

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI – INTERPORTO D’ABRUZZO
(LOTTO 3)**

RELAZIONE IDRAULICA

MODELLO BIDIMENSIONALE DEL FIUME PESCARA E CORSI D’ACQUA MINORI

SCALA:

-

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

IA6F 03 D 09 RI ID0002 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. Cesali	Luglio 2019	F. Galas	Luglio 2019	T. Paoletti	Luglio 2019	

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

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.....	9
3	DATI DI BASE.....	12
3.1	RILIEVI TOPOGRAFICI E OPERE ESISTENTI	12
3.2	OPERE DI ATTRAVERSAMENTO ESISTENTI SUI CORSI D'ACQUA MINORI	12
4	IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI IDRAULICI.....	14
4.1	MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE	14
	4.2.1 <i>Geometria del modello</i>	16
	4.2.2 <i>Scabrezze</i>	19
	4.2.3 <i>Condizioni al contorno</i>	19
	4.2.4 <i>Scenari simulati</i>	21
4.2	MODELLAZIONE MONODIMENSIONALE	22
	4.2.1 <i>Caratteristiche del modello</i>	25
5	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE.....	26
5.1	SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON IL PSDA	26
5.2	SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM	36
6	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE MONODIMENSIONALI	45
7	ANALISI MULTITEMPORALE DELLE CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL FIUME PESCARA.....	48
8	VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	54
9	BIBLIOGRAFIA.....	55

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	3 di 55

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Inquadramento geografico della zona in esame con evidenziata la linea ferroviaria in affiancamento al F. Pescara.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2 – Fiume Aterno-Pescara e linea ferroviaria in progetto: aree a pericolosità idraulica (PSDA).</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3 – Bacino 46: prospetto dell' opera di attraversamento esistente (tombino 2 x 1.9 m).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4 – Bacino 47: prospetto dell' opera di attraversamento esistente (tombino 3 x 2.5 m).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5 – Estensione del tratto di studio del Fiume Aterno-Pescara, nel modello idraulico 2D.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 7 – Idrogrammi di piena del F. Pescara, alla sezione di interesse (alla foce), per diversi tempi di ritorno.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8 – Bacino 46: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9 – Bacino 47: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10 – Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d'acqua.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11 - Sezione schematica di un corso d'acqua.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 12 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni) del F. Pescara e dei cinque corsi d'acqua minori considerati; confronto con le aree di pericolosità idraulica P1 del PSDA (zona Chieti).</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 50 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 12+852 ÷ 14+600.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 14 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 50 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 14+600 ÷ 15+942.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 15 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 100 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 12+852 ÷ 14+600.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 16 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 100 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 14+600 ÷ 15+942.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 17 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 12+852 ÷ 14+600.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 18 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 14+600 ÷ 15+942.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 19 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 300 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 12+852 ÷ 14+600.</i>	<i>34</i>

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	4 di 55

<i>Figura 20 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 300 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 14+600 ÷ 15+942.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 21 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 50 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 12+852 ÷ 14+600.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 22 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 50 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 14+600 ÷ 15+942.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 23 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 100 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 12+852 ÷ 14+600.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 24 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 100 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 14+600 ÷ 15+942.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 25 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 12+852 ÷ 14+600.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 26 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 14+600 ÷ 15+942.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 27 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 300 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 12+852 ÷ 14+600.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 28 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 300 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 14+600 ÷ 15+942.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 29 – Modello numerico 1D: livelli idrici Tr200 in corrispondenza dell'opera IN34, nelle configurazioni ante operam (a sinistra) e post operam (a destra).</i>	<i>46</i>
<i>Figura 30 – Modello numerico 1D: livelli idrici Tr200 in corrispondenza dell'opera IN35, nelle configurazioni ante operam (in alto) e post operam (in basso).</i>	<i>47</i>
<i>Figura 31 – Foto aerea 1954, in tratteggio rosso la linea ferroviaria in progetto.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 32 – Stralcio di foto aerea 1954 (stralcio foto aerea 2707), della foto si osserva il F. Pescara con un ampio alveo di tipo intrecciato (braided) a barre mobili ben sviluppate (i limiti sono riportati in blu). In rosso la linea ferroviaria.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 33 – Stralci del Volo IGM 76 (in alto) e AIMA 1997 (in basso): nello stralcio di foto aerea si osserva un alveo con andamento sinuoso e ampiezza decisamente più limitata (alcune decine di metri al massimo) e soprattutto con scarso trasporto di sedimenti ghiaiosi.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 34 – Stralcio Ortofoto 2007.</i>	<i>52</i>

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1. Classi di pericolosità idraulica adottate nel PSDA.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabella 2. Corsi d'acqua minori: portate al colmo di progetto (TR200).....</i>	<i>26</i>
<i>Tabella 3. Corsi d'acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario ante operam, TR200.</i>	<i>45</i>
<i>Tabella 4. Corsi d'acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario post operam (condizione di valle "Normal Depth"), TR200.</i>	<i>45</i>
<i>Tabella 5. Corsi d'acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario post operam (condizione di valle "Konwn Depth"), TR200.</i>	<i>46</i>
<i>Tabella 4. Sintesi delle foto aeree e delle ortofoto utilizzate per l'analisi multitemporale.</i>	<i>48</i>

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	6 di 55

1 PREMESSA

La presente relazione idraulica è parte integrante del Progetto Definitivo del **raddoppio ferroviario** della tratta Chieti – Interporto d’Abruzzo, nell’ambito della velocizzazione della linea FS esistente Roma – Pescara.

Nel presente documento vengono illustrate le simulazioni idrauliche condotte secondo un modello bidimensionale (in regime di moto vario), finalizzate alla verifica del comportamento *ante operam* e *post operam* del F. Aterno-Pescara e di alcuni corsi d’acqua minori (tributari in destra idraulica del Fiume Pescara stesso), nel tratto in affiancamento alla linea ferroviaria in progetto, con riferimento alle portate al colmo di piena determinate nello studio idrologico annesso e alle aree di pericolosità idraulica riportate nel Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA), redatto dall’Autorità dei Bacini Regionali e Interregionali del Fiume Sangro.

Sono riportati anche i risultati delle simulazioni idrauliche condotte secondo un modello monodimensionale in regime di moto permanente, dei corsi d’acqua minori considerati nel presente studio.

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO

2.1 Pericolosità idraulica nell'area di studio

Il tracciato di progetto si sviluppa in affiancamento al Fiume Pescara ed interferisce con una serie di corsi d'acqua minori, affluenti in destra idraulica del Fiume Pescara stesso (Figura 1).

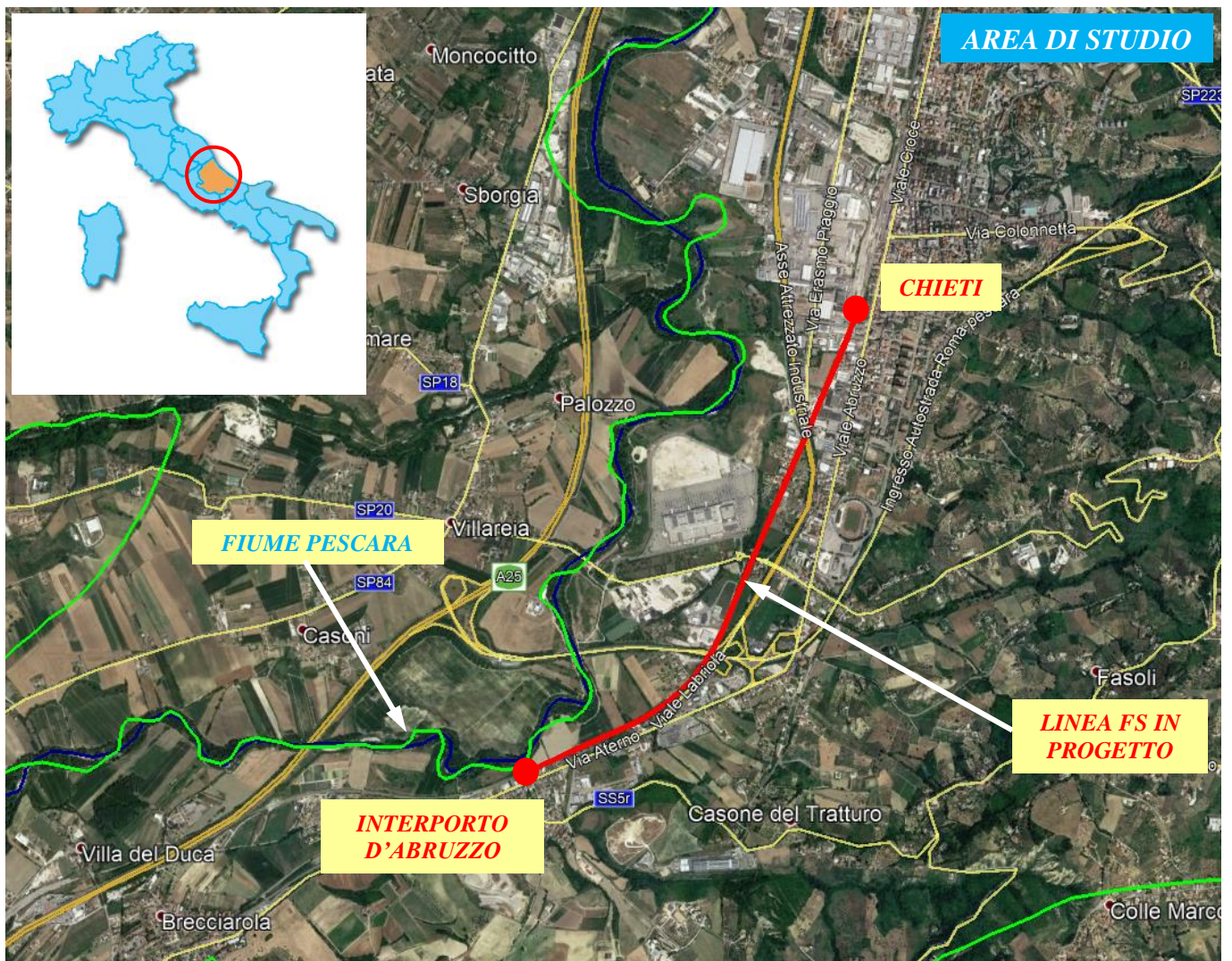


Figura 1 - Inquadramento geografico della zona in esame con evidenziata la linea ferroviaria in affiancamento al F. Pescara.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	8 di 55

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 IA6F03D09RIID0001001A – *Relazione idrologica: studio idrologico del bacino del F. Pescara.*

In Figura 2, sono riportate su ortofoto le aree di pericolosità idraulica del F. Pescara ottenute nell'ambito dello studio idrologico – idraulico sviluppato per la redazione del Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA) dall'Autorità dei Bacini Regionali e Interregionali del F. Sangro.

In particolare, sono individuate 4 classi di pericolosità idraulica (P4 - molto elevata, P3 - elevata, P2 - media, P1 - moderata).

La classe di pericolosità **molto elevata** fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento $Tr = 50$ anni e/o all'instaurarsi di condizioni di lama d'acqua massima raggiunta sul piano campagna superiore ad 1m o ad una velocità massima di trasferimento, sempre sul piano campagna, superiore ad 1m/s.

La classe di pericolosità **elevata** fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento pari alla precedente ($Tr = 50$ anni) e all'instaurarsi di condizioni di lama d'acqua massima raggiunta sul piano campagna compresa tra 50 cm ed 1 m; oppure a condizioni come quelle stabilite per la pericolosità molto elevata (lama d'acqua massima maggiore di 1m oppure velocità maggiore di 1m/s) ma per un evento di piena più raro ($Tr = 100$ anni).

La classe di pericolosità **media** fa riferimento ad un evento caratterizzato da un tempo di ritorno Tr pari a 100 anni e all'instaurarsi di condizioni di lama d'acqua massima raggiunta sul piano campagna compresa tra 0 cm ed 1 m. La classe di pericolosità **bassa** fa riferimento ad un evento di piena raro, caratterizzato da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni in qualunque condizione di lama d'acqua e di velocità sul piano campagna. Di seguito, una tabella riepilogativa delle classi di pericolosità adottate.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Nel tratto in esame, la linea ferroviaria in progetto è interessata marginalmente dalle aree di esondazione ($Tr = 200$ anni, pericolosità P1) del F. Pescara, soltanto nel tratto finale (Interporto d'Abruzzo).

PERICOLOSITA' IDRAULICA	CONDIZIONI IDRAULICHE
Molto elevata P4	Riferimento: evento di piena con $Tr = 50$ anni $h_{50} > 1\text{m}$ oppure $v_{50} > 1\text{m/s}$
Elevata P3	Riferimento: eventi di piena con $Tr = 50$ anni e con $Tr = 100$ anni $1\text{m} > h_{50} > 0.5\text{m}$ oppure $h_{100} > 1\text{m}$ oppure $v_{100} > 1\text{m/s}$
Media P2	Riferimento: evento di piena con $Tr = 100$ anni $h_{100} > 0\text{m}$
Moderata P1	Riferimento: evento di piena con $Tr = 200$ anni $h_{200} > 0\text{m}$

Tabella 1. Classi di pericolosità idraulica adottate nel PSDA.

2.2 Obiettivi dello studio idraulico

Obiettivo del presente studio idraulico è quello di valutare l'efficacia degli interventi previsti per assicurare la compatibilità idraulica della linea ferroviaria in progetto.

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento, esistenti o di progetto, devono osservare le prescrizioni delle NTC2018 ed in particolare della circolare esplicativa n.7/2019, nonché del Manuale di progettazione RFI. In sintesi, le opere idrauliche di attraversamento devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati dai seguenti tempi di ritorno (Tr):

- $Tr = 300$ anni per $S \geq 10 \text{ km}^2$ (i.e. Fiume Pescara);
- $Tr = 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$ (i.e. corsi d'acqua minori)

avendo indicato con S la superficie del bacino idrografico sotteso alla sezione dell'attraversamento o di interesse.

Non sono previsti attraversamenti sul F. Pescara, in quanto la linea ferroviaria in progetto si sviluppa in affiancamento al corso d'acqua principale.

Sono tuttavia presenti (e previste) opere di attraversamento (tombini e/o ponticelli) sui corsi d'acqua minori (tributari in destra idraulica del F. Pescara), interferenti con la linea ferroviaria in esame.

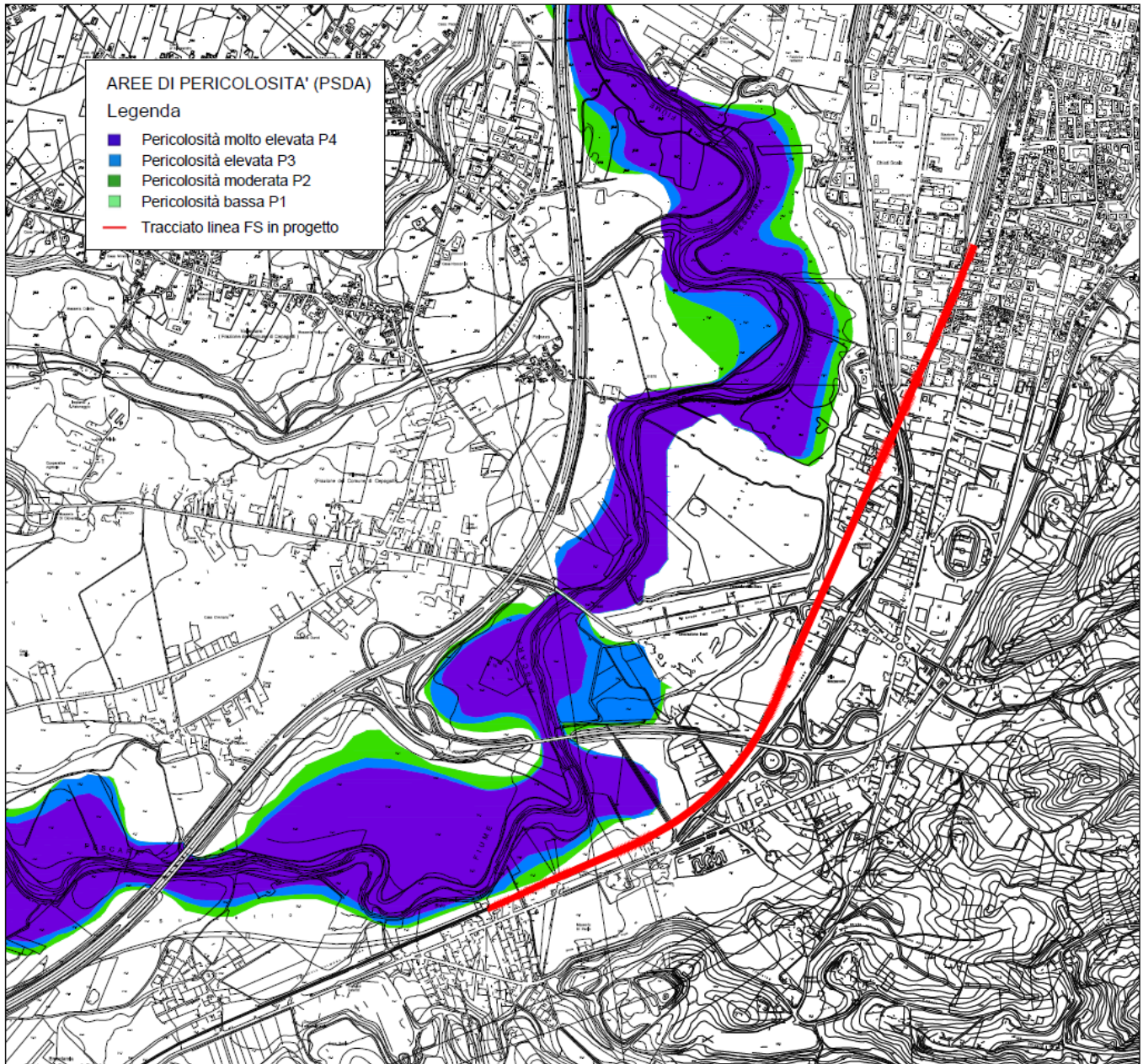



Figura 2 – Fiume Aterno-Pescara e linea ferroviaria in progetto: aree a pericolosità idraulica (PSDA).

