

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

**LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
 NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
 LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
 LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO
 IDROLOGIA E IDRAULICA**

Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica modello bidimensionale Fiume Sele

SCALA:

-

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

RC1E A1 R 09 RI ID0002 002 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|--|
| A | Emissione esecutiva | L.Nani <i>[Signature]</i> | Ottobre 2021 | A.Cappelli <i>[Signature]</i> | Ottobre 2021 | I. D'Amore <i>[Signature]</i> | Ottobre 2021 | ANGELO VITTOZZI Ottobre 2021 |
| | | | | | | | | ITALFERR S.p.A. Opere Civili e gestione delle anlanti Dott. Ing. Angelo Vittozzi Direzione Regionale della Provincia di Roma N. ASD/28 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

File: RC1EA1R09RIID0002002A.doc

n. Elab

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | PREMESSA | 5 |
| 2 | INQUADRAMENTO GENERALE..... | 6 |
| 2.1 | INQUADRAMENTO IDROGRAFICO | 6 |
| 2.2 | STUDI ESISTENTI..... | 6 |
| 3 | INQUADRAMENTO NORMATIVO | 7 |
| 3.1 | PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO..... | 7 |
| 3.2 | NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (DECRETO 17 GENNAIO 2018 DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI) | 8 |
| 3.3 | CIRCOLARE 21 GENNAIO 2019, N. 7 C.S.LL.PP. (ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELL'AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DI CUI AL DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018)..... | 9 |
| 3.4 | MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE FERROVIARIE (RFI DTC SI CS MA IFS 001 D)..... | 10 |
| 4 | STUDIO IDRAULICO..... | 11 |
| 4.1 | METODOLOGIA | 11 |
| 4.1.1 | <i>Modello numerico</i> | 12 |
| 4.1.2 | <i>Geometria di calcolo</i> | 13 |
| 4.1.3 | <i>Condizioni al contorno</i> | 16 |
| 4.1.4 | <i>Scabrezze</i> | 16 |
| 4.2 | RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE | 18 |
| 4.3 | DETERMINAZIONE DELLO SCAVO LOCALIZZATO IN PROSSIMITÀ DELLE PILE..... | 23 |
| 4.3.1 | <i>HEC18-CSU</i> | 23 |
| 4.3.2 | <i>Ulteriori considerazioni sul calcolo della profondità di scavo</i> | 25 |
| 4.4 | PROTEZIONI DELLE PILE DALLO SCALZAMENTO..... | 27 |
| 4.4.1 | <i>Verifiche di stabilità massi a protezione delle pile</i> | 27 |
| 5 | COMPATIBILITÀ IDRAULICA | 30 |

INDICE DELLE FIGURE

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA | | | | | |
| | TITOLO ELABORATO | COMMESSA RC1E | LOTTO A1 R 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0002 002 | REV. A |

| | |
|---|----|
| Figura 1 Lotto 1a Battipaglia – Romagnano. Corografia dell'intervento..... | 5 |
| Figura 1 – Inquadramento territoriale del reticolo idrografico nell'area di studio | 6 |
| Figura 1 – Profilo idraulico del fiume Sele per TR500 riportati nella “Rivisitazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Sele (Allegato N)” | 7 |
| Figura 2 – Fasce fluviali del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino del Sele..... | 8 |
| Figura 2 – Modello idraulico fiume Sele: estensione del dominio di calcolo. | 14 |
| Figura 2 – Modello idraulico fiume Sele: DTM di riferimento. | 15 |
| Figura 2 – Modello idraulico fiume Sele: idrogrammi di piena. | 16 |
| Figura 2 – Modello idraulico fiume Sele: mappa dell'indice di Manning..... | 18 |
| Figura 2 – Modello idraulico fiume Sele: aree allagate nello stato di fatto per TR30, TR200 e TR500 anni. | 19 |
| Figura 2 – Modello idraulico fiume Sele, TR200 anni stato di fatto: altezze d'acqua massime (m) a sinistra, velocità massime (m/s) a destra. | 20 |
| Figura 2 – Modello idraulico fiume Sele, TR200 anni: confronto campo di velocità nello stato di fatto (a sinistra) e nello stato di progetto (a destra). | 21 |
| Figura 2 – Modello idraulico fiume Sele, TR200 anni: confronto velocità lungo la sezione del tracciato ferroviario nello stato di fatto e nello stato di progetto..... | 21 |
| Figura 2 – Modello idraulico fiume Sele, TR200 anni: confronto livelli lungo la sezione del tracciato ferroviario nello stato di fatto e nello stato di progetto..... | 22 |
| Figura 1 – Calcolo della larghezza equivalente, Melville e Raudkivi (1996) | 26 |
| Figura 1 – Disposizione raccomandata dei massi di protezione attorno alle pile, fonte HEC23..... | 28 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|----|
| Tabella 2 – Valori di scabrezza indicati dalle Norme Tecniche del PSAI del Fiume Sele..... | 17 |
| Tabella 1 – Livelli idrici ottenuti in corrispondenza della sezione fluviale immediatamente a monte dell'attraversamento ferroviario sul Fiume Sele nello stato di fatto e nello stato di progetto per i diversi tempi di ritorno. | 22 |
| Tabella 1 – Coefficiente correttivo K1 | 24 |
| Tabella 1 – Coefficiente correttivo K3 | 24 |
| Tabella 1 – Viadotto VI10, massima profondità di escavazione | 27 |
| Tabella 1 – Viadotto VI10, calcolo delle protezioni..... | 29 |



LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

TITOLO ELABORATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|---------|
| RC1E | A1 R 09 | RI | ID0002 002 | A | 4 di 31 |

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante degli elaborati specialistici relativi al Progetto di fattibilità tecnica ed economica della Linea ferroviaria Salerno-Reggio Calabria.

In particolare, la presente relazione descrive i risultati delle verifiche idrauliche degli attraversamenti idraulici maggiori del lotto 1A che si sviluppa tra Battipaglia e Romagnano.

Il lotto 1A è stato individuato come prioritario e inserito all'interno del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) tra le opere da finanziare nell'ambito della missione "Infrastrutture per una Mobilità Sostenibile" che punta a completare entro il 2026 una prima e significativa tappa di un percorso di più lungo termine verso la realizzazione di un sistema infrastrutturale moderno e sostenibile dal punto di vista ambientale, tenuto conto delle specificità della orografia del territorio italiano, in grado di rispondere alle esigenze di mobilità ad un ampio bacino interregionale.

Il tracciato si sviluppa in doppio binario dalla stazione di Battipaglia (l'inizio intervento è posto al km 73+790 della linea Battipaglia – Potenza C.le) e si estende per circa 35 km con una velocità di tracciato di 300 km/h, tranne che per il tratto iniziale di circa 9 km che presenta elementi geometrici caratterizzati da velocità di tracciato pari a 180 km/h fino al km 4+4450 circa di progetto e 250 km/h fino alla pk 9+050 e il tratto finale di allaccio alla LS Battipaglia – Potenza C.le a 100 km/h.

La linea si sviluppa a doppio binario fino al passaggio doppio/singolo in corrispondenza della pk 29+000 circa di progetto, da questo punto prosegue a singolo binario sul tracciato del futuro binario dispari e termina con l'innesto sulla LS Battipaglia – Potenza C.le al km 112+350.

Il tracciato attraversa i territori di Battipaglia, Eboli, Campagna, Contursi Terme, Sicignano degli Alburni e Buccino, tutti nella Provincia di Salerno.

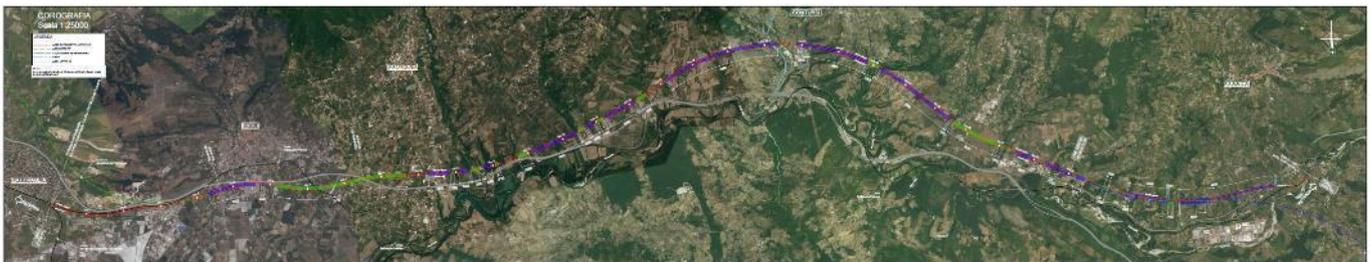


Figura 1 Lotto 1a Battipaglia – Romagnano. Corografia dell'intervento

La presente relazione illustra lo studio idraulico, effettuato con modellazione numerica bidimensionale, del tratto di fiume Sele che comprende l'attraversamento ferroviario.

Le analisi sono state condotte al fine di definire e verificare le opere di protezione idraulica della linea ferroviaria stessa e successivamente valutare la compatibilità idraulica delle opere in progetto.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Inquadramento idrografico

Il fiume Sele nasce nel territorio del comune di Caposele (AV). Il tratto dalla sorgente alla confluenza con il fiume Tanagro scorre incassato nel fondo valle, con alveo stretto e sponde alte, greto ciottoloso con presenza di folta vegetazione in alveo. Viste le caratteristiche geomorfologiche del fiume, il territorio non risulta soggetto a rilevanti fenomeni di esondazione, mentre si segnalano episodi di erosione spondale, per effetto della velocità raggiunta dalla corrente in alcuni tratti: alcune parti del fiume sono regimate da briglie, mentre le sponde sono protette da gabbioni metallici per evitare fenomeni di erosione.

A Contursi Terme, presso la zona industriale, vi è la confluenza tra il fiume Sele e il fiume Tanagro.

Appena a monte della confluenza si trova il ponte stradale della SP491, che tuttavia è ad una quota tale da non costituire ostacolo al deflusso.

Alla confluenza con il F. Tanagro la morfologia fluviale cambia nettamente, l'alveo si allarga e aumenta la sezione di deflusso.

La Figura 2 riporta un inquadramento della rete idrografica rispetto al tracciato ferroviario in progetto.

