 – A) Foto aerea 1954, B) Ortofoto 1988 (http://www.pcn.minambiente.it/viewer/).</i>	16
<i>Figura 8 – Foto aerea 1992.</i>	17
<i>Figura 9 – A) Ortofoto 1994 (http://www.pcn.minambiente.it/viewer/), B) Ortofoto 2000 (http://www.pcn.minambiente.it/viewer/).</i>	18
<i>Figura 10 – A) Ortofoto 2006 (http://www.pcn.minambiente.it/viewer/), B) Ortofoto 2012 (http://www.pcn.minambiente.it/viewer/).</i>	19
<i>Figura 11 – Carta geomorfologica della foce del Fiume Biferno (da Roskopf & Scorpio 2013): a) carta geomorfologica del basso corso del Fiume Biferno; b) dettaglio geomorfologico della zona di interesse; c) legenda geomorfologica.</i>	20
<i>Figura 12 – Inquadramento territoriale dell'area modellata con indicata la viabilità stradale principale.</i>	25
<i>Figura 13 – Attraversamenti del Fiume Biferno.</i>	26
<i>Figura 14 – Tombini di attraversamento minori.</i>	27
<i>Figura 15 – DTM di riferimento.</i>	28
<i>Figura 16 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.</i>	29
<i>Figura 17 – Configurazione Post operam AdB (fonte: Planimetria con ubicazione interventi di progetto – Tavole D.2).</i>	31
<i>Figura 18 – Mappa delle zone di scabrezza di Manning utilizzata nel modello</i>	33
<i>Figura 19 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam 1 – TR200</i>	35
<i>Figura 20 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam 2 – TR200</i>	36
<i>Figura 21 – In rosso: tratti in cui gli argini vengono sormontati nello scenario ante operam 2 per TR200 anni.</i>	37
<i>Figura 22 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam 1 – TR30, TR200, TR300, TR500</i>	39

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. C

<i>Figura 23 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam 2 – TR30, TR200, TR300, TR500.....</i>	40
<i>Figura 24 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Post operam 1– TR20041</i>	
<i>Figura 25 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Post operam 2 – TR20042</i>	
<i>Figura 26 – Differenza tra i massimi livelli idrici: Post operam 1 – ante operam 1 – TR200</i>	43
<i>Figura 27 – Differenza tra i massimi livelli idrici: Post operam 2 – ante operam 2 – TR200</i>	43
<i>Figura 28 – Tratto del fiume Biferno implementato in HEC RAS (modalità monodimensionale) e confronto tra la relazione tirante-portata nel modello monodimensionale (in rosso) e bidimensionale (in blu).....</i>	44
<i>Figura 29 – Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni</i>	55
<i>Figura 30 – Planimetria con indicazione delle pile in corrispondenza all'alveo e alla gola del Biferno del viadotto VI02.</i>	56
<i>Figura 31 – Planimetria con indicazione delle pile verificate poste all'esterno dell'alveo del Biferno (viadotto VI01, area 2).....</i>	59
<i>Figura 32 – Planimetria con indicazione delle pile verificate poste all'esterno dell'alveo del Biferno (viadotto VI02).</i>	60
<i>Figura 33 – Sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità idraulica del PAI.</i>	67
<i>Figura 34 – Sovrapposizione del tracciato con l'estensione delle aree allagate – configurazione ante operam 1 – TR 500 anni.....</i>	67
<i>Figura 35 – Sovrapposizione del tracciato con la fascia di riassetto fluviale.</i>	68

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 – Sintesi delle foto aeree e delle ortofoto utilizzate per l'analisi multitemporale dei principali sistemi fluviali della zona di intervento</i>	15
<i>Tabella 2 - Valori di scabrezza secondo le NA del PAI Biferno.</i>	32
<i>Tabella 3 – Tempi di ritorno richiesti per le verifiche idrauliche.</i>	34
<i>Tabella 4 – risultati che si ottengono per le portate massime alla sezione del viadotto</i>	45
<i>Tabella 5 – Franchi richiesti dalle NA – PAI Biferno e minori</i>	45
<i>Tabella 6 – Livelli e franchi per il viadotto di progetto, scenario post operam 1.</i>	47
<i>Tabella 7 – Livelli e franchi per il viadotto di progetto, scenario post operam 2.</i>	49
<i>Tabella 8 – Coefficiente correttivo K_1.....</i>	51
<i>Tabella 9 – Coefficiente correttivo K_3.....</i>	51
<i>Tabella 10 – Variabili idrauliche e dimensioni delle pile in corrispondenza del Biferno.</i>	56
<i>Tabella 11 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile del viadotto VI02 sul fiume Biferno secondo le diverse equazioni e valore medio e massimo considerando il valore del massimo tirante e della velocità ad esso associata.....</i>	57
<i>Tabella 12 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile del viadotto sul fiume Biferno</i>	

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C

<i>secondo le diverse equazioni e valore medio considerando il valore della massima velocità e il tirante ad esso associato.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabella 13 – Diametri e lunghezze equivalenti delle pile considerando la presenza della fondazione</i>	<i>58</i>
<i>Tabella 14 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile del viadotto VI02 sul fiume Biferno secondo le diverse equazioni e valore medio considerando la presenza della fondazione...58</i>	
<i>Tabella 15 – Variabili idrauliche e dimensioni delle pile poste all'esterno dell'alveo del Biferno.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabella 16 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile poste all'esterno dell'alveo del Biferno secondo le diverse equazioni e valore medio.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabella 17 – Diametri e lunghezze equivalenti delle pile considerando la presenza della fondazione</i>	<i>62</i>
<i>Tabella 18 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile poste all'esterno dell'alveo del Biferno secondo le diverse equazioni e valore medio, considerando anche la presenza della fondazione.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabella 19 – Verifica delle protezioni di sponda.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabella 20 – Verifica delle protezioni di fondo.</i>	<i>64</i>
<i>Tabella 21 – Classi di pericolosità idraulica – PAI Biferno e Minori.....</i>	<i>66</i>

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C


1 PREMESSA

La presente relazione descrive lo studio idraulico eseguito mediante modellazione numerica bidimensionale del Fiume Biferno, 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, Biferno 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 presenza degli interventi di messa in sicurezza previsti dall'Autorità di Bacino.

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: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 7 DI 72

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO ITALFERR

Il progetto della Linea Pescara-Bari, raddoppio tratta Termoli-Lesina, si inquadra nell'ambito degli interventi relativi alle Infrastrutture strategiche di cui al capo IV del D.Lgs. n.163/2006 (ex Legge Obiettivo n.443/2001).

Facendo seguito ad un complesso percorso progettuale e di confronto con gli Enti, nel 2013 è stato sviluppato il progetto preliminare del raddoppio della tratta Termoli-Lesina, che prevedeva la suddivisione in tre lotti funzionali:

- Lotto 1: Ripalta-Lesina, dal km 24+200 al km 31+044, sviluppo di circa 6,8 km;
- Lotto 2: Termoli-Campomarino, dal km 0+000 al km 5+940, sviluppo di circa 5,9 km;
- Lotto 3: Campomarino-Ripalta, dal km 5+940 al km 24+200, sviluppo di circa 18,3 km.

Il CIPE, con Delibera n. 2 del 28/1/2015, ha approvato il Progetto Preliminare con prescrizioni e raccomandazioni.

Per il Lotto 1 è stato sviluppato il Progetto Definitivo e, in data 23/10/2018, è stato pubblicato il bando di gara sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (GUUE n. 2018/S 204-466416).

I Lotti 2 e 3 sono stati invece interessati dalla prescrizione n. 50 che il CIPE ha formulato in sede di approvazione del Progetto Preliminare, in cui veniva richiesto di *“valutare gli impatti economici sul progetto, derivanti dalla soluzione proposta dalla Regione Molise per l'ottimizzazione urbanistica e territoriale del tracciato tra la prog. 1+940 (lotto 2) e 8+298 (lotto 3) (prescrizione n. 1 Regione Molise)”*.

Tale soluzione (cosiddetta “Variante Molise”) prevede una variante localizzativa in prossimità del Comune di Campomarino, con l'arretramento del tracciato rispetto alla costa, in luogo del raddoppio della linea esistente.

Il 22/9/2015, con nota RFI-AD\A0011\P\2015\0002531, RFI ha inviato al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT) lo studio relativo alla valutazione degli impatti economici sul progetto derivante dalla soluzione proposta dalla Regione Molise.

Il 16/5/2017, con nota RFI-DIN-DIS.AD\A0011\P\2017\0000365, RFI ha trasmesso lo Studio di Fattibilità della Variante Molise al MIT. In detta nota si richiedeva la convocazione di un tavolo tecnico con gli Enti interessati finalizzato alla condivisione del nuovo tracciato della “Soluzione Regione Molise”.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C

Il MIT, con nota *M INF.TFE.REGISTRO UFFICIALE.U.0003974* del 5/7/2017, ha convocato Regione Molise, Regione Puglia, Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), oltre a RFI, per il giorno 25/7/2017 al fine di condividere la soluzione progettuale sviluppata.


La Regione Molise non ha formulato osservazioni al tracciato presentato.

A seguito dell'introduzione della "Variante Molise" è venuta meno la possibilità di prevedere due lotti funzionali per la tratta in oggetto, Lotto 2 e Lotto 3.

Pertanto, il presente Progetto Definitivo, considera un unico lotto funzionale (denominato Lotto 2-3) tra Termoli e Ripalta, con uno sviluppo complessivo di 24.9 km.

L'intervento prevede:

- nel tratto iniziale, tra il km 0+000 e il km 2+400, l'utilizzo del sedime ferroviario esistente. Non si prevede quindi l'ampliamento della sede ferroviaria lato mare per la realizzazione del binario di raddoppio ma si prevede l'utilizzo della linea per Campobasso. Quindi l'attuale binario Termoli-Lesina risulta essere il futuro binario dispari e l'attuale binario della linea per Campobasso risulta essere il futuro binario pari. Il collegamento verso Campobasso è garantito attraverso un bivio a raso al km 2+400 circa;
- tra il km 2+400 e il km 24+700 circa il tracciato è tutto in variante;
- tra il km 24+700 e il km 24+930 il progetto prevede l'ampliamento della sede esistente per la realizzazione del binario di raddoppio, con allaccio al raddoppio del 1° Lotto Funzionale.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. C

3 CONDIZIONI IDROLOGICHE

In Figura 1 è riportata l'estensione dell'area analizzata, il dominio di calcolo è limitato a sud-est e a nord-ovest dai versanti della valle del Fiume Biferno, a nord-est dalla linea di costa adriatica, a sud-ovest da una sezione ortogonale all'asse del fiume Biferno posta all'altezza del ponte Tanassi e da una sezione del Torrente Cigno posta circa 1 km a monte della confluenza.

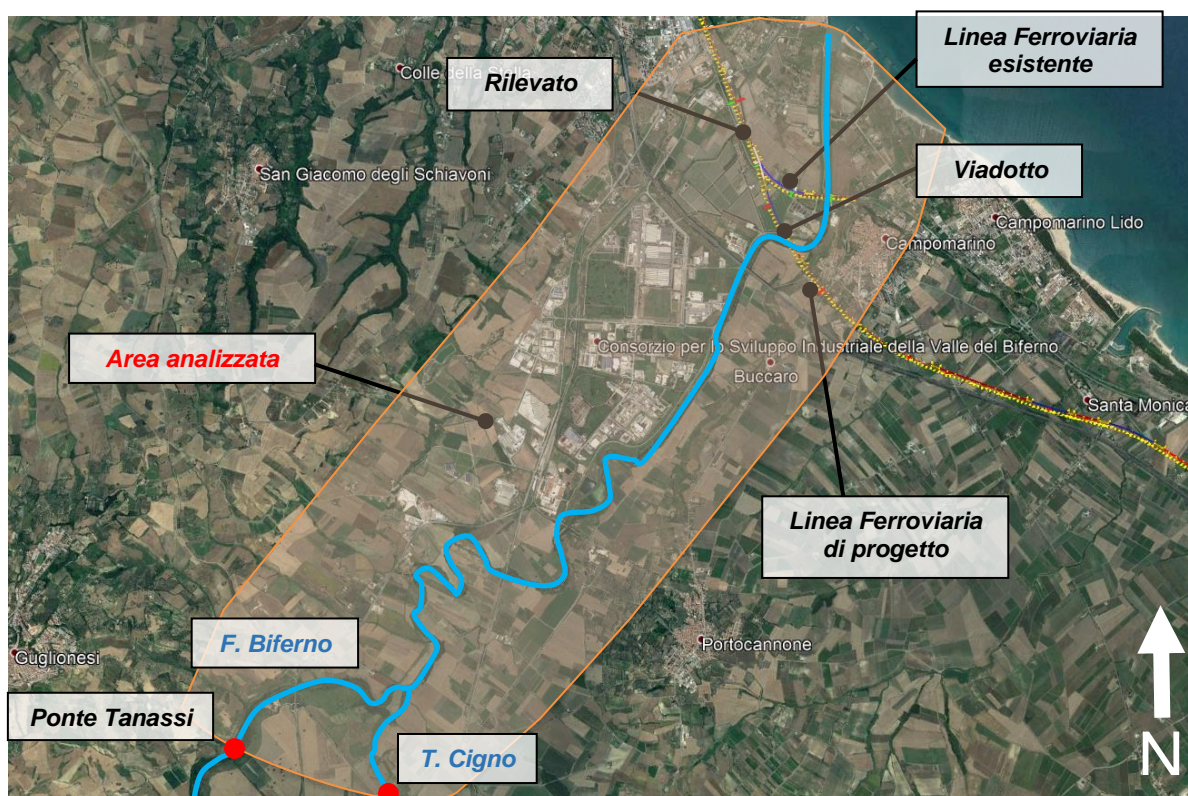


Figura 1 – Area modellata, sezione di applicazione dell'onda di piena in ingresso.

Le simulazioni idrauliche realizzate sono di tipo non stazionario, nelle sezioni di monte sono state immesse come condizioni al contorno le onde di piena fornite dall'Autorità di Bacino. 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 Biferno 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.

Nei grafici in Figura 2 sono riportate le onde di piena applicate al modello numerico, per i diversi tempi di ritorno che caratterizzano gli eventi di piena sintetici simulati. Gli idrogrammi di piena sono stati forniti dall'Autorità di Bacino competente.

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

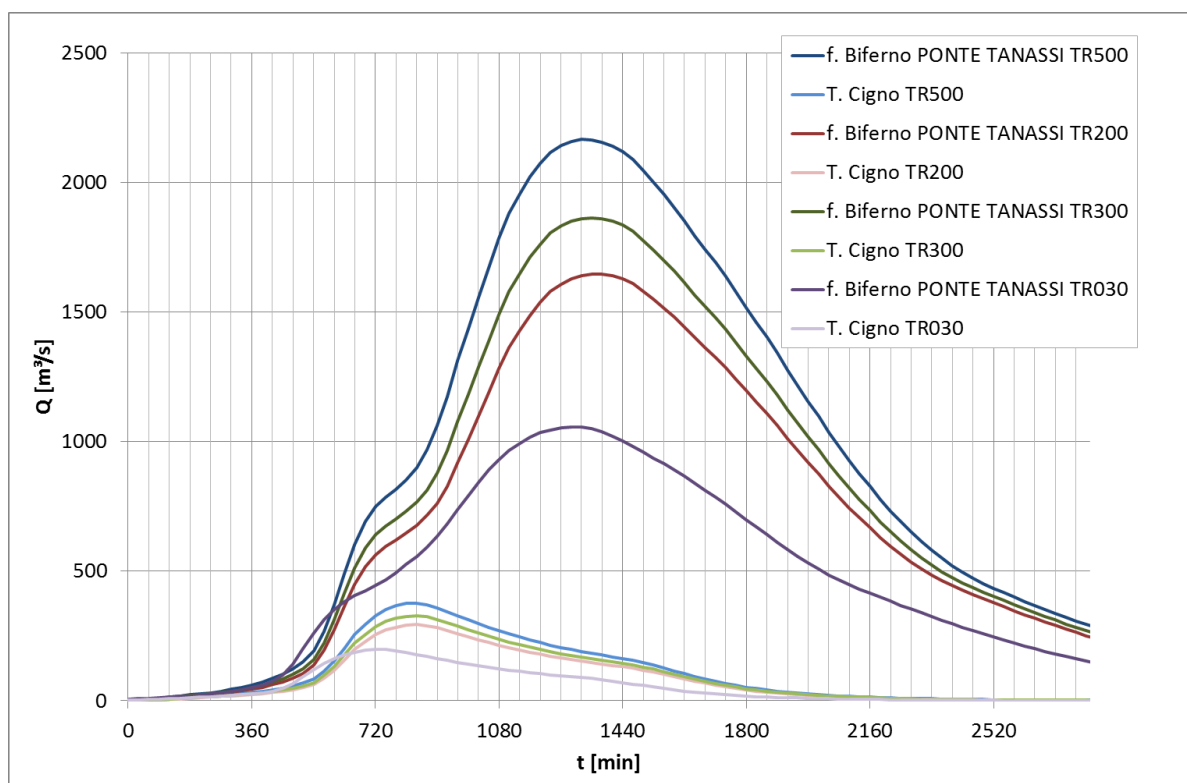


Figura 2 – Onde di piena adottate nella modellazione numerica (fonte: Autorità di Bacino)

Per ulteriori verifiche sono stati utilizzati anche gli idrogrammi idrologici (ovvero senza tener conto degli effetti idraulici di propagazione e laminazione della piena) alla sezione di interesse, in corrispondenza del nuovo viadotto ferroviario, anch'essi forniti dall'Autorità di Bacino (vedi Figura 3).

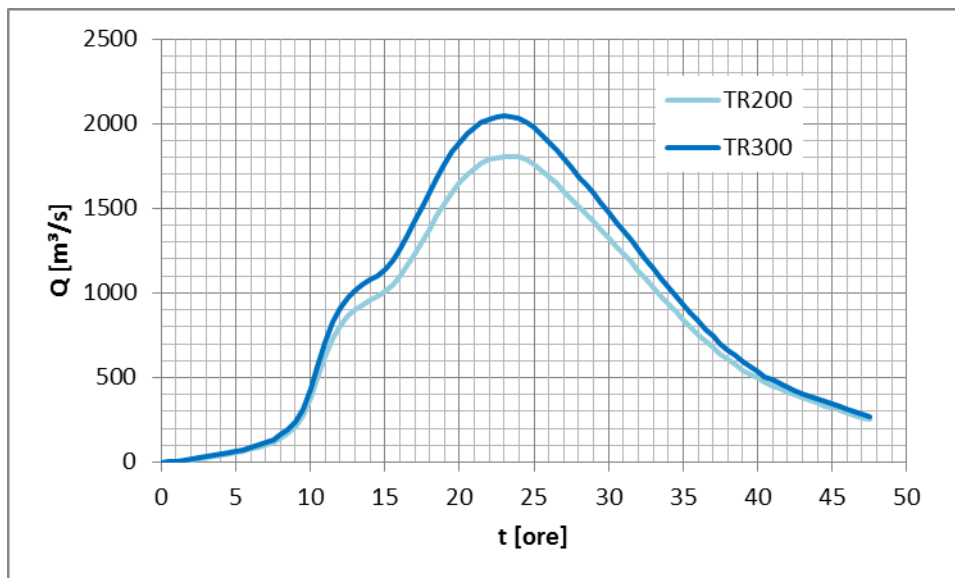


Figura 3 – Idrogrammi di piena del fiume Biferno alla sezione in corrispondenza del nuovo viadotto ferroviario (fonte: Autorità di Bacino)

4 EVOLUZIONE GEO-MORFOLOGIA DELL'AVEO DEL BIFERNO

Come evidenziato da numerosi studi geomorfologici (Aucelli & Rosskopf 2000; Surian & Rinaldi 2003; Aucelli et al. 2009b), nel corso degli ultimi 50 anni la maggior parte dei corsi d'acqua italiani ha subito rapide e consistenti variazioni morfologiche e piano altimetriche del proprio alveo fluviale. Nella quasi totalità dei casi, si tratta di fenomeni di restringimento dell'alveo fluviale e della pianura alluvionale, oltre che di abbassamento del fondo del letto (Aucelli et al. 2009b; Ziliani & Surian 2012; Scorpio et al. 2015).

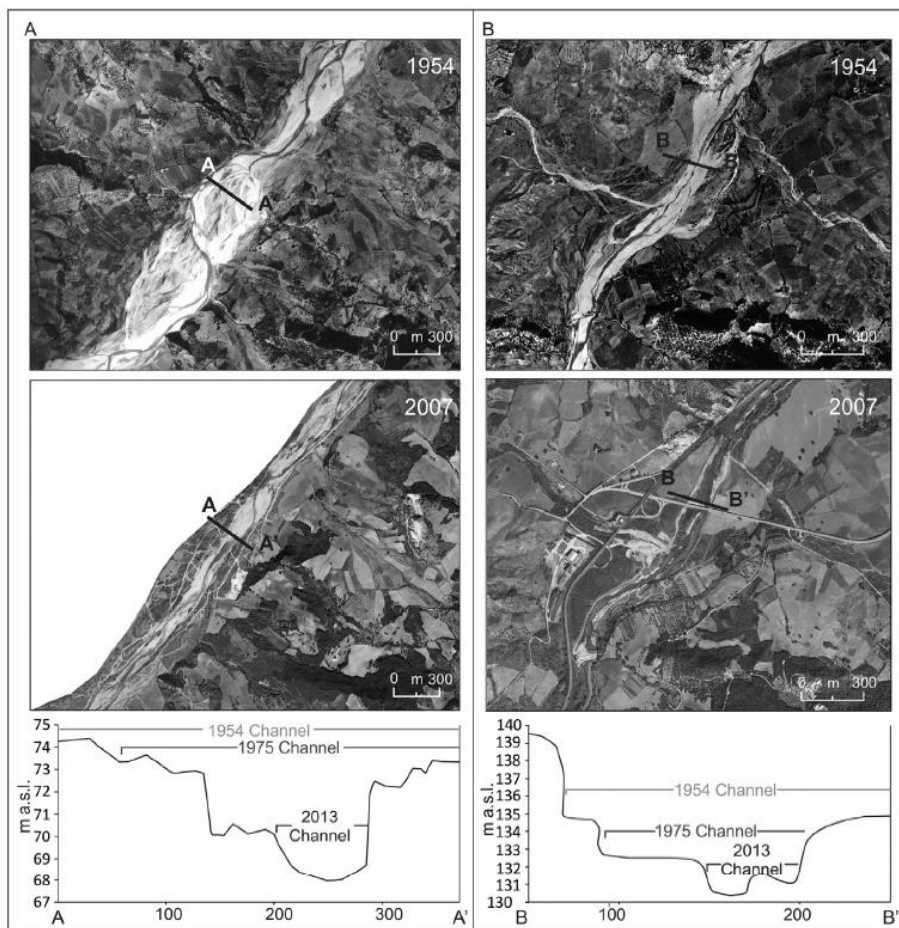



Figura 4 – Sezioni trasversali mostranti l'incisione del canale fluviale durante il periodo compreso tra il 1954 e il 2013 (da Scorpio et al. 2015): a) Fiume Trigno; b) Fiume Biferno.