Per gli attraversamenti secondari, relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, come anzidetto, dovranno essere rispettate le prescrizioni riportate nella circolare esplicativa (n.7/2019) delle NTC 2018, nonché nel Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI).

Nello specifico, nella circolare esplicativa delle NTC 2018 (n.7/2019), si asserisce:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

“Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m³/s. L’evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti.”

Con riferimento alla relazione idrologica annessa (IA6F03D09RIID0001001A), le opere di attraversamento in progetto sui corsi d’acqua minori **ricadono** nella fattispecie sopra definita (“tombini”), essendo quest’ultimi caratterizzati da portate al colmo di progetto ($T_r = 200$) inferiori a 50 m³/s. Inoltre, proseguendo:

“Il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell’altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m”

come anche previsto dal Manuale di Progettazione Ferroviaria (grado di riempimento massimo non superiore al 70%).

Si è proceduto quindi all’implementazione del modello idraulico, numerico, bidimensionale del Fiume Pescara e dei due corsi d’acqua minori, analizzati in dettaglio nello studio idrologico annesso.

Per completezza e confronto, sono state sviluppate anche le simulazioni idrauliche, secondo un modello monodimensionale (in regime di moto permanente), dei due corsi d’acqua minori considerati (relativi ai bacini 46 e 47). Le relative verifiche idrauliche sono state dunque effettuate con riferimento ai risultati ottenuti secondo le differenti tipologie di modellazione (monodimensionale e bidimensionale) sviluppate.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI – INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	12 di 55

3 DATI DI BASE

3.1 rilievi topografici e opere esistenti

I dati topografici a disposizione per l'implementazione dei modelli idraulici sono i seguenti:

- sezioni trasversali dell'alveo e rilievo delle opere di attraversamento esistenti sul F. Pescara e sui corsi d'acqua minori, ottenute da apposita campagna topografica;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1x1 m, fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

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 sui corsi d'acqua minori

Nel modello idraulico 2D del F. Pescara sono stati inseriti anche i contributi idrologici di due corsi d'acqua minori (relativi ai bacini 46, 47, elaborato IA6F03D09RIID0001001A), compresi nel tratto a minore distanza, tra il Fiume Pescara e la linea ferroviaria in progetto.

Tale configurazione ha consentito di individuare alcune criticità dal punto di vista idraulico, che verranno meglio descritte e discusse nei paragrafi successivi.

Di seguito, sono riportati i prospetti delle opere di attraversamento esistenti, così come rilevate nella campagna topografica effettuata, sui due corsi d'acqua minori sopra introdotti.

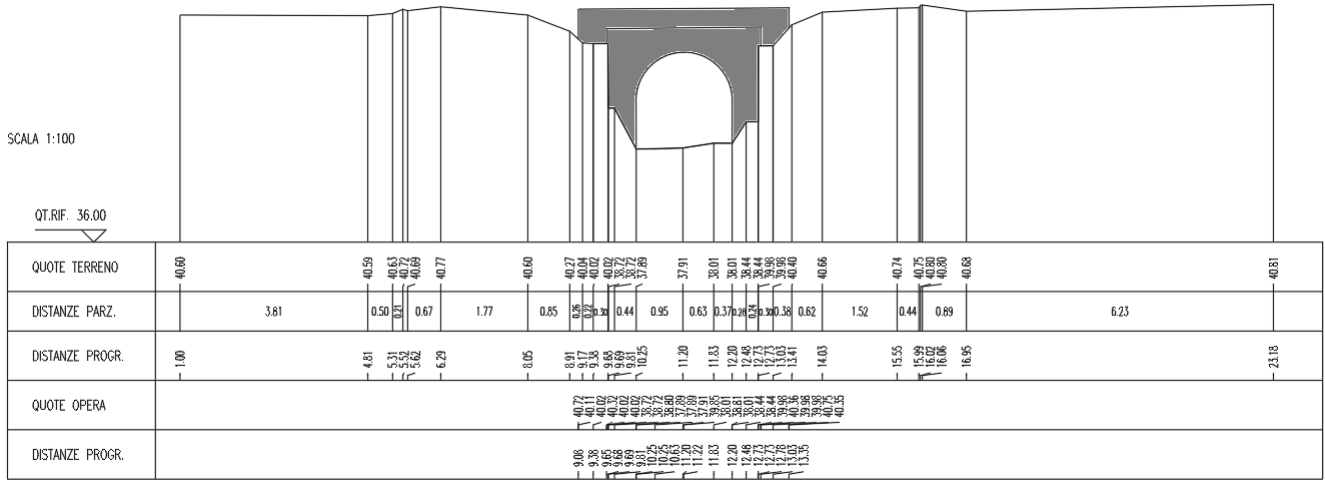


Figura 3 – Bacino 46: prospetto dell' opera di attraversamento esistente (tombino 2 x 1.9 m).

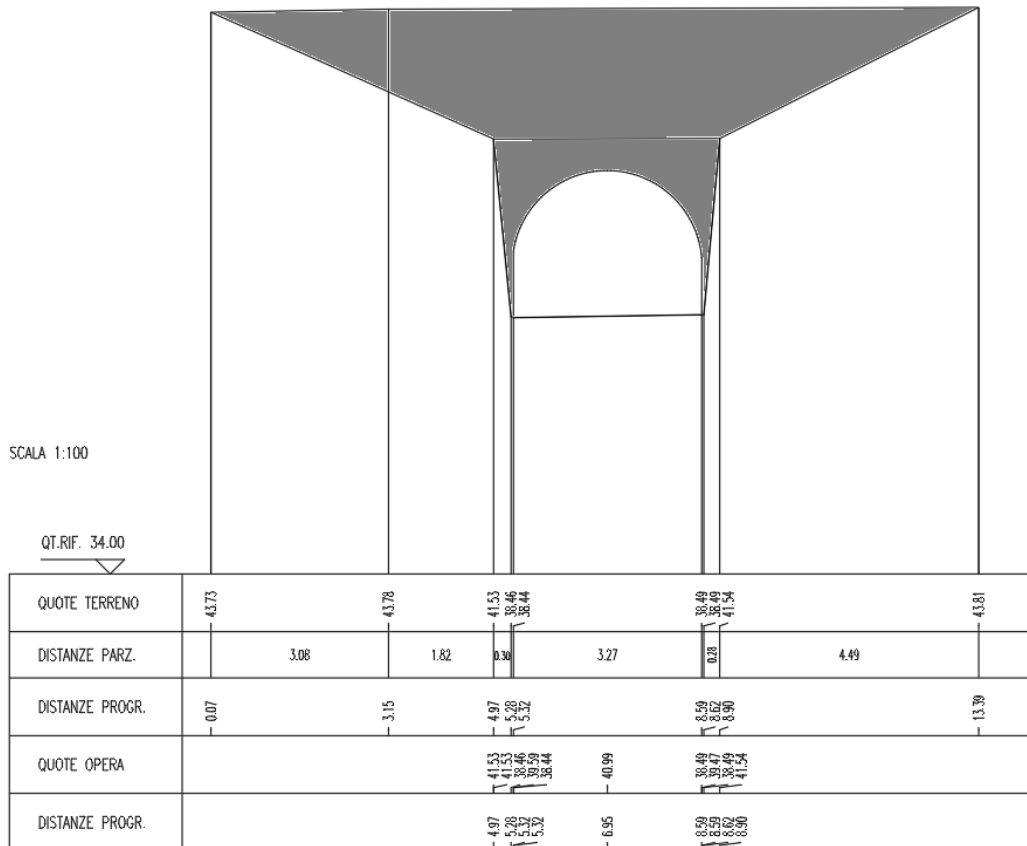


Figura 4 – Bacino 47: prospetto dell' opera di attraversamento esistente (tombino 3 x 2.5 m).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

4 IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI IDRAULICI

Come anticipato, per la valutazione della compatibilità idraulica della linea ferroviaria in progetto sono stati sviluppati differenti modelli idraulici (1D e 2D) tesi alla determinazione *i*) delle aree potenzialmente inondabili (in regime di moto vario), *ii*) dei livelli idrici in corrispondenza dei tratti in rilevato e delle opere di attraversamento (in regime di moto vario e permanente), sia nella configurazione *attuale* che *post operam* (o di progetto).

Nello specifico, come in seguito meglio descritto, le opere di attraversamento in progetto (tombini) sono state dimensionate con riferimento ai risultati ottenuti dalle simulazioni bidimensionali e successivamente verificate anche con riferimento alle modellazioni monodimensionali.

I modelli di calcolo utilizzati sono:

- *InfoWorks ICM 9.0*, sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito (UK), per le simulazioni idrauliche 2D;
- *HEC-RAS 5.0.7.*, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA), per l'implementazione dei modelli 1D.

4.1 Modellazione bidimensionale

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

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

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

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

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

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

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

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*).

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	16 di 55

Le SWE, applicate in forma conservativa, sono discretizzate usando lo schema esplicito di primo ordine ai volumi finiti. Gli schemi ai volumi finiti utilizzano volumi di controllo per rappresentare le aree di interesse. Il dominio di calcolo è suddiviso in forme geometriche in grado di interpretare le caratteristiche peculiari del campo di moto stesso sulle quali vengono integrate le SWE. Lo schema che risolve le SWE è basato sullo schema numerico di Gudonov con i flussi numerici attraverso i contorni dei volumi di controllo calcolati. La metodologia secondo i volumi finiti è considerata essere vantaggiosa in termini di flessibilità della geometria e semplicità concettuale. Per ciascun elemento di calcolo il timestep richiesto è calcolato utilizzando le condizioni di Courant-Friedrichs-Lewy al fine di raggiungere la stabilità numerica. La formulazione della condizione di Courant-Friedrichs-Lewy è la seguente:

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

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

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

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 plano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato a rappresentare il corso d'acqua, alvei e golene, sia i canali secondari e le aree ripariali potenzialmente allagabili.

In particolare, è stato simulato il Fiume Pescara, unitamente ai cinque corsi d'acqua minori sopra menzionati, per un tratto di lunghezza totale pari a circa 30 km, da Manoppello a Pescara, ossia alla foce. Nella figura seguente è riportata l'estensione del dominio di calcolo (superficie = 76 km² circa).

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	17 di 55

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 a maglia 1m x 1m fornito dal Ministero dell'Ambiente, verificando la congruenza tra i rilievi disponibili ed il DTM medesimo. La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in InfoWorks ICM, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

La mesh di calcolo è costituita da circa 1743124 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 10 m² (Figura 6).

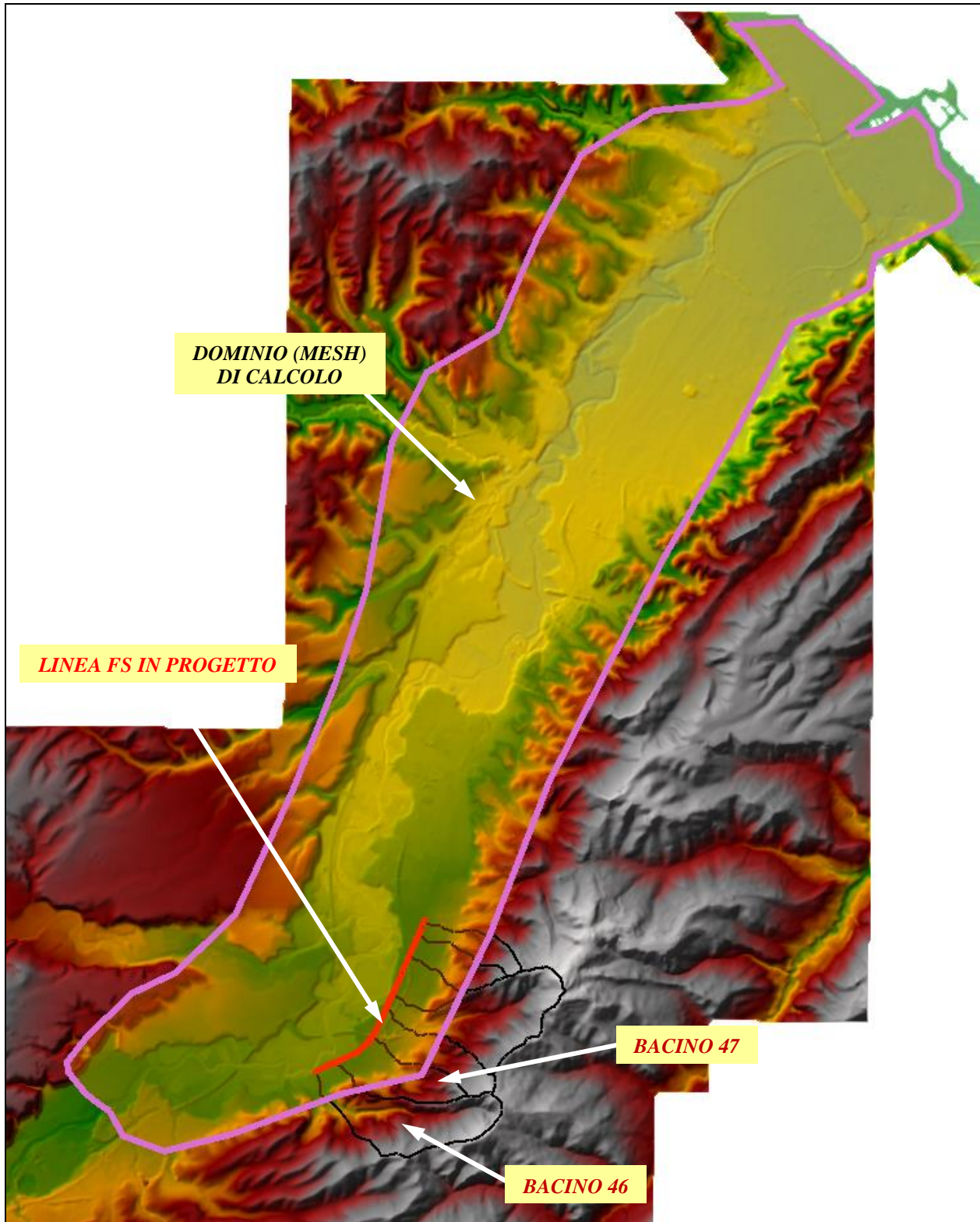


Figura 5 – Estensione del tratto di studio del Fiume Aterno-Pescara, nel modello idraulico 2D.

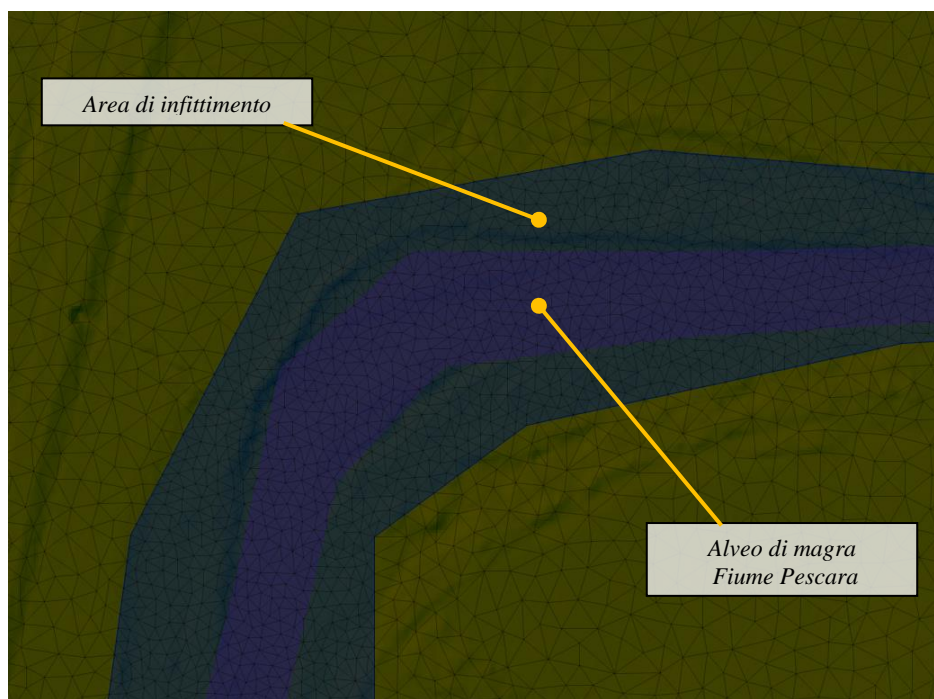


Figura 6 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.

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 PSDA, per l'alveo e le golene è stato assunto $n = 0.043$ ($m^{1/3}/s$); il coefficiente di scabrezza per le aree esterne, potenzialmente inondabili, è stato assegnato pari a $n = 0.058$ ($m^{1/3}/s$).

