

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:

HIRPINIA - ORSARA AV

SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

**ITINERARIO NAPOLI - BARI
RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA
II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA
IDROLOGIA E IDRAULICA**

Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA - ORSARA AV Il Direttore Tecnico Ing. P. M. Gianvecchio 16/01/2023	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Ing. M. Faccioli

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA:
IF3A	02	E	ZZ	RI	ID0002	001	D	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	C 08.00 – Emissione 180 gg	S. Longhi	08/02/2022	D. Polverelli	08/02/2022	C. Ferrigno	08/02/2022	Ing. R. Zanon 16/01/2023
B	C 08.01 - A valle del contraddittorio	M. Angione	08/06/2022	D. Polverelli	08/06/2022	C. Ferrigno	08/06/2022	
C	C 08.03 – A valle del contraddittorio	M. Angione	30/09/2022	D. Polverelli	30/09/2022	C. Ferrigno	30/09/2022	
D	C 08.04 - A valle del contraddittorio	M. Angione	16/01/2023	D. Polverelli	16/01/2023	C. Ferrigno	16/01/2023	

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D FOGLIO 2 di 70

Indice

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO	6
2.1	PERICOLOSITA' IDRAULICA NELL'AREA DI STUDIO	6
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO	9
3	DATI DI BASE	11
3.1	RILIEVI TOPOGRAFICI E MODELLI DIGITALI DEL TERRENO	11
4	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO	14
4.1	MODELLO DI CALCOLO	14
4.1.1	SVILUPPO DEL 2D COMPUTATIONAL MESH	17
4.2	SCENARI SIMULATI.....	18
4.2.1	SCENARIO ANTE OPERAM	20
4.2.2	SCENARIO POST OPERAM	20
4.2.3	SCENARIO CANTIERIZZAZIONI E OPERE PROVVISORIALI	20
4.3	GEOMETRIA DEL MODELLO E CONDIZIONI AL CONTORNO	22
4.4	DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE	28
4.5	DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO	30
5	MODELLAZIONE IDRAULICA 2D E STUDIO DELLE AREE ALLAGABILI	33
5.1	VIADOTTO VI01	33
5.1.1	SCENARIO ANTE OPERAM	33
5.1.2	SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM	34
5.1.3	VERIFICA DEL FRANCO DI PROGETTO.....	43
5.1.4	OPERE PROVVISORIALI E CANTIERIZZAZIONE	44
6	SISTEMAZIONI IDRAULICHE	49
6.1	VERIFICA ALLO SCALZAMENTO.....	49
6.1.1	METODI DI CALCOLO DELLO SCALZAMENTO	51
6.1.1.1	METODO SHEPPARD - MELVILLE	51
6.1.1.2	METODO BREUSERS.....	55
6.1.1.3	METODO COLORADO STATE UNIVERSITY (CSU).....	58
6.2	CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLE VERIFICHE ALLO SCALZAMENTO DELLE PILE IN ALVEO ..	61
6.3	VERIFICA DELL'EROSIONE DELL'ALVEO.....	62
6.3.1	DEFINIZIONE DELLE OPERE DI PROTEZIONE.....	64
7	VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA VIADOTTO	66

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>D</td> <td>3 di 70</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 001	D	3 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 001	D	3 di 70													
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali																		

8	SISTEMI DI ALLERTA METEO PER LA GESTIONE DEI CANTIERI IN ALVEO	67
8.1	SISTEMA DI ALLERTA REGIONE CAMPANIA	67

APPALTATORE: Consortio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI			
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING	PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA		
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 4 di 70

1 PREMESSA

Nell'ambito dell'Itinerario Napoli-Bari si inserisce il Raddoppio della Tratta Hirpinia-Orsara che rappresenta il secondo lotto della tratta in variante Apice-Orsara, il cui primo lotto (Apice-Hirpinia) si trova attualmente in fase di esecuzione da parte del Consorzio Hirpinia AV.

La riqualificazione e lo sviluppo dell'itinerario Roma/Napoli – Bari prevede interventi di raddoppio delle tratte ferroviarie a singolo binario e varianti agli attuali scenari perseguendo la scelta delle migliori soluzioni che garantiscano la velocizzazione dei collegamenti e l'aumento dell'offerta generalizzata del servizio ferroviario, elevando l'accessibilità al servizio medesimo nelle aree attraversate.

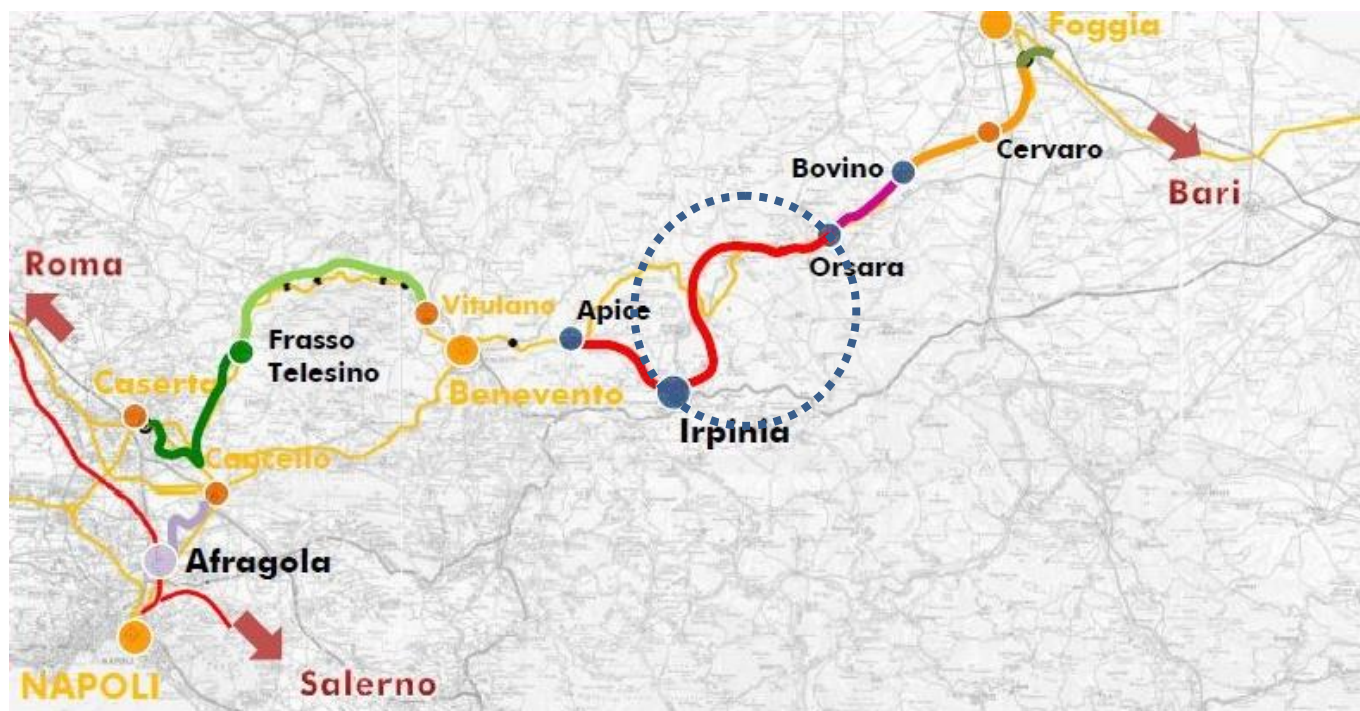


Figura 1-1. Corografia dell'intera tratta Napoli Bari, con dettaglio della tratta Hirpinia-Orsara

La variante oggetto del presente documento interessa il tratto centrale della direttrice Napoli – Bari e risulta strategica nel riassetto complessivo dei collegamenti metropolitani, regionali e lunga percorrenza previsto con la realizzazione di tutto il potenziamento. Si colloca in territorio campano e pugliese ed i comuni attraversati sono rispettivamente per la provincia di Avellino: Ariano Irpino, Flumeri, Savignano Irpino e Montaguto; per la provincia di Foggia: Panni e Orsara di Puglia.

Il tracciato della Bovino – Orsara - Hirpinia è stato progressivato rispetto all'orientamento della Linea Storica partendo da Bovino con la pk 29+050 (fine tratta Cervaro-Bovino) fino ad Orsara con pk 40+889 (imbocco galleria Orsara) dove inizia la tratta oggetto del presente progetto esecutivo che si estende fino ad Hirpinia con pk 68+955.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 5 di 70

La linea AV/AC si sviluppa prevalentemente in galleria con una velocità compresa tra 200 e 250 Km/h ed ha una lunghezza complessiva L=28,06 km.

Il nuovo tracciato ferroviario ha inizio alla pk 40+889.793 (BP) in corrispondenza dell'inizio del collegamento di 1^ fase della tratta Bovino – Orsara, per il quale in questo progetto è prevista la dismissione.

Il tracciato prosegue come prolungamento della nuova linea a doppio binario inizialmente con l'interasse a 4m per poi divergere fino all'imbocco dalla galleria naturale Hirpinia (lato Bari) per la quale è previsto l'imbocco a canne separate.

Il corpo ferroviario compreso tra l'inizio del progetto e la pk 41+046.85 è già realizzato nell'ambito degli interventi della tratta Bovino – Orsara, come lo sono anche i piazzali tecnologici Nord e Sud, la SSE e il sottopasso di collegamento tra la viabilità di accesso alla stazione e i piazzali suddetti.

Dal km 41+046.85 dopo un breve tratto in rilevato inizia lo scatolare che si collega direttamente al viadotto VI01 sul torrente Cervaro di L=313.65m. In questo contesto si colloca anche la nuova Stazione di Orsara (pk 40+074.95).

La galleria "Hirpinia" inizia alla pk 41+435.91 a pochi metri dalla spalla del viadotto VI01 (pk 41+428.29) e finisce alla pk 68+537.41. La galleria lato Bari imbocca direttamente con le canne separate e prosegue a doppia canna fino ad Hirpinia dove attraverso un camerone di collegamento in prossimità dell'uscita lato Napoli diventa a singola canna doppio binario per consentire ai binari di avvicinarsi all'interasse di 4m e collegarsi con i binari di corsa della stazione di Hirpinia, già realizzata nella tratta Apice - Hirpinia. Lo sviluppo complessivo della galleria è di 27 Km circa. L'interasse delle due canne è prevalentemente di 40 m ad eccezione di un tratto compreso tra le pk 48+000 e pk 57+800 circa all'interno del quale l'interasse è stato allargato a 50 m; per l'intera galleria le canne sono collegate tra di loro da by-pass trasversali a passo 500 m per consentire l'esodo dei passeggeri.

Tra le pk 57+195 e 57+605 è stato inserito un luogo sicuro intermedio dotato di marciapiedi FFP di lunghezza L=410 m. L'esodo all'aperto dei passeggeri avviene attraverso la finestra F1 direttamente collegata con la viabilità locale attraverso un piazzale di sicurezza. L'uscita della finestra F1 si trova in località Contrada Stratola, in corrispondenza dell'uscita della galleria sono stati ubicati anche i piazzali tecnologici e la nuova SSE di Ariano Irpino.

La linea AV/AC è progettata nel tratto allo scoperto (stazione di Orsara) con una velocità di tracciato di 200 Km/h, con una velocità di 250 Km/h per tutto il restante tracciato in galleria per poi riscendere a 200 Km/h in corrispondenza del camerone di Hirpinia proprio per l'approssimarsi alla stazione di Hirpinia. Lungo la galleria sono previste alcune finestre costruttive necessarie per la realizzazione con il metodo tradizionale dei tratti di galleria.

Uscito dalla galleria il tracciato termina alla pk 68+953.375 (BP), coincidente con la pk 0+700 della tratta Apice – Hirpinia, in prossimità dei tronchini per l'attestamento dei treni da e per Napoli previsti nella stazione di Hirpinia di 1^ fase.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 6 di 70

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

2.1 PERICOLOSITA' IDRAULICA NELL'AREA DI STUDIO

La tratta ferroviaria Hirpinia – Orsara (da pk 40+889 a pk 68+953) si sviluppa (in galleria) quasi interamente nella Regione Campania, eccetto un breve tratto iniziale, comprendente l'opera di attraversamento sul T. Cervaro, che ricade nella Regione Puglia. In particolare, il viadotto in progetto sul Torrente Cervaro è situato alle progressive 41+114.64 ÷ 41+428.29 km, in prossimità del confine regionale (Figura 2-1).

Il Torrente Cervaro nasce dal monte Le Felci (853 m di quota) presso Monteleone di Puglia, si immette in provincia di Avellino e rientra in quella di Foggia fra Panni e Montaguto; incanalato nell'ultimo tratto, prende il nome di canale Cervaro Nuovo e sfocia, dopo circa 80 km di percorso, nel golfo di Manfredonia, mentre due rami si immettono nelle vasche di colmata del Cervaro. Costeggiato, da Radogna a Stradola, dalla SS 90, riceve a sinistra il torrente Lavella e il torrente Sannoro, a destra il torrente Bilera. Il bacino idrografico, chiuso in prossimità del viadotto in progetto, ricopre un'area di 205 km². L'inquadramento geografico, morfologico e idrografico del bacino è riportato nell'Elaborato progettuale annesso IF3A02EZZRIID0001000A – *Relazione idrologica*.

In Figura 2-2 è riportato un inquadramento su ortofoto del tratto del Torrente Cervaro in corrispondenza della sezione di attraversamento della linea ferroviaria, mentre in Figura 2-3 è riportato uno stralcio *del P.A.I.: Torrente Cervaro*. La zona in corrispondenza dell'attraversamento in progetto (Viadotto VI01, dal km 41+122,68 al km 41+442,68) non è classificata come area a pericolosità idraulica, secondo il P.A.I. della Regione Puglia; soltanto le aree, in prossimità del corso d'acqua, ricomprese tra le progressive 38+600 e 30+800 (ad una distanza di circa 3 km, a valle, della sezione di attraversamento), sono classificate come aree a pericolosità "alta".

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 7 di 70

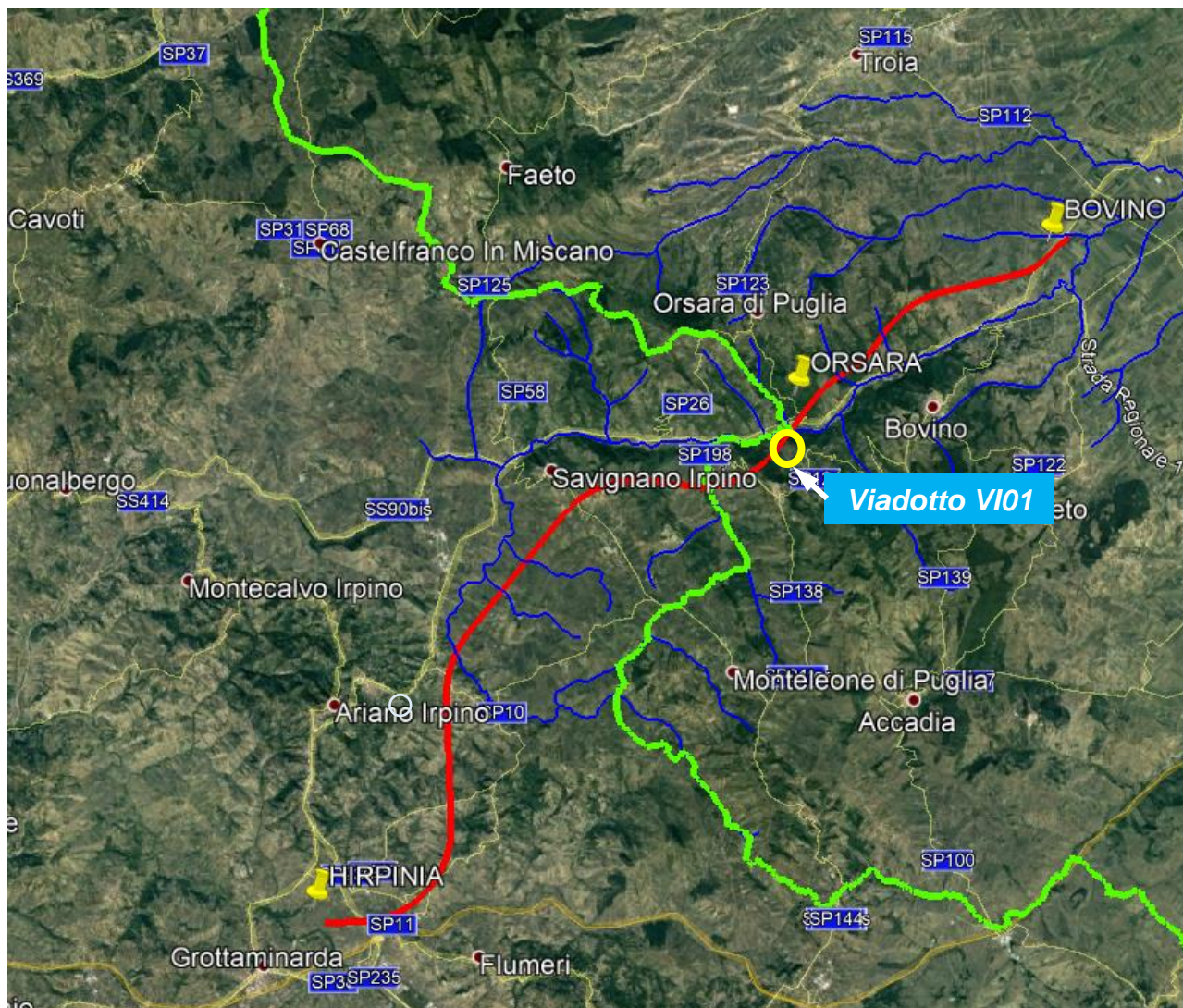


Figura 2-1 - Inquadramento geografico della zona in esame con evidenziata la linea ferroviaria e l'intersezione con il T. Cervaro.

Tuttavia, con riferimento al recente studio idraulico condotto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia nell'ambito del P.O. FESR 2007-2013 ("Studio per la definizione delle opere necessarie per la messa in sicurezza del reticolo idrografico pugliese"), l'area di intervento risulta interessata dalle esondazioni delle piene Tr 30, 200 e 500 del Torrente Cervaro (Figura 2-4).

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 8 di 70

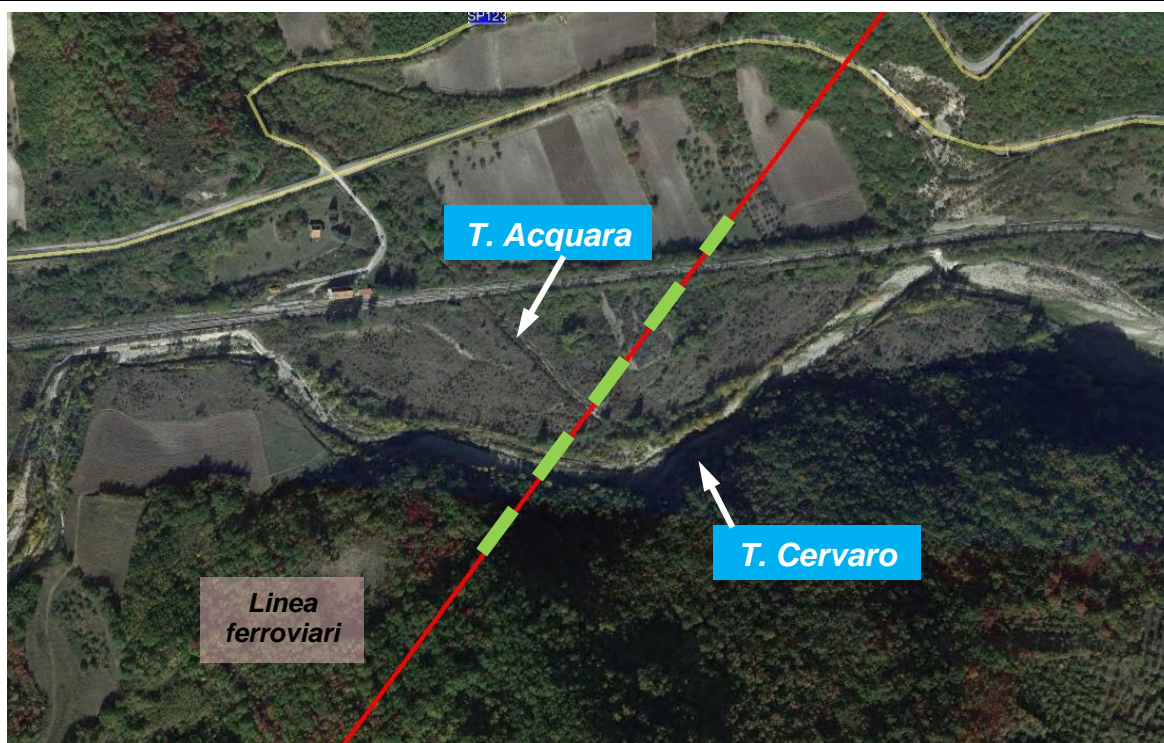


Figura 2-2 - Inquadramento su ortofoto del T. Cervaro alla sezione in cui è prevista la realizzazione del viadotto (tratteggio verde).

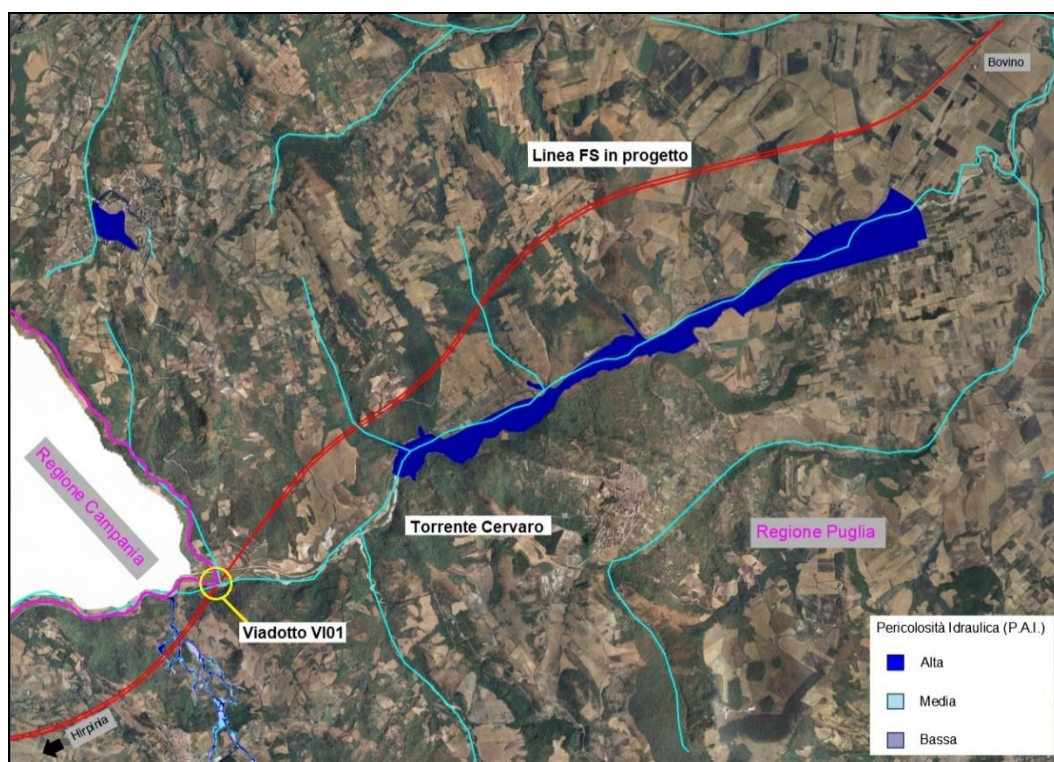


Figura 2-3 – Torrente Cervaro e linea ferroviaria in progetto: aree a pericolosità idraulica PAI – Regione Puglia.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 9 di 70

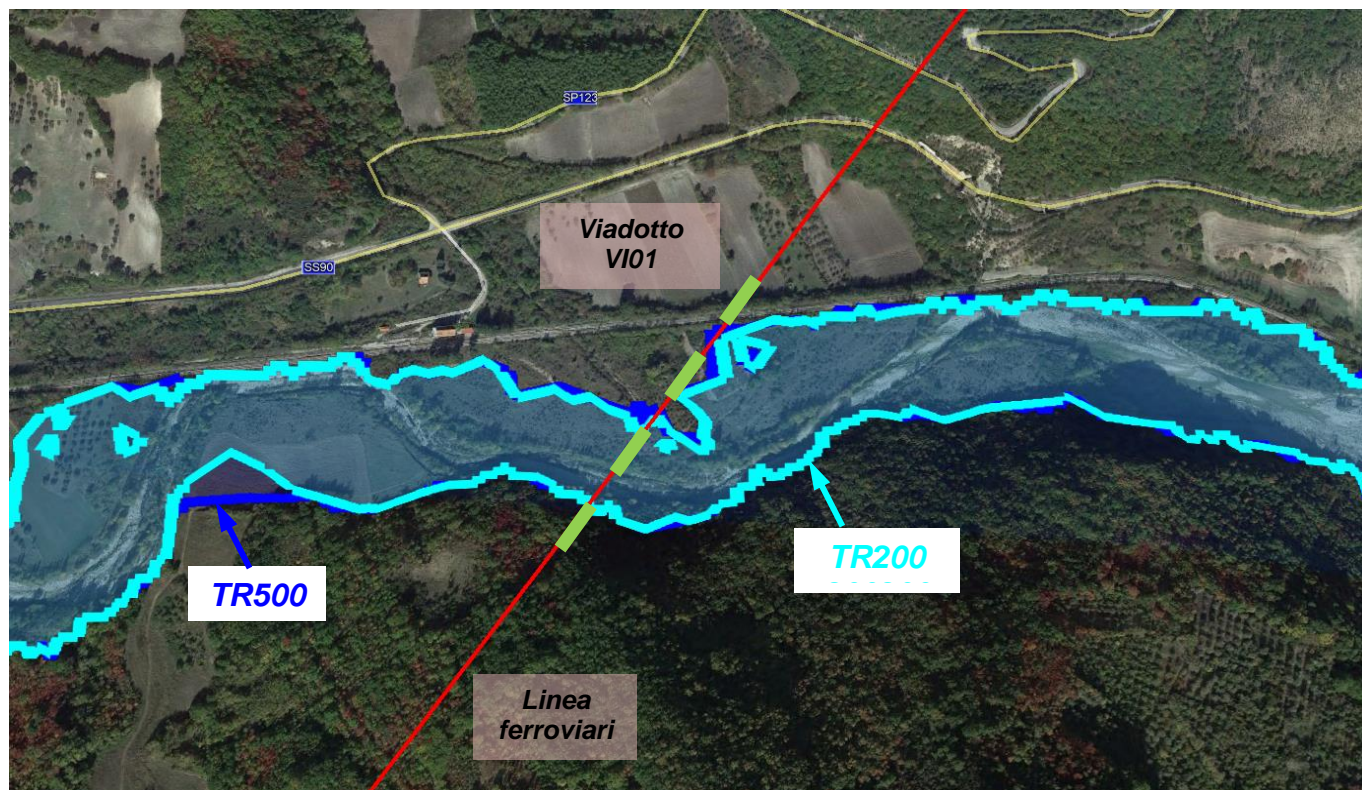


Figura 2-4 – Torrente Cervaro: aree a pericolosità idraulica Tr 200 (ciano) e Tr 500 (blu), fonte: Studio Idraulico 2013 – AdB Puglia.

