

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDRAULICA

STUDIO IDRAULICO BIDIMENSIONALE DI TORRENTE FUORNI, FIUME PICENTINO E TORRENTE ASA

SCALA:

-

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

NN1X 00 D 09 RI ID0002 001 C

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|----------|------------|------------|------------|-----------|------------|-------------------------|
| A | Emissione Esecutiva | C.CESALI | Sett. 2020 | F.CABAS | Sett. 2020 | M.D'AVINO | Sett. 2020 | A.VITTOZZI gen. 2021 |
| B | Emissione Esecutiva | C.CESALI | Dic. 2020 | F.CABAS | Dic. 2020 | M.D'AVINO | Dic. 2020 | |
| C | Emissione Esecutiva | C.CESALI | gen. 2021 | F.CABAS | gen. 2021 | M.D'AVINO | gen. 2021 | |
| | | | | | | | | |

File: NN1X00D09RIID0002001C.doc

n. Elab.:

INDICE

| | | |
|-------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 6 |
| 1.1 | RIFERIMENTI NORMATIVI..... | 7 |
| 2 | INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO..... | 8 |
| 2.1 | OBIETTIVI DELLO STUDIO..... | 8 |
| 3 | ANALISI IDRAULICHE DISPONIBILI NELL'AREA DI STUDIO..... | 15 |
| 4 | STUDIO IDRAULICO..... | 19 |
| 4.1 | GENERALITÀ..... | 19 |
| 4.2 | DATI DI BASE..... | 19 |
| 4.2.1 | <i>Opere di attraversamento esistenti e in progetto.....</i> | <i>19</i> |
| 4.3 | IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI NUMERICI..... | 26 |
| 4.3.1 | <i>Modello bidimensionale (2D).....</i> | <i>26</i> |
| 4.3.2 | <i>Modello monodimensionale (1D).....</i> | <i>29</i> |
| 4.4 | SIMULAZIONI NUMERICHE DELLE ONDE DI PIENA..... | 33 |
| 4.4.1 | <i>Torrente Fuorni.....</i> | <i>33</i> |
| 4.4.2 | <i>Fiume Picentino.....</i> | <i>41</i> |
| 4.4.3 | <i>Torrente Asa.....</i> | <i>47</i> |
| 5 | OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA..... | 52 |
| 5.1 | TORRENTE FUORNI..... | 52 |
| 5.2 | FIUME PICENTINO..... | 53 |
| 5.3 | TORRENTE ASA..... | 54 |
| 6 | VERIFICA DELLE FASI DI CANTIERE..... | 56 |
| 7 | CONSIDERAZIONI SUGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI..... | 63 |
| 8 | COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO..... | 64 |
| 9 | BIBLIOGRAFIA..... | 65 |

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO | | | | | |
| | TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 3 di 65 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1 - Torrente Fuorni: aree di pericolosità idraulica (P.G.R.A. - Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).</i> | 9 |
| <i>Figura 2 – Fiume Picentino: aree di pericolosità idraulica (P.G.R.A. - Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).</i> | 10 |
| <i>Figura 3 – Torrente Asa: aree di pericolosità idraulica (P.G.R.A. - Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).</i> | 11 |
| <i>Figura 4 – Fiume Picentino: stralcio dei risultati in termini di profili di rigurgito ottenuti negli studi idraulici disponibili.</i> | 16 |
| <i>Figura 5 – Torrente Asa: stralcio dei risultati in termini di profili di rigurgito ottenuti negli studi idraulici disponibili.</i> | 17 |
| <i>Figura 6 – Torrente Fuorni: stralcio dei risultati in termini di profili di rigurgito ottenuti negli studi idraulici disponibili.</i> | 18 |
| <i>Figura 7 – Viadotto VI01 sul Torrente Fuorni: prospetto.</i> | 20 |
| <i>Figura 8 – Viadotto VI01 sul Torrente Fuorni: pianta.</i> | 20 |
| <i>Figura 9 – Opera ferroviaria esistente (linea FS Salerno - Battipaglia) sul Torrente Fuorni.</i> | 21 |
| <i>Figura 10 – Viadotto VI02 sul Fiume Picentino: prospetto.</i> | 22 |
| <i>Figura 11 – Viadotto VI02 sul Fiume Picentino: pianta.</i> | 22 |
| <i>Figura 12 – Ponte ferroviario in disuso sul Fiume Picentino.</i> | 23 |
| <i>Figura 13 – Ponte esistente della linea FS Salerno-Battipaglia sul Fiume Picentino.</i> | 23 |
| <i>Figura 14 – Fiume Picentino: ponte stradale di via Roma/via Picentino, a monte dei due ponti ferroviari.</i> | 24 |
| <i>Figura 15 – Viadotto VI03 sul Torrente Asa: prospetto.</i> | 24 |
| <i>Figura 16 – Viadotto VI03 sul Torrente Asa: pianta.</i> | 25 |
| <i>Figura 17 – Opera ferroviaria esistente (linea FS Salerno - Battipaglia) sul Torrente Asa.</i> | 25 |
| <i>Figura 18 – Software Hec Ras 5.0.7: sistema di riferimento.</i> | 27 |
| <i>Figura 19 – Software Hec Ras 5.0.7: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Hec Ras sulle facce del bordo della cella.</i> | 29 |
| <i>Figura 20– Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d'acqua.</i> | 30 |
| <i>Figura 21 - Sezione schematica di un corso d'acqua.</i> | 31 |
| <i>Figura 22 – Modello 2D del Torrente Fuorni: dominio di calcolo.</i> | 34 |
| <i>Figura 23 – Implementazione delle opere di attraversamento in Hec Ras 2D.</i> | 35 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 24 – Modello 2D del Torrente Fuorni: condizioni al contorno.....</i> | <i>36</i> |
| <i>Figura 25 – Modello 2D del Torrente Fuorni: idrogrammi di piena calcolati in uscita dal dominio “Mesh#1”.....</i> | <i>37</i> |
| <i>Figura 26 – Modello 2D del Torrente Fuorni: confronto tra le aree di esondazione per Tr = 300 anni (ante operam) e le aree di pericolosità P1 (bassa) del P.G.R.A.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Figura 27 – Modello 2D del Torrente Fuorni: aree di esondazione per Tr = 200 anni, ante operam.....</i> | <i>39</i> |
| <i>Figura 28 – Modello 2D del Torrente Fuorni: aree di esondazione per Tr = 200 anni, post operam.....</i> | <i>40</i> |
| <i>Figura 29 – Modello 2D del Fiume Picentino: dominio di calcolo e condizioni al contorno.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Figura 30 – Fiume Picentino: idrogrammi di piena di progetto.....</i> | <i>43</i> |
| <i>Figura 31 – Modello 2D del Fiume Picentino: confronto tra le aree di esondazione per Tr = 300 anni (ante operam) e le aree di pericolosità P1 (bassa) del P.G.R.A.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Figura 32 – Modello 2D del Fiume Picentino: aree di esondazione per Tr = 200 anni, ante operam.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Figura 33 – Modello 2D del Fiume Picentino: aree di esondazione per Tr = 200 anni, post operam.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Figura 34 – Modello 2D del Torrente Asa: dominio di calcolo e condizioni al contorno.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Figura 35 – Torrente Asa: idrogrammi di piena di progetto.....</i> | <i>49</i> |
| <i>Figura 36 – Modello 2D del Torrente Asa: confronto tra le aree di esondazione per Tr = 300 anni (ante operam) e le aree di pericolosità P1 (bassa) del P.G.R.A.....</i> | <i>50</i> |
| <i>Figura 37 – Modello 2D del Torrente Asa: aree di esondazione per Tr = 200 anni, ante operam.....</i> | <i>50</i> |
| <i>Figura 38 – Modello 2D del Torrente Asa: aree di esondazione per Tr = 200 anni, post operam.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Figura 39 – Modello 2D del Torrente Fuorni: mappa dei valori dei velocità, per Tr = 200 anni, post operam.....</i> | <i>53</i> |
| <i>Figura 40 – Modello 2D del Fiume Picentino: mappa dei valori dei velocità, per Tr = 200 anni, post operam.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Figura 41 – Modello 2D del Torrente Asa: mappa dei valori dei velocità, per Tr = 200 anni, post operam.....</i> | <i>55</i> |
| <i>Figura 42 – Torrente Fuorni, modello 1D: livello idrico per la portata di cantiere (Tr = 3 anni), in corrispondenza della sezione di attraversamento.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Figura 43 – Fiume Picentino, modello 1D: livello idrico per la portata di cantiere (Tr = 3 anni), in corrispondenza della sezione di attraversamento.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Figura 44 – Torrente Asa, modello 1D: livello idrico per la portata di cantiere (Tr = 3 anni), in corrispondenza della sezione di attraversamento.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Figura 45 – Fiume Picentino, realizzazione del manufatto a U in cls: FASE 1.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Figura 46 – Fiume Picentino, realizzazione del manufatto a U in cls: FASE 2.....</i> | <i>60</i> |
| <i>Figura 47 – Modello 1D del F. Picentino: livello idrico di riferimento per la fase di cantiere 1.....</i> | <i>61</i> |
| <i>Figura 48 – Modello 1D del F. Picentino: livello idrico di riferimento per la fase di cantiere 2.....</i> | <i>61</i> |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabella 1 - Classi di pericolosità idraulica (P.G.R.A. - Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).....</i> | <i>8</i> |
| <i>Tabella 2 – Valori disponibili dei livelli idrici per differenti tempi di ritorno, immediatamente a monte delle opere di attraversamento esistenti della linea FS Salerno-Battipaglia (fonte: P.S.A.I. dell'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele e P.G.R.A. del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).....</i> | <i>15</i> |
| <i>Tabella 3 – Viadotto VI01 (T. Fuorni): verifica del franco idraulico di progetto.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Tabella 4 – Viadotto VI02 (F. Picentino): verifica del franco idraulico di progetto.</i> | <i>47</i> |
| <i>Tabella 5 – Viadotto VI03 (T. Asa): verifica del franco idraulico di progetto.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Tabella 6 – Valori di riferimento della “portata di cantiere”, per i corsi d’acqua di interesse.....</i> | <i>56</i> |

| | | | | | | |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 6 di 65 |

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo “*LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO, COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO, TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO*”. L’intervento ha una estensione di circa 9 km e sarà realizzato in affiancamento alla esistente linea ferroviaria *SALERNO-BATTIPAGLIA*.

Il completamento della Metropolitana di Salerno in progetto si sviluppa all’interno del Bacino Regionale *Destra Sele*, attraversando una serie di corsi d’acqua, maggiori e minori.

Tra questi, il *Torrente Fuorni* (alla prog. 1+591), il *Fiume Picentino* (alla prog. 3+590), il *Torrente Asa* (alla prog. 6+860), il *Torrente Diavoloni* (alla prog. 7+931) rappresentano i corsi d’acqua di maggiore rilievo, in corrispondenza dei quali è prevista la realizzazione di quattro viadotti, rispettivamente *VI01, VI02, VI03, VI04*.

Nel presente documento è riportato lo studio idraulico dei corsi d’acqua *Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa*. Nello specifico, per tali corsi d’acqua è stato implementato un modello numerico bidimensionale, in regime di moto vario, ai fini della determinazione delle aree potenzialmente inondabili (e dei corrispondenti livelli idrici e velocità), per verifica delle condizioni di pericolosità idraulica definite nell’ambito della pianificazione di bacino vigente, nonché della valutazione della compatibilità idraulica delle nuove opere di attraversamento, i.e. viadotti *VI01, VI02, V03*, previste in progetto.

Le analisi sono state condotte in conformità a quanto previsto nell’ambito del *Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.) - Rischio Alluvioni - dell’ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele* (agg. 2017) e del *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico dell’Appennino Meridionale* (II ciclo di pianificazione, agg. Aprile 2020), nonché nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC18), e nella relativa circolare esplicativa n.7/2019, e nel Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI, 2020).

In relazione alle velocità della corrente in alveo e nelle zone golenali, al fine di ripristinare lo stato dei luoghi “ante operam” e/o di migliorare le attuali condizioni di deflusso, sono state definite opportune opere di protezione e sistemazione del fondo alveo e delle sponde in corrispondenza delle nuove opere di attraversamento.

Sono state condotte infine anche le verifiche idrauliche (tramite modelli monodimensionali, in regime di moto permanente) relative alla “*fase di cantiere*”, finalizzate alla definizione della fasizzazione delle lavorazioni necessarie per la realizzazione delle opere di attraversamento e di sistemazione/protezione idraulica.

| | | | | | | |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 7 di 65 |

1.1 Riferimenti normativi

I principali riferimenti normativi per il presente progetto sono rappresentati dai seguenti strumenti di pianificazione:

- *Regio Decreto del 08/05/1904, n.368*
- *Regio Decreto del 25/07/1904 n.523*
- *Legge n. 183/1989, “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”*
- *D.M. del 14 febbraio 1997 “Direttive tecniche per l’individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico”*
- *D.L. n. 180/1998 (Decreto Sarno)*
- *Legge n. 365/2000 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile” (Legge Soverato)*
- *D.Lgs. n. 152/2006 “Norma in materia ambientale”*
- *D.Lgs. n. 49/2010 “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni”*
- *Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.) - Rischio Alluvioni - dell’ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele (agg. 2017) e relative Norme Tecniche di Attuazione*
- *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico dell’Appennino Meridionale (II ciclo di pianificazione, agg. Aprile 2020) e relative Norme Tecniche di Attuazione (NTA)*
- *Nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC2018)*
- *Circolare del 21 gennaio 2019, n.7 del C.S.LL.PP, esplicativa delle NTC 2018*
- *Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie (RFI, 2020)*

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| | Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C |

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idrologica e idraulica dell'area di intervento e la definizione delle relative aree di pericolosità è attualmente riportata nel *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.) - Rischio Alluvioni - dell'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele* (agg. 2017) ed il *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale* (II ciclo di pianificazione, agg. Aprile 2020).

In particolare, sono individuate 3 classi di pericolosità idraulica (*P3 - elevata, P2 - media, P1 - bassa*).

Con riferimento al P.G.R.A. del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, la classe di pericolosità elevata (**P3 – alluvioni frequenti**) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento $Tr \in 20 - 50$ anni ($Tr = 30$ anni, secondo il P.S.A.I. dell'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele).

La classe di pericolosità media (**P2 – alluvioni poco frequenti**) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento $Tr \in 100 - 200$ anni ($Tr = 100$ anni, secondo il P.S.A.I. dell'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele).

La classe di pericolosità bassa (**P1 – alluvioni rare di estrema intensità**) fa riferimento ad un evento di piena raro, caratterizzato da un tempo di ritorno $Tr \in 300 - 500$ anni ($Tr = 300$ anni, secondo il P.S.A.I. dell'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele).

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

| <i>Tr (anni)</i> | <i>Pericolosità idraulica</i> |
|------------------|-------------------------------|
| 20-50 | P3 |
| 100-200 | P2 |
| 300-500 | P1 |

Tabella 1 - Classi di pericolosità idraulica (P.G.R.A. - Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).

Come mostrato nelle figure seguenti, l'intervento in progetto attraversa aree a pericolosità idraulica pre-esistenti, in particolare in corrispondenza degli attraversamenti dei corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa, mappate nei vigenti Piano Stralcio di Assetto idrogeologico (P.S.A.I.) e Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA).

2.1 Obiettivi dello studio

Obiettivo del presente studio idraulico è quindi quello di valutare la compatibilità idraulica delle nuove opere di attraversamento sui corsi d'acqua Torrente Fuorni (VI01), Fiume Picentino (VI02) e Torrente Asa (VI03), nonché della linea ferroviaria nel suo complesso, comprese le opere accessorie (fermate, stazioni, viabilità....).

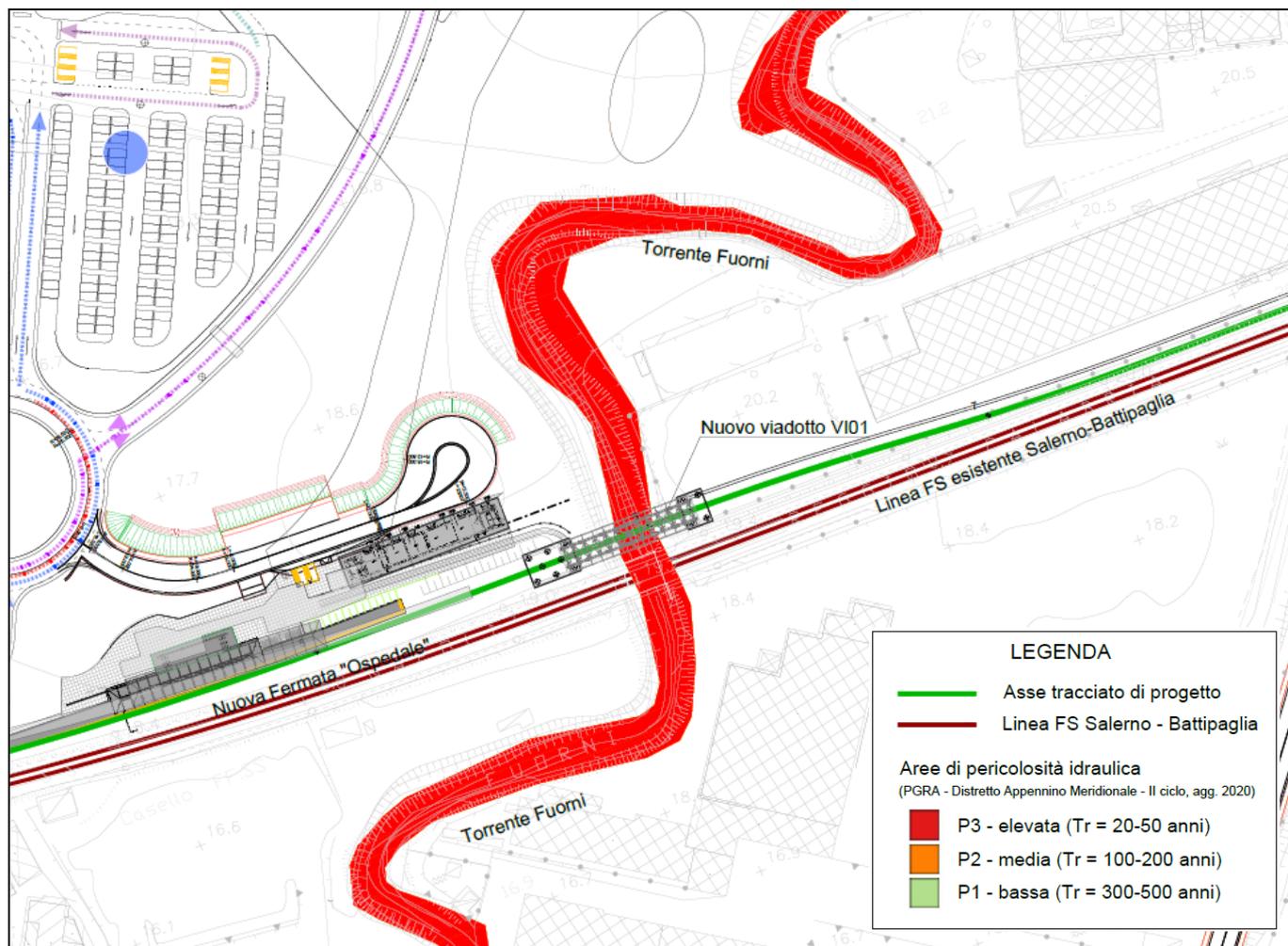


Figura 1 - Torrente Fuorni: aree di pericolosità idraulica (P.G.R.A. - Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento devono osservare le prescrizioni del Manuale di Progettazione Ferroviaria RFI (M_{DP}, 2020), nonché le indicazioni riportate nelle NTC2018 (normativa di riferimento del presente progetto) e nella relativa circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019.

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

- il franco idraulico tra la quota di intradosso del manufatto ed il livello idrico corrispondente alla piena di progetto ($Tr = 200$ anni) non deve essere inferiore a **1.5 m** nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- il franco minimo tra la quota di intradosso del manufatto e la quota di carico idraulico totale ($Tr = 200$ anni) deve essere almeno pari a **50 cm**.

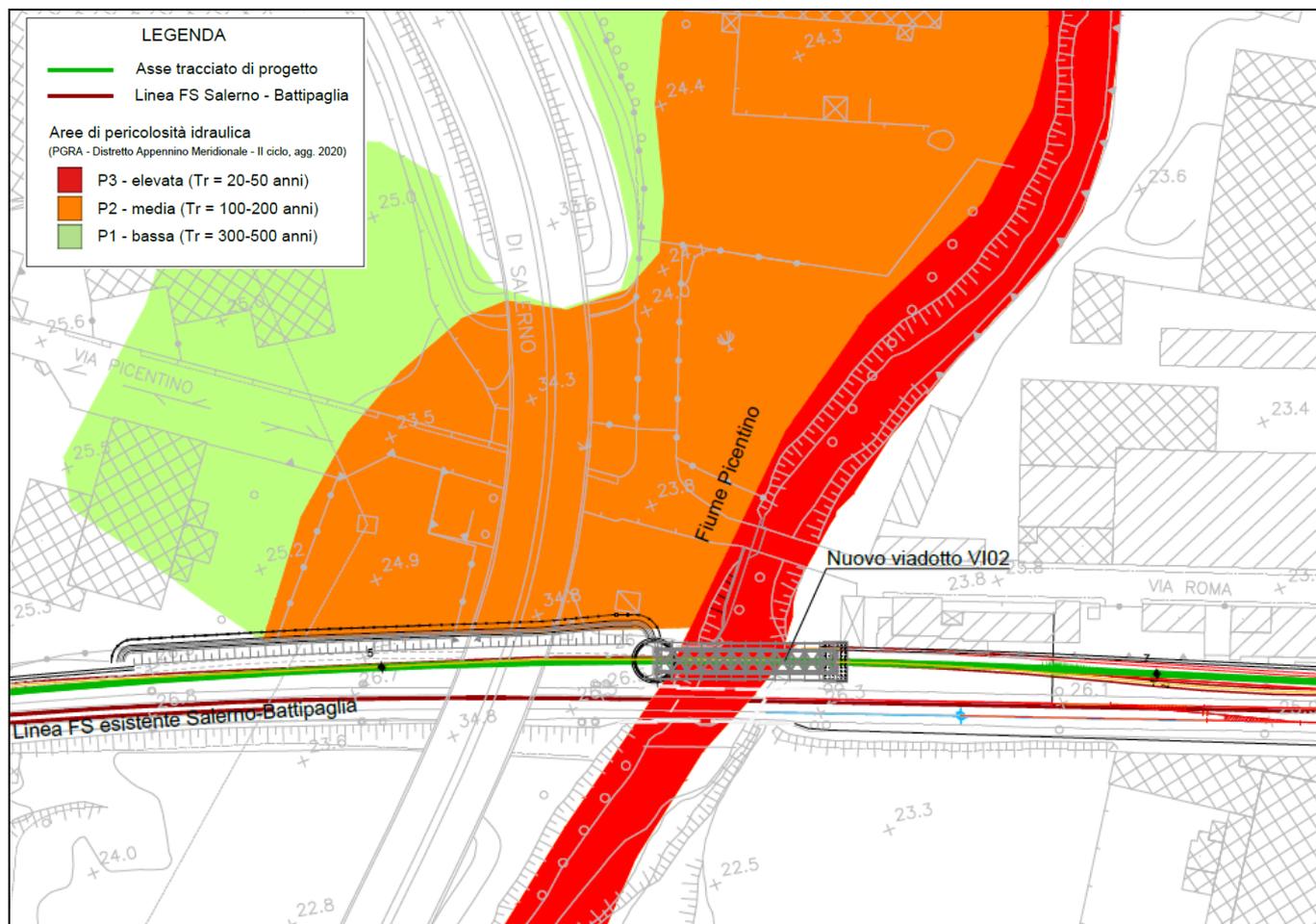


Figura 2 – Fiume Picentino: aree di pericolosità idraulica (P.G.R.A. - Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).

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

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

“..... Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni ($Tr=200$).....Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è

da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione. Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.”