4.2.3 Condizioni al contorno

Gli idrogrammi di riferimento sono quelli ricavati nello studio idrologico, elaborato IA6F03D09RIID0001001A – *Relazione Idrologica: studio idrologico del Bacino del Fiume Pescara*, al quale si rimanda. Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi utilizzati come condizione al contorno di monte del modello idraulico 2D, sia per il F. Pescara sia per i cinque corsi d'acqua minori. Per quanto riguarda la condizione di valle, è stato imposto un livello idrico costante pari a + 0,5 m slm (*Stage Hydrograph*), come adottato nelle analisi svolte nell'ambito del PSDA.

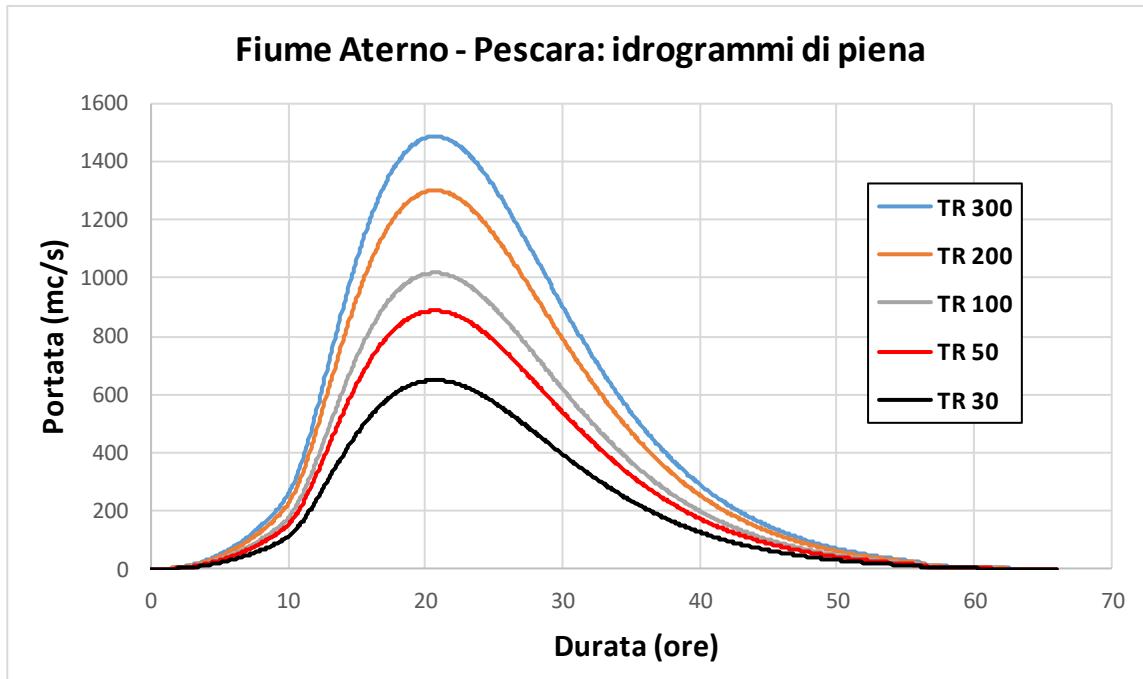


Figura 7 – Idrogrammi di piena del F. Pescara, alla sezione di interesse (alla foce), per diversi tempi di ritorno.

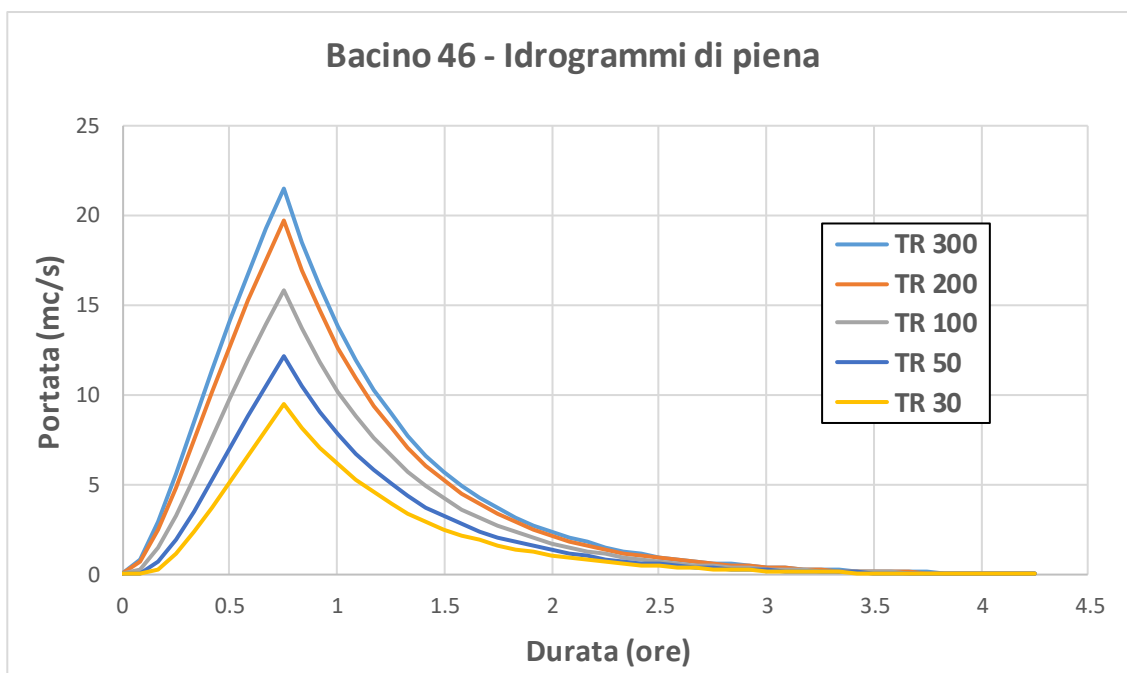


Figura 8 – Bacino 46: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.

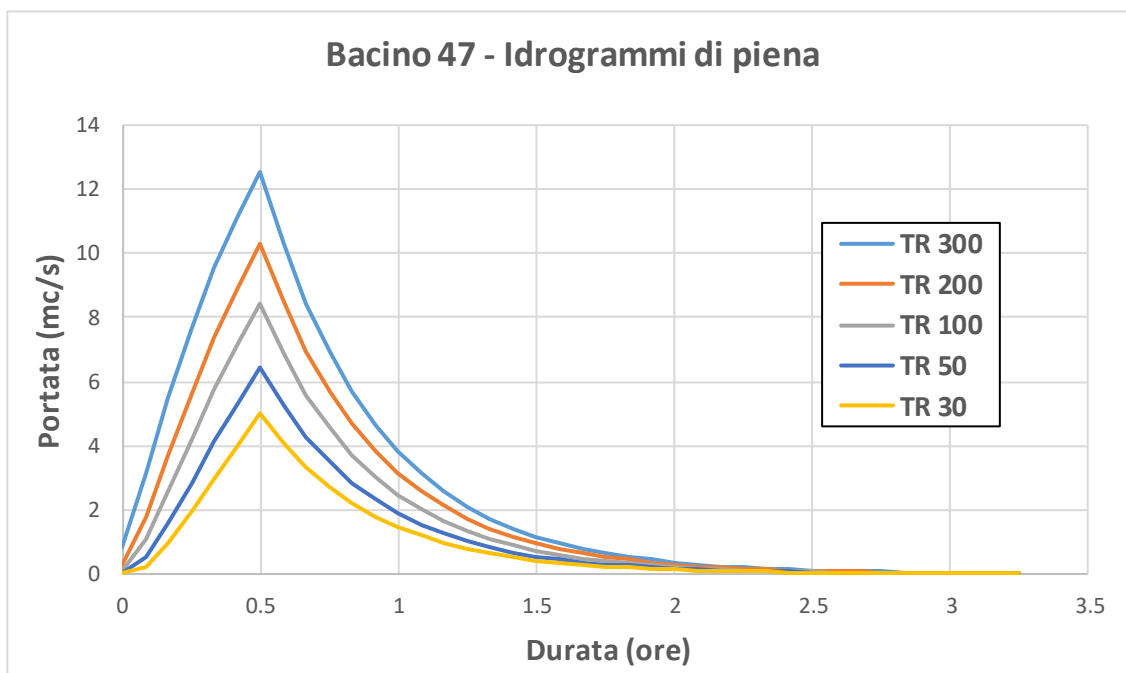


Figura 9 – Bacino 47: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.

4.2.4 Scenari simulati

Al fine di verificare le opere di attraversamento secondarie in corrispondenza dei cinque corsi d'acqua minori considerati (come da Manuale di Progettazione Ferroviario RFI) e di confrontare i risultati ottenuti (in termini di aree potenzialmente inondabili) con le aree di pericolosità idraulica (PI , $Tr 200$) del PSDA, sono stati simulati i seguenti scenari riferiti alle configurazioni geometriche:

- *ante operam* – $Tr 50, 100, 200, 300$ anni: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto;
- *post operam* – $Tr 50, 100, 200, 300$ 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.

4.2 Modellazione monodimensionale

Per lo sviluppo dei modelli idraulici monodimensionali dei due corsi d'acqua minori considerati è stato impiegato il software Hec Ras 5.0.7., sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

Il calcolo del profilo di corrente in condizioni di moto permanente fra due sezioni successive è effettuato dal software HEC-RAS mediante la soluzione dell'equazione dell'energia, attraverso un processo iterativo denominato 'standard step method'. Indicate con 1 e 2 rispettivamente le sezioni di valle e di monte, l'equazione dell'energia è espressa dalla seguente relazione:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e$$

dove Y_1 , Y_2 sono i tiranti idrici di monte e di valle; Z_1 , Z_2 le quote topografiche; v_1 , v_2 le velocità medie (portata totale/area di flusso totale); α_1 , α_2 i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche o di Coriolis; g l'accelerazione di gravità; h_e la perdita di carico totale nel tratto.

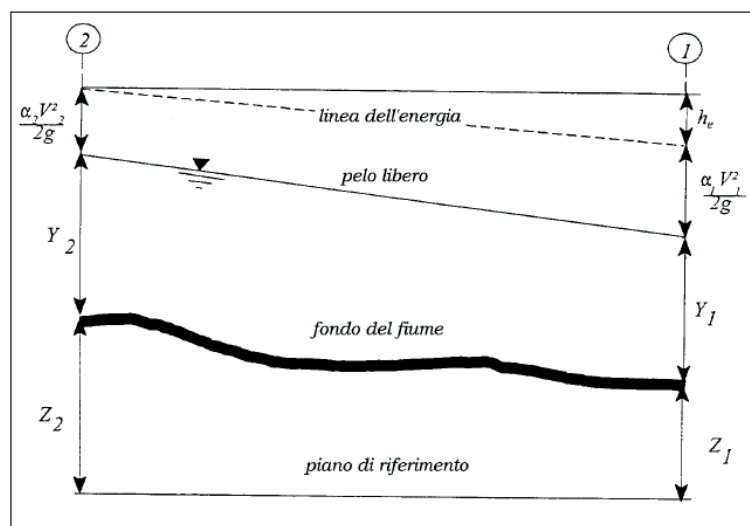


Figura 10 – Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d'acqua.

Le perdite di energia compressive h_e tra le due sezioni sono dovute alle perdite distribuite per attrito ed a quelle localizzate dovute a fenomeni di espansione e contrazione della vena fluida; in particolare si ha:

$$h_e = L\bar{j} + C \left| \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right|$$

dove L è la distanza tra le due sezioni; \bar{j} è la perdita di carico media distribuita tra le due sezioni e C è il coefficiente che correla le perdite, dovute all'espansione ed alla contrazione della vena, in funzione dell'andamento piano – altimetrico del corso d'acqua, alla differenza dei carichi cinetici delle due sezioni. La distanza L tra le due sezioni è calcolata mediante la relazione:

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

in cui L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} sono le lunghezze del tratto relative all'area golenale sinistra, al canale principale e all'area golenale destra rispettivamente; $\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ sono le portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, canale principale e golena destra.

Per la valutazione delle perdite di carico è utilizzata la formula di Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{j}$$

dove Q rappresenta la portata, A la sezione bagnata, R il raggio idraulico, n il coefficiente di scabrezza secondo Manning. Nel caso di sezioni composte, tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti in modo da trattare separatamente sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante.

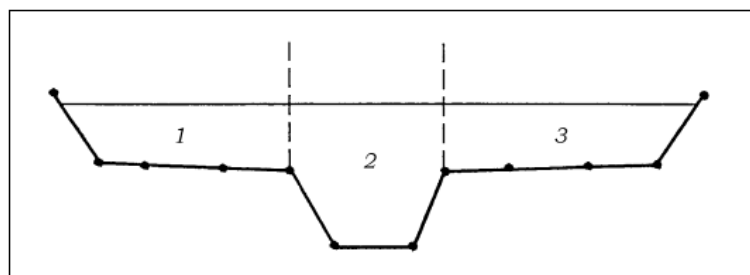


Figura 11 - Sezione schematica di un corso d'acqua.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Con riferimento alla figura precedente, definito $K_i = Q_i / \sqrt{j}$ la capacità di portata di ogni singola parte *i-esima* in cui è stata suddivisa la sezione, in accordo alla formula di Manning, è:

$$\bar{j} = \left(\frac{Q}{\sum_i K_i} \right)^2$$


Questo risultato può essere facilmente ricavato osservando che la portata di ogni singola area $Q_i = K_i \sqrt{j}$ è proporzionale al rispettivo coefficiente di portata e che la portata totale vale $Q = \sum_i Q_i$. Il programma

HEC-RAS implementa quattro modalità distinte per valutare \bar{j} ; in particolare:

- $\bar{j} = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$ (*average conveyance equation*)
- $\bar{j} = \frac{j_1 + j_2}{2}$ (*average friction slope equation*)
- $\bar{j} = \sqrt{j_1 \cdot j_2}$ (*geometric mean friction slope equation*)
- $\bar{j} = \frac{2j_1 \cdot j_2}{j_1 + j_2}$ (*harmonic mean friction slope equation*)

Il programma utilizza per default la prima delle quattro opzioni proposte, per quanto sia possibile adottare automaticamente la formula che meglio si adatta a ciascun tipo di profilo (corrente lenta o veloce). Calcolata la capacità di portata di ogni singola sezione, è possibile, da queste, valutare il coefficiente di Coriolis. Questo coefficiente è pari al rapporto tra l'energia cinetica reale della corrente, proporzionale a $\sum_i Q_i^3 / A_i^2$, e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a Q^3 / A^2 . Espresse le portate delle singole parti *i-esime* in funzione del rispettivo coefficiente di portata si perviene con qualche semplice passaggio alla seguente espressione:

$$\alpha_k = \left(\frac{\sum_{i=1}^3 \frac{K_i^3}{A_i^2}}{\left(\frac{\sum_{i=1}^3 A_i}{\sum_{i=1}^3 K_i} \right)^3} \right)^2 \quad (k = 1, 2)$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Calcolate tramite le rispettive equazioni le perdite di energia h_e ed i coefficienti di Coriolis α_k , l'equazione

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e,$$

associata all'equazione di continuità, permette di calcolare, mediante un procedimento iterativo, l'altezza idrica alla sezione di calcolo. La procedura è la seguente:

1) Si assume un valore di tentativo per il livello idrico sulla sezione di monte (o di valle nel caso in cui si ipotizzi una corrente di tipo veloce).

2) Si calcola il valore della capacità di portata totale $K (= \sum_{i=1}^3 K_i)$ e l'altezza cinetica per il livello di tentativo.

3) In base ai valori calcolati al passo 2, si calcola e si risolve l'equazione $h_e = L\bar{j} + C \left| \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right|$ per il valore di h_e .

4) Con i valori calcolati ai passi 2 e 3, si calcola $Y_2 + Z_2$ mediante la

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e$$

5) Si confronta il valore calcolato $Y_2 + Z_2$ con quello di tentativo del passo 1.

Si ripetono i passi dall'1 al 5 fino a che i due valori non differiscono per meno di 0.003 m o di una soglia specificata dall'utente.

4.2.1 Caratteristiche del modello

La geometria del modello è stata implementata utilizzando le sezioni d'alveo rilevate in apposite campagne topografiche. In analogia alla modellazione 2D, per l'alveo e le golene è stato assunto un coefficiente di scabrezza pari a $n = 0.043$ ($\text{m}^{1/3}/\text{s}$). Sono state assunte inoltre le seguenti ipotesi:

- condizioni di moto permanente;
- regime di corrente mista;
- scenari simulati: *TR200* (tempo di ritorno di progetto), nelle configurazioni *attuale* e *post operam*

<i>ID bacino</i>	<i>Q200 (mc/s)</i>
46	19.5
47	11.1

Tabella 2. Corsi d'acqua minori: portate al colmo di progetto (*TR200*).

- condizioni al contorno: a monte la condizione di moto uniforme (*'Normal Depth'*), a valle la condizione 1) di moto uniforme (*'Normal Depth'*) e 2) di altezza idrica nota (*'Known Depth'*), imposta pari al livello idrico del F. Pescara, dedotto dalle simulazioni 2D, come meglio descritto in seguito.

5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

5.1 Scenario ante operam e confronto con il PSDA

In Figura 12 sono riportati i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili della simulazione idraulica del Fiume Pescara e dei due corsi minori (bacini 46, 47), per un tempo di ritorno di 200 anni, nello scenario *ante operam*, unitamente alle aree di pericolosità idraulica P1 del PSDA.