2.2 OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO

Obiettivo del presente studio idraulico è quello di valutare l'efficacia degli interventi previsti per assicurare la compatibilità idraulica del nuovo attraversamento sul Torrente Cervaro della linea Napoli-Bari, tratta Hirpinia - Orsara.

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento, esistenti o di progetto, devono osservare le prescrizioni del Manuale di progettazione RFI. In sintesi, le opere idrauliche di attraversamento devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati dai seguenti tempi di ritorno (Tr) di 200 anni

Per gli attraversamenti principali (ponti e viadotti), relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, si specifica quanto segue:

- il franco idraulico tra intradosso manufatto e livello della superficie libera deve essere non inferiore a **1.5 m** (Tr 200 per le NTC 2018; Tr 300 per il Manuale di Progettazione RFI) nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- il franco minimo tra intradosso manufatto e quota di carico idraulico totale deve essere almeno pari a **50 cm**.

APPALTATORE: <u>Consortio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>D</td> <td>10 di 70</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 001	D	10 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 001	D	10 di 70													
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali																		

L'opera inoltre deve rispondere a quanto previsto dalle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2018, DECRETO 17 gennaio 2018. *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*, MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE, relativamente alla luce netta tra pile in alveo (40 metri, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente) e alla distanza tra il fondo alveo e la quota di sottotrave che non dovrà essere inferiore a 6/7 metri, anche con riferimento ad eventuali fenomeni di trasporto solido di fondo e/o di materiale galleggiante.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D FOGLIO 11 di 70

3 DATI DI BASE

3.1 RILIEVI TOPOGRAFICI E MODELLI DIGITALI DEL TERRENO

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

- sezioni trasversali dell'alveo ottenute da apposita campagna topografica, in particolare sono state rilevate 17 sezioni trasversali del Torrente Cervaro e 13 sezioni trasversali del T. Acquara (Figura 3-1);
- Rilievo LiDAR realizzato nell'ottobre 2011 dal Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare (utilizzato come terreno di base).
- Rilievo celerimetrico aggiornato al 2021 delle aree interessate dalle infrastrutture (sovrapposto al Lidar per meglio dettagliare il fondo alveo e le aree interessate dagli interventi).

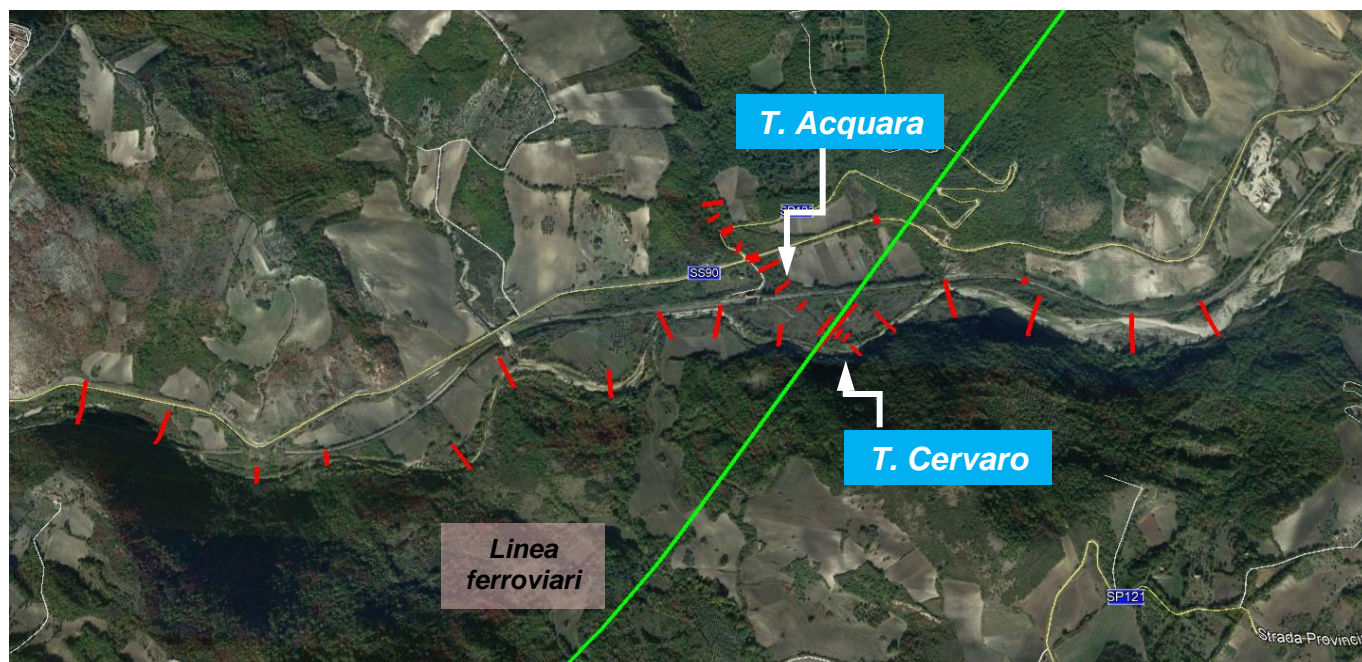


Figura 3-1 – Torrente Cervaro: sezioni idrauliche rilevate (in rosso).

Il rilievo celerimetrico ha permesso di aggiornare e migliorare il dettaglio del rilievo LiDAR del MATTM in corrispondenza delle aree di interferenza tra l'infrastruttura e le aree fluviali, soprattutto per il fondo alveo del Torrente Cervaro che in corrispondenza del tratto del ponte provvisorio VI01 e l'imbocco della galleria lato Orsara, non risulta coperto da Lidar (vedi figure 3-2 e 3-3). In particolare, a partire dal rilievo celerimetrico, è stato ricostruito un nuovo DTM definito con una risoluzione di cella pari a 0.50 m. Successivamente quest'ultimo è stato sovrapposto al Lidar al fine di ricostruire un unico modello digitale del terreno da utilizzare nelle modellazioni idrauliche.

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	PIZZAROTTI				ITINERARIO NAPOLI – BARI							
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A			Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER			PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 12 di 70					

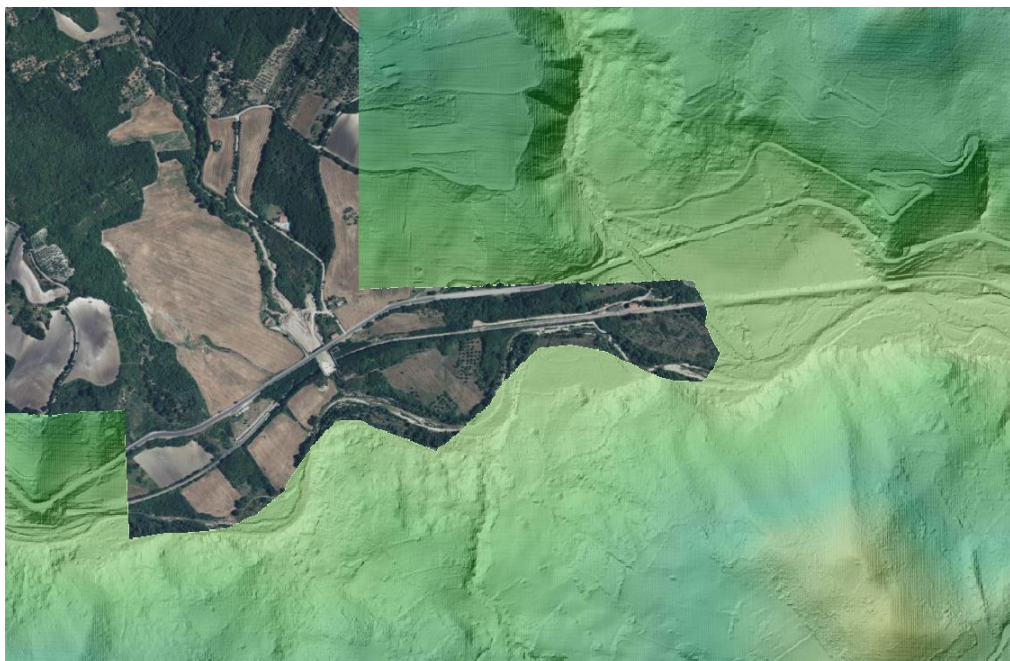


Figura 3-2 - Rilievo Lidar disponibile

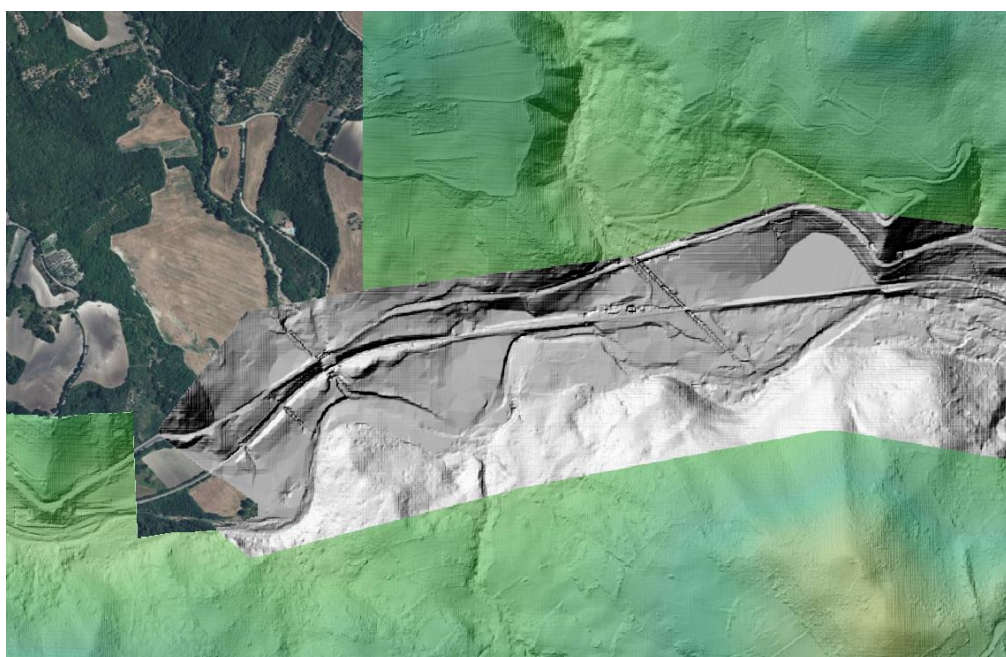


Figura 3-3. Integrazione del Lidar con DTM ricostruito dal rilievo celerimetrico

Il confronto tra le diverse informazioni topografiche ed in particolare tra le sezioni trasversali ottenute dal rilievo celerimetrico e il rilievo LiDAR ha evidenziato un'ottima corrispondenza per quanto riguarda le aree golenali ed esterne all'ambito fluviale.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 13 di 70

OPERE IN PROGETTO

Di seguito è riportato un prospetto (Figura 3-4) e uno stralcio planimetrico (Figura 3-5) del viadotto in progetto.

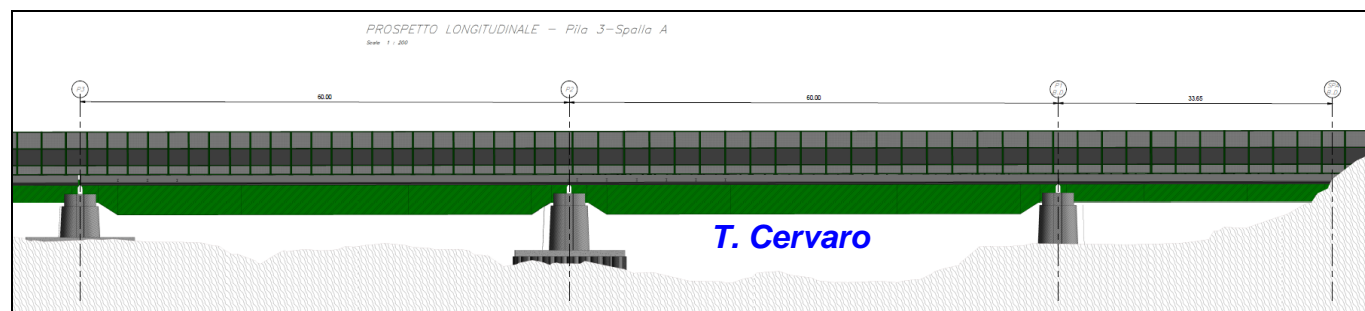


Figura 3-4 – Prospetto (Pila 3 – Spalla A) del viadotto in progetto sul T. Cervaro.

Si tratta di un viadotto di lunghezza complessiva di circa 300 m (Spalla A – Spalla B), con 2 campate di scavalco da 60 metri (asse Pila P1 – asse Pila P2; asse Pila2 – asse Pila3). La quota minima di intradosso dell’impalcato (in mezzeria) si attesta a +356.70 m s.l.m.

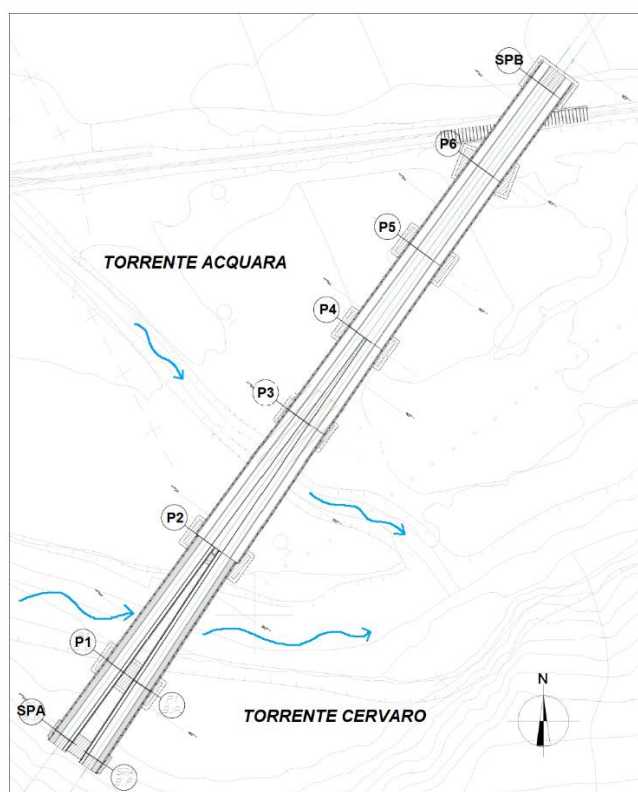


Figura 3-5 – Stralcio planimetrico del viadotto in progetto sul Torrente Cervaro.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 14 di 70

4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

Per la valutazione della compatibilità idraulica dell'opera in progetto è stato sviluppato un modello idraulico bidimensionale teso alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili e dei profili di rigurgito, in regime di moto vario, sia nella configurazione attuale che post operam. Il modello di calcolo utilizzato è il software HEC-RAS 6.1.0, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA). Anche per le verifiche idrauliche in fase di cantierizzazione è stato sviluppato un modello idraulico bidimensionale, che include anche il contributo idrologico del T. Acquara, affluente in sinistra idraulica del T. Cervaro.

4.1 MODELLO DI CALCOLO

La modellazione idraulica per definire nel dettaglio le aree di inondazione per i vari tempi di ritorno, è stata condotta attraverso lo sviluppo di un modello idraulico mono-bidimensionale utilizzando il modello di calcolo HEC-RAS della U.S. Corps of Engineers. L'analisi è stata condotta sia per lo stato ante operam che per lo stato post operam, andando ad inserire in quest'ultimo le opere in progetto e interferenti con i deflussi idrici.

Le nuove funzionalità di simulazione della propagazione dei deflussi in HEC - RAS sono state sviluppate per permettere all'utente di eseguire la modellazione solo 2D e 1D/2D combinata. L'algoritmo di modellazione del moto bidimensionale in HEC-RAS ha le seguenti caratteristiche:

1. modellazione combinata 1D e 2D: La possibilità di eseguire una modellazione combinata 1D e 2D all'in-terno dello stesso modello in regime di moto vario permette all'utente di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando la modellazione 1D per l'asta fluviale principale e la modellazione 2D nelle zone esterne che lo richiedono per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi;
2. equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda che quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità all'utente. 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 2D. Dal momento che l'utente può facilmente cambiare il set di equazioni, ognuna di esse può essere provata per un dato problema per verificare il metodo più adatto;
3. algoritmo implicito di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo implicito di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una mi-sura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti. Il processo di allagamento di aree secche e

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 15 di 70

di completo svuotamento di aree allagate viene simulato in maniera molto robusta con l'algoritmo di soluzione ai vo-lumi finiti in HEC-RAS. Le aree a deflusso 2D possono iniziare completamente asciutte e gestire un improvviso afflusso di acqua nella zona. Inoltre, l'algoritmo può gestire regimi di corrente lenti, veloci e misti (la corrente passa attraverso l'altezza critica, come per esempio in un risalto idraulico);

4. 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 con un'opzione per iterare i trasferimenti di massa 1D e 2D in un passo temporale. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale 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. In ogni passo temporale l'equazione di moto utilizza i risultati 1D e 2D per calcolare il flusso consentendo il calcolo preciso della sommersione delle aperture, in ogni passo temporale considerando la variazione di livelli che si ha nei due elementi. Inoltre, il deflusso si può invertire (dall'area 2D al tronco 1D) una volta che la piena è passata e i tiranti nel fiume si riducono.
5. maglie computazionali strutturate o non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare maglie computazionali non strutturate, ma può anche gestire maglie strutturate. Una maglia strutturata è trattata allo stesso modo di una maglia non strutturata, con la differenza che il software sfrutta le celle che sono ortogonali tra di loro (questo semplifica alcuni dei calcoli richiesti). Ciò significa che le celle calcolate possono essere triangoli, quadrati, rettangoli, o addirittura elementi a cinque e a sei facce (il modello è limitato agli elementi con più di otto lati). La maglia può essere un misto di celle di diverse forme e dimensioni. Il contorno esterno della maglia di calcolo è definito con un poligono. Le celle di calcolo che formano il limite esterno la maglia possono avere linee multi-point molto dettagliate che rappresentano le facce esterne di ciascuna cella. La maglia di calcolo non deve essere ortogonale ma se la maglia è ortogonale la discretizzazione numerica è semplificata e più efficiente;
6. tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: Ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pre-elaborata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione,

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI			
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF		
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 16 di 70

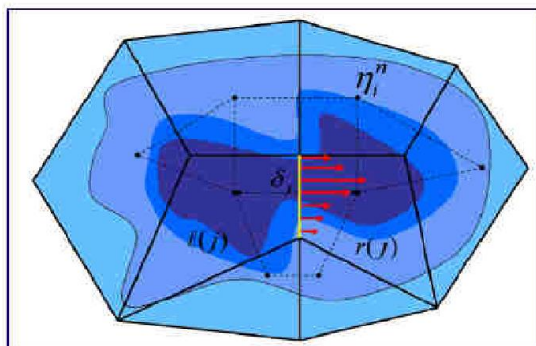


Figura 4-1. – Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno

In figura è illustrato un esempio di maglia di calcolo sovrapposta ai dati del terreno. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. I centri di calcolo delle celle sono rappresentati dai nodi neri e sono i punti in cui viene calcolata per ogni cella il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume per ogni cella si basa sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni faccia della cella è una sezione trasversale dettagliata basata anch'essa sul terreno sottostante. Questo metodo di rappresentazione delle celle permette all'acqua di spostarsi tra le celle in base ai dati del terreno sottostante. Pertanto, un piccolo canale che attraversa le celle e le cui dimensioni sono molto più piccole della dimensione delle celle viene comunque rappresentato tramite la curva altezza/volume delle celle oltre che dalle proprietà idrauliche delle facce tra le celle. Ciò significa che l'acqua scorre tra le celle più grandi ma comunque il deflusso è condizionato dalle caratteristiche del canale. L'esempio illustrato in figura, presenta canali che sono più piccoli della dimensione media della cella utilizzata per modellare la zona. Tuttavia, il deflusso avviene attraverso i piccoli canali in funzione delle proprietà idrauliche del canale. Il deflusso rimane nei canali fino a quando la portata non è tale da causare la tracimazione delle sponde e quindi il deflusso si riversa nelle aree adiacenti.

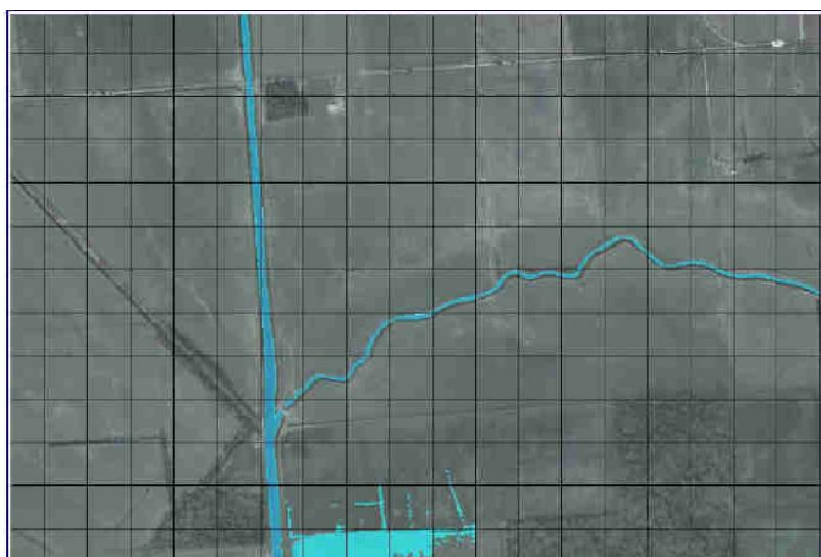


Figura 4-2. – Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 17 di 70

7. 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 del RAS - Mapper. La mappatura delle aree 2D 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. La mappatura rifletterà questi dettagli, piuttosto che essere limitata a mostrare una cella di calcolo come tutta bagnata o tutta asciutta;
8. Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore dei nuovi computer (architettura parallela), consentendo di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.
9. Motori di calcolo a 64 e 32 bit: HEC-RAS è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit. Il motore di calcolo a 64 bit funziona più velocemente rispetto ad uno a 32 bit e può gestire set di dati molto più grandi.

