

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

LINEA POTENZA-METAPONTO

INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO-BERNALDA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento

SCALA:

-


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

I A 9 5 0 3 R 0 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Ferrigno	Settembre 2021	A. Cappelli	Settembre 2021	I. D'amore	Settembre 2021	A. Vittozzi Dicembre 2021
B	Emissione esecutiva	A. Cappelli	Dicembre 2021	A. Cappelli	Dicembre 2021	I. D'amore	Dicembre 2021	ITALEFERR S.p.A. Orga. Chiti e Gestione delle varianti Dot. Ing. Angelo Vittozzi Via. degli Ingegneri, 100 00144 Roma, Prov. di Roma N° 42078


File: IA9503R09RIID0002001B.DOCX

n. Elab.:

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO	6
2.1	OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	7
3	PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL'AREA DI STUDIO.....	8
4	STUDIO IDRAULICO.....	9
4.1	GENERALITÀ.....	9
4.2	DATI DI BASE	9
4.2.1	DATI TOPOGRAFICI	9
4.2.2	DATI IDROLOGICO-IDRAULICI	13
4.3	IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI NUMERICI	19
4.3.1	MODELLO BIDIMENSIONALE (2D).....	19
4.4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	44
4.4.1	VERIFICA DEI FRANCHI	46
5	OPERE DI PROTEZIONE IDRAULICA	47
5.1	OPERE DI PROTEZIONE ALLO SCALZAMENTO.....	53
	<i>Metodologia di applicazione della formula scelta</i>	<i>54</i>
	<i>Equazione S/M di Sheppard-Melville.....</i>	<i>55</i>
6	COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	58

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 3 di 58


1 PREMESSA

Il presente studio idraulico è stato redatto nell’ambito del progetto di fattibilità tecnico economica per gli interventi di velocizzazione della linea Potenza-Metaponto, nella tratta Grassano – Bernalda, in particolare tra l’impianto di Salandra e quello di Ferrandina.

La ferrovia si svilupperà interamente nella valle del fiume Basento, in destra idraulica rispetto allo stesso corso d’acqua. L’interferenza principale è quindi rappresentata dall’affiancamento della linea con l’area di naturale esondazione del fiume.

Lo studio idraulico in oggetto ha lo scopo di definire i tiranti idraulici e le velocità della corrente lungo tutto il tratto investigato per i più importanti tempi di ritorno di interesse tecnico (30, 200 e 500 anni), ponendo particolare attenzione alle interferenze tra il Fiume Basento e la linea ferroviaria oggetto di intervento, al fine di valutare la compatibilità idraulica dell’intervento.


Lo studio idraulico è stato condotto per un tratto del corso d’acqua esteso fino alla stazione di Bernalda; per tale motivo i riferimenti alla suddivisione in lotti dell’intervento è da ritenersi superata e non oggetto di approfondimento in questa trattazione.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI


Per quanto riguarda la normativa relativa alla definizione del rischio allagamenti, il riferimento normativo principale è costituito dal Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), introdotto dalla Direttiva europea 2007/60/CE (recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010 per ogni distretto idrografico). Lo scopo del PGRA è quello di orientare, nel modo più efficace, l'azione sulle aree a rischio significativo organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio, definire gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le amministrazioni e gli enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale. Per quanto riguarda l'Autorità Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale – Sede Basilicata con Delibera n.4.9_2 del 20/12/2019 è stato adottato il “Progetto di Variante al Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico – Aree di versante” (territorio ex Autorità di Bacino della Basilicata) – Aggiornamento 2019. In data 23 dicembre 2013 il Comitato Istituzionale del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale ha approvato le mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni con delibera n.1. Con delibera n. 17 del 17/11/2014 e delibera n. 7 del 24/02/2015 il Comitato Istituzionale dell'AdB Basilicata ha preso atto degli aggiornamenti delle mappe della pericolosità idraulica, del danno potenziale e del rischio di alluvioni elaborati dall'Autorità di bacino della Basilicata. Il Comitato tecnico nella seduta del 16/12/2015 ha espresso parere favorevole sugli elaborati del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni dell'Autorità di Bacino della Basilicata, comprensivo delle modifiche apportate alle mappe della pericolosità e del rischio potenziale di mareggiate. A tali documenti si è fatto riferimento nel presente studio.

Altro riferimento normativo, per quanto riguarda la progettazione di attraversamenti ferroviari, è costituito dal testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni (NTC2018), approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed al decreto legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186, e relativa Circolare 21 Gennaio 2019 n.7. In particolare, il Capitolo 5 disciplina i criteri generali e le indicazioni tecniche per la progettazione e l'esecuzione dei ponti stradali e ferroviari. Secondo le NTC2018 quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 5 di 58

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. L'ampiezza e l'approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni ($Tr=200$).

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. Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

Come anticipato in premessa, il presente studio idraulico è stato redatto a supporto del progetto di fattibilità tecnica ed economica per gli interventi di velocizzazione della tratta Grassano-Bernalda, lungo la linea Potenza-Metaponto. L'area di studio copre il Fiume Basento tra Grassano e Bernalda. La mappa che segue illustra il tratto preso in esame per i corpi idrici in fase di studio, in relazione al tracciato della linea ferroviaria. Vengono riportati il Fiume Basento, e per riferimento il reticolo minore.

NOTA: il sistema di riferimento adottato per le coordinate indicate nelle mappe presentate nel presente rapporto è UTM33.

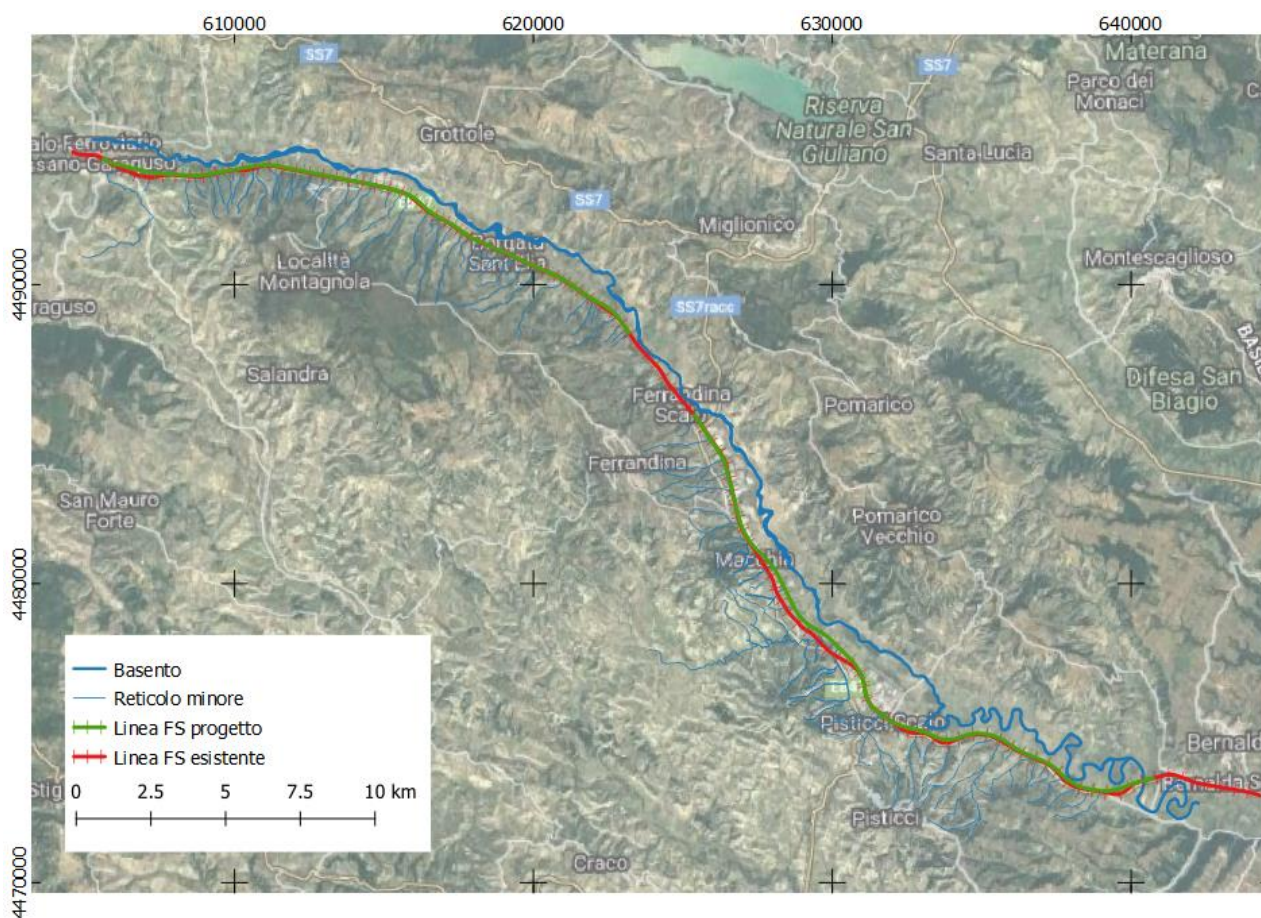



Figura 1: Inquadramento generale dell'area di studio


 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 7 di 58

2.1 OBIETTIVI DELLO STUDIO

L'obiettivo principale dello studio è quello di valutare allo stato ante operam e post operam i processi idrodinamici che caratterizzano gli eventi estremi del fiume Basento, in particolare nei tratti in cui la nuova linea ferroviaria corre in affiancamento alle zone interessate dagli allagamenti del fiume.

L'obiettivo sopra riportato è stato raggiunto articolando lo studio secondo le seguenti attività principali, descritte nella presente relazione:

- Studio delle normative di riferimento;
- Reperimento di analisi idrauliche esistenti nell'area di studio;
- Implementazione di un modello numerico bidimensionale per l'analisi ante operam e post operam;
- Identificazione delle opere di protezione idraulica

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 8 di 58


3 PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL'AREA DI STUDIO

L'analisi condotta nel presente studio ha preso in considerazione gli strumenti di pianificazione territoriale attualmente in vigore. In particolare, è stato consultato il Progetto di Variante al Piano Stralcio di Bacino per la Difesa dal Rischio Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (adottato con Delibera n.4.9_1 del 20/12/2019).

Nella Relazione di Piano sono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica attraverso l'individuazione, la localizzazione e la caratterizzazione degli eventi alluvionali che abbiano prodotto effetti sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o, semplicemente, abbiano creato condizioni di disagio o allarme. Tale individuazione è un importante strumento che ha condotto alla delimitazione delle aree a potenziale rischio inondazione.

A livello normativo gli studi effettuati hanno tenuto conto anche del "Progetto di Piano di Gestione del Rischio Alluvioni" redatto per conto del distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale di recente emanazione (dicembre 2015).

Dagli elaborati grafici annessi relativi alle carte di pericolosità idraulica si evince come l'infrastruttura ferroviaria di progetto intercetti le perimetrazioni del Piano di Bacino e attraversi aree classificate a diverso grado di pericolosità idraulica (bassa, moderata e alta).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

4 STUDIO IDRAULICO

4.1 GENERALITÀ

Lo studio idraulico è stato basato sull'implementazione di un modello numerico atto a rappresentare le dinamiche idrauliche durante gli eventi di piena del fiume in fase di studio. L'approccio metodologico seguito è partito dall'integrazione ed elaborazione di dati di base, fondamentale di natura topografica per poter correttamente implementare la geometria del sistema. Una volta elaborata la base topografica è stato possibile sviluppare un modello idraulico con il software HEC-RAS¹(ver. 6.0), con schema puramente bidimensionale. La taratura del modello è stata effettuata in riferimento agli allagamenti definiti dall'Autorità di Bacino per l'evento con 200 anni di tempo di ritorno. Gli scenari analizzati comprendono lo stato ante operam e quello post operam.

4.2 DATI DI BASE

I dati di base utilizzati per lo sviluppo dello studio idraulico includono:

- Dati topografici;
- Informazioni sulle opere di attraversamento esistenti e in progetto;
- Dati idrologico-idraulici.

4.2.1 Dati topografici

Nell'area di studio sono disponibili due rilievi: il DTM messo a disposizione dal Ministero dell'Ambiente², e un rilievo Lidar appositamente eseguito da RFI per il lavoro in oggetto.

La Figura 2 fornisce la copertura delle due serie di dati disponibili.

¹ <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

² <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/tag/dati-lidar/>

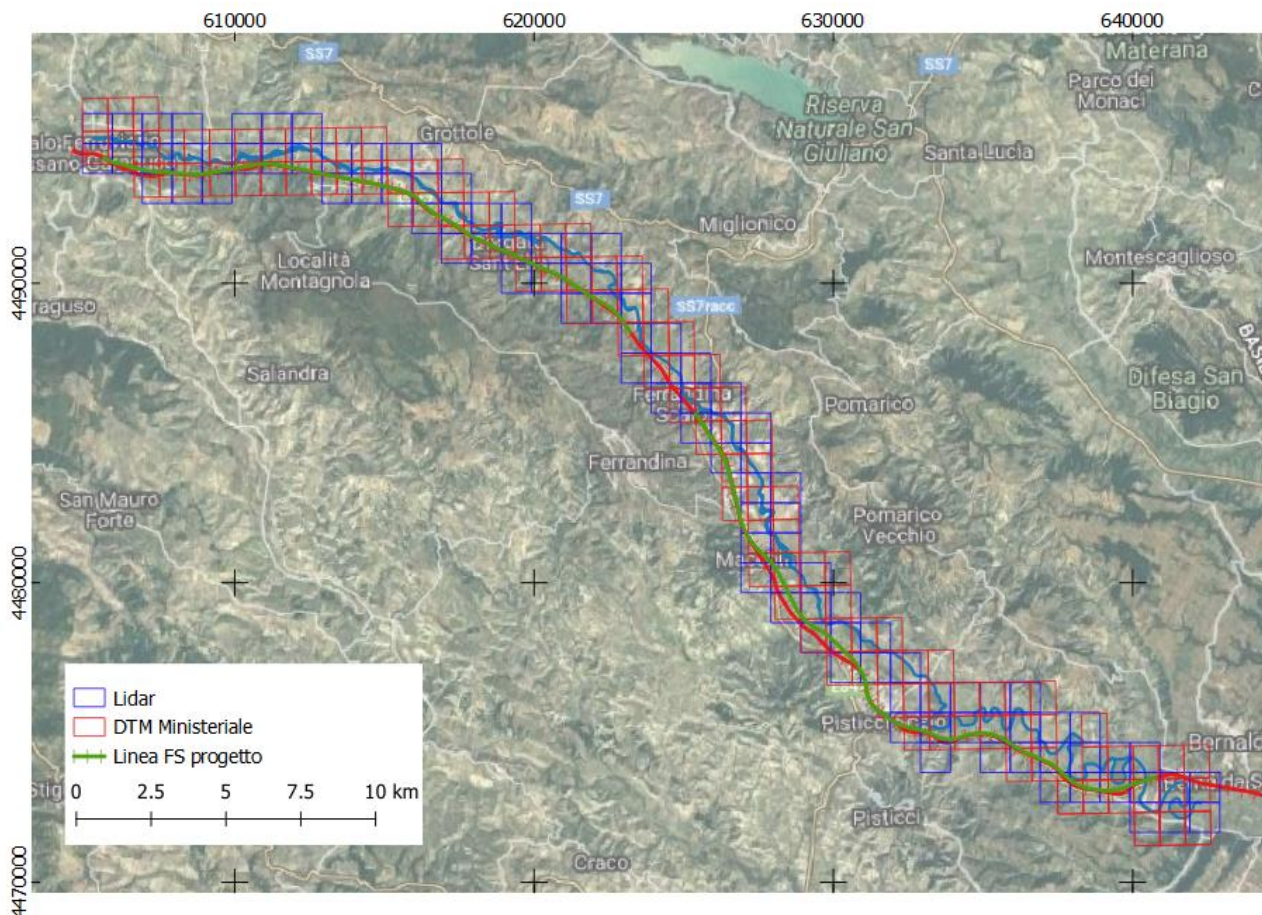


Figura 2: Informazioni topografiche a disposizione

I due diversi set di informazioni coprono interamente l'area di interesse, e sono stati analizzati per definire quale fornisce la descrizione migliore.

Nelle zone golenali e nell'alveo del Basento i due DTM risultano sostanzialmente simili, mentre in corrispondenza dell'idrografia minore il DTM del Ministero risulta più accurato, come si può notare nelle figure seguenti, in cui sono riportati alcuni esempi del confronto effettuato.

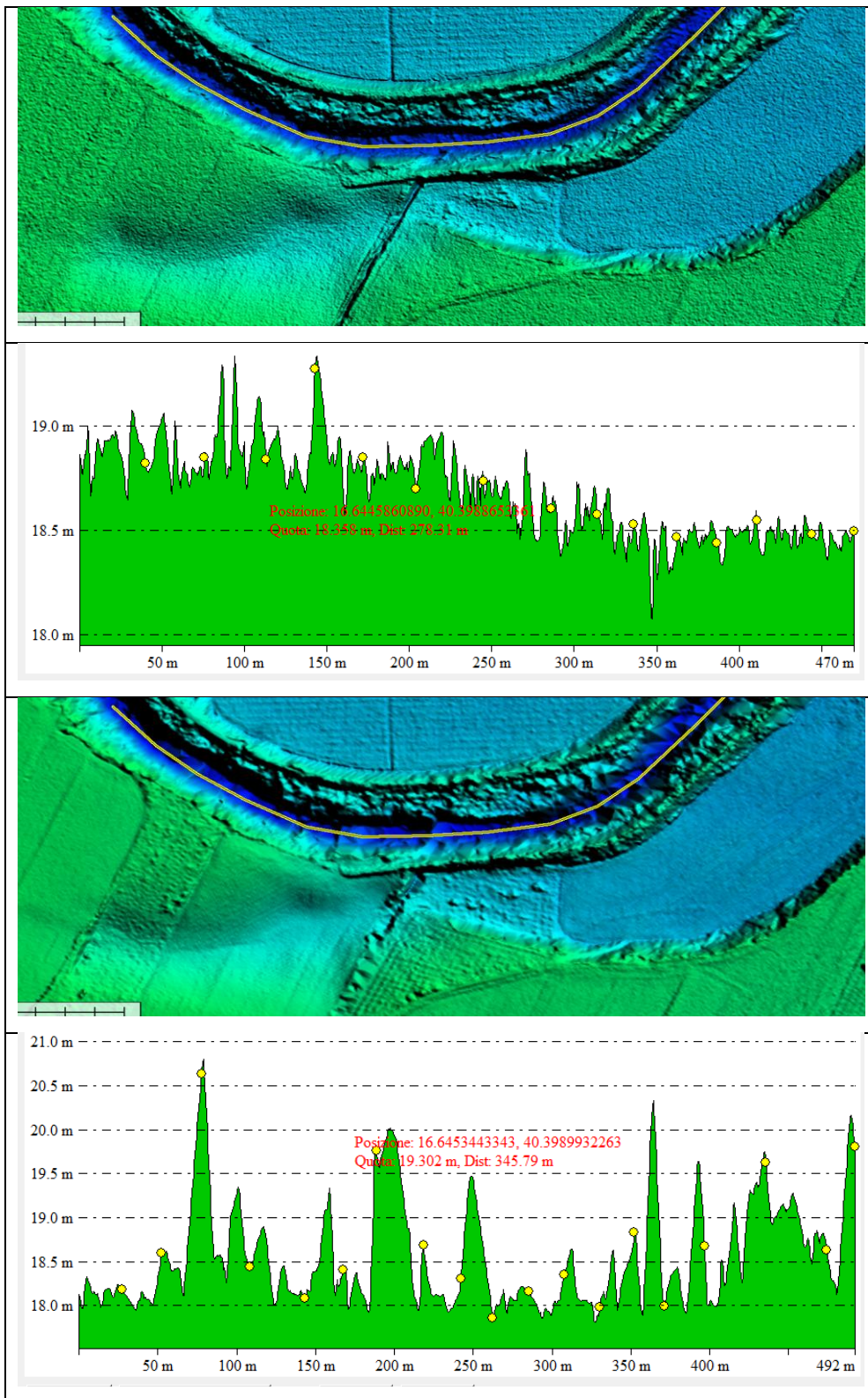


Figura 3: Esempio confronto DTM Ministero, foglio D40391664_0101 (sopra) e Lidar, foglio 2453 (sotto)

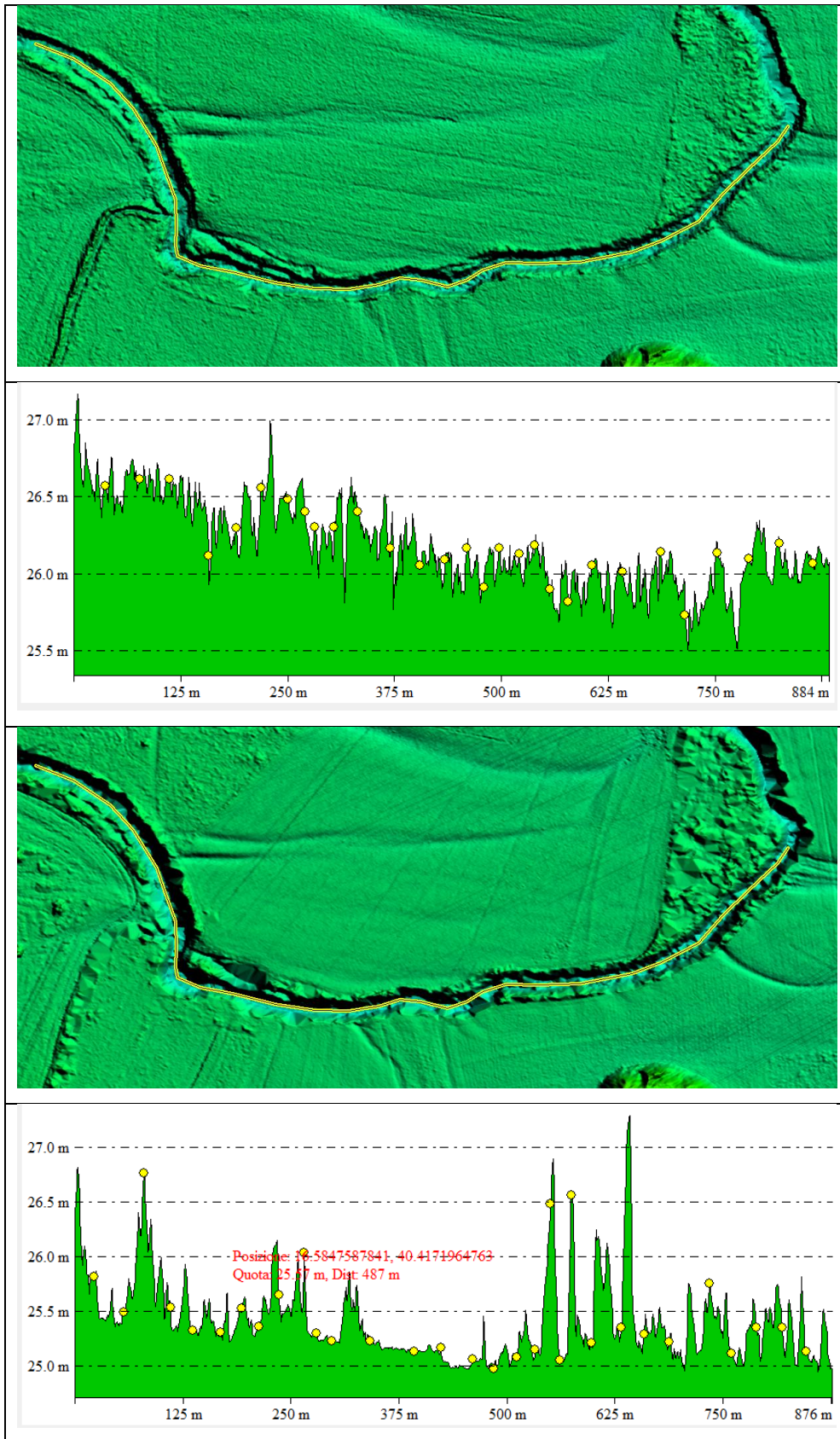


Figura 4: Esempio confronto DTM Ministero, foglio D40411658_0101 (sopra) e Lidar, foglio 2453 (sotto)

4.2.2 Dati idrologico-idraulici

Le informazioni di base di carattere idrologico-idraulico includono i dati utilizzati per la definizione delle condizioni al contorno dei modelli e per la loro calibrazione.