La linea ferroviaria in progetto interessa il basso corso del Fiume Biferno che si sviluppa interamente a valle dell'invaso artificiale di Guardialfiera, per circa 22 km in direzione SW-NE fino alla costa adriatica. Questa porzione di fondovalle è caratterizzata dalla presenza di quattro ordini di terrazzo, che bordano l'alveo attuale e la sua relativa pianura alluvionale (Aucelli et al. 2009b; Rosskopf & Scorpio 2013). Le analisi morfologiche

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. C	FOGLIO 13 DI 72

condotte su questo settore hanno evidenziato che il tratto di monte (tratto A in fig 5), compreso tra la diga di Guardialfiera e lo sbocco del Vallone delle Tortore posto circa a 2 km a monte della confluenza tra il Fiume Biferno e il Torrente Cigno, è quello che ha subito le variazioni morfologiche più importanti nel corso degli ultimi decenni, soprattutto a causa della realizzazione dell'invaso artificiale (Aucelli et al. 2009b).

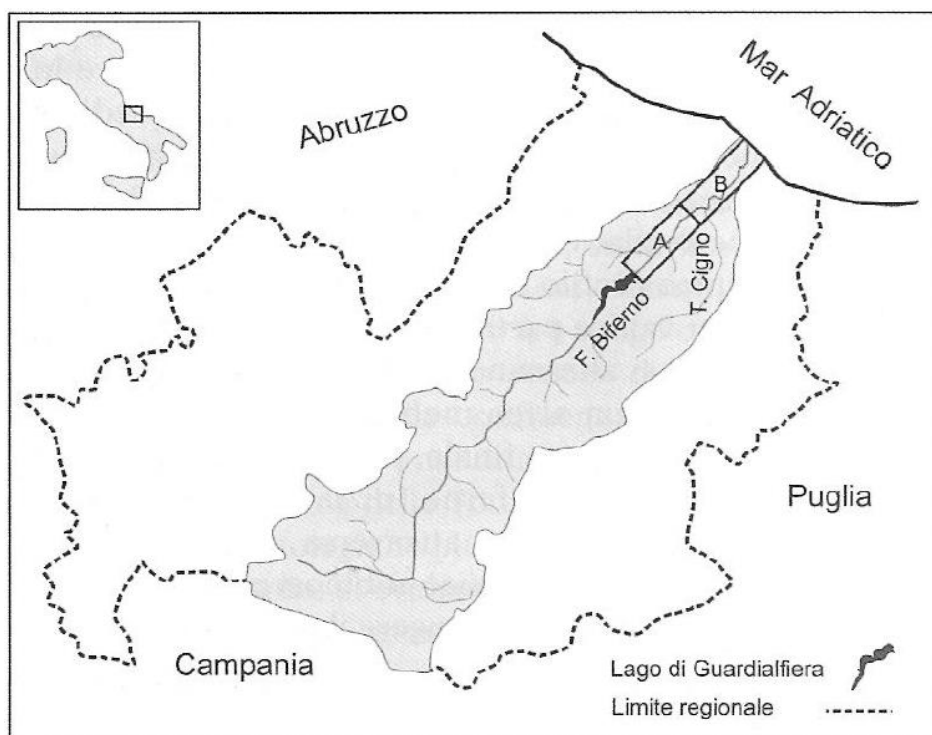


Figura 5 – Inquadramento del bacino idrografico del Fiume Biferno

Il tratto nord-occidentale del fondovalle, compreso tra lo sbocco del Vallone delle Tortore e la costa adriatica (tratto B in fig. 5) e sul quale ricade l'attraversamento in progetto, è stato invece caratterizzato da una evoluzione morfologica poco evidente nel corso degli ultimi decenni (Aucelli et al. 2009b), in quanto conserva una morfologia d'alveo di tipo meandriforme con canale monocursale a media sinuosità e subisce delle variazioni planimetriche molto limitate (Aucelli et al. 2009b; Roskopf & Scorpio 2013). Tra il 1869 e il 1954 le variazioni morfologiche consistono essenzialmente nella formazione e nell'accentuazione di alcune anse di meandro, come quella posta immediatamente a valle della confluenza col Torrente Tentillo (Aucelli et al. 2009b). La relativa mobilità dell'alveo in questo periodo è testimoniata dai numerosi interventi di bonifica, come la realizzazione di argini lungo il Biferno, realizzati all'inizio del 1900 per proteggere il tratto terminale di fondovalle dalle frequenti inondazioni (Aucelli et al. 2009b).

Dopo il 1954, l'ansa destra che separa i due meandri subisce un taglio parziale prima con la riattivazione di un canale secondario (chute cut-off) e successivamente con l'abbandono definitivo dell'originario canale principale (fig. 6C) (Aucelli et al. 2009b). Tra il 1954 e il 1977 avviene anche il taglio artificiale del meandro di Drizzagno, in sinistra idrografica del Fiume Biferno, nella zona industriale di località Rivolta del Re (Aucelli et al. 2009b). L'evoluzione morfologica dell'alveo è stata accompagnata da un notevole restringimento sia dell'alveo attivo che della piana alluvionale, con un approfondimento della linea di fondo pari a 4-5 m (Aucelli et al. 2009b; Roskopf & Scorpio 2013), come testimoniato dai terrazzi di I e II ordine che già nel 1954 costituivano delle superficie terrazzate.

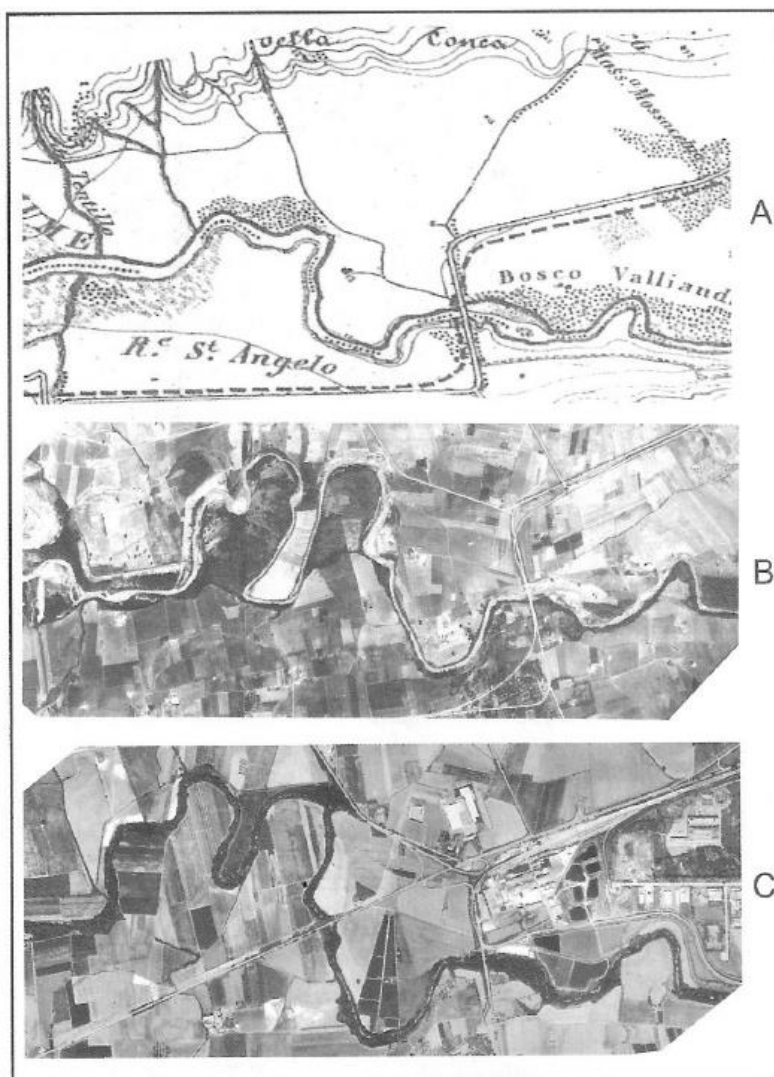



Figura 6 – Evoluzione del doppio meandro posto a valle della confluenza del torrente Tentillo dal 1869 (A) al 1954 (B) e al 1992 (C)

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C

Per poter verificare in maniera puntuale e dettagliata l'evoluzione recente del Biferno in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, è stata condotta un'analisi multitemporali su foto aeree e ortofoto di sette differenti voli. Le foto spaziano dal 1954 al 2012 e sono sintetizzate nella tabella seguente.

Volo	Scala	Strisciata	Fotogrammi
Volo Base 1954 (I.G.M.)	1:33.000	125 126	4334-4336 4414-4416
Volo 1988-1989 (ortofoto)	1:33.000		
Volo Regione Molise 1992	1:13.000	8-41	204-206/59-61
Volo Italia Alta Quota 1994 (ortofoto)	1:75.000		
Volo 2000	1:5.000		
Volo Regione Abruzzo 2006 (ortofoto)	1:5.000		
Volo 2012	1:5.000		

Tabella 1 – Sintesi delle foto aeree e delle ortofoto utilizzate per l'analisi multitemporale dei principali sistemi fluviali della zona di intervento

Analisi multitemporale del Fiume Biferno

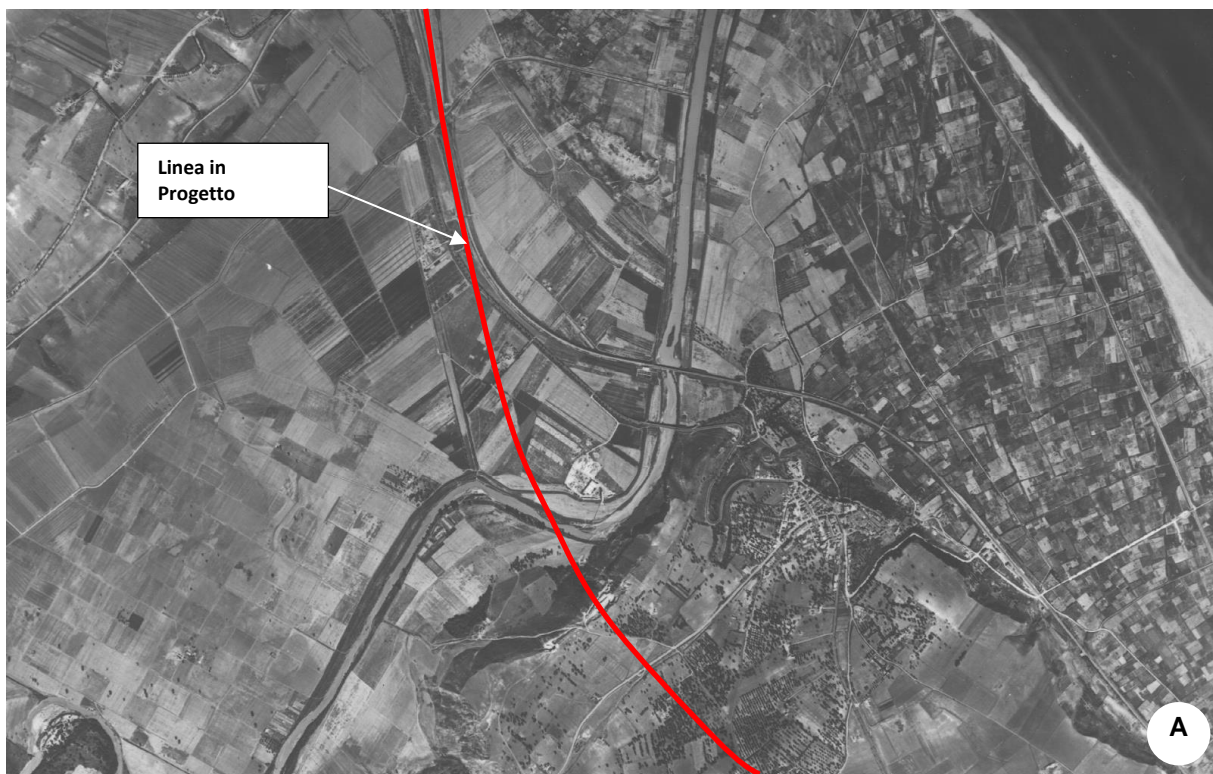


Figura 7 – A) Foto aerea 1954, B) Ortofoto 1988 (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>).



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

RELAZIONE IDRAULICA E DI
COMPATIBILITA' IDRAULICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02	D 78	RI ID0002 001	C	17 DI 72

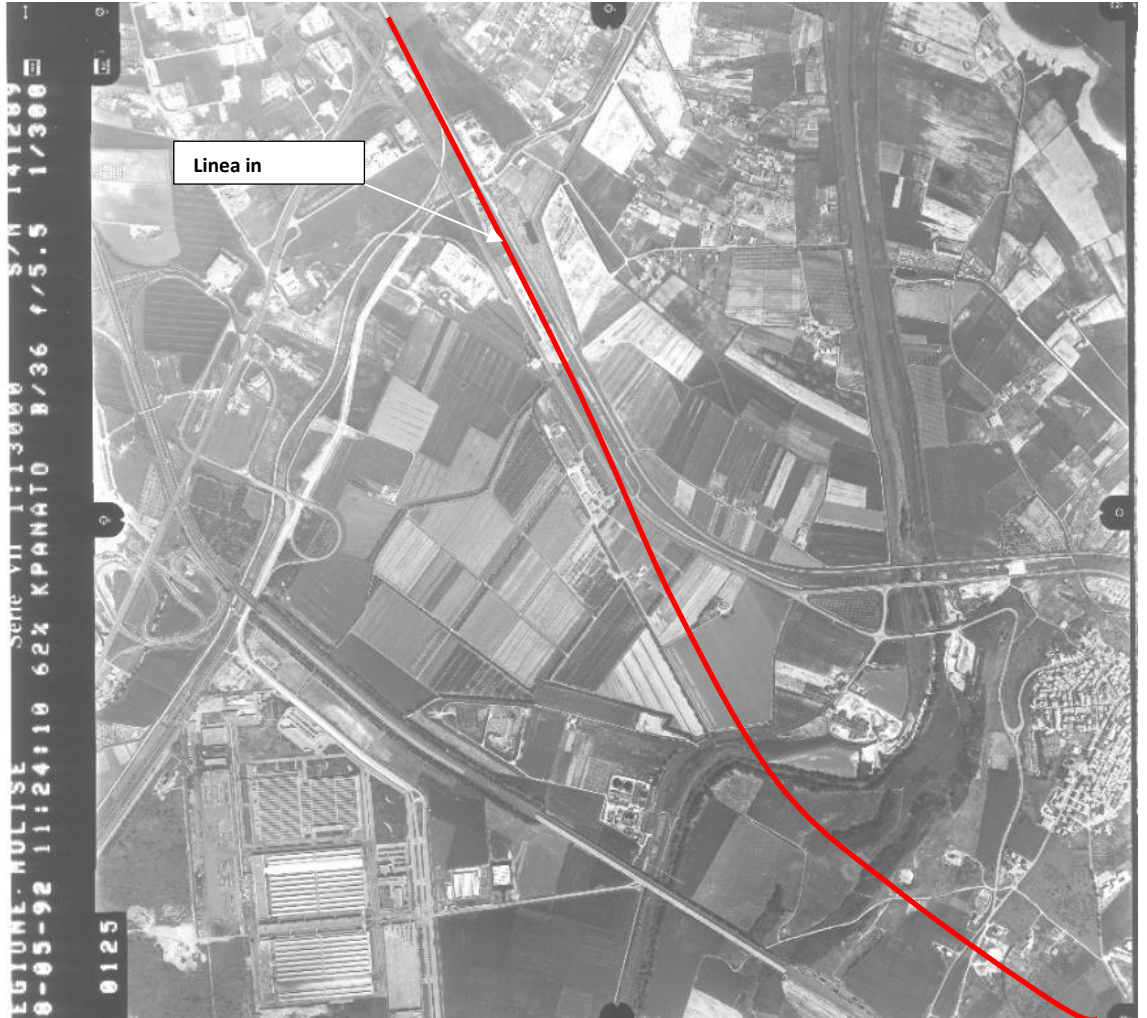


Figura 8 – Foto aerea 1992.



Figura 9 – A) Ortofoto 1994 (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>), B) Ortofoto 2000 (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>).



Figura 10 – A) Ortofoto 2006 (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>), B) Ortofoto 2012 (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>).

La bassa mobilità dell'alveo principale è in accordo con le informazioni geomorfologiche presenti in letteratura (Aucelli et al. 2009b; Roskopf & Scorpio 2013) e possono pertanto essere considerati stabili.

Se si osserva la mappa geomorfologica, risulta che nella zona dell'attraversamento, l'impronta dei terrazzi fluviali più recenti è più ridotta di quelli precedenti e che l'ingombro dell'alveo attivo al 2007 coincide praticamente con quello rilevato al 1954 (Figura 11).

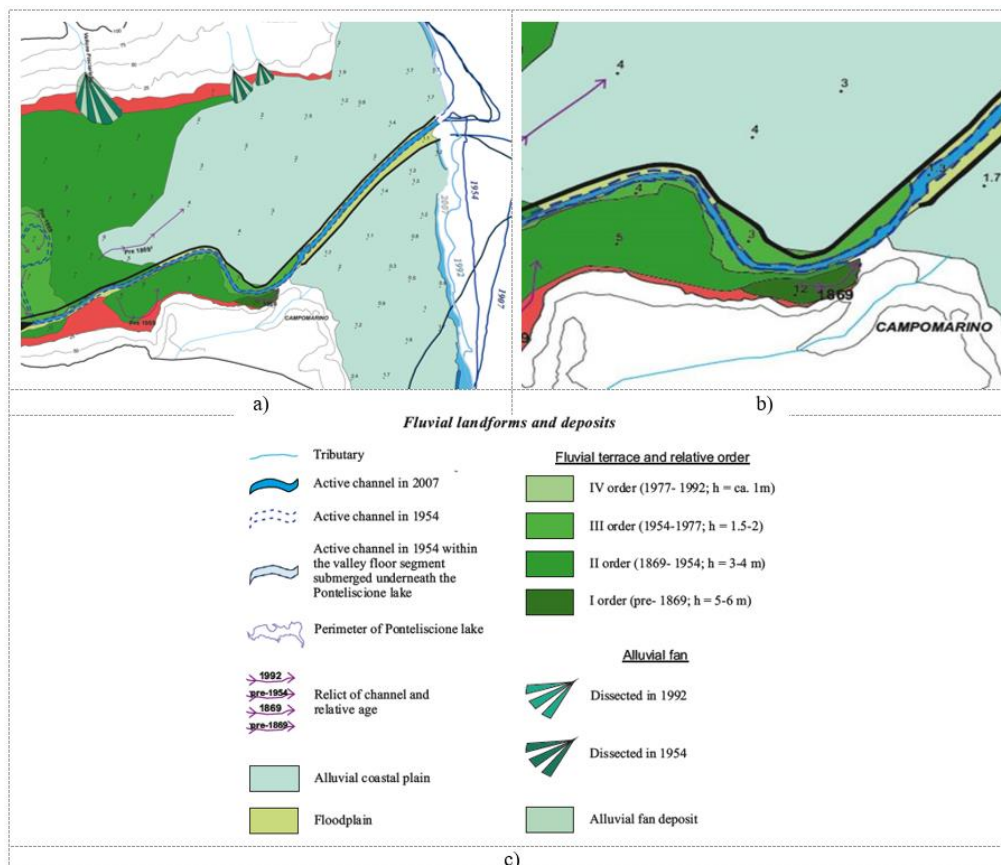


Figura 11 – Carta geomorfologica della foce del Fiume Biferno (da Roskopf & Scorpio 2013): a) carta geomorfologica del basso corso del Fiume Biferno; b) dettaglio geomorfologico della zona di interesse; c) legenda geomorfologica.

Da quanto esposto risulta evidente che i settori di piana alluvionale del Fiume Biferno sono attualmente caratterizzati da una debole tendenza evolutiva, connessa sia alle caratteristiche climatiche e geomorfologiche dell'area che alla forte attività antropica sviluppatasi sul territorio a partire dai primi anni del 1900. In particolare, le numerose opere di regimazione idraulica e di difesa spondale realizzate in questo settore di territorio hanno permesso di mantenere praticamente invariato l'andamento del suddetto corso d'acqua in tutti i settori di territorio prossimi all'attuale linea di costa. Allo stato attuale, pertanto, gli unici fenomeni fluviali che si registrano nella piana alluvionale sono connessi all'erosione puntuale delle sponde e a sporadici fenomeni di alluvionamento delle zone più depresse, mentre non si registrano importanti fenomeni erosivi o marcate variazioni di forma del fondovalle e dei meandri che lo costituiscono.