Le apprezzabili differenze sono imputabili principalmente alla diversa base cartografica utilizzata per l'implementazione del modello idraulico 2D e all'inserimento dei contributi idrologici dei corsi d'acqua minori, non considerati nelle analisi idrauliche svolte nell'ambito del PSDA.

In particolare, tali differenze possono essere osservate nella zona in prossimità del tratto a minore distanza tra la linea FS in progetto e il F. Pescara; parte delle acque esondate del F. Pescara defluiscono anche attraverso i tombini idraulici ferroviari esistenti (in particolare attraverso l'opera sul corso d'acqua minore relativo al bacino 46).

La simulazione "*ante operam – Tr 200*" ha permesso inoltre di individuare alcune criticità di natura idraulica; di seguito, i risultati in termini di livelli idrici *Tr 200* in corrispondenza delle opere esistenti.

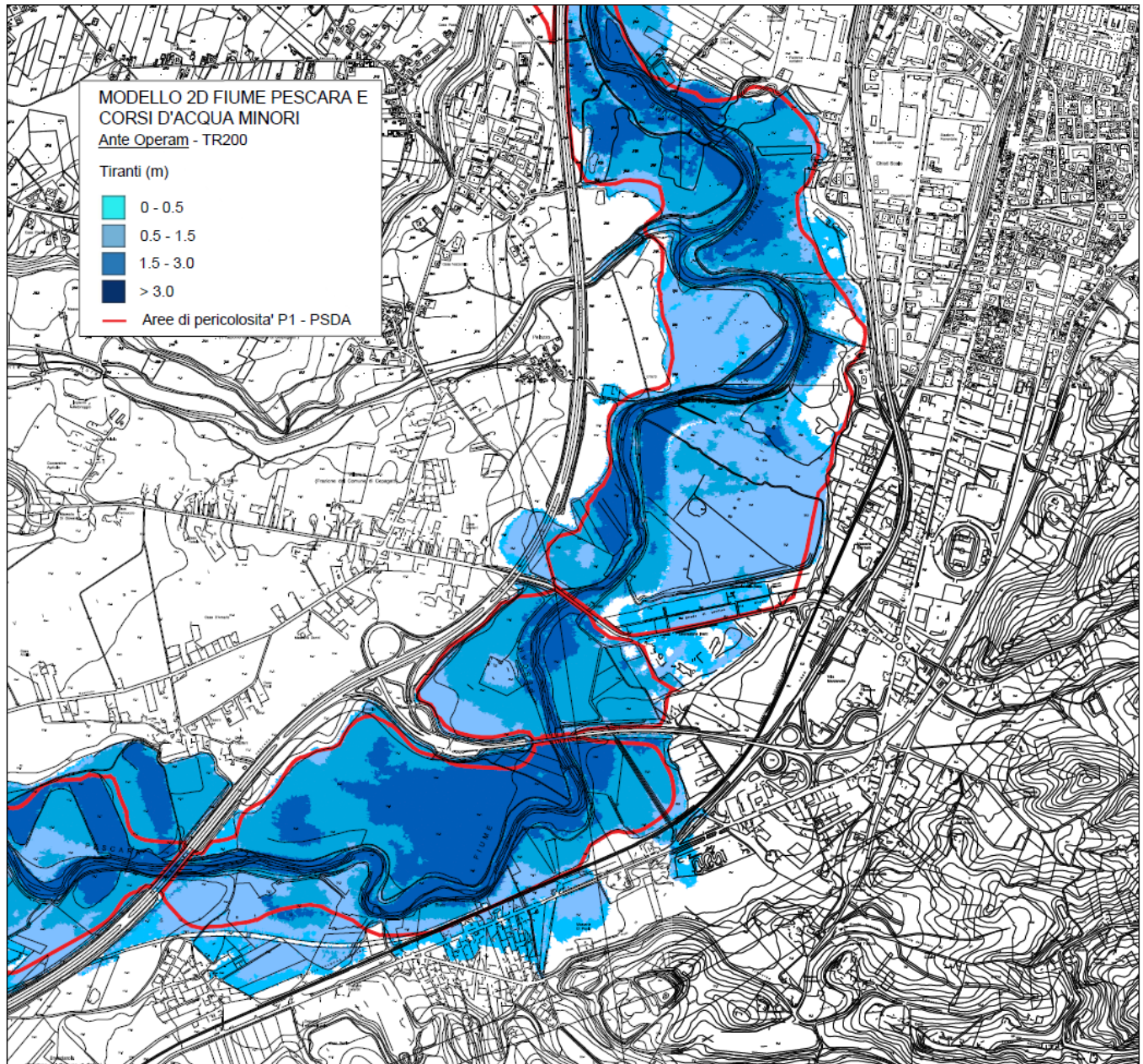


Figura 12 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni) del F. Pescara e dei cinque corsi d'acqua minori considerati; confronto con le aree di pericolosità idraulica P1 del PSDA (zona Chieti).

– **IN34** (corso d'acqua relativo al Bacino 47)

Quota Intradosso: + 41.00 m slm

Quota fondo alveo: + 38.44 m slm

Livello idrico Tr200: + 40.30 m slm (grado riempimento = 74%)

– IN35 (corso d'acqua relativo al Bacino 46)

Quota Intradosso: + 39.90 m slm

Quota fondo alveo: + 37.90 m slm

Livello idrico Tr200: + 39.50 m slm (grado riempimento = 80%)

Di seguito, per completezza sono riportate le aree di esondazione, nello scenario "attuale", per i differenti tempi di ritorno indagati (per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici annessi).

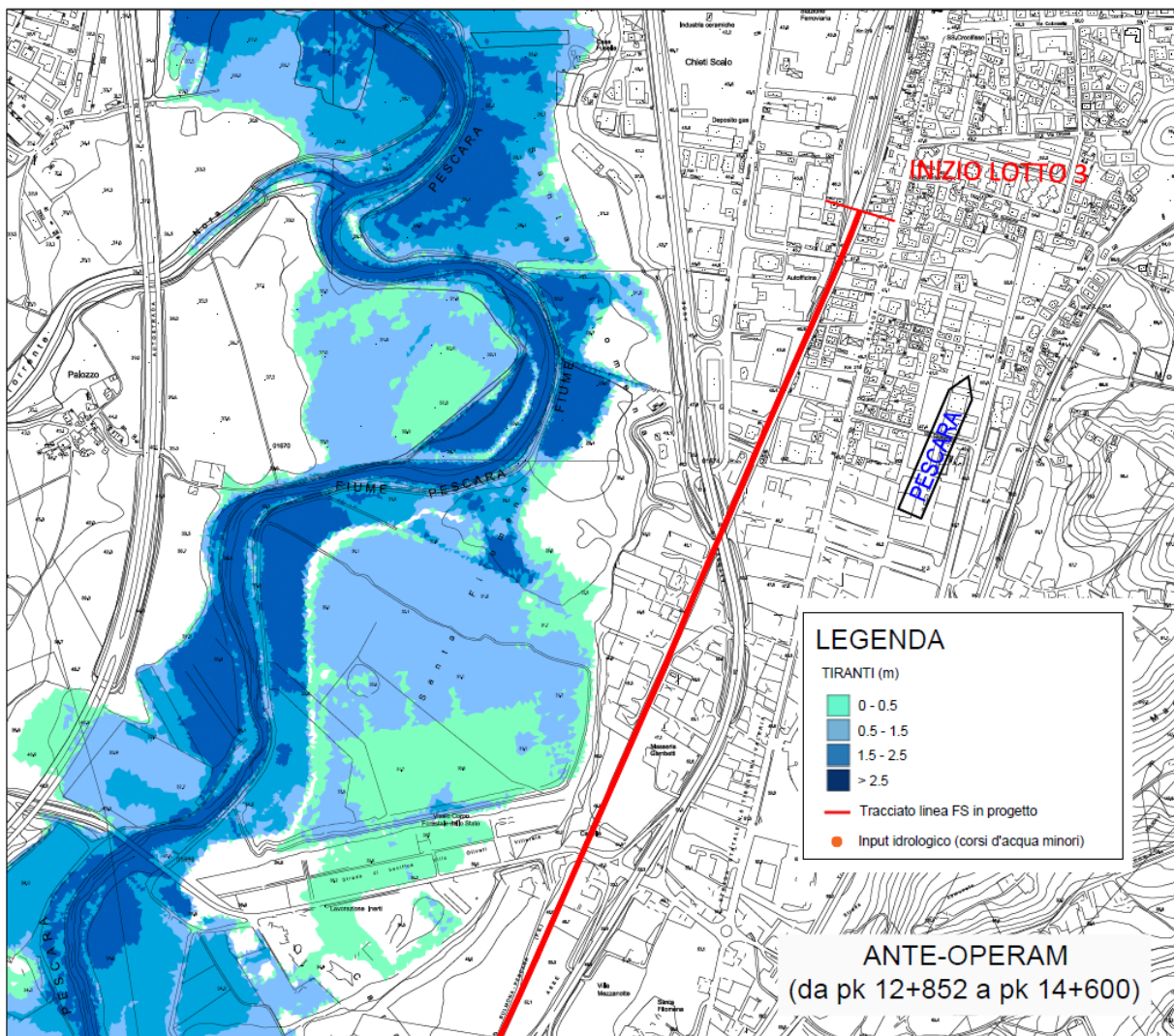


Figura 13– Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 50 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 12+852 ÷ 14+600.

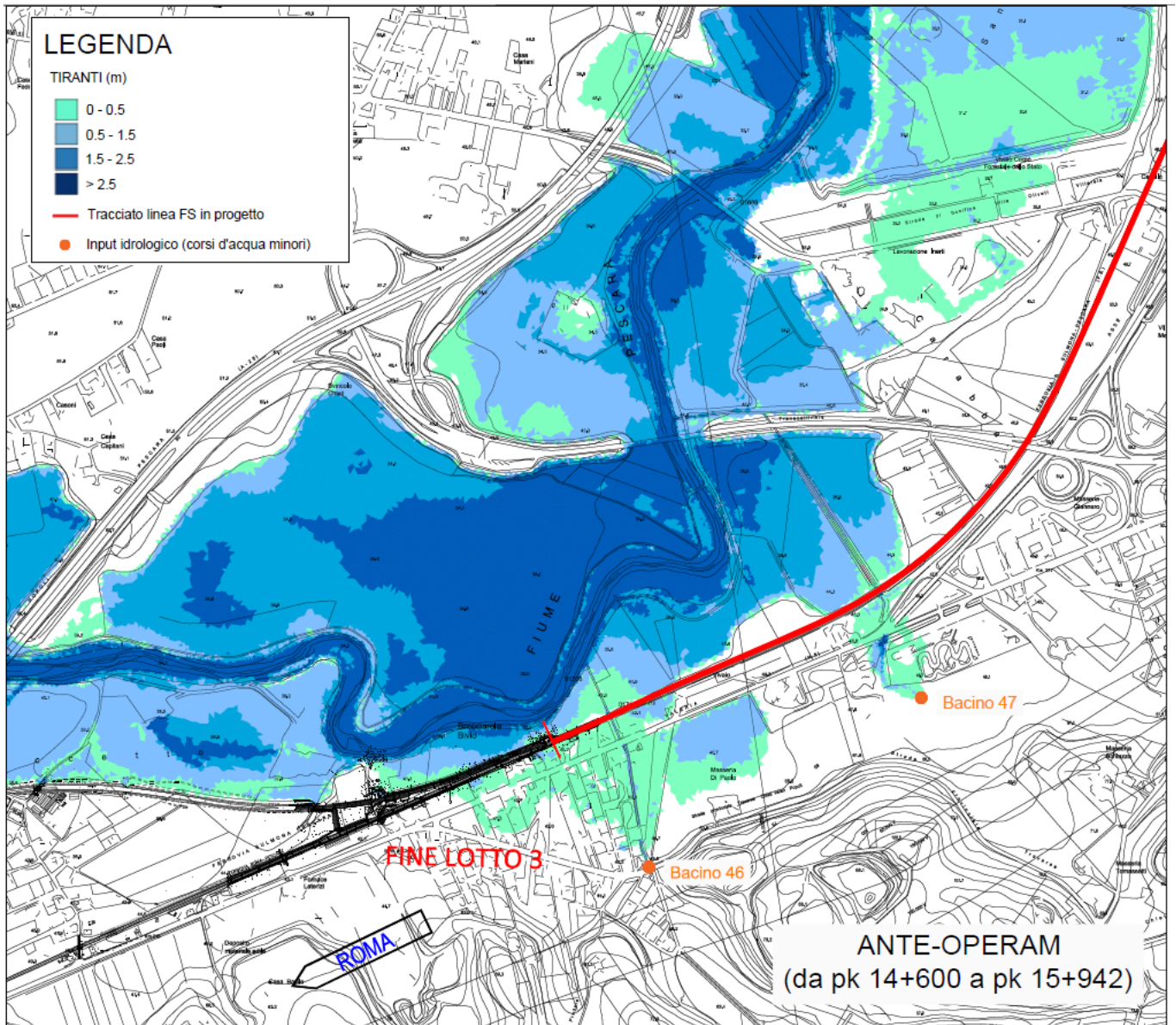


Figura 14– Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 50 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 14+600 ÷ 15+942.

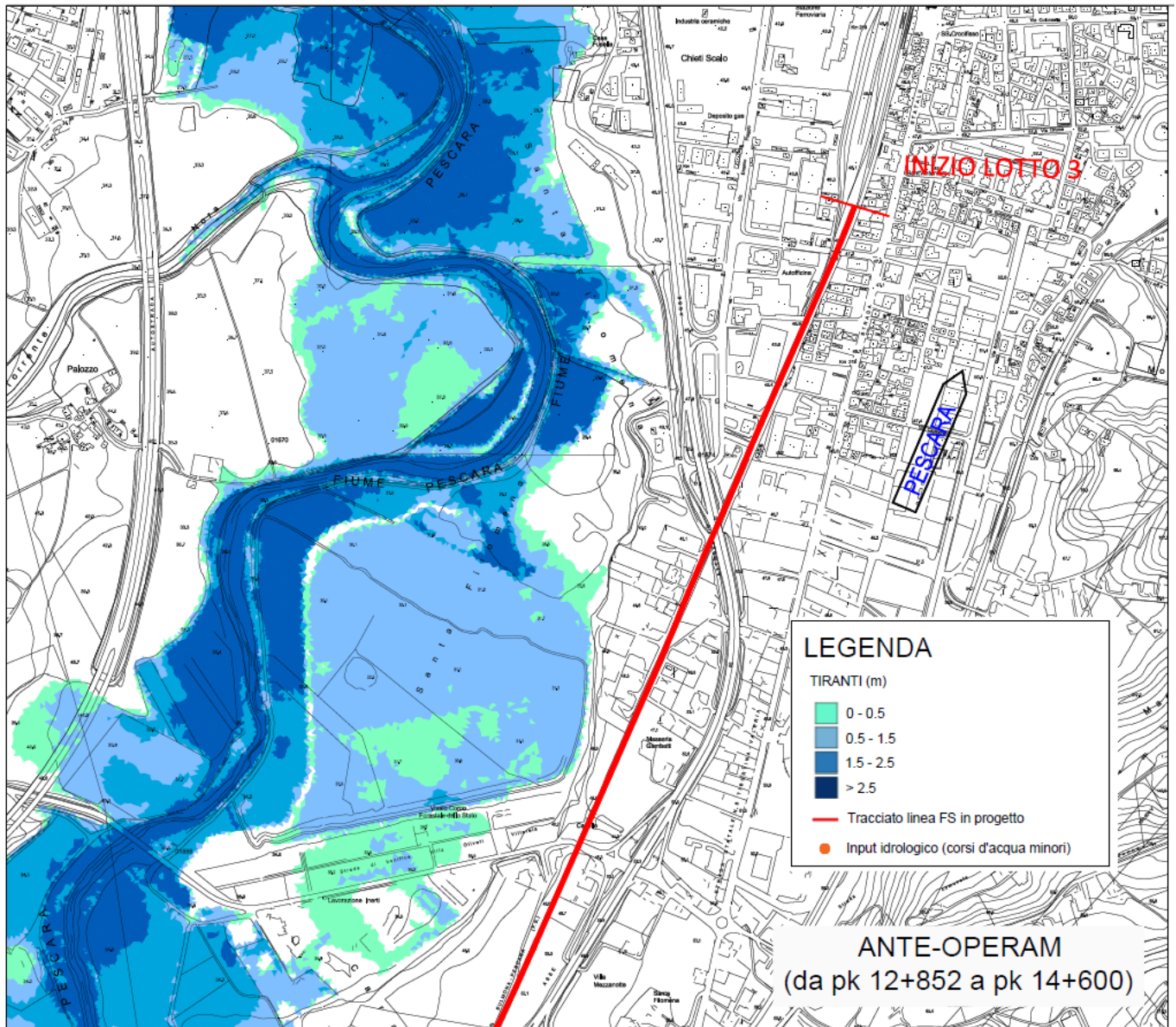


Figura 15 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 100 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 12+852 ÷ 14+600.

