

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA
S.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO
(LOTTO 2)

RELAZIONE IDRAULICA
MODELLO BIDIMENSIONALE DEL FIUME PESCARA

SCALA:

-

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

IA97 00 R 09 RI ID0002 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	C. Cesali 	Agosto 2021	F. Cabas 	Agosto 2021	T. Paoletti 	Agosto 2021	Vittozzi Agosto 2021

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

File: IA9700R09RIID0002001A.doc

n. Elab.: 7-2

INDICE

1	PREMESSA	6
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO	7
2.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL'AREA DI STUDIO	7
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO	11
3	DATI DI BASE	14
3.1	RILIEVI TOPOGRAFICI E OPERE ESISTENTI	14
3.2	OPERE DI ATTRAVERSAMENTO ESISTENTI E IN PROGETTO	14
4	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE	18
4.1	MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE	18
	4.2.1 Geometria del modello	20
	4.2.2 Scabrezze	23
	4.2.3 Condizioni al contorno	23
	4.2.4 Scenari simulati	24
5	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	25
5.1	SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON IL PGRA	25
5.2	SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM	32
	5.2.1 Verifica del franco idraulico di progetto	37
6	VERIFICA DELLE FASI DI CANTIERE	40
7	STIMA DELLO SCALZAMENTO ATTESO ATTORNO ALLE PILE IN ALVEO	44
8	SISTEMAZIONI IDRAULICHE E PROTEZIONE DELLE PILE	51
9	VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO	54
10	BIBLIOGRAFIA	56

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Inquadramento geografico della zona in esame con evidenziata la linea ferroviaria in affiancamento al F. Pescara.</i>	7
<i>Figura 2 – Aree di pericolosità idraulica (da P.G.R.A.A.C.) nell’area di intervento (a Scafa).</i>	9
<i>Figura 3 – Aree di pericolosità idraulica (da P.G.R.A.A.C.) nell’area di intervento (a Manoppello).</i>	10
<i>Figura 4 – Fiume Pescara: pianta (in alto) e prospetto lato valle (in basso) del nuovo viadotto VI21.</i>	15
<i>Figura 5 – Fiume Pescara: prospetto (lato valle) dell’opera di attraversamento esistente, in uscita dalla stazione di Manoppello.</i>	15
<i>Figura 6 – Fiume Pescara: pianta (in alto) e prospetto lato monte (in basso) del nuovo viadotto VI23.</i>	16
<i>Figura 7 – Fiume Pescara: prospetto (lato valle) dell’opera di attraversamento esistente, in ingresso alla stazione di Scafa.</i>	17
<i>Figura 8 – Estensione del tratto di studio del Fiume Pescara nel modello numerico 2D.</i>	21
<i>Figura 9 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM: particolare dell’infittimento.</i>	22
<i>Figura 10 – Modello numerico 2D: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.</i>	23
<i>Figura 11 – Idrogrammi di piena del F. Pescara, alla sezione di interesse (alla foce), per diversi tempi di ritorno.</i>	24
<i>Figura 12 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni) del F. Pescara; confronto con le aree di pericolosità idraulica P2 del PGRA.</i>	25
<i>Figura 13 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 1 di 5.</i>	27
<i>Figura 14 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 2 di 5.</i>	28
<i>Figura 15 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 3 di 5.</i>	29
<i>Figura 16 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 4 di 5.</i>	30
<i>Figura 17 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 5 di 5.</i>	31
<i>Figura 18 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 1 di 5.</i>	32

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

<i>Figura 19 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 2 di 5.....</i>	33
<i>Figura 20 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 3 di 5.....</i>	34
<i>Figura 21 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 4 di 5.....</i>	35
<i>Figura 22 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 5 di 5.....</i>	36
<i>Figura 23 – Viadotto VI21, campata di scavalco dell'alveo inciso con livelli idrici Tr200.</i>	37
<i>Figura 24 – Viadotto VI23, campata di scavalco dell'alveo inciso con livelli idrici Tr200.</i>	38
<i>Figura 25 – Mappa dei vettori velocità in corrispondenza del viadotto VI21 sul Fiume Pescara e rispetto della prescrizione relativa alla luce nette minima tra pile contigue (50 m > 40 m), come da NTC2018.....</i>	39
<i>Figura 26 – Mappa dei vettori velocità in corrispondenza del viadotto VI23 sul Fiume Pescara e rispetto della prescrizione relativa alla luce nette minima tra pile contigue (64 m > 40 m), come da NTC2018.....</i>	39
<i>Figura 27 – Viadotto VI21: tipologico delle opere provvisionali per la realizzazione delle fondazioni delle pile in alveo.....</i>	40
<i>Figura 28 – Viadotto VI21, modello 1D del F. Pescara: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 1.</i>	42
<i>Figura 29 – Viadotto VI21, modello 1D del F. Pescara: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 2.</i>	42
<i>Figura 30 – Viadotto VI23, modello 1D del F. Pescara: risultati in termini di livelli idrici per la portata di cantiere nella sezione di attraversamento.</i>	43
<i>Figura 31–Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.....</i>	47
<i>Figura 32–Viadotto VI21: opere di protezione previste in corrispondenza delle pile interessate dalla piena di progetto.....</i>	52
<i>Figura 33–Viadotto VI23: opere di protezione previste in corrispondenza delle pile interessate dalla piena di progetto.....</i>	53

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1. Classi di pericolosità idraulica adottate nel P.G.R.A. – Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (2019).....</i>	<i>9</i>
<i>Tabella 2 – Viadotto VI21: verifica del franco idraulico di progetto.</i>	<i>37</i>
<i>Tabella 3 – Viadotto VI23: verifica del franco idraulico di progetto.</i>	<i>37</i>
<i>Tabella 4- Formulazione CSU: valori dei fattori correttivi K1, K2, K3.</i>	<i>45</i>

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	6 di 56

1 PREMESSA

La presente relazione idraulica è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnica Economica “*Velocizzazione della linea Roma – Pescara, Raddoppio Ferroviario della tratta Scafa - Manoppello – Lotto 2*”.

Il tracciato di progetto si sviluppa in affiancamento al Fiume Pescara, attraversando quest’ultimo due volte, alle progressive 2+350 (nuovo viadotto VI21) e 6+700 (nuovo viadotto VI23).

Sulla scorta delle analisi eseguite nell’ambito dello studio idrologico annesso (rif. IA9700R09RIID0001001A), si è proceduto all’implementazione di un modello numerico bidimensionale, 2D (in regime di moto vario), finalizzato alla simulazione del comportamento *ante operam* e *post operam* del Fiume Pescara e alla verifica di compatibilità idraulica delle due nuove opere di attraversamento (VI21, VI23, e in generale dell’intero tracciato ferroviario in progetto), con riferimento alle portate al colmo di piena associate ad un tempo di ritorno di 200 anni e alle aree di pericolosità idraulica riportate nel *PIANO STRALCIO DIFESA ALLUVIONI – P.S.D.A. –* redatto dall’Autorità dei Bacini Regionali e Interregionali del Fiume Sangro, approvato con delibera n.6 del 31/07/2007 del Comitato Istituzionale (e s.m.i.), nonché nel *PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI* (di recente emanazione) dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Centrale - P.G.R.A.A.C. (II ciclo di pianificazione, agg. Dicembre 2019, Approvazione definitiva prevista per il 2021).

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

Sono studiate, in via preliminare, anche le fasi di costruzione dei nuovi viadotti, in particolare la realizzazione delle strutture di fondazione in alveo. Nello specifico, sono state previste adeguate opere provvisorie ai fini della messa in sicurezza delle aree di lavoro.

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO

2.1 Pericolosità idraulica nell'area di studio

La “nuova” tratta ferroviaria *Scafa - Manoppello* attraversa il Fiume Pescara due volte, prima in uscita dalla stazione di Manoppello (a monte del ponte ferroviario esistente, scavalcando anche l'autostrada A25) e poi in ingresso alla stazione di Scafa (a valle del ponte ferroviario esistente). L'intero tracciato si sviluppa completamente in affiancamento al Fiume Pescara. Nella figura seguente, è riportato il tracciato della linea ferroviaria in progetto, con evidenziata l'area di studio.

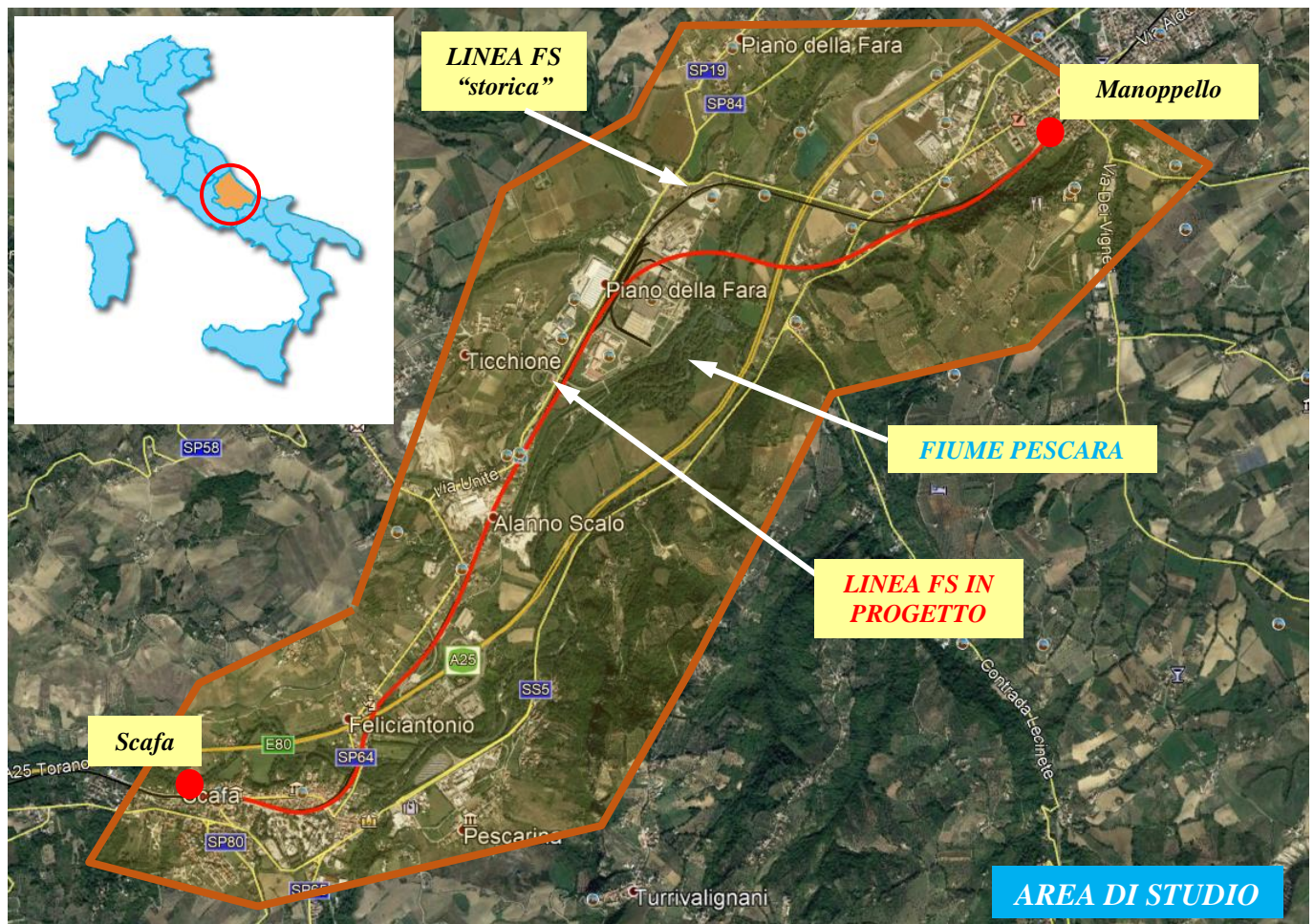


Figura 1 - Inquadramento geografico della zona in esame con evidenziata la linea ferroviaria in affiancamento al F. Pescara.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	8 di 56

Il Fiume Pescara (detto anche Aterno-Pescara) è il fiume più lungo d'Abruzzo e il maggiore per estensione di bacino (circa 3170 km²) fra quelli che sfociano nell'Adriatico a sud del Fiume Reno.

Nasce come Aterno sui Monti della Laga, nei pressi di Montereale, e si sviluppa prevalentemente tra la provincia dell'Aquila e quella di Pescara, toccando in minima parte anche la provincia di Chieti; nei pressi di Popoli si unisce al fiume Pescara e sfocia nel mare Adriatico nell'omonima città.

In particolare, il corso d'acqua si può dividere in tre parti: l'Aterno, fino all'immissione del Sagittario, l'Aterno-Sagittario fino all'unione con il Pescara e l'Aterno-Pescara (anche detto solo Pescara) nel tratto conclusivo, fino alla foce. L'inquadramento geografico, morfologico e idrografico del bacino è riportato nell'elaborato progettuale annesso IA9700R09RIID0001001A – *Relazione idrologica: studio idrologico del bacino del Fiume Pescara*.

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idraulica del bacino del Fiume Pescara, nell'area di intervento e nel territorio di competenza dell'Autorità dei Bacini Regionali e Interregionali del Fiume Sangro, è attualmente riportato nel PIANO STRALCIO DIFESA ALLUVIONI – P.S.D.A., approvato con delibera n.6 del 31/07/2007 del Comitato Istituzionale e nelle relative Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A.), nonché nel PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (di recente emanazione) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale - P.G.R.A.A.C. (II ciclo di pianificazione, agg. Dicembre 2019, Approvazione definitiva prevista per il 2021).

Con riferimento al P.G.R.A.A.C. (dicembre 2019), sono individuate 3 classi di pericolosità idraulica (*P3 – elevata probabilità, P2 – media probabilità, P1 – scarsa probabilità*).

La classe di pericolosità P3 (*Scenario C - elevata probabilità di alluvioni*) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento $Tr \in 50 - 100$ anni.

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

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

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

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

Tabella 1. Classi di pericolosità idraulica adottate nel P.G.R.A. – Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (2019).

Come illustrato nelle figure sottostanti, la linea ferroviaria in progetto è interessata dalle aree di pericolosità idraulica *elevata* (P3), *media* (P2) e *bassa* (P1), come da P.G.R.A.A.C. (2019), soltanto in corrispondenza dei due nuovi attraversamenti sul *Fiume Pescara* (per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati grafici annessi IA9700R09N5ID0002001A, IA9700R09N5ID0002002A).

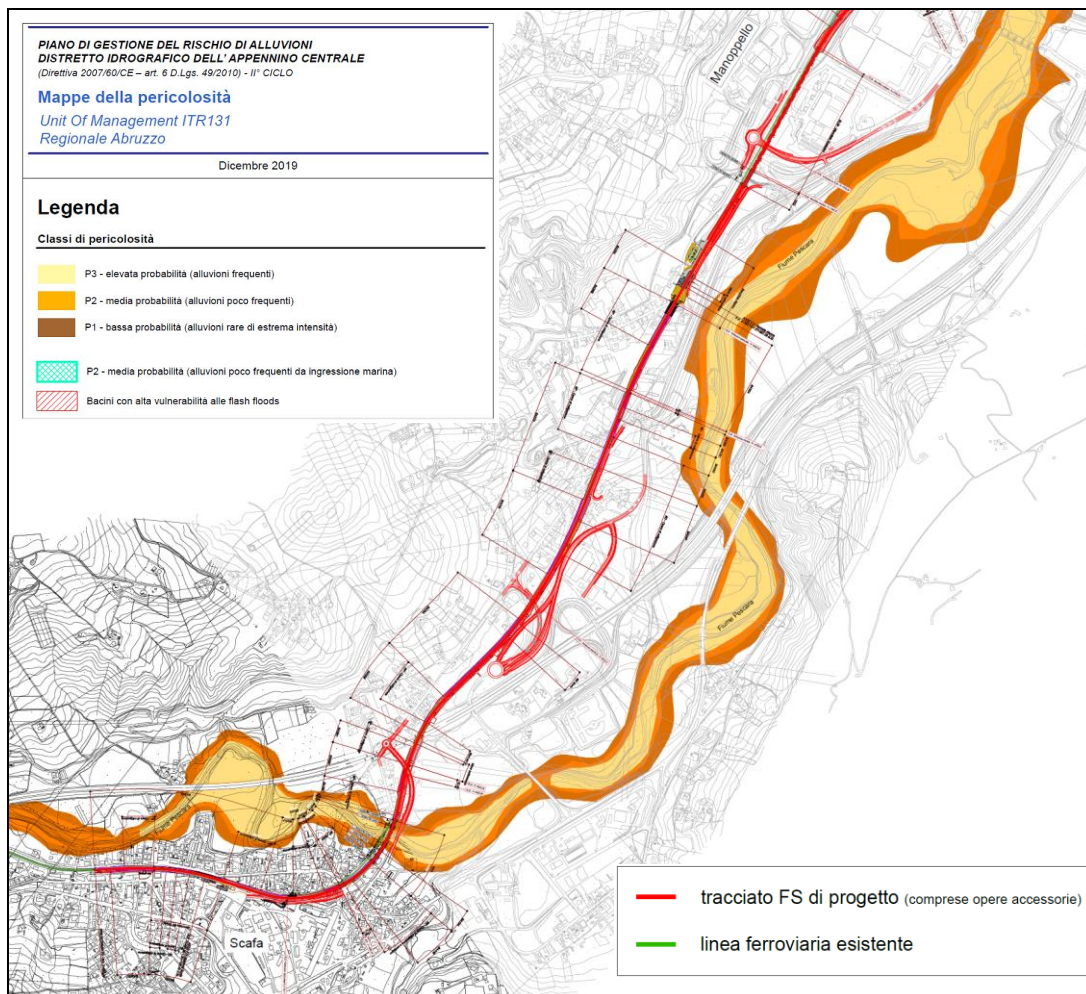


Figura 2 – Aree di pericolosità idraulica (da P.G.R.A.A.C.) nell'area di intervento (a Scafa).

