

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA

RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI

RELAZIONE IDRAULICA

MODELLO BIDIMENSIONALE DEL FIUME PESCARA E CORSI D'ACQUA MINORI

SCALA:

-

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

IA4S 00 D 09 RI ID0002 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut.izzato	Data
A	CONSEGNA CARATTERIZZANTI	C. Cesali	Dicembre 2018	F. Cabas	Dicembre 2018	T. Paoletti	Dicembre 2018		
B	EMISSIONE ESECUTIVA	C. Cesali	Luglio 2019	F. Cabas	Luglio 2019	T. Paoletti	Luglio 2019		

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

## INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO .....	6
2.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL'AREA DI STUDIO.....	6
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO.....	8
3	DATI DI BASE .....	11
3.1	RILIEVI TOPOGRAFICI E OPERE ESISTENTI .....	11
3.2	OPERE DI ATTRAVERSAMENTO SECONDARIE ESISTENTI SUI CORSI D'ACQUA MINORI .....	11
4	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO .....	14
4.1	MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE .....	14
	4.1.1 Geometria del modello .....	16
	4.1.2 Scabrezze .....	19
	4.1.3 Condizioni al contorno .....	19
	4.1.4 Scenari simulati .....	23
4.2	MODELLAZIONE MONODIMENSIONALE .....	23
	4.2.1 Caratteristiche del modello .....	27
5	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE BIDIMENSIONALI .....	28
5.1	SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON IL PSDA .....	28
5.2	SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM .....	36
6	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE MONODIMENSIONALI .....	44
7	VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	47
8	BIBLIOGRAFIA.....	48

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA</b> <b>RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA <b>IA4S</b>	LOTTO <b>00 D 09</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0002 001</b>	REV. <b>B</b>

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Inquadramento geografico della zona in esame con evidenziata la linea ferroviaria in affiancamento al F. Pescara.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2 – Fiume Aterno-Pescara e linea ferroviaria in progetto: aree a pericolosità idraulica (PSDA). ....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3 – Bacino 26: prospetto dell’ opera di attraversamento esistente.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4 – Bacino 28: prospetto dell’ opera di attraversamento esistente.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5 – Bacino 30: prospetto dell’ opera di attraversamento esistente.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 – Bacino 32: prospetto dell’ opera di attraversamento esistente.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 7 – Estensione del tratto di studio del Fiume Aterno-Pescara, nel modello idraulico 2D.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 8 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM. ....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 9 – Idrogrammi di piena del F. Pescara, alla sezione di interesse (alla foce), per diversi tempi di ritorno. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10 – Bacino 26: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 11 – Bacino 28: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12 – Bacino 29: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 13 – Bacino 30: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 14 – Bacino 32: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 15 – Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d’acqua.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 16 - Sezione schematica di un corso d'acqua.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 17 – 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>28</i>
<i>Figura 18 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni) del F. Pescara; confronto con le aree di pericolosità idraulica P1 del PSDA (zona Pescara). ....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 19 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 50 anni), scenario ante operam.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 20 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 100 anni), scenario ante operam.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 21 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni), scenario ante operam.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 22 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 300 anni), scenario ante operam.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 23 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 50 anni), scenario post operam.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 24 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 100 anni), scenario post operam.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 25 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni), scenario post operam.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 26 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 300 anni), scenario post operam.....</i>	<i>41</i>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA</b> <b>RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA <b>IA4S</b>	LOTTO <b>00 D 09</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0002 001</b>	REV. <b>B</b>

<i>Figura 27 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 300 anni) del Fiume Pescara ante operam (a sinistra) e post operam (a destra), in corrispondenza della sottostazione elettrica esistente (a Pescara).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 28 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 300 anni) del Fiume Pescara ante operam (a sinistra) e post operam (a destra), in corrispondenza della sottostazione elettrica di Manoppello in progetto. ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 29 – Modello idraulico 1D: livelli idrici in corrispondenza dell’opera IN09, nelle configurazioni ante operam (in alto) e post operam (in basso).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 30 – Modello idraulico 1D: livelli idrici in corrispondenza dell’opera IN10, nelle configurazioni ante operam (a sinistra) e post operam (a destra). ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 31 – Modello idraulico 1D: livelli idrici in corrispondenza dell’opera IN12, nelle configurazioni ante operam (a sinistra) e post operam (a destra). ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 32 – Modello idraulico 1D: livelli idrici in corrispondenza dell’opera VI07, nelle configurazioni ante operam (a sinistra) e post operam (a destra). ....</i>	<i>46</i>

## **INDICE DELLE TABELLE**

<i>Tabella 1. Classi di pericolosità idraulica adottate nel PSDA.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabella 2. Corsi d’acqua minori: portate al colmo di progetto (TR200).....</i>	<i>27</i>
<i>Tabella 3. Corsi d’acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario ante operam, TR200. ....</i>	<i>44</i>
<i>Tabella 4. Corsi d’acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario post operam (condizione di valle “Normal Depth”), TR200. ....</i>	<i>44</i>
<i>Tabella 5. Corsi d’acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario post operam (condizione di valle “Known Depth”), TR200. ....</i>	<i>45</i>



## 1 PREMESSA

La presente relazione idraulica è parte integrante del Progetto Definitivo del **raddoppio ferroviario** della tratta Pescara “Porta Nuova” – Chieti, nell’ambito della velocizzazione della *linea 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).

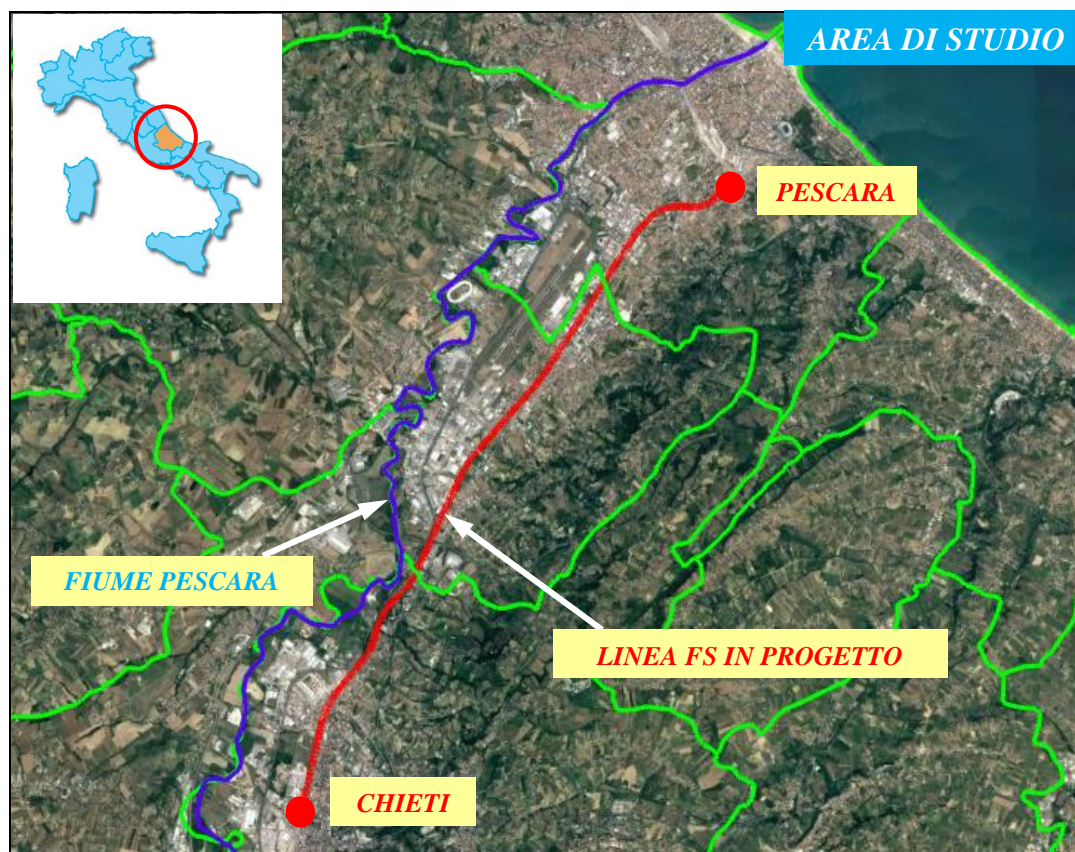


Figura 1 - Inquadramento geografico della zona in esame con evidenziata la linea ferroviaria in affiancamento al F. Pescara.

Il Pescara (detto anche Aterno-Pescara) è il fiume più lungo d'Abruzzo e il maggiore per estensione di bacino (circa 3170 km<sup>2</sup>) 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.

	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B	FOGLIO 7 di 48

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 IA4S00D09RIID0001001A – *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 riepilogative delle classi di pericolosità adottate.

Nel tratto in esame, la linea ferroviaria in progetto è interessata parzialmente dalle aree di esondazione ( $Tr = 200$  anni) del F. Pescara, soltanto nel tratto iniziale (Pescara). In prossimità di Chieti, nel tratto in variante rispetto alla linea storica, il nuovo tracciato sembra essere “protetto” dalla presenza dell'Asse Industriale Attrezzato che si sviluppa in affiancamento alla linea ferroviaria, dalla parte del F. Pescara.

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

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 (Tratta Pescara – Chieti).

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento, esistenti o di progetto, devono osservare le prescrizioni del Manuale di progettazione RFI, nonché delle NTC2018 (e della relativa circolare esplicativa n.7/2019).

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  $S \geq 10$  km<sup>2</sup> (i.e. Fiume Pescara);
- $Tr = 200$  anni per  $S < 10$  km<sup>2</sup> (i.e. corsi d'acqua minori)

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

Come anticipato, non sono previsti attraversamenti sul Fiume 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.



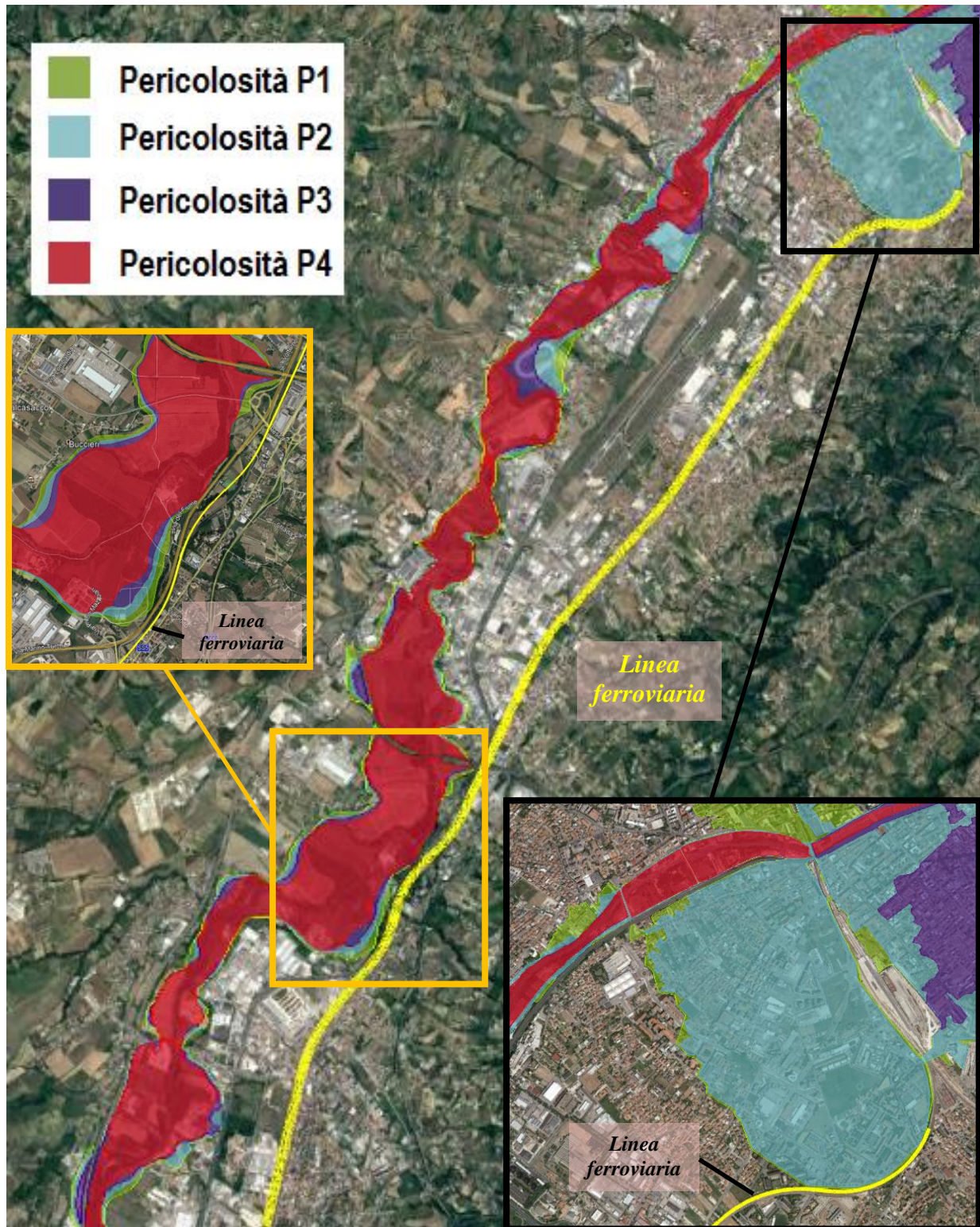


Figura 2 – Fiume Aterno-Pescara e linea ferroviaria in progetto: aree a pericolosità idraulica (PSDA).