Per quanto riguarda l'idrologia, si è fatto riferimento all'elaborato IA9503R09RIID0001001A.

Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi definiti in cinque sezioni del fiume Basento (Figura 5) e per 3 dei suoi affluenti maggiori nel tratto considerato. Va sottolineato che, per quanto riguarda il Basento, solo l'idrogramma a Salandra è stato utilizzato come input al modello, mentre gli idrogrammi nelle altre sezioni sono stati utilizzati per definire i contributi laterali, come descritto in dettaglio nel paragrafo 4.3.1.4.

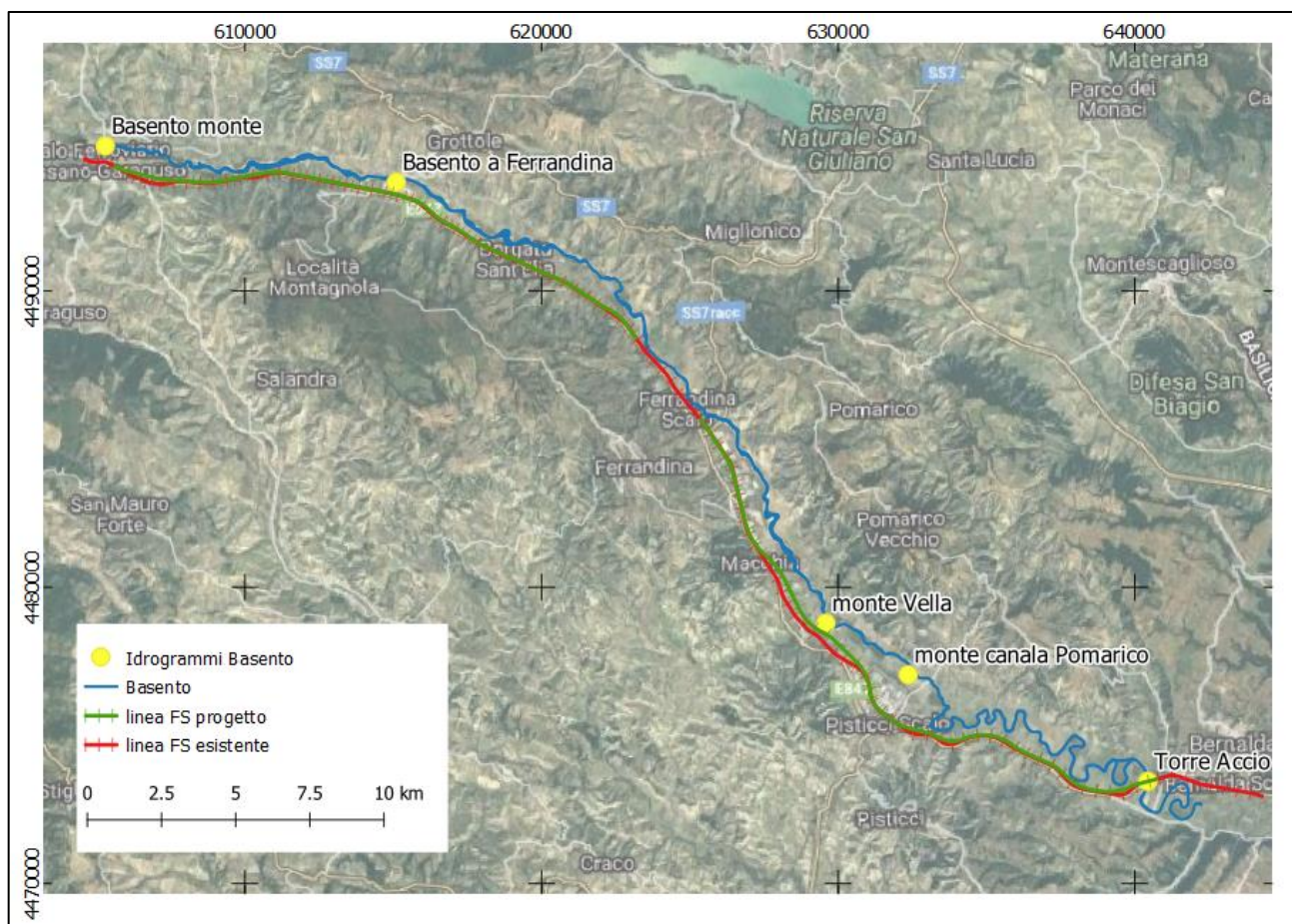


Figura 5: Sezioni in cui è sono stati calcolati gli idrogrammi sul fiume Basento con il modello idrologico.

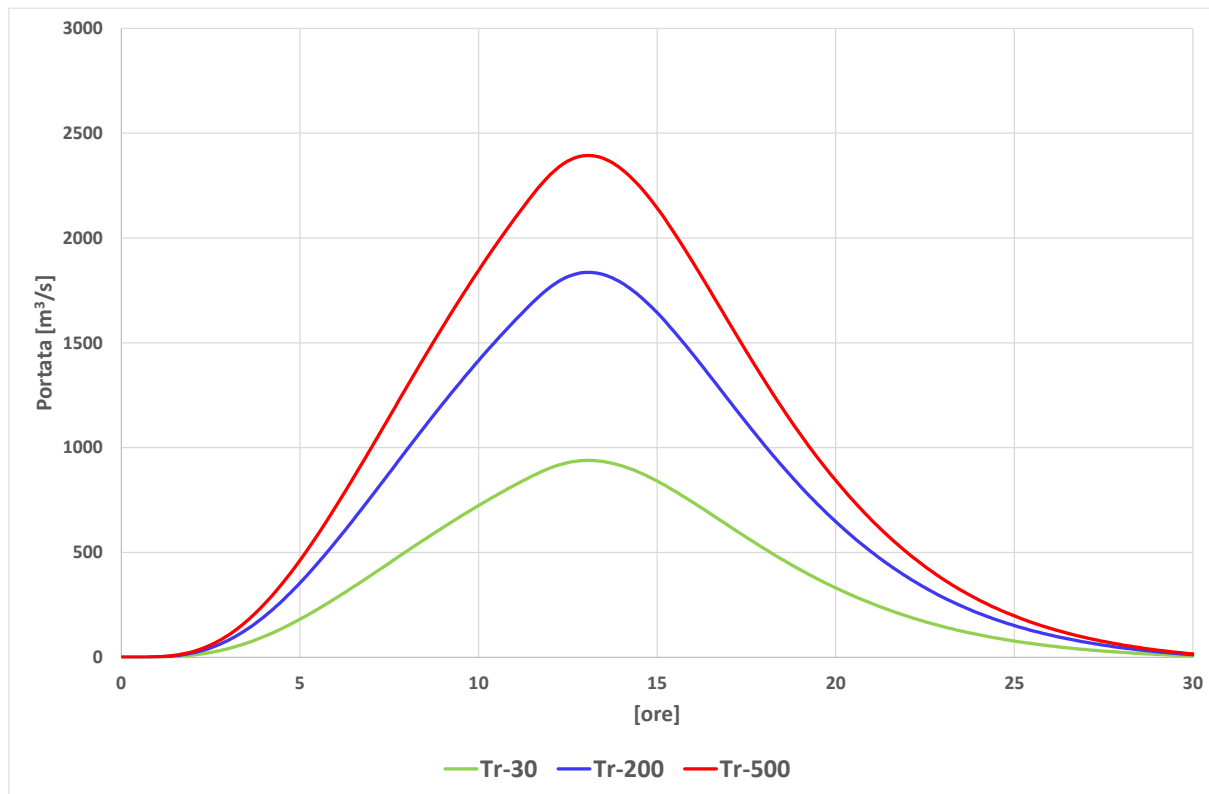


Figura 6: Idrogrammi da modello idrologico per la sezione di Salandra sul Basento.

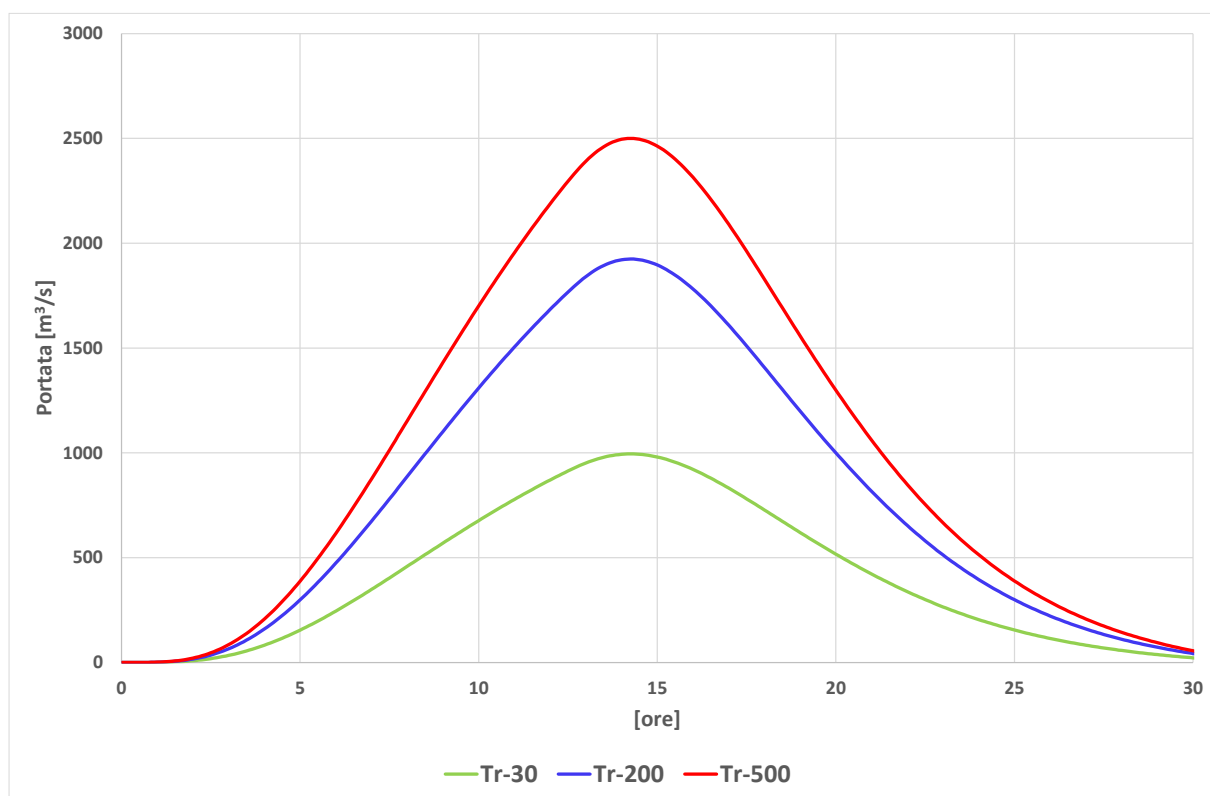


Figura 7: Idrogrammi da modello idrologico per la sezione di Ferrandina sul Basento.

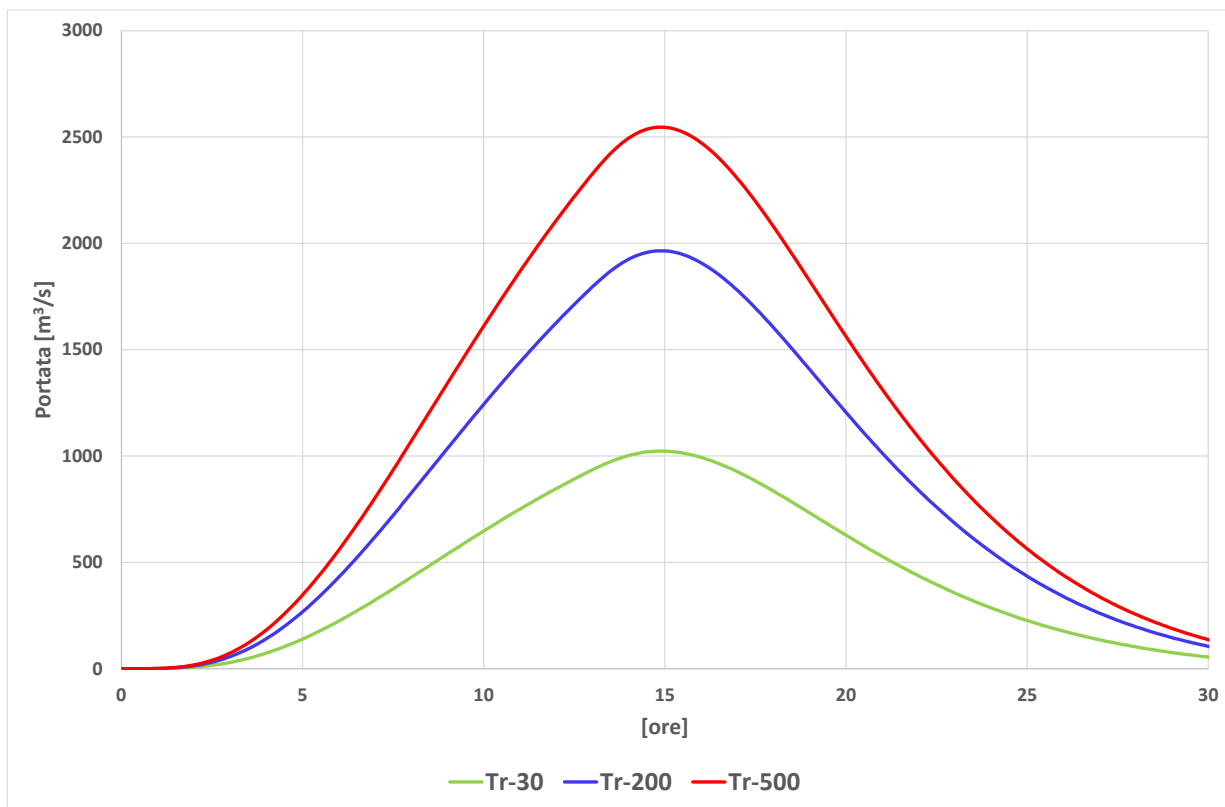


Figura 8: Idrogrammi da modello idrologico per la sezione del Basento a monte della confluenza con il Vella.

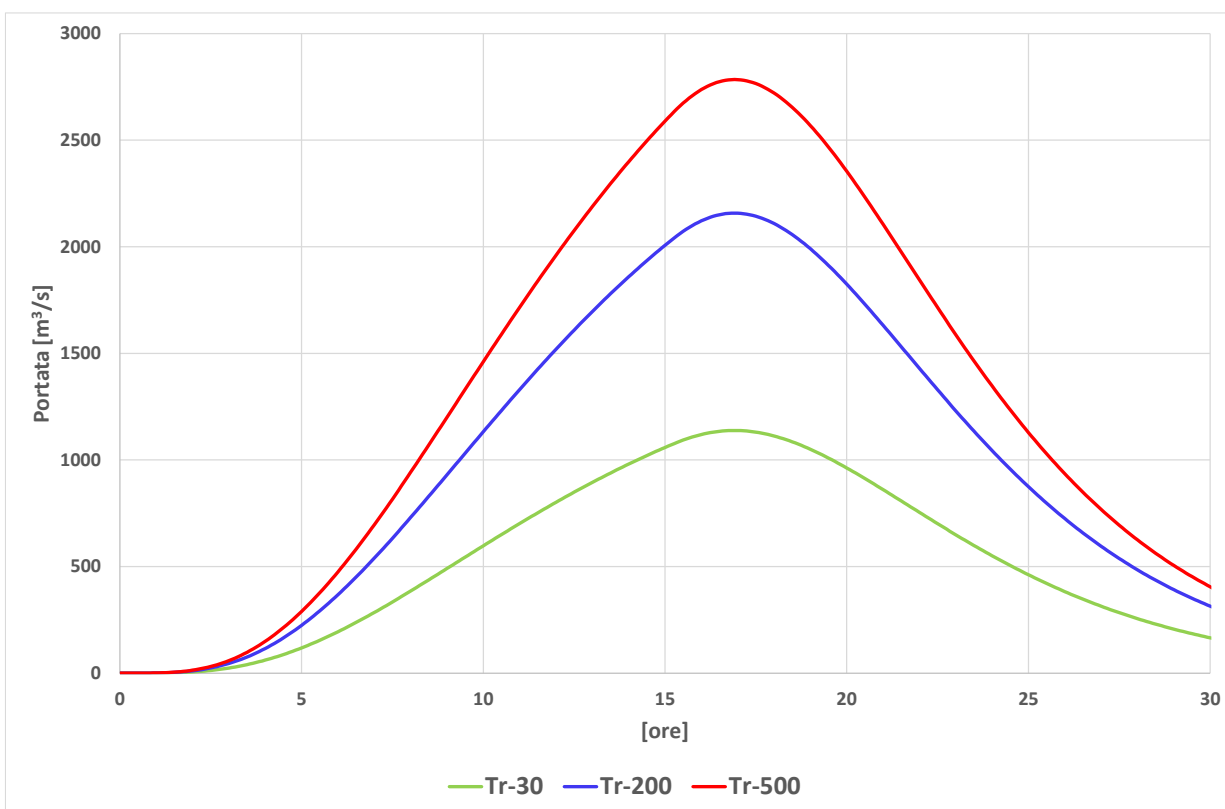


Figura 9: Idrogrammi da modello idrologico per la sezione del Basento a monte della confluenza con la Canala di Pomarico.

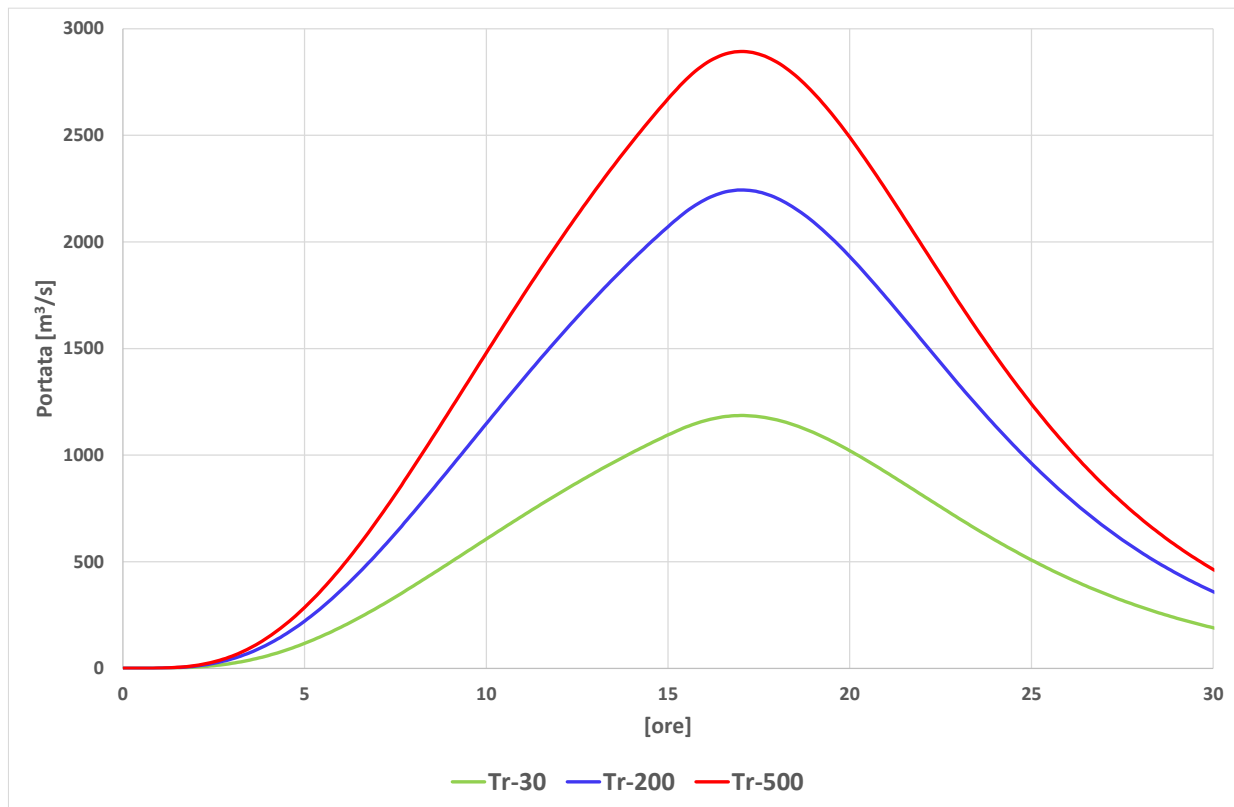


Figura 10: Idrogrammi da modello idrologico per la sezione di Torre Accio sul Basento.