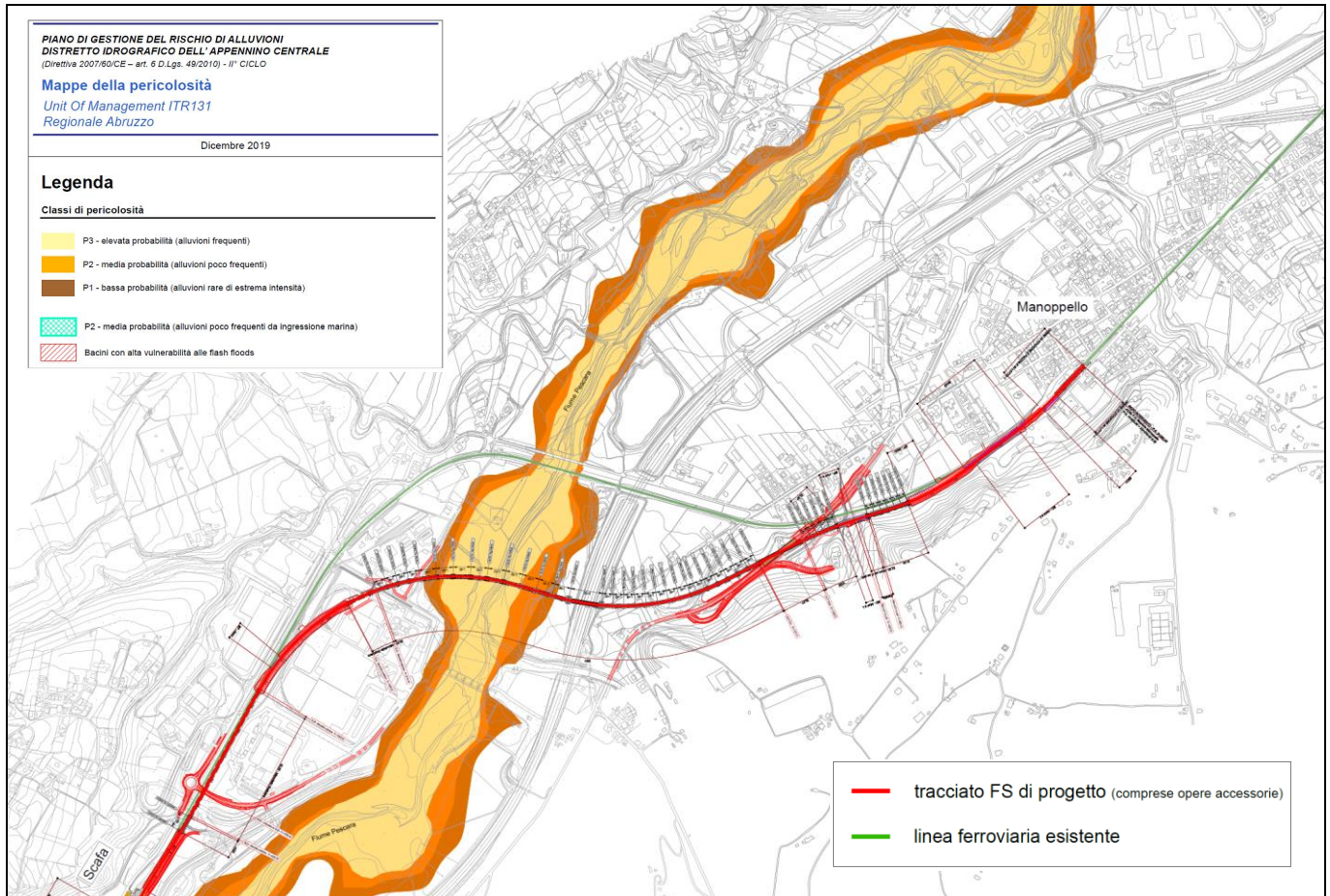


Figura 3 – Aree di pericolosità idraulica (da P.G.R.A.A.C.) nell'area di intervento (a Manoppello).

Si è operato quindi in conformità alle Norme Tecniche di Attuazione del P.S.D.A. (normativa comunque rimasta in vigore e di riferimento nell'ambito della pianificazione di bacino, a seguito anche dell'emanazione del P.G.R.A.A.C.) sviluppando uno studio di compatibilità idraulica in cui si è dimostrata la coerenza delle opere in progetto con quanto proposto nel Piano Stralcio Difesa Alluvioni ed in particolare che gli *“interventi previsti rispettino il vincolo di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente - fatto salvo quello eventuale intrinsecamente connesso agli interventi stessi - e di non precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio mediante azioni future”*.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	11 di 56

2.2 Obiettivi dello studio idraulico

In ragione dello scenario di pericolosità idraulica esistente nell'area di intervento precedentemente descritto, si rende necessario quindi uno studio idraulico di dettaglio, atto a verificare quanto definito nell'ambito della pianificazione di bacino vigente (P.G.R.A.A.C. – II ciclo) e a valutare la compatibilità idraulica delle nuove opere di attraversamento e della linea ferroviaria in progetto nel suo complesso.

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento in progetto, nonché l'intera linea ferroviaria, devono osservare le prescrizioni delle NTC2018, ed in particolare della circolare applicativa n.7/2019, del Manuale di progettazione ferroviaria RFI (MdP, rif. *RFIDTCSIPSMAIFS001E*, 2020) e delle Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A.) della pianificazione di bacino vigente (P.S.D.A.).

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

- ✓ il franco idraulico tra la quota di intradosso del manufatto ed il livello idrico corrispondente alla piena di progetto ($Tr = 200$ anni) non deve essere inferiore a 1.50 m nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- ✓ il franco minimo tra la quota di intradosso del manufatto e la quota di carico idraulico totale ($Tr = 200$ anni) deve essere almeno pari a 50 cm.

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

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

“..... Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni ($Tr=200$).....Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	12 di 56

interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione. Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m."

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

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

Con riferimento alle N.T.A. del P.S.D.A. (2007):

ARTICOLO 19 - Interventi consentiti in materia di infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata

- 1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 7, 8, 9 e 10, nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata in materia di infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico sono consentiti esclusivamente:*

.....

- d. l'ampliamento e la ristrutturazione di infrastrutture a rete e puntuali, destinate a servizi pubblici essenziali non delocalizzabili e prive di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili;*

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	13 di 56

ARTICOLO 20 - Interventi consentiti nelle aree di pericolosità idraulica elevata

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 7, 8, 9 e 10, nelle aree di pericolosità idraulica elevata sono consentiti esclusivamente:

a. gli interventi, le opere e le attività ammessi nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata, alle medesime condizioni stabilite nel Capo III;

.....

ARTICOLO 21 - Interventi consentiti nelle aree di pericolosità idraulica media

1. Fermo restando quanto stabilito negli articoli 7, 8, 9 e 10, nelle aree di pericolosità idraulica media sono consentiti esclusivamente:

a. gli interventi, le opere e le attività consentiti nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata ed elevata, alle medesime condizioni rispettivamente stabilite;

.....

ARTICOLO 22 - Interventi consentiti nelle aree di pericolosità idraulica bassa/moderata

1. Nelle aree di pericolosità idraulica moderata è demandato agli strumenti urbanistici ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio, le nuove costruzioni, gli interventi sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione d'uso, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico, conformemente alle prescrizioni generali degli articoli 7, 8, 9 e 10 e a condizione di impiegare tipologie e tecniche costruttive idonee alla riduzione della pericolosità e dei danni potenziali;

.....

Si è proceduto quindi all'implementazione del modello idraulico, numerico, bidimensionale del Fiume Pescara, finalizzato alla simulazione della propagazione dell'onda di piena associata ad un tempo di ritorno di progetto di **200 anni**, propedeutica alla verifica di compatibilità idraulica delle nuove opere di attraversamento (VI21 alla progr. 2+350, VI23 alla progr. 6+700), e del tracciato ferroviario di progetto nel suo complesso.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 14 di 56

3 DATI DI BASE

3.1 rilievi topografici e opere esistenti

I dati topografici a disposizione per l'implementazione del modello numerico 2D sono i seguenti:

- sezioni trasversali dell'alveo e rilievo delle opere di attraversamento esistenti sul F. Pescara, ottenute da apposita campagna topografica condotta da Italferr;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1m x1m, fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR) ad alta risoluzione (50 punti a m²) eseguito da Italferr.

Il confronto tra le diverse informazioni topografiche ed in particolare tra le sezioni trasversali ottenute dal rilievo topografico e il rilievo LiDAR ha evidenziato un'ottima corrispondenza sia per quanto riguarda le aree golenali ed esterne all'ambito fluviale che per l'alveo inciso.

Questo ha permesso, nell'implementazione del modello idraulico, di utilizzare le due informazioni topografiche in maniera complementare.

3.2 Opere di attraversamento esistenti e in progetto

Come anzidetto, la linea ferroviaria in progetto attraversa il Fiume Pescara alla progr. 2+350 tramite il viadotto VI21, in uscita dalla stazione di Manoppello, e alla progr. 6+700 tramite il viadotto VI23, in ingresso alla stazione di Scafa.

Il **nuovo viadotto VI21** è costituito di 29 campate, così disposte:

- 6 campate con luce da 40 metri, a partire dall'attraversamento della via Tiburtina (da Spalla A a Pila 6)
- 1 campata con luce da 25 metri (Pila 6 e 7)
- 8 campate con luce da 40 metri, prima dell'attraversamento dell'autostrada A25 (Pila 7 ÷ 15)
- 1 campata da 120 metri, per lo scavalco dell'autostrada A25 (Pila 15 ÷ 16)
- 9 campate con luce da 60 metri (Pila 16 ÷ 25) per l'attraversamento del Fiume Pescara e delle relative aree di esondazione
- 4 campate con luce da 40 metri (da Pila 25 a Spalla B)

La quota di intradosso minima, in corrispondenza dell'alveo del Fiume Pescara, si attesta a +82.90 m slm.

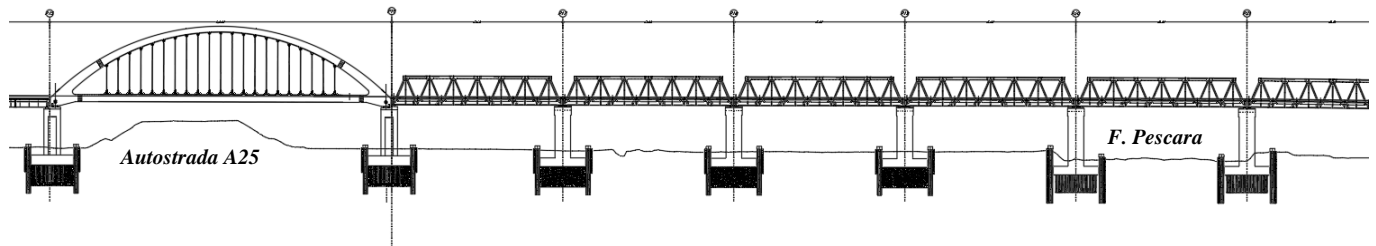
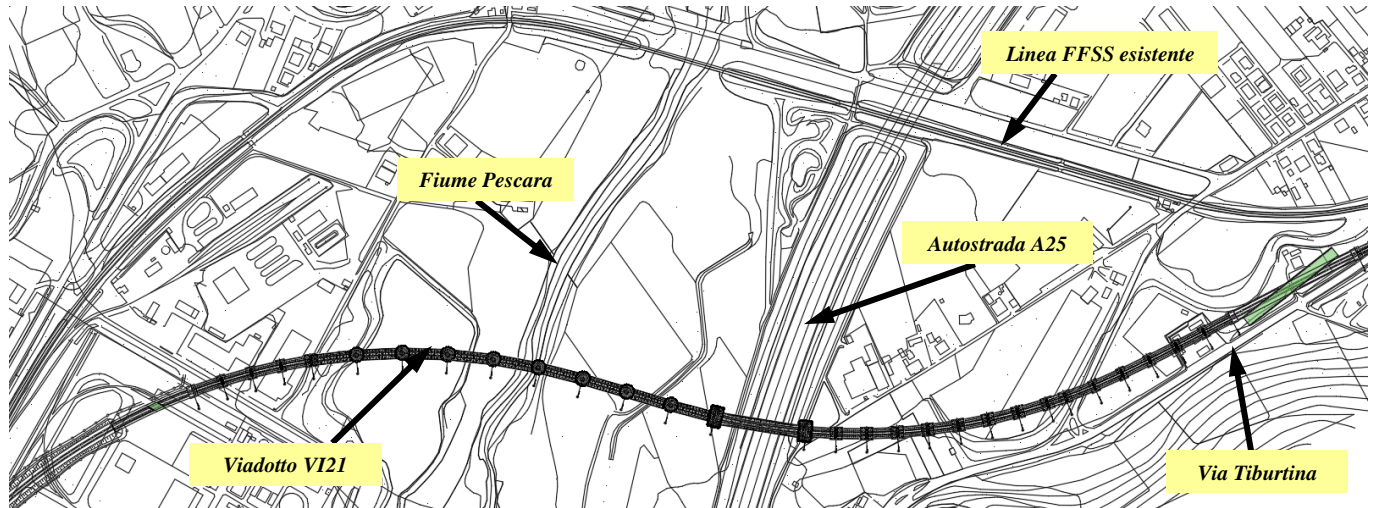


Figura 4 – Fiume Pescara: pianta (in alto) e prospetto lato valle (in basso) del nuovo viadotto VI21.



Figura 5 – Fiume Pescara: prospetto (lato valle) dell'opera di attraversamento esistente, in uscita dalla stazione di Manoppello.

Il nuovo viadotto VI21 sarà realizzato a monte dell'attuale opera di attraversamento della linea ferroviaria esistente, costituita da un viadotto a sei archi in muratura, con luce di 14 metri e quota di intradosso pari a +70.0 m slm.

Il **nuovo viadotto VI23** è costituito invece di 5 campate, così disposte:

- 4 campate con luce da 25 metri, di approccio a quella di scavalco del Fiume Pescara
- 1 campata con luce da 70 metri di scavalco del Fiume Pescara

La quota di intradosso minima, in corrispondenza dell'alveo del Fiume Pescara, si attesta a +101.4 m slm.

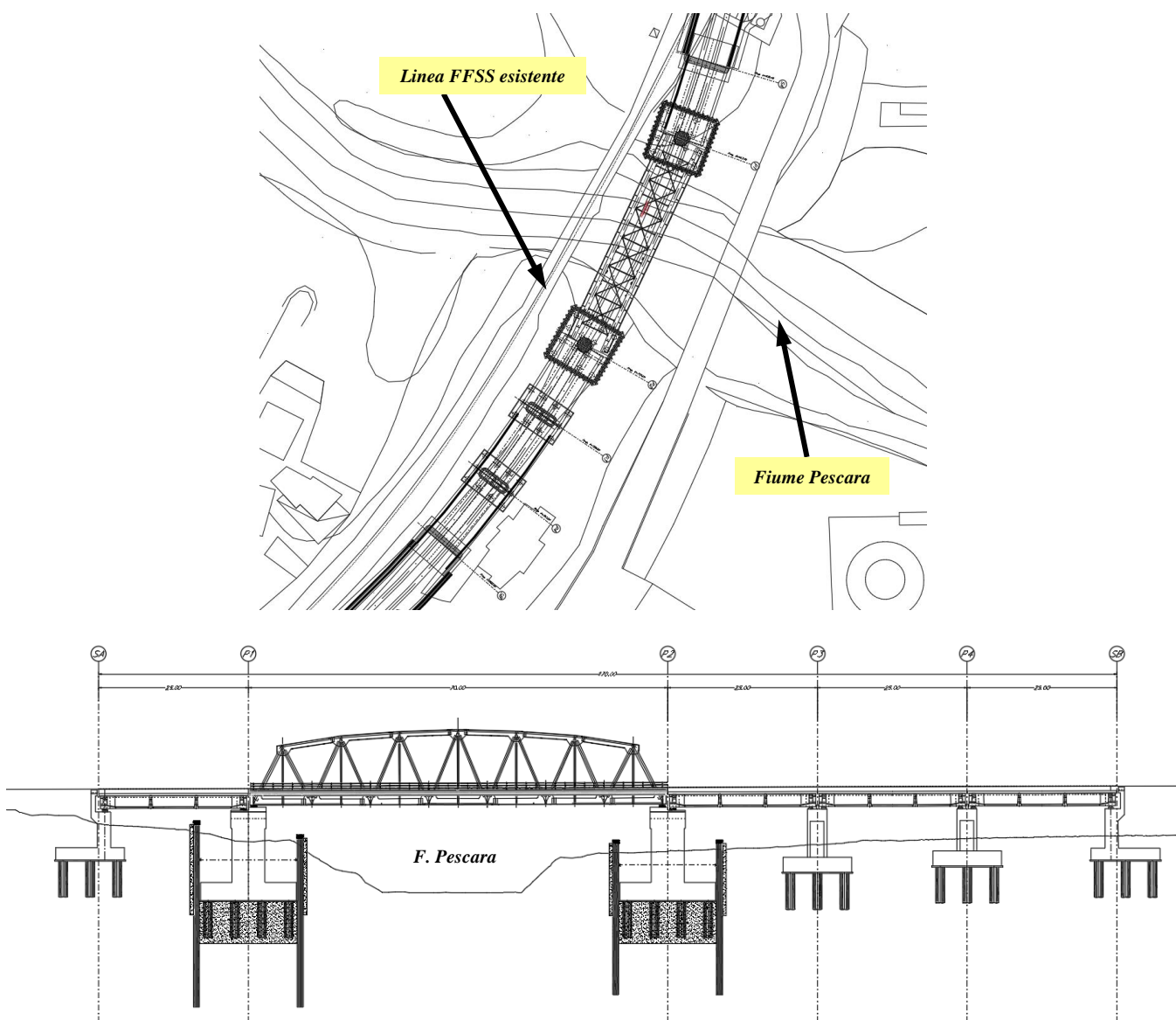


Figura 6 – Fiume Pescara: pianta (in alto) e prospetto lato monte (in basso) del nuovo viadotto VI23.