	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B	FOGLIO 10 di 48

Per gli attraversamenti secondari, relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, devono 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:

*“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 m<sup>3</sup>/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 (IA4S00D09RIID0001001B), 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 m<sup>3</sup>/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 cinque 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 cinque corsi d’acqua minori. Le relative verifiche idrauliche sono state dunque effettuate con riferimento ai risultati ottenuti secondo le differenti tipologie di modellazione (monodimensionale e bidimensionale) sviluppate.

	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA4S	00 D 09	RI	ID0002 001	B	11 di 48

### 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 secondarie esistenti sui corsi d'acqua minori

Come anticipato nell'elaborato annesso IA4S00D09RIID0001001B – *Relazione Idrologica: studio idrologico del Bacino del Fiume Pescara*, nel modello idraulico 2D del F. Pescara sono stati inseriti anche i contributi idrologici di 5 corsi d'acqua minori (relativi ai bacini 26, 28, 29, 30, 32), compresi nel tratto di minore distanza, in corrispondenza della variante in viadotto, 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 secondarie, così come rilevate nella campagna topografica effettuata, sui cinque corsi d'acqua sopra indicati.

In corrispondenza del corso d'acqua relativo al bacino 29, verrà realizzato il tratto in variante (in viadotto) rispetto alla linea esistente/storica.







 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA</b> <b>RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B

#### 4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

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*).

	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B	FOGLIO 16 di 48

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.

#### **4.1.1 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 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 km<sup>2</sup> circa).

	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA4S	00 D 09	RI	ID0002 001	B	17 di 48

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 m<sup>2</sup> e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 25 m<sup>2</sup>. Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione massima degli elementi è pari a 25 m<sup>2</sup> e una dimensione minima di 10 m<sup>2</sup> (Figura 8).

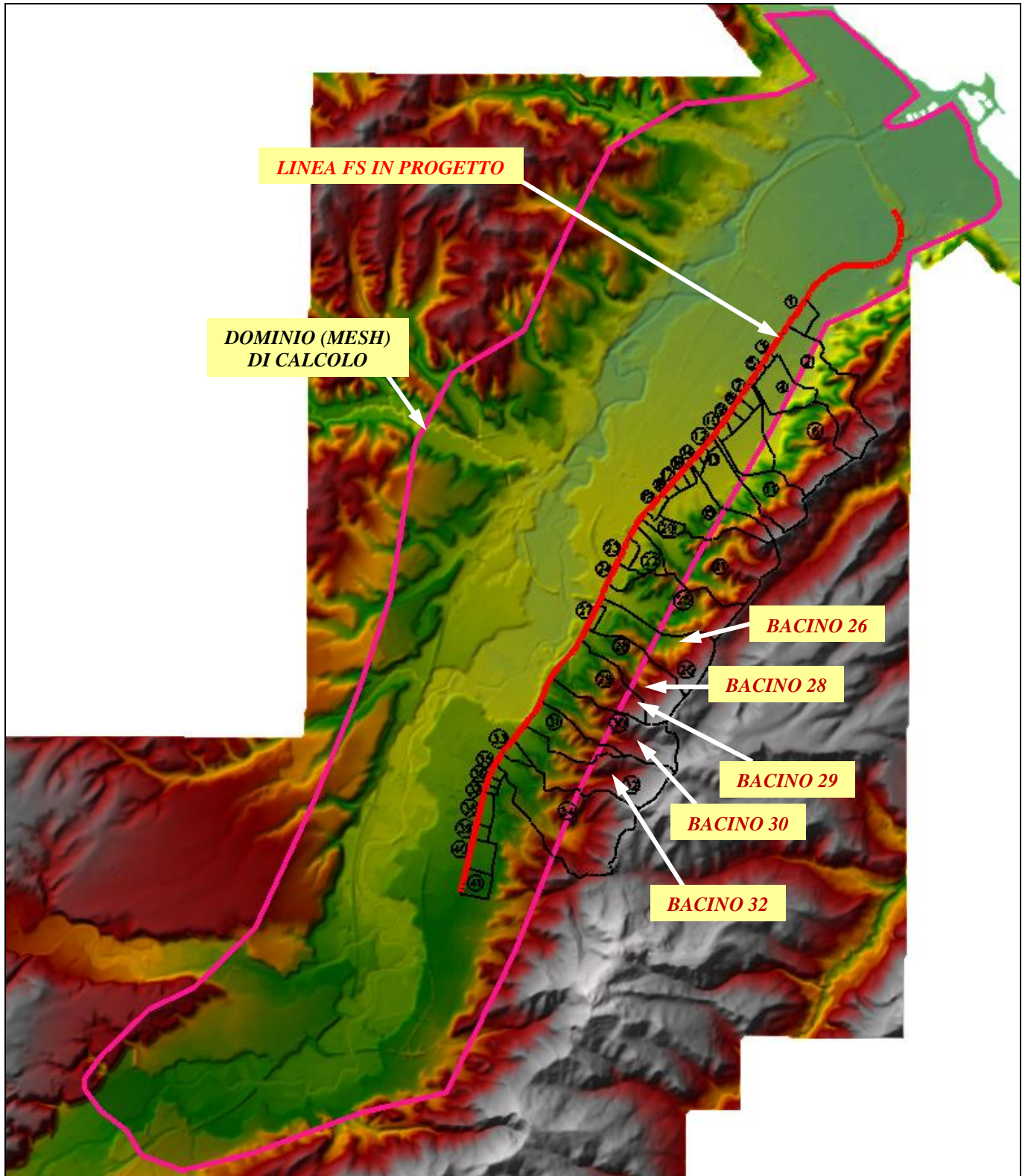


Figura 7 – Estensione del tratto di studio del Fiume Aterno-Pescara, nel modello idraulico 2D.

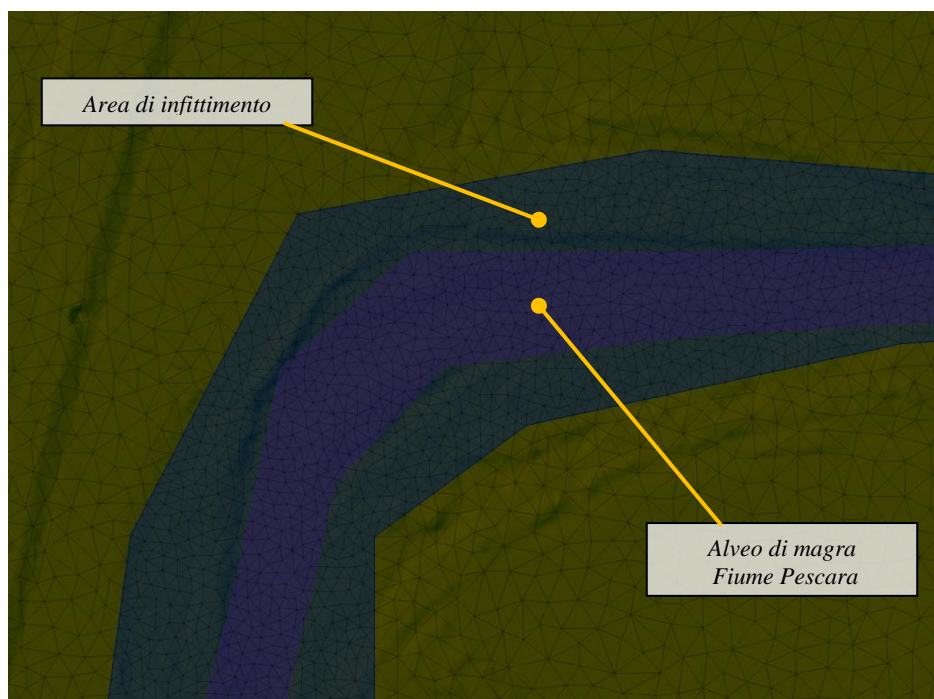


Figura 8 – Estratto della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.

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

#### 4.1.3 Condizioni al contorno

Gli idrogrammi di riferimento sono quelli ricavati nello studio idrologico, elaborato IA4S00D09RIID0001001B – *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 idrauliche svolte nell'ambito del PSDA.



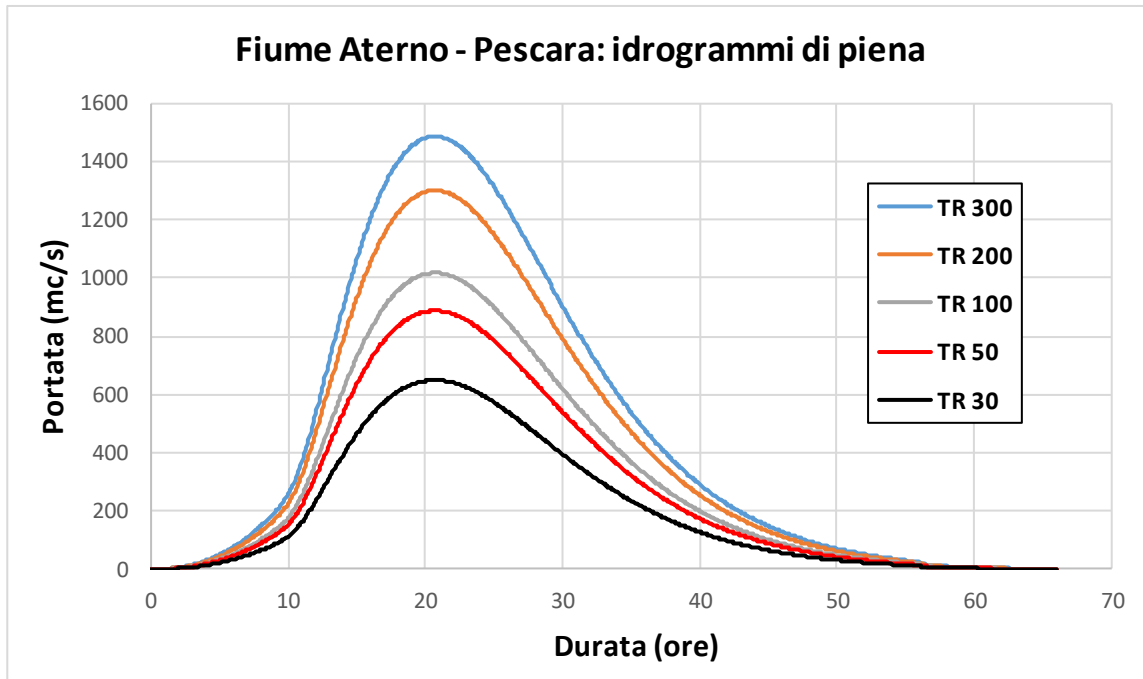


Figura 9 – Idrogrammi di piena del F. Pescara, alla sezione di interesse (alla foce), per diversi tempi di ritorno.

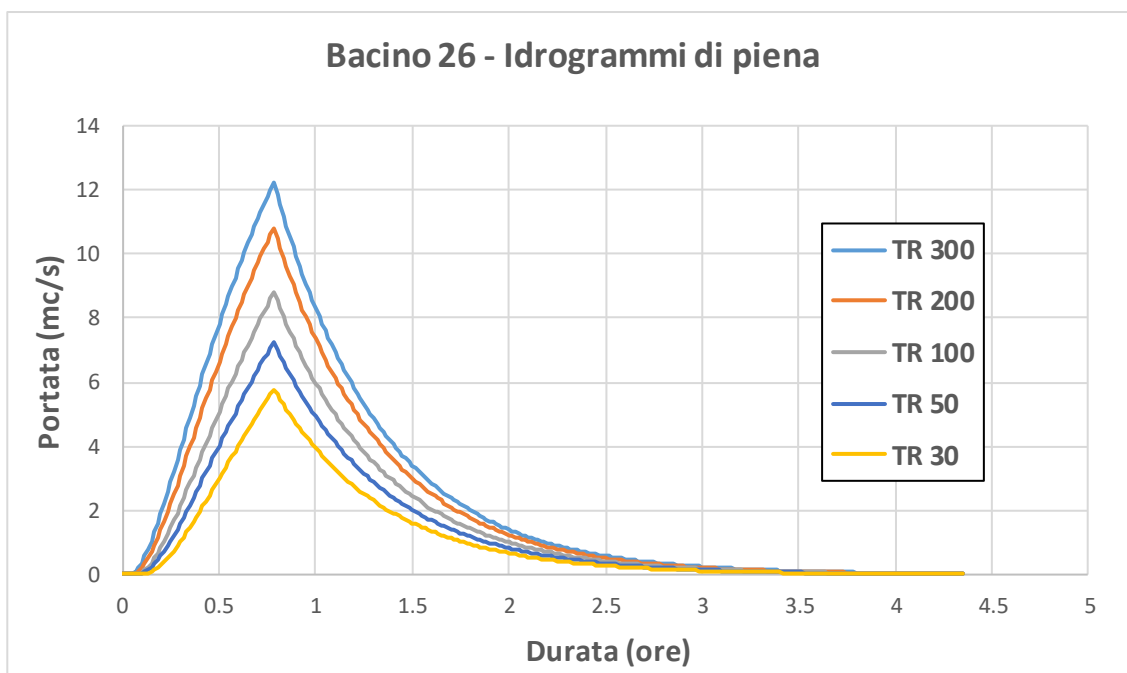


Figura 10 – Bacino 26: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.