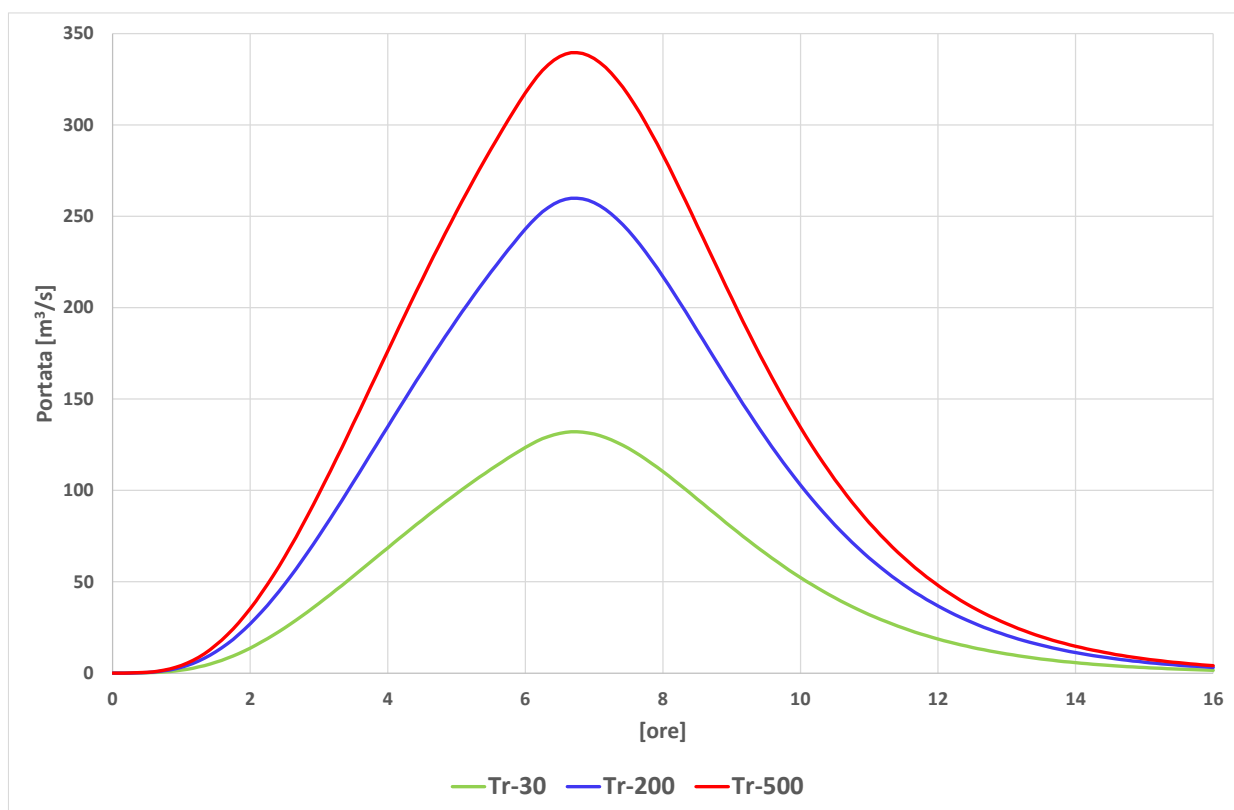


Figura 11: Idrogrammi da modello idrologico per il torrente Vella.

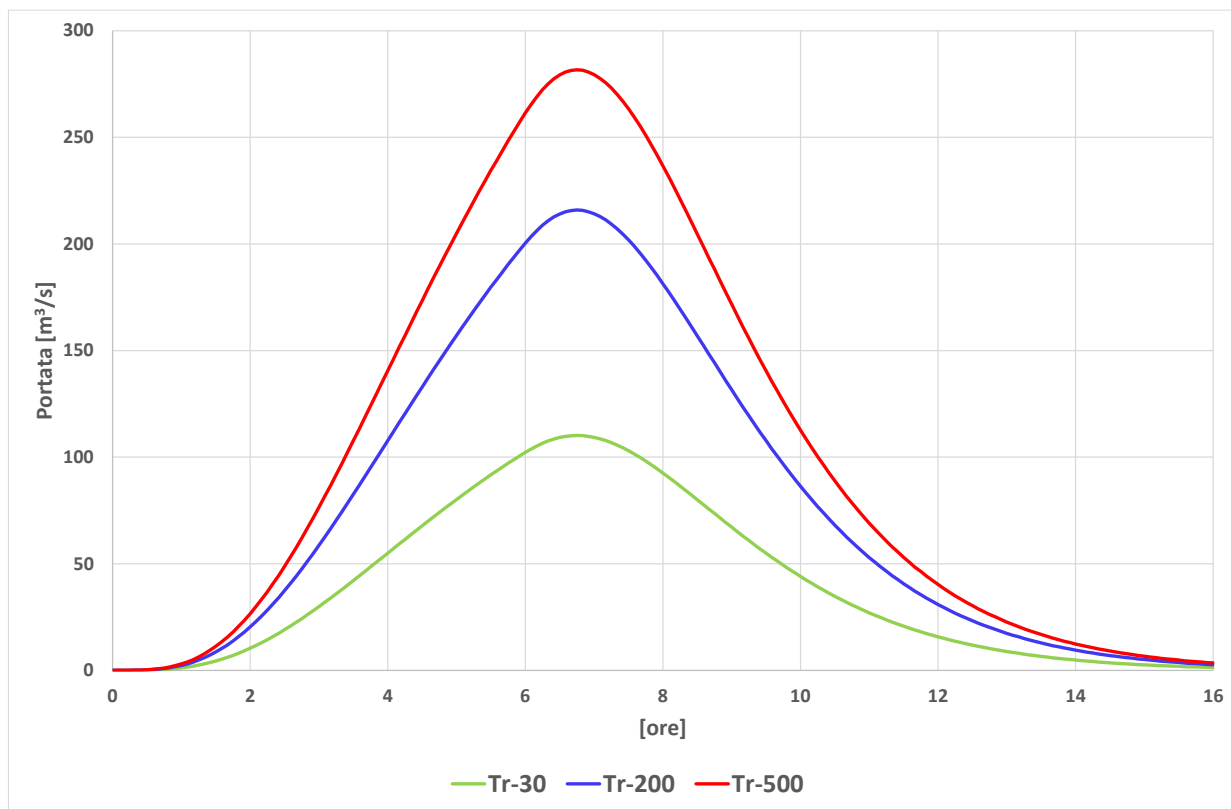


Figura 12: Idrogrammi da modello idrologico per il torrente Canala di Pomarico.

Per quanto riguarda la caratterizzazione delle superfici delle aree di allagamento, a supporto dell'identificazione dei parametri di scabrezza per le zone esterne ai corsi d'acqua, si è proceduto all'analisi delle immagini satellitari digitalizzando le diverse tipologie di copertura, differenziando tra alveo, bosco, boscaglia, coltivato e incolto. La tipologia di copertura del suolo è stata poi correlata ad un coefficiente di scabrezza direttamente implementabile in ambiente RAS.

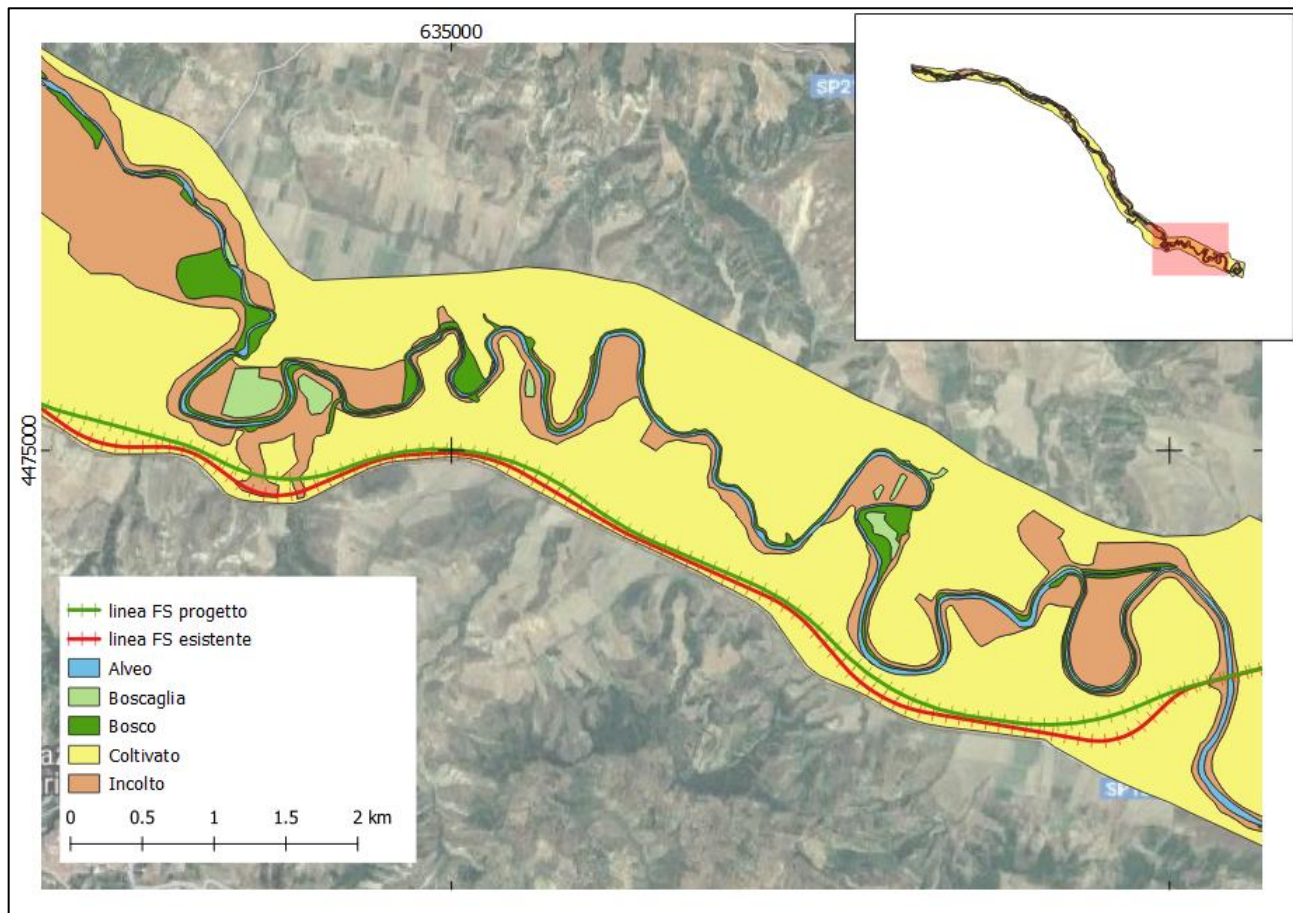


Figura 13: Analisi della copertura al suolo per l'area di studio

Altra informazione utilizzata è costituita dalle aree di allagamento per evento con duecento anni di tempo di ritorno definite dall'Autorità di Bacino.

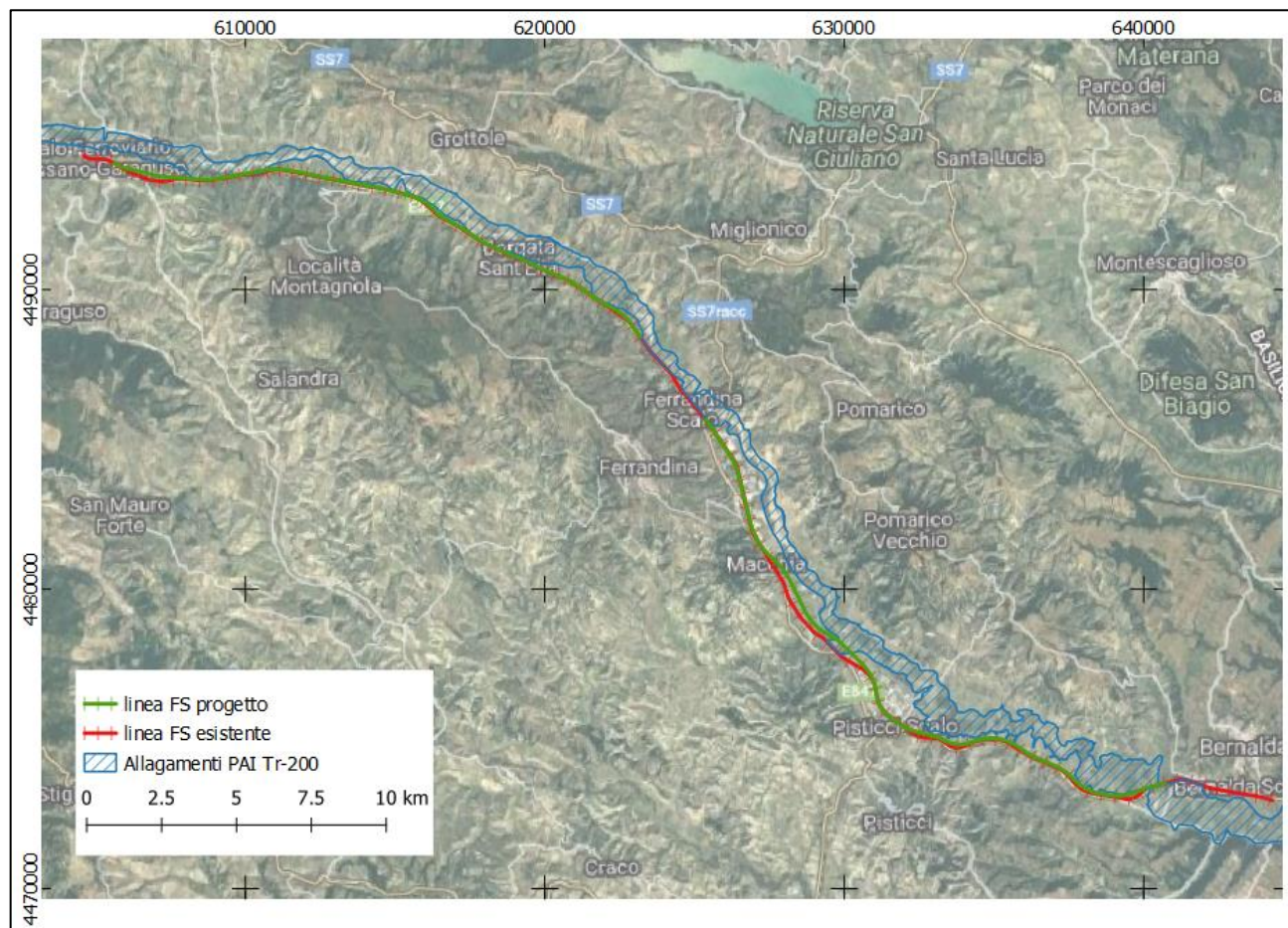


Figura 14: Aree di allagamento per evento con duecento anni di tempo di ritorno definite dall'Autorità di Bacino.

4.3 IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI NUMERICI


4.3.1 Modello bidimensionale (2D)

4.3.1.1 Approccio matematico (2D)

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello bidimensionale del tratto di Fiume Basento in fase di studio è il software HEC-RAS 6.0 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


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

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 stramazzone 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.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 21 di 58

- 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 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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

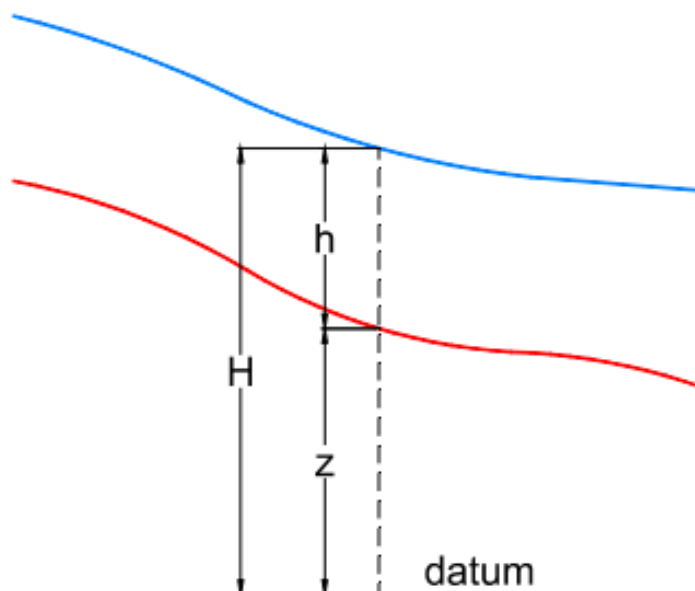


Figura 15 – Software Hec Ras 6.0: sistema di riferimento.


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 $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$.

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

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:

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

in cui oltre ai simboli già illustrati, g è l'accelerazione di gravità, ν_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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

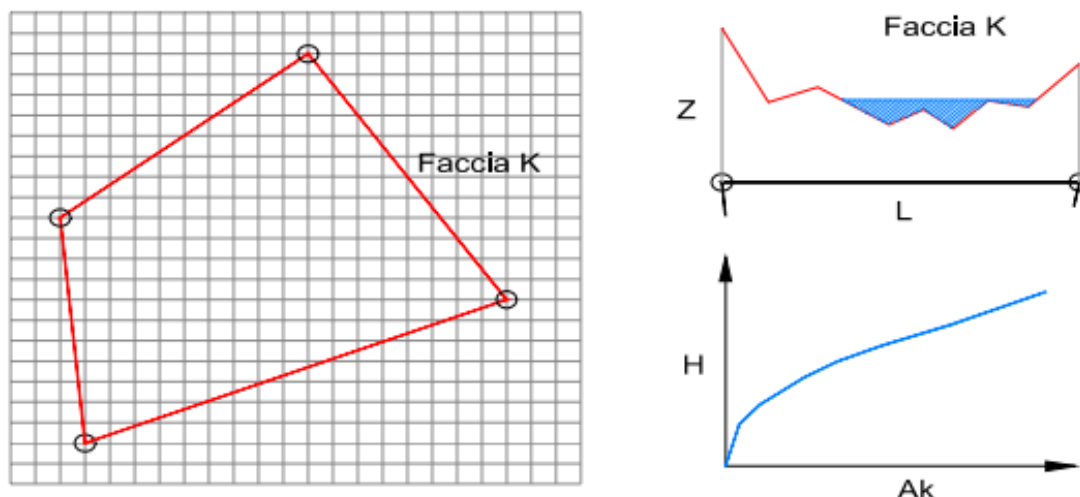



Figura 16 – Software Hec Ras: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Hec Ras sulle facce del bordo della cella.

4.3.1.2 Generazione del Modello Digitale Del Terreno

Il primo passo per l'implementazione della geometria del modello prevede la definizione delle quote del terreno dell'alveo e della pianura alluvionale tramite la generazione di un Modello Digitale del Terreno (DTM). In ambiente RAS Mapper sono stati uniti tutti i fogli del DTM del Ministero dell'Ambiente, cfr. paragrafo 4.2.1, che coprono il tratto da simulare, in modo da ottenere un DTM unico, illustrato in Figura 17. In questa operazione sono state incluse all'interno del DTM le pile dei ponti esistenti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

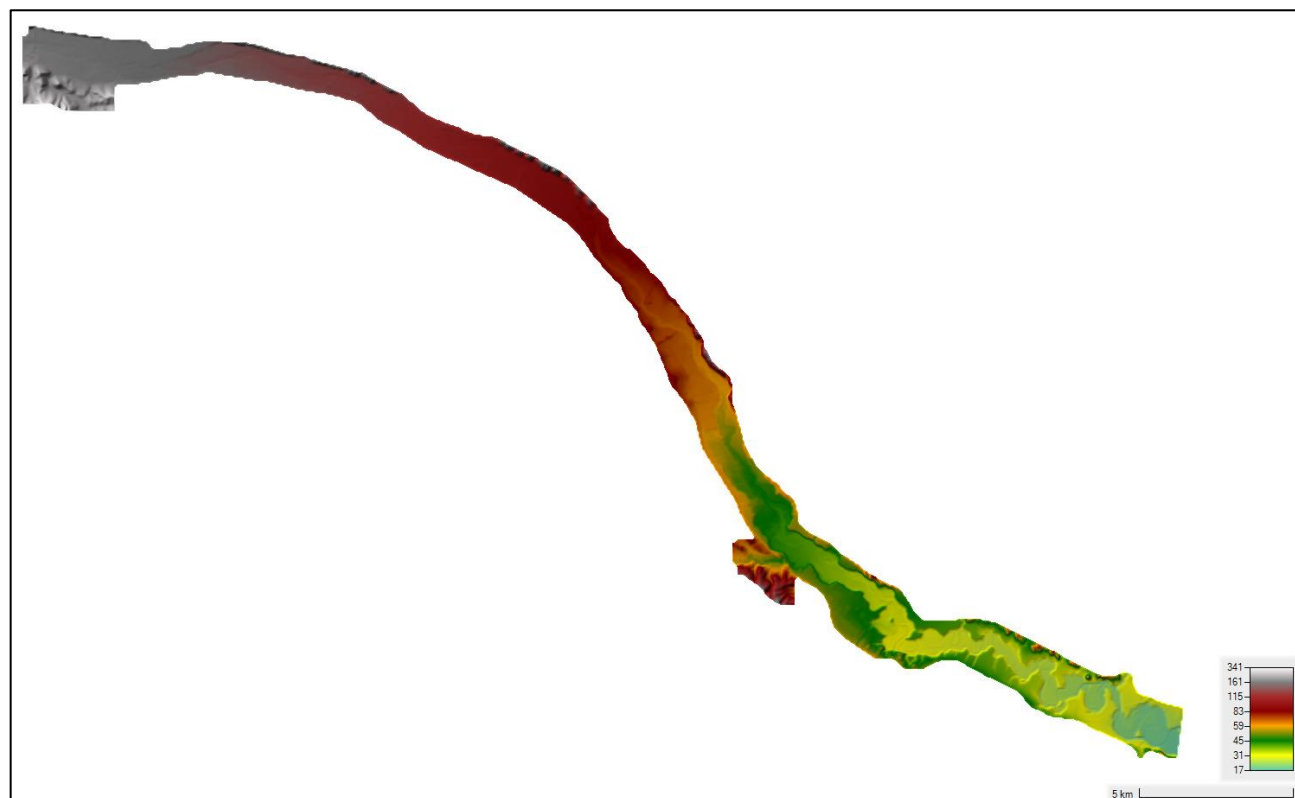



Figura 17: DTM ottenuto in ambiente RAS Mapper per lo sviluppo del modello 2D.

4.3.1.3 Definizione del dominio e della griglia di calcolo

Per l'implementazione del modello si è identificato un dominio di calcolo che si estendesse dalla sezione di Salandra a quella di Torre Accio (sezione in cui si ha l'attraversamento delle linee ferroviarie sul Basento), estendendo però il dominio oltre tale sezione di circa 3 km, misurati lungo l'alveo, in modo da diminuire l'influenza della condizione al contorno di valle sul tratto di interesse. Lateralmente il dominio è stato esteso in modo da rappresentare integralmente le esondazioni conseguenti ad un evento con tempo di ritorno cinquecento anni.

Per quanto riguarda la griglia di calcolo, HEC-RAS 2D utilizza uno schema di soluzioni a volumi finiti, che consente l'utilizzo di una griglia di calcolo (mesh) strutturata o non strutturata. Ciò significa che la mesh può essere costituita da celle di calcolo da 3 a 8 lati. A partire dal modello digitale del terreno finale implementato come descritto sopra, è stata selezionata una risoluzione nominale della griglia pari a 20 m e sono stati utilizzati gli strumenti automatizzati all'interno di HEC-RAS per la costruzione della griglia di calcolo nel piano campagna, imponendo la posizione dei rilevati, in modo da adattare gli elementi della griglia ai principali ostacoli al deflusso.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

L'alveo del Basento è stato schematizzato con griglia a 10 m nel tratto "a rami intrecciati" fino poco a valle della confluenza con il torrente Canala di Pomarico. Nell'ultimo tratto in cui l'alveo è delimitato da argini e l'andamento del fiume risulta meandriforme è stata utilizzata una griglia a 5 m per la definizione dell'alveo.

La griglia così definita è costituita da 219'444 celle, di estensione media pari a 205.20 m², con una variazione da 8.63 m² a 1827.31 m².

