



Autostrada Asti-Cuneo

TRONCO II A21 (ASTI EST) - A6 (MARENE)
LOTTO 6 RODDI-DIGA ENEL

STRALCIO a
TRA IL LOTTO II.7 E LA PK. 5+000

PROGETTO ESECUTIVO

02.04 - Idrologia ed idraulica

Relazione idrologica, geomorfologica e idraulica - Fiume Tanaro

IMPRESA 	PROGETTISTA 	INTEGRATORE ATTIVITA' SPECIALISTICHE Dott. Ing. Salvatore Sguazzo Albo degli Ingegneri provincia di Salerno n. 5031 	COMMITTENTE Autostrada Asti-Cuneo S.p.A. Direzione e Coordinamento: S.A.L.T. p.A. (Gruppo ASTM) Via XX Settembre, 98/E 00187 Roma
--	--	--	---

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.	RIESAME	DATA	SCALA
A	11-2023	EMISSIONE	Ing. Luchi	Ing. Dutto	Ing. Sguazzo	Ing. Sguazzo	NOVEMBRE 2023	-
							N. Progr.	
							02.04.01	

CODIFICA	PROGETTO	LIV	DOCUMENTO	REV	WBS
	P017	E	IDR RI 001	A	A33126A000
					CUP
					G31B20001080005

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO DELLA COMMITTENTE
-------------------------------	-------------------------

INDICE

1. PREMESSA	2
2. PIANIFICAZIONE IDRAULICA VIGENTE	2
3. ANALISI GEOMORFOLOGICA	4
4. INQUADRAMENTO IDROLOGICO - PORTATE DI RIFERIMENTO	9
5. VERIFICA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO	10
5.1. MESSA A PUNTO DEL MODELLO NUMERICO 2D	10
5.2. PARAMETRI IDRAULICI E CONDIZIONI AL CONTORNO	13
5.3. ANALISI DEI RISULTATI DEL MODELLO	14
6. ANALISI IDRAULICHE INTEGRATIVE.....	31
6.1. INCIDENZA DELLE OPERE SULLE MODALITÀ DI PROPAGAZIONE DELLA PIENA	31
6.2. ANALISI DI DAM BREAK DEL RILEVATO DELLA S.P.7	33

1. PREMESSA

La presente relazione descrive le analisi idrauliche e geomorfologiche di dettaglio svolte per il tratto di fiume Tanaro interessato dal progetto del Lotto II.6 a del collegamento stradale A6-A21 Asti-Cuneo.

Il tracciato dell'autostrada è localizzato in destra idraulica al fiume Tanaro e rientra in Fascia B del PAI, oltre che in un'area di pericolosità media ai sensi del PGRA.

Le analisi svolte sono finalizzate a determinare:

- la compatibilità idraulica dell'opera in progetto nell'area fluviale del fiume Tanaro, nei termini di non aggravio delle condizioni di rischio idraulico attuale al deflusso dell'evento di piena di riferimento (tempo di ritorno di 200 anni);
- le condizioni di sicurezza dell'autostrada in progetto in termini dei franchi idraulici della piena duecentennale rispetto alle sommità arginali e in termini delle condizioni di campo di moto (velocità massime) che si vengono a creare alla base del rilevato autostradale.

Le valutazioni idrauliche sono state supportate da analisi modellistiche con schema bidimensionale (utilizzando il codice di calcolo MIKE 21 del DHI) eseguite nelle situazioni attuale e di progetto, con scenari integrativi per analisi di condizioni di rischio residuale, oltre che da un'analisi geomorfologica del tratto fluviale.

La presente revisione include le analisi integrative richieste dalla *Commissione Tecnica di verifica dell'impatto ambientale* del MITE e dalla Conferenza dei Servizi regionale nell'ambito dell'iter istruttorio della procedura di VIA.

2. PIANIFICAZIONE IDRAULICA VIGENTE

Secondo quanto definito dal PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po, adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con Deliberazione n. 18 del 26 aprile 2001, approvato con DPCM del 24 maggio 2001, aggiornato secondo Decreto n° 72 del 10 giugno 2022 e Decreto n° 121 del 26/10/2022), l'opera in progetto ricade per un tratto di circa 1 km all'interno della Fascia Fluviale B (Figura 1), intersecandola nella sua porzione più esterna, a ridosso del versante.