Il nuovo viadotto VI23 sarà realizzato a valle dell'attuale opera di attraversamento della linea ferroviaria esistente, costituita da un viadotto mono-campata, a travata reticolate metallica, con luce di 48 metri e quota di intradosso minima pari a +94.30 m slm.



Figura 7 – Fiume Pescara: prospetto (lato valle) dell'opera di attraversamento esistente, in ingresso alla stazione di Scafa.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 18 di 56

4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE

Come anticipato, per la valutazione della compatibilità idraulica della linea ferroviaria in progetto e delle nuove opere di attraversamento previste sul F. Pescara, si è proceduto all'implementazione di un modello numerico bidimensionale in regime di moto vario del corso d'acqua finalizzato alla determinazione *i*) delle aree potenzialmente inondabili e *ii*) dei livelli idrici in corrispondenza dei viadotti VI21 e VI23, sia nella configurazione *attuale* che *post operam* (o di progetto).

Il codice di calcolo utilizzato è *InfoWorks ICM 9.0*, sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito (UK).

4.1 Modellazione bidimensionale

La modellazione bidimensionale di un corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza la propagazione delle onde di piena nell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue con la riuscendo a modellare il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature; è possibile inoltre rappresentare con un elevato grado di dettaglio la propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle.

Allo stesso tempo la rappresentazione in termini bidimensionali del campo di velocità consente di analizzare l'evoluzione degli allagamenti indotti dal propagarsi delle onde di piena all'interno dell'area esaminata.

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

la direzione verticale. La formulazione delle SWE utilizzate nel software InfoWorks ICM è riassunta di seguito:

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

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

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

I termini citati rappresentano rispettivamente: h , il tirante idrico della corrente; u e v , rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni x ed y ; t , il tempo; g , l'accelerazione di gravità; $S_{0,x}, S_{0,y}$ le componenti dovute alle tensioni tangenziali al fondo, rispettivamente in direzione x e y ; $S_{f,x}, S_{f,y}$, le componenti dovute alla pendenza del fondo, rispettivamente in direzione x e y ; q_{1D} , la portata immessa per unità di superficie; u_{1d} e v_{1d} , le componenti di velocità relative alla portata immessa rispettivamente in direzione x e y . Il contributo degli effetti turbolenti viene considerato limitatamente alla turbolenza localizzata alla parete (wall friction), mentre gli effetti turbolenti legati alle fluttuazioni di velocità nelle regioni più interne del fluido vengono trascurate. In genere si ingloba quest'ultimo effetto dissipativo nel termine che rappresenta la dissipazione localizzazione alla parete. La formulazione conservativa delle SWE è essenziale al fine di preservare la massa e la quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette di rappresentare le discontinuità nel flusso e i cambiamenti tra moto gradualmente e rapidamente vario (*gradually varied flow* e *rapidly varied flow*).

Le SWE, applicate in forma conservativa, sono discretizzate usando lo schema esplicito di primo ordine ai volumi finiti. Gli schemi ai volumi finiti utilizzano volumi di controllo per rappresentare le aree di interesse. Il dominio di calcolo è suddiviso in forme geometriche in grado di interpretare le caratteristiche peculiari del campo di moto stesso sulle quali vengono integrate le SWE. Lo schema che risolve le SWE è basato sullo schema numerico di Gudonov con i flussi numerici attraverso i contorni dei volumi di controllo calcolati. La metodologia secondo i volumi finiti è considerata essere vantaggiosa in termini di flessibilità della geometria e semplicità concettuale.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	20 di 56

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

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

dove: c è il numero di Courant (il valore di default è 0.95).

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

4.2.1 Geometria del modello

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

In particolare, è stato modellato/simulato il Fiume Pescara per un tratto di lunghezza totale pari a circa 13 km, da Scafa all'interporto d'Abruzzo. Nella figura seguente è riportata l'estensione del dominio di calcolo (superficie = 1800 ha circa).

La geometria del modello è stata implementata utilizzando i dati LIDAR disponibili per l'area in esame e da rilievo topografico, precedentemente descritti. In particolare:

- per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento a sezioni di rilievo topografico;
- le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal modello digitale del terreno ricostruito integrando il Lidar ad alta risoluzione eseguito da Italferr con quello a maglia 1m x 1m fornito dal Ministero dell'Ambiente, verificando la congruenza tra i rilievi celerimetrici disponibili ed il DTM medesimo.

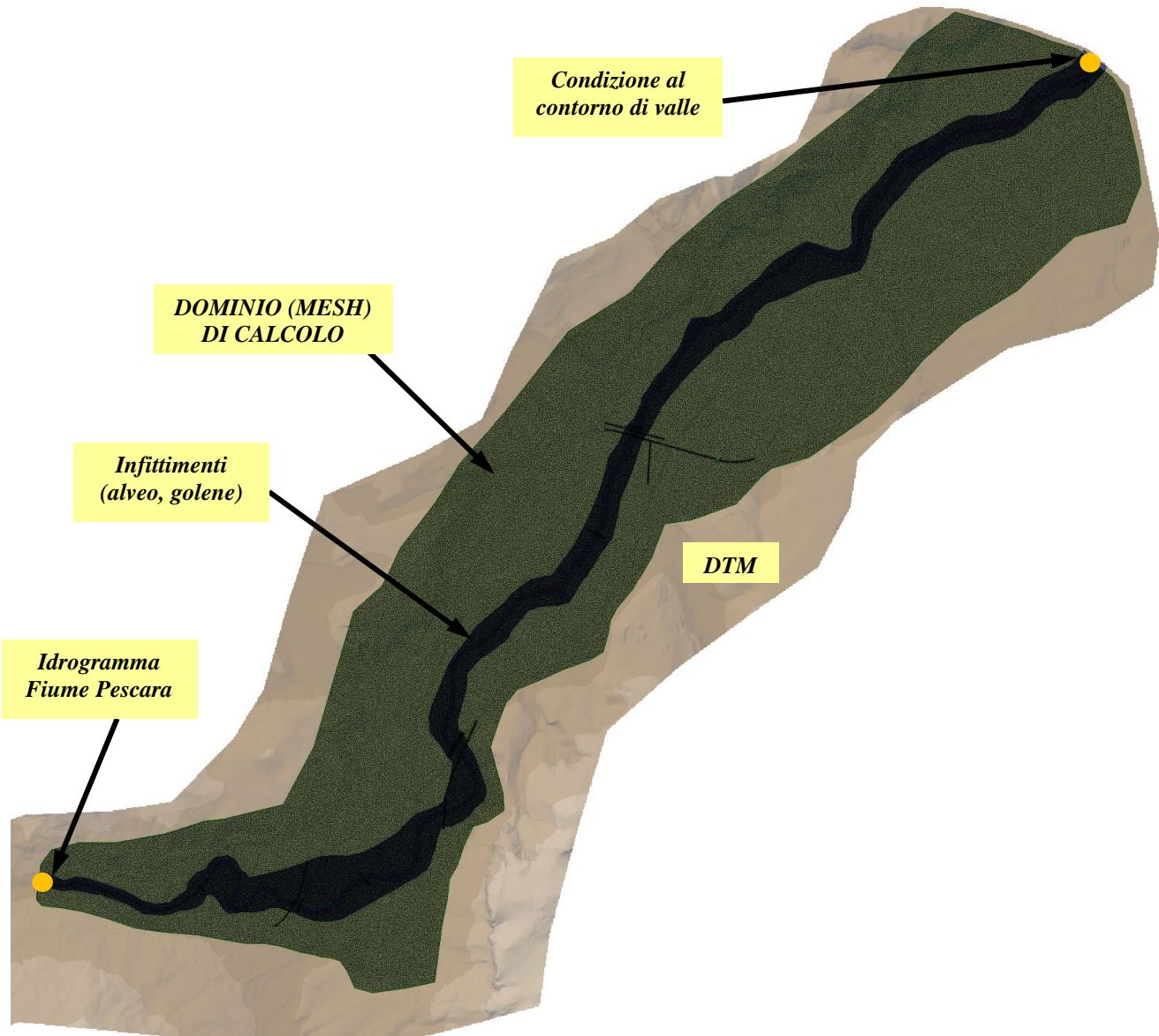


Figura 8 – Estensione del tratto di studio del Fiume Pescara nel modello numerico 2D.

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

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	22 di 56

La mesh di calcolo è costituita da circa 520000 elementi. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 100 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 25 m².

Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione massima degli elementi è pari a 25 m² e una dimensione minima di 9 m².

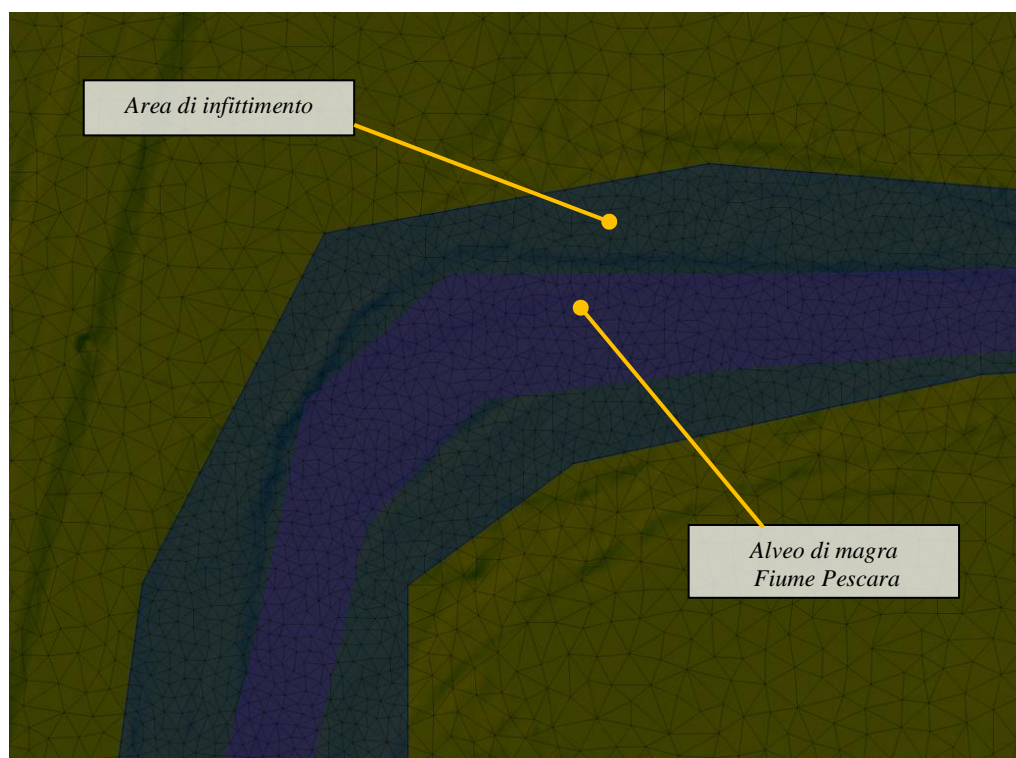


Figura 9 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM: particolare dell'infittimento.

In ragione della loro elevazione, le opere di attraversamento in progetto sono state implementate nel modello 2D inserendo soltanto le pile (senza impalcati), tramite opportuni poligoni vuoti.

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

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

Ponte 2D (per rappresentare l'impalcato e le luci). Mediante la prima linea, viene estratta dal DTM di base la sezione d'alveo in corrispondenza del ponte/viadotto; tramite la seconda linea, viene definita la struttura (impalcato, campate/pile) dell'opera di attraversamento.

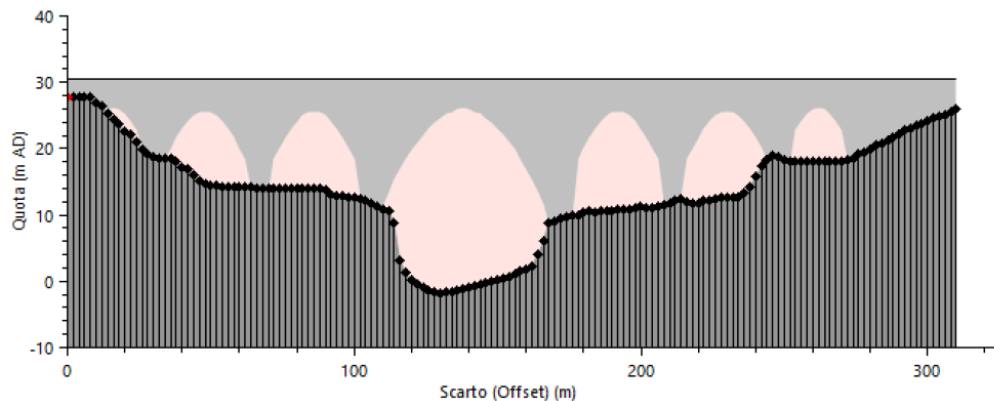


Figura 10 – Modello numerico 2D: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.

4.2.2 Scabrezze

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati tramite calibrazione idraulica dei modelli stessi partendo da valori di letteratura. In particolare, in accordo anche alle analisi effettuate nell'ambito del P.S.D.A., per l'alveo e le golene è stato assunto $n = 0.043$ ($s/ m^{1/3}$); il coefficiente di scabrezza per le aree esterne, potenzialmente inondabili, è stato assegnato pari a $n = 0.058$ ($s/ m^{1/3}$).

4.2.3 Condizioni al contorno

Gli idrogrammi di riferimento sono quelli ricavati nello studio idrologico, elaborato IA9700R09RIID0001001A – *Relazione Idrologica: studio idrologico del Bacino del Fiume Pescara*, al quale si rimanda.

Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi di piena del Fiume Pescara utilizzati come condizione al contorno di monte del modello numerico idraulico 2D.

Per quanto riguarda la condizione al contorno di valle, è stato imposto un livello idrico di moto uniforme, in ragione della sufficiente estensione del modello a valle dell'intervento in progetto.

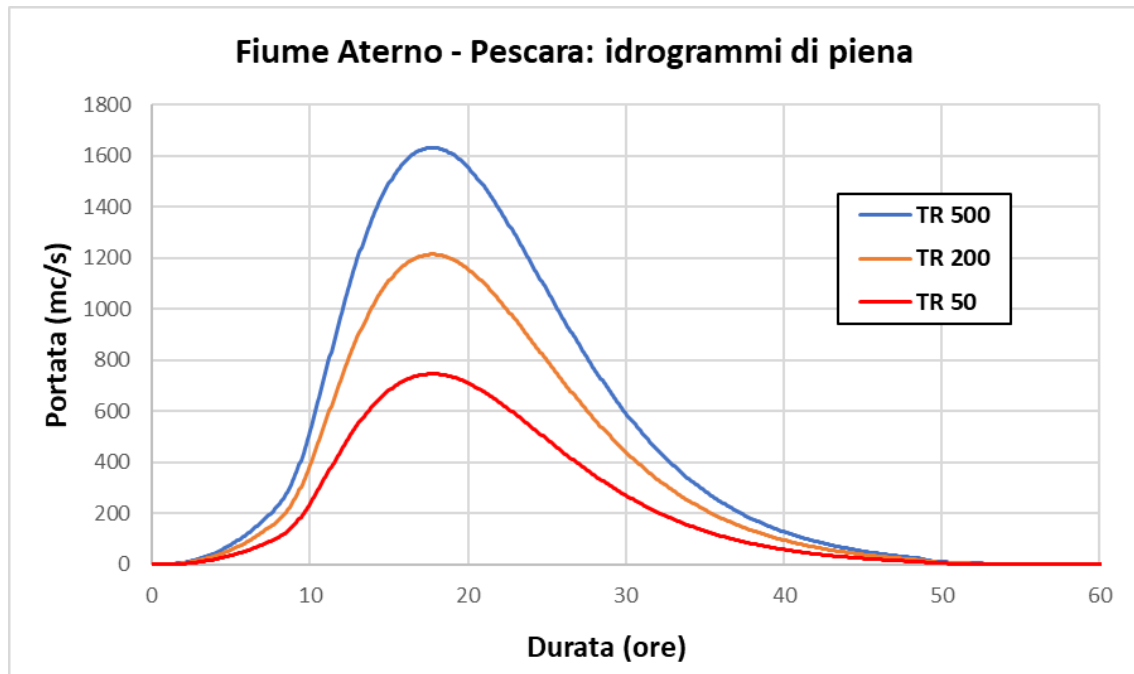


Figura 11 – Idrogrammi di piena del F. Pescara, alla sezione di interesse (alla foce), per diversi tempi di ritorno.

4.2.4 Scenari simulati

Al fine di verificare la compatibilità idraulica delle opere di attraversamento in progetto (come da Manuale di Progettazione Ferroviaria RFI e NTC2018) e di confrontare i risultati ottenuti (in termini di aree potenzialmente inondabili) con le aree di pericolosità idraulica ($P2$, $Tr 200$) definite nell'ambito del PGRA, in questa fase di progettazione (fattibilità tecnica economica) sono stati simulati i seguenti scenari riferiti alle configurazioni geometriche:

- *ante operam – Tr 200 anni*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto;
- *post operam – Tr 200 anni*: si intende la geometria ottenuta dall'inserimento delle opere in progetto che possono modificare l'attuale espansione delle piene, nonché di interventi di risoluzione di eventuali criticità di natura idraulica.

5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

5.1 Scenario ante operam e confronto con il PGRA

Nella figura seguente sono riportati i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili della simulazione numerica dell'onda di piena del Fiume Pescara, per un tempo di ritorno di 200 anni, nello scenario *ante operam*, unitamente alle aree di pericolosità idraulica P2 del P.G.R.A..