Le condizioni di stabilità dell'alveo saranno ulteriormente migliorate a seguito degli interventi di realizzazione di argini di contenimento, in destra e sinistra idraulica, e di

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LI02</td> <td>02</td> <td>D 78</td> <td>RI ID0002 001</td> <td>C</td> <td>21 DI 72</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	LI02	02	D 78	RI ID0002 001	C	21 DI 72
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
LI02	02	D 78	RI ID0002 001	C	21 DI 72								

risagomatura dell'alveo di magra del fiume (Progetto definitivo primo lotto della Regione Molise) previsti a cura di altra committenza.

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 22 DI 72

5 MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

La modellazione del comportamento idrodinamico delle acque del Fiume Biferno è stata sviluppata, per il tratto compreso tra il ponte Tanassi e la foce, avente una lunghezza di circa 15 km, mediante un modello di calcolo bidimensionale ai volumi finiti, applicato a moto vario.

Il software utilizzato per l'implementazione del modello è InfoWorks ICM sviluppato dalla software house *Innovyze (ex HR Wallingford)*. InfoWorks ICM consente calcoli di tipo mono-bidimensionali o bidimensionali puri. Data la conformazione morfologica del fiume, con sezione larga e ben definita situata all'interno di una piana con elementi di discontinuità morfologica evidenti, si è deciso di implementare un modello di tipo bidimensionale. La modellazione bidimensionale del corso d'acqua, applicando le equazioni in condizioni di moto vario, permette di rappresentare con accuratezza la propagazione delle onde di piena nell'asta fluviale e nella piana fluviale attigua 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 attraverso l'utilizzo di appositi elementi di calcolo che discretizzano i manufatti di attraversamento o le discontinuità morfologiche.

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.

Sono state condotte diverse simulazioni numeriche imponendo una portata variabile nel tempo alla sezione di immissione.

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

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 23 DI 72

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 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

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 24 DI 72

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)

5.2 Geometria del modello

InfoWorks ICM utilizza mesh non strutturate (con elementi triangolari) per rappresentare il dominio di calcolo bidimensionale.

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 sia il corso d'acqua (alvei e golene), sia i canali secondari e le aree ripariali potenzialmente allagabili. In particolare, la mesh è stata ottenuta utilizzando una particolare funzione del software che crea elementi tanto più piccoli quanto maggiori sono le differenze altimetriche in una determinata zona.

La Figura 12 riporta l'estensione del dominio di calcolo. Partendo dalla sezione di monte (ponte Tanassi), il dominio di calcolo si estende su una superficie di circa 23 km² e comprende l'asta del Fiume Biferno, che nel tratto analizzato si sviluppa per una lunghezza di circa 15 km. La larghezza del dominio di calcolo nella valle varia da 1.5 a 3.5 km.

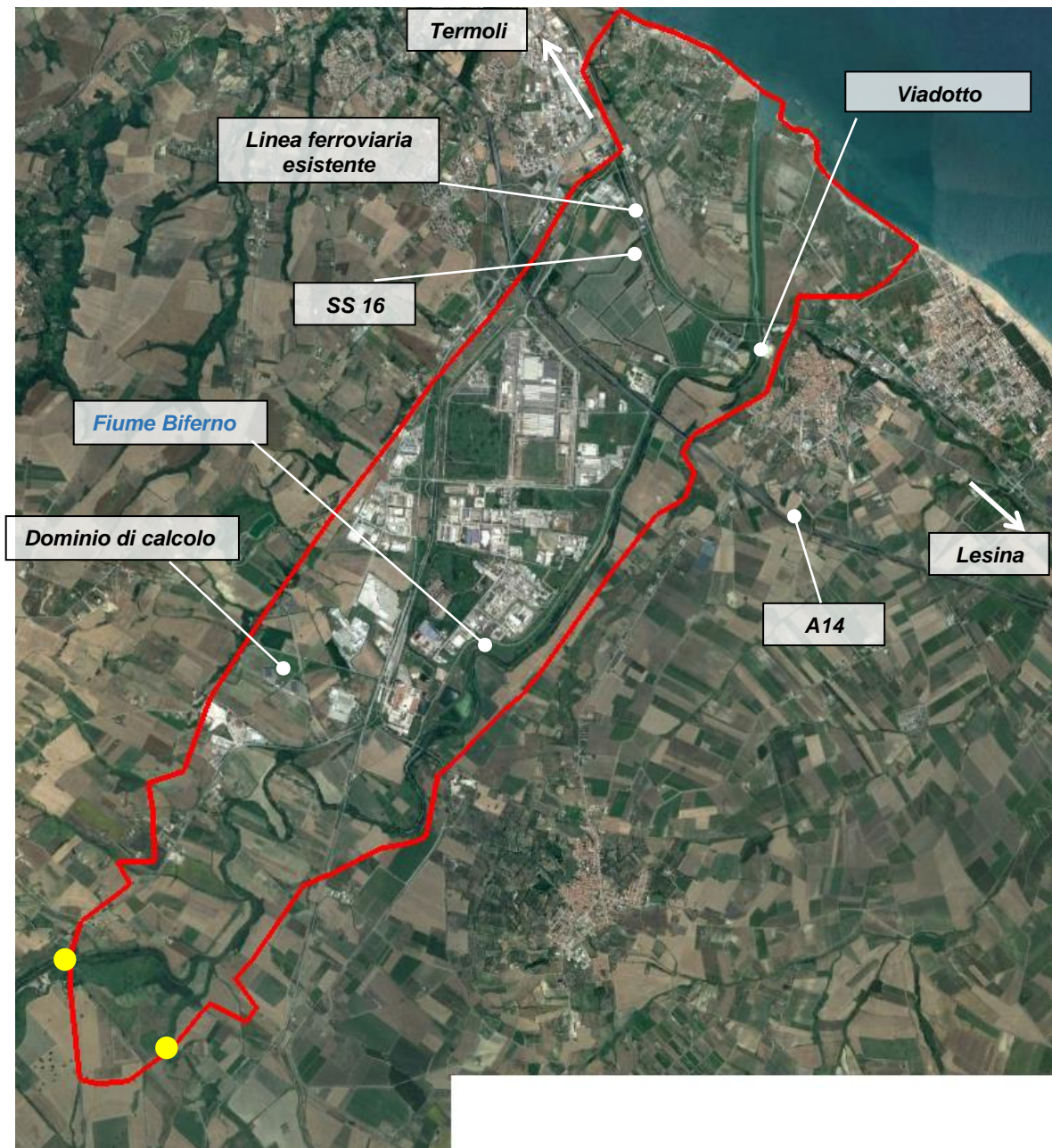


Figura 12 – Inquadramento territoriale dell'area modellata con indicata la viabilità stradale principale.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. C

L'area di maggiore interesse ai fini della modellazione è quella nel tratto di valle, comprendente la linea ferroviaria: sono presenti quattro attraversamenti (Figura 13), inseriti nel modello sulla base delle geometrie risultanti dai rilievi di dettaglio.



Figura 13 – Attraversamenti del Fiume Biferno

Nell'area di studio sono presenti diversi tombini di trasparenza dei rilevati. In Figura 14 sono riportate le posizioni dei tombini di trasparenza presenti allo stato attuale al di sotto dei rilevati della linea ferroviaria e della SS 16. Di tali elementi si è tenuto conto nel modello inserendo appositi elementi lineari con le relative dimensioni trasversali delle aperture.

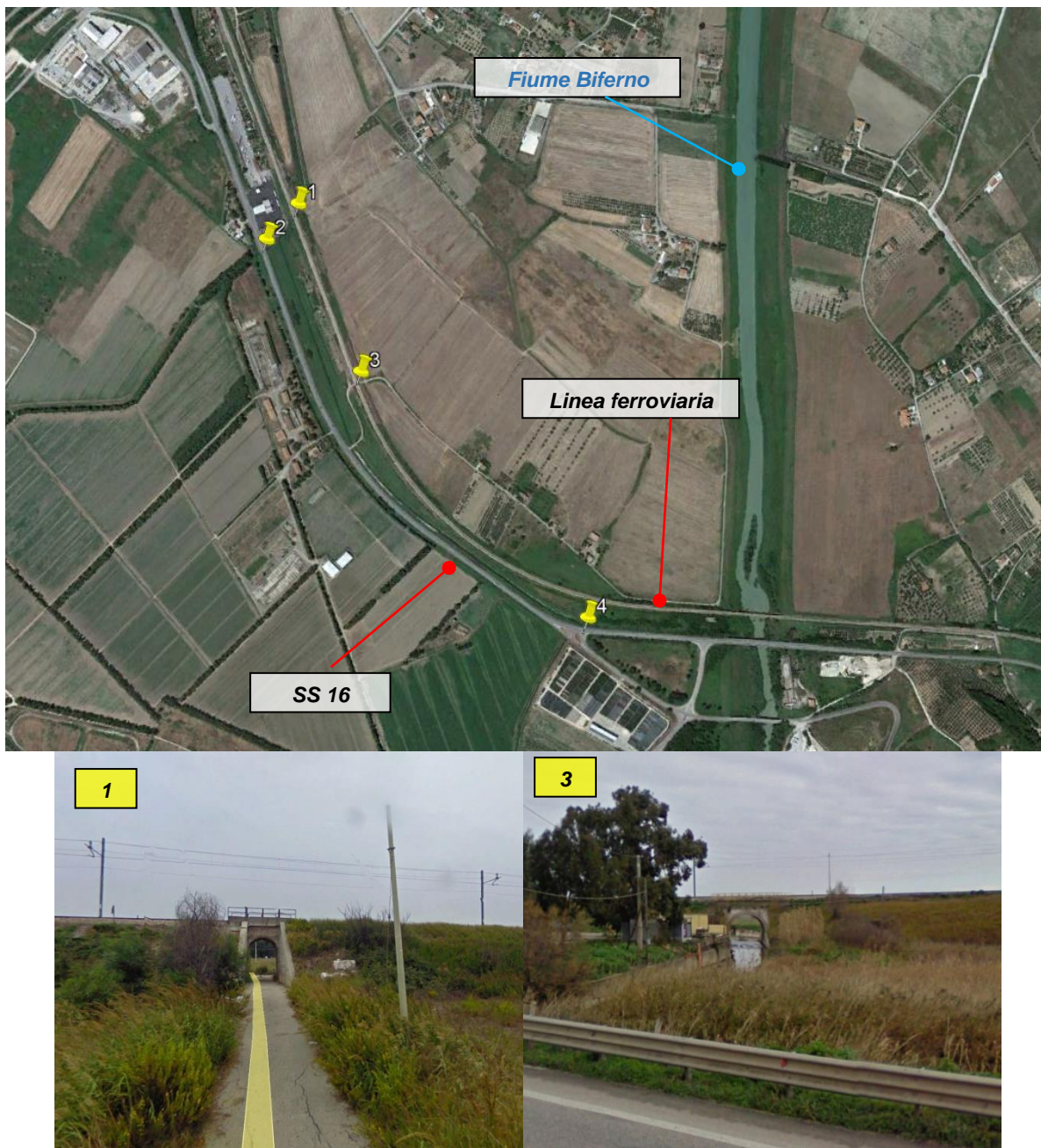


Figura 14 – Tombini di attraversamento minori.

L'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo è basato sull'utilizzo di un rilievo LIDAR effettuato dal Ministero dell'Ambiente, la cui risoluzione è superiore al metro. In Figura 15 è rappresentato il DTM dell'area di studio, evidenziando un ingrandimento di una porzione in cui è possibile apprezzare il livello di dettaglio molto elevato, adeguato simulare il comportamento idraulico dell'area di studio.

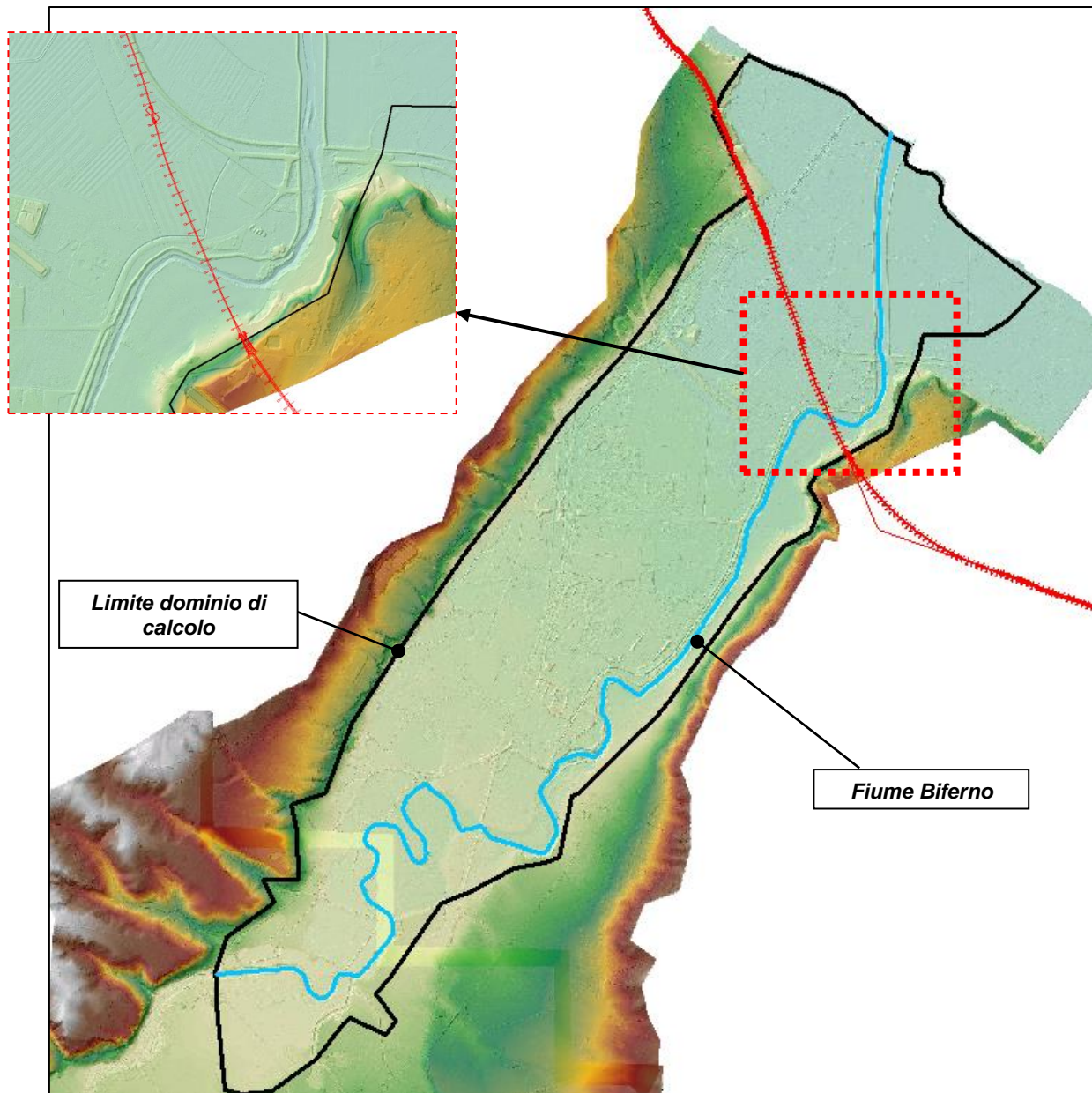


Figura 15 – DTM di riferimento

L'alveo di magra del Fiume Biferno è stato rappresentato con particolare accuratezza: è stata definita una superficie che ricostruisce nel dettaglio l'alveo inciso integrando i dati LIDAR con le sezioni di rilievo dell'Autorità di Bacino; per lo scenario "post operam AdB" sono state invece utilizzate, per integrare le informazioni del LIDAR, le sezioni degli interventi di ripristino dell'efficienza idraulica lungo l'asta principale del fiume Biferno (progetto di primo lotto della Regione Molise).

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 16, è costituita da circa 517'000 elementi. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni degli elementi

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 78 RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 29 DI 72

che definiscono l'alveo siano comprese tra 4 e 25 m², mentre nelle aree allagabili siano comprese tra 25 m² e 400 m². Sono stati effettuati ulteriori infittimenti della mesh in corrispondenza di tombini e sottovia nel tratto di valle, dove la dimensione minima degli elementi è pari a 1 m² (Figura 16).

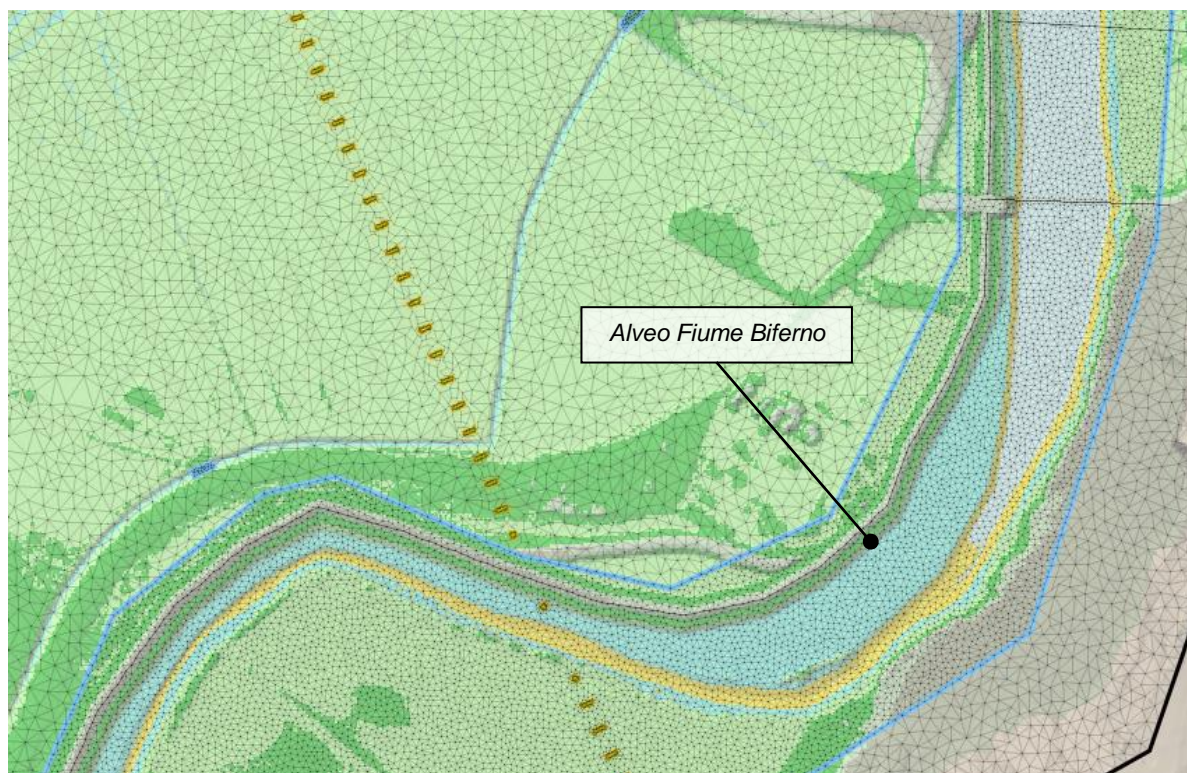


Figura 16 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM

Il dominio di calcolo risulta sufficientemente esteso verso monte per non introdurre, rispetto all'area di maggiore interesse nella presente analisi, degli effetti di bordo. In particolare, il dominio si estende da Ponte Tanassi e comprende il t. Cigno, come richiesto dall'Autorità di Bacino. Sono state quindi effettuate delle simulazioni preliminari volte ad individuare l'espansione massima delle aree allagabili e definire un dominio di calcolo che le comprende.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno del modello:

- sono stati inseriti gli idrogrammi di piena nelle due sezioni di a monte del modello (sul f. Biferno e sul t. Cigno);
- a valle lungo la linea di costa è stato imposto un livello di marea costante, pari a 0.5 m s.m.m.;
- lungo il perimetro del dominio di calcolo lato campagna, al fine di non bloccare i flussi idrici generati dall'espansione dell'allagamento è stata applicata una condizione di tipo

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C

“normal condition”, ovvero il flusso che raggiunge la linea di confine esce definitivamente dal dominio di calcolo.