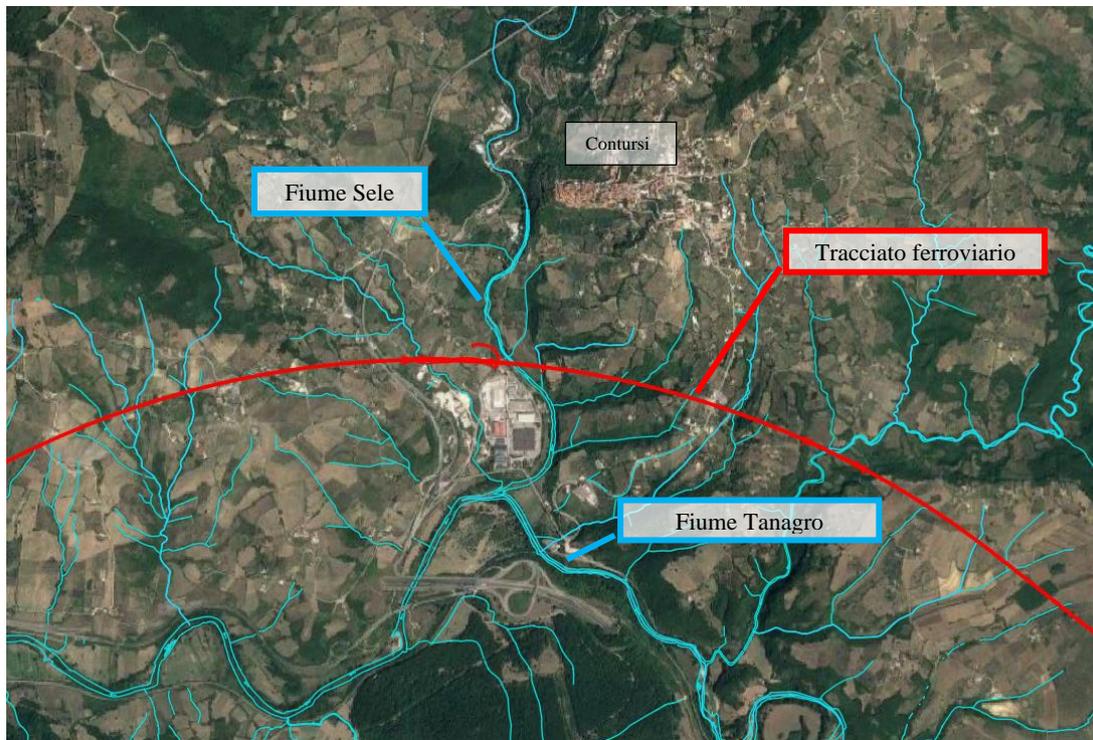


Figura 2 – Inquadramento territoriale del reticolo idrografico nell'area di studio

2.2 Studi esistenti

Il Fiume Sele è stato oggetto di studio nell'ambito della "Rivisitazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Sele" (Autorità di Bacino Regionale Campania Sud ed Interregionale per il bacino idrografico del Fiume Sele", 2012). In tale approfondimento il corso d'acqua è stato analizzato mediante modello idraulico monodimensionale, attraverso l'implementazione del software HEC-RAS della USACE.

Le portate di riferimento utilizzate in tale studio sono state determinate mediante una legge di stima del valore della piena indice.

I risultati ottenuti hanno portato all'aggiornamento delle fasce fluviali, descritte al Capitolo successivo.

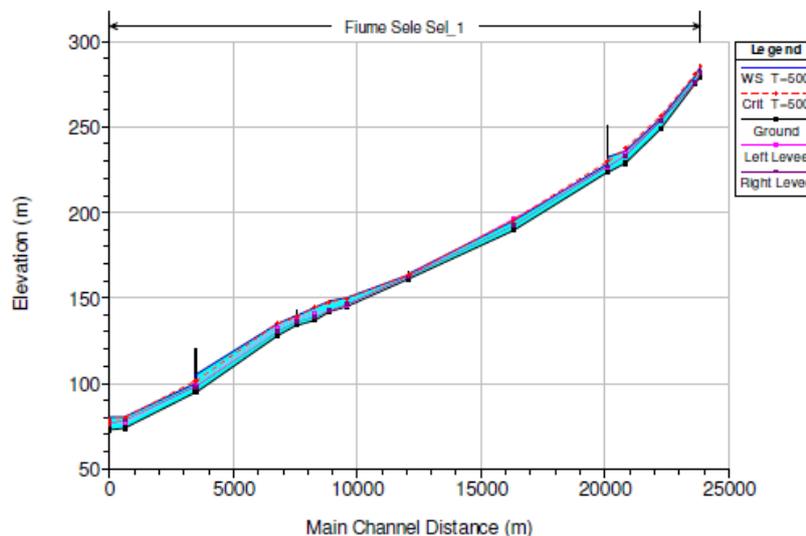


FIGURA 9 - PROFILO IDRAULICO IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE (T = 500).

Figura 3 – Profilo idraulico del fiume Sele per TR500 riportati nella “Rivisitazione del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Sele (Allegato N)”

3 INQUADRAMENTO NORMATIVO

3.1 Piano Stralcio per l’assetto idrogeologico

Le aree inondabili coincidono con le aree che possono essere inondate con un periodo di ritorno pari a 30, 50, 100, 200, 500 anni.

I tempi di ritorno che definiscono le fasce fluviali sono:

- Periodo di ritorno T = 30 anni, per la perimetrazione della Fascia A
- Periodo di ritorno T = 50 anni, per la perimetrazione della Sottofascia B1
- Periodo di ritorno T = 100 anni, per la perimetrazione della Sottofascia B2.
- Periodo di ritorno T = 200 anni, per la perimetrazione della Sottofascia B3.
- Periodo di ritorno T = 500 anni, per la perimetrazione della Fascia C.

Le Norme di Attuazione dei PSAI (Agosto 2016) indicano all'art. 50 - Studio di compatibilità idraulica. Valutazione della Pericolosità e Rischio: *“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 PSAI. [...]”*

La Figura 4 riporta le fasce fluviali del PSAI F. Sele.

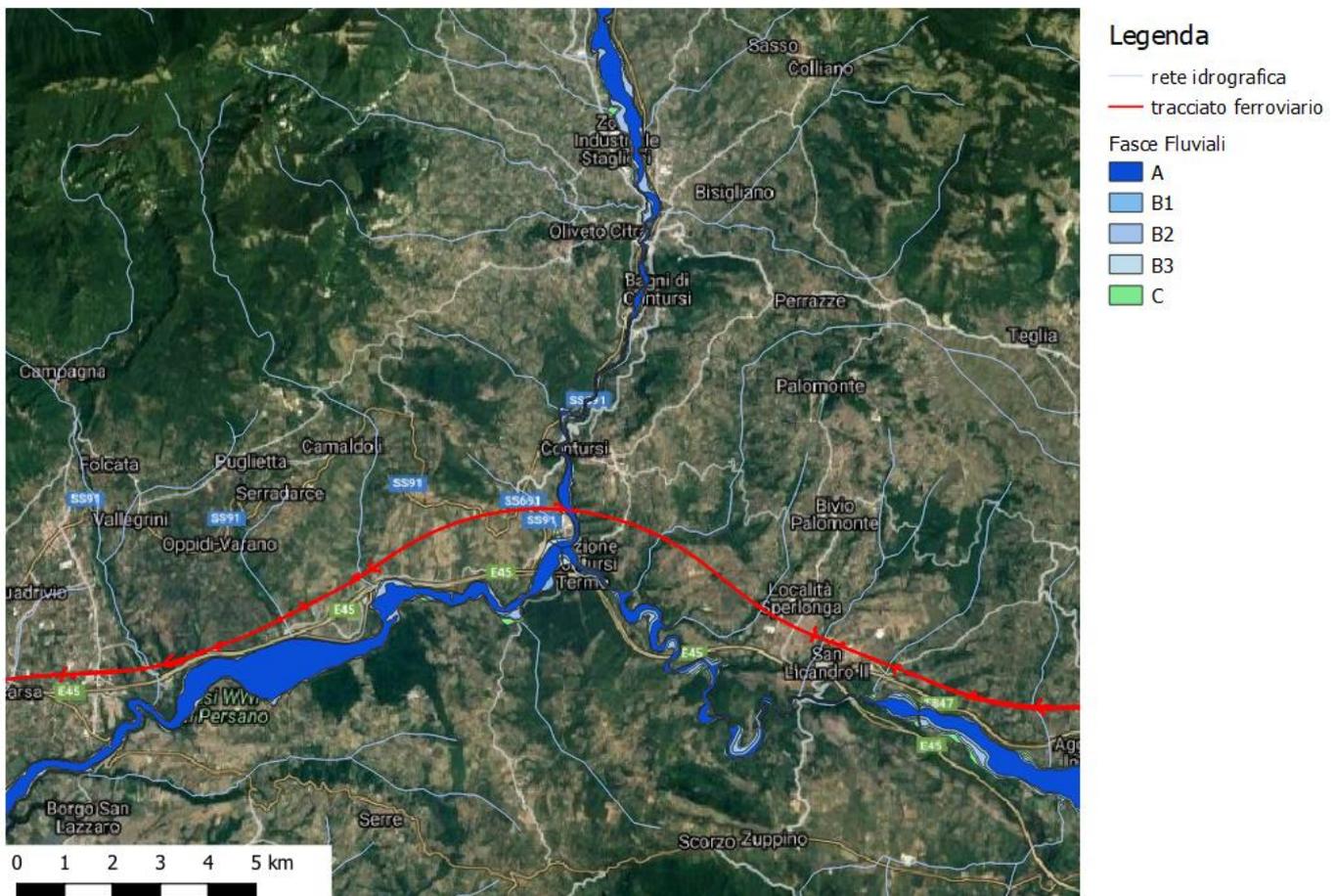


Figura 4 – Fasce fluviali del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino del Sele.

3.2 Norme tecniche per le costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti)

All’interno dell’“Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”” (Decreto 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), al punto 5.1.2.3, si definiscono gli argomenti principali dello studio di “Compatibilità idraulica” relativo ai ponti stradali. Le stesse prescrizioni si estendono poi ai ponti ferroviari, secondo il paragrafo 5.2.1.2.

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA | | | | | |
| | TITOLO ELABORATO | COMMESSA RC1E | LOTTO A1 R 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0002 002 | REV. A |

Si riporta un estratto della normativa:

5.1.2.3 Compatibilità Idraulica

[...]

Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte.

[...]

3.3 Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018)

Le "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018." propongono al punto C5.1.2.3 "Compatibilità Idraulica" ulteriori prescrizioni:

[...]

Ai fini dell'applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima è a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a $Tr = 200$ anni, dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati.

[...]

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 sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature.

[...]