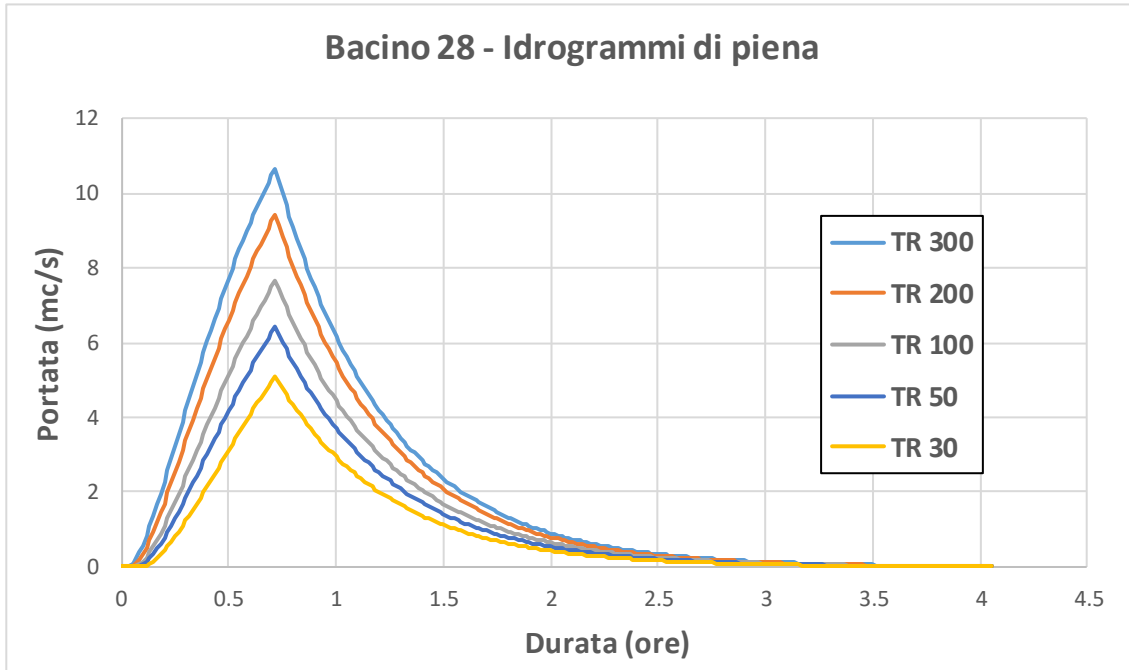


Figura 11 – Bacino 28: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.

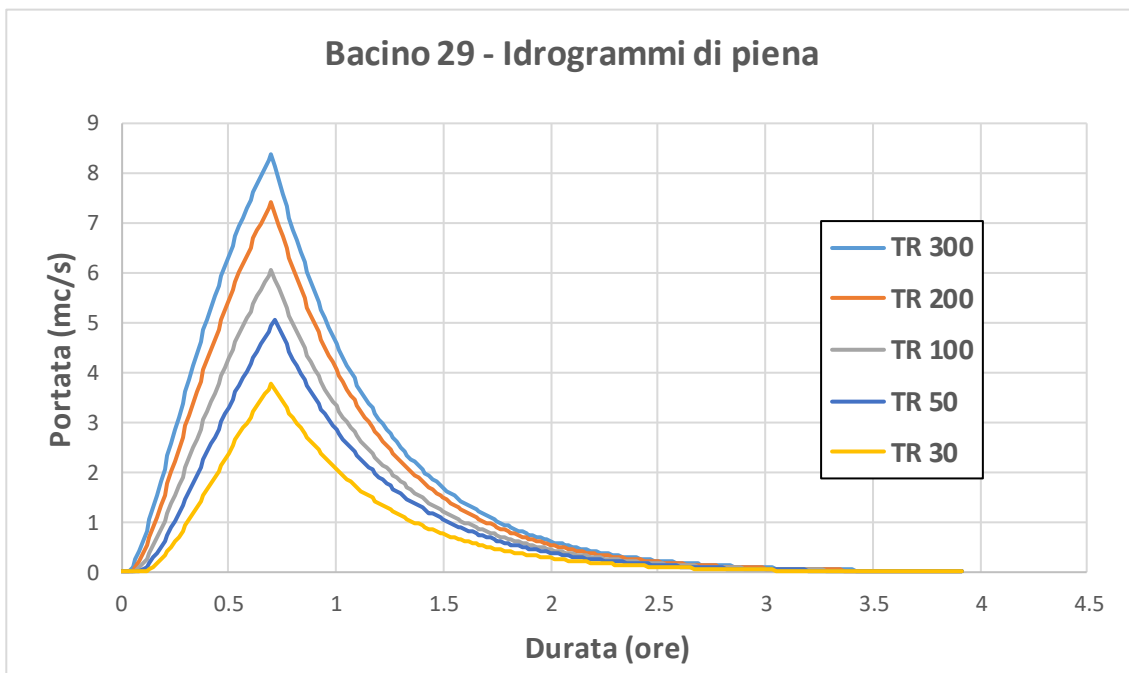


Figura 12 – Bacino 29: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.

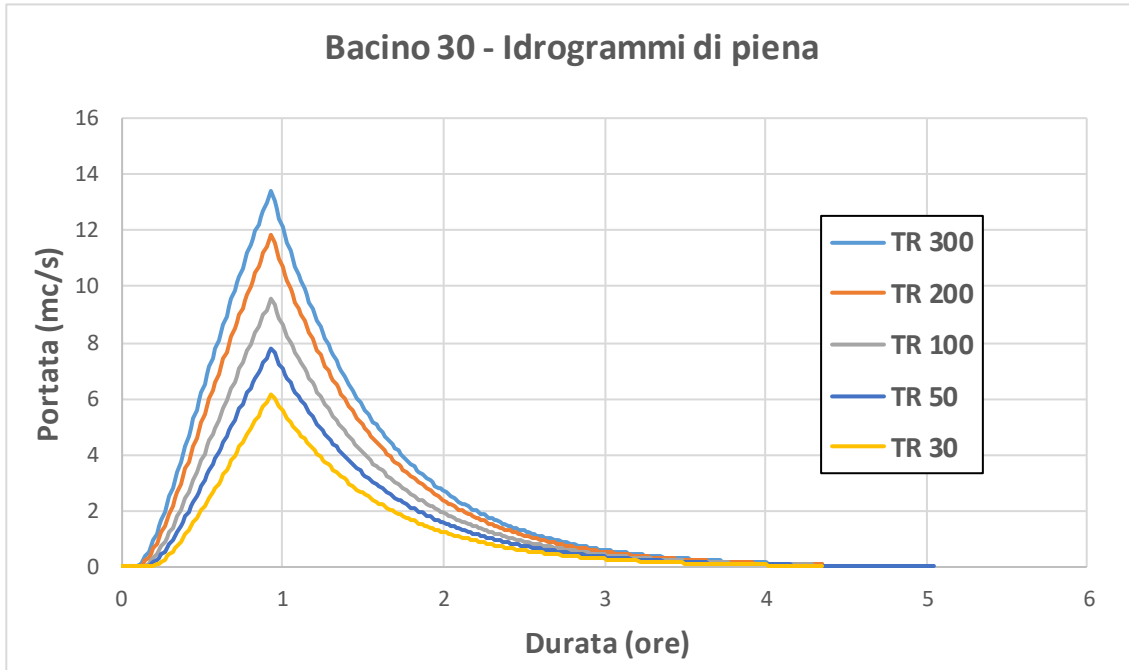


Figura 13 – Bacino 30: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.

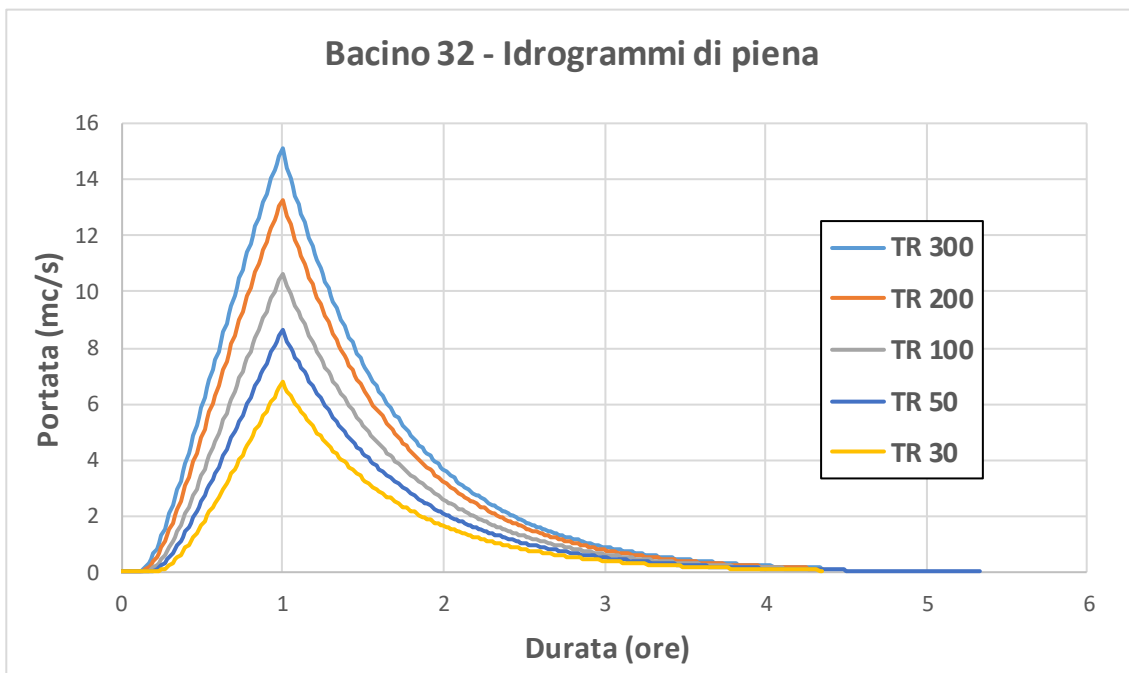


Figura 14 – Bacino 32: idrogrammi di piena, per diversi tempi di ritorno.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA</b> <b>RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA <b>IA4S</b>	LOTTO <b>00 D 09</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0002 001</b>	REV. <b>B</b>

#### 4.1.4 Scenari simulati

Al fine di verificare le opere di attraversamento secondarie in corrispondenza dei cinque corsi d'acqua minori considerati (come da NTC2018 e relativa circolare esplicativa n.7/2019, nonché da Manuale di Progettazione Ferroviario RFI) e di confrontare i risultati ottenuti (in termini di aree potenzialmente inondabili) con le aree di pericolosità idraulica (e.g. P1, TR 200) definite nell'ambito del PSDA, sono stati simulati i seguenti scenari riferiti alle configurazioni geometriche:

- *ante operam* – *Tr 50, 100, 200 e 300 anni*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto;
- *post operam* – *Tr 50, 100, 200 e 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 cinque 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);  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche o di Coriolis;  $g$  l'accelerazione di gravità;  $h_e$  la perdita di carico totale nel tratto.

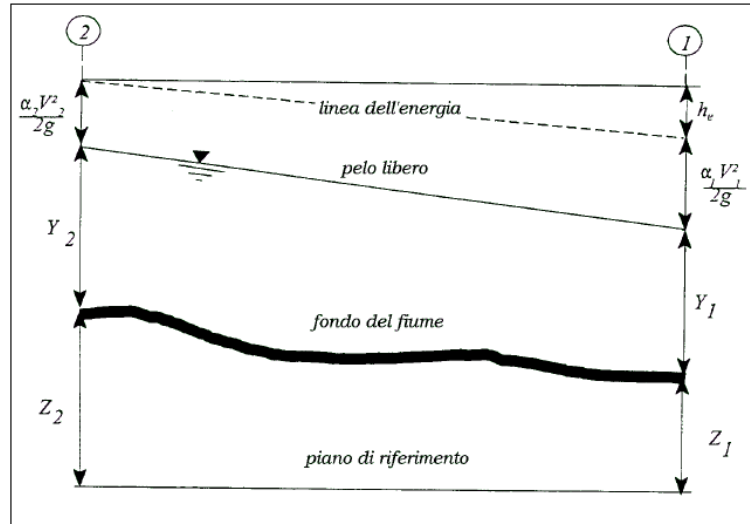


Figura 15 – Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d'acqua.

Le perdite di energia complessive  $h_e$  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.

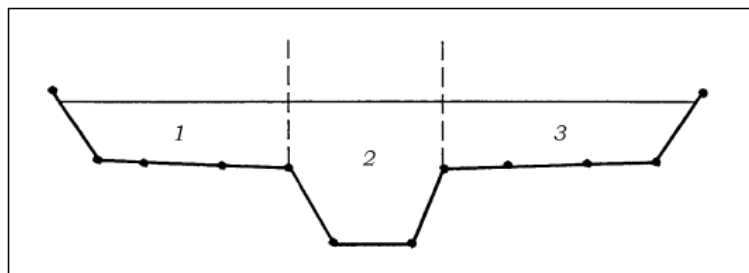


Figura 16 - Sezione schematica di un corso d'acqua.