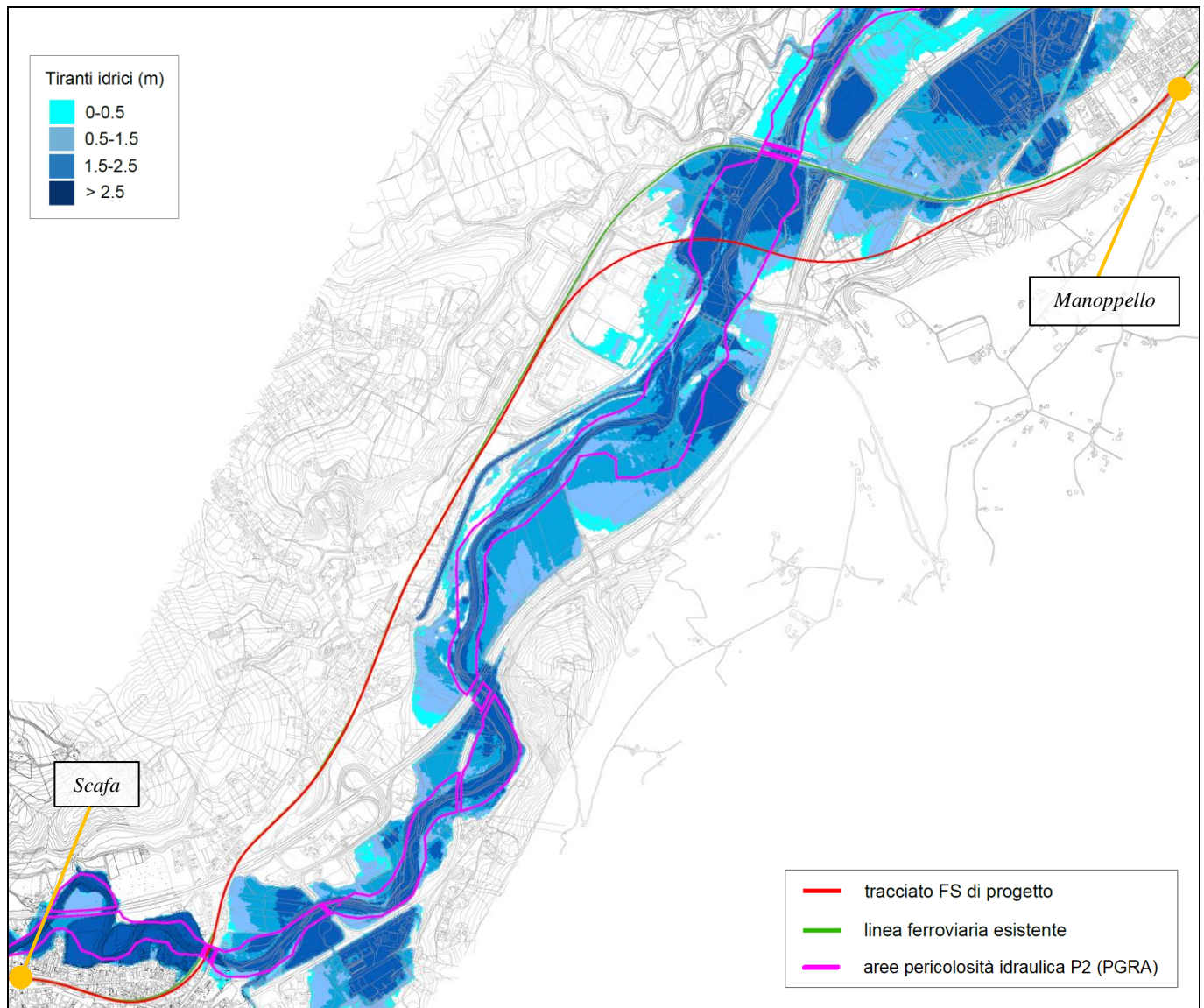


Figura 12 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni) del F. Pescara; confronto con le aree di pericolosità idraulica P2 del PGRA.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	26 di 56

Le apprezzabili differenze sono imputabili principalmente alla diversa base cartografica utilizzata per l'implementazione del modello idraulico 2D, più aggiornata e dettagliata rispetto alle analisi condotte nell'ambito della pianificazione di bacino che risalgono alla redazione del P.S.D.A. (2007).

In particolare, tali differenze possono essere osservate lungo l'intero tratto fluviale studiato. Di rilievo, la situazione di allagamento in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario del Fiume Pescara in uscita dalla stazione di Manoppello, dove il viadotto dell'autostrada A25, che scavalca l'attuale linea ferroviaria, costituisce una via preferenziale per le acque esondate del Fiume Pescara, che defluendo al di sotto di tale opera, inondano le aree situate dalla parte opposta (rispetto all'autostrada A25) del fiume. Tale situazione ha influenzato non poco la definizione e la scelta del tracciato di progetto, ubicato molto più a monte rispetto alla linea ferroviaria esistente, alternativo ad un intervento di raddoppio in affiancamento.

In corrispondenza delle opere di attraversamento sulla linea ferroviaria esistente, in corrispondenza del ponte sul Fiume Pescara in ingresso alla stazione di Scafa, il livello idrico Tr 200 si attesta a quota +95.50 m slm, a fronte di una quota minima di intradosso di +94.30 m slm.

In corrispondenza del ponte sul Fiume Pescara in uscita dalla stazione di Manoppello, il livello idrico Tr 200 si attesta a quota +68.90 m slm, a fronte di una quota di intradosso di +70.00 m slm.

Di seguito, per completezza sono riportate le aree di esondazione (e tiranti idrici), $Tr = 200$ anni, nello scenario "attuale", lungo l'intero sviluppo della linea ferroviaria in progetto (per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati grafici annessi).

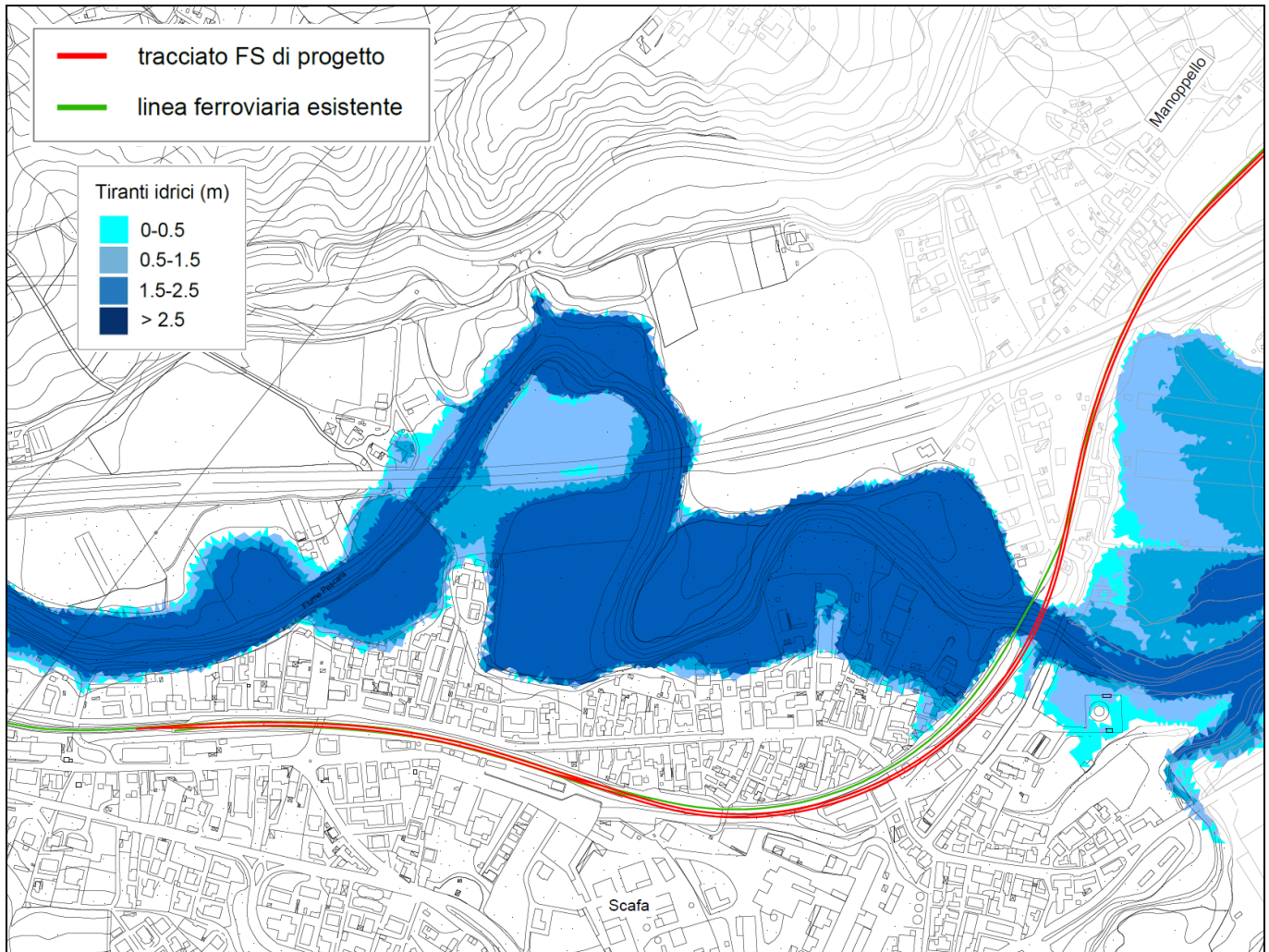


Figura 13 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 1 di 5.

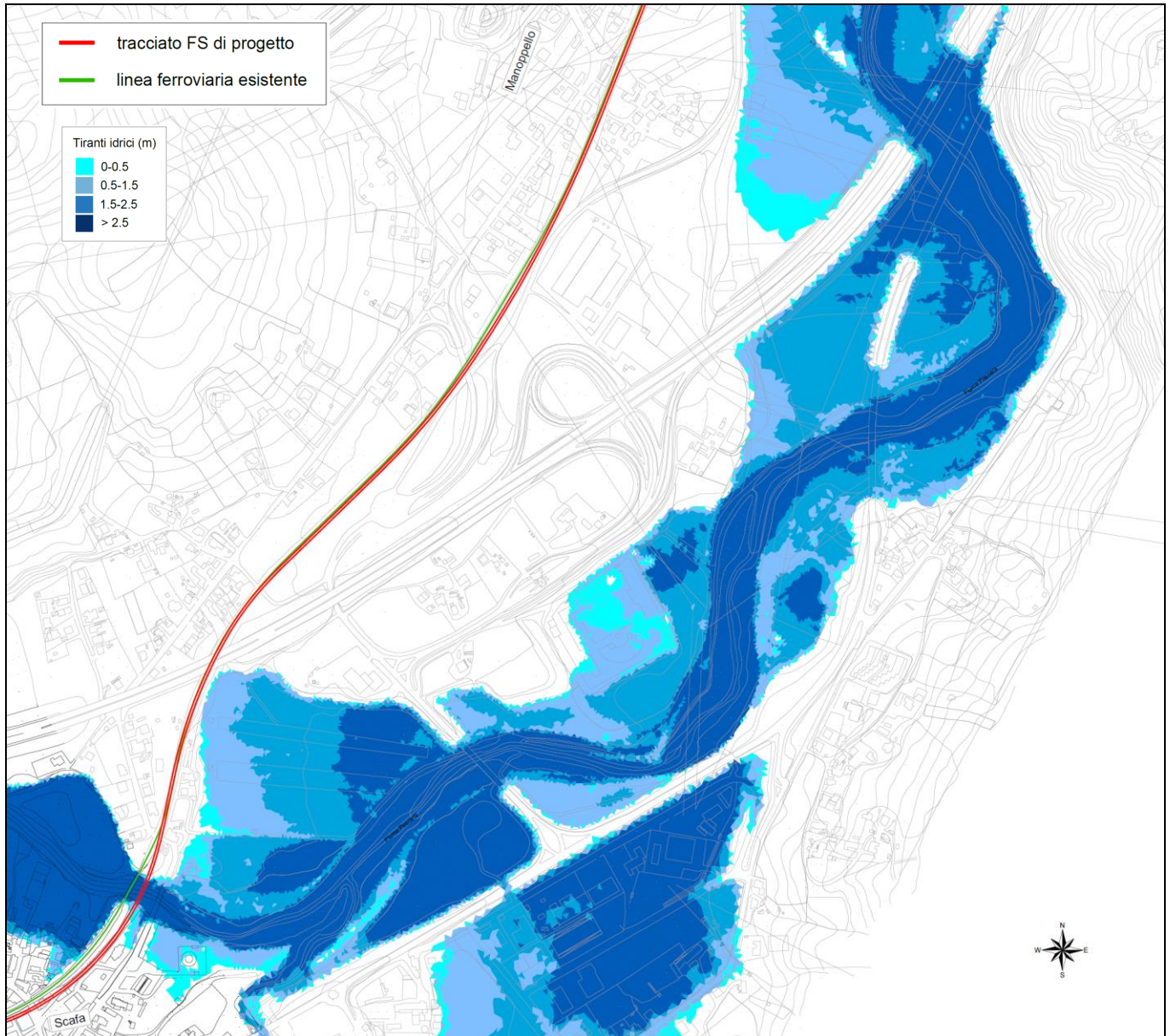


Figura 14 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 2 di 5.

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	29 di 56

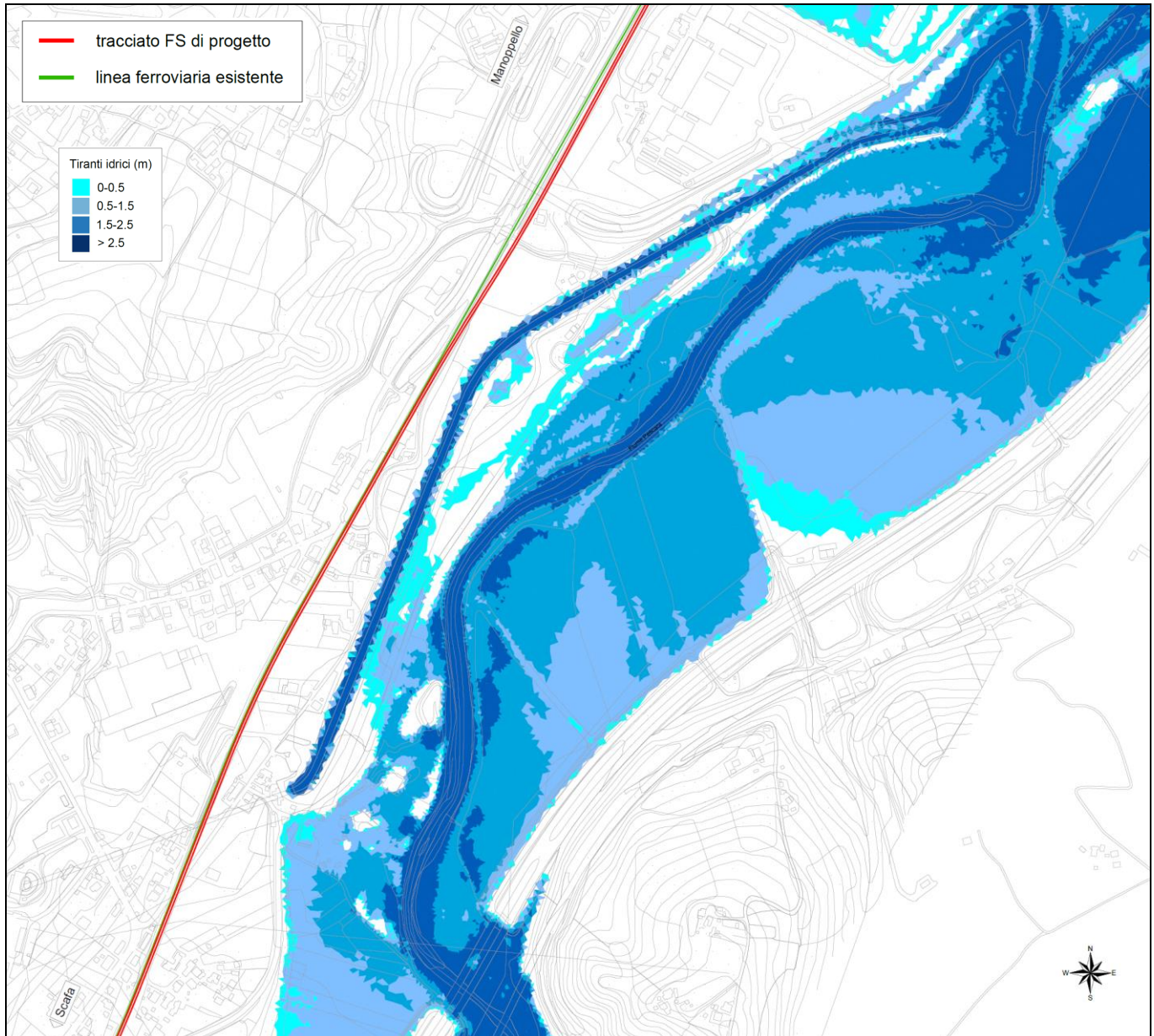


Figura 15 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 3 di 5.