4.1.1 Sviluppo del 2D Computational Mesh

La modellazione 2D in HEC-RAS utilizza uno schema di soluzione ai volumi finiti. Questo algoritmo è stato sviluppato per consentire l'uso di una maglia di calcolo sia strutturata che non strutturata. Ciò significa che la maglia di calcolo può essere una miscela di celle con 3, 4, 5 e 6 lati. L'utente può comunque selezionare una risoluzione da utilizzare per scomporre il dominio di calcolo in celle utilizzando gli strumenti automatici presenti all'interno. La maglia di calcolo 2D è sviluppata in HEC- RAS effettuando le seguenti operazioni:

- tracciare il poligono di contorno dell'area 2D;
- creazione della maglia di calcolo 2D;
- modifica/rettifica della maglia di calcolo 2D;
- caricamento del DTM;
- associazione del DTM con la geometria;
- esecuzione del pre-processore geometrico 2D.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 18 di 70

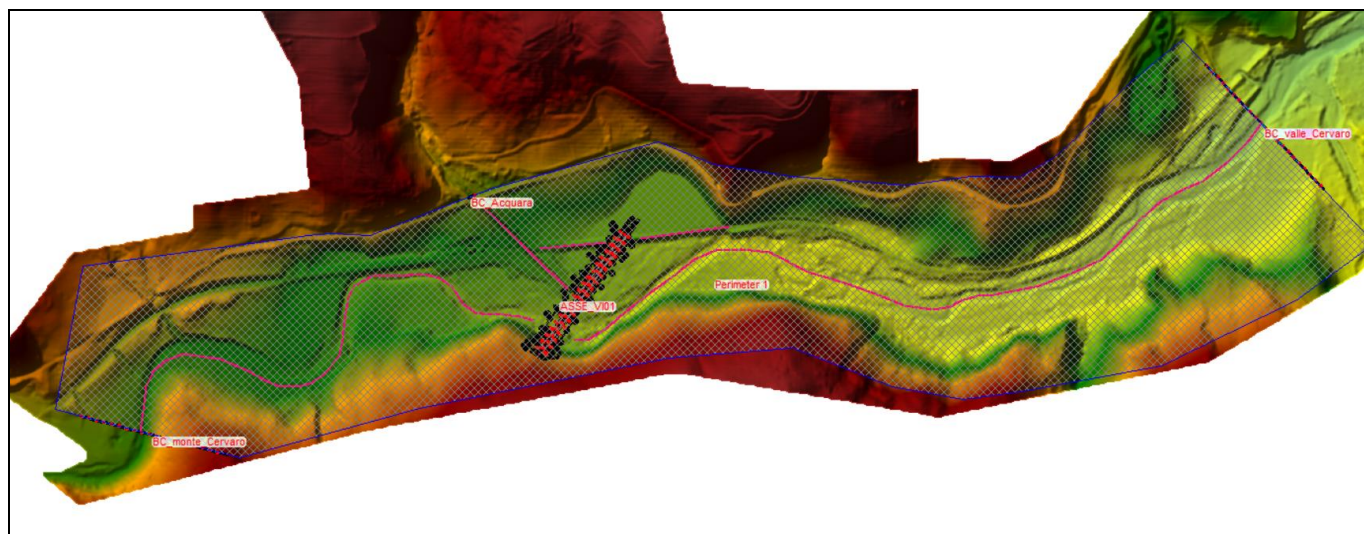


Figura 4-3. –: Tracciamento del poligono di contorno area 2D, esecuzione del pre-processore geometrico 2D e composizione griglia di calcolo

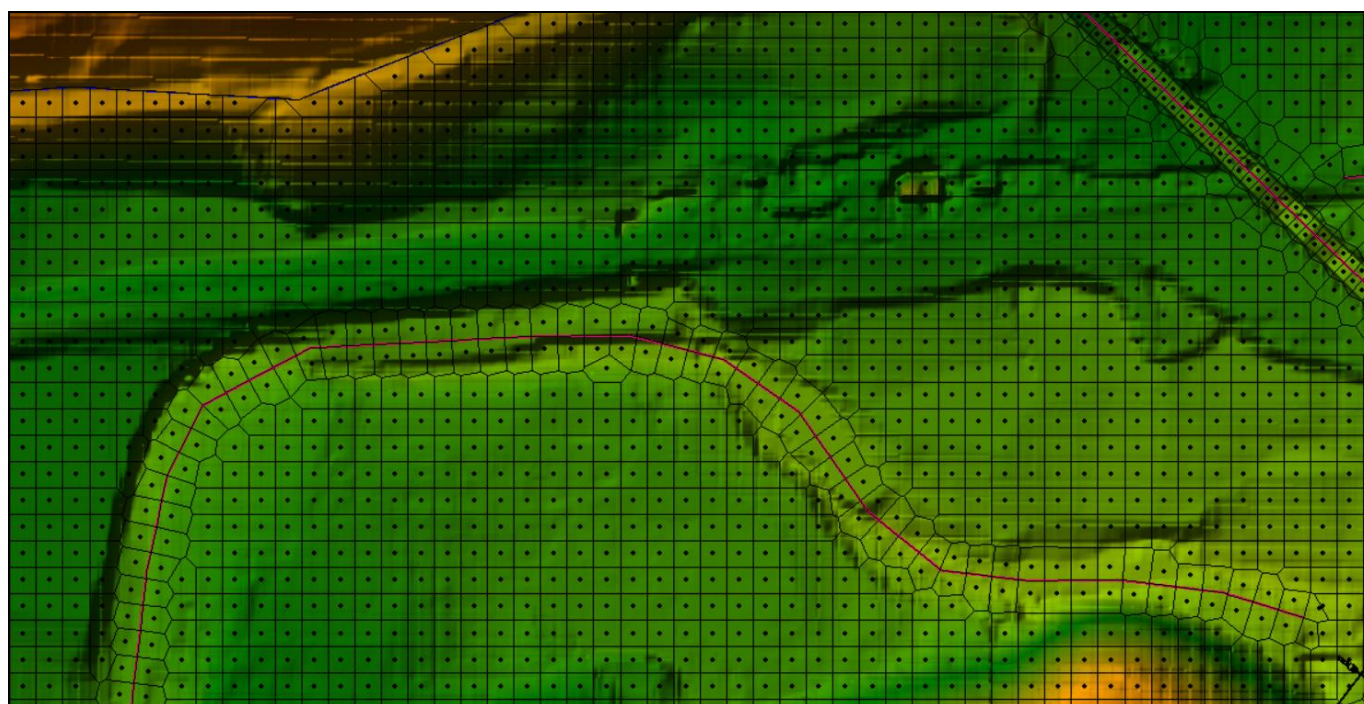


Figura 4-4. –: Dettaglio della griglia di calcolo

4.2 SCENARI SIMULATI

Gli scenari simulati fanno riferimento a tre configurazioni geometriche descritte nei seguenti paragrafi e in particolare le prime due sono state implementate per i quattro tempi di ritorno $T=30, 200, 300$ e 500 anni mentre l'ultima per i TR di 15 e 30 anni.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 19 di 70

Di seguito si riportano gli idrogrammi considerati ai fini della verifica idraulica bidimensionale per il T. Cervaro ed il T. Acquara.

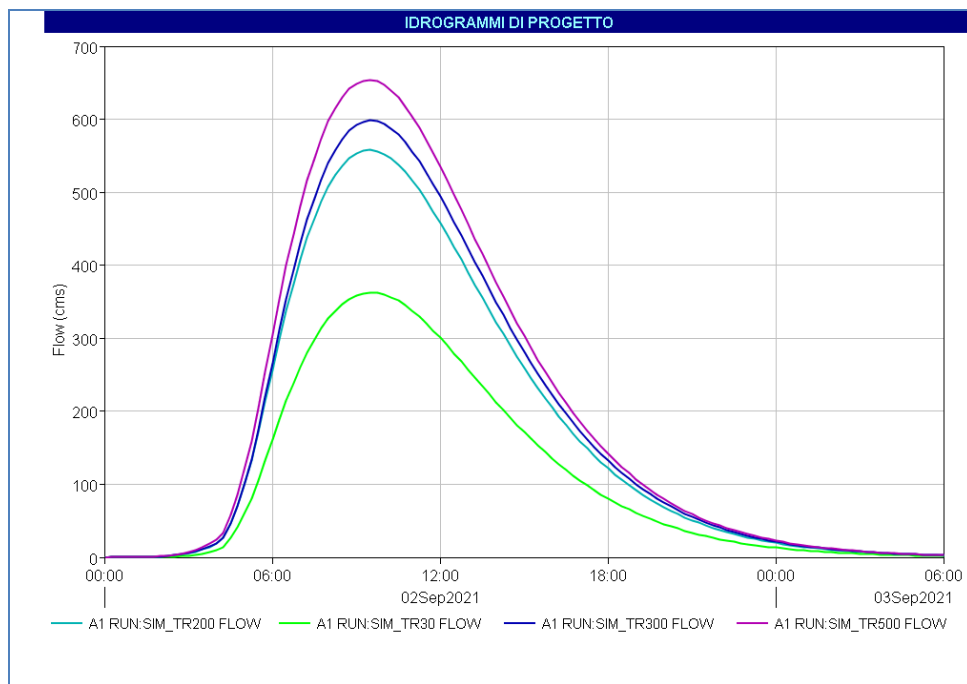


Figura 4-5. – Idrogrammi di piena del T. Cervaro, alla sezione di interesse, per diversi tempi di ritorno.

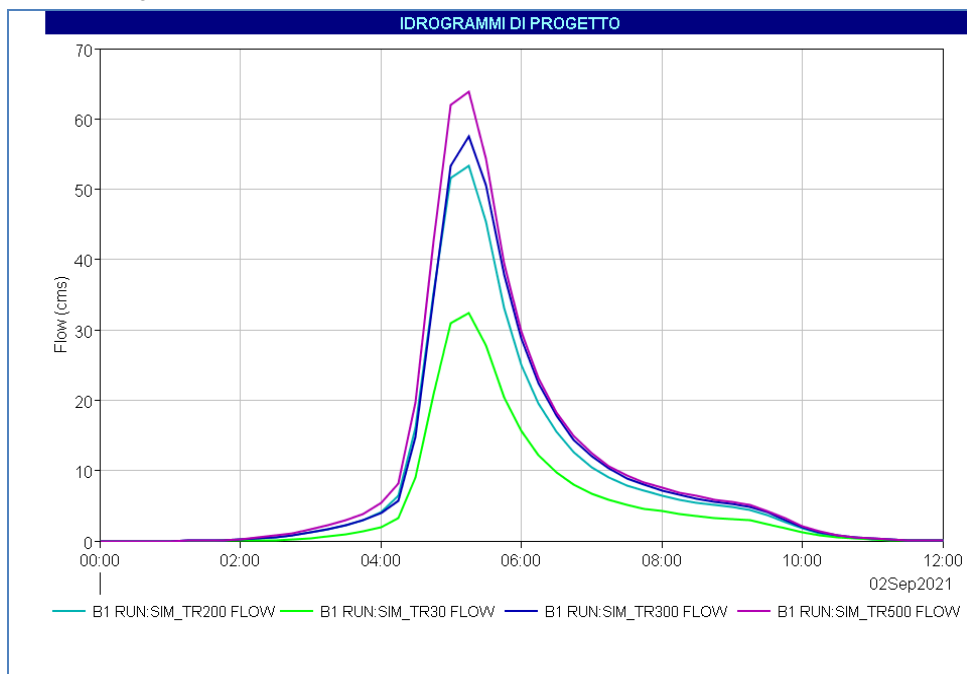


Figura 4-6 – Idrogrammi di piena del T. Acquara, alla sezione di interesse, per diversi tempi di ritorno.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 20 di 70

4.2.1 Scenario Ante Operam

Per scenario ante operam: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto. Alla configurazione geometrica ante operam sono state definite come condizioni al contorno gli ingressi degli idrogrammi di piena calcolati mediante il modello idrologico (IF3A02EZZRIID0001000A) e per gli eventi di piena per TR 30, 200, 300 e 500 anni. La scelta dei tempi di ritorno è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di progettazione RFI/ITALFERR dalle disposizioni dell’Autorità di Bacino (200 anni) e dalle Norme Tecniche delle Costruzioni (200 anni).

4.2.2 Scenario Post Operam

Per scenario post operam: si intende la geometria ottenuta dall’inserimento di opere in progetto. A tale scopo, sono stati inseriti nella mesh di calcolo i rilevati delle nuove viabilità, rilevato ferroviario e inalveazioni di progetto. Alla configurazione geometrica post operam sono state definite come condizioni al contorno gli ingressi degli idrogrammi di piena calcolati mediante il modello idrologico (IF3A02EZZRIID0001000A) e per gli eventi di piena per TR 30, 200, 300 e 500 anni. La scelta dei tempi di ritorno è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di progettazione RFI/ITALFERR, dalle disposizioni dell’Autorità di Bacino (200 anni) e dalle Norme Tecniche delle Costruzioni (200 anni).

4.2.3 Scenario cantierizzazioni e opere provvisionali

Per scenario cantierizzazioni e opere provvisionali si intende la geometria del modello idraulico ottenuta dall’inserimento delle opere e dei manufatti di carattere temporaneo finalizzate al transito dei mezzi di cantiere durante i periodi di realizzazione delle opere in progetto.

In relazione al tempo di ritorno della piena di progetto il criterio da utilizzare è che la probabilità che tale piena venga raggiunta o superata nel periodo di realizzazione dell’opera non sia superiore alla probabilità che tale portata venga raggiunta o superata durante l’intera vita utile dell’opera.

Tale definizione richiama il concetto di “rischio idraulico”. Il rischio idraulico, all’interno dell’orizzonte temporale stabilito, è espresso come segue:

$$R_i = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R} \right)^N$$

In cui

R_i = rischio idraulico;

T_R = tempo di ritorno in anni;

N = orizzonte temporale di riferimento in anni.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 21 di 70

Con riferimento alle NTC 2008, per l'opera è stata imposta una vita utile paria a 100 anni. Le prescrizioni ITALFERR, prevedono che la verifica idraulica sia condotta per un tempo di ritorno pari a 300 anni ovvero con un rischio $R_i = 0.284$. Imponendo per le opere provvisionali lo stesso rischio definito per l'opera, è possibile determinare il tempo di ritorno per la fase transitoria del cantiere in funzione del periodo di permanenza di quest'ultimo secondo la seguente formula:

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^{\frac{N}{C}}}$$

Nella quale

C = durata di costruzione in anni;

N = durata dell'opera;

TR = tempo di ritorno di progetto

C	5
N	100
T_R	300
T_{pr}	15

Tabella 1 – Stima del tempo di ritorno da adottare per la verifica delle opere provvisionali

Per la definizione delle condizioni al contorno da assegnare al modello è stato fatto riferimento, pertanto, agli idrogrammi di piena aventi tempo di ritorno di 15 anni, considerata la breve vita delle opere che sarà commisurata ai tempi di realizzazione delle opere in progetto. Come sarà possibile verificare nel seguito, le opere provvisionali previste, nel caso di evento con tempo di ritorno 15 anni, non provocano un significativo incremento delle condizioni di rischio idraulico presenti nella zona. Inoltre, la natura delle opere da realizzare, è tale da venire asportata dalla corrente in concomitanza di eventi di piena superiori a quelli considerati.

Le opere previste nello scenario di cantiere sono state inoltre verificate cautelativamente anche per un tempo di ritorno pari a 30 anni al fine di confermare il corretto dimensionamento delle condotte anche al passaggio di una piena caratterizzata da un tempo di ritorno maggiore.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D FOGLIO 22 di 70

4.3 GEOMETRIA DEL MODELLO E CONDIZIONI AL CONTORNO

In questo paragrafo verranno descritte nel dettaglio le metodologie che hanno consentito l'implementazione del modello idraulico bidimensionale dell'area di intervento per i tre scenari precedentemente descritti.

La costruzione di ogni geometria prevede la creazione dell'elemento Terrain a partire dal dtm. Tale elemento consente, durante la risoluzione delle equazioni di De Saint Venant, di acquisire le informazioni di quota e la direzione di deflusso. Il passo successivo è la costruzione della mesh di calcolo e dei computation point con una dimensione di cella definita dall'utente. Sulla base della conformazione del terrain e degli elementi presenti si può infittire la mesh di calcolo in zone che richiedono una maggiore precisione di calcolo tramite elementi lineare (breakline) o poligonali (refinement region). Per entrambe si può definire la risoluzione della cella in corrispondenza dell'elemento e fino ad una certa distanza di offset. Nel caso in esame il dominio di calcolo è stato esteso sul T. Cervaro per una lunghezza di circa 3.2 Km (circa 1.5 Km a monte del viadotto VI01 e 1.7 Km a valle) con una mesh avente celle di dimensione 10x10 mq mentre in corrispondenza dell'asta del T. Cervaro e del T. Acquara tale mesh è stata infittita con celle di dimensione 5x5 mq al fine di meglio caratterizzare i deflussi in alveo.

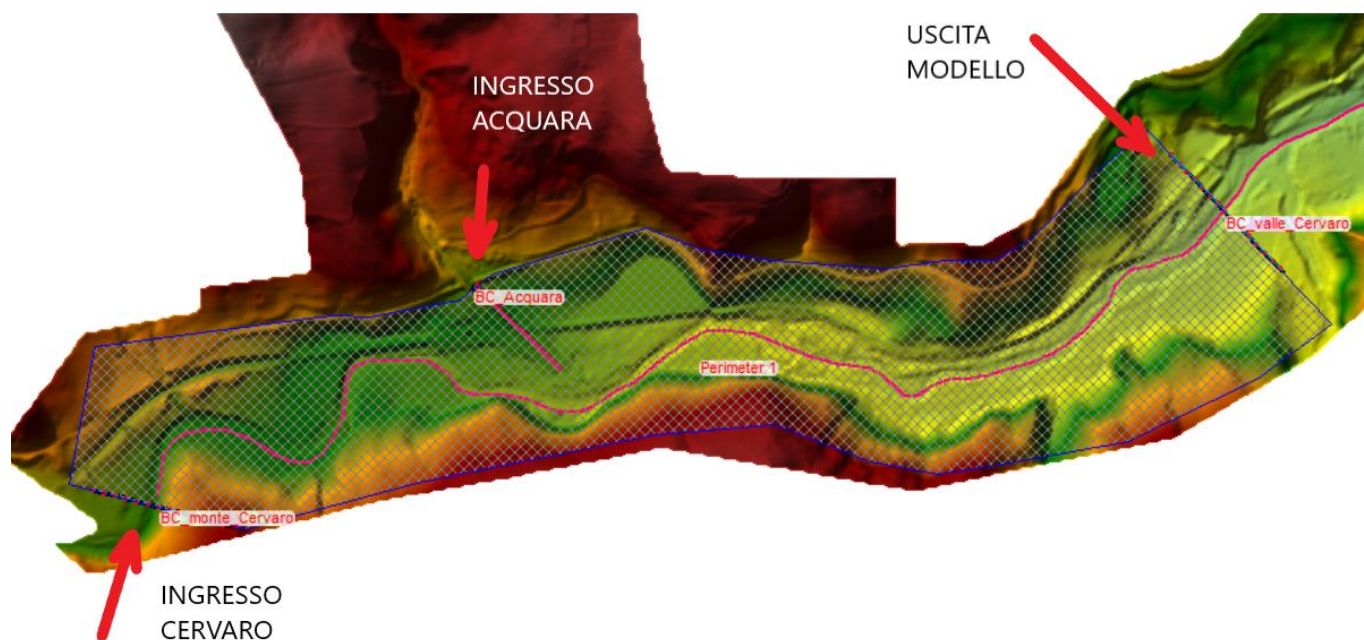


Figura 4-7 – Estensione del tratto di studio del T. Cervaro, nel modello idraulico 2D.

La geometria del modello è stata implementata utilizzando i dati LIDAR disponibili per l'area in esame e da rilievo topografico, precedentemente descritti. In particolare:

- per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento a sezioni di rilievo topografico. L'ubicazione delle finche di calcolo è riportata negli elaborati planimetrici delle fasce di esondazione.
- le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dall'unione delle informazioni topografiche disponibili integrate con il rilievo celerimetrico di dettaglio. La rete di calcolo bidimensionale

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 23 di 70

interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne, questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in HEC-RAS, definendo opportune break lines e/o aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

Al fine di tener conto della presenza di pile in prossimità dell'alveo e della sistemazione della sezione d'alveo del T. Acquara e del T. Cervaro (nella configurazione *post operam*), le stesse sono state prima implementate mediante software dedicato (Autocad, QGIS) e successivamente accoppiati al DTM (vedi Figura 4-8).

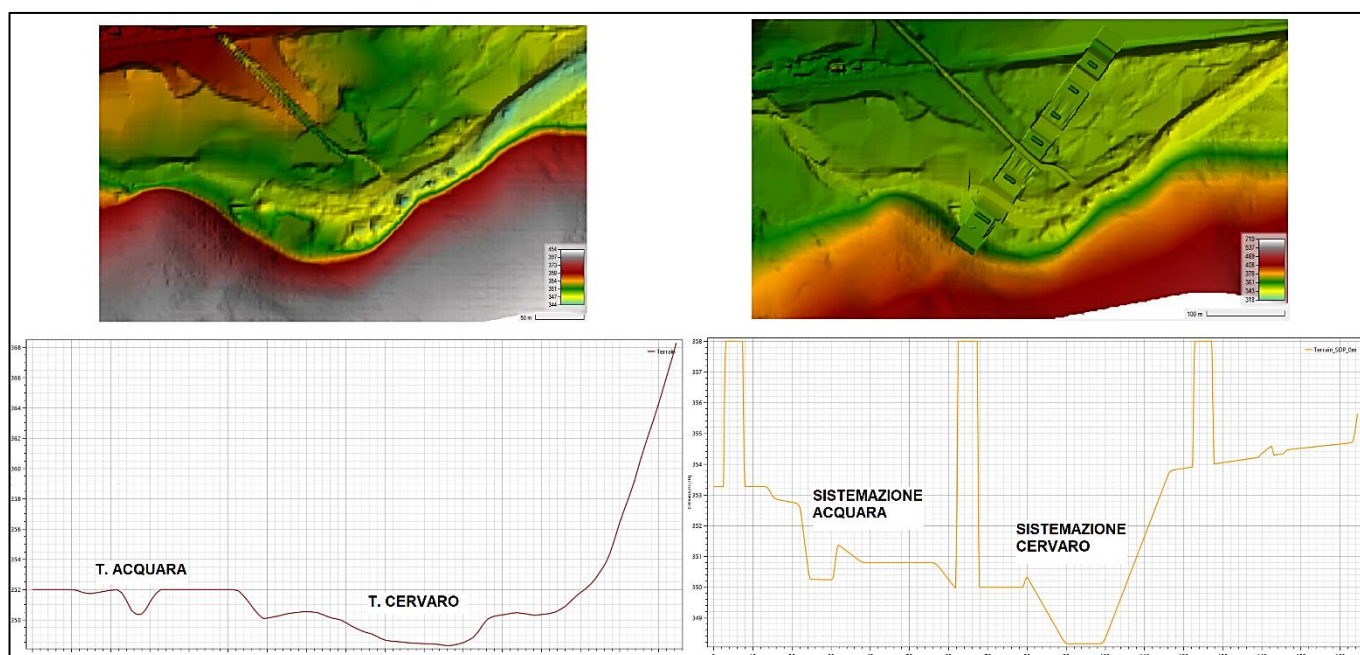


Figura 4-8 – Modello idraulico 2D del T. Cervaro: implementazione del viadotto VI01.

Per quanto riguarda le opere di cantierizzazione di carattere temporaneo, da adibire al transito dei mezzi di cantiere durante le fasi di realizzazione delle opere in progetto, è stata predisposta una apposita geometria. Anche in questo caso si è resa necessaria la modifica del modello digitale del terreno al fine di ricostruire le opere di carattere provvisoria che saranno oggetto di verifica idraulica. A tal proposito le modifiche allo stato dei luoghi hanno riguardato principalmente la ricostruzione dei tre guadi previsti rispettivamente sul T. Cervaro e sul T. Acquara. Per una migliore comprensione delle modifiche apportate al modello digitale del terreno si rimanda alla Figura 4-9 in cui è riportata la planimetria di dettaglio del modello idraulico implementato per le cantierizzazioni evidenziando le modifiche apportate al modello digitale del terreno per riprodurre il guado 1.

Al fine di consentire il deflusso delle acque in corrispondenza dei punti in cui sono state effettuate le modifiche al modello digitale del terreno, si è reso necessario inserire degli elementi *Culvert* la cui geometria è stata dimensionata al fine di garantire il corretto smaltimento delle portate in arrivo. Nella fattispecie le condotte che saranno utilizzate per la realizzazione dei guadi saranno tutte di tipo ARMCO a sezione ovoidale con altezza 3.00 m e larghezza 3.68 m. Le opere di attraversamento dovranno essere realizzate in modo da poter essere

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 25 di 70

▪ **Opera di attraversamento 1 (T. Cervaro)**

Tipologia: condotte/tubi ARMCO

Numero	Larghezza (m)	Altezza (m)
7	3.68	3.00

Tabella 2 –Tipologia di condotte da prevedere per la realizzazione dell'attraversamento 1

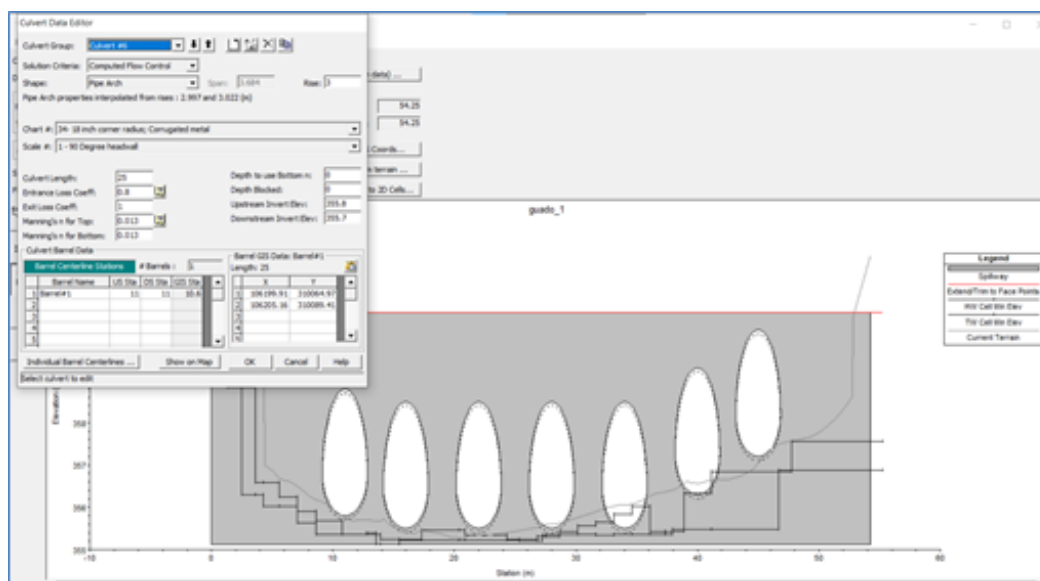


Figura 4-10 – Implemententazione attraversamento 1 nel software HEC-RAS

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 26 di 70

▪ **Opera di attraversamento 2 (T. Cervaro)**

Tipologia: condotte/tubi ARMCO

Numero	Larghezza (m)	Altezza (m)
7	3.68	3.00

Tabella 3 –Tipologia di condotte da prevedere per la realizzazione dell'attraversamento 2

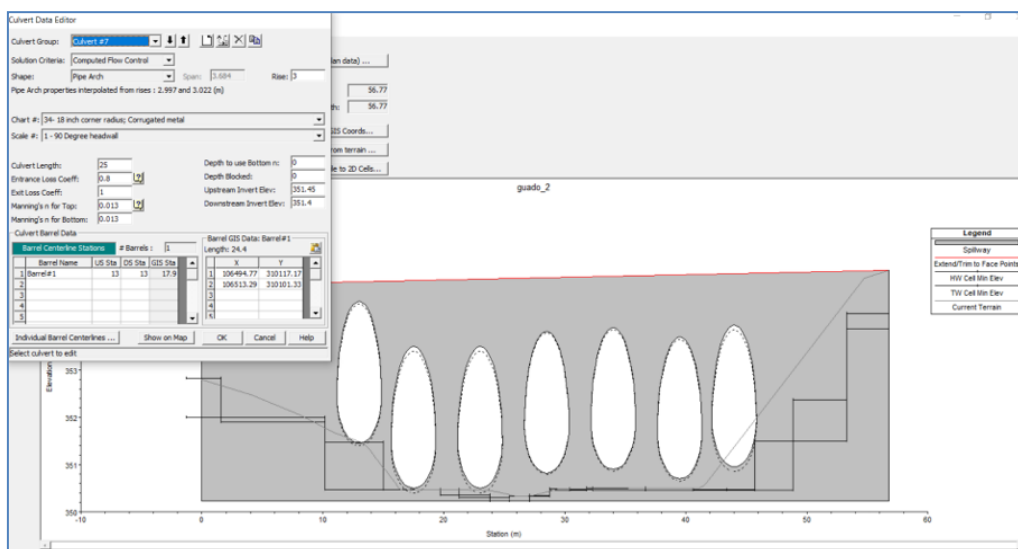


Figura 4-11 – Implementazione attraversamento 2 nel software HEC-RAS

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGGIO D 27 di 70

▪ **Opera di attraversamento 3 (T. Acquara)**

Tipologia: condotte/tubi ARMCO

Numero	Larghezza (m)	Altezza (m)
3	3.68	3.00

Tabella 4 –Tipologia di condotte da prevedere per la realizzazione dell'attraversamento 3

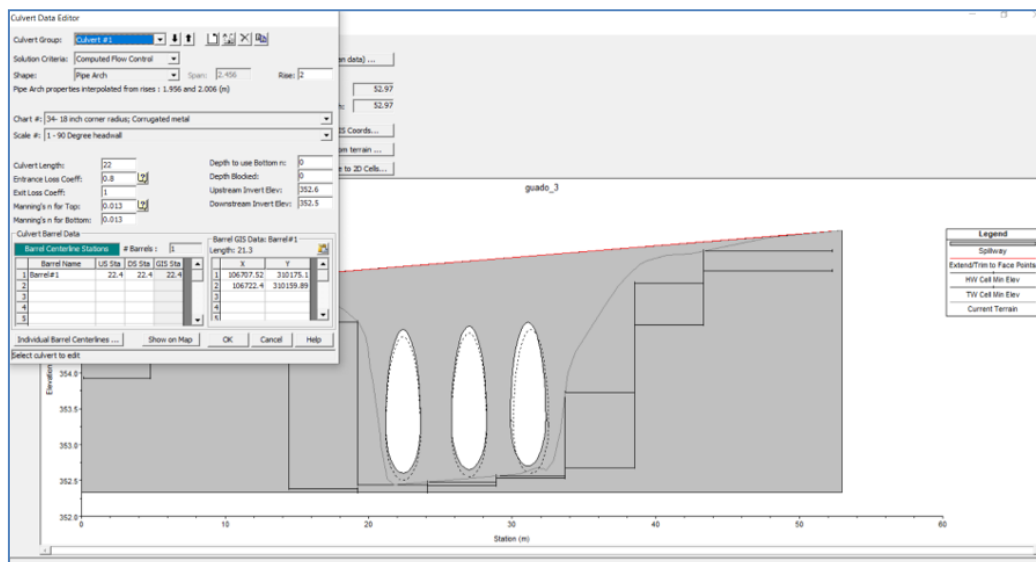


Figura 4-12 – Implementazione attraversamento 3 nel software HEC-RAS

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER					PINI
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 28 di 70

4.4 DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE

In riferimento alla definizione delle scabrezze da assegnare alla mesh di calcolo, dall'analisi dei coefficienti di Manning associati alle categorie del carta del Corine Land Cover (CLC III Livello) emergono, in corrispondenza della maglia di calcolo implementata, valori che oscillano tra 0.01 e 0.1. Tali valori sono stati ottenuti associando, sulla base della Tabella 4-5, i valori di Manning alle categorie della CLC. Al fine di stimare un valore di scabrezza caratteristico per tutta la maglia di calcolo, si è proceduto al calcolo della media pesata ottenendo un valore pari a 0.06 m^{1/3}/s (Tabella 4-6).

