

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
ADEGUAMENTO A 4 CORSIE
NEL TRATTO GROSSETO - SIENA (S.S. 223 "DI PAGANICO")
DAL KM 41+600 AL KM 53+400 - LOTTO 9

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI15**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

 **Sintagma**

 **GEOTECHNICAL DESIGN GROUP**

 **ICARIA**
società di ingegneria

Dott. Ing. N. Granieri
Dott. Arch. N. Kamenicky
Dott. Ing. V. Truffini
Dott. Arch. A. Bracchini
Dott. Ing. F. Durastanti
Dott. Ing. E. Bartolucci
Dott. Geol. G. Cerquiglioni
Geom. M. De Tursi
Dott. Ing. L. Sbrenna
Dott. Ing. E. Sellari
Dott. Ing. L. Dinelli
Dott. Ing. L. Nani
Dott. Ing. F. Pambianco
Dott. Agr. F. Berti Nulli

Dott. Ing. D. Carlacchini
Dott. Ing. S. Sacconi
Dott. Ing. A. Rea
Dott. Ing. V. De Gori
Dott. Ing. C. Consorti
Geom. F. Dominici

Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Ing. F. Macchioni
Geom. C. Vischini
Dott. Ing. V. Piunno
Dott. Ing. G. Pulli
Geom. C. Sugaroni

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Federico Durastanti
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglioni
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

Il R.U.P.

Dott. Ing.
Raffaele Franco Carso

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA



IDROLOGIA ED IDRAULICA

Relazione Modello Bidimensionale

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00-ID00-IDR-RE03		
LOFI15	E	1901	CODICE ELAB. T00ID00IDRRE03	C	---
C	Revisione a seguito rapporto intermedio DGSV 156/2 del 02/03/2021		Mar 2021	L.Serbenna	E.Bartolucci
B	Integrazione documentale (IDVIP 5406)		Gen 2021	C.Calcina	E.Bartolucci
A	Emissione		28/02/2020	C.Calcina	E.Bartolucci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	Introduzione	3
1.1	Normativa di riferimento	7
1	Inquadramento generale e obiettivi dello studio	8
1.2	Pericolosità idraulica nell’area di intervento	8
1.3	Obiettivo dello studio idraulico.....	10
2	Dati di base	12
1.4	Rilievi	12
1.1	Opere di progetto	16
3	Implementazione modello idraulico.....	17
1.5	Generalità	17
1.6	Scenari simulati.....	19
1.7	Geometria.....	19
1.8	Orografia.....	22
1.9	Scabrezza	26
1.10	Condizioni al contorno del modello	28
1.11	Teoria alla base del modello	35
4	Risultati delle simulazioni numeriche 2D	38
1.12	Area 1	41
1.1.1	Pericolosità PGRA	42
1.1.2	Mappe dei tiranti	43
1.1.3	Particolari su opere interessate dall’esonazione	49
1.1.4	Differenze tra scenario Post-Operam e Ante-Operam.....	52
1.1.5	Considerazioni finali	56
1.13	Area 2.....	57
5	Pericolosità PGRA	58
1.1	Mappe dei tiranti.....	59
1.1.1	Particolari su opere interessate dall’esonazione	66
1.1.2	Differenze tra scenario Poste-Operam e Ante-Operam.....	71



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

1.1.1	Considerazioni finali	75
1.14	Area 3	76
6	Pericolosità PGRA	77
1.1	Mappe dei tiranti.....	78
1.1.1	Particolari su opere interessate dall’esondazione	85
1.1	Differenze tra scenario Post-Operam e Ante-Operam	95
1.1.1	Considerazioni finali	102
1.15	Area 4.....	104
7	Pericolosità PGRA	105
7.1	Mappe dei tiranti.....	106
7.1.1	Particolari su opere interessate dall’esondazione	112
7.1.2	Differenze tra scenario Post-Operam e Ante-Operam.....	112
7.1.3	Considerazioni finali	116
8	Riferimenti bibliografici.....	117

1 INTRODUZIONE

La presente relazione, parte integrante del progetto esecutivo “Itinerario Internazionale E78”, illustra lo studio idrodinamico dell’area in esame e in particolare valuta le interferenze delle opere di progetto con le dinamiche di esondazione del fiume Merse.

L’area interessata dall’intervento è mostrata in Figura 1.

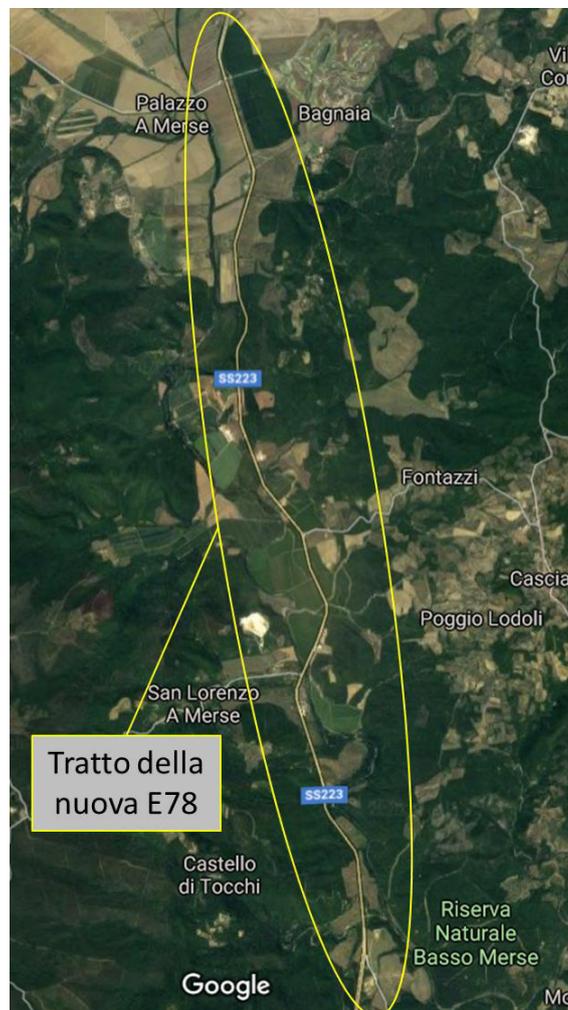


Figura 1- Inquadramento dell’area oggetto di intervento

L’opera interferisce con due corsi d’acqua principali (Merse e Ornate; Figura 2) e con 6 corsi d’acqua secondari (Bagnoli, Fosso San Biagio, Fosso Maceratano, Fosso Barattoli, Fosso Cerri, Fosso Faule; Figura 3).



Figura 2 - Interferenza del tracciato con i corsi d'acqua principali: fiume Merse e fiume Ornate

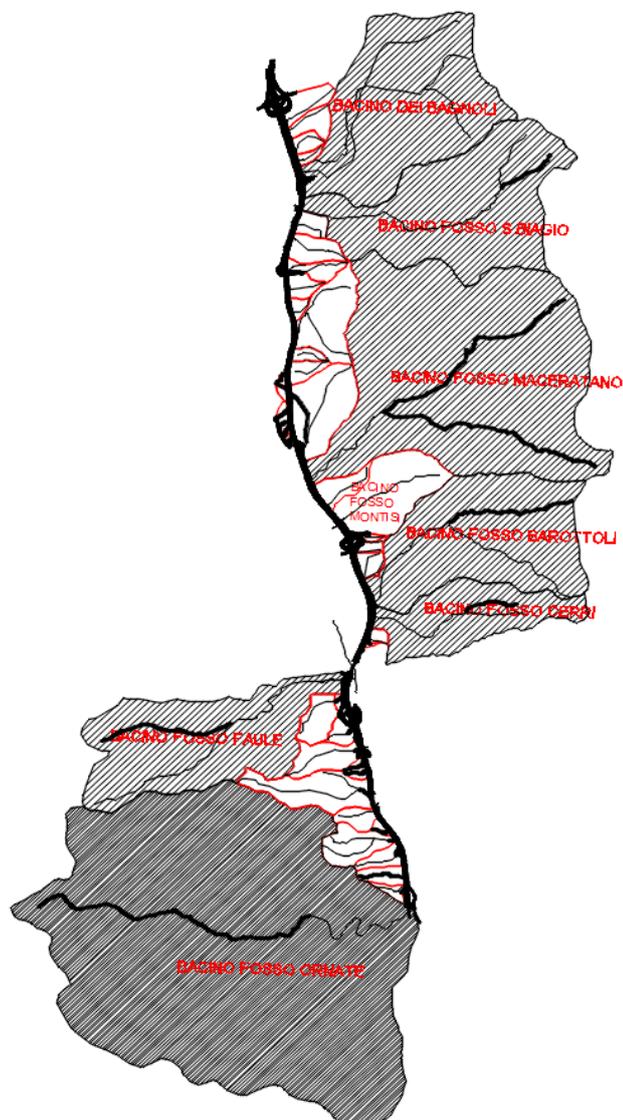


Figura 3 - Interferenza del tracciato con i corsi d'acqua secondari.

E' stato condotto quindi uno studio idrodinamico bidimensionale del fiume Merse finalizzato alla valutazione delle aree potenzialmente inondabili e delle interazioni di queste con le opere di progetto. Per quanto riguarda le interferenze con il fiume Ornate e con i corsi d'acqua secondari sono stati sviluppati modelli monodimensionali.



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Le analisi svolte sono state condotte in conformità a quanto previsto ed effettuato nell’ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) della Regione Toscana e delle Nuove NTC2018.



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

1.1 Normativa di riferimento

I principali riferimenti normativi e/o strumenti di pianificazione utilizzati nel presente progetto sono i seguenti:

- Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Toscana (PAI)
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)
- Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018)
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.
- Legge Regionale 79/2012
- Regio Decreto del 25/07/1904 n.523
- Legge regione Toscana n. 65/2014
- D.P.CR. Toscana 53/R del 25 ottobre 2011
- Legge regione Toscana n. 41/2018
- Legge regione Toscana n. 80/2015

1 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

1.2 Pericolosità idraulica nell'area di intervento

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idrologica del bacino del fiume Merse e la definizione delle aree a pericolosità idraulica sono attualmente riportati nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A., 2014).

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

- La classe di pericolosità elevata (P3) fa riferimento ad un evento caratterizzato da un tempo di ritorno compreso tra 20 e 50 anni.
- La classe di pericolosità media (P2) fa riferimento ad un evento caratterizzato da tempo di ritorno compreso tra i 100 e 200 anni.
- La classe di pericolosità bassa (P1) fa riferimento ad un evento caratterizzato da un tempo di ritorno compreso tra i 200 e i 500 anni.

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

TR (anni)	Pericolosità
20-50	P3 - Elevata
100-200	P2 - Media
200-500	P1 - Bassa

Tabella 1 - Classi di pericolosità idraulica (PGRA).

La pericolosità idraulica nell'area di intervento è mostrata in Figura 4.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

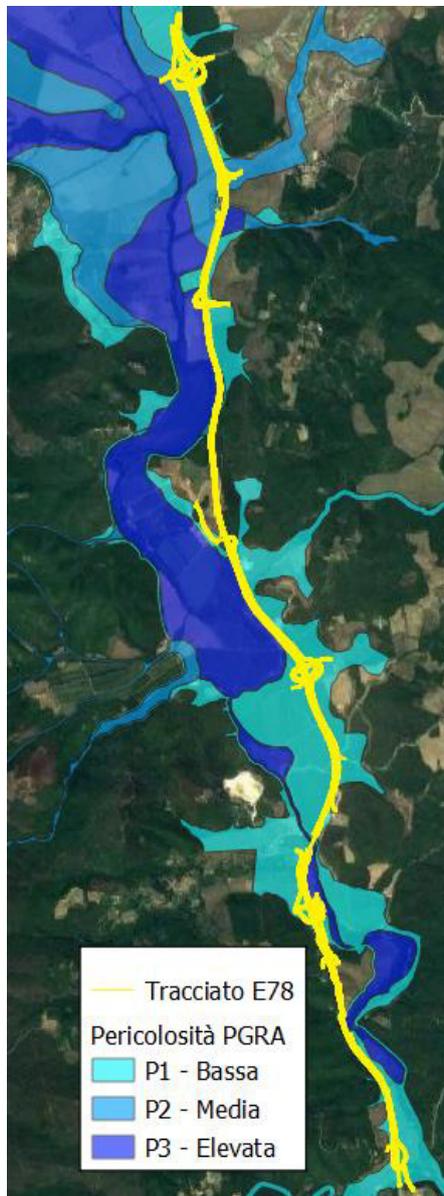


Figura 4 – Pericolosità idraulica secondo il PGRA.

1.3 Obiettivo dello studio idraulico

Obiettivo del presente studio idraulico è quello di valutare la compatibilità idraulica del nuovo rilevato stradale, del nuovo ponte sul fiume Merse e dei nuovi svincoli previsti nel presente progetto.

Sono stati simulati due scenari: Ante-Operam e Post-Operam. Dal loro confronto è possibile valutare l'impatto che i nuovi interventi hanno sulle caratteristiche idrauliche delle aree inondabili.

Per la sicurezza idraulica dell'intervento, le opere d'arte di attraversamento esistenti devono osservare le prescrizioni riportate nelle Nuove NTC2018 (e nella relativa circolare applicativa del 7 gennaio 2019).

In sintesi, le opere idrauliche di attraversamento devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati da un tempo di ritorno pari a 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 la quota di intradosso del manufatto ed il livello idrico corrispondente alla piena di progetto ($Tr = 200$) non deve essere inferiore a 1.5 m nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- il franco minimo tra la quota di intradosso del manufatto e la quota di carico idraulico totale deve essere almeno pari a 50 cm.

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

“Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

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

Nella relativa circolare applicativa del 9 gennaio 2019, si asserisce inoltre:

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

In definitiva, in accordo alle NTC2018, nonché alle classi di pericolosità idraulica indicate nel P.G.R.A. (Tabella 1), sono state effettuate le simulazioni idrauliche per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni. È stata effettuata inoltre un'ulteriore simulazione per un tempo di ritorno pari a 10 anni per valutare tiranti e velocità di esondazione durante la fase di realizzazione dell'opera. Il tempo di ritorno di 10 anni per l'analisi della vulnerabilità del cantiere è stato ottenuto tramite la seguente formula:

$$Tr = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{n/v}$$

2 DATI DI BASE

1.4 Rilievi

Il confronto tra le diverse informazioni, ed in particolare tra le sezioni trasversali dell'alveo rilevate durante apposite campagne topografiche ed i rilievi LiDAR, ha permesso, nell'implementazione del modello idraulico sviluppato, di utilizzare i dati più aggiornati, che riproducessero maggiormente le attuali condizioni in alveo e nelle aree golenali, potenzialmente inondabili.

La campagna di rilievi topografici ha permesso di acquisire il profilo delle sezioni in diversi punti del fiume Merse (Figura 5).



Figura 5 - Sezioni idrauliche rilevate in sito



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Per la riproduzione dell'orografia al di fuori dell'alveo è stato utilizzato un modello digitale di elevazione (DEM) laser-altimetrico (LiDAR) con risoluzione 1x1 m². Tale dato è scaricabile gratuitamente dal geoportale della Regione Toscana al seguente sito:

<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>, il modello di terreno utilizzato è stato poi ulteriormente aggiornato mediante l'utilizzo delle sezioni topografiche rilevate.

In Figura 6 è rappresentato il modello digitale di elevazione.

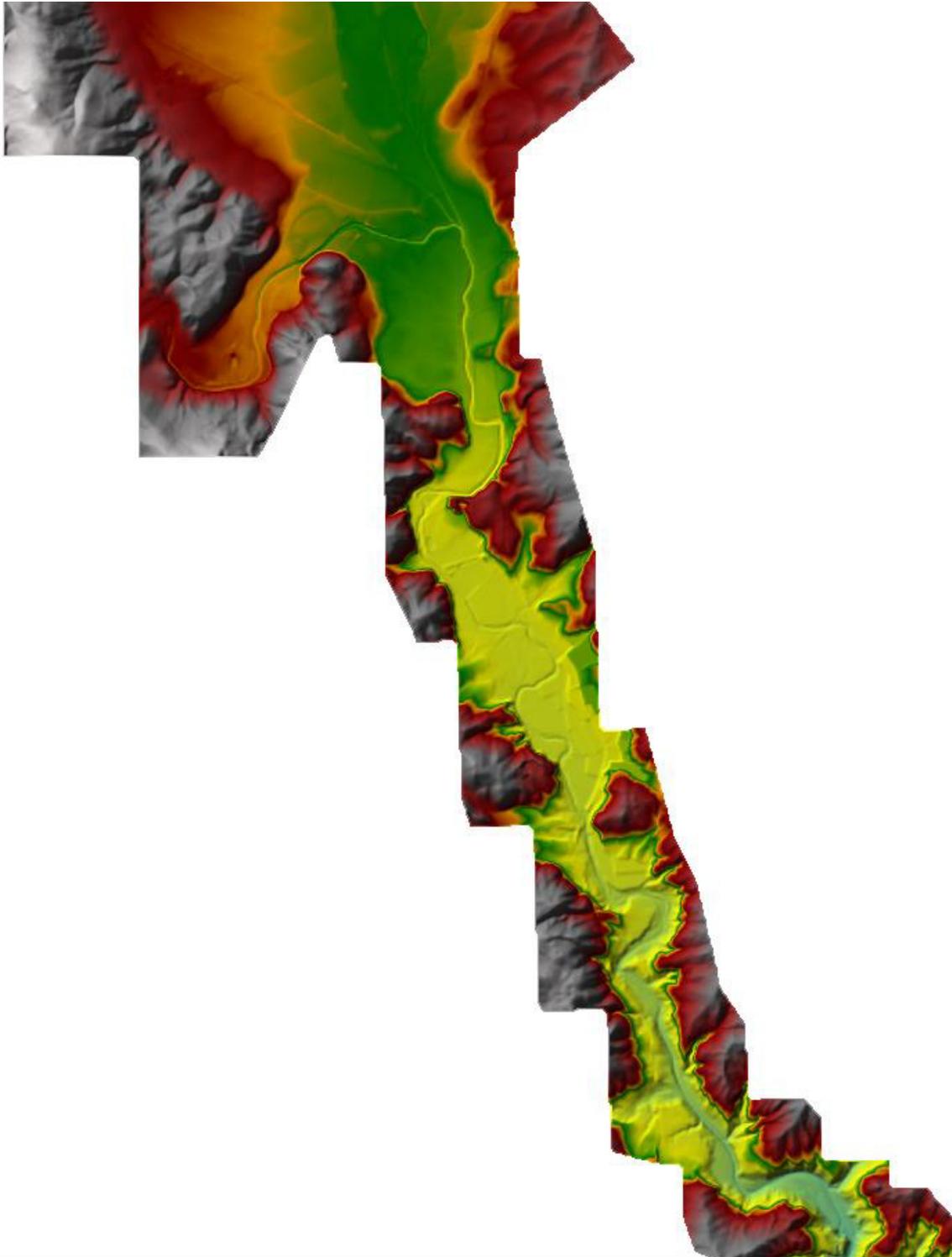


Figura 6 - Modello di elevazione del terreno.



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

1.1 Opere di progetto

L'intervento consiste nell'adeguamento della esistente S.S. 223 “Di paganico” a 4 corsie. Tale adeguamento comporta l'allargamento del rilevato stradale, la realizzazione di 8 svincoli e la riconfigurazione del viadotto per l'attraversamento sul fiume Merse.



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

3 IMPLEMENTAZIONE MODELLO IDRAULICO

1.5 Generalità

Lo studio idrodinamico ha interessato l'area di esondazione del fiume Merse lungo la statale “SS223” delimitata a nord dall'incrocio con la provinciale “SP99” e a sud con l'attraversamento sul fiume Ornate, per una lunghezza di tratto di fiume analizzato pari a 16.2 km e per un'area totale di 15.2 km². In Figura 7 è mostrata l'area oggetto di studio:

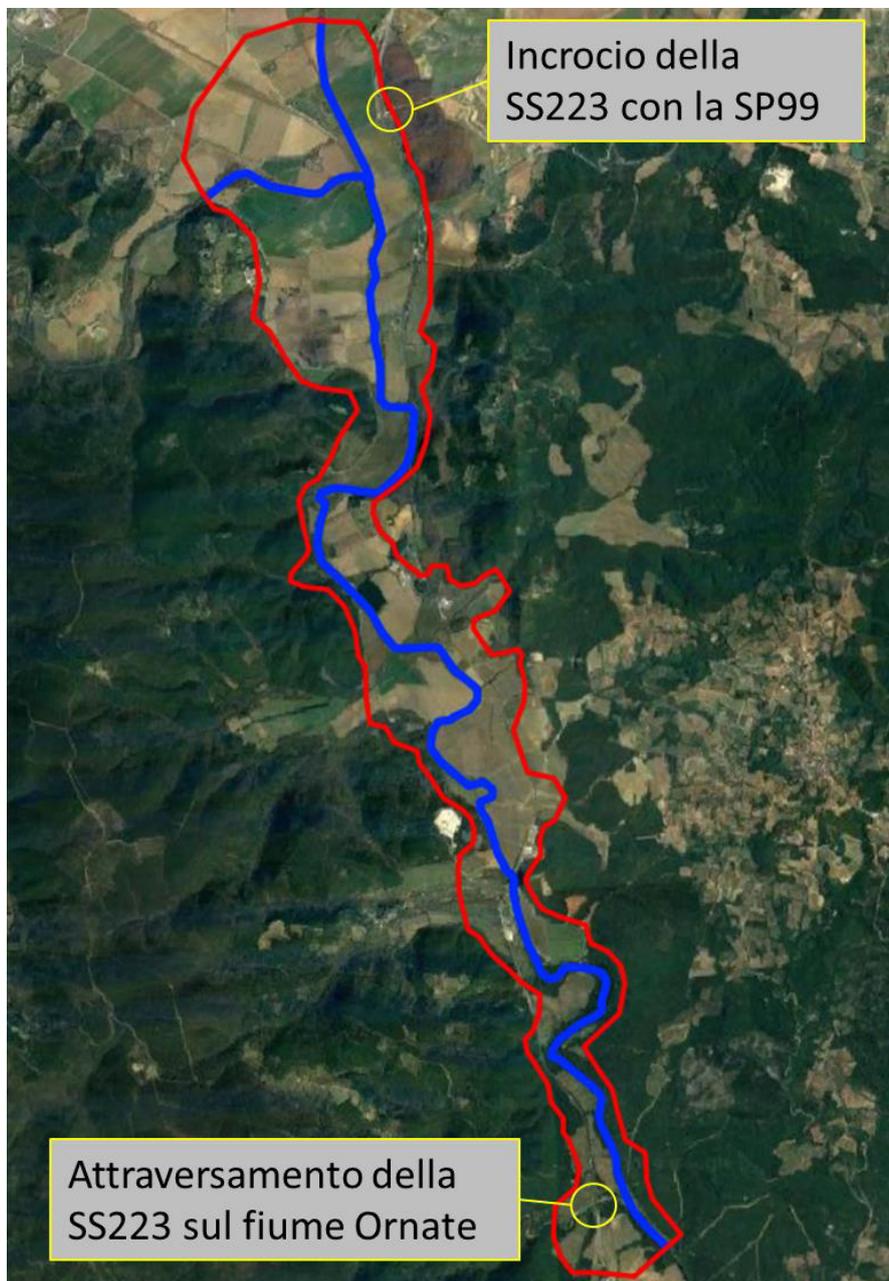


Figura 7 - Area di studio per la modellazione idrodinamica.

Questa modellazione è finalizzata alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili (per le portate di piena di riferimento) lungo il nuovo rilevato, alla loro possibile interferenza con tutti i nuovi interventi (ponti, svincoli, etc.) e quindi alla valutazione del cambiamento tra condizioni Ante-Operam e Post-Operam.

1.6 Scenari simulati

Come precedentemente accennato, si è proceduto alla simulazione delle onde di piena riferite ai tempi di ritorno di 10, 30 e 200 anni sia in condizioni Ante-Operam che in condizioni Post-Operam.

1.7 Geometria

La griglia di calcolo per la modellazione è stata posta pari a 20×20 m² come mostrato in Figura 8.



Figura 8 - Griglia di calcolo

Lungo tutto l'alveo e in tutte quelle aree con bruschi cambiamenti di quota (argini, risaie, rilevati, pile), è stata aumentata la risoluzione della griglia, come mostrato in Figura 9.



Figura 9 - Griglia di calcolo del modello bidimensionale: lungo tutto l'alveo e in corrispondenza di argini, rilevati, pile e limiti delle risaie, la griglia è stata infittita per tener conto del brusco cambiamento di quota.

In prossimità dell'attraversamento sul fiume Merse, la griglia è stata ulteriormente infittita per cogliere bruschi cambiamenti di tiranti e velocità dovuti a diversi restringimenti di sezione, come mostrato in Figura 10.

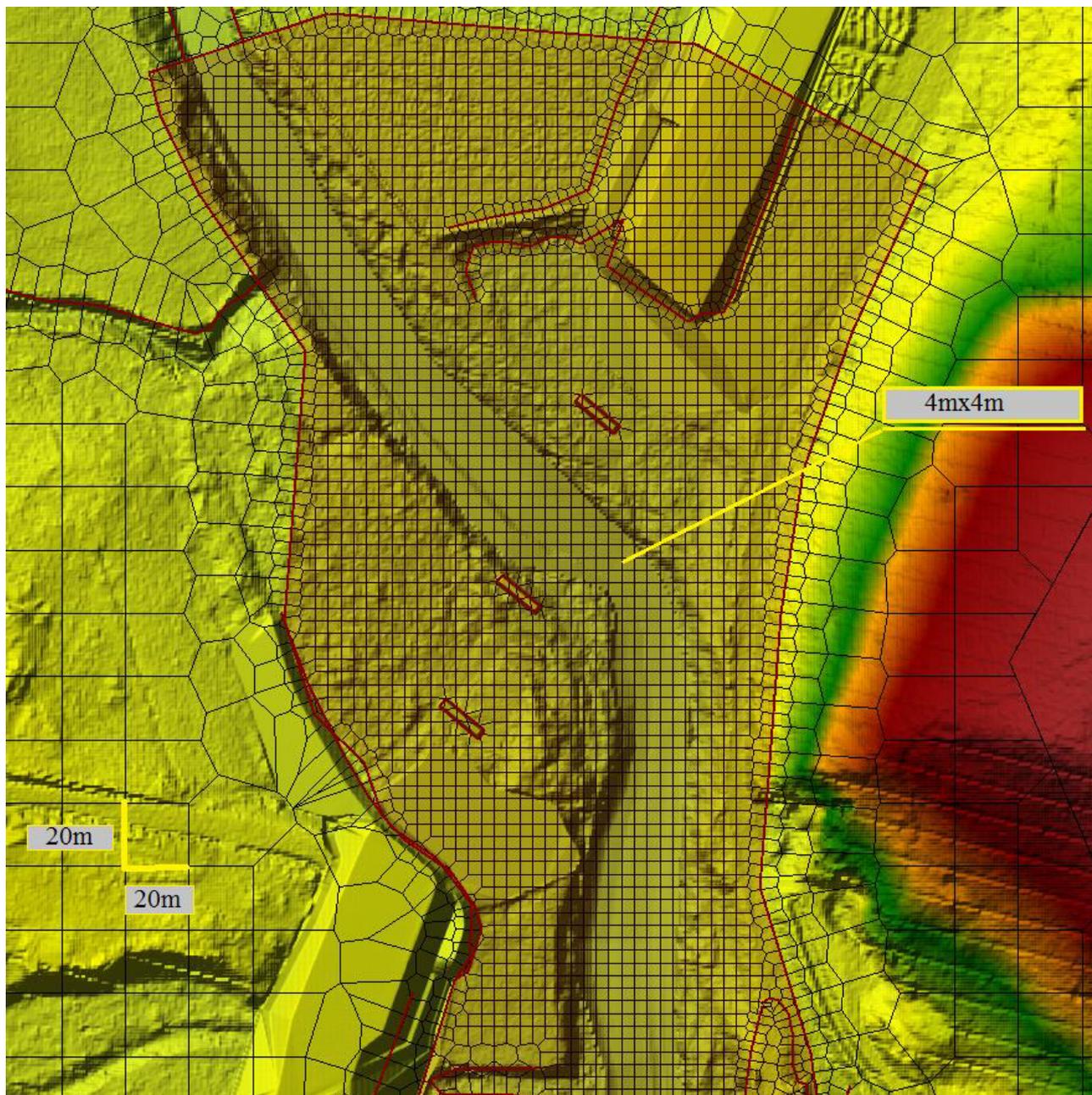


Figura 10 – Infittimento della griglia in corrispondenza dell'attraversamento sul fiume Merse.

1.8 Orografia

È importante sottolineare che il LiDAR è in grado di riprodurre in modo accurato la forma dell'alveo in tutti quei punti in cui la profondità della superficie dell'acqua è minore di circa 1 metro. La dove ciò non accade, il LiDAR riporta delle quote del fondo dell'alveo maggiori rispetto a quelle reali. Figura 11 mostra la differenza tra una sezione tracciata sul LiDAR e una sezione rilevata. Importante anche notare la congruenza tra l'orografia delle sezioni rilevate e quella del LiDAR (vedere anche Figura 12 e Figura 13).

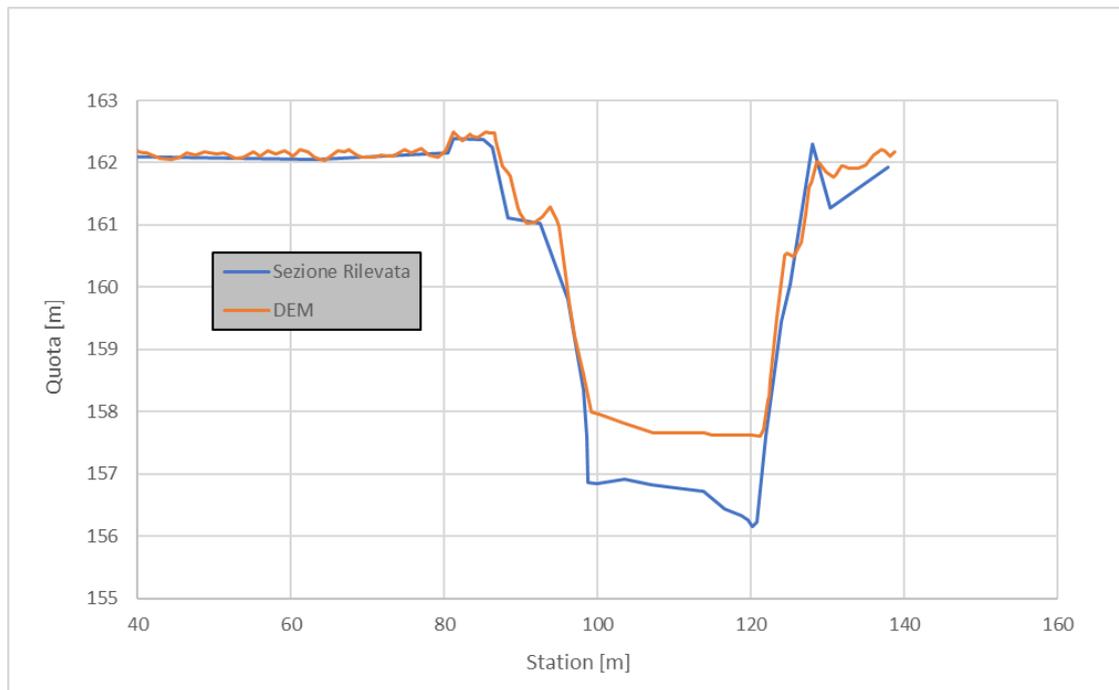


Figura 11 - Differenza tra una sezione rilevata e una sezione tracciata sul LiDAR – Esempio 1.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

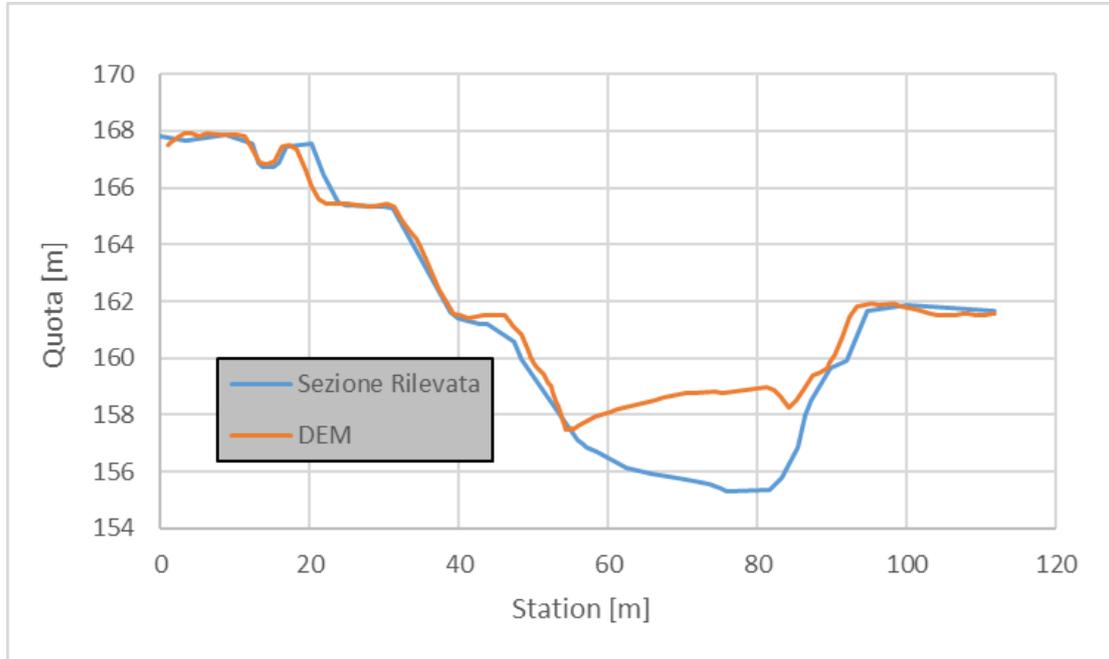


Figura 12 - Differenza tra una sezione rilevata e una sezione tracciata sul LiDAR - Esempio 2.

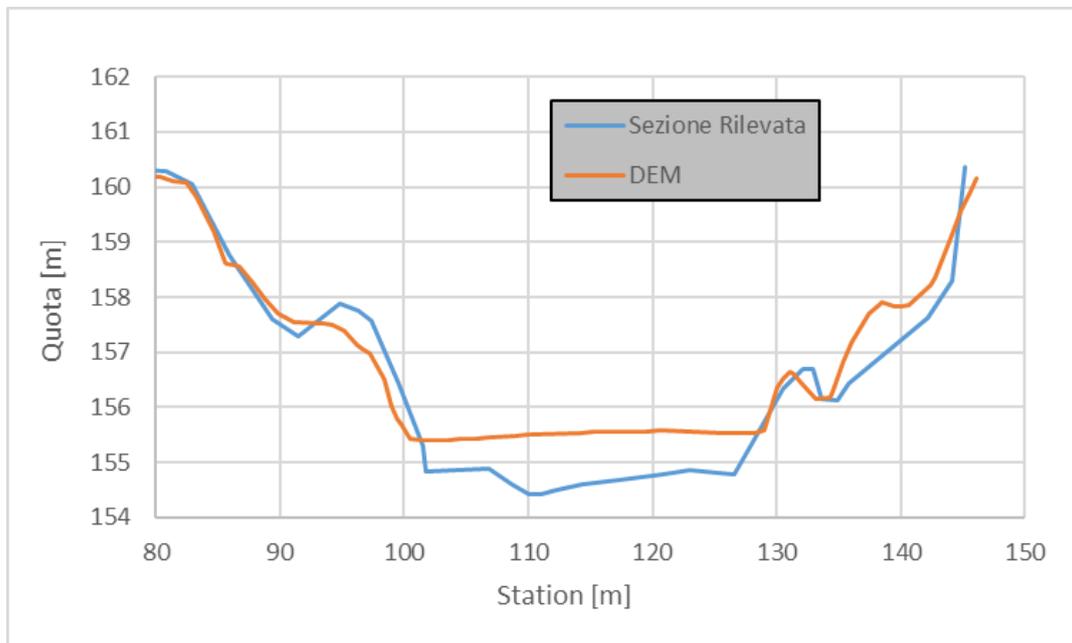


Figura 13 - Differenza tra una sezione rilevata e una sezione tracciata sul LiDAR - Esempio 3.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Per rimediare a tale “errore” del LiDAR, quest’ultimo è stato modificato all’interno delle sponde dell’alveo utilizzando l’informazione delle sezioni rilevate, lungo tutto il tratto analizzato. Figura 14 mostra un esempio di LiDAR grezzo e LiDAR modificato tenendo conto dei rilievi topografici in prossimità della Pk 46+780.

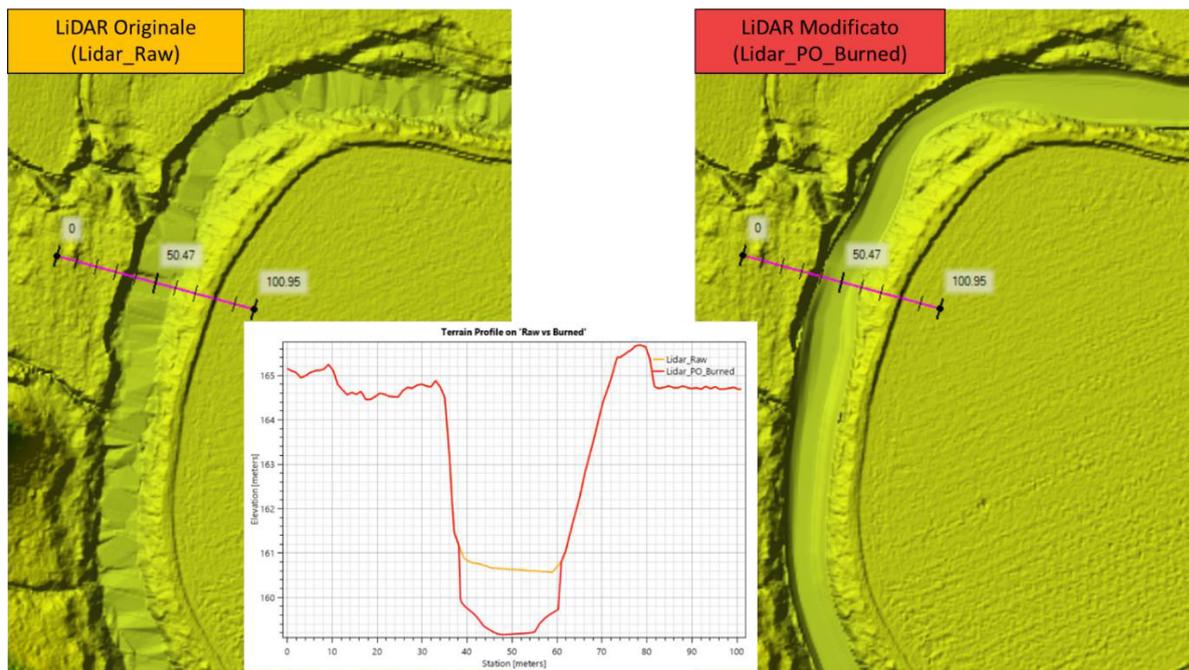


Figura 14 – Confronto tra LiDAR originale (figura di sinistra) e LiDAR modificato (figura di destra) in funzione dei rilievi topografici disponibili. Il grafico mostra il profilo della sezione tracciata sulle mappe secondo i due LiDAR.

Le pile e le spalle dei ponti sono state considerate modificando il LiDAR originale. La Figura 15 mostra un esempio della modellazione delle pile e delle spalle del ponte sul fiume Merse nello scenario Post-Operam e Ante-Operam.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

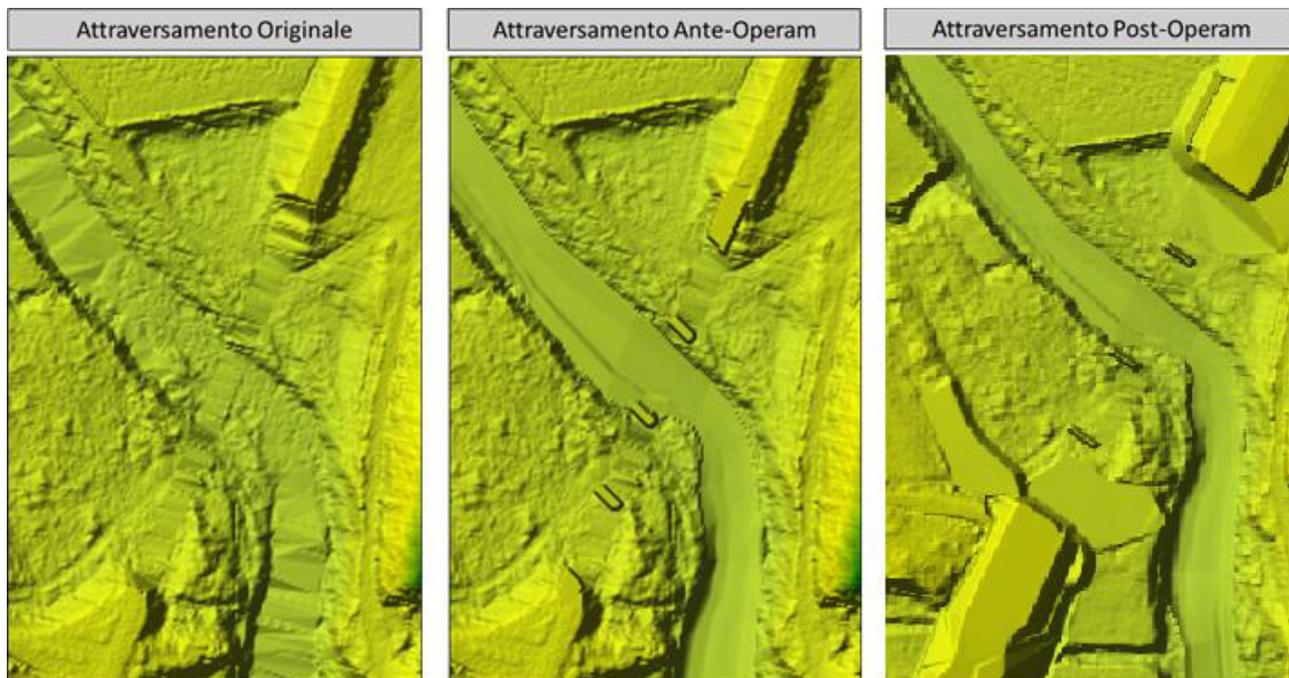


Figura 15 - Confronto tra lidar originale e lidar modificato tenendo conto delle pile e delle spalle del ponte sul fiume Merse nello scenario Ante-Operam e Post-Operam

1.9 Scabrezza

Per la determinazione del coefficiente di scabrezza su tutta l'area di studio è stato utilizzato il dataset CORINE Land Cover (CLC) scaricabile dal geoportale della Regione Toscana al sito <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>. Ad ogni classe di uso del suolo è stato associato un valore del coefficiente di Manning, secondo la seguente tabella (Pestana et al., 2013):

Classe CLC	Manning	Classe CLC	Manning
111	0.23	311	0.23
141	0.023	312	0.127
1411	0.023	324	0.058
142	0.023	331	0.138
210	0.043	3331	0.138
213	0.023	511	0.035
221	0.043	512	0.035
2221	0.043	1121	0.115
223	0.043	121	0.23
231	0.298	122	0.038
241	0.043	1221	0.038
112	0.115	131	0.0104
242	0.023	132	0.115
243	0.058	133	0.115
244	0.058		

Tabella 2 - Tabella per la conversione tra classe di uso del suolo CLC e il coefficiente di Manning (Pestana et al., 2013)

Figura 16 mostra la mappa dei coefficienti di Manning per tutta l'area di studio. Per l'alveo è stato utilizzato un coefficiente di Manning pari a 0.035 (Chow, 1959).