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

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

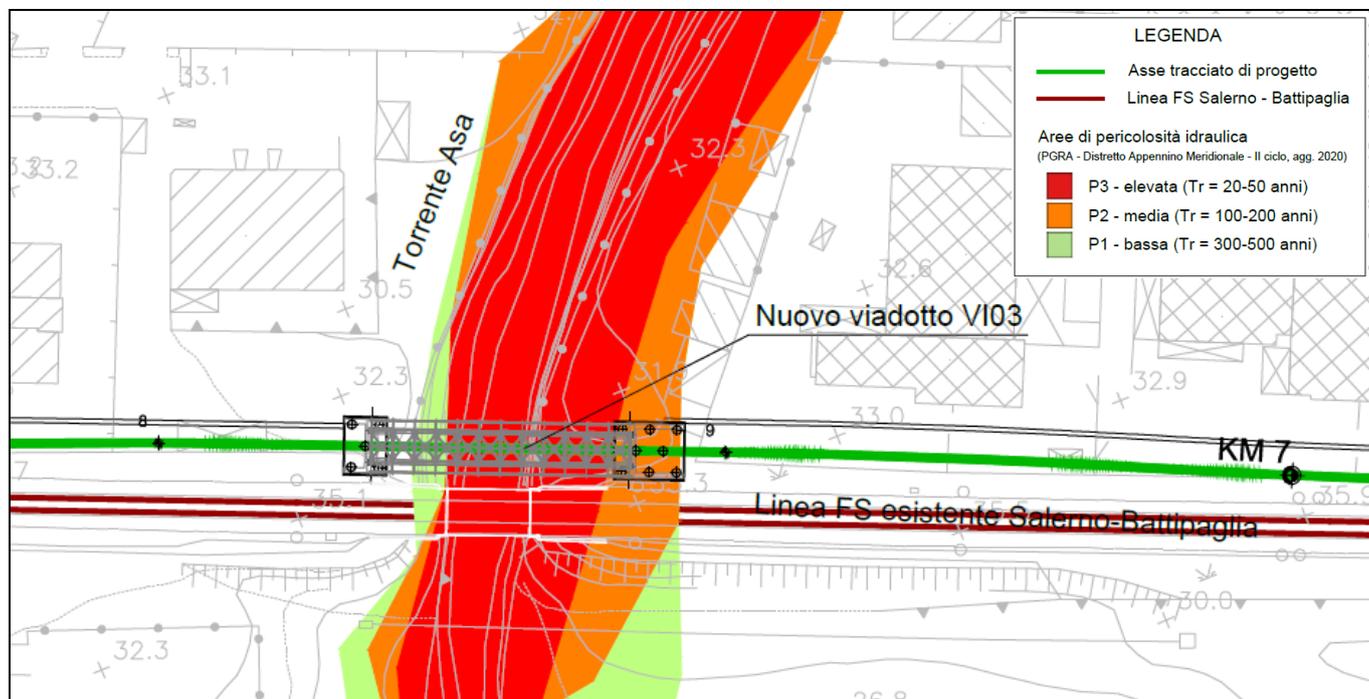


Figura 3 – Torrente Asa: aree di pericolosità idraulica (P.G.R.A. - Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).

| | | | | | | |
|---|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| | Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C |

Con riferimento alle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.) - Rischio Alluvioni - dell'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele* (aggiornamento 2017):

ARTICOLO 40 – “Disciplina per le infrastrutture ed impianti a rete pubblici o di interesse pubblico”

“

Nelle aree classificate a pericolosità e/o rischio idrogeologico, fermo restando quanto previsto dagli artt. 10, 15 e 20, è consentita la realizzazione, l'ampliamento e la ristrutturazione di infrastrutture di trasporto stradale, ferroviario, a fune, a cremagliera ecc..., pubbliche o di interesse pubblico, non altrimenti localizzabili, purché siano soddisfatte le seguenti condizioni relative a ciascuna fattispecie di pericolosità/rischio idrogeologico:

- *nelle aree a pericolosità/rischio idraulico, in corrispondenza degli alvei di piena ordinaria gli attraversamenti stradali e ferroviari siano progettati adeguandosi alle prescrizioni di cui all'allegato G punto 3; in corrispondenza della fascia B1 (compresa tra l'alveo di piena e la linea più esterna tra la congiungente l'altezza idrica h=30 cm delle piene con periodo di ritorno T=30 anni e altezza idrica h=90 cm delle piene con periodo di ritorno T=100 anni) l'asse viario dovrà essere realizzato in modo da non interferire con le aree alluvionabili relative a tale fascia, adeguandosi alle prescrizioni di cui all'allegato G punto 3.1;*

.....”

ARTICOLO 41 – “Studio di compatibilità idraulica/Valutazione pericolosità-rischio residuo”

1. Nei casi espressamente previsti dalle presenti norme, i progetti relativi ad interventi (opere, manufatti, infrastrutture ecc.) ricadenti in aree a pericolosità/rischio idraulico e/o da colata sono corredati da uno studio di compatibilità idraulica, contenente valutazioni e verifiche sull'ammissibilità, la natura e l'importanza qualitativa e quantitativa degli effetti di ciascun progetto sullo scenario idraulico definito negli elaborati costituenti il PAI. Le Amministrazioni preposte all'approvazione dei progetti, prima del rilascio del titolo abilitante alla esecuzione degli interventi, verificano, che i progetti siano corredati, ove richiesto, dal predetto studio di compatibilità debitamente asseverato, da tecnico abilitato, o che sugli stessi sia stato acquisito il preventivo parere dell'Autorità se espressamente previsto dalle presenti norme. Gli studi di compatibilità idraulica sono predisposti secondo le indicazioni dell'allegato C alle presenti norme.

2. Nei casi espressamente previsti dalle presenti norme, i progetti relativi ad interventi di mitigazione che comportano significative variazioni dei livelli di pericolosità/rischio idraulico sono corredati da uno studio idraulico e da una valutazione della pericolosità/rischio residuo secondo le indicazioni di cui all'allegato C alle presenti norme.

Allegato G.3.1 - Attraversamenti aerei e rilevati interferenti con la rete idrografica

“Per la progettazione degli attraversamenti aerei (ponti stradali e ferroviari, ponti canale, ecc.) si richiamano le norme vigenti in cui sono contenuti indirizzi e prescrizioni circa il dimensionamento idraulico dei manufatti (cfr.

| | | | | | | |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 13 di 65 |

punto 5 delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008). Il valore della portata di piena da assumere per le verifiche idrauliche degli attraversamenti aerei è fissata pari a quella con tempo di ritorno di **200 anni** (sia relativa alle portate liquide che alle colate), salvo i casi particolari in cui sia necessario assumere un tempo superiore ovvero in cui le opere di protezione e sistemazione presenti siano dimensionate per un tempo di ritorno superiore. Si dovrà provvedere a valutare se per il corso d'acqua su cui si intende realizzare l'attraversamento sia o meno significativo il trasporto solido di fondo e se esso sia o meno soggetto al transito di colate; nei casi in cui queste dinamiche risultino significative le verifiche idrauliche dovranno essere condotte tenendone conto. Deve essere evitata l'introduzione di pile in alveo, fin tanto che i vincoli tecnici e costruttivi lo permettono. Eventuali pile e le spallette degli attraversamenti devono essere fondate a sufficiente profondità da non essere instabilizzate da variazioni altimetriche dell'alveo connesse alle normali dinamiche morfologiche (in particolare la migrazione delle barre) e dagli scavi localizzati durante gli eventi di piena.

.....

I progetti degli attraversamenti dovranno prevedere, al fini della sicurezza delle stesse strutture, le seguenti verifiche:

- a) franco minimo tra quota di massima piena di progetto e quota di intradosso del ponte pari a **0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1,50-2,00 m** (cfr. Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti del 02/02/2009 n.617- Istruzioni per l'applicazione delle "nuove Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/02/2008);
- b) interasse minimo tra le pile adeguato a non provocare fenomeni di ostruzione;
- c) scalzamento massimo, in corrispondenza delle fondazioni delle pile e delle spalle, che tenga conto dello scalzamento diretto e della tendenza evolutiva dell'alveo tale da non compromettere la stabilità della struttura.

Il progetto dei rilevati in area perifluviale dovrà prevedere le seguenti verifiche:

- a) franco minimo tra quota di massima piena di progetto e quota del piano viabile pari a **0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1,00 m**;
- b) scalzamento massimo ammissibile al piede compatibile con la stabilità del rilevato ed eventuali opere di protezione.

Dovrà essere inoltre verificato che la presenza dell'attraversamento e/o del rilevato non provochi ostruzioni e condizionamenti delle modalità di deflusso dell'alveo di piena incompatibili con le condizioni di sicurezza dell'area circostante e con le caratteristiche delle opere di difesa esistenti. Dovrà pertanto essere condotta la valutazione della compatibilità dei manufatti con l'assetto dell'alveo in termini di:

- a) effetti di restringimento dell'alveo e/o di indirizzamento della corrente;
- b) effetti di rigurgito a monte;

| | | | | | | |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 14 di 65 |

c) compatibilità locale con le opere idrauliche esistenti;

d) effetto di riduzione della capacità di invaso dovuto alla realizzazione dei rilevati.

Per le opere minori di attraversamento (ponticelli e scatolari) il dimensionamento idraulico dei manufatti dovrà considerare e definire i seguenti elementi essenziali:

a) condizioni di deflusso in funzione della portata liquida e solida di progetto;

b) protezione relativa allo sbocco e contro l'erosione.

.....”

In definitiva, in accordo al MdP e alle NTC2018, nonché alle indicazioni riportate nelle NTA del P.S.A.I. dell'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele, è stato sviluppato lo studio di compatibilità idraulica delle nuove opere di attraversamento previste in progetto sui corsi d'acqua Torrente Fuorni (Viadotto VI01), Fiume Picentino (Viadotto VI02) e Torrente Asa (Viadotto VI03), nonché della linea ferroviaria in progetto nel suo complesso, tramite simulazioni numeriche idrauliche bidimensionali (2D) in regime di moto vario, per i tempi di ritorno di **30, 100, 200 e 300 anni**.

| | | | | | | |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 15 di 65 |

3 ANALISI IDRAULICHE DISPONIBILI NELL'AREA DI STUDIO

Relativamente ai corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa, sono disponibili le monografie di calcolo sviluppate dall'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele, riportanti i risultati delle analisi idrauliche, condotte tramite *modelli monodimensionali, in regime di moto permanente*, sulla base dei quali sono state redatte le mappe di pericolosità idraulica a corredo del P.G.R.A. del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale.

Come anzidetto, il tracciato del completamento della Metropolitana di Salerno in progetto si sviluppa in affiancamento all'esistente linea ferroviaria *Salerno-Battipaglia*, idrograficamente a monte di quest'ultima.

Di seguito, si riportano quindi i livelli idrici, per differenti tempi di ritorno, immediatamente a monte delle opere di attraversamento esistenti sulla linea ferroviaria *Salerno-Battipaglia*, dedotti dagli studi disponibili sopra introdotti.

| Corso d'acqua | Livello idrico assoluto (m slm) | | |
|------------------------|--|----------------------|----------------------|
| | Tr = 30 anni | Tr = 100 anni | Tr = 200 anni |
| <i>Torrente Fuorni</i> | 19.00 | 19.81 | 20.76 |
| <i>Fiume Picentino</i> | 21.46 | 21.74 | 21.95 |
| <i>Torrente Asa</i> | 27.82 | 28.30 | 28.70 |

Tabella 2 – Valori disponibili dei livelli idrici per differenti tempi di ritorno, immediatamente a monte delle opere di attraversamento esistenti della linea FS Salerno-Battipaglia (fonte: P.S.A.I. dell'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele e P.G.R.A. del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale).

Nella figure seguenti, si riportano (a titolo di confronto con gli studi condotti nell'ambito del presente progetto) gli stralci dei risultati in termini di profili di rigurgito ottenuti negli studi idraulici disponibili precedentemente descritti, relativi alle simulazioni numeriche effettuate per il Fiume Picentino ed il Torrente Asa.

Con riferimento al Torrente Fuorni, negli ultimi anni, sia nel tratto medio che in quello vallivo del corso d'acqua, si sono spesso verificati episodi di alluvione in occasione degli eventi meteorici più intensi, che hanno comportato danni considerevoli alle sponde e l'allagamento di ampie fasce di territorio, con conseguenti danni alle colture ed alle strutture delle aziende esistenti limitrofe.

E' previsto pertanto un progetto di sistemazione idraulica e messa in sicurezza del Torrente Fuorni (dall'importo complessivo di 24 mln di euro circa), finanziato dalla Regione Campania, che prevede la realizzazione di specifici interventi atti a ridurre le condizioni di pericolosità/rischio idraulico dell'area, in ragione anche della futura costruzione del nuovo complesso ospedaliero "*San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona*", per il quale è prevista la realizzazione della nuova "*Fermata Ospedale*" nell'ambito del presente progetto di Completamento della Metropolitana.

In particolare, gli interventi previsti per la risoluzione dei problemi di esondazione del Torrente Fuorni consistono nella realizzazione di *a)* uno sbarramento in terra, in località Molino del Pigno, che darà luogo alla formazione di una vasca di laminazione delle portate di piena, la cui massima capacità è di circa 250.000 m³; *b)* una galleria in destra idraulica del corso d'acqua per l'adduzione, a valle dello sbarramento, delle correnti idriche ordinariamente

defluenti nell'alveo; c) di due briglie, a monte dello sbarramento, per formare i "laghetti" di monte; d) di uno scarico di superficie a servizio dello sbarramento; e) un canale disposto in prosecuzione rispetto a quello di sfioro; f) un bacino di dissipazione ubicato alla fine del canale di cui al precedente punto e), nel quale la corrente idrica dissipa il carico energetico in eccesso, e dal quale si diparte il canale di restituzione in alveo; g) opere di sistemazione delle sezioni dell'alveo nel tratto compreso tra lo sbarramento e la foce, al fine del suo adeguamento alle portate massime, soggette a laminazione, che vi possono confluire in occasione degli eventi di piena; h) di due pennelli alla foce, che si introducono a mare per circa 20 m.

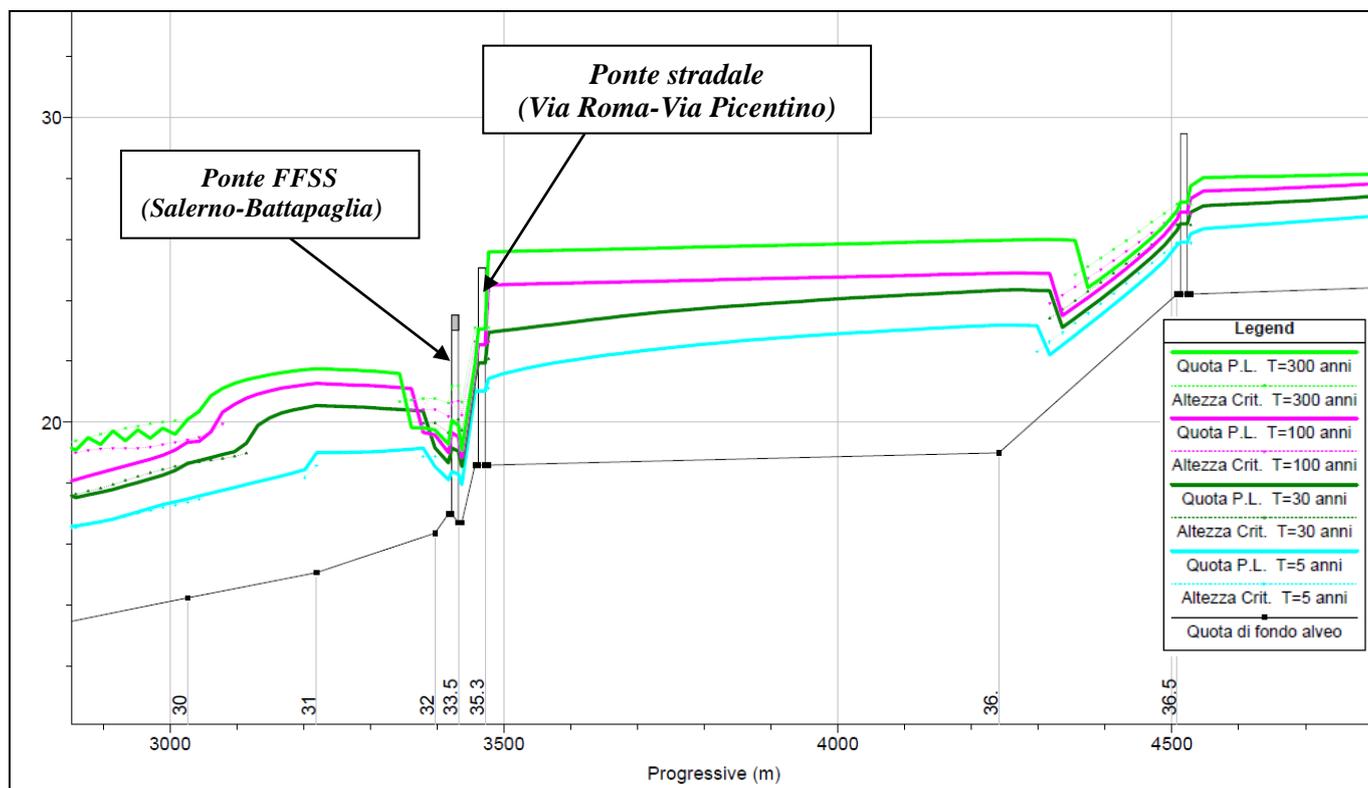


Figura 4 – Fiume Picentino: stralcio dei risultati in termini di profili di rigurgito ottenuti negli studi idraulici disponibili.

Gli interventi descritti ai punti g) e h) sono stati realizzati nell'ambito del "Primo Lotto Funzionale" (Lavori appaltati, Consegna 04/04/07, Durata 600 gg), per un importo di 3 mln di euro, e hanno interessato il tratto terminale del Torrente Fuorni, dalla foce verso monte per un tratto di 900 metri, fino al ponte di Via Tommaso Prudenza. Nello specifico, le opere di sistemazione realizzate sono finalizzate ad incrementare l'efficienza idraulica del Torrente Fuorni da 71 m³/s a 112 m³/s.

Nel 2010 (con determina dirigenziale n.653 del 18/02/2010 del Comune di Salerno), è stato approvato il Progetto Esecutivo dell'intervento di "Messa in sicurezza del Torrente Fuorni – Il lotto – 1° Stralcio" (per un importo di 3 mln di euro), riguardante l'estensione degli interventi di sistemazione idraulica al tratto di corso d'acqua compreso tra Via Prudenza e la SS18, nel quale è ricompreso anche l'attraversamento ferroviario esistente della linea Salerno-Battapaglia. La realizzazione di tali interventi si è conclusa negli anni 2015-2016.

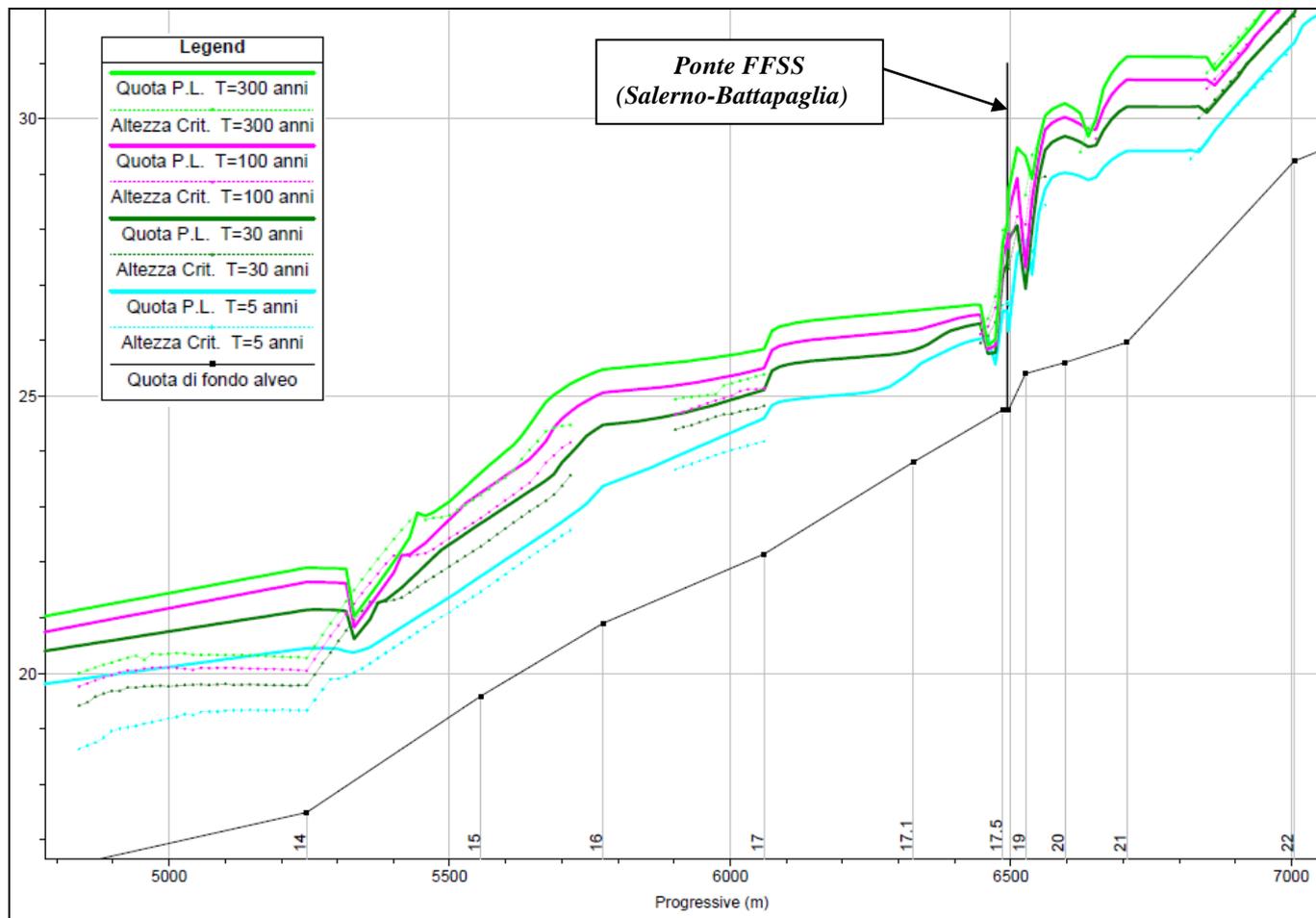


Figura 5 – Torrente Asa: stralcio dei risultati in termini di profili di rigurgito ottenuti negli studi idraulici disponibili.

A tal proposito, si riporta (sempre a titolo di confronto con gli studi condotti nel presente progetto) uno stralcio dei risultati in termini di profili di rigurgito ottenuti (a mezzo di un modello monodimensionale, nel caso di deflusso della portata di progetto degli interventi di sistemazione idraulica di I e II lotto, $112 \text{ m}^3/\text{s}$) nell'ambito degli studi condotti dal Comune di Salerno (2017) relativi a "Proposta di ripermimetrazione delle aree latitanti il Torrente Fuorni, come risultanti dall'insieme degli interventi di sistemazione idraulica eseguiti nel tratto medio-vallivo fino a tutto il 31.12.2015".

Relativamente ai rimanenti interventi previsti per la messa in sicurezza del T. Fuorni (i.e. l'opera di sbarramento), non vi sono informazioni circa il loro finanziamento. Pertanto, in ragione anche del fatto che la vasca di laminazione possa trovarsi già piena al verificarsi di un evento estremo, tali interventi non sono stati considerati nelle analisi idrauliche sviluppate nell'ambito del presente progetto, di seguito descritte.

Sono prese in considerazione invece le opere di sistemazione in alveo del I e del II lotto di cui sopra, nelle condizioni di manutenzione rilevate in sito al momento dello sviluppo e della redazione del presente progetto.

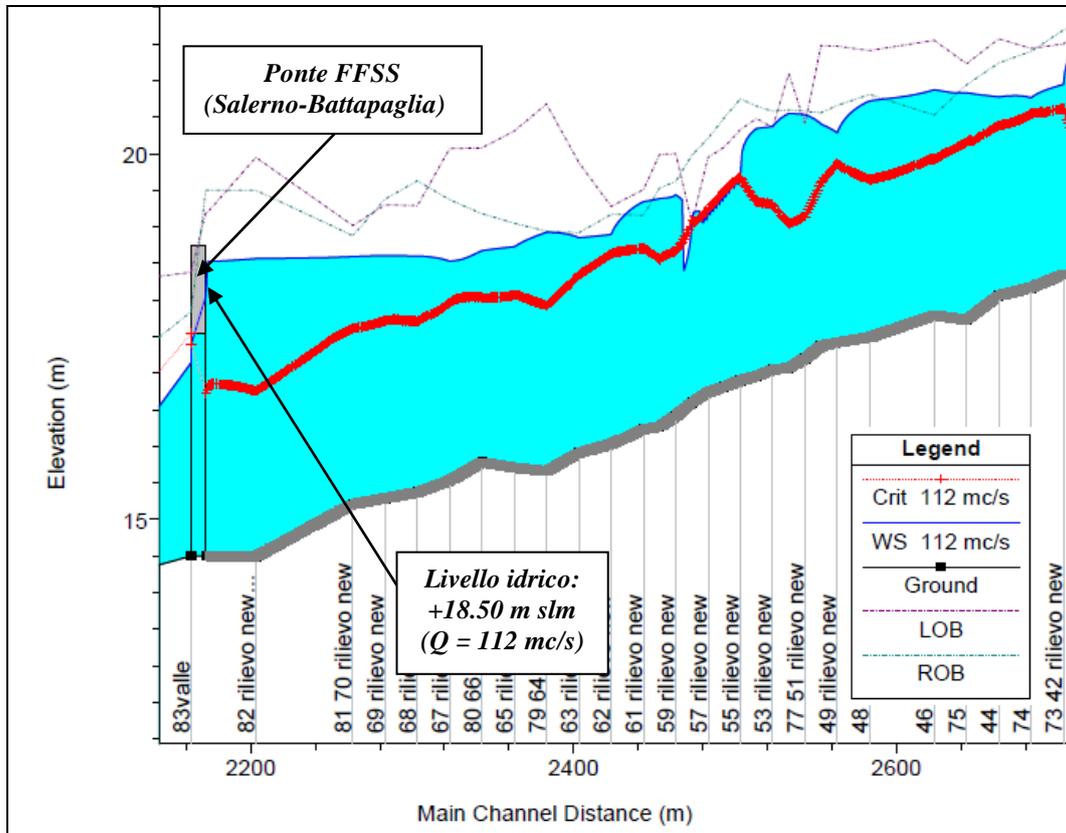


Figura 6 – Torrente Fuorni: stralcio dei risultati in termini di profili di rigurgito ottenuti negli studi idraulici disponibili.

| | | | | | | |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 19 di 65 |

4 STUDIO IDRAULICO

4.1 Generalità

Con riferimento ai corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa, sono stati sviluppati i corrispondenti modelli (numerici) idraulici bidimensionali (2D), in regime di moto vario, tramite il software HecRas 5.0.7, finalizzati alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili (per le portate di piena di riferimento) in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto (viadotti VI01, VI02, VI03).