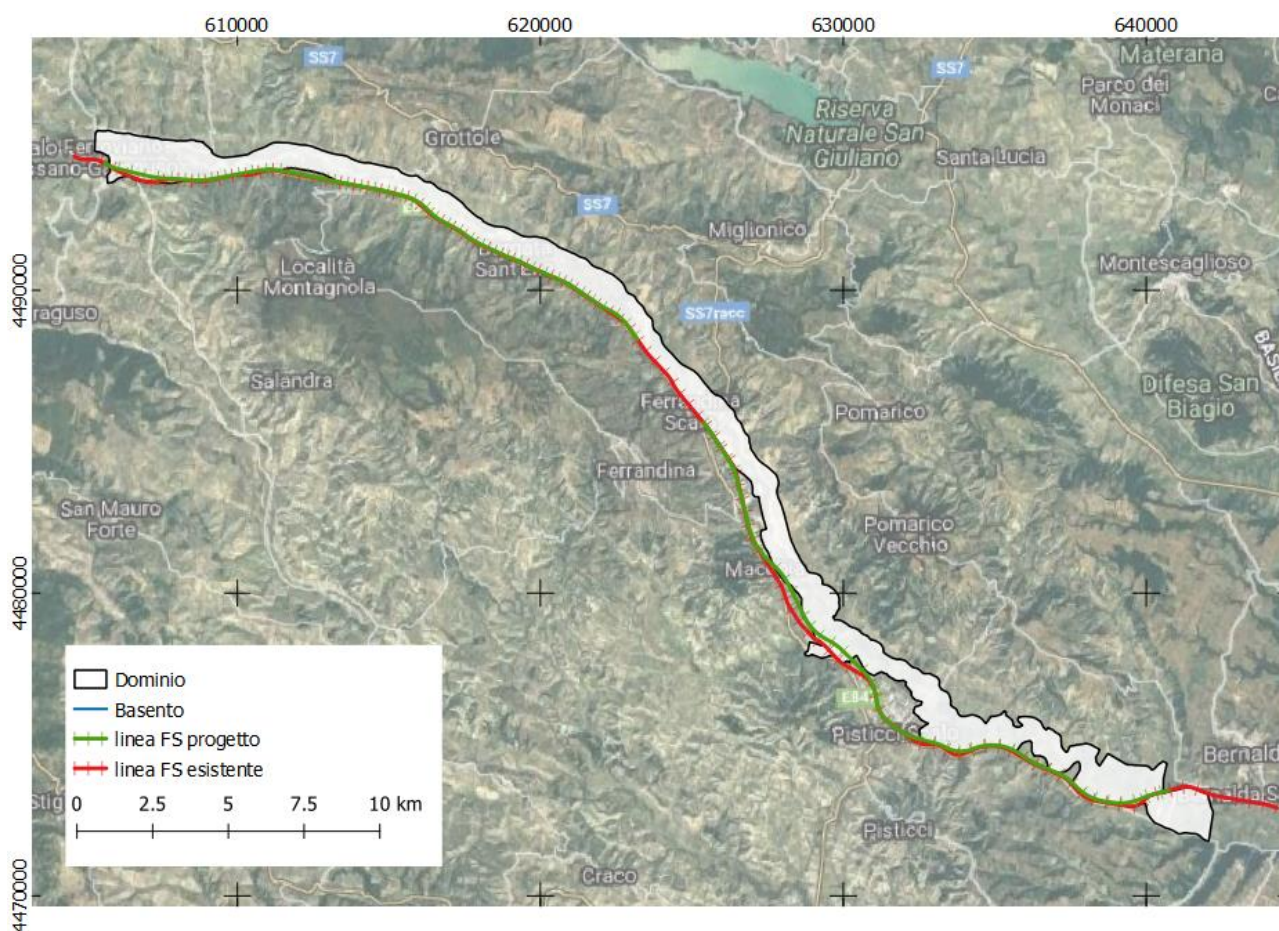


Figura 18: Estensione del dominio di calcolo

Relazione Idraulica e di compatibilità
idraulica - Studio bidimensionale del Fiume
Basento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA95	03	R 09 RI	ID 0002 001	B	27 di 58

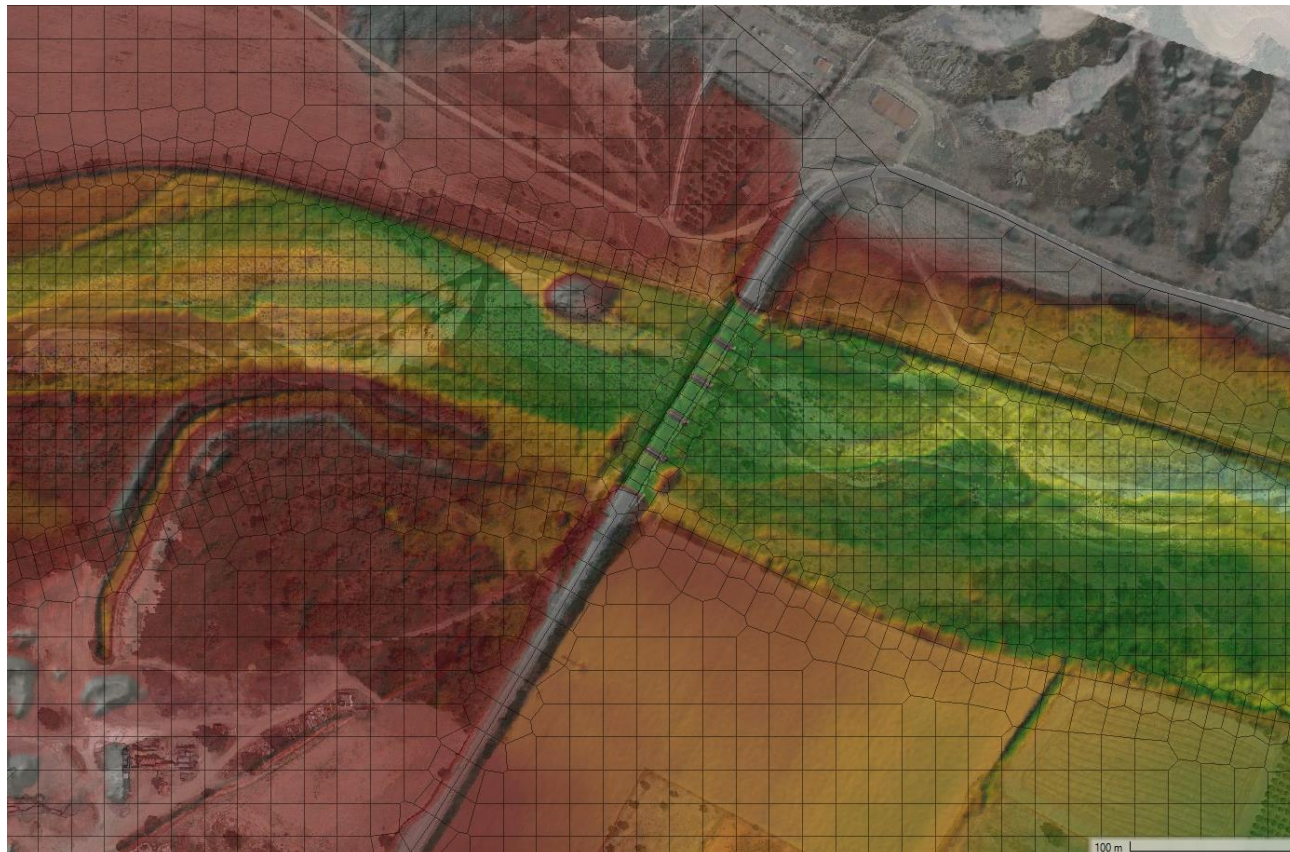


Figura 19: Dettaglio della mesh in corrispondenza della sezione di Ferrandina (ponte strada provinciale Salandra-Grottole).

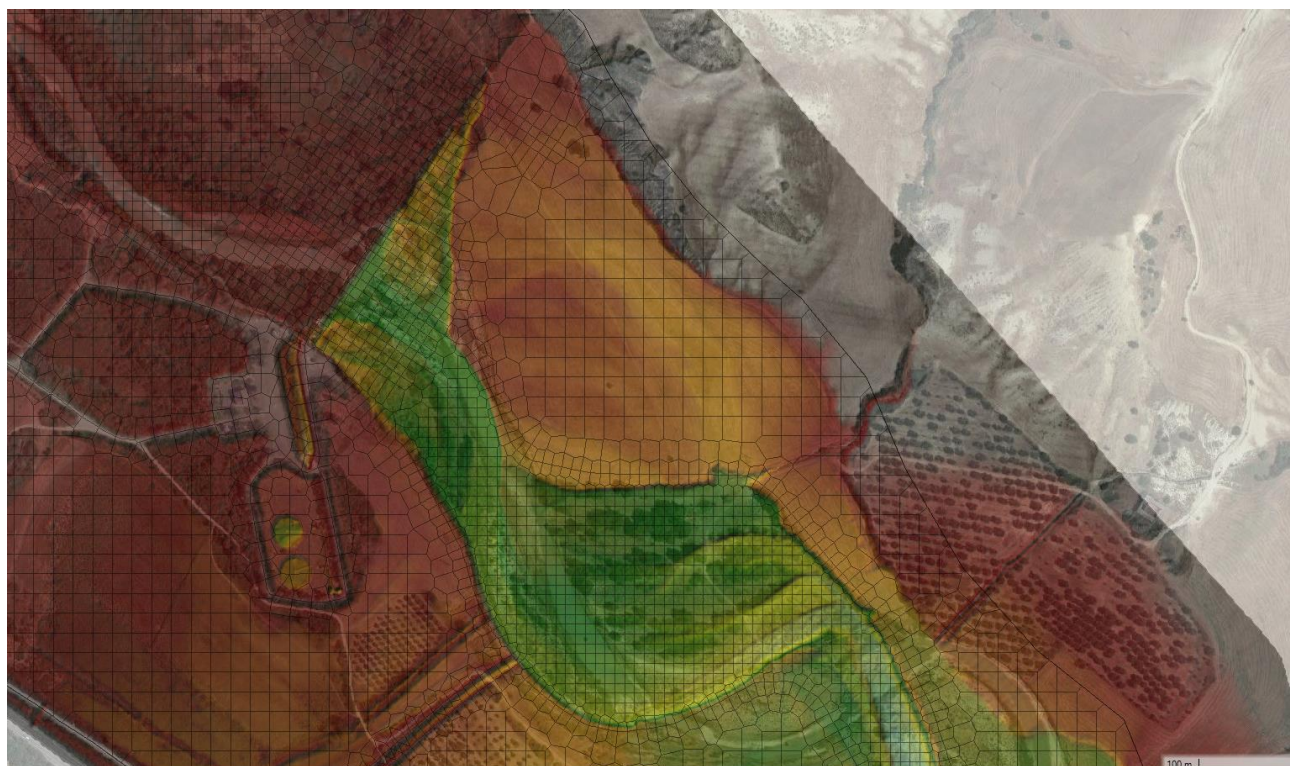



Figura 20: Dettaglio della mesh in corrispondenza di una traversa.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

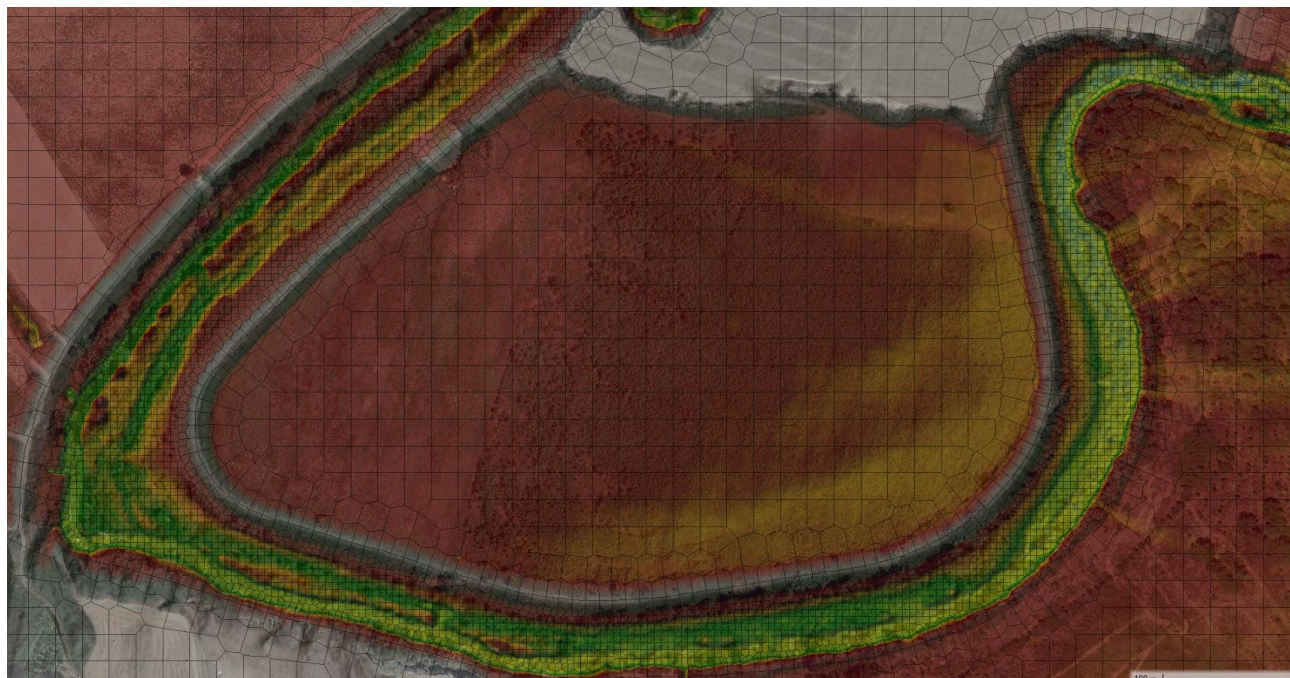



Figura 21: Dettaglio della mesh in corrispondenza della zona meandriforme.

La discretizzazione delle celle è stata ritenuta sufficientemente dettagliata per rappresentare la dinamica di allagamento; tuttavia, è opportuno considerare che, in realtà, il livello di dettaglio del modello HEC-RAS non dipende solo dalle dimensioni della cella. La specificità della modellazione in RAS 2D è legata al fatto che il software è in grado di considerare nel calcolo un'informazione topografica più dettagliata rispetto alla griglia di calcolo che utilizza. Questa prerogativa lo differenzia in maniera netta rispetto a tutti gli altri software di modellazione 2D, dove l'informazione topografica è al più sui nodi di calcolo.

Infatti, pur mantenendo un solo punto di calcolo all'interno di ogni cella della griglia e quindi calcolando un solo livello, il pre-processore del software per ogni cella determina, sulla base del DEM sotteso dalla cella:

- la relazione livello-volume invasato nella cella, che utilizza nella soluzione dell'equazione di continuità,
- la relazione livello area di deflusso per ogni contorno di scambio tra 2 celle, che utilizza nella soluzione dell'equazione del moto.

Questa tecnica permette quindi di considerare dettagli topografici non legati alla dimensione delle celle di calcolo, ma legati alla definizione del DEM di base.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

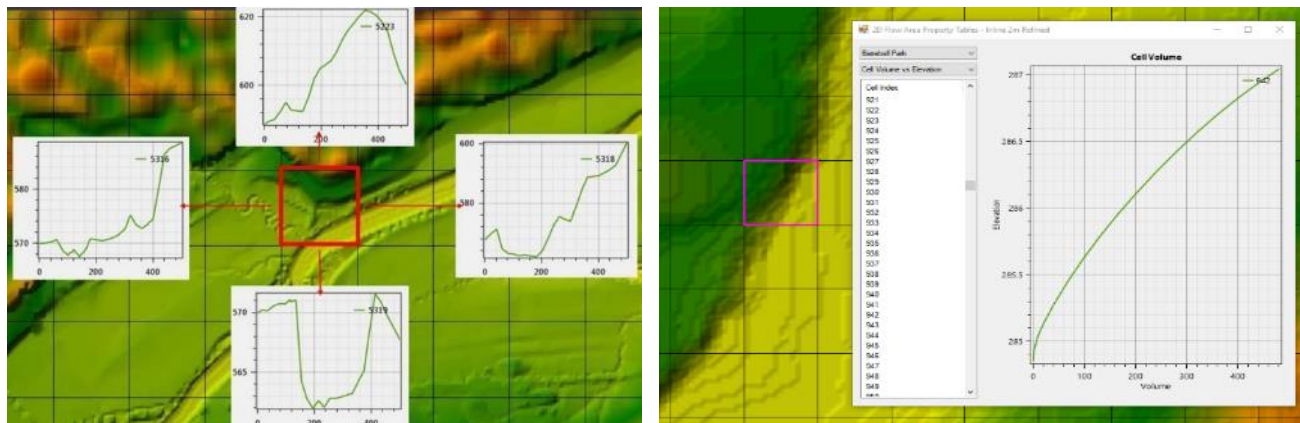


Figura 22: Esempio di DEM a sinistra estrazione dei profili lungo i confini delle celle, a destra curva livello-volume invasato

Anche il post-processore del software per identificare le aree allagate utilizza il DEM, quindi all'interno di una cella di calcolo considera allagati solo i pixel del DEM che hanno una quota inferiore a quella del livello idrico calcolato per la cella stessa.

4.3.1.4 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno principali al modello sono:

- Idrogrammi di input a Salandra, condizione di monte sul Basento;
- Idrogrammi di input sul torrente Canala di Pomarico;
- Condizione al contorno di valle sul Basento.

Le condizioni al contorno di input principali sono state definite utilizzando i risultati del modello idrologico (cfr. paragrafo 4.2.2); per la condizione al contorno di valle è stata imposta una pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza media del fondo nell'ultimo tratto: 0.15%.

La Figura 23 mostra la schematizzazione delle principali condizioni al contorno imposte.

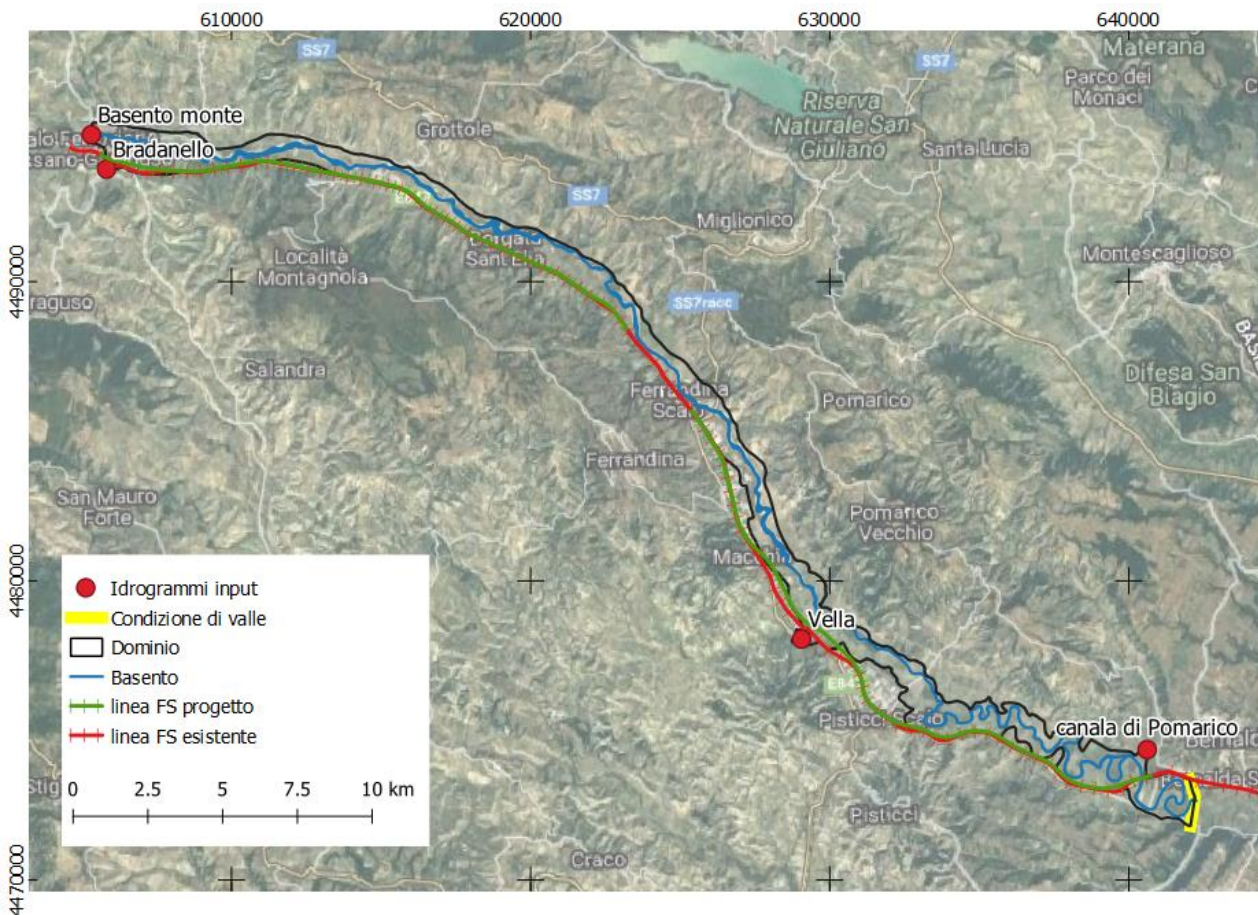



Figura 23: Principali condizioni al contorno imposte al modello

Come descritto nel paragrafo 4.2.2, con il modello idrologico sono stati definiti gli idrogrammi in altre quattro sezioni all'interno del dominio di calcolo (cfr. Figura 5):

- Ferrandina;
- Monte confluenza torrente Vella;
- Monte confluenza torrente Canala di Pomarico;
- Torre Accio.

È importante sottolineare come i singoli eventi generati per ogni sezione di calcolo del modello idrologico facciano riferimento a caratteristiche del bacino chiuso a quella sezione, in particolare è considerata una pioggia sull'intero bacino, chiuso in quella sezione, con una durata pari al tempo di corrivazione del bacino chiuso in quella sezione; questo massimizza il colmo per la sezione individuata. Gli eventi idrologici considerati per le sezioni non appartengono quindi al medesimo evento idrologico, ad esempio, i tempi di picco nelle varie sezioni non sono tra loro collegati

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

mediante il tempo di traslazione di una piena all'interno del fiume Basento. Nel modello idraulico invece l'evento considerato è unico e l'evoluzione del picco dipende dai fenomeni di laminazione dovuti alla propagazione della piena lungo il corso d'acqua, combinati con gli afflussi derivanti dal bacino residuo.

Si è cercato pertanto di replicare i valori al colmo definiti nelle varie sezioni calcolate con il modello idrologico sfasando temporalmente gli idrogrammi dei tre affluenti ed aggiungendo ulteriori 40 immissioni in corrispondenza di altrettanti affluenti, definendo le portate di tali affluenti in modo da ottenere i colmi desiderati. Da sottolineare che i valori stimati per tali affluenti non sono le portate critiche per gli stessi. Nelle figure seguenti sono riportati i confronti degli idrogrammi ottenuti dal modello idrologico e dal modello idraulico per le varie sezioni e per i diversi tempi di ritorno.