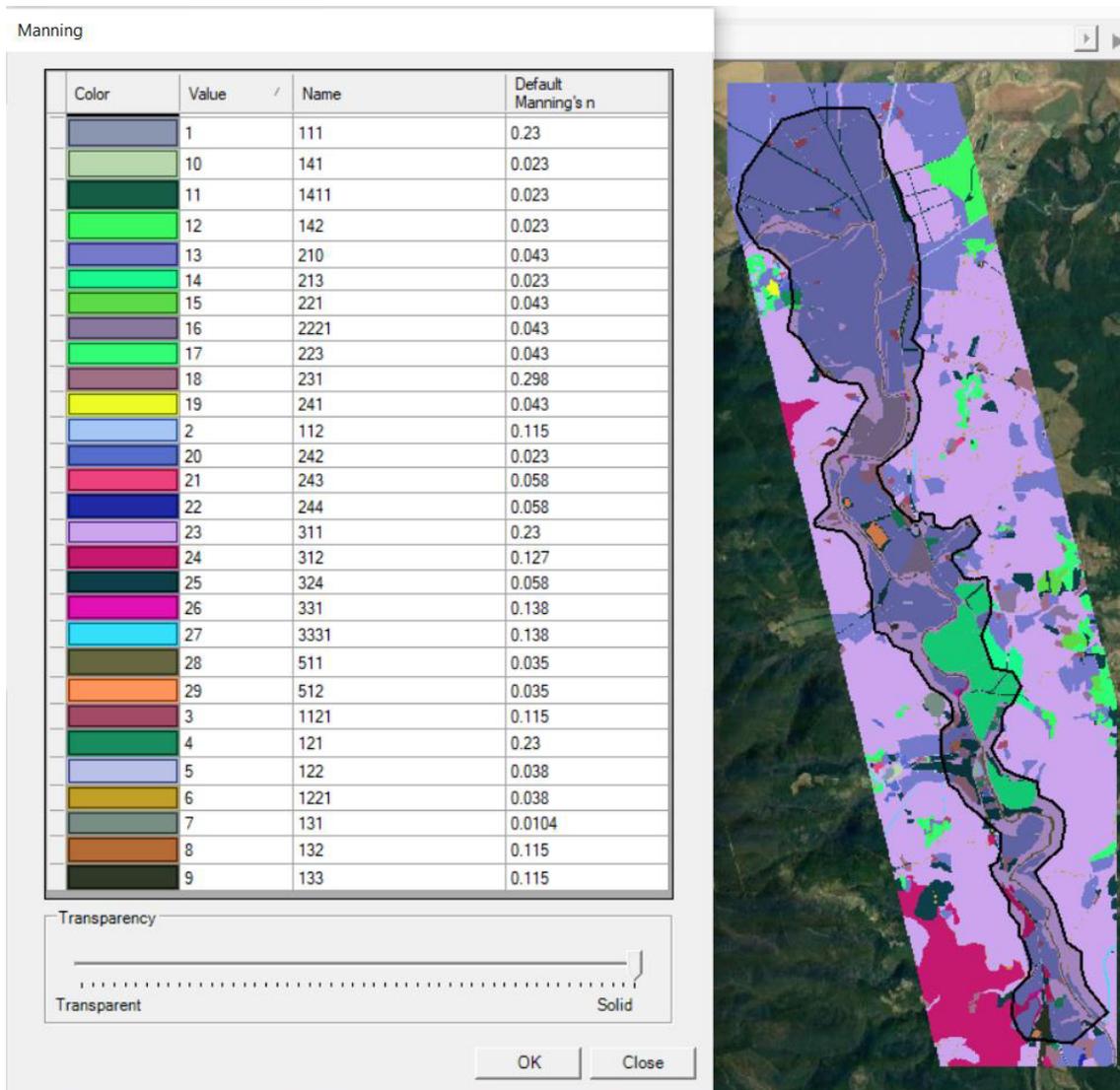


Figura 16 - Distribuzione spaziale del coefficiente di Manning per l'area di studio. La tabella di conversione è quella presente in Tabella 3 dell'articolo "Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river" di Pestana et al. (2013).

1.10 Condizioni al contorno del modello

La condizione al contorno di valle (Figura 17) consiste nell'imporre la pendenza delle perdite di carico totali pari alla pendenza dell'alveo, pari a 0.005 nel tratto terminale di alveo considerato.

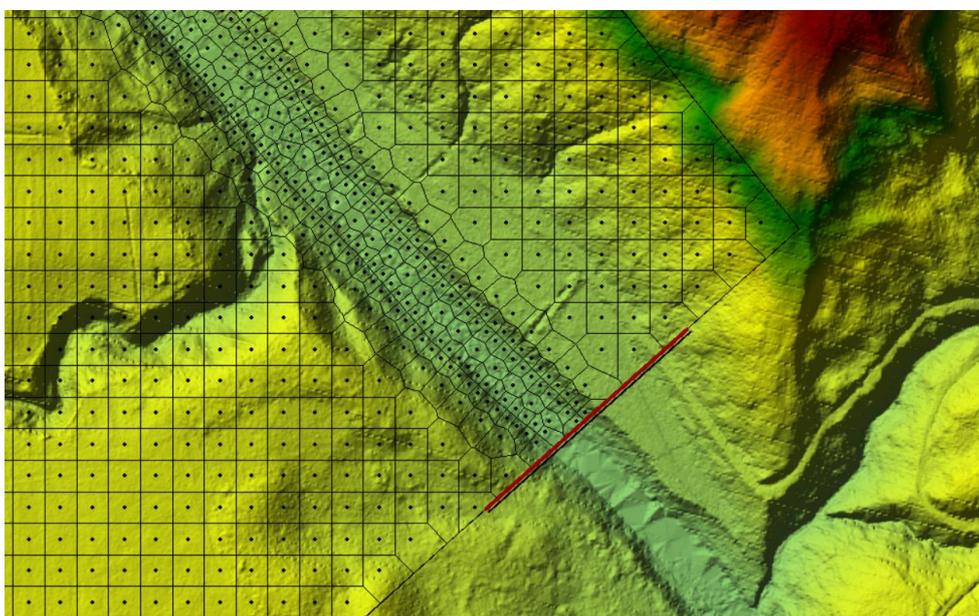


Figura 17 - Condizione al contorno di valle: perdita dei carichi totali pari alla pendenza dell'alveo.

Le condizioni al contorno di monte consistono in due idrogrammi e nella uguaglianza tra pendenza del terreno e perdite di carico totali lungo il perimetro della griglia di calcolo, come mostrato in Figura 18.

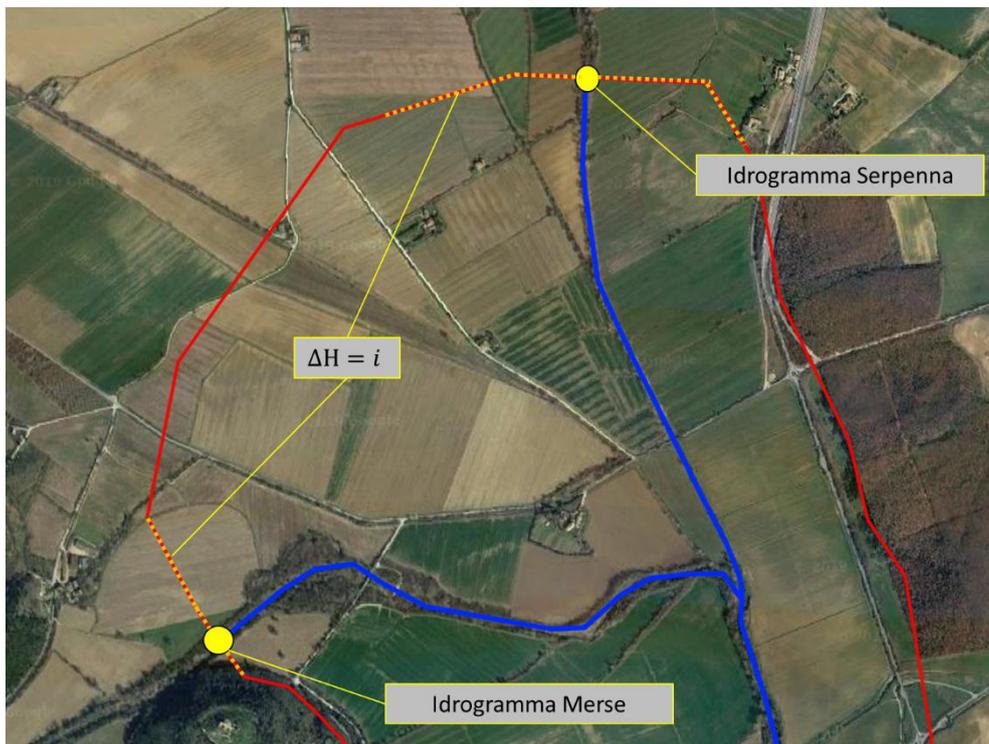


Figura 18 – Posizionamento delle condizioni al contorno di monte: due idrogrammi in corrispondenza dei cerchi gialli e uguaglianza tra pendenza del terreno e perdite di carico totali lungo il perimetro dell'area del modello (linea arancione tratteggiata).

La portata di picco per il fosso Serpenna è stata calcolata con il metodo razionale, utilizzando la seguente espressione:

$$Q_{T_r} = C_{T_r} * i_{T_r} * A$$

Con C_{T_r} coefficiente di deflusso, i_{T_r} intensità critica e A area del bacino.

L'intensità critica è stata calcolata come rapporto tra altezza critica e il tempo di corrivazione del bacino. L'altezza critica è stata stimata tramite i coefficienti a e n della curva di possibilità pluviometrica, ricavati dalle mappe di regionalizzazione scaricabili gratuitamente dal sito della Regione Toscana al sito <https://www.regione.toscana.it/-/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni>. L'altezza critica è stata calcolata in ogni pixel e poi è stato calcolato il valore

medio delle altezze critiche sul tutto il bacino del fosso Serpenna, per i tempi di ritorno 10, 30 e 200 anni. (la Figura 19 mostra un esempio relativo al parametro a_{200}).

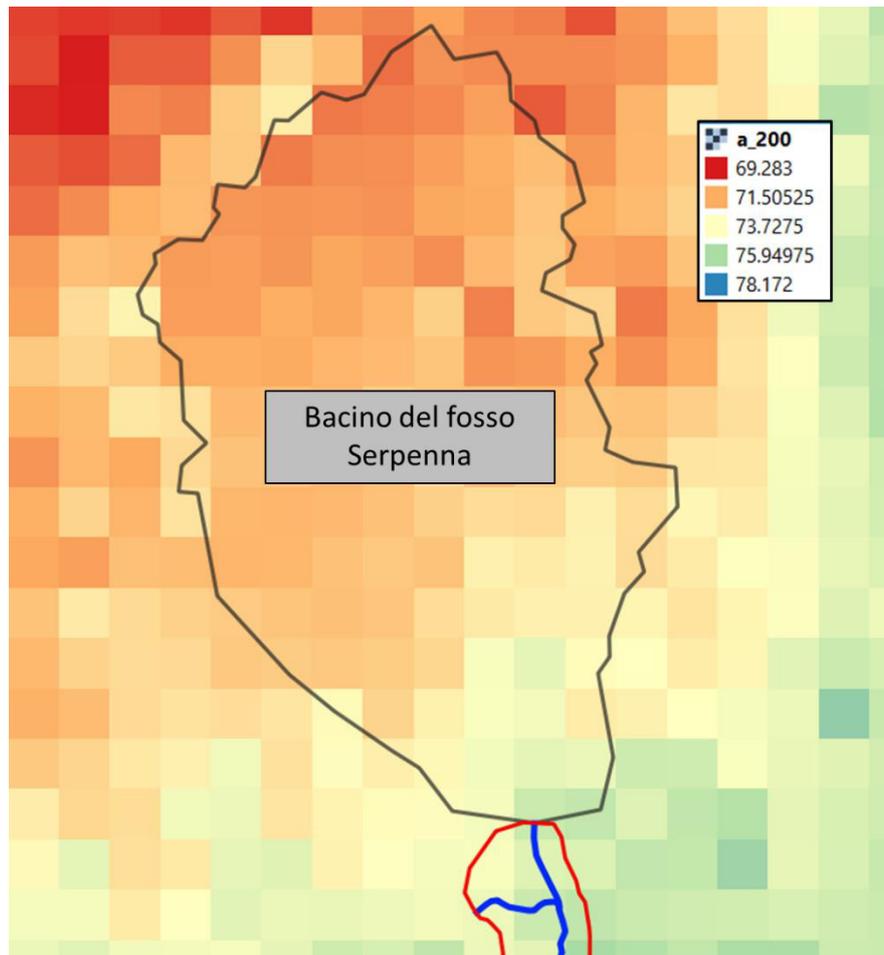


Figura 19 - Distribuzione del parametro a della curva di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno pari a 200 anni. L'area del bacino del fosso Serpenna è stata utilizzata per calcolare il valore medio delle altezze critiche sul tutto il bacino.

Il tempo di corrivazione, necessario per il calcolo dell'intensità critica, è stato calcolato tramite la formula di Giandotti (valida per bacini di area superiore ai 100km²):

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - h_0}}$$

Con L lunghezza dell'asta principale, H_m altezza media del bacino e h_0 altezza del bacino in corrispondenza della sezione di chiusura. Tali grandezze sono state ricavate sulla base del DEM

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

 a risoluzione 10x10m² scaricabile gratuitamente al sito

<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>.

Il coefficiente di deflusso è stato calcolato tramite il metodo del Soil Conservation Service (SCS), in funzione del parametro CN, tramite la seguente espressione:

$$C = \frac{(1 - 0.2K)^2}{(1 + 0.8K)}$$

con $K = S/h_c$ e $S = 25.4(\frac{100}{CN} - 10)$. Per la stima del CN è stato utilizzata la mappa dei CN scaricabile gratuitamente al sito <https://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>; successivamente è stata calcolata la media di tutti i CN ricadenti all'interno del bacino del fosso Serpenna, in modo analogo alla stima dei parametri medi a e n della curva di possibilità pluviometrica (vedi Figura 19).

Tabella 3 riassume i dati necessari al calcolo della portata di picco del fosso Serpenna.

	$T_r = 200$	$T_r = 30$	$T_r = 10$
CN	72	72	72
S [mm]	99	99	99
A [km²]	108	108	108
H_{med} [mm]	303	303	303.0
H_{min} [mm]	180	180	180.0
L [km]	20.2	20.2	20.2
T_c [h]	8.1	8.1	8.1
h_c [mm]	150.47	94.86	68.40
i_c [mm/h]	18.6	11.7	8.4
k	0.7	1.1	1.4
C	0.49	0.34	0.23
Q [m³/s]	276	120	59

Tabella 3 - Tabella riassuntiva delle caratteristiche geometriche del bacino del fosso Serpenna e dei parametri necessari alla stima della portata di picco.

La portata di picco per il fiume Merse è stata calcolata riscaldando la portata di 1050 m³/s (derivante dallo studio idrologico della relazione T00ID00IDRRE01_C) sottraendo all'area complessiva del fiume Merse (483 km²) l'area del bacino del fosso Serpenna.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Le portate di picco utilizzate nella modellazione sono riportate in Tabella 4 - Portate di picco per la definizione delle condizioni al contorno di monte del modello. Tabella 4.

Portate di picco	Q ₁₀ [m ³ /s]	Q ₃₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
Fosso Serpenna	59	116	275
Fiume Merse	455	582	815

Tabella 4 - Portate di picco per la definizione delle condizioni al contorno di monte del modello.

La forma degli idrogrammi (Figura 20) è stata ricavata con il modello di Nash, utilizzando gli stessi parametri della relazione idrologica (T00ID00IDRRE01_C) e utilizzando lo stesso tempo di picco dell'idrogramma relativo alla portata di 1050 m³/s (11 ore) sia per l'idrogramma del fiume Merse che per l'idrogramma del fosso Serpenna, come condizione cautelativa.

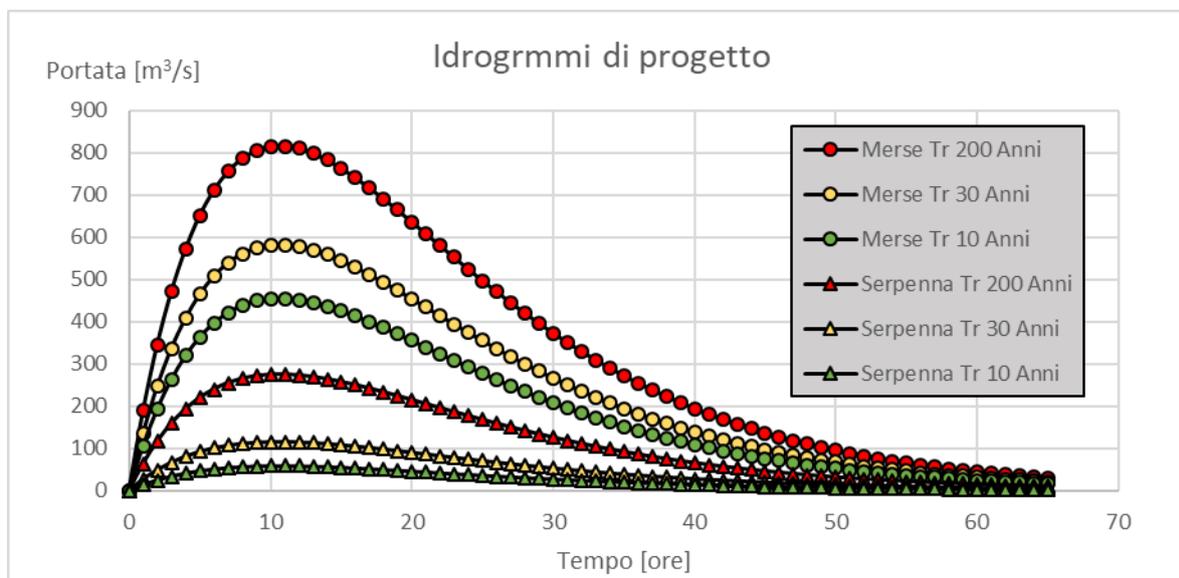


Figura 20 - Idrogrammi in input al modello come condizioni al contorno di monte, per il fiume Merse (indicato con cerchi) e per il fosso Serpenna (indicato con triangoli), per un tempo di ritorno pari a 10 anni (in verde), 30 anni (in giallo) e 200 anni (in rosso).

È stata poi eseguita un’analisi sui dati idrometrici osservati dell’idrometro Montepescini [TOS03005711] del Servizio Idrologico della Regione Toscana (SIR) per individuare un possibile evento di piena maggiore di quello corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni ottenuto dall’analisi di inferenza statistica (con una distribuzione di Gumbel) sui dati idrometrici storici dal 1933 al 1979. Tuttavia, l’impossibilità del reperimento della scala di deflusso (Figura 21) e l’incongruenza delle quote dello zero idrometrico e della quota slm dell’idrometro Montepescini rispetto alle quote del LiDAR (la quota minima della sezione in corrispondenza dell’idrometro secondo il LiDAR è pari a circa 122m, mentre la quota dell’idrometro e dello zero idrometrico secondo il SIR sono pari rispettivamente a 161.63m e 140m), hanno portato a risultati con un elevato grado di incertezza.

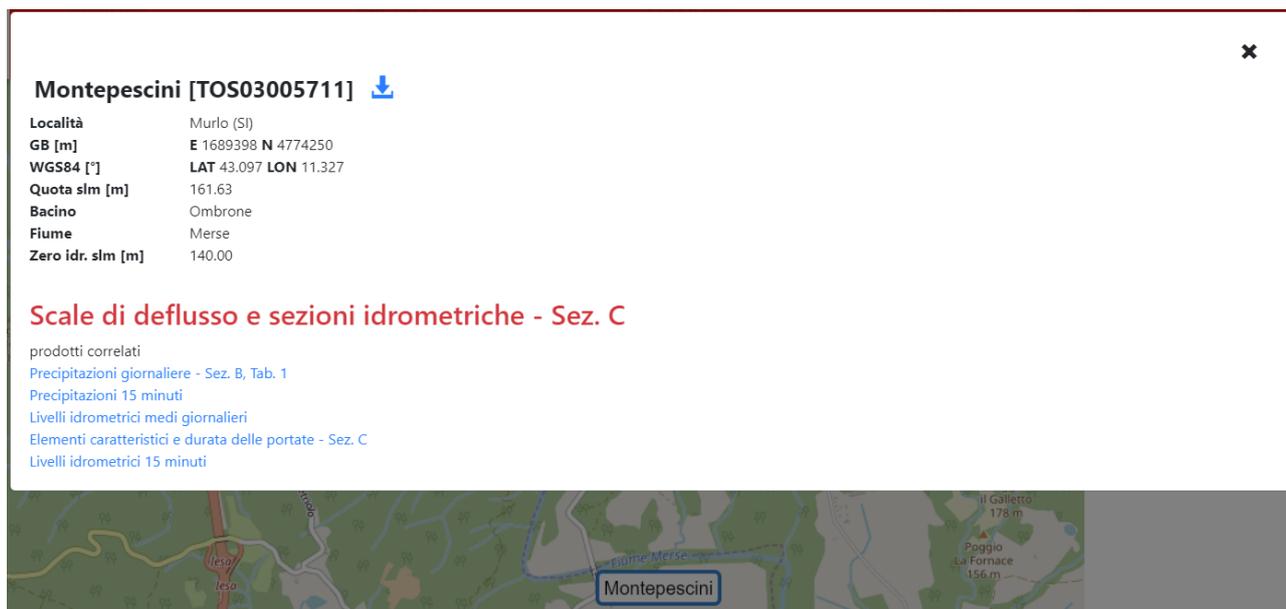


Figura 21 - Informazioni sull'idrometro Montepescini per l'analisi degli eventi di piena osservati.

La scala di deflusso è stata ricostruito in HEC-RAS con una modellazione monodimensionale, come mostrato in Figura 22. In assenza di sezioni rilevate, le sezioni sono state definite in funzione del LiDAR.

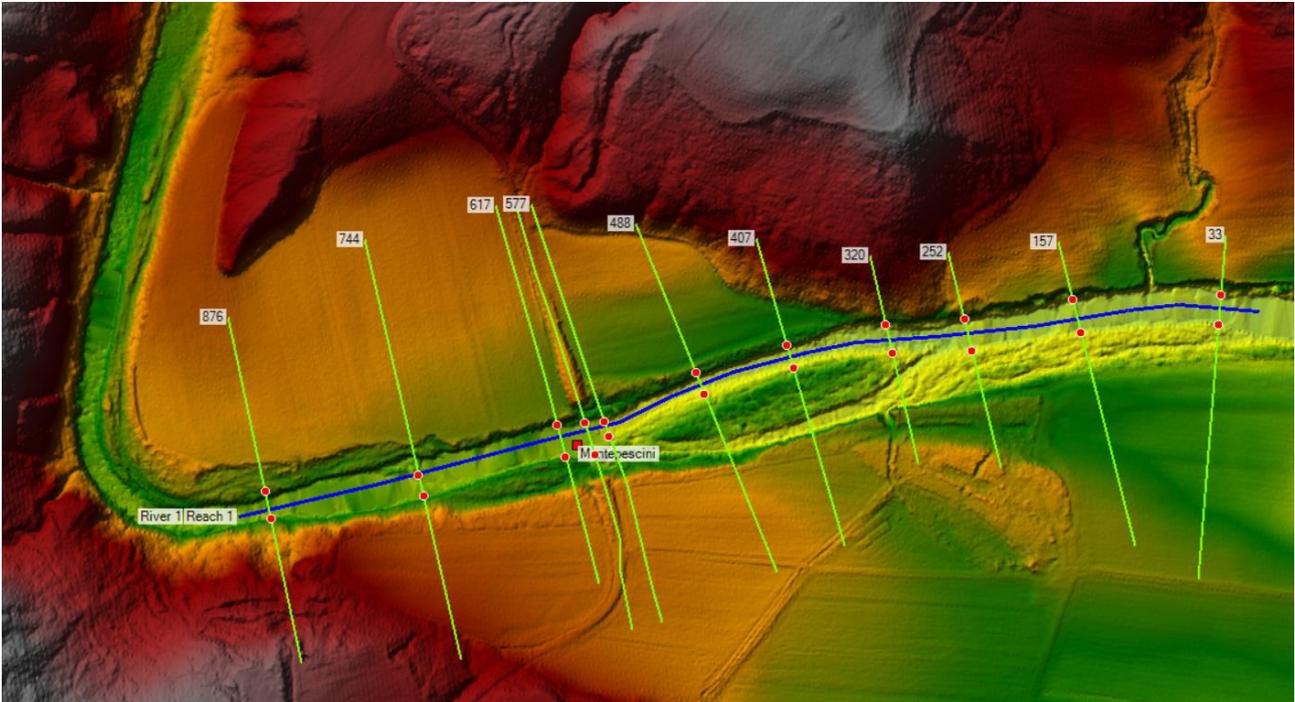


Figura 22 - Modello monodimensionale HEC-RAS per la ricostruzione della scala di deflusso della sezione dell'idrometro Montepescini.

Sono stati generati diversi profili corrispondenti a diverse portate, ottenendo la scala di deflusso (Figura 23).

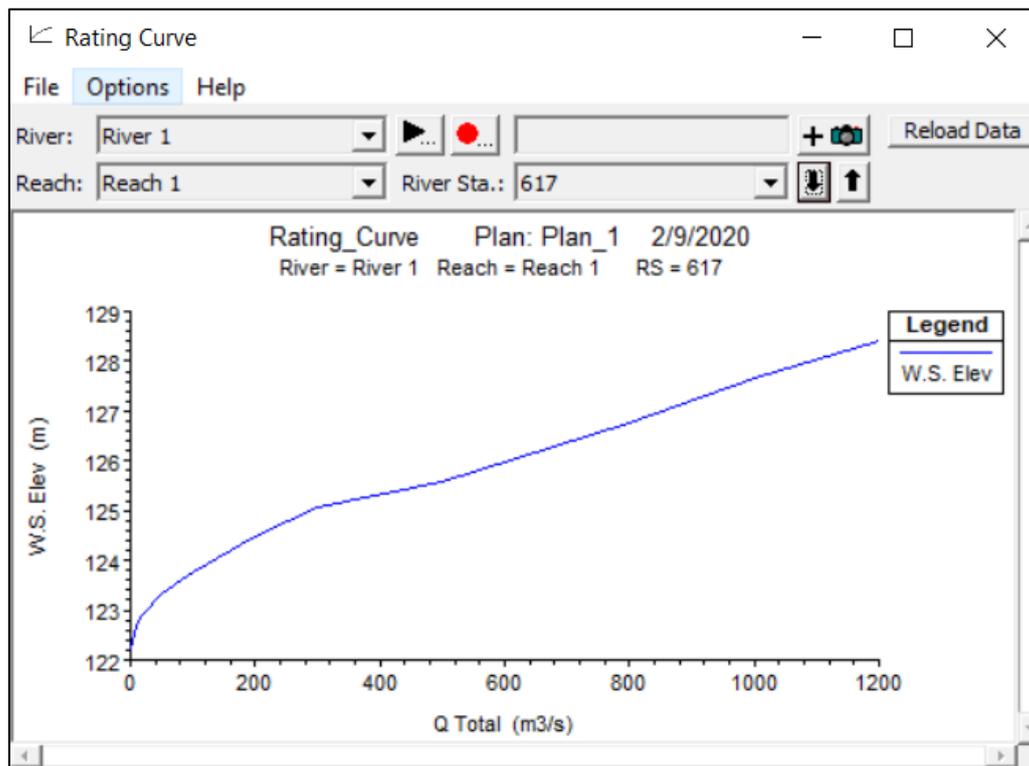


Figura 23 – Ricostruzione della scala delle portate dell'idrometro Montepescini.

Dal 2003 fino ad oggi, il livello idrometrico medio giornaliero massimo registrato è quello del 17 Novembre 2019, pari a 2.16m. Secondo la scala delle portate ottenute con il modello precedentemente descritto, a 2.16m corrisponde una portata pari a 154 m³/s.

1.11 Teoria alla base del modello

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello bidimensionale del fiume Merse è il software Hec-Ras 5.0.7 sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America. La modellazione bidimensionale di un corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza la propagazione delle onde di piena nell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue con la riuscendo a modellare il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature; è possibile inoltre rappresentare con un elevato grado di dettaglio la propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

valle. Allo stesso tempo la rappresentazione in termini bidimensionali del campo di velocità consente di analizzare l'evoluzione degli allagamenti indotti dal propagarsi delle onde di piena all'interno dell'area esaminata. Il software impiegato è in grado di contenere all'interno dello stesso modello numerico elementi di tipo bidimensionale e monodimensionale. Il modello numerico utilizzato risolve le equazioni in condizioni di moto vario.

La rappresentazione bidimensionale del moto si basa sulla risoluzione delle shallow water equations (o SWE). Le ipotesi alla base per la soluzione delle SWE sono che il flusso sia orizzontale e che la variazione della velocità nella verticale rispetto alla direzione del moto sia trascurabile. Inoltre, le equazioni sono sviluppate accettando a priori l'ipotesi di idrostaticità del gradiente delle pressioni lungo la direzione verticale. La formulazione delle SWE utilizzate nel software è riassunta di seguito:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1d}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial x} = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1d}$$

I termini citati rappresentano rispettivamente: h , il tirante idrico della corrente; u e v , rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni x e y ; t , il tempo; g , l'accelerazione di gravità; $S_{0,x}$, $S_{0,y}$ le componenti dovute alle tensioni tangenziali al fondo, rispettivamente in direzione x e y ; $S_{f,x}$, $S_{f,y}$, le componenti dovute alla pendenza del fondo, rispettivamente in direzione x e y ; q_{1D} , la portata immessa per unità di superficie; u_{1d} e v_{1d} , le componenti di velocità relative alla portata immessa rispettivamente in direzione x e y .

Il contributo degli effetti turbolenti viene considerato limitatamente alla turbolenza localizzata alla parete (wallfriction), mentre gli effetti turbolenti legati alle fluttuazioni di velocità nelle

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

regioni più interne del fluido vengono trascurate. In genere si ingloba quest'ultimo effetto dissipativo nel termine che rappresenta la dissipazione localizzazione alla parete.

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

Le SWE, applicate in forma conservativa, sono discretizzate usando lo schema esplicito di primo ordine ai volumi finiti. Gli schemi ai volumi finiti utilizzano volumi di controllo per rappresentare le aree di interesse. Il dominio di calcolo è suddiviso in forme geometriche in grado di interpretare le caratteristiche peculiari del campo di moto stesso sulle quali vengono integrate le SWE.

Lo schema che risolve le SWE è basato sullo schema numerico di Gudonov con i flussi numerici attraverso i contorni dei volumi di controllo calcolati. La metodologia secondo i volumi finiti è considerata essere vantaggiosa in termini di flessibilità della geometria e semplicità concettuale.

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

$$c \frac{\Delta x}{\Delta t} \leq 1$$

dove: c è il numero di Courant (il valore di default è 0.95). Inoltre, He-Ras utilizza mesh non strutturate per rappresentare il dominio di calcolo bidimensionale.

4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE 2D

In questo capitolo vengono presentati i risultati delle modellazioni bidimensionali. Verranno mostrati i tiranti e le velocità dello scenario Post-Operam per un tempo di ritorno di 10, 30 e 200 anni e le differenze in termini di tirante, velocità e magnitudo tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam per un tempo di ritorno di 200 anni. L'area studiata verrà divisa in 4 parti per una visualizzazione a scala maggiore (Figura 24).

La definizione delle classi di magnitudo è quella presente nel CAPO 1, Articolo 2, comma 1, lettera h della Legge Regionale N. 30/2018 del Consiglio Regionale della Toscana, riportata in Tabella 5. La magnitudo per un tempo di ritorno di 200 anni in condizioni di Post-Operam è rappresentata in Figura 25.

Magnitudo idraulica	Caratteristiche idrauliche
Moderata	$\begin{cases} h \leq 0.5m \\ v \leq 1m/s \end{cases}$
Severa	$\begin{cases} h \leq 0.5m \\ v > 1 m/s \end{cases}$ <p style="text-align: center;"><i>oppure</i></p> $\begin{cases} 0.5m < h \leq 1m \\ v \leq 1 m/s \end{cases}$
Molto severa	$\begin{cases} 0.5m < h \leq 1m \\ v \geq 1 m/s \end{cases}$ <p style="text-align: center;"><i>oppure</i></p> $h > 1m$

Tabella 5 - Classi di magnitudo secondo la Legge Regionale N. 30/2018 del Consiglio Regionale della Toscana.

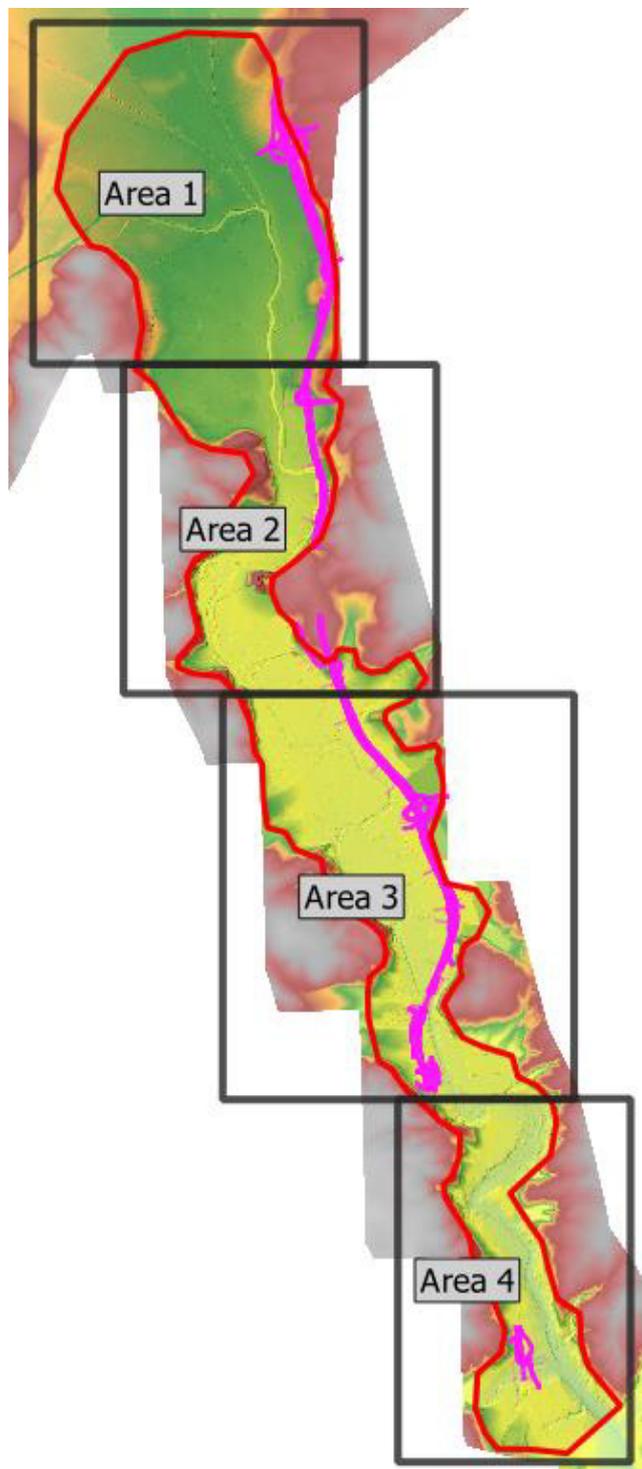


Figura 24 – Porzioni in cui è stata suddivisa l'area di studio per una più chiara visualizzazione ed esposizione dei risultati.

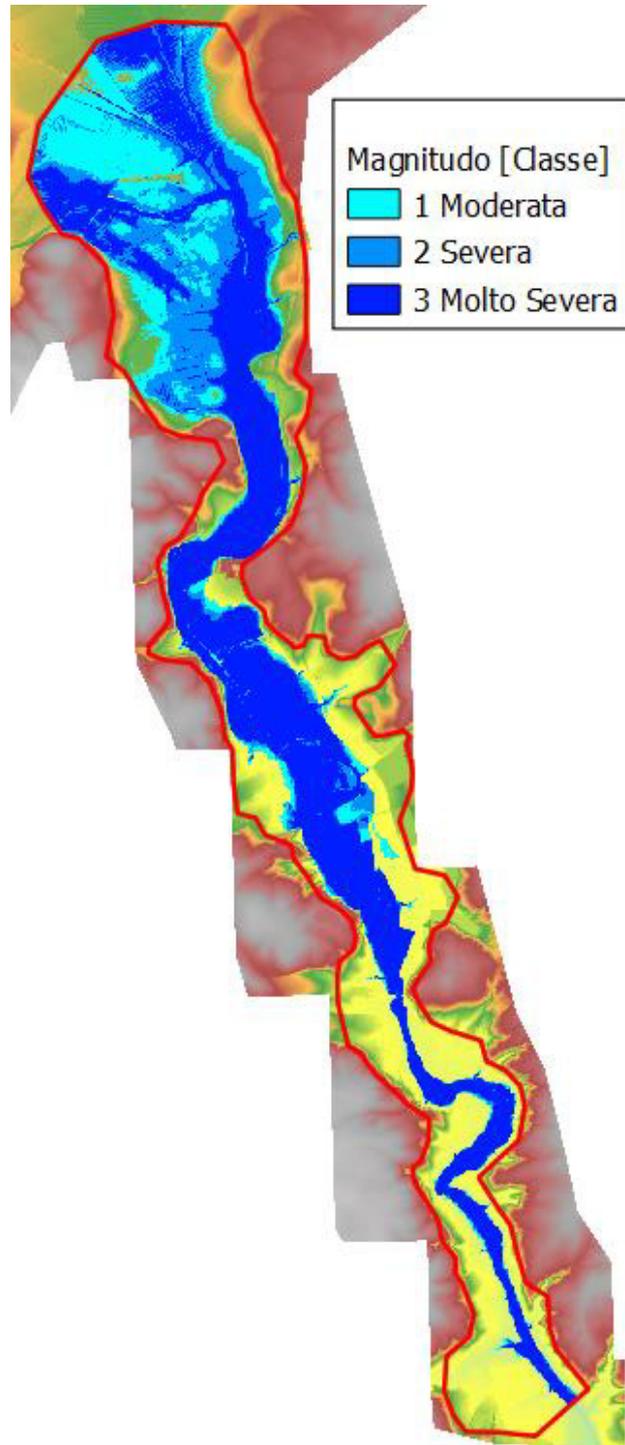


Figura 25 - Magnitudo per Tr200 in condizioni Post-Operam.

1.12 Area 1

In questo capitolo vengono presentati i risultati delle simulazioni relativamente all'Area 1 (Pk51+180,000 – 53+859,247).