Per tali corsi d'acqua, sono stati inoltre implementati i modelli idraulici (numerici) monodimensionali (1D), in regime di moto permanente, tramite sempre il software HecRas 5.0.7, ai fini dello studio delle fasi di cantiere relative alla realizzazione dei viadotti VI01, VI02, VI03, nonché delle opere di protezione/sistemazione idraulica previste.

4.2 Dati di base

I dati cartografici e topografici a disposizione per l'implementazione dei modelli numerici sopra introdotti sono:

- Cartografia Regionale (CTR) 1:5000 in formato vettoriale;
- Rilievo celeri metrico 3D della linea FS esistente Salerno-Battipaglia;
- Rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1x1 m, fornito dal Ministero dell'Ambiente;
- Rilievo di sezioni (batimetriche) trasversali lungo i corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa, e delle relative opere di attraversamento esistenti;
- Sezioni trasversali del Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa riportate negli studi idraulici disponibili, sopra descritti.

Il confronto tra le diverse informazioni, ed in particolare tra le sezioni trasversali dell'alveo rilevate durante apposite campagne topografiche ed i rilievi LiDAR, ha permesso, nell'implementazione dei modelli numerici sviluppati, di utilizzare i datipiù aggiornati, che riproducessero maggiormente le attuali condizioni in alveo e nelle aree golenali, potenzialmente inondabili.

4.2.1 Opere di attraversamento esistenti e in progetto

4.2.1.1 Torrente Fuorni

La linea ferroviaria in progetto attraversa il Torrente Fuorni alla pk 1+591 tramite il viadotto VI01, costituito di un'unica campata, a travata metallica, di luce pari a 38 metri circa.

La nuova opera di attraversamento scavalca (VI01) completamente il corso d'acqua; le spalle e le corrispondenti opere di fondazione, nonché gli scavi necessari per la loro realizzazione, non interferiscono con la sezione naturale di deflusso. La quota minima di intradosso si attesta a +19.83 m slm.

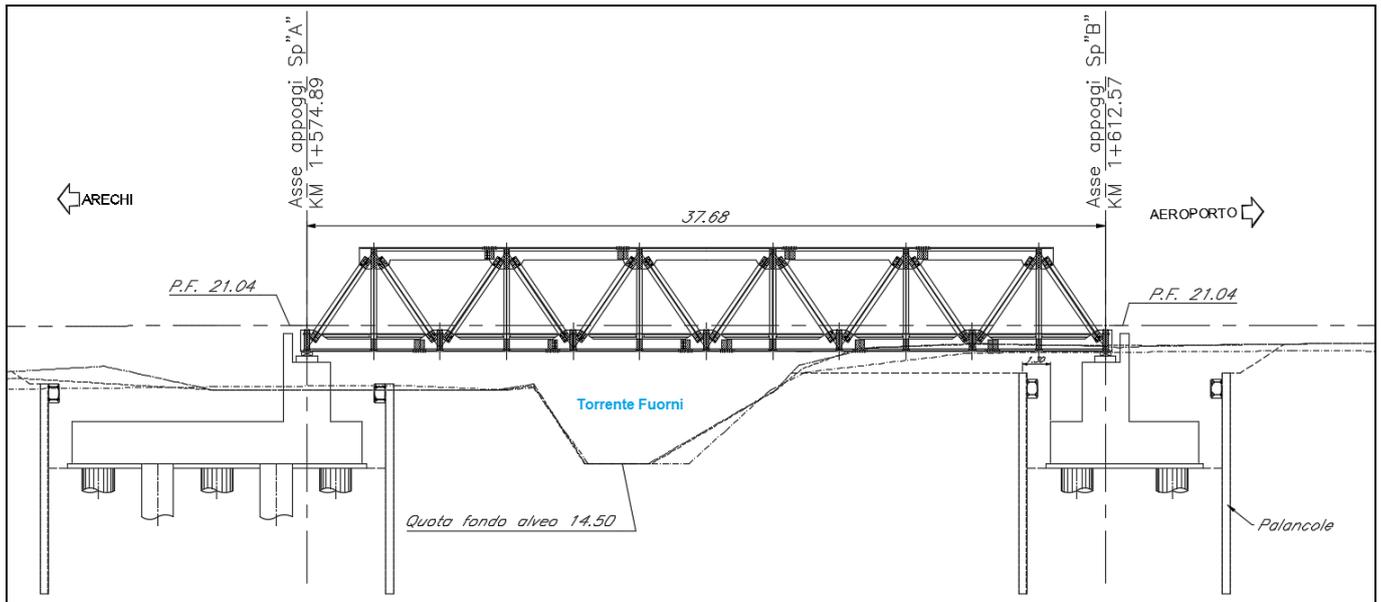


Figura 7 – Viadotto VI01 sul Torrente Fuorni: prospetto.

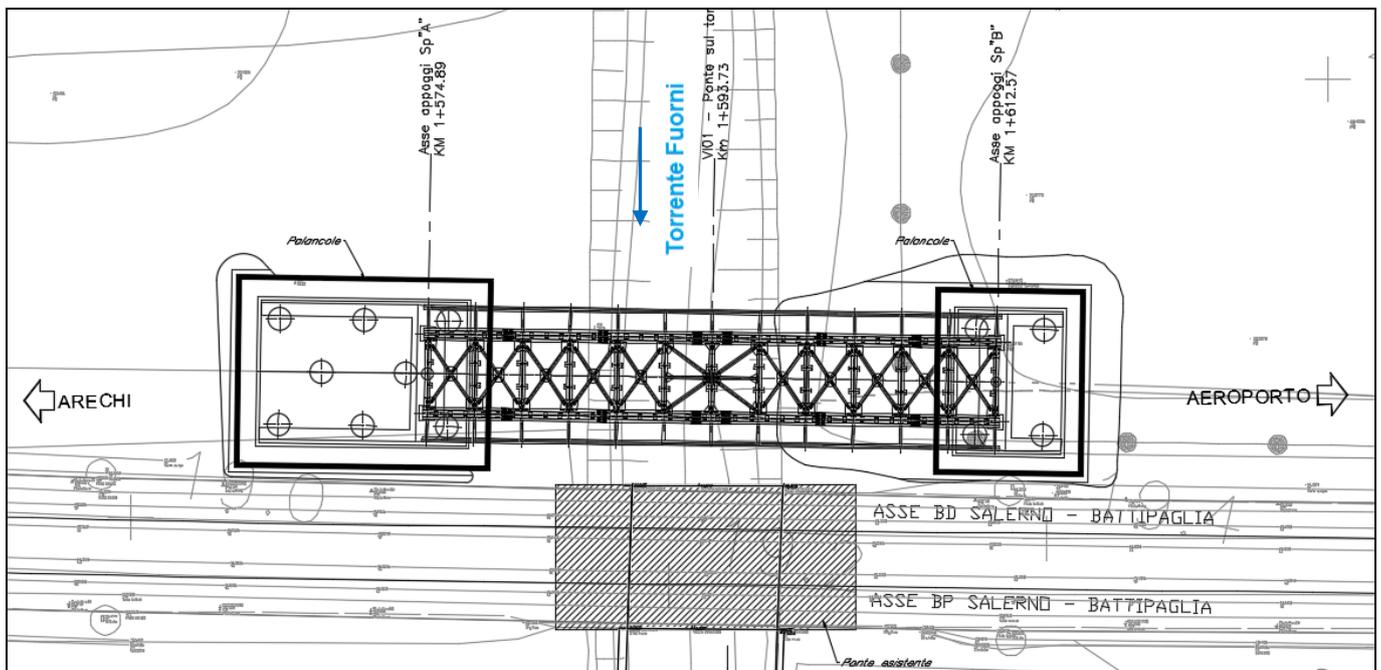


Figura 8 – Viadotto VI01 sul Torrente Fuorni: pianta.

| | | | | | | |
|---|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| | Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C |

Il nuovo viadotto VI01 sarà realizzato a monte dell'attuale opera di attraversamento della linea ferroviaria esistente *Salerno-Battipaglia*, costituita da un manufatto scatolare di dimensioni 3.2 m x 10 m (altezza x larghezza), con quota di intradosso pari a +17.60 m slm.



Figura 9 – Opera ferroviaria esistente (linea FS Salerno - Battipaglia) sul Torrente Fuorni.

4.2.1.2 Fiume Picentino

La linea ferroviaria in progetto attraversa il Fiume Picentino alla pk 3+590 tramite il viadotto VI02, costituito di un'unica campata, a travata metallica, di luce pari a 45.60 metri.

La nuova opera di attraversamento (VI02) scavalca completamente il corso d'acqua; le spalle e le corrispondenti opere di fondazione, nonché gli scavi necessari per la loro realizzazione, non interferiscono con la sezione naturale di deflusso. La quota minima di intradosso si attesta a +25.76 m slm.

Il nuovo viadotto VI02 sostituirà l'esistente ponte ferroviario in disuso (per il quale ne è prevista la demolizione), che si trova a monte del ponte della linea FS esistente *Salerno-Battipaglia*. Quest'ultimo è costituito di due campate, con luce di circa 10 metri e pila centrale in alveo, di larghezza pari a tre metri (quota di intradosso: +24.5 m slm). Il ponte ferroviario esistente in disuso è della stessa tipologia di quello della linea FS esistente *Salerno-Battipaglia* (quota di intradosso: +24.3 m slm). Inoltre, a monte del ponte ferroviario esistente in disuso, e quindi del nuovo viadotto VI02, vi è il ponte stradale di Via Roma/Via Picentino.

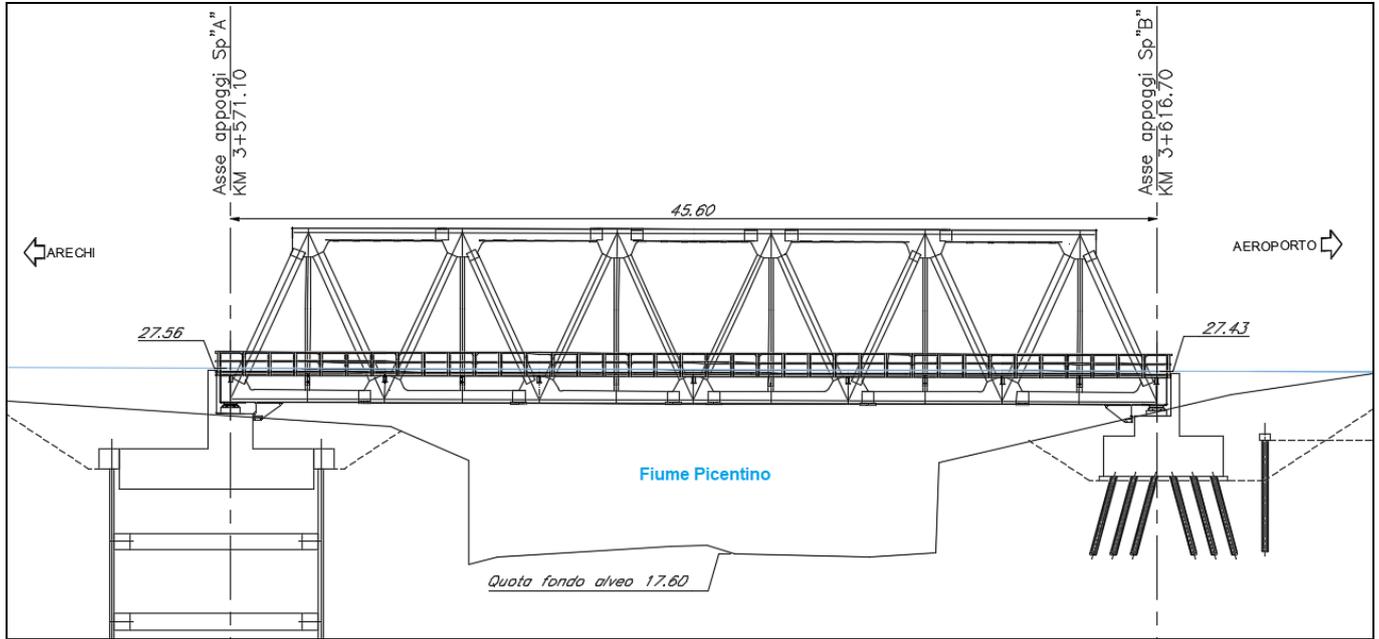


Figura 10 – Viadotto VI02 sul Fiume Picentino: prospettiva.

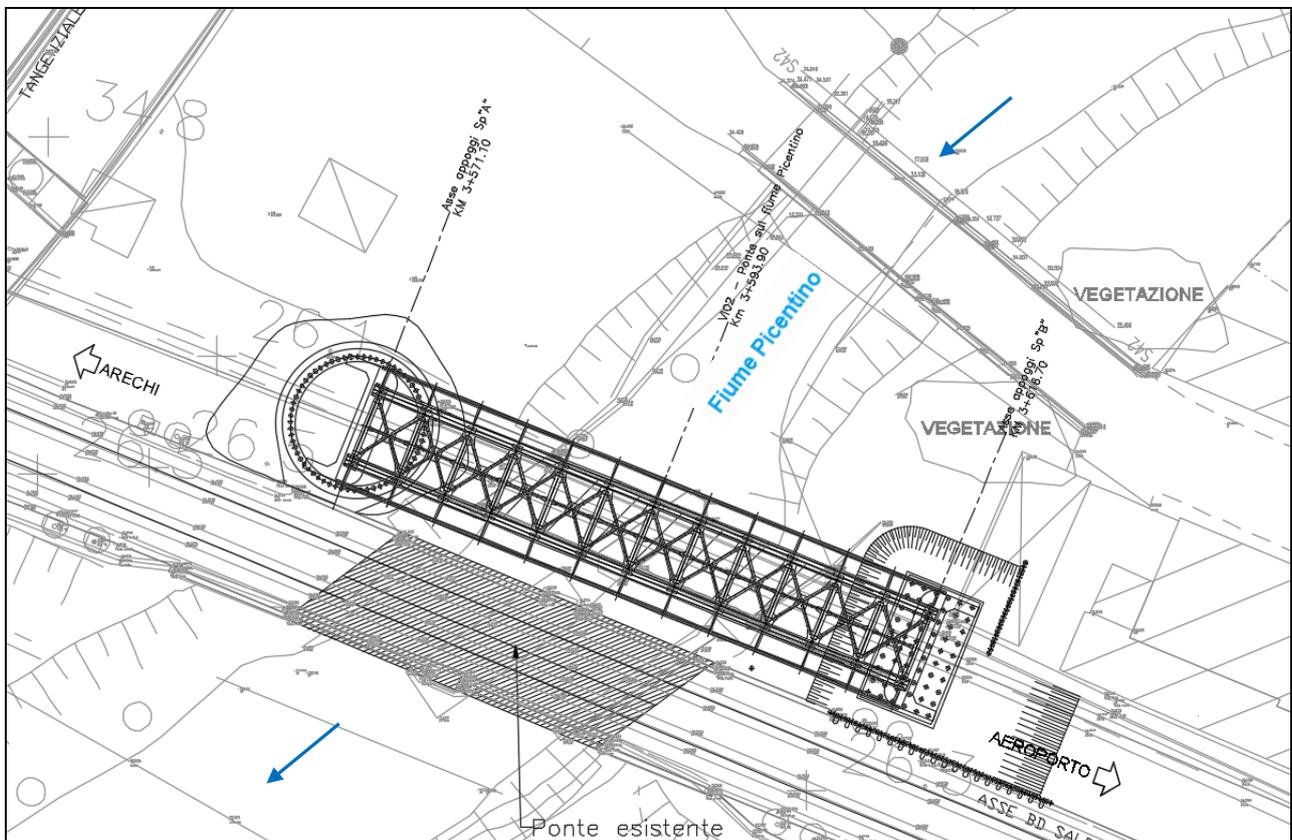


Figura 11 – Viadotto VI02 sul Fiume Picentino: pianta.



Figura 12 – Ponte ferroviario in disuso sul Fiume Picentino.



Figura 13 – Ponte esistente della linea FS Salerno-Battipaglia sul Fiume Picentino.



Figura 14 – Fiume Picentino: ponte stradale di via Roma/via Picentino, a monte dei due ponti ferroviari.

4.2.1.3 Torrente Asa

La linea ferroviaria in progetto attraversa il Torrente Asa alla pk 6+860 tramite il viadotto VI03, costituito di un'unica campata, a travata metallica, di luce pari a 45.60 metri.

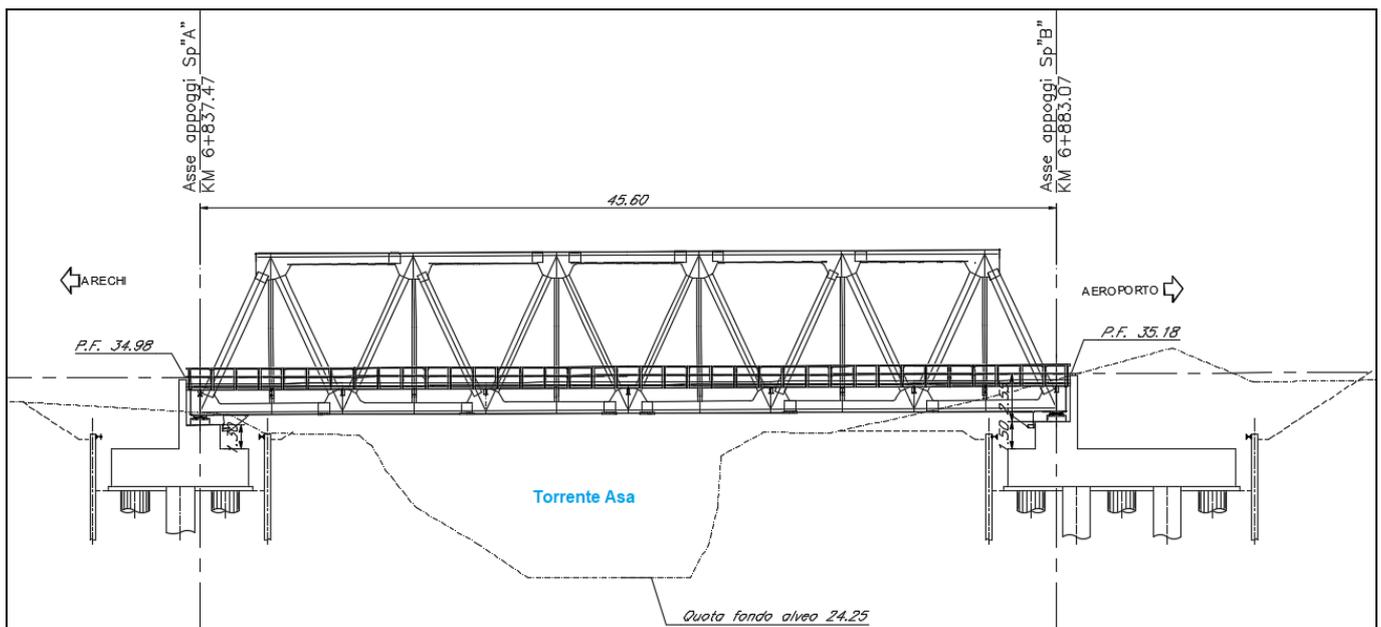


Figura 15 – Viadotto VI03 sul Torrente Asa: prospetto.

La nuova opera di attraversamento (VI03) scavalca completamente il corso d'acqua; le spalle e le corrispondenti opere di fondazione, nonché gli scavi necessari per la loro realizzazione, non interferiscono con la sezione naturale di deflusso. La quota minima di intradosso si attesta a +33.03 m slm. Il nuovo viadotto VI03 sarà realizzato inoltre a monte dell'attuale opera di attraversamento della linea ferroviaria esistente *Salerno-Battipaglia*, costituita da un ponte ad arco con luce pari a 15 metri ed altezza pari a 8.3 m circa (con quota di intradosso: +32.15 m slm).

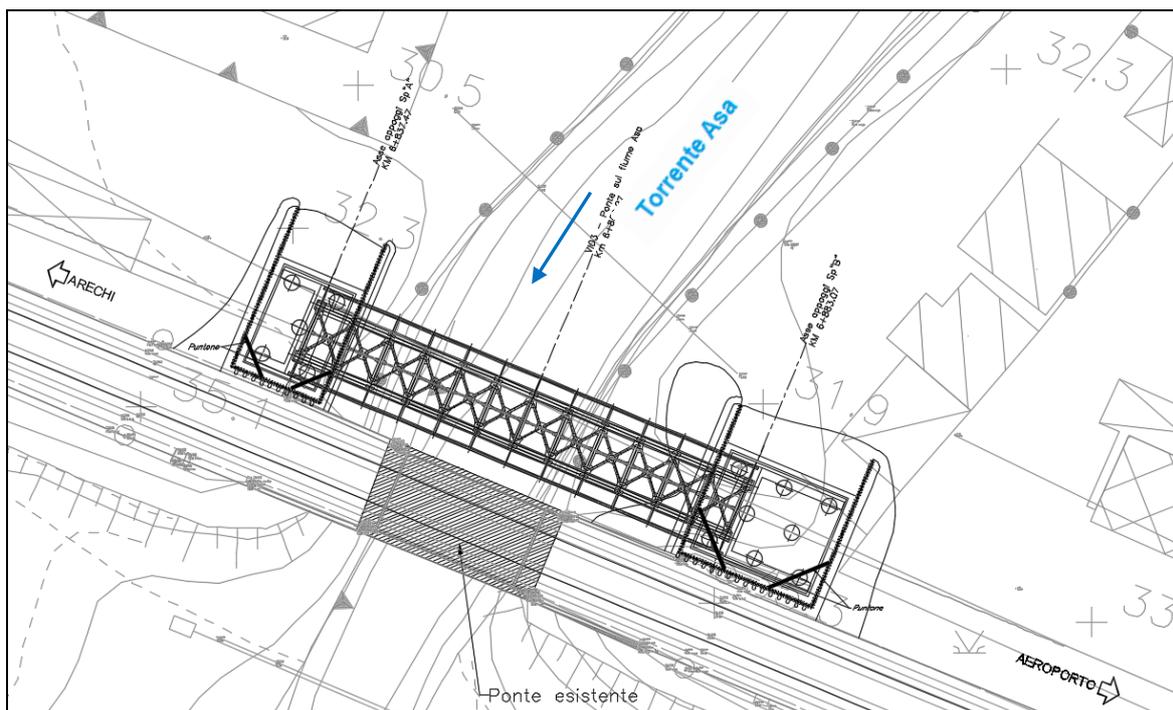


Figura 16 – Viadotto VI03 sul Torrente Asa: pianta.



Figura 17 – Opera ferroviaria esistente (linea FS Salerno - Battipaglia) sul Torrente Asa.

| | | | | | | |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 26 di 65 |

4.3 Implementazione dei modelli numerici

4.3.1 Modello bidimensionale (2D)

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione dei modelli bidimensionali dei corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa, è il software Hec-Ras 5.0.7 sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione del software Hec Ras sono:

- Modellazione combinata 1D e 2D che prevede la possibilità di eseguire una simulazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario che permettendo di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando come sopra descritto la modellazione 1D per l'alveo, e la modellazione 2D aree inondabili esterne.
- Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
- Algoritmo di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.
- Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo permettendo una perfetta coerenza a ogni step tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia.
- Maglie computazionali strutturate e non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.

- Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: All'interno di HEC-RAS le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborato per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale dove vengono elaborate in tabelle che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle) basandosi su questi dati. Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molti grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.
- Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni: La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS-Mapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte.
- Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori saranno in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.
- Motori di calcolo a 64 e 32 bit: **HEC-RAS** è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit

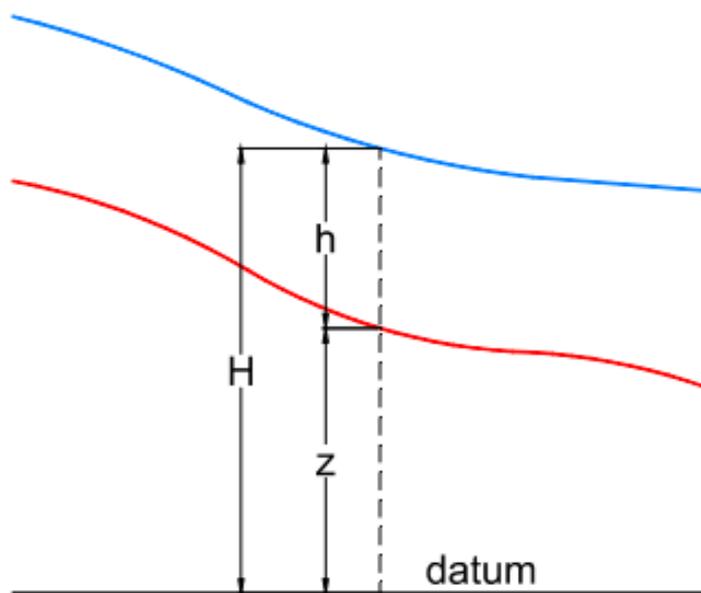


Figura 18 – Software Hec Ras 5.0.7: sistema di riferimento.