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	30 di 56

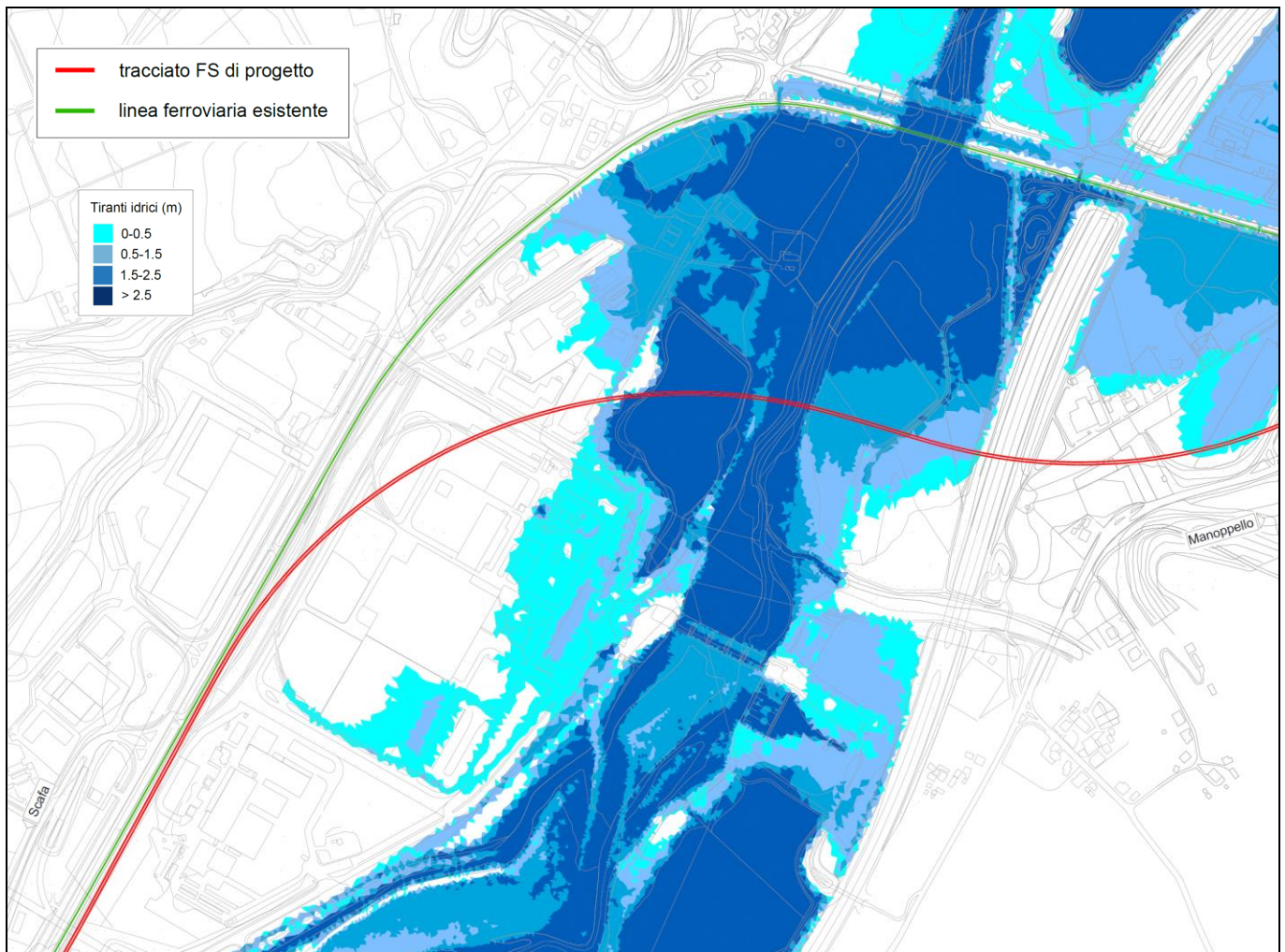


Figura 16 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 4 di 5.

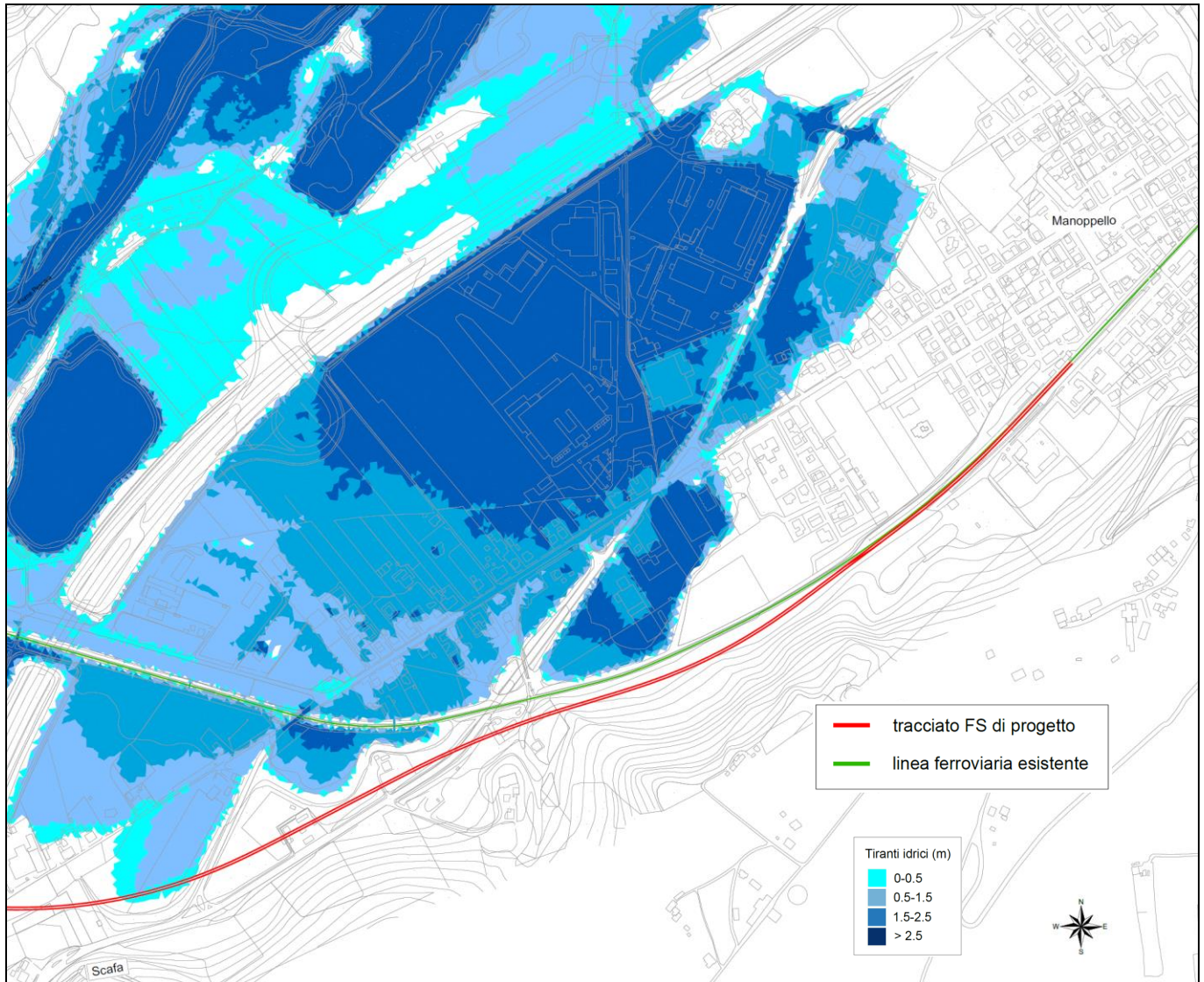


Figura 17 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario ante operam, Tav. 5 di 5.

5.2 Scenario post operam e confronto con scenario ante operam

Sulla base dei risultati (aree di esondazione e livelli idrici Tr200) ottenuti dalla simulazione numerica “ante operam” precedentemente descritta, sono state individuate le quote di intradosso minime in corrispondenza delle nuove opere di attraversamento (VI21, VI23), nonché l’estensione dei viadotti.

Nelle figure seguenti si riportano le aree di esondazione (e tiranti idrici) nelle condizioni *post operam*, per il tempo di ritorno di progetto (*Tr200*), lungo l’intero tracciato ferroviario.

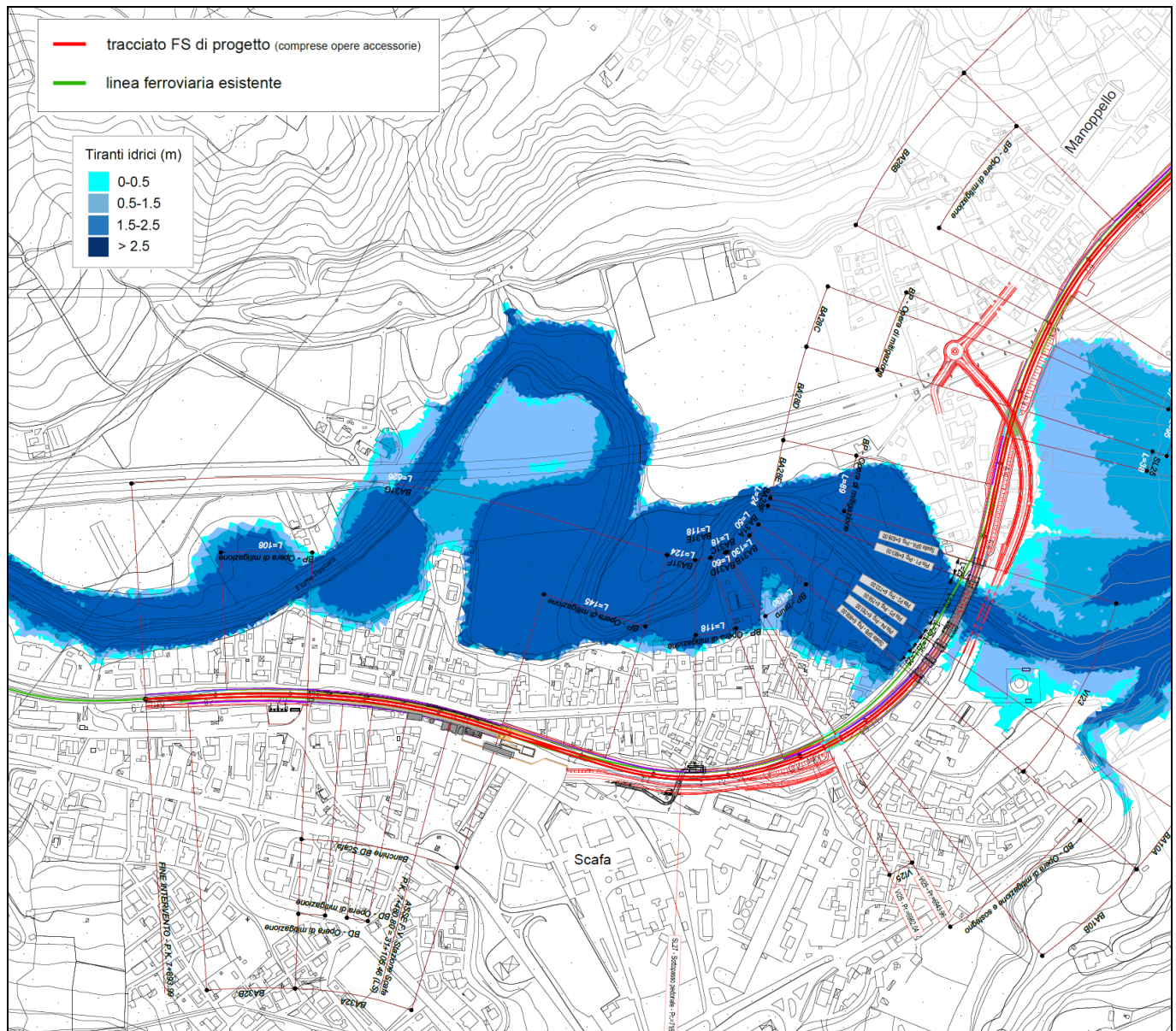


Figura 18 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 1 di 5.

A meno dei tratti di attraversamento fluviale (VI21, VI23), il tracciato di progetto, comprese le opere accessorie (viabilità, fabbricati tecnologici, SSE,.....), non interferisce con le aree di esondazione Tr200 del Fiume Pescara.

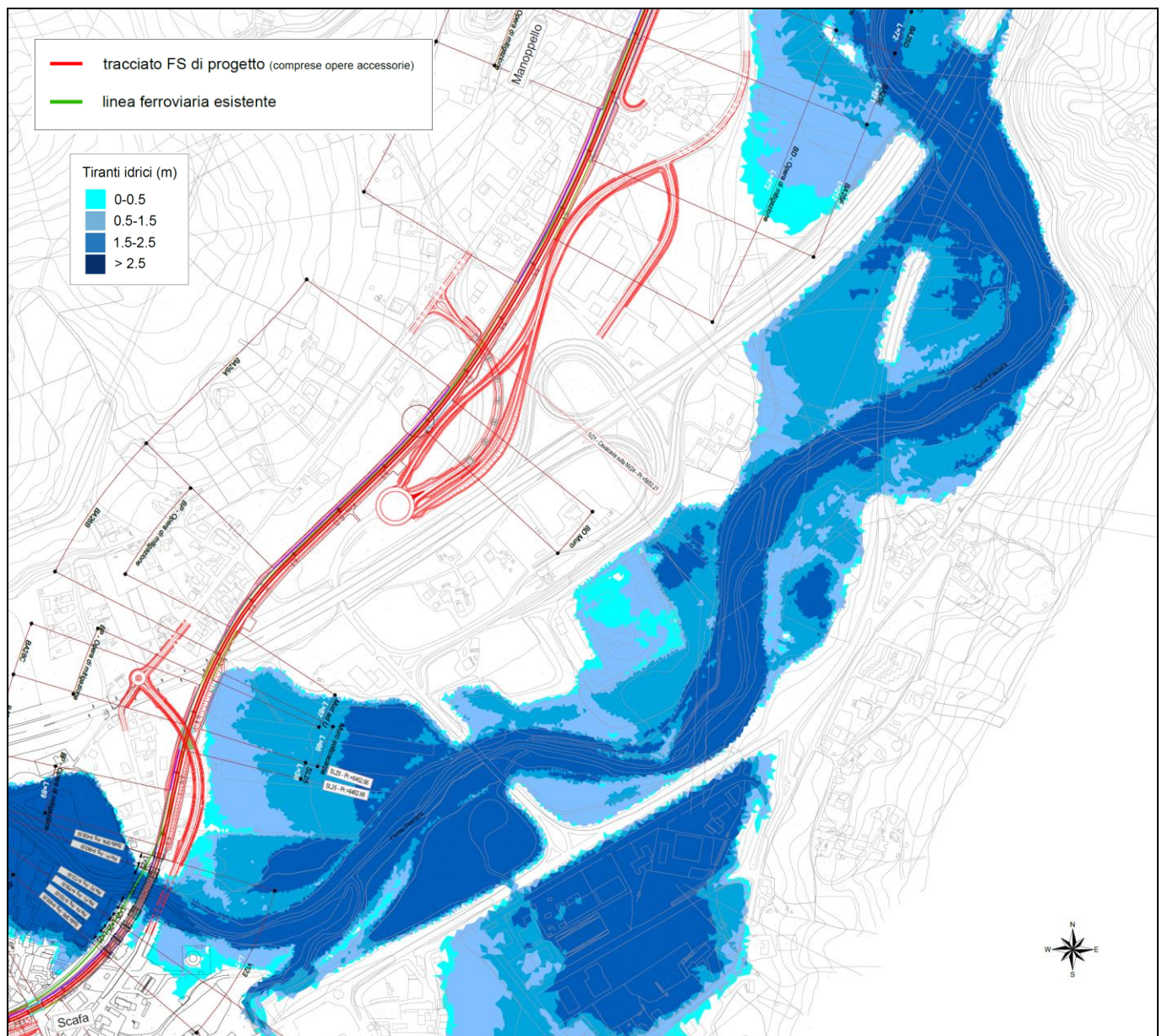


Figura 19 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 2 di 5.

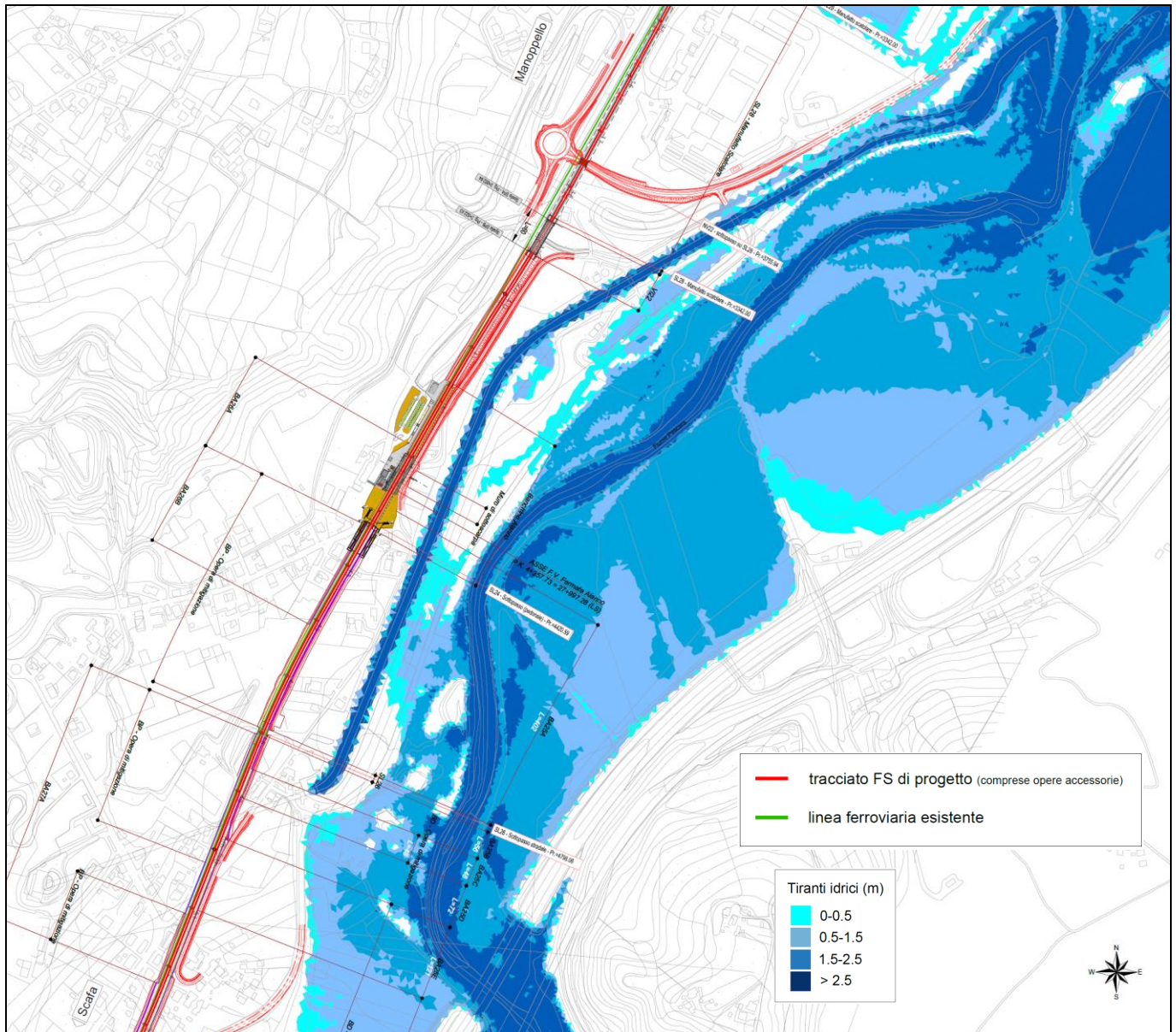


Figura 20 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 3 di 5.