5.3 Configurazioni geometriche

Partendo da quanto stabilito dalle NTA del PAI Biferno, “[...] 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 quattro differenti configurazioni geometriche, ante e post operam, nel seguito descritte:

1) **Ante operam 1**: rappresenta lo stato attuale dei luoghi e delle opere ferroviarie e idrauliche, non sono presenti interventi sulla linea ferroviaria esistente. Per la geometria dell'alveo si è fatto riferimento alle sezioni dei rilievi topografici eseguiti nell'ambito della redazione del *Progetto definitivo di sistemazione idraulica del fiume Biferno I Lotto* da parte della Regione Molise;

2) **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 Biferno descritte all'interno del progetto definitivo primo lotto della Regione Molise. Tali interventi di futura realizzazione, consistono in (si veda Figura 17):

1. Realizzazione argini di contenimento, in destra e sinistra idraulica;
2. Risagomatura dell'alveo di magra del fiume.

INTERVENTI I LOTTO I STRALCIO	
INTERVENTI PUNTUALI	
	Scarico idrovora presidiato
	Scarico presidiato
INTERVENTI LINEARI	
	Interventi di risagomatura dell'alveo
	Opere di contenimento longitudinali - Adeguamenti arginature
	Opere di contenimento longitudinale - Nuove arginature
INTERVENTI I LOTTO	
INTERVENTI PUNTUALI	
	Scarico presidiato
INTERVENTI LINEARI	
	Interventi di risagomatura dell'alveo e creazione scogliere
	Opere di contenimento longitudinali - Adeguamenti arginature
	Opere di contenimento longitudinali - Nuove arginature

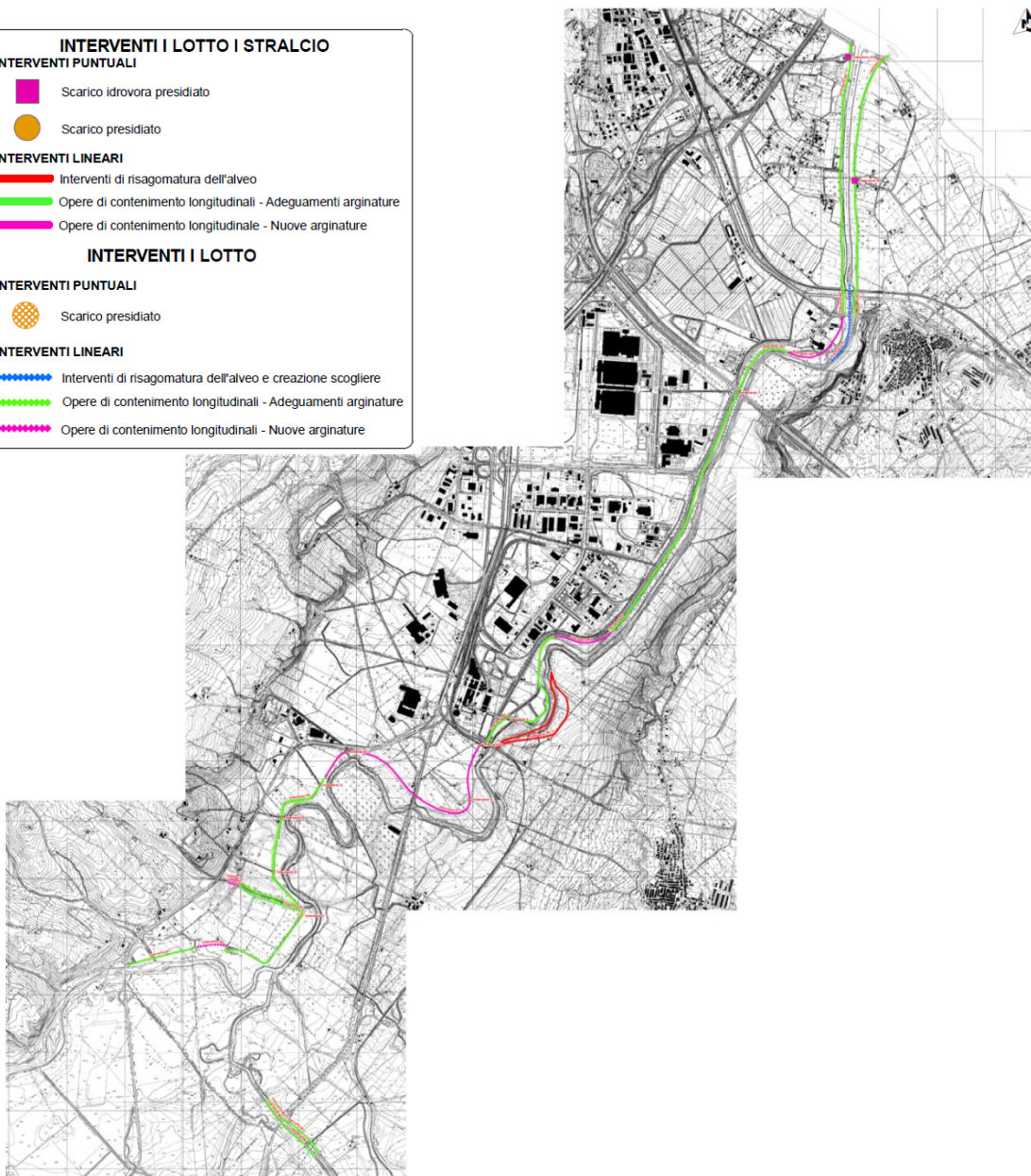


Figura 17 – Configurazione Post operam AdB (fonte: Planimetria con ubicazione interventi di progetto – Tavole D.2).

- 3) **Post operam 1**: rispetto alla configurazione “ante operam 1”, sono stati inseriti gli interventi previsti nel progetto definitivo della linea ferroviaria, consistenti principalmente nei nuovi viadotto e rilevato, e nelle opere ad esso connesse.
- 4) **Post operam 2**: rispetto alla configurazione “ante operam 2”, sono stati inseriti gli interventi previsti nel progetto definitivo della linea ferroviaria della configurazione precedente (“post operam 1”).

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 32 DI 72

5.4 Definizione delle scabrezze modello

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

Descrizione del corso d'acqua	Ks [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 Biferno.

Per l'alveo di magra sono stati assegnati valori tra 0.028 e 0.033 s/m^{1/3} (scabrezza di Manning); per le golene invece i coefficienti utilizzati sono $0.033 - 0.04$ s/m^{1/3}; alle aree esterne agli alvei, sono stati assegnati valori di scabrezza variabili sulla base dei dati dell'uso del suolo e delle ortofoto (viabilità, zona industriale, area coltivata, area vegetata, ecc.). La figura seguente rappresenta la mappa delle zone di scabrezza inserite nel modello.

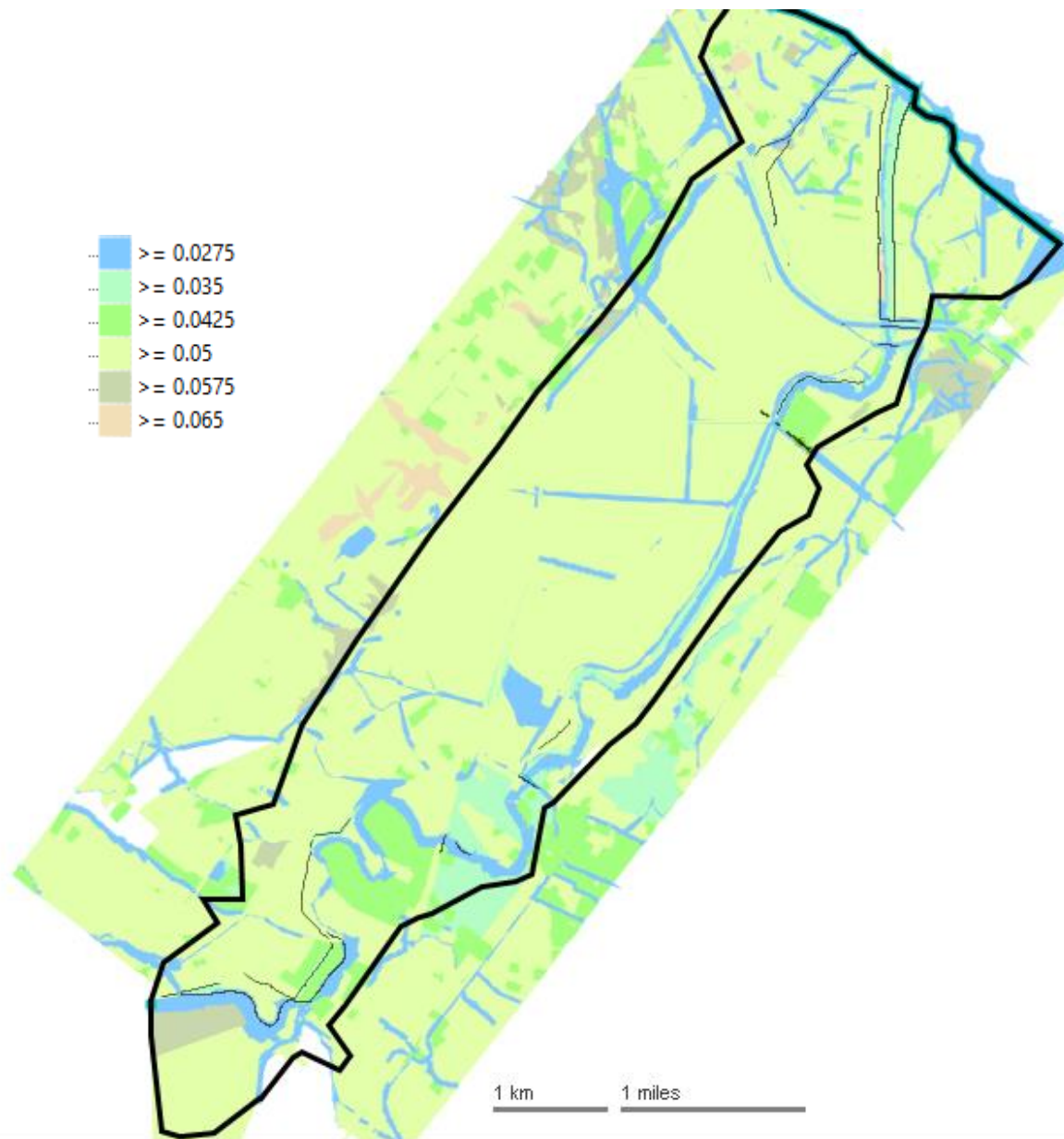


Figura 18 – Mappa delle zone di scabrezza di Manning utilizzata nel modello

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 34 DI 72

6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

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 Biferno</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 Biferno.

I risultati delle simulazioni numeriche condotte in questa fase sono riportati negli elaborati grafici allegati (planimetrie delle aree di esondazione). In tali elaborati sono rappresentati i livelli e le velocità ricavati dalle simulazioni numeriche per onde di piena caratterizzate da tempi di ritorno di 200 e 300 anni. In tali elaborati grafici sono esposti i risultati ottenuti adottando le sei configurazioni geometriche descritte precedentemente, Ante Operam 1 e 2, e Post Operam 1 e 2.

La presente relazione riporta anche i risultati ottenuti nei 4 scenari per l'evento cinquecentennale.

6.1 Simulazioni Ante Operam

In Figura 19 e Figura 20 sono riportati i massimi tiranti idrici e l'estensione delle aree allagate ottenute rispettivamente per le configurazioni ante operam 1 e ante operam 2, per la piena con tempo di ritorno 200 anni.

La sezione fluviale attuale (ante operam) risulta insufficiente in più tratti, così che la piena tracima gli argini esistenti in più punti.

Rispetto alla situazione ante operam 1 (corrispondente allo stato attuale), nello scenario ante operam 2, gli argini in progetto consentono una riduzione delle aree allagabili nella piana del F. Biferno, in termini di estensione e soprattutto di tiranti. La Figura 21 mostra i tratti in cui gli argini della configurazione ante operam 2, previsti dal progetto Regione Molise, vengono tracimati: il sormonto si verifica in prossimità degli

attraversamenti della SP84 dir e della SP87.

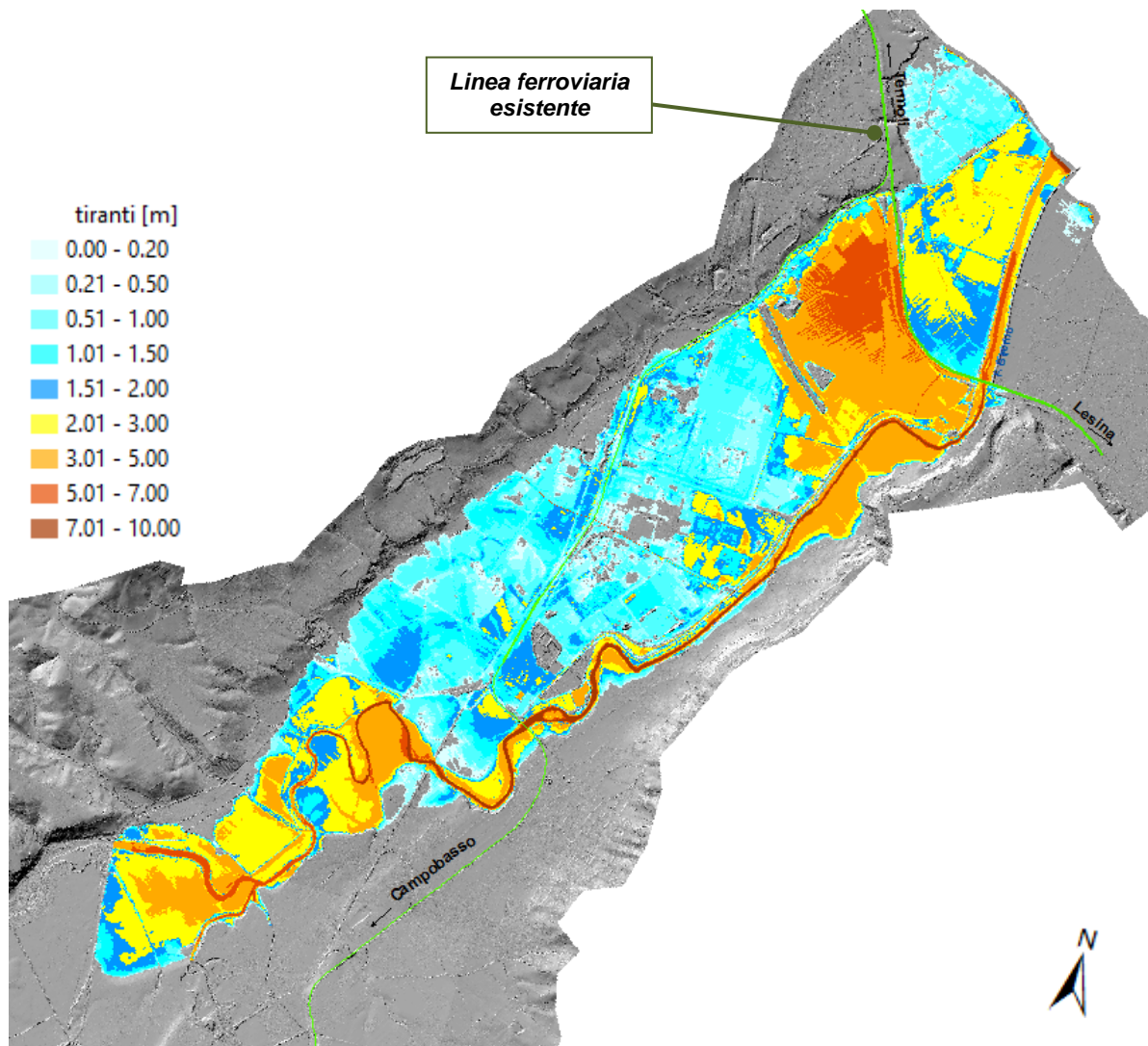


Figura 19 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam 1 – TR200

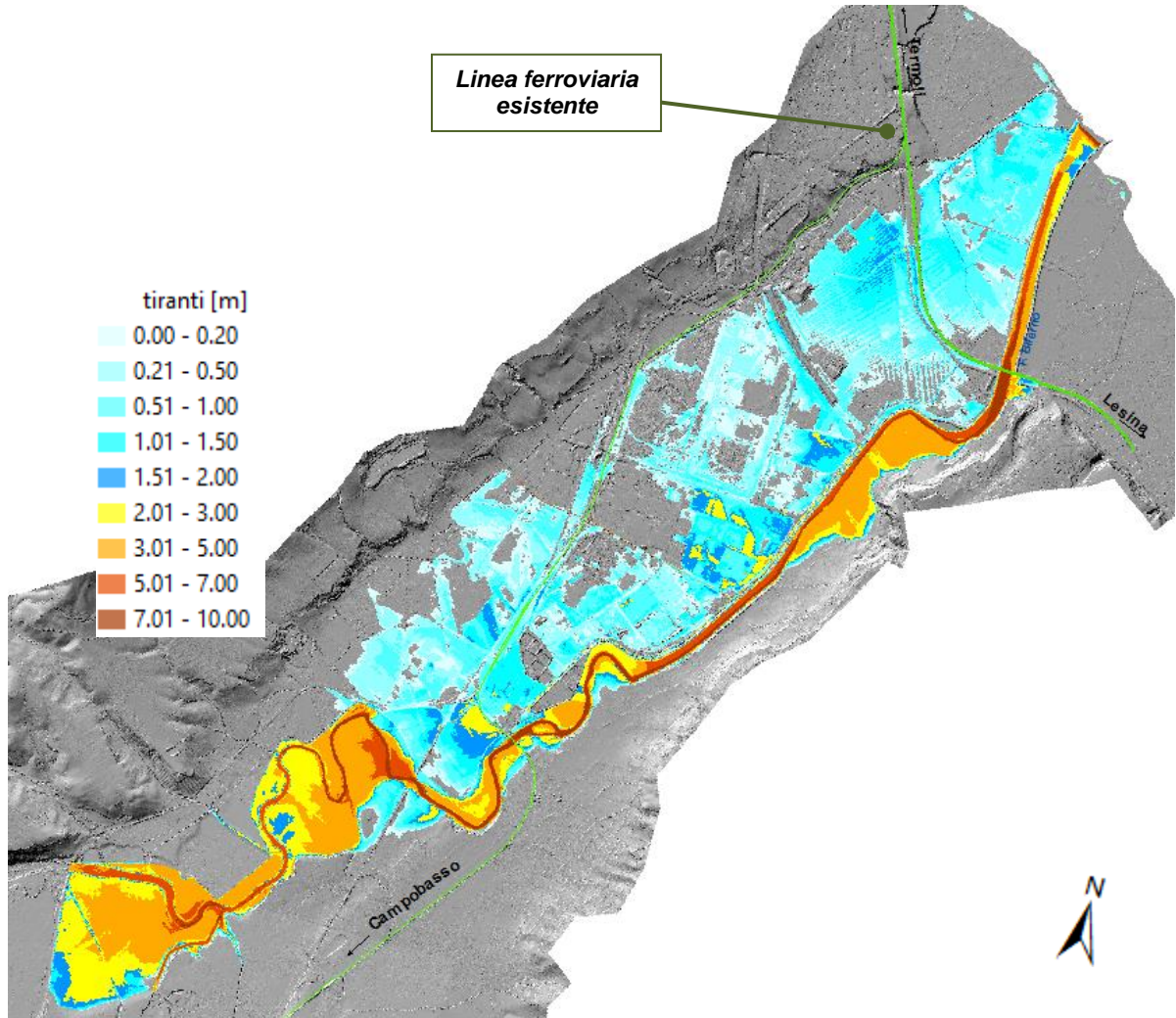


Figura 20 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam 2 – TR200

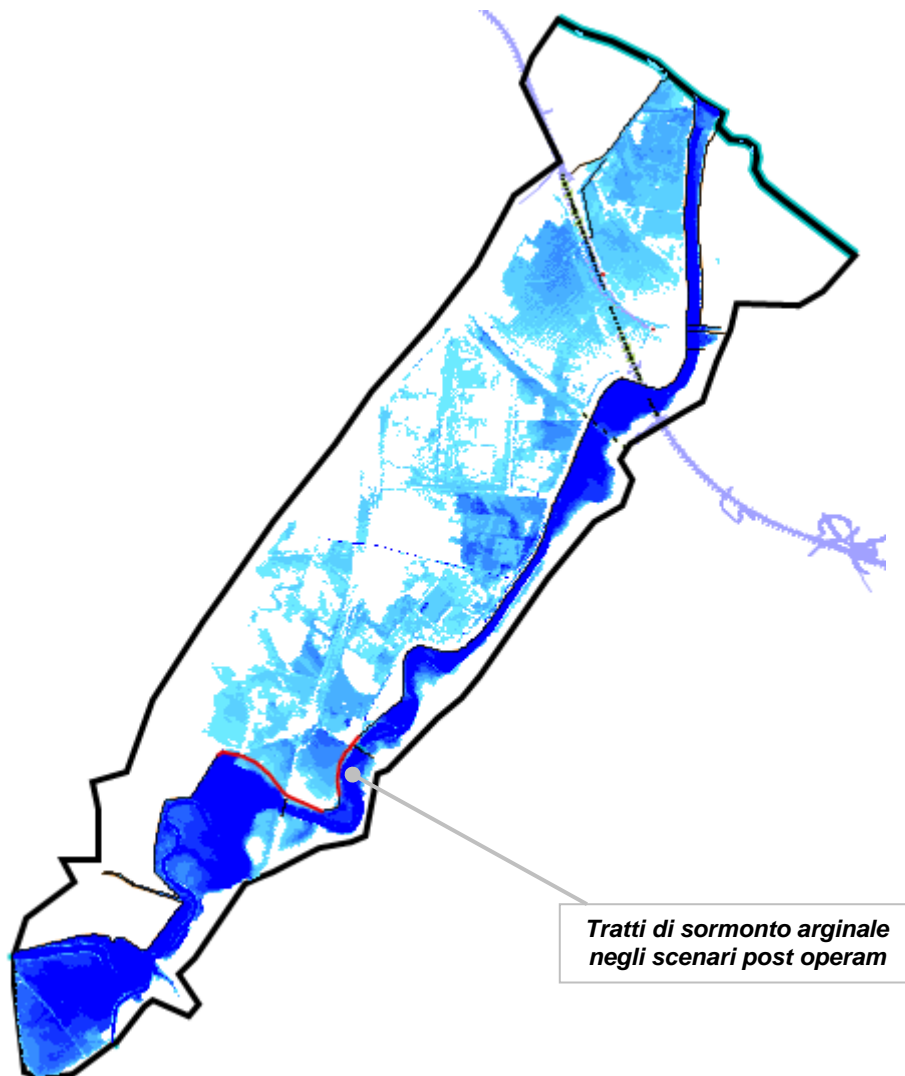


Figura 21 – In rosso: tratti in cui gli argini vengono sormontati nello scenario ante operam 2 per TR200 anni

Come si osserva nelle figure seguenti, l'estensione degli allagamenti nella configurazione ante operam 1 non presenta differenze significative tra i diversi tempi di ritorno (Figura 22), mentre differenze nei risultati più significative si verificano nella configurazione ante operam 2 (Figura 23).