Per i ponti esistenti sono ammessi gli interventi per l'incremento della sicurezza strutturale in analogia a quanto prescritto al § 8.4 della Norma, solo nel caso in cui siano esclusi incrementi, rispetto all'attuale, del livello di traffico di progetto e gli stessi interventi non vadano in alcun modo a peggiorare le condizioni di sicurezza idraulica esistenti. Poiché in questi casi sono possibili fenomeni di instabilità locale, in applicazione del §8.3 della Norma, è opportuno effettuare la verifica delle fondazioni, e quindi la valutazione dello scalzamento di eventuali spalle o pile in alveo. Anche gli interventi necessari per l'incremento della sicurezza strutturale devono essere accompagnati dallo studio di compatibilità idraulica dove sia messa in evidenza la frequenza probabile ($1/Tr$) degli eventi che garantiscono il franco previsto da Norma.

[...]

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

| | | | | | | |
|---|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA | | | | | |
| | TITOLO ELABORATO | COMMESSA RC1E | LOTTO A1 R 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0002 002 | REV. A |

per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.

[...]

3.4 Manuale di progettazione delle opere ferroviarie (RFI DTC SI CS MA IFS 001 D)

In accordo a quanto previsto dal Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie, ogni tipo di manufatto idraulico deve essere verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno Tr:

- **linea ferroviaria Tr= 200 anni**
- **deviazioni stradali Tr=200 anni**

[...]

3.7.2.1.2 Attraversamenti corsi d' acqua principali

[...]

*definizione di una procedura di trasferimento dei dati caratteristici di portata alle sezioni di calcolo; **per le verifiche di opere esistenti sarà utile calcolare le portate con tempo di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni.** Per gli attraversamenti più importanti si calcolerà una portata di piena estrema, per eventuali verifiche di uno scenario di superamento della portata di progetto;*

[...]

calcolo dei profili di piena in condizioni di moto permanente nel tronco fluviale in esame per valori di portata corrispondenti ai valori assegnati dei tempi di ritorno e definizione dei corrispondenti livelli di piena alla sezione degli attraversamenti, ante e post operam; valutazione della compatibilità idraulica delle fasi costruttive;

[...]

3.7.2.1.4 Studio idraulico

[...]

Lo studio dovrà fornire tutte le indicazioni possibili circa l'ampiezza ed importanza del fenomeno, le quote idriche assolute, le indicazioni progettuali per mitigare l'interferenza del rilevato ferroviario con il normale deflusso delle acque di esondazione.

Qualora l'infrastruttura ferroviaria provochi una diminuzione del volume di invaso dell'area, dovranno essere valutate le modificazioni indotte sui livelli a monte ed a valle.

[...]

3.7.2.2.1 Attraversamenti principali

[...]

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA | | | | | |
| | TITOLO ELABORATO | COMMESSA RC1E | LOTTO A1 R 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0002 002 | REV. A |

Per tali categorie di opere, relative a bacini con superficie $S > 10 \text{ km}^2$, si dovrà verificare la sezione di attraversamento in relazione alle caratteristiche dimensionali del manufatto in modo da minimizzare le modificazioni all'attuale deflusso nelle fasce fluviali, indotte dalla esecuzione delle opere.

Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:

Il franco rispetto all'intradosso dell'opera dovrà essere:

- non inferiore a 1,5 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento, per la portata con tempo di ritorno prescritto dalla normativa nazionale o locale vigente;

- non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni.

[...]

3.8.1.2.1.2 Geometria del rilevato

[...]

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

[...]

I rilevati per i quali durante le piene possa instaurarsi una differenza di battente idrico tra un lato e l'altro, dovranno avere un adeguato coefficiente di sicurezza nei confronti di fenomeni di sifonamento o di sfiancamento per perdita di stabilità globale, anche nello scenario di assenza di battente idrico, ma rilevato saturo.

4 STUDIO IDRAULICO

4.1 Metodologia

Lo studio idraulico del fiume Sele nell'area che comprende l'attraversamento ferroviario in progetto è stato eseguito mediante modellazione idrodinamica bidimensionale.

Il software utilizzato per l'implementazione dei modelli è HEC-RAS 6.0 sviluppato dal *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE).

La modellazione bidimensionale del corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza il flusso generato dalle portate di piena all'interno dell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue con la peculiarità di mettere in evidenza il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature. È inoltre possibile valutare con un elevato grado di dettaglio gli effetti sulla propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle.

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA | | | | | |
| | TITOLO ELABORATO | COMMESSA RC1E | LOTTO A1 R 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0002 002 | REV. A |

L'algoritmo di modellazione bidimensionale a volumi finiti implicito in HEC-RAS utilizza come equazioni disponibili le *Shallow Water Equations* (SWE) o le *Diffusion Wave Equations* (DWE). L'algoritmo di soluzione implicita consente tempi di calcolo più rapidi rispetto ai metodi espliciti.

La mesh di calcolo è di tipo non strutturato, con celle ortogonali tra loro (la faccia tra due celle è perpendicolare a una linea che collega i due centri delle celle che possono avere un numero di lati fino a 8).

4.1.1 Modello numerico

La formulazione delle SWE utilizzate nel software HEC RAS si basa sull'equazione di conservazione della massa (continuità):

$$q = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y}$$

Dove i termini rappresentano:

q la portata

h il tirante idrico della corrente

u e v rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni x e y

t il tempo

In forma vettoriale, l'equazione di continuità prende la forma:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (hV) = q$$

Dove

$V=(u,v)^T$ è il vettore velocità

∇ è il gradiente $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)^T$

Integrando su una regione orizzontale con confine perpendicolare al vettore n, usando il teorema della divergenza di Gauss, l'equazione assume la forma integrale:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\Omega} d\Omega + \iint_S (V \cdot n) dS = Q$$

Dove

Ω è il volume fluido e n è il vettore unitario perpendicolare al contorno S.

La formulazione conservativa delle SWE è essenziale al fine di preservare la massa e la quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette di rappresentare le discontinuità nel flusso e i cambiamenti tra moto gradualmente e rapidamente vario (gradually varied flow e rapidly varied flow).

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA | | | | | |
| | TITOLO ELABORATO | COMMESSA RC1E | LOTTO A1 R 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0002 002 | REV. A |

La turbolenza è modellata come processo di diffusione del gradiente. La viscosità è calcolata come somma di due fattori, che rappresentano la turbolenza prodotta dal taglio verticale e la turbolenza prodotta dal taglio orizzontale nel flusso e deriva dal modello di viscosità di Smagorinsky-Lilly (1963, 1970). Il modello di Smagorinsky-Lilly assume che l'energia turbolenta produzione e dissipazione su piccola scala sono in equilibrio. Il modello Smagorinsky-Lilly è piuttosto costoso da calcolare perché richiede il calcolo dei gradienti di velocità. Tuttavia, è più accurato dal punto di vista fisico, specialmente nelle regioni ad alto taglio come vicino a confini solidi/asciutti.

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

$$\Delta t \leq \frac{CFL \Delta x}{(\sqrt{u^2 + v^2} + c)}$$

dove: CFL è il numero di Courant (il valore di default è 0.95), Δx è la dimensione caratteristica dell'elemento appartenente alla griglia di calcolo, u e v sono le componenti piane del vettore velocità, c è la celerità dell'onda, Δt è il time step.

4.1.2 Geometria di calcolo

Le caratteristiche geometriche del dominio di calcolo sono riportate all'interno del modello idraulico tramite una rappresentazione semplificata del territorio ad elementi generalmente poligonali, nota come mesh. La mesh di calcolo è di tipo non strutturato, con celle ortogonali tra loro, in grado di riprodurre l'andamento piano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato.

Ogni cella computazionale e faccia di cella si basa sui dettagli del terreno sottostante. Questo tipo di modello è spesso indicato in letteratura come "modello sottogriglia ad alta risoluzione" (Casulli, 2008). Il termine "sottogriglia" significa che utilizza il terreno sottostante dettagliato (sottogriglia) per sviluppare le tabelle delle proprietà geometriche e idrauliche che rappresentano le celle e le facce delle celle. HEC-RAS dispone di un pre-processore dell'area di flusso 2D che elabora le celle e le facce delle celle in tabelle dettagliate delle proprietà idrauliche in base al terreno sottostante utilizzato nel processo di modellazione. Pertanto, una cella può essere parzialmente bagnata con il volume d'acqua corretto per la data elevazione della superficie dell'acqua in base ai dati della griglia; inoltre, ogni faccia di cella computazionale viene valutata in modo simile a una sezione trasversale.

In Figura 5 è riportata l'estensione del dominio di calcolo delimitato da un poligono di colore verde. Nella stessa immagine è visibile l'asse del corso d'acqua (linea azzurra), l'asse della linea ferroviaria (in rosso). Il dominio si estende su una superficie di circa 687500 m². All'interno del dominio di calcolo, il Fiume Sele si sviluppa per una lunghezza di circa 1970 m.

TITOLO ELABORATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| RC1E | A1 R 09 | RI | ID0002 002 | A | 14 di 31 |