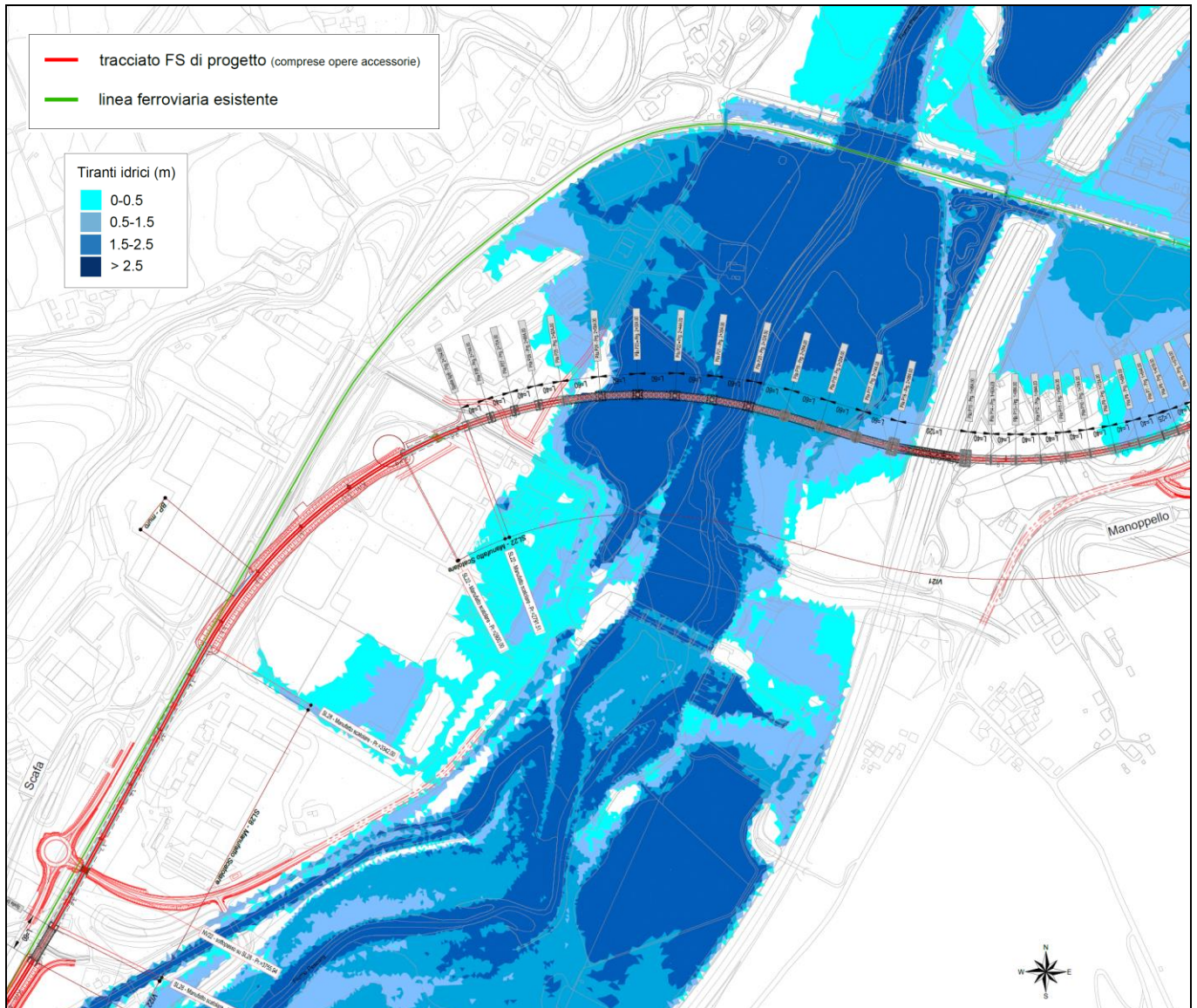


Figura 21 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 4 di 5.

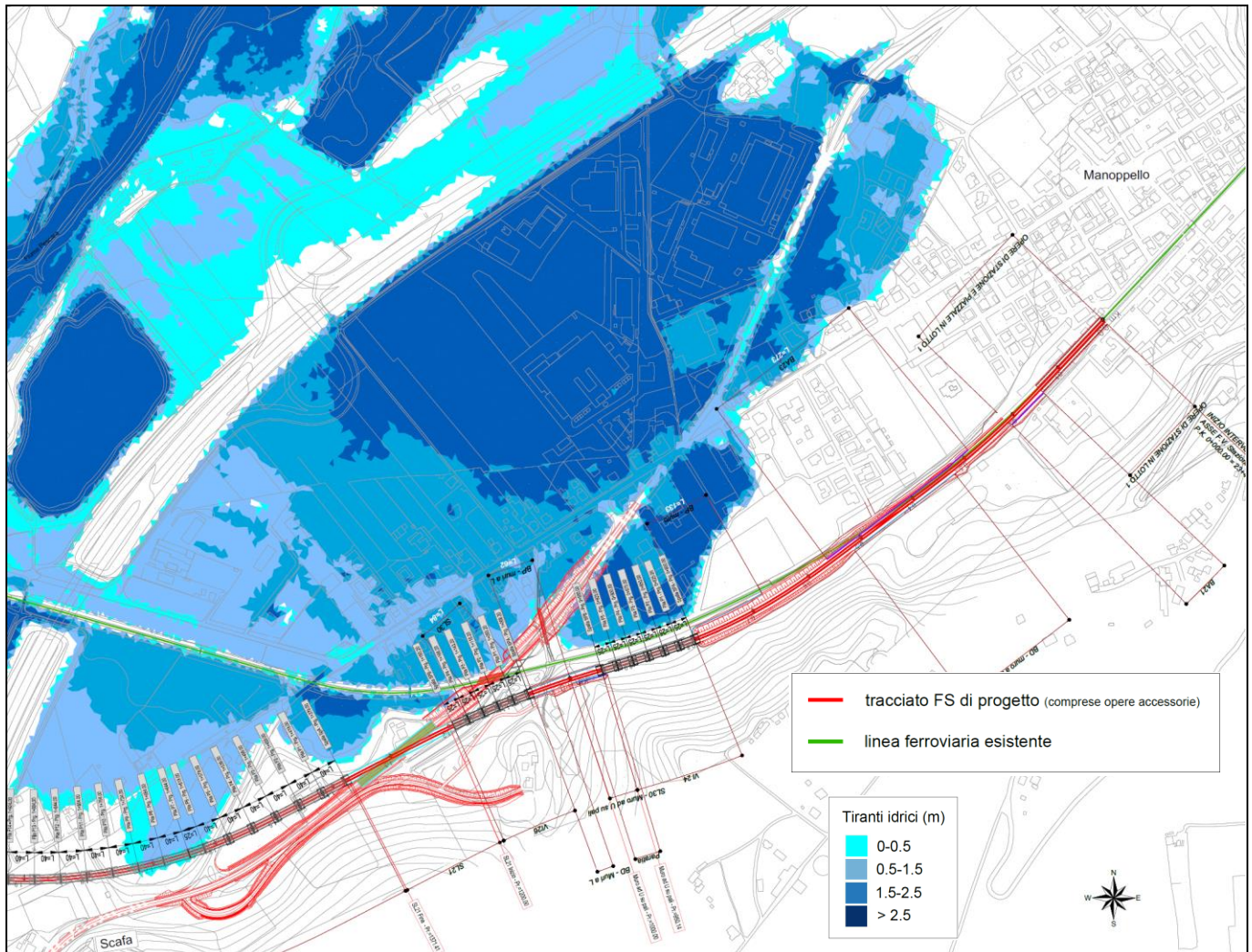


Figura 22 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del Fiume Pescara, scenario post operam, Tav. 5 di 5.

5.2.1 Verifica del franco idraulico di progetto

La verifica del franco idraulico di progetto eseguita secondo le normative vigenti (NTC2018 e MdP RFI 2020) dimostra la compatibilità idraulica dei nuovi viadotti VI21 e VI23 sul Fiume Pescara, come riportato nelle tabelle seguenti.

Quota impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
82.90	69.30	69.80	+13.60 (> 1.50 m)	+13.10 (> 0.50 m)	OK

Tabella 2 – Viadotto VI21: verifica del franco idraulico di progetto.

Quota impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
101.40	94.60	95.10	+6.80 (> 1.50 m)	+6.30 (> 0.50 m)	OK

Tabella 3 – Viadotto VI23: verifica del franco idraulico di progetto.

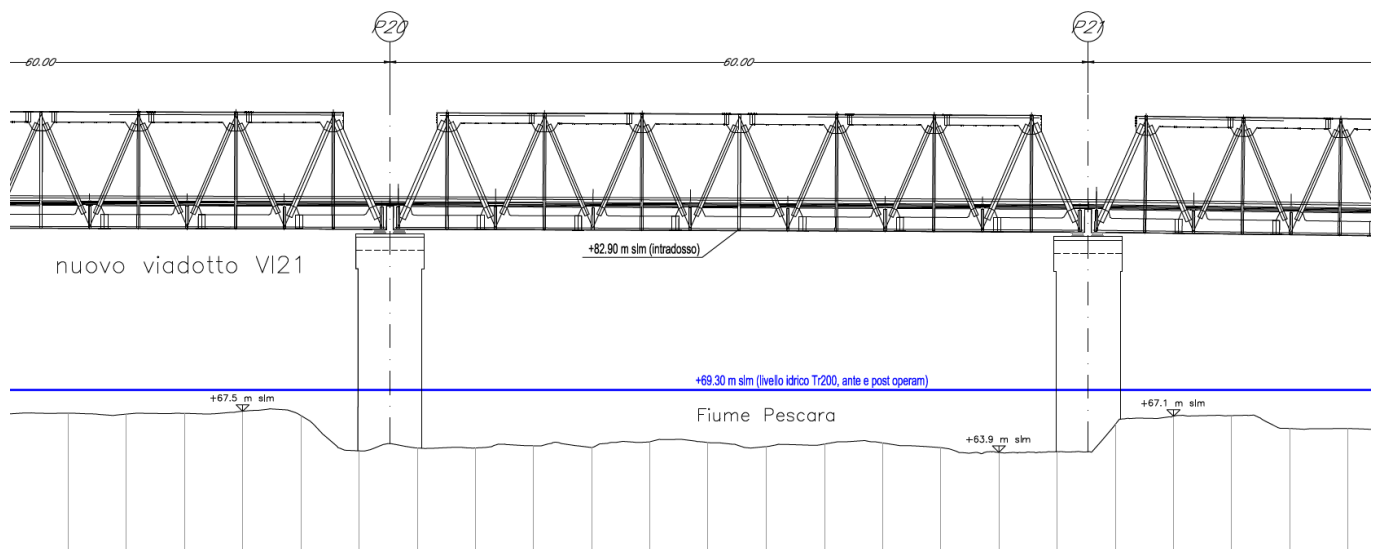


Figura 23 – Viadotto VI21, campata di scavalco dell'alveo inciso con livelli idrici Tr200.

E' garantita inoltre una distanza minima di 6 - 7 m tra il fondo alveo e la quota di sottotrave (*viadotto VI21*, quota intradosso: +82.9 m slm, quota minima fondo alveo: +63.90 m slm, da cui una distanza "intradosso-fondo alveo" = +19.0 m; *viadotto VI23*, quota intradosso: +101.4 m slm, quota minima fondo alveo: +86.80 m slm, da cui una distanza "intradosso-fondo alveo" = +14.60 m), in ragione di eventuali fenomeni di trasporto solido di fondo e/o di materiale galleggiante.

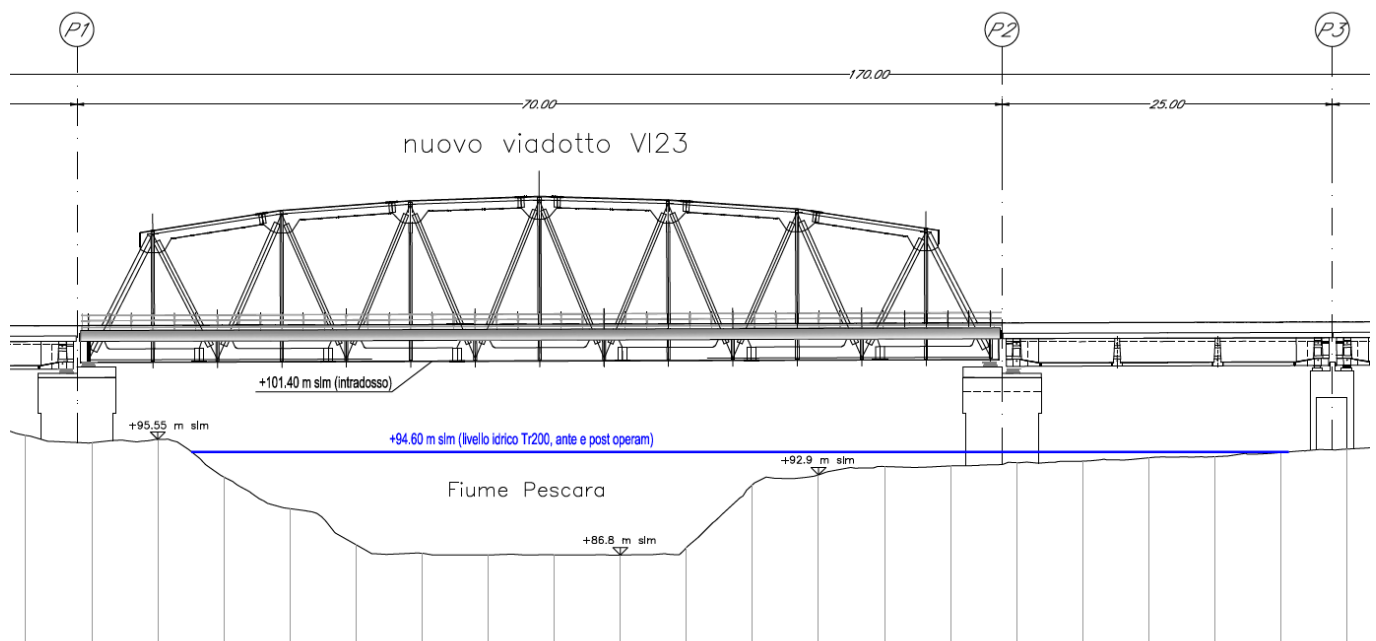


Figura 24 – Viadotto VI23, campata di scavalco dell'alveo inciso con livelli idrici Tr200.

La scansione delle pile assegnata ai viadotti in progetto (9 campate con luce da 60 metri per il viadotto VI21 e 1 campata da 70 metri per il viadotto VI23, per lo scavalco del Fiume Pescara) consente di rispettare la prescrizione di una luce netta minima di 40 metri in direzione ortogonale alla corrente, in ottemperanza delle NTC2018, come mostrato nelle figure seguenti riportanti la mappa dei vettori velocità (*simulazione "post operam – Tr200"*) in corrispondenza dei due attraversamenti.

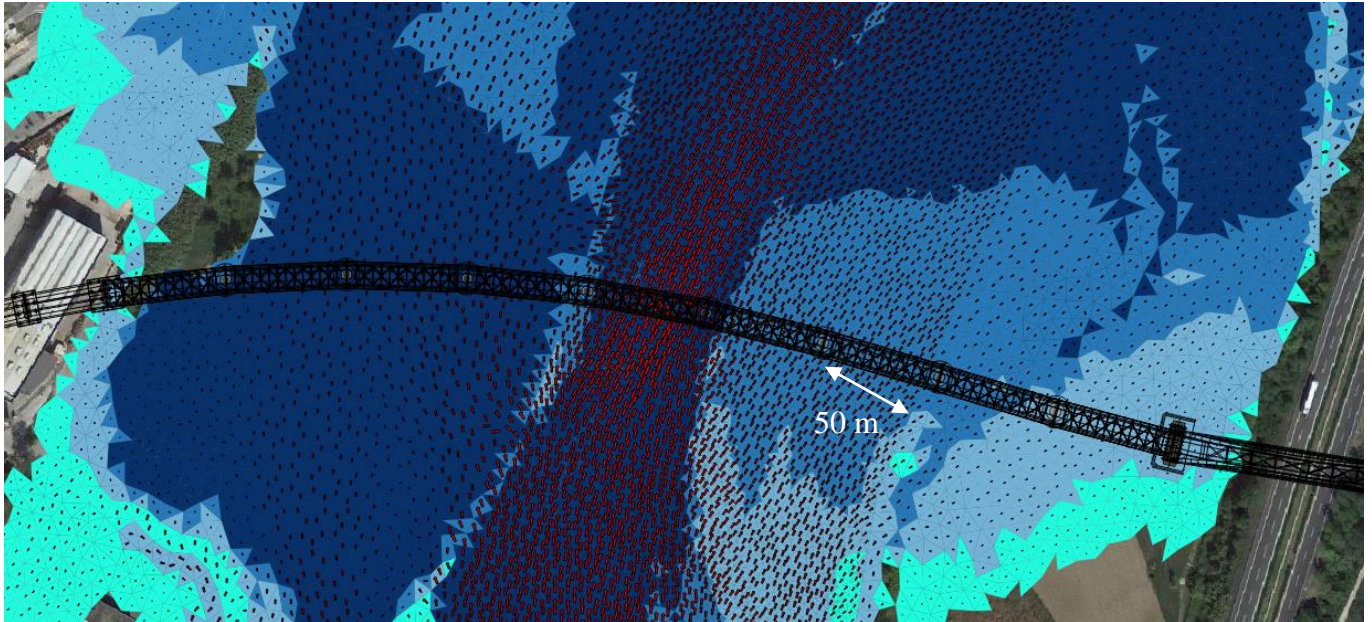


Figura 25 – Mappa dei vettori velocità in corrispondenza del viadotto VI21 sul Fiume Pescara e rispetto della prescrizione relativa alla luce nette minima tra pile contigue ($50\text{ m} > 40\text{ m}$), come da NTC2018.