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti. Si riporta di seguito il sistema di riferimento di HEC-RAS 2D, ove la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$, l'altezza idrica con $h(x,y,t)$ e l'altezza del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$ (Figura 18).

Conservazione della massa: assumendo il fluido incomprimibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial (h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x e y , e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni od uscite di acqua.

Conservazione della quantità di moto: quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes. In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

in cui oltre ai simboli già illustrati, g è l'accelerazione di gravità, v_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, c_f è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis.

Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, $|V|$ è il modulo del vettore velocità, C è il coefficiente di Chézy e R è il raggio idraulico. Utilizzando la formula di Manning $C = R^{1/6}/n$, in cui n è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g \cdot |V|}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli.

Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla

risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo infatti in fase di pre-processing viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa.

Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

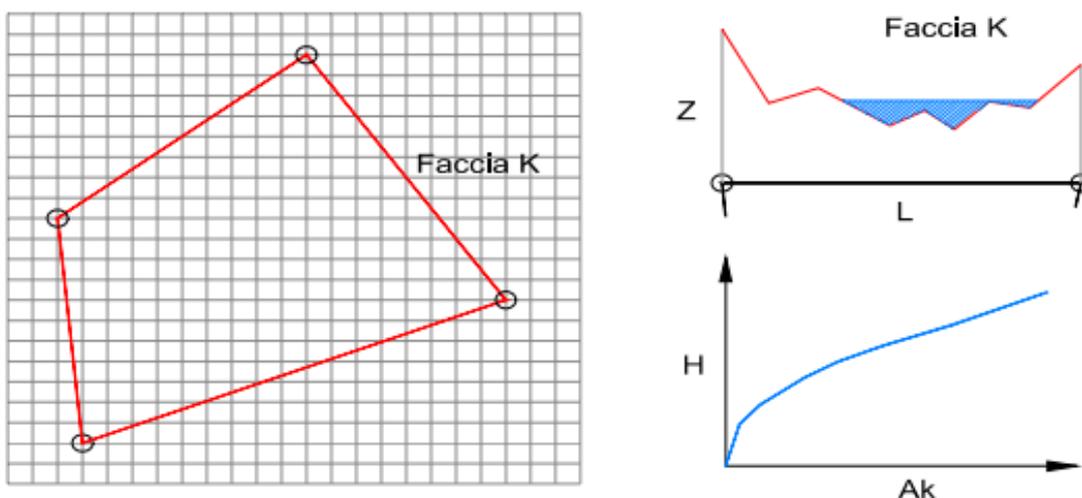


Figura 19 – Software Hec Ras 5.0.7: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Hec Ras sulle facce del bordo della cella.

4.3.2 Modello monodimensionale (1D)

Come anticipato, per la simulazione e la verifica delle fasi di cantiere dei viadotti in progetto VI01 (Torrente Fuorni), VI02 (Fiume Picentino) e VI03 (Torrente Asa) si è fatto riferimento allo schema numerico monodimensionale, in regime di moto permanente, implementato tramite sempre 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 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 ragguaglio delle altezze cinetiche o di Coriolis; g l'accelerazione di gravità; h_e la perdita di carico totale nel tratto.

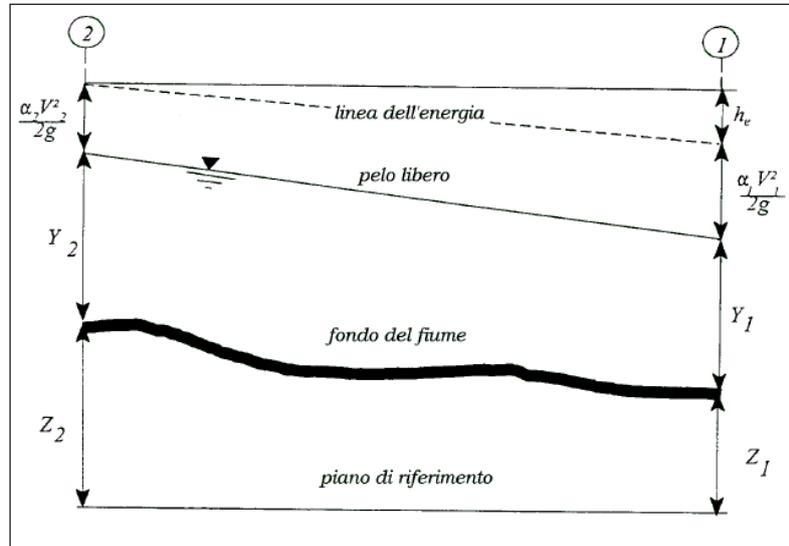


Figura 20– Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d'acqua.

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.

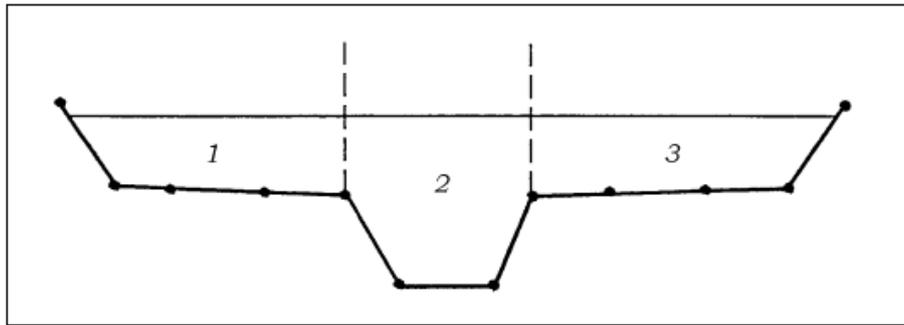


Figura 21 - Sezione schematica di un corso d'acqua.

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 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 \bar{j} e si risolve l'equazione seguente per il valore di h_e .

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

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

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| | Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C |

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

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.

4.4 Simulazioni numeriche delle onde di piena

4.4.1 Torrente Fuorni

4.4.1.1 Geometria del modello

In analogia allo studio idraulico condotto dal Comune di Salerno (rif. “*Proposta di ripermetrazione delle aree latitanti il Torrente Fuorni, come risultanti dall'insieme degli interventi di sistemazione idraulica eseguiti nel tratto medio-vallivo fino a tutto il 31.12.2015*”, Aprile 2017), il dominio di calcolo è stato suddiviso in due ampie aree sulla base dei seguenti dati:

- andamento delle quote topografiche, avendo escluso le zone caratterizzate da quote decisamente superiori a quelle delle sponde del Fuorni;
- estensione delle aree allagabili individuate in fase di redazione del P.S.A.I.;
- ostacoli fisici insormontabili.

Le caratteristiche geometriche della zona di interesse (in seguito definita dominio di calcolo) sono riportate all'interno del modello idraulico numerico 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.

Nello specifico, il modello idraulico del Torrente Fuorni ha una estensione massima di circa 6 km (comprese entrambe le mesh di calcolo). Il dominio di calcolo (totale) ha una superficie di circa 7 km². La geometria del modello è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l'area di studio, sopra descritti.

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 Hec Ras, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

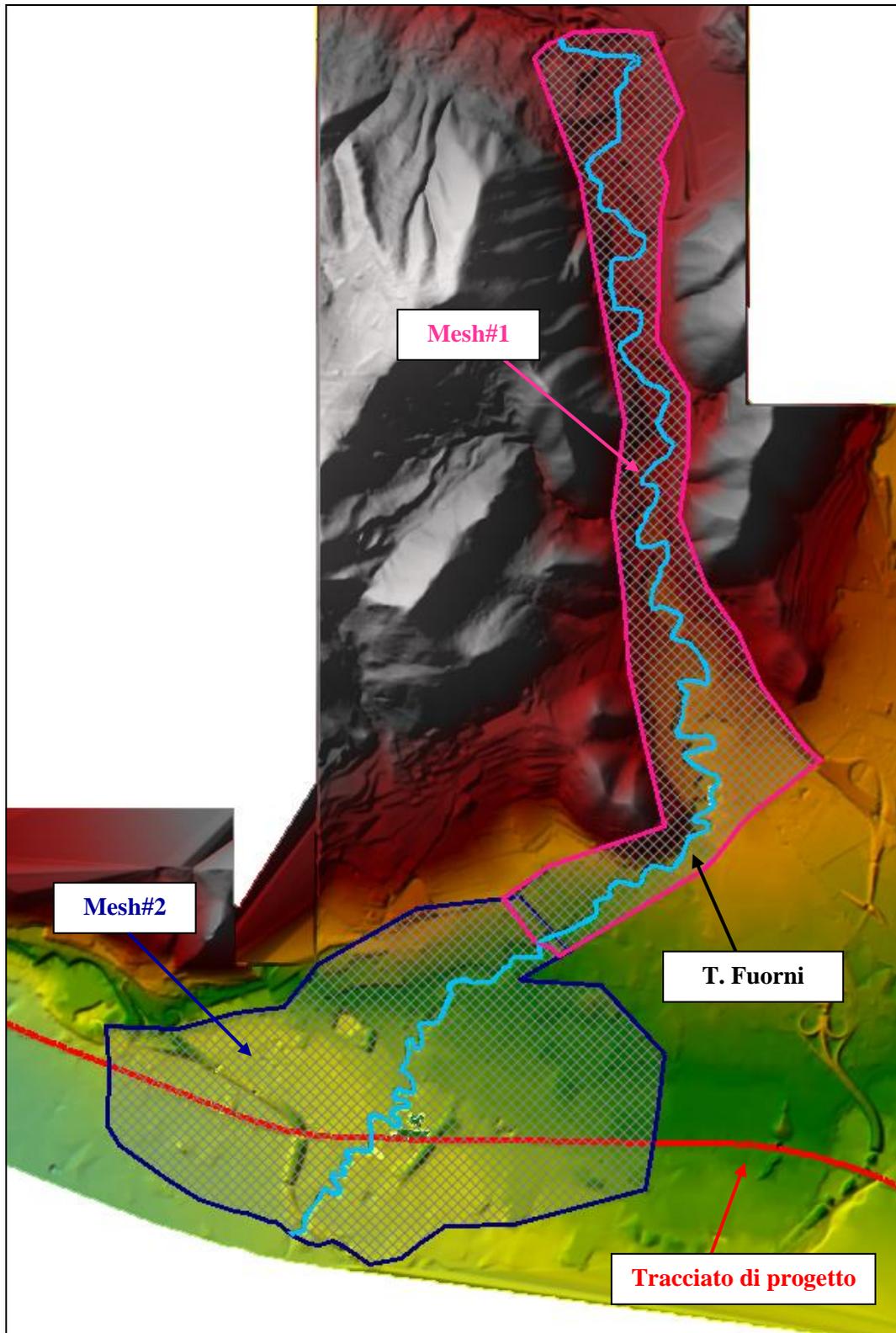


Figura 22 – Modello 2D del Torrente Fuorni: dominio di calcolo.

| | | | | | | |
|---|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| | Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C |

La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 50 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 0.5 m² (per una dimensione media di circa 23 m²). Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione degli elementi è pari a 2x2 m².

Il viadotto in progetto nonché le opere di attraversamento esistenti sul T. Fuorni sono state implementate tramite appositi elementi disponibili nel software di calcolo (HecRas). Nello specifico, la riproduzione di un ponte è ottenuta mediante l'utilizzo di una "2D flow areas connection" (tramite cui viene estratta dal DTM di base la sezione d'alveo) lungo la quale viene definito il "weir/embankment" e le aperture/luci dell'attraversamento (culverts).

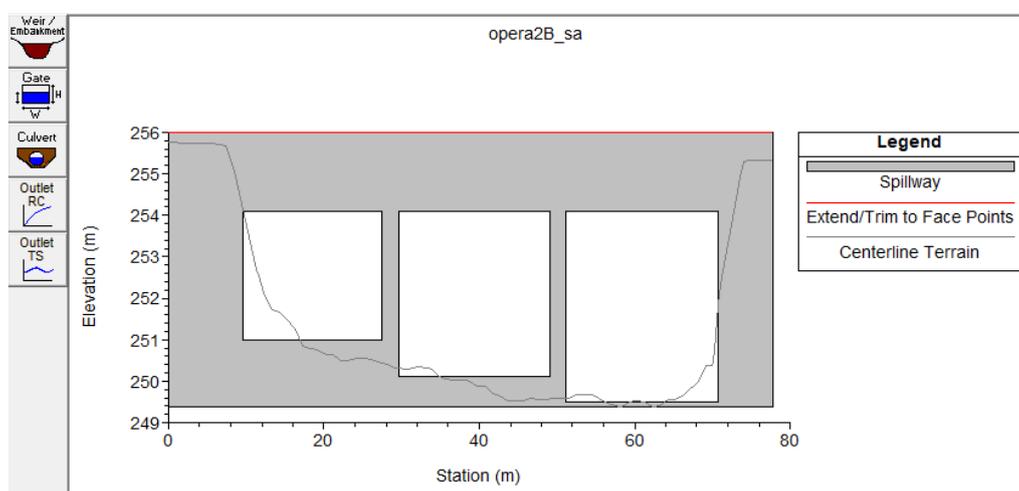


Figura 23 – Implementazione delle opere di attraversamento in Hec Ras 2D.

4.4.1.2 Scabrezze

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning, n), in analogia alle simulazioni condotte nell'ambito del P.S.A.I. dall'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele, sopra descritte, sono stati adottati i seguenti valori:

- per l'alveo inciso, $n = 0.035 \text{ s/m}^{1/3}$;
- per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili, $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$.

Valori ritenuti cautelativi e adatti a rappresentare le condizioni "attuali" dell'alveo.

4.4.1.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno assegnate sono schematicamente rappresentate in figura. Nello specifico, gli idrogrammi di riferimento imposti come condizione al contorno di monte del dominio di calcolo denominato "Mesh#1" sono quelli ricavati nello studio idrologico annesso, al quale si rimanda per maggiori dettagli.

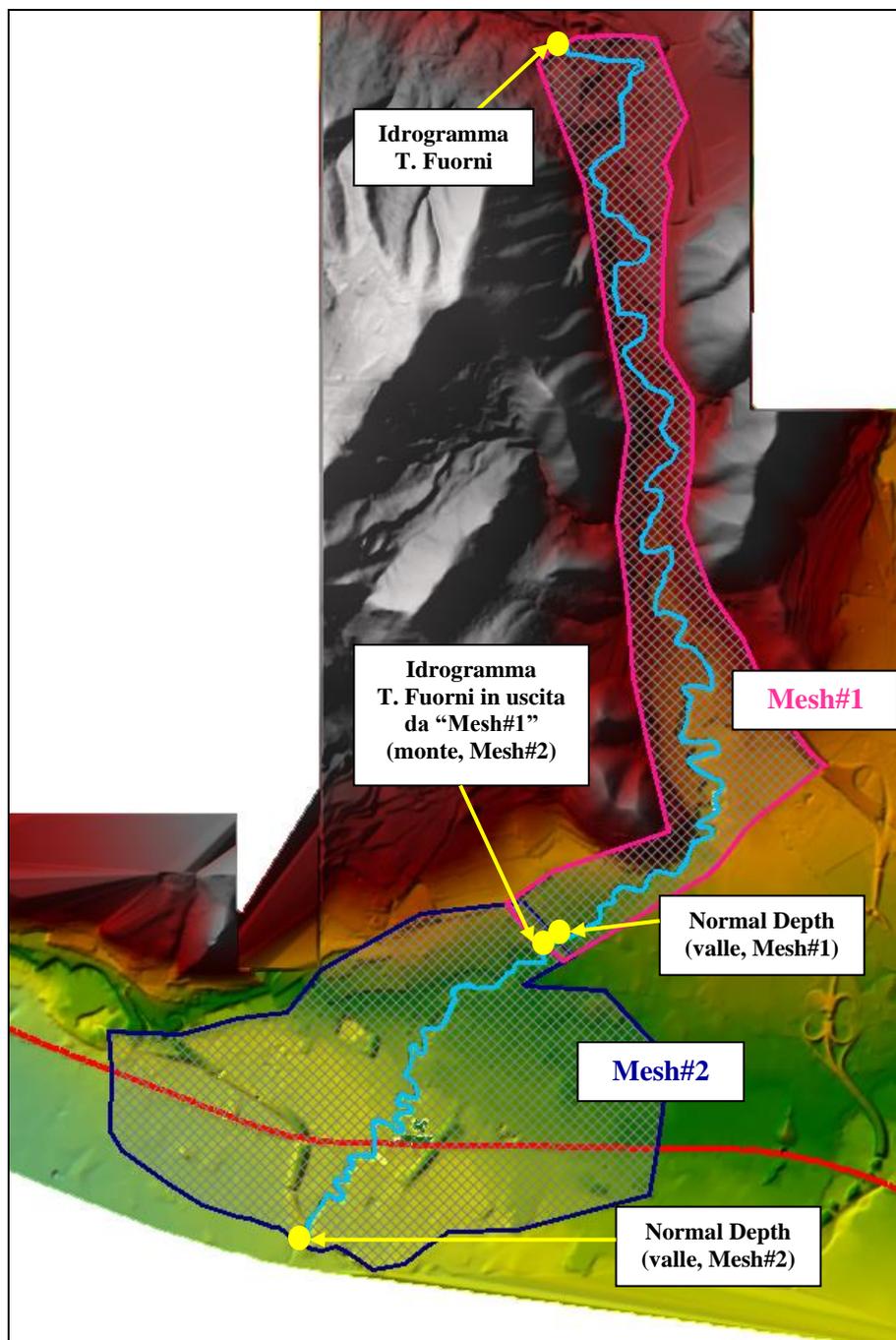


Figura 24 – Modello 2D del Torrente Fuorni: condizioni al contorno.

Gli idrogrammi di riferimento imposti come condizione al contorno di monte del dominio di calcolo denominato “Mesh#2” sono quelli calcolati in uscita dal dominio di calcolo denominato “Mesh#1”. Pertanto, sono state dapprima effettuate le simulazioni numeriche delle piene del Torrente Fuorni, per i vari tempi di ritorno considerati

($Tr = 30, 100, 200, 300$ anni), relativamente al dominio di calcolo denominato “Mesh#1”. Nella figura seguente, gli idrogrammi di piena così calcolati.

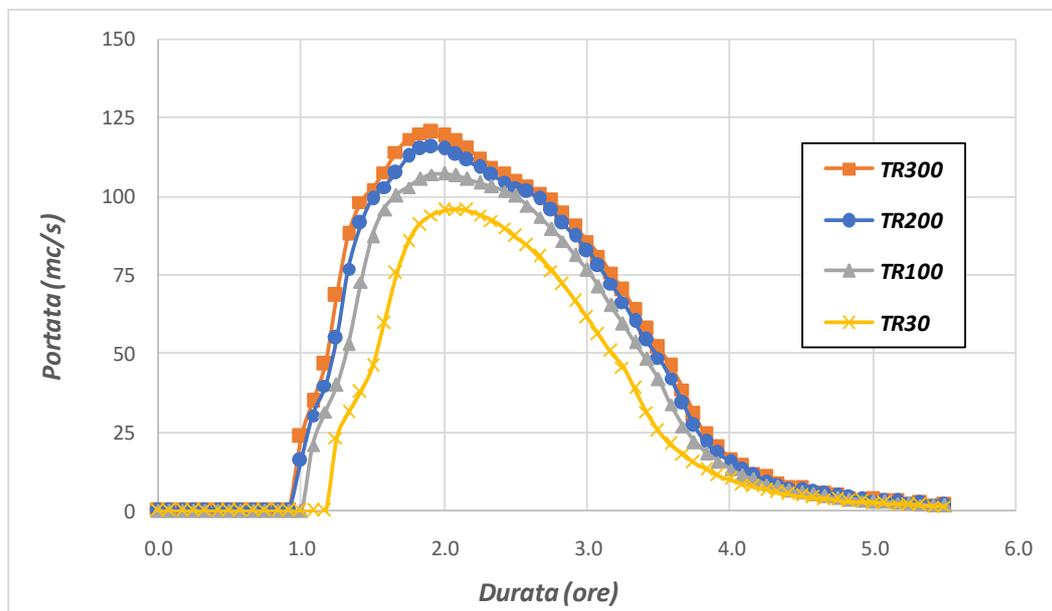


Figura 25 – Modello 2D del Torrente Fuorni: idrogrammi di piena calcolati in uscita dal dominio “Mesh#1”.

Quest’ultimi, sono stati quindi imposti come condizione al contorno di monte nel dominio di calcolo “Mesh#2”, di maggiore interesse, perchè comprendente la linea ferroviaria in progetto.

Come condizione al contorno di valle, in ragione di una sufficiente estensione dei due domini di calcolo, cioè tale da non influenzare al variare di essa la propagazione delle piene del T. Fuorni, è stato imposto (per entrambi i domini) il livello idrico di *moto uniforme (Normal Depth)*.

4.4.1.4 Scenari simulati

Le simulazioni numeriche delle onde di piena del Torrente Fuorni riferite ai tempi di ritorno (Tr) di 30, 100, 200, 300 anni, sono state effettuate con riferimento alle seguenti configurazioni geometriche:

- *ante operam*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto, unitamente alle opere di attraversamento esistenti;
- *post operam*: 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 (i.e. opere di sistemazione/riprofilatura, argini,.....).

Si precisa che nella configurazione di progetto (*post operam*), sono state considerate anche le opere previste nell'ambito del Masterplan dell'Ospedale San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona, redatto per l'indizione della CdS programmata per il 3 luglio 2020.

4.4.1.4 Risultati

SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON PERIMETRAZIONE P.S.A.I./P.G.R.A.

Nella figura seguente è riportato il confronto tra le aree di esondazione, corrispondenti ad un tempo di ritorno di 300 anni ottenute nel presente studio, e le aree di pericolosità P1 (bassa) derivanti dagli studi condotti nell'ambito del P.S.A.I. e del P.G.R.A..

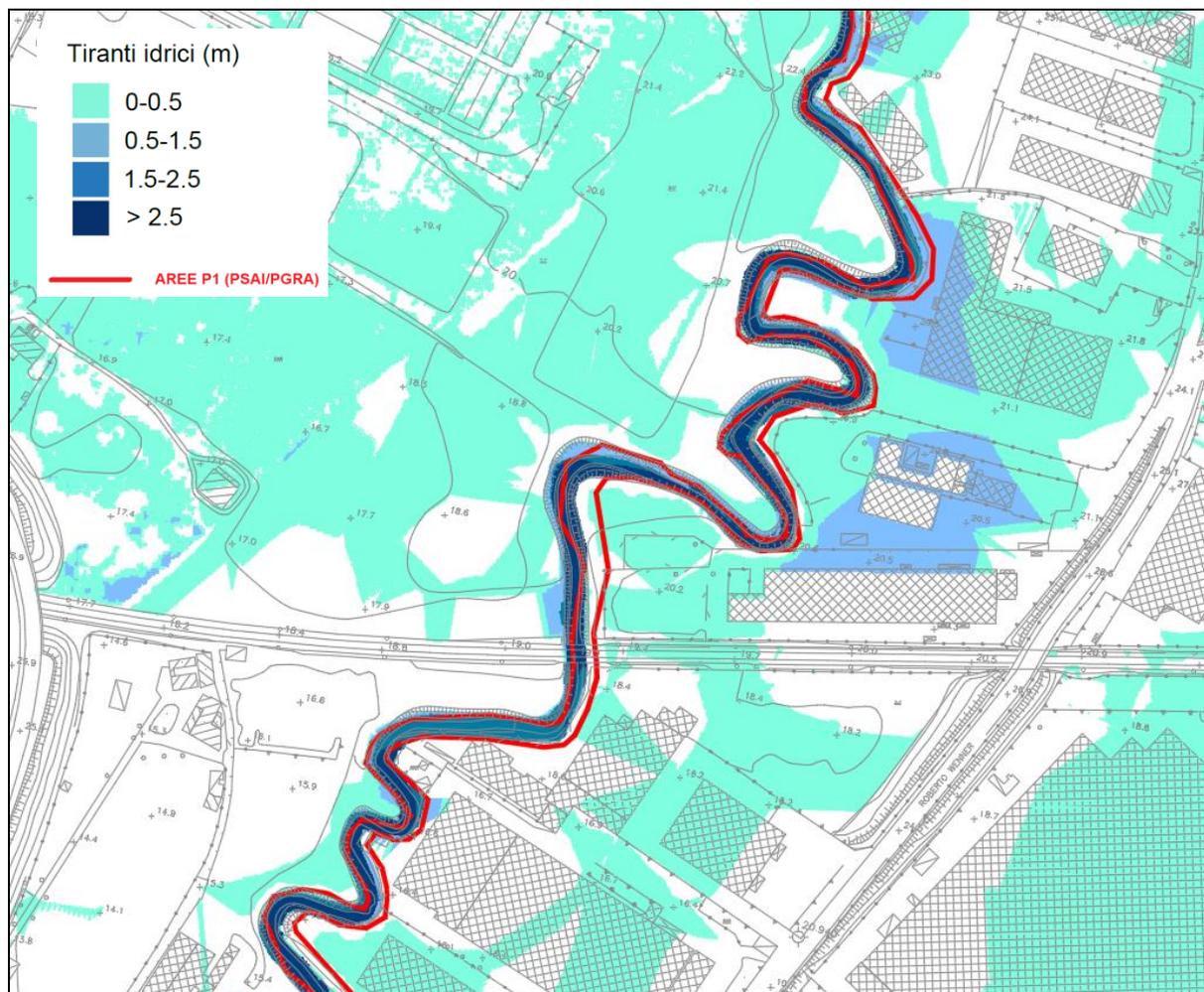


Figura 26 – Modello 2D del Torrente Fuorni: confronto tra le aree di esondazione per $Tr = 300$ anni (*ante operam*) e le aree di pericolosità P1 (bassa) del P.G.R.A..