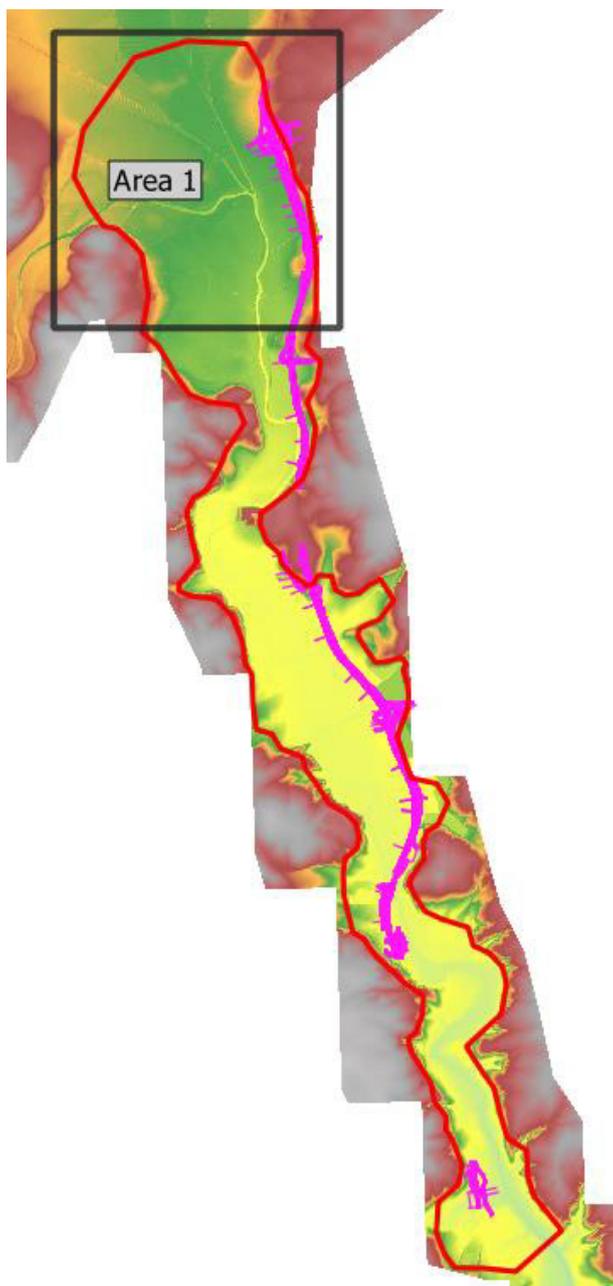


Figura 26 - Area 1

1.1.1 Pericolosità PGRA

In Figura 27 è rappresentata la pericolosità idraulica secondo il PGRA.

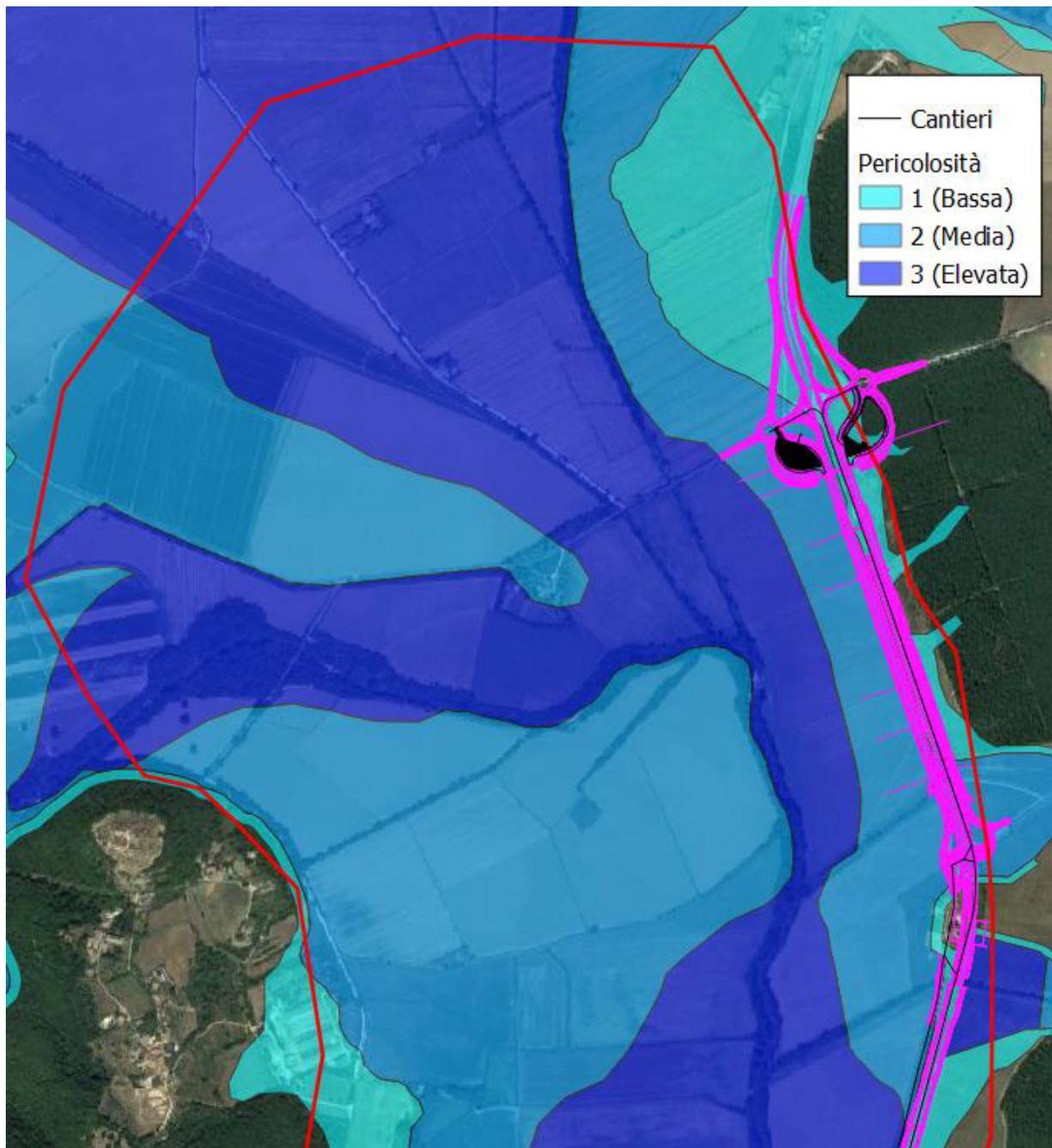


Figura 27 - Area 1, Pericolosità idraulica secondo il PGRA

1.1.2 Mappe dei tiranti

Di seguito vengono riportate le mappe dei tiranti relativamente alle condizioni Post-Operam e Ante-Operam per un tempo di ritorno di 200 anni (Figura 28 e Figura 29), 30 anni (Figura 30 e Figura 31) e 10 anni (Figura 32 e Figura 33).

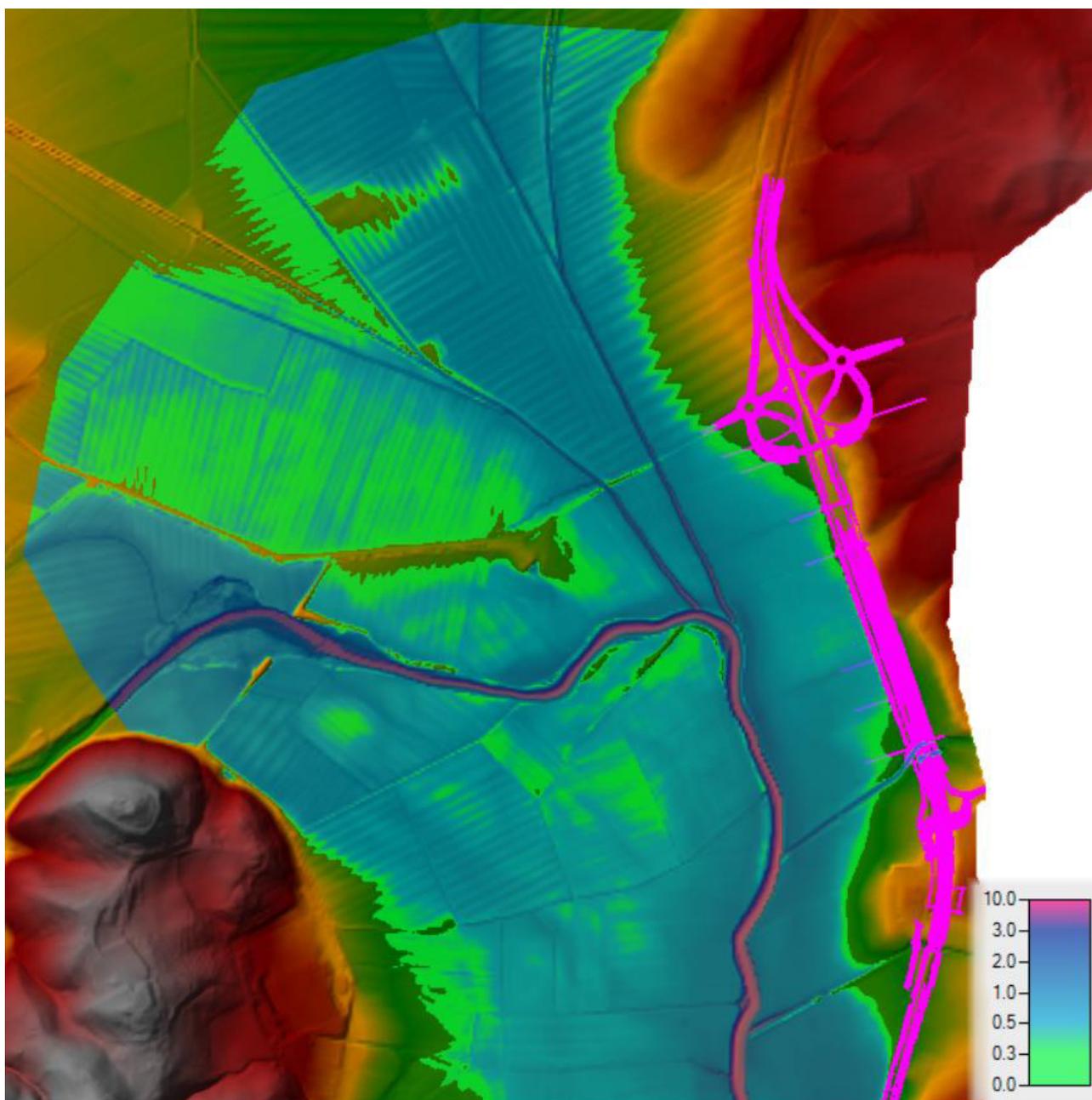


Figura 28 - Area 1, Tr200, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

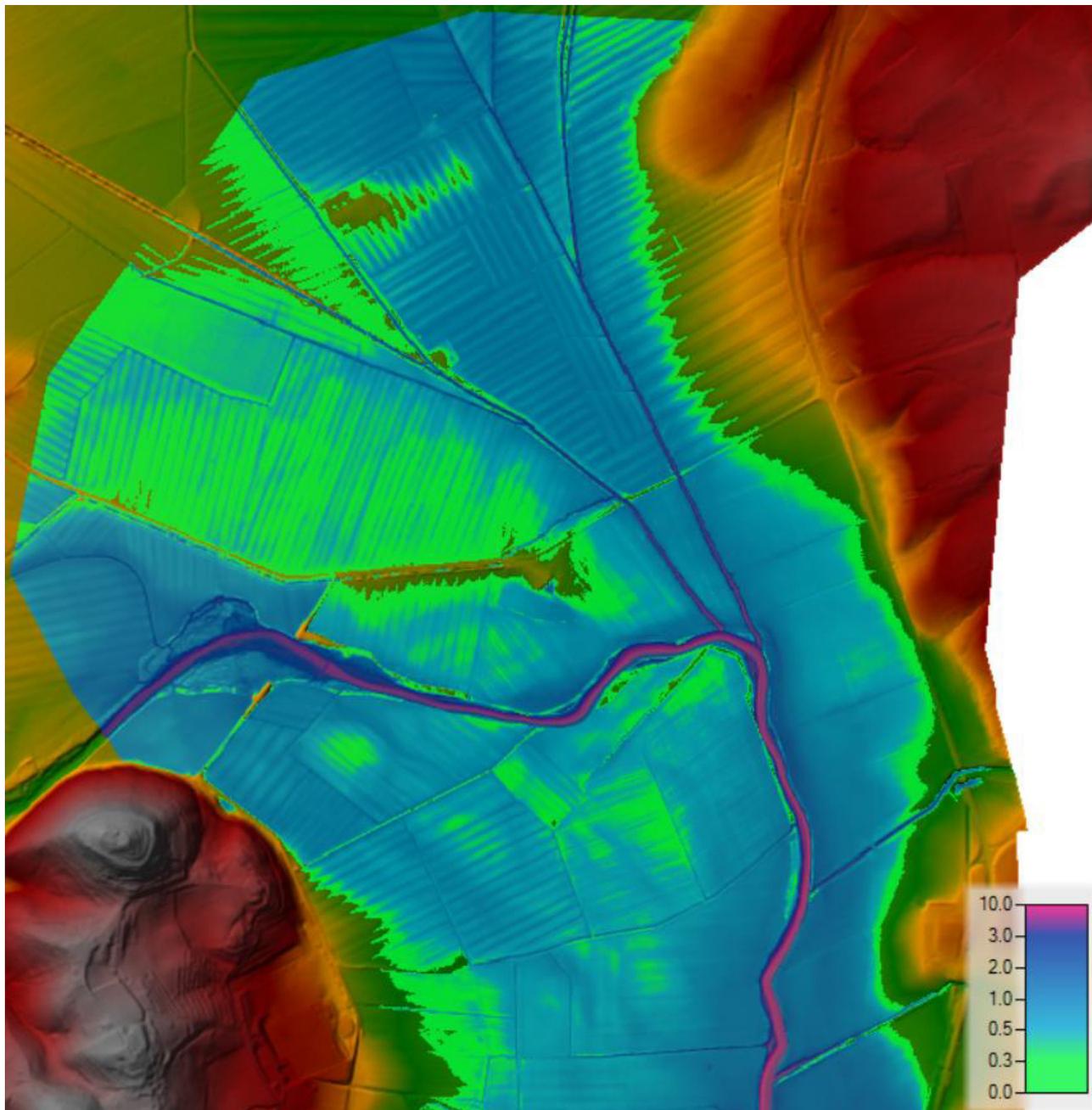


Figura 29 - Area 1, Tr200, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

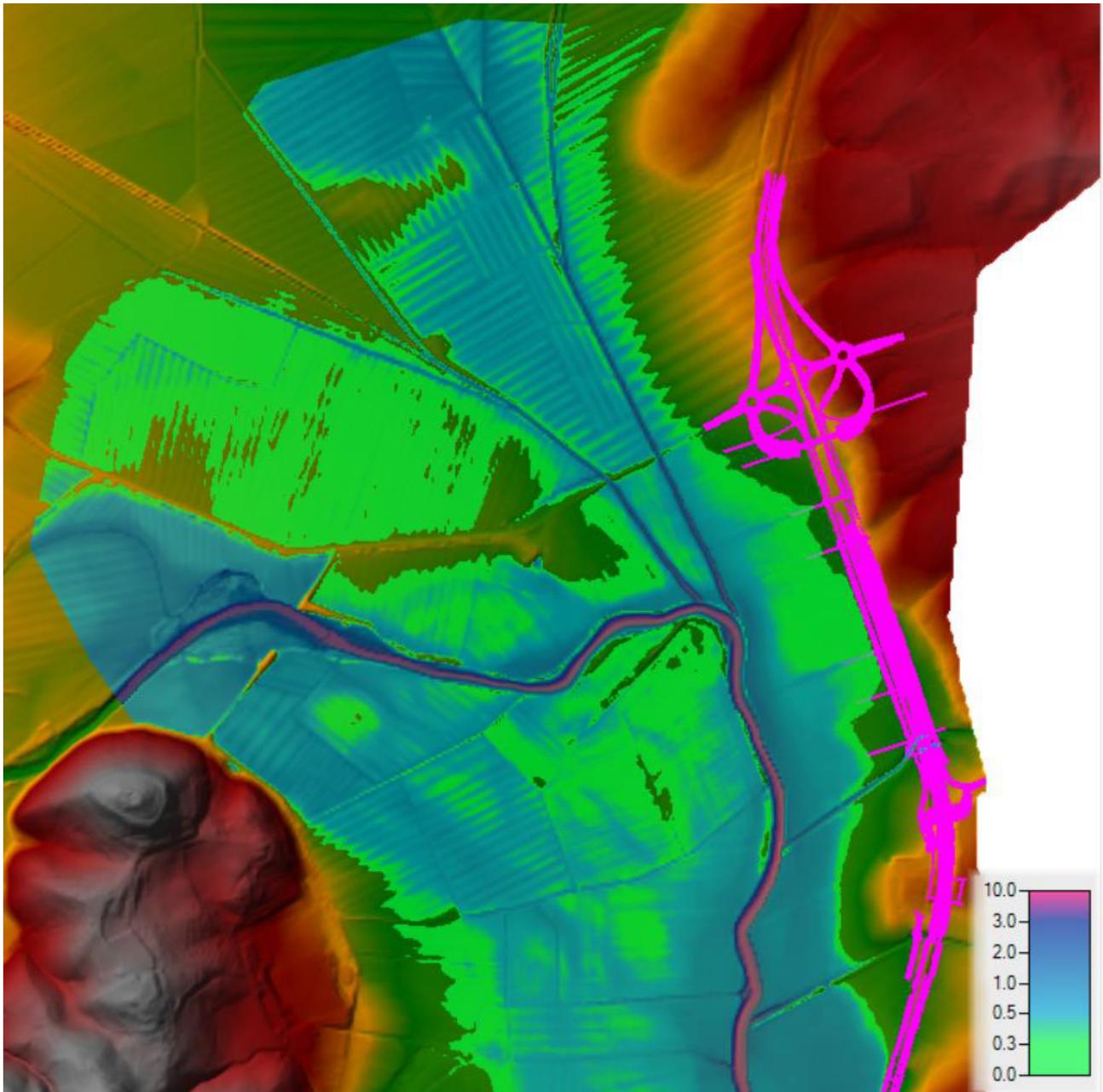


Figura 30 - Area 1, Tr30, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

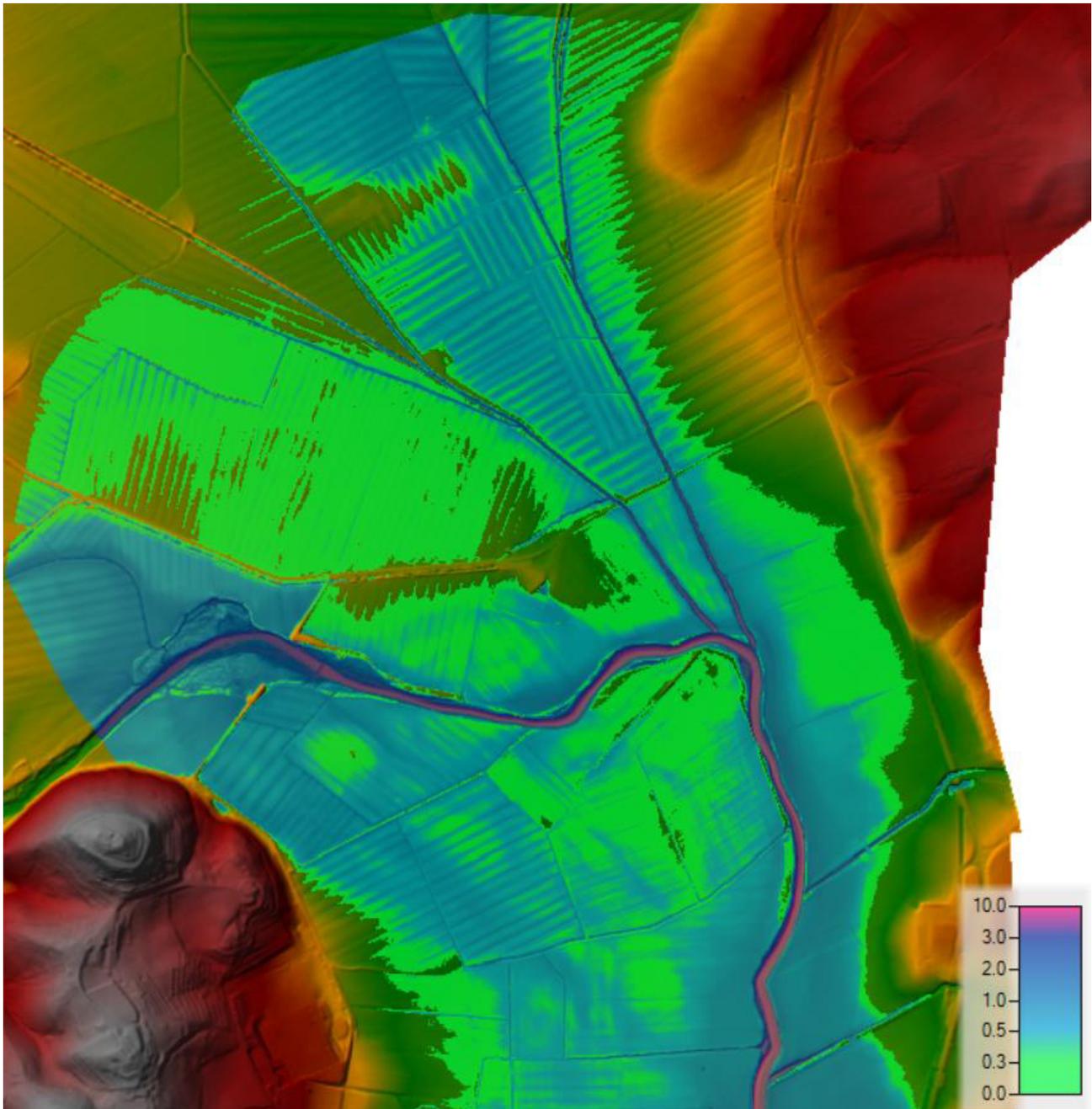


Figura 31 - Area 1, Tr30, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

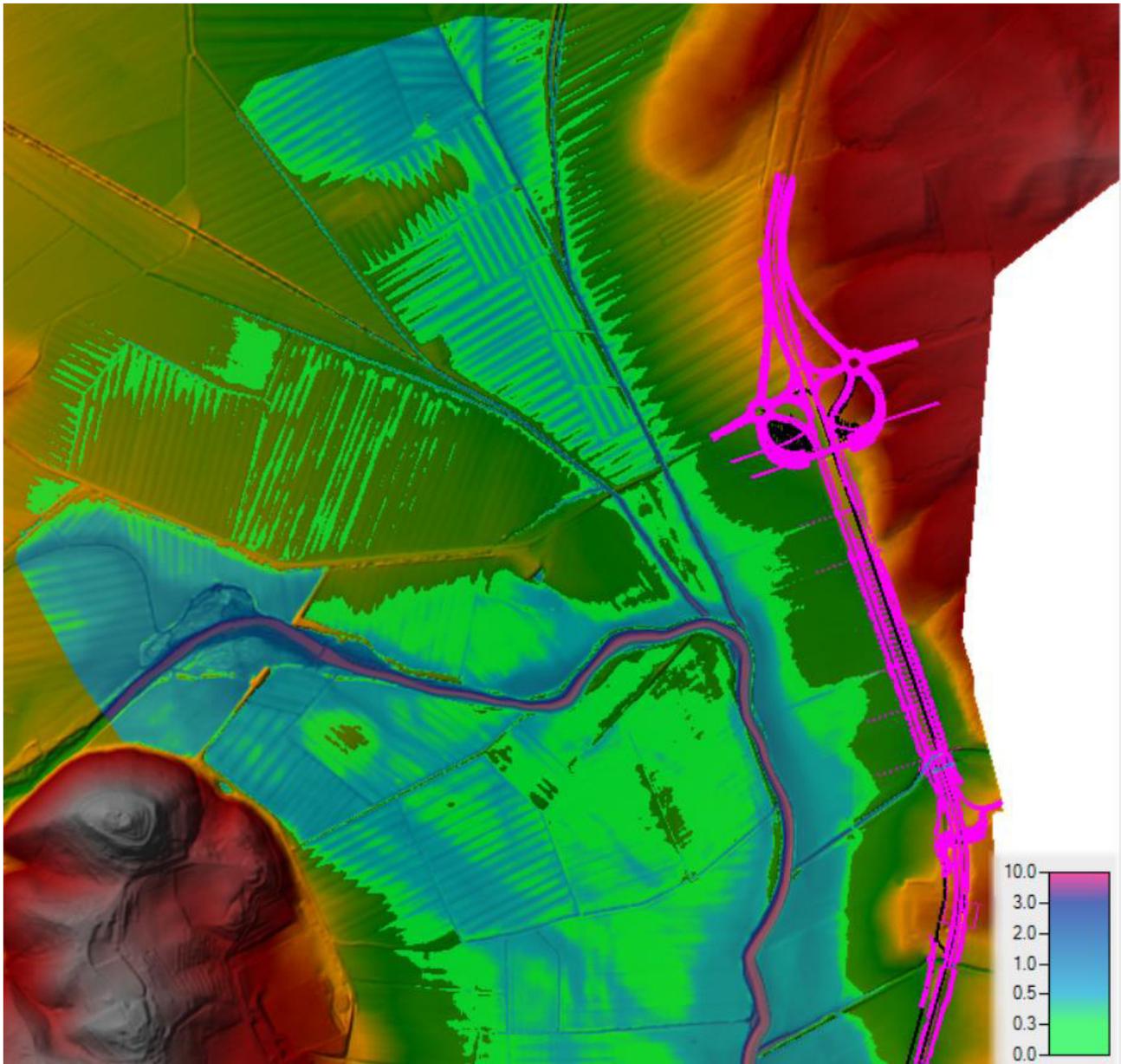


Figura 32 - Area 1, Tr10, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

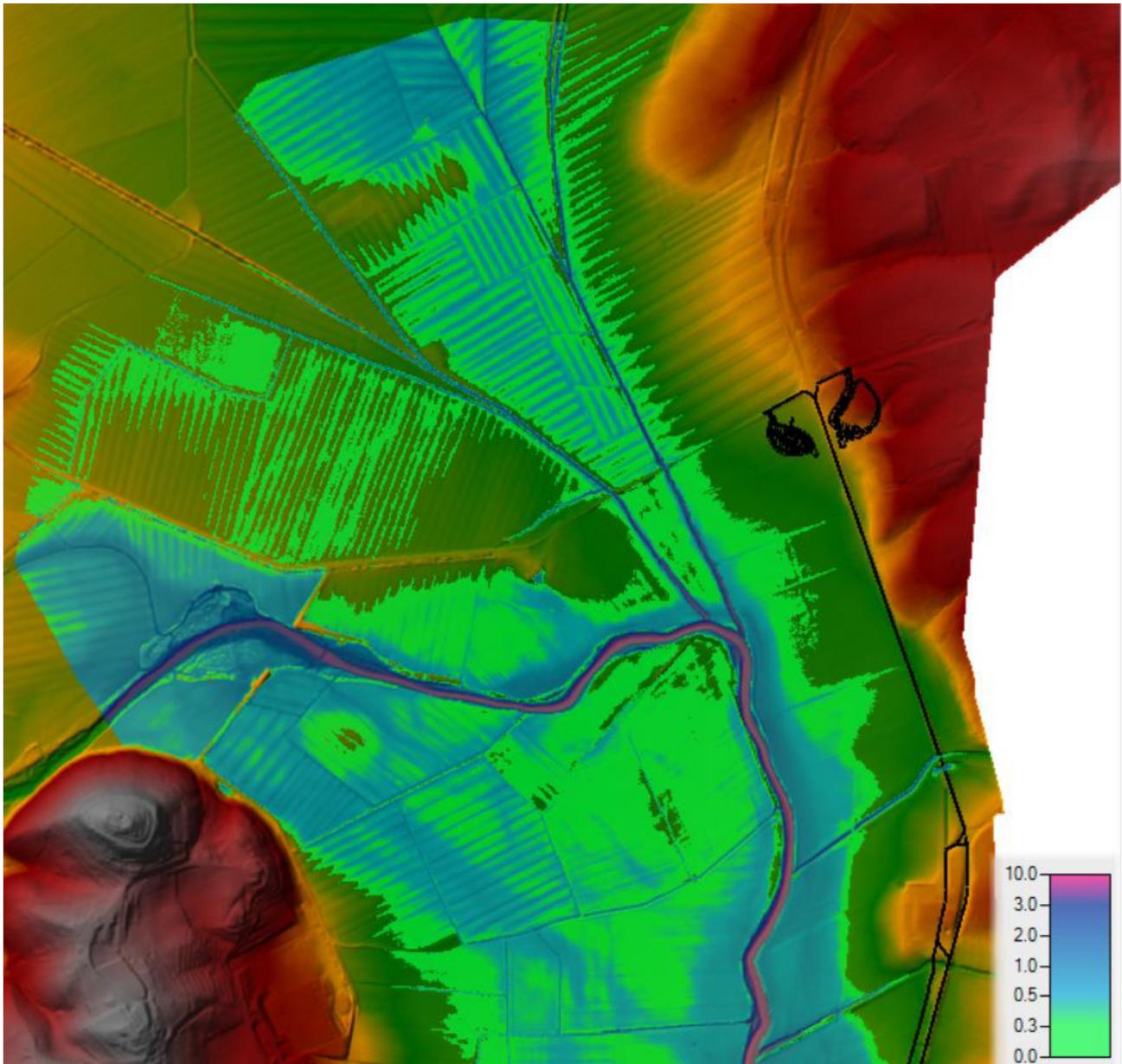


Figura 33 - Area 1, Tr10, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

1.1.3 Particolari su opere interessate dall'erosione

In questo capitolo vengono presentati i risultati delle simulazioni relativamente ad alcuni punti caratteristici dell'area.

Per un tempo di ritorno di 200 anni, in condizioni di Post-Operam lo svincolo Ponticini e le aree di cantiere in Figura 34 non vengono interessate dalla piena. Il tirante in corrispondenza del nuovo rilevato (Figura 35) è pari a circa 60cm e la distanza dalla pavimentazione stradale al livello dell'acqua è pari a 1.3m.

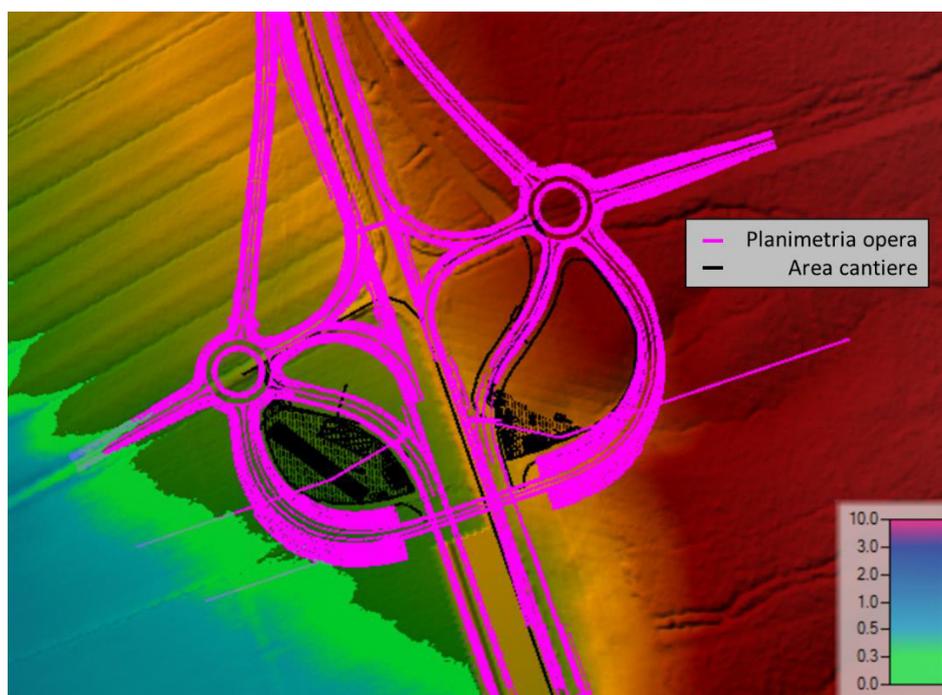


Figura 34 - Particolare dell'area 1, Tr200, Post-Operam. Lo svincolo Ponticini e le aree di cantiere non sono interessate dalla piena di Tr200.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

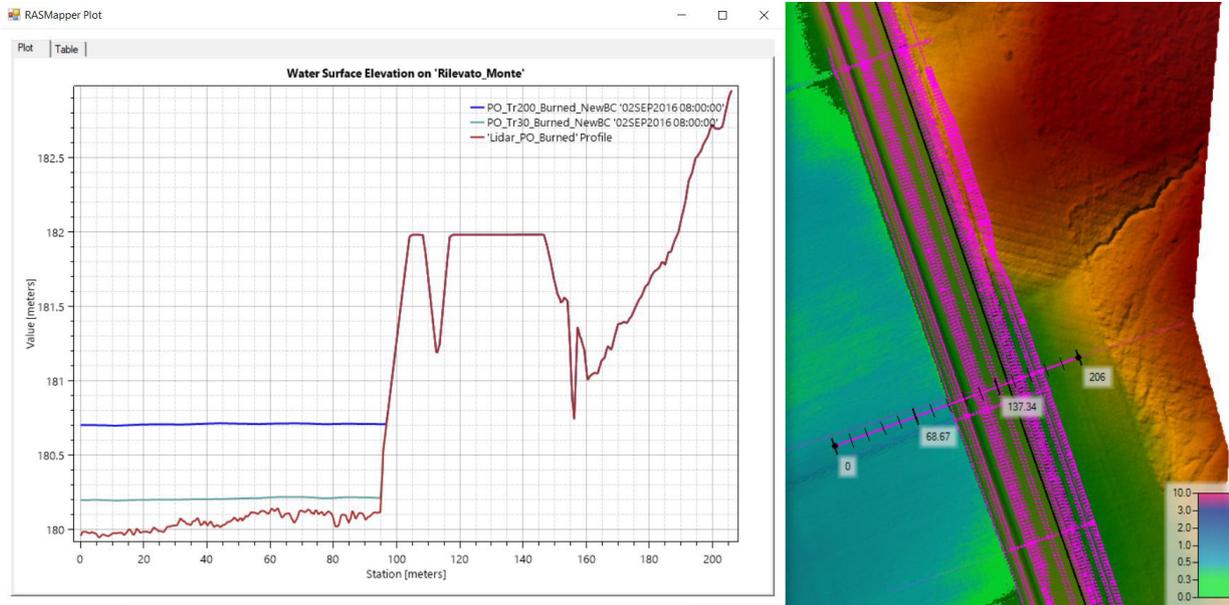


Figura 35 - Particolare dell'area 1, Tr30 e Tr200, Post-Operam. Per un tempo di ritorno pari a 200 anni, il tirante in corrispondenza del nuovo rilevato Pk 52+600 è pari a circa 60cm e la distanza dalla pavimentazione stradale al livello dell'acqua è pari a 1.3m. La mappa del tirante si riferisce alla piena con tempo di ritorno 200 anni.

Station [m]	Tr 200	DTM
[m]	[anni]	[m]
0	180.72	179.96
40	180.72	180.03
96	180.72	180.65
145	0.00	181.99
205	0.00	182.91

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

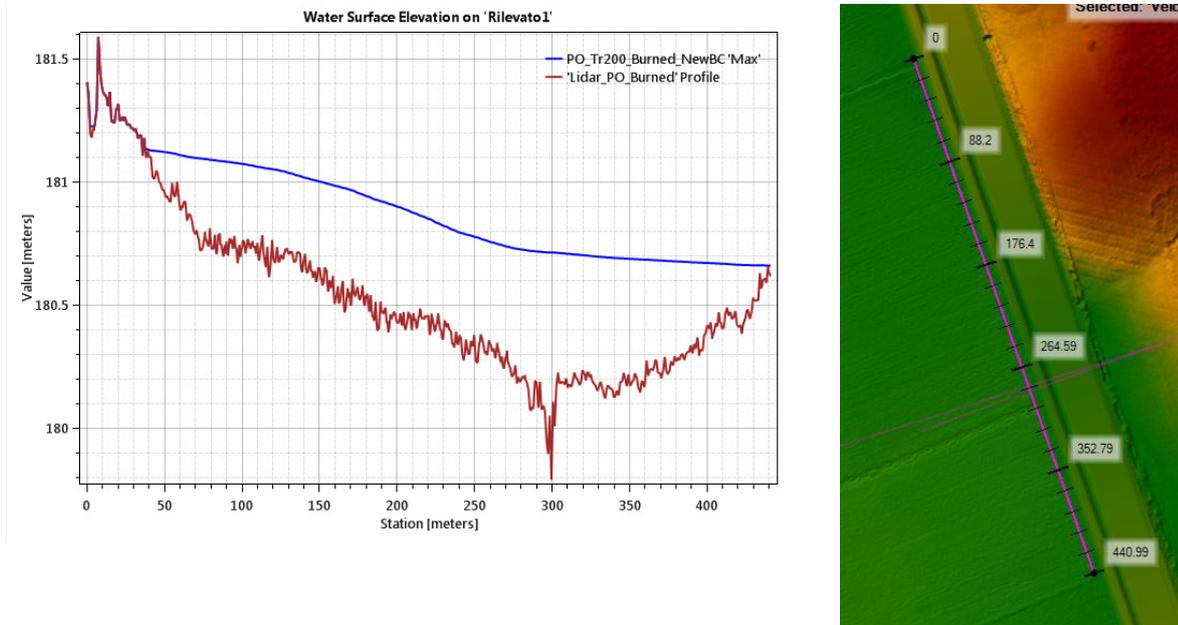


Figura 36 - Profilo lungo il rilevato Pk 52+600



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

1.1.4 Differenze tra scenario Post-Operam e Ante-Operam

In questo capitolo vengono presentate le differenze in termini di tiranti, velocità e magnitudo tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam.

Non sono presenti differenze significative né in termini di tiranti (Figura 37) né in termini di velocità (Figura 38). Di conseguenza non sono presenti differenze in termini di magnitudo (Figura 39). L'unica differenza apprezzabile in termini di tirante si può notare in corrispondenza del nuovo rilevato (all'interno del cerchio rosso) dovuta al fatto che il terreno, a causa della presenza del nuovo rilevato, presenta quote maggiori rispetto alle condizioni Ante-Operam e quindi un tirante minore (Figura 37). Simile discorso è applicabile alla differenza di velocità (Figura 38). Tali differenze determinano una variazione di una classe in termini di magnitudo (Figura 39).

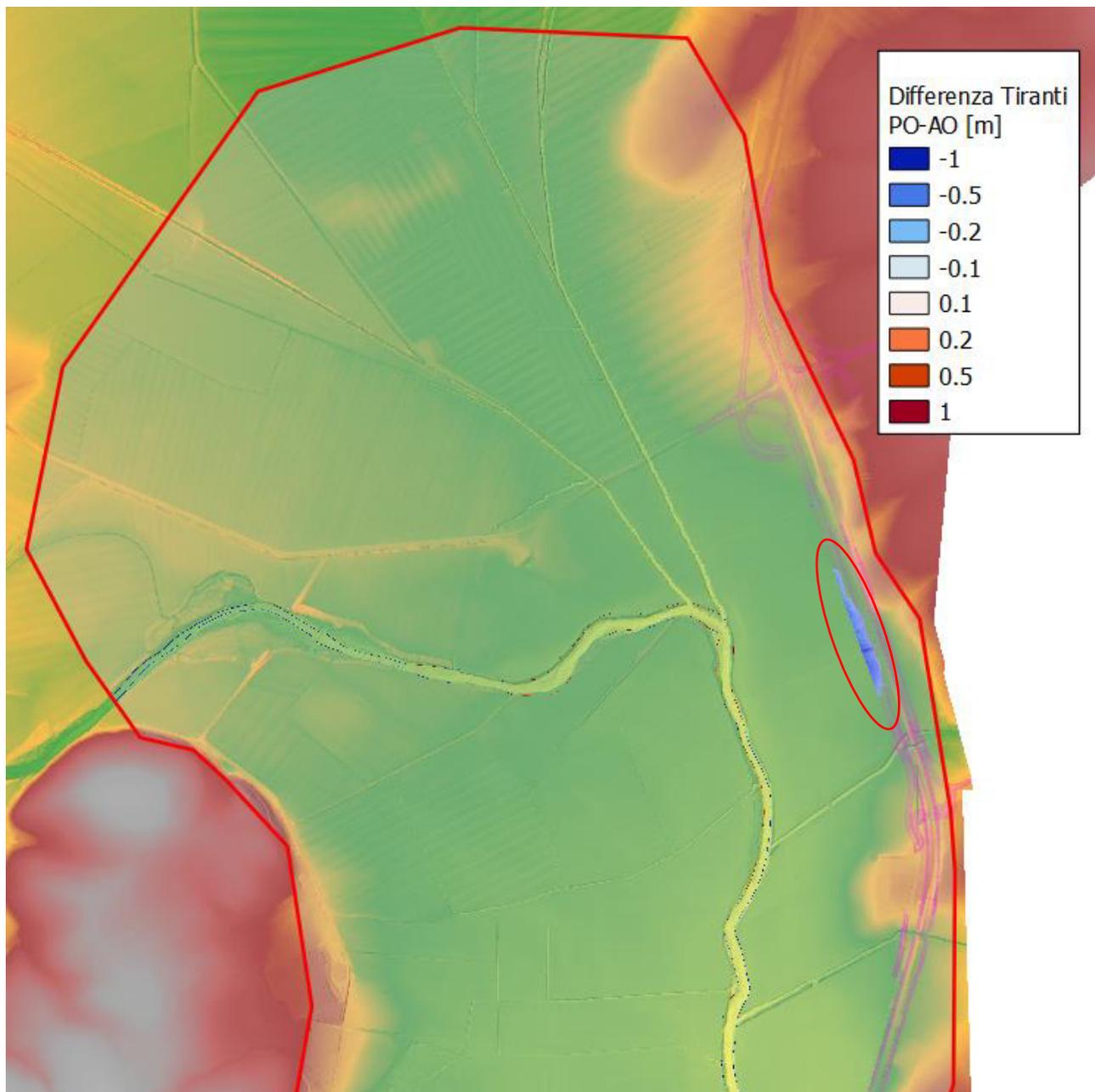


Figura 37 - Area 1, Tr200, Differenza tra tiranti Post-Operam e Ante-Operam. L'unica differenza apprezzabile è in corrispondenza nel nuovo rilevato Pk52+5600, in cui l'allargamento implica l'aumento di quota di una striscia di terreno che causa un abbassamento dei tiranti rispetto alle condizioni Ante-Operam.