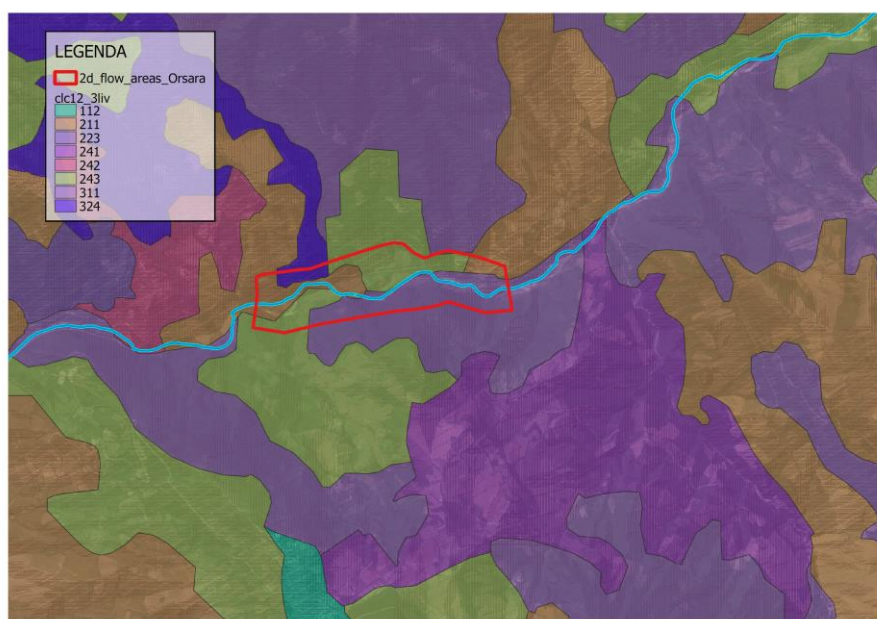


Figura 4-13. –: inquadramento area 2d di calcolo su Corine Land Cover al III livello

Il valore di scabrezza assunto nel presente studio (0.06 m^{1/3}/s su tutto il dominio) risulta più cautelativo rispetto al PD a base di gara, in cui era stata eseguita una dettagliata valutazione dei coefficienti di scabrezza sia per l'alveo e le golene, sia per le aree esterne potenzialmente inondabili. Nelle aree relative all'alveo centrale infatti, in corrispondenza delle quali si concentrano i deflussi, l'utilizzo del valore di Manning 0.06 appare più cautelativo, sebbene tale aspetto influisca solo parzialmente i risultati finali. Difatti, oltre alla differente definizione della scabrezza, la modellazione idraulica condotta in questo studio è caratterizzata da una serie di migliorie rispetto allo studio precedente quali:

- infittimento della mesh in corrispondenza dell'alveo;
- implementazione nel terreno della riprofilatura d'alveo in corrispondenza del viadotto;
- inserimento degli idrogrammi secondo quanto restituito dal modello HEC-HMS;
- utilizzo del passo di calcolo variabile secondo le condizioni di Courant.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 29 di 70

LABEL1	LABEL2	LABEL3	Mannings n
1 Artificial surfaces	1.1 Urban fabric	1.1.1 Continuous urban fabric	0.013
		1.1.2 Discontinuous urban fabric	
	1.2 Industrial, commercial and transport units	1.2.1 Industrial or commercial units	0.013
		1.2.2 Road and rail networks and associated land	
		1.2.3 Port areas 1.2.4 Airports	
1.3 Mine, dump and construction sites	1.3.1 Mineral extraction sites	0.013	
	1.3.2 Dump sites 1.3.3 Construction sites		
1.4 Artificial, non-agricultural vegetated areas	1.4.1 Green urban areas	0.025	
	1.4.2 Sport and leisure facilities		
2 Agricultural areas	2.1 Arable land	2.1.1 Non-irrigated arable land	0.03
		2.1.2 Permanently irrigated land	
		2.1.3 Rice fields	
	2.2 Permanent crops	2.2.1 Vineyards	0.08
		2.2.2 Fruit trees and berry plantations 2.2.3 Olive groves	
	2.3 Pastures	2.3.1 Pastures	0.035
		2.4 Heterogeneous agricultural areas	2.4.1 Annual crops associated with permanent crops 2.4.2 Complex cultivation patterns 2.4.3 Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation 2.4.4 Agro-forestry areas
Forest and semi natural areas	3.1 Forests	3.1.1 Broad-leaved forest	0.1
		3.1.2 Coniferous forest	
		3.1.3 Mixed forest	
	3.2 Scrub and/or herbaceous vegetation associations	3.2.1 Natural grasslands	0.04
		3.2.2 Moors and heathland	0.05
		3.2.3 Sclerophyllous vegetation	0.05
		3.2.4 Transitional woodland-shrub	0.06
	3.3 Open spaces with little or no vegetation	3.3.1 Beaches, dunes, sands	0.025
		3.3.2 Bare rocks	0.035
		3.3.3 Sparsely vegetated areas	0.027
3.3.4 Burnt areas		0.025	
3.3.5 Glaciers and perpetual snow		0.01	
4 Wetlands	4.1 Inland wetlands	4.1.1 Inland marshes	0.04
		4.1.2 Peat bogs	
	4.2 Maritime wetlands	4.2.1 Salt marshes 4.2.2 Salines 4.2.3 Intertidal flats	0.04
5 Water bodies	5.1 Inland waters	5.1.1 Water courses	0.05
		5.1.2 Water bodies	
	5.2 Marine waters	5.2.1 Coastal lagoons 5.2.2 Estuaries 5.2.3 Sea and ocean	0.07

Tabella 4-5 – Valori Manning in base alle categorie del Corine Land Cover III Livello

Ai CLC III Livello [mq]	Classi CLC III Livello	Manning's [m ^{1/3} /s]	A mesh di calcolo 2d [mq]	Ai*ni	n [m ^{1/3} /s]
2381.5	311	0.1	755448.8	238.36	0.06
30072.3	211	0.03		902.1699	
34328.1	324	0.06		2059.686	
139138.5	211	0.03		4174.156	
177159.5	243	0.05		8857.975	
288131.0	311	0.1		28813.1	
84237.9	243	0.05		4211.894	

Tabella 4-6 – Calcolo scabrezza maglia di calcolo

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGGIO D 30 di 70

4.5 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno sono state definite tramite l'elemento Boundary Condition (BC) ovvero una breakline al contorno che predispone l'inserimento delle condizioni al contorno. Nel caso in esame come condizione al contorno di monte sono stati considerati gli idrogrammi di piena desunti dai risultati ottenuti dal modello idrologico sviluppato in HEC HMS, cui si rimanda per ulteriori dettagli. In figura si riporta un esempio per l'ingresso del T. Cervaro per il TR = 200 anni.

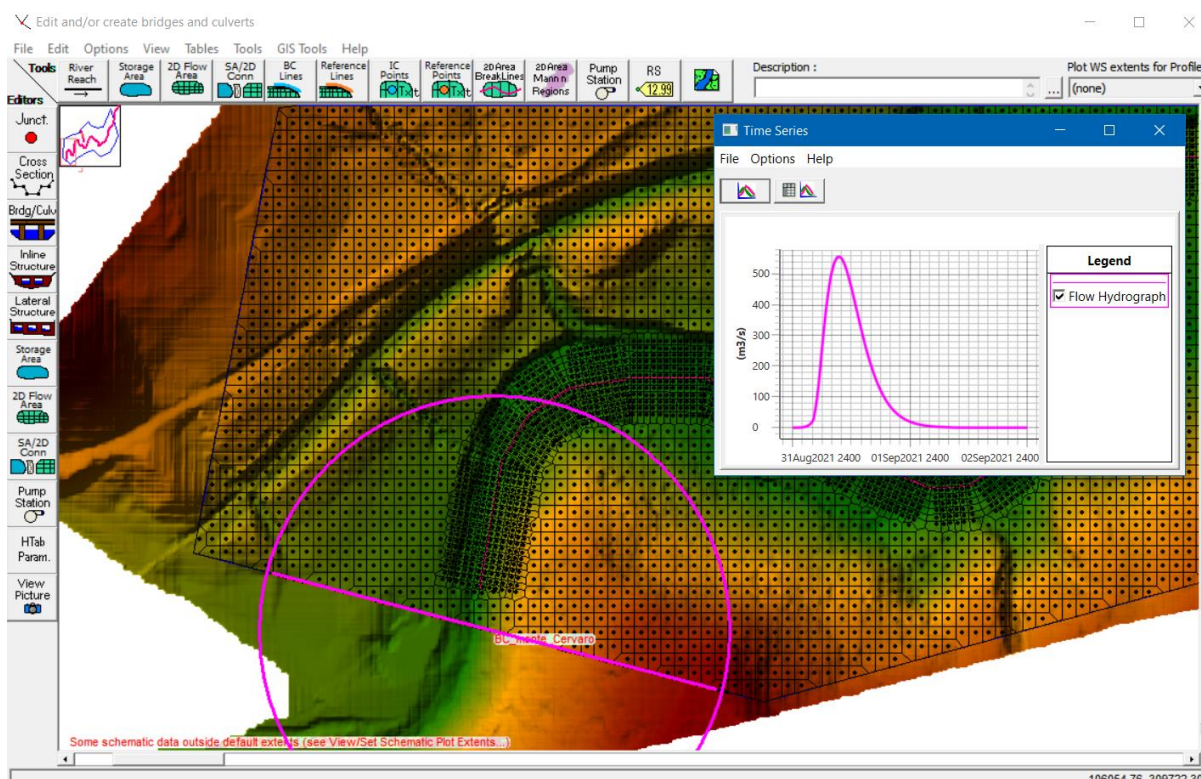


Figura 4-14 – Inserimento condizioni al contorno per il T. Cervaro per TR 200 anni

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 31 di 70

In totale sono state inserite nel modello n°2 condizioni al contorno di monte, relative ai due idrogrammi di piena desunti dal modello idrologico, relativi al Cervaro (A1) e all'Acquara (B1), mentre per la condizione al contorno di valle è stata inserita la pendenza media del fondo alveo calcolata a partire dai dati del modello digitale del terreno disponibile e pari allo 0.7 %.

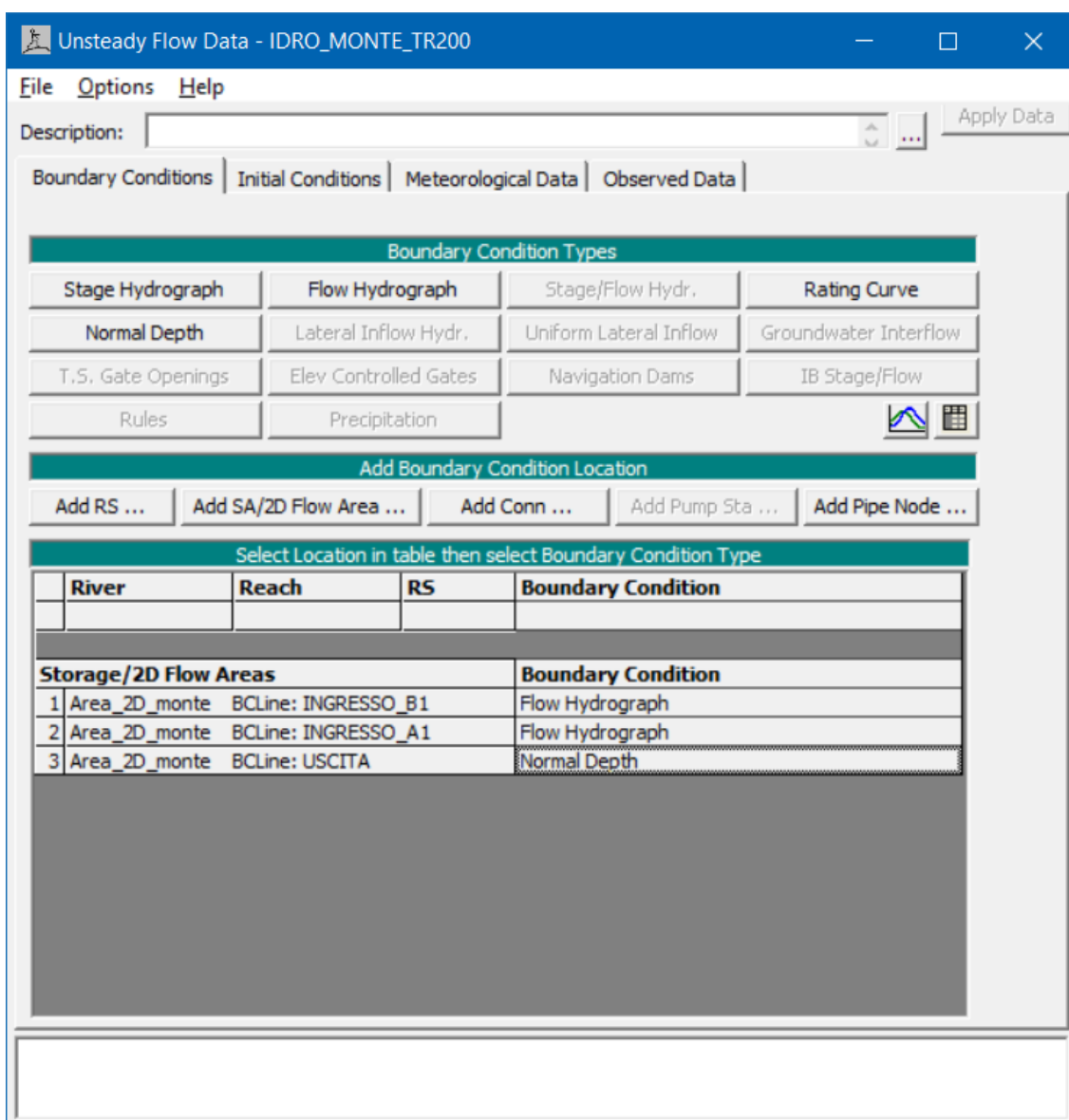


Figura 4-15 – Inserimento condizioni al contorno nel software HEC-RAS

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 32 di 70

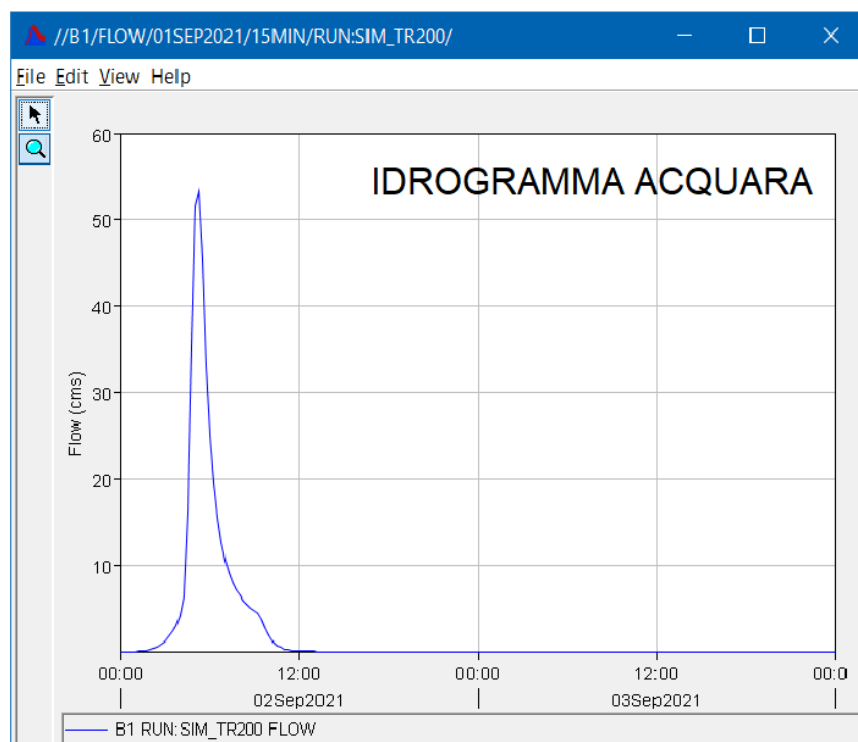
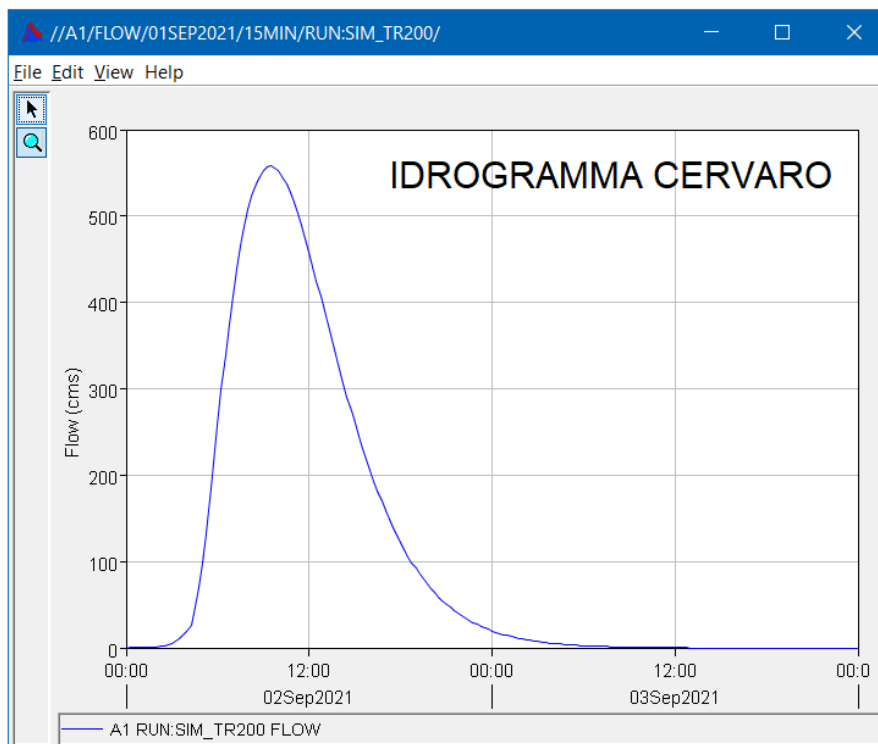


Figura 4-16 – Idrogrammi di piena imposti come condizioni al contorno di monte – TR 200 anni

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 33 di 70

5 MODELLAZIONE IDRAULICA 2D E STUDIO DELLE AREE ALLAGABILI

I risultati delle simulazioni numeriche sono rappresentati nelle sei planimetrie di progetto “*Planimetria livelli idrici ante e post operam*” e “*Planimetria velocità ante e post operam*” per i tempi di ritorno di 30, 100 e 300 anni. Per gli stessi tempi di ritorno, negli elaborati “*Profilo di rigurgito ante e post operam*”, sono riportati i profili di piena, mentre negli elaborati “*Sezioni significative con livelli ante e post operam*” si riportano le sezioni significative con i corrispondenti livelli ottenuti dai risultati della modellazione.

Per ciascuno scenario si riportano i risultati dei tiranti idrici ottenuti per ciascun tempo di ritorno e delle corrispondenti velocità, elementi necessari per definire le opere di protezione idraulica delle pile a sostegno del viadotto di progetto.

Nelle pagine seguenti si riporta una descrizione dei principali risultati ottenuti, un confronto con la proposta di modifica delle perimetrazioni del PAI e un confronto tra stato di fatto e stato di progetto.

5.1 VIADOTTO VI01

Gli scenari simulati fanno riferimento alle seguenti tre configurazioni geometriche:

- *ante operam*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto;
- *post operam*: è stato inserito il viadotto di progetto ed in particolare le pile dello stesso, nonché il rimodellamento delle sponde, a seguito della realizzazione delle opere di sistemazione idraulica;
- *cantierizzazioni*: fa riferimento alla fase di costruzione del viadotto VI01 e alle aree di cantiere annesse alla realizzazione dell’imbocco della Galleria GN01, che interferiscono anche con il T. Acquara.

Alle configurazioni geometriche ante operam e post operam sono state applicate in ingresso al modello gli idrogrammi di piena per TR 30, 200, 300 e 500 anni. Nella configurazione provvisoria si fa riferimento alle portate di piena del T. Cervaro e del T. Acquara con tempo di ritorno di 15 anni, come da elaborato annesso IF3A02EZZRIID0001000A – *Relazione idrologica*.