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:

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

Calcolate tramite le rispettive equazioni le perdite di energia  $h_e$  ed i coefficienti di Coriolis  $\alpha_k$ , 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  $n = 0.043$  (m<sup>1/3</sup>/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>
26	10.9
28	9.6
29	7.4
30	11.9
32	13.5

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 (*TR200*) del F. Pescara, dedotto dalle simulazioni 2D.

## 5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE BIDIMENSIONALI

### 5.1 Scenario ante operam e confronto con il PSDA

In Figura 17 sono riportati i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili della simulazione idraulica del Fiume Pescara e dei cinque corsi minori (bacini 26, 28, 29, 30, 32), per un tempo di ritorno di 200 anni, nello scenario *ante operam*, unitamente alle aree di pericolosità idraulica P1 del PSDA.

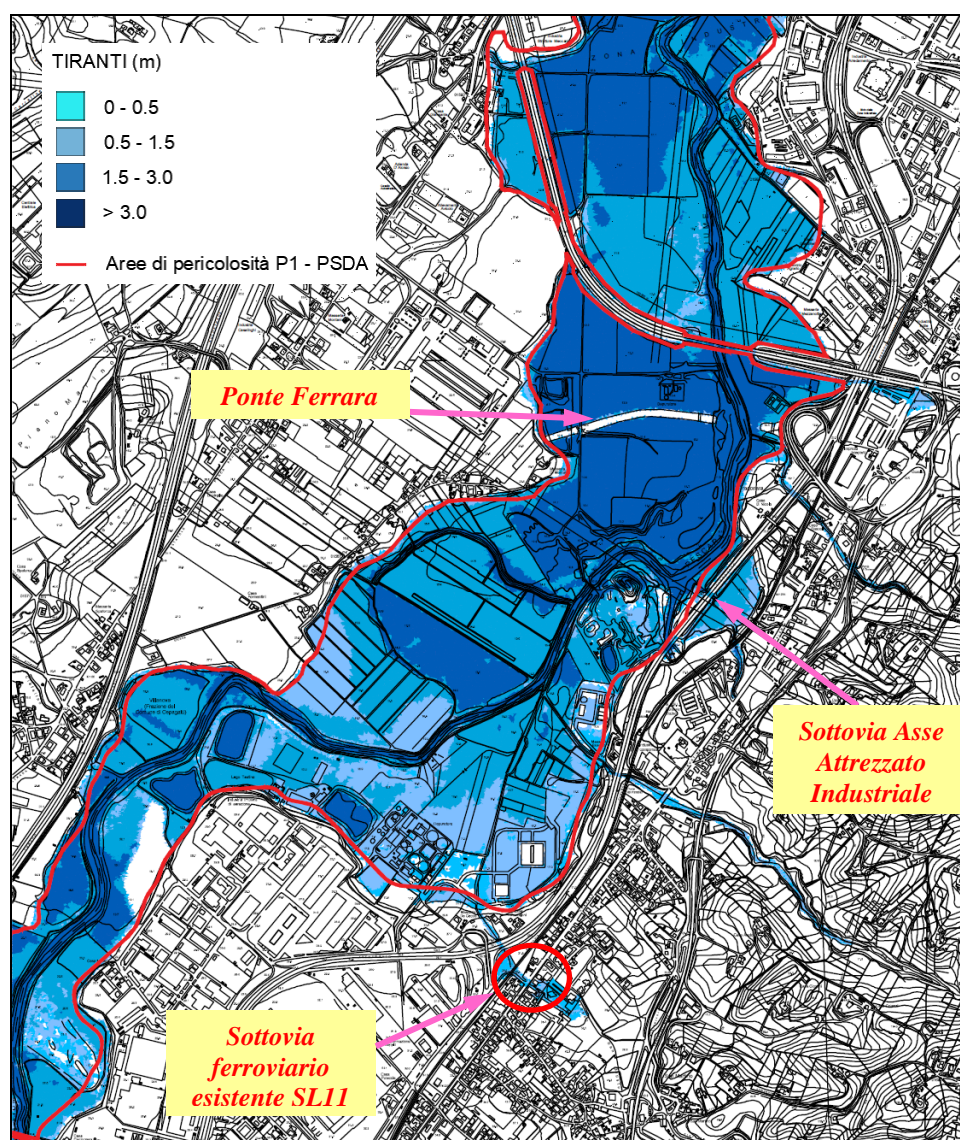


Figura 17 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni) del F. Pescara e dei cinque corsi d'acqua minori considerati; confronto con le aree di pericolosità idraulica P1 del PSDA (zona Chieti).



Le apprezzabili differenze sono imputabili principalmente alla diversa base cartografica utilizzata per l'implementazione del modello idraulico 2D e ai contributi dei corsi d'acqua minori, non contemplati nelle idrauliche sviluppate nell'ambito del PSDA.

In particolare, tali differenze possono essere osservate nella zona in prossimità del tratto in variante; le acque esondate del F. Pescara defluiscono attraverso il sottovia dell'Asse Industriale Attrezzato andando ad interessare il tratto della linea in viadotto (Figura 17). Ciò è dovuto principalmente a fenomeni di rigurgito indotti dal ponte "Ferrara" e dal rilevato stradale di Via Ferrara, realizzati negli anni 2009-2011, non considerati nello studio idraulico del PSDA (2002).

Ulteriori differenze possono essere apprezzate all'inizio dell'intervento di raddoppio (Lotto 1), a Pescara, dovute ai sottopassi/sottovia dell'Asse Industriale Attrezzato in corrispondenza dell'aeroporto e dell'intersezione con la Strada Statale Adriatica SS16, attraverso i quali le acque esondate defluiscono, inondando l'aeroporto e le aree urbanizzate limitrofe (Figura 18).

Le simulazioni idrauliche svolte (nello specifico TR300 e 200) hanno permesso inoltre di individuare alcune criticità di natura idraulica. Di seguito, i risultati in termini di livelli idrici *Tr 200* in corrispondenza delle opere di attraversamento esistenti sui cinque corsi d'acqua minori considerati:

- Opera esistente (**IN12**) in corrispondenza del corso d'acqua relativo al Bacino 32

Quota Intradosso: + 30.20 m slm  
Quota fondo alveo: + 27.81 m slm  
Livello idrico Tr200: + 29.90 m slm (grado riempimento = 88%)

e "*allagamento*" del sottovia di Via M. Carboni adiacente (Figura 17)

- Opera esistente in corrispondenza del corso d'acqua relativo al Bacino 30 (**VI07**)

Livello idrico Tr200: +24.60 m slm  
Quota Intradosso: +29.60 m slm  
Quota fondo alveo: + 22.20 m slm  
Franco idraulico = 5 m

- Sezione Viadotto (**tratto in Variante**), Bacino 29

Livello idrico Tr200: +17.60 m slm

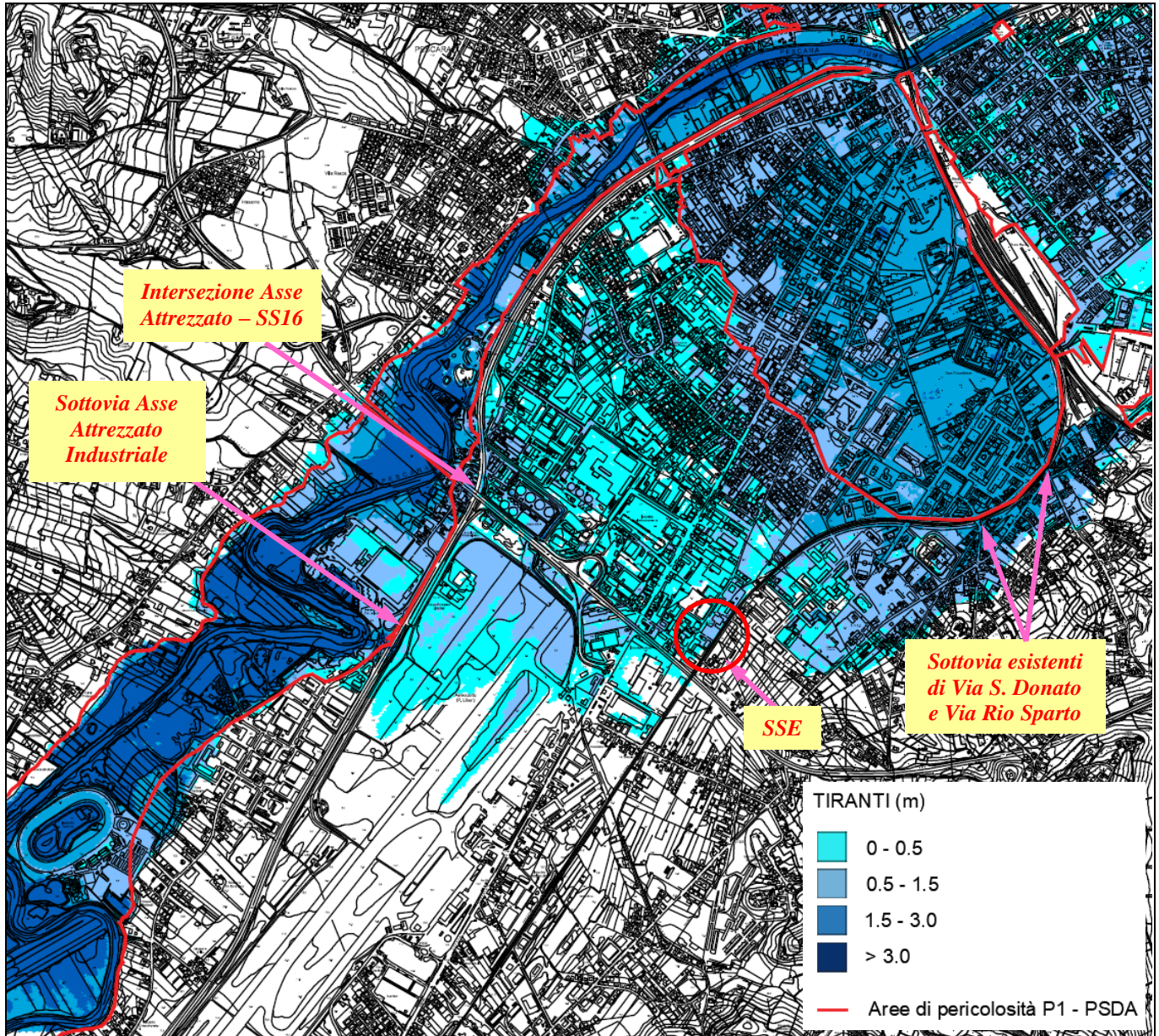


Figura 18 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni) del F. Pescara; confronto con le aree di pericolosità idraulica P1 del PSDA (zona Pescara).

- Opera esistente (**IN10**) in corrispondenza del corso d'acqua relativo al Bacino 28

Quota Intradosso: + 24.25 m slm

Quota fondo alveo: + 22.56 m slm

Livello idrico Tr200: + 23.92 m slm (grado di riempimento = 81%)

	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA</b> <b>RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA <b>IA4S</b>	LOTTO <b>00 D 09</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0002 001</b>	REV. <b>B</b>

- Opera esistente (**IN09**) in corrispondenza del corso d’acqua relativo al Bacino 26

Quota Intradosso: +20.90 m slm

Quota fondo alveo: + 18.70 m slm

Livello idrico Tr200: +21.40 m slm (opera in pressione)

Inoltre, si riscontra l’allagamento dei **sottovia esistenti** di Via S. Donato e Via Rio Sparto (Figura 18), nel tratto iniziale dell’intervento di raddoppio in oggetto (a Pescara), *non evidenziati* nel PSDA, e della sottostazione elettrica (SSE) esistente, nonché il parziale/possibile sormonto della linea ferroviaria **esistente** in corrispondenza del cavalcaferrovia IV01 – Circonvallazione Pescara, pk 1+893 (Figura 18).

Infine, risultano parzialmente inondate anche le aree destinate alla **SSE di Manoppello** e al **piazzale Terna**, in corrispondenza dell’Interporto d’Abruzzo.

Di seguito, per completezza, si riportano i risultati in termini di aree di esondazione relative allo scenario “*attuale*”, per i differenti tempi di ritorno indagati.

Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati grafici annessi:

- IA4S00D09P5ID0002001B
- IA4S00D09P5ID0002003B
- IA4S00D09P5ID0002005A
- IA4S00D09P5ID0002006A



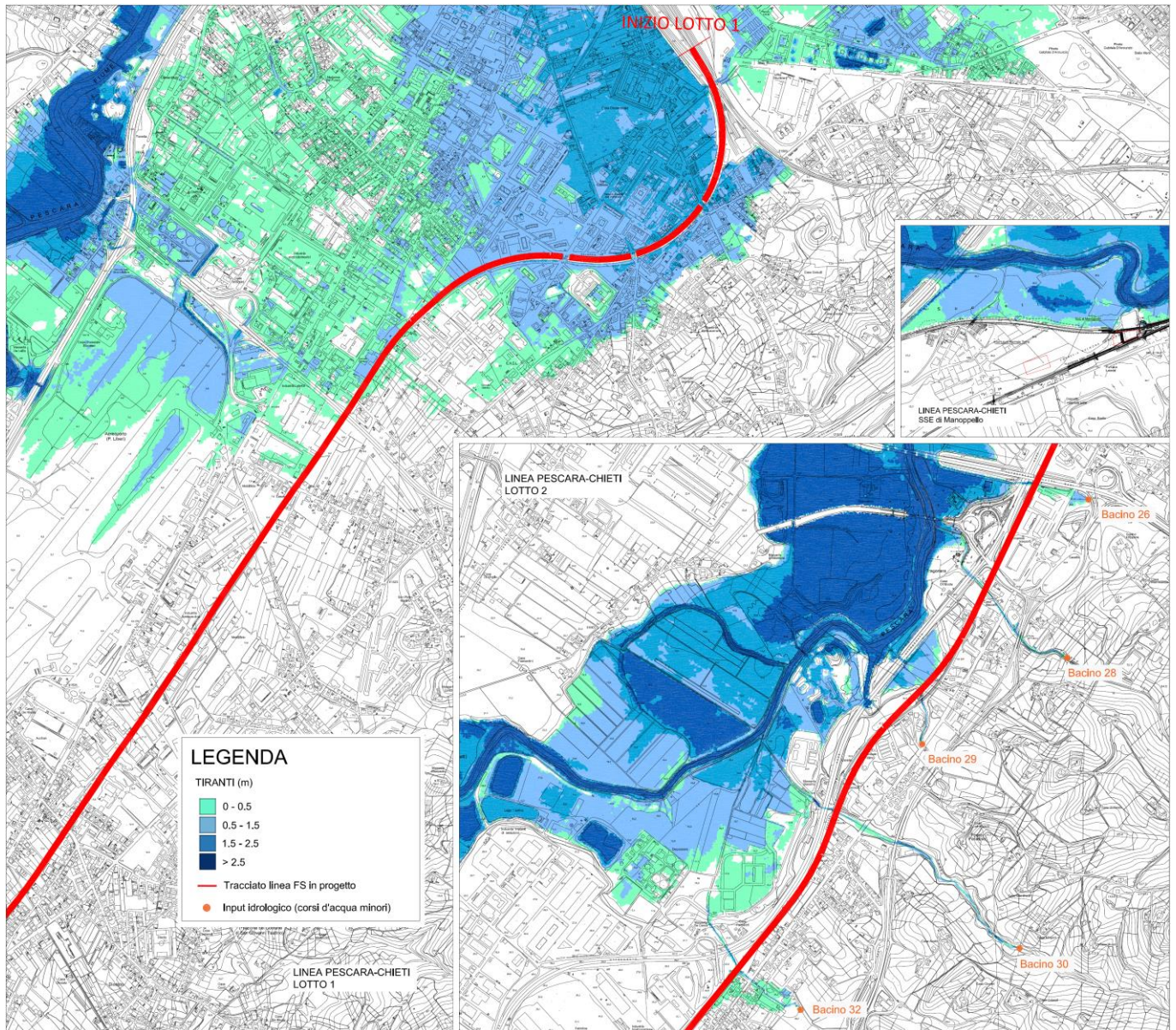


Figura 19 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 50 anni), scenario ante operam.



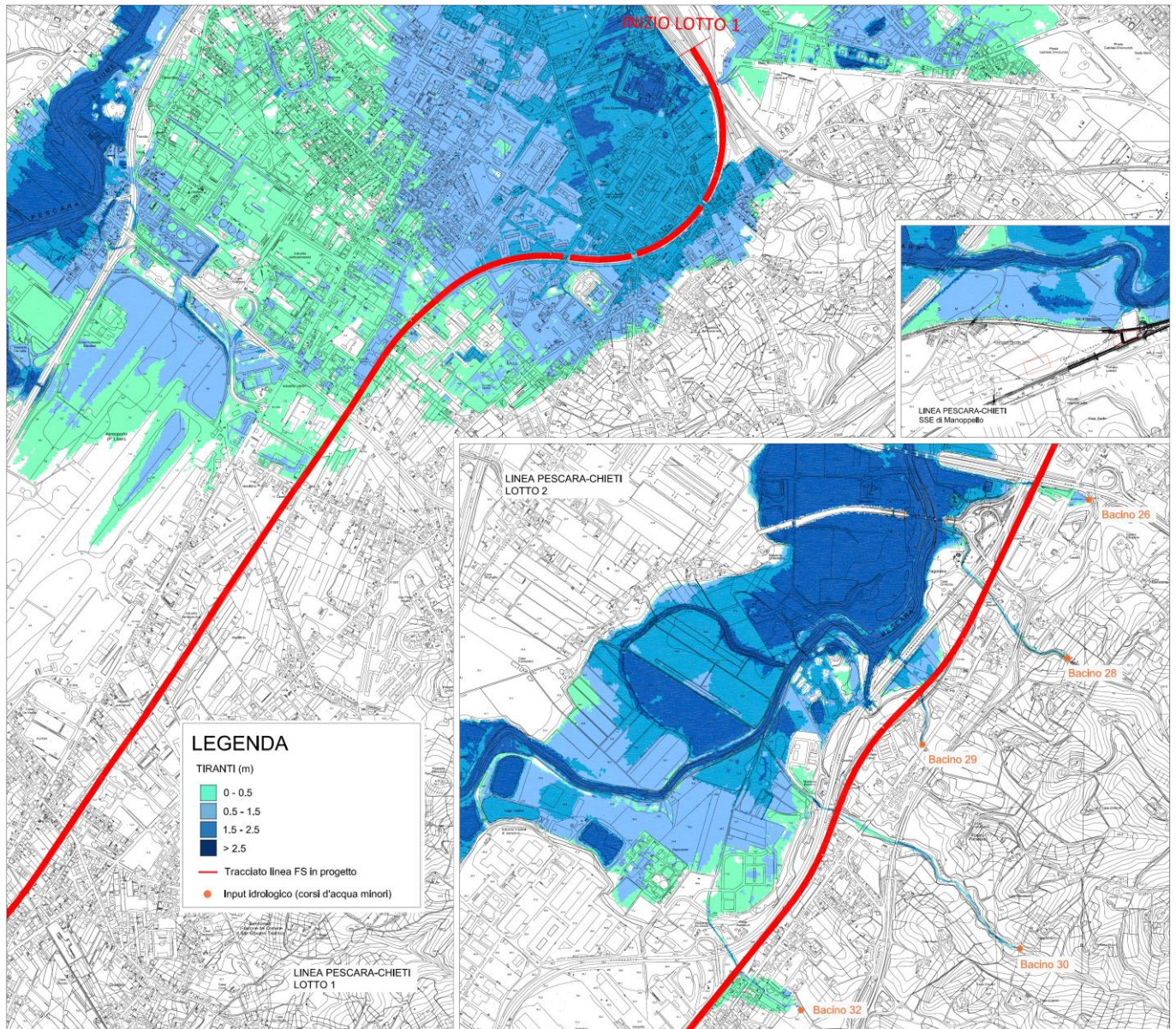


Figura 20 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 100 anni), scenario ante operam.



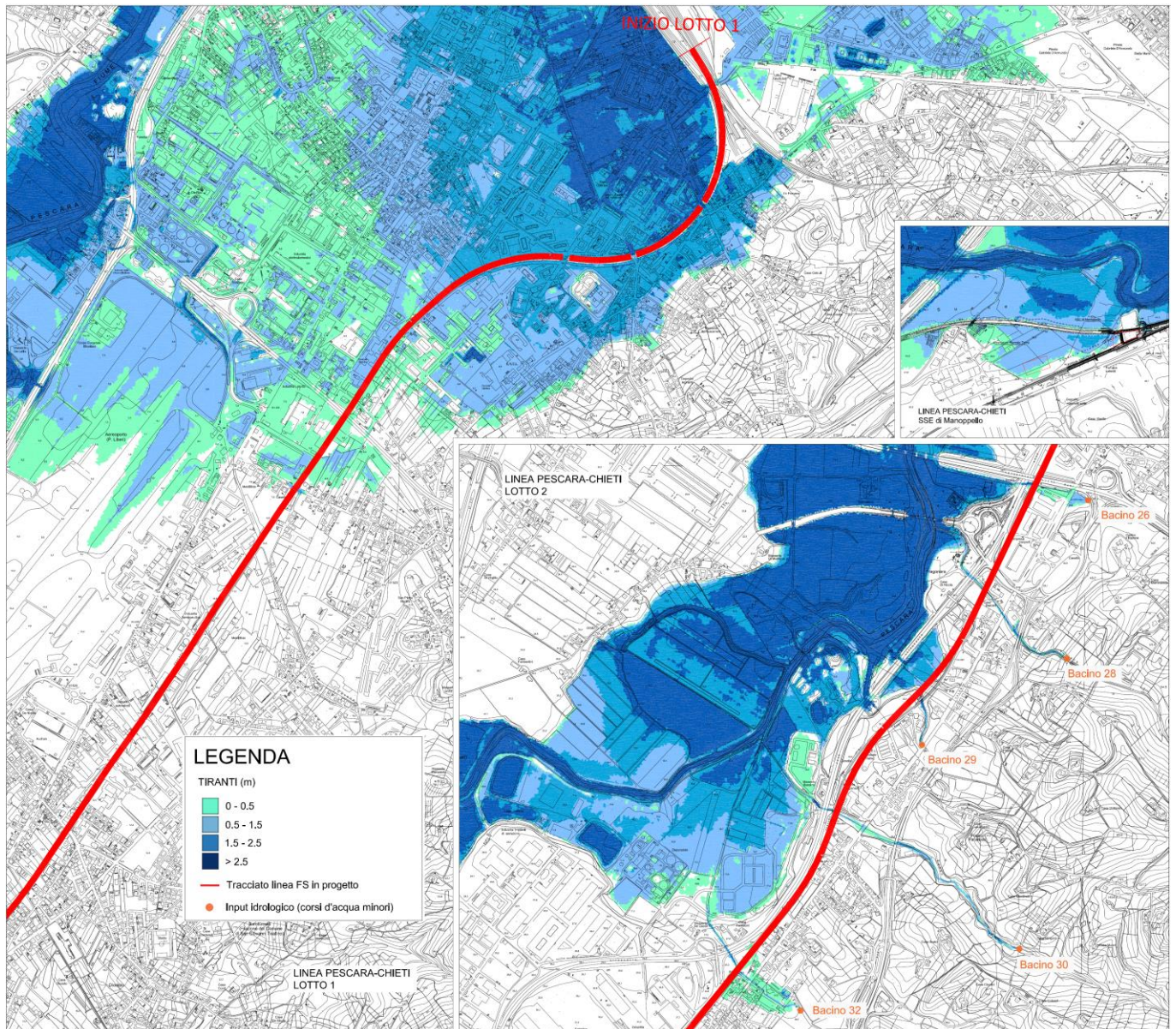


Figura 21 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni), scenario ante operam.



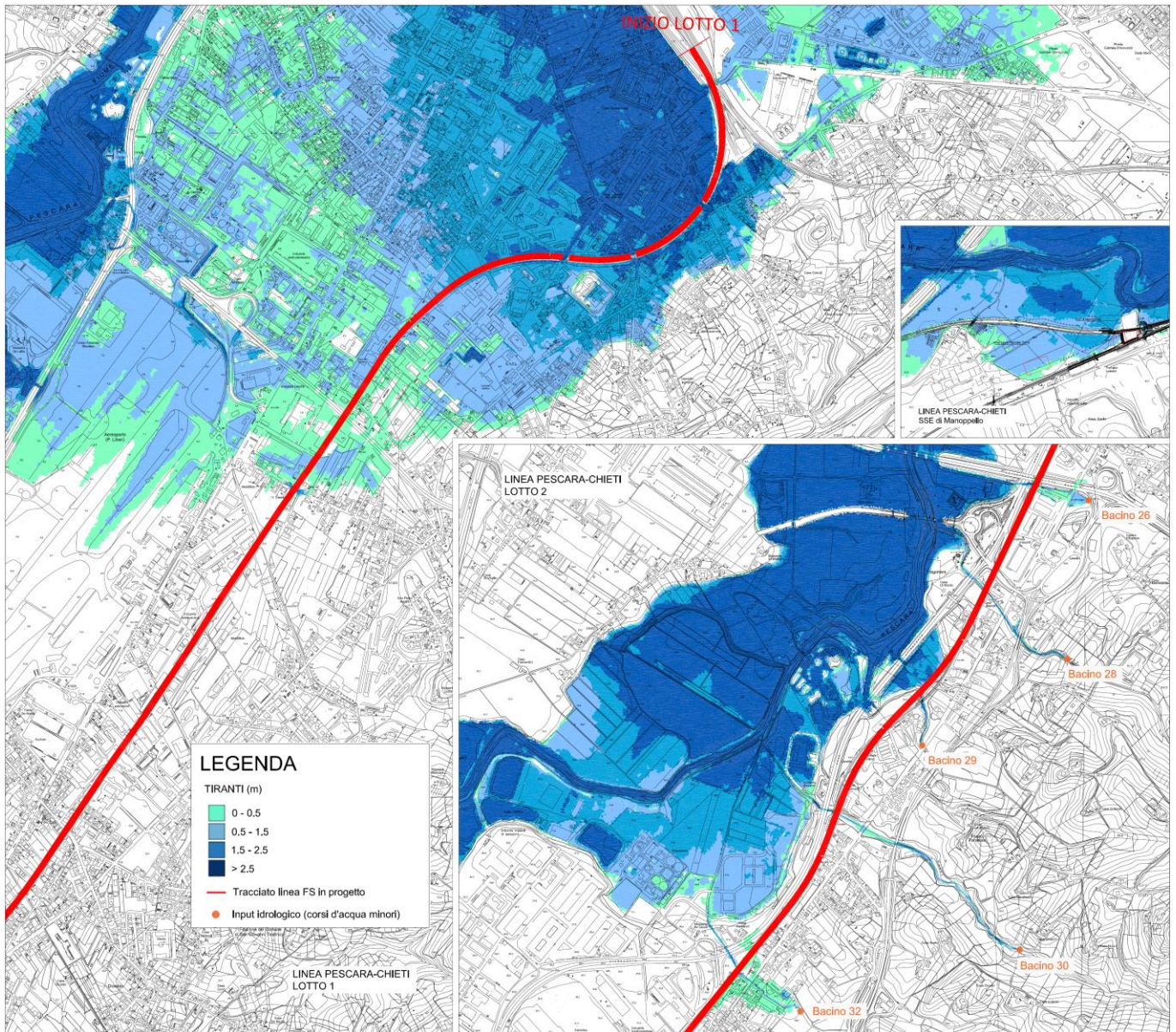


Figura 22 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 300 anni), scenario ante operam.