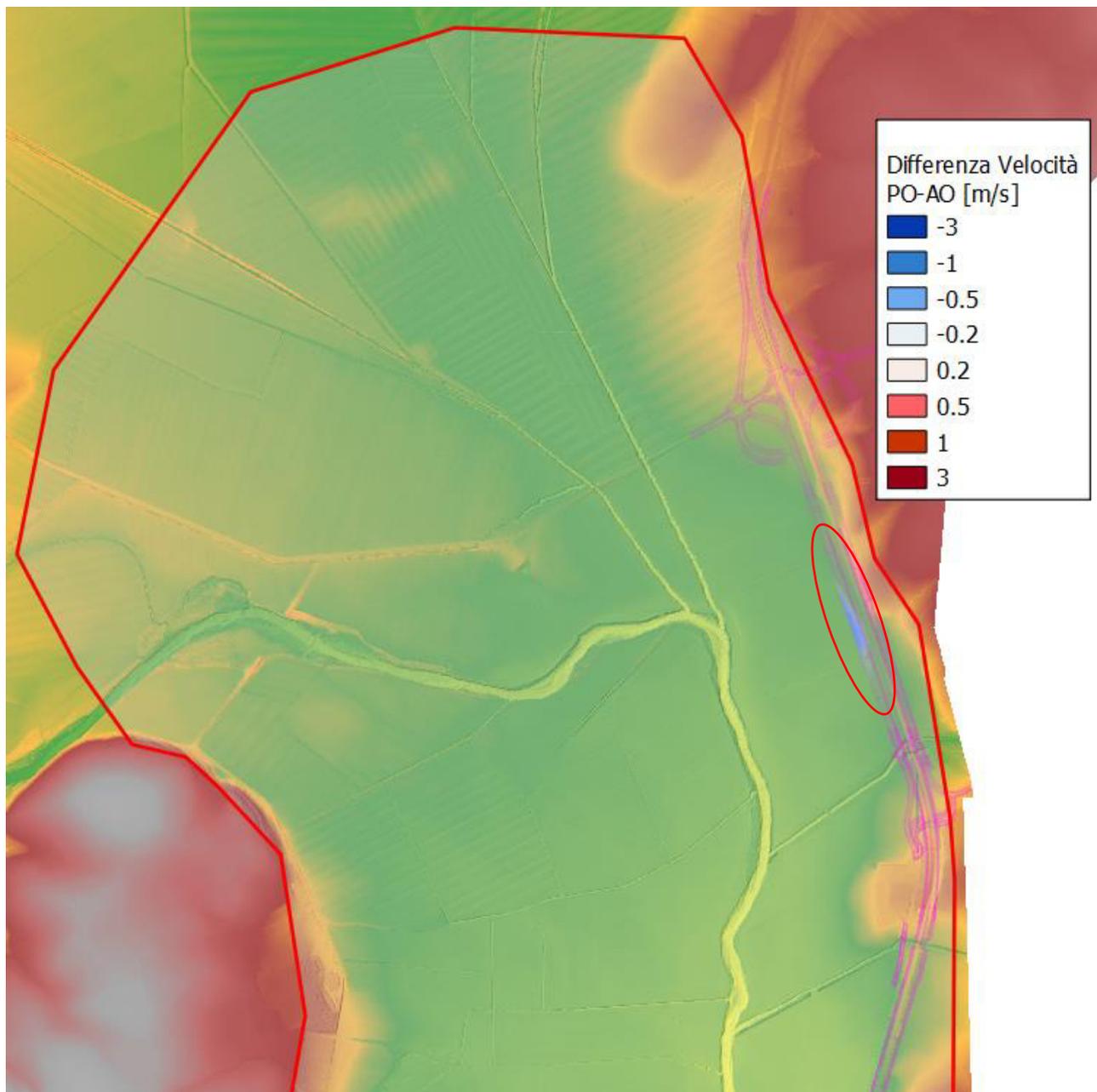


Figura 38 - Area 1, Tr200, Differenza tra velocità Post-Operam e Ante-Operam. L'unica differenza apprezzabile è in corrispondenza nel nuovo rilevato Pk52+600, in cui l'allargamento implica un aumento di quota di una striscia di terreno che conseguentemente riduce i tiranti e va ad aumentare le perdite di carico per una maggiore vicinanza al rilevato, diminuendo quindi le velocità.

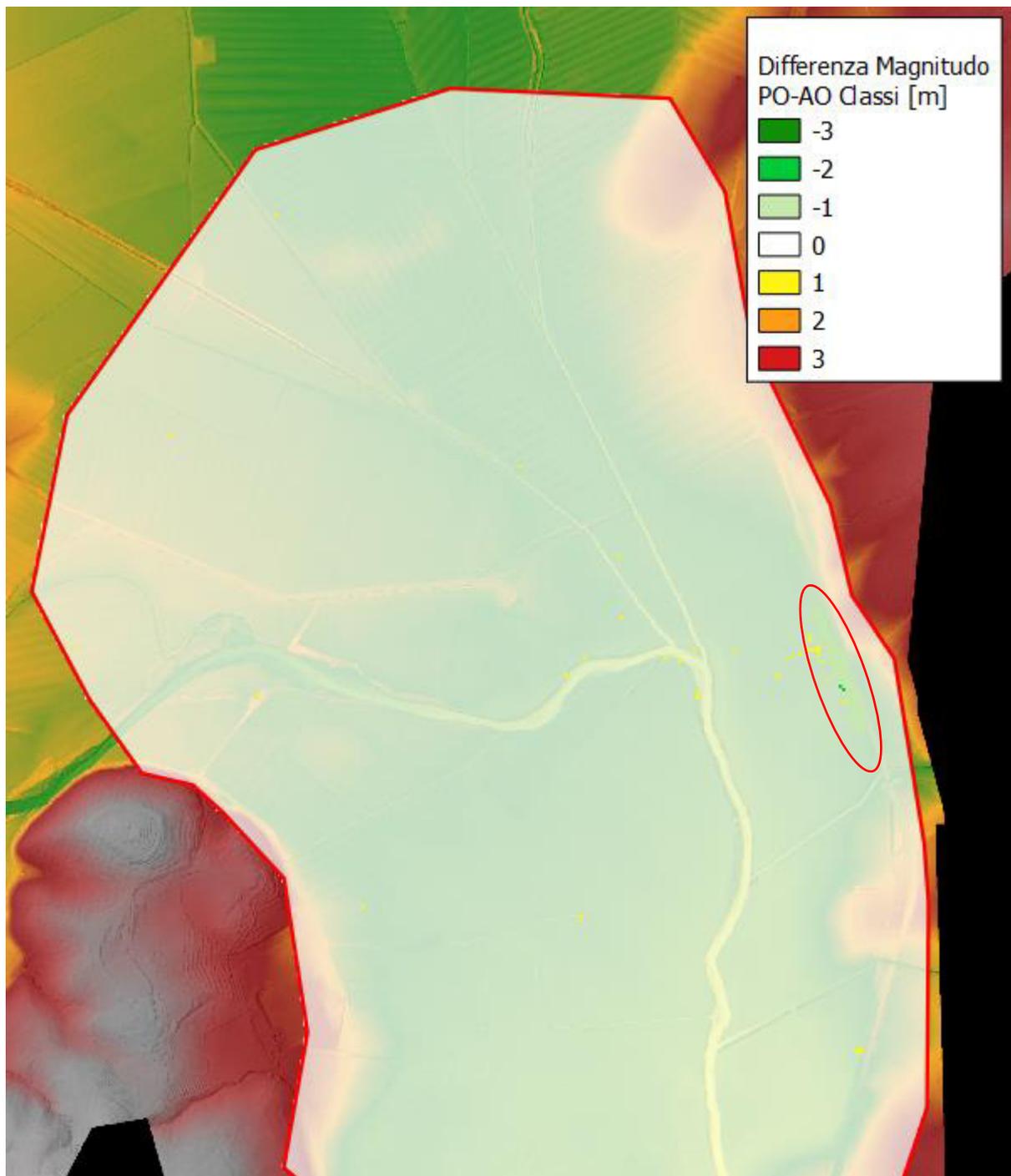


Figura 39 - Area 1, Tr200, Differenza tra classi di magnitudo Post-Operam e Ante-Operam. L'unica differenza apprezzabile è in corrispondenza nel nuovo rilevato Pk52+600, in cui l'allargamento implica l'aumento di quota di una striscia di terreno che causa un abbassamento dei tiranti e quindi di magnitudo rispetto alle condizioni Ante-Operam.

1.1.5 Considerazioni finali

- L'area 1 che si estenda dalla Pk 51+180 alla Pk 53+859.247 non presenta particolari criticità.
- Per un tempo di ritorno di 200 anni, il tirante in corrispondenza dello svincolo Ponticini è trascurabile e il tirante massimo in corrispondenza del nuovo rilevato è pari a 60cm, garantendo un franco di 1.3m rispetto alla pavimentazione stradale.
- Le aree di cantiere non sono interessate dall'evento di piena con tempo di ritorno di 10 anni.
- Non ci sono apprezzabili differenze in termini di velocità, tiranti e quindi di magnitudo tra condizioni Ante-Operam e Post-Operam. In corrispondenza di un tratto del nuovo rilevato alla Pk 52+600 osserviamo una riduzione di magnitudo dovuta al fatto che questo riduce leggermente l'area disponibile all'esondazione, passando quindi da livelli idrometrici maggiori di zero a livelli nulli.

1.13 Area 2

In questo capitolo vengono presentati i risultati delle simulazioni relativamente all'Area 2 (Pk48+240,000 – 51+180,000).

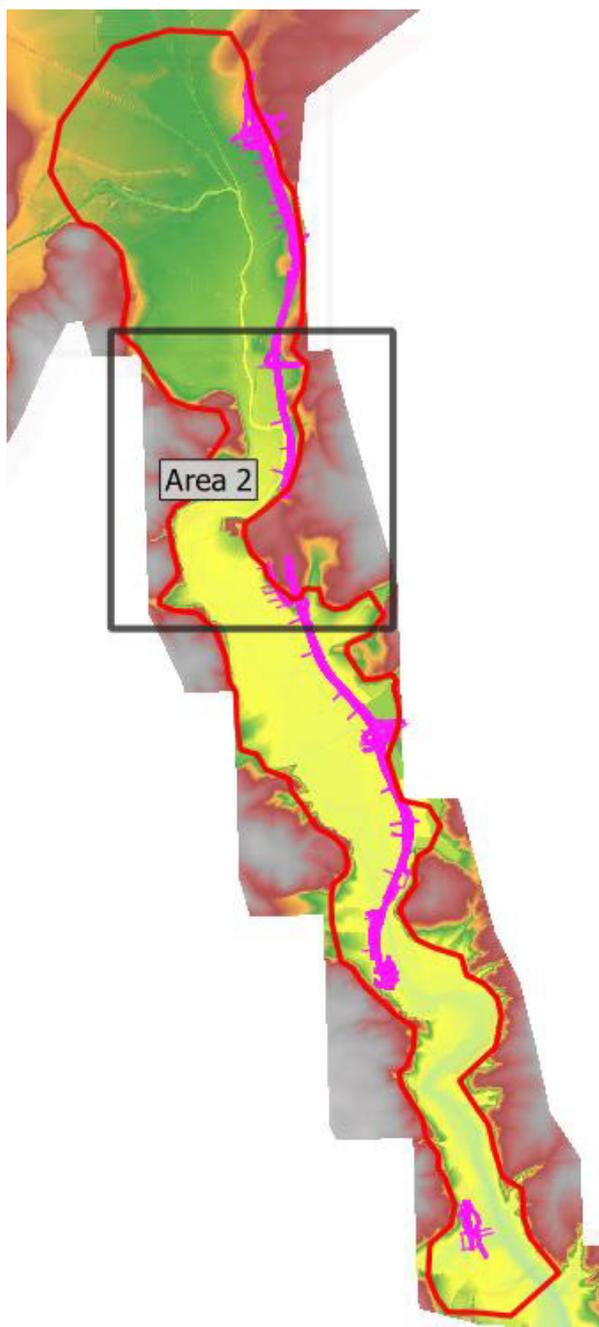


Figura 40 - Area 2

5 PERICOLOSITÀ PGRA

In Figura 41 è rappresentata la pericolosità idraulica secondo il PGRA.

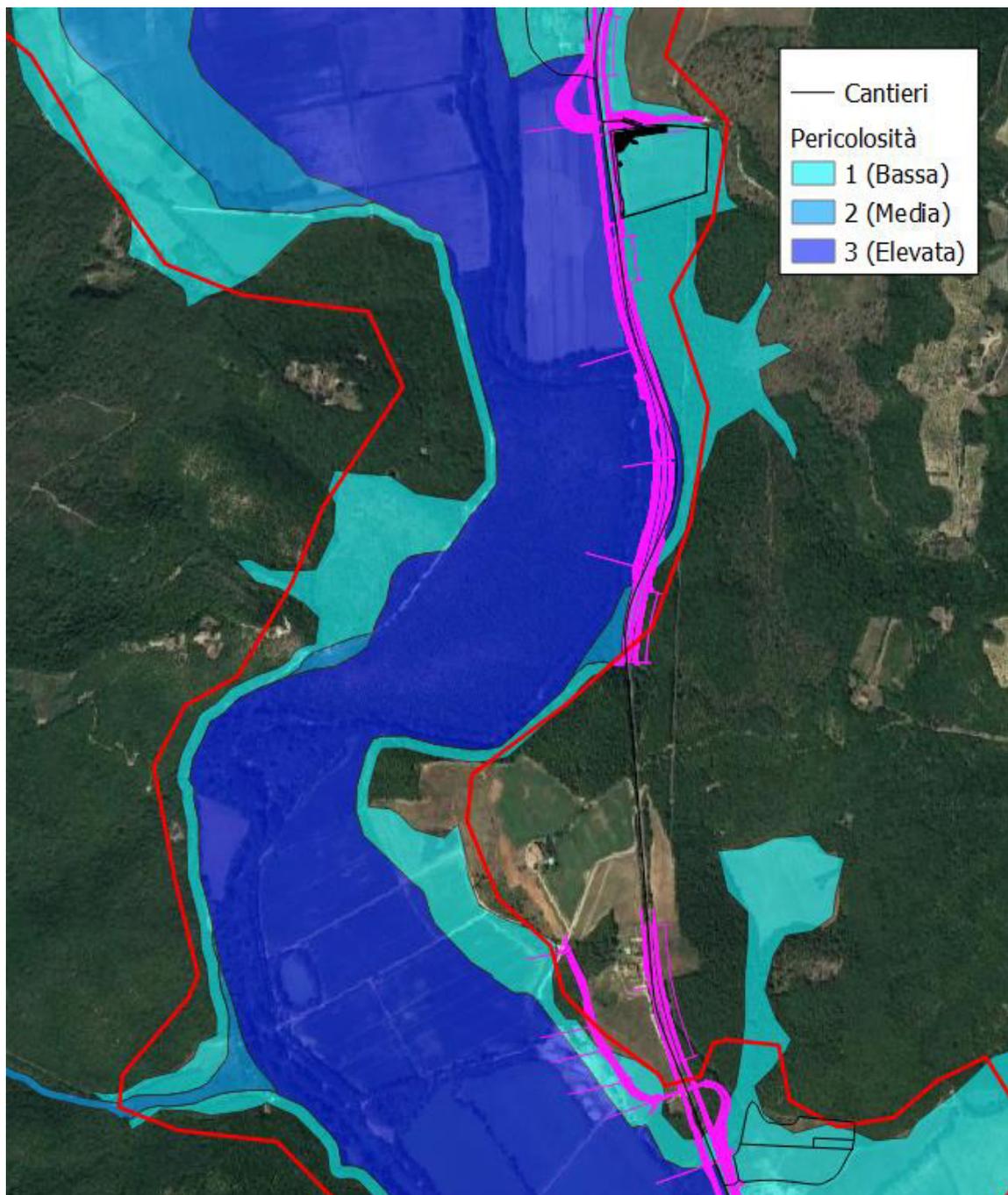


Figura 41 - Pericolosità idraulica secondo il PGRA.



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

1.1 Mappe dei tiranti

Di seguito vengono riportate le mappe dei tiranti relativamente alle condizioni Post-Operam e Ante-Operam per un tempo di ritorno di 200 anni (Figura 42 e Figura 43), 30 anni (Figura 44 e Figura 45) e 10 anni (Figura 46 e Figura 47).

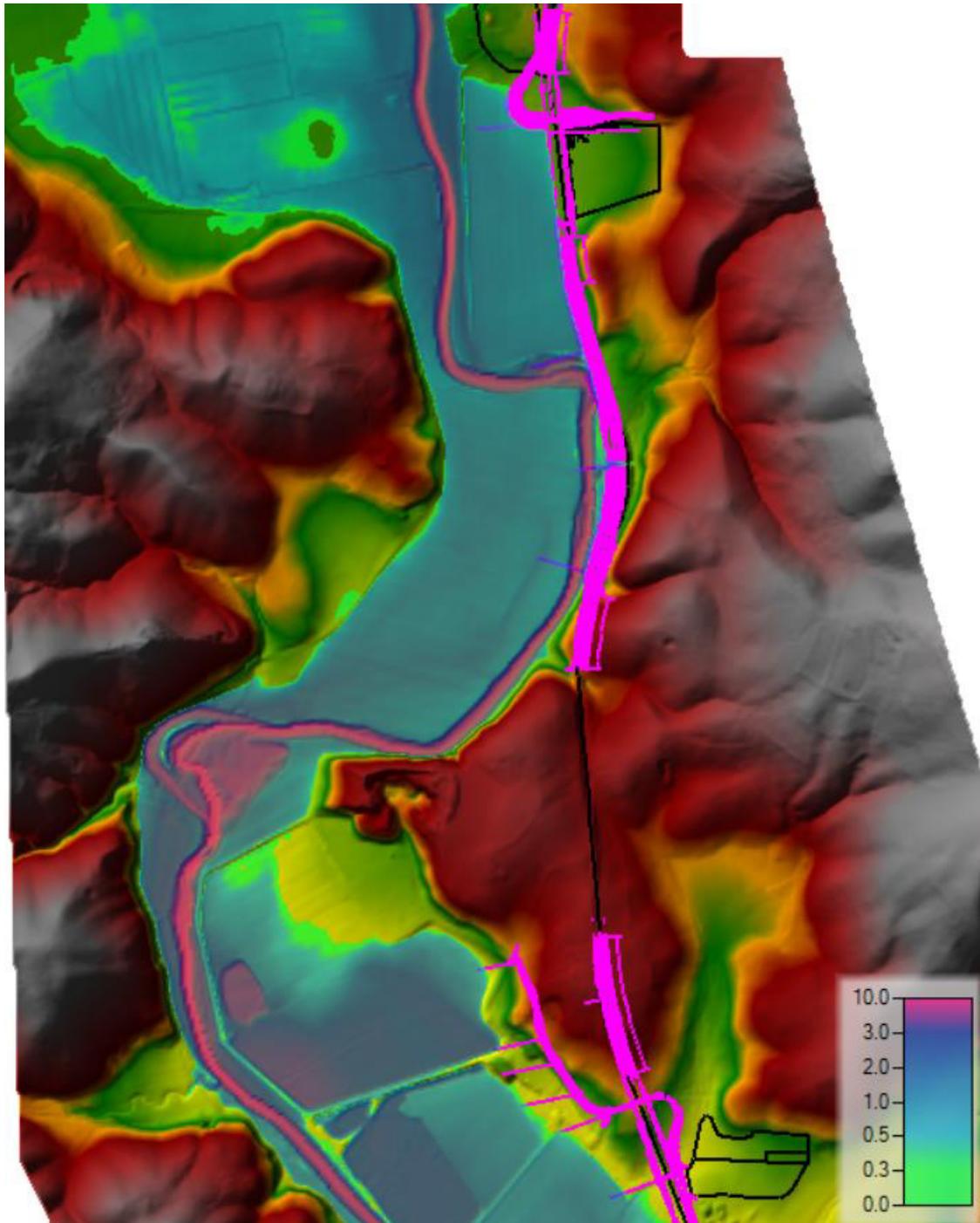


Figura 42 - Area 2, Tr200, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

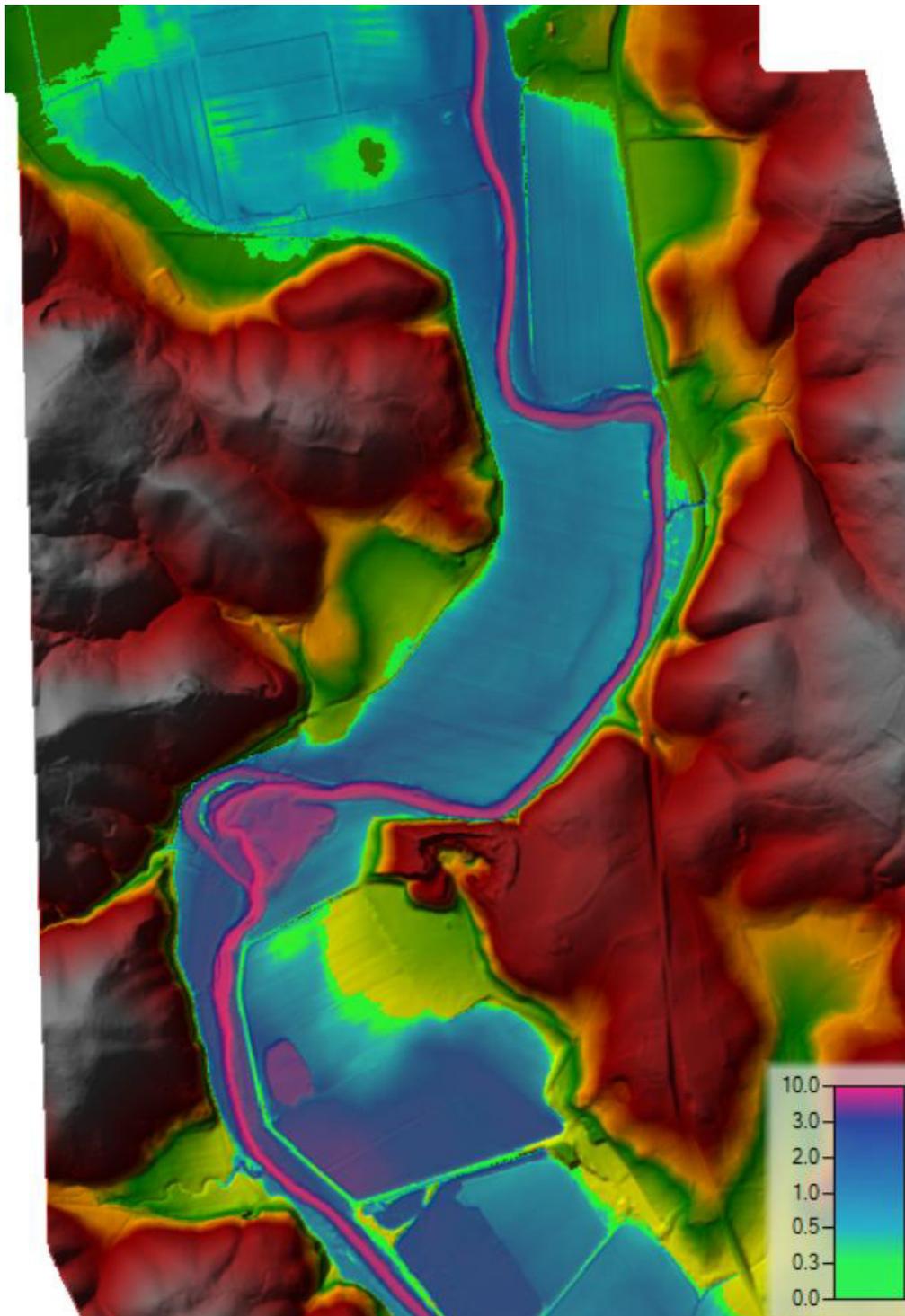


Figura 43- Area 2, Tr200, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

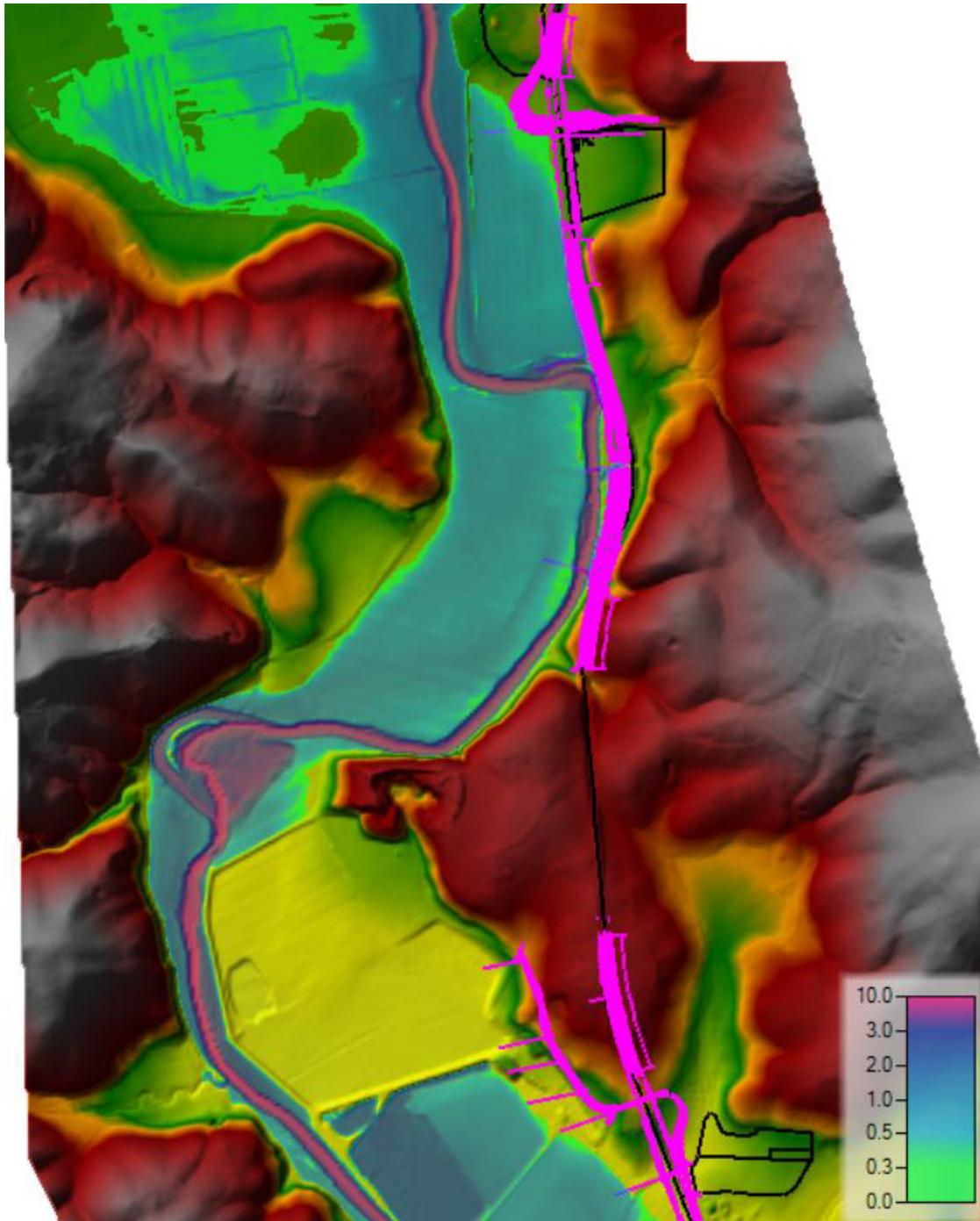


Figura 44 - Area 2, Tr30, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

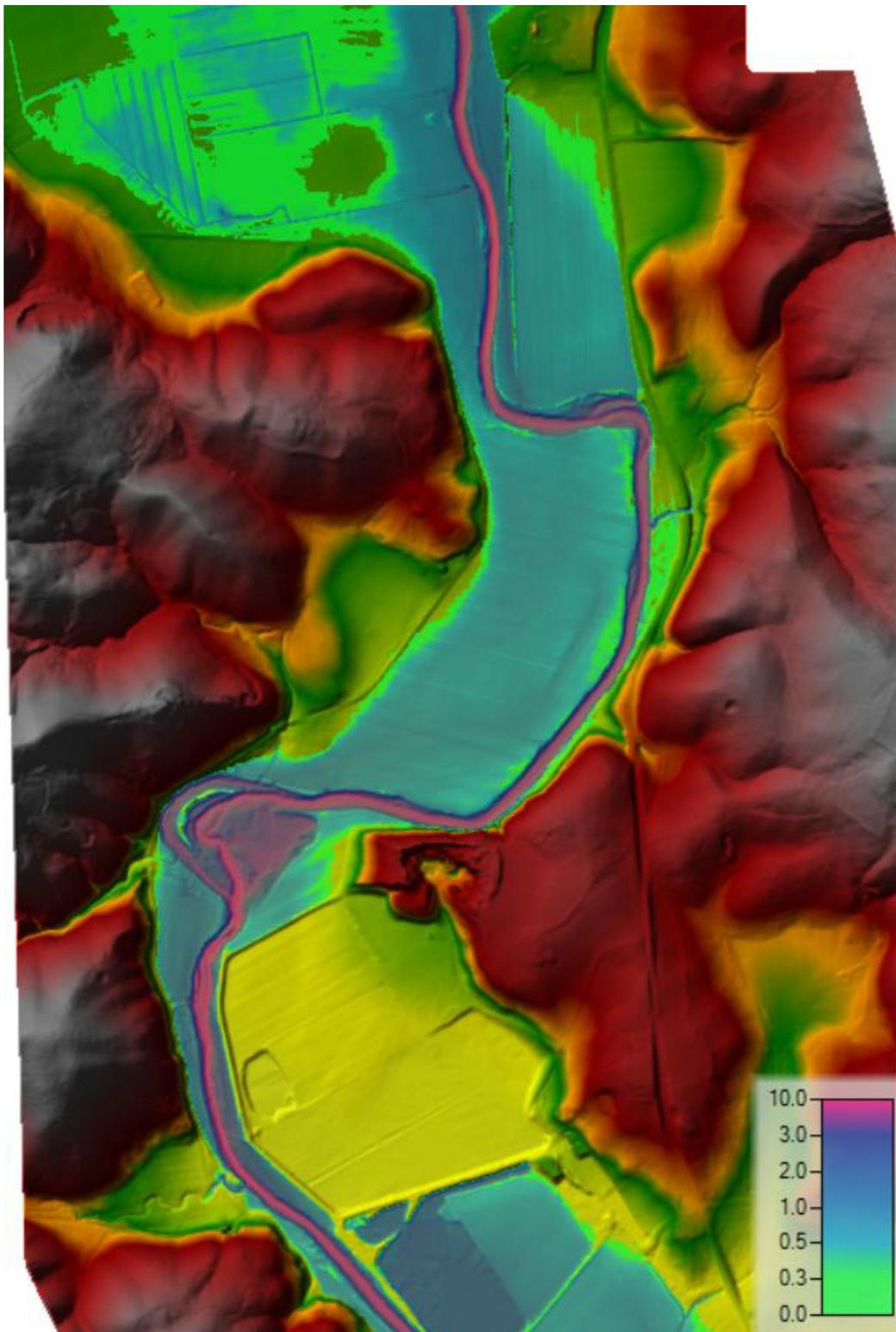


Figura 45 - Area 2, Tr30, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

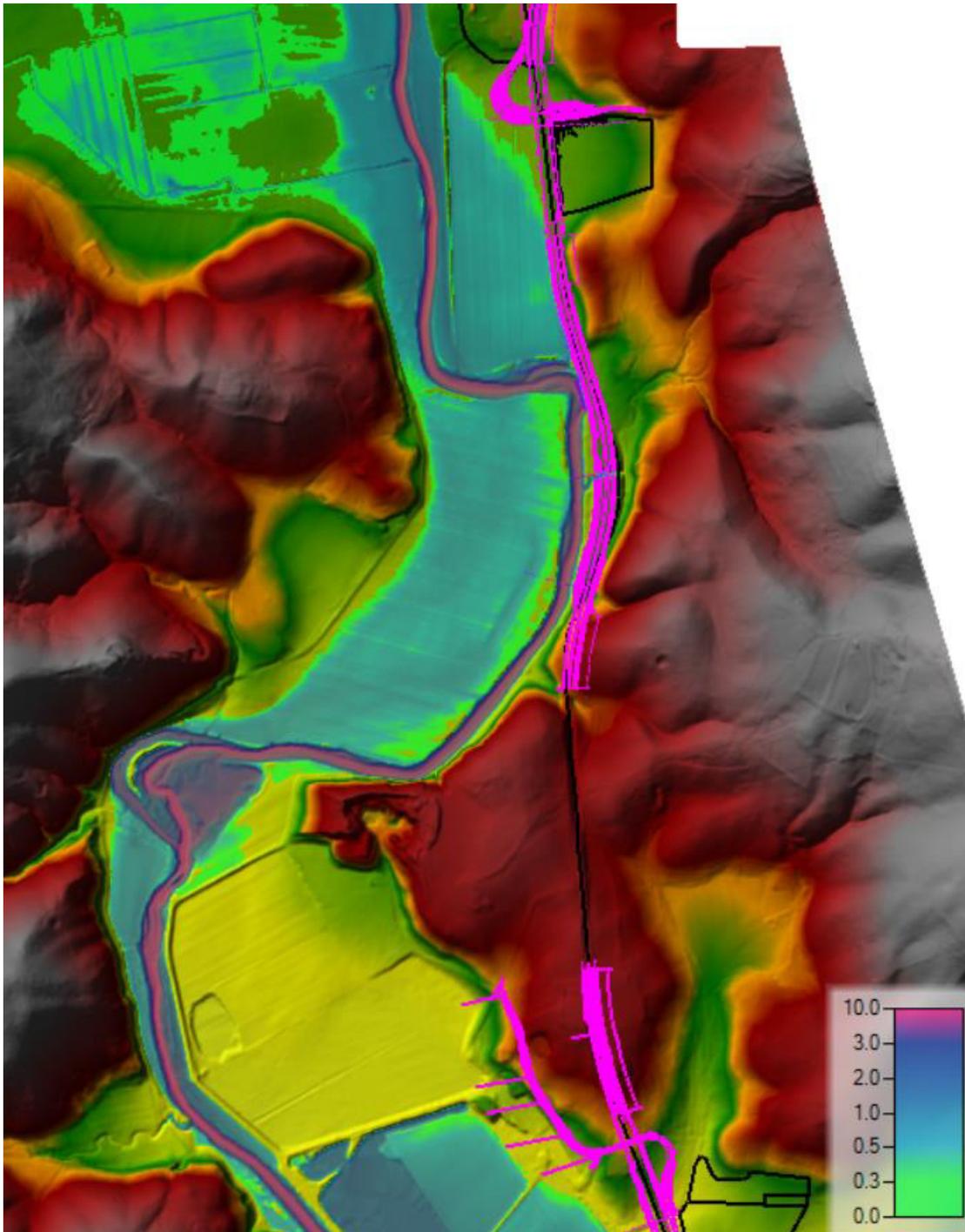


Figura 46 - Area 2, Tr10, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

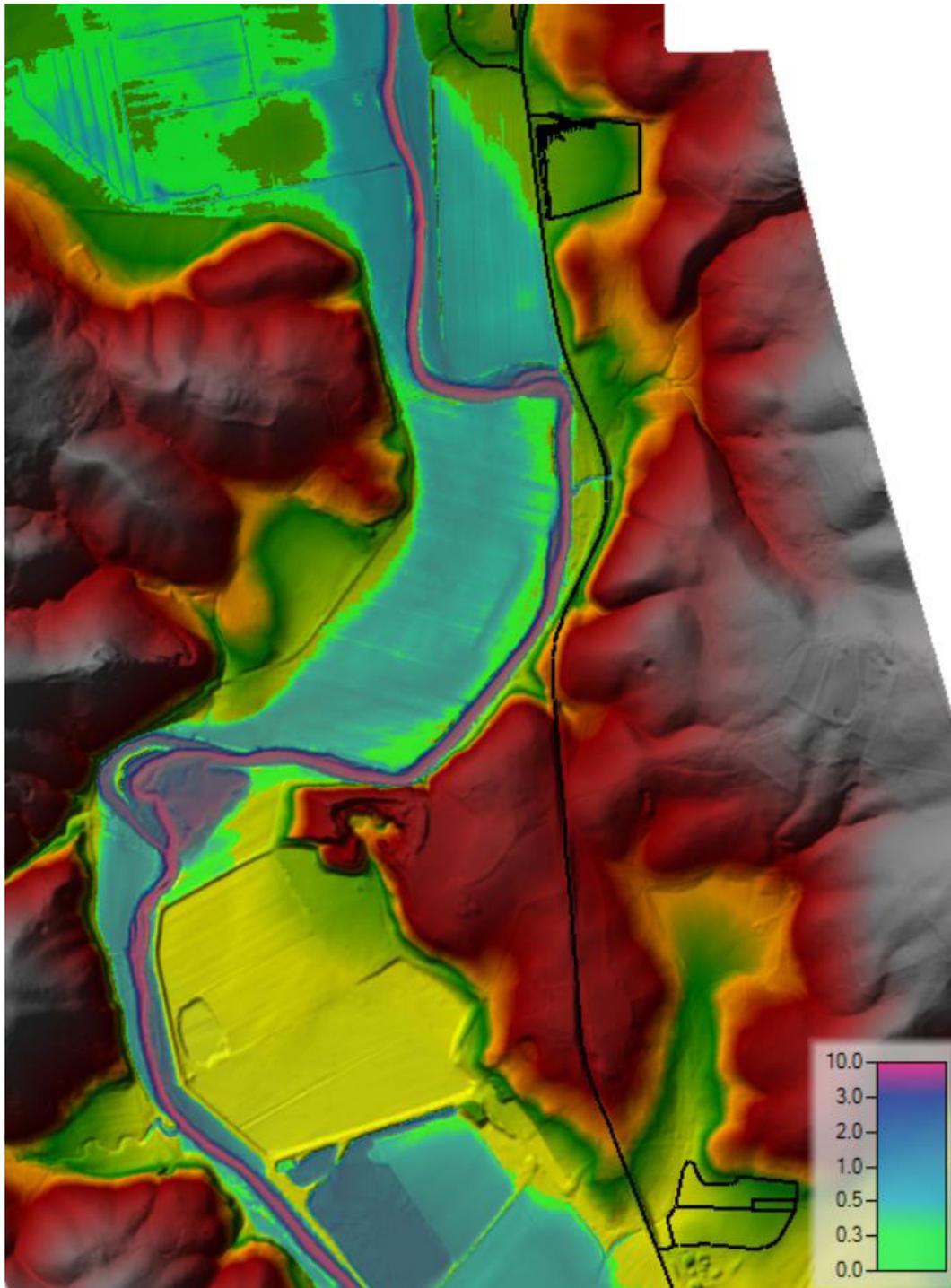


Figura 47 - Area 2, Tr10, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

1.1.1 Particolari su opere interessate dall'ondazione

In questo capitolo vengono presentati i risultati delle simulazioni relativamente ad alcuni punti caratteristici dell'area. Il Cavalcavia Frontignano al Km 50+385,66 in Figura 48 viene interessato dall'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni. Come è possibile vedere dalla sezione tracciata in Figura 48, in corrispondenza del Cavalcavia viene a formarsi un tirante di 0.6m metri, quindi al di sotto della pavimentazione stradale di 1.5m. Per un tempo di ritorno di 30 anni il tirante è inferiore a zero al piede del rilevato del Cavalcavia. Poiché l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni non interessa l'area di cantiere, non esistono criticità per la stessa in riferimento ad un evento con tempo di ritorno pari a 10 anni.

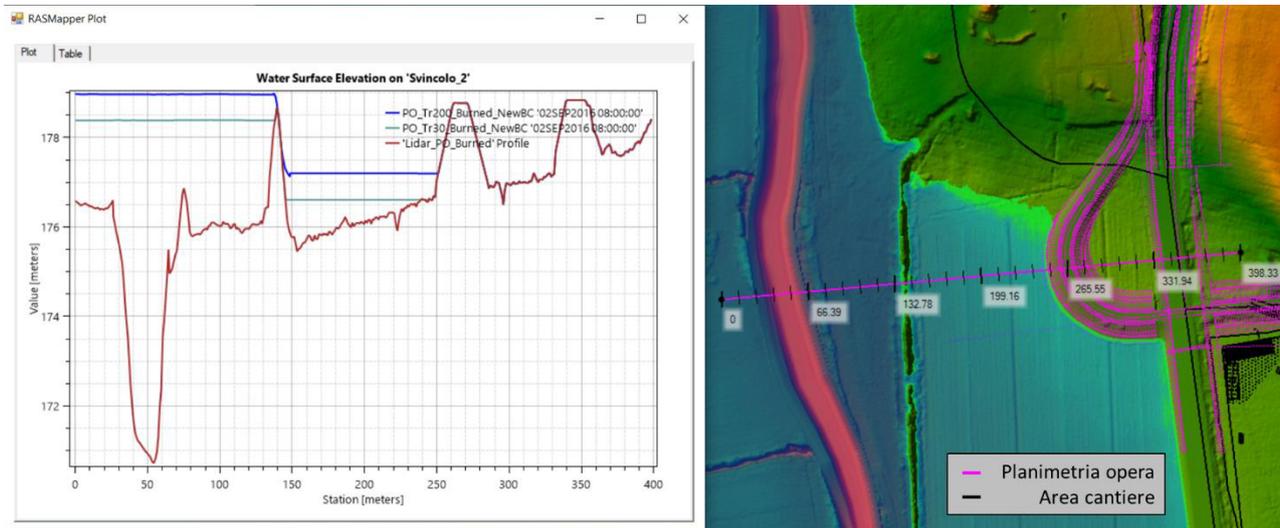


Figura 48 - Particolare dell'area 2, Tr30 e Tr200, Post Operam. Sezione sullo svincolo del Cavalcavia Frontignano in cui si può notare, per Tr200, un tirante di 0.6m metri in corrispondenza dello svincolo, quindi al di sotto della pavimentazione stradale di 1.5m. Le aree di cantiere non sono interessate dalla piena con tempo di ritorno 200 anni. La mappa dei livelli idrici si riferisce alla piena di Tr200.