5.1.1 Scenario ante operam

Nelle figure seguenti si riportano le aree di allagamento, espresse in termini di battenti massimi (m) e velocità massime (m/s) nelle condizioni ante operam e post operam in corrispondenza del viadotto di progetto, per i diversi tempi di ritorno indagati.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 35 di 70

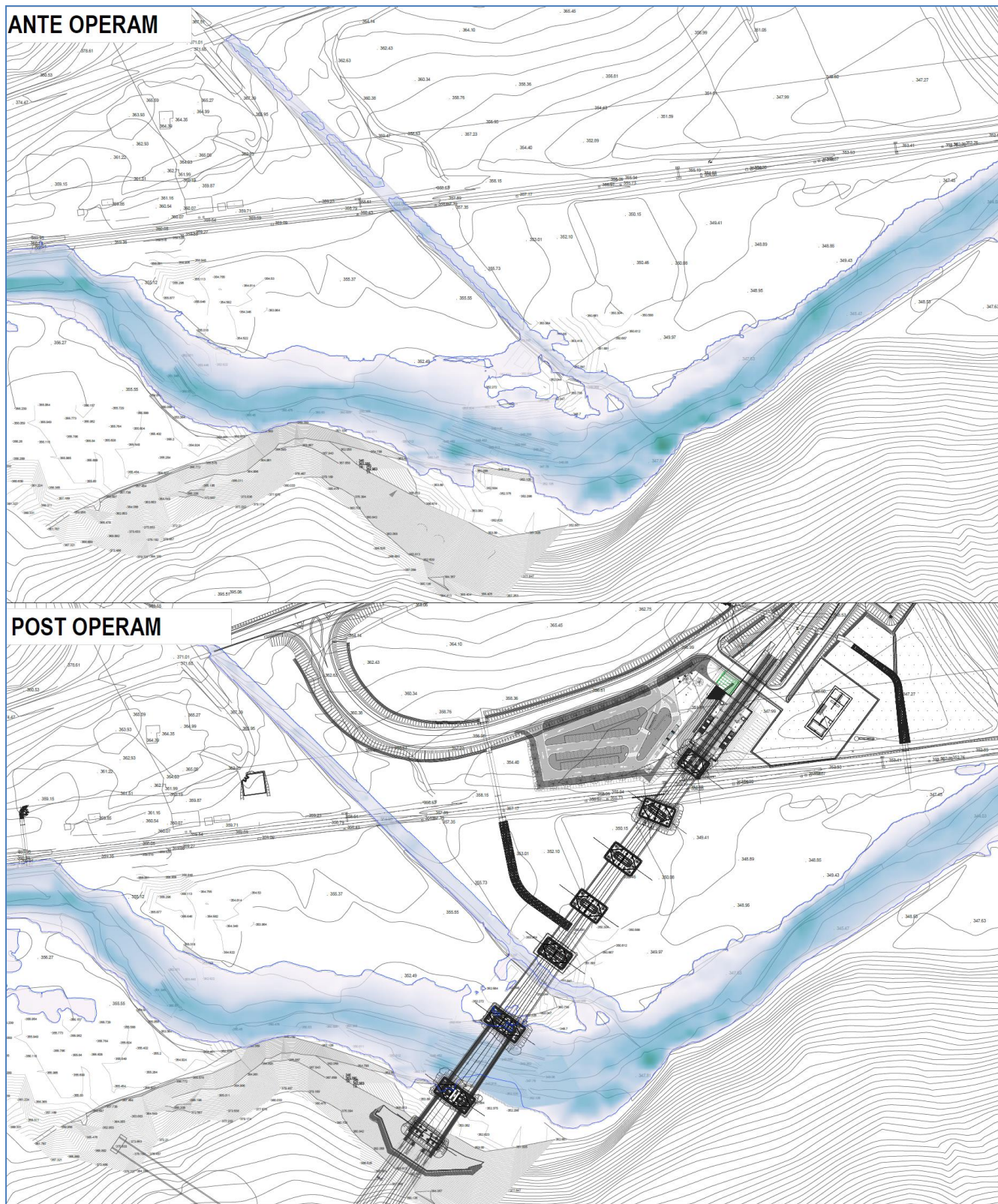


Figura 5-1 – Aree di allagamento espresse in battenti (m) ante operam (in alto) e post operam (in basso) per TR 30 anni.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 36 di 70

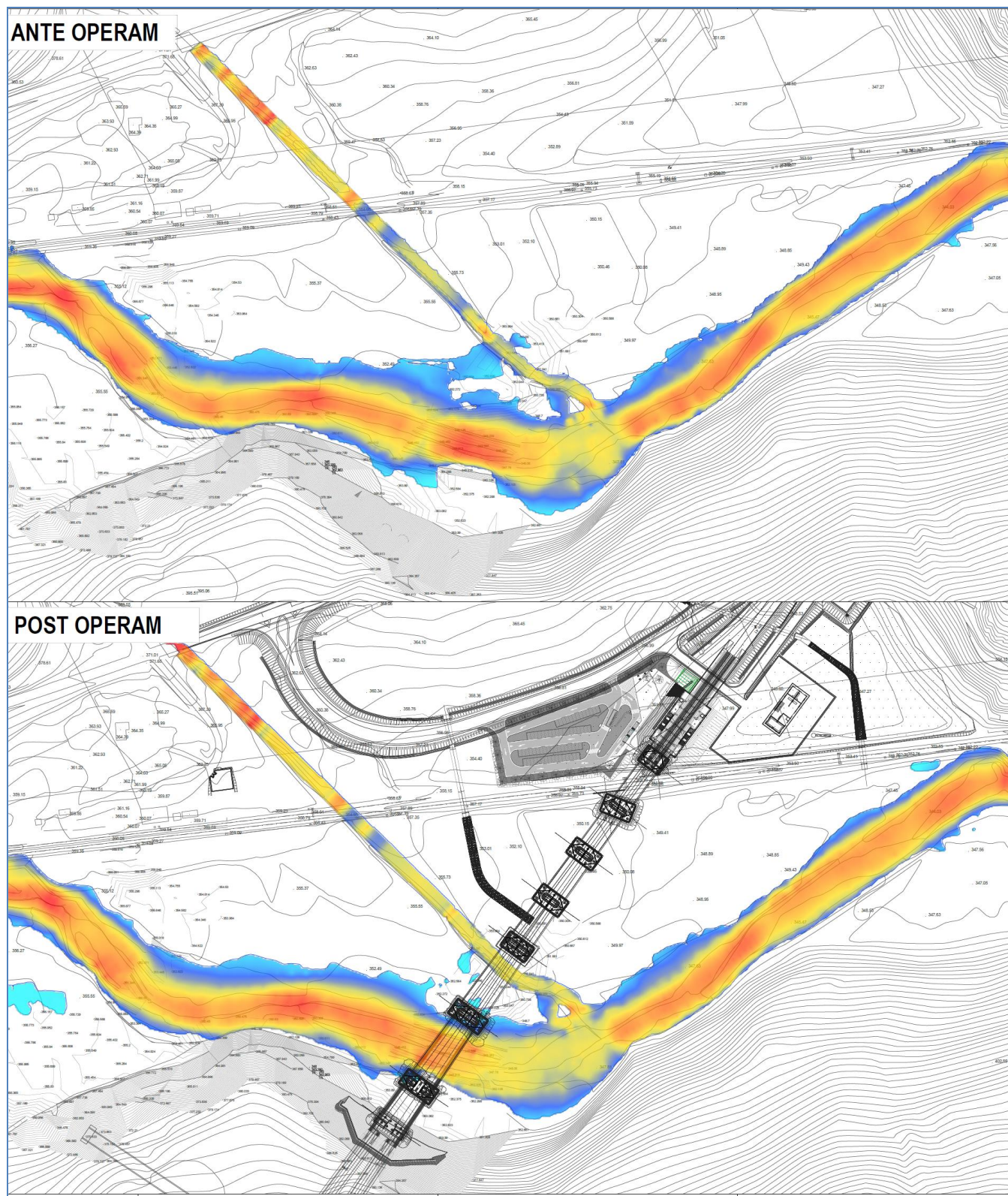


Figura 5-2 – Aree di allagamento espresse in velocità (m/s) ante operam (in alto) e post operam (in basso) per TR 30 anni.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 37 di 70

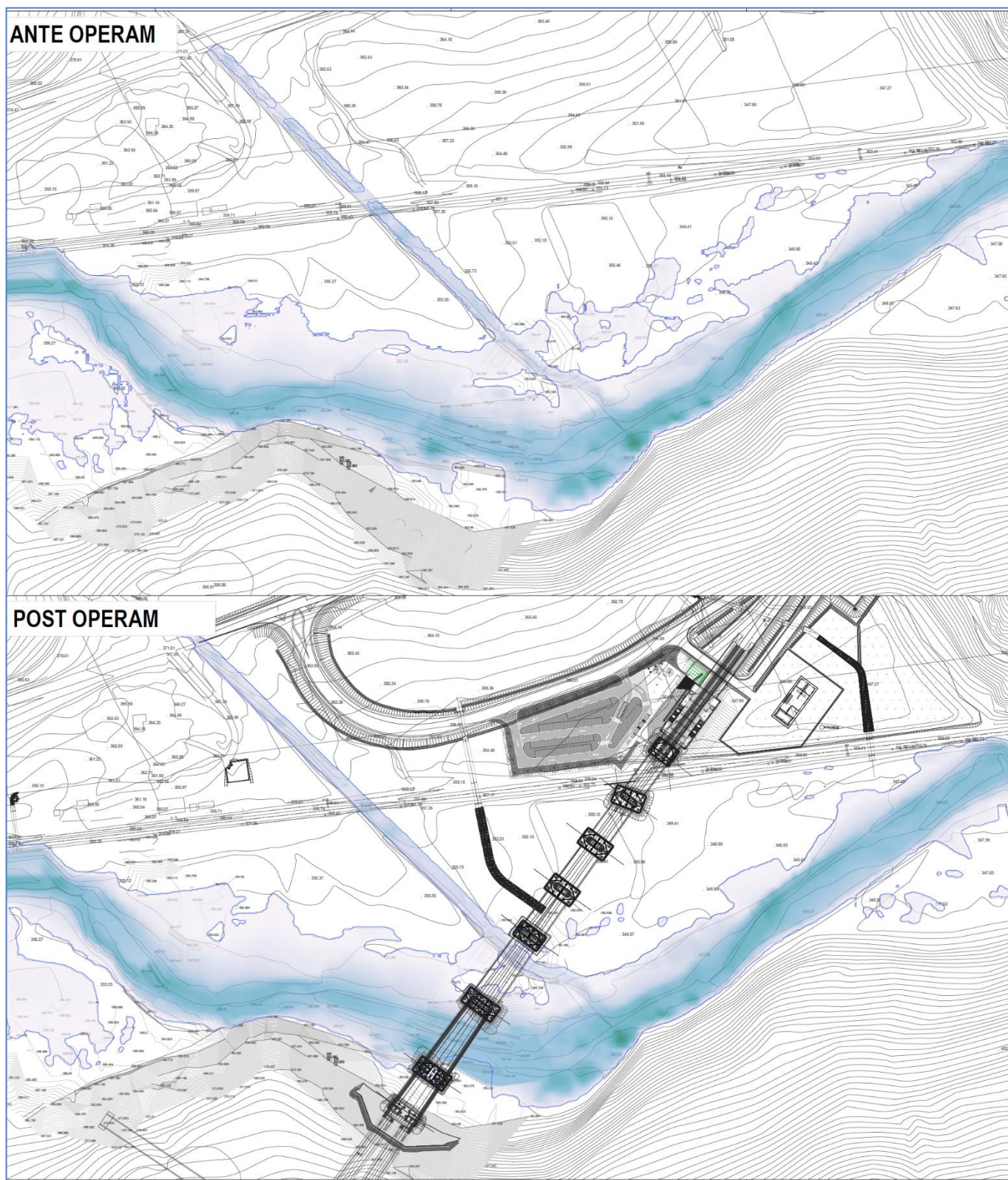


Figura 5-3 – Aree di allagamento espresse in battenti (m) ante operam (in alto) e post operam (in basso) per TR 200 anni.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 38 di 70

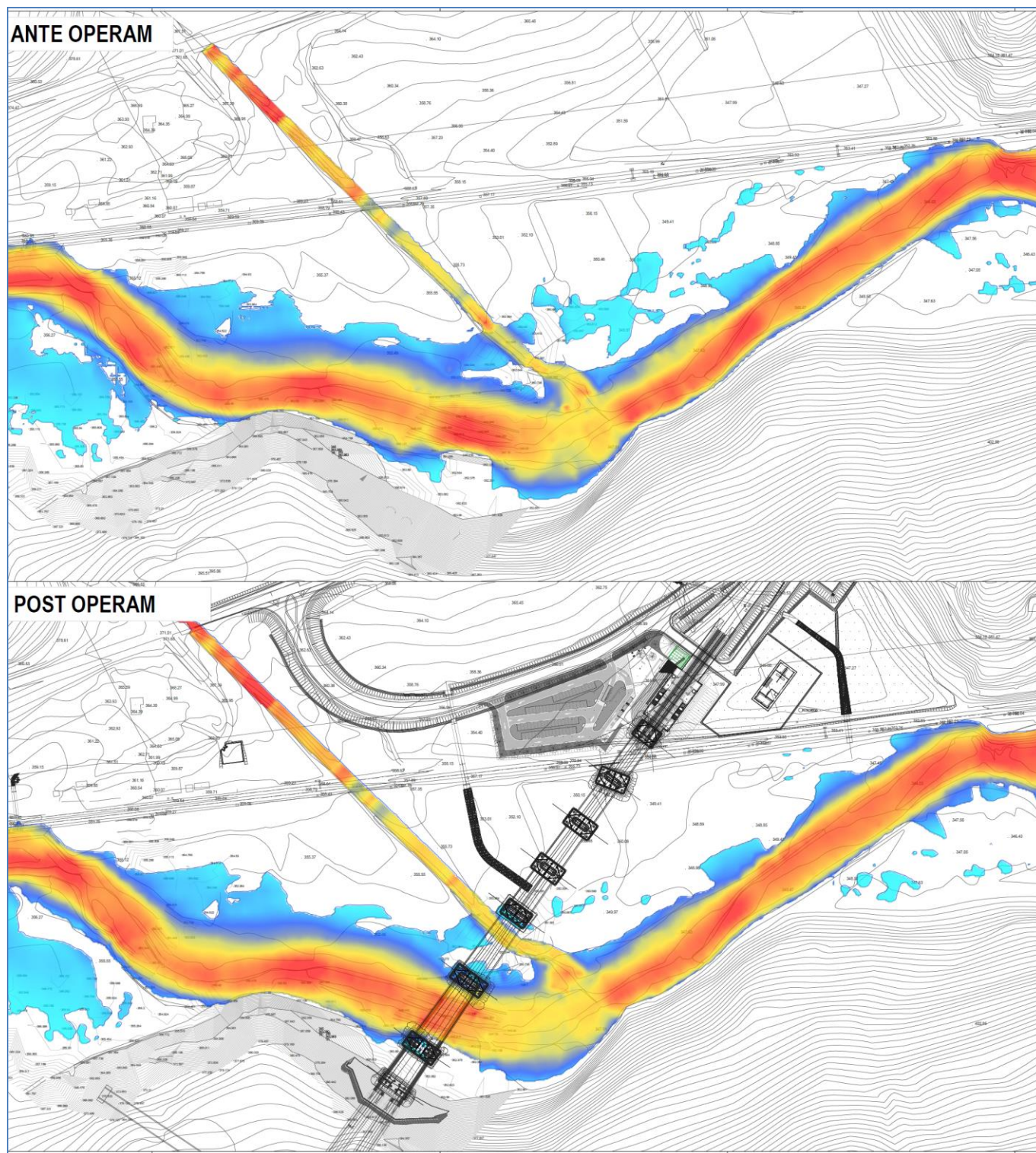


Figura 5-4 – Aree di allagamento espresse in velocità (m/s) ante operam (in alto) e post operam (in basso) per TR 200 anni.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 39 di 70

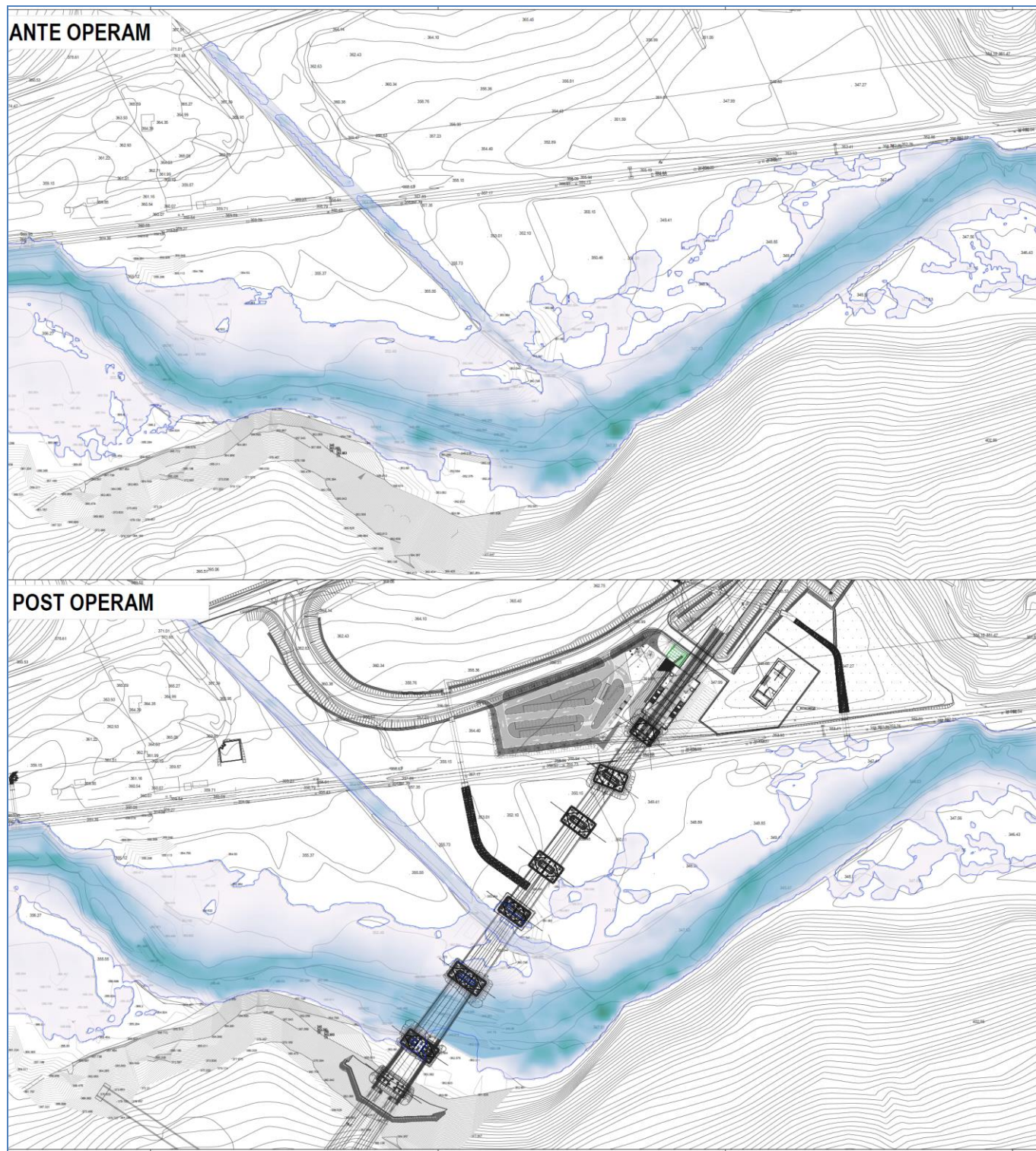


Figura 5-5– Aree di allagamento espresse in battenti (m) ante operam (in alto) e post operam (in basso) per TR 300 anni.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 40 di 70

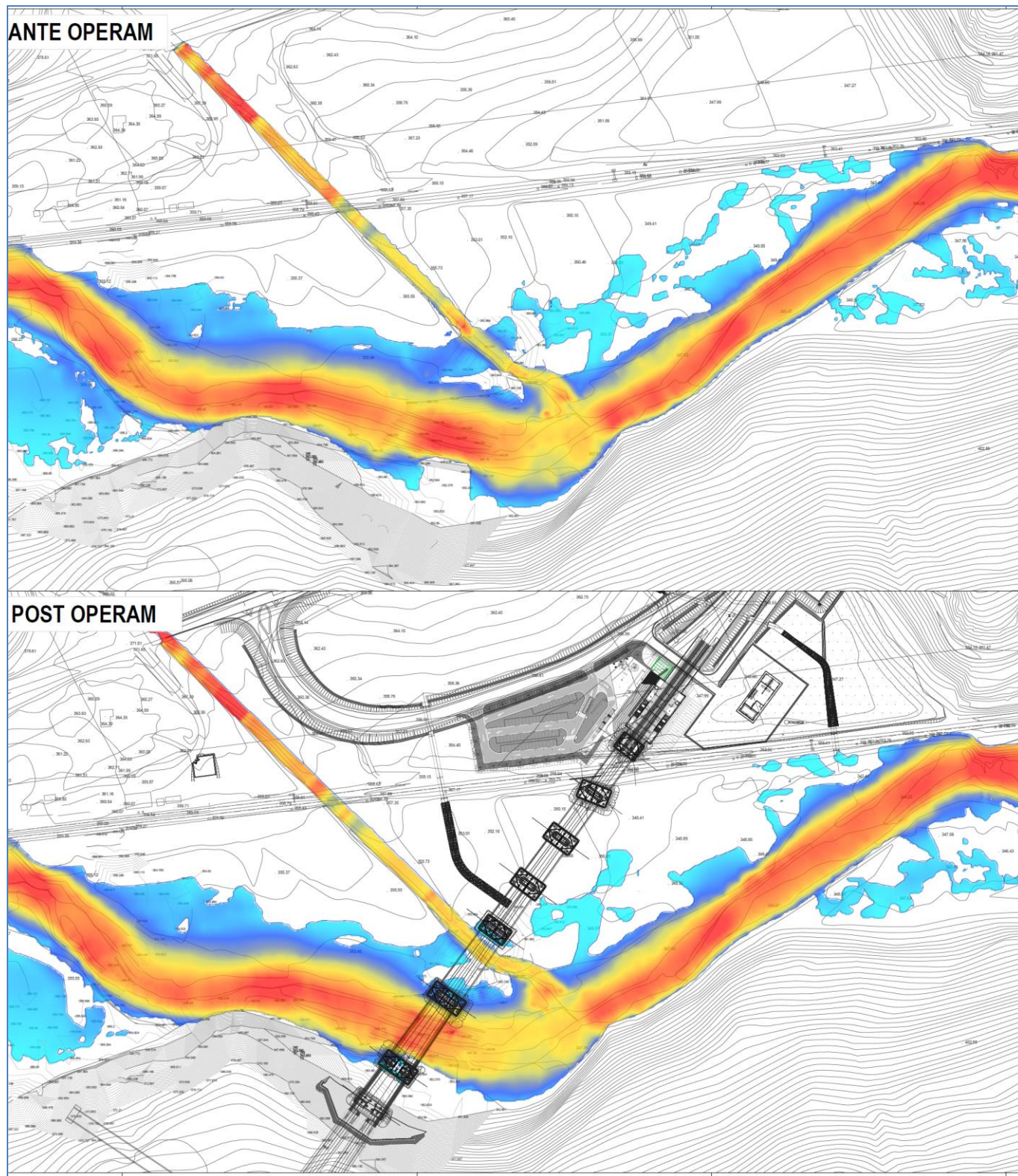


Figura 5-6 – Aree di allagamento espresse in velocità (m/s) ante operam (in alto) e post operam (in basso) per TR 300 anni.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 41 di 70



Figura 5-7 – Aree di allagamento espresse in battenti (m) ante operam (in alto) e post operam (in basso) per TR 500 anni.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 42 di 70

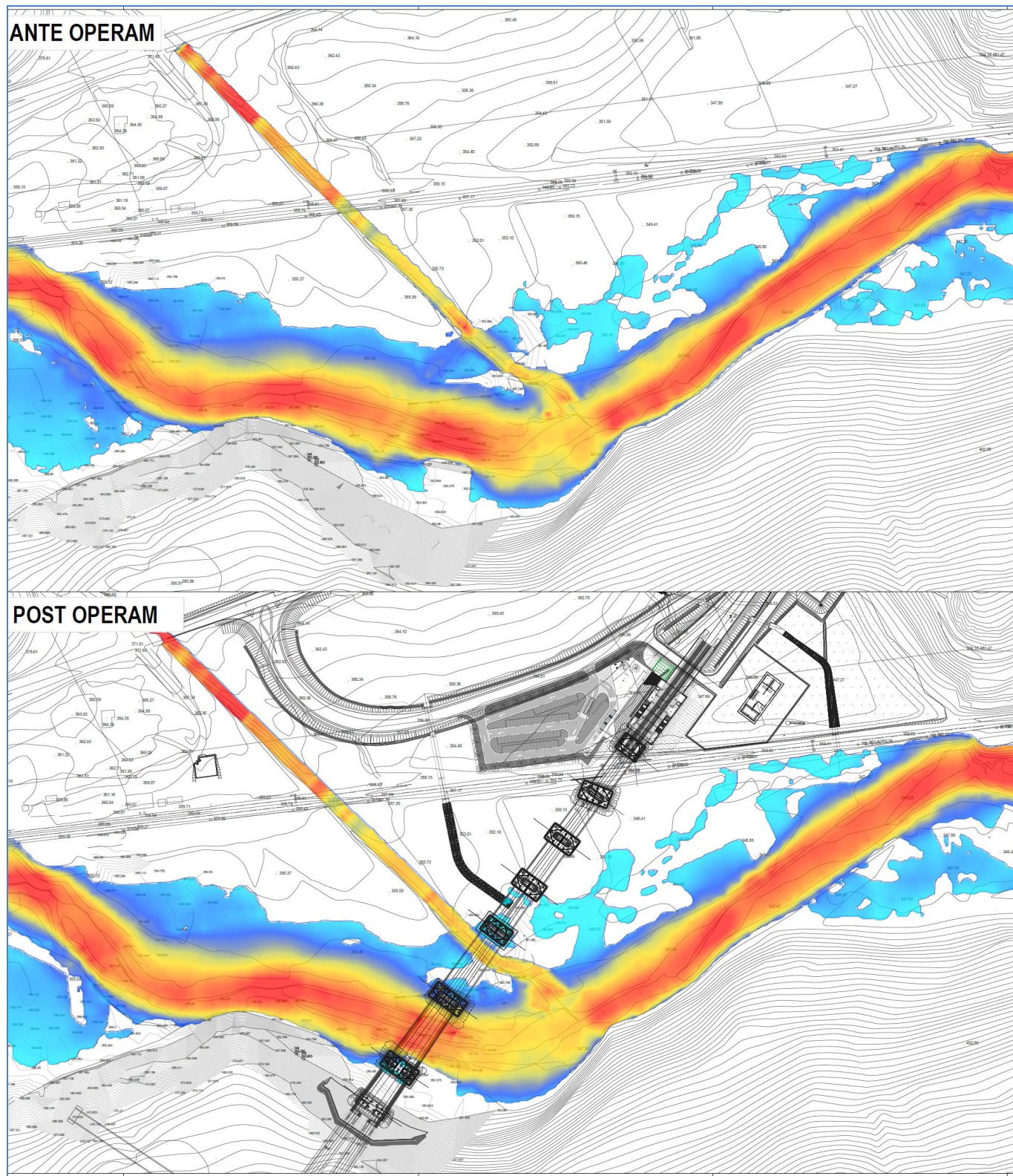


Figura 5-8 – Aree di allagamento espresse in velocità (m/s) ante operam (in alto) e post operam (in basso) per TR 500 anni.

APPALTATORE: Consortio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	PIZZAROTTI				ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	

5.1.3 Verifica del franco di progetto

La verifica del franco di progetto è eseguita secondo le diverse normative e regolamenti di riferimento così come indicato in precedenza e che riportano tutte la verifica a 200 anni Nella tabella seguente si riportano le verifiche eseguite per i tempi di ritorno 200 e 300. Il viadotto risulta ampiamente verificato.

TR (anni)	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
200	356,70	351,35	353,05	5,35 (> 1.50)	3,65	OK
300		351,45	353,20	5,25 (> 1.50)	3,50 (> 0,50)	OK

Tabella 7 – Verifica del franco idraulico del viadotto VI01 secondo le indicazioni di normativa e regolamenti di progettazione vigenti (Risultati del presente studio)

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
NTC (Tr 200 anni)	356,70	353,30	-	3,40 (> 1.50)	-	OK
Manuale RFI (Tr 300 anni)		353,50	355,30	3,20 (> 1.50)	1,40 (> 0,50)	OK

Tabella 8 – Verifica del franco idraulico del viadotto VI01 secondo le indicazioni di normativa e regolamenti di progettazione vigenti (Progetto Definitivo).