	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA IA4S	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B	FOGLIO 36 di 48

## 5.2 Scenario post operam e confronto con scenario ante operam

Sulla base delle considerazioni precedenti, ai fini della risoluzione delle criticità evidenziate nella simulazione “*ante operam*”, nello scenario “*post operam*” sono stati considerati i seguenti interventi:

- adeguamento delle opere di attraversamento esistenti
  - **IN12: tombino scatolare 4 x 3 m**
  - **IN10: 2 tombini scatoari affiancati 3 x 2.5 m**
  - **IN09: 2 tombini scatoari affiancati 3 x 2 m**
  - **VI07: adeguamento “strutturale” - unica campata (luce netta: 25 metri)**
  - **VI06: deviazione fosso/canale interferenti con le pile del nuovo viadotto (per maggiori dettagli si rimanda all’elaborato grafico IA4S02D29PZID0002003A)**
- realizzazione della nuova viabilità NV15, alternativa al sottopasso Via M. Carboni per il quale si prevede la chiusura al traffico, essendo soggetto ad allagamento per esondazione del corso d’acqua adiacente (relativo al bacino 32), dovuta alle opere di tombamento presenti a monte dell’attraversamento ferroviario in questione (Figura 17). Tale “nuova” viabilità attraversa anch’essa il corso d’acqua suddetto (bacino 32); l’opera di attraversamento prevista è costituita da un **tombino scatolare 4 x 3.5 m**.
- realizzazione del muro anti-svio in corrispondenza del cavalcaferrovia IV01 – Circonvallazione Pescara (pk 1+893.45), con funzione anche di “*protezione idraulica*” della linea dall’esondazione delle piene del F. Pescara
- realizzazione e/o adeguamento del muro perimetrale della SSE esistente (a Pescara), con funzione di “*protezione idraulica*” dall’esondazione delle piene del F. Pescara
- sistemi di allerta in corrispondenza dei sottovia esistenti soggetti ad allagamento
- innalzamento (su rilevato) del piano di calpestio della SSE di Manoppello (e della relativa viabilità di accesso) e muro perimetrale (**altezza minima = 1 metro**) di protezione del piazzale Terna



Nelle figure seguenti si riportano le aree di allagamento nella configurazione post operam, per i differenti tempi di ritorno analizzati.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici annessi: IA4S00D09P5ID0002002B, IA4S00D09P5ID0002004B, IA4S00D09P5ID0002006A, IA4S00D09P5ID0002008A. Di seguito si riportano i livelli idrici in corrispondenza delle opere di attraversamento prese in esame:

- **IN12**  
Livello idrico Tr200: +28.70 m slm  
Quota Intradosso: +30.02 m slm  
Quota fondo alveo: +27.02 m slm  
Franco idraulico: +1.3 m (> 0.5 m, grado di riempimento = 56%)
- **VI07**  
Livello idrico Tr200: +24.50 m slm  
Quota Intradosso: +31.13 m slm  
Quota fondo alveo: +22.72 m slm  
Franco idraulico: +6.63 m
- **VI06**  
Livello idrico Tr200: +17.60 m slm  
Quota Intradosso: +27.46 m slm  
Franco idraulico: +9.86 m
- **IN10**  
Livello idrico Tr200: +23.50 m slm  
Quota Intradosso: +24.69 m slm  
Quota fondo alveo: +22.19 m slm  
Franco idraulico: +1.19 m (> 0.5 m, grado di riempimento = 53%)
- **IN09**  
Livello idrico Tr200: +20.10 m slm  
Quota Intradosso: +20.70 m slm  
Quota fondo alveo: +18.70 m slm  
Franco idraulico: +0.55 m (> 0.5 m, grado di riempimento = 70%)
- **NV15 (tombino 4 x 3.5 m)**  
Livello idrico Tr200: +27.90 m slm  
Quota Intradosso: +29.60 m slm  
Quota fondo alveo: +26.10 m slm  
Franco idraulico: +1.7 m (> 0.5 m, grado di riempimento = 52%)

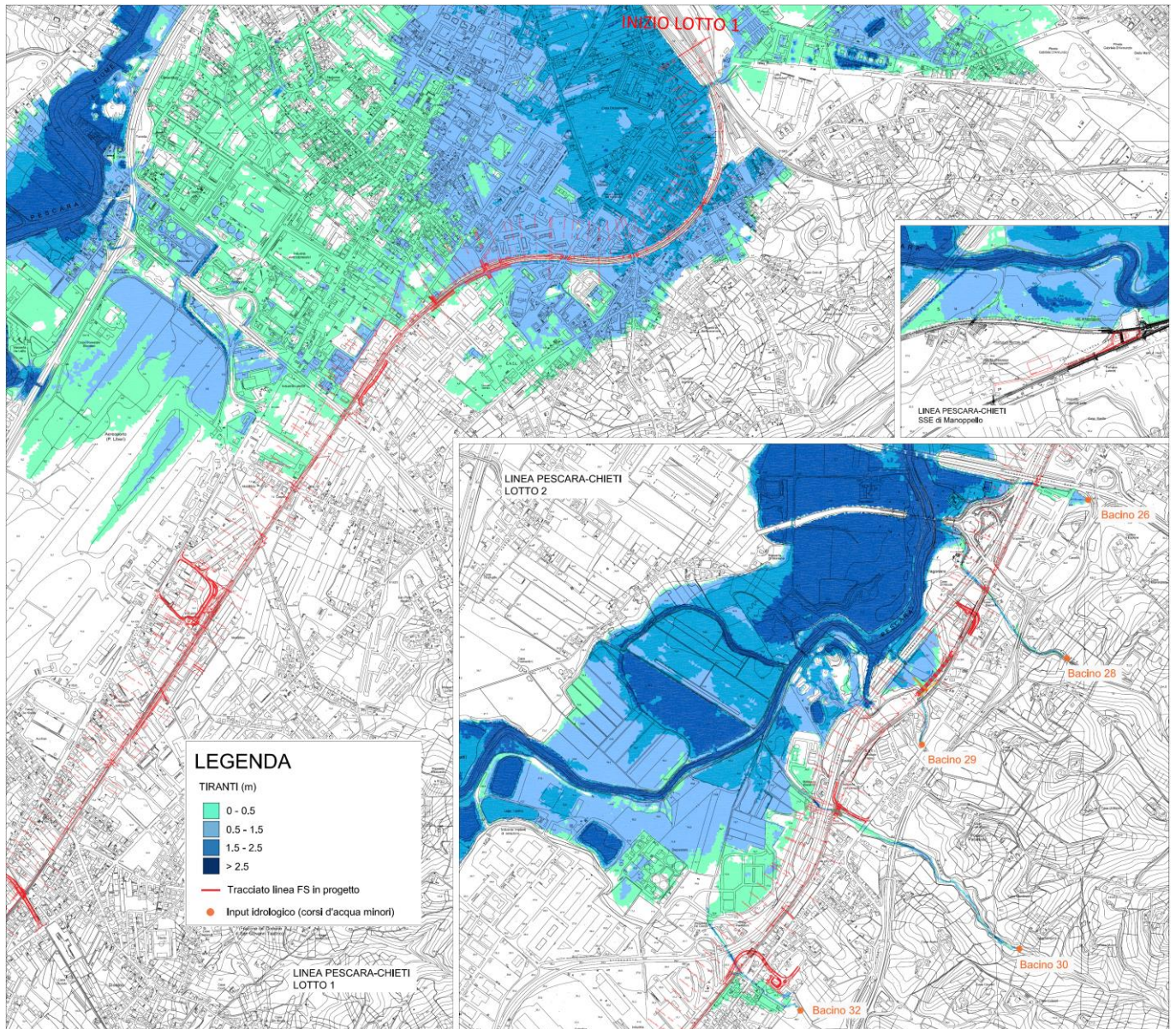


Figura 23 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 50 anni), scenario post operam.



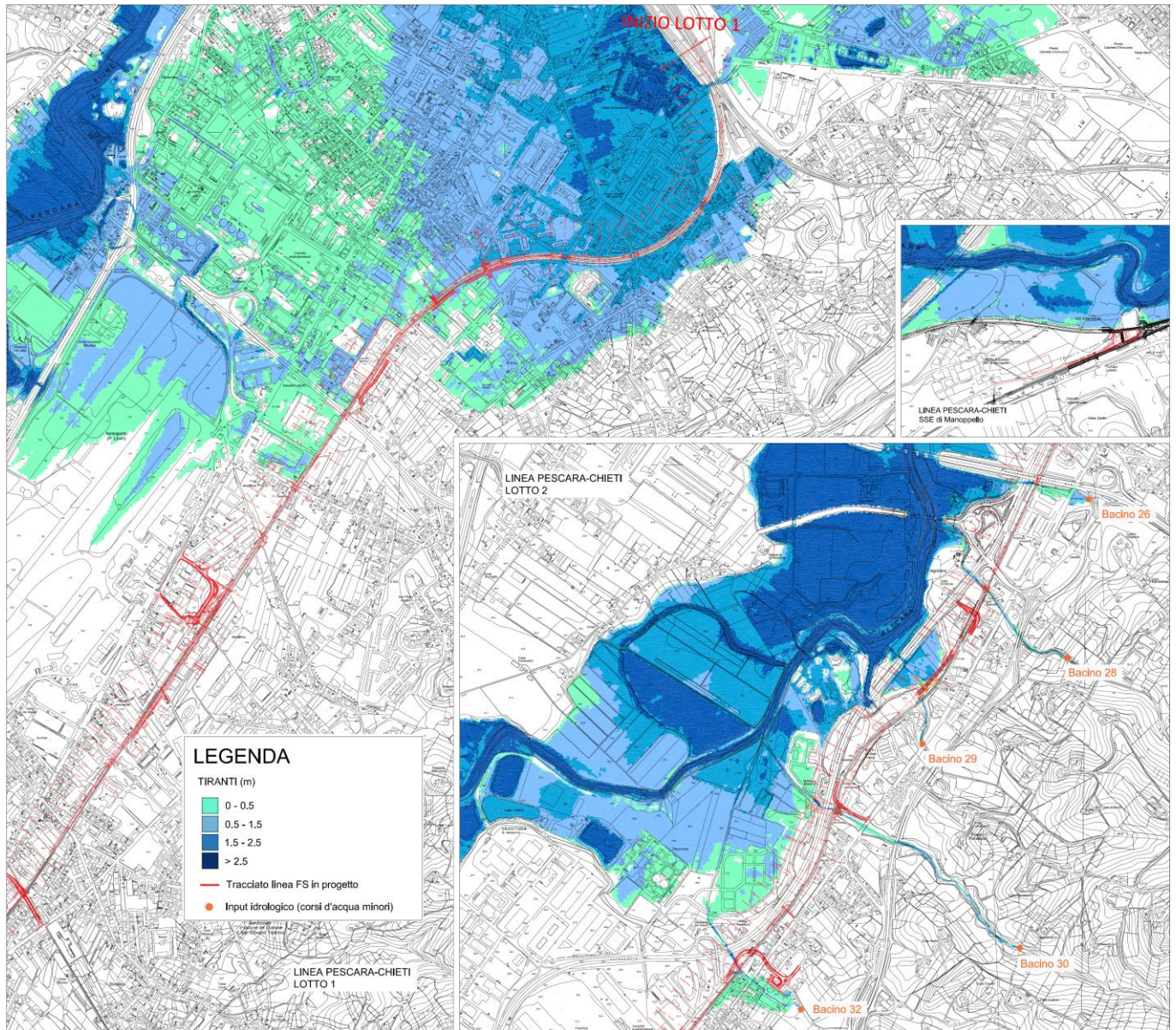


Figura 24 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 100 anni), scenario post operam.