I risultati ottenuti sono pertanto in linea con quanto riportato nel PAI del fiume Biferno e minori: “[...] nel tratto di valle, i primi allagamenti di una certa estensione si verificano nella zona dello svincolo Biferno Cigno presso Guglionesi, al viadotto Tanassi della S.S. Bifernina. Gli allagamenti proseguono con sensibile estensione (già per $Tr=30$ anni) fino allo svincolo del Biferno (zona Zuccherificio del Molise) per insufficienza arginale. A valle

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI- LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C

dello Zuccherificio del Molise, e fino alla foce, le arginature sono sufficienti a contenere la piena con $T_r=30$ anni ad eccezione del tratto adiacente al depuratore in loc. Rivolta del Re (zona viadotto autostradale): qui l'arginatura sinistra, almeno dalle risultanze dei rilievi topografici condotti nello "Studio del rischio idrogeologico nella Regione", è localmente più bassa e permette esondazioni che raggiungono la loc. Pantano Basso posta a qualche km di distanza e una parte dell'area a valle della linea ferroviaria Adriatica (per il tramite di un sottovia). Per eventi con tempo di ritorno 200 anni l'aggravio generale del quadro delle esondazioni riguarda soprattutto l'area del Bosco Tanassi a Guglionesi e l'area industriale ove è ubicato lo Zuccherificio del Molise, la Fabbrica Cavi Elettrici A.C.E., la stazione ferroviaria di Portocannone, lo Stabilimento O.S.I. Italia, lo Stabilimento Fiat e numerosi altri opifici, nonché quella agricola e residenziale a sinistra della foce del Biferno; solo in piccola misura esondazioni avvengono anche a destra della foce."

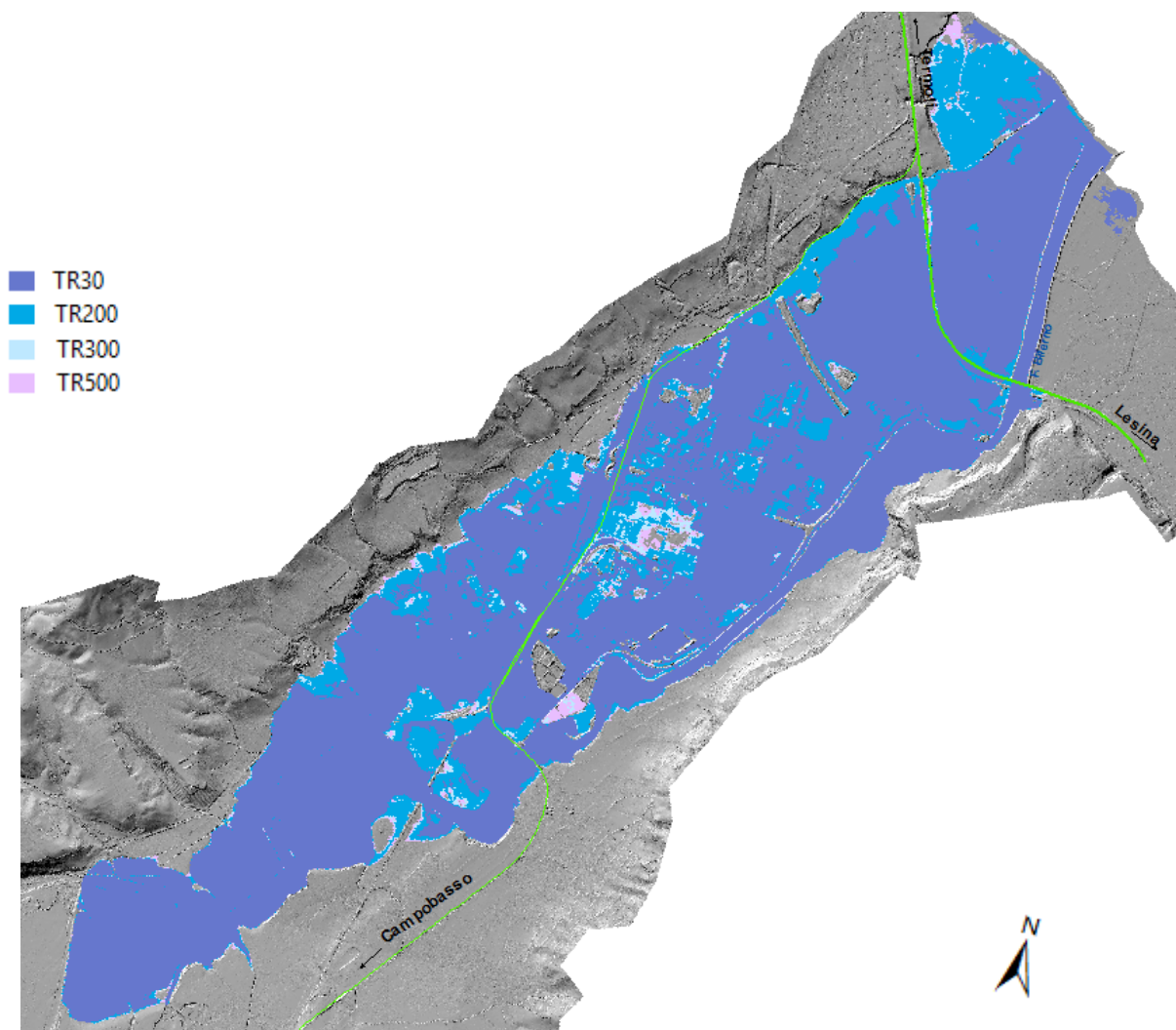


Figura 22 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam 1 – TR30, TR200, TR300, TR500

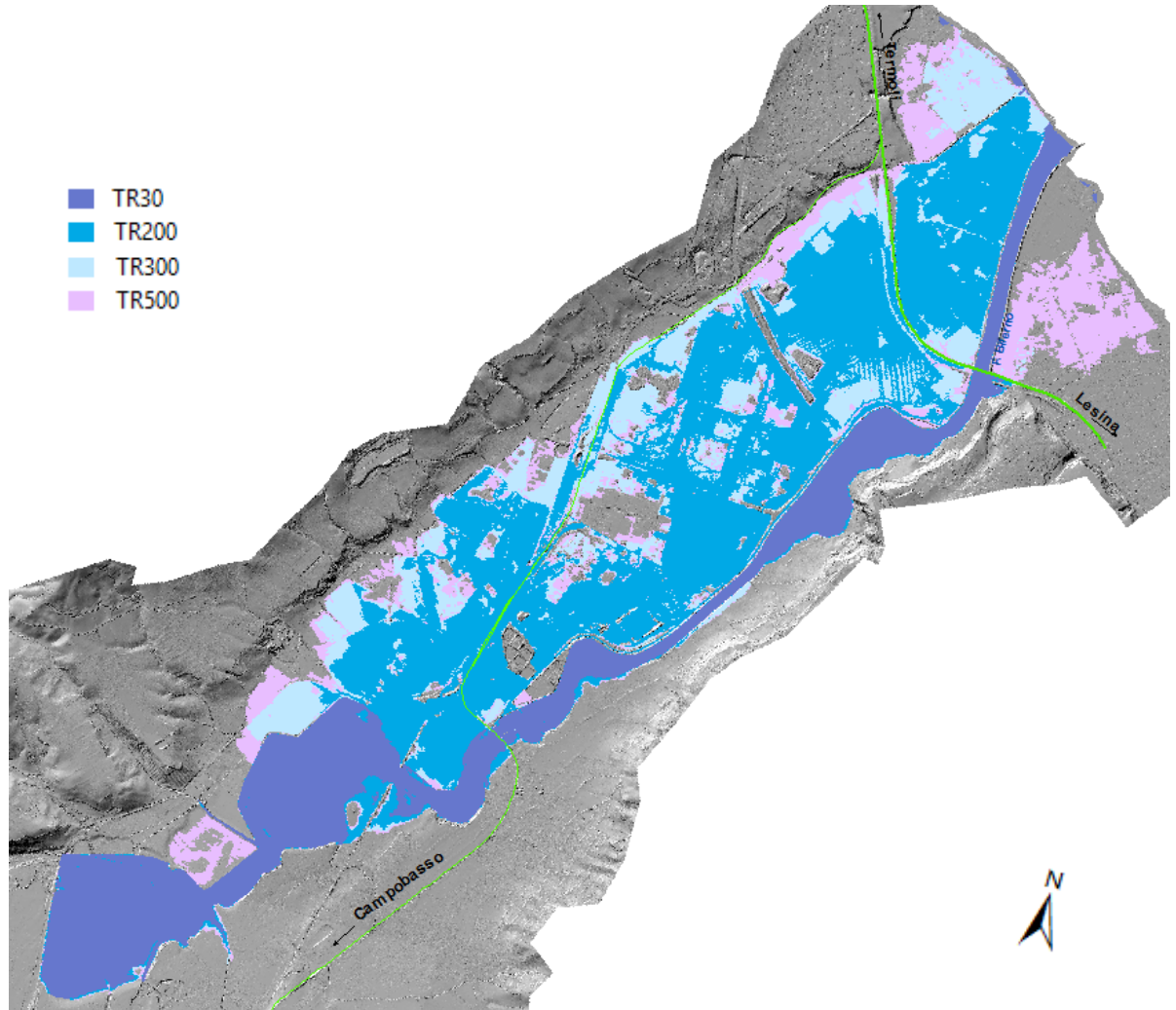


Figura 23 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam 2 – TR30, TR200, TR300, TR500

6.2 Simulazioni Post Operam

In Figura 24 e Figura 25 sono riportati i massimi tiranti idrici e l'estensione delle aree allagate ottenute rispettivamente per le configurazioni post operam 1 e post operam 2, per la piena con tempo di ritorno 200 anni.

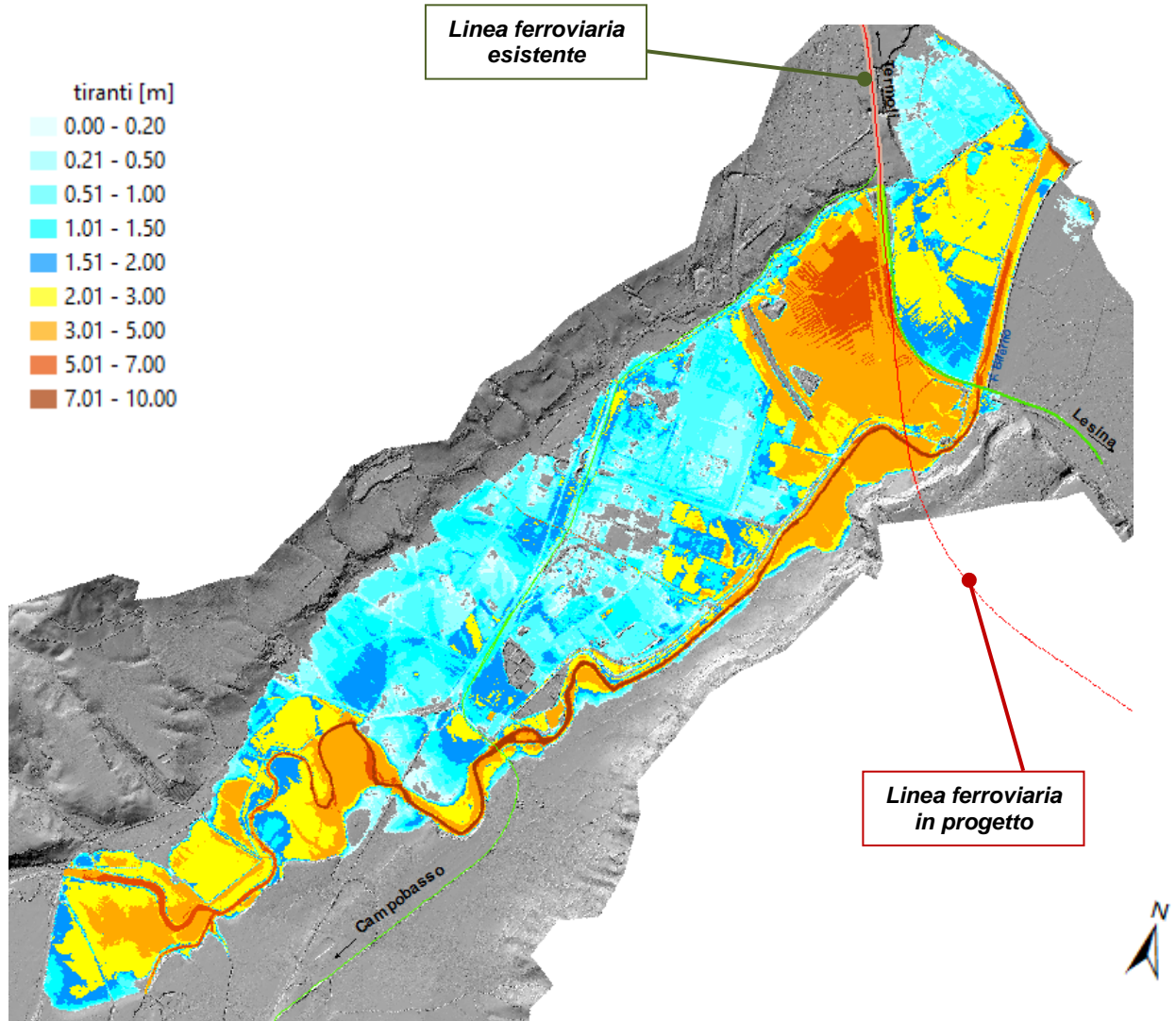


Figura 24 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Post operam 1– TR200

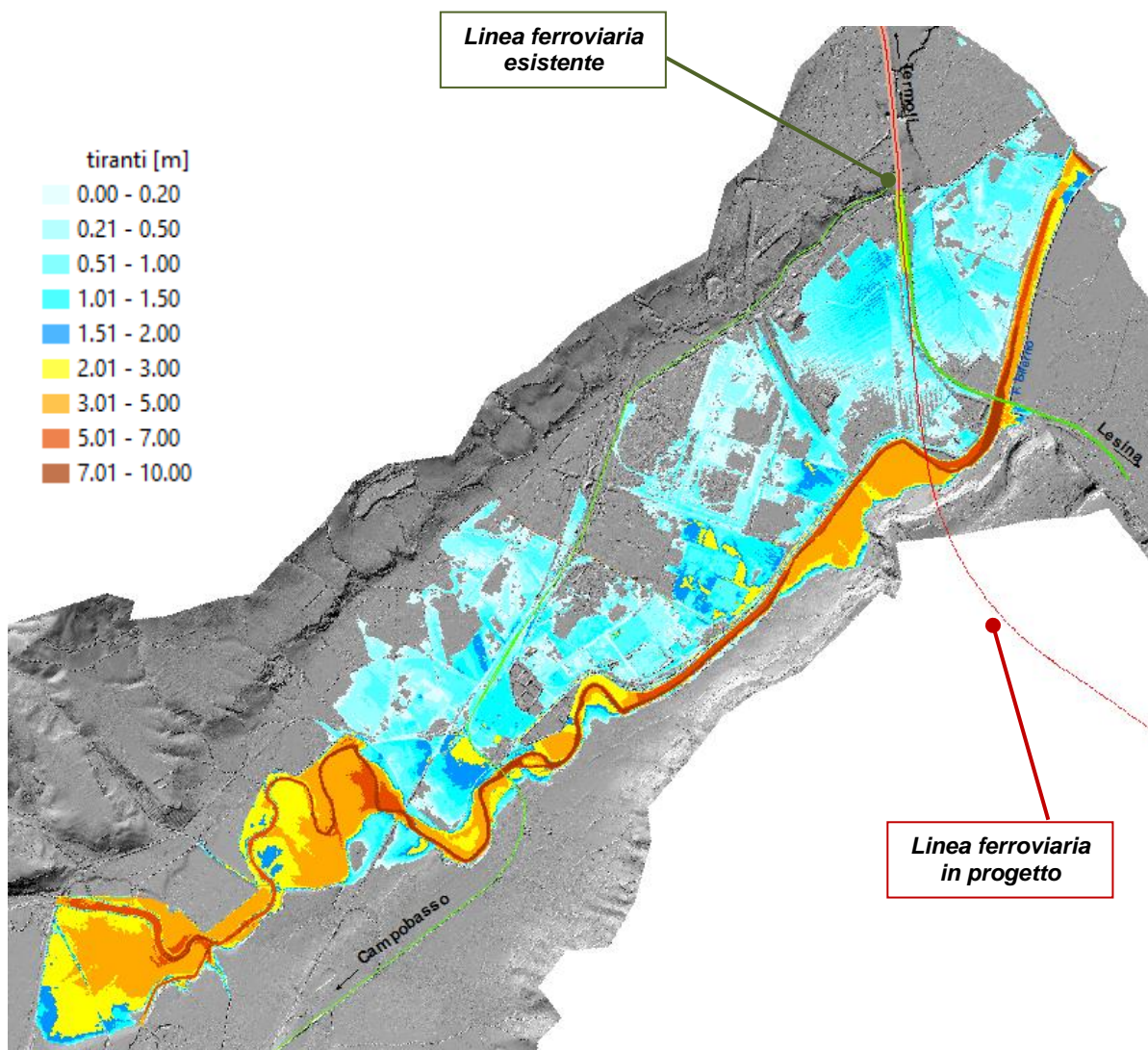


Figura 25 – Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Post operam 2 – TR200

Da un confronto con i risultati delle configurazioni ante operam, si osserva che le differenze ottenute sono dovute principalmente ad un effetto numerico della magliatura oltre che a minime differenze nella propagazione della piena. Tali differenze sono considerate trascurabili in quanto non mostrano estensione diversa degli allagamenti e sono tutte comprese entro 8 cm. Nel caso delle configurazioni ante operam 1 e post operam 1 non si hanno differenze in corrispondenza del viadotto (Figura 26). Nel caso del confronto tra i risultati delle simulazioni post operam 2 e ante operam 2 le differenze che si apprezzano da un confronto puntuale dei livelli mostrano tiranti maggiori in prossimità del viadotto di circa 8 cm sia per TR200 che per TR300 nella configurazione post operam 2 (Figura 27).

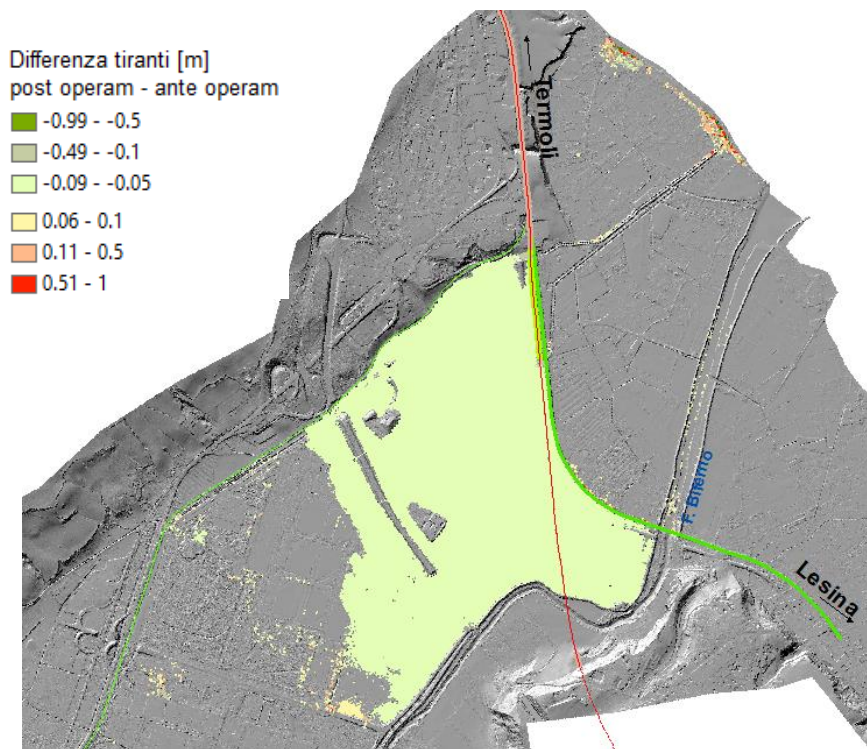


Figura 26 – Differenza tra i massimi livelli idrici: Post operam 1 – ante operam 1 – TR200



Figura 27 – Differenza tra i massimi livelli idrici: Post operam 2 – ante operam 2 – TR200

Per completare l'analisi delle condizioni idrauliche che si possono instaurare in corrispondenza del viadotto in progetto, è stato valutato il tirante che si instaura per le portate idrologiche alla sezione di interesse, per TR200 e 300 anni, pari rispettivamente a 1808.1 m³/s e 2043.9 m³/s, come indicato dall'Autorità di Bacino. Tale condizione non tiene conto in alcun modo delle portate laminate lungo il tratto fluviale a monte, pertanto risulta essere la verifica più cautelativa.

È stato quindi implementato il modello monodimensionale HEC RAS per il tratto di valle del fiume Biferno, inserendo gli stessi dati topografici dello scenario post operam 2.

È stata quindi verificata la corrispondenza tra i risultati dei due modelli matematici, confrontando la scala delle portate alla sezione del viadotto. I risultati ottenuti sono ammissibili, vista la diversa natura dei modelli e la modalità di applicazione (monodimensionale e bidimensionale).