In Tabella sono stati riportati anche i valori ottenuti in sede di progettazione definitiva. La differenza tra PD e PE sulle estensioni delle aree allagabili è dovuta principalmente allo schema idraulico adottato, ovvero nel PE è stata simulata l'immissione in sinistra del T. Acquara, mentre nel PD è stato considerato un unico idrogramma in ingresso nel Cervaro, da qui la differenza di passaggio dei picchi di piena.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 44 di 70

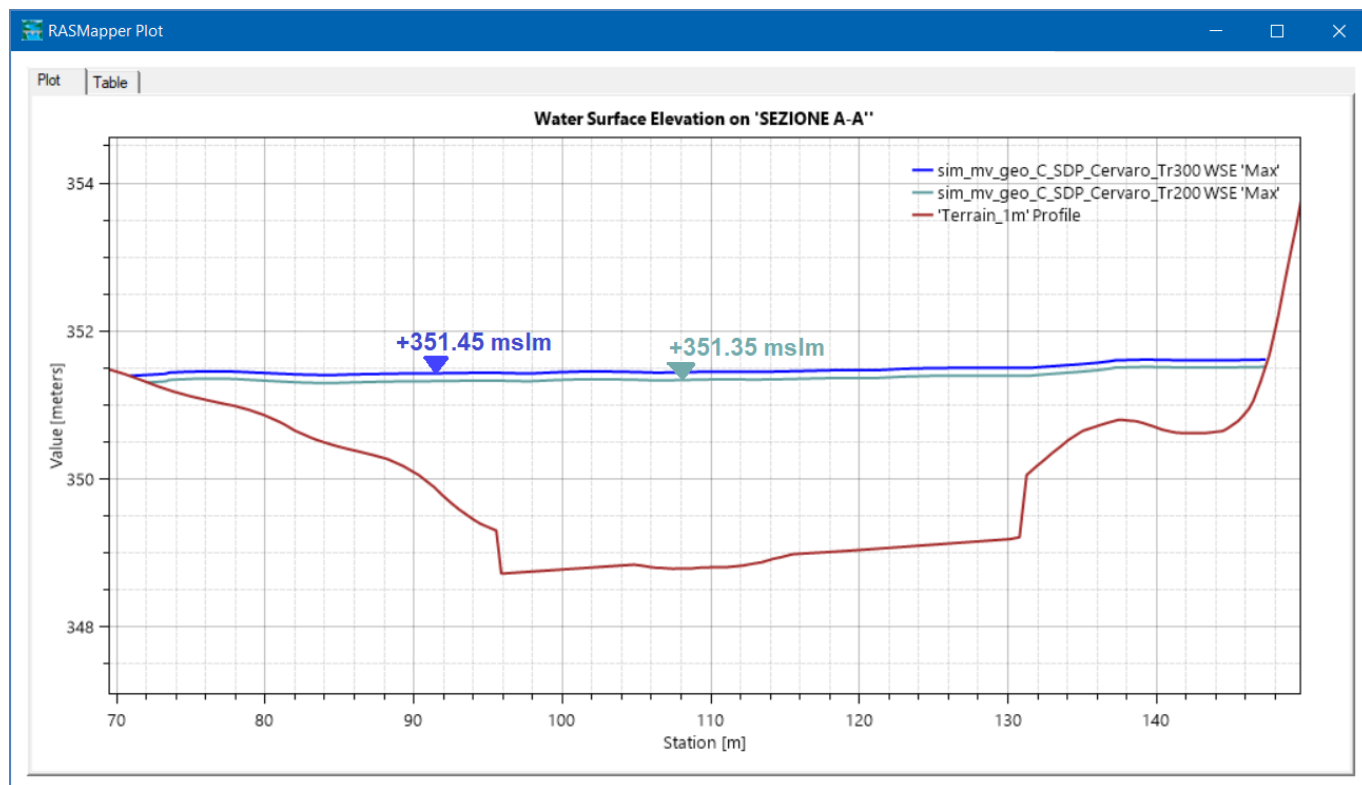


Figura 5-9 – Confronto livelli idrici massimi (mslm) in corrispondenza del viadotto VI01 per TR 200 e 300 anni

Le due campate di scavalco (luce = 60 m) del viadotto in progetto presentano una luce netta di 48m, **rispettando quindi la distanza minima (40 m) richiesta dalle NTC 2018 per la portata di progetto**. Inoltre, la distanza tra la quota di fondo alveo e quella di sottotrave è pari a circa 6,3 m (fondo alveo = +348.42 m slm; quota di sotto-trave = +356.70 m slm), ampiamente sufficiente a garantire il passaggio di eventuali materiali galleggianti, senza possibilità che gli stessi si incastrino a causa della presenza dell'infrastruttura e occludano parzialmente o totalmente la sezione di deflusso. Per le valutazioni sul trasporto solido di fondo si rimanda alla Relazione dello Studio di geomorfologia fluviale IF3A02EZZRIID0002004A.

5.1.4 Opere provvisorie e cantierizzazione

Per consentire la realizzazione del nuovo viadotto, in particolare delle fondazioni delle pile del ponte ferroviario, si prevede la realizzazione di opere provvisorie in alveo, il cui dimensionamento necessita della determinazione del livello idrico corrispondente alla cosiddetta 'portata di cantiere', associata (nel caso in esame) ad un tempo di

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 45 di 70

ritorno pari a 15 anni, secondo quanto riportato nell'elaborato annesso IF3A02EZZRIID0001000A – *Relazione idrologica*. Nella simulazione idraulica dello scenario “Tr 15 anni” sono state considerate anche le opere di attraversamento provvisorie sul T. Cervaro e sull'affluente T. Acquara, annesse alle viabilità di cantiere necessarie per le operazioni di costruzione/realizzazione non soltanto del viadotto VI01, ma anche dell'imbocco della galleria GN01. Sono fornite quindi indicazioni anche in merito alla compatibilità idraulica delle aree destinate all'allestimento del cantiere. La simulazione è stata condotta utilizzando il software HEC-RAS 6.1.0. e adottando sempre una schematizzazione bidimensionale, in regime di moto vario. Di seguito, gli idrogrammi applicati come condizione al contorno di monte; per quanto concerne la condizione al contorno di valle, è stato imposto *Normal Depth* = 0.01.

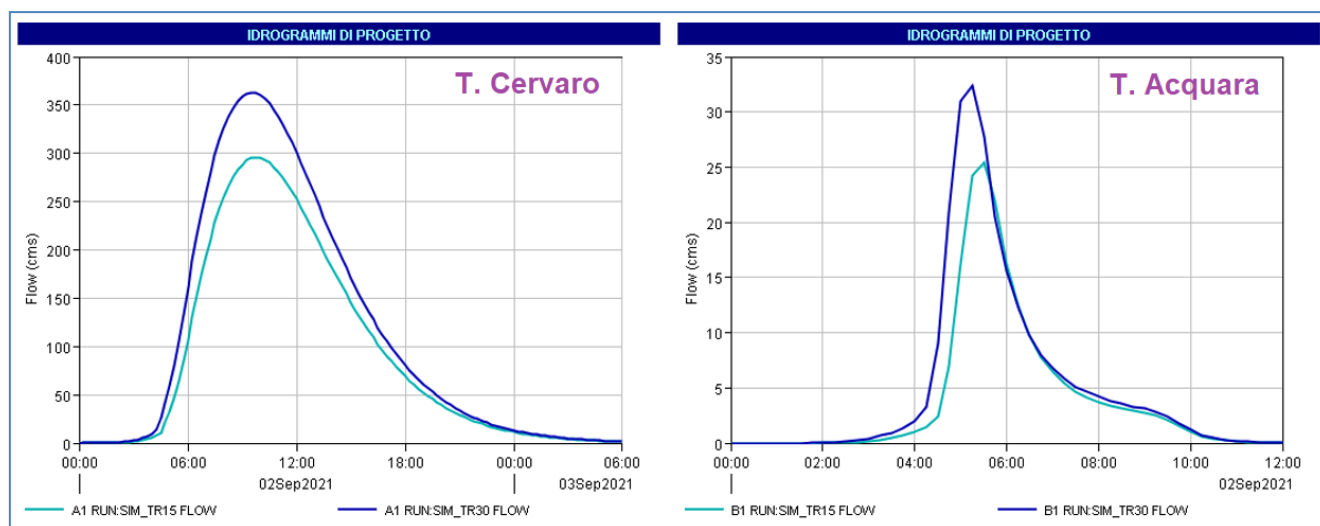


Figura 5-10 – T. Cervaro e T. Acquara: idrogrammi di piena per Tr 15 e 30 anni.

Di seguito in Figura 5-11 si riportano i risultati della modellazione idraulica nello scenario relativo alle cantierizzazioni condotta per i tempi di ritorno di 15 e 30 anni. In particolare, nella figura sono riportati per ciascun guado i confronti degli allagamenti espressi in termini di battenti massimi ottenuti per i tempi di ritorno di 15 e 30 anni. Da quanto emerge dai risultati ottenuti dalla simulazione condotta con riferimento al Tr 15 anni risulta che la portata di piena di riferimento resta sempre contenuta in alveo. Le opere di attraversamento provvisorie non determinano quindi variazioni significative dei profili di rigurgito, tali da provocare esondazioni localizzate del T. Cervaro e del T. Acquara.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 46 di 70

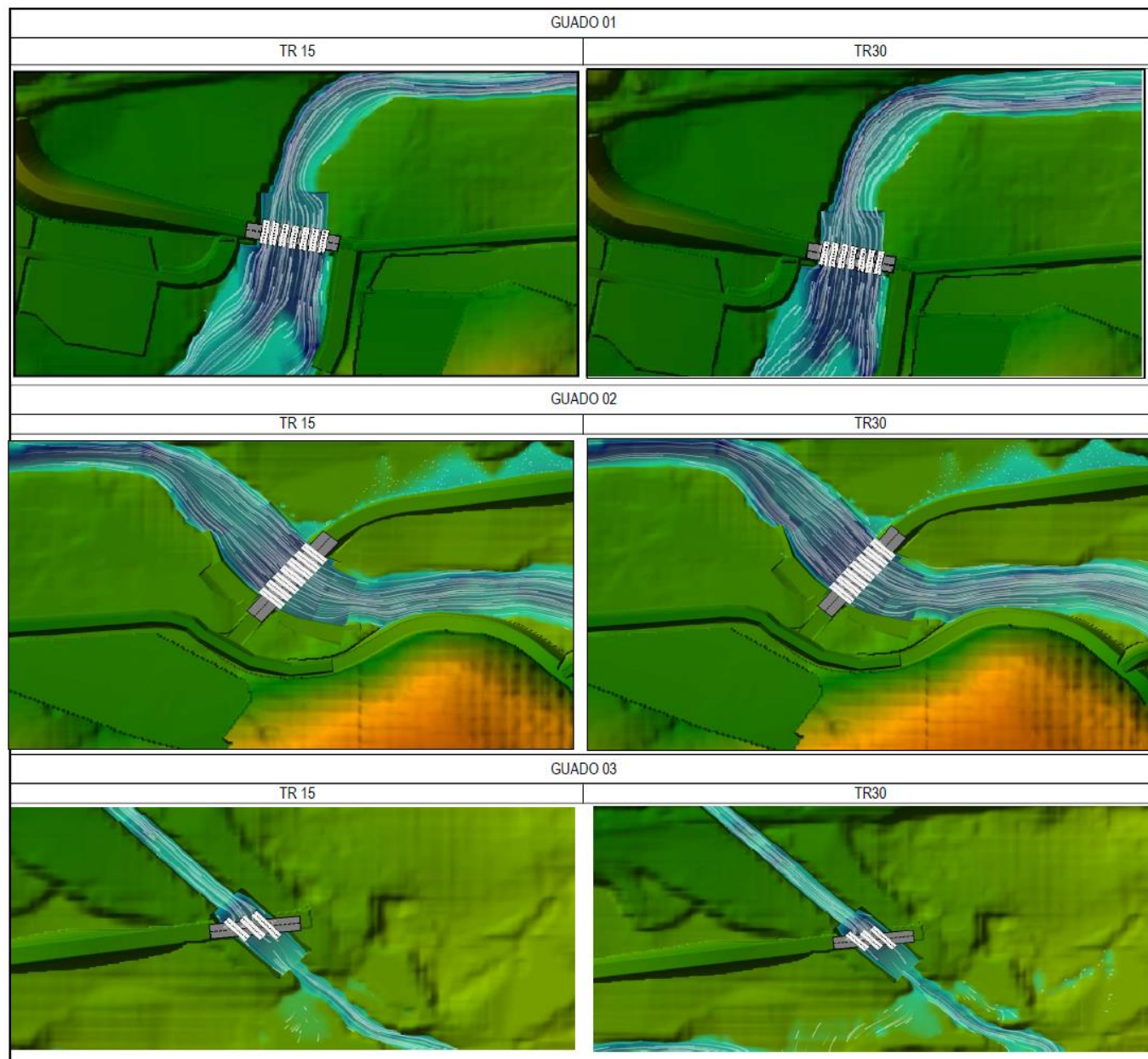


Figura 5-11 – T. Cervaro e T. Acquara: risultati modellazione idraulica Tr 15 e 30 anni (scenario “di cantiere”).

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 47 di 70

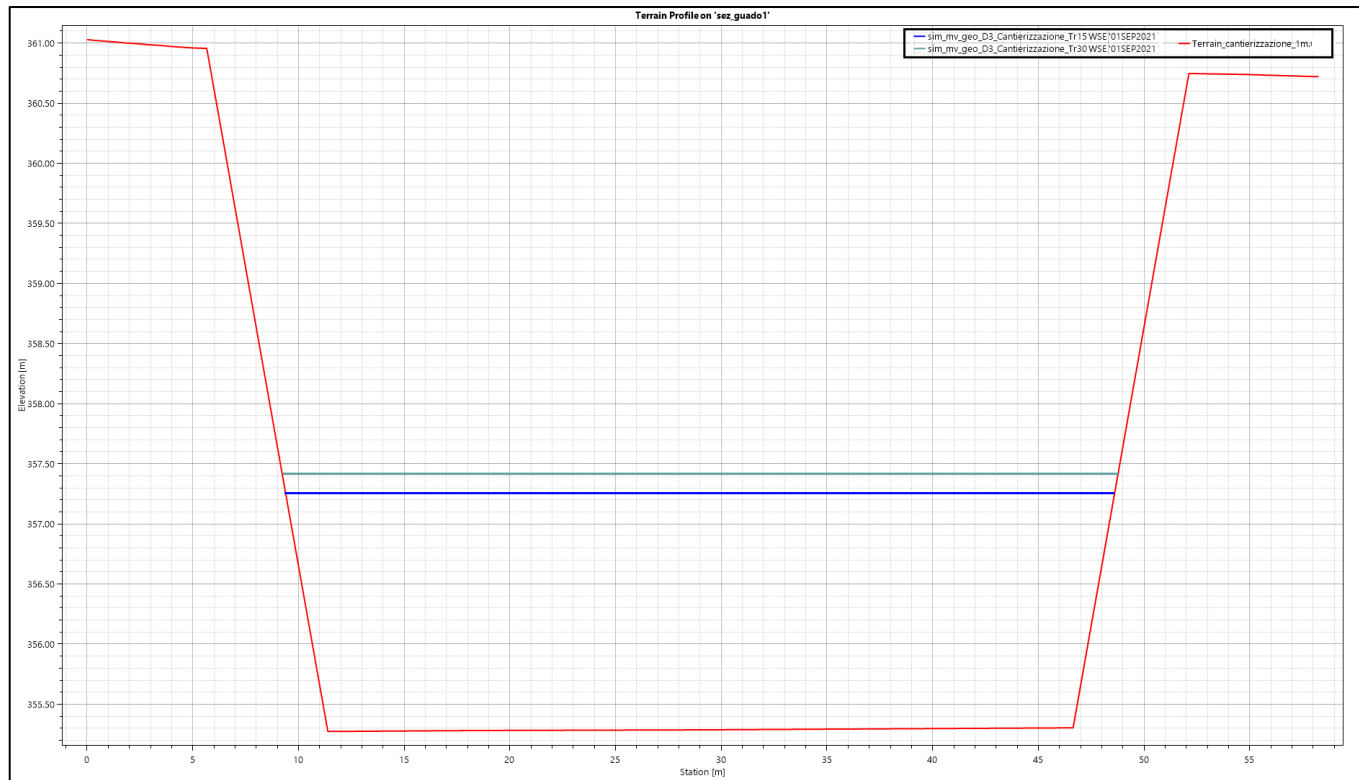


Figura 5-12 – Livelli idrici in corrispondenza del guado 01 (Tr 15 e 30 anni)

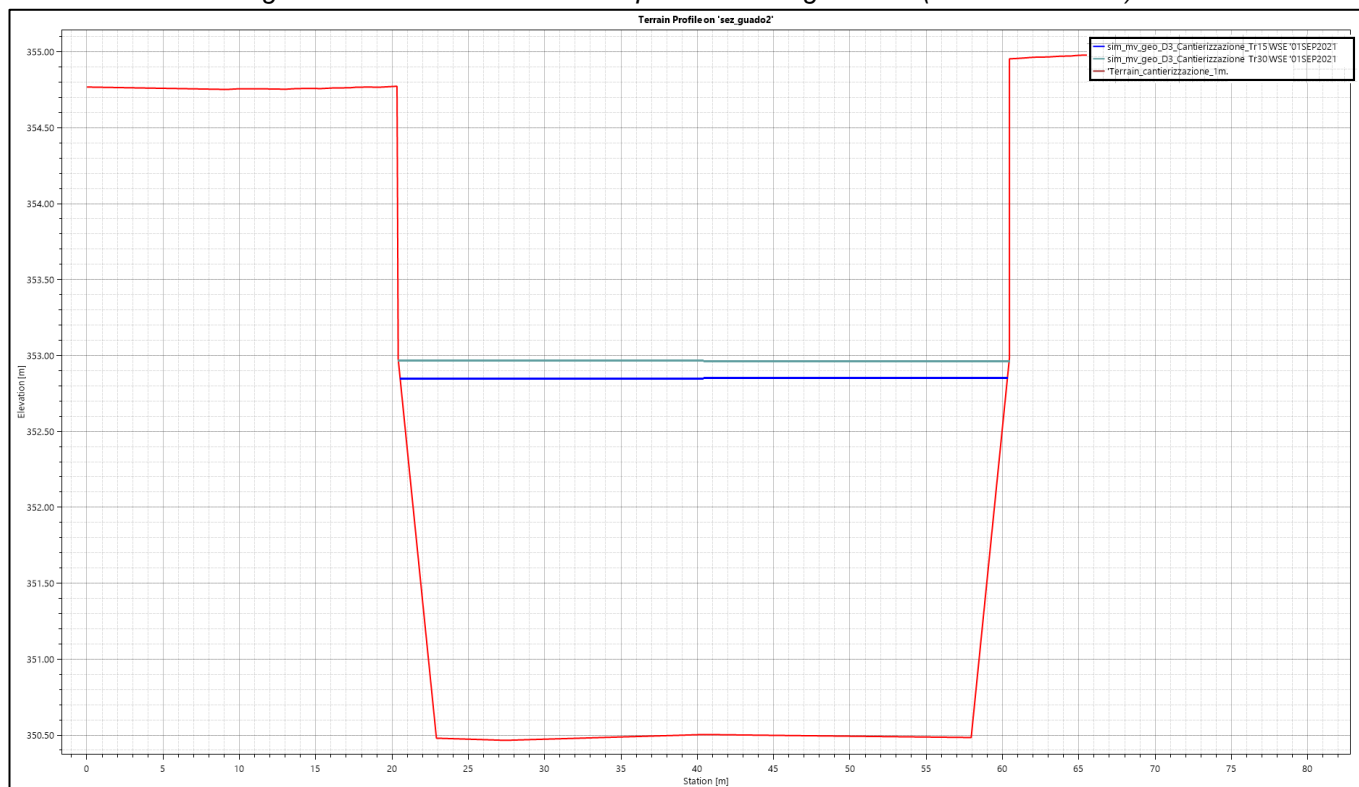


Figura 5-13 – Livelli idrici in corrispondenza del guado 02 (Tr 15 e 30 anni)

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI			ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA			RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 48 di 70

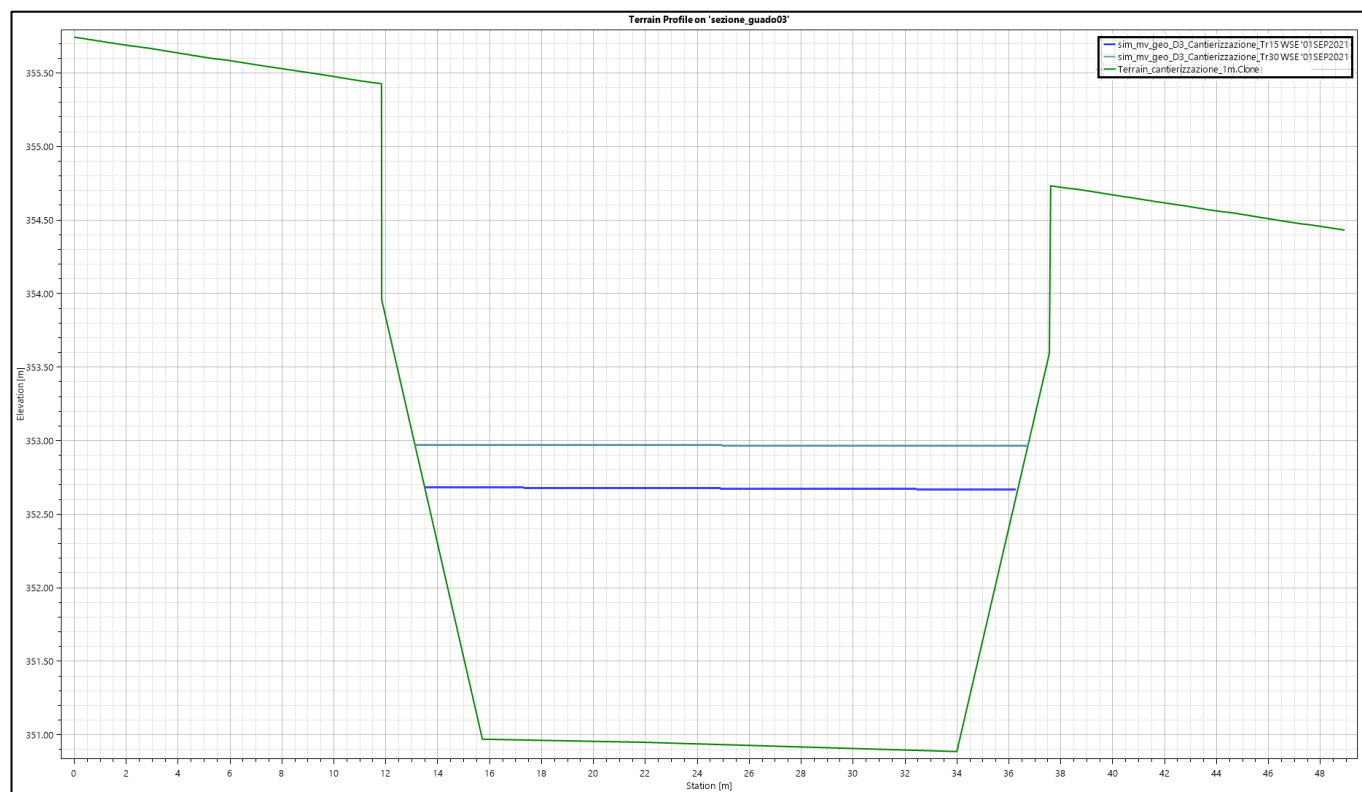


Figura 5-14 – Livelli idrici in corrispondenza del guado 03 (Tr 15 e 30 anni)

	Livello idrico max (m slm)			Grado di riempimento max		
	Guado 01	Guado 02	Guado 03	Guado 01	Guado 02	Guado 03
TR15 anni	357.59	352.74	352.69	76%	70%	62%
TR30 anni	357.83	352.93	352.97	85%	76%	73%

Tabella 9 – Caratteristiche di deflusso in corrispondenza dei tre guadi previsti

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 49 di 70

6 SISTEMAZIONI IDRAULICHE

Nel presente paragrafo si affrontano le tematiche inerenti alla stima dello scalzamento alle pile dei ponti interessate dai deflussi di piena. Tale stima si basa sull'applicazione di formulazioni empiriche presenti in letteratura e fondate su parametri che considerano, in generale, le geometrie delle pile e dei plinti in pianta, le caratteristiche cinematiche della corrente, la direzione di quest'ultima rispetto alla struttura e infine il materiale d'alveo. Per quanto riguarda il materiale d'alveo, tali formulazioni si basano su materiale di tipo fluviale, ovvero, materiale granulare non coesivo. Questo porta a considerare una stratigrafia profonda caratterizzata esclusivamente da tale materiale senza considerare eventuali strati profondi di natura coesiva o comunque strati consolidati tendenzialmente non erodibili. Eventuali limitazioni delle altezze di scalzamento possono essere eseguite a valle delle elaborazioni tenuto conto di formazioni di base profonde competenti desunte dai sondaggi eseguiti nell'area in esame.

Al fine di integrare lo studio condotto in fase di PD sono state aggiunte due ulteriori formulazioni per la stima dello scalzamento, ovvero, il metodo CSU e il metodo di Breusers.

6.1 VERIFICA ALLO SCALZAMENTO

Nel presente capitolo viene analizzato lo scalzamento massimo atteso del fondo alveo e delle aree golenali in corrispondenza delle pile di sostegno dell'impalcato ferroviario in occasione degli eventi di piena di progetto.

Lo scalzamento, causato dallo scavo e dall'erosione di materiale dal fondo e dalle sponde dell'alveo, come conseguenza dell'azione erosiva della corrente, può mettere in crisi la stabilità di un ponte, fino ad esporne totalmente le fondazioni.