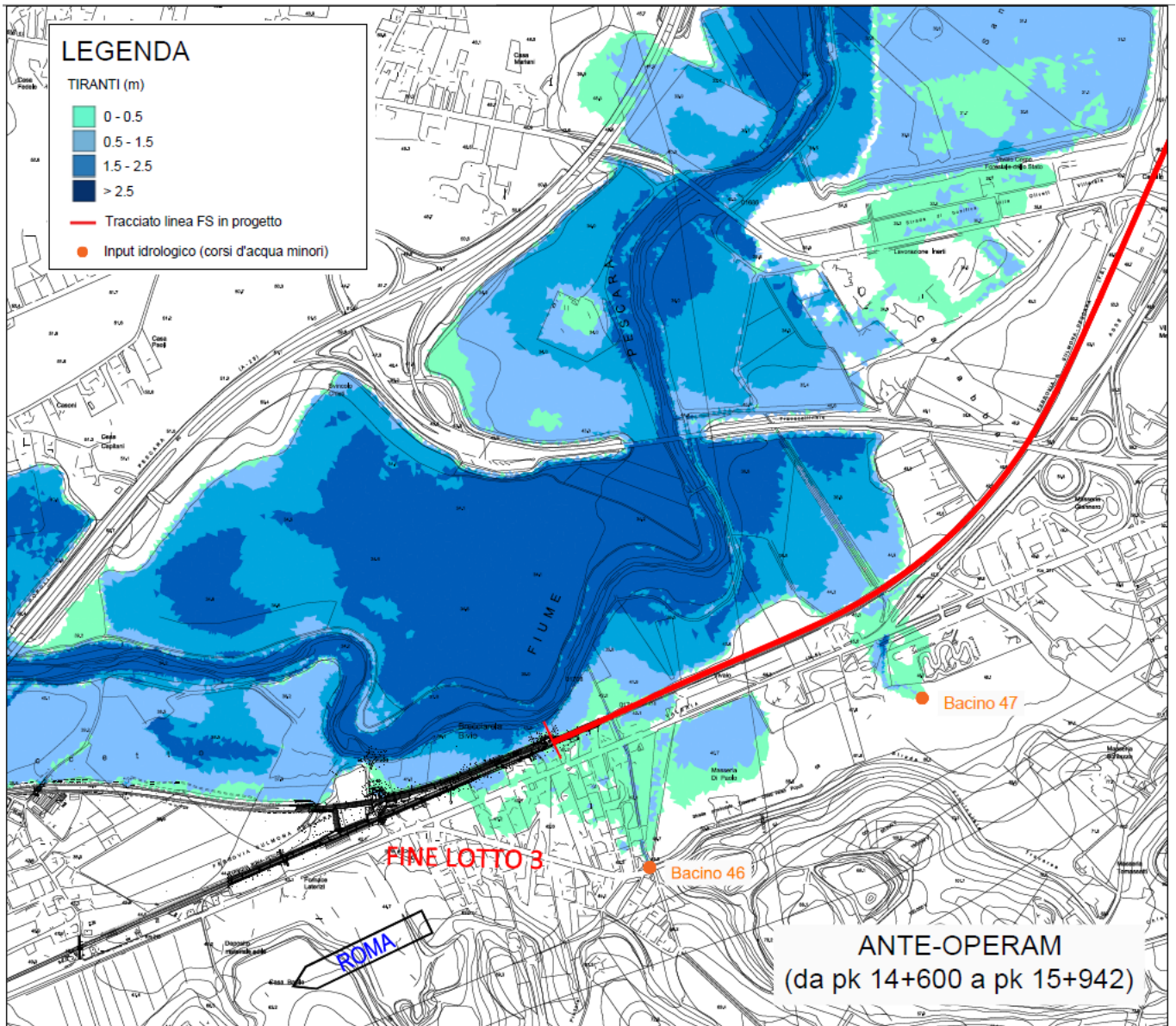


Figura 16 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 100 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 14+600 ÷ 15+942.

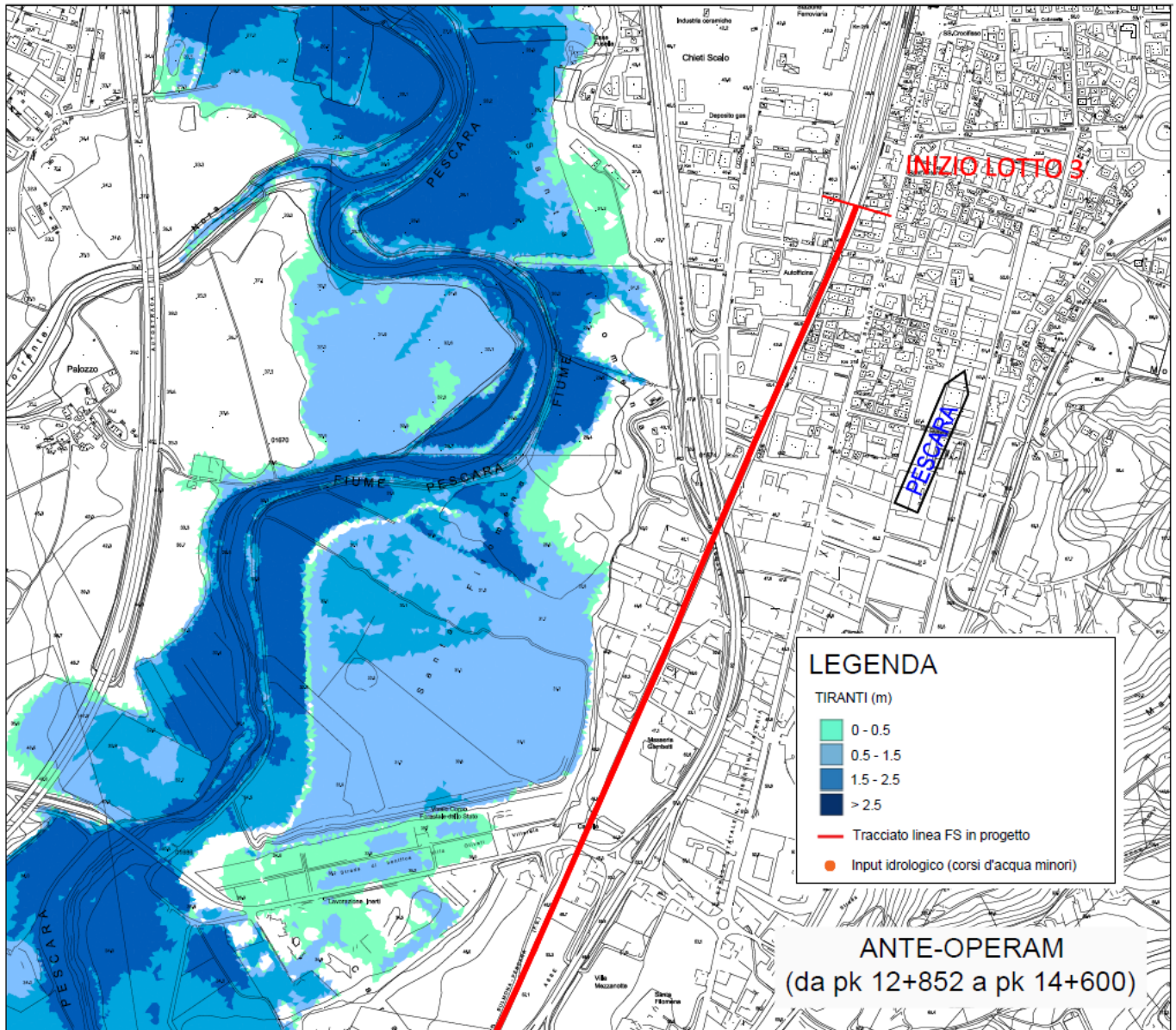


Figura 17 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 12+852 ÷ 14+600.

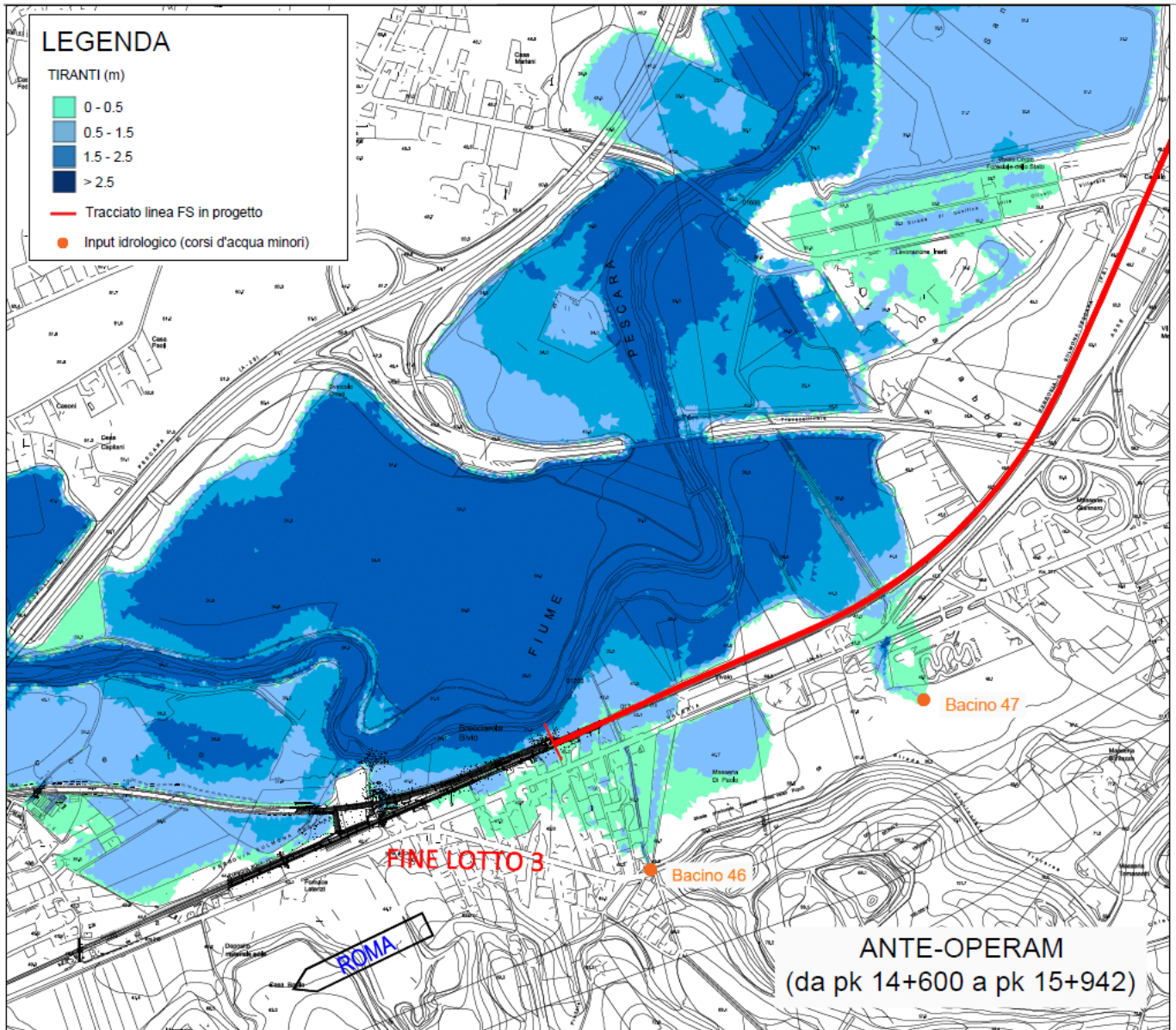


Figura 18 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 14+600 ÷ 15+942.

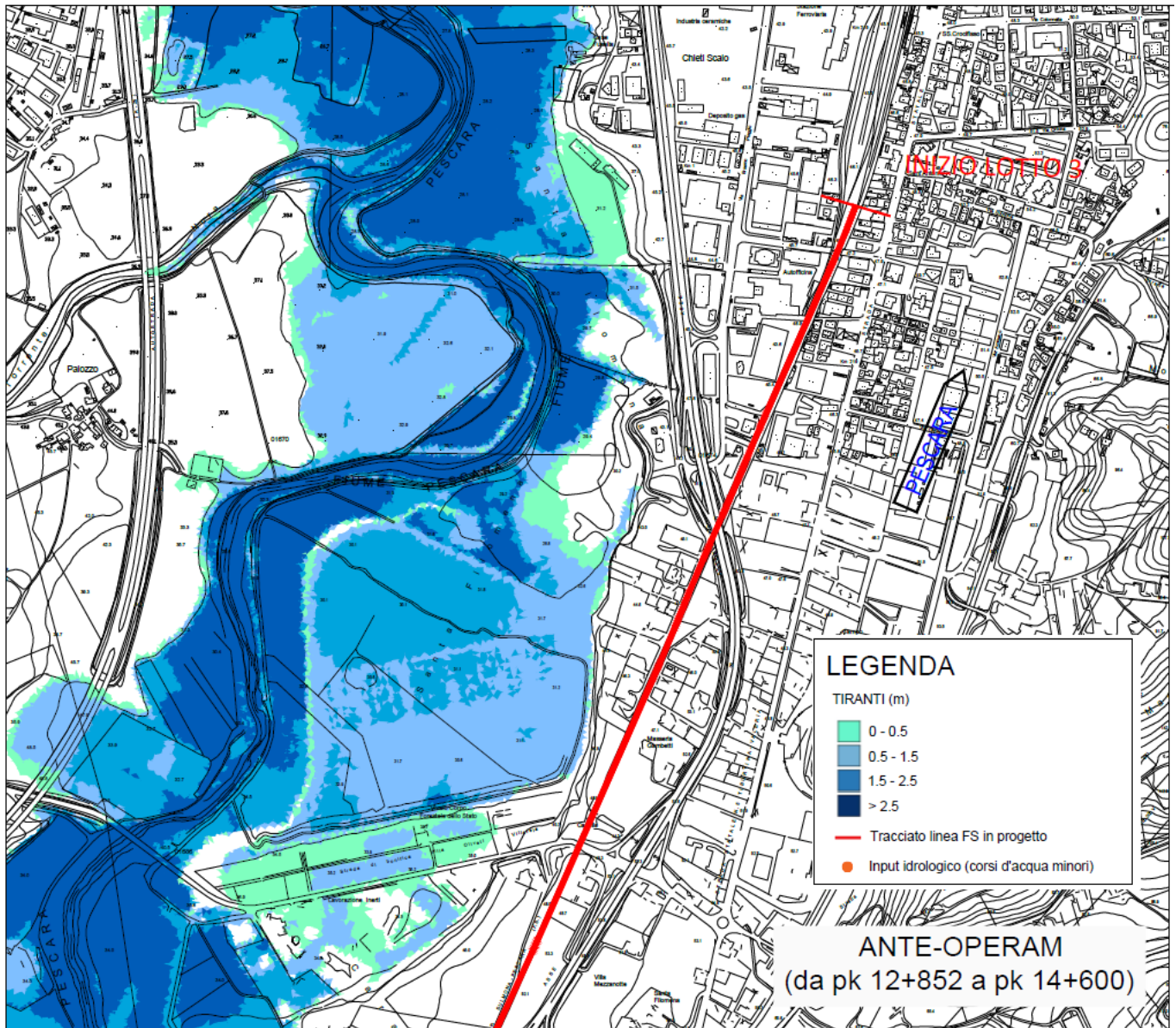


Figura 19 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 300 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 12+852 ÷ 14+600.

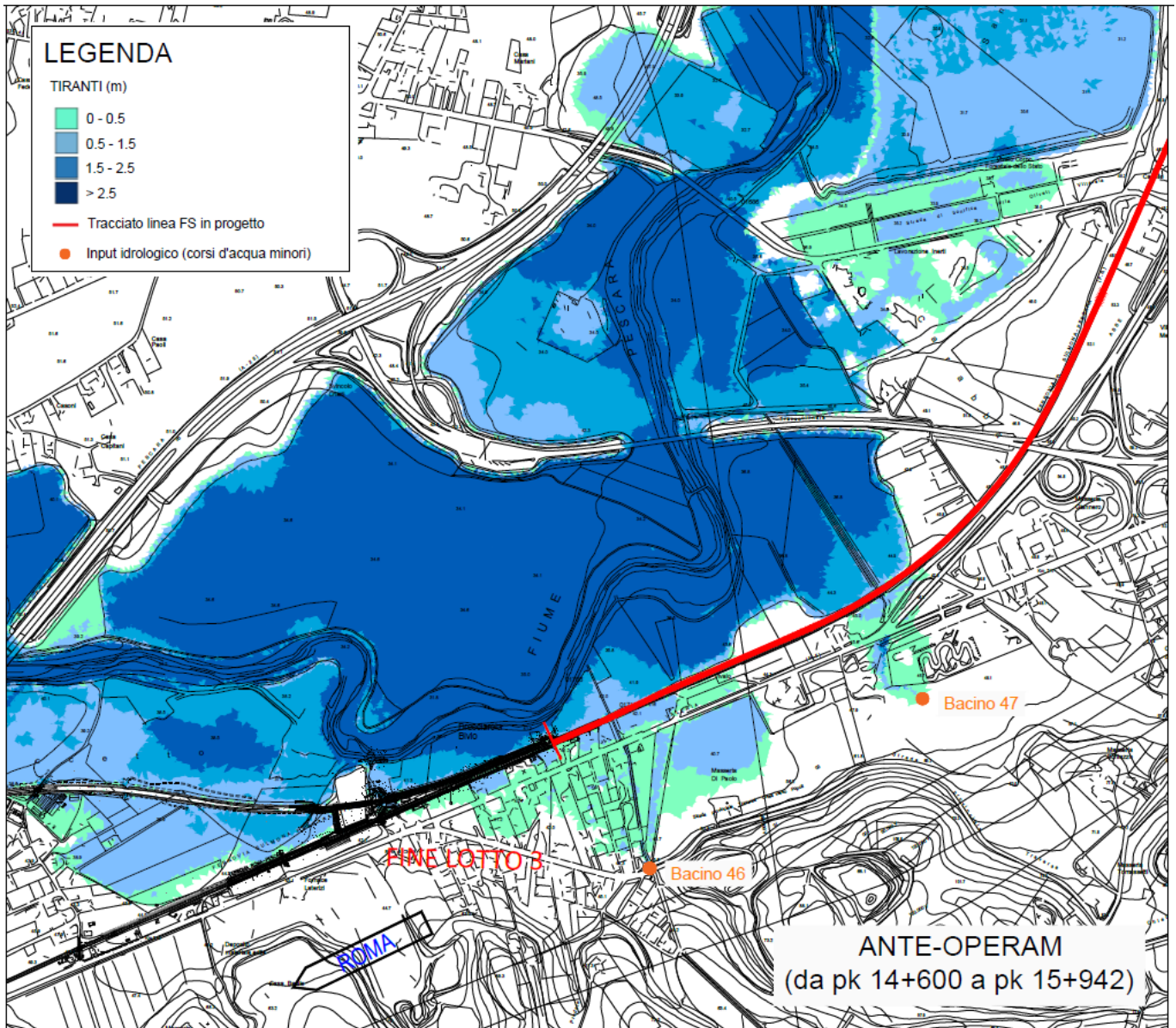


Figura 20 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 300 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario ante operam, pk 14+600 ÷ 15+942.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	36 di 55

5.2 Scenario post operam e confronto con scenario ante operam

Sulla base delle considerazioni precedenti relative alla simulazione “*ante operam*”, nello scenario “*post operam*” sono stati considerati i seguenti interventi:

- adeguamento delle opere di attraversamento secondarie esistenti
 - **IN34: tombino scatolare 3.5 x 3.5 m**
 - **IN35: 2 tombini affiancati 3 x 2.0 m (e riprofilatura/sistemazione del fondo alveo, per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici IA6F03D09PZID0002001A e specialistici di OO.CC.)**

Nelle figure seguenti si riportano le aree di allagamento nelle condizioni *post operam*, per i differenti tempi di ritorno indagati.