Si osservano sensibili differenze, imputabili principalmente alla diversa base cartografica utilizzata per l'implementazione del modello numerico idraulico 2D, nonché alle differenti portate simulate, inferiori negli studi del P.S.A.I. e del P.G.R.A., in ragione degli interventi di sistemazione del Torrente Fuorni, previsti dalla Regione Campania, sopra descritti.

Di seguito, le aree di esondazione nelle condizioni *ante operam*, per $Tr = 200$ anni (di progetto). Per i rimanenti tempi di ritorno considerati, si rimanda agli elaborati grafici annessi al presente studio.

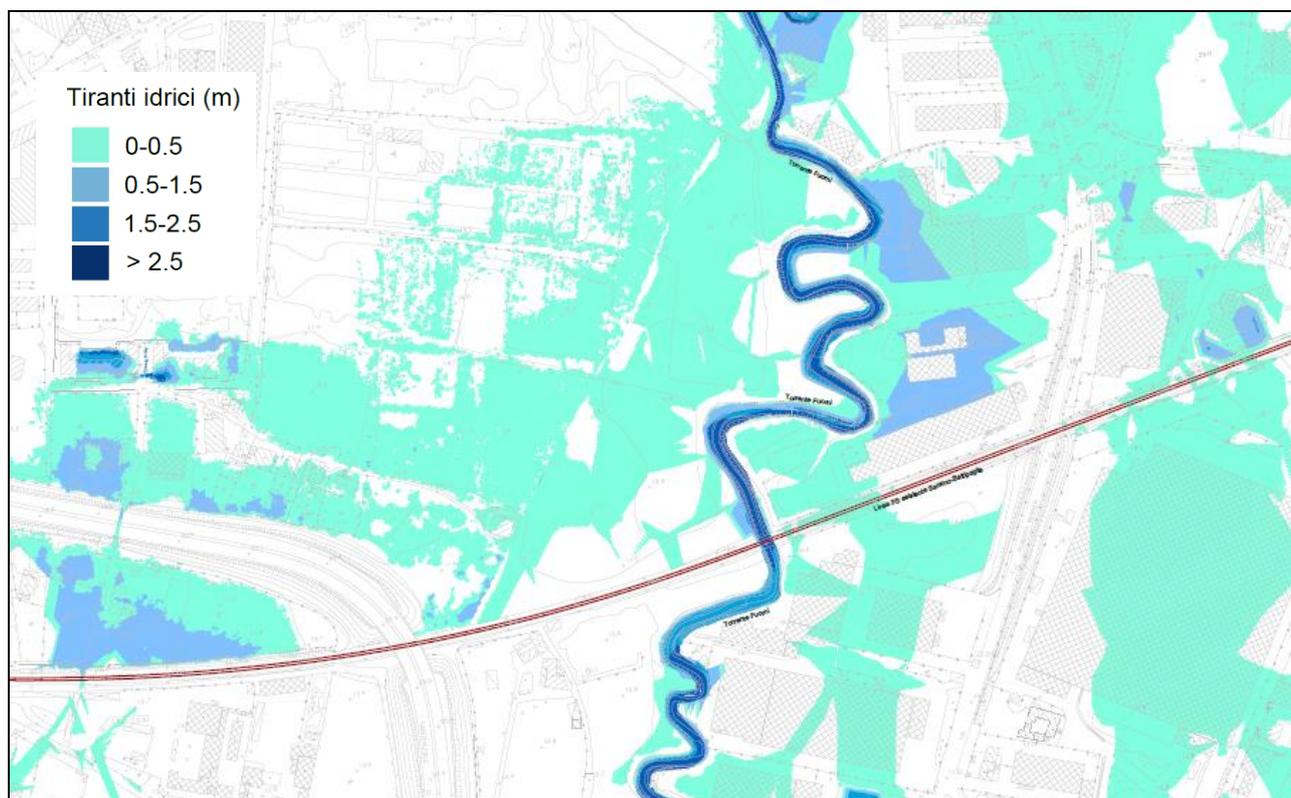


Figura 27 – Modello 2D del Torrente Fuorni: aree di esondazione per $Tr = 200$ anni, *ante operam*.

I risultati delle modellazioni numeriche “*ante operam*” mostrano l'insufficienza idraulica del ponte ferroviario esistente della linea *Salerno-Battipaglia*; nello specifico, la quota di intradosso dell'impalcato si attesta a +17.6 m slm, a fronte di una quota del livello idrico per la portata di progetto Tr_{200} pari a +17.97 m slm.

L'attuale ponte ferroviario risulta in realtà insufficiente anche per la portata Tr_{30} anni (quota del livello idrico pari a +17.67 m slm).

L'esondazione della portata di riferimento determina inoltre il sormonto (anche se con tiranti modestissimi) delle linee ferroviarie esistenti (*Salerno-Battipaglia*), in sinistra idraulica del T. Fuorni, lungo la quale (a monte) si svilupperà il Completamento della Metropolitana di Salerno in progetto.

Ai fini della compatibilità idraulica del nuovo VI01 e dell'intervento in progetto nel suo complesso, si prevedono quindi i seguenti interventi (implementati nella configurazione "post operam"):

- innalzamento della quota del piano ferro (di circa 70 cm), rispetto a quella della linea FS esistente Salerno-Battipaglia;
- opere di sistemazione idraulica del T. Fuorni, per un tratto di circa 50 metri a monte del nuovo viadotto VI01, che prevedono la riprofilatura delle sponde e il rivestimento del fondo alveo e delle sponde in massi sciolti (operazioni di manutenzione e pulizia dell'alveo, finalizzate a preservare la geometria dell'alveo);
- muri di protezione (in realtà con funzione anti-svio) del nuovo rilevato, in sinistra idraulica del T. Fuorni.

Come anzidetto nella configurazione di progetto (*post operam*), sono state considerate anche le opere previste nell'ambito del **Masterplan dell'Ospedale San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona**.

SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM

I risultati ottenuti nello scenario "post operam" evidenziano anche in questo caso esondazioni diffuse sebbene con tiranti modestissimi, dell'ordine di 5-10 cm sul piano campagna. La presenza dei muri di protezione anti-svio preserva la nuova linea ferroviaria anche da possibili fenomeni di sormonto, con incrementi trascurabili dei livelli idrici nelle aree limitrofe.

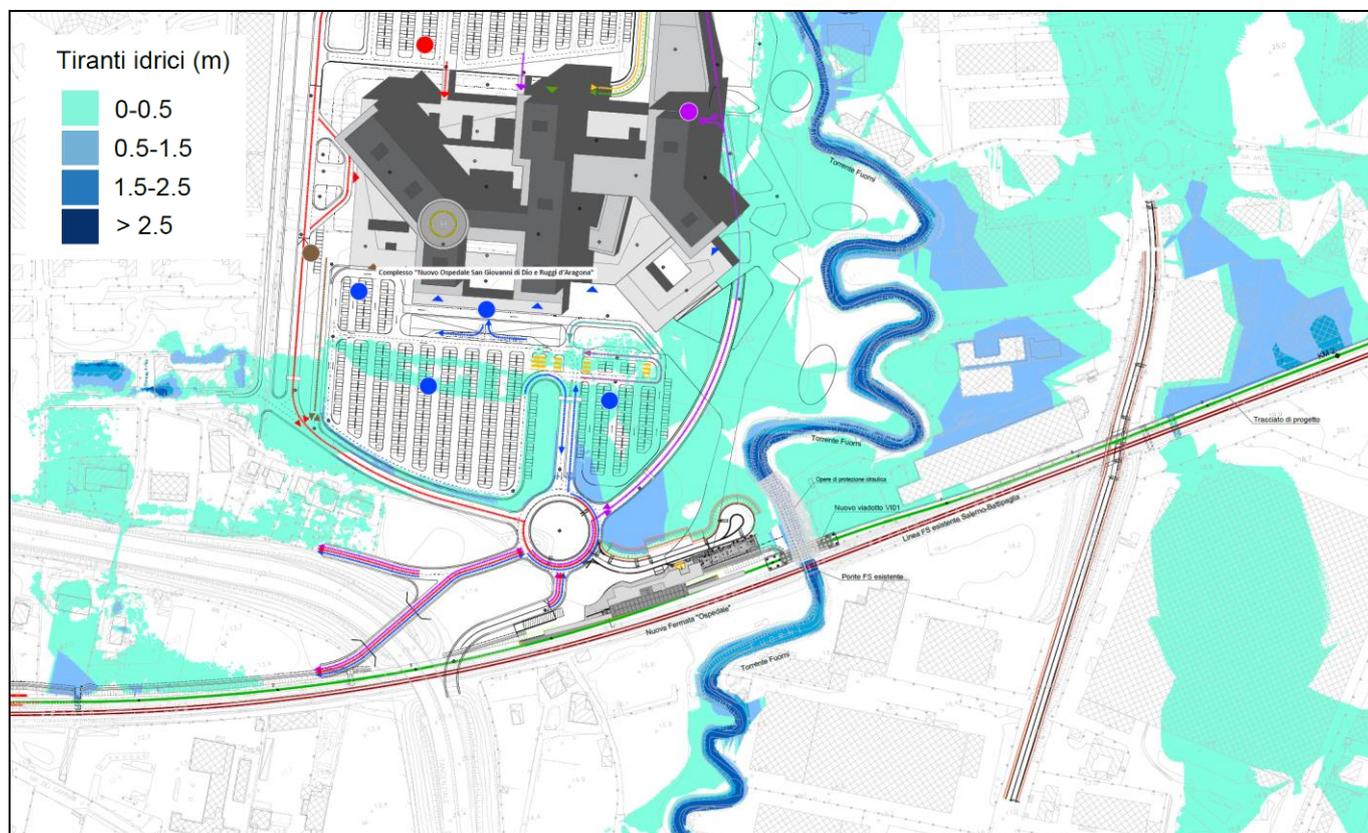


Figura 28 – Modello 2D del Torrente Fuorni: aree di esondazione per $Tr = 200$ anni, post operam.

| | | | | | | |
|--|--|------------------|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| | Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C |

Nella tabella seguente è riportata la verifica del franco idraulico di progetto del nuovo viadotto VI01, eseguita secondo le normative vigenti (i.e. NTC2018 e MdP RFI 2020), con riferimento alla piena $Tr = 200$ anni del Torrente Fuorni.

| Quota minima impalcato [m slm] | Livello di piena Tr200 [m slm] | Carico totale Tr200 [m slm] | Franco sul livello Idrico Tr200 [m] | Franco sul carico totale Tr200 [m] | Verifica |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| +19.83 | +18.10 | +18.93 | +1.73 (> 1.50 m) | +0.90 (> 0.50 m) | OK |

Tabella 3 – Viadotto VI01 (T. Fuorni): verifica del franco idraulico di progetto.

Vale la pena osservare che, in dipendenza delle modalità di implementazione adottate per il modello numerico del T. Fuorni (i.e. simile a quella impiegata nell’ambito degli studi del P.S.A.I./P.G.R.A.), la portata al colmo relativa al dominio di calcolo denominato “Mesh#2”, di maggiore interesse (perché comprendente la nuova linea ferroviaria ed il tratto fluviale del T. Fuorni “risistemato”), sostanzialmente assume valori compresi tra 100-120 m³/s, per i vari tempi di ritorno adottati (Figura 25), valori conformi con quello della portata di riferimento (pari a 112 mc/s) considerata per il dimensionamento delle opere di sistemazione idraulica previste (e realizzate) nell’ambito degli interventi dei lotti funzionali I e II, precedentemente descritti. Pertanto, anche i livelli idrici assumono valori conformi con quelli ottenuti negli studi condotti dal Comune di Salerno.

4.4.2 Fiume Picentino

4.4.2.1 Geometria del modello, valori di scabrezza, condizioni al contorno e scenari simulati

Come anzidetto, anche per il corso d’acqua Fiume Picentino è stato implementato un modello numerico bidimensionale tramite il software Hec Ras 5.0.7.

Nello specifico, il modello idraulico relativo al Fiume Picentino, attraversato dal nuovo viadotto VI02, ha una estensione di circa 6 km e il dominio di calcolo ha una superficie di circa 8 km².

La geometria del modello è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l’area di studio, precedentemente descritti.

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 Hec Ras, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d’acqua, rilevati, etc.

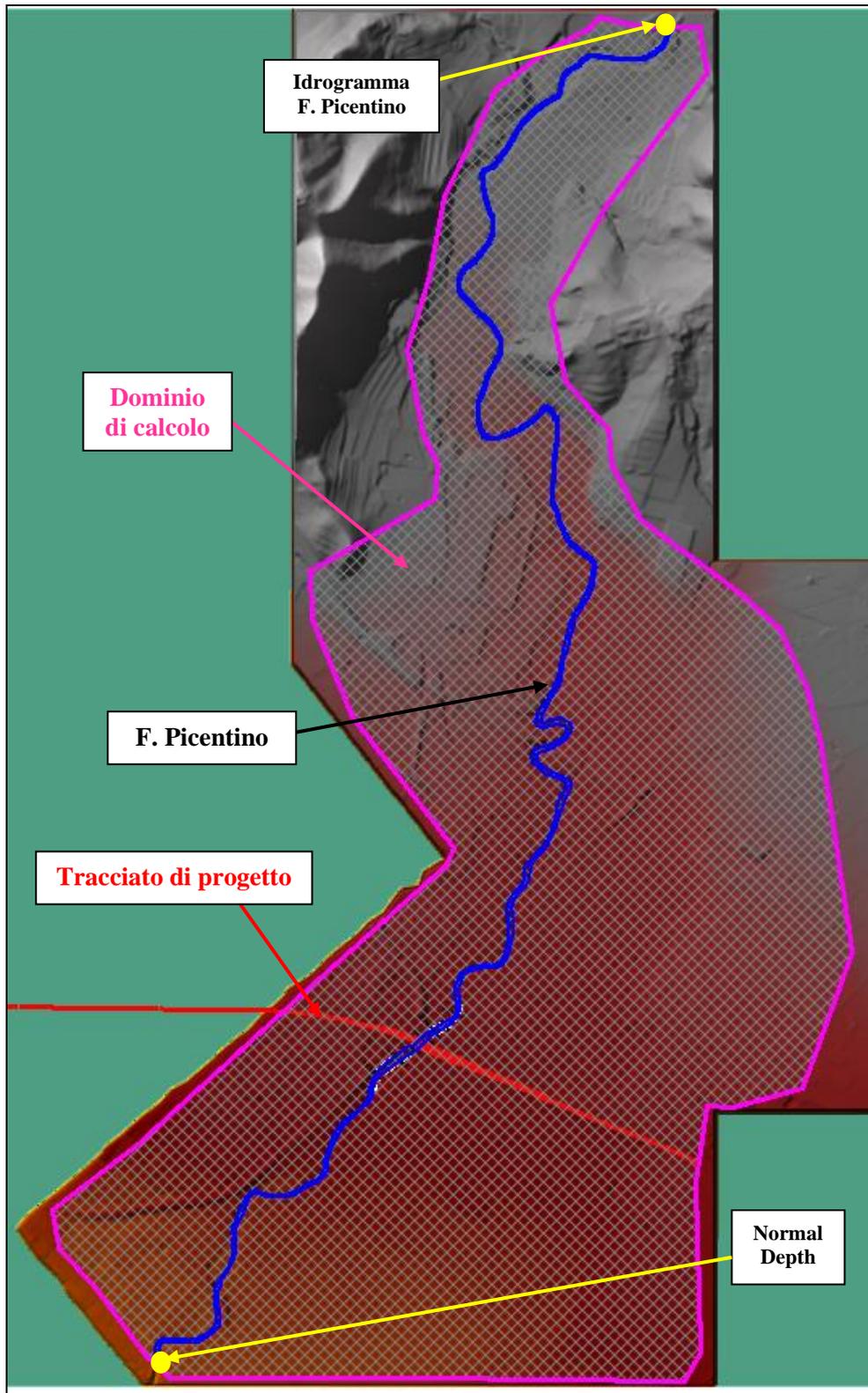


Figura 29 – Modello 2D del Fiume Picentino: dominio di calcolo e condizioni al contorno.

| | | | | | |
|--|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | |
| | Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 |

La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 50 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 10 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 5 m².

Il viadotto in progetto (VI02), unitamente alle opere di attraversamento esistenti, è stato implementato tramite appositi elementi disponibili nel software di calcolo (HecRas), come sopra descritto.

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning, n), come per il modello del Torrente Fuorni, in analogia alle simulazioni condotte nell'ambito del P.S.A.I./P.G.R.A., sono stati adottati i seguenti valori:

- per l'alveo inciso, $n = 0.035 \text{ s/m}^{1/3}$;
- per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili, $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$.

Relativamente invece alle condizioni al contorno, gli idrogrammi determinati nello studio idrologico annesso sono stati imposti come condizione di "inflow" a monte. Come condizione di valle, è stata imposta la condizione di *moto uniforme (Normal Depth)*.

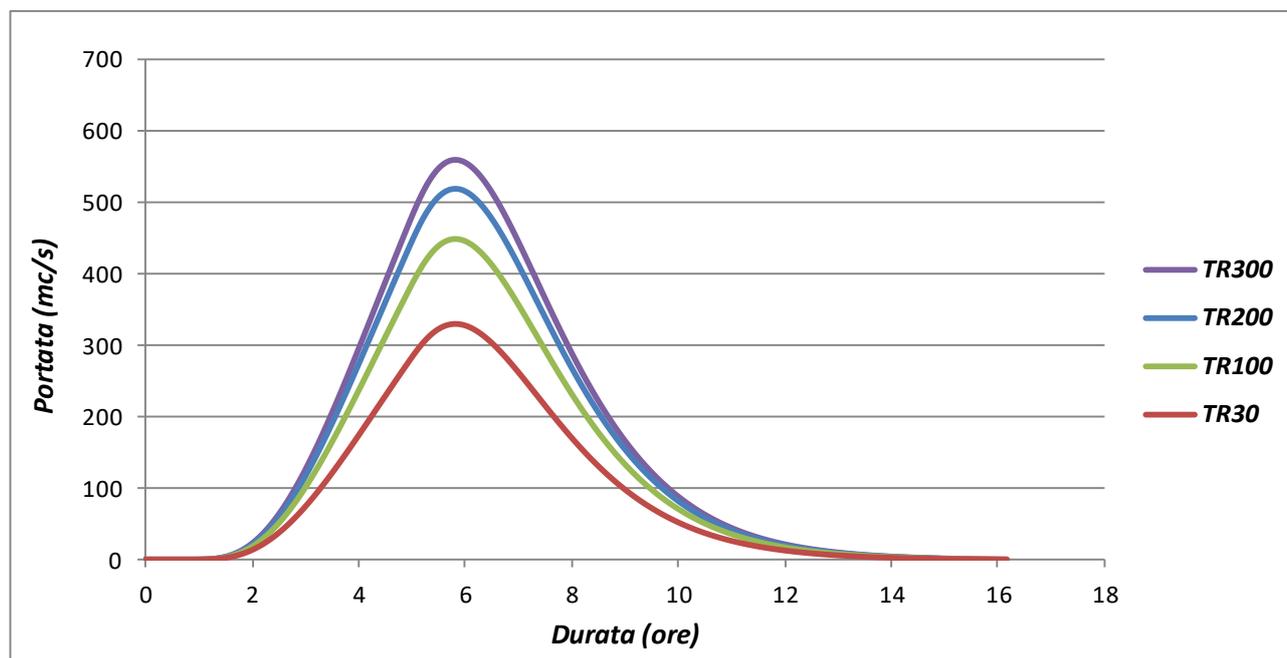


Figura 30 – Fiume Picentino: idrogrammi di piena di progetto.

Si è proceduto quindi alla simulazione delle onde di piena riferite ai tempi di ritorno di 30, 100, 200, 300 anni, con riferimento alle configurazioni geometriche *ante operam* (geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto) e *post operam* (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).

4.4.2.2 Risultati

SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON PERIMETRAZIONE P.S.A.I./P.G.R.A.

Nella figura seguente è riportato il confronto tra le aree di esondazione, corrispondenti ad un tempo di ritorno di 300 anni ottenute nel presente studio, e le aree di pericolosità idraulica P1 (bassa) derivanti dagli studi condotti nell'ambito del P.S.A.I. e del P.G.R.A..

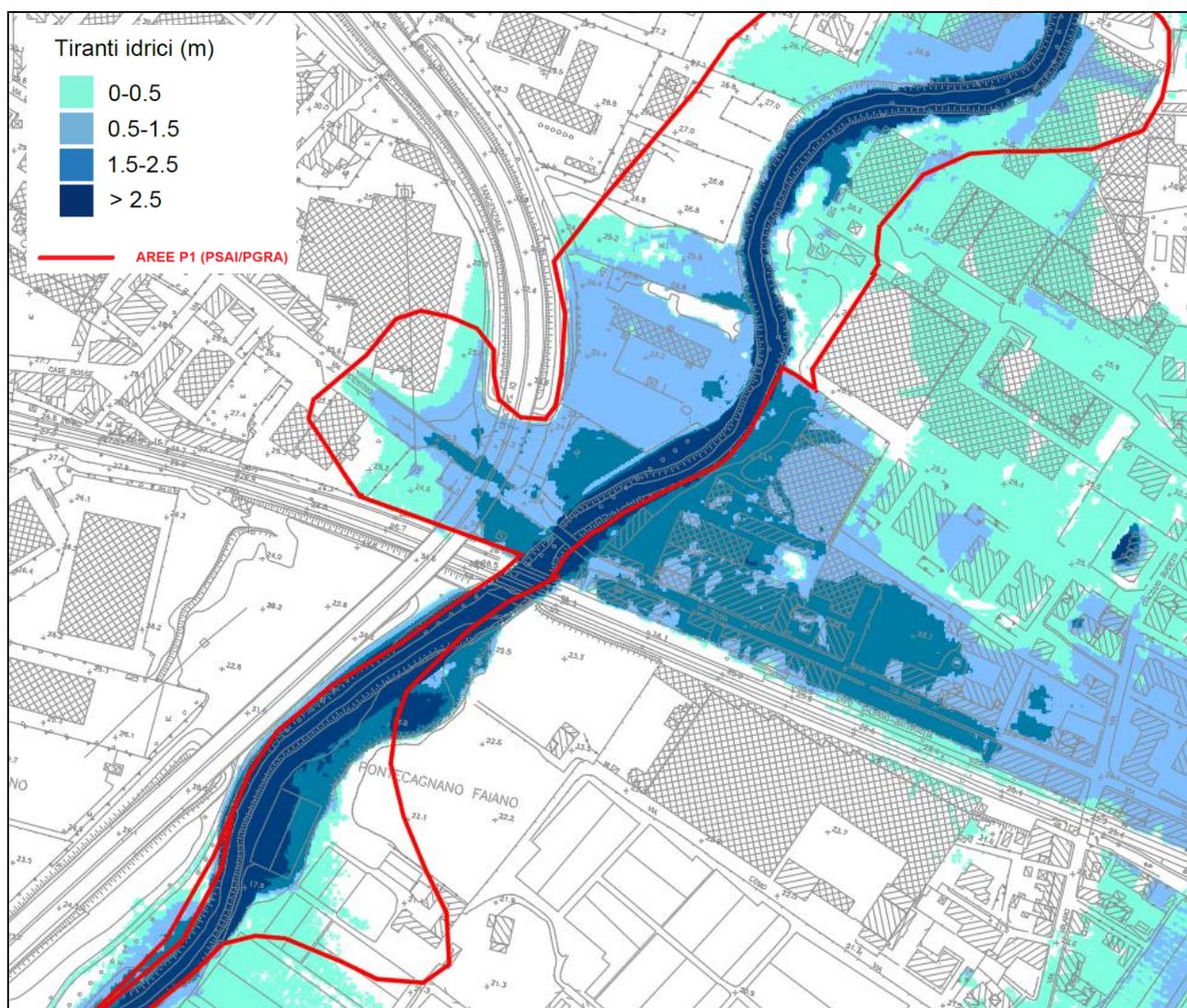


Figura 31 – Modello 2D del Fiume Picentino: confronto tra le aree di esondazione per $Tr = 300$ anni (ante operam) e le aree di pericolosità P1 (bassa) del P.G.R.A..

Si osservano sensibili differenze, imputabili principalmente alla diversa base cartografica utilizzata per l'implementazione del modello numerico idraulico 2D, nonché al differente schema numerico di implementazione del modello (monodimensionale per le analisi condotte nell'ambito degli studi del P.S.A.I. e del P.G.R.A..