Station [m]	Tr 200	DTM
[m]	[anni]	[m]
0	178.98	176.59
52	178.97	170.84
140	178.52	178.52
145	177.33	176.75
246	177.21	176.61
263	0.00	179.00
271	0.00	179.00
339	0.00	179.00
352	0.00	179.00
398	0.00	178.42

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Per quantificare l'effetto dell'introduzione del nuovo rilevato sulla riduzione dell'area disponibile all'esonazione e quindi alla riduzione del volume di laminazione dovuto alla piena, è stata calcolato il rapporto tra il volume all'interno del poligono 1 e il volume all'interno del poligono 2 di Figura 49. Tale percentuale è pari al 1.47%. Questo calcolo è stato effettuato come dimostrazione del fatto che l'influenza dell'inserimento di rilevati o svincoli all'interno dell'area alluvionale sulle capacità di laminazione della stessa sono trascurabili.

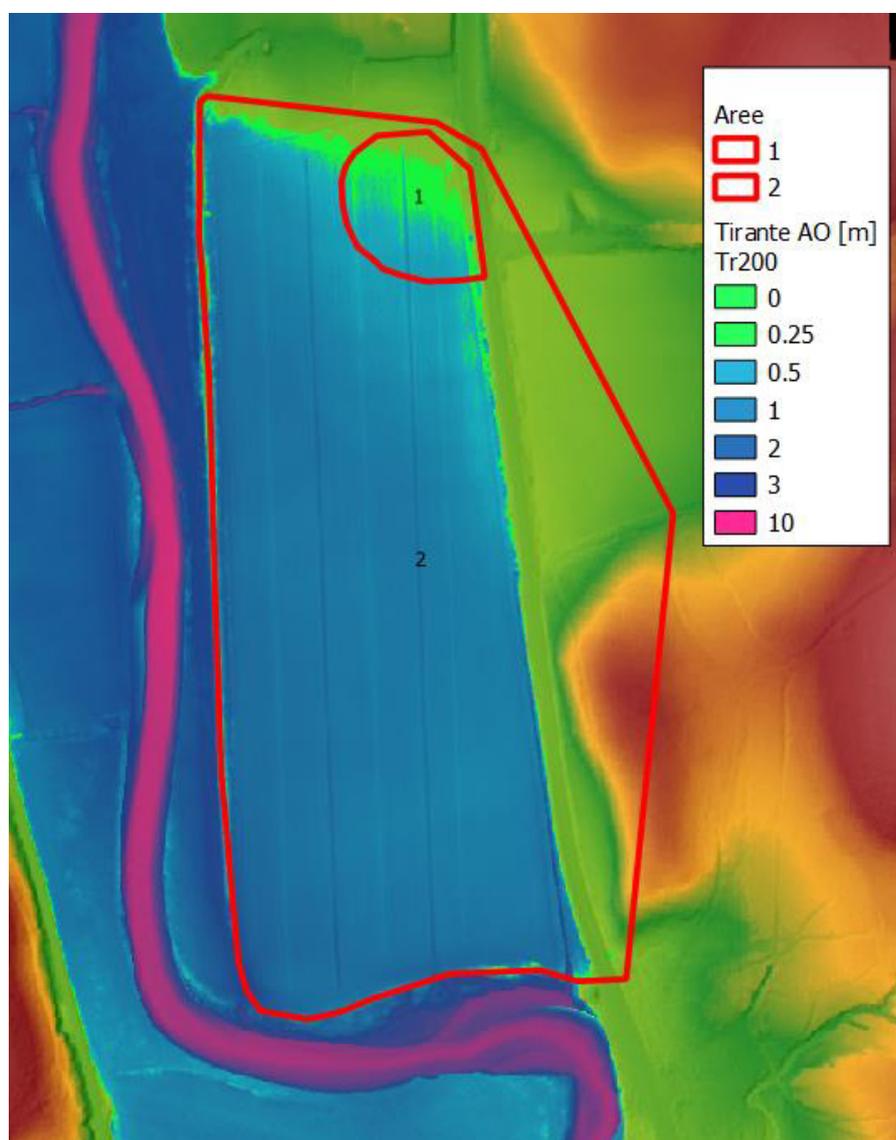


Figura 49 - Calcolo del volume di laminazione sottratto all'area inondabile tra la Pk 51+080 e la Pk 50+340 a causa della presenza dello svincolo . Tale volume è espresso in percentuale come rapporto tra il volume all'interno del poligono 1 e il volume all'interno del poligono 2. Tale percentuale è pari al 1.47%.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Sono poi state tracciate altre sezioni di controllo per determinare i tiranti in corrispondenza del rilevato. Per un tempo di ritorno di 200 anni, in corrispondenza della sezione di Figura 50 si ha un franco di circa 1m, mentre in corrispondenza della sezione di Figura 52 si ha un franco di circa 2.4m. Relativamente a quest’ultimo punto del tratto fluviale, si ricorda che qui il rilevato stradale si trova all’interno di 10m dal ciglio dell’alveo.

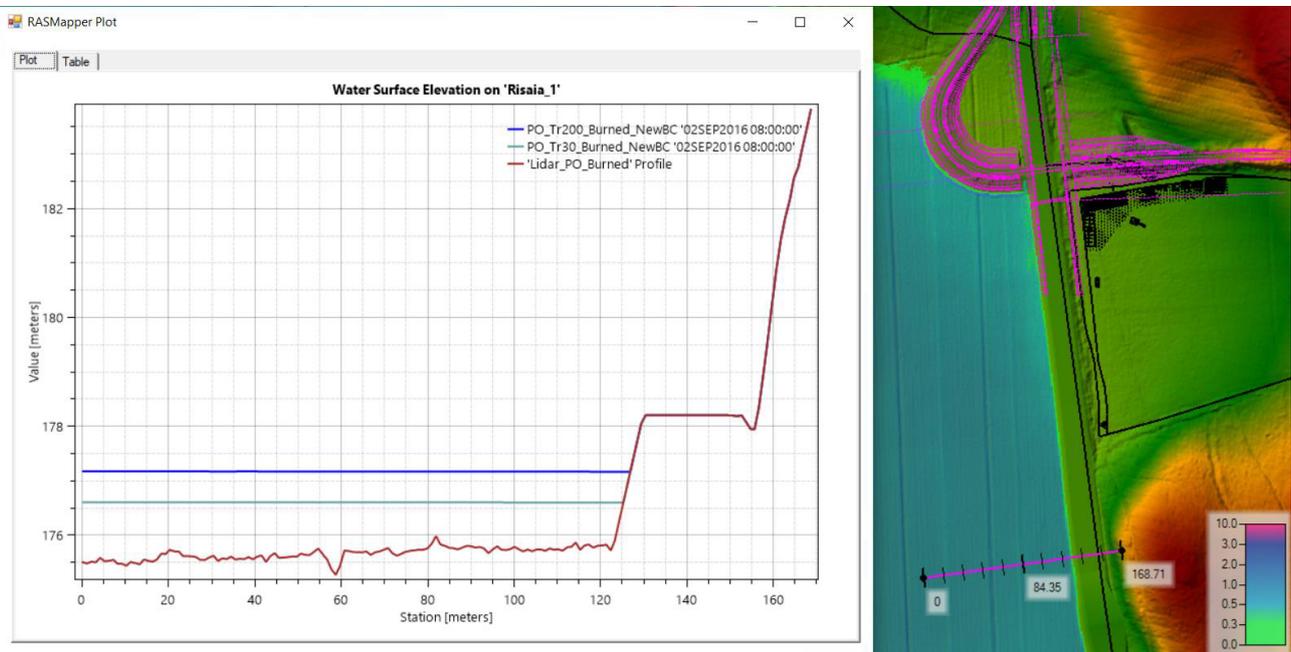


Figura 50 - Particolare dell'area 2, Tr30 e Tr200, Post-Operam. Sezione sul rilevato Pk 50+460 in cui si può notare, per Tr200, un tirante di 1.2m in corrispondenza del nuovo rilevato, quindi al di sotto della pavimentazione stradale di 1m. Le aree di cantiere non sono interessate dalla piena con tempo di ritorno 200 anni. La mappa dei livelli idrici si riferisce alla piena di Tr200.

Station [m]	Tr 200	DTM
[m]	[anni]	[m]
0.00	177.19	175.52
125.00	177.18	176.28
130.00	0.00	178.00
152.00	0.00	178.00
168.00	0.00	183.83

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

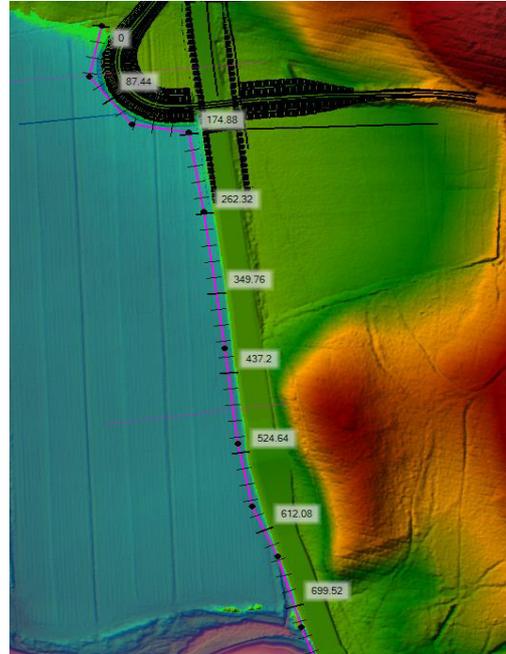
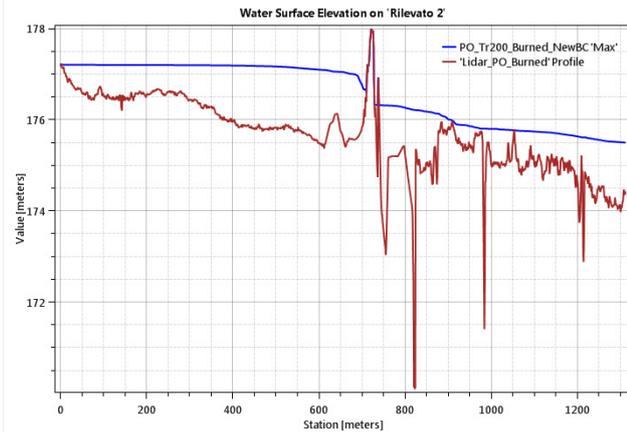


Figura 51 - Profilo rilevato Pk 50+385,66

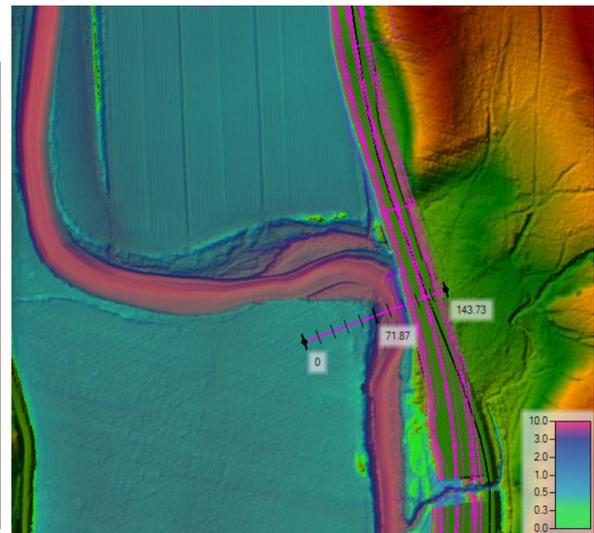
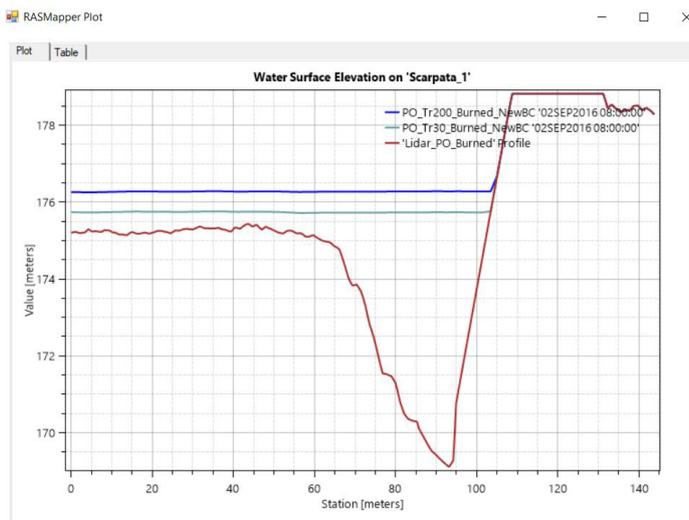


Figura 52 - Particolare dell'area 2, Tr30 e Tr200, Post-Operam. Sezione sul rilevato Pk 50+280 in cui si può notare, per Tr200, un franco di circa 2.4m. Le aree di cantiere non sono interessate dalla piena con tempo di ritorno 200 anni. La mappa dei livelli idrici si riferisce alla piena di Tr200. Questo tratto è critico poiché la strada si trova all'interno di 10m dal ciglio dell'alveo.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Lo svincolo in Figura 53 alla Pk 45+510, non presenta alcune criticità e l'area di cantiere non viene interessata dalla piena con tempo di ritorno 200 anni.

Station [m]	Tr 200	DTM
[m]	[anni]	[m]
0.00	177.19	175.52
125.00	177.18	176.28
130.00	0.00	178.20
152.00	0.00	178.20
168.00	0.00	183.83

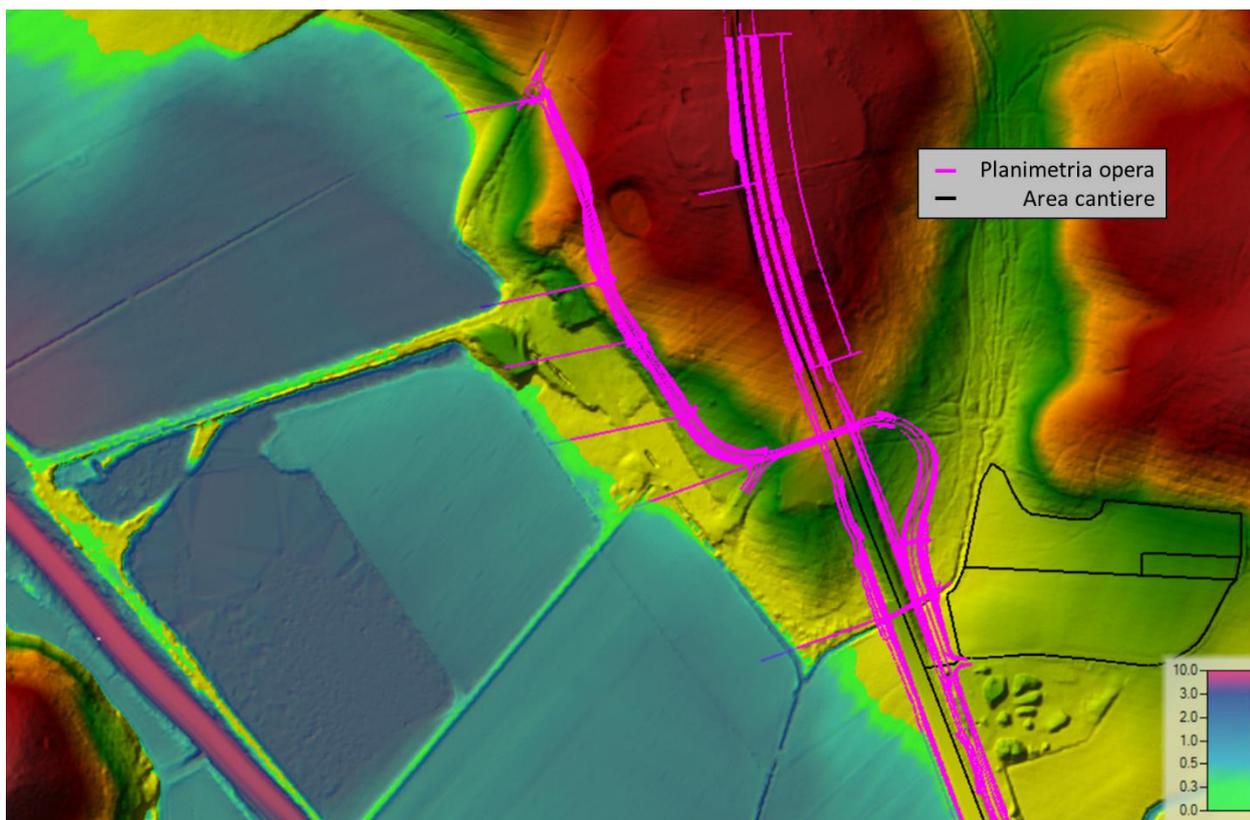


Figura 53 - Particolare dell'area 2, Tr200, Post-Operam. Lo svincolo Pk 45+510 e le aree di cantiere non sono interessate dalla piena con tempo di ritorno 200 anni.

1.1.2 Differenze tra scenario Poste-Operam e Ante-Operam

In questo capitolo vengono presentate le differenze in termini di tiranti, velocità e magnitudo tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam.

Non sono presenti differenze significative né in termini di tiranti (Figura 54) né in termini di velocità (Figura 55). Di conseguenza non sono presenti differenze in termini di magnitudo (Figura 56). L'unica differenza apprezzabile in termini di tirante si può notare in corrispondenza del Cavalcavia Frontignano e lungo il nuovo rilevato. In questi punti il terreno presenta quote maggiori rispetto alle condizioni Ante-Operam e quindi un tirante minore. Tali differenze determinano una variazione fino a tre classi in termini di magnitudo, confinate tuttavia nell'intorno del nuovo rilevato e dei nuovi svincoli.

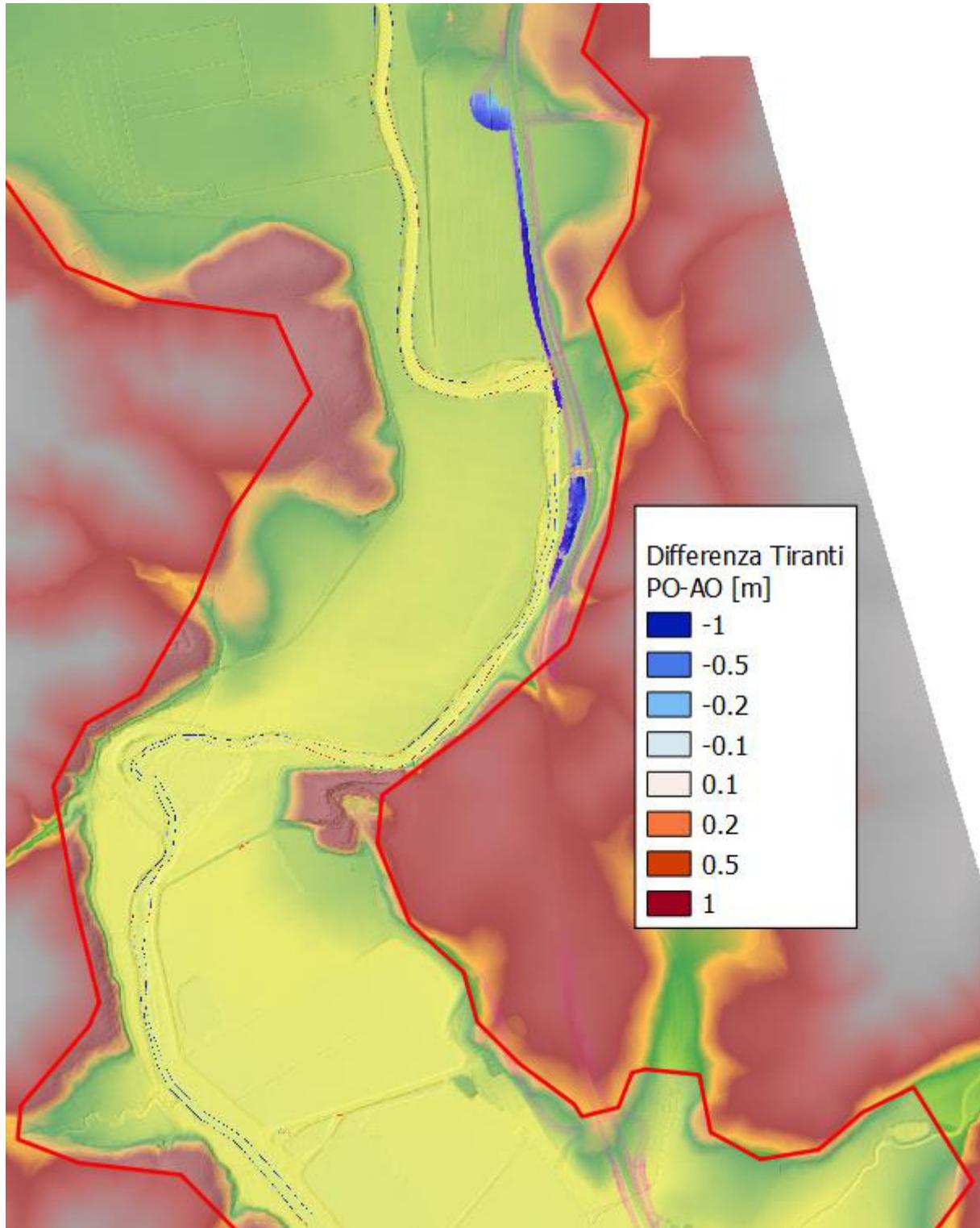


Figura 54 - Area 2 Pk 48+424 - 51+180, Tr200, Differenza di tiranti tra Post-Operam e Ante-Operam

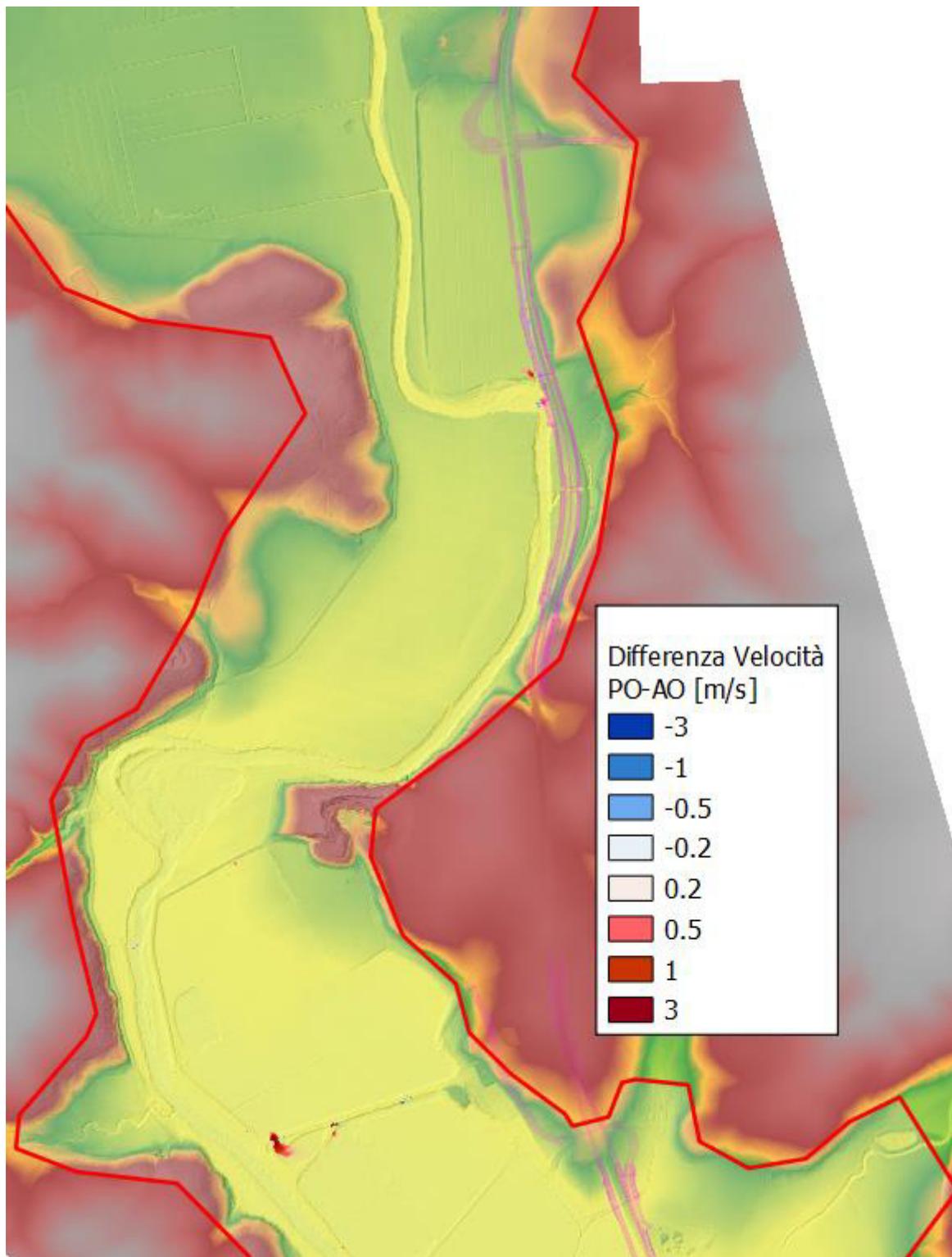


Figura 55 - Area 2 Pk 48+240 - 51+180, Tr200, Differenza tra velocità Post-Operam e Ante-Operam. L'aumento di velocità visibile in basso a destra dell'Area 2 è dovuto a piccole differenze tra la geometria

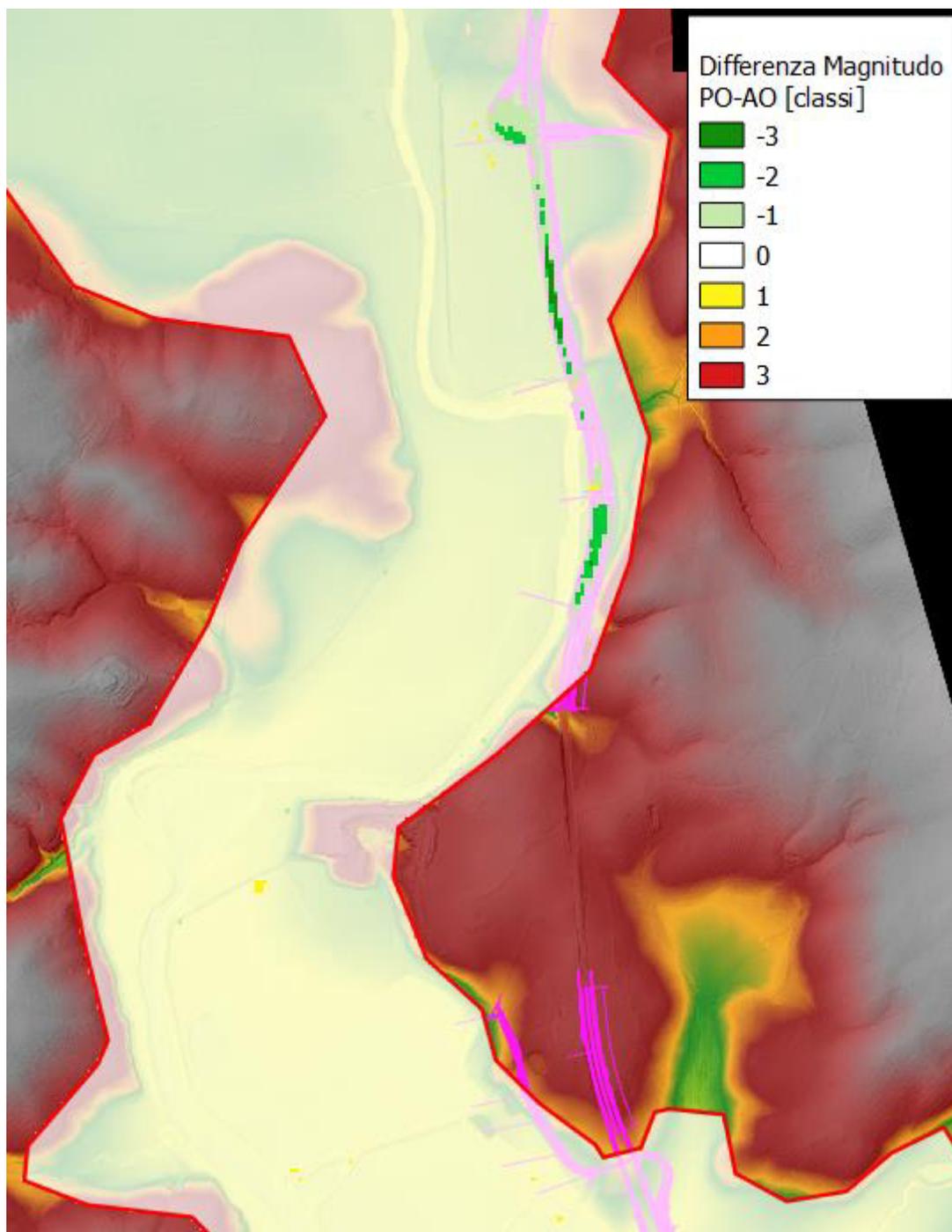


Figura 56 - Area 2 Pk 48+240 - 51+180, Tr200, Differenza di classi di magnitudo tra Post-Operam e Ante-Operam. Lo svincolo più a monte e il nuovo rilevato più a valle presentano una riduzione di magnitudo dovuta al fatto che tali opere implicano un aumento di quota che conseguentemente riduce i tiranti.

1.1.1 Considerazioni finali

- L'area 2 compresa tra la Pk 48+240 e la Pk 51+180 non presenta particolari criticità.
- Per un tempo di ritorno di 200 anni, il tirante in corrispondenza del Cavalcavia Frontignano è pari 0.6, stabilendo un franco di 1.5m rispetto alla pavimentazione stradale.
- Le aree di cantiere per entrambi gli svincoli (Cavalcavia Frontignao e svincolo alla Pk 48+510) non sono interessate dalla piena.
- Non ci sono apprezzabili differenze in termini di velocità, tiranti e quindi di magnitudo tra condizioni Ante-Operam e Post-Operam. In corrispondenza del Cavalcavia Frontignano osserviamo una riduzione di magnitudo dovuta al fatto che lo svincolo in progetto si comporta da argine e riduce quindi l'estensione dell'area inondabile. A dimostrazione del fatto che tale arginatura non comporta un ingente impatto sulla capacità di laminazione dell'area inondabile, è stato calcolato il volume che in condizioni di Ante-Operam sarebbe esondato e che invece in condizioni di Post-Operam è stato eliminato (poligono 1 di Figura 49). Tale volume è stato poi diviso per il volume di esondazione contenuto all'interno del poligono 2 (Figura 49). Tale percentuale è pari al 1.47%. Queste considerazioni valgono anche per il volume di esondazione che viene ridotto a causa dell'allargamento del rilevato.
- Il tratto di strada all'interno dei 10m dal ciglio spondale presenta un franco di sicurezza maggiore di 2m (Figura 52). Si ricorda tuttavia che questo tratto ricade all'interno della fascia di 10m dal ciglio dell'alveo.

1.14 Area 3

In questo capitolo vengono presentati i risultati delle simulazioni relativamente all'Area 3 (Pk44+320,000 - 48+240,000).

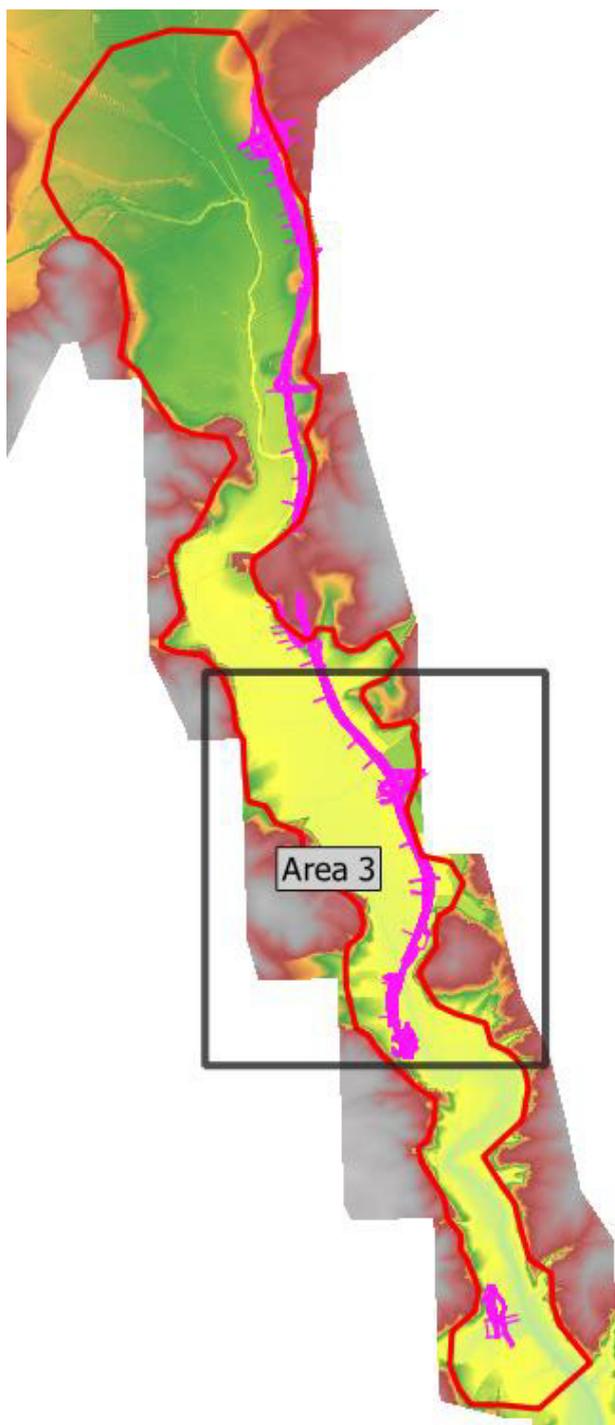


Figura 57 - Area 3

6 PERICOLOSITÀ PGRA

Di seguito viene riportata la mappa della pericolosità idraulica secondo il PGRA.

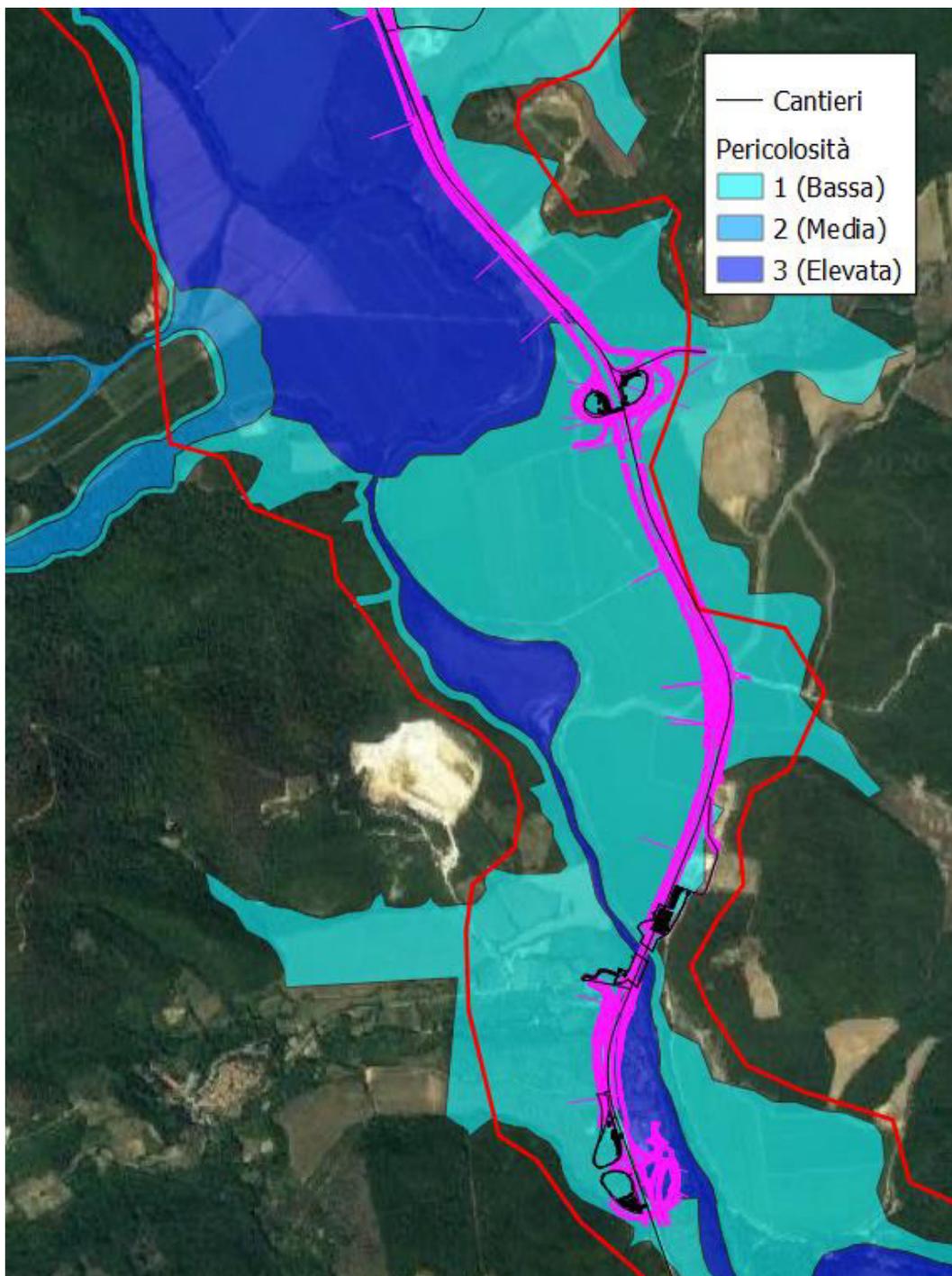


Figura 58 - Area 3, Pericolosità idraulica secondo il PGRA.



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

1.1 Mappe dei tiranti

Di seguito vengono riportate le mappe dei tiranti relativamente alle condizioni Post-Operam e Ante-Operam per un tempo di ritorno di 200 anni (Figura 59 e Figura 60), 30 anni (Figura 61 e Figura 62) e 10 anni (Figura 63 e Figura 64).