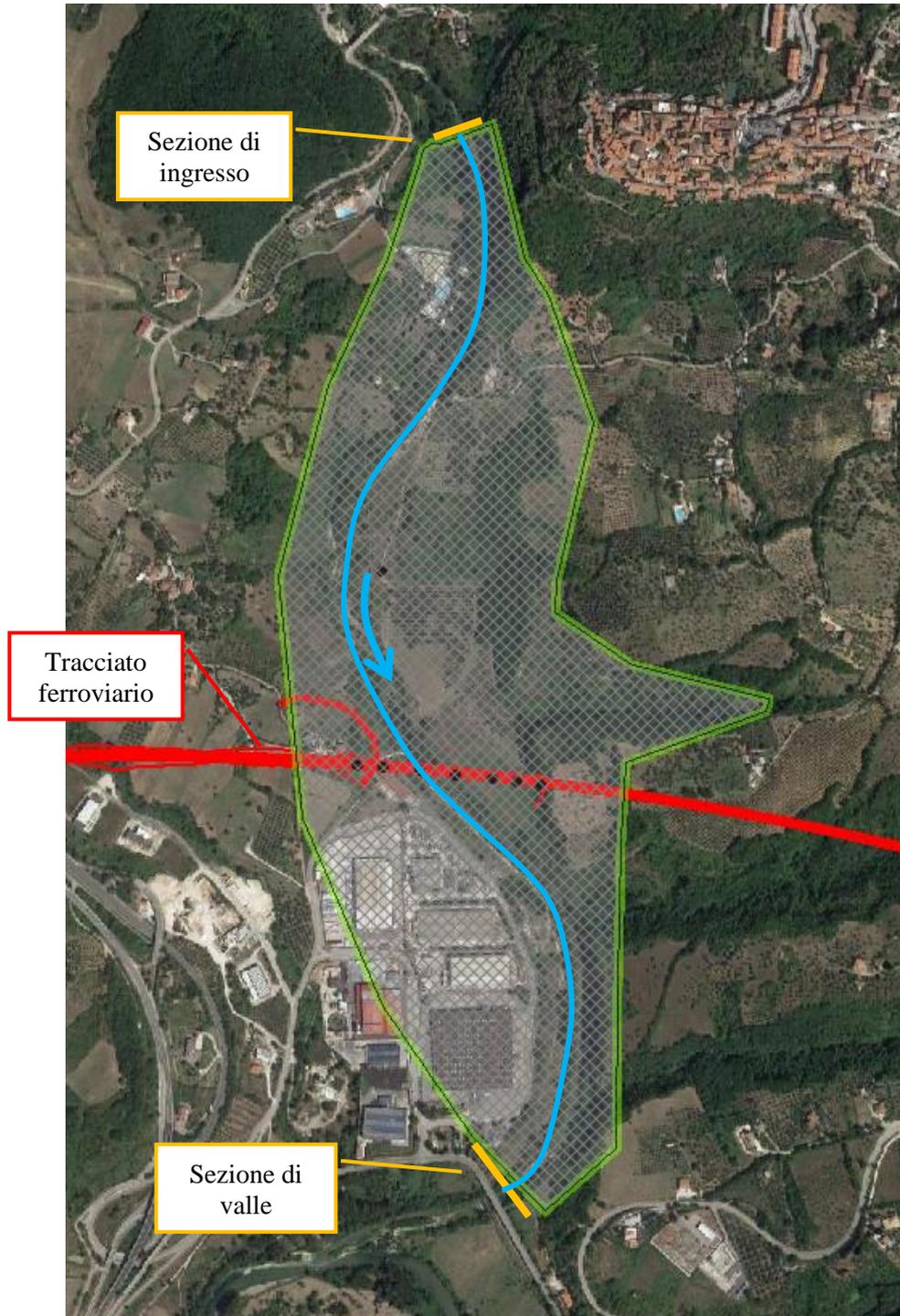


Figura 5 – Modello idraulico fiume Sele: estensione del dominio di calcolo.

L'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo è basato sull'utilizzo del DTM con cella 0.5m fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Le risoluzioni del DTM sono adeguate a rappresentarne le caratteristiche piano altimetriche delle aree indagate. In figura seguente è rappresentato il DTM ed una sezione del terreno estrapolata da questo in una porzione dell'area di studio.

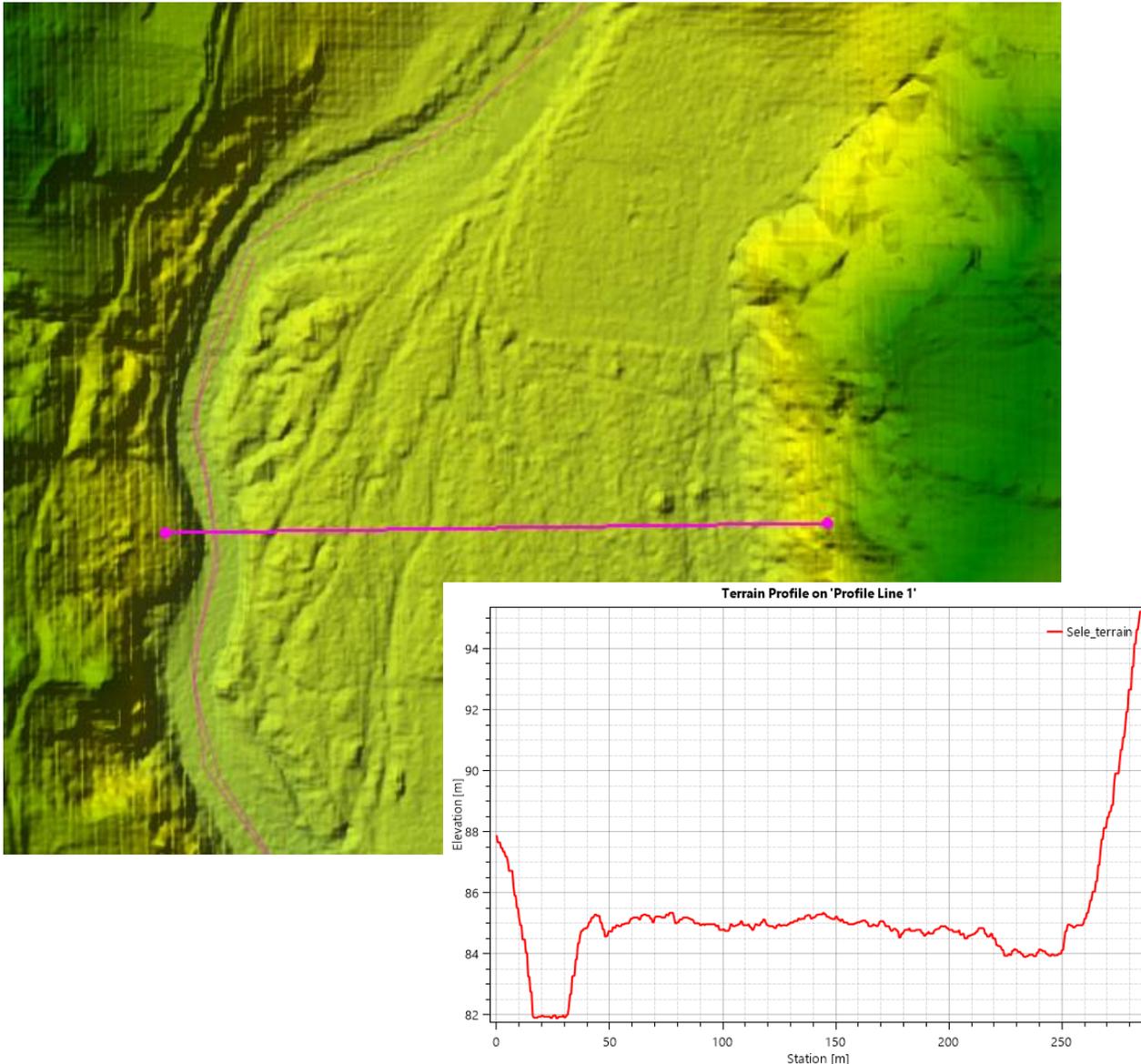


Figura 6 – Modello idraulico fiume Sele: DTM di riferimento.

La mesh base di calcolo, è costituita da circa 7000 elementi aventi una dimensione media di 98 m². La creazione della mesh è stata sviluppata inserendo delle breaklines che descrivono aree con differenze di quota significative di cui tener conto, quali sommità di rilevati, sponde fluviali ecc.

La geometria di calcolo dello stato di progetto prevede l'inserimento delle pile del viadotto all'interno del DTM e della mesh di calcolo.

4.1.3 Condizioni al contorno

Le condizioni a contorno introdotte nel modello di calcolo sono:

- gli idrogrammi di piena, calcolati attraverso le analisi idrologiche (Figura 7), come condizione di monte;
- la condizione di moto uniforme a valle.

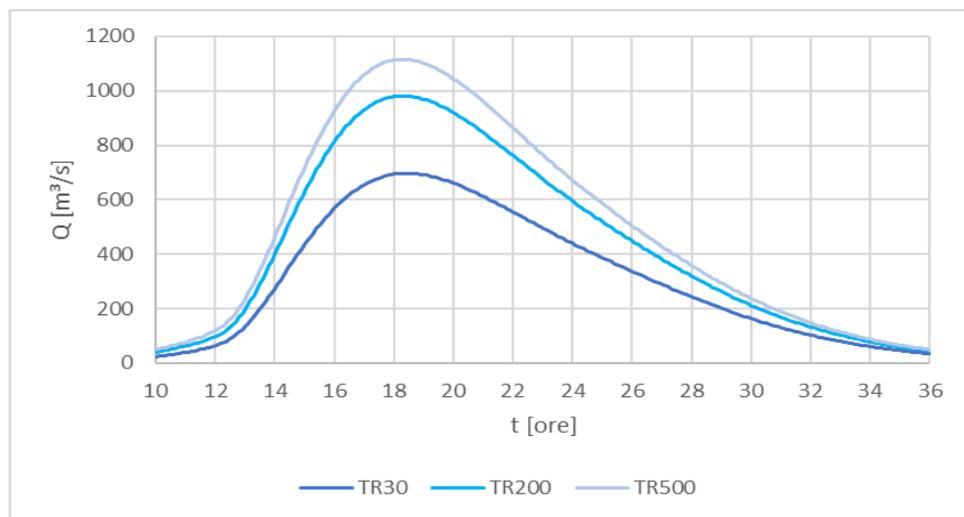


Figura 7 – Modello idraulico fiume Sele: idrogrammi di piena.

4.1.4 Scabrezze

La scelta del valore di scabrezza, da adottare per le celle di calcolo della mesh, è stata fatta sulla base della copertura del suolo valutata da immagini satellitari.

Le Norme di Attuazione dei PSAI relativi ai bacini idrografici regionali in destra e in sinistra Sele ed interregionale del Fiume Sele riportano che:

“I parametri di scabrezza da utilizzare nel calcolo idraulico devono tenere conto delle reali e documentabili condizioni di manutenzione del corso d'acqua. Tali valori di parametro di scabrezza, di norma assunti con riferimento a corsi d'acqua naturali, devono essere desunti da quelli individuati dalla tabella seguente (per semplicità riportati solo in termini di scabrezza di Gauckler-Strickler), tenendo conto che gli stessi dovrebbero essere considerati valori massimi non superabili.”

TITOLO ELABORATO

| | | | | | |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| RC1E | A1 R 09 | RI | ID0002 002 | A | 17 di 31 |

| Descrizione corso d'acqua | k_s di Strickler |
|--|--------------------|
| | $m^{1/3} s^{-1}$ |
| tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo | 25-30 |
| corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo | 30-35 |
| tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato | 35-40 |
| corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque | 40-45 |
| tombinature perfettamente lisce e dotate a monte di dispositivi atti ad assicurare la trattenuta di trasporto solido di fondo e in sospensione (briglie selettive, vasche di sedimentazioni, ecc.) | 45-55 |

Tabella 1 – Valori di scabrezza indicati dalle Norme Tecniche del PSAI del Fiume Sele.