I livelli idrici (*Tr200*) in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto si attestano a:

- **IN34 (bacino 47)**
 Livello idrico *Tr200*: +40.30 m slm
 Quota Intradosso: +42.01 m slm
 Quota fondo alveo: +38.51 m slm
 Franco idraulico: +1.71 m (grado di riempimento = 51%)
- **IN35 (bacino 46)**
 Livello idrico *Tr200*: +38.70 m slm
 Quota Intradosso: +39.50 m slm
 Quota fondo alveo: +37.50 m slm
 Franco idraulico: +0.8 m (grado di riempimento = 60%)

Si precisa che i livelli idrici sopra indicati per l’opera IN35 si riferiscono alla simulazione 2D della piena *Tr200* del corso d’acqua minore relativo al bacino 46, “*contemporanea*” alla piena *Tr50* (e non *Tr200*, come per l’opera IN34) del Fiume Pescara. Vista la vicinanza al corso d’acqua principale, le acque esondate (*Tr200*) del Fiume Pescara defluiscono attraverso l’opera in esame (IN35), limitando il deflusso della piena *Tr200* del corso d’acqua minore. In tale situazione, l’opera in questione assolve la funzione di “*trasparenza idraulica*”, essendo i livelli idrici in corrispondenza di essa fortemente dipendenti dalle piene del Fiume Pescara.

Va precisato che lo scenario di contemporaneità delle piene (Tr_{200}) del Fiume Pescara e dei corsi d'acqua minori è molto cautelativo, vista la notevole differenza tra quest'ultimi, in termini di estensione del bacino e quindi di tempi di corrivazione. Inoltre, va ricordato che essendo un **progetto di raddoppio ferroviario di una linea esistente** esistono anche vincoli plano-altimetrici inamovibili, che non consentono quindi di modificare la quota del piano ferro. In tale tratto, sono state predisposte comunque adeguate opere di protezione (e.g. muri e/o contro l'erosione delle scarpate dei rilevati) della linea FS dalle piene (con $Tr \geq 200$ anni) del Fiume Pescara. Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati specialistici di OO.CC.. In definitiva, per le ragioni sopra esposte, il dimensionamento dell'opera IN35 (nonché l'intervento di riprofilatura dell'alveo) è stato effettuato considerando il deflusso della piena Tr_{200} del corso d'acqua minore attraversato, contemporanea alla piena Tr_{50} del Fiume Pescara.

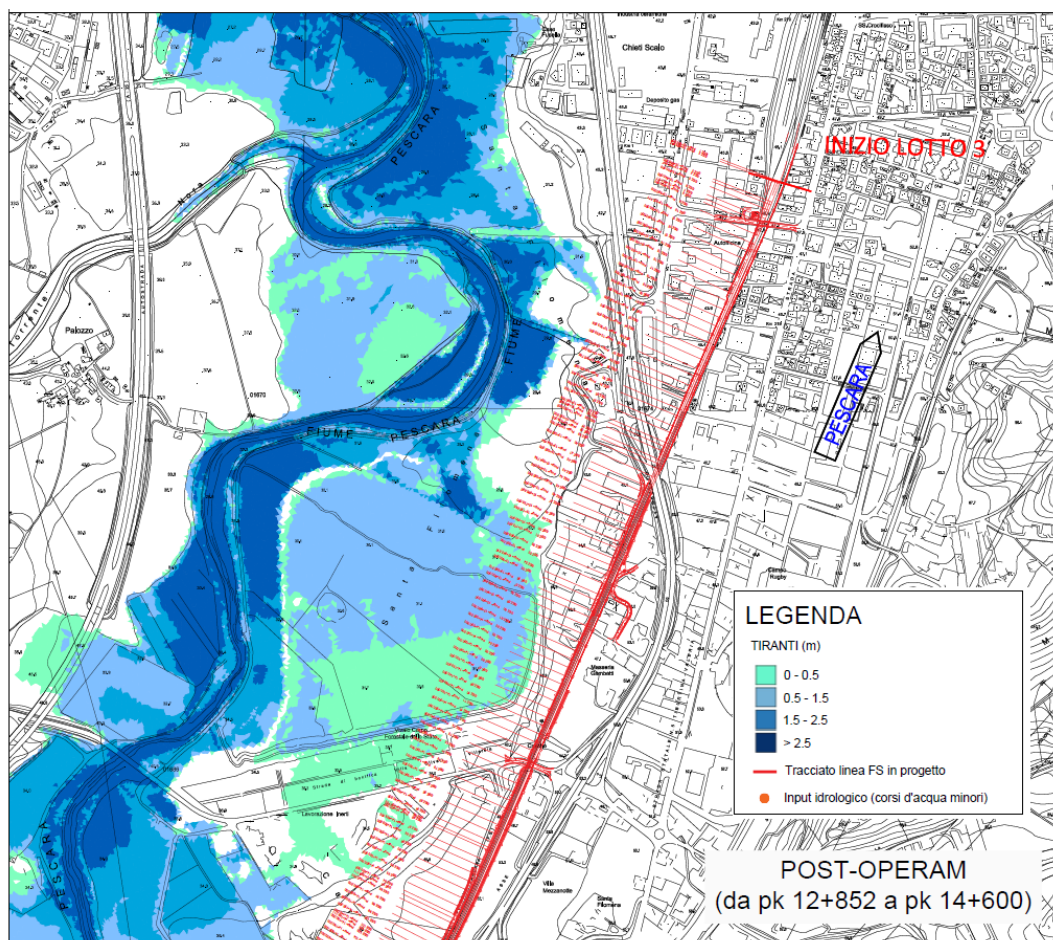


Figura 21 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr_{50} anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 12+852 ÷ 14+600.

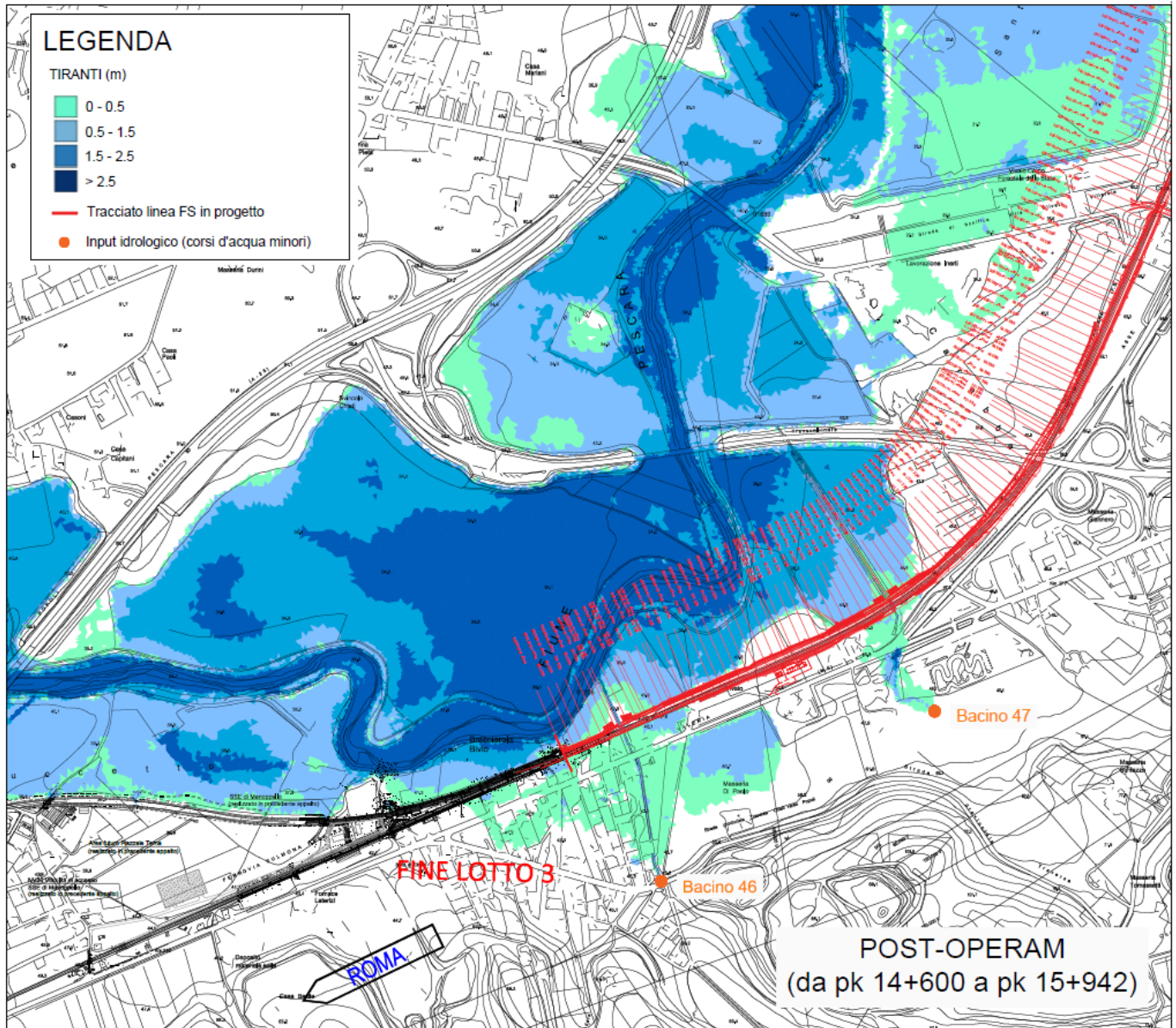


Figura 22 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 50 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 14+600 ÷ 15+942.

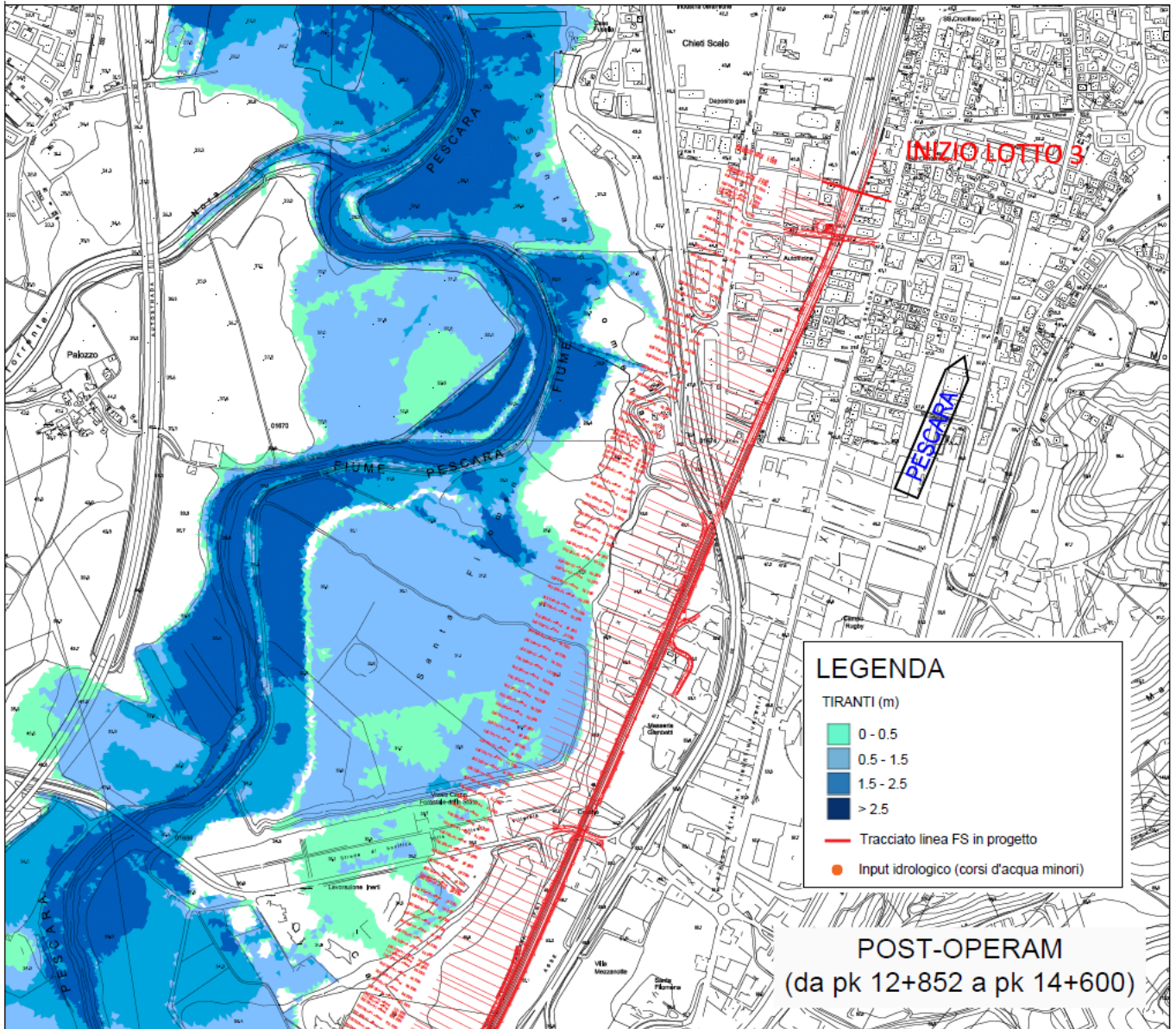


Figura 23 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 100 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 12+852 ÷ 14+600.

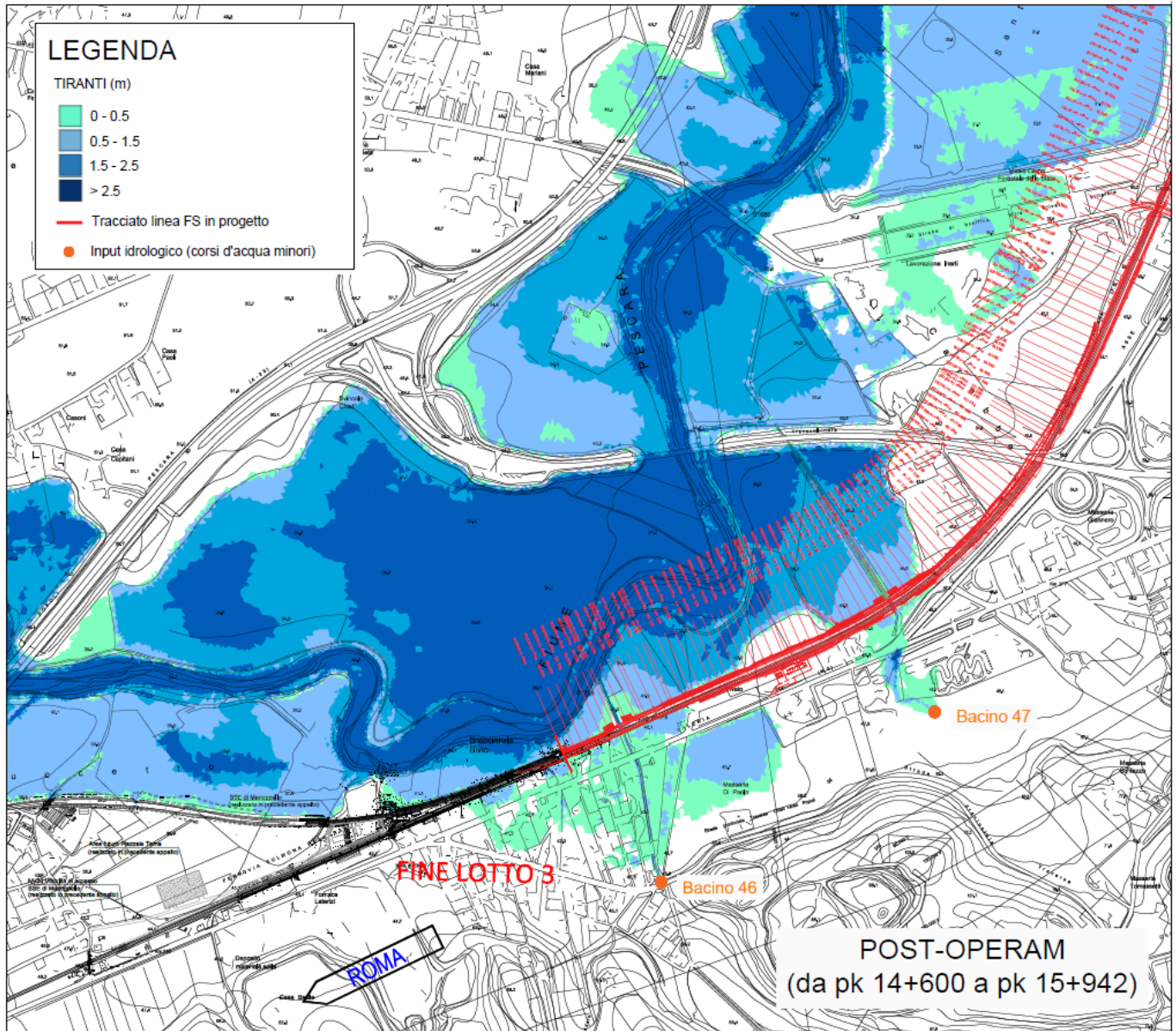


Figura 24 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 100 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 14+600 ÷ 15+942.