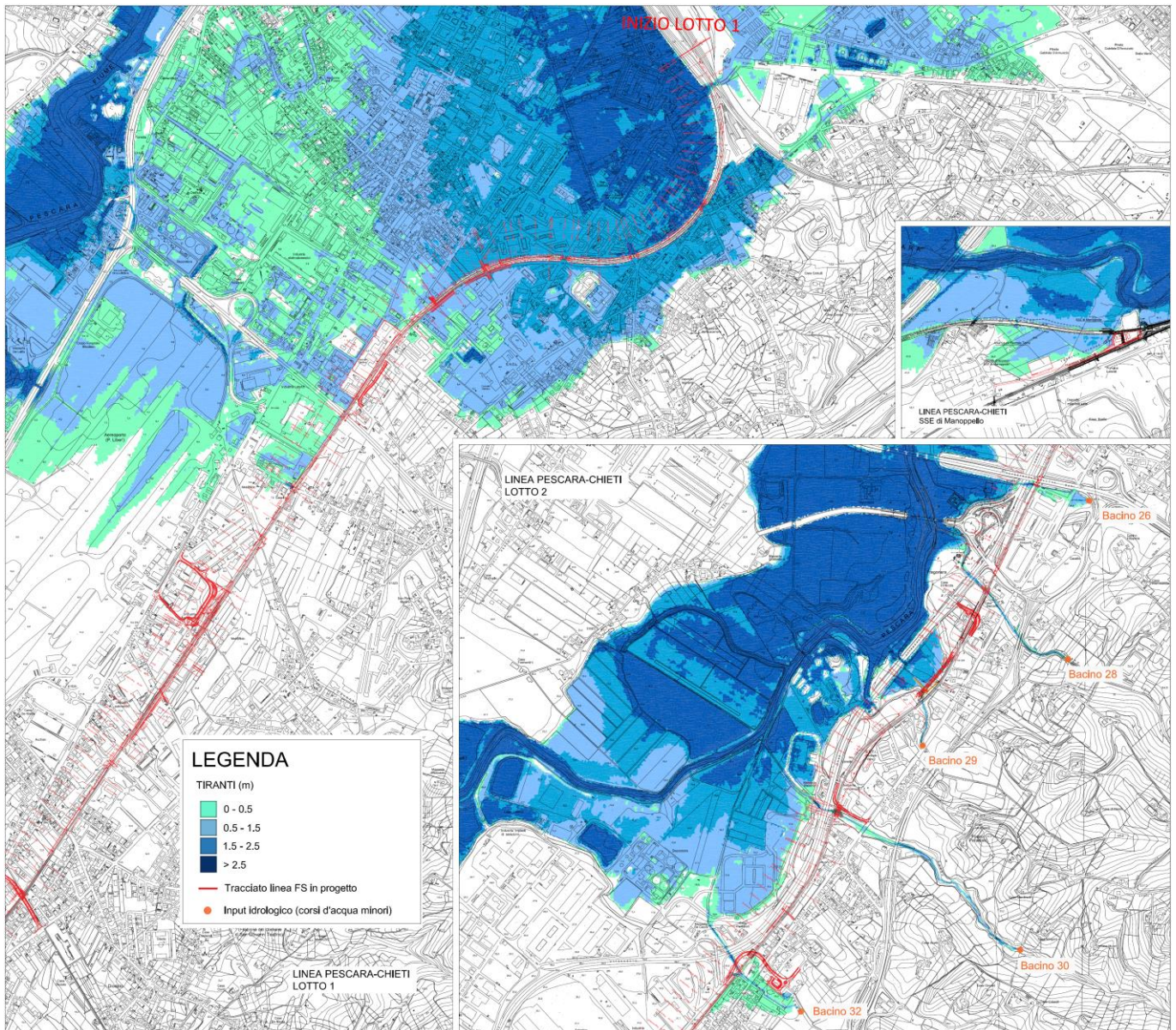


Figura 25 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 200 anni), scenario post operam.



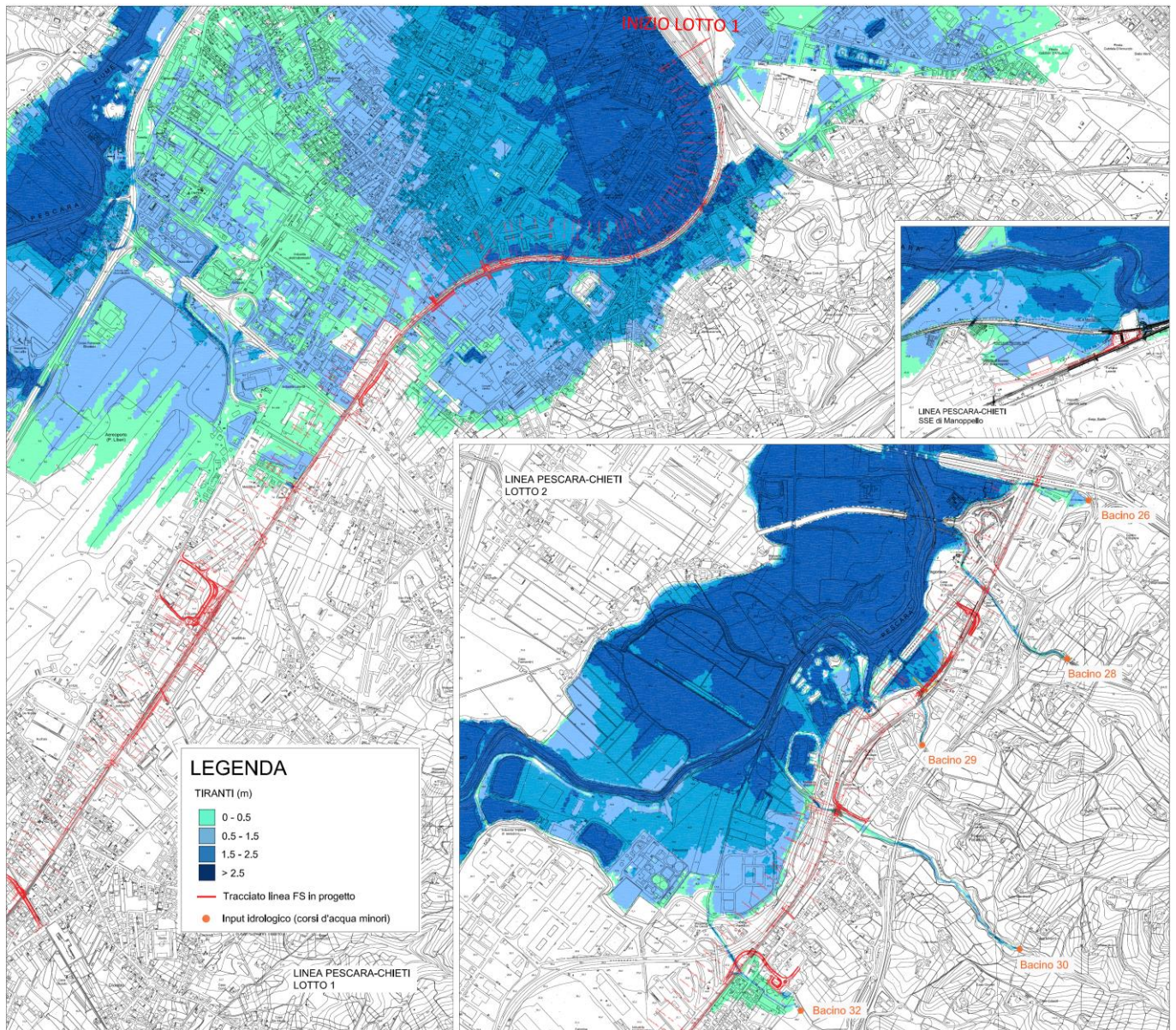


Figura 26 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione (Tr 300 anni), scenario post operam.



Si riporta anche un particolare delle aree di esondazione ( $TR300$ ) in prossimità delle sottostazioni elettriche (esistente, a Pescara, e prevista in progetto a Manoppello), nelle configurazioni *ante operam* e *post operam*.

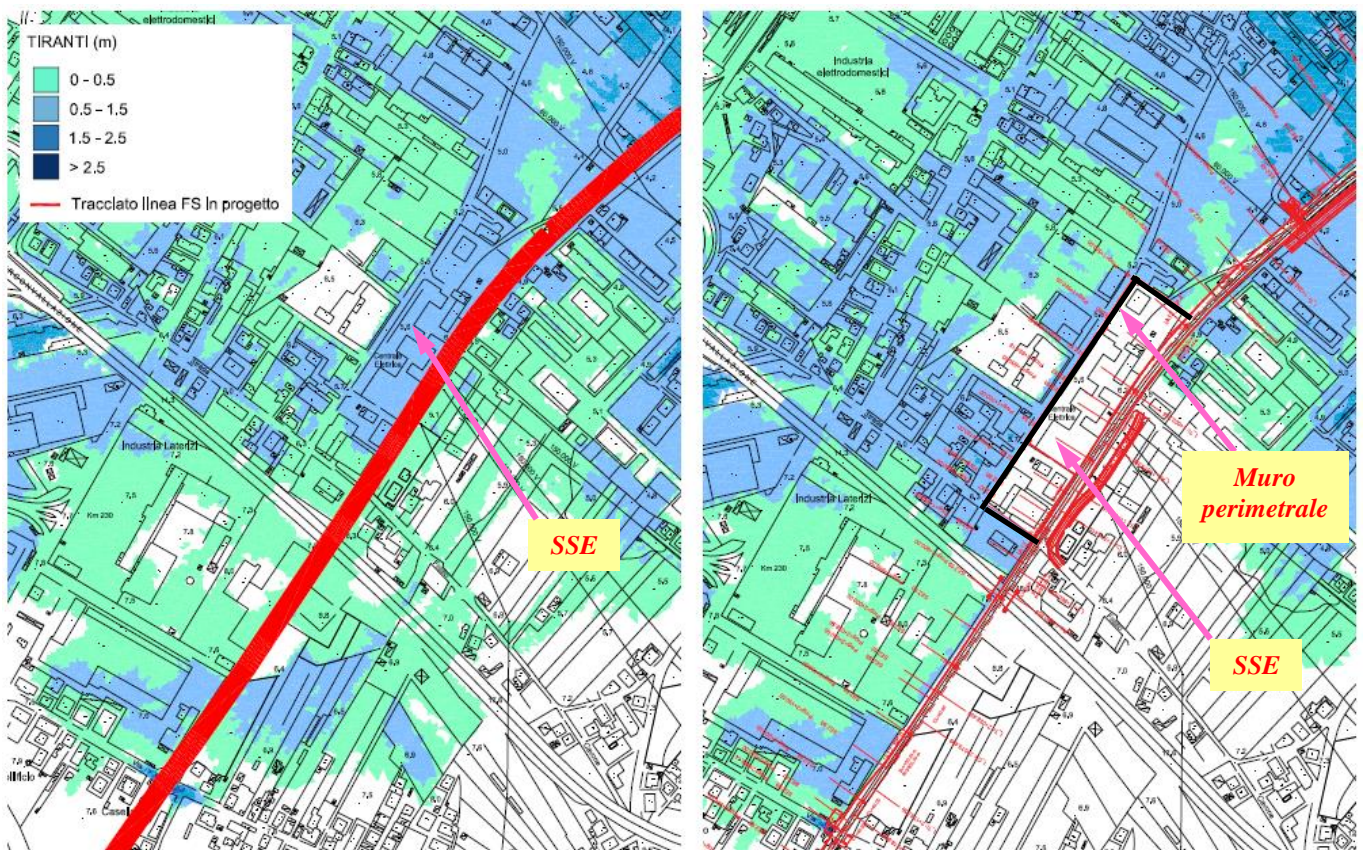


Figura 27 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione ( $Tr$  300 anni) del Fiume Pescara *ante operam* (a sinistra) e *post operam* (a destra), in corrispondenza della sottostazione elettrica esistente (a Pescara).

Come si evince dalle figure precedenti, l'innalzamento del muro perimetrale della SSE (con funzione di protezione idraulica dalle esondazioni del F. Pescara) comporta un aumento dei livelli idrici nelle zone immediatamente adiacenti/limitrofe.

Per verificare la compatibilità dell'intervento in relazione all'eventuale aumento di pericolosità idraulica, con riferimento alla classificazione riportata in Tabella 1 sono state analizzate in dettaglio anche le simulazioni degli scenari *ante operam* e *post operam* per i tempi di ritorno  $Tr$  50 e  $Tr$  100 anni.

Nello specifico, secondo la classificazione adottata nel PSDA, le aree in esame sarebbero classificate come a pericolosità P3 (elevata), ossia interessate da tiranti idrici superiori a 0.5 m ma inferiori al metro, nello scenario  $Tr = 50$  anni. Nella configurazione “ante operam”  $Tr 50$ , i tiranti idrici (massimi) in corrispondenza della SSE si attestano infatti a circa + 0.60 m su p.c.; nella configurazione “post operam” l’incremento dei livelli idrici è tale per cui i tiranti risultano sempre inferiori al metro e le velocità inferiori a 1 m/s (al massimo pari a 0.4 m/s).