Nel caso di modellazioni quasi-bidimensionali o bidimensionali, le Norme di Attuazione indicano che “*per la simulazione del fenomeno di propagazione fuori alveo deve essere assunto un parametro di scabrezza per le aree limitrofe al corso d'acqua che tenga conto della tipologia di terreno interessata, della presenza o meno di vegetazione e/o della presenza di aree impermeabili, ostacoli, etc. In questo caso, per la determinazione del coefficiente K_s di Strickler si può fare riferimento ai valori normalmente riportati in bibliografia o, per analogia, ai valori riportati nella tabella precedente*”.

L'area in esame è caratterizzata da vegetazione ad alto fusto, seminativi e dalla zona industriale presente nella parte terminale dell'area di calcolo.

La Figura 8 riporta la mappa dell'indice di Manning digitalizzata sulla base dell'immagine satellitare dell'area di studio.

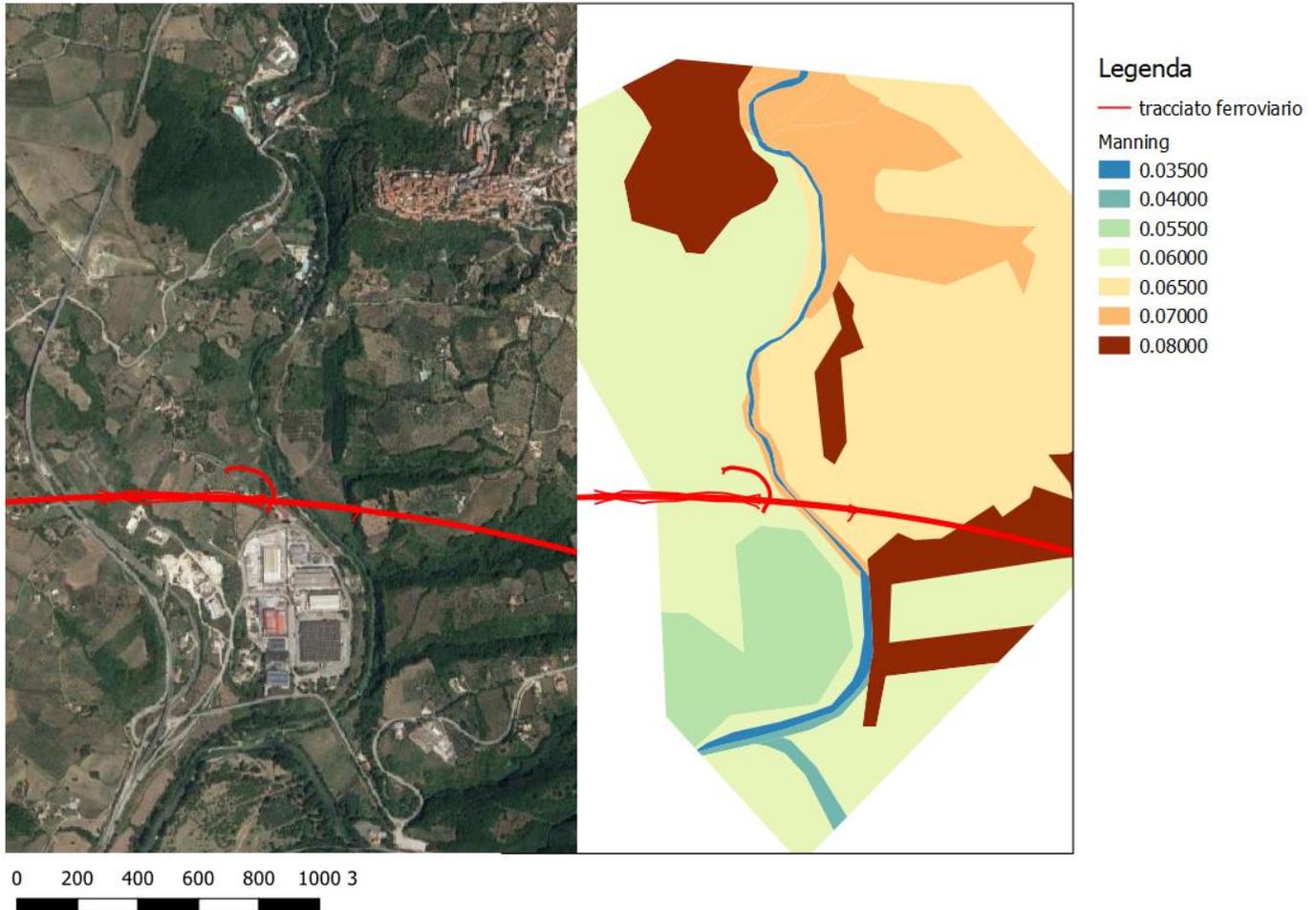


Figura 8 – Modello idraulico fiume Sele: mappa dell'indice di Manning.

4.2 Risultati delle simulazioni numeriche

Le simulazioni numeriche hanno consentito di analizzare livelli e velocità, nonché la propagazione della piena per diversi tempi di ritorno, sia nello stato di fatto che di progetto, verificando l'influenza delle opere previste.

L'estensione delle aree allagate per diversi tempi di ritorno varia molto poco, data la conformazione geomorfologica del tratto fluviale analizzato (Figura 9).

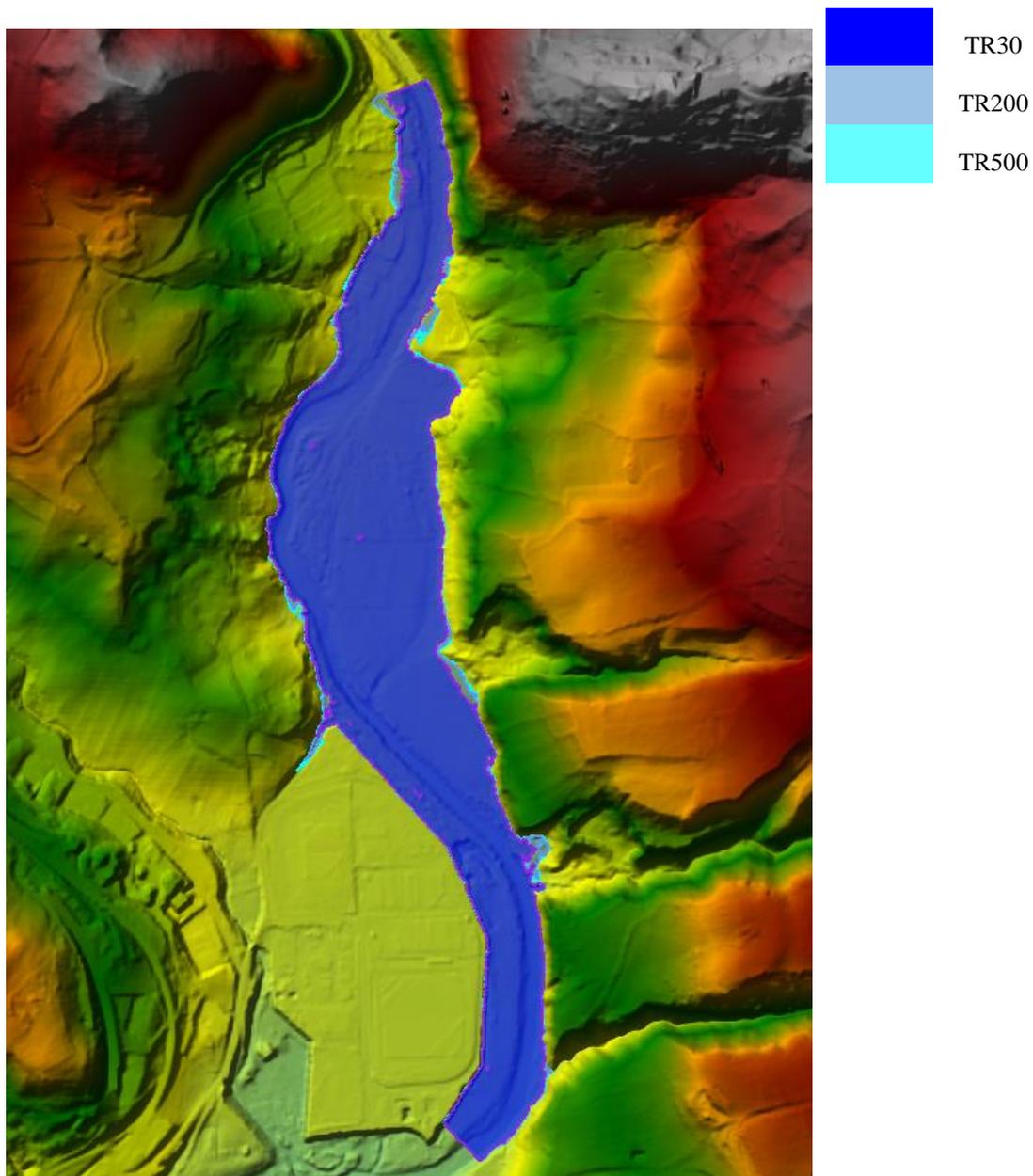


Figura 9 – Modello idraulico fiume Sele: aree allagate nello stato di fatto per TR30, TR200 e TR500 anni.

Per l'evento duecentennale, le altezze d'acqua raggiungono un massimo di circa 6.7 m, mentre le velocità in alveo raggiungono 6 m/s nei tratti in cui l'alveo è più incassato (Figura 10).