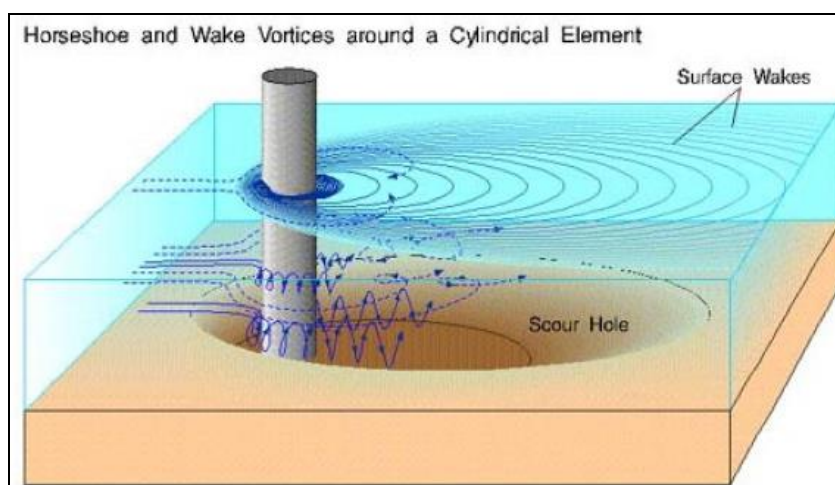


Figura 6-1 – Schematizzazione delle turbolenze e dello scavo nell'intorno di una pila circolare isolata.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>D</td> <td>50 di 70</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 001	D	50 di 70
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 001	D	50 di 70													
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali																		

La presenza delle pile in alveo causa un aumento della velocità, rilevata dall'addensamento delle linee di corrente. In corrispondenza delle pile si viene a formare un grosso vortice a ferro di cavallo che interessa planimetricamente tutta l'area circostante la pila e che è il principale responsabile dell'erosione (Figura 6-1).

Il fenomeno dell'erosione localizzata dipende da numerosi parametri legati sia alle caratteristiche della corrente e dell'alveo (portata, battente, velocità della corrente, capacità di trasporto, caratteristiche del materiale dell'alveo, ecc.), che a quelle dell'ostacolo (forma e dimensioni, inclinazione rispetto alla direzione di flusso).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 51 di 70

6.1.1 Metodi di calcolo dello scalzamento

Per il calcolo dell'erosione localizzata dovuta alla presenza di una pila sono state utilizzate le formule riportate di seguito. Si specifica che per la trattazione della stima dell'escavazione massima in corrispondenza delle pile è stato fatto riferimento ai risultati della modellazione idraulica bidimensionale condotta in regime di moto vario e per i tempi di ritorno di 200 e 300 anni. A tal proposito si fa presente che trattandosi di modellazione bidimensionale è possibile, tra i risultati del modello idraulico, investigare con maggior dettaglio nei riguardi dei valori dei battenti e delle velocità massime che si instaurano in corrispondenza delle pile oggetto di studio. Tuttavia, i risultati delle verifiche a scalzamento condotte nel seguito di questo capitolo, e la stima della massima profondità di scavo ricavata dall'applicazione delle differenti metodologie utilizzate, sono da intendersi con riferimento alla quota di thalweg della medesima sezione di riferimento, in conformità anche a quanto riportato nella "Relazione di calcolo fondazioni pile P1, P2, P3" (elaborato IF3A02EZZCLV10103002B) cui si rimanda per ulteriori dettagli.

6.1.1.1 METODO SHEPPARD - MELVILLE

Per il calcolo dell'erosione localizzata dovuta alla presenza di una pila, in letteratura sono disponibili differenti formulazioni, determinate sperimentalmente, valide quindi in particolari condizioni. Nel caso in esame, si è fatto riferimento alla formulazione di Sheppard-Melville (2013):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{y_s}{a^*} = 2.5f_1f_2f_3 \quad \text{for } 0.4 < \frac{V_1}{V_c} < 1.0 \\ \frac{y_s}{a^*} = f_1 \left[2.2 \left(\frac{\frac{V_1}{V_c} - 1}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) + 2.5f_3 \left(\frac{\frac{V_{1p}}{V_c} - \frac{V_1}{V_c}}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) \right] \quad \text{for } 1 < \frac{V_1}{V_c} < \frac{V_{1p}}{V_c} \\ \frac{y_s}{a^*} = 2.2f_1 \quad \text{for } \frac{V_1}{V_c} > \frac{V_{1p}}{V_c} \end{array} \right.$$

con

- $V_{1p} = \max(V_{1p1}; V_{1p2}), V_{1p1} = 5V_c; V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$
- $V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln\left(\frac{73.5y_1}{d_{50}[Re(2.85 - 0.58 \ln(Re) + 0.002Re) + \frac{111}{Re} - 6]}\right) & \text{for } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln\left(\frac{2.21y_1}{d_{50}}\right) & \text{for } Re > 70 \end{cases}$
- $Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}; u^* = \left[16.2 \cdot d_{50} \left(\frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{5n}} - d_{50} (38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005 \right) \right]^{0.5}$
- $y_1 = \text{tirante idrico (m)}$
- $f_1 = \tanh\left[\left(\frac{y_1}{a^*}\right)^{0.4}\right]$
- $f_2 = \left\{ 1 - 1.2 \left[\ln\left(\frac{V_1}{V_c}\right) \right]^2 \right\}$
- $f_3 = \left[\frac{\left(\frac{a^*}{d_{50}}\right)}{0.4\left(\frac{a^*}{d_{50}}\right)^{1.2} + 10.6\left(\frac{a^*}{d_{50}}\right)^{-0.13}} \right]$

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 52 di 70

$$\bullet \ a^* = K_s a_p; \ a_p = a \cdot \cos\theta + L \cdot \sin\theta; \ K_s = \begin{cases} 1 & \text{(pila circolare)} \\ 0.86 + 0.97 \left(\left| \frac{\pi\theta}{180} - \frac{\pi}{4} \right| \right)^4 & \text{(pila rettangolare)} \end{cases} \quad (a = \text{larghezza della pila}; \ L = \text{lunghezza della pila}; \ \theta = \text{angolo di attacco } [^\circ])$$

Secondo gli studi condotti da Sheppard et al. (2013), riguardanti il confronto tra i valori di scalzamento osservati in laboratorio e in sito e quelli valutati secondo le più comuni ed utilizzate formule per il calcolo dello scalzamento (e.g. Melville, Froehlich, Breusers e CSU), **la formulazione Sheppard-Melville** fornisce valori più attendibili (e prossimi a quelli misurati) rispetto alle altre, per i seguenti campi di valori:

- $Y_1/a = 0.05 \div 10$
- $a/d_{50} = 3.65 \div 65047$
- $V_1/V_c = 0.4 \div 7.6$
- $FR = 0.03 \div 1.95$

Nel caso in esame, soltanto le Pile P1 e P2 risultano interessate dall'esonazione della piena di progetto (Tr 300). Le relative caratteristiche geometriche e i valori delle variabili idrauliche (velocità, tirante idrico, angolo di attacco) sono riportate nella tabella seguente.

ID Pila	a (pila)	L (pila)	a (plinto)	L (plinto)	Flow depth	Flow velocity	angle
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(°)
P1	5.00	17.00	12.20	26.00	2.70	0.80	34
P2	5.00	17.00	12.20	26.00	2.70	3.73	10

Tabella 10 – Calcolo dello scalzamento: valori delle variabili idrauliche e dimensioni delle pile e delle relative fondazioni.

In particolare, si ha: $Y_1/a = 0.20$; $a/d_{50} = 1220$ (con riferimento alla larghezza a del plinto di fondazione; $d_{50} = 1$ cm, come da curva granulometrica del campione prelevato in alveo; $V_1/V_c = 2.4$; $FR = 0.69$. La formulazione SM risulta quindi applicabile al corso d'acqua in esame: i valori di tirante e velocità, le dimensioni effettive delle pile e la granulometria del fondo alveo relativi al T. Cervaro rientrano nei campi dei valori ammissibili, per i quali ne è stata valutata l'attendibilità e l'affidabilità. In generale, è possibile riscontrare inoltre 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.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 53 di 70

Nel CASO I l'erosione localizzata viene calcolata facendo riferimento alla larghezza della pila b in quanto la presenza della fondazione risulta essere ininfluente 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 definita come:

$$b_e = b \cdot \left(\frac{h_0 + Y}{h_0 + b^*} \right) + b^* \cdot \left(\frac{b^* - Y}{h_0 + b^*} \right)$$

dove:

h_0 : profondità media della corrente rispetto al fondo alveo;

Y : altezza massima della buca erosiva;

b^* : larghezza della fondazione.

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

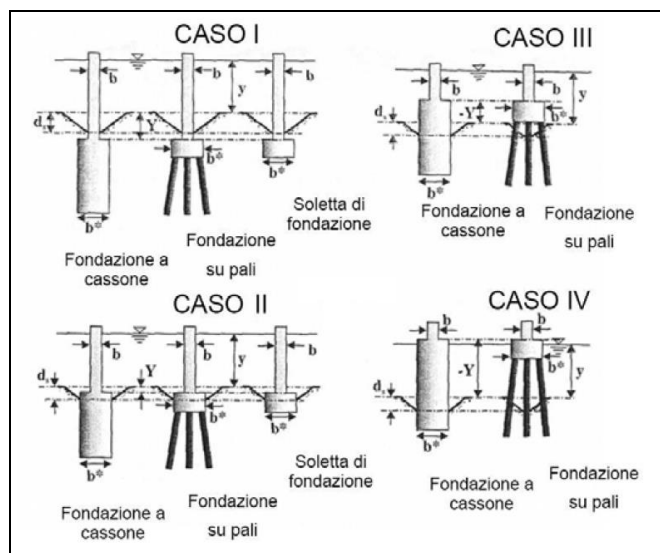


Figura 6-2 – Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.

Si riportano di seguito i valori di scalzamento, valutati con le dimensioni delle pile e dei plinti di fondazione, in corrispondenza delle pile prese in esame (P1 e P2).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 54 di 70

ID Pila	Scour depth (pila)	Scour depth (plinto)
	(m)	(m)
P1	0.45	-
P2	7.13	11.98

Tabella 11 – Valori di scalzamento in corrispondenza delle pile P1 e P2.

Con riferimento alla Pila P1, la profondità di scalzamento, a causa della modestissima velocità della corrente, è sostanzialmente trascurabile. Mentre per la Pila P2, ricadendo nel caso IV precedentemente descritto, lo scalzamento si attesta a **14.40 m** di profondità.

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER					PINI
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 55 di 70

6.1.1.2 METODO BREUSERS

La formula di Breusers et al. (1977), aggiornata da Elliot e Baker calcola lo scavo localizzato nel seguente modo:

$$\frac{Y_s}{b} = f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) \cdot \left[2 \operatorname{thn}\left(\frac{Y_0}{b}\right) \right] \cdot f_2(\text{forma}) \cdot f_3\left(\alpha, \frac{L}{b}\right) \cdot f_4(b, a)$$

dove:

- Y_s : profondità di scavo a partire dal fondo del terreno indisturbato
- B : larghezza della pila
- L : lunghezza della pila
- a : interasse tra le pile
- V_0 : velocità media della corrente indisturbata
- V_c : velocità critica di trascinamento relativa al materiale di diametro d ; per i miscugli si adotta $d=d_{50}$ e si può

ottenere la velocità critica dalla $V_c = 0,85 \sqrt{2gd_{50}(\gamma_s - \gamma)/\gamma}$ dove γ_s è il peso specifico del materiale di fondo pari a 2600 Kg/mc e γ è il peso specifico dell'acqua

- d_{50} : dimensione media del materiale
- α : angolo tra la direzione della corrente indisturbata e la pila
- f_1 : coefficiente che tiene conto delle caratteristiche del materiale in rapporto a quelle della corrente, pari a:
 - $f_1 = 0$ per $(V_0/V_c) \leq 0.5$
 - $f_1 = 2 \cdot V_0/V_c - 1$ per $0.5 < (V_0/V_c) \leq 1.0$
 - $f_1 = 1$ per $(V_0/V_c) > 1.0$
- f_2 : coefficiente di forma, pari a
 - $f_2 = 1.00$ per pile circolari o con fronti arrotondate
 - $f_2 = 0.75$ per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente
 - $f_2 = 1.30$ per pile rettangolari
- f_3 : coefficiente funzione della forma e dell'inclinazione della pila, ricavabile dalla figura seguente

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 56 di 70

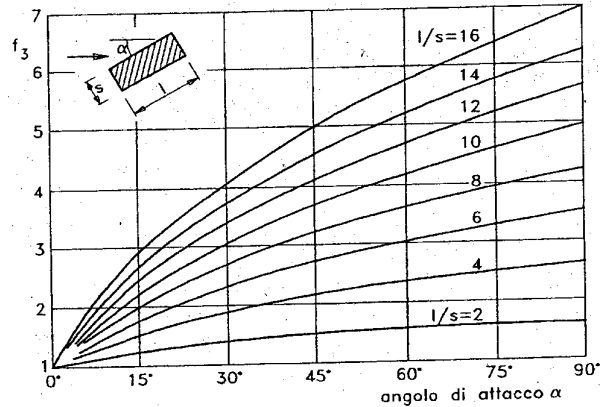


Figura 6-3. – Grafico per il calcolo del coefficiente f_3

- f_4 : coefficiente che tiene conto dell'interasse tra le pile (a), pari a

$$f_4 = 1 + 1.79/(a/b - 1)^{0.695} \quad \text{per } a/b < 4$$

$$f_4 = 2.95 - 0.278 \cdot (a/b) \quad \text{per } 4 < a/b < 7$$

$$f_4 = 1 \quad \text{per } a/b \geq 7$$

Il valore limite 7 è legato all'estensione laterale dello scavo in corrispondenza della pila. Magini ha ricavato sperimentalmente che, dette L la distanza tra l'asse della pila e il ciglio laterale della fossa e b la larghezza della pila, il rapporto L/b si mantiene, per tiranti idrici maggiori di b , circa uguale a 3.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'applicazione della formula di Breusers Rispettivamente per TR pari a 200 e 300 anni. Nello specifico il calcolo dell'escavazione è stato eseguito ipotizzando dapprima lo scalzamento dovuto unicamente alla presenza della pila e successivamente ipotizzando lo scalzamento dovuto alla presenza del plinto di fondazione. Dai risultati emerge uno scavo massimo in corrispondenza della pila P2 pari a 1.28 m mentre nel caso di plinto interessato dalla corrente si registra uno scavo massimo pari a 8.05 m in corrispondenza della pila P2. Si fa notare come per il tempo di ritorno di 300 anni, nel caso di plinto di fondazione interessato dal deflusso, si abbia una leggera riduzione della profondità di scavo, rispetto all'evento duecentennale, a causa della riduzione della velocità della corrente idrica, sebbene si registri anche un leggero incremento del tirante.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D FOGLIO 57 di 70

PILA			
BREUSERS – TR 200 ANNI			
PARAMETRO	U.M	P1	P2
b	(m)	5.00	5.00
L	(m)	17.00	17.00
V0	(m/s)	0.80	3.73
d50	(cm)	1.00	1.00
Vc	(m/s)	4.76	4.76
alfa	-	34.00	10.00
V0/Vc	-	0.17	0.78
L/B	(m/m)	3.40	3.40
f1	-	0.00	0.57
f2	-	1.30	1.30
f3	-	1.60	1.35
interasse_pile	(m)	60.00	60.00
int/b	(m/m)	12.00	12.00
f4	-	1.00	1.00
Y0	(m)	0.75	0.64
than(Y0/B)	-	0.15	0.13
Ys	(m)	0.00	1.27

PLINTO			
BREUSERS – TR 200 ANNI			
PARAMETRO	U.M	PILA 01	PILA 02
b	(m)	12.20	12.20
L	(m)	26.00	26.00
V0	(m/s)	0.80	3.73
d50	(cm)	1.00	1.00
Vc	(m/s)	4.76	4.76
alfa	-	34.00	10.00
V0/Vc	-	0.17	0.78
L/B	(m/m)	2.13	2.13
f1	-	0.00	0.57
f2	-	1.30	1.30
f3	-	1.30	1.30
interasse_pile	(m)	60.00	60.00
int/b	(m/m)	4.92	4.92
f4	-	1.55	1.58
Y0	(m)	2.70	2.70
than(Y0/B)	-	0.22	0.22
Ys	(m)	0.00	8.05

Tabella 12 – Valori di scalzamento con il metodo di Breusers in corrispondenza delle pile P1 e P2 nel caso di erosione della pila o del plinto (TR 200 anni)

PILA			
BREUSERS – TR 300 ANNI			
PARAMETRO	U.M	P1	P2
b	(m)	5.00	5.00
L	(m)	17.00	17.00
V0	(m/s)	1.10	3.60
d50	(cm)	1.00	1.00
Vc	(m/s)	4.76	4.76
alfa	-	34.00	10.00
V0/Vc	-	0.23	0.76
L/B	(m/m)	3.40	3.40
f1	-	0.00	0.51
f2	-	1.30	1.30
f3	-	1.60	1.35
interasse_pile	(m)	60.00	60.00
int/b	(m/m)	12.00	12.00
f4	-	1.00	1.00
Y0	(m)	0.90	0.72
than(Y0/B)	-	0.18	0.14
Ys	(m)	0.00	1.28

PLINTO			
BREUSERS – TR 300 ANNI			
PARAMETRO		PILA 01	PILA 02
b	(m)	11.00	12.20
L	(m)	26.50	26.00
V0	(m/s)	1.10	3.60
d50	(cm)	1.00	1.00
Vc	(m/s)	4.76	4.76
alfa	-	34.00	10.00
V0/Vc	-	0.23	0.76
L/B	(m/m)	2.41	2.13
f1	-	0.00	0.51
f2	-	1.20	1.20
f3	-	1.40	1.40
interasse_pile	(m)	60.00	60.00
int/b	(m/m)	5.45	4.92
f4	-	1.55	1.58
Y0	(m)	2.85	2.78
than(Y0/B)	-	0.25	0.22
Ys	(m)	0.00	7.44

Tabella 13 – Valori di scalzamento con il metodo di Breusers in corrispondenza delle pile P1 e P2 nel caso di erosione della pila o del plinto (TR 300 anni)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGGIO D 58 di 70

6.1.1.3 METODO COLORADO STATE UNIVERSITY (CSU)

Una delle formulazioni comunemente più utilizzate, valida per singola pila, è la nota equazione CSU (Colorado State University, 1995); tale espressione venne sviluppata sulla base sia di un'analisi dimensionale dei parametri in grado di influenzare il fenomeno, che a partire dai risultati ottenuti da sperimentazioni condotte in laboratorio. La relazione analitica proposta è la seguente:

$$\frac{Y_s}{Y_0} = 2,0 K_1 K_2 K_3 K_4 \left(\frac{b}{Y_0} \right)^{0,65} Fr_0^{0,43}$$

dove:

- y_s [m]: massima profondità di erosione (fase di equilibrio del processo erosivo) a partire dal fondo alveo medio locale;
- b [m]: larghezza della pila in metri;
- y_0 [m]: profondità media della corrente di monte;
- Fr_1 : Numero di Froude della corrente di monte;
- K_1 : fattore di correzione per la forma della pila;
- K_2 : fattore di correzione per l'angolo di attacco della corrente;
- K_3 : fattore di correzione per le condizioni del fondo alveo;
- K_4 : fattore di correzione per il materiale che compone il fondo alveo.

dove:

- y_s [m]: massima profondità di erosione (fase di equilibrio del processo erosivo) a partire dal fondo alveo medio locale;
- b [m]: larghezza della pila in metri;
- y_0 [m]: profondità media della corrente di monte;
- Fr_1 : Numero di Froude della corrente di monte;
- K_1 : fattore di correzione per la forma della pila;
- K_2 : fattore di correzione per l'angolo di attacco della corrente;
- K_3 : fattore di correzione per le condizioni del fondo alveo;
- K_4 : fattore di correzione per il materiale che compone il fondo alveo.

Il coefficiente K_1 è stato tabulato per diversi tipi di forma del fronte della pila e varia da 1.1 per pile squadrate, a 1.0 per pile con fronte semicircolare o per pile circolari o per pile costituite da gruppi di cilindri, fino ad un valore di 0.9 per pile con fronte ben raccordato di forma triangolare.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 59 di 70

Il coefficiente K_2 viene calcolato con la seguente formula:

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

dove con L viene indicata la lunghezza della pila e con ϑ l'angolo di attacco della corrente rispetto all'asse di simmetria della stessa pila.

Anche il coefficiente K_3 viene riportato in appositi tabulati. Esso considera le condizioni morfologiche del fondo e varia da 1.1 per fondo piano fino a 1.3 per fondo con presenza di dune di dimensioni importanti.

Il coefficiente K_4 rappresenta un fattore correttivo dello scalzamento che tiene conto della protezione di fondo (armouring) costituita da granulometrie grossolane presenti in alveo o ad una certa profondità. La stima di tale parametro può essere fatta applicando la seguente formula:

$$K_4 = \left[1 - 0.89(1 - V_R)^2 \right]^{0.5}$$

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_i}{V_{C90} - V_i} \right]$$

$$V_i = 0.645 \left[\frac{D_{50}}{b} \right]^{0.053} \cdot V_{C50}$$

dove:

- V_R : carico cinetico;
- V_1 : velocità media in alveo o in golena nella sezione subito a monte del ponte;
- V_i : velocità di incipiente movimento;
- b [m]: larghezza della pila;
- V_{C90} : velocità critica per le particelle con diametro D90;
- V_{C50} : velocità critica per le particelle con diametro D50

E' possibile calcolare la velocità critica V_C come:

$$V_C = 10.95 y_0^{1/6} D_C^{1/3}$$

dove:

- y_0 [m] : tirante d'acqua subito a monte delle pile;

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 60 di 70

- D_c [m] : dimensione critica delle particelle per la velocità critica.

Il valore K_4 deve essere sempre superiore a 0.7, mentre il materiale del fondo che produce protezione dallo scalzamento non deve essere inferiore a 0.06 m.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'applicazione della formula del CSU rispettivamente per TR pari a 200 e 300 anni. Anche in questo caso il calcolo dell'escavazione è stato eseguito ipotizzando dapprima lo scalzamento dovuto unicamente alla presenza della pila e successivamente ipotizzando lo scalzamento dovuto alla presenza del plinto di fondazione.

Dai risultati ottenuti per l'evento duecentennale è emerso un valore dello scalzamento massimo per la pila P1 pari a 3.96 m mentre per la pila P2 un valore pari a 5.84 m. Rispetto alle metodologie proposte in precedenza, con riferimento al caso in cui venga interessata dallo scavo unicamente la pila, si stima una profondità di scavo superiore. Difatti anche la profondità di scavo in corrispondenza della pila P1, che nel calcolo con il metodo di Breusers era nulla, con il metodo del CSU è pari a 3.96 m relativamente all'evento duecentennale. Il motivo di tale risultato è dovuto alle differenti relazioni che entrano in gioco nel calcolo per i diversi metodi. Infatti il metodo di Breusers, nella stima dei coefficienti contenuti nella formula, tiene conto del rapporto V_0/V_c che nel caso specifico, essendo minore di 0.5, annulla tutto il termine della formulazione e, di conseguenza, lo stesso termine relativo alla profondità di scavo. Uno dei limiti della formulazione proposta dal CSU è infatti quello di non tener conto del basso impatto che la corrente ha nei confronti dell'erosione per bassi valori di velocità.

PILA			
CSU – TR 200 ANNI			
PARAMETRO	U.M.	P1	P2
b	(m)	5.00	5.00
L	(m)	17.00	17.00
L/b	-	3.40	3.40
V0	(m/s)	0.80	3.73
Y0	(m)	0.75	0.64
d50	(mm)	1.00	1.00
d90	(mm)	11.30	11.30
Fr	-	0.54	1.22
alfa	-	34.00	10.00
k1	-	1.10	1.10
k2	-	1.30	1.30
k3	-	1.00	1.10
k4	-	0.70	0.70
Ys	(m)	3.96	5.84

PLINTO			
CSU – TR 200 ANNI			
PARAMETRO	U.M.	P1	P2
b	(m)	12.20	12.20
L	(m)	26.00	26.00
L/b	-	2.13	2.13
V0	(m/s)	0.80	3.73
Y0	(m)	2.70	2.70
d50	(mm)	1.00	1.00
d90	(mm)	11.30	11.30
Fr	-	0.39	0.85
alfa	-	34.00	10.00
k1	-	1.10	1.10
k2	-	1.30	1.30
k3	-	1.10	1.10
k4	-	0.70	0.70
Ys	(m)	10.62	14.79

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 61 di 70

Tabella 14 – Valori di scalzamento con il metodo di CSU in corrispondenza delle pile P1 e P2 nel caso di erosione della pila o del plinto (TR 200 anni)

PILA				PLINTO			
CSU – TR 300 ANNI				CSU – TR 300 ANNI			
PARAMETRO	U.M.	P1	P2	PARAMETRO	U.M.	P1	P2
b	(m)	5.00	5.00	b	(m)	12.20	12.20
L	(m)	17.00	17.00	L	(m)	26.00	26.00
L/b	-	3.40	3.40	L/b	-	2.13	2.13
V0	(m/s)	1.10	3.60	V0	(m/s)	1.10	3.60
Y0	(m)	0.90	0.72	Y0	(m)	2.85	2.78
d50	(mm)	1.00	1.00	d50	(mm)	1.00	1.00
d90	(mm)	11.30	11.30	d90	(mm)	11.30	11.30
Fr	-	0.61	1.16	Fr	-	0.46	0.83
alfa	-	34.00	10.00	alfa	-	34.00	10.00
k1	-	1.10	1.10	k1	-	1.10	1.10
k2	-	1.30	1.30	k2	-	1.30	1.30
k3	-	1.00	1.10	k3	-	1.10	1.10
k4	-	0.70	0.70	k4	-	0.70	0.70
Ys	(m)	4.44	5.96	Ys	(m)	11.52	14.78

Tabella 15 – Valori di scalzamento con il metodo di CSU in corrispondenza delle pile P1 e P2 nel caso di erosione della pila o del plinto (TR 300 anni)

6.2 CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLE VERIFICHE ALLO SCALZAMENTO DELLE PILE IN ALVEO

Dai risultati ottenuti applicando diverse metodologie per il calcolo dello scalzamento è emerso che la pila maggiormente interessata dai fenomeni erosivi è la pila P2. Difatti, per tale opera, è stato determinato un valore di scalzamento massimo pari a circa 5.96 m, nel caso in cui lo scavo non interessi il plinto di fondazione mentre la profondità massima di erosione, tenendo conto del maggiore ingombro offerto dal plinto di fondazione, raggiunge il valore massimo di 14.79 m con le formulazioni proposte dal CSU. Nel calcolo è stato fatto sempre riferimento alla geometria del plinto di fondazione in quanto le profondità di scavo generate dal calcolo dell'erosione utilizzando la geometria della pila risultavano sempre al di sotto del piano di posa della stessa pila.