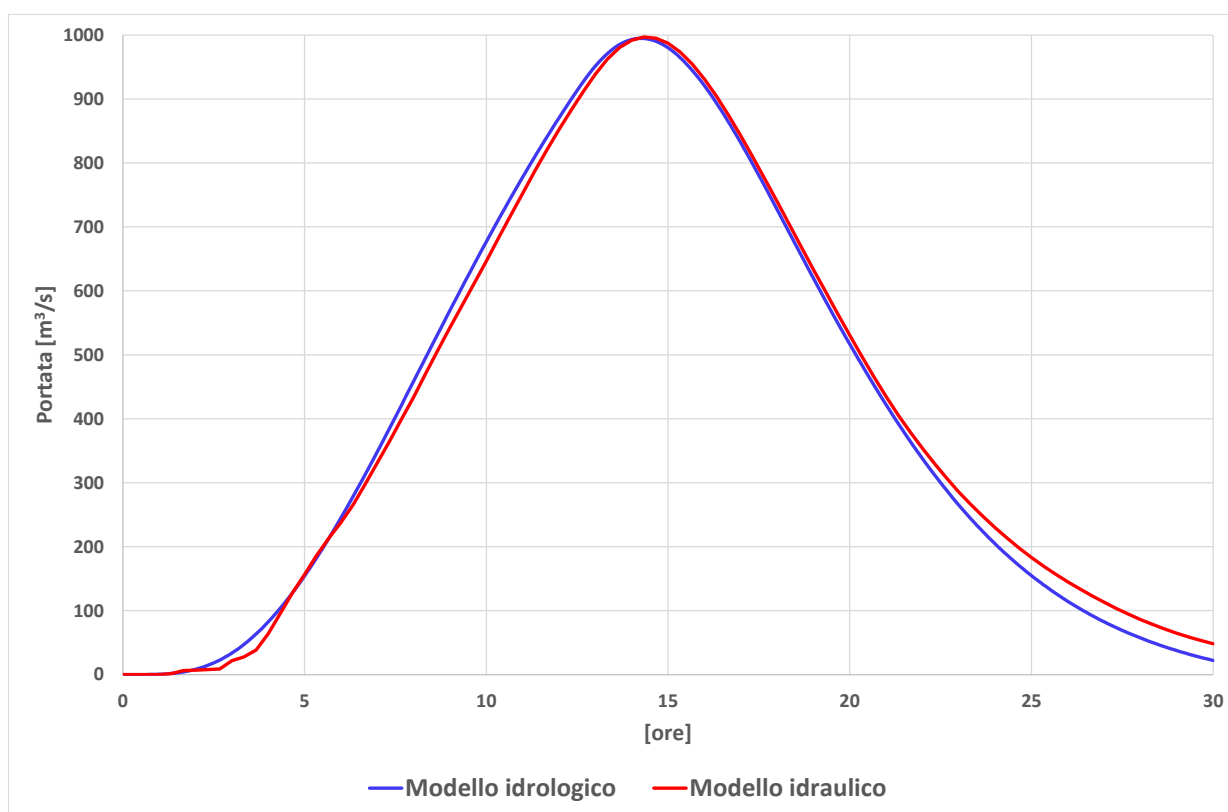


Figura 24: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico alla sezione di Ferrandina, Tr-30 anni.

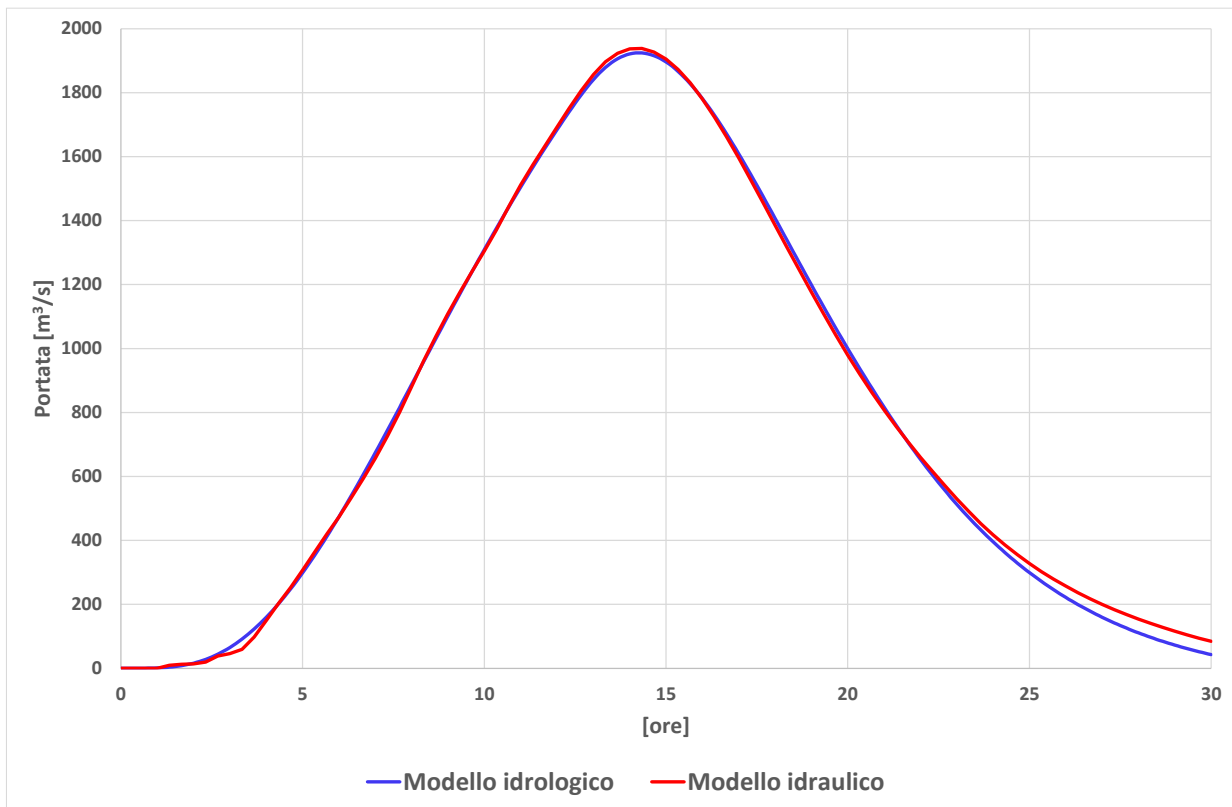


Figura 25: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico alla sezione di Ferrandina, Tr-200 anni.

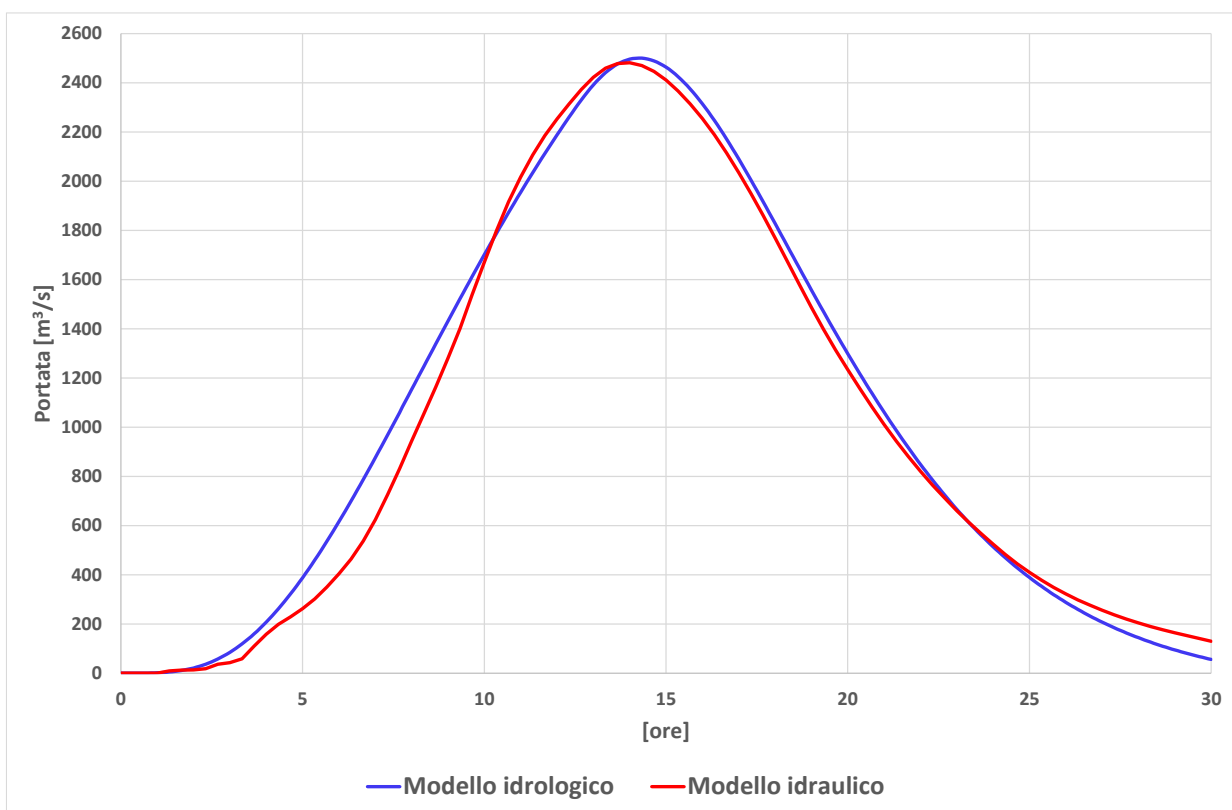


Figura 26: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico alla sezione di Ferrandina, Tr-500 anni.

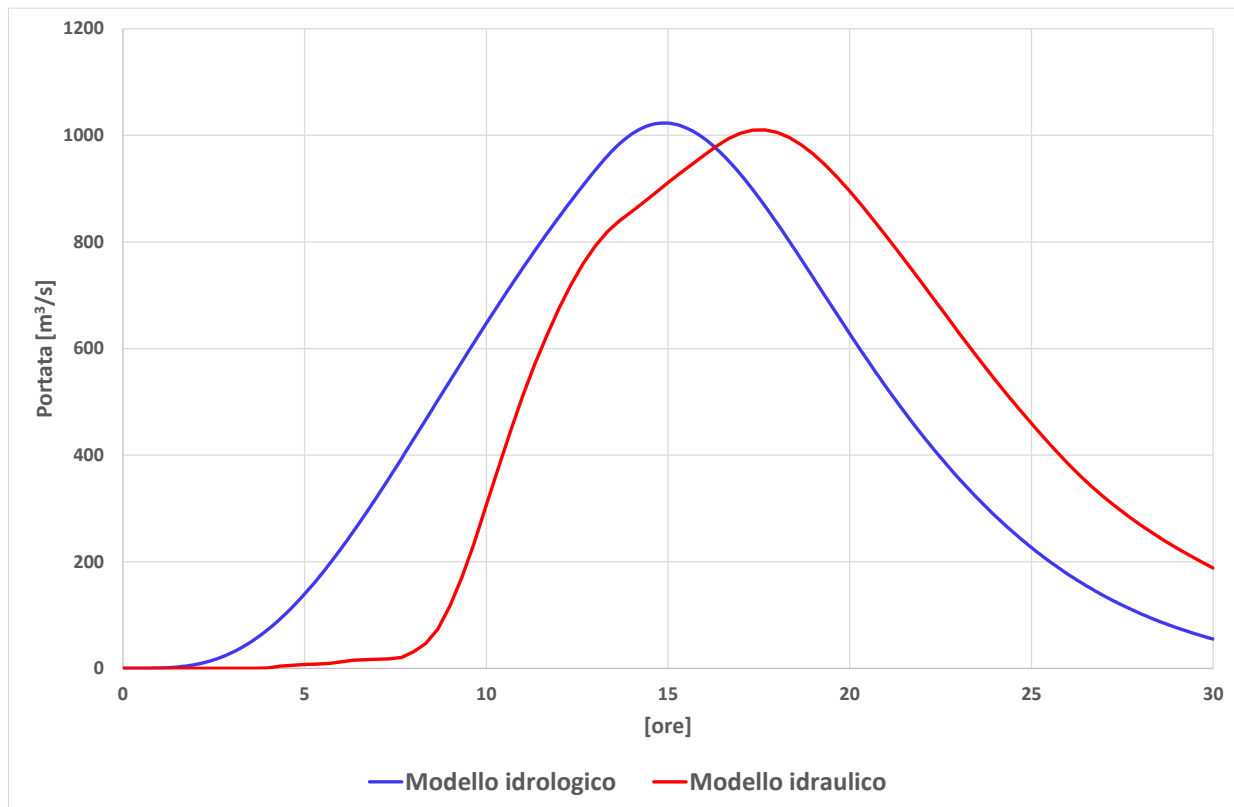


Figura 27: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico a monte della confluenza del torrente Vella, Tr-30 anni.

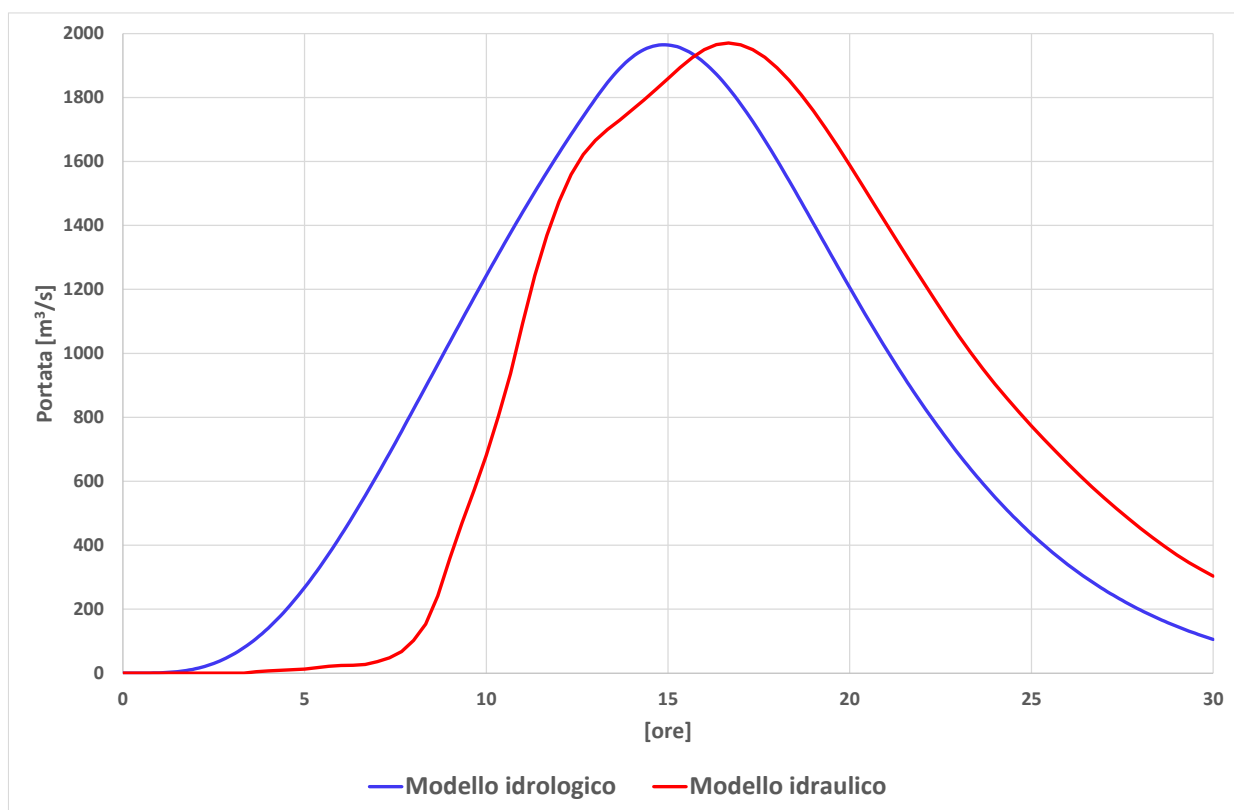


Figura 28: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico a monte della confluenza del torrente Vella, Tr-200 anni.

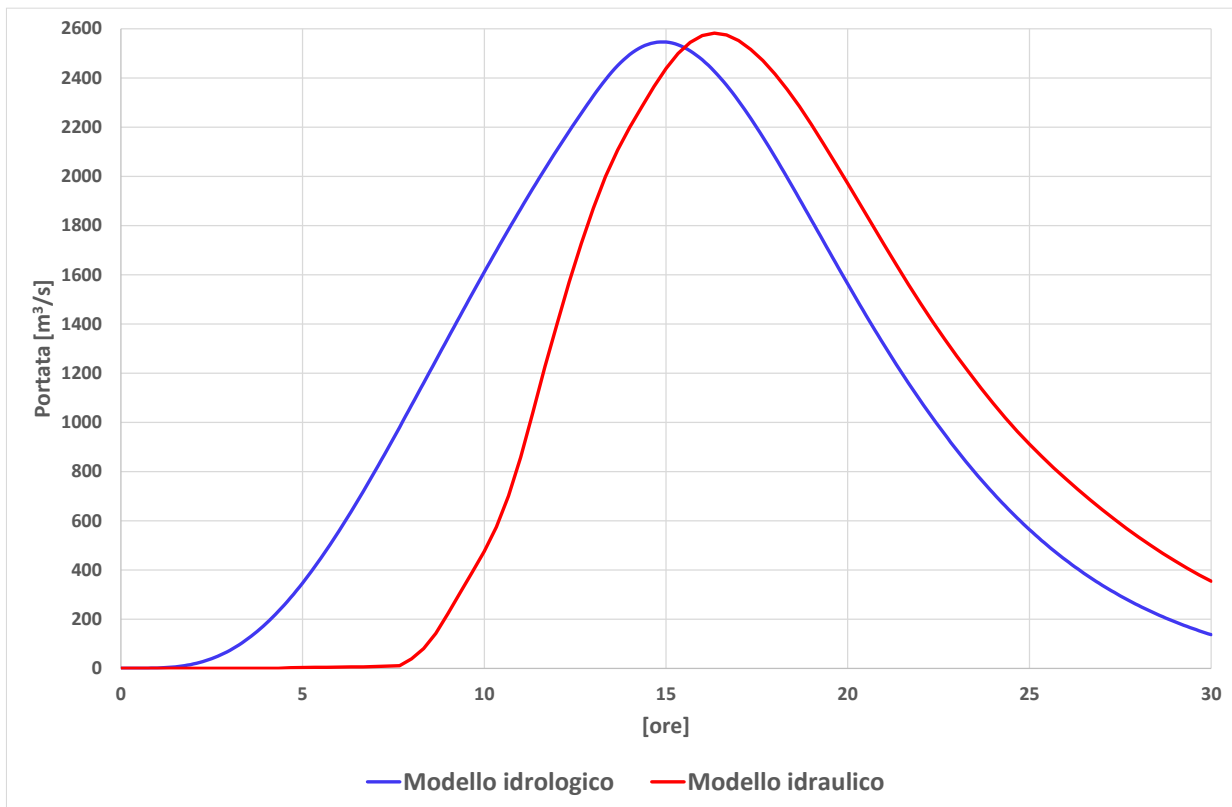


Figura 29: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico a monte della confluenza del torrente Vella, Tr-500 anni.

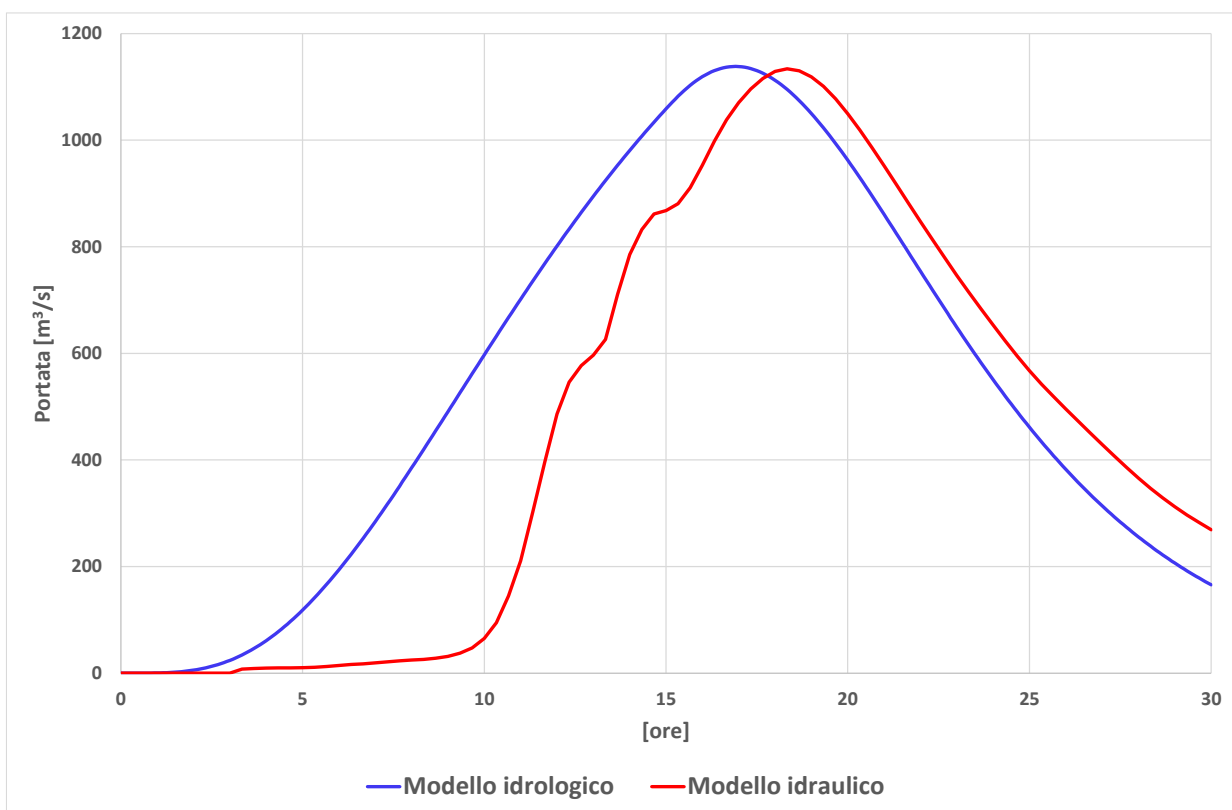


Figura 30: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico a monte della confluenza del torrente Canala di Pomarico, Tr-30 anni.