Il vigente PGRA (Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni) definisce la mappatura delle aree potenzialmente allagabili rappresentandole nelle mappe di pericolosità e distinguendole nei seguenti scenari di pericolosità:

- aree P3 (H nella cartografia) ad alta pericolosità, o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (tempi di ritorno compresi tra 10 e 20 anni);
- aree P2 (M nella cartografia) a media pericolosità, o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (tempi di ritorno compresi tra 100 e 100 anni);
- aree P1 (L nella cartografia) a bassa pericolosità, o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (tempo di ritorno di riferimento di 500 anni).

L'opera in progetto risulta compresa nell'area di media pericolosità (P2, Figura 2), in coerenza con l'assegnazione dell'area a una Fascia B del PAI.

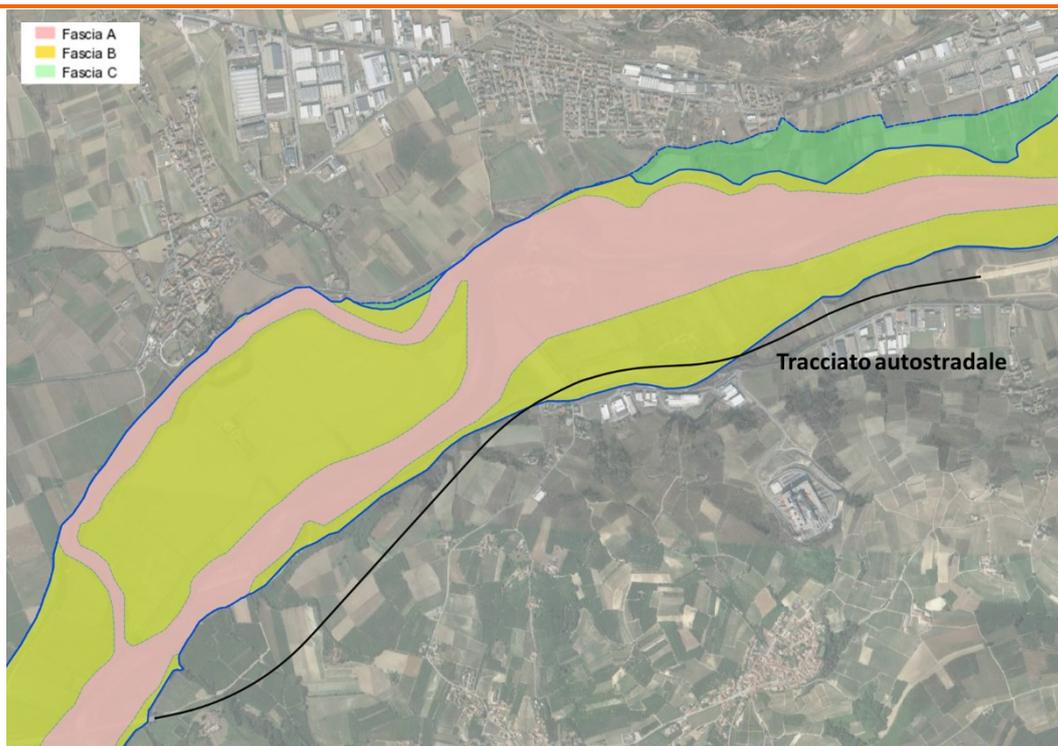


Figura 1 - Localizzazione dell'opera in progetto rispetto alle Fasce fluviali (PAI).