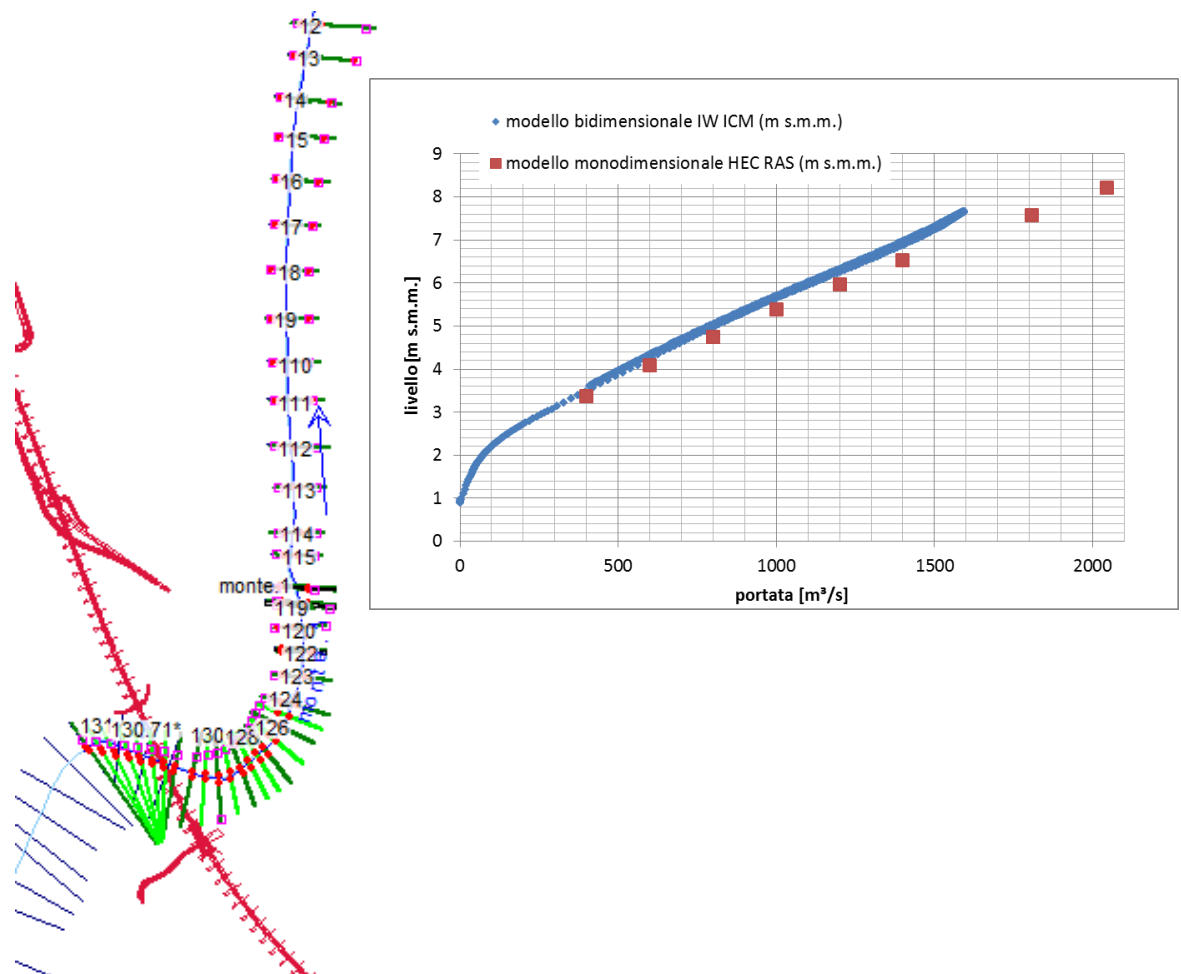


Figura 28 – Tratto del fiume Biferno implementato in HEC RAS (modalità monodimensionale) e confronto tra la relazione tirante-portata nel modello monodimensionale (in rosso) e bidimensionale (in blu).

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 45 DI 72

I risultati che si ottengono per le portate massime alla sezione del viadotto sono riportati nella seguente tabella.

TR	Q	livello (m s.m.m.)	Altezza critica (m s.m.m.)	Livello energetico (m s.m.m.)
200	1808.1	7.57	5.39	7.88
300	2043.9	8.22	5.73	8.5

Tabella 4 – risultati che si ottengono per le portate massime alla sezione del viadotto

7 VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO

7.1 Nuovo viadotto

Nel presente paragrafo verranno espone le verifiche dei franchi minimi del nuovo viadotto, 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 m, per una piena con tempo di ritorno superiore o uguale a 200 anni.

Il Manuale tecnico di progettazione ferroviario prevede un franco minimo di 1.5 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 Biferno, 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 Fiume Biferno e minori 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 5 – Franchi richiesti dalle NA – PAI Biferno e minori

Le NTA comunque richiedono 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.

In Tabella 6 e Tabella 7 sono riportati i valori dei livelli idrici ed energetici e i franchi



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

**RELAZIONE IDRAULICA E DI
COMPATIBILITA' IDRAULICA**

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
LI02 02 D 78 RI ID0002 001 C 46 DI 72

ottenuti per le simulazioni TR 200 e 300 anni rispettivamente nelle configurazioni post operam 1 e post operam 2. I valori sono riportati in corrispondenza di ogni pila e, per convenzione, il valore dell'intradosso è relativo all'impalcato a sinistra della pila stessa.

Viadotto-Pila	Quota intradosso	TR200				TR300			
		livello idrico	Livello Energ.	Franco l.i.	Franco l.e.	livello idrico	Livello Energ.	Franco l.i.	Franco l.e.
		[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]
VI02_P01	8.42	6.90	7.33	1.52	1.09	6.91	7.69	1.51	0.73
VI02_P02	8.55	6.97	7.39	1.58	1.16	6.91	7.69	1.64	0.86
VI02_P03	8.48	6.97	7.41	1.51	1.07	6.98	7.69	1.50	0.79
VI02_P04	8.82	7.05	7.51	1.77	1.31	6.98	7.69	1.84	1.13
VI02_P05	8.95	7.31	7.52	1.64	1.43	7.32	7.69	1.63	1.26
VI02_P06	9.08	7.35	7.52	1.73	1.56	7.36	7.69	1.72	1.39
VI02_P07	9.41	7.51	7.51	1.90	1.90	7.68	7.69	1.73	1.72
VI02_P08	9.34	7.51	7.52	1.83	1.82	7.68	7.69	1.66	1.65
VI02_P09	9.45	7.51	7.52	1.94	1.93	7.68	7.69	1.77	1.76
VI02_P10	9.56	7.51	7.52	2.05	2.04	7.68	7.69	1.88	1.87
VI02_P11	9.66	7.51	7.52	2.15	2.14	7.68	7.69	1.98	1.97
VI02_P12	9.47	7.51	7.52	1.96	1.95	7.68	7.69	1.79	1.78
VI02_P13	9.88	7.51	7.52	2.37	2.36	7.68	7.69	2.20	2.19
VI02_P14	9.98	7.51	7.52	2.47	2.46	7.68	7.69	2.30	2.29
VI02_P15	10.09	7.51	7.52	2.58	2.57	7.68	7.69	2.41	2.40
VI02_P16	10.19	7.51	7.52	2.68	2.67	7.68	7.69	2.51	2.50
VI02_P17	10.30	7.51	7.51	2.79	2.79	7.68	7.68	2.62	2.62
VI02_P18	10.41	7.51	7.51	2.90	2.90	7.68	7.68	2.73	2.73
VI02_P19	10.51	7.51	7.51	3.00	3.00	7.68	7.68	2.83	2.83
VI02_P20	10.62	7.51	7.52	3.11	3.10	7.68	7.69	2.94	2.93
VI02_P21	10.73	7.51	7.52	3.22	3.21	7.68	7.69	3.05	3.04
VI02_P22	11.01	7.51	7.51	3.50	3.50	7.68	7.68	3.33	3.33
VI02_P23	11.32	7.51	7.54	3.81	3.78	7.68	7.71	3.64	3.61
VI02_P24	11.23	7.51	7.53	3.72	3.70	7.68	7.70	3.55	3.53
VI02_P25	11.34	7.51	7.52	3.83	3.82	7.68	7.70	3.66	3.64
VI02_P26	11.45	7.51	7.52	3.94	3.93	7.68	7.69	3.77	3.76
VI02_P27	11.55	7.51	7.52	4.04	4.03	7.68	7.69	3.87	3.86
VI02_P28	11.66	7.51	7.52	4.15	4.14	7.68	7.69	3.98	3.97
VI02_P29	11.76	7.51	7.52	4.25	4.24	7.68	7.69	4.08	4.07
VI02_P30	11.87	7.51	7.52	4.36	4.35	7.68	7.69	4.19	4.18
VI02_P31	11.98	7.51	7.51	4.47	4.47	7.68	7.69	4.30	4.29
VI02_P32	12.08	7.51	7.51	4.57	4.57	7.68	7.68	4.40	4.40



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

**RELAZIONE IDRAULICA E DI
COMPATIBILITA' IDRAULICA**

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
LI02 02 D 78 RI ID0002 001 C 47 DI 72

Viadotto-Pila	Quota intradosso [m s.l.m.]	TR200				TR300			
		livello idrico [m s.l.m.]	Livello Energ. [m s.l.m.]	Franco l.i. [m]	Franco l.e. [m]	livello idrico [m s.l.m.]	Livello Energ. [m s.l.m.]	Franco l.i. [m]	Franco l.e. [m]
		VI02_P33	12.19	7.51	7.51	4.68	4.68	7.68	7.68
VI02_P34	12.29	7.51	7.52	4.78	4.77	7.68	7.69	4.61	4.60
VI02_P35	12.40	7.51	7.52	4.89	4.88	7.68	7.69	4.72	4.71
VI02_P36	12.51	7.51	7.52	5.00	4.99	7.68	7.69	4.83	4.82
VI02_P37	12.61	7.51	7.51	5.10	5.10	7.68	7.68	4.93	4.93
VI02_P38	12.72	7.51	7.51	5.21	5.21	7.68	7.68	5.04	5.04
VI02_P39	12.83	7.51	7.51	5.32	5.32	7.68	7.68	5.15	5.15
VI02_P40	12.93	7.51	7.51	5.42	5.42	7.68	7.68	5.25	5.25
VI02_P41	13.04	7.51	7.51	5.53	5.53	7.68	7.68	5.36	5.36
VI02_P42	13.14	7.51	7.51	5.63	5.63	7.68	7.68	5.46	5.46
VI02_P43	13.24	7.51	7.51	5.73	5.73	7.68	7.68	5.56	5.56
VI02_P44	13.32	7.51	7.51	5.81	5.81	7.68	7.68	5.64	5.64
VI02_P45	13.38	7.51	7.51	5.87	5.87	7.68	7.68	5.70	5.70
VI02_P46	13.42	7.51	7.51	5.91	5.91	7.68	7.68	5.74	5.74
VI02_P47	13.43	7.51	7.51	5.92	5.92	7.68	7.68	5.75	5.75
VI02_P48	13.44	7.51	7.51	5.93	5.93	7.68	7.68	5.76	5.76
VI02_P49	13.44	7.51	7.51	5.93	5.93	7.68	7.68	5.76	5.76
VI02_P50	13.44	7.51	7.52	5.93	5.92	7.68	7.69	5.76	5.75
VI02_P51	13.44	7.51	7.52	5.93	5.92	7.68	7.69	5.76	5.75
VI02_P52	13.45	7.51	7.51	5.94	5.94	7.68	7.69	5.77	5.76
VI02_P53	13.45	7.51	7.51	5.94	5.94	7.68	7.68	5.77	5.77
VI02_P54	13.45	7.51	7.51	5.94	5.94	7.68	7.68	5.77	5.77
VI02_P55	13.46	7.51	7.51	5.95	5.95	7.68	7.68	5.78	5.78
VI02_P56	13.64	8.37	8.47	5.27	5.17	8.43	8.53	5.21	5.11
VI02_P57	13.65	8.37	8.39	5.28	5.26	8.43	8.45	5.22	5.20
VI02_P58	13.48	8.37	8.39	5.11	5.09	8.43	8.46	5.05	5.02
VI02_P59	13.48	8.37	8.40	5.11	5.08	8.42	8.45	5.06	5.03
VI02_P60	13.48	8.36	8.39	5.12	5.09	8.42	8.45	5.06	5.03
VI02_P61	13.49	8.36	8.39	5.13	5.10	8.41	8.44	5.08	5.05
VI02_P62	13.49	8.35	8.38	5.14	5.11	8.40	8.43	5.09	5.06
VI02_P63	13.49	8.35	8.38	5.14	5.11	8.40	8.43	5.09	5.06
VI02_P64	13.49	8.34	8.35	5.15	5.14	8.39	8.40	5.10	5.09

Tabella 6 – Livelli e franchi per il viadotto di progetto, scenario post operam 1.



LINEA PESCARA - BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-
LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

**RELAZIONE IDRAULICA E DI
COMPATIBILITA' IDRAULICA**

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
LI02 02 D 78 RI ID0002 001 C 48 DI 72

Viadotto-Pila	Quota intradosso [m s.l.m.]	TR200			TR300				
		livello idrico	Livello Energ.	Franco l.i.		livello idrico	Livello Energ.	Franco l.i.	Franco l.e.
		[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m]
VI02_P01	8.42	2.70	2.76	5.72	5.66	4.67	4.73	3.75	3.69
VI02_P02	8.55	2.73	2.77	5.82	5.78	4.67	4.73	3.88	3.82
VI02_P03	8.48	2.73	2.76	5.75	5.72	4.70	4.71	3.78	3.77
VI02_P04	8.82	2.75	2.76	6.07	6.06	4.70	4.71	4.12	4.11
VI02_P05	8.95	2.76	2.76	6.19	6.19	4.70	4.71	4.25	4.24
VI02_P06	9.08	2.76	2.76	6.32	6.32	4.71	4.72	4.37	4.36
VI02_P07	9.41	2.76	2.76	6.65	6.65	4.71	4.72	4.70	4.69
VI02_P08	9.34	2.76	2.76	6.58	6.58	4.71	4.72	4.63	4.62
VI02_P09	9.45	2.76	2.76	6.69	6.69	4.71	4.72	4.74	4.73
VI02_P10	9.56	2.76	2.76	6.80	6.80	4.71	4.73	4.85	4.83
VI02_P11	9.66	2.76	2.76	6.90	6.90	4.72	4.74	4.94	4.92
VI02_P12	9.47	2.76	2.76	6.71	6.71	4.71	4.72	4.76	4.75
VI02_P13	9.88	2.76	2.76	7.12	7.12	4.71	4.72	5.17	5.16
VI02_P14	9.98	2.76	2.76	7.22	7.22	4.71	4.73	5.27	5.25
VI02_P15	10.09	2.76	2.76	7.33	7.33	4.71	4.72	5.38	5.37
VI02_P16	10.19	2.76	2.77	7.43	7.42	4.71	4.74	5.48	5.45
VI02_P17	10.30	2.76	2.76	7.54	7.54	4.72	4.73	5.58	5.57
VI02_P18	10.41	2.76	2.76	7.65	7.65	4.72	4.72	5.69	5.69
VI02_P19	10.51	2.76	2.76	7.75	7.75	4.72	4.72	5.79	5.79
VI02_P20	10.62	0.00	0.00	10.62	10.62	4.72	4.73	5.90	5.89
VI02_P21	10.73	0.00	0.00	10.73	10.73	4.72	4.72	6.01	6.01
VI02_P22	11.01	3.21	3.21	7.80	7.80	4.72	4.72	6.29	6.29
VI02_P23	11.32	3.23	3.24	8.09	8.08	4.72	4.73	6.60	6.59
VI02_P24	11.23	3.23	3.23	8.00	8.00	4.72	4.73	6.51	6.50
VI02_P25	11.34	3.24	3.24	8.10	8.10	4.72	4.73	6.62	6.61
VI02_P26	11.45	3.25	3.25	8.20	8.20	4.72	4.72	6.73	6.73
VI02_P27	11.55	3.25	3.25	8.30	8.30	4.72	4.72	6.83	6.83
VI02_P28	11.66	3.26	3.26	8.40	8.40	4.72	4.72	6.94	6.94
VI02_P29	11.76	3.27	3.27	8.49	8.49	4.72	4.72	7.04	7.04
VI02_P30	11.87	3.27	3.27	8.60	8.60	4.72	4.72	7.15	7.15
VI02_P31	11.98	3.28	3.28	8.70	8.70	4.72	4.72	7.26	7.26
VI02_P32	12.08	0.00	0.00	12.08	12.08	0.00	0.00	12.08	12.08
VI02_P33	12.19	3.29	3.29	8.90	8.90	4.72	4.72	7.47	7.47
VI02_P34	12.29	3.30	3.31	8.99	8.98	4.72	4.73	7.57	7.56
VI02_P35	12.40	3.30	3.30	9.10	9.10	4.72	4.72	7.68	7.68
VI02_P36	12.51	3.31	3.31	9.20	9.20	4.72	4.72	7.79	7.79
VI02_P37	12.61	3.46	3.46	9.15	9.15	4.72	4.72	7.89	7.89

Viadotto-Pila	Quota intradosso [m s.l.m.]	TR200			TR300				
		livello idrico	Livello Energ.	Franco l.i.		livello idrico	Livello Energ.	Franco l.i.	Franco l.e.
		[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]		[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m]
VI02_P38	12.72	0.00	0.00	12.72	12.72	4.72	4.72	8.00	8.00
VI02_P39	12.83	0.00	0.00	12.83	12.83	4.72	4.72	8.11	8.11
VI02_P40	12.93	0.00	0.00	12.93	12.93	4.72	4.72	8.21	8.21
VI02_P41	13.04	0.00	0.00	13.04	13.04	4.72	4.72	8.32	8.32
VI02_P42	13.14	0.00	0.00	13.14	13.14	4.72	4.72	8.42	8.42
VI02_P43	13.24	0.00	0.00	13.24	13.24	4.72	4.72	8.52	8.52
VI02_P44	13.32	0.00	0.00	13.32	13.32	4.72	4.72	8.60	8.60
VI02_P45	13.38	0.00	0.00	13.38	13.38	4.72	4.72	8.66	8.66
VI02_P46	13.42	0.00	0.00	13.42	13.42	4.72	4.72	8.70	8.70
VI02_P47	13.43	0.00	0.00	13.43	13.43	4.72	4.72	8.71	8.71
VI02_P48	13.44	0.00	0.00	13.44	13.44	4.72	4.72	8.72	8.72
VI02_P49	13.44	4.00	4.00	9.44	9.44	4.72	4.72	8.72	8.72
VI02_P50	13.44	0.00	0.00	13.44	13.44	4.73	4.73	8.71	8.71
VI02_P51	13.44	4.13	4.14	9.31	9.30	4.73	4.74	8.71	8.70
VI02_P52	13.45	4.67	4.67	8.78	8.78	4.74	4.74	8.71	8.71
VI02_P53	13.45	0.00	0.00	13.45	13.45	0.00	0.00	13.45	13.45
VI02_P54	13.45	5.10	5.10	8.35	8.35	5.12	5.12	8.33	8.33
VI02_P55	13.46	5.10	5.10	8.36	8.36	5.12	5.12	8.34	8.34
VI02_P56	13.64	7.94	8.36	5.70	5.28	8.20	8.62	5.44	5.02
VI02_P57	13.65	7.91	8.00	5.74	5.65	8.17	8.26	5.48	5.39
VI02_P58	13.48	7.89	7.98	5.59	5.50	8.15	8.24	5.33	5.24
VI02_P59	13.48	7.87	7.98	5.61	5.50	8.14	8.25	5.34	5.23
VI02_P60	13.48	7.87	7.98	5.61	5.50	8.13	8.24	5.35	5.24
VI02_P61	13.49	7.85	7.96	5.64	5.53	8.12	8.23	5.37	5.26
VI02_P62	13.49	7.84	7.95	5.65	5.54	8.10	8.21	5.39	5.28
VI02_P63	13.49	7.81	7.91	5.68	5.58	8.08	8.18	5.41	5.31
VI02_P64	13.49	7.77	7.81	5.72	5.68	8.04	8.08	5.45	5.41

Tabella 7 – Livelli e franchi per il viadotto di progetto, scenario post operam 2.

I franchi minimi si verificano in corrispondenza della trave di impalcato che collega il S01 A P01 del viadotto VI02; l'intradosso di tale trave ha una quota assoluta di 8.42 m s.m.m.

Le prescrizioni delle Norme tecniche delle Costruzioni 2008 vengono rispettate per ogni tempo di ritorno e per ogni configurazione progettuale analizzata.

Per la piena TR 300 anni, il franco minimo rispetto al livello idrico è sempre superiore a 1.5 m, così come il franco sul carico totale supera i 0.50 m minimi richiesti. Tale risultanza

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 50 DI 72

consente di verificare quanto richiesto dal manuale di progettazione ferroviario.

I franchi ottenuti per la piena duecentennale, sono superiori ai minimi richiesti dalle NTA del PAI Biferno e minori, anche ponendosi nella condizione più sfavorevole di “bacino dissestato”. Anche i carichi cinetici sono sempre superiori ai franchi sui livelli idrici richiesti dalla norma.

7.2 Protezione delle pile

7.2.1 Metodi di calcolo della verifica allo scalzamento

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.


Il fenomeno dell'erosione localizzata dipende da numerosi parametri legati sia alle caratteristiche della corrente e dell'alveo (portata, battente, velocità della corrente, capacità di trasporto, caratteristiche del materiale dell'alveo, ecc.), che a quelle dell'ostacolo (forma e dimensioni, inclinazione rispetto alla direzione di flusso).

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.

Per il calcolo dell'erosione localizzata dovuta alla presenza di una pila sono state utilizzate le formule riportate di seguito.

Formula HEC-18 (CSU) in accordo a quanto previsto per il viadotto sul Fiume Fortore del lotto 1 Ripalta - Lesina

Una delle formulazioni comunemente più utilizzate, valida per singola pila, 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 (Colorado State University, 1995) ed è raccomandata sia in presenza che in assenza di trasporto solido; tale espressione venne sviluppata sulla base sia di un'analisi dimensionale dei parametri in grado di influenzare il fenomeno, che a partire dai risultati ottenuti da sperimentazioni condotte in laboratorio. La relazione analitica proposta è la seguente:

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C

$$\frac{Y_S}{Y_0} = 2,0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \left(\frac{b}{Y_0}\right)^{0,65} F_0^{0,43}$$

dove:

- $Y_S [m]$: massima profondità di erosione (fase di equilibrio del processo erosivo) a partire dal fondo alveo medio locale;
- $b [m]$: larghezza della pila in metri;
- $Y_0 [m]$: profondità media della corrente di monte;
- Fr_0 : Numero di Froude della corrente di monte;
- K_1 : fattore di correzione per la forma della pila;
- K_2 : fattore di correzione per l'angolo di attacco della corrente;
- K_3 : fattore di correzione per le condizioni del fondo alveo;
- K_4 : fattore di correzione per il materiale che compone il fondo alveo.

Il coefficiente K_1 è stato tabulato per diversi tipi di forma del fronte della pila mentre il coefficiente K_3 considera le condizioni morfologiche del fondo.