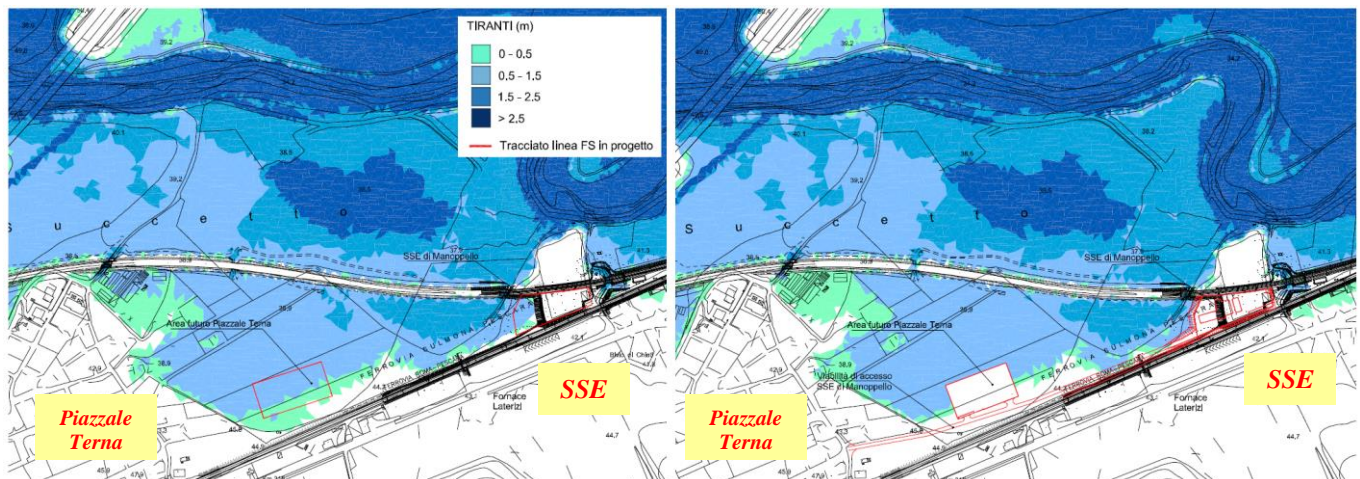


Figura 28 – Modello idraulico 2D: aree di esondazione ( $Tr 300$  anni) del Fiume Pescara ante operam (a sinistra) e post operam (a destra), in corrispondenza della sottostazione elettrica di Manoppello in progetto.

Le aree potenzialmente inondabili non subiscono significative variazioni, “fatto salvo quelle eventuali intrinsecamente connesse all’intervento in progetto” (innalzamento del muro perimetrale della SSE), che comporta in realtà una riduzione delle aree allagate (al di là della linea FS in progetto) nei vari scenari “post operam” simulati; pertanto, il livello di pericolosità idraulica (come da PSDA, Tabella 1), nell’area in esame rimane invariato.

Si precisa che la zona in esame non ricade nelle aree delimitate nella cartografia del PSDA. Le differenze riscontrate con tale cartografia, come precedentemente evidenziato, sono dovute principalmente all’utilizzo di rilievi topografici di maggiore risoluzione.



## 6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE MONODIMENSIONALI

Come anticipato, per le opere di attraversamento IN09 (bacino 26), IN10 (bacino 28), VI07 (bacino 30) e IN12 (bacino 32), sono state sviluppate, per il tempo di ritorno di progetto (*TR200*), le verifiche idrauliche anche con riferimento ai risultati delle simulazioni numeriche monodimensionali (visto l'elevato franco idraulico, circa 10 m, non è stato sviluppato il modello del corso d'acqua relativo al bacino 29, attraversato dal viadotto VI07).

Sono state 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 *TR200* del Fiume Pescara in corrispondenza dell'ultima sezione (alla confluenza o interessata dall'esonazione del F. Pescara), dedotto dalle modellazioni idrauliche 2D. Nelle tabelle seguenti, il riepilogo dei risultati ottenuti.

Opera	Quota intradosso (esistente) [m slm]	Livello idrico TR200 (ante operam) [m slm]	Franco idraulico (m)
IN09	20.90	21.15	-
IN10	24.25	23.93	0.32
IN12	30.20	29.80	0.40
VI07	29.60	24.10	5.50

Tabella 3. Corsi d'acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario ante operam, TR200.

Opera	Quota intradosso (progetto) [m slm]	Livello idrico TR200 (post operam) [m slm] (condizione di valle “ <i>Normal Depth</i> ”)	Franco idraulico (m)
IN09	20.70	19.80	0.90
IN10	24.69	23.65	1.04
IN12	30.02	28.80	1.22
VI07	31.13	24.00	7.13

Tabella 4. Corsi d'acqua minori: risultati simulazioni monodimensionali, scenario post operam (condizione di valle “*Normal Depth*”), TR200.

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.

Opera	Quota intradosso (progetto) [m slm]	Livello idrico TR200 (post operam) [m slm] (condizione di valle "Known Depth")	Franco idraulico (m)
IN09	20.70	19.85	0.85
IN10	24.69	23.65	1.04
IN12	30.02	28.80	1.22
VI07	31.13	24.15	6.98

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

Si riportano inoltre, 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").

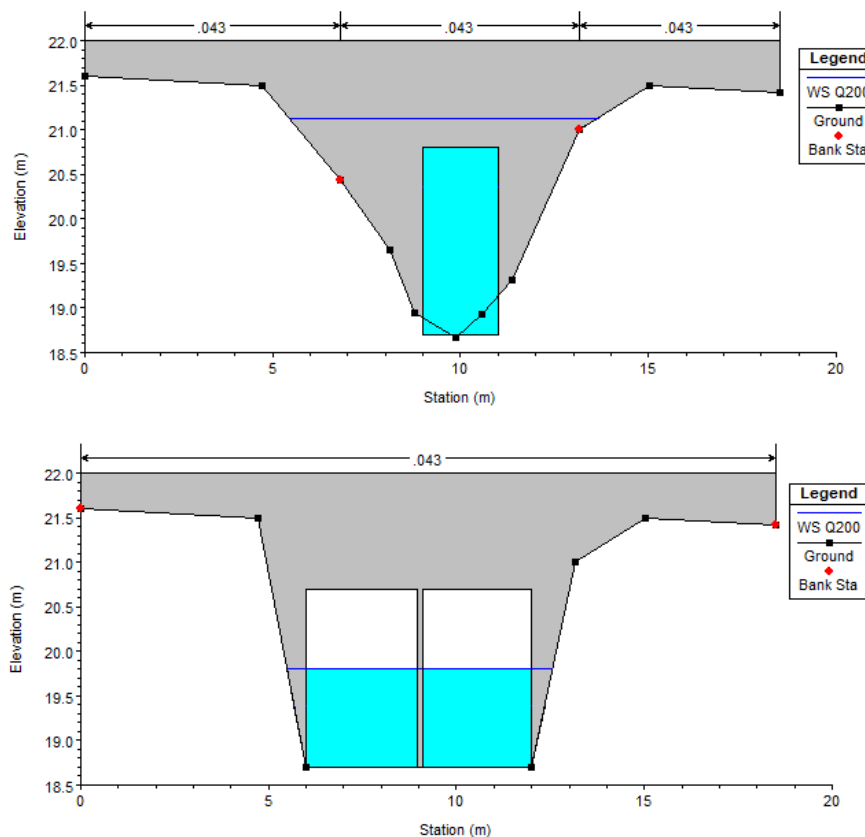


Figura 29 – Modello idraulico 1D: livelli idrici in corrispondenza dell'opera IN09, nelle configurazioni ante operam (in alto) e post operam (in basso).

**RELAZIONE IDRAULICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA4S	00 D 09	RI	ID0002 001	B	46 di 48

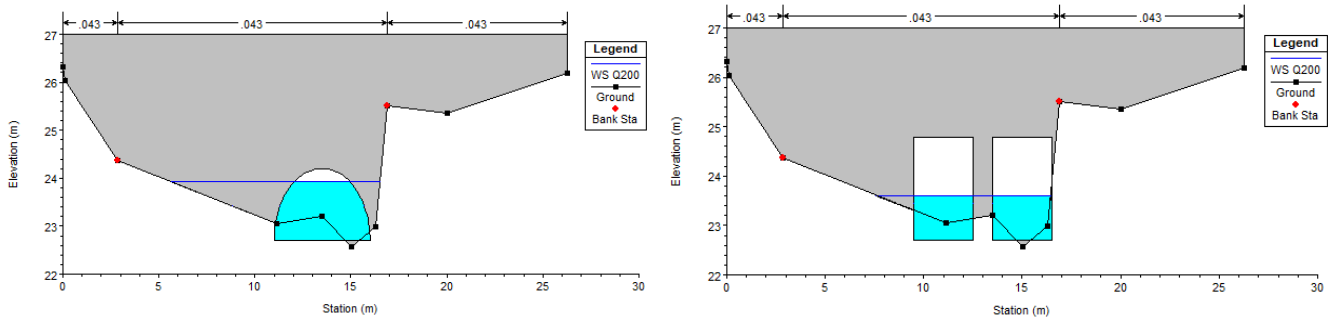


Figura 30 – Modello idraulico 1D: livelli idrici in corrispondenza dell'opera IN10, nelle configurazioni ante operam (a sinistra) e post operam (a destra).

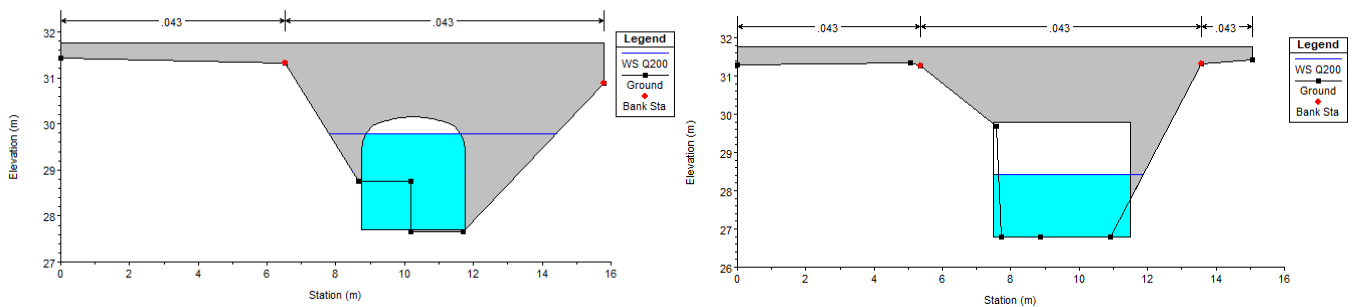


Figura 31 – Modello idraulico 1D: livelli idrici in corrispondenza dell'opera IN12, nelle configurazioni ante operam (a sinistra) e post operam (a destra).

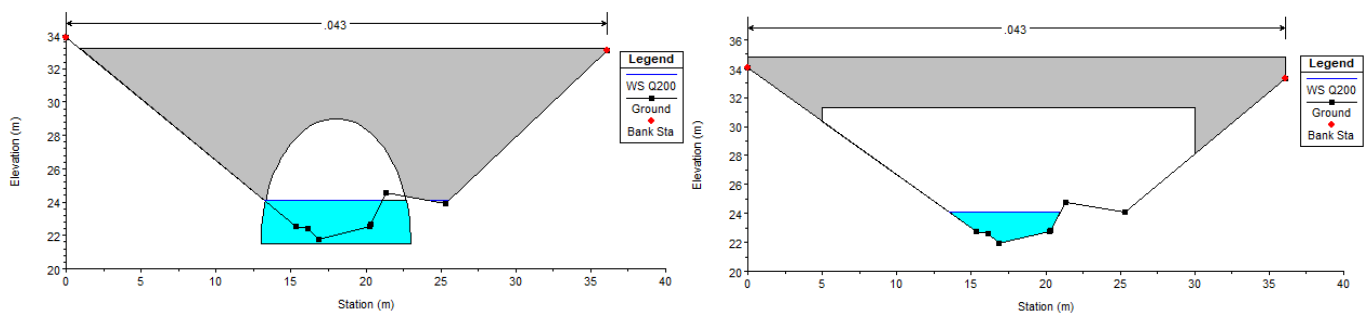


Figura 32 – Modello idraulico 1D: livelli idrici in corrispondenza dell'opera VI07, nelle configurazioni ante operam (a sinistra) e post operam (a destra).

Per completezza, di seguito è indicato anche il livello idrico TR200, nella configurazione “*post operam*” (condizione di valle “*Known Depth*”), in corrispondenza del nuovo tombino scatolare (4x3,5 m) della nuova viabilità NV15, a valle del tombino IN12: +28.00 m s.l.m., a fronte di una quota di intradosso pari a +29.60 m s.l.m. (franco idraulico = 1.60 m).

	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA4S	00 D 09	RI	ID0002 001	B	47 di 48

## 7 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 di attraversamento esistenti (minori, tombini), la cui efficacia è dimostrata dai risultati ottenuti nelle simulazioni idrauliche “*post operam*”, bidimensionali e 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 n.7/2019 delle NTC2018 nonché del Manuale di Progettazione RFI.

La sottostazione (SSE) e la linea FS, in corrispondenza del cavalcaferrovia IV01, soggette ad allagamento nella configurazione ante operam, con l'innalzamento del muro perimetrale e l'inserimento del muro anti svio, non sono più interessate (nello scenario post operam) dalle esondazioni delle piene del Fiume Pescara.

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).

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 opere di protezione/sistemazione idraulica in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto (per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati specialistici di OO.CC.).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA</b> <b>RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA-CHIETI</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	COMMESSA <b>IA4S</b>	LOTTO <b>00 D 09</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0002 001</b>	REV. <b>B</b>

## 8 BIBLIOGRAFIA

- Autorità dei Bacini Regionali e Interregionali della Fiume Sangro, Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA) – Studio idrologico, 2002.
- 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.
- Norme Tecniche per le costruzioni 2018 e relativa circolare esplicativa n. 7 del 21/01/2019.
- Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).
- Ven Te Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.