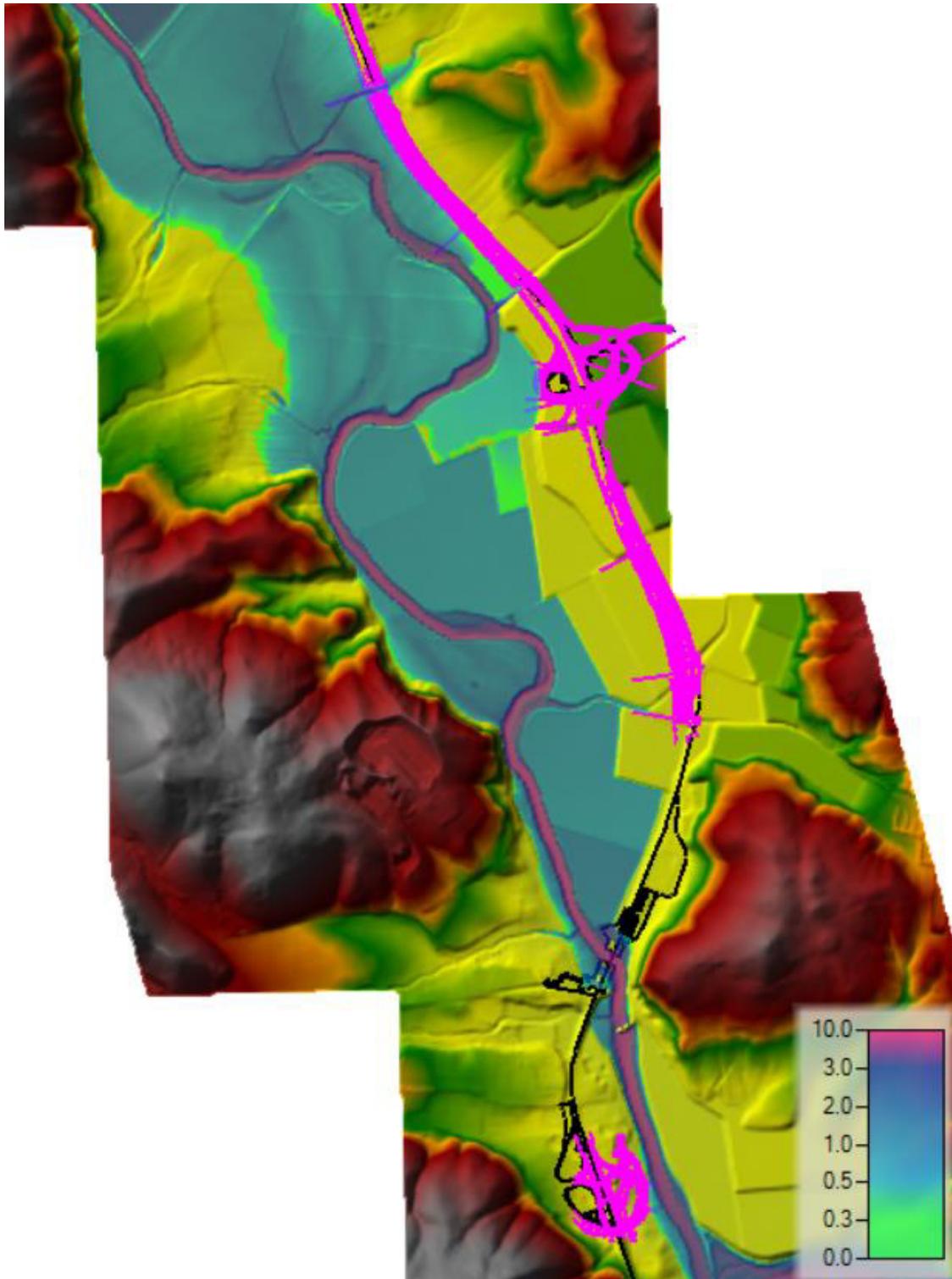


Figura 59 - Area 3 Pk 48+240 - 44+320, Tr200, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

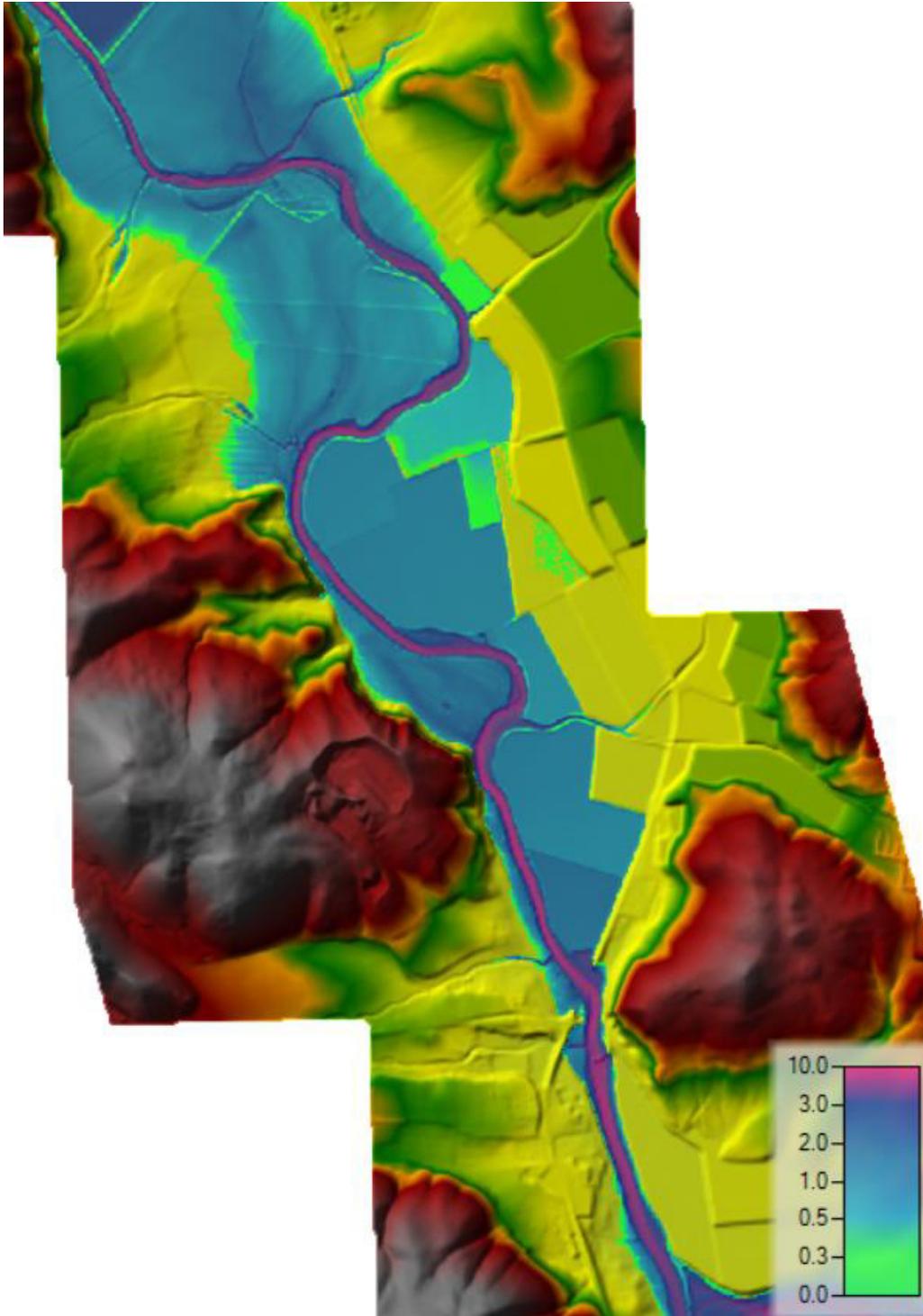


Figura 60 - Area 3 Pk 48+240 - 44+320, Tr200, Ante-Operam. Mappa dei tiranti

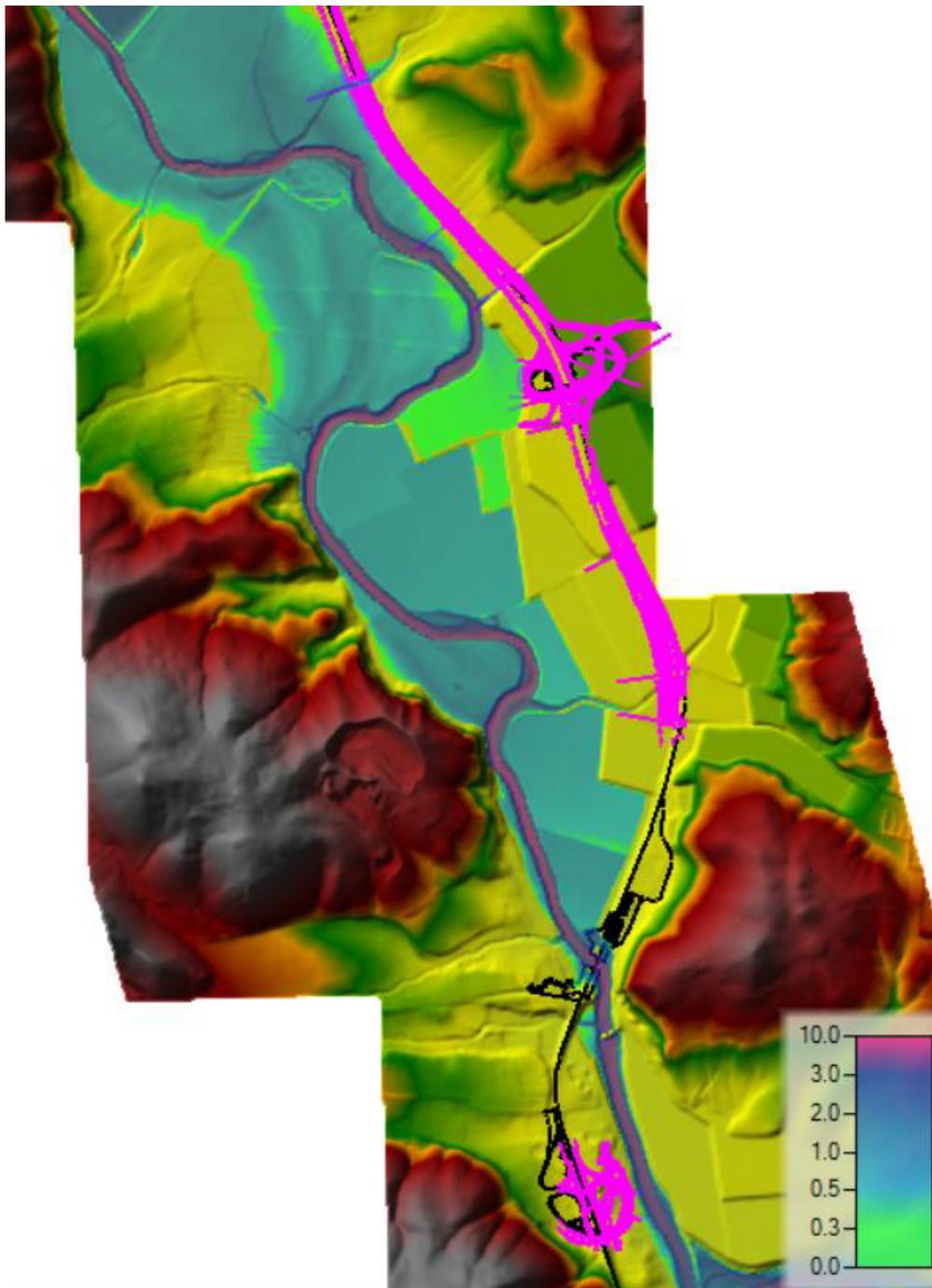


Figura 61 - Area 3 Pk 48+240 - 44+320, Tr30, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

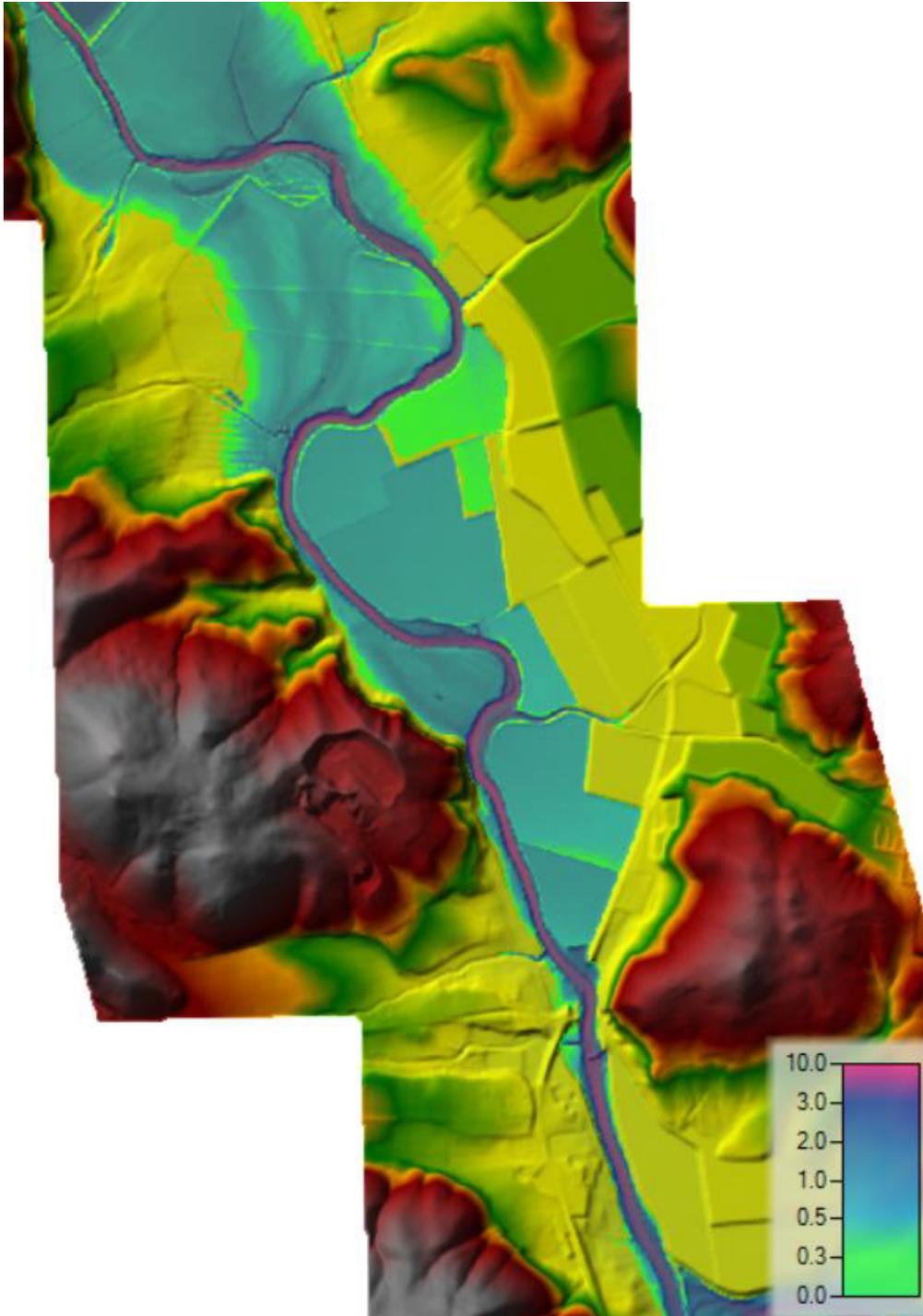


Figura 62 - Area 3 Pk 48+240 – 44+320, Tr30, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

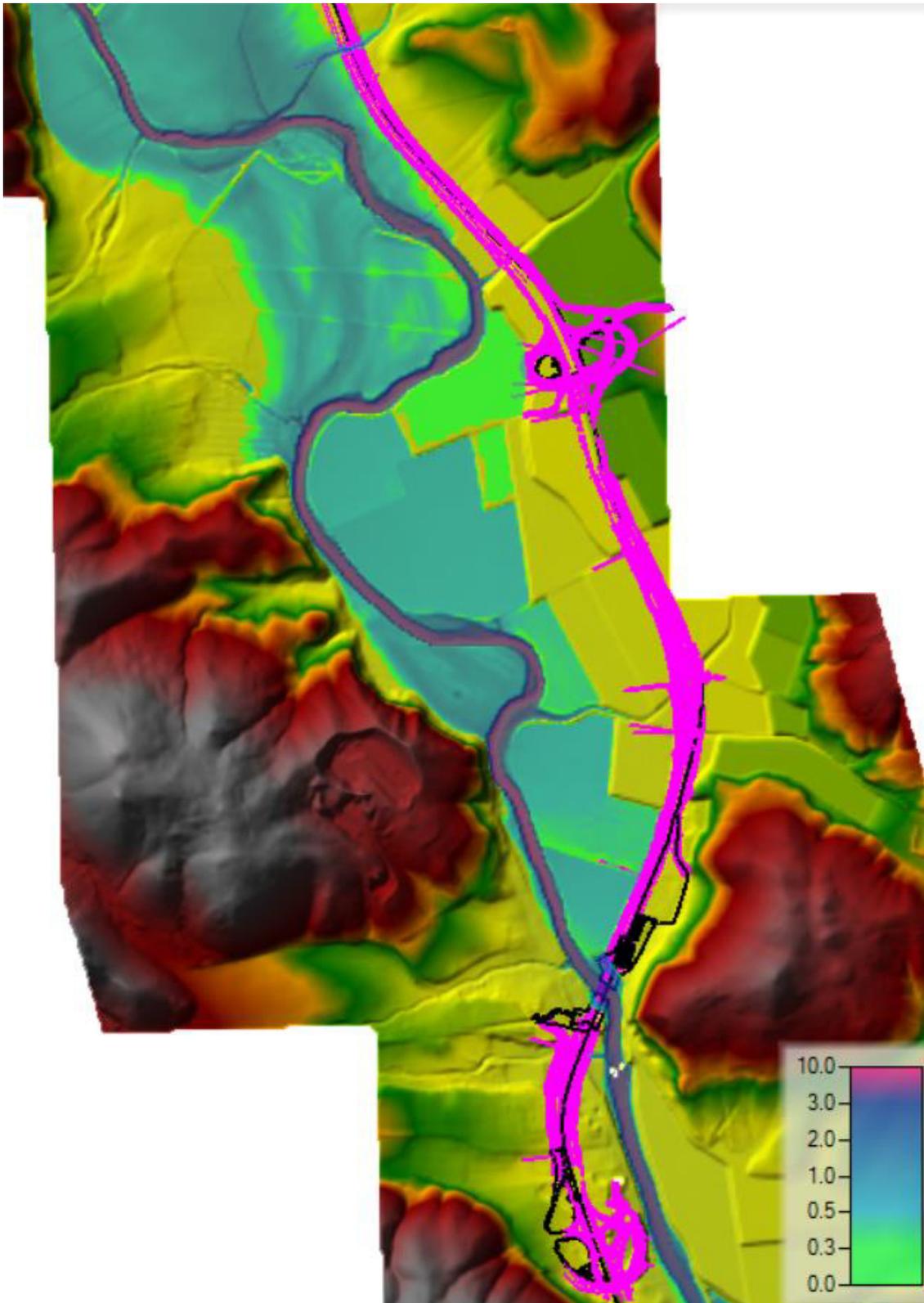


Figura 63 - Area 3 Pk 48+240 - 44+320, Tr10, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

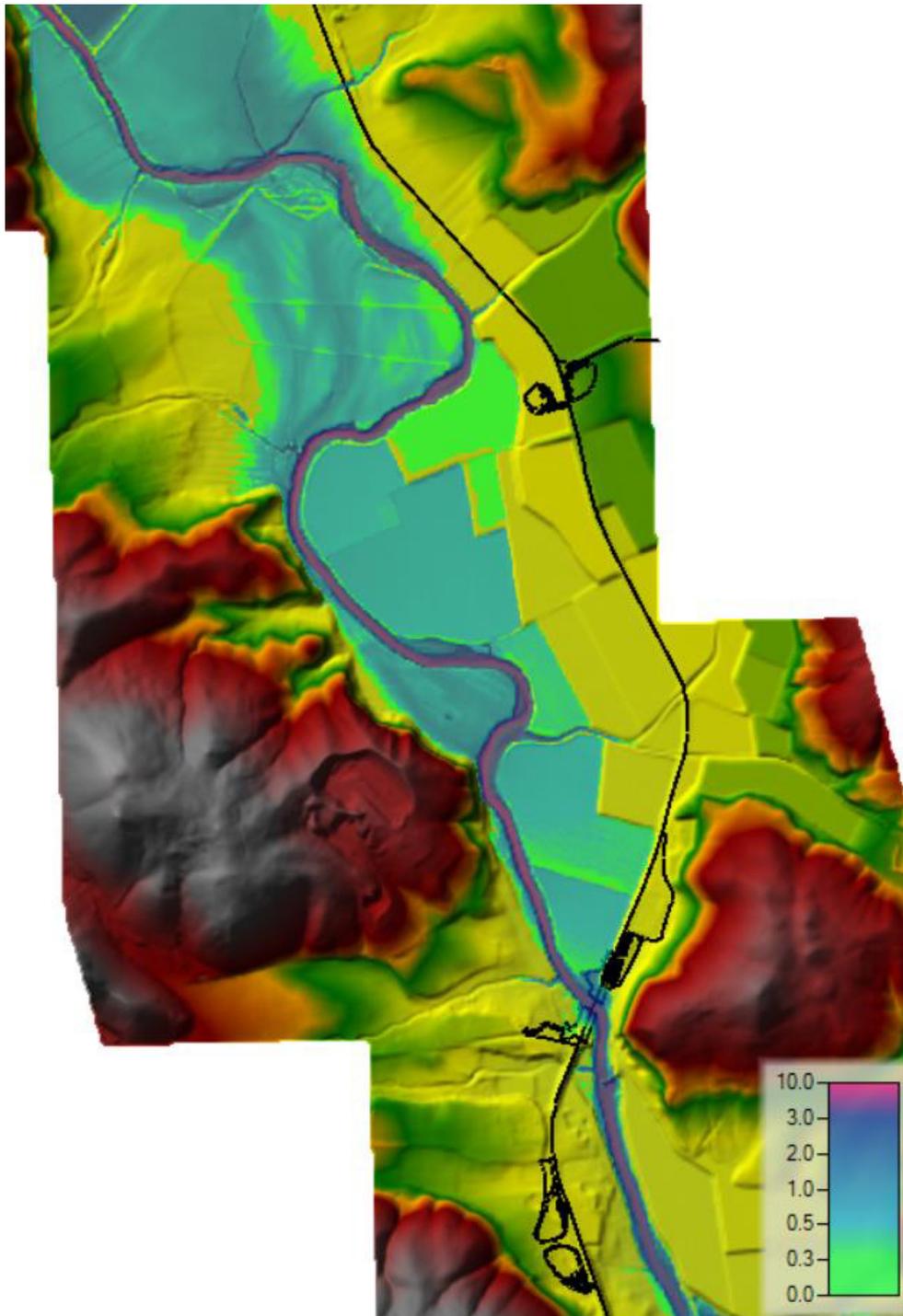


Figura 64 - Area 3 Pk 48+240 - 44+320, Tr10, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

1.1.1 Particolari su opere interessate dall'esonazione

In questo capitolo vengono presentati i risultati delle simulazioni relativamente ad alcuni punti caratteristici dell'area.

Il rilevato alla Pk 47+780 in Figura 65 viene interessato dall'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni. Come è possibile vedere dalla sezione tracciata in Figura 65, in corrispondenza del rilevato viene a formarsi un tirante di 1m, quindi al di sotto della pavimentazione stradale di 2m. Per un tempo di ritorno di 30 anni il franco è invece pari a 2.4m. Poiché l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni non interessa l'area di cantiere, non esistono criticità per la stessa in riferimento ad un evento con tempo di ritorno pari a 10 anni.

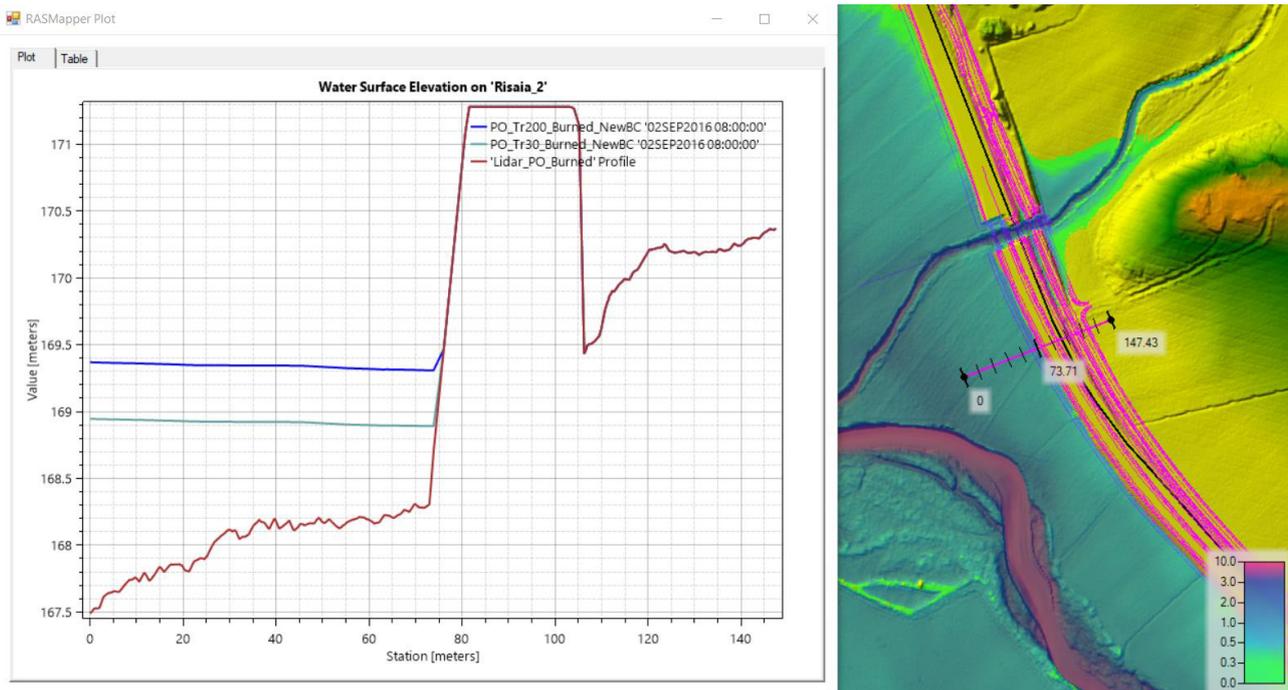


Figura 65 - Particolare dell'area 3, Tr30 e Tr200, Post Operam. Sezione sul nuovo rilevato alla Pk 47+780 in cui si nota un tirante in corrispondenza del rilevato pari a 1m, quindi al di sotto della pavimentazione stradale di circa 2m. Le aree di cantiere non sono interessate dalla piena con tempo di ritorno 200 anni. La mappa dei livelli idrici si riferisce alla piena di Tr200.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Station [m]	Tr 200	DTM
[m]	[anni]	[m]
0	169.37	167.49
74	169.31	168.70
80	0.00	171.28
104	0.00	171.28
106	0.00	169.43
147	0.00	170.37

Lo svincolo Fontazzi, in Figura 66, viene interessato dall'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni. Come è possibile vedere dalla sezione tracciata in Figura 66, in corrispondenza dello svincolo viene a formarsi un tirante di circa 0.5m, quindi al di sotto della pavimentazione stradale di circa 5m. Il franco è simile anche per un tempo di ritorno di 30 anni. Poiché l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni non interessa l'area di cantiere, non esistono criticità per la stessa in riferimento ad un evento con tempo di ritorno pari a 10 anni.

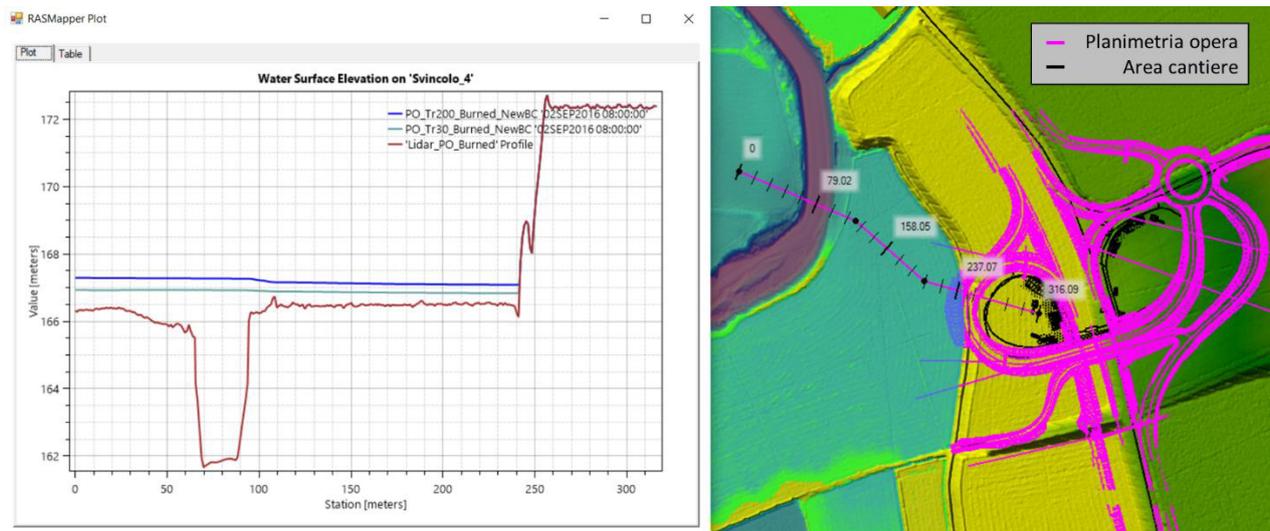


Figura 66 - Particolare dell'area 3, Tr30 e Tr200, Post Operam. Sezione sullo svincolo Fontazzi in cui si può notare, per Tr200, un tirante di 0.6m metri in corrispondenza della scarpata della risaia, quindi al di sotto della pavimentazione stradale di circa 5m. Le aree di cantiere non sono interessate dalla piena. La mappa dei livelli idrici si riferisce alla piena di Tr200.

Station [m]	Tr 200	DTM
[m]	[anni]	[m]
0	167.30	166.32
78	167.27	161.84
240	0.00	166.26
260	0.00	172.38
316	0.00	172.38

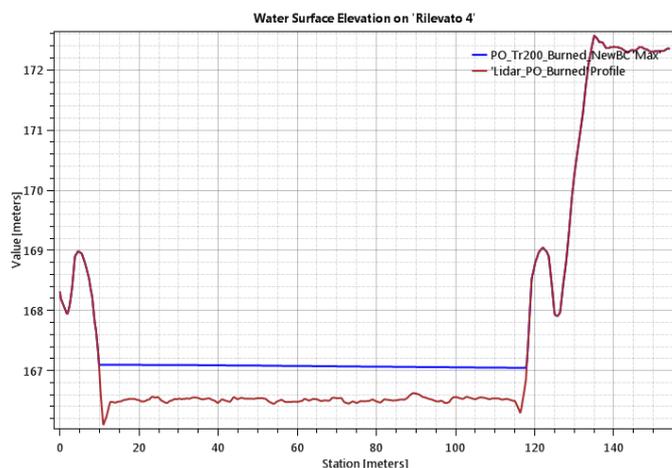


Figura 67 - Profilo lungo il rilevato dello svincolo Fontazzi

In Figura 68 è rappresentata la sezione in corrispondenza dell'attraversamento sul fiume Merse. Si può notare che per un tempo di ritorno pari a 200 anni viene a formarsi un franco (2.2m) minore di quello di sicurezza (1.5m), essendo la quota dell'intradosso pari a 166m e quella della superficie dell'acqua pari a 163.8. Per un tempo di ritorno di 30 anni il la quota della superficie è pari a 162.4m, formando quindi un franco pari a 3.6m.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

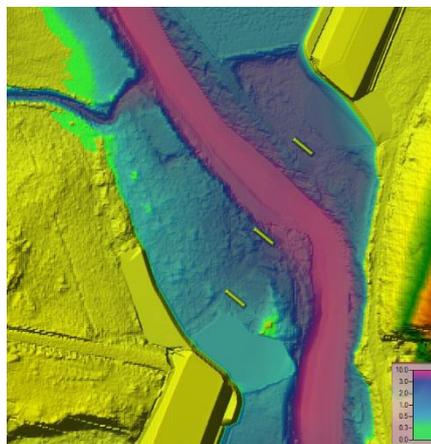
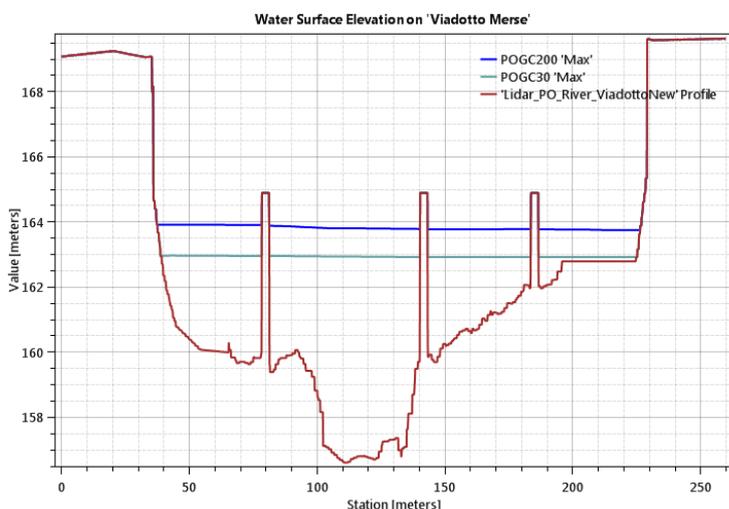


Figura 68 - Particolare dell'area 3, Tr30 e Tr200, Post-Operam. Sezione sul ponte di attraversamento del fiume Merse in cui si può notare, per Tr200, un livello idrometrico a quota 163.8m, stabilendo quindi un franco di 2.2m rispetto all'intradosso dell'attraversamento (posto a quota 166m). La mappa dei livelli idrici è quella corrispondente ad una piena di tempo di ritorno di 200 anni.

Station [m]	Tr 200	DTM
[m]	[anni]	[m]
0	0.00	169.00
33	0.00	169.00
54	163.93	160.09
78	164.90	164.90
79	0.00	164.90
81	0.00	164.90
81.17	164.46	164.46
137.09	163.79	158.12
137.09	0.00	158.12
141	0.00	164.90
181	163.78	162.07
181.17	0.00	162.07
186	0.00	164.90
186.29	164.90	164.90
226	163.75	163.64
229.06	0.00	169.62
229.06	169.62	169.62
259.79	0.00	169.64

Figura 69 mostra la mappa delle velocità in corrispondenza dell'attraversamento sul fiume Merse. Si notano elevate velocità oltre che in corrispondenza dell'alveo, anche in corrispondenza della pila in sinistra idraulica e nell'area alluvionale in sinistra idraulica a monte dell'attraversamento. Queste elevate velocità sono dovute al fatto che gran parte della portata esondata in sinistra idraulica confluisce in una sezione più stretta (cerchio blu in), che poi interessa anche la pila in sinistra idraulica. Per questo motivo è prevista un'opera di difesa dall'erosione in corrispondenza della pila.

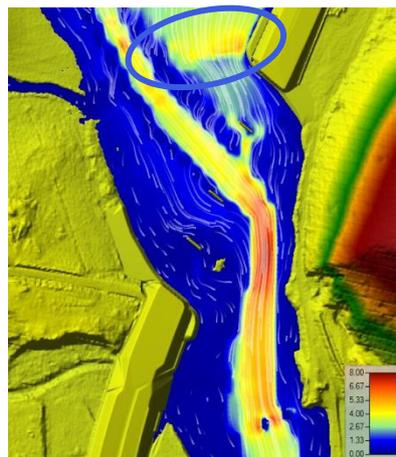
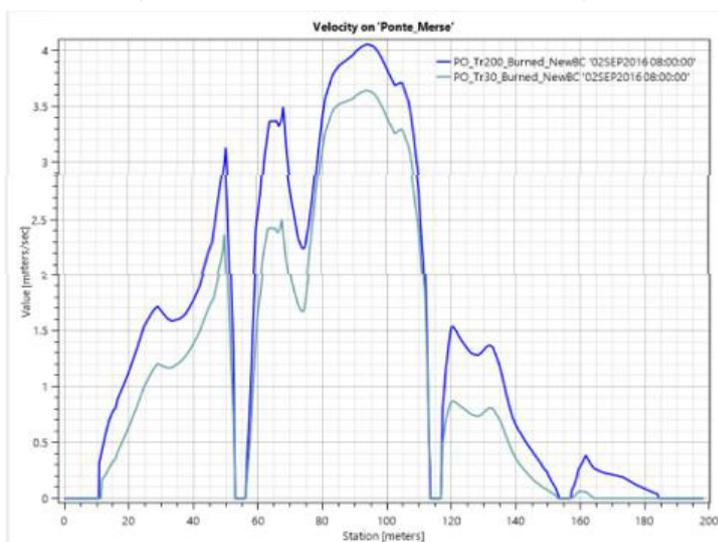


Figura 69 - Particolare dell'area 3, Tr30 e Tr200, Post-Operam. Sezione sul ponte di attraversamento del fiume Merse in cui si notano elevate velocità (3-4 m/s) di scorrimento in corrispondenza delle pile. La mappa delle velocità si riferisce alla piena con tempo di ritorno 200 anni.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Le Figura 70 e Figura 71 mostrano tiranti e velocità in corrispondenza dell’attraversamento sul fiume Merse per un tempo di ritorno di 10 anni in condizioni Ante-Operam. In questo caso l’area di cantiere (indicata con linee nere) è interessata dalla piena, con importanti tiranti e velocità. Per completezza vengono mostrate anche le stesse grandezze in condizioni Post-Operam e la differenza rispetto allo scenario Ante-Operam è discussa nel capitolo 1.1.

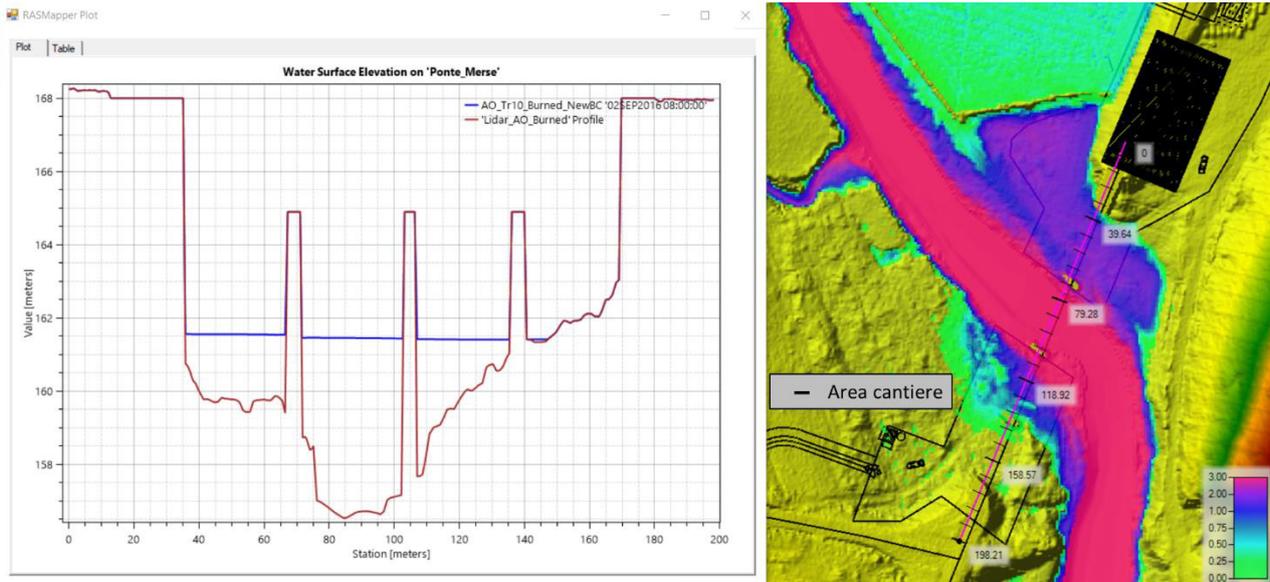


Figura 70 - Particolare dell'area 3, Tr10, Ante-Operam. Per un tempo di ritorno di 10 anni alcune aree di cantiere sono interessate dalla piena. Nell'area in sinistra idraulica i tiranti variano tra 1m e 2m. Nell'area in destra idraulica i tiranti sono inferiori (fino ad 1m) e sono maggiori di 2 metri solamente nella parte interna all'alveo.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

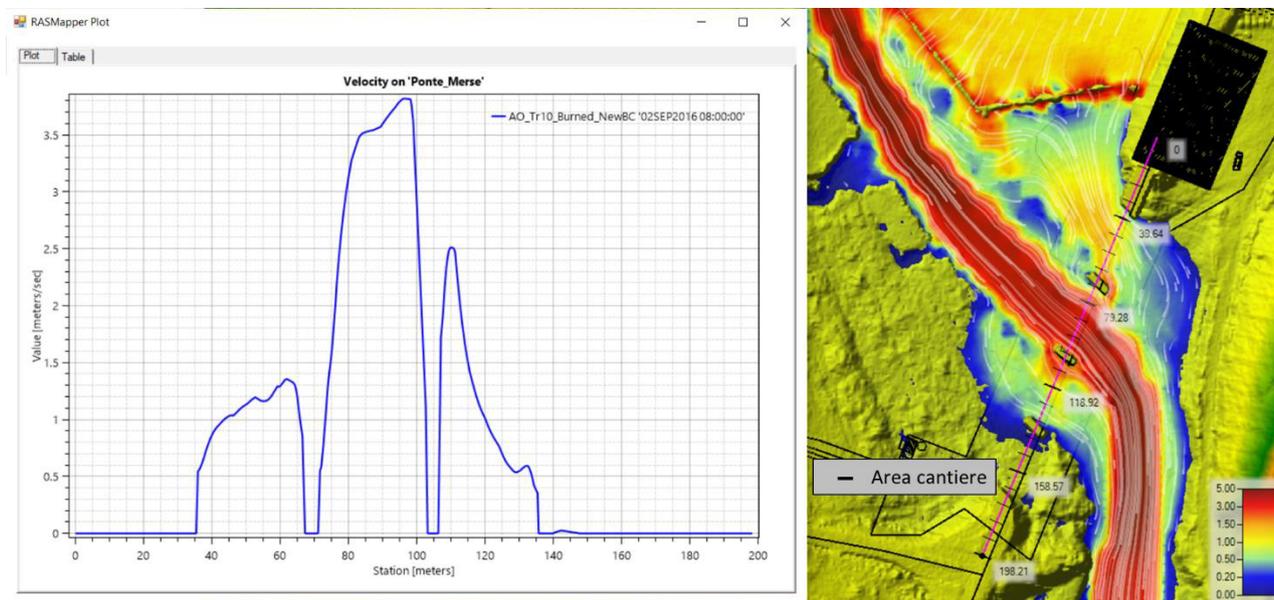


Figura 71 - Particolare dell'area 3, Tr10, Ante-Operam. Per un tempo di ritorno di 10 anni, le velocità di flusso delle aree di inondazione in sinistra idraulica variano tra i 0.2 e i 3 m/s. In destra idraulica le velocità sono globalmente più basse ma raggiungono valori elevati in prossimità dell'alveo del fiume Merse.