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

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

Tabella 8 – 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	$3.00 \leq H < 9.00$	$1.10 \div 1.20$
Dune grandi	$H \geq 9.00$	1.30

Tabella 9 – Coefficiente correttivo K_3

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 52 DI 72

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 rispetto all'asse di simmetria della stessa pila.

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

Il coefficiente K_4 rappresenta un fattore correttivo dello scalzamento che tiene conto della protezione di fondo (armouring) costituita da granulometrie grossolane presenti in alveo o ad una certa profondità. La stima di tale parametro può essere fatta applicando la seguente formula:

$$K_4 = \left[1 - 0.89(1 - V_R)^2 \right]^{0.5}$$

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_i}{V_{C90} - V_i} \right]$$

$$V_i = 0.645 \left[\frac{D_{50}}{b} \right]^{0.053} \cdot V_{C50}$$

dove:

- V_R : carico cinetico;
- V_1 : velocità media in alveo o in golena nella sezione subito a monte del ponte;
- V_i : velocità di incipiente movimento;
- b [m]: larghezza della pila;
- V_{C90} : velocità critica per le particelle con diametro D_{90} ;
- V_{C50} : velocità critica per le particelle con diametro D_{50} .

È possibile calcolare la velocità critica V_C come:

$$V_C = 10.95 y_0^{1/6} D_C^{1/3}$$

dove:

y_0 [m] : tirante d'acqua subito a monte delle pile;

- D_C [m] : dimensione critica delle particelle per la velocità critica.

Il valore K_4 deve essere sempre superiore a 0.7, mentre il materiale del fondo che produce protezione dallo scalzamento non deve essere inferiore a 0.06 m.

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

Formula (SM) di Sheppard-Melville (2013):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{y_s}{a^*} = 2.5f_1f_2f_3 \quad \text{for } 0.4 < \frac{V_1}{V_c} < 1.0 \\ \frac{y_s}{a^*} = f_1 \left[2.2 \left(\frac{\frac{V_1}{V_c} - 1}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) + 2.5f_3 \left(\frac{\frac{V_{1p}}{V_c} - \frac{V_1}{V_c}}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) \right] \quad \text{for } 1 < \frac{V_1}{V_c} < \frac{V_{1p}}{V_c} \\ \frac{y_s}{a^*} = 2.2f_1 \quad \text{for } \frac{V_1}{V_c} > \frac{V_{1p}}{V_c} \end{array} \right.$$

con

- $V_{1p} = \max(V_{1p1}; V_{1p2})$
- $V_{1p1} = 5V_c; \quad V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$
- $V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{73.5y_1}{d_{50} [Re(2.85 - 0.58 \ln(Re) + 0.002Re) + \frac{111}{Re} - 6]} \right) & \text{for } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{2.21y_1}{d_{50}} \right) & \text{for } Re > 70 \end{cases}$
- $Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}; \quad u^* = \left[16.2 \cdot d_{50} \left(\frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{50}} - d_{50} (38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005 \right) \right]^{0.5}$
- $y_1 = \text{tirante idrico (m)}$
- $f_1 = \tanh \left[\left(\frac{y_1}{a^*} \right)^{0.4} \right]$
- $f_2 = \left\{ 1 - 1.2 \left[\ln \left(\frac{V_1}{V_c} \right) \right]^2 \right\}$
- $f_3 = \left[\frac{\left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)}{0.4 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{1.2} + 10.6 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{-0.13}} \right]$
- $a^* = K_s a_p; \quad a_p = a \cdot \cos\theta + L \cdot \sin\theta; \quad K_s = \begin{cases} 1 & \text{(pila circolare)} \\ 0.86 + 0.97 \left(\left| \frac{\pi\theta}{180} - \frac{\pi}{4} \right| \right)^4 & \text{(pila rettangolare)} \end{cases} \quad (a = \text{larghezza della pila}; L = \text{lunghezza della pila}; \theta = \text{angolo di attacco } [^\circ])$

Tale formulazione risulta applicabile al corso d'acqua studiato: i valori di tirante e velocità, le dimensioni effettive delle pile e la granulometria del fondo alveo rientrano nei campi dei valori, o comunque sono dello stesso ordine di grandezza dei valori, per i quali ne è stata valutata l'attendibilità e l'affidabilità.

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

- $\frac{V_1}{V_c} = 1; 3$

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 54 DI 72

- $\frac{y_1}{a} = 0.33; 1; 3$
- $d_{50} = 0.2; 3 \text{ mm}$
- $a = 0.05; 1; 10 \text{ m}$

Per tutte le suddette formulazioni, qualora la pila non possa essere considerata di geometria uniforme, ovvero non sia caratterizzata da una sezione costante, è necessario fare riferimento ad una sezione equivalente: tale è il caso di pile da ponte dotate di fondazione oppure aventi sezione tronco – conica.

Sulla base delle precedenti considerazioni è possibile riscontrare quattro differenti scenari di erosione localizzata (Figura 29):

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

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

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

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

dove:

h_0 : profondità media della corrente rispetto al fondo alveo;

Y : altezza massima della buca erosiva;

b^* : larghezza della fondazione.

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

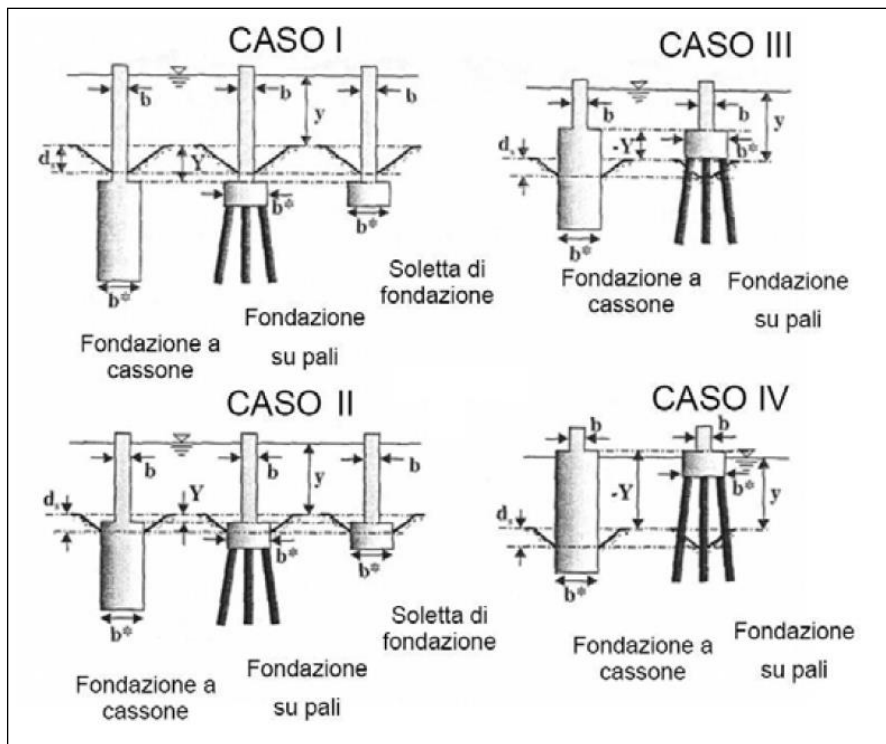


Figura 29 – Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni

7.2.2 Verifica allo scalzamento

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, nelle condizioni più gravose tra la condizione post operam 1 e la condizione post operam 2.

Tutte le pile del viadotto hanno forma rettangolare di lunghezza 10.4 m e larghezza 3.5 m tranne le tre pile in corrispondenza all'attraversamento sul Biferno (P55, P56 e P57 in Figura 30) e dell'attraversamento della SS16 che hanno forma circolare di diametro 5 m. L'interasse tra le pile è di 25 m, tranne quello tra le pile P55-P56 e P56-P57 e delle pile dell'attraversamento della SS16 (P22-P23) che è di 70 m.

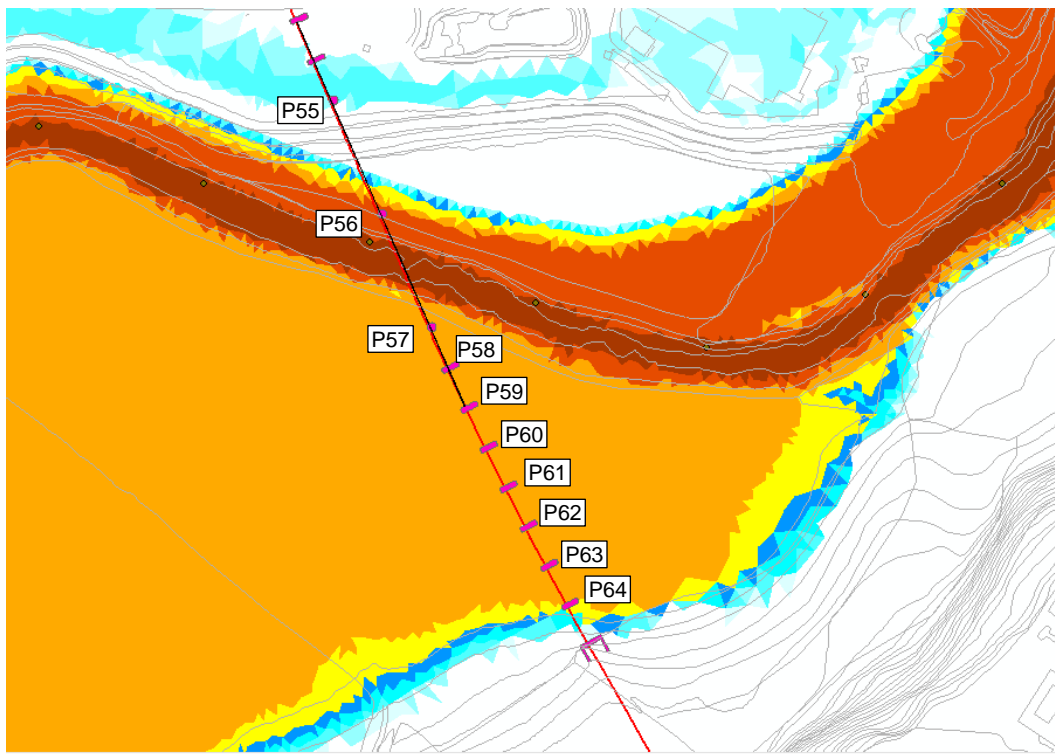



Figura 30 – Planimetria con indicazione delle pile in corrispondenza all'alveo e alla golena del Biferno del viadotto VI02.

La tabella seguente riporta i dati utilizzati per la determinazione della massima profondità di scavo per le pile in corrispondenza all'attraversamento sul Biferno. In particolare, sono state eseguite due verifiche: una considerando il valore del tirante e della velocità della corrente che si verificano in concomitanza al massimo livello d'acqua e una considerando il valore del tirante e della velocità della corrente che si verificano in concomitanza alla massima velocità dell'acqua.

N° pila	Quota terreno	Massimo tirante		Massima velocità		Incidenza pila- corrente [°]	Lunghezza della pila [m]	Larghezza della pila [m]	d50 [mm]
		Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]				
P56	3.60	4.83	0.83	3.0	2.2	0	5	5	0.13
P57	3.72	4.71	0.69	3.0	1.1	0	5	5	0.13
P58	3.85	4.58	0.71	3.20	1.26	0	10.4	3.5	0.13
P59	3.71	4.71	0.76	3.50	1.24	0	10.4	3.5	0.13
P60	3.92	4.50	0.77	3.20	1.08	0	10.4	3.5	0.13
P61	3.99	4.42	0.81	3.00	1.12	0	10.4	3.5	0.13
P62	4.32	4.08	0.81	2.80	1.37	0	10.4	3.5	0.13
P63	4.20	4.20	0.77	3.20	1.14	10	10.4	3.5	0.13
P64	5.89	2.50	0.51	2.89	0.83	40	10.4	3.5	0.13

Tabella 10 – Variabili idrauliche e dimensioni delle pile in corrispondenza del Biferno.

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. C	FOGLIO 57 DI 72

Di seguito si riportano i valori dello scavo localizzato calcolato con le formulazioni indicate al paragrafo precedente, facendo riferimento anche alla procedura di Melville e Raudkivi (1996) che utilizza una larghezza della pila equivalente. Lo scavo preso in considerazione risulta dalla media dei quattro valori ottenuti. In particolare, la Tabella 11 riporta i risultati nello scenario in cui si ha il valore del massimo tirante d'acqua nella sezione e la velocità ad esso associata, mentre la

Tabella 12 riporta i risultati nello scenario in cui si ha il valore della massima velocità nella sezione e i tiranti d'acqua associati. La situazione più gravosa è quella relativa al massimo tirante d'acqua.

N° pila	Profondità di scavo [m]				
	CSU	Melville	Froehlich	Breusers	media
P56	4.4	10.5	2.6	7.5	6.2
P57	4.3	10.4	2.4	11.5	7.2
P58	3.2	13.3	2.4	7.4	6.6
P59	3.2	13.3	2.4	7.5	6.6
P60	3.2	13.1	2.4	7.4	6.5
P61	3.2	13.0	2.4	7.3	6.5
P62	3.1	12.5	2.4	7.1	6.3
P63	3.1	12.7	3.1	9.4	7.1
P64	2.6	9.8	3.4	10.4	6.6

Tabella 11 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile del viadotto VI02 sul fiume Biferno secondo le diverse equazioni e valore medio e massimo considerando il valore del massimo tirante e della velocità ad esso associata.

N° pila	Profondità di scavo [m]				
	CSU	Melville	Froehlich	Breusers	media
P56	6.2	8.3	2.7	5.4	5.6
P57	6.2	8.3	2.3	8.4	6.3
P58	4.8	11.1	2.4	6.3	6.1
P59	4.9	11.6	2.5	6.6	6.4
P60	4.8	11.1	2.3	6.3	6.1
P61	4.7	10.7	2.3	6.1	5.9
P62	4.6	10.3	2.3	5.9	5.8
P63	4.8	11.1	3.1	8.3	6.8
P64	3.7	7.6	3.1	7.0	5.3

Tabella 12 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile del viadotto sul fiume Biferno secondo le diverse equazioni e valore medio considerando il valore della massima velocità e il tirante ad esso associato.

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. C	FOGLIO 58 DI 72

Per realizzare le fondazioni delle pile P56 e P57 saranno realizzati dei pali di diametro 1.5 m ai due lati della fondazione stessa che saranno poi demoliti fino ad una profondità di 2.0 m dal p.c. ovvero ad una profondità minore della quota di scalzamento calcolata. Il calcolo dello scalzamento deve quindi essere ripetuto considerando una fondazione composta, il cui plinto ha forma rettangolare di larghezza pari a 15.0 m e lunghezza 19.5 m.

Le pile P56- P64 hanno una fondazione con estradosso posto 1 m sotto il p.c. ovvero ad una profondità inferiore alla quota di scalzamento calcolata: anche in questo caso il calcolo dello scavo deve essere ripetuto considerando il plinto, di forma quadrata di lato pari a 12.0 m.

Nel calcolo dello scalzamento sono quindi stati usati i valori del diametro e della lunghezza equivalente riportati in Tabella 13, ottenendo i valori degli scavi riportati in Tabella 14.

N° pila	Diametro equivalente De [m]	Lunghezza equivalente Le [m]
P56	12.25	11.86
P57	12.25	12.61
P58	11.20	9.04
P59	11.20	8.99
P60	11.20	9.07
P61	11.20	9.10
P62	11.20	9.22
P63	11.20	9.18
P64	11.20	9.88

Tabella 13 – Diametri e lunghezze equivalenti delle pile considerando la presenza della fondazione

N° pila	Profondità di scavo [m]				
	CSU	Melville	Froehlich	Breusers	media
P56	8.0	16.7	4.5	14.9	11.0
P57	7.9	16.5	4.3	25.3	13.5
P58	6.3	22.2	4.5	24.2	14.3
P59	6.4	22.5	4.6	24.7	14.6
P60	6.3	22.1	4.6	23.9	14.2
P61	6.3	21.9	4.6	23.6	14.1
P62	6.1	21.2	4.5	22.2	13.5
P63	6.2	21.5	5.1	25.4	14.5
P64	5.4	17.2	4.6	19.0	11.6

Tabella 14 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile del viadotto VI02 sul fiume Biferno secondo le diverse equazioni e valore medio considerando la presenza della fondazione.

Poiché si verificano esondazioni anche al di fuori dell'alveo del Biferno, il calcolo dello scalzamento è stato eseguito per alcune pile, rappresentative delle altre, poste nell'area interclusa tra la linea FS esistente e la SS16: pile P28, P37, P39, P41 (Figura 31) nonché nel piano campagna a nord del Biferno: viadotto VI02 pile P09, P15, P22, P31 (Figura 32).

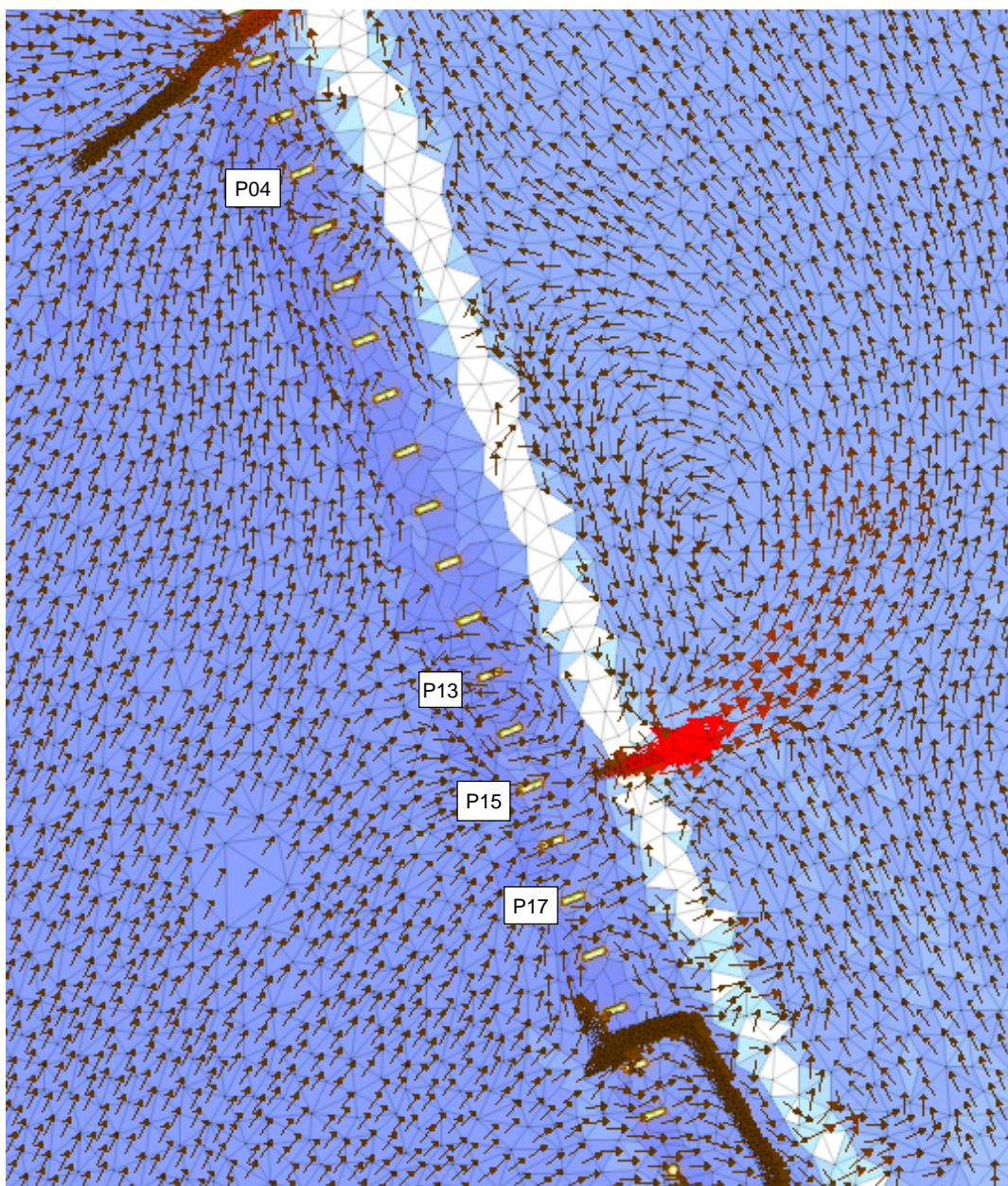


Figura 31 – Planimetria con indicazione delle pile verificate poste all'esterno dell'alveo del Biferno (viadotto VI01, area 2).

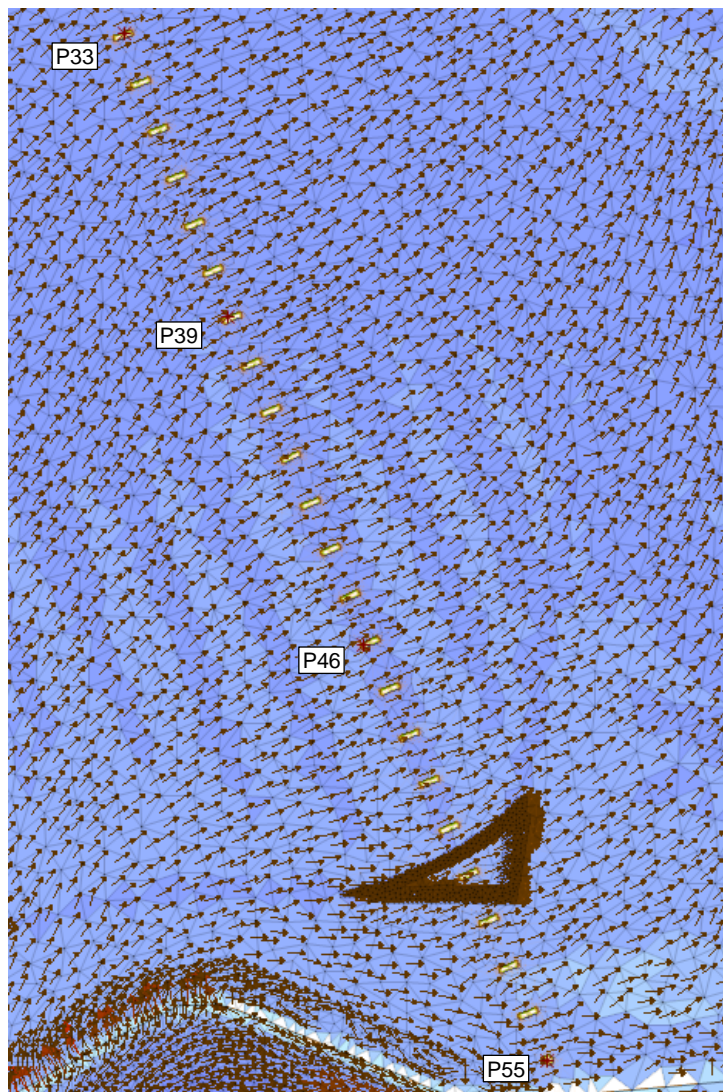


Figura 32 – Planimetria con indicazione delle pile verificate poste all'esterno dell'alveo del Biferno (viadotto VI02).