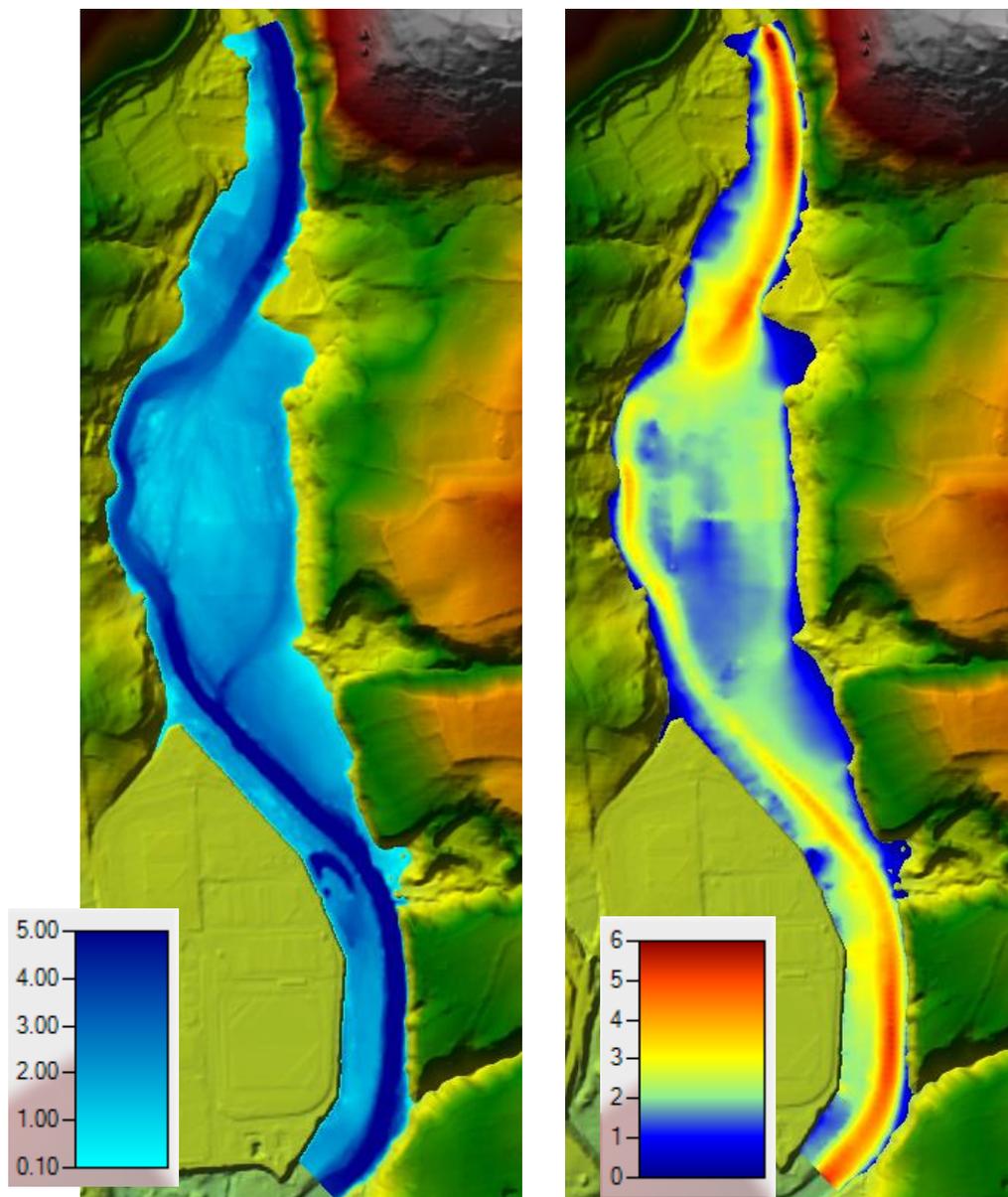


Figura 10 – Modello idraulico fiume Sele, TR200 anni stato di fatto: altezze d'acqua massime (m) a sinistra, velocità massime (m/s) a destra.

I risultati ottenuti nello stato di progetto differiscono di qualche centimetro in termini di livelli idrici in prossimità dell'attraversamento, mentre si hanno delle differenze localizzate in termini di velocità, dovuti alla presenza delle pile (Figura 11, Figura 12, Figura 13).

TITOLO ELABORATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| RC1E | A1 R 09 | RI | ID0002 002 | A | 21 di 31 |

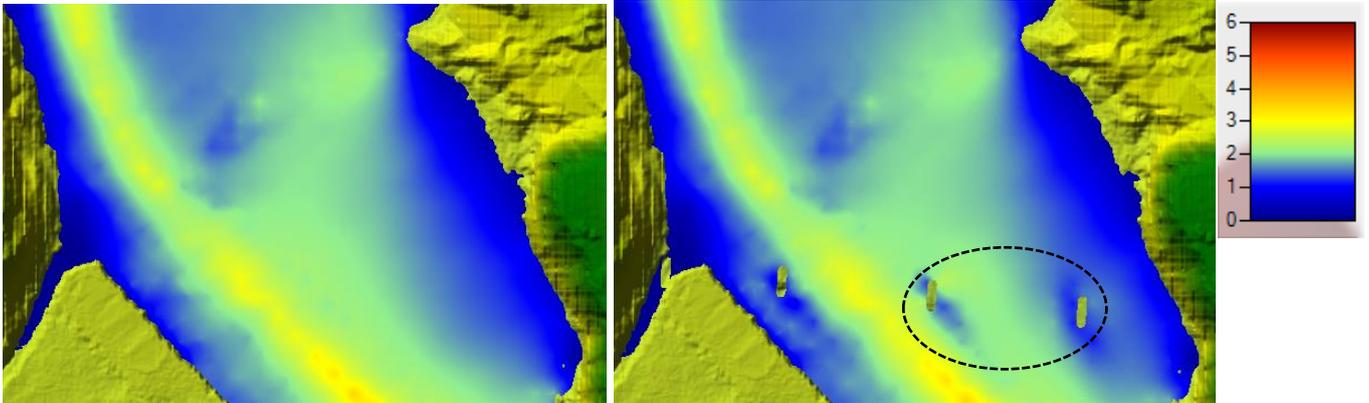


Figura 11 – Modello idraulico fiume Sele, TR200 anni: confronto campo di velocità nello stato di fatto (a sinistra) e nello stato di progetto (a destra).

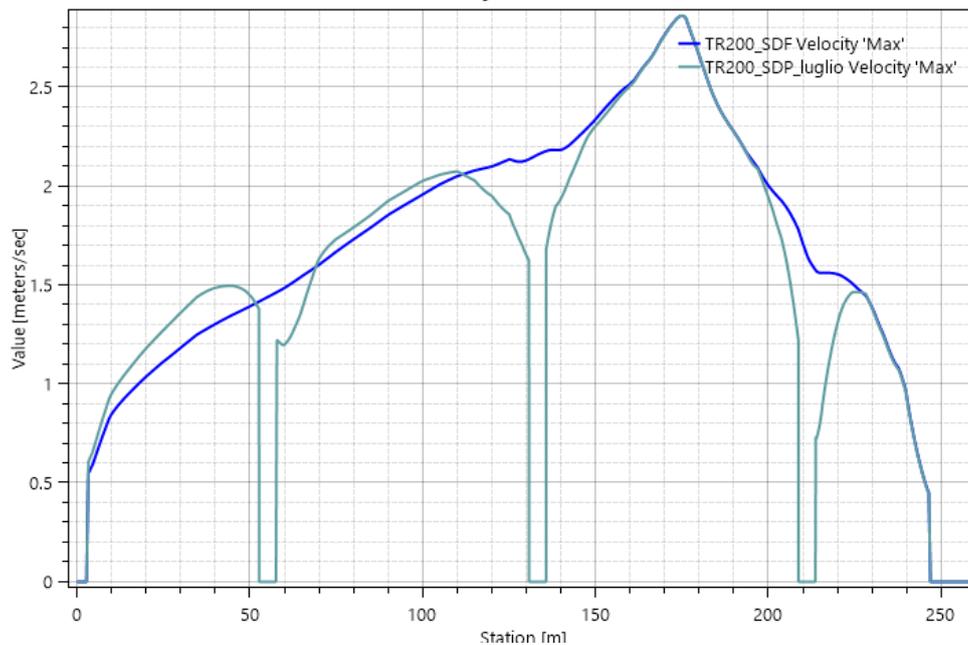


Figura 12 – Modello idraulico fiume Sele, TR200 anni: confronto velocità lungo la sezione del tracciato ferroviario nello stato di fatto e nello stato di progetto

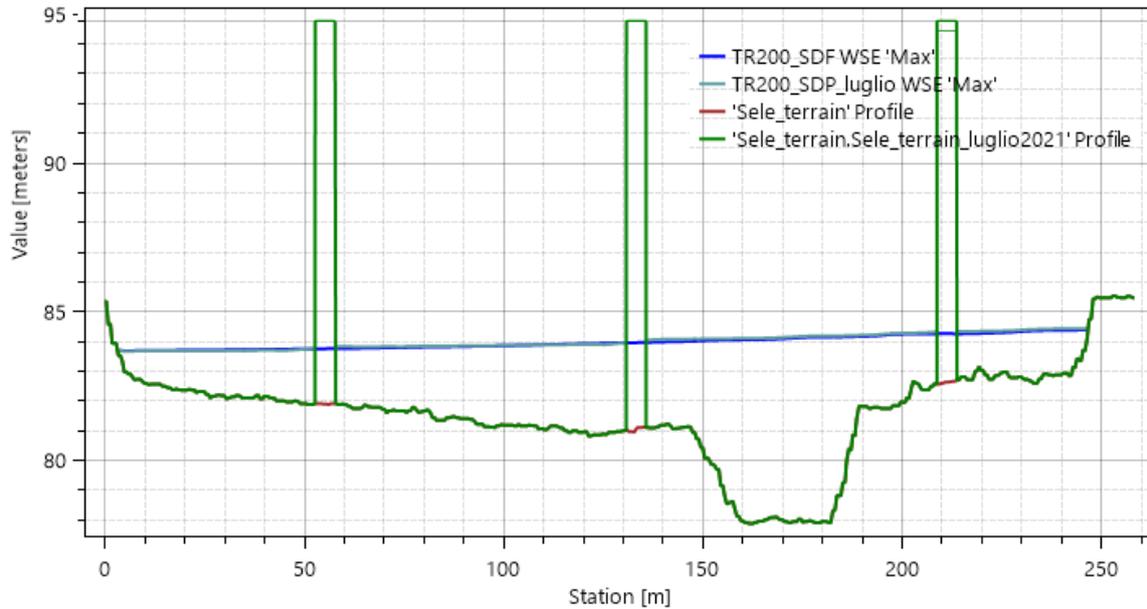


Figura 13 – Modello idraulico fiume Sele, TR200 anni: confronto livelli lungo la sezione del tracciato ferroviario nello stato di fatto e nello stato di progetto

La seguente Tabella 2 riassume i livelli idrici ottenuti in corrispondenza della sezione fluviale immediatamente a monte dell'attraversamento ferroviario sul Fiume Sele nello stato di fatto e nello stato di progetto per i diversi tempi di ritorno. Si tenga presente che i livelli idrici sono maggiori in destra idrografica, visto come il tracciato attraversa il fiume, ovvero non perfettamente ortogonale all'asse fluviale.

| | Livelli idrici ante operam [m s.m.m.] | Livelli idrici post operam [m s.m.m.] |
|--------------|--|--|
| TR 30 | 83.74 | 83.77 |
| TR200 | 84.39 | 84.43 |
| TR500 | 84.67 | 84.72 |

Tabella 2 – Livelli idrici ottenuti in corrispondenza della sezione fluviale immediatamente a monte dell'attraversamento ferroviario sul Fiume Sele nello stato di fatto e nello stato di progetto per i diversi tempi di ritorno.