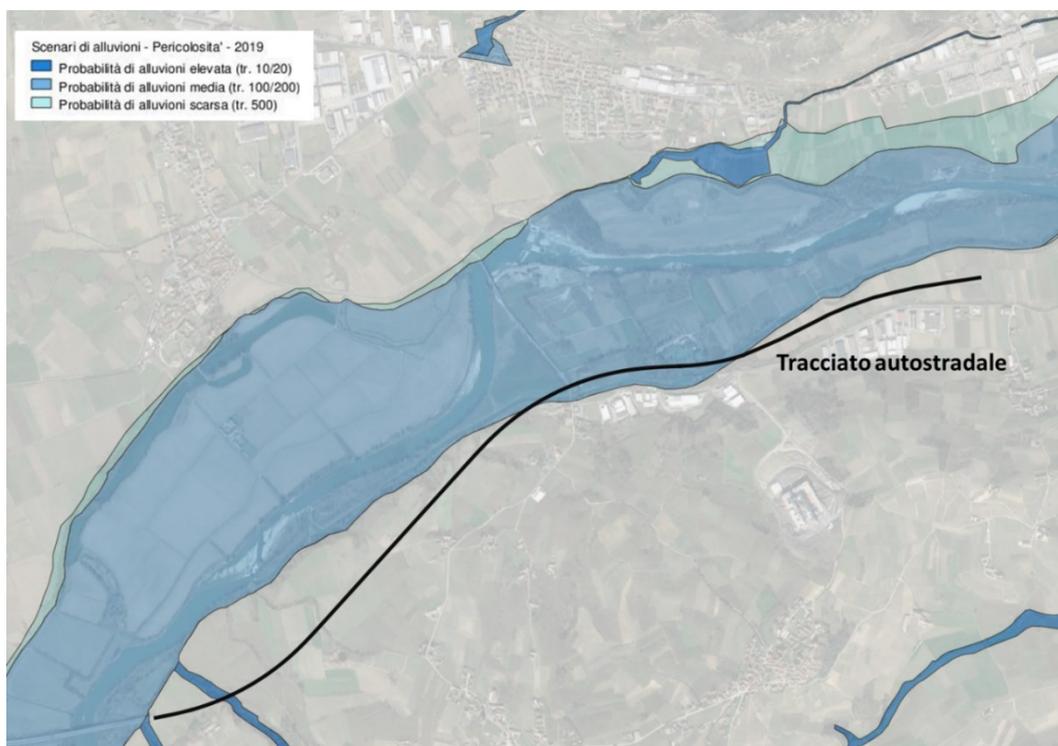


Figura 2 – Localizzazione dell'opera in progetto rispetto alle aree a pericolosità idraulica elevata (H), media (M) e bassa (L) del PGRA.

Per la valutazione della compatibilità idraulica delle nuove opere pertanto si è fatto riferimento alle disposizioni della "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle

infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B", fornendo nella presente relazione i contenuti richiesti da tale documento.

3. ANALISI GEOMORFOLOGICA

Al fine di valutare eventuali interferenze tra le opere in progetto e la dinamica del Fiume Tanaro, sono state eseguite le seguenti attività di studio e di rilievo, finalizzate a definire le tendenze evolutive dell'alveo pregresse e in atto:

- ricostruzione delle forme fluviali relitte, anche precedenti le modificazioni storicamente documentate da cartografia e fotointerpretazione di immagini aeree e satellitari;
- analisi dell'andamento d'alveo in riferimento agli ultimi 90 anni circa, sulla base degli elaborati cartografici storici disponibili e di scala/dettaglio adeguati per il confronto.

In particolare è stato fatto riferimento alle seguenti fonti:

- Base cartografica IGM 1:100.000, primi anni '30 circa
- Tavoleta IGM in scala 1:25000, aggiornamento anno 1967 (da Geoportale Nazionale – MATTM);
- Ortofoto in bianco e nero anno 1988 (da Geoportale Nazionale – MATTM);
- Ortofoto a colori anno 1996 (da Geoportale Nazionale – MATTM);
- Ortofoto digitali a colori anno 2000 (da Geoportale Nazionale – MATTM);
- Ortoimmagine satellitare Google 2021.

Tutte le immagini storiche sopra elencate sono disponibili in formato georeferenziato come link wms.

Oltre alle suddette elaborazioni, un ulteriore riferimento è costituito dalla mappatura delle osservazioni per l'evento di piena 1994, sulla base dei relativi tematismi ARPA Piemonte, disponibili anch'essi, in formato georeferenziato, come link wms per ambiente GIS.

In Figura 3, e nel dettaglio in Figura 5, sono riportati in sovrapposizione gli andamenti d'alveo da elaborati storici. Per le immagini aerofotogrammetriche il riferimento è l'alveo full-banks, ovvero alla sponda principale dell'alveo monocursale; per l'alveo