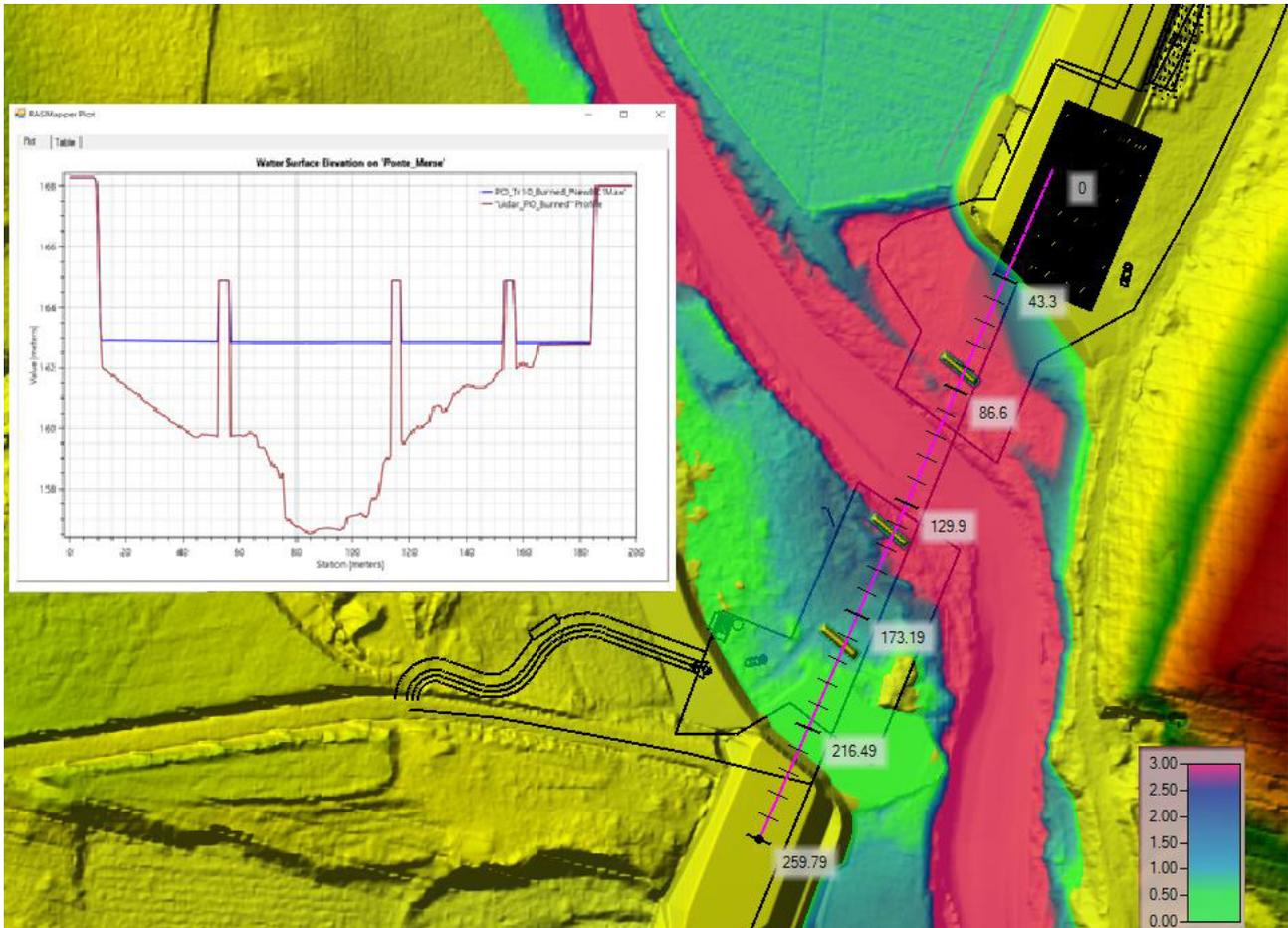


Figura 72 - Particolare dell'area 3, Tr10, Post-Operam. Tiranti idraulici. Per il confronto con le condizioni Ante-Operam si rimanda al capitolo 1.1.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

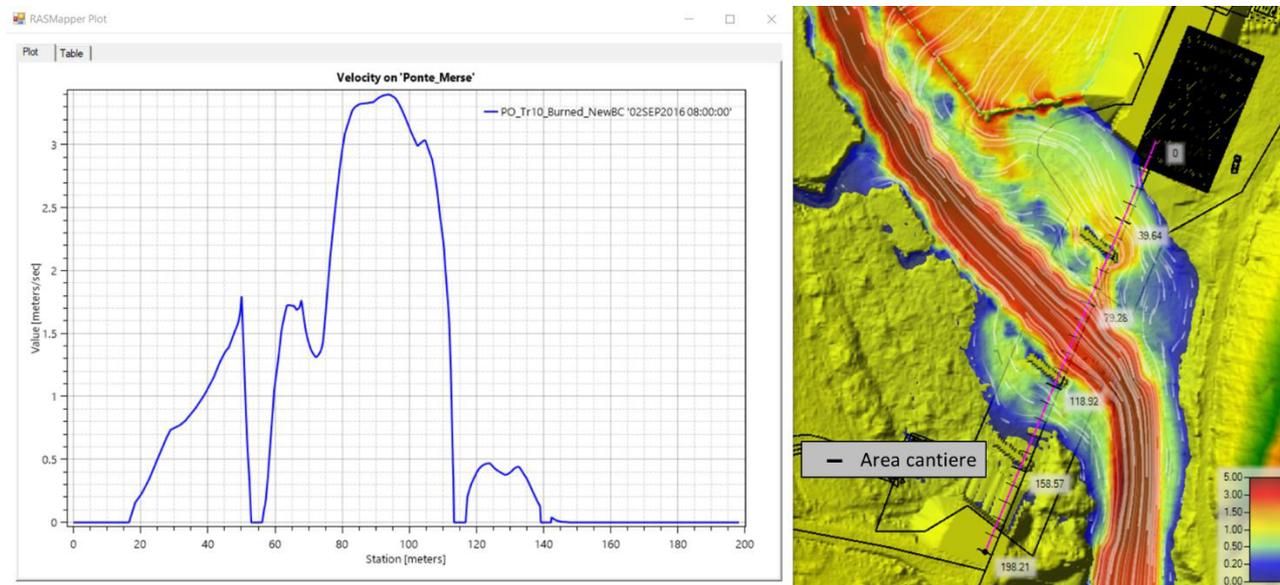


Figura 73 - Particolare dell'area 3, Tr10, Post-Operam. Velocità. Per il confronto con le condizioni Ante-Operam si rimanda al capitolo 1.1.

La Figura 74 mostra un particolare sullo svincolo Picchetto a valle dell'attraversamento sul fiume Merse. Contrariamente a quanto evidenziato dal PGRA, l'area in cui è prevista la costruzione dello svincolo Picchetto non presenta particolari criticità, essendo il tirante idraulico in corrispondenza del rilevato dello svincolo pari a 20cm. Il franco rispetto alla pavimentazione stradale risulta pari a 5m. Per un tempo di ritorno pari a 200 anni (e quindi anche per 10 anni), le aree di cantiere non sono interessate dalla piena.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

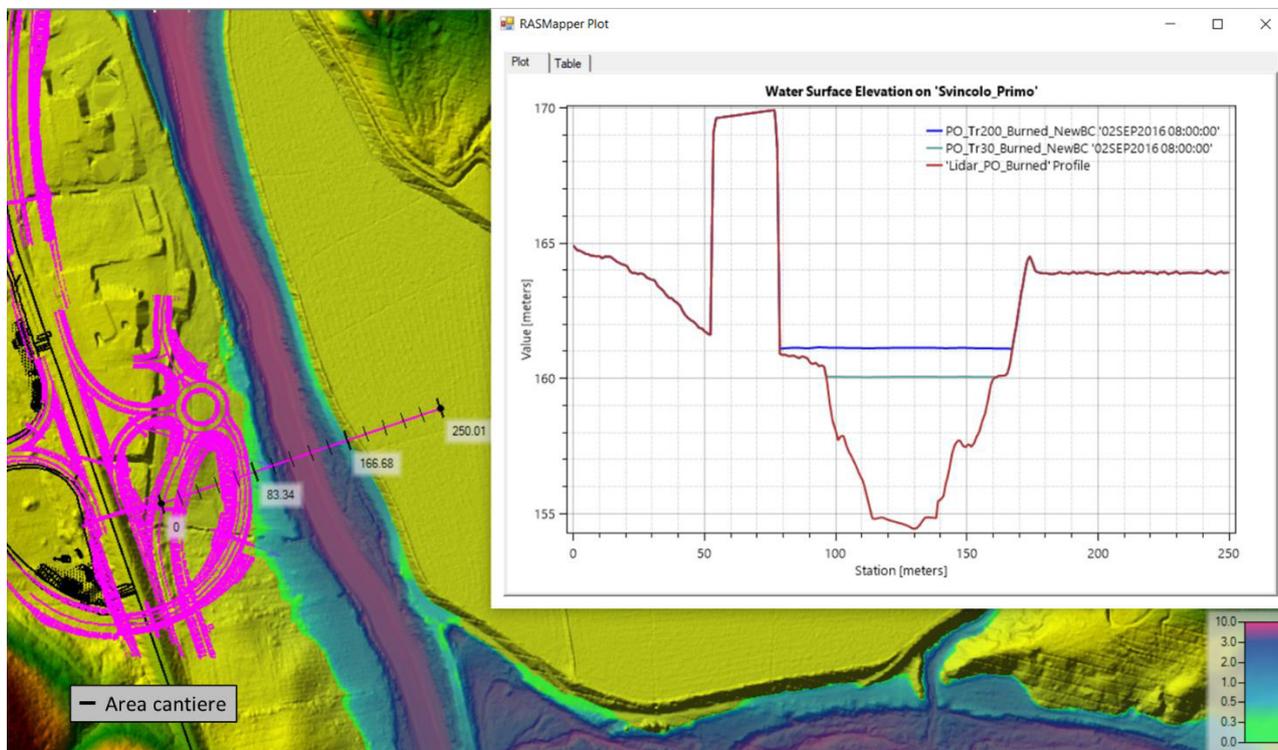


Figura 74 – Particolare dell'area 3, Tr30 e Tr200, Post-Operam. Sezione sullo svincolo Picchetto in cui si può notare, per Tr200, un tirante di 20cm in corrispondenza dello svincolo, quindi al di sotto della pavimentazione stradale di più di 5m. Le aree di cantiere non sono interessate dalla piena. La mappa dei livelli idrici si riferisce alla piena di Tr200.

Station [m]	Tr 200	DTM
[m]	[anni]	[m]
0	0.00	164.91
50	0.00	161.73
53	0.00	169.92
76	0.00	169.92
78.69	161.98	160.91
129.43	162.07	154.45
129.43	162.07	154.45
167.58	162.01	161.26
177	0.00	163.93
250	0.00	163.93

1.1 Differenze tra scenario Post-Operam e Ante-Operam

In questo capitolo vengono presentate le differenze in termini di tiranti, velocità e magnitudo tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam.

Globalmente, non sono presenti differenze significative né in termini di tiranti (Figura 75) né in termini di velocità (Figura 77). Di conseguenza non sono presenti significative differenze in termini di magnitudo (Figura 80).

Le uniche differenze apprezzabili in termini di tiranti sono in corrispondenza del nuovo rilevato e delle spalle dell'attraversamento del fiume Merse (Figura 76). Le differenze positive in corrispondenza del nuovo rilevato sono dovute al fatto che rispetto alle condizioni Ante-Operam il rilevato riduce leggermente l'estensione dell'area inondabile, per cui quella porzione di terreno non è più interessata da esondazione. In corrispondenza delle spalle invece accade l'opposto: parte del vecchio rilevato viene rimosso e spianato per spostare le spalle del ponte, dando quindi possibilità all'acqua di raggiungere tali aree. Le differenze positive e negative lungo le sponde dell'alveo sono dovute a piccole differenze tra la geometria del modello Ante-Operam e Post-Operam, da considerare come errori nella simulazione e trascurabili.

Le uniche differenze apprezzabili in termini di velocità sono in corrispondenza del nuovo rilevato, delle spalle dell'attraversamento e delle pile (Figura 78). Si possono osservare diverse aree con variazioni sia in positivo che in negativo delle velocità di deflusso tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam. In corrispondenza delle pile osserviamo un aumento o una diminuzione di velocità nel caso in cui le pile vengono rispettivamente rimosse o aggiunte. Osserviamo un aumento di velocità in corrispondenza della spalla esistente in sinistra idraulica, poiché in progetto è prevista la sua rimozione che dà quindi modo al flusso di scorrere. Lungo il rilevato notiamo una diminuzione di velocità poiché il flusso che prima poteva scorrere in quella striscia adesso è occupato dal lato ovest del rilevato. Un'ulteriore differenza riguarda l'area compresa tra la sinistra idraulica del fiume Merse e il pendio ovest del nuovo rilevato. In questa area osserviamo un importante aumento di velocità dovuto al restringimento di sezione causato dall'allargamento del rilevato verso l'alveo, come mostrato in Figura 79.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

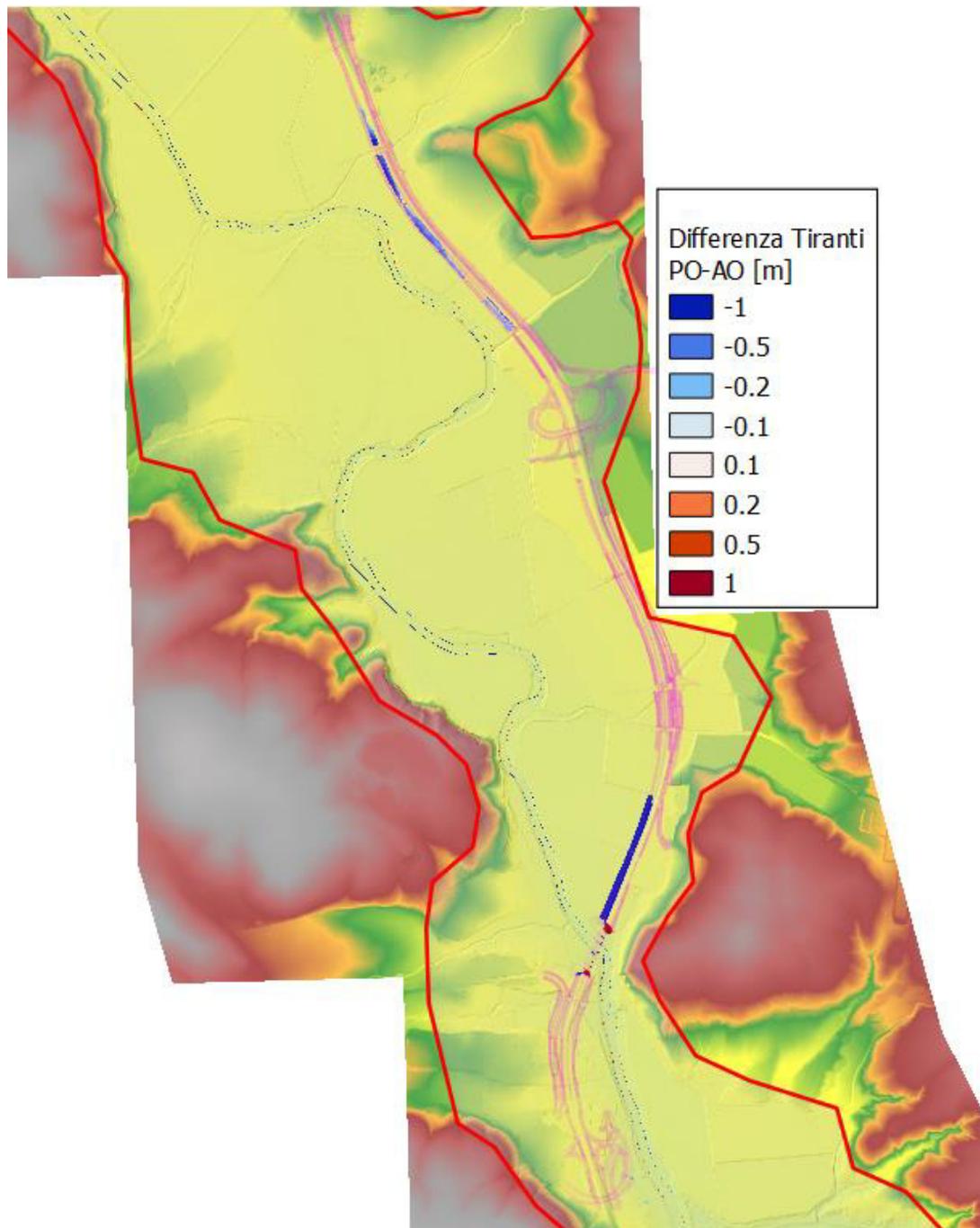


Figura 75 - Area 3 Pk 48+240 - 44+320, Tr200, Differenza tiranti PO-AO. L'unica differenza apprezzabile è quella in corrispondenza dell'attraversamento sul fiume Merse, dovuta ad una rimodellazione del terreno a causa delle nuove spalle (Figura 76) mostra un livello di dettaglio maggiore). Le aree in corrispondenza delle sponde dell'alveo presentano differenze positive e negative per ragioni di piccole differenze di geometria della maglia di calcolo tra il modello Ante-Operam e Post-Operam, che possono essere considerate come errori.

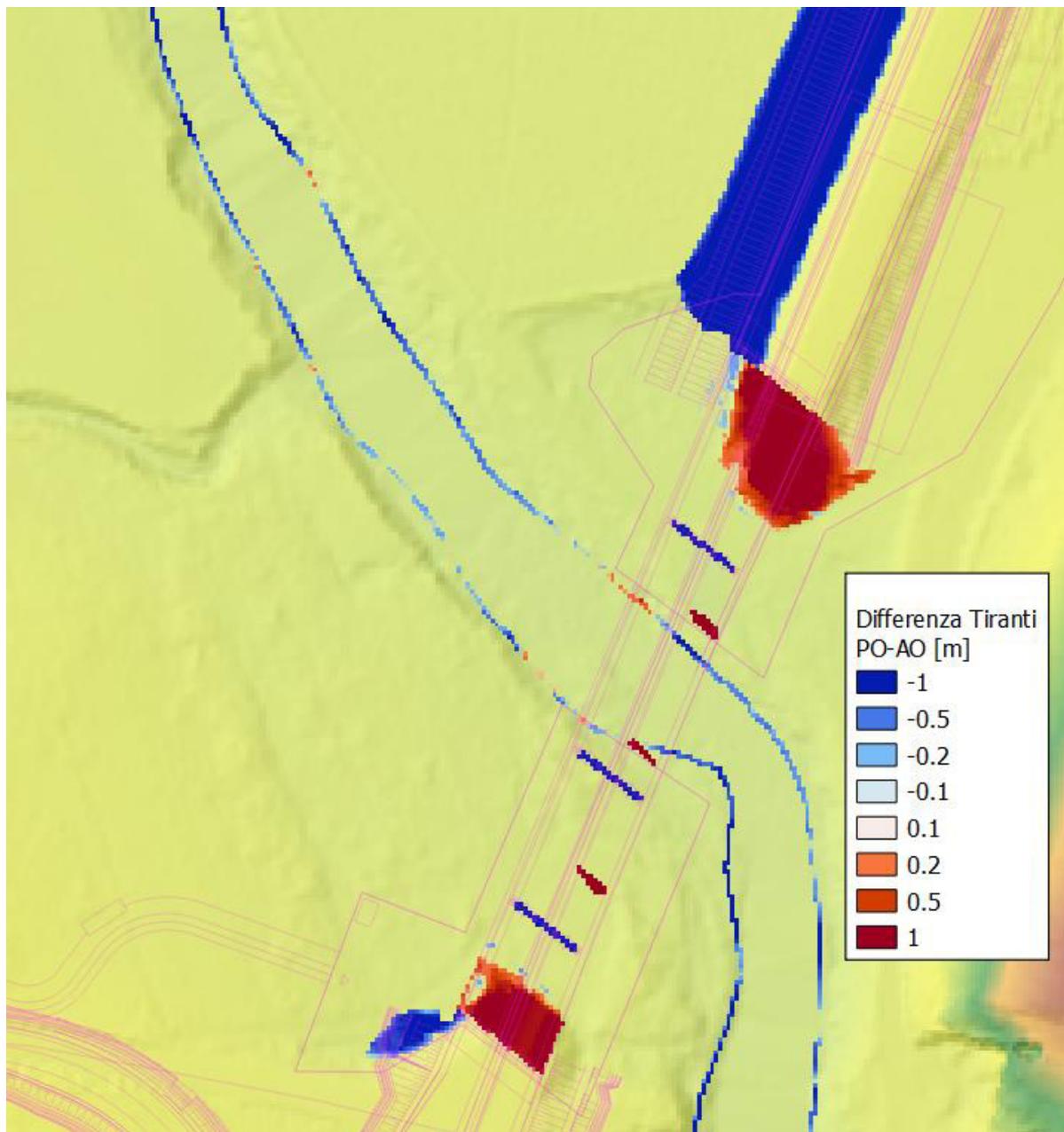


Figura 76 - Particolare Area 3 Pk 48+240 - 44+320, Tr200, Differenza di tiranti tra Post-Operam e Ante-Operam in corrispondenza dell'attraversamento. Le differenze principali sono in corrispondenza del nuovo rilevato e delle spalle dell'attraversamento. Le differenze positive in corrispondenza del nuovo rilevato sono dovute al fatto che rispetto alle condizioni Ante-Operam il rilevato riduce leggermente l'area inondabile, per cui quella porzione di terreno non è più interessata da esondazione. In corrispondenza delle spalle invece accade l'opposto: parte del vecchio rilevato viene rimosso e spianato per spostare le spalle del ponte, dando quindi possibilità all'acqua di raggiungere tali aree. Le differenze positive e negative lungo le sponde dell'alveo sono dovute a piccole differenze tra la geometria del modello Ante-Operam e Post-Operam, da considerare come errori nella simulazione e trascurabili.

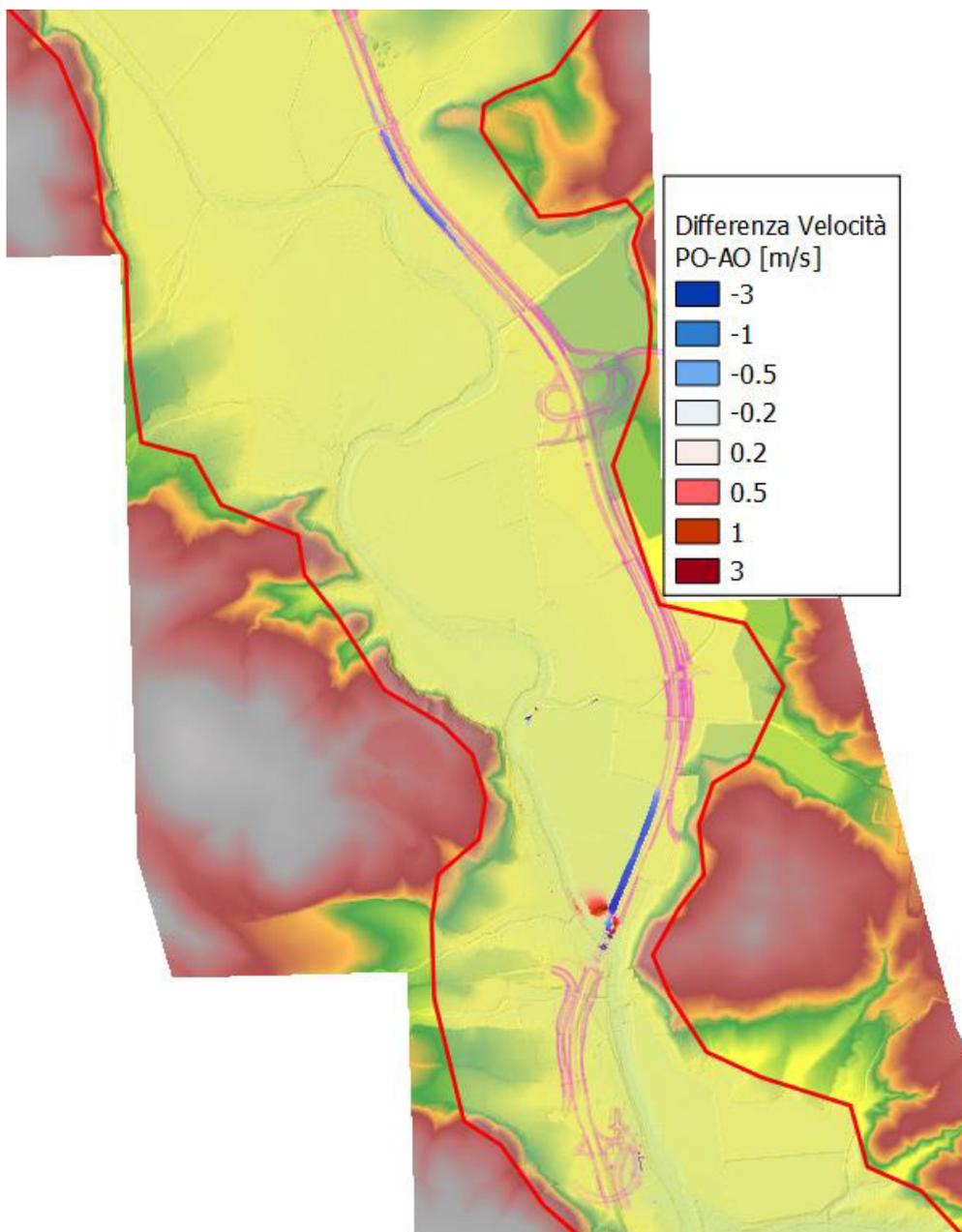


Figura 77 - Area 3 Pk 48+240 – 44+320, Tr200, Differenza tra velocità PO-AO. L'area 3 globalmente non presenta variazioni importanti di velocità tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam. L'unico punto che presenta criticità è quello in prossimità dell'attraversamento, mostrato con un livello di dettaglio maggiore in Figura 78.

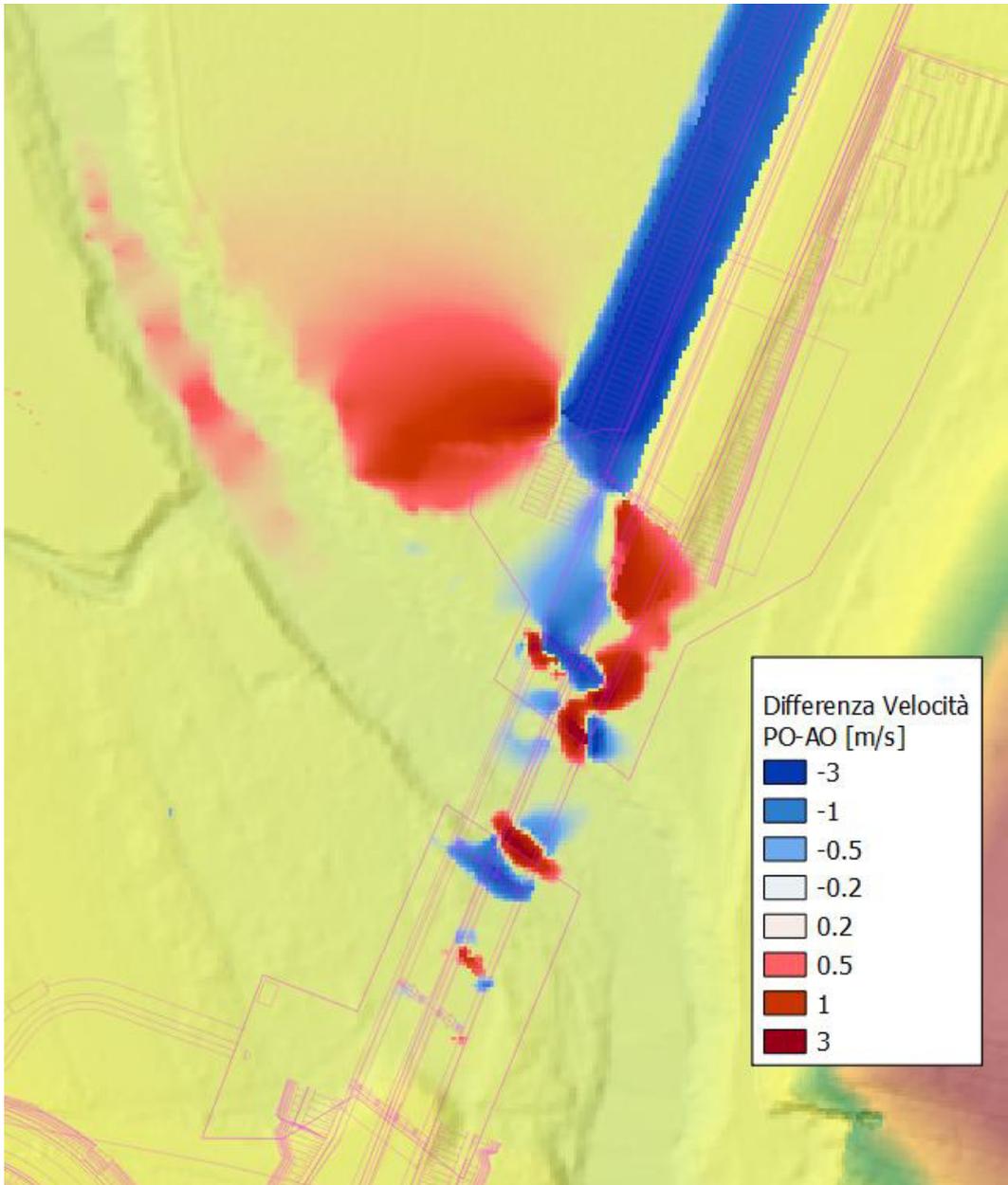


Figura 78 - Particolare area 3, Tr200, Differenza di velocità PO - AO. Si possono osservare diverse aree con variazioni sia in positivo che in negativo delle velocità di deflusso tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam. In corrispondenza delle pile osserviamo un aumento o una diminuzione di velocità nel caso in cui le pile vengono rispettivamente rimosse o aggiunte. Osserviamo un aumento di velocità in corrispondenza della spalla esistente in sinistra idraulica, poiché in progetto è prevista la sua rimozione che dà quindi modo al flusso di scorrere. Lungo il rilevato notiamo una diminuzione di velocità poiché il flusso che prima poteva scorrere in quella striscia adesso è occupato dal lato ovest del rilevato. Un'ulteriore differenza riguarda l'area compresa tra la sinistra idraulica del fiume Merse e il pendio ovest del nuovo rilevato. In questa area osserviamo un importante aumento di velocità dovuto al restringimento di sezione causato dall'allargamento del rilevato verso l'alveo, come mostrato in Figura 79.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

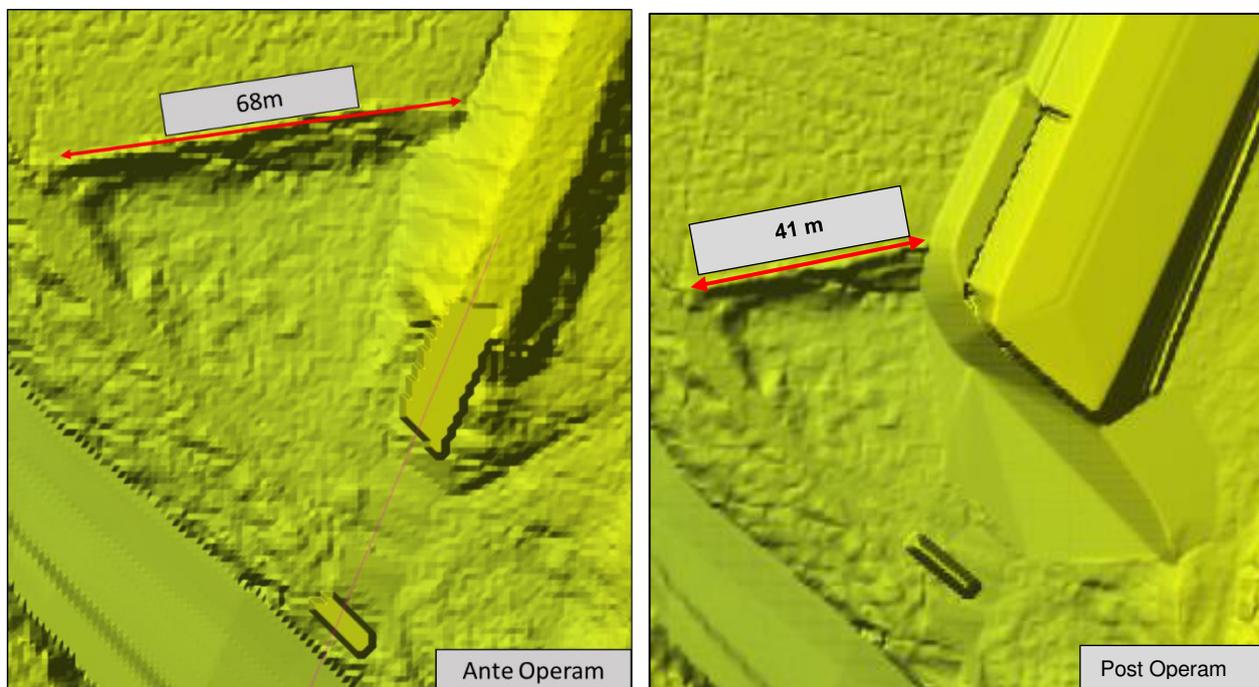


Figura 79 - Dettaglio sulla diversa configurazione tra Ante-Operam e Post-Opera sull'attraversamento del fiume Merse che provoca un aumento delle velocità di deflusso nelle condizioni di Post-Operam.

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

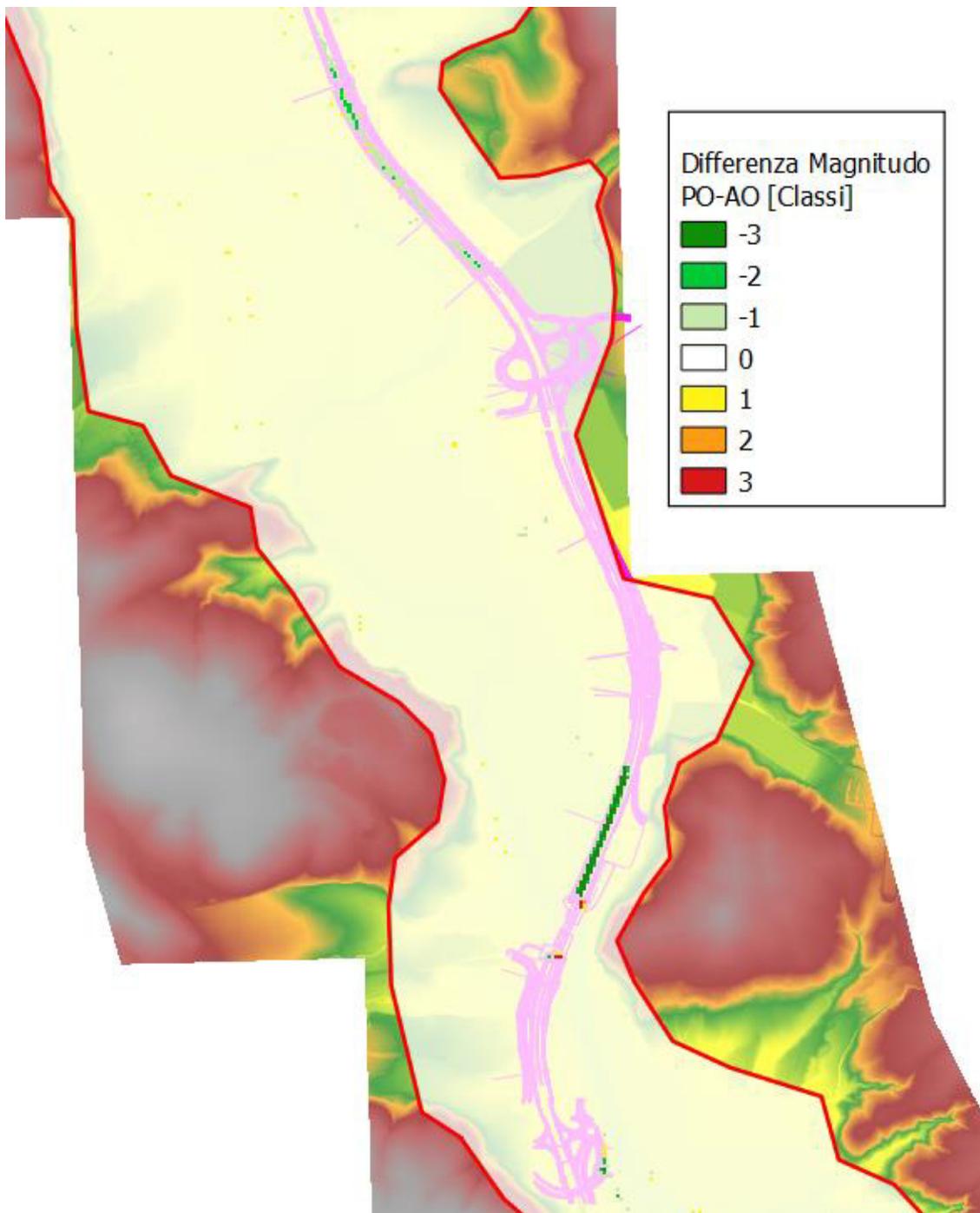


Figura 80 - Area 3 Pk 48+240 – 44+320, Tr200, Differenza di classi di magnitudo tra Post-Operam e Ante-Operam. L'unica differenza apprezzabile è in corrispondenza del nuovo rilevato (dove si ha una riduzione dell'area disponibile all'esonazione e quindi un annullamento di livelli idrometrici) e in corrispondenza delle nuove spalle dell'attraversamento (dove invece si ha una creazione di area disponibile all'esonazione, e quindi formazione di tiranti).

1.1.1 Considerazioni finali

L'area 3, globalmente, non presenta particolari criticità. Si possono esprimere alcune considerazioni sui tre elementi di interesse di questa area:

- **Svincolo Fontazzi.** Lo svincolo Fontazzi dell'area 3 è interessato dalla piena di tempo di ritorno 200 anni solamente in corrispondenza della scarpata che dal piano del manto stradale arriva a circa 6m più in basso (per la presenza di risaie). Il livello idrometrico che interessa questa scarpata è pari a circa 60cm. Per un tempo di ritorno di 10 anni le aree di cantiere non vengono interessate dalla piena. Non si ci sono particolari differenze in termini di velocità, tiranti e quindi di magnitudo tra condizioni Ante-Operam e Post-Operam.
- **Attraversamento sul fiume Merse.**
 - a. Il livello idrometrico in corrispondenza del ponte sul fiume Merse per un tempo di ritorno pari a 200 anni è pari a 163.7m, rispettando quindi un franco minimo di 1.5m rispetto all'intradosso dell'impalcato.
 - b. Si sviluppano velocità dell'ordine di 3-4 m/s in corrispondenza delle pile del nuovo attraversamento.
 - c. Per un tempo di ritorno di 10 anni l'esondazione interessa l'area di cantiere, con tiranti medi di 1.5m in sinistra idraulica 0.5 in destra idraulica e con velocità medie di 1 m/s in sinistra idraulica e 0.6 m/s in destra idraulica. La parte maggiormente a rischio è quella in destra idraulica in prossimità dell'alveo dove vengono raggiunte alte velocità (3 m/s) e tiranti (3m).
 - d. Rispetto alle condizioni Ante-Operam, si verifica un aumento di livelli idrometrici in corrispondenza delle nuove spalle del ponte (dovuto al fatto che il progetto prevede un allontanamento delle spalle dall'alveo, andando a creare area disponibile all'esondazione) e si verifica una loro diminuzione a ridosso del nuovo rilevato (dovuta al fatto che parte dell'area disponibile all'esondazione viene occupata dal rilevato, eliminando area disponibile all'esondazione).
 - e. Rispetto alle condizioni Ante-Operam, si verificano diversi cambiamenti in termini di velocità. Nell'intorno delle pile osserviamo un aumento o una diminuzione nel caso in cui le pile vengono rispettivamente rimosse o aggiunte. Un ulteriore differenza riguarda l'area compresa tra la sinistra idraulica del fiume Merse e il pendio ovest del nuovo rilevato. In questa area osserviamo un importante aumento di velocità dovuto al

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

restringimento di sezione causato dall'allargamento del rilevato verso l'alveo.

- f. I cambiamenti di tiranti e velocità in corrispondenza delle spalle dell'attraversamento e del lato ovest del nuovo rilevato si traducono in cambiamenti di classi di magnitudo.
- **Svincolo Picchetto.** Lo svincolo Picchetto (immediatamente a valle dell'attraversamento) è interessato dalla piena con tempo di ritorno 200 anni formando un tirante di circa 20cm a ridosso del rilevato dello svincolo. Le aree di cantiere non sono interessate dalla piena con tempo di ritorno di 10 anni. Non ci sono particolari differenze in termini di velocità, tiranti e quindi di magnitudo tra condizioni Ante-Operam e Post-Operam.

1.15 Area 4

In questo capitolo vengono presentati i risultati delle simulazioni relativamente all'Area 4 (Pk41+580,000 – 44+30,000).

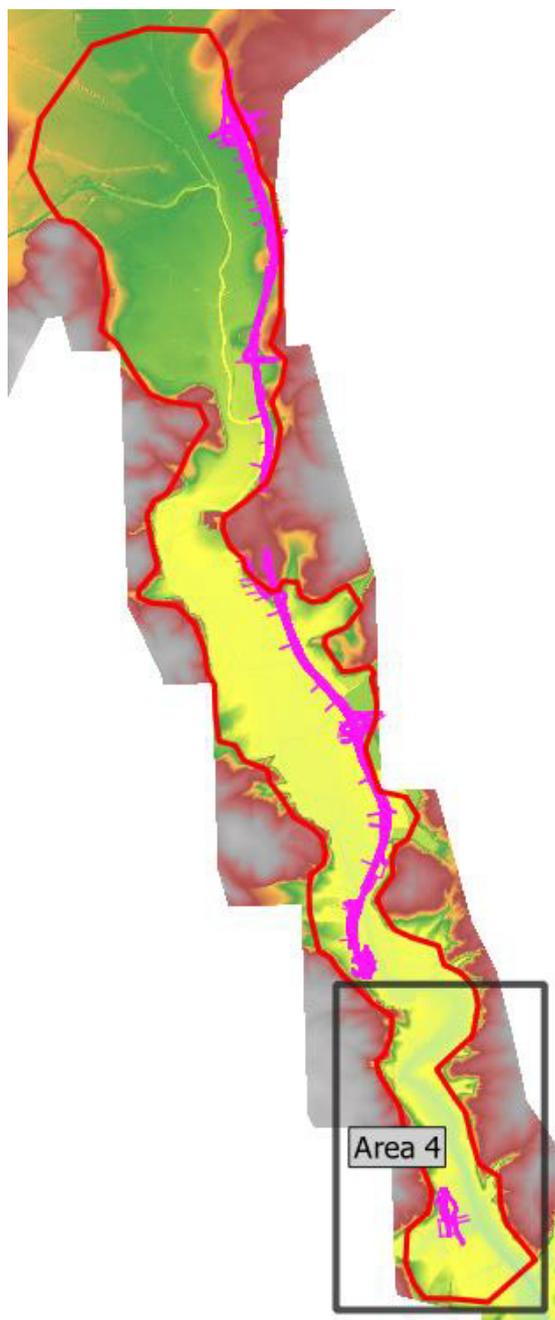


Figura 81 - Area 4

7 PERICOLOSITÀ PGRA

Di seguito viene riportata la mappa della pericolosità idraulica secondo il PGRA.