Per quanto riguarda la pila P1 è emersa invece una sostanziale coerenza tra i metodi di Sheppard-Melville e Breusers in quanto tali formulazioni, tenendo conto delle caratteristiche idrauliche dei deflussi oltre che alle caratteristiche granulometriche dei terreni, prevedono l'assenza di scavo ai piedi dell'opera. In particolare per il metodo di Breusers si ha l'annullamento di tutto il secondo membro della formula poiché il rapporto $V0/Vc$, essendo inferiore a 0.5, determina un valore per il coefficiente $f1$ pari a zero stimando quindi l'assenza di scavo. Un discorso differente è da svolgersi per il metodo del CSU che in questo caso sovrastima le profondità di scavo in

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 62 di 70

quanto le approssimazioni che sono alla base di tale formulazione non tengono conto delle caratteristiche di deflusso della corrente idrica.

È doveroso inoltre evidenziare alcune precisazioni relative alle formulazioni adottate per il calcolo dell'erosione in corrispondenza delle pile. Infatti, il tema dell'erosione è stato in passato, ed è tuttora, argomento di forte interesse in ambito fluviale ma, considerando la numerosità dei parametri che entrano in gioco nel fenomeno, resta di difficile interpretazione. Nella fattispecie le formulazioni disponibili in letteratura, e nello specifico anche quelle utilizzate nella presente trattazione, sono formule di natura empirica che derivano da numerosi test di laboratorio finalizzati a riprodurre il fenomeno dell'erosione localizzata a partire da determinate condizioni (granulometria, geometrie delle pile/plinti ecc.). Appare evidente come l'estensione di tali formulazioni a contesti di riferimento differenti, che possono discostarsi anche significativamente dalle condizioni considerate per tarare le diverse formulazioni, possa portare a risultati di dubbia interpretazione e che si discostano significativamente confrontando le stime di scavo massimo prodotte dall'applicazione delle diverse metodologie adottate.

6.3 VERIFICA DELL'EROSIONE DELL'ALVEO

Nel caso in esame, il dimensionamento della scogliera di protezione può essere effettuato facendo riferimento alla formulazione della FHWA (FHWA-NHI-09-112) di seguito riportata:

$$d_{50} = \frac{0,692 \cdot (V_{des})^2}{(S_g - 1) \cdot 2g}$$

in cui

d_{50} = diametro medio dei massi (m);

V_{des} = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s);

S_g = peso specifico dei massi (t/m³);

La velocità di progetto deve rappresentare le condizioni nelle immediate vicinanze delle pile. Qualora si dovesse adottare un valore medio di velocità, questo deve essere opportunamente moltiplicato per i fattori che sono funzione della forma della pila e della sua posizione rispetto all'alveo:

$$V_{des} = K_1 K_2 V_{avg}$$

Se si dispone di una distribuzione di velocità risultante da modello fisico o da calcolo idraulico 1D o 2D, allora si può utilizzare solamente il coefficiente della forma della pila. Sarebbe opportuno considerare il valore massimo

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 63 di 70

della velocità nell'alveo attivo V_{max} , dal momento che l'alveo stesso può spostarsi nel tempo e la massima velocità impatterebbe le pile.

$$V_{des} = K_1 V_{max}$$

in cui:

V_{des} = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s);

K_1 = fattore di forma pari a 1,5 per pile circolari "round-nose" o 1,7 per pile a spigoli vivi;

K_2 = fattore di correzione della velocità per l'ubicazione nell'alveo (varia da 0,9 per pile vicino le sponde in alveo rettilineo, fino a 1,7 per pile immerse nel filone principale della corrente);

V_{avg} = velocità media nell'alveo in corrispondenza del ponte (m/s);

V_{max} = velocità massima nell'alveo attivo (m/s).

Nel caso in esame si hanno i valori di seguito riportati, dove i valori di velocità sono stati ricavati dai risultati del modello idraulico bidimensionale, avendo adottato cautelativamente il valore massimo della V_{des} tra quelli calcolati con le formulazioni precedentemente riportate.

Gs (t/mc)	2.65	
Vmax (m/s)	6.00	(maximum velocity in the active channel)
Vavg (m/s)	2.80	(average velocity at the bridge)
K1	1.50	(1.5 – 1.7)
K2	1.30	(0.9 – 1.7)
Vdes (m/s)	9.00	con Vmax
Vdes (m/s)	5.46	con Vavg
D50	1.73	(m)
D50 (Vavg)	0.64	(m)

Tabella 16 – Dimensionamento della scogliera di protezione in massi (campata P1-P2)

Per quanto riguarda il dimensionamento dei massi in corrispondenza delle pile P3, P4 essendo interessate da velocità di deflusso minori, è stato ritenuto cautelativo un rivestimento con massi sciolti di diametro $D=0.80m$.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 64 di 70

<i>Gs (t/mc)</i>	2.65	
<i>Vmax (m/s)</i>	1.57	(maximum velocity in the active channel)
<i>Vavg (m/s)</i>	0.63	(average velocity at the bridge)
<i>K1</i>	1.50	(1.5 – 1.7)
<i>K2</i>	1.30	(0.9 – 1.7)
<i>Vdes (m/s)</i>	2.36	con Vmax
<i>Vdes (m/s)</i>	1.23	con Vavg
<i>D50</i>	0.12	(m)
<i>D50 (Vavg)</i>	0.03	(m)

Tabella 17 – Dimensionamento della scogliera di protezione in massi (campata P2-P3)

6.3.1 Definizione delle opere di protezione

Le protezioni delle sponde del Torrente Cervaro in corrispondenza del viadotto in progetto, aventi lo scopo di fissare la sezione idraulica e proteggere le fondazioni delle pile, sono rappresentate nell'Elaborato IF3A02EZZL9ID0002000D.

In particolare, si prevede una sistemazione spondale per un tratto di circa 40m in destra idraulica e 130m in sinistra idraulica fino alla pila P4, esteso sia a monte che a valle del viadotto, e una sistemazione di fondo a protezione delle zone golenali, interessate dalla corrente per un evento con tempo di ritorno di 300 anni, con massi sciolti. In particolare, in sponda sinistra si prevede di profilare opportunamente le opere di protezione di sponda al fine di garantire la continuità del Torrente Acquara.

Sono previste, inoltre, sistemazioni che riguardano la sezione d'alveo del T. Acquara in corrispondenza del rivestimento previsto per il viadotto VI01 e un adeguamento della sezione d'alveo del T. Cervaro. Per quanto riguarda la sezione del Cervaro, è stata prevista una deviazione parziale dell'alveo al fine di garantire un maggiore ricoprimento spondale in corrispondenza della pila P2 posta subito in sinistra idraulica del T. Cervaro con un conseguente adeguamento della geometria delle sezioni al fine di migliorarne l'efficienza idraulica rispetto a quello attuale. L'estensione della sistemazione spondale del Cervaro, a valle e a monte, è stata dettata dalla morfologia esistente e dalle caratteristiche della corrente idraulica in modo da ottimizzare il collegamento tra sistemazione e alveo naturale. L'esigenza di avere un maggiore ricoprimento spondale nei confronti della pila P2 è emersa nelle verifiche a fondo mobile bidimensionale dove si registra una forte tendenza all'erosione della sponda sinistra attuale. Sempre in base a quanto emerso dal modello a fondo mobile bidimensionale e in base anche a quanto prescritto nell'Ordinanza 48, è stato previsto un taglione in calcestruzzo sul lato di monte del rivestimento presentando, dunque, una duplice funzione, ovvero, quella di proteggere il rivestimento dallo scalzamento nelle zone soggette ad erosione e quella di garantire un adeguato collegamento del rivestimento con la parte di sezione naturale.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 65 di 70

A valle dell'intervento, non si è ritenuto necessario prevedere un taglione in quanto, le analisi numeriche condotte nell'ambito del modello a fondo mobile bidimensionale, mostrano che tale zona del rivestimento è soggetta a deposito di materiale e non a scalzamento. I fenomeni di graduale deposito del materiale del trasporto di base garantiranno, pertanto, un livellamento naturale del fondo con il rivestimento. In ogni caso il progetto, come richiesto da AdB prevede che il rivestimento (di tipo flessibile, e non rigido o semi-rigido) anche a valle sia immerso nel terreno e accompagnato dal geotessile di base, garantendo una quota di sommità compatibile con quella del terreno naturale.

Per maggiori dettagli di tale verifica si rimanda all'elaborato specifico IF3A02EZZRIID0002004C.

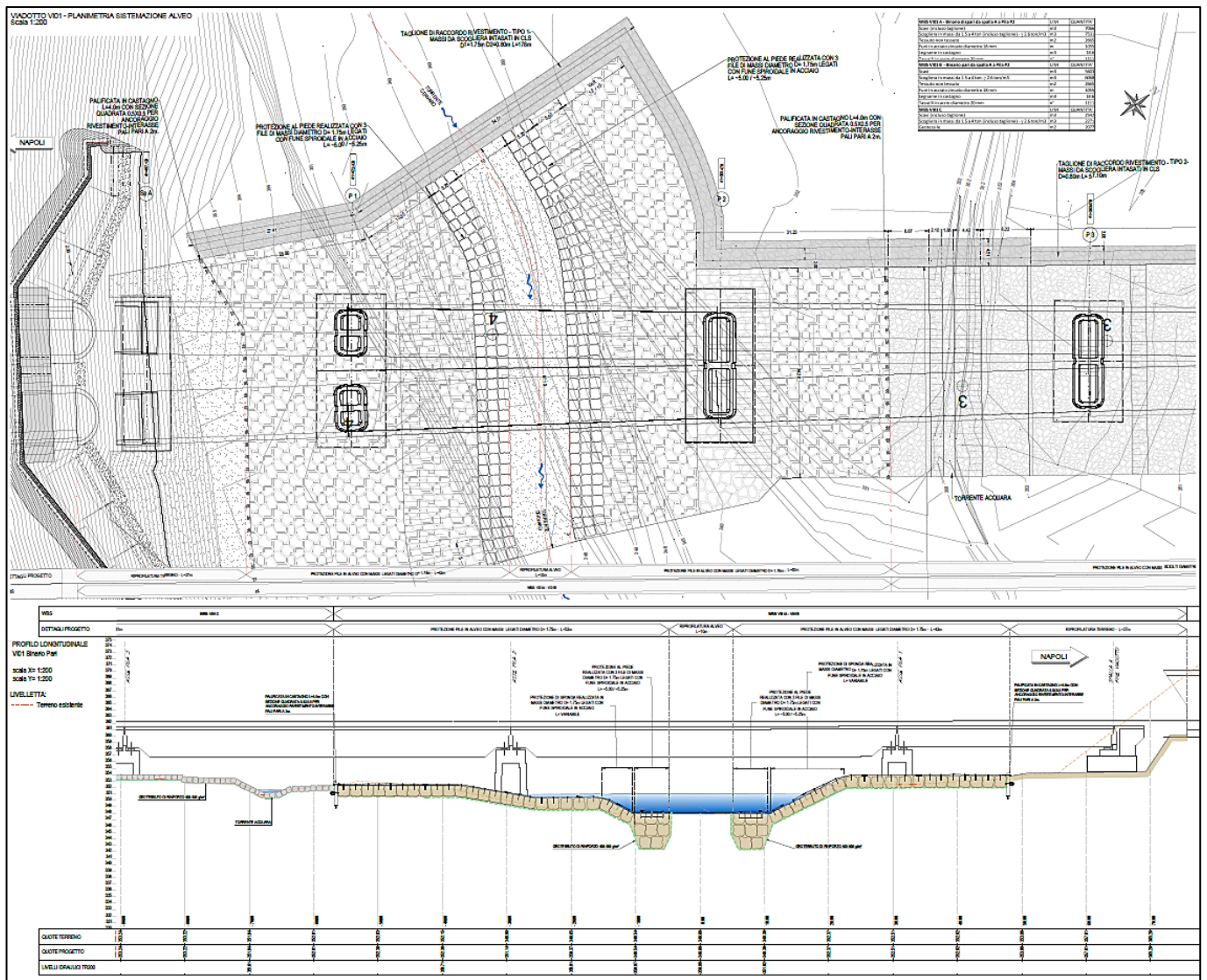


Figura 6-4. – Sistemazione fluviale viadotto VI01

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 66 di 70

Le opere di protezione assecondano il tracciato planimetrico del viadotto e la dislocazione delle pile: prima della realizzazione delle protezioni spondali è da prevedersi la rimozione della porzione ritenuta interferente delle opere provvisoriale (diaframature o pali) previste per la costruzione delle pile. Per le protezioni spondali si prevede l'utilizzo di massi legati (con funi di acciaio) di diametro D=1,75m, mentre per le protezioni in golena si prevede l'utilizzo di massi sciolti di diametro D=0,8m. Per entrambe le protezioni si sono provisti massi, come previsto da capitolato RFI, con un peso specifico ≥ 2600 kg/mc, ovvero, 2650 kg/mc.

Si specifica che sulla base delle nuove elaborazioni, si confermano le dimensioni dei massi di protezione del PD.

7 VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA VIADOTTO

La valutazione di compatibilità idraulica viene svolta in base ai seguenti criteri:

- Compatibilità con le Norme del PAI, ai fini della sicurezza idraulica del territorio;
- Rispetto dei requisiti richiesti dalle NTC 2018, ai fini della sicurezza dell'opera.

Il PAI dell'AdB Puglia, come visto nei paragrafi precedenti, non riporta nessuna area di pericolosità idraulica per il tratto di Torrente Cervaro interessato dal viadotto in progetto; tuttavia, poiché i recenti studi dell'Autorità di Bacino (P.O. FESR 2007-2013) hanno valutato le aree allagabili del Torrente Cervaro nell'area in esame in questa sede, si è proceduto alla simulazione delle condizioni di esondazione negli scenari ante operam e post operam, al fine di verificare che non vi sia aumento di pericolosità a monte e a valle in seguito alla realizzazione dell'opera. Il confronto tra gli scenari, ha mostrato che non si hanno variazioni apprezzabili delle aree allagate e dei livelli idrici.

I requisiti richiesti dalle NTC 2018 riguardano.

- il franco sui livelli idrici della quota di sottotrave dell'impalcato,
- la luce minima tra le pile rispetto al filone principale della corrente. Come mostrato nei paragrafi precedenti, il franco tra livelli idrici caratteristici della piena trecentennale è superiore a 1,5 m, minimo previsto dal Manuale di Progettazione RFI (e dalle NTC 2018, con riferimento alla piena Tr 200).

Al fine poi di mantenere la configurazione dell'alveo il più possibile inalterata tra ante e post operam, sono state previste adeguate protezioni idrauliche in tutte le aree interessate dai lavori di costruzione del viadotto e per un'estensione pari agli allagamenti che si verificano con tempo di ritorno trecentennale.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 67 di 70

8 SISTEMI DI ALLERTA METEO PER LA GESTIONE DEI CANTIERI IN ALVEO

Per tali opere sono state previste delle misure di sicurezza in caso di fenomeni di piena alluviale con lo scopo di mettere in sicurezza le varie aree di cantiere e non incrementare il rischio idraulico attraverso la permanenza in alveo delle opere di attraversamento previste che provocherebbero la riduzione della capacità di smaltimento dei deflussi dell'alveo stesso.

A tale scopo sono state previste delle procedure in accordo con il sistema di allertamento regionale rispetto al rischio idrogeologico emesso dalla protezione civile e delle due province di Benevento e Avellino.

8.1 SISTEMA DI ALLERTA REGIONE CAMPANIA

Il sistema di allertamento meteo della regione Campania elaborato dal Centro Funzionale Multirischi regionale ed emesso dalla Protezione Civile regionale, prevede la suddivisione della regione in 8 aree di allerta di seguito riportate.

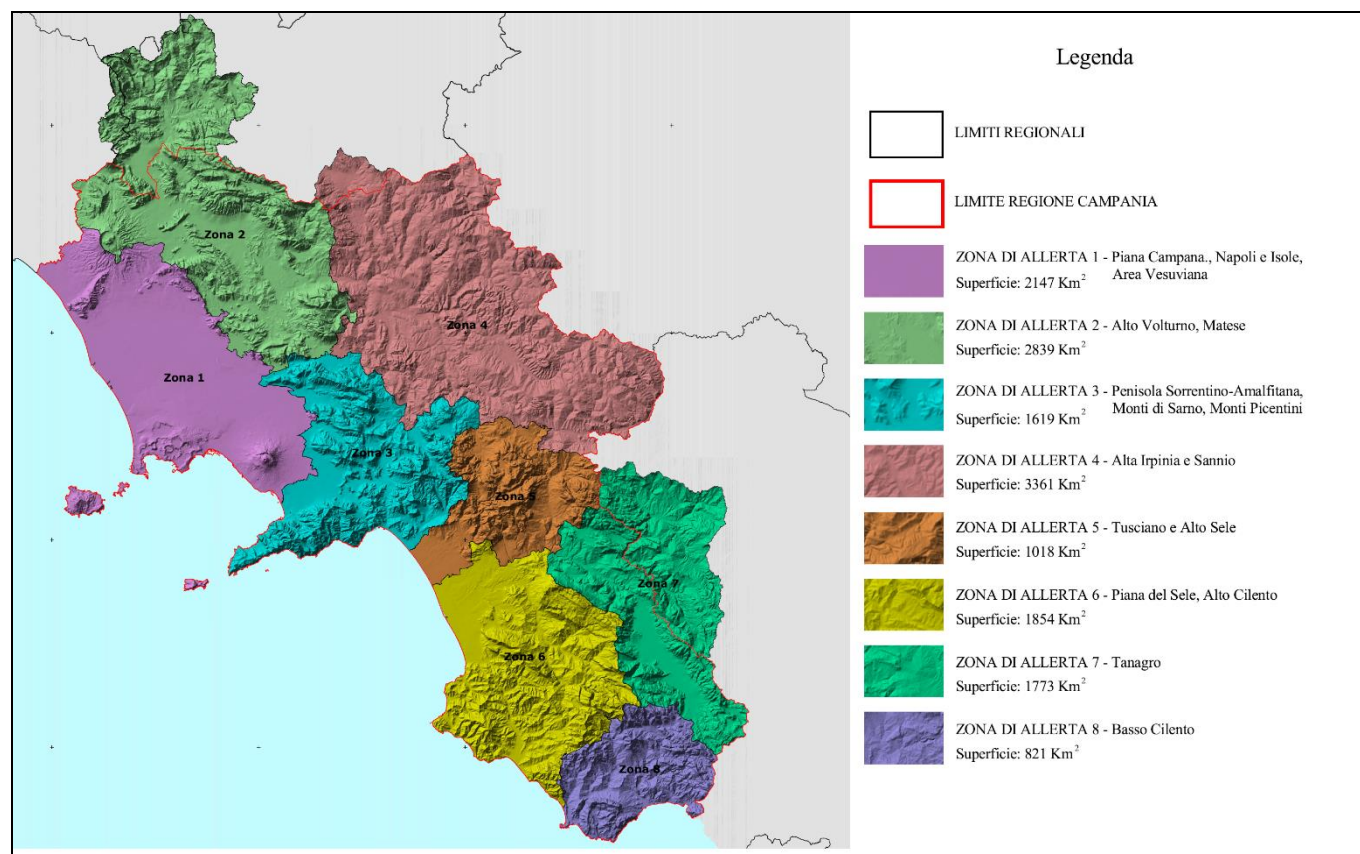


Figura 8-1. – Zone di allerta meteo Regione Campania

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 68 di 70

Il Centro Funzionale emette quotidianamente, entro le ore 10:30, il Bollettino Meteorologico Regionale, a fini di protezione civile, con validità di 72 ore, elaborato sulla base di modelli previsionali a diverse scale spazio-temporali. Il Centro Funzionale trasmette il Bollettino Meteorologico Regionale, a fini di protezione civile, alla Sala Operativa Regionale Unificata del Settore di Protezione Civile, che provvede ad inoltrarlo alle autorità e agli enti territoriali interessati. Il Centro Funzionale, se sono previste possibili criticità nel territorio regionale per l'intensità e la persistenza degli eventi meteorologici attesi, emette un Avviso Regionale di Avverse Condizioni Meteo (di seguito richiamato, per brevità, con il termine di Avviso Meteo). Esso è specifico per ciascuna Zona di Allerta, viene elaborato qualora si prevedano fenomeni significativi, inerenti ad uno o più dei suddetti parametri, in almeno una Zona di Allerta. Il Centro Funzionale emette l'Avviso Meteo normalmente e possibilmente, in relazione alla disponibilità effettiva dei necessari dati di base, entro le ore 13. L'Avviso Meteo ha validità minima 24 ore e massima 72 ore. Il Centro Funzionale provvede a trasmettere tempestivamente l'Avviso Meteo alla Sala Operativa Regionale Unificata del Settore di Protezione Civile, che, previa formale adozione, provvede ad inoltrarlo al Dipartimento della Protezione Civile Nazionale ed alle autorità e agli enti territoriali interessati. Nel caso in cui l'Avviso Meteo sia emesso con riferimento a fenomeni significativi di precipitazione, ad esso fa seguito l'emissione dell'Avviso di Criticità per rischio idrogeologico e idraulico.

Avviso di Criticità è emesso normalmente e possibilmente, in relazione alla disponibilità effettiva dei dati necessari allo scopo, entro le ore 14:00 ed ha validità minima 24 ore. In linea generale, il livello di criticità per ciascuna Zona di Allerta (Ordinario, Moderato o Elevato) viene stabilito in funzione dell'analisi meteorologica, nonché dei valori dei precursori pluviometrici di ciascuna Zona di Allerta calcolati nel termine temporale delle ore 15:00 del giorno successivo. Di seguito si riportano le modalità di attivazione delle fasi di preallerta e allerta (attenzione, preallarme e allarme) e gli scenari di evento al suolo attesi.

La fase di preallerta viene attivata dal Settore Programmazione degli Interventi di Protezione Civile (S.P.I.P.C.) sulla base dell'Avviso di Criticità emesso dal Centro Funzionale con livello di criticità Ordinaria.

La fase di attenzione viene attivata dal Settore Programmazione degli Interventi di Protezione Civile (S.P.I.P.C.) sulla base dell'Avviso di Criticità emesso dal Centro Funzionale con livello di criticità "moderato" o "elevato" presente in almeno una delle 8 zone di allerta o anche quando i precursori pluviometrici puntuali o areali superino i valori di soglia di attenzione (periodo di ritorno pari a due anni).

La fase di preallarme viene attivata quando i precursori pluviometrici puntuali o areali superano i valori di soglia di preallarme (periodo di ritorno pari a 5 anni). Lo stato di preallarme specifico per il rischio idraulico è attivato anche quando gli indicatori idrometrici superino i valori di livello ordinario prima del passaggio del colmo dell'onda di piena o in condizioni meteorologiche avverse persistenti previste per le successive 24 ore. L'attivazione di tale fase, anche in questo caso, comporta la convocazione, in composizione ristretta degli organismi di coordinamento dei soccorsi e l'adozione di misure di preparazione ad una possibile imminente emergenza.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 69 di 70

La fase di allarme viene attivata quando i precursori pluviometrici puntuali o areali superano i valori di soglia di allarme (periodo di ritorno pari a 10 anni) tenuto anche conto delle informazioni provenienti dagli ingegneri delegati, ove esistenti, dai presidi territoriali, se costituiti, e dai sindaci. Lo stato di allarme specifico per il rischio idraulico è attivato anche quando gli indicatori idrometrici superino i valori di livello “straordinario” prima del passaggio del colmo dell’onda di piena o in condizioni meteorologiche avverse persistenti previste per le successive 24 ore tenuto anche conto delle informazioni provenienti dagli ingegneri delegati, ove esistenti, dai presidi territoriali, se costituiti, e dai sindaci. È possibile che l’evento atteso si verifichi o inizi prima della completa attuazione delle misure previste dal Piano per la fase di allarme, determinando una situazione di emergenza con due diversi momenti di risposta.

AVVISI	Fase operativa
Avviso Regionale di avverse condizioni meteo o Avviso Regionale di Criticità Ordinaria	Preallerta
Avviso Regionale di Criticità Moderata o Elevata o superamento di soglie riferite ai sistemi di allertamento locale, ove presenti o all’aggravarsi della situazione in punti critici	Attenzione
A seguito dell’aggravarsi della situazione nei punti critici monitorati a vista da presidi territoriali e/o al superamento di soglie riferite a sistemi di allertamento locale, ove presenti	Preallarme
La fase di allarme viene attivata dal Sindaco al verificarsi di un evento calamitoso (anche solo potenzialmente calamitoso) e/o all’aggravarsi della situazione nei punti critici monitorati a vista dai presidi territoriali e/o al superamento di soglie riferite a sistemi di allertamento locale, ove presenti.	Allarme

Figura 8-2. – Zone di allerta meteo Regione Campania

Le aree e le opere di cantierizzazione rientrano interamente nella zona di allerta “ZONA DI ALLERTA 4 – Alta Irpinia e Sannio. Per tale zona si riportano gli intervalli temporali di riferimento (ore) e valori di soglia (mm) dei precursori adottati nella fase di previsione meteorologica.

ZONA DI ALLERTA	criticità ordinaria	criticità moderata	criticità elevata
4	24 ore	24 ore	24 ore
	40 mm	54 mm	64 mm

Tabella 18 – Criticità

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione Idraulica – modelli idraulici bidimensionali	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 70 di 70



Figura 8-3. – Zone di allerta meteo Regione Campania