Di seguito, le aree di esondazione nelle condizioni *ante operam*, per $Tr = 200$ anni (di progetto). Per i rimanenti tempi di ritorno considerati, si rimanda agli elaborati grafici annessi al presente studio.

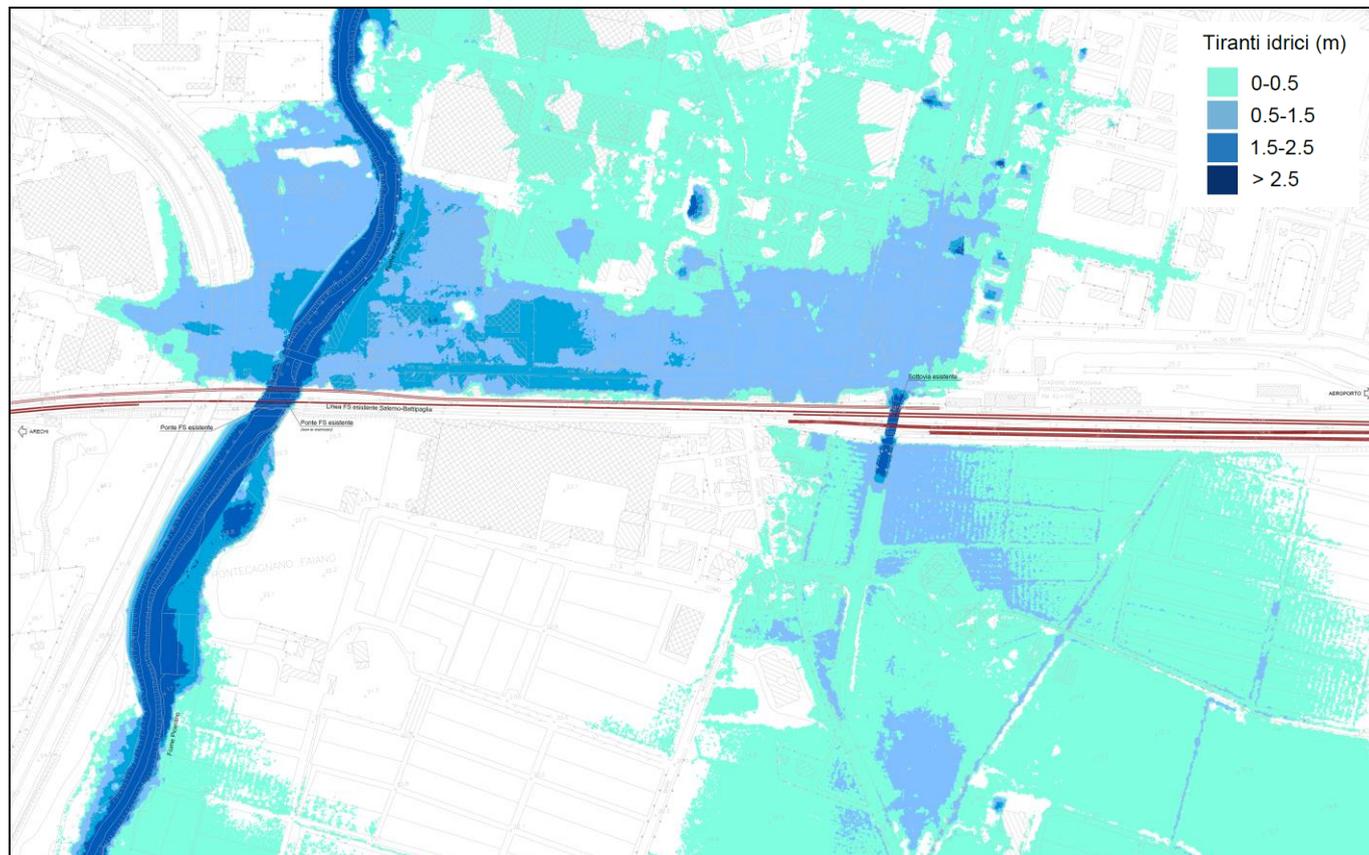


Figura 32 – Modello 2D del Fiume Picentino: aree di esondazione per $Tr = 200$ anni, *ante operam*.

I risultati ottenuti evidenziano esondazioni diffuse della portata di riferimento (dovute al restringimento della sezione di deflusso in corrispondenza sia del ponte stradale di Via Picentino/Via Roma, a monte della linea FS esistente, sia dei ponti ferroviari esistenti), con conseguente allagamento anche del sottovia esistente (SL02) di Via Torino III. Inoltre, il ponte ferroviario esistente in disuso, a monte del ponte della linea FS esistente Salerno-Battipaglia, nonché quest'ultimo, risultano completamente “*rigurgitati*”, a differenza di quanto riportato nella pianificazione di bacino vigente.

Ai fini della compatibilità idraulica del nuovo viadotto VI02 sul Fiume Picentino e dell'intervento di Completamento della Metropolitana di Salerno in progetto, si prevedono quindi i seguenti interventi (implementati nella configurazione “*post operam*”):

- demolizione del ponte ferroviario esistente in disuso (a monte del ponte esistente della linea FS Salerno-Battipaglia) e realizzazione del nuovo viadotto VI02;

- innalzamento della quota del piano ferro (di circa +1.10 m), rispetto a quella della linea FS esistente Salerno-Battipaglia;
- opere di sistemazione idraulica del F. Picentino, per un tratto di circa 20-30 metri a monte del nuovo viadotto VI02, che prevedono la riprofilatura delle sponde e il rivestimento del fondo alveo e delle sponde in cls (in corrispondenza del nuovo viadotto) e in massi legati.

Si precisa che nella configurazione di progetto (*post operam*), sono state considerate anche le opere annesse al nuovo PMZ di Pontecagnano, nello specifico il relativo piazzale di manovra e la viabilità di accesso (NV07), con sviluppo “lato mare” rispetto alla linea esistente Salerno – Battipaglia, in corrispondenza dell’omonima stazione.

SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM

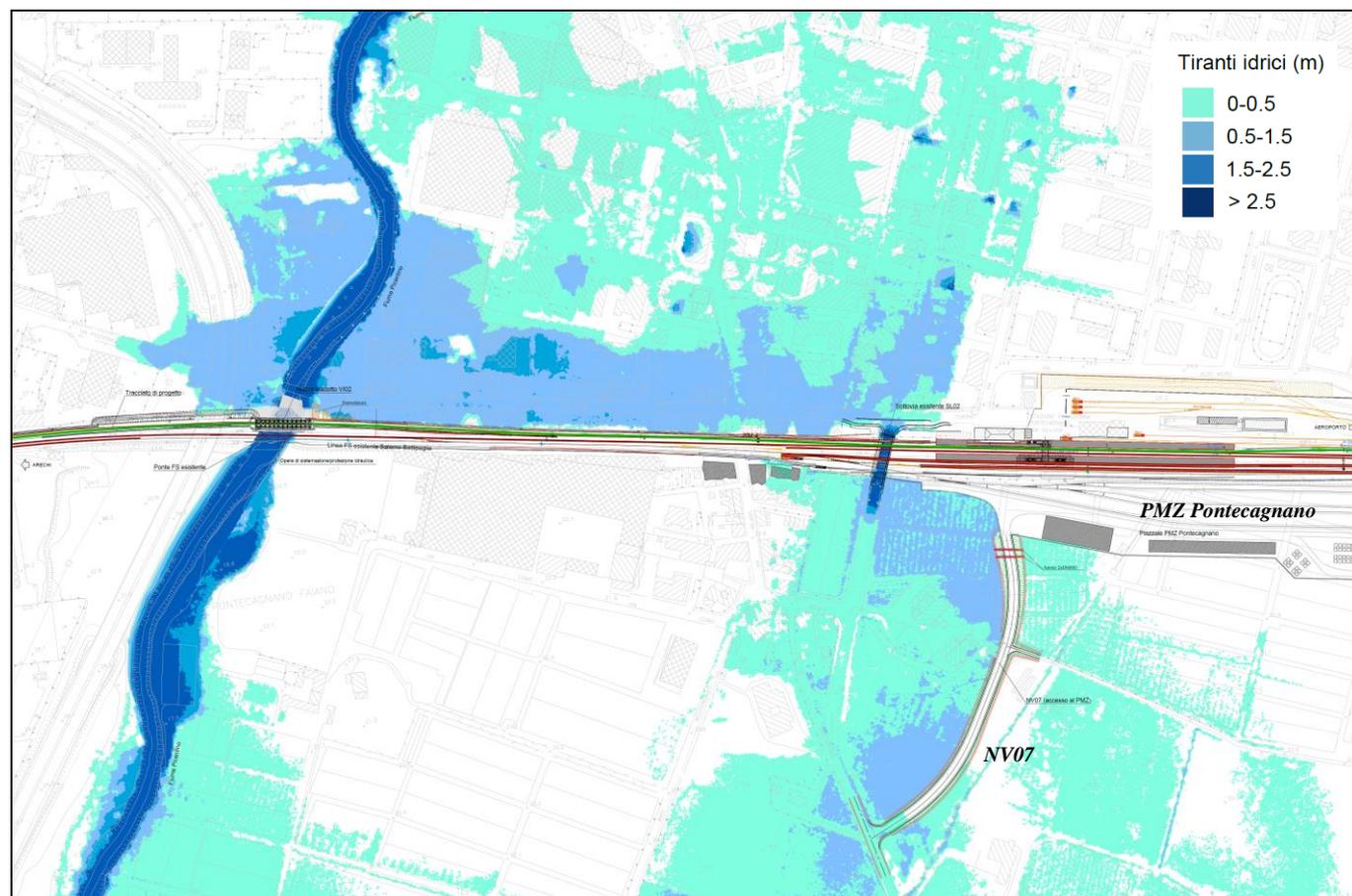


Figura 33 – Modello 2D del Fiume Picentino: aree di esondazione per $Tr = 200$ anni, post operam.

I risultati evidenziano un sensibile miglioramento delle condizioni di deflusso, soprattutto per tempi di ritorno modesti ($Tr = 30$ anni), con notevole riduzione, se non eliminazione, delle aree di esondazione. Tuttavia, rimane allagato il sottovia esistente SL02 (come nello scenario ante operam), per $Tr > 30$ anni. La NV07 di accesso al PMZ

| | | | | | | |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 47 di 65 |

di Pontecagnano è soggetta ad allagamento (sempre per $Tr > 30$ anni) soltanto nel tratto di interconnessione con le viabilità locali esistenti, soggette anche esse ad allagamento già nello scenario “*ante operam*”. Il complesso delle opere annesse al PMZ di Pontecagnano (piazzale di manovra e viabilità di accesso), pur sviluppandosi in aree potenzialmente inondabili (per $Tr > 30$ anni), non influenza significativamente i livelli idrici (comunque modesti) attesi nell’area (sono stati inseriti anche due fornicci di trasparenza DN800 al di sotto del rilevato della NV07).

Nella tabella seguente è riportata la verifica del franco idraulico di progetto del nuovo viadotto VI02, eseguita secondo le normative vigenti (i.e. NTC2018 e MdP RFI 2020), con riferimento alla piena $Tr = 200$ anni del Fiume Picentino.

| Quota minima impalcato [m slm] | Livello di piena Tr200 [m slm] | Carico totale Tr200 [m slm] | Franco sul livello Idrico Tr200 [m] | Franco sul carico totale Tr200 [m] | Verifica |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| +25.76 | +24.20 | +25.01 | +1.56 (> 1.50 m) | +0.75 (> 0.50 m) | OK |

Tabella 4 – Viadotto VI02 (F. Picentino): verifica del franco idraulico di progetto.

4.4.3 Torrente Asa

4.4.3.1 Geometria del modello, valori di scabrezza, condizioni al contorno e scenari simulati

Come per il Torrente Fuorni e il Fiume Picentino, anche per il corso d’acqua Torrente Asa è stato implementato un modello numerico bidimensionale (2D) tramite il software Hec Ras 5.0.7.

Nello specifico, il modello idraulico relativo al Torrente Asa, attraversato dal nuovo viadotto VI03, ha una estensione di circa 1 km e il dominio di calcolo ha una superficie di circa 0.5 km².

La geometria del modello è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l’area di studio, precedentemente descritti.

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 Hec Ras, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d’acqua, rilevati, etc.

La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 50 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 10 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 2 m².

Il viadotto in progetto (VI03), unitamente alle opere di attraversamento esistenti, è stato implementato tramite appositi elementi disponibili nel software di calcolo (HecRas), come sopra descritto.

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning, n), come per i modelli precedenti ed in analogia alle simulazioni condotte nell'ambito del P.S.A.I./P.G.R.A., sono stati adottati i seguenti valori:

- per l'alveo inciso, $n = 0.035 \text{ s/m}^{1/3}$;
- per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili, $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$.

Relativamente invece alle condizioni al contorno, gli idrogrammi determinati nello studio idrologico annesso sono stati imposti come condizione di "inflow" a monte. Come condizione di valle, è stata imposta la condizione di *moto uniforme (Normal Depth)*.

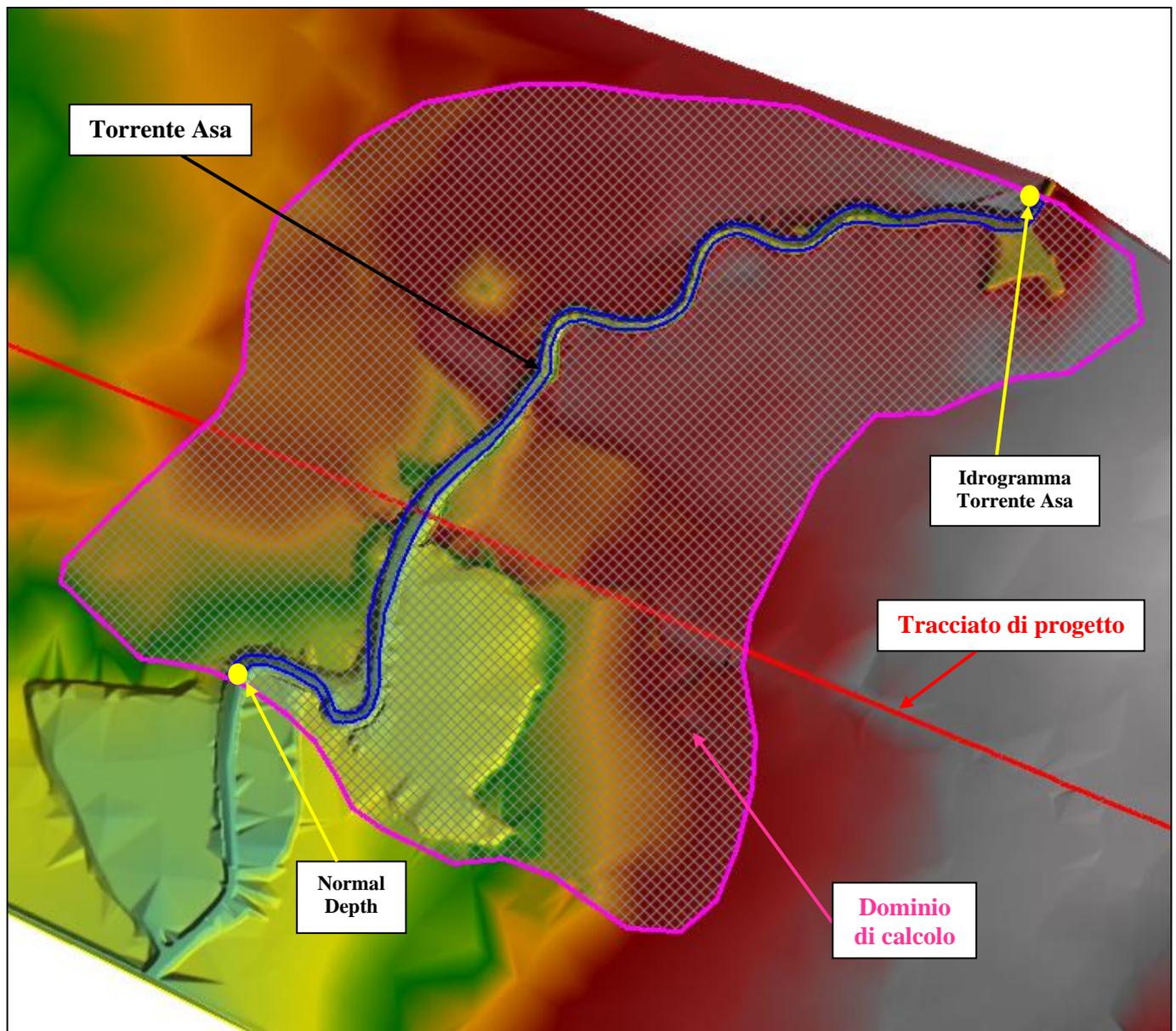


Figura 34 – Modello 2D del Torrente Asa: dominio di calcolo e condizioni al contorno.

Si è proceduto quindi alla simulazione delle onde di piena riferite ai tempi di ritorno di 30, 100, 200, 300 anni, con riferimento alle configurazioni geometriche *ante operam* (geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto) e *post operam* (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).

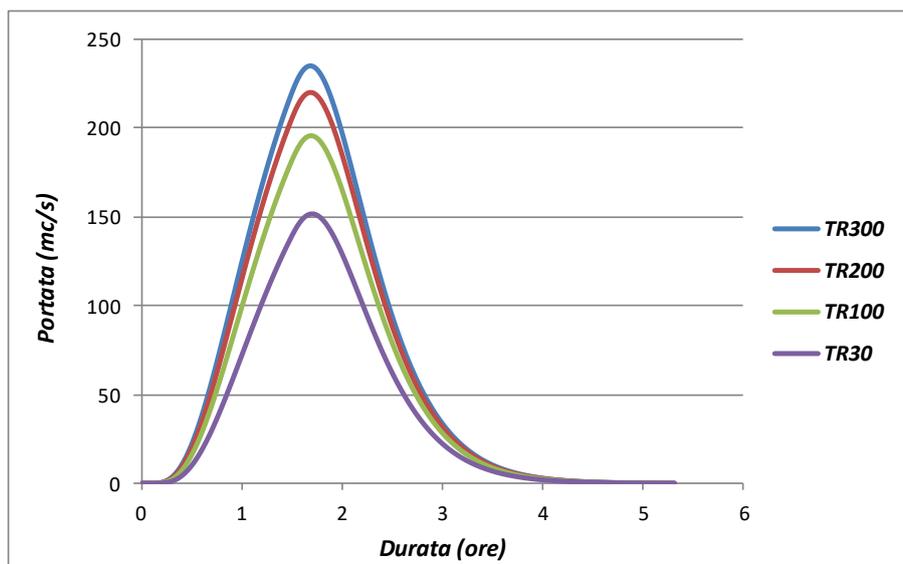


Figura 35 – Torrente Asa: idrogrammi di piena di progetto.

4.4.3.2 Risultati

SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON PERIMETRAZIONE P.S.A.I./P.G.R.A.

Nella figura seguente è riportato il confronto tra le aree di esondazione, corrispondenti ad un tempo di ritorno di 300 anni ottenute nel presente studio, e le aree di pericolosità idraulica P1 (bassa) derivanti dagli studi condotti nell’ambito del P.S.A.I. e del P.G.R.A..

I risultati riproducono sostanzialmente le aree di pericolosità definite nell’ambito della pianificazione di bacino vigente. Modestissime differenze possono essere imputabili anche in questo caso alla diversa base cartografica utilizzata per l’implementazione del modello numerico idraulico 2D, nonché al differente schema numerico adottato per l’implementazione del modello (monodimensionale per le analisi condotte nell’ambito degli studi del P.S.A.I. e del P.G.R.A.).

Di seguito, si riportano anche le aree di esondazione nelle condizioni *ante operam*, per $Tr = 200$ anni (di progetto). Per i rimanenti tempi di ritorno considerati, si rimanda agli elaborati grafici annessi al presente studio.

I risultati ottenuti non evidenziano criticità idrauliche in corrispondenza della sezione di attraversamento in progetto. Anche il ponte esistente della linea FS Salerno – Battipaglia, a valle del nuovo viadotto VI03, risulta idraulicamente sufficiente per il passaggio della piena di riferimento.

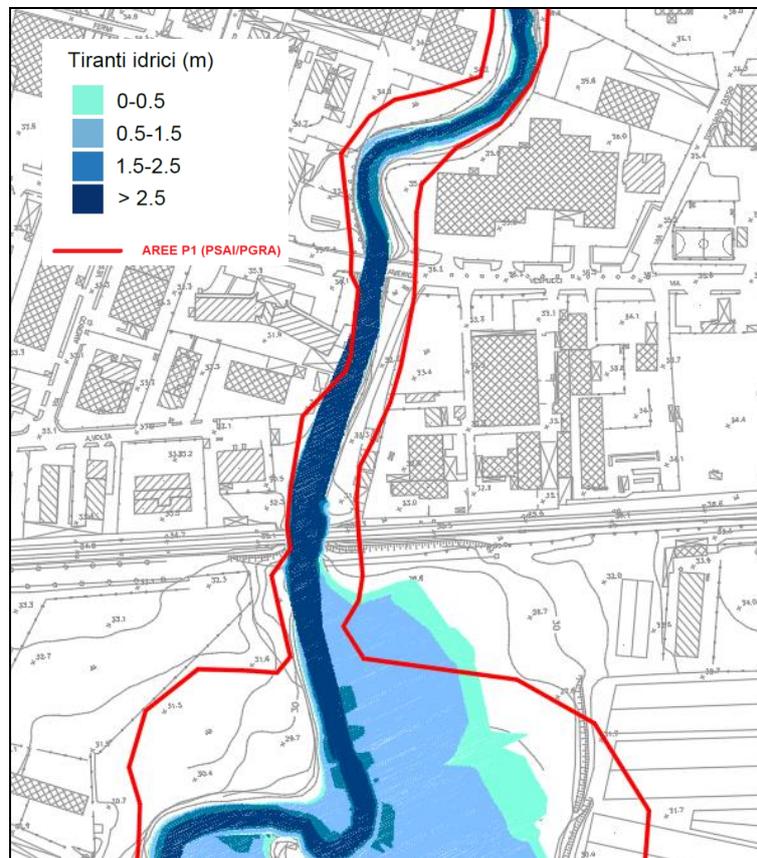


Figura 36 – Modello 2D del Torrente Asa: confronto tra le aree di esondazione per $Tr = 300$ anni (ante operam) e le aree di pericolosità P1 (bassa) del P.G.R.A..

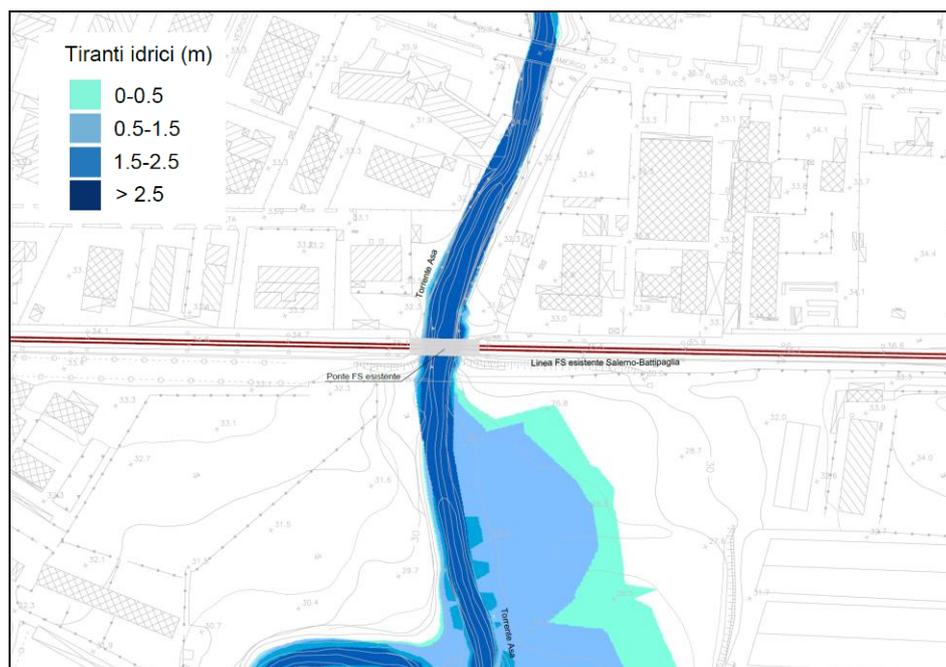


Figura 37 – Modello 2D del Torrente Asa: aree di esondazione per $Tr = 200$ anni, ante operam.

SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM

Di fatto le aree di esondazione relative alla configurazione “*ante operam*” coincidono con quelle associate alla configurazione “*post operam*”.