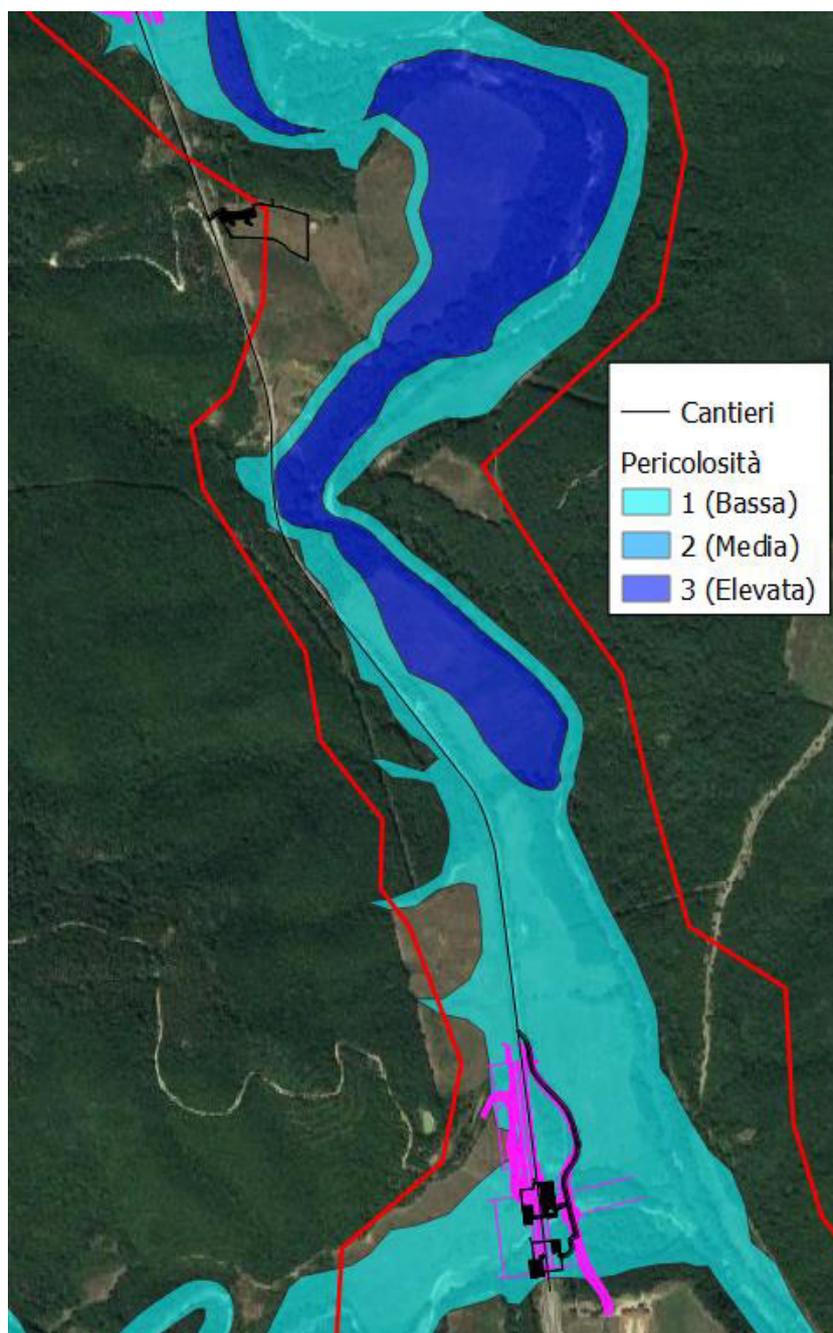


Figura 82 - Pericolosità idraulica secondo il PGRA.

7.1 Mappe dei tiranti

Di seguito vengono riportate le mappe dei tiranti relativamente alle condizioni Post-Operam e Ante-Operam per un tempo di ritorno di 200 anni (Figura 83 e Figura 84), 30 anni (Figura 85 e Figura 86) e 10 anni (Figura 87 e Figura 88).

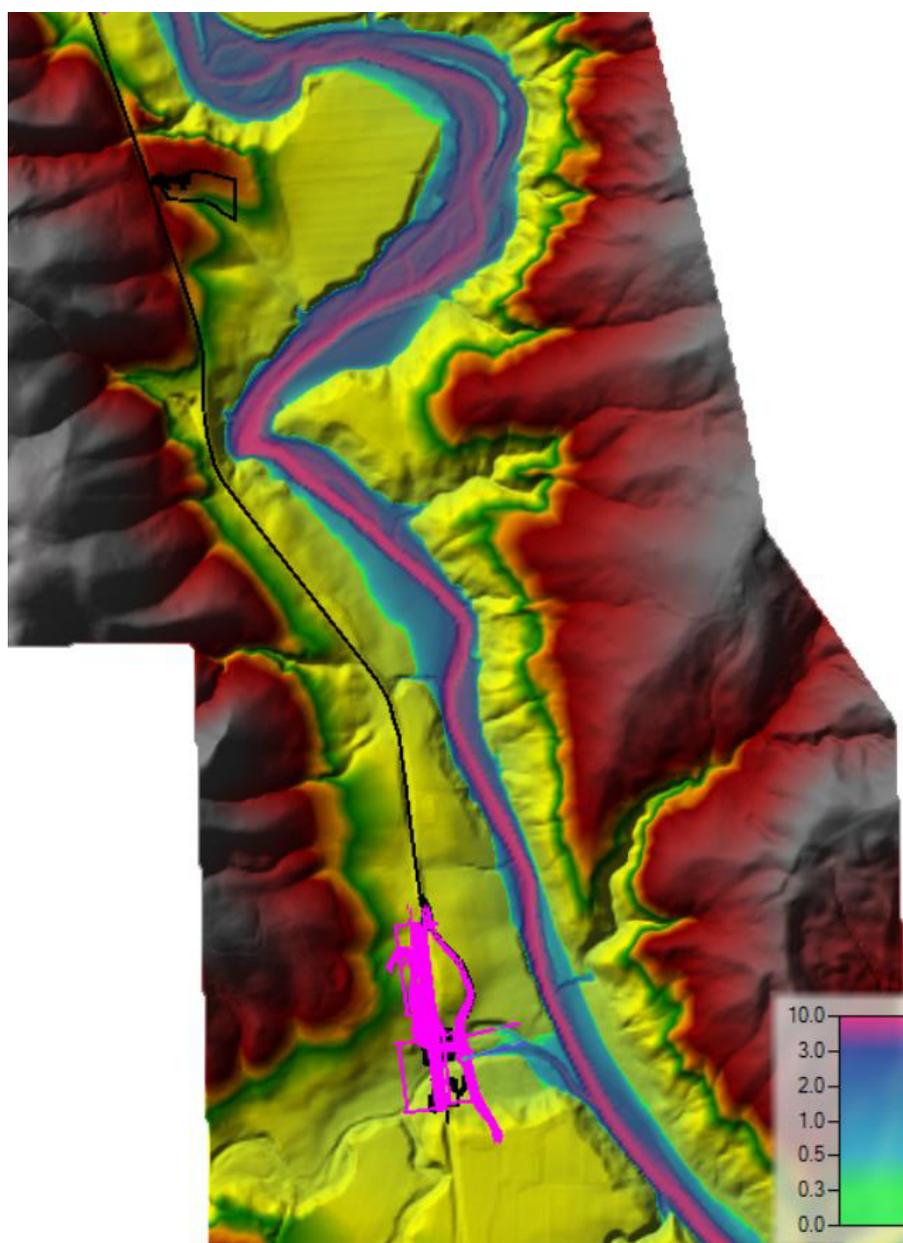


Figura 83 - Area 4 Pk 44+320 – 41+580, Tr200, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

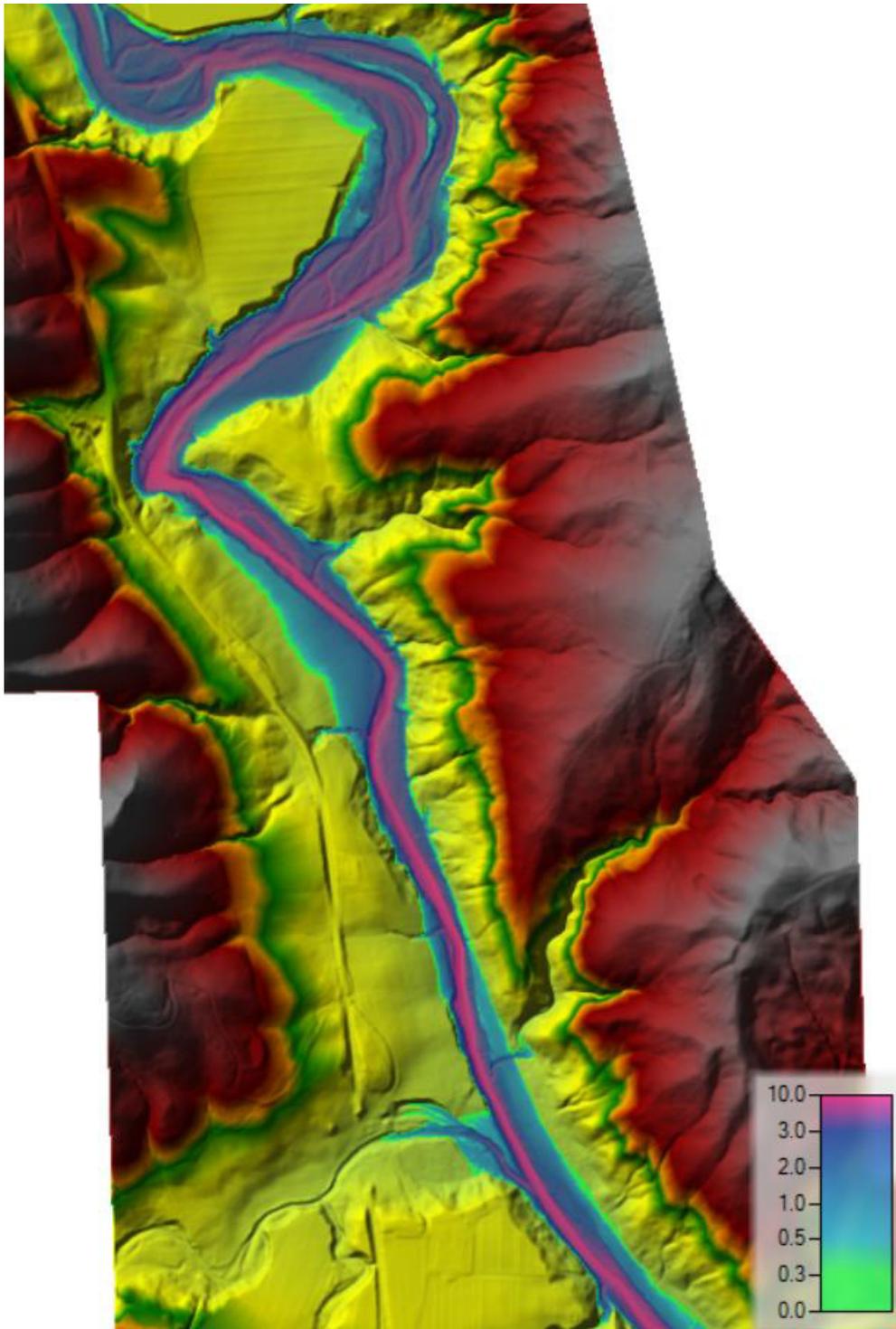


Figura 84 - Area 4 Pk 44+320 - 41+580, Tr200, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

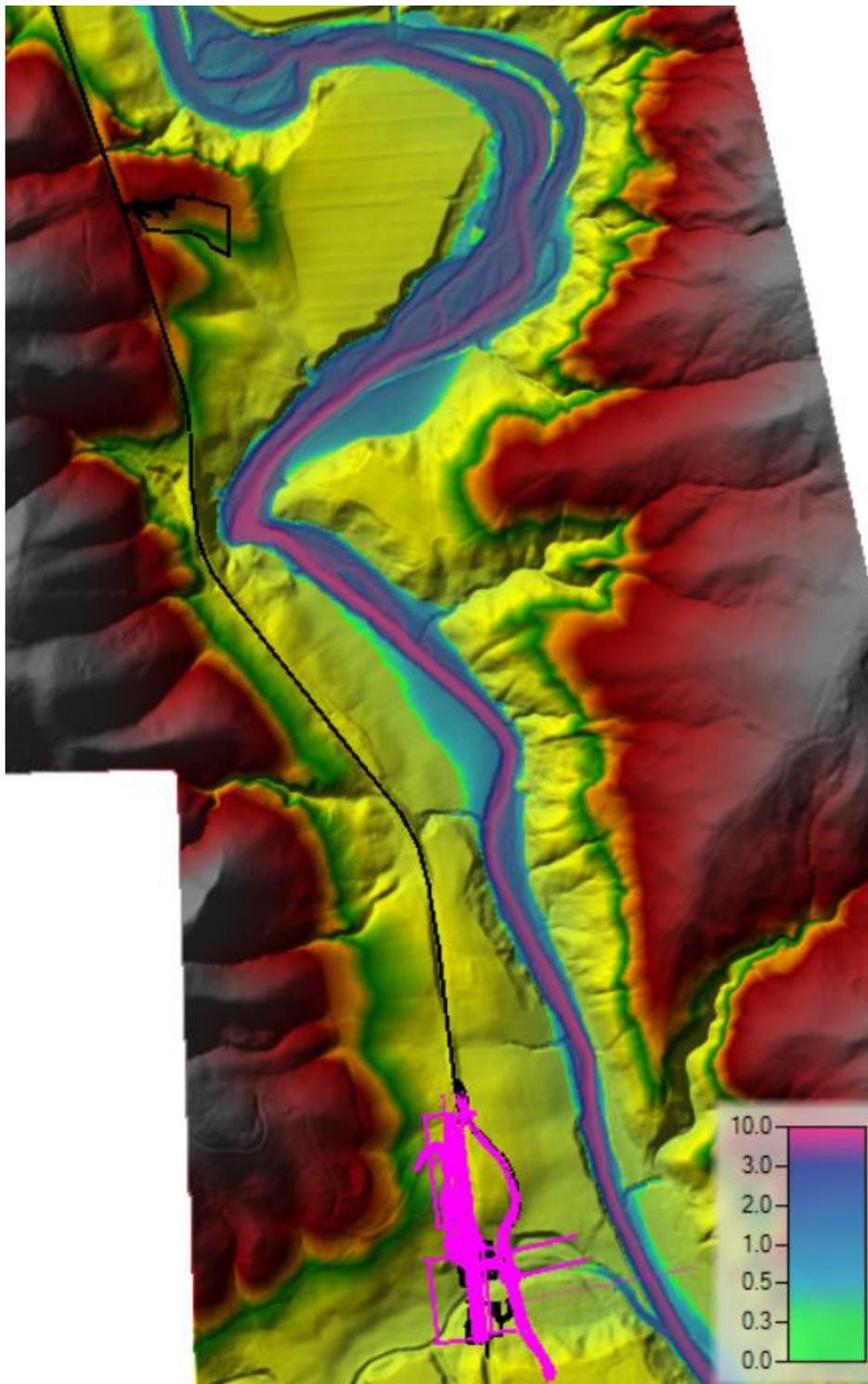


Figura 85 - Area 4 Pk 44+320 - 41+580, Tr30, Post-Operam. Mappa dei tiranti.

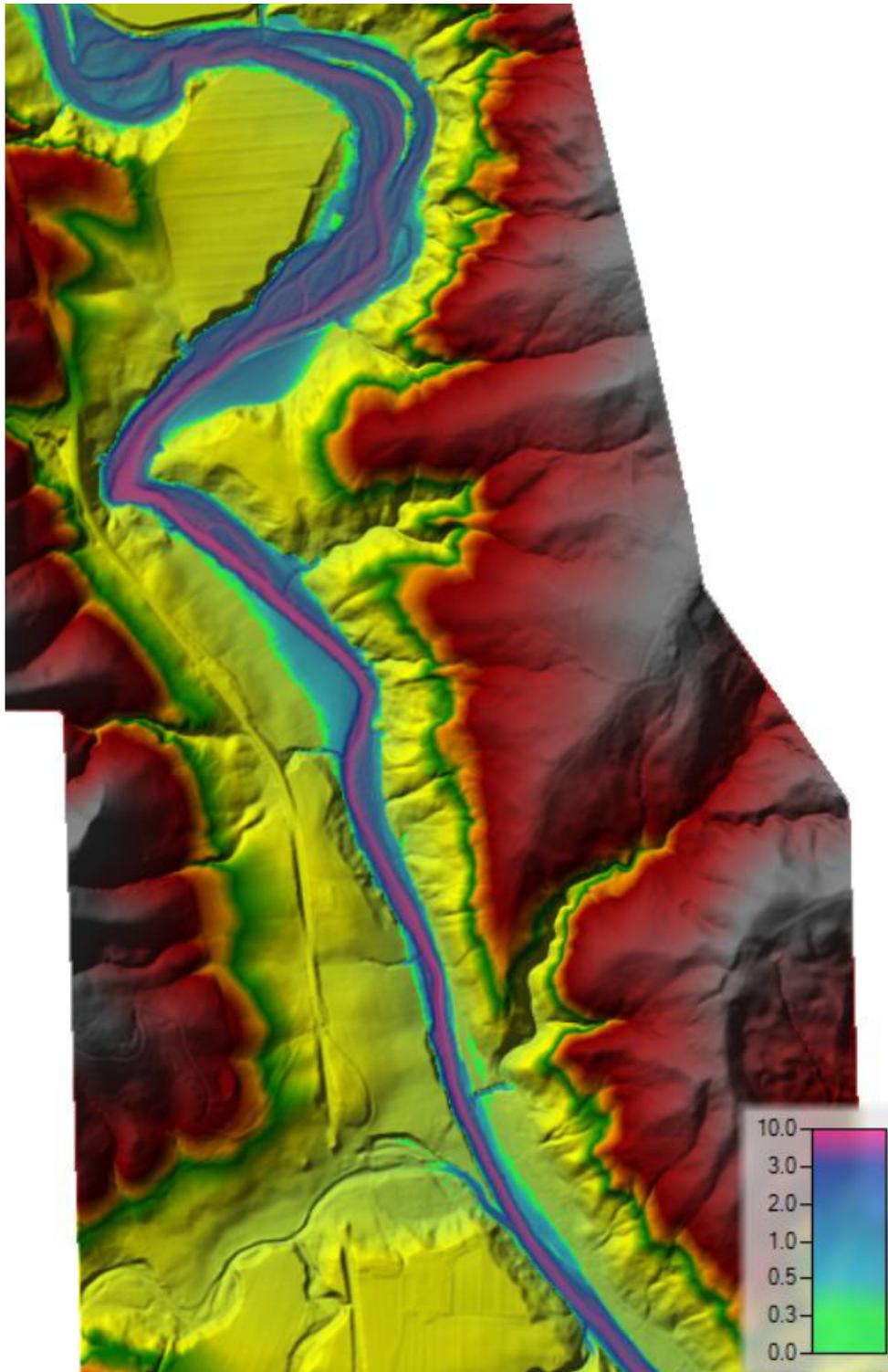


Figura 86 - Area 4 Pk 44+320 - 41+580, Tr30, Ante-Operam. Mappa dei tiranti.

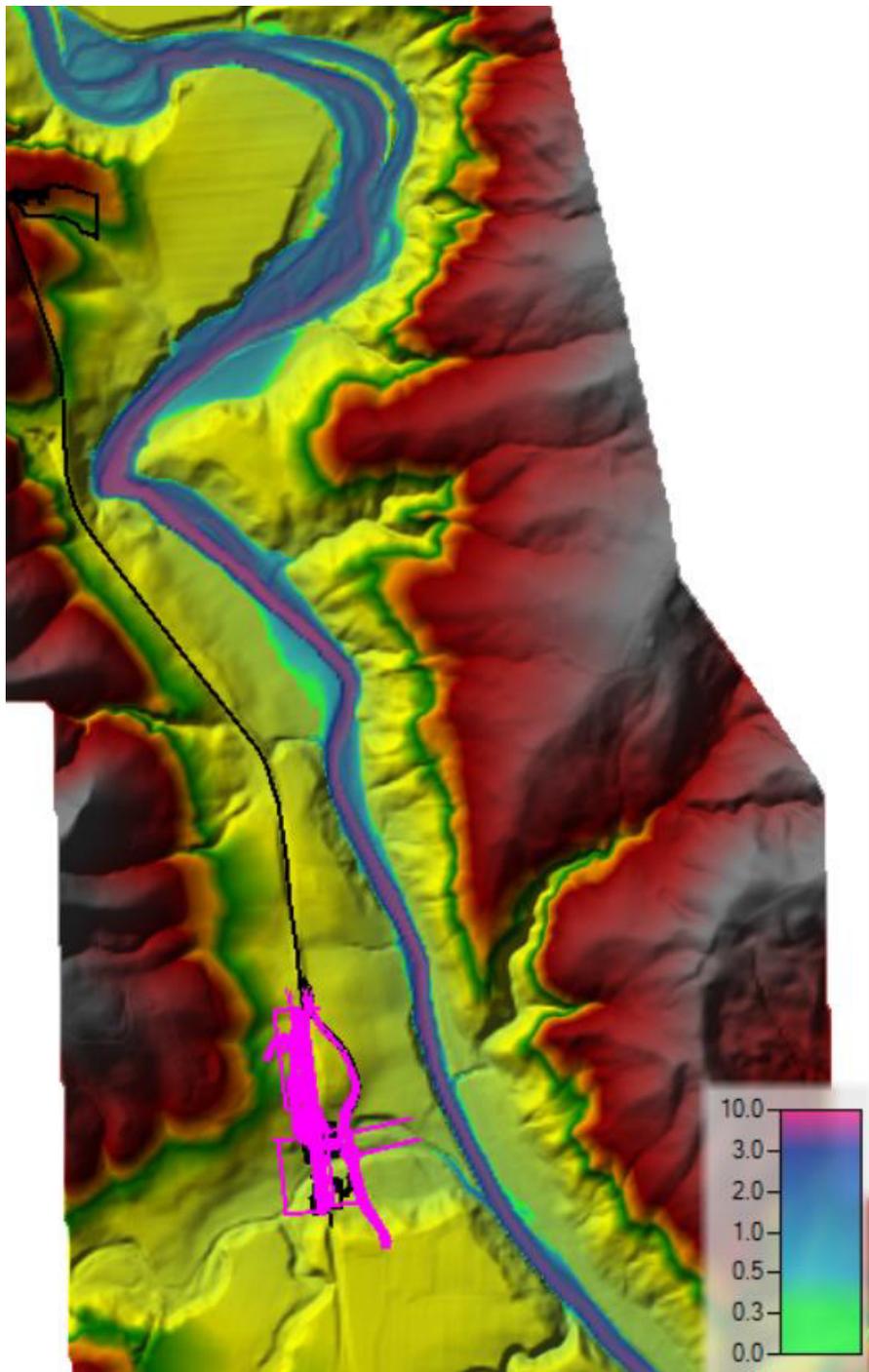


Figura 87 - Area 4 Pk 44+320 - 41+580, Tr30, Post-Operam. Mappa dei tiranti. Le aree di cantiere non sono interessate dalla piena con tempo di ritorno di 10 anni.

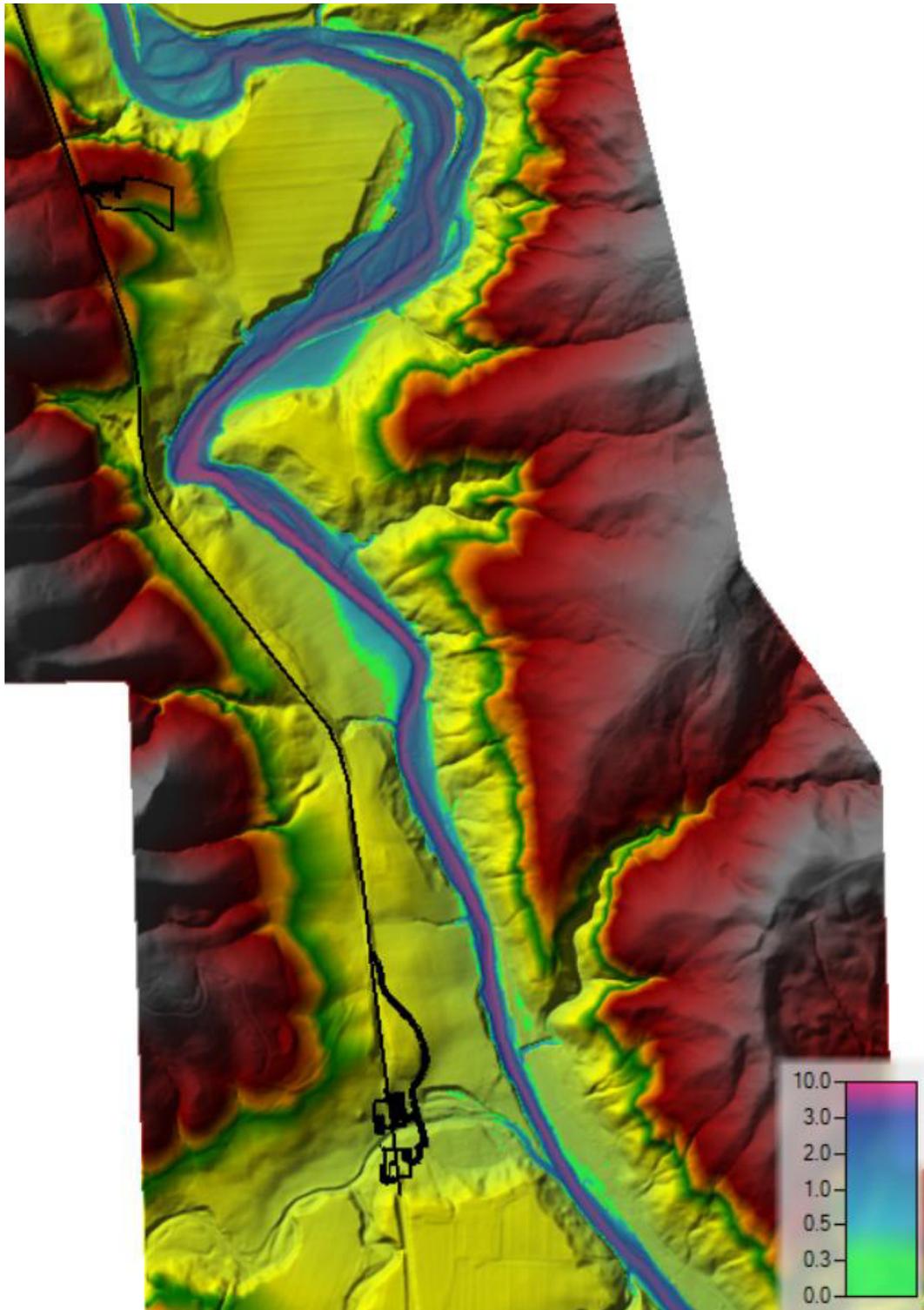


Figura 88 - Area 4 Pk 44+320 - 41+580, Tr10, Ante-Operam. Mappa dei tiranti. Le aree di cantiere non sono interessate dalla piena con tempo di ritorno di 10 anni.



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78
S.G.C. GROSSETO - FANO
Adeguamento a 4 corsie
nel tratto Grosseto – Siena (S.S. 223 “Di Paganico”)
dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

7.1.1 Particolari su opere interessate dall'esonazione

L'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni non interessa nessun intervento di progetto.

7.1.2 Differenze tra scenario Post-Operam e Ante-Operam

In questo capitolo vengono presentate le differenze in termini di tiranti, velocità e magnitudo tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam.

Globalmente, non sono presenti differenze significative né in termini di tiranti (Figura 89) né in termini di velocità (Figura 90). Di conseguenza non sono presenti significative differenze in termini di magnitudo (Figura 91).

RELAZIONE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

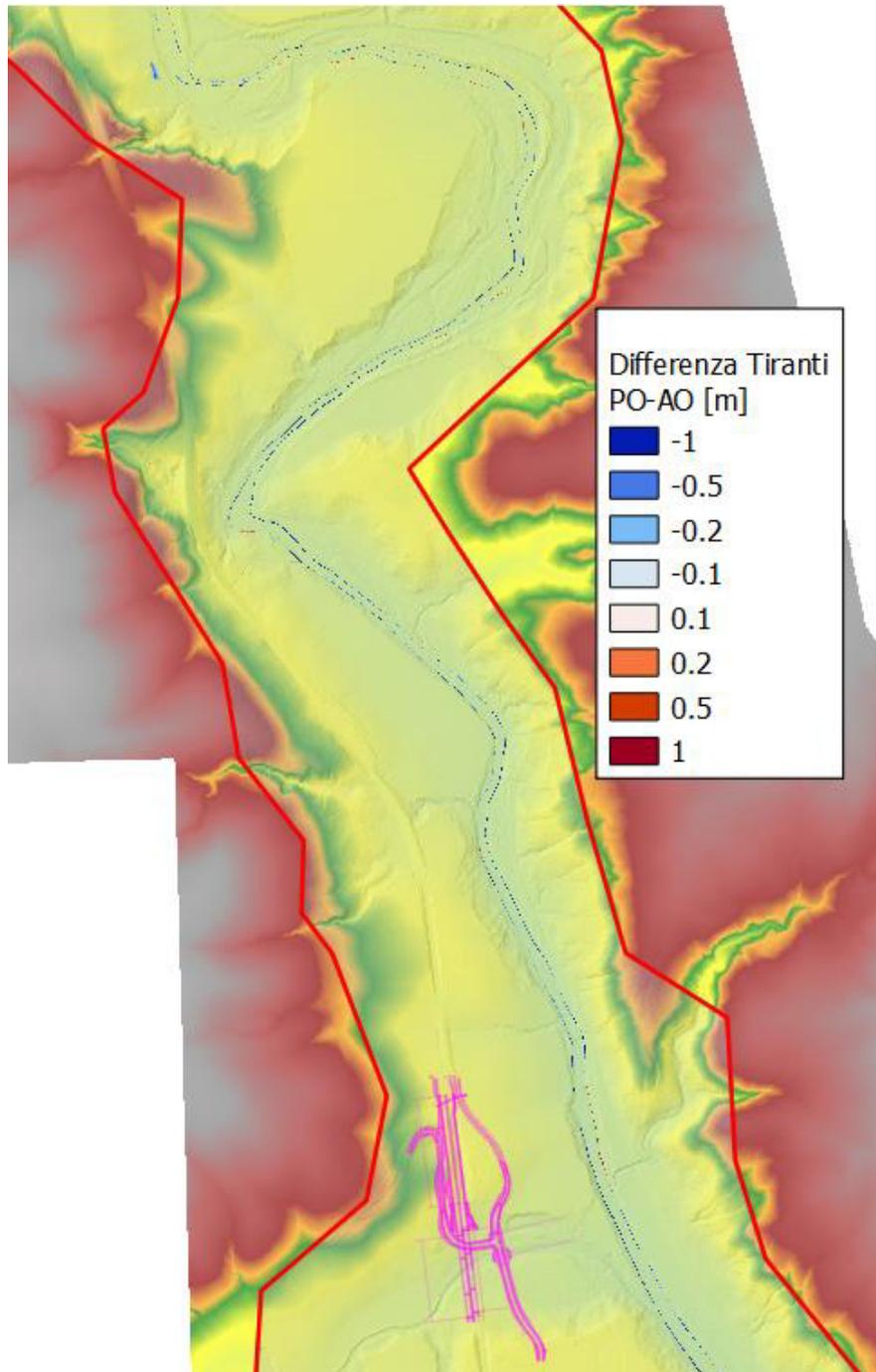


Figura 89 - Area 4 Pk 44+320 – 41+580, Tr200, Differenza di tiranti tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam. Globalmente non sono presenti grandi differenze in termini di tiranti tra condizioni Ante-Operam e Post-Operam. Le differenze positive e negative lungo le sponde dell'alveo sono dovute a piccole differenze tra la geometria del modello Ante-Operam e Post-Operam, da considerare come errori nella simulazione e trascurabili.

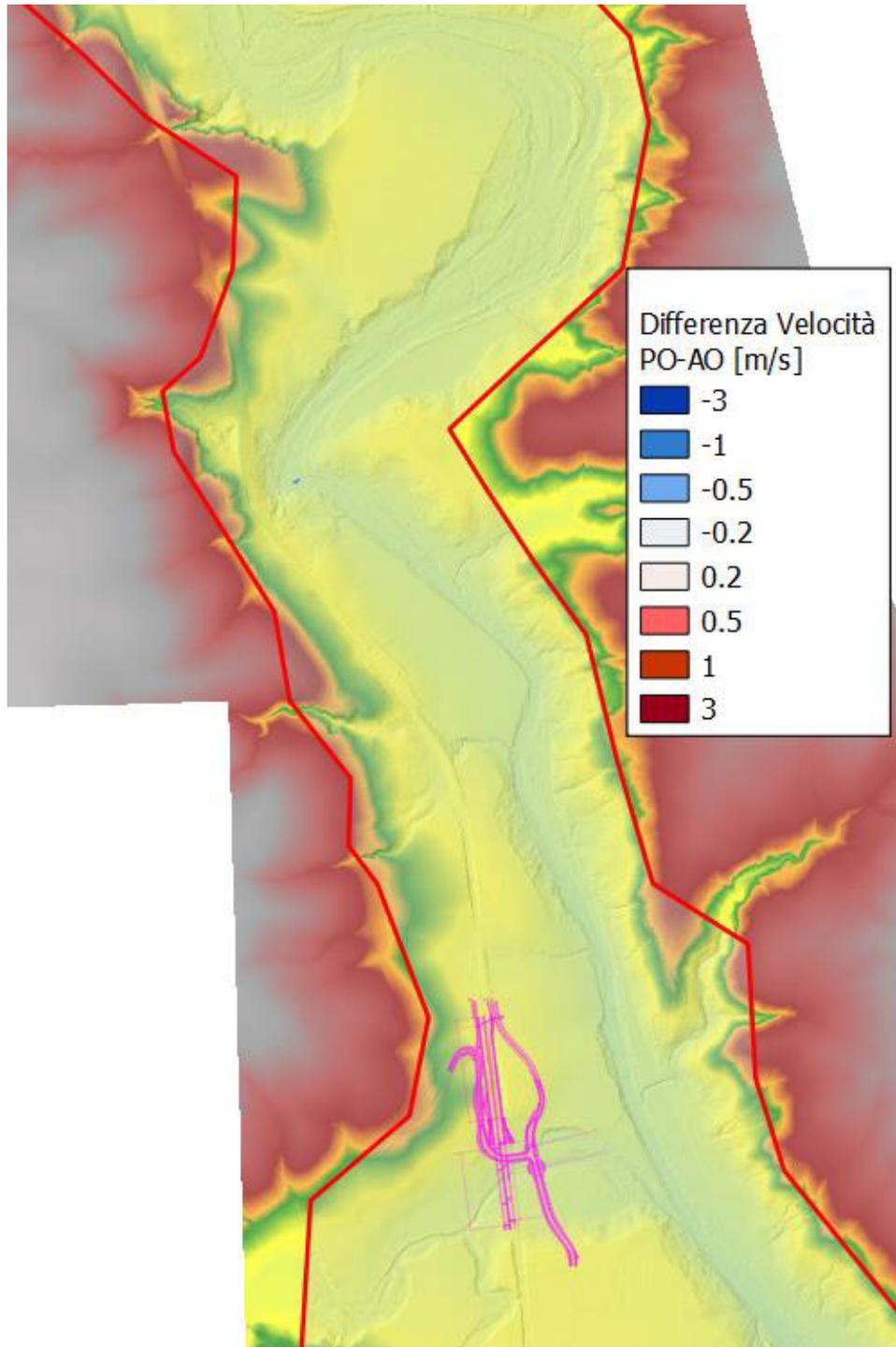


Figura 90 – Area 4 Pk 44+320 – 41+580, Tr200, Differenza di velocità tra scenario Post-Operam e Ante-Operam. Non sono presenti differenze in termini di velocità tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam.

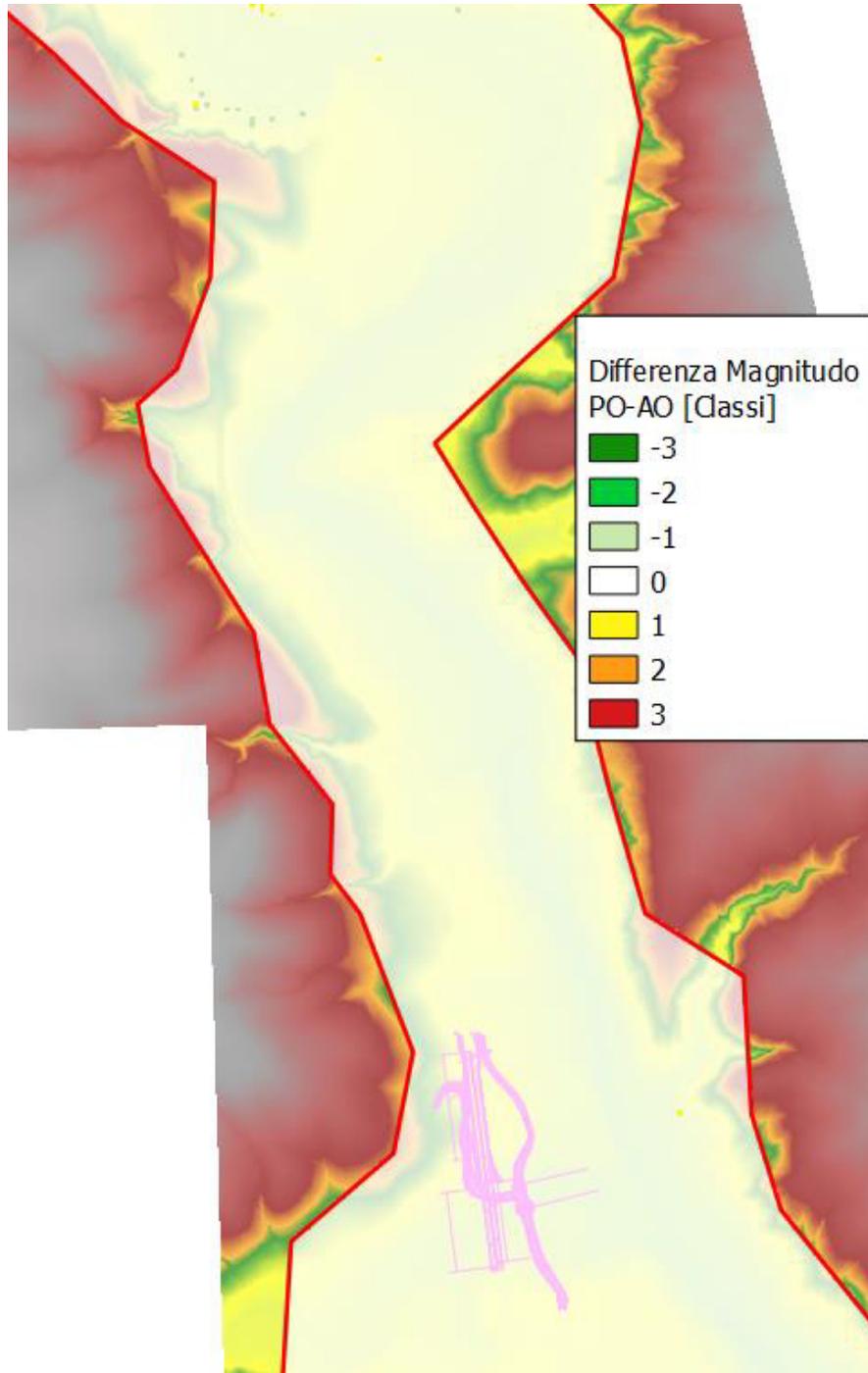


Figura 91 - Area 4 Pk 44+320 - 41+580, Tr200, Differenza di classi di magnitudo tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam. L'assenza di differenze tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam in termini di velocità e tiranti determina di conseguenza l'assenza di differenze in termini di magnitudo.

7.1.3 Considerazioni finali

L'area 4 Pk 44+320 – 41+580 non presenta criticità.

- Tutto il rilevato in progetto si trova al di fuori dell'area di inondazione per un tempo di ritorno 200 anni.
- L'area di cantiere non è interessata dalla piena con tempo di ritorno 10 anni.
- Non ci sono differenze in termini di tiranti, velocità e quindi di magnitudo tra condizioni Post-Operam e Ante-Operam.

8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Distretto dell'Appennino Settentrionale (2014), *Progetto Piano di Gestione Rischio Alluvioni – Unit of Management Ombrone*

GNDCI Linea 1. Rapporti di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia

Corine Land Cover 2012 IV Livello

Chow, Ven Te, "Open-Channel Hydraulics," 1959

Pestana R. et al. – “Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river” – 2013, https://ftp.space.dtu.dk/pub/loana/papers/s362_3pesta.pdf

Soil Conservation Service, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.

Rainfall Depth – Duration Relationship for South Italy, (1996) Vito Ferro and Vincenzo Bagarello, Journal of Hydrologic Engineering/October 1996.

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

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

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

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

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

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

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

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

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