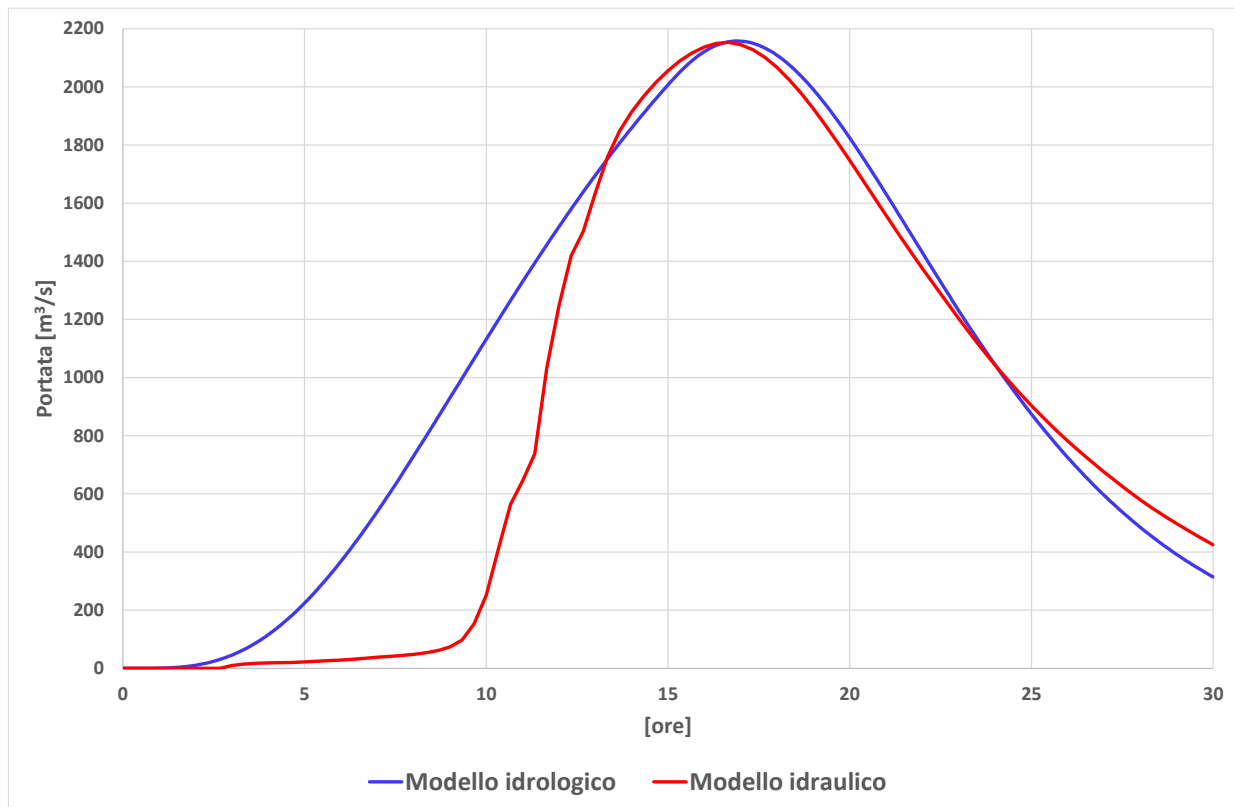


Figura 31: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico a monte della confluenza del torrente Canala di Pomarico, Tr-200 anni.

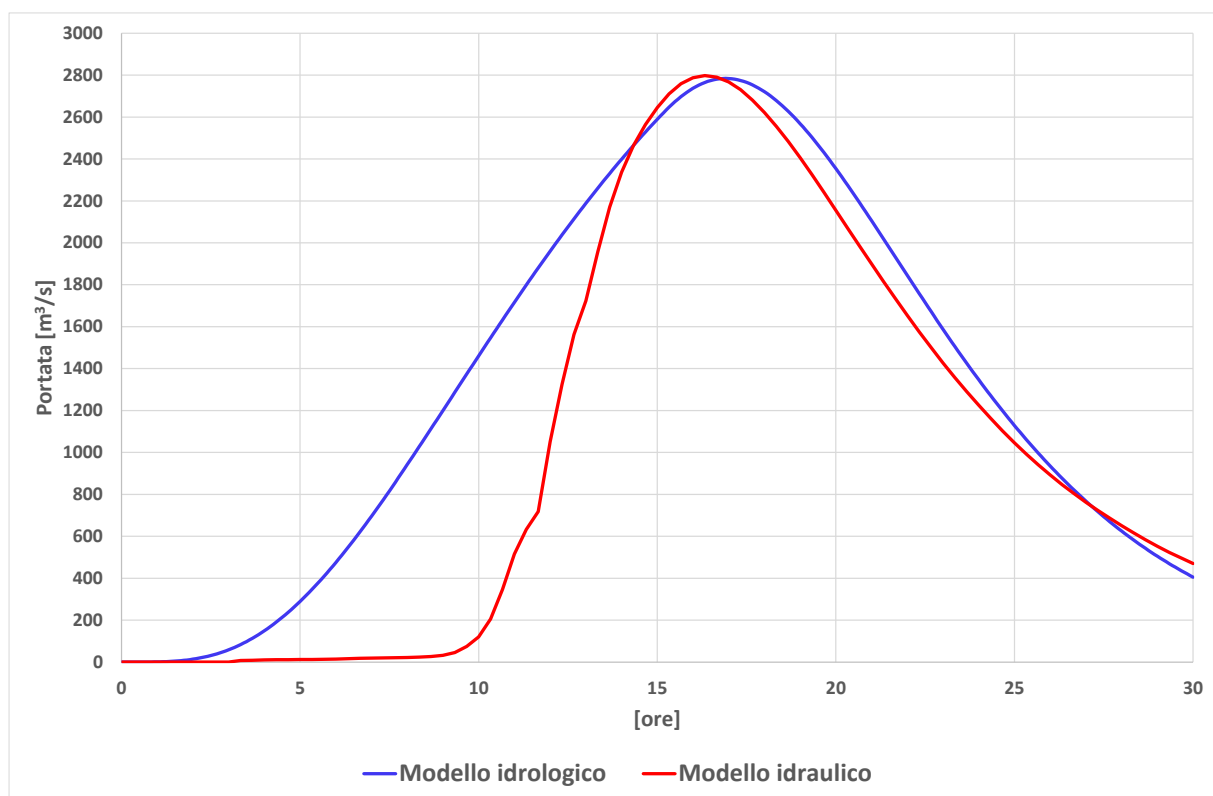


Figura 32: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico a monte della confluenza del torrente Canala di Pomarico, Tr-500 anni.

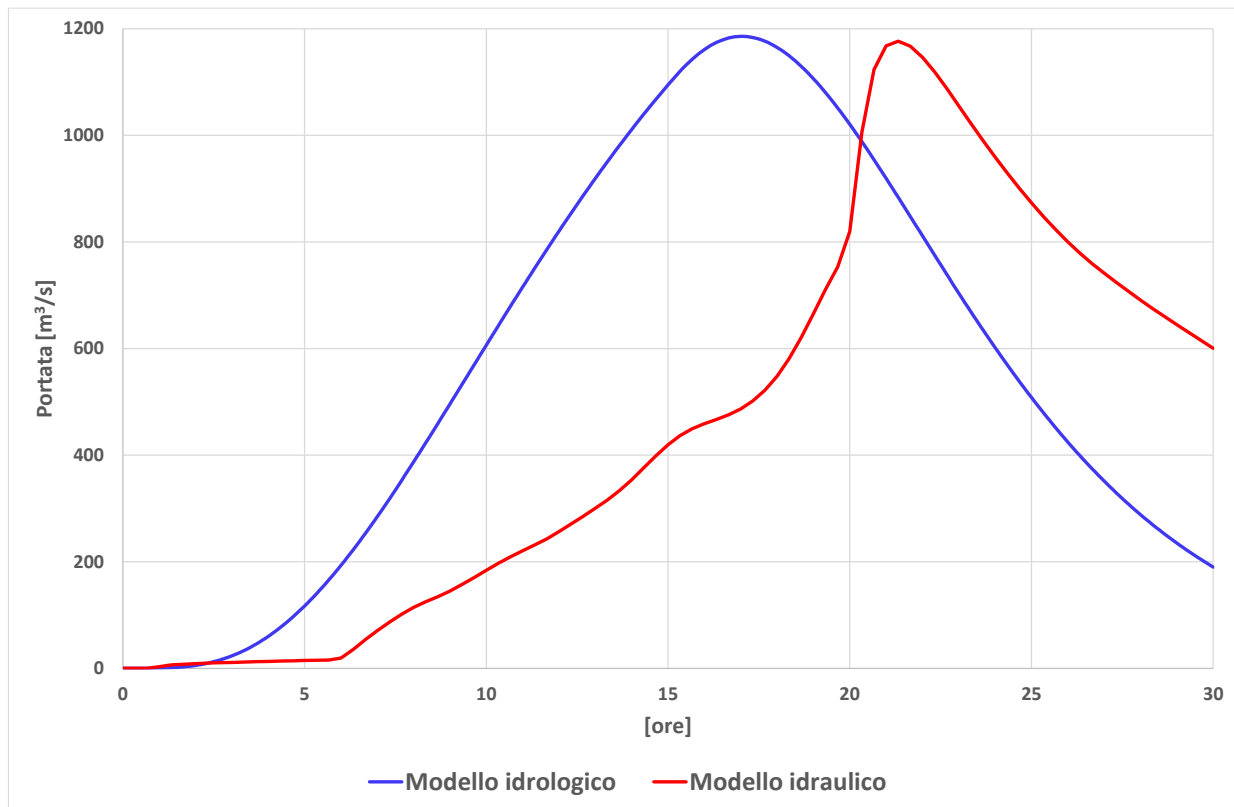


Figura 33: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico alla sezione di Torre Accio, Tr-30 anni.

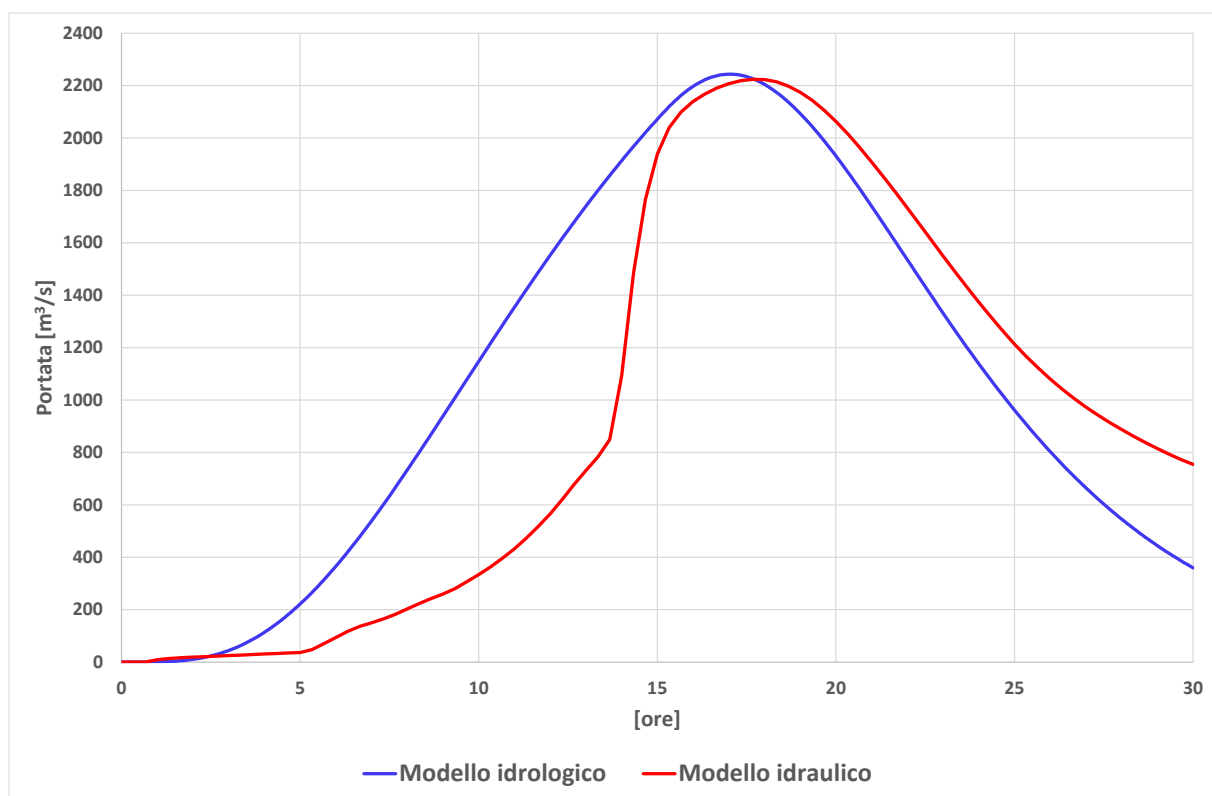


Figura 34: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico alla sezione di Torre Accio, Tr-200 anni.

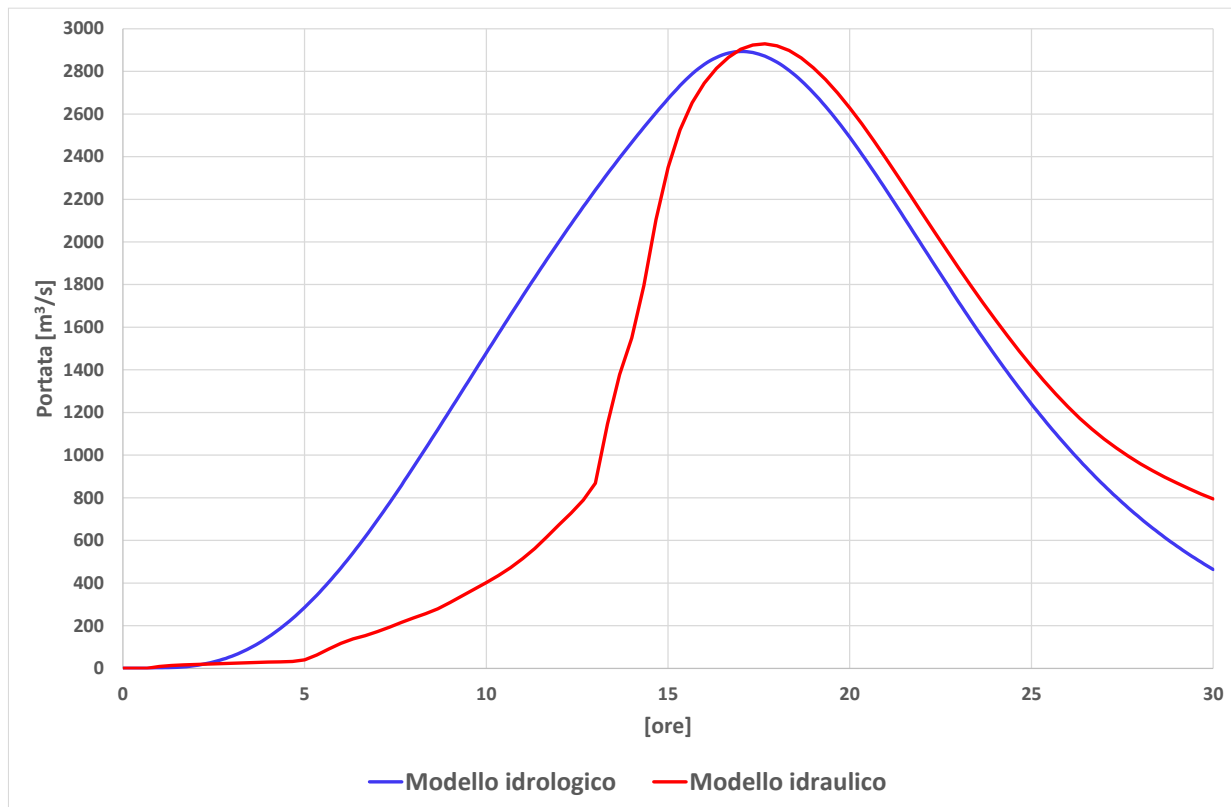



Figura 35: Confronto idrogrammi modelli idrologico e idraulico alla sezione di Torre Accio, Tr-500 anni.

Il confronto evidenzia come la dinamica del singolo evento che si propaga all'interno del corso d'acqua si discosti anche notevolmente per forma e volume da quelli definiti con il modello idraulico; i colmi all'incirca coincidono perché gli afflussi laterali sono stati definiti proprio per raggiungere questo obiettivo. Alla sezione di Ferrandina gli idrogrammi sono ancora molto simili, ma già a monte della confluenza del torrente Vella i colmi degli idrogrammi del modello idraulico sono in ritardo rispetto a quelli del modello idrologico, ritardo che però nella sezione a monte della confluenza con il torrente Canala di Pomarico rimane solo per l'evento con Tr-30 anni, che si propaga più lentamente, mentre per Tr-200 e Tr-500 i colmi risultano leggermente in anticipo. È poi evidente la differenza del ramo crescente degli idrogrammi del modello idraulico che salgono molto più repentinamente ed hanno una notevole sottostima in volume. Infatti, nel modello idrologico, modificando il tempo di pioggia, risulta contribuire l'intero bacino chiuso a quella sezione, mentre nel modello idraulico il contributo del bacino a monte della sezione di Salandra è fissato per il suo tempo di pioggia critico e il bacino residuo a valle di questa sezione non può sopperire al volume mancante, a meno di non creare idrogrammi negli affluenti non realistici. Gli effetti di laminazione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

del sistema sono infine evidenti nel confronto degli idrogrammi trentennali a Torre Accio (Figura 33), le esondazioni nel tratto meandriforme, in cui sono presenti ampie zone golenali protette da argini secondari, riducono drasticamente il volume dell'idrogramma del modello idraulico.

4.3.1.5 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, si è potuto calibrare il modello unicamente sulla base degli allagamenti definiti nel PAI dall'Autorità di Bacino per un evento duecentennale.

Nelle figure seguenti è riportato il confronto tra gli allagamenti definiti dall'AdB e quelli ottenuti nel presente studio.

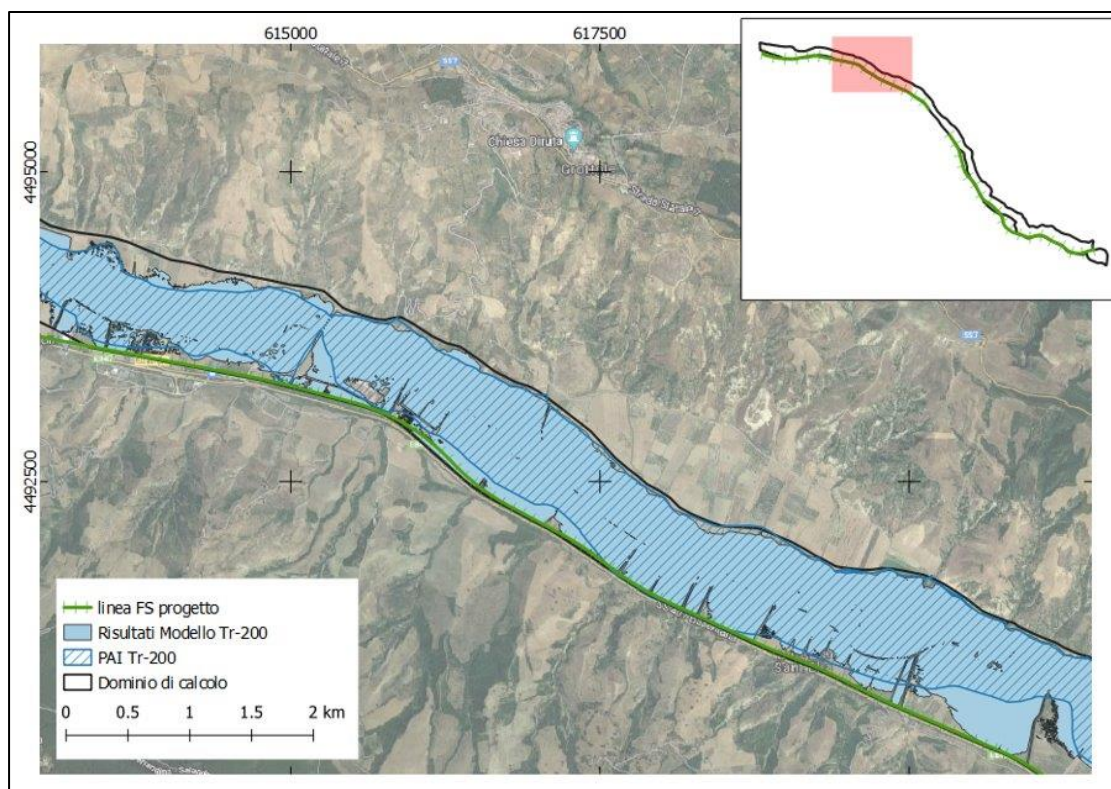


Figura 36: Confronto tra gli allagamenti ottenuti con il modello e quelli definiti dal PAI (2).

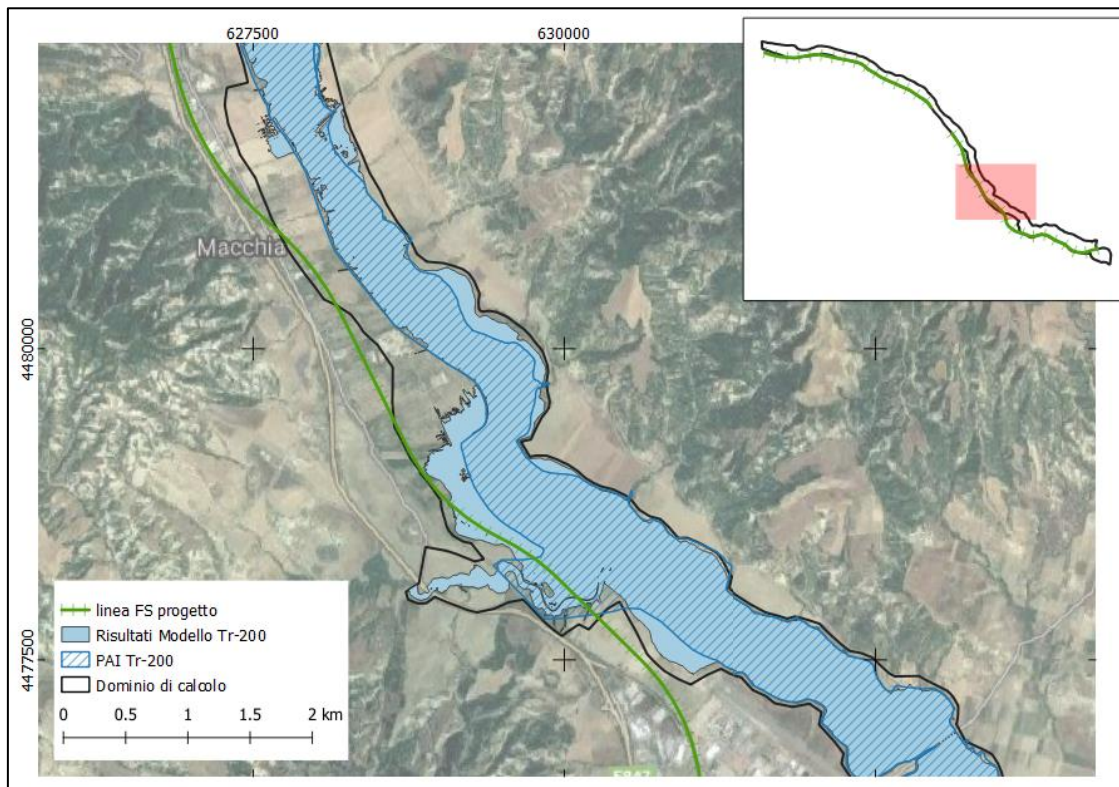


Figura 37: Confronto tra gli allagamenti ottenuti con il modello e quelli definiti dal PAI (3).