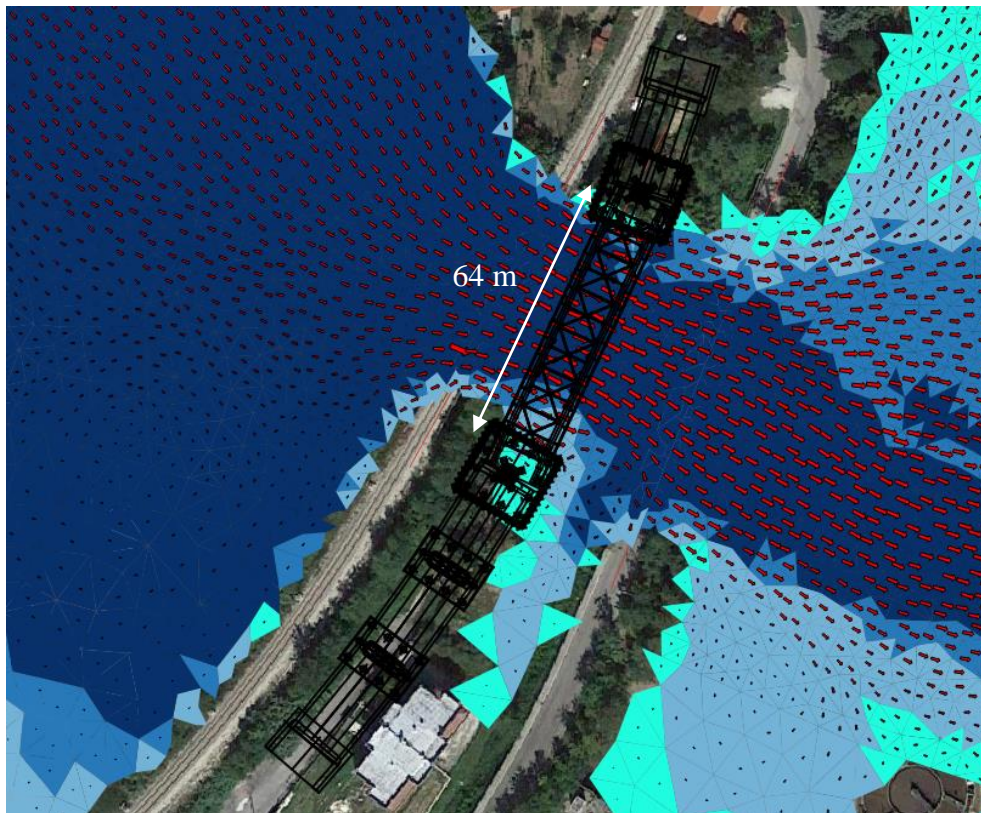


Figura 26 – Mappa dei vettori velocità in corrispondenza del viadotto VI23 sul Fiume Pescara e rispetto della prescrizione relativa alla luce nette minima tra pile contigue ($64\text{ m} > 40\text{ m}$), come da NTC2018.

6 VERIFICA DELLE FASI DI CANTIERE

Ai fini della verifica della fase transitoria di cantiere, si è proceduto all'implementazione di un modello numerico monodimensionale (in regime di moto permanente) del Fiume Pescara, sulla base dei rilievi batimetrici disponibili (descritti nei capitoli di cui sopra), tramite l'utilizzo del codice di calcolo HEC RAS. In analogia alle analisi sviluppate in precedenza, per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning), per l'alveo inciso è stato adottato il valore $0.043 \text{ s/m}^{1/3}$, mentre alle aree golenali è stato attribuito il valore di $0.058 \text{ s/m}^{1/3}$. In ipotesi di regime di corrente mista, come condizioni al contorno di monte e di valle, è stata imposta la condizione "Normal Depth" (condizione di moto uniforme).

Per la realizzazione del viadotto VI21 sul Fiume Pescara, ed in particolare delle strutture di fondazione in alveo delle pile P20 e P21, si prevede la realizzazione di paratie di pali ($D = 1,5 \text{ m}$), secondo il tipologico mostrato in figura.

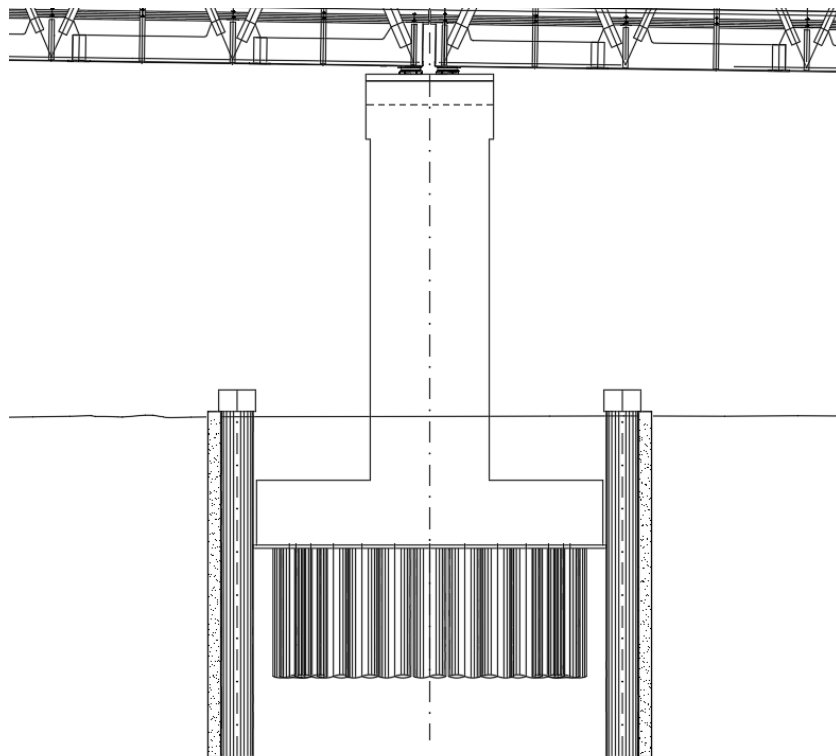


Figura 27 – Viadotto VI21: tipologico delle opere provvisorie per la realizzazione delle fondazioni delle pile in alveo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Sono state ipotizzate ed analizzate le seguenti 2 fasi di realizzazione:

Fase 1 - realizzazione della pila P20 in destra idraulica

- costruzione della paratia di pali provvisoria, a protezione dell'area di lavoro
- costruzione della fondazione e della pila P20
- rimozione (o scapitozzatura) della paratia di pali provvisoria

Fase 2 - realizzazione della pila P21 in sinistra idraulica

- costruzione della paratia di pali provvisoria, a protezione dell'area di lavoro
- costruzione della fondazione e della pila P21
- rimozione (o scapitozzatura) della paratia di pali provvisoria

L'esecuzione delle fasi sopra individuate potrà avvenire anche secondo una sequenza temporale differente, purché non vengano effettuate contemporaneamente.

Con riferimento quindi allo studio idrologico annesso (rif. IA9700R09RIID0001001A), ed in particolare alla curva di durata del Fiume Pescara, si è scelto di considerare la portata corrispondente ad una durata di superamento pari a 10 giorni (i.e. 97.6 mc/s), cioè si è ipotizzato che la portata del corso d'acqua che transita in sicurezza nella configurazione di cantiere sia pari o inferiore a quella presente per 355 giorni all'anno nel tratto fluviale di interesse, condizione sufficiente quindi a garantire l'esecuzione dei lavori in sicurezza.

Le paratie di pali provvisorie sono state simulate nel modello 1D HEC RAS tramite l'opzione "Obstructions". Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di tiranti idrici) relativi alle fasi 1 e 2, nella sezione a monte dell'attraversamento in progetto, in corrispondenza della quale si ha il maggior livello idrico (nel tratto di interesse), considerato quindi per la definizione della quota di sommità delle opere provvisionali.

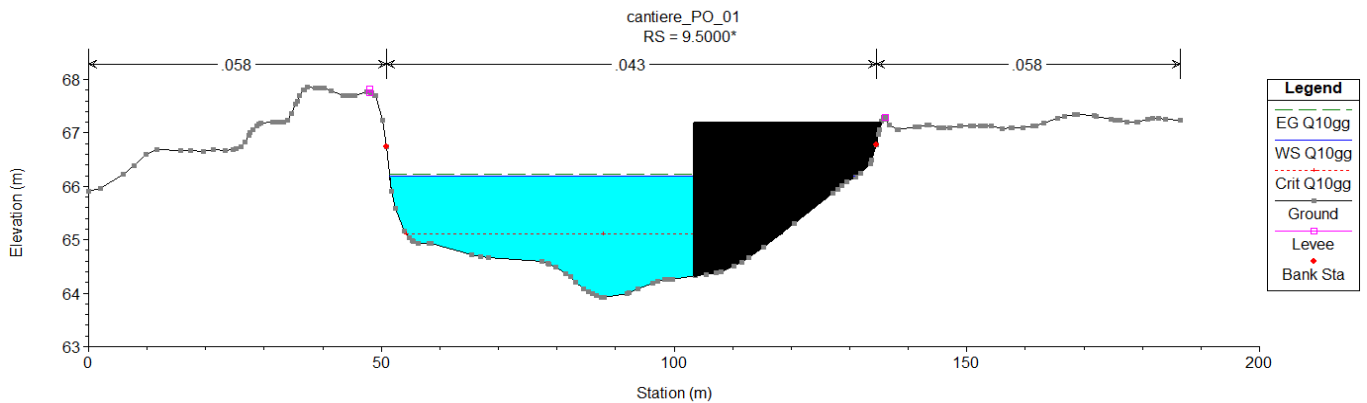


Figura 28 – Viadotto VI21, modello 1D del F. Pescara: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 1.

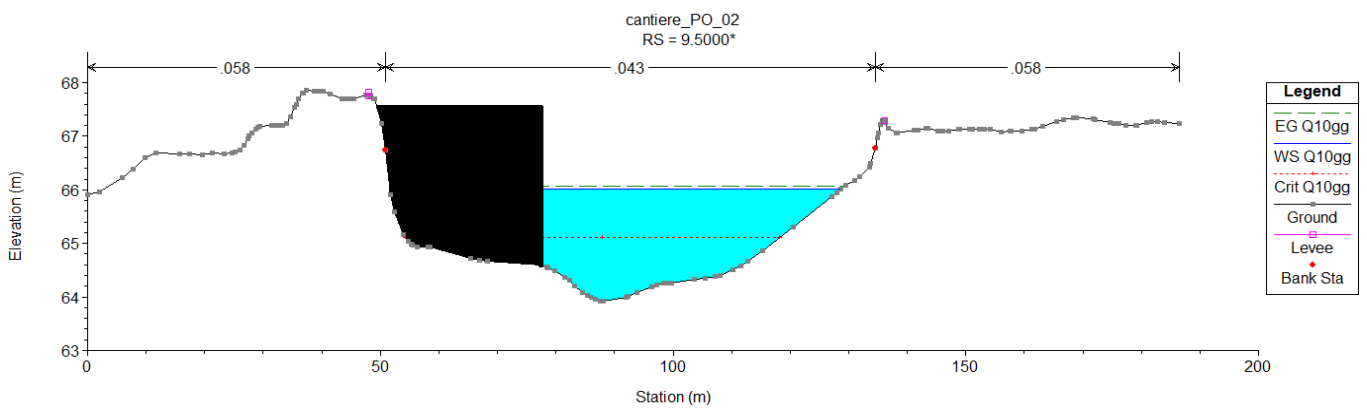


Figura 29 – Viadotto VI21, modello 1D del F. Pescara: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 2.

Nello specifico, per quanto concerne la fase 1, il livello idrico massimo si attesta a +66.20 m slm, da cui una quota di sommità minima della paratia di pali di +66.70 m slm (assumendo un franco idraulico di 50 cm). Con riferimento alla fase 2, il livello idrico massimo si attesta invece a +66.00 m slm, da cui una quota di sommità minima della paratia di pali di +66.50 m slm (assumendo un franco idraulico di 50 cm).

Per quanto concerne la realizzazione del viadotto VI23 sul Fiume Pescara, le lavorazioni non interferiranno con l'alveo inciso.

Già per la portata con $Tr = 200$ anni, soltanto la pila P2 in destra idraulica risulta interessata dalle acque esondate, inoltre anche marginalmente.

Tuttavia, per completezza, nella figura seguente si riportano i risultati ottenuti (in termini di tiranti idrici), secondo il modello numerico 1D sviluppato, nella sezione a monte dell'attraversamento in progetto, per la portata di cantiere considerata (i.e. 97.6 mc/s).

In particolare, il livello idrico di attesta a quota +89.20 m slm, a fronte della quota del ciglio superiore della sponda destra pari a +92.90 m slm.

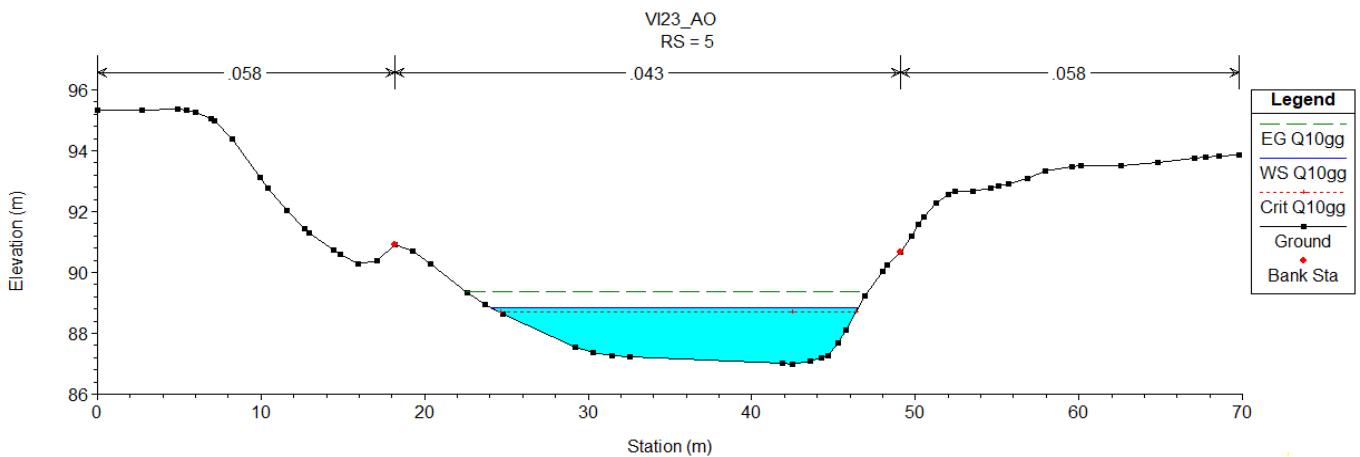


Figura 30 – Viadotto VI23, modello 1D del F. Pescara: risultati in termini di livelli idrici per la portata di cantiere nella sezione di attraversamento.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

7 STIMA DELLO SCALZAMENTO ATTESO ATTORNO ALLE PILE IN ALVEO

Si è proceduto alla valutazione della profondità massima di erosione attesa attorno alle pile dei nuovi viadotti VI21 e VI23 in progetto, interessate dalle piene del Fiume Pescara. Nello specifico, si è fatto riferimento a quanto indicato nelle NTC2018:

“Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma $Tr = 1,001$) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente Y_0 unitario. Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all’evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione Y_1 .”

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

Formulazione CSU

La profondità di scalzamento attesa può essere stimata come:

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

in cui

- K_1, K_2, K_3 sono fattori correttivi legati alla forma delle pile, all’angolo di attacco e alle condizioni del fondo alveo (vedi tabella seguente)
- K_4 è un fattore correttiva legato al materiale di fondo alveo, valutabile come:

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

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

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

- Y_s , la profondità di scalzamento;
- Y_l , l'altezza della corrente;
- a , la larghezza della pila;
- FR , il numero di Froude ($FR = V_0/(gh_m)^{1/2}$)

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

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

Tabella 4- Formulazione CSU: valori dei fattori correttivi K_1 , K_2 , K_3 .