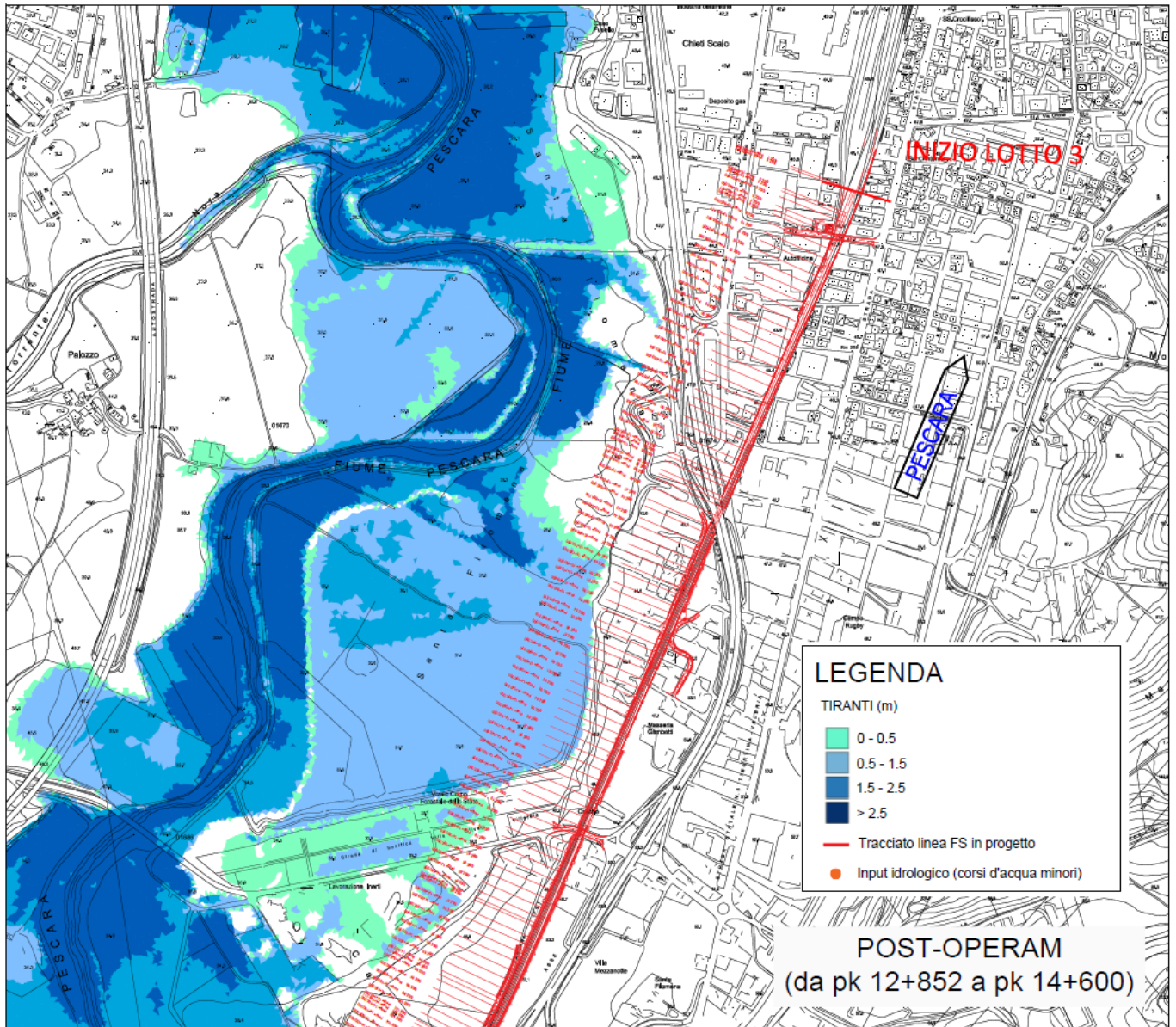


Figura 25 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 12+852 ÷ 14+600.

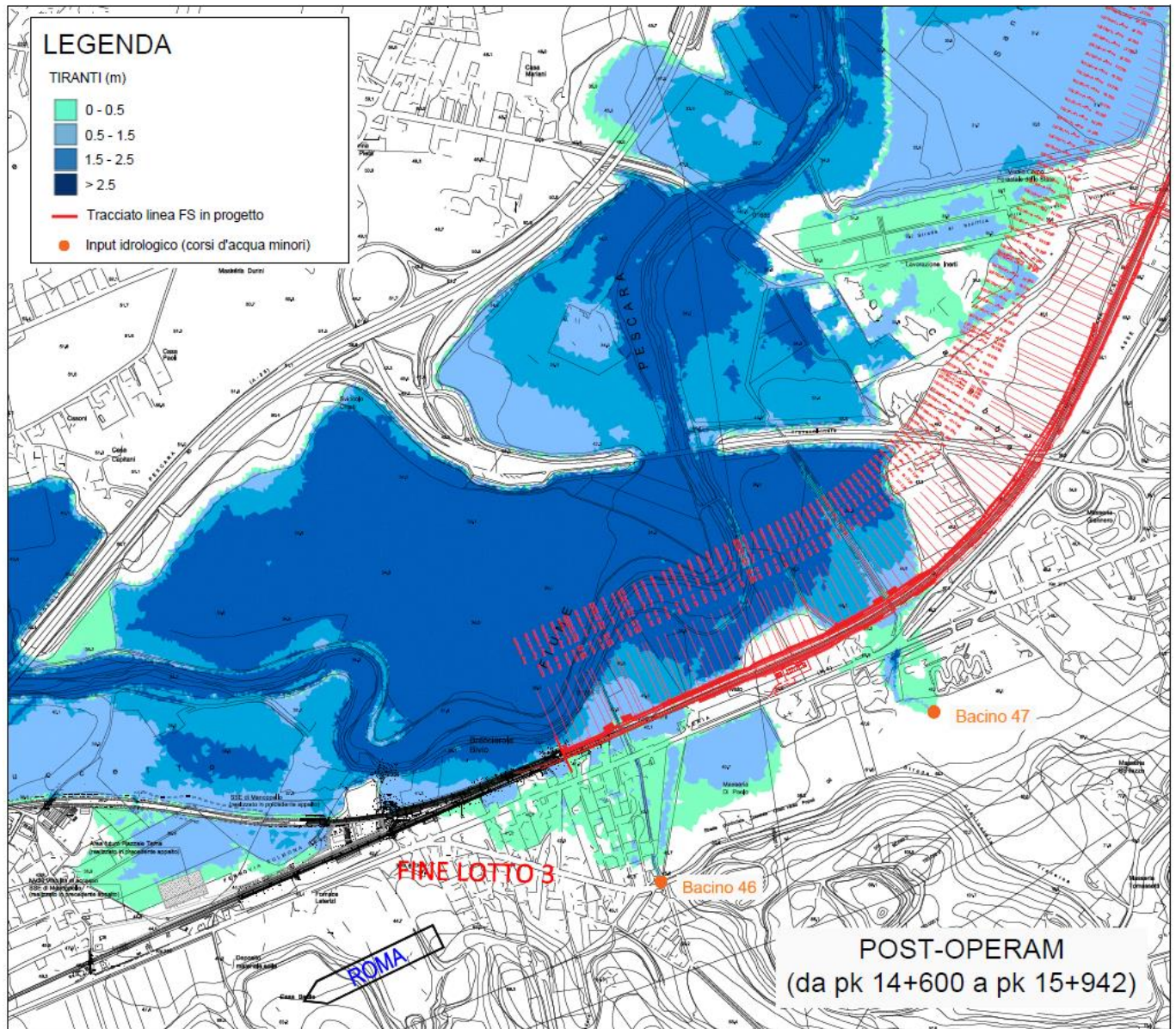


Figura 26 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 200 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 14+600 ÷ 15+942.

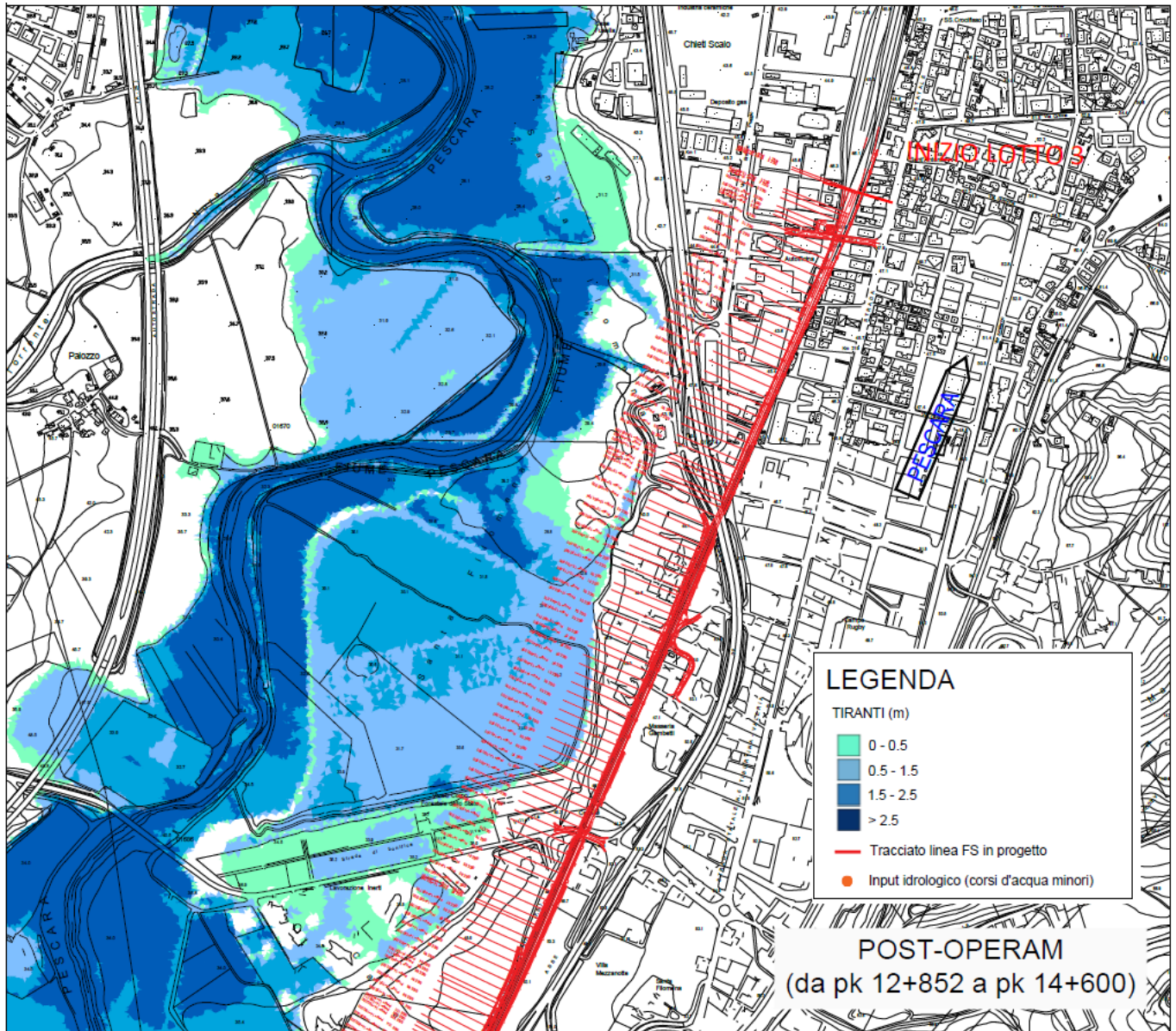


Figura 27 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 300 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 12+852 ÷ 14+600.

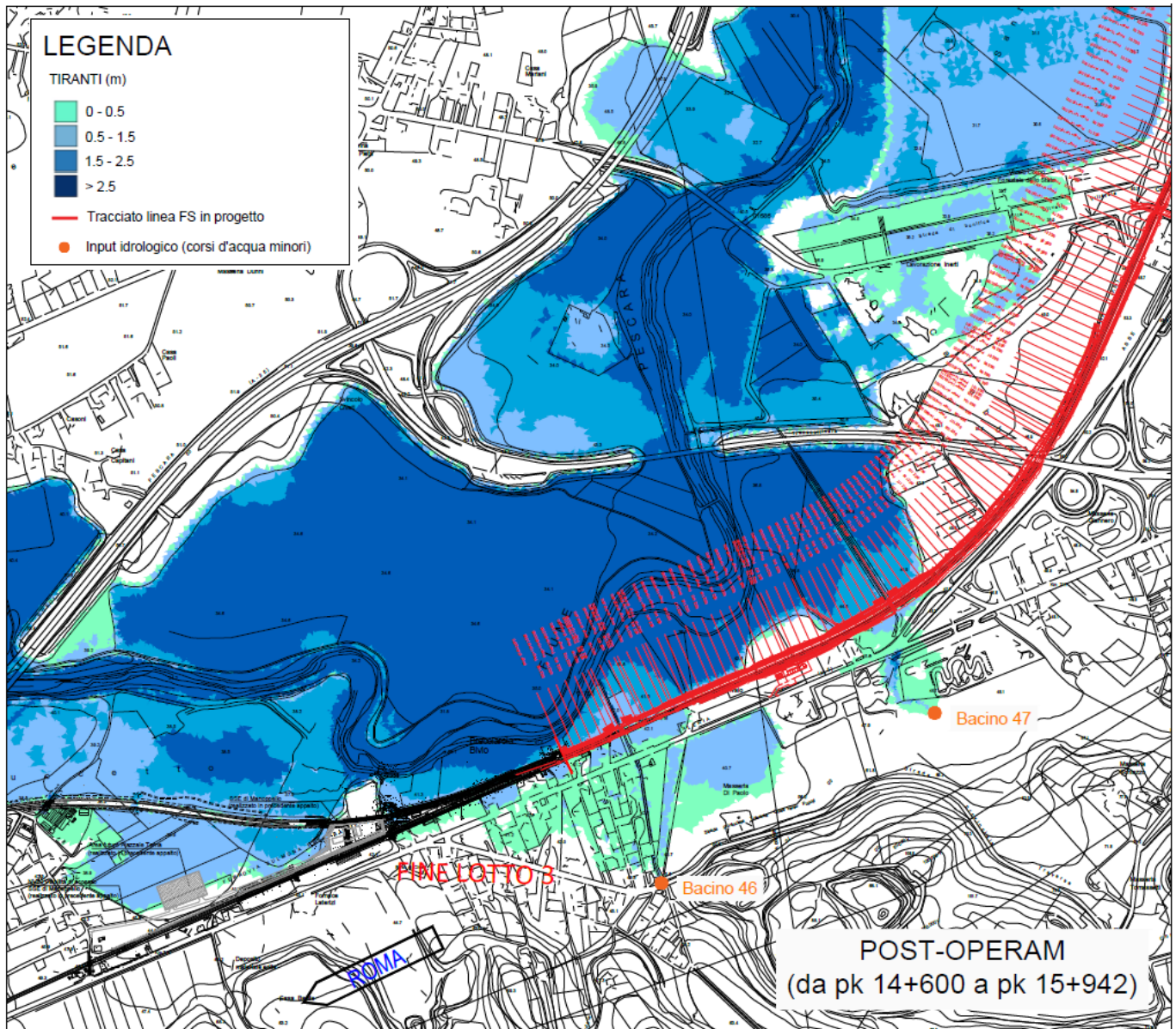


Figura 28 – Modello numerico 2D: aree di esondazione Tr 300 anni del F. Pescara e dei due corsi d'acqua minori considerati, scenario post operam, pk 14+600 ÷ 15+942.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 45 di 55

6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE MONODIMENSIONALI

Come anticipato, per le opere di attraversamento IN34 (bacino 47), IN35 (bacino 46), sono state sviluppate, per il tempo di ritorno di progetto (TR_{200}), anche le simulazioni numeriche monodimensionali, al fine di verificarne il comportamento nell'ipotesi in cui l'intera portata idrologica transiti attraverso di esse (allo stato attuale, entrambi i corsi d'acqua non consentono di convogliare la portata Tr_{200} senza esondazioni diffuse, come riscontrato dai risultati delle modellazioni 2D).