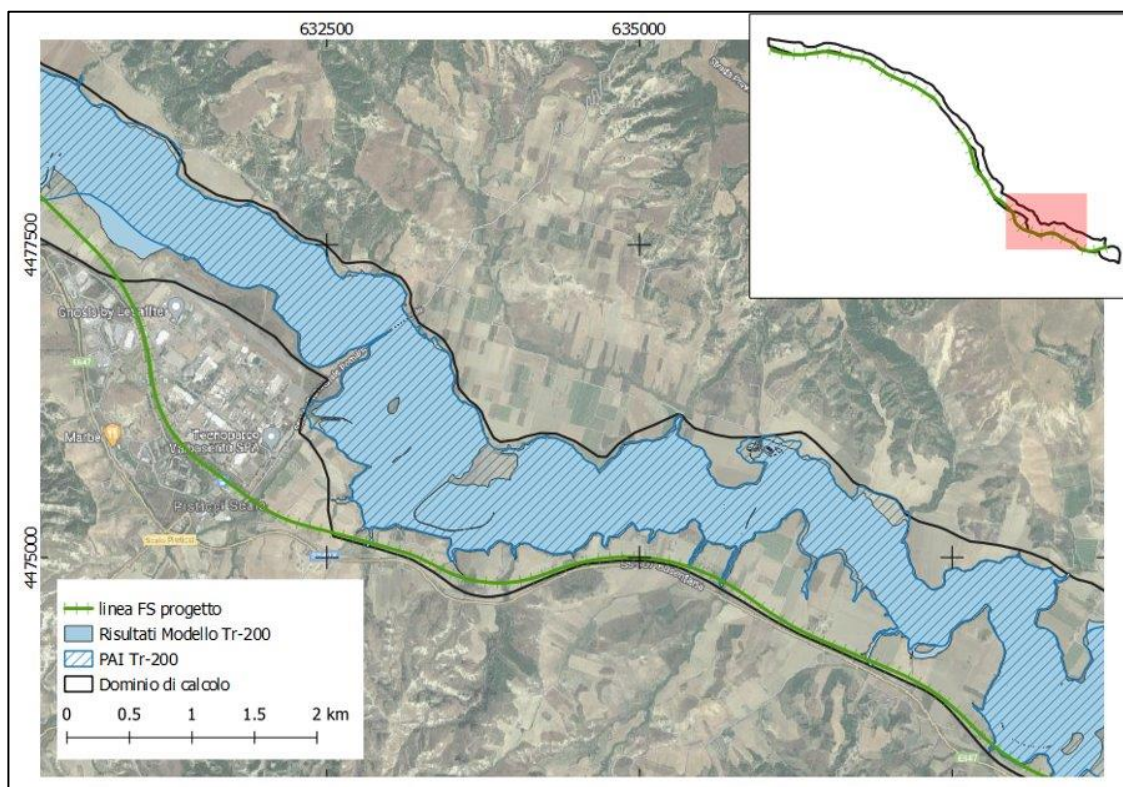


Figura 38: Confronto tra gli allagamenti ottenuti con il modello e quelli definiti dal PAI (4).

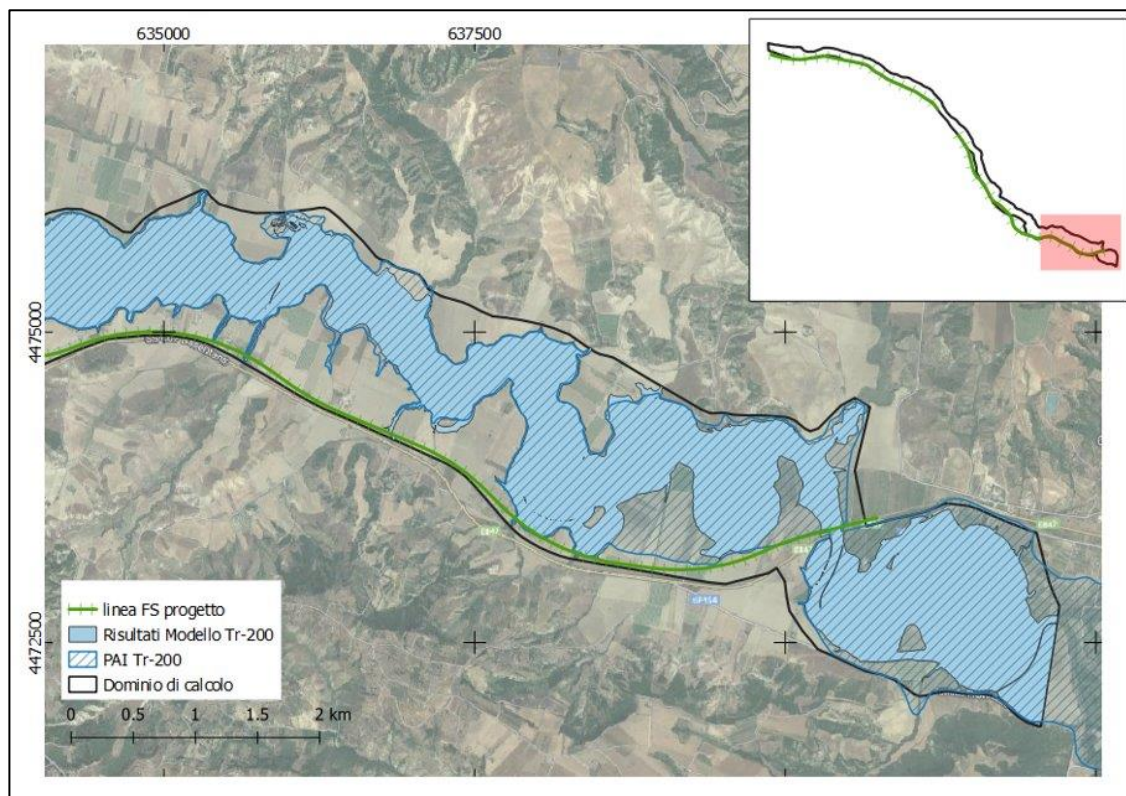


Figura 39: Confronto tra gli allagamenti ottenuti con il modello e quelli definiti dal PAI (5).

Il modello generalmente definisce aree di allagamento più estese, tranne che nella parte terminale, a monte dell'attraversamento ferroviario (Figura 39). In quest'ultimo caso appare però un'incongruenza degli allagamenti definiti dal PAI essendo le aree allagate solamente nel PAI, a quote notevolmente superiori a quelle golenali.

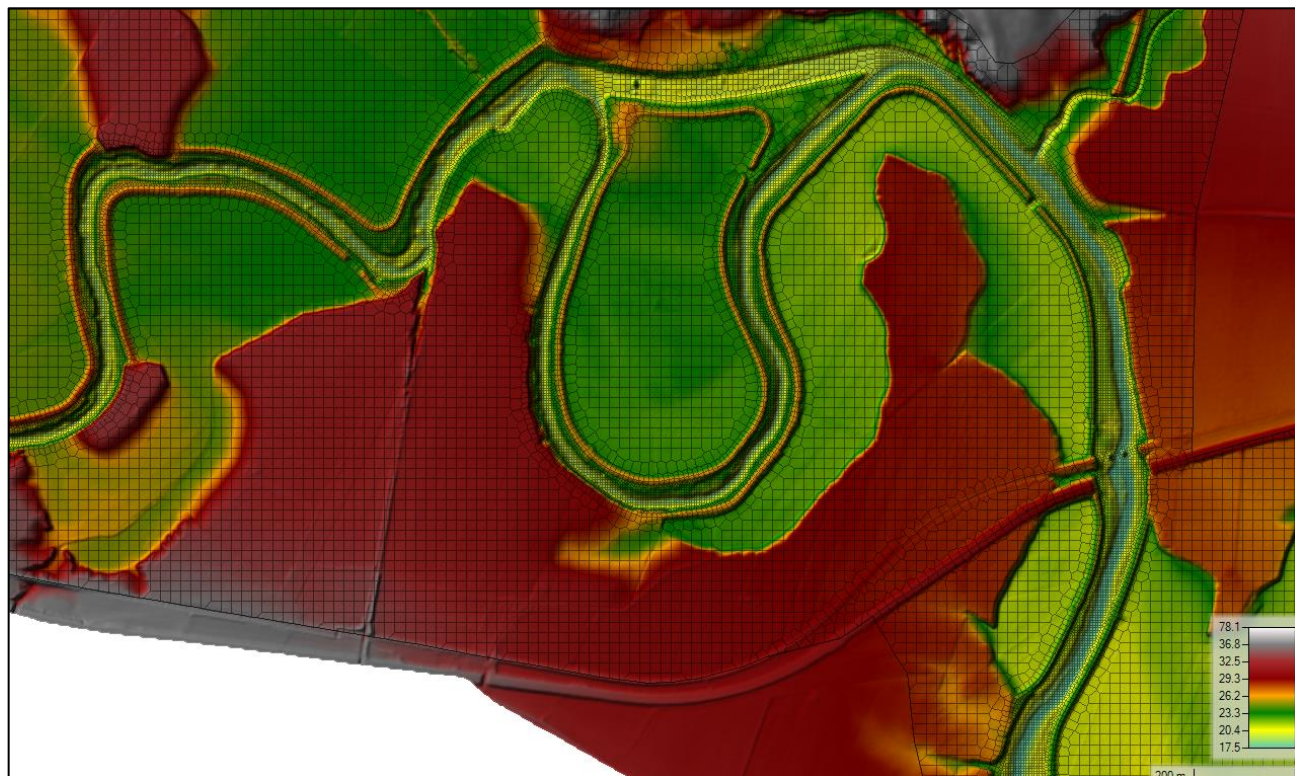



Figura 40: DTM nella zona a monte dell'attraversamento ferroviario, con individuazione dei terrazzi che limitano gli allagamenti.

I risultati descritti nelle figure precedenti sono stati ottenuti con il seguente set di scabrezze (cfr. Figura 13) riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning n [$s \cdot m^{-1/3}$].

Tabella 1: Scabrezze adottate nel modello

Copertura	n
Alveo	0.04
Boscaglia	0.08
Bosco	0.10
Coltivato	0.05
Incolto	0.06

	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 42 di 58

4.3.1.1 Scenario post operam di progetto

A partire dallo scenario ante operam, implementato come descritto nei paragrafi precedenti, e dalla relativa calibrazione, è stato sviluppato lo scenario di progetto post operam, inserendo il nuovo rilevato ferroviario e le pile nei tratti in viadotto all'interno del DTM dello Stato di Fatto e modificando localmente la mesh per adattarla al nuovo scenario.

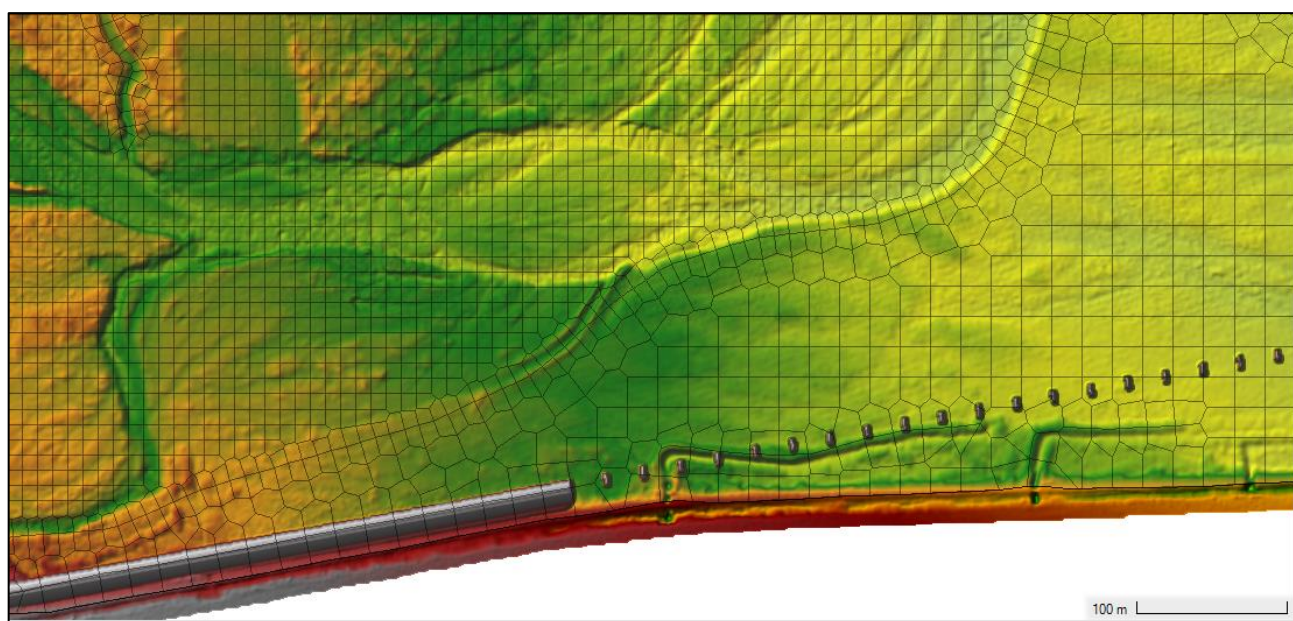


Figura 41: Inserimento del nuovo rilevato ferroviario e delle pile - opera VI06.

Relazione Idraulica e di compatibilità
idraulica - Studio bidimensionale del Fiume
Basento

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IA95

03

R 09 RI

ID 0002 001

B

43 di 58

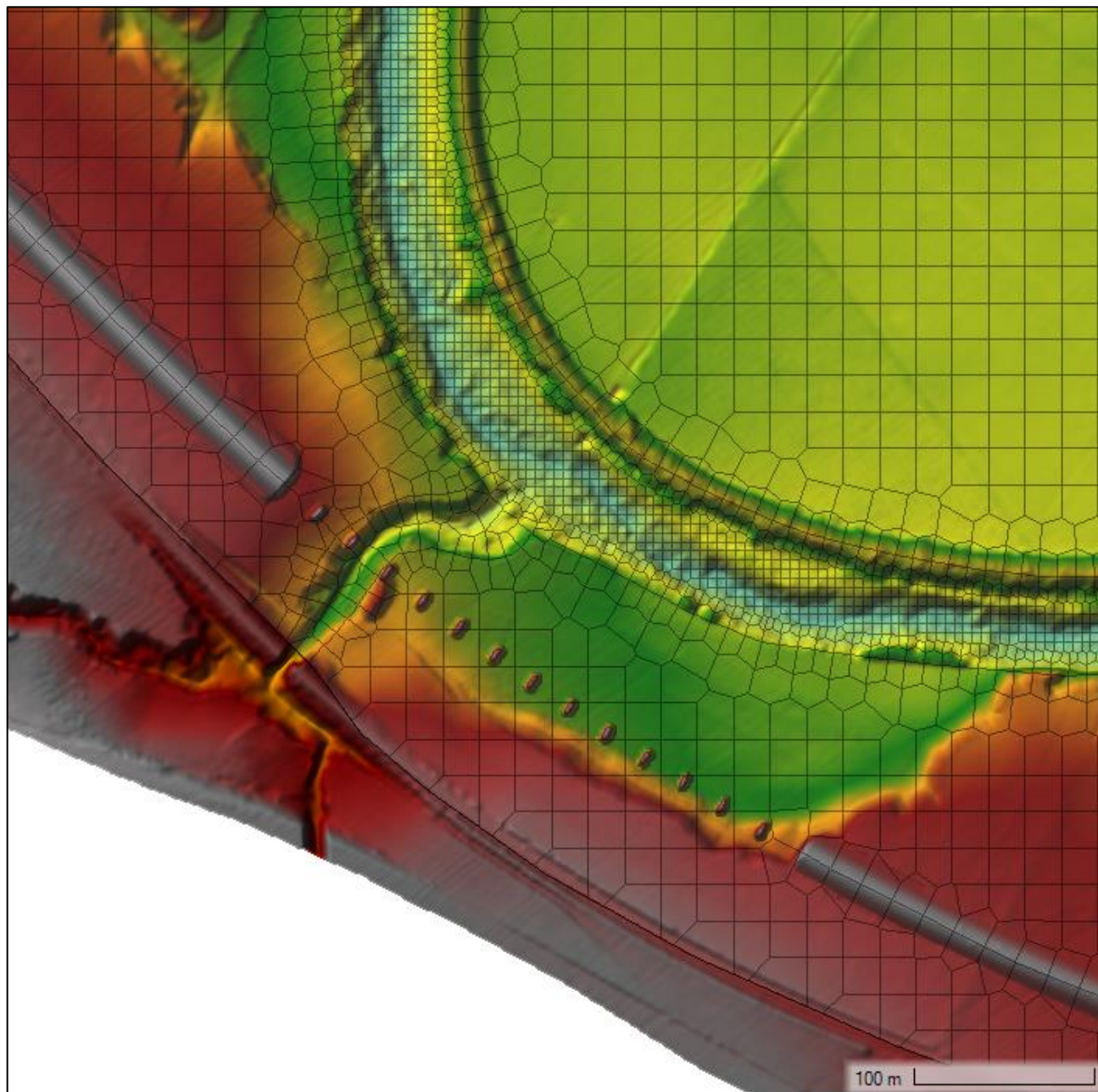



Figura 42: Inserimento del nuovo rilevato ferroviario e delle pile - opera VI25.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

4.4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

L'inserimento della nuova opera modifica in modo trascurabile l'evoluzione delle piene nel fiume Basento come si può rilevare negli elaborati che sintetizzano i risultati ottenuti con il modello per i diversi scenari in termini di tiranti idrici. L'elenco degli elaborati è riportato nella tabella seguente. Nelle figure seguenti sono inoltre riportati i campi di velocità nei tratti di interferenza con i viadotti.

Tabella 2: Elenco elaborati in cui sono riassunti i risultati del modello

Elaborato	Codice
Planimetria livelli idrici Fiume Basento - Tr 30 ante operam	da IA9503R09P5ID0002001B a IA9503R09P5ID0002003B
Planimetria livelli idrici Fiume Basento - Tr 30 post operam	da IA9503R09P5ID0002004B a IA9503R09P5ID0002006B
Planimetria livelli idrici Fiume Basento - Tr 200 ante operam	da IA9503R09P5ID0002007B a IA9503R09P5ID0002009B
Planimetria livelli idrici Fiume Basento - Tr 200 post operam	da IA9503R09P5ID0002010B a IA9503R09P5ID0002012B
Planimetria livelli idrici Fiume Basento - Tr 500 ante operam	da IA9503R09P5ID0002013B a IA9503R09P5ID0002015B
Planimetria livelli idrici Fiume Basento - Tr 500 post operam	da IA9503R09P5ID0002016B a IA9503R09P5ID0002018B
Profilo idraulico Fiume Basento post operam	da IA9503R09F6ID0002001B a IA9503R09F6ID0002003B
Sezioni idrauliche Fiume Basento post operam	da IA9503R09W9ID0002001B a IA9503R09W9ID0002002B

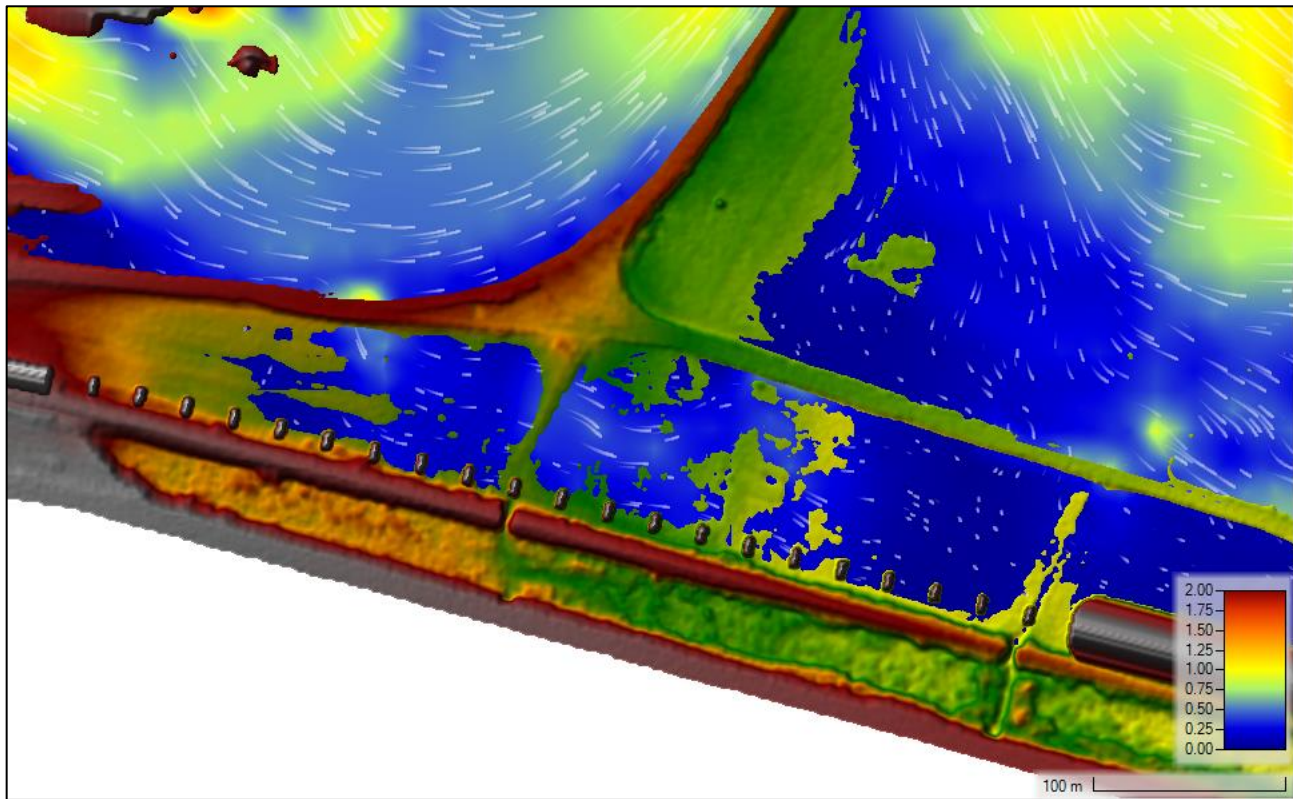


Figura 43: Campo di velocità al colmo in corrispondenza opera VI09.