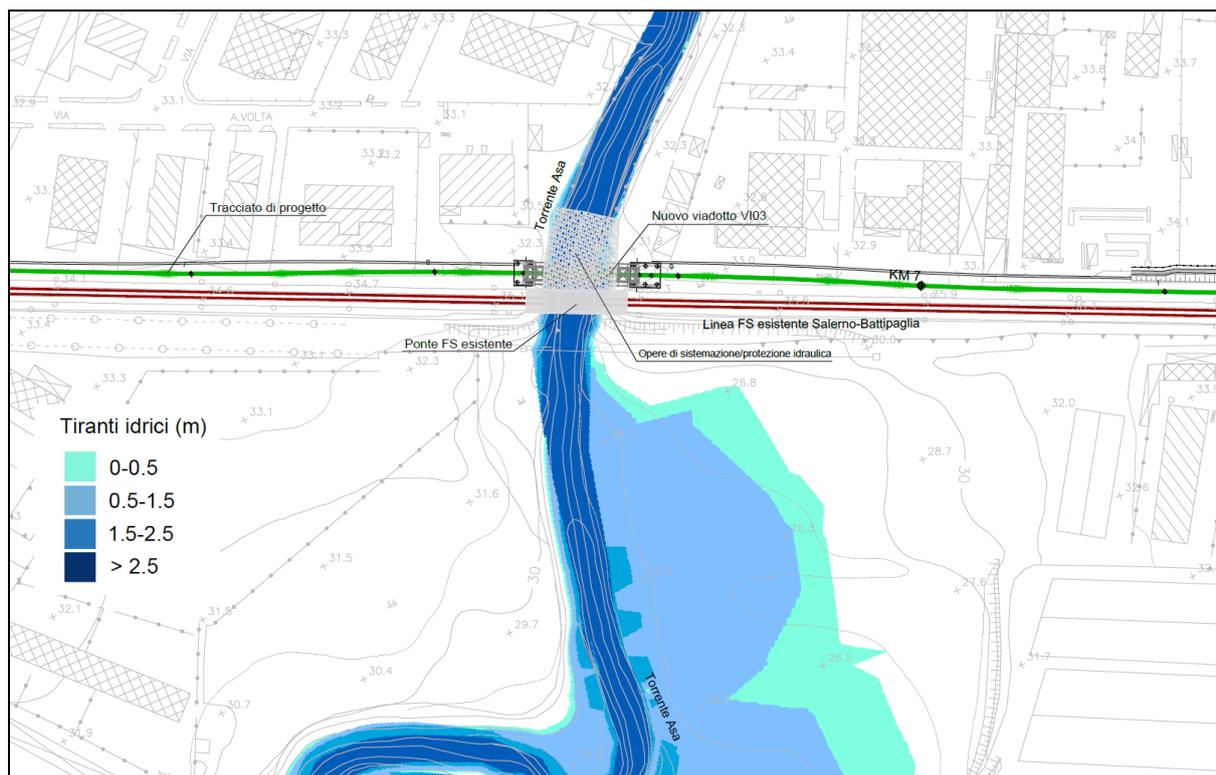


Figura 38 – Modello 2D del Torrente Asa: aree di esondazione per $Tr = 200$ anni, post operam.

Nella tabella seguente è riportata la verifica del franco idraulico di progetto del nuovo viadotto VI03, eseguita secondo le normative vigenti (i.e. NTC2018 e MdP RFI 2020), con riferimento alla piena $Tr = 200$ anni del Torrente Asa.

| Quota minima impalcato [m slm] | Livello di piena Tr_{200} [m slm] | Carico totale Tr_{200} [m slm] | Franco sul livello Idrico Tr_{200} [m] | Franco sul carico totale Tr_{200} [m] | Verifica |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|---|-----------|
| +33.03 | +28.70 | +29.50 | +4.33 (> 1.50 m) | +3.53 (> 0.50 m) | OK |

Tabella 5 – Viadotto VI03 (T. Asa): verifica del franco idraulico di progetto.

Anche i livelli idrici ottenuti sono conformi a quelli indicati nei documenti della pianificazione di bacino vigente. Inoltre, anche sul Torrente Asa, in corrispondenza del nuovo viadotto VI03, sono previste opportune opere di protezione e sistemazione idraulica delle sponde e del fondo alveo, in massi sciolti.

| | | | | | | |
|---|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| | Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C |

5 OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Come anzidetto, al fine di ripristinare e/o mantenere la sezione d'alveo in una configurazione (attuale o di progetto) inalterata e quindi proteggerla da possibili fenomeni di erosione e scalzamento, dopo i rimaneggiamenti dovuti alle fasi di realizzazione dei viadotti VI01, VI02, VI03, nonché contribuire alla stabilità dell'alveo inciso in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto, sono state definite opportune opere di sistemazione idraulica.

Per il dimensionamento di tali opere, principalmente di sistemazione spondale, si è fatto riferimento alla seguente relazione (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi; V_a = velocità media (ft/s); d_{avg} = tirante medio (ft); $C_{sg} = 2.12/(S_g-1)^{1.5}$; S_g = peso specifico dei massi (t/mc); $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$ (SF = coefficiente di sicurezza, $\epsilon \in [1,2]$; nello specifico, per flussi uniformi $SF = 1 \div 1.2$; per flussi gradualmente variabili $SF = 1.3 \div 1.6$; per flussi rapidamente variabili $SF = 1.6 \div 2.0$); $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua studiati):

- *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.0162*
- *tiranti idrici: 1.5 ÷ 14.8 m*
- *velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s*
- *portate: 35 ÷ 2200 mc/s*
- *d50: 0.15 ÷ 0.70 m*

5.1 Torrente Fuorni

Sul Torrente Fuorni, come precedentemente descritto, sono previsti interventi di riprofilatura spondale, per un tratto fluviale (in corrispondenza e a monte del nuovo viadotto VI01) di circa 50-60 metri, atti a garantire il deflusso delle piene di progetto, evitandone/limitandone l'erosione. Per maggiori dettagli circa la riprofilatura delle sponde si rimanda all'elaborato grafico NN1X00D09PZID0002001A. Per mantenere inalterata nel tempo tale configurazione di progetto, sono previste opere di protezione delle sponde e del fondo in massi sciolti.

Con riferimento alla formulazione sopra introdotta, considerando i seguenti parametri: $S_g = 2.4$ t/mc; $SF = 1.6$, $\theta = 45^\circ$ (1/1); $\phi = 50^\circ$, $h = 4$ m e $v = 3.5$ m/s (per la portata di progetto, $Tr200$, nella sezione di attraversamento come da modello 2D), si ottiene $d_{50} = 1$ m.

Per l'individuazione dell'estensione dell'intervento di sistemazione, si è fatto riferimento alle mappe dei valori di velocità ($Tr=200$ anni, *post operam*), di cui se ne riporta uno stralcio nella figura seguente.

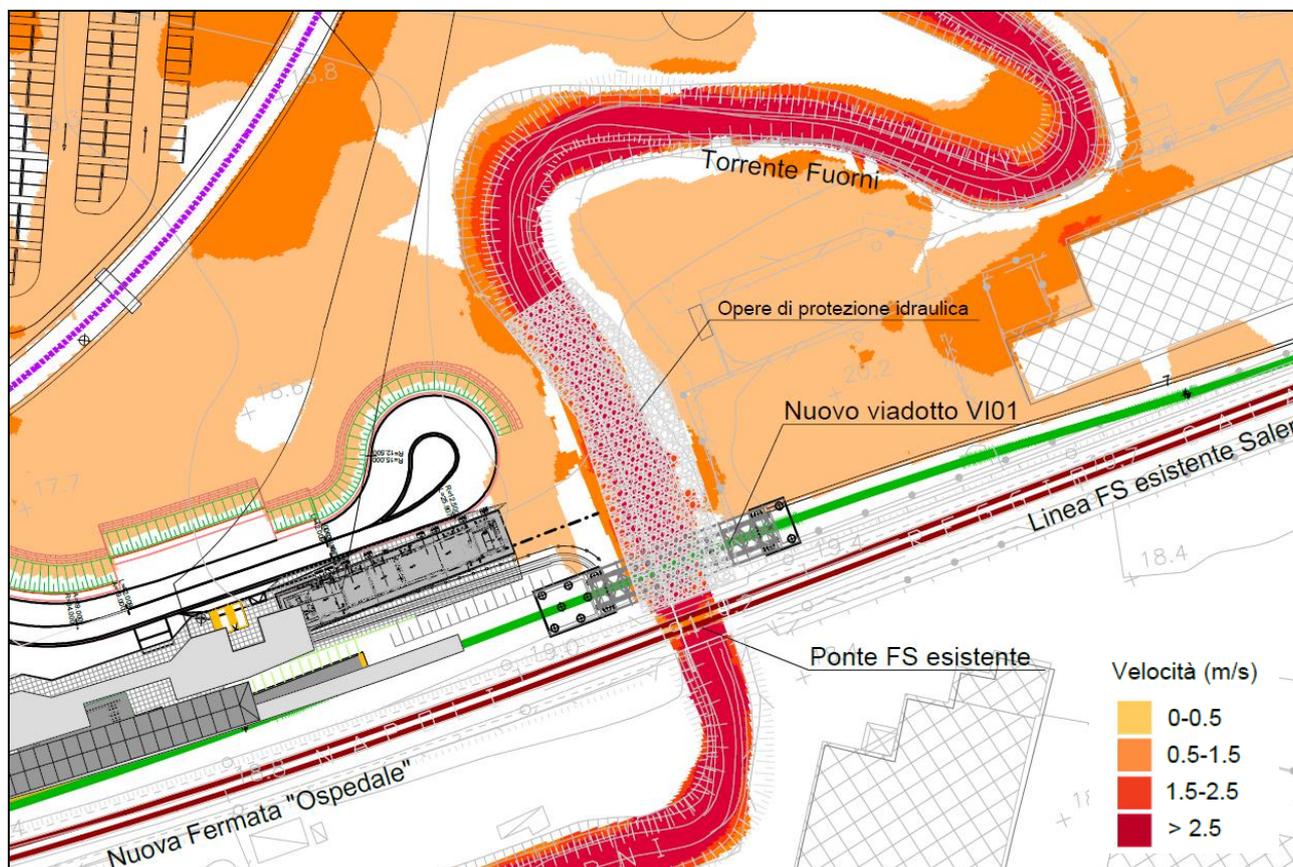


Figura 39 – Modello 2D del Torrente Fuorni: mappa dei valori dei velocità, per $Tr = 200$ anni, *post operam*.

5.2 Fiume Picentino

Sul Fiume Picentino è prevista la realizzazione di un manufatto ad U in cls, per ripristinare la sezione di deflusso (attualmente già rivestita sul fondo) in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario (VI02), a seguito dei lavori di demolizione del ponte ferroviario esistente in disuso. Per maggiori dettagli circa il dimensionamento di tale manufatto, si rimanda agli elaborati specialistici di Strutture.

Per garantire la transizione tra l'alveo naturale e il manufatto a U in cls ed evitare quindi possibili fenomeni di erosione e/o scalzamento, a monte di tale manufatto è prevista la realizzazione di un rivestimento della sponda sinistra e del fondo alveo in massi legati e la ricostituzione della sponda (sempre in sinistra idraulica) con gabbioni, in corrispondenza del manufatto stesso.

Con riferimento al rivestimento in massi legati, applicando la formulazione sopra introdotta ammettendo i seguenti parametri: $S_g = 2.4$ t/mc; $SF = 1.6$, $\theta = 34^\circ$ (2/3); $\phi = 50^\circ$, $h = 6$ m e $v = 4.5$ m/s (per la portata di progetto, $Tr200$, valori massimi nella sezione a monte del manufatto, come da modello 2D), si ottiene $d_{50} = 0.80$ m.

Relativamente invece al materiale di riempimento dei gabbioni, applicando la formulazione sopra introdotta ammettendo i seguenti parametri: $S_g = 2.4$ t/mc; $SF = 1$ (considerando anche l'effetto della rete metallica), $\theta = 34^\circ$ (2/3); $\phi = 50^\circ$, $h = 6$ m e $v = 4.5$ m/s (per la portata di progetto, $Tr200$, valori massimi nella sezione a monte del manufatto, come da modello 2D), si ottiene $d_{50} = 0.40$ m.

Per maggiori dettagli, si rimanda all'elaborato grafico NN1X00D09PZID0002002A.

Per l'individuazione dell'estensione dell'intervento di sistemazione, si è fatto riferimento alle mappe dei valori di velocità ($Tr=200$ anni, *post operam*), di cui se ne riporta uno stralcio nella figura seguente.

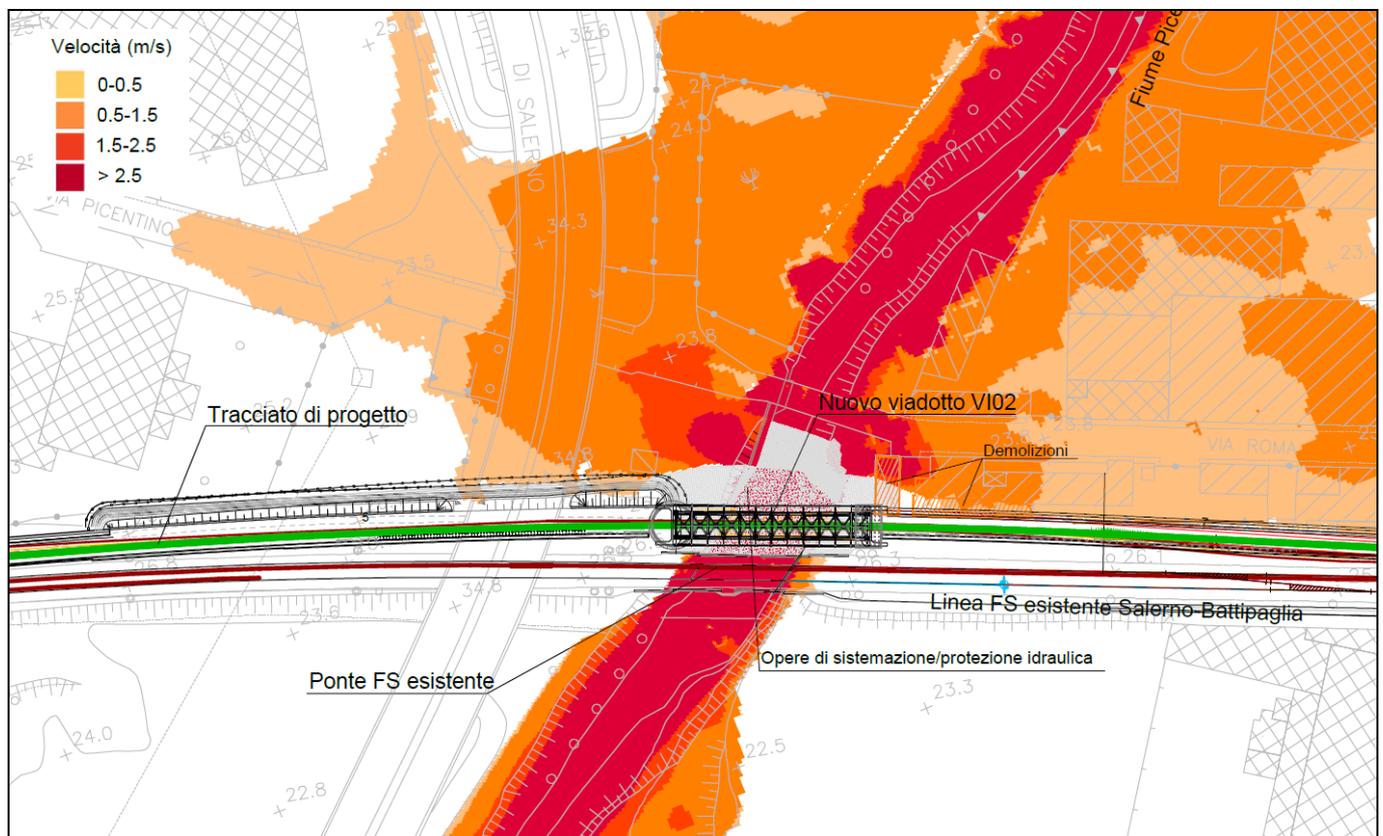


Figura 40 – Modello 2D del Fiume Picentino: mappa dei valori dei velocità, per $Tr = 200$ anni, *post operam*.

5.3 Torrente Asa

Sul Torrente Asa, come precedentemente descritto, sono previsti interventi di riprofilatura spondale, per un tratto fluviale (in corrispondenza e a monte del nuovo viadotto VI03) di circa 30 metri, atti a migliorare il deflusso delle piene di progetto.

Per maggiori dettagli circa la riprofilatura delle sponde si rimanda all’elaborato grafico annesso NN1X00D09PZID0002003A. Per mantenere inalterata nel tempo tale configurazione di progetto, sono previste opere di protezione delle sponde e del fondo in massi sciolti.

Con riferimento alla formulazione sopra introdotta, considerando i seguenti parametri: $S_g = 2.4$ t/mc; $SF = 1.6$, $\theta = 45^\circ$ (1/1); $\phi = 50^\circ$, $h = 4.5$ m e $v = 3.5$ m/s (per la portata di progetto, Tr_{200} , nella sezione di attraversamento come da modello 2D), si ottiene $d_{50} = 1$ m.

Per l’individuazione dell’estensione dell’intervento di sistemazione, si è fatto riferimento alle mappe dei valori di velocità, di cui se ne riporta uno stralcio nella figura seguente.

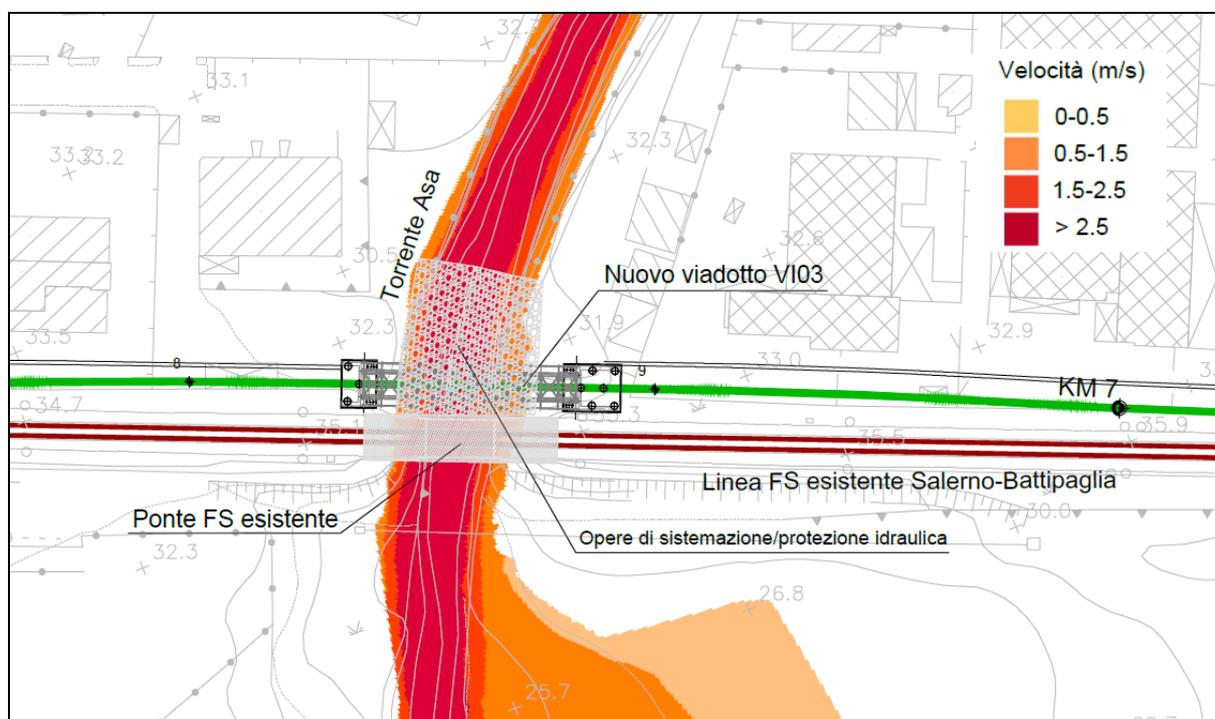


Figura 41 – Modello 2D del Torrente Asa: mappa dei valori dei velocità, per $Tr = 200$ anni, post operam.

6 VERIFICA DELLE FASI DI CANTIERE

Come anticipato, si è proceduto anche alla simulazione idraulica, secondo un schema monodimensionale, in regime di moto permanente, delle fasi di cantiere, ai fini del dimensionamento o della verifica delle opere provvisionali, potenzialmente interessate dai livelli idrici.

I modelli numerici 1D (in regime di moto permanente) dei corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa, sono stati sviluppati sulla base dei rilievi batimetrici disponibili (descritti nei precedenti capitoli) e hanno una estensione pari o prossima a quella dei modelli numerici 2D precedentemente illustrati. In analogia alle analisi sviluppate nell'ambito del P.S.A.I./P.G.R.A., per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning), per l'alveo inciso è stato adottato il valore $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$, mentre alle aree golenali è stato attribuito il valore di $0.060 \text{ s/m}^{1/3}$. Come condizione al contorno di valle, è stata imposta la "Normal Depth" (condizione di moto uniforme).

Le portate considerate/applicate sono quelle dedotte/ricavate nello studio idrologico annesso, corrispondenti ad un tempo di ritorno di 3 anni (durata dei lavori o permanenza in alveo = 3 mesi):

| ID bacino | Corso d'acqua | Q(mc/s) |
|-----------|-----------------|---------|
| 2 | Torrente Fuorni | 36.60 |
| 8 | Fiume Picentino | 69.9 |
| 15 | Torrente Asa | 62.50 |

Tabella 6 – Valori di riferimento della "portata di cantiere", per i corsi d'acqua di interesse.

Di seguito, si riportano i risultati in termini di livelli idrici nelle sezioni di attraversamento in progetto, per i tre corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa.

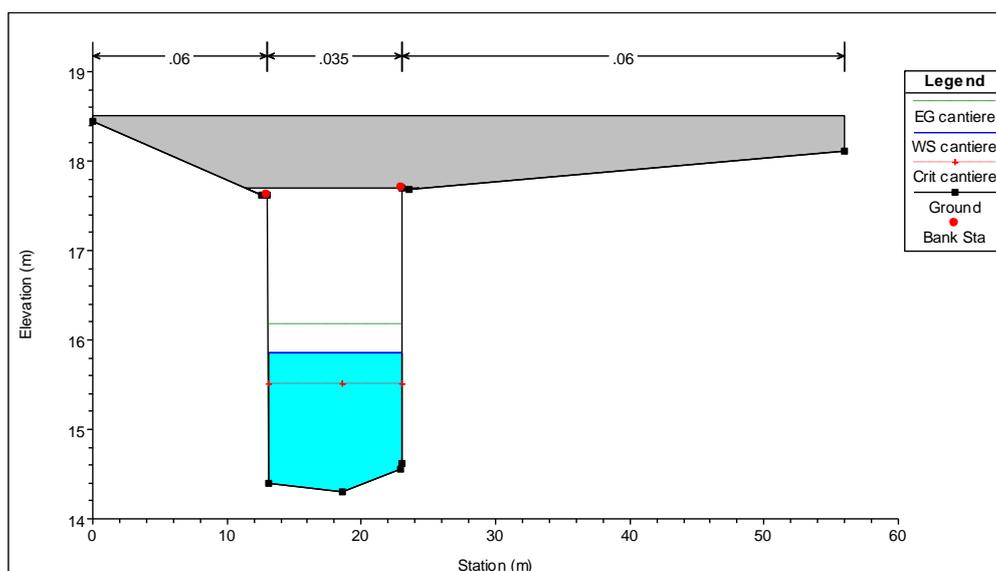


Figura 42 – Torrente Fuorni, modello 1D: livello idrico per la portata di cantiere ($Tr = 3$ anni), in corrispondenza della sezione di attraversamento.

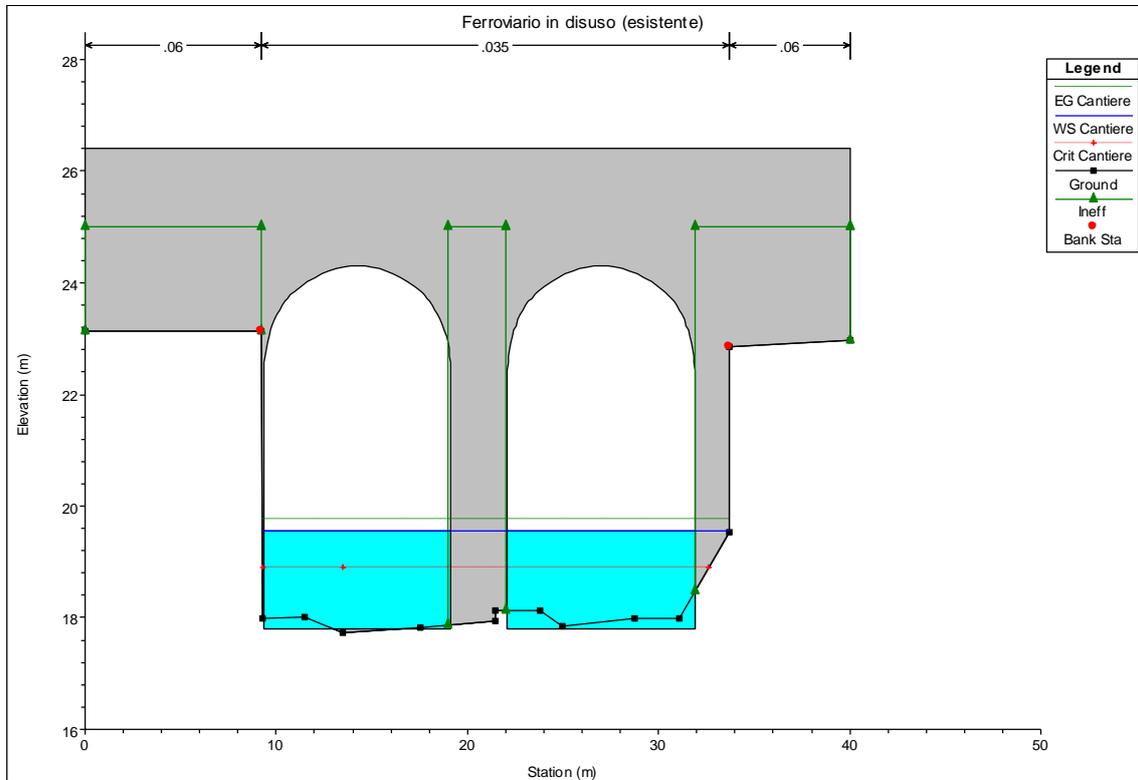


Figura 43 – Fiume Picentino, modello 1D: livello idrico per la portata di cantiere ($Tr = 3$ anni), in corrispondenza della sezione di attraversamento.