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA | | | | | |
| | TITOLO ELABORATO | COMMESSA RC1E | LOTTO A1 R 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0002 002 | REV. A |

4.3 Determinazione dello scavo localizzato in prossimità delle pile

Per la valutazione dello scalzamento prodotto dalla corrente in prossimità delle pile dei ponti, necessario a definire la quota di imposta delle fondazioni, non esiste una teoria univoca che consenta di interpretare il fenomeno nella sua complessità.

Sulla base di un'indagine di letteratura sulle formule empiriche ed i metodi di calcolo più diffusamente adottati per il calcolo della massima profondità di erosione, è stato utilizzato il metodo HEC18-CSU raccomandato sia in presenza che in assenza di trasporto solido. Inoltre, tale metodo, visti i campi di applicabilità, è risultato valido per tutte le pile analizzate. Altri metodi, quali ad esempio la formulazione FDOT valida per le "pile tozze" con bassi tiranti e materiale fine al fondo, non risultano applicabili o sono stati ritenuti non sufficientemente cautelativi per i casi esaminati.

4.3.1 HEC18-CSU

L'equazione HEC-18 riportata nella monografia "Evaluating Scour at bridge - Fifth Edition" edita dalla Federal Highway Administration è basata sull'equazione CSU ed è raccomandata sia in presenza che in assenza di trasporto solido.

L'equazione, di seguito riportata, calcola la massima profondità di scavo per pile semplici in canali con fondo sabbioso.

$$y_s = 2.0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \left(\frac{a}{y_1} \right)^{0.65} \cdot y_1 \cdot Fr_1^{0.43}$$

Dove:

K1 fattore correttivo legato alla forma della pila;

K2 fattore correttivo dipendente dall'angolo di attacco della corrente;

K3 fattore correttivo legato alle condizioni del fondo;

a larghezza della pila [m];

y1 profondità della corrente subito a monte della pila [m];

Fr1 numero di Froude in corrispondenza della pila.

Per pile allineate con la corrente esistono delle limitazioni nella profondità di erosione ricavate sperimentalmente:

$$y_s \leq 2.4 \cdot a \quad \text{se } \leq 0.80;$$

$$y_s \leq 3 \cdot a \quad \text{se } \geq 0.80;$$

Le tabelle seguenti riportano invece i fattori correttivi K1 e K3:

| Forma della pila | K ₁ |
|------------------|----------------|
| Squadrata | 1.10 |
| Arrotondata | 1.00 |
| Circolare | 1.00 |
| Gruppo di pali | 1.00 |
| Triangolare | 0.90 |

Tabella 3 – Coefficiente correttivo K₁

| Configurazione fondo alveo | Altezza dune (m) | K ₃ |
|----------------------------|------------------|----------------|
| Clear – water | - | 1.10 |
| Piatto | - | 1.10 |
| Piccole dune | 0.60 ≤ H < 3.00 | 1.10 |
| Dune medie | 3.00 ≤ H < 9.00 | 1.10 ÷ 1.20 |
| Dune grandi | H ≥ 9.00 | 1.30 |

Tabella 4 – Coefficiente correttivo K₃

Il coefficiente K₂ è stimato attraverso l'espressione seguente:

$$K_2 = \left(\cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0.65}$$

dove L è la lunghezza della pila in direzione della corrente e θ angolo di attacco della corrente.

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

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

Infatti, l'applicazione delle formule usuali a casi con tiranti comparabili con la larghezza della pila fornirebbero risultati eccessivi, rispetto a quanto riscontrato nella realtà.

L'applicazione di tali fattori è vincolata al soddisfacimento delle seguenti condizioni:

- Il rapporto tra la profondità della corrente e la larghezza della pila deve essere inferiore a 0.8 ($y/a < 0.8$);
- Il rapporto tra la larghezza della pila e il diametro mediano dei sedimenti è maggiore di 50 ($a/d_{50} > 50$);
- Il numero di Froude è inferiore a 1.

Il fattore correttivo da applicare all'equazione precedente può essere calcolato nel modo seguente:

$$K_w = 2.58 \cdot \left(\frac{y}{a} \right)^{0.34} \cdot F_{r1}^{0.65} \text{ per } V/V_c < 1$$

TITOLO ELABORATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| RC1E | A1 R 09 | RI | ID0002 002 | A | 25 di 31 |

$$K_w = 1.0 \cdot \left(\frac{y}{a}\right)^{0.13} \cdot F_{r1}^{0.25} \text{ per } V/V_c > 1$$

dove V_c è la velocità critica di incipiente di movimento dei sedimenti.

4.3.2 Ulteriori considerazioni sul calcolo della profondità di scavo

La velocità critica di incipiente di movimento dei sedimenti può essere calcolata con differenti equazioni che ben approssimano quanto riscontrato nelle prove sperimentali in canaletta. Si è scelto di adottare una formula di carattere generale, proposta da Soulsby nel 1997.

$$V_c = 5.75 \left[\text{LOG} \left(\frac{12h}{6D_{50}} \right) \right] [\theta_c (s - 1) g D_{50}]^{0.5}$$

$$\theta_c = \frac{0.3}{1 + 1.2 D_*} + 0.055 [1 - \exp(-0.02 D_*)]$$

$$D_* = D_{50} [(s - 1) g / \nu^2]^{1/3}$$

Dove h è il tirante idrico, D_{50} è il diametro mediano dei sedimenti, θ_c è il coefficiente di Shields calcolato alla condizione di inizio di movimento, s è il rapporto la densità dei sedimenti è quella dell'acqua, g è l'accelerazione di gravità, ν è la viscosità cinematica dell'acqua.

Le equazioni CSU legano la profondità di scavo con la larghezza della pila. Nel presente elaborato si è fatto riferimento alla larghezza della pila equivalente, nel caso in cui lo scavo non scoprisse il plinto di fondazione, la larghezza equivalente deriva da quella della pila di progetto. Con profondità di scavo tali da scoprire il plinto, la larghezza equivalente considera anche le dimensioni del plinto. La larghezza equivalente viene calcolata secondo l'approccio proposto da Melville e Raudkivi (1996), schematizzato nella figura seguente.

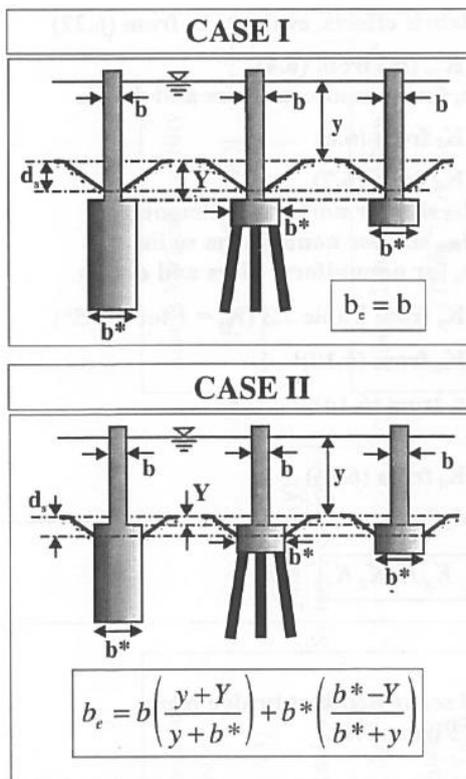


Figura 14 – Calcolo della larghezza equivalente, Melville e Raudkivi (1996)

Il calcolo della profondità di scavo non tiene conto della presenza di materiale flottante accumulato attorno alle pile dei viadotti.

Le caratteristiche della corrente incidente su ogni singola pila sono state ottenute attraverso la modellazione idraulica del corso d'acqua, facendo riferimento alla piena duecentennale.

Le caratteristiche granulometriche dei sedimenti sono state ricavate a partire dalle informazioni geologiche fornite. In particolare, è stato usato un d_{50} pari a 2mm.

La seguente tabella riporta la massima profondità di scavo calcolata per le pile del viadotto sul Fiume Sele (VI10). Si tenga presente che per il calcolo dello scavo delle pile P02, P03, P04 si è fatto riferimento alla larghezza della pila equivalente essendo la profondità di scavo tale da scoprire il plinto.

| Pila | Tirante idraulico [m] | Velocità [m/s] | Incidenza pila - corrente [°] | Forma pila | Base pila [m] | Lunghezza pila [m] | Forma plinto | Base plinto [m] | Lunghezza plinto [m] | d50 [mm] | Scavo da pc [m] | Tipo di scavo |
|------|-----------------------|----------------|-------------------------------|------------|---------------|--------------------|--------------|-----------------|----------------------|----------|-----------------|---------------------|
| P01 | 0.90 | 0.04 | 30 | circ | 5.0 | 16.50 | rett | 9.8 | 20.5 | 2.0 | 0.15 | plinto non scoperto |
| P02 | 2.40 | 1.66 | 45 | circ | 5.0 | 16.50 | rett | 9.8 | 20.5 | 2.0 | 9.53 | plinto scoperto |
| P03 | 3.10 | 2.36 | 30 | circ | 5.0 | 16.50 | rett | 9.8 | 20.5 | 2.0 | 11.25 | plinto scoperto |
| P04 | 1.85 | 1.50 | 45 | circ | 5.0 | 16.50 | rett | 16.5 | 20.0 | 2.0 | 8.58 | plinto scoperto |

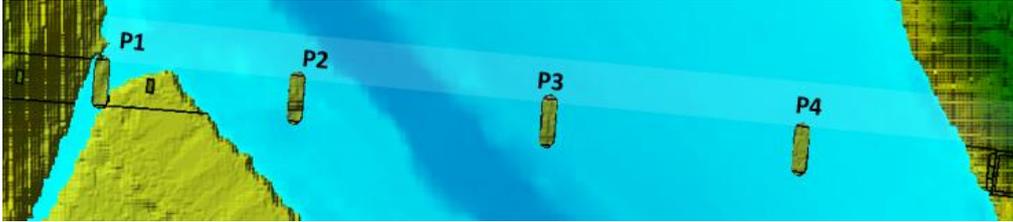


Tabella 5 – Viadotto VI10, massima profondità di escavazione

4.4 Protezioni delle pile dallo scalzamento

Il calcolo delle escavazioni localizzate attorno alle pile ha evidenziato la vulnerabilità delle opere di attraversamento ai fenomeni di scalzamento. Si provvede perciò al dimensionamento degli elementi di protezione delle pile, per le verifiche si terrà conto delle caratteristiche della corrente incidente, calcolate per le piene di progetto.