Sono state quindi considerate le configurazioni “*ante operam*” e “*post operam*”, imponendo come descritto nei capitoli precedenti una condizione al contorno di valle di tipo “*Normal Depth*”. Per lo scenario “*post operam*”, la simulazione è stata effettuata anche imponendo una condizione al contorno di valle di tipo “*Known Depth*”, ossia di livello idrico noto, assunto pari al livello idrico Tr_{200} (per il corso d'acqua relativo al bacino 47) e Tr_{50} (per il corso d'acqua relativo al bacino 46, per le considerazioni esposte nel capitolo precedente) del Fiume Pescara in corrispondenza dell'ultima sezione del tratto modellato (alla confluenza o interessata dall'esondazione del F. Pescara), dedotto dalle modellazioni idrauliche 2D. Nelle tabelle seguenti, il riepilogo dei risultati ottenuti.

Opera	Quota intradosso (esistente) [m slm]	Livello idrico TR_{200} (ante operam) [m slm]	Franco idraulico (m)
IN34	41.00	40.20	0.80
IN35	39.90	41.20	-

Tabella 3. Corsi d'acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario ante operam, TR_{200} .

Opera	Quota intradosso (progetto) [m slm]	Livello idrico TR_{200} (post operam) [m slm] (condizione di valle “ <i>Normal Depth</i> ”)	Franco idraulico (m)
IN34	42.01	40.15	1.86
IN35	39.50	39.25	0.25

Tabella 4. Corsi d'acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario post operam (condizione di valle “*Normal Depth*”), TR_{200} .

In tal caso, la variazione della condizione al contorno di valle non influenza in modo sostanziale i livelli idrici in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto. Per l'opera IN35, nello scenario analizzato (i.e. per l'intera portata idrologica), il franco idraulico risulta abbastanza modesto (< 0.5 m), ma il funzionamento continua ad essere a pelo libero.

Quindi, il tombino in progetto (IN35) allo stato attuale risulta verificato secondo le prescrizioni della normativa e dei regolamenti vigenti, come dimostrato nelle precedenti analisi bidimensionali, prese come riferimento per il dimensionamento delle opere di attraversamento, e non preclude la possibilità di intervenire in futuro sul territorio al fine di ridurre il livello di pericolosità idraulica nelle aree limitrofe, essendo comunque in grado (anche se con un modesto franco idraulico) di convogliare l'intera portata idrologica.

Opera	Quota intradosso (progetto) [m slm]	Livello idrico TR200 (post operam) [m slm] (condizione di valle "Normal Depth")	Franco idraulico (m)
IN34	42.01	40.15	1.86
IN35	39.50	39.30	0.20

Tabella 5. Corsi d'acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario post operam (condizione di valle "Known Depth"), TR200.

Si riportano per completezza le sezioni estratte dal software Hec Ras, in corrispondenza delle opere di attraversamento analizzate, con indicati i livelli idrici TR200, nelle configurazioni ante operam e post operam (con condizione di valle "Known Depth").

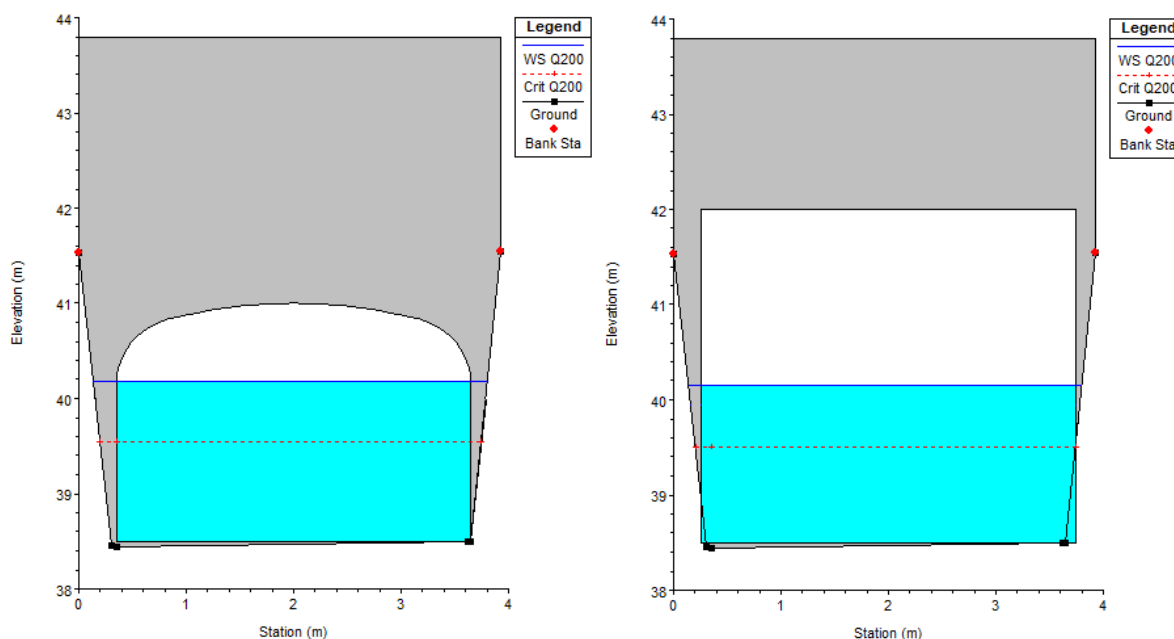


Figura 29 – Modello numerico 1D: livelli idrici Tr200 in corrispondenza dell'opera IN34, nelle configurazioni ante operam (a sinistra) e post operam (a destra).

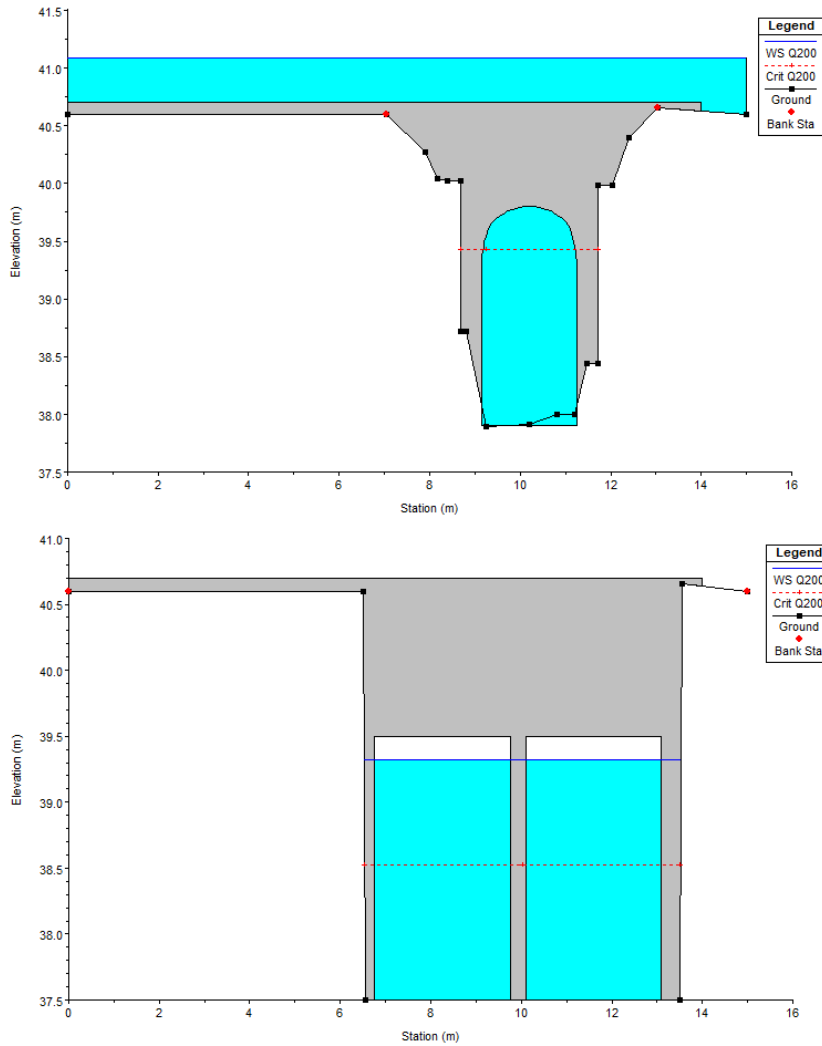


Figura 30 – Modello numerico 1D: livelli idrici Tr200 in corrispondenza dell'opera IN35, nelle configurazioni ante operam (in alto) e post operam (in basso).

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

7 ANALISI MULTITEMPORALE DELLE CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL FIUME PESCARA

Vista la vicinanza del Fiume Pescara alla linea FS in progetto, nella parte finale del tratto sede di intervento di raddoppio, si è proceduto all'analisi delle eventuali variazioni morfologiche e planimetriche dell'alveo fluviale.

Nello specifico, sono state condotte una serie di analisi multitemporali su foto aeree e ortofoto, di sette differenti voli. Le foto spaziano dal 1954 al 2007 e sono sintetizzate nella tabella seguente.

Sulle foto aeree dei diversi voli regionali e nazionali analizzati sono stati individuati tutti i principali elementi geomorfologici, con particolare riferimento alle forme connesse al deflusso delle acque correnti superficiali, alla gravità e all'azione dell'uomo sul territorio.

Volo	Scala	Strisciata	Fotogrammi
Volo Base 1954 (I.G.M.)	1:33.000	65	2707-2708-2709
Volo 1976 (I.G.M.)	1:16.000	31	8297-8298
Volo A.I.M.A 1997 (ortofoto)	1:10.000		
Volo Regione Abruzzo 2007 (ortofoto)	1:5.000		361022-361061-361062-361063-361064

Tabella 6. Sintesi delle foto aeree e delle ortofoto utilizzate per l'analisi multitemporale.

Di seguito alcuni stralci di foto aeree e ortofoto, con evidenziati alcuni dettagli.



Figura 31 – Foto aerea 1954, in tratteggio rosso la linea ferroviaria in progetto.

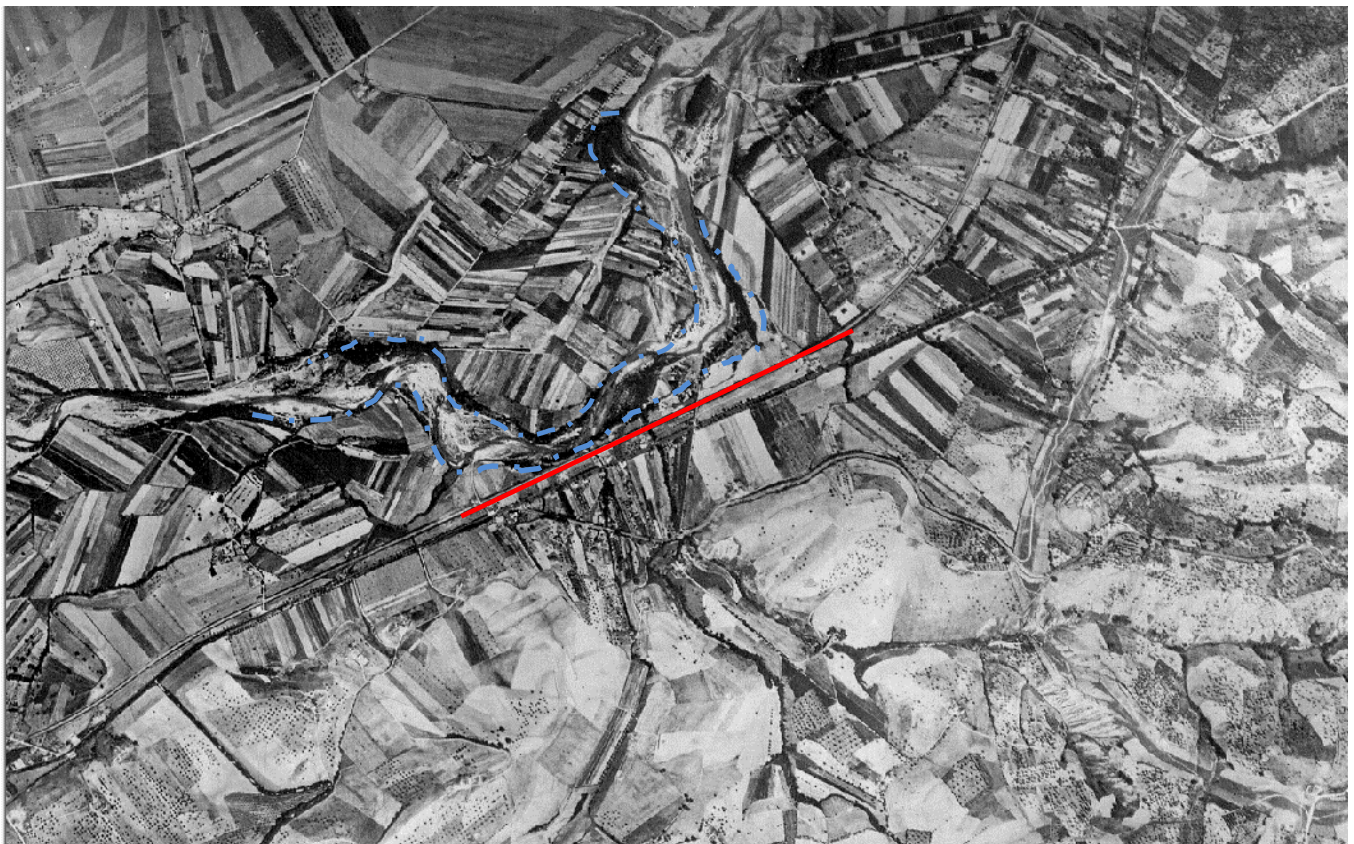


Figura 32 – Stralcio di foto aerea 1954 (stralcio foto aerea 2707), della foto si osserva il F. Pescara con un ampio alveo di tipo intrecciato (braided) a barre mobili ben sviluppate (i limiti sono riportati in blu). In rosso la linea ferroviaria.



Figura 33 – Stralci del Volo IGM 76 (in alto) e AIMA 1997 (in basso): nello stralcio di foto aerea si osserva un alveo con andamento sinuoso e ampiezza decisamente più limitata (alcune decine di metri al massimo) e soprattutto con scarso trasporto di sedimenti ghiaiosi.



Figura 34 – Stralcio Ortofoto 2007.

Dal punto di vista della dinamica morfologica, da quanto esposto risulta evidente che i settori di piana alluvionale del Fiume Pescara 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 dalla metà del secolo scorso.

Nello stralcio di Foto aerea (Volo Base 1954) si osserva il F. Pescara con un ampio alveo di tipo intrecciato (*braided*) a barre mobili ben sviluppate. Negli anni, 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.


Questa evoluzione si può notare nelle foto degli anni 70 e 90, dove l'alveo si presenta con andamento sinuoso e ampiezza decisamente più limitata (alcune decine di metri al massimo) e soprattutto con scarso trasporto di sedimenti ghiaiosi.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	53 di 55

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.

Inoltre, dall'osservazione delle foto aeree, si può notare che l'area sia stata fortemente antropizzata dal 1954 ad oggi, soprattutto nella zona di Chieti Scalo. Nella foto del 1954 si possono osservare solo il centro abitato di Chieti Scalo, in un perimetro molto ristretto e vie di comunicazioni principali, soprattutto quella di collegamento tra Pescara e Roma (ferrovia e S.S. n°5). Analizzando le foto aeree del 1976 fino al 2007, si ha un aumento evidente del perimetro dell'edificato in prossimità di Chieti Scalo.

Per maggiori dettagli circa l'inquadramento geomorfologico e idrogeologico dell'area di intervento, si rimanda all'elaborato specialistico IA6F03D69RGGE0001001A.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI – INTERPORTO D’ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	54 di 55

8 VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

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).

Le analisi svolte hanno consentito l’individuazione di alcune criticità di natura idraulica. Per la loro risoluzione, sono previsti alcuni interventi di adeguamento delle opere esistenti, la cui efficacia è dimostrata dai risultati ottenuti nelle simulazioni idrauliche “post operam”, secondo modelli sia bidimensionali che monodimensionali, con riferimento alla piena di progetto (*Tr 200*). Il franco idraulico tra livelli idrici e quote di intradosso è superiore al minimo previsto dalla circolare esplicativa delle NTC2018 nonché dal Manuale di Progettazione RFI, relativamente alle opere di attraversamento secondarie ($S < 10 \text{ km}^2$).

Le opere in progetto “*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*” (PSDA, Regione Abruzzo), come dimostrato dai risultati delle simulazioni numeriche 1D e 2D.

Infine, con riferimento ai corsi d’acqua minori tributari del F. Pescara, al fine di mantenere la configurazione dell’alveo il più possibile inalterata tra *ante e post operam*, sono previste anche adeguate protezioni idrauliche in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto. Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati specialistici di OO.CC..

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6F	03 D 09	RI	ID0002 001	A	55 di 55

9 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.