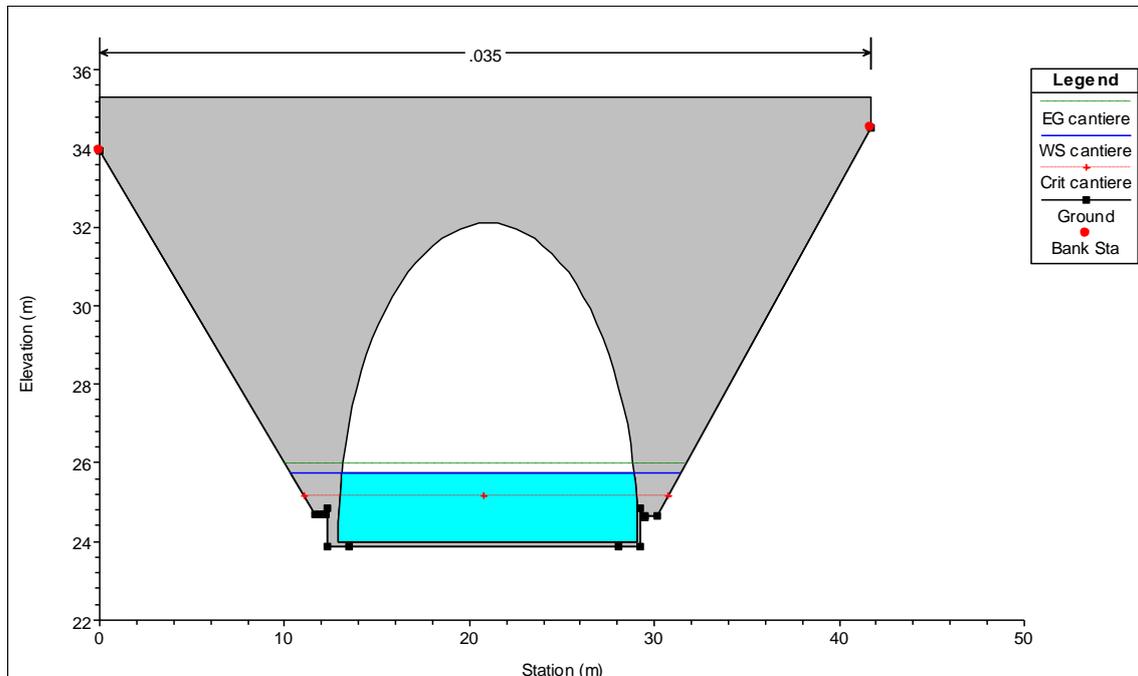


Figura 44 – Torrente Asa, modello 1D: livello idrico per la portata di cantiere ($Tr = 3$ anni), in corrispondenza della sezione di attraversamento.

| | | | | | | |
|---|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| | Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C |

Nello specifico, per la portata di cantiere ($Tr = 3$ anni), il livello idrico in corrispondenza delle sezioni di attraversamento sui corsi d'acqua Torrente Fuorni (VI01), Fiume Picentino (VI02) e Torrente Asa (VI03) si attesta rispettivamente a **+15.90 m slm**, **+19.81 m slm**, **+26.0 m slm**.

Con riferimento agli elaborati specialistici di Geotecnica, si può concludere che le opere provvisorie e gli scavi necessari per la realizzazione delle fondazioni dei viadotti VI01, VI02, VI03, non sono interessati da tali livelli idrici "di cantiere".

Come anticipato nella relazione idrologica annessa, con riferimento al Fiume Picentino, è stata studiata anche la fasizzazione delle lavorazioni necessarie alla realizzazione del manufatto a U in cls e delle opere di sistemazione idraulica.

In ragione della peculiarità delle condizioni in cui verranno realizzate tali opere (i.e. in alveo, a monte del ponte ferroviario esistente della linea Salerno-Battipaglia, dopo o contestualmente alla demolizione del ponte esistente ferroviario in disuso), l'esecuzione delle lavorazioni dovrà essere necessariamente subordinata alle seguenti prescrizioni:

- limitazione delle attività lavorative in alveo (soltanto) nel periodo estivo (durata massima $D = 2$ mesi, da cui un tempo di ritorno di riferimento di 2 anni, avendo assunto un rischio $R = 10\%$, come da relazione idrologica);
- predisposizione di un sistema di allerta/allarme, anche in caso di eventi non particolarmente eccezionali, sotto il coordinamento della Protezione Civile, per l'interruzione preventiva e temporanea delle lavorazioni.

In relazione a tali condizioni, la realizzazione del manufatto a U in cls e delle opere di sistemazione idraulica può essere eseguita secondo le seguenti due fasi:

FASE 1

- Preparazione del cantiere con l'eventuale realizzazione di rampe di accesso alle sponde e/o in alveo (destra idraulica)
- Realizzazione di un argine provvisorio in destra idraulica con blocchi prefabbricati in cls vibrato (1 mc), compreso livellamento/costipazione die blocchi in opera
- Demolizione della spalla e di parte dell'impalcato del ponte FS esistente in diuso, in destra idraulica
- Opere di scavo propedeutiche al getto del nuovo manufatto a U in cls
- Realizzazione di parte del manufatto a U in cls, di rivestimento della sezione d'alveo
- Contestuale posa in opera delle opere di sistemazione idraulica in alveo (in destra)
- Dismissione dell'argine provvisorio in destra

FASE 2

- Preparazione del cantiere con l'eventuale realizzazione di rampe di accesso alle sponde e/o in alveo (sinistra idraulica)
- Realizzazione di un argine provvisorio in sinistra idraulica con blocchi prefabbricati in cls vibrato (1 mc), compreso livellamento/costipazione die blocchi in opera

- Demolizione della pila centrale in alveo, della spalla e del rimanente impalcato del ponte FS esistente in diuso, in sinistra idraulica
- Opere di scavo propedeutiche al completamento del nuovo manufatto a U in cls
- Completamento del manufatto a U in cls, di rivestimento della sezione d'alveo
- Contestuale posa in opera delle opere di sistemazione idraulica in alveo (in sinistra)
- Dismissione dell'argine provvisorio in sinistra idraulica e completamento delle opere di sistemazione idraulica in alveo tramite mezzi dotati di benna, operanti dalle sponde

Nelle figure seguenti, si riportano in forma schematica le fasi sopra descritte (per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato grafico NN1X00D09P9ID0002001A).

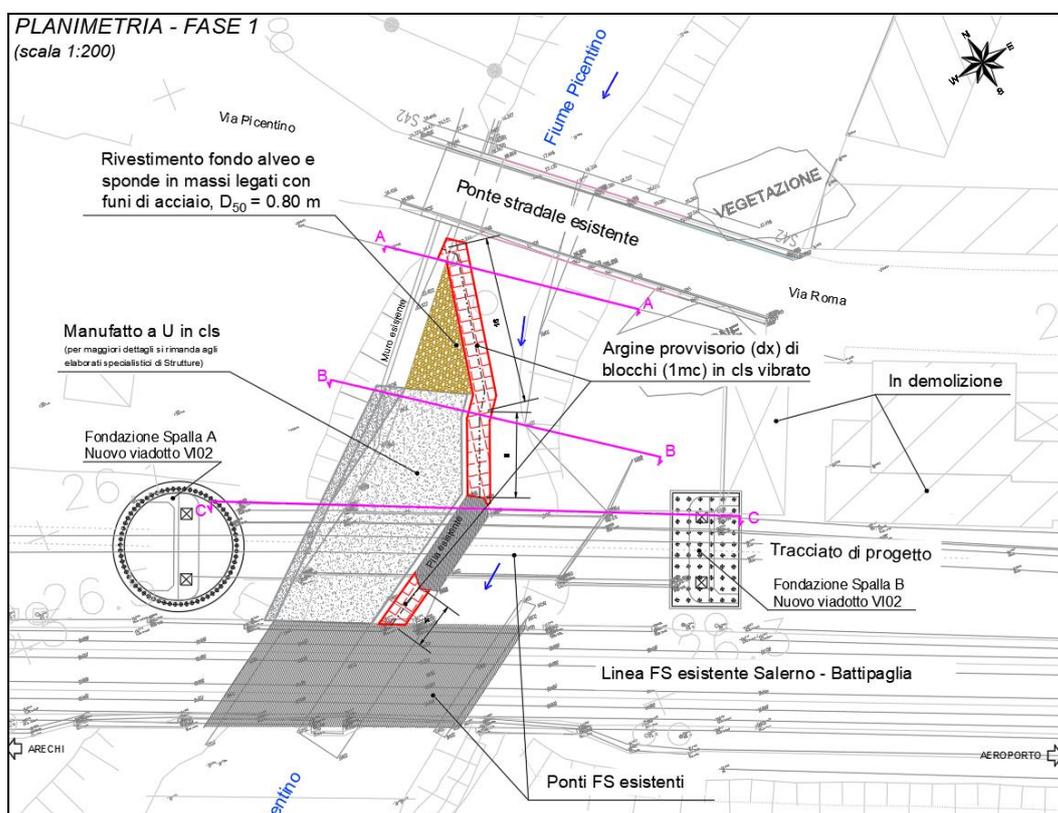


Figura 45 – Fiume Picentino, realizzazione del manufatto a U in cls: FASE 1.

Relativamente alla verifica idraulica di tali fasi, è stata considerata come “portatadi cantiere” di progetto quella corrispondente ad un tempo di ritorno di 2 anni (durata del cantiere = 2 mesi), pari a $38.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Gli argini provvisori sono stati simulati nel modello 1D Hec Ras tramite l'opzione “Obstructions”.

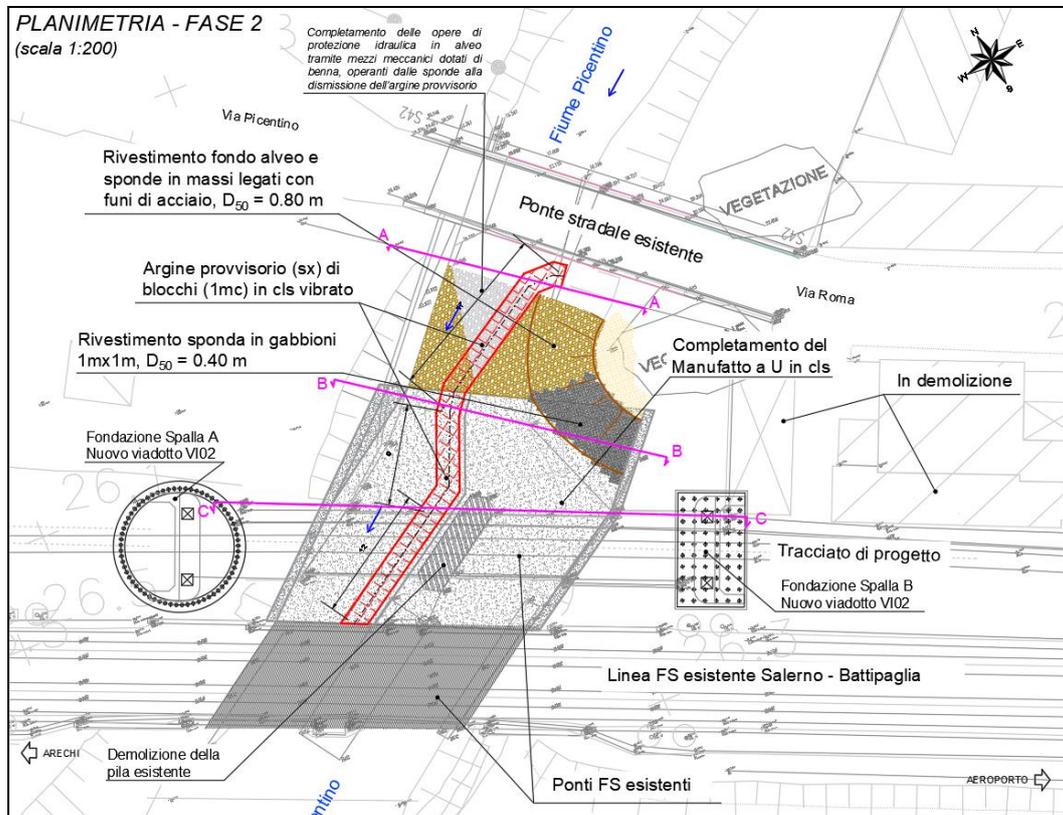


Figura 46 – Fiume Picentino, realizzazione del manufatto a U in cls: FASE 2.

Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di tiranti idrici) relativi alle fasi 1 e 2, nella sezione a monte del manufatto in progetto (ovvero a valle del ponte stradale di via Roma/via Picentino), in corrispondenza della quale si ha il maggior livello idrico (nel tratto di interesse), considerato per la definizione della quota di sommità degli argini provvisori.

Nello specifico, per quanto concerne la fase 1, il livello idrico massimo si attesta a +20.85 m s.l.m., da cui una altezza minima dell'argine provvisorio pari a +4 m (franco idraulico = 0.75 m). Con riferimento alla fase 2, il livello idrico massimo si attesta invece a +21.24 m s.l.m., da cui una altezza minima dell'argine provvisorio pari a +4 m (franco idraulico = 35 cm).

Nelle figure seguenti i risultati in termini di livelli idrici estratti dal modello numerico implementato.

Si precisa infine che è stata analizzata una possibile configurazione di “cantiere”, relativa alla realizzazione del manufatto a U in cls sul Fiume Picentino, nonché alla demolizione del ponte FS esistente in disuso.

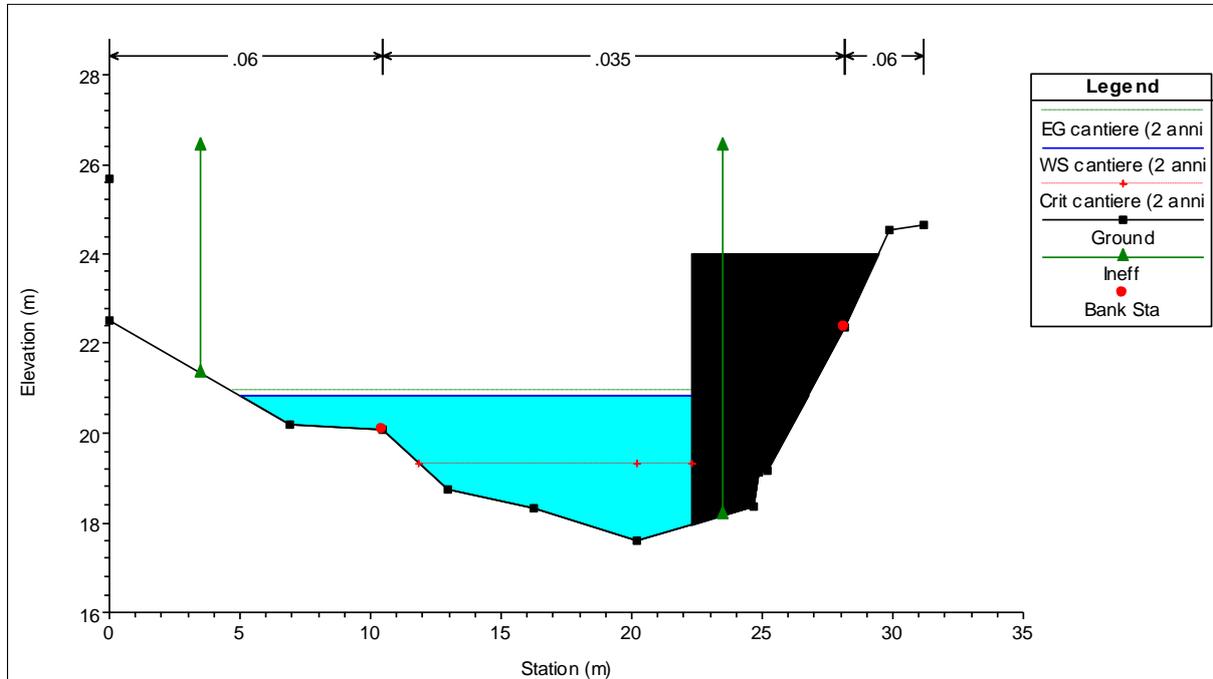


Figura 47 – Modello 1D del F. Picentino: livello idrico di riferimento per la fase di cantiere 1.

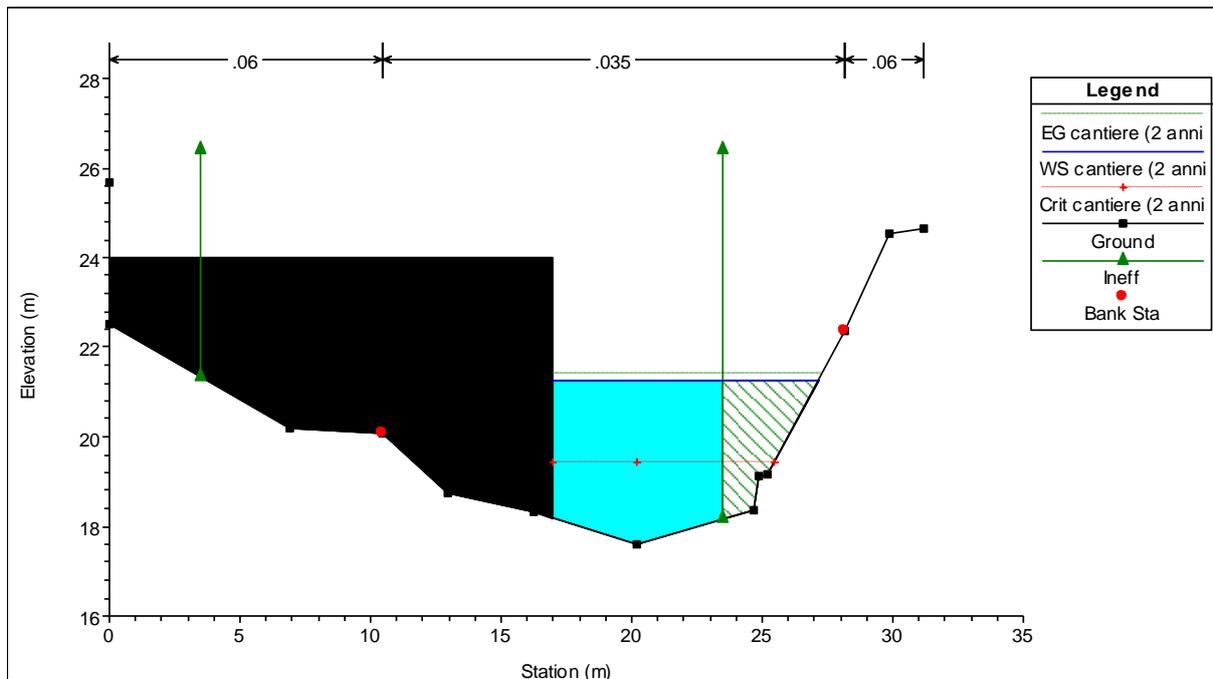


Figura 48 – Modello 1D del F. Picentino: livello idrico di riferimento per la fase di cantiere 2.

| | | | | | | |
|--|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 62 di 65 |

Inoltre, l'esecuzione delle due fasi (consecutivamente o soltanto nel periodo estivo, su due anni) dipende dal rischio idraulico assunto dall'impresa appaltatrice dei lavori e dalla durata complessiva (effettiva) delle lavorazioni.

Nello specifico, sono possibili i seguenti scenari:

- a) *Fase 1 + Fase 2* (consecutive), durata complessiva dei lavori = 2 mesi (sovrapponendo alcune lavorazioni nella singola fase), rischio idraulico = 10 %
- b) *Fase 1 + Fase 2* (non consecutive, soltanto nel periodo estivo), durata di ogni fase = 2 mesi, rischio idraulico = 10 %
- c) *Fase 1 + Fase 2* (consecutive), durata di ogni fase = 2 mesi (durata complessiva dei lavori = 4 mesi), rischio idraulico = 20 % [stimato tramite la relazione $R_{n,T_r} = 1 - (1 - 1/T_r)^n$, con $n = 4/12 = 0.333$ anni e $T_r = 2$ anni]

| | | | | | | |
|--|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 63 di 65 |

7 CONSIDERAZIONI SUGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. NN1X00D09RIID0001001A), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso la stazione pluviometrica di Salerno, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell'elaborazione dei risultati dei modelli meteo-climatici sviluppati dall'IPCC) un incremento delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo, pari al **+10%**.

Applicando tale incremento alle portate di progetto (ad oggi stimate con $Tr = 200$ anni) dei corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa, si ottengono rispettivamente i seguenti valori di portata di progetto nel periodo 2061-2090:

- *Torrente Fuorni: 227.6 mc/s*
- *Fiume Picentino: 569.6 mc/s*
- *Torrente Asa: 241.0 mc/s*

Tali valori (con riferimento allo studio idrologico sopra richiamato) corrisponderebbero circa ai valori di portata al colmo ad oggi stimati con $Tr = 300$ anni.

Con riferimento agli elaborati grafici annessi, riportanti le aree potenzialmente inondabili per $Tr = 300$ anni, non si riscontrano particolari criticità rispetto alla configurazione di progetto ($Tr200$) ad oggi esaminata; di seguito, si riportano inoltre i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario $Tr300$ (di progetto al 2090), in corrispondenza delle opere in progetto VI01 (T. Fuorni), VI02 (F. Picentino) e VI03 (Torrente Asa) sopra analizzate.

| | Quota minima impalcato [m slm] | Livello di piena Tr300 [m slm] | Franco sul livello idrico TR300 [m] |
|-----------------------------------|---|---|--|
| VI01 (T. Fuorni) | 19.83 | 18.17 | +1.66 |
| VI02 (Fiume Picentino) | 25.76 | 24.32 | +1.44 |
| VI03 (T. Asa) | 33.03 | 28.90 | +4.13 |

Sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “portate incrementate” per effetto dei cambiamenti climatici.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---------------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 64 di 65 |

8 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

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

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

I viadotti in progetto (VI01, VI02, VI03) analizzati nel presente studio sono caratterizzati da luci e franchi nel rispetto della normativa vigente.

Nello specifico, le opere di attraversamento non interessano con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d’acqua interessata dalla piena di progetto nè corpi arginali (assenti nei tratti fluviali di studio).

E’ rispettato il franco minimo di 1,5 metri rispetto al livello idrico corrispondente alla piena di progetto (*Tr200*), nonché la distanza minima tra fondo alveo e intradosso dell’impalcato (6-7 metri, come riportato nella circolare esplicativa n.7/2019), qualora la sezione di attraversamento sia interessata dal transito di tronchi di rilevanti dimensioni.

Inoltre, le opere in progetto non costituiscono un elemento pregiudizievole all’attenuazione o all’eliminazione delle specifiche cause di rischio esistenti.

In definitiva, le analisi e le verifiche idrauliche sopra descritte dimostrano la compatibilità idraulica delle opere VI01, VI02 e VI03, nonché della linea ferroviaria in progetto e delle opere annesse (i.e. viabilità, fabbricati, fermate...), in termini sia di franco di sicurezza sia di possibile interferenza con le aree di pericolosità idraulica.

| | | | | | | |
|---|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | PROGETTO DEFINITIVO <i>COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO</i> <i>TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO</i> | | | | | |
| Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale di Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa | PROGETTO NN1X | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID0002 001 | REV. C | FOGLIO 65 di 65 |

9 BIBLIOGRAFIA

AA. VV. Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Analisi Regionale dei massimi annuali delle precipitazioni della Regione Campania, GNDCI Linea 1. Rapporti di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia (Va.P.I.).

Corine Land Cover 2012 IV Livello – ISPRA.

Da Deppo, L., Datei, C., Salandin, P. Sistemazione dei corsi d’acqua. ED. Progetto Padova, 2004.

Ferro V., La sistemazione dei bacini idrografici, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ghetti A., Idraulica, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Maione U., Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., Processi e modelli dell’Idrometeorologia, Dispense, 2005.

Manuale di progettazione RFI (2020).

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, 2018 (circolare applicativa, 7 gennaio 2019).

Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.) - Rischio Alluvioni - ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele (agg. 2017).

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico dell’Appennino Meridionale (II ciclo di pianificazione, agg. Aprile 2020).

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Springer, pp. 84-146, 2003.

VenTe Chow, Open-channel hydraulics, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.