La tipologia di protezioni adottate è quella in massi.

4.4.1 Verifiche di stabilità massi a protezione delle pile

Il dimensionamento delle protezioni attorno alle pile è stato effettuato valutando la condizione di incipiente di moto dei massi posti a protezione delle pile. Nello specifico è stata confrontata la velocità critica degli elementi di protezione con la velocità della corrente in approccio alla singola pila.

La valutazione della velocità critica di incipiente movimento è stata effettuata seguendo due modi.

Il primo è proposto all'interno della monografia "*Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance-Third Edition*", VOL.2, Hydraulic Engineering Circular No.23 (HEC23), pubblicato dal US Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Il secondo è basato sul criterio di stabilità di Shields.

Secondo le linee guida HEC23 il diametro mediano dei massi di protezione D_{50} viene definito secondo l'equazione:

$$D_{50} = \frac{0.692V_{des}^2}{(s-1)2g}$$

Dove V_{des} è la velocità della corrente in approccio alla pila, s è il rapporto la densità dei sedimenti è quella dell'acqua, g è l'accelerazione di gravità. Alla critica $V_c=V_{des}$, assunto $s = 2.65$, la precedente relazione può essere così riscritta

$$V_{c,1} = 6.84\sqrt{D_{50}}$$

Una deduzione può farsi anche a partire dalla relazione di Shields ottenendo:

$$V_{c,2} = K_S y^{1/6} \sqrt{\theta(s-1)} \sqrt{D_{50}}$$

Dove K_S è il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler del fondo alveo, y è il tirante della corrente in approccio alla pila, θ è il coefficiente adimensionale di Shields, posto pari a 0.06.

TITOLO ELABORATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| RC1E | A1 R 09 | RI | ID0002 002 | A | 28 di 31 |

Nel presente studio il valore della velocità critica è stato assunto pari al minore tra i due calcolati con le due metodologie precedentemente descritte.

Stimata la velocità critica dei massi di protezione, funzione del diametro D_{50} e delle caratteristiche del flusso, si ritiene la protezione verificata se $FV = V/V_c \geq 2$ (FV fattore di sicurezza, V velocità della corrente in arrivo alla pila).

Il fattore di sicurezza tiene conto delle varie incertezze sia sulla stima della V_c che sulla definizione dell'effettiva corrente in arrivo.

Secondo tali linee guida HEC23, il terreno attorno ad ogni pila soggetta ad escavazione deve essere "armato" con massi che occupano un rettangolo di lato almeno pari a 5-6 volte il diametro della pila. Lo spessore minimo raccomandato per le protezioni è pari a tre volte D_{50} . È bene prevedere uno strato filtrante al di sotto dei massi di protezione. Per completezza si riporta in Figura seguente uno schema estratto dalla monografia HEC23.

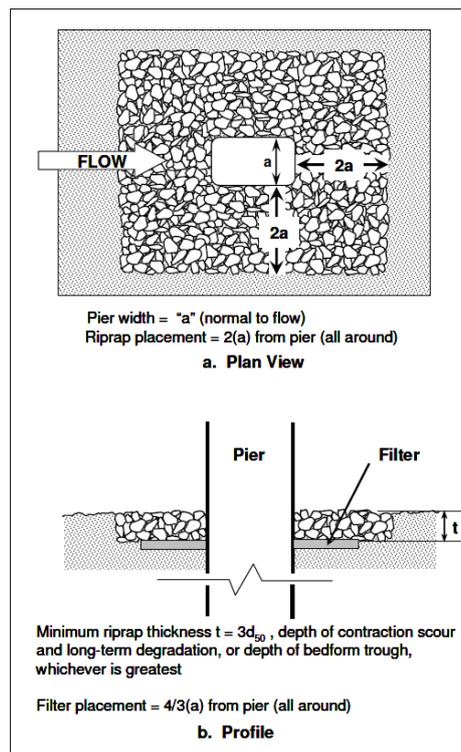


Figura 15 – Disposizione raccomandata dei massi di protezione attorno alle pile, fonte HEC23

In genere, sono stati adottati massi sciolti fino ad un diametro medio pari a 0.70 – 0.80 m; per diametri superiori, è stata prevista anche la legatura.

Nella tabella seguente si riportano i risultati del calcolo di dimensionamento dei massi, così come la tipologia di protezione adottata.

TITOLO ELABORATO

| | | | | | |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| RC1E | A1 R 09 | RI | ID0002 002 | A | 29 di 31 |

| <i>Pila</i> | <i>Tirante idraulico [m]</i> | <i>V - Velocità corrente [m/s]</i> | <i>Forma pila</i> | <i>Larghezza pila (Plinto) [m]</i> | <i>Lunghezza pila (Plinto) [m]</i> | <i>Scavo localizzato (senza protezioni) [m]</i> | <i>Tipo di scavo (senza protezioni)</i> | <i>D50 protez [m]</i> | <i>Vcr1 protez [m/s]</i> | <i>Vcr2 protez [m/s]</i> | <i>Fv</i> | <i>Tipologia di protezione</i> |
|-------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|--------------------------------|
| P01 | 0.90 | 0.04 | circ | 5 (13.0) | 16.5 (26.8) | 0.15 | plinto non scoperto | 0.30 | 2.16 | 3.23 | 93.66 | massi sciolti |
| P02 | 2.40 | 1.66 | circ | 5 (13.0) | 16.5 (26.8) | 10.96 | plinto scoperto | 0.30 | 3.75 | 6.58 | 2.26 | massi sciolti |
| P03 | 3.10 | 2.36 | circ | 5 (13.0) | 16.5 (26.8) | 12.95 | plinto scoperto | 0.50 | 4.84 | 8.87 | 2.05 | massi sciolti |
| P04 | 1.85 | 1.50 | circ | 5 (13.0) | 16.5 (26.8) | 9.88 | plinto scoperto | 0.30 | 3.75 | 6.30 | 2.50 | massi sciolti |

Tabella 6 – Viadotto VI10, calcolo delle protezioni

| | | | | | | |
|---|--|----------|-------|------------|-----------|----------|
|  | LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA | | | | | |
| | TITOLO ELABORATO | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. |
| | RC1E | A1 R 09 | RI | ID0002 002 | A | 30 di 31 |

5 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica dell'infrastruttura di progetto con il territorio ed è stata analizzata la sicurezza del corpo ferroviario, identificando in termini di funzionalità e sicurezza i manufatti di presidio idraulico più opportuni, garantendo la minima interferenza delle opere ferroviarie con il normale deflusso delle acque.

Gli strumenti normativi presi a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto sono:

- NTC 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- Manuale di Progettazione RFI 2019;
- “Piani per l'Assetto Idrogeologico relativamente ai bacini idrografici regionali in Destra, in Sinistra Sele e al Bacino Interregionale del Sele” (PSAI Sele, 2016), ed in particolare l'Allegato G “Indirizzi tecnici per la redazione degli studi di compatibilità idraulica per il bacino idrografico interregionale Sele” delle Norme di Attuazione.

All'interno del PSAI Sele sono perimetrate aree di “Pericolosità idraulica” e “Rischio idraulico”. Il viadotto sul Fiume Sele rientra all'interno di tali perimetrazioni.

Tra gli elaborati annessi al progetto di fattibilità tecnica ed economica è stata predisposta la “Relazione idrologica generale” all'interno della quale sono trattate in modo completo le varie tematiche di carattere idrologico.

I risultati delle simulazioni numeriche hanno consentito di valutare i franchi minimi rispetto alle piene di riferimento.

L'attraversamento è stato verificato in termini di:

- franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico;
- posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;
- posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.

Nella progettazione di ponti e viadotti si è cercato di minimizzare la realizzazione di pile nell'alveo di magra dei corsi d'acqua in modo da variare il meno possibile le caratteristiche del moto della corrente di piena ed evitare un conseguente peggioramento dei livelli di piena.

Nel caso in esame, non si è resa necessaria l'introduzione di sistemazioni idrauliche dell'alveo, che rimane intatto rispetto allo stato attuale.

Nel presente studio è stata condotta in modo approfondito l'analisi degli scavi localizzati nell'intorno delle pile, considerando anche le condizioni di scavo con i plinti di fondazione esposti alla corrente. Per le pile più esposte all'azione erosiva della corrente sono state dimensionate adeguate opere di protezione.

Il confronto con lo stato di fatto, mostra che l'opera non determina una modifica significativa in termini di livelli e velocità.

TITOLO ELABORATO

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| RC1E | A1 R 09 | RI | ID0002 002 | A | 31 di 31 |

La seguente tabella riassume la valutazione della compatibilità idraulica delle opere in progetto, con riferimento alla normativa vigente, in termini di:

- distanza tra fondo alveo e quota di sotto-trave: questa prescrizione viene messa in relazione al possibile trasporto di tronchi di importanti dimensioni lungo il corso d'acqua. Infatti, per gli attraversamenti idraulici, altezze libere ridotte e luci di ampiezza limitata possono comportare, in presenza di trasporto di sedimenti galleggianti, occlusioni o limitazioni delle aperture dei viadotti a causa degli ammassi detritici che si possono formare attorno alle pile dei ponti,
- franco rispetto al livello idrico ed al gradiente energetico.

| | TR30 | TR200 | TR300 |
|--|-------|-------|-------|
| Quota intradosso (m s.m.m.) | 98.05 | | |
| Distanza minima tra fondo alveo e quota di sotto-trave (m) | 15.96 | | |
| Luce netta minima tra le pile contigue in alveo (m) | > 40m | | |
| Livello max lungo la sezione del tracciato ferroviario (m s.m.m.) | 83.77 | 84.43 | 84.72 |
| Velocità (m/s) | 2.84 | 2.86 | 2.87 |
| Franco idraulico (m) | 14.28 | 13.62 | 13.33 |
| Franco EG (m) | 13.87 | 13.20 | 12.91 |

Alla luce dei risultati ottenuti, anche in caso di accumulo o trasporto di materiale flottante, l'altezza libera è più che sufficiente a mantenere i franchi.

Le luci nette dei viadotti, misurate nella direzione ortogonale al filone principale della corrente soddisfano le indicazioni della normativa che prescrivono una distanza netta ed ortogonale minima di 40 m, anche al fine di evitare l'accumulo attorno alle pile di specie vegetali ad alto fusto.