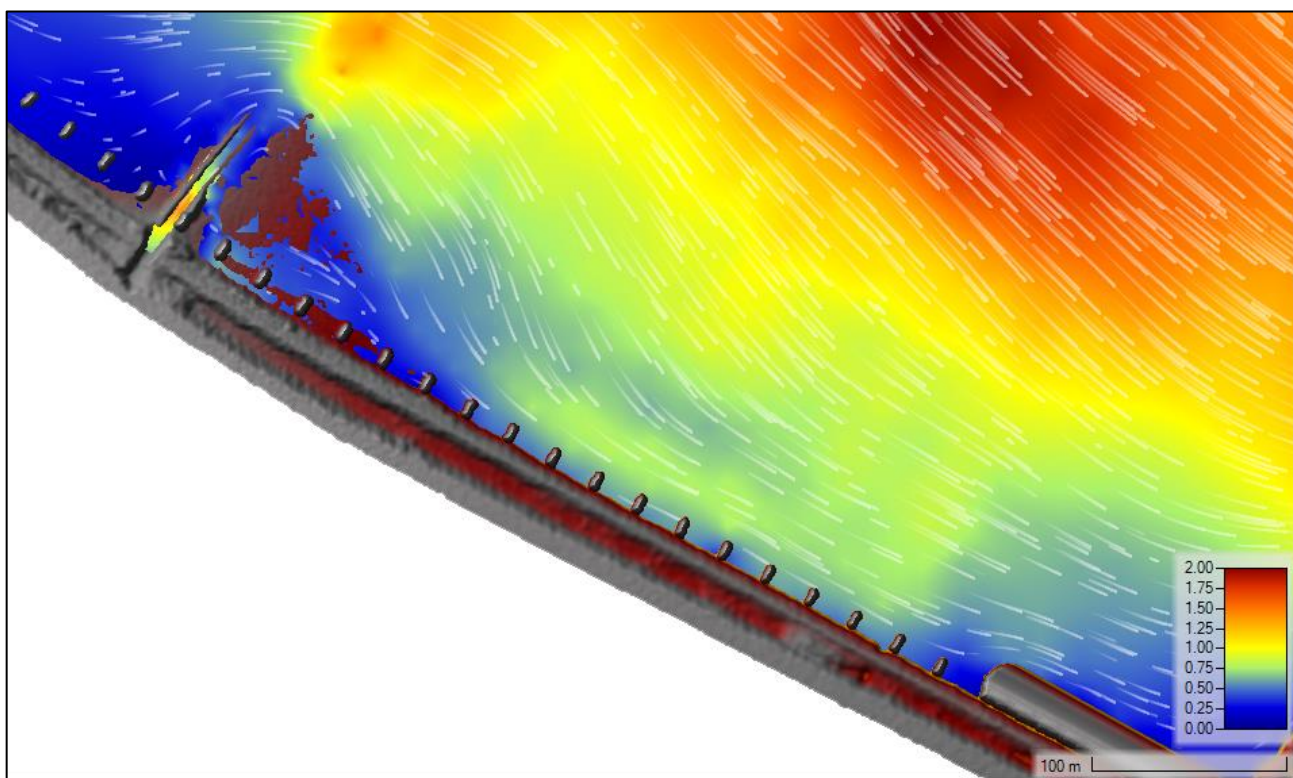



Figura 44: Campo di velocità al colmo in corrispondenza opera VI10.


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

4.4.1 Verifica dei franchi

Per i viadotti che sono interessati dagli allagamenti è stato calcolato il franco rispetto alla piena duecentennale, considerando alcuni tratti dei viadotti. I risultati sono riportati nella tabella seguente. Come si può notare i franchi sono molto maggiori di quelli richiesti dalla normativa.

Tabella 3: Calcolo dei franchi idraulici nei viadotti interessati dagli allagamenti per evento Tr-200 anni.

Opera	tratto	Intradosso [m s.l.m.m.]	Livello Tr-200 [m s.l.m.m.]	Franco [m]
VI09	P17-P18	137.47	129.04	8.43
VI10	P20-P21	130.93	122.86	8.07
VI10	P55-SpB	125.89	119.89	6.00

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

5 OPERE DI PROTEZIONE IDRAULICA

Lo sviluppo della linea ferroviaria in progetto nella valle del Basento determina la necessità di prevedere interventi di protezione delle opere soggette all'azione erosiva delle piene del fiume.

Le tipologie di difesa individuate all'interno di questo studio sono ad andamento longitudinale (radente) del tipo materassi tipo reno e a scogliera, atte a proteggere rispettivamente il rilevato ferroviario e le pile dei viadotti esposti alla piena di progetto del Fiume Basento.

Le dimensioni del materiale inerte, come verrà descritto nei paragrafi successivi, devono assicurare la stabilità della scogliera affinché i massi non vengano asportati dalla corrente di piena. Quando, tuttavia, si tema la loro rimozione ed asportazione, specie per lo scavo che può prodursi al piede delle sponde, i massi possono essere collegati fra loro con cavi d'acciaio (trefoli) o attraverso reti metalliche.

Il rivestimento deve essere posto in opera con alcuni necessari accorgimenti, creando, per esempio, un filtro rovescio o impiegando i geotessuti per evitare lo sprofondamento dei massi specie se questi arrivano ad assumere un peso rilevante.

Ai fini della determinazione delle tensioni agenti è bene dare la definizione del "trasporto solido" come l'insieme dei fenomeni che riguardano l'erosione ed il modellamento dell'alveo di un corso d'acqua per opera della corrente che lo percorre.

Il trasporto solido è funzione di numerosi parametri quali: l'assetto geometrico della compagine esposta alla corrente, dalle interazioni (attrito, coesione) tra gli elementi che la compongono, dalle tensioni tangenziali che si esercitano lungo il perimetro bagnato dovuto alla distribuzione delle velocità.


Il valore medio della tensione tangenziale sul contorno bagnato della sezione di riferimento può ottenersi esprimendo la condizione di equilibrio alla traslazione, scritta nel senso del moto, tra la componente del peso di un tratto del corso d'acqua in condizioni di moto uniforme e l'azione resistente che si sviluppa lungo il contorno della sezione.

Per prima cosa occorre determinare il tirante idraulico, nella sezione del corso d'acqua dove si intende intervenire, associato ad una portata Q di assegnato tempo di ritorno Tr . Si calcola lo sforzo di trascinamento medio al contorno attraverso la nota formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R_H \cdot i$$

dove:

- τ_0 : tensione tangenziale media;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

- R_H : raggio idraulico definito come rapporto tra l'area della sezione liquida A ed il perimetro bagnato P della sezione di riferimento, assumibile pari al valore del solo tirante negli alvei molto larghi;
- γ : peso specifico dell'acqua;
- i : rappresenta la pendenza media del fondo alveo del corso d'acqua nel tratto considerato.

Lo sforzo τ_0 viene corretto sulla base di coefficienti moltiplicativi in grado di quantificare alcuni aspetti che inducono lo sforzo di trascinamento agente sulla sezione interessata che portano ad allontanarsi dal valore medio calcolato.

L'azione di trascinamento non è uniformemente distribuita lungo il perimetro bagnato della sezione, bensì risulterà maggiore nei punti di più elevata scabrezza e minore nei punti "idraulicamente più lisci".

A. Shields investigò sperimentalmente un letto formato da particelle uniformi non coesive fornendo una relazione di dipendenza di τ_0 dal numero di Reynolds:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = f(Re)$$


dove:

- τ_{cr} : tensione tangenziale critica che induce le particelle al movimento;
- γ_s : peso specifico del materiale movimentato dalla corrente;
- γ : peso specifico dell'acqua;
- d : diametro del materiale solido in esame.


Si osservi che in regime di moto turbolento, $Re > 1000$, per valori di $d < h$ è possibile scrivere:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = 0.06$$

Tale equazione dà modo di valutare il τ_{cr} per le particelle aventi diametro d appartenenti ad un miscuglio di diametro medio d_{50} , dove con quest'ultimo valore si esprime la dimensione della maglia del setaccio che lascia passare il 50% in peso del materiale che compone il miscuglio stesso.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 49 di 58

La relazione indicata ha valenza nel caso di fondo piano o quasi, con le forze resistenti proporzionali al peso immerso e forze destabilizzanti dovute allo sforzo tangenziale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Ai fini della valutazione dell'efficacia anti-erosiva di una protezione del fondo e/o delle sponde di un alveo è necessario verificare la resistenza al trascinamento dei massi, garantita dal peso del materiale costituente la protezione. Per una scogliera non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

La tensione tangenziale agente massima al fondo è funzione del raggio idraulico R , del peso specifico dell'acqua γ_w e della pendenza del fondo i_f :

$$\tau_m = \gamma_w \cdot R \cdot i_f$$

Nel caso di alvei larghi e poco profondi si compie un errore trascurabile sostituendo R (raggio idraulico) con h (tirante idraulico rispetto al fondo); questa semplificazione può essere effettuata per esempio nelle aree golenali, dove l'ampiezza della sezione di deflusso è sufficientemente elevata rispetto al tirante.

Per quanto riguarda la resistenza al trascinamento si definisce tensione massima di trascinamento τ_{cr} il massimo sforzo tangenziale oltre il quale il materiale di fondo comincia a muoversi. Per i materiali non coesivi la formula generalmente utilizzata è la formula di Shields:

$$\tau_{cr} = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot d_{75}$$

dove:

τ_{cr} = tensione massima di trascinamento (kg/m²);

C^* = coefficiente di Shields, adimensionale;


γ_m = peso specifico del materiale d'alveo;

γ_w = peso specifico dell'acqua (1000 kg/m²);

d_{75} = diametro del vaglio che consente il passaggio del 75 % del materiale d'alveo (m).

Nel caso di pietrame sciolto il coefficiente di Shields vale 0.047 e il peso specifico γ_m può essere assunto pari a 2200 kg/m³.

Per il materiale non coesivo situato su un fondo non orizzontale, occorre tenere conto della riduzione della tensione massima di trascinamento $\tau_{cr,s}$ (dovuta all'effetto della pendenza della sponda) mediante un coefficiente correttivo:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

$$\tau_{cr,s} = \tau_{cr} \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \varphi}{\text{sen}^2 \theta}}$$

in cui φ = angolo di attrito interno del materiale (non coesivo) che costituisce la sponda; θ = angolo di inclinazione della sponda sull'orizzontale.

L'equazione scritta in precedenza si presta ad alcune semplici osservazioni che risultano tuttavia essere di interesse pratico. La prima riguarda l'angolo θ che deve risultare minore di quello di attrito interno φ del materiale poiché il termine sotto radice ha significato solo se positivo; condizione questa necessaria ma non sufficiente per la stabilità del materiale.

La seconda osservazione riguarda la tensione critica sulla sponda $\tau_{cr,s}$, superata la quale prende origine il moto delle particelle, che è minore di quella τ_{cr} sul fondo. Quando cioè sul fondo si verifichi la condizione limite $\tau \cong \tau_{cr}$ il materiale della sponda è esposto alla rimozione per essere $\tau_{cr,s} \leq \tau_{cr}$; pertanto la sponda va protetta e rivestita con materiale di maggiore pezzatura rispetto a quello posto come protezione al fondo.


Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di riferimento per la resistenza alla tensione tangenziale utilizzati per il dimensionamento delle opere.

Tabella 4: Valori di riferimento per la resistenza a tensione tangenziali massi sciolti/legati.

Massi sciolti				
ys	[kg/mc]	2200	2200	2200
Yw	[kg/mc]	1050	1050	1050
d50	[m]	0.3	0.5	0.8
τcr	[kg/mq]	16.21	27.02	43.24

Tabella 5: Valori di riferimento per la resistenza a tensione tangenziale per Materassi Reno.

Materassi reno				
		Spessore	Spessore	Spessore
		0.15 m	0.25 m	0.30 m
ys	[kg/mc]	1813.75	1813.75	1813.75
Yw	[kg/mc]	1050	1050	1050

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B


d50 [m]	0.085	0.1	0.125
τ_{cr} [kg/mq]	6.49	7.63	9.16

Per i rilevati nelle aree di esondazione dove si registrano tensioni maggiori e a protezione delle pile dei viadotti esterne all'incisione si sono adottati rispettivamente materassi tipo reno con pezzatura da D50 = 0.15 m. ($\tau_{cr} = 40.69 \text{ kg/m}^2$) e massi D50= (0.3÷0.5) m ($\tau_{cr} = 165\div 276 \text{ kg/m}^2$ applicazione A. *Shields* (1936)).

Di seguito si riportano, per ogni interferenza, le scelte progettuali effettuate per le sistemazioni di sponda:

Tabella 6: Parametri di progetto sistemazioni idrauliche.

	Progressiva	Opera	Tirante (max) [m/s]	Velocità (max) [m/s]	Tensione agente (max) [N/m²]	Tensione resistente [N/m²]
Fiume Basento	<i>VI09</i>	massi sciolti dn ₅₀ = 0.3	0.4	0.2	20.60	159.07
	<i>11+500 a 12+857 VI10</i>	massi sciolti dn ₅₀ = 0.3	0.9	0.4	46.35	159.07
	<i>da 13+308 a 14+438 (lato NORD)</i>	materasso reno sp = 0.25m	1.6	0.4	82.40	112.81
	<i>da 14+532 a 14+940 (lato NORD)</i>	materasso reno sp = 0.25m	2.0	0.3	103.00	112.27
	<i>da 16+808 a 17+370 (lato NORD)</i>	materasso reno sp = 0.25m	0.9	0.1	46.35	93.56
	<i>da 19+ 099 a 19+590</i>	materasso	1.8	0.6	92.70	112.27

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

	Progressiva	Opera	Tirante (max) [m/s]	Velocità (max) [m/s]	Tensione agente (max) [N/m2]	Tenione resistente [N/m2]
	<i>(lato NORD)</i>	reno sp = 0.25m				

5.1 OPERE DI PROTEZIONE ALLO SCALZAMENTO

Per la valutazione dello scalzamento prodotto dalla corrente in prossimità delle pile dei ponti, al fine di definire la quota d'imposta delle fondazioni, non esiste una teoria univoca che consenta di interpretare il fenomeno nella sua complessità. Nel presente studio è stata utilizzata l'equazione S/M di Sheppard-Melville di seguito trattata.

Si riporta in seguito un abaco in cui vengono messi a confronto, per un fissato valore del numero di Froude, diversi metodi per il calcolo dello scavo localizzato cui sono interessate le pile in alveo. In ascissa è indicato il rapporto tra tirante e larghezza della pila mentre sull'asse delle ordinate è rappresentato il rapporto tra la profondità di scavo e la larghezza della pila.

Per questo studio la teoria di Bruesers è stata scartata dal momento che, come si evince dal grafico sotto riportato, fornisce valori di scavo poco variabili rispetto a diverse condizioni in input. Inoltre, studi sperimentali confermano la maggiore attendibilità dei risultati che si ottengono applicando la teoria di Melville rispetto alle altre.

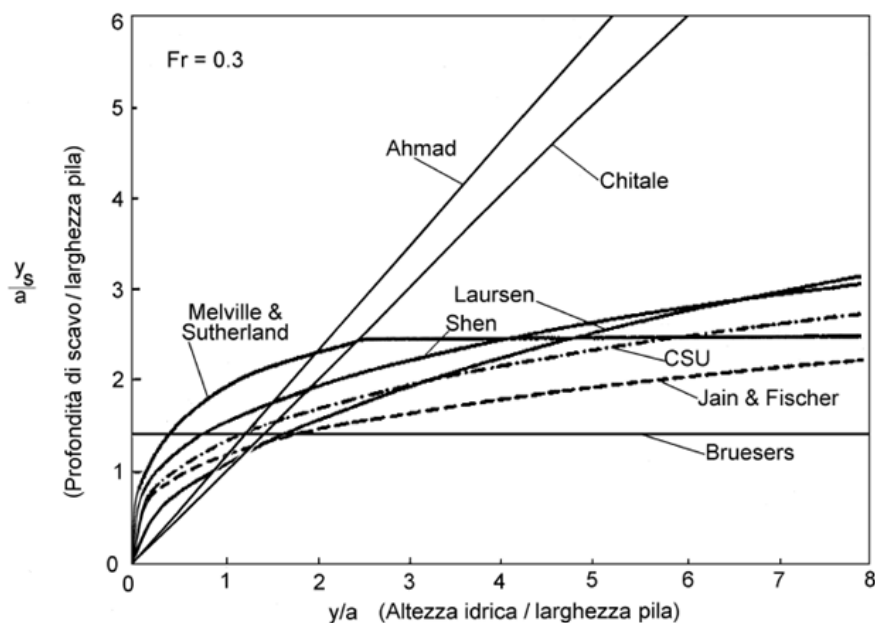


Figura 45: Abaco di confronto.

Metodologia di applicazione della formula scelta

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

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

Nel CASO I l'erosione localizzata viene calcolata facendo riferimento alla larghezza della pila b in quanto la presenza della fondazione risulta essere influente nel processo erosivo.

Nei CASI II e III invece occorre fare riferimento alla procedura di calcolo proposta da *Melville e Raudkivi (1996)* che utilizza una larghezza della pila equivalente ben definita come:

$$b_e = b \cdot \frac{h_0 + Y}{h_0 + b^*} + b^* \cdot \frac{b^* - Y}{h_0 + b^*}$$

in cui h_0 è la profondità media della corrente rispetto al fondo alveo; Y , l'altezza massima della buca erosiva; b^* , la larghezza della fondazione.

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

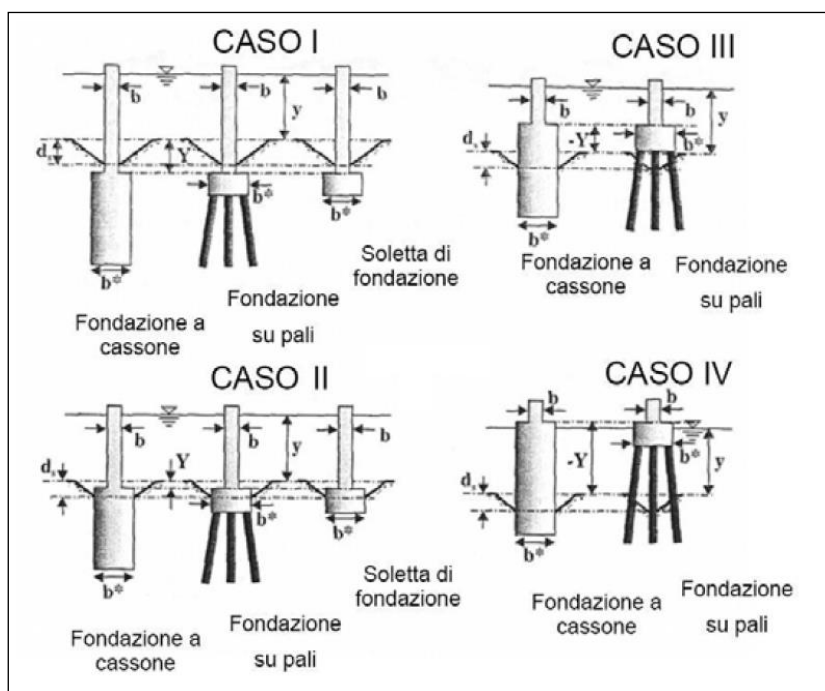


Figura 46: - Differenti tipologie di pile e delle corrispondenti fondazioni

Equazione S/M di Sheppard-Melville

L'equazione di Sheppard-Melville è il risultato di diversi studi effettuati da vari ricercatori.

Nel seguente gruppo di equazioni sono riportate le relazioni per il calcolo dello scavo y_s :

$$\frac{y_s}{a^*} = 2.5f_1f_2f_3 \quad \text{per } 0.4 < \frac{V_1}{V_c} < 1.0$$

$$\frac{y_s}{a^*} = f_1 \left[2.2 \left(\frac{\frac{V_1}{V_c} - 1}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) + 2.5f_3 \left(\frac{\frac{V_{1p}}{V_c} - \frac{V_1}{V_c}}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) \right] \quad \text{per } 1 < \frac{V_1}{V_c} < \frac{V_{1p}}{V_c}$$

$$\frac{y_s}{a^*} = 2.2f_1 \quad \text{per } \frac{V_1}{V_c} > \frac{V_{1p}}{V_c}$$

Le grandezze coinvolte direttamente e indirettamente sono:

$$f_1 = \tanh \left[\left(\frac{y_1}{a^*} \right)^{0.4} \right]$$

$$f_2 = \left\{ 1 - 1.2 \left[\ln \left(\frac{V_1}{V_c} \right) \right]^2 \right\}$$

$$f_3 = \left[\frac{\left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)}{0.4 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{1.2} + 10.6 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{-0.13}} \right]$$

$$V_{1p} = \max (V_{1p1}; V_{1p2})$$

$$V_{1p1} = 5V_c$$

$$V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$$

$$a^* = K_s a_p$$

$$a_p = a \cdot \cos\theta + L \cdot \sin\theta$$

$$K_s = \begin{cases} 1 & \text{(pila circolare)} \\ 0.86 + 0.97 \left(\left| \frac{\pi\theta}{180} - \frac{\pi}{4} \right| \right)^4 & \text{(pila rettangolare)} \end{cases}$$

in cui:

a è la larghezza della pila


L è la lunghezza della pila

θ è l'angolo di attacco della corrente espresso in gradi.

$$V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{73.5y_1}{d_{50} \left[Re(2.85 - 0.58 \ln(Re) + 0.002Re) + \frac{111}{Re} - 6 \right]} \right) & \text{per } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{2.21y_1}{d_{50}} \right) & \text{per } Re > 70 \end{cases}$$

$$Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}$$

$$u^* = \left[16.2 \cdot d_{50} \left(\frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{50}} - d_{50}(38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005 \right) \right]^{0.5}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
	Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Si precisa, inoltre, che y_1 è il tirante della corrente in arrivo, V_1 è la velocità della corrente, V_c è la velocità critica e d_{50} è il diametro medio dei sedimenti.

Questa formulazione è stata ottenuta sia da risultati in laboratorio che da risultati sul campo e, confrontata con altri metodi, è quella raccomandata per situazioni di progetto in quanto fornisce risultati più precisi.

Gli scalzamenti sono stati calcolati in corrispondenza delle pile interessate dalle acque di esondazione per la portata di progetto. In via cautelativa si è calcolato preliminarmente il valore dello scalzamento per le pile più sollecitate, ovvero nelle seguenti condizioni:


- Angolo di attacco più sfavorevole in base al campo di moto risultante dal modello di calcolo bidimensionale
- Valore maggiore della velocità della corrente idrica

I risultati sono riportati nella seguente tabella, in cui la larghezza e la lunghezza della pila sono misurate nel verso con cui la corrente idrica investe la pila stessa

Tabella 7: Valori degli scalzamenti per le pile più sollecitate

WBS	Pila/spalla	Tirante sulla pila* [m]	Velocità della corrente* [m/s]	Angolo di attacco* [°]	Larghezza pila [m]	Lunghezza pila [m]	Larghezza plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	Scalzamento [m]
VI09	P18	0.4	0.2	0	3.3	8	11.5	11.5	-
VI10	P26	0.9	0.4	0	3.3	8	11.5	11.5	2.06

*Valori riferiti a Tr200

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	LINEA POTENZA-METAPONTO INTERVENTI DI VELOCIZZAZIONE TRATTA GRASSANO- BERNALDA					
Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica - Studio bidimensionale del Fiume Basento	COMMESSA IA95	LOTTO 03	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 58 di 58

6 COMPATIBILITA' IDRAULICA

Le modellazioni eseguite mostrano come gli interventi previsti siano perfettamente compatibili con la situazione idraulica del territorio. Dal confronto tra le aree di esondazione ante operam e post operam, per il Fiume Basento non si riscontrano differenze significative nelle aree di esondazione, dove il rilevato ferroviario interessa le aree di allagamento solo marginalmente e comunque in maniera tale da non alterare lo stato di pericolosità già riscontrato nella situazione ante operam.

Si conclude pertanto che gli interventi previsti siano idraulicamente compatibili con il Piano di Stralcio vigente e non aumentano, anche con riferimento all'eventuale sottrazione di volume per l'espansione delle piene, il livello di rischio idraulico del territorio limitrofo.