Anche in questo caso sono state eseguite entrambe le verifiche, ovvero con massimo tirante e velocità corrispondente, e con massima velocità e tirante corrispondente, e la situazione più gravosa risulta essere quella relativa al massimo tirante d'acqua. La tabella seguente riporta i dati utilizzati per la determinazione della massima profondità di scavo per le pile poste nel piano campagna a nord del Biferno.

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 61 DI 72

Viadotto	N° pila	Quota terreno	Massimo tirante		Massima Velocità		Incidenz a pila-corrente [°]	Lunghezz a della pila [m]	Larghez za della pila [m]	d50 [mm]
			Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]				
VI02	P04	1.65	6.03	0.11	1.50	0.32	45	10.4	3.5	0.003
	P13	1.44	6.24	0.02	1.00	0.26	45	10.4	3.5	0.004
	P15	1.75	5.93	0.22	1.48	0.32	0	10.4	3.5	0.004
	P17	1.75	5.93	0.12	1.80	0.20	0	10.4	3.5	0.004
	P33	3.00	4.68	0.22	0.70	0.27	0	10.4	3.5	0.026
	P39	3.26	4.42	0.15	4.40	0.15	0	10.4	3.5	0.026
	P46	3.66	4.02	0.10	0.31	0.25	0	10.4	3.5	0.026
	P55	5.57	2.11	0.07	0.73	0.27	0	5.0	5.0	0.026

Tabella 15 – Variabili idrauliche e dimensioni delle pile poste all'esterno dell'alveo del Biferno.

In Tabella 16 e 17 si riportano i valori dello scavo localizzato calcolato con le formulazioni indicate al paragrafo precedente. Lo scavo preso in considerazione risulta dalla media dei quattro valori ottenuti.

Viadotto	N° pila	Profondità di scavo [m]				
		CSU	Melville	Froehlich	Breusers	media
VI02	P04	2.2	5.6	3.8	7.2	4.7
	P13	1.9	3.9	3.1	5.0	3.5
	P15	2.2	5.6	1.9	3.6	3.3
	P17	2.3	3.8	1.8	4.2	3.1
	P33	1.7	3.5	1.3	1.8	2.1
	P39	3.2	4.3	2.3	7.3	4.3
	P46	1.3	1.6	1.0	0.8	1.2
	P55	2.3	4.4	1.5	2.9	2.8

Tabella 16 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile poste all'esterno dell'alveo del Biferno secondo le diverse equazioni e valore medio.

Le fondazioni delle pile P01-P54 del viadotto VI02 sono posizionate con un estradosso posto ad un metro sotto il p.c.; essendo pertanto la quota di imposta inferiore rispetto agli scalzamenti calcolati considerando la presenza delle sole pile, il calcolo deve essere ripetuto considerando anche la fondazione che risulta di base quadrata di lato 12.0 m.

La pila circolare P55 presenta invece un plinto di fondazione rettangolare 12.0 x 16.0 m.

Nel calcolo dello scaldamento sono quindi stati usati i valori del diametro e della lunghezza equivalente riportati in Tabella 17, ottenendo i valori degli scavi riportati in Tabella 20.

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. C	FOGLIO 62 DI 72

Viadotto	N° pila	Diametro equivalente De [m]	Lunghezza equivalente Le [m]
VI02	P04	11.20	8.57
	P13	11.20	8.51
	P15	11.20	8.60
	P17	11.20	8.60
	P33	11.20	9.00
	P39	11.20	9.10
	P46	11.20	9.24
	P55	10.00	17.41

Tabella 17 – Diametri e lunghezze equivalenti delle pile considerando la presenza della fondazione

Viadotto	N° pila	Profondità di scavo [m]				
		CSU	Melville	Froehlich	Breusers	media
VI02	P04	2.2	5.6	3.8	7.2	4.7
	P13	1.9	3.9	3.1	5.0	3.5
	P15	2.2	5.6	1.9	3.6	3.3
	P17	2.3	3.8	1.8	4.2	3.1
	P33	1.7	3.5	1.3	1.8	2.1
	P39	3.2	4.3	2.3	7.3	4.3
	P46	1.3	1.6	1.0	0.8	1.2
	P55	2.3	4.4	1.5	2.9	2.8

Tabella 18 – Valore dello scavo localizzato in corrispondenza delle pile poste all'esterno dell'alveo del Biferno secondo le diverse equazioni e valore medio, considerando anche la presenza della fondazione.

7.2.3 Protezione delle pile dall'erosione: calcolo delle tensioni agenti e resistenti

Ai fini della valutazione dell'efficacia anti-erosiva di una protezione del fondo e/o delle sponde di un alveo è necessario verificare la resistenza al trascinamento dei massi, garantita dal peso del materiale costituente la protezione. Per una scogliera non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

La tensione tangenziale agente massima al fondo è funzione del raggio idraulico R, del peso specifico dell'acqua γ_w e della pendenza del fondo i_f :

$$\tau_m = \gamma_w \cdot R \cdot i_f$$

Nel caso di alvei larghi e poco profondi si compie un errore trascurabile sostituendo R (raggio idraulico) con h (tirante idraulico rispetto al fondo); questa semplificazione può essere effettuata per esempio nelle aree golenali, dove l'ampiezza della sezione di deflusso

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 63 DI 72

è sufficientemente elevata rispetto al tirante.

Per quanto riguarda la resistenza al trascinamento si definisce tensione massima di trascinamento τ_{cr} il massimo sforzo tangenziale oltre il quale il materiale di fondo comincia a muoversi. Per i materiali non coesivi la formula generalmente utilizzata è la formula di Shields:

$$\tau_{cr} = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot d_{75}$$

dove:

τ_{cr} = tensione massima di trascinamento (kg/m²);

C^* = coefficiente di Shields, adimensionale;

γ_m = peso specifico del materiale d'alveo;

γ_w = peso specifico dell'acqua (1000 kg/m²);

d_{75} = diametro del vaglio che consente il passaggio del 75 % del materiale d'alveo (m).

Nel caso di pietrame sciolto il coefficiente di Shields vale 0.047 e il peso specifico γ_m può essere assunto pari a 2600 kg/m³.

Per il materiale non coesivo situato su un fondo non orizzontale, occorre tenere conto della riduzione della tensione massima di trascinamento $\tau_{cr,s}$ (dovuta all'effetto della pendenza della sponda) mediante un coefficiente correttivo:

$$\tau_{cr,s} = \tau_{cr} \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \varphi}{\sin^2 \theta}}$$

in cui:

φ = angolo di attrito interno del materiale (non coesivo) che costituisce la sponda;

θ = angolo di inclinazione della sponda sull'orizzontale.

L'equazione scritta in precedenza si presta ad alcune semplici osservazioni che risultano tuttavia essere di interesse pratico. La prima riguarda l'angolo θ che deve risultare minore di quello di attrito interno φ del materiale poiché il termine sotto radice ha significato solo se positivo; condizione questa necessaria ma non sufficiente per la stabilità del materiale.

La seconda osservazione riguarda la tensione critica sulla sponda $\tau_{cr,s}$, superata la quale prende origine il moto delle particelle, che è minore di quella τ_{cr} sul fondo. Quando cioè sul fondo si verifichi la condizione limite $\tau \cong \tau_{cr}$ il materiale della sponda è esposto alla rimozione per essere $\tau_{cr,s} \leq \tau_{cr}$; pertanto la sponda va protetta e rivestita con materiale di maggiore pezzatura rispetto a quello posto come protezione al fondo.

Le verifiche eseguite per le sistemazioni idrauliche del viadotto oggetto dello studio sono riportate di seguito.

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 64 DI 72

7.2.4 Definizione delle opere di protezione spondale

Le opere di protezione assecondano il tracciato planimetrico del viadotto e la dislocazione delle pile: prima della realizzazione delle protezioni spondali è da prevedersi la rimozione della porzione ritenuta interferente delle opere provvisorie (diaframature o pali) previste per la costruzione delle pile.

Per le protezioni spondali e di fondo si prevede l'utilizzo di massi sciolti di diametro 0.8 m.

Le verifiche delle protezioni sono riportate nella tabella seguente, considerando un valore della pendenza del fondo di 0.17% e un raggio idraulico ottenuto dalla modellazione idraulica pari a 6.2:

Sponda	Tensione agente [daN/m ²]	Tensione resistente [daN/m ²]	Coeff. di sicurezza
Sinistra (Pila P32)	7.91	46.01	5.8
Destra (Pila P33)	7.91	46.01	5.8

Tabella 19 – Verifica delle protezioni di sponda.

Nella seguente tabella si verifica la protezione al fondo di progetto con riferimento alle pile poste sul piano campagna in sinistra idrografica (viadotto VI02, pile P01-P54), la pila posta in golena sinistra (viadotto VI02, pila P56) e le pile in golena destra (viadotto VI02, pile P57-P64).

Viadotto	Pila	Rappresentativo delle pile	Pendenza	Tirante [m]	RH [m]	Tensione agente [daN/m ²]	Diametro massi [m]	Tensione resistente [daN/m ²]	Coeff. di sicurezza
VI02	P17	P01-P54	0.001	6.00	6.00	6.00	0.8	60.16	10.0
VI02	P33		0.0016	4.91	4.91	7.86	0.8	60.16	7.7
VI02	P56	P56	0.0017	4.80	6.2	10.54	0.8	60.16	5.7
VI02	P60	P57-P64	0.0017	4.50	3.0	5.10	0.8	60.16	11.8

Tabella 20 – Verifica delle protezioni di fondo.

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C

8 CRITERI DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Le opere in progetto sono funzionali al raddoppio della linea ferroviaria Termoli – Lesina nel tratto compreso tra Termoli e Ripalta.

Il tracciato della linea si sviluppa, per una sua parte, all'interno delle aree fluviali e perifluviali del Fiume Biferno.

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 Stralcio per l'Assetto idrogeologico del Bacino Regionale del Fiume Biferno e Minori (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 nell'ottobre 2005;
- Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico del Bacino Regionale del Fiume Biferno e Minori (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 nell'ottobre 2005.

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.

La linea ferroviaria in progetto attraversa tali aree in viadotto con il fine di rendere idraulicamente trasparente il tratto interessato.

Congiuntamente all'analisi della cartografia del PAI, nel presente studio è stato realizzato un modello bidimensionale del Fiume Biferno, al fine di verificare con maggior precisione l'effettiva estensione delle aree a potenziale allagamento del fiume, assieme a

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C

una stima accurata dei livelli idrici e delle velocità.

8.1 Analisi del tracciato

Il tracciato ferroviario in parte si sviluppa in aree a diversa pericolosità idraulica (Figura 27). In Tabella 21 sono riportate le definizioni della relazione generale del PAI – Biferno e Minori. 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 21 – Classi di pericolosità idraulica – PAI Biferno e Minori

Secondo le carte di pericolosità il tracciato ricade all'interno dell'area di pericolosità P2 e P3 (Figura 33).

Confrontando le aree pubblicate all'interno del PAI (Figura 33) con quelle dedotte dalle simulazioni numeriche (Figura 34, per la piena TR 500 anni, per la configurazione ante operam 1), si osserva una buona corrispondenza tra le estensioni delle aree allagabili.

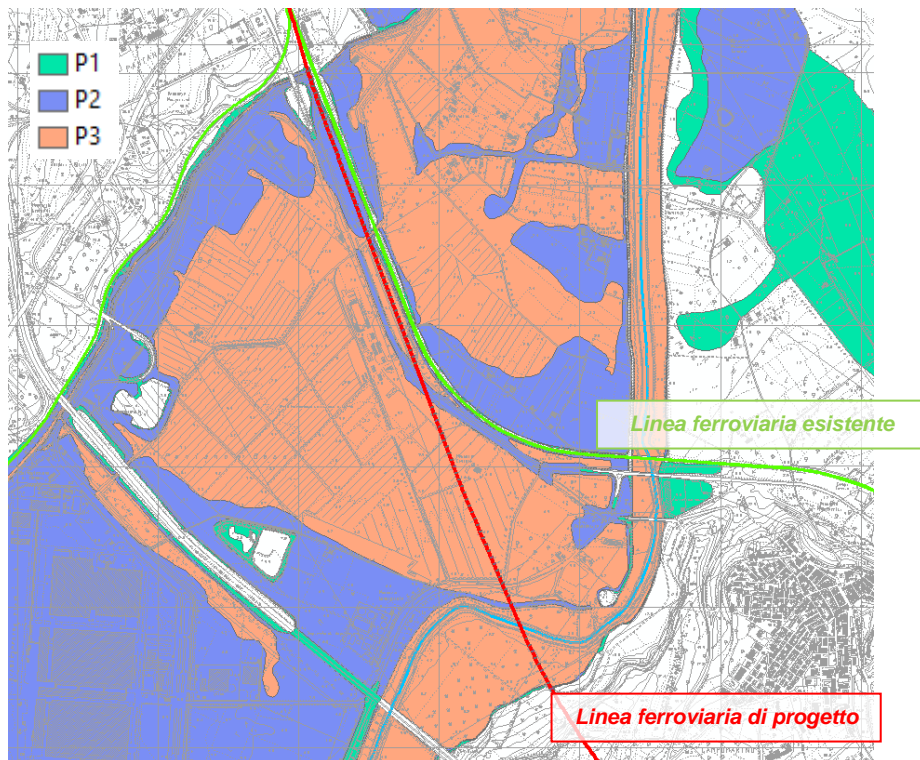


Figura 33 – Sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità idraulica del PAI.

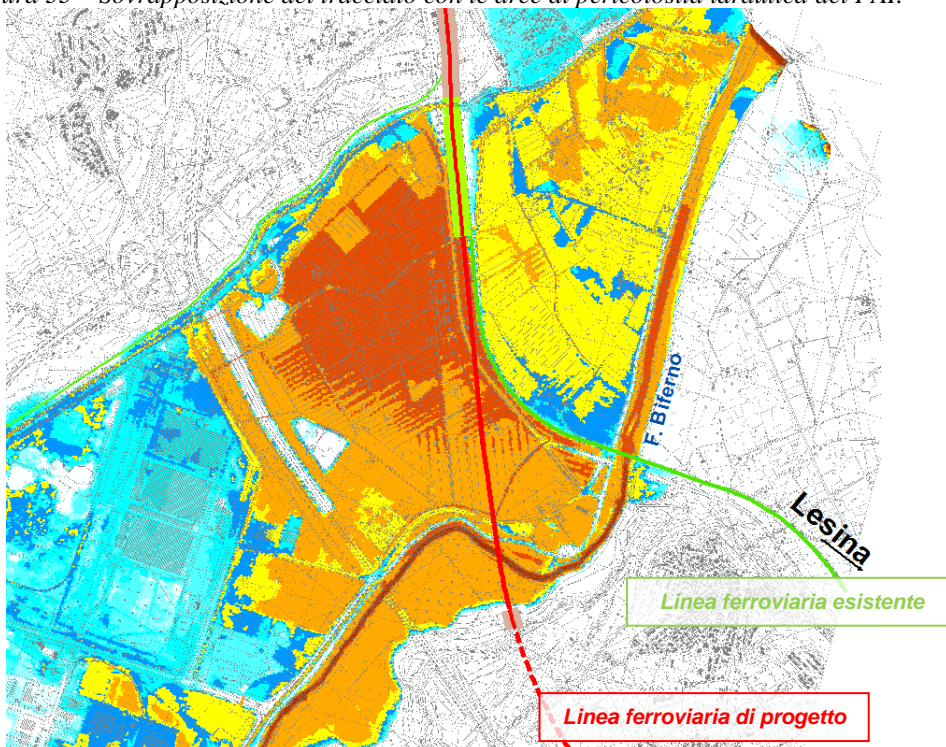


Figura 34 – Sovrapposizione del tracciato con l'estensione delle aree allagate – configurazione ante operam 1 – TR 500 anni

Si riporta di seguito la sovrapposizione dell'asse del tracciato di progetto con la fascia di

riassetto fluviale definita dell'AdB del Biferno e Minori. 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".

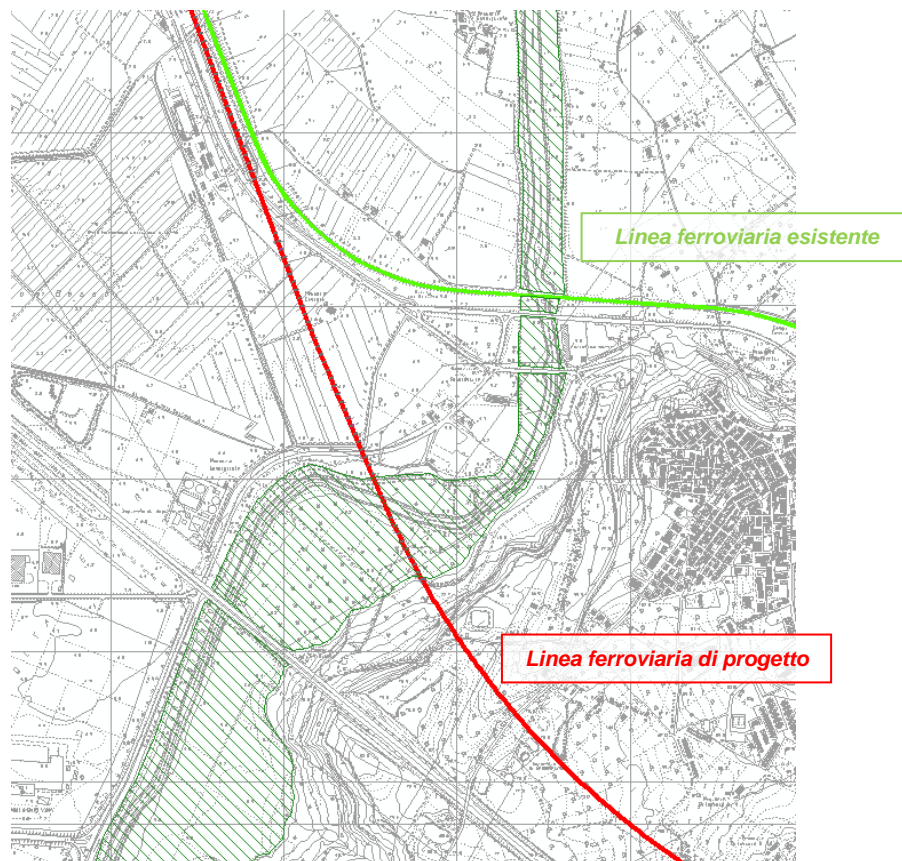


Figura 35 – Sovrapposizione del tracciato con la fascia di riassetto fluviale.

Tale fascia viene occupata del tracciato solo in corrispondenza dell'attraversamento del Fiume Biferno.

La disciplina relativa alle fasce di riassetto fluviale prevale, in caso di sovrapposizione,

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 69 DI 72

sulla disciplina relativa alle aree a diversa pericolosità.

Nella fascia di riassetto fluviale, tra gli altri, sono consentiti i seguenti interventi:

“adeguamento e ristrutturazione delle opere relative alle reti dei trasporti ed alle reti di adduzione e distribuzione dei servizi esistenti, sia pubbliche che di interesse pubblico, non delocalizzabili purché approvati dalla Autorità idraulica competente previo parere del Comitato Tecnico della Autorità di Bacino senza aggravare le condizioni di pericolosità idraulica e pregiudicare gli interventi previsti dal PAI.”

8.2 Verifiche idrauliche

In base a quanto richiesto delle NTA del PAI – Biferno e Minori ed al manuale di progettazione ferroviaria, lo studio idraulico è stato condotto per i seguenti tempi di ritorno: 30, 200, 300 e 500 anni. In accordo al PAI Biferno e Minori, 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.

Gli idrogrammi utilizzati sono riportati al Capitolo 3 e nella Relazione Idrologica annessa al progetto.

Per gli attraversamenti principali, il Manuale di Progettazione ferroviaria 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;*

- *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.”*

	LINEA PESCARA - BARI					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	LI02	02	D 78 RI	ID0002 001	C	70 DI 72

Le Norme di Attuazione del PAI Biferno e Minori 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, la presenza di esondazioni significative, per il Fiume Biferno 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.

I coefficienti di scabrezza adottati sono quelli previsti delle Norme di Attuazione del PAI – Biferno e Minori (si veda il paragrafo 5.4), così come i franchi minimi per le verifiche idrauliche (si veda paragrafo 7.1).

8.3 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, 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;
- 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

	LINEA PESCARA - BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C

delle pile o delle spalle;

- evitare le conseguenze derivanti dai fenomeni di erosione localizzata.

8.4 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:

- ✓ 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 massi sciolti garantisce la sicurezza dell'opera rendendo stabile il fondo e prevenendo eventuali dissesti da erosione;

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: LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA					
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78	DOCUMENTO RI ID0002 001	REV. C	FOGLIO 72 DI 72

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Manuale di ingegneria Civile e ambientale*, vol. 1, IV edizione, Zanichelli-ESAC.
- 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 .