Formulazione di Sheppard – Melville

La profondità di scalzamento attesa può essere valutata come:

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

con

- $V_{1p} = \max(V_{1p1}; V_{1p2})$
 - $V_{1p1} = 5V_c; V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$
 - $V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln\left(\frac{73.5y_1}{d_{50}[Re(2.85 - 0.58 \ln(Re)) + 0.002Re] + \frac{111}{Re} - 6}\right) & \text{for } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln\left(\frac{2.21y_1}{d_{50}}\right) & \text{for } Re > 70 \end{cases}$
 - $Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}; u^* = \left[16.2 \cdot d_{50} \left(\frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{50}} - d_{50}(38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005\right)\right]^{0.5}$
 - $y_1 = \text{tirante idrico (m)}$
 - $f_1 = \tanh\left[\left(\frac{y_1}{a^*}\right)^{0.4}\right]; f_2 = \left\{1 - 1.2 \left[\ln\left(\frac{V_1}{V_c}\right)\right]^2\right\}; f_3 = \left[\frac{\left(\frac{a^*}{d_{50}}\right)}{0.4\left(\frac{a^*}{d_{50}}\right)^{1.2} + 10.6\left(\frac{a^*}{d_{50}}\right)^{-0.18}}\right]$
 - $a^* = K_s a_p; a_p = a \cdot \cos\theta + L \cdot \sin\theta; K_s = \begin{cases} 1 & (\text{pilacircolare}) \\ 0.86 + 0.97 \left(\left|\frac{\pi\theta}{180} - \frac{\pi}{4}\right|\right)^4 & (\text{pilarettangolare}) \end{cases}$
- (a = larghezza della pila; L = lunghezza della pila; q = angolo di attacco [°])

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

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

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

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

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

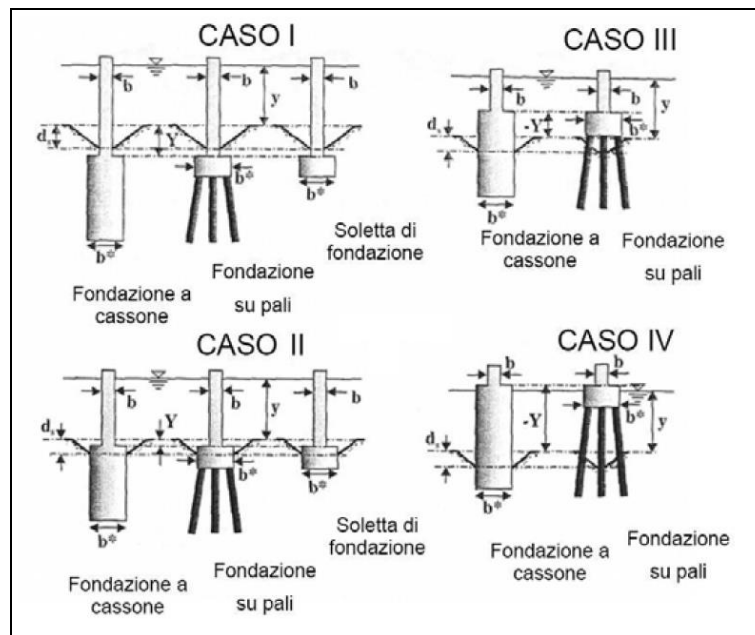


Figura 31–Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.

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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

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

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

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

E' stato effettuato dunque il calcolo dello scalzamento, relativo alla piena di progetto, $Tr = 200$ anni, e alla piena che si verifica mediamente ogni anno ($Tr = 1,001$), considerando dapprima le dimensioni delle sole pile.

Per quanto concerne il calcolo dello scalzamento per la piena $Tr = 1,001$ del Fiume Pescara, si è fatto riferimento direttamente alla simulazione numerica secondo il modello monodimensionale HECRAS, sviluppato per la fase di cantiere (per una portata di 97.6 mc/s), ma nello stato *post operam*, i.e. con viadotto VI21 (pile) implementato nella geometria del modello.

Per quanto concerne il materiale potenzialmente erodibile sul fondo alveo, si è fatto riferimento alle analisi granulometriche effettuate su campioni di materiale prelevati durante i sondaggi (denominati *SM S4*, *SM S16bis*) eseguiti in corrispondenza dell'alveo inciso del Fiume Pescara, nelle due sezioni di attraversamento. In particolare, il materiale è stato classificato come "ghiaia sabbiosa limosa", con $d_{50} = 1$ mm, $d_{90} = 10$ mm.

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di scalzamento attesi per $Tr = 1,001$ anni e $Tr = 200$ anni, in corrispondenza delle pile dei due viadotti (VI21, VI23), interessate dalla piena di riferimento.

Viadotto VI21

Valori scalzamento ($Tr = 200$ anni)

ID PILA	Forma pila	D (m) [pila]	L (m) [pila]	h (m)	v (m/s)	Fr ()	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila
P16	rettangolare	5.8	22.1	0.8	0.1	0.036	0.0	1.3	1.3
P17	circolare	5.5	5.5	1.3	0.2	0.056	0.7	1.5	1.5
P18	circolare	5.5	5.5	1.9	0.35	0.081	3.1	2	3.1
P19	circolare	5.5	5.5	1.7	0.6	0.147	3.6	1.6	3.6
P20	circolare	5.5	5.5	4.3	2.0	0.308	6.3	6.2	6.3
P21	circolare	5.5	5.5	4.3	1.6	0.246	5.8	5.1	5.8
P22	circolare	5.5	5.5	4.4	0.6	0.091	4.5	1.4	4.5
P23	circolare	5.5	5.5	4.2	0.5	0.078	4.4	0.9	4.4
P24	circolare	5.5	5.5	3.7	0.2	0.033	0.0	1.7	1.7
P25	circolare	5.5	5.5	0.9	0.05	0.017	0.0	0.8	0.8

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

ID PILA	Forma pila	D (m) [pila]	L (m) [pila]	h (m)	v (m/s)	Fr ()	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila
P20	circolare	5.5	5.5	1.8	1.7	0.405	5.4	4.8	5.4
P21	circolare	5.5	5.5	1.8	1.7	0.405	5.4	4.8	5.4

Viadotto VI23

Valori scalzamento ($Tr = 200$ anni)

ID PILA	Forma pila	D (m) [pila]	L (m) [pila]	h (m)	v (m/s)	Fr ()	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila
P2	circolare	5.5	5.5	0.4	0.5	0.252	2.2	1.3	2.2

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

Assente

Confrontando i valori di scalzamento atteso con quelli di ricoprimento dei plinti di fondazione (2 metri per le pile del viadotto VI21; 5 metri per quelle del viadotto VI23) si evince che in corrispondenza delle

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

pile (P18÷P23) del VI21 i fenomeni di erosione (innescati sia dalla piena $Tr=200$ anni sia dalla piena $Tr=1,001$ anni) possono interessare anche le fondazioni (scalzamento atteso maggiore del ricoprimento).

Per tali pile, il calcolo è stato quindi ripetuto considerando le dimensioni equivalenti del sistema “*pila – plinto*”, valutate con la formulazione proposta da Melville e Raudkivi (1996), precedentemente introdotta (per le pile P17-P25 si prevede la realizzazione di fondazioni “*plinto/pozzo*”, circolare con diametro pari a 20 m, compresa la paratia di pali provvisoria “*scapitozzata*”; mentre per la pila rettangolare P16 si prevede la realizzazione di fondazioni “*plinto su pali*” di dimensioni 16 m x 27 m).

Di seguito, i valori definitivi di scalzamento, per le pile del nuovo *viadotto VI21* interessate dalla piena di riferimento del F. Pescara, da considerare nel dimensionamento delle fondazioni.

ID PILA	Ys (m)	Ys (m)
	Pila-Plinto Tr200	Pila-Plinto Tr 1,001
P16	1.3	-
P17	1.5	-
P18	5.30	-
P19	6.30	-
P20	12.60	9.00
P21	11.30	9.00
P22	8.00	-
P23	7.70	-
P24	1.7	-
P25	0.8	-

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

8 SISTEMAZIONI IDRAULICHE E PROTEZIONE DELLE PILE

Si è proceduto al dimensionamento delle opere di sistemazione/protezione idraulica delle pile dei viadotti VI21 e VI23 interessate dalla piena di progetto (Tr200) del Fiume Pescara.

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

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

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

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

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

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

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

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

In particolare, nel caso in esame, per le pile di scavalco P20 e P21 del viadotto VI21 in corrispondenza delle sponde, nonché per le sistemazioni spondali, è stato adottato il valore di velocità media pari a 2 m/s, dedotto dai risultati delle simulazioni numeriche 2D nella sezione di attraversamento, unitamente ai

seguenti parametri: $Sg = 2 \text{ t/m}^3$; $K1 = 1.5$; $K2 = 1.7$, da cui un diametro d_{50} dei massi di protezione pari a **0.90 m** (per i quali se ne prevede anche la legatura).

Per le rimanenti pile del viadotto VI21 (P16-P19 e P22-P25) il valore di velocità media ammonta a 1 m/s (come da modello numerico 2D), da cui un diametro d_{50} dei massi di rivestimento pari a **0.40 m**.

Nella figura seguente, è riportata la disposizione in pianta delle opere di protezione/sistemazione previste per le pile del viadotto VI21.

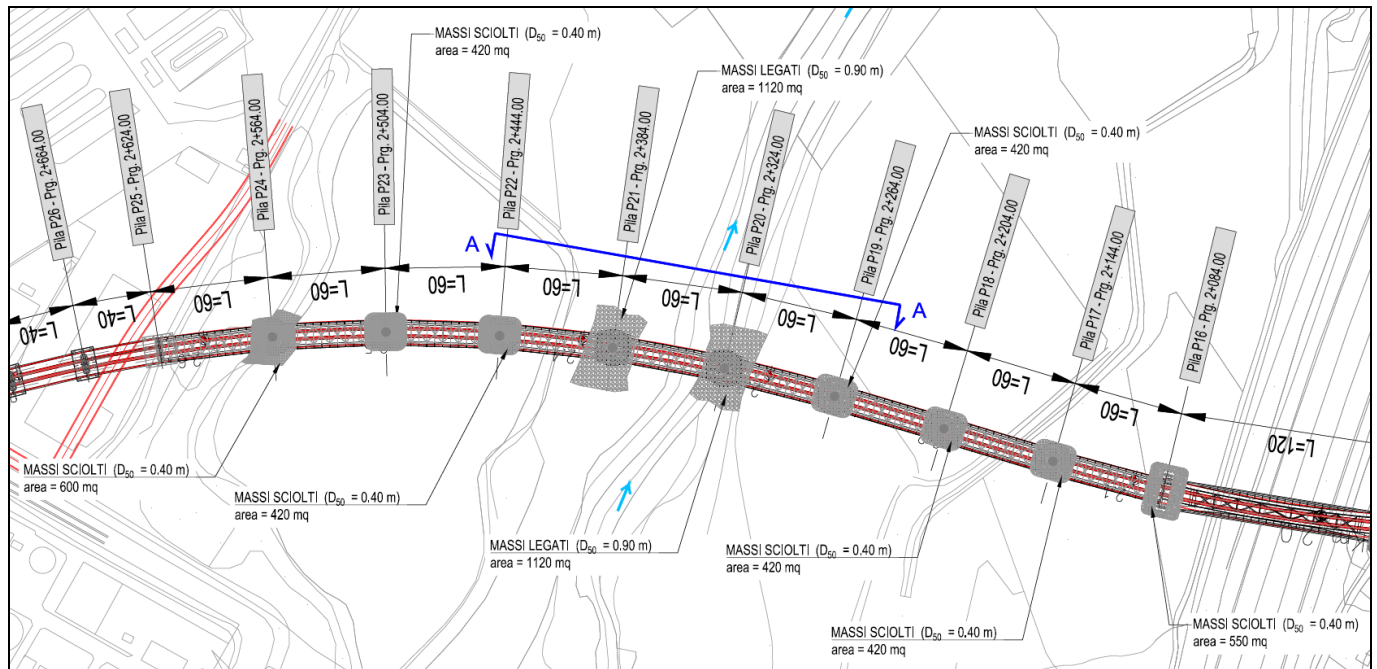


Figura 32–Viadotto VI21: opere di protezione previste in corrispondenza delle pile interessate dalla piena di progetto.

Per la pila P2 del viadotto VI23, unica interessata dalla piena di progetto, è stato adottato il valore di velocità media pari a 2.5 m/s, dedotto dai risultati delle simulazioni numeriche 2D nella sezione di attraversamento. Assumendo quindi i parametri: $Sg = 2 \text{ t/m}^3$; $K1 = 1.5$; $K2 = 0.9$, si ottiene un diametro d_{50} dei massi di protezione pari a **0.50 m**.

Nella figura seguente, è riportata la disposizione in pianta delle opere di protezione/sistemazione previste per le pile del viadotto VI23.

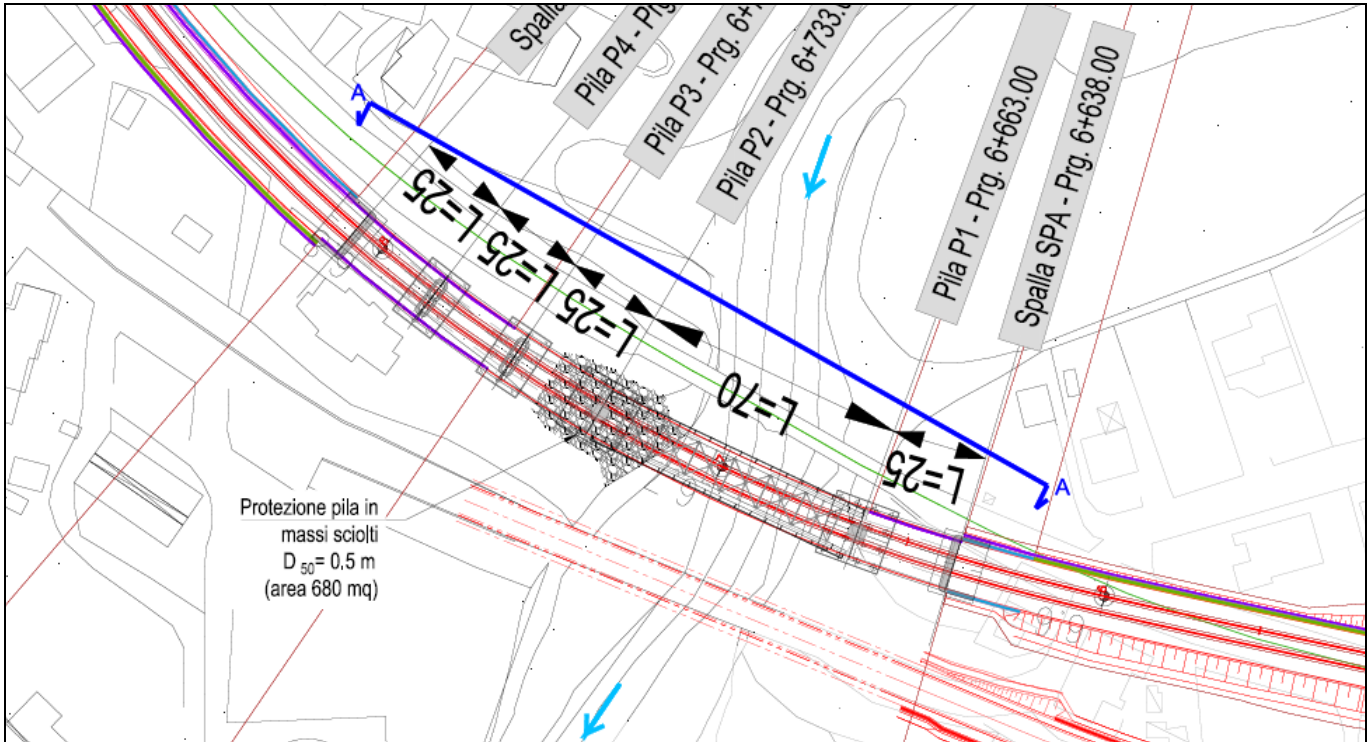


Figura 33–Viadotto VI23: opere di protezione previste in corrispondenza delle pile interessate dalla piena di progetto.

Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati grafici annessi IA9700R09PZID0002001A, IA9700R09PZID0002002A, IA9700R09PZID0002003A.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	54 di 56

9 VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Lo studio di compatibilità idraulica è stato redatto secondo quanto previsto dall'Art. 8 “*Studi di compatibilità idraulica*” delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA), nonché dalle normative nazionali di riferimento.

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

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

I viadotti in progetto sul Fiume Pescara (VI21, VI23) sono caratterizzati da luci e franchi nel rispetto della normativa vigente. E’ rispettato infatti il franco minimo di 1,5 metri nei confronti del livello idrico corrispondente alla piena di progetto (Tr200), nonché la distanza minima tra pile contigue in alveo (40 metri), e tra il fondo alveo e la quota di intradosso di impalcato (6-7 m).

E’ stato trattato il tema relativo alle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni delle pile interessate dalla piena di progetto e alle protezioni delle fondazioni delle pile in alveo.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2) PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA97	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 55 di 56

E' da sottolineare che il confronto tra i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili, livelli idrici e velocità, ottenuti nelle simulazioni numeriche bidimensionali effettuate, non ha evidenziato differenze tra le configurazioni ante e post operam.

Le opere in progetto inoltre “rispettano il vincolo di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente e di non precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio mediante azioni future” (P.S.D.A., Regione Abruzzo).

Pertanto, è dimostrata la compatibilità idraulica dei nuovi viadotti VI21, VI23, dell'infrastruttura ferroviaria, nonché delle opere annesse (i.e. viabilità, fabbricati, SSE.....), in termini sia di franco di sicurezza sia di possibile interferenza con le aree potenzialmente inondabili.

Infine, allo scopo di mantenere la configurazione dell'alveo il più possibile inalterata tra *ante* e *post operam*, sono previste anche adeguate sistemazioni idrauliche (in massi sciolti/legati) in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA SCAFA - MANOPPELLO (LOTTO 2)					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA97	00 R 09	RI	ID0002 001	A	56 di 56

10 BIBLIOGRAFIA

- Autorità dei Bacini Regionali e Interregionali della Fiume Sangro, Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA) – Studio idrologico, 2002.
- Circolare esplicativa delle NTC 2018, n.7 del 21 gennaio 2019.
- Da Deppo L., Datei C., Fognature, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2005.
- Da Deppo L., Datei C., Salandin P., Sistemazione dei corsi d'acqua, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.
- Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.
- Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.
- Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.
- Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977
- Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.
- Norme Tecniche di Attuazione del Piano Stralcio Difesa Alluvioni – Regione Abruzzo – Autorità dei Bacini Regionali e Interregionali del Fiume Sangro.
- Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).
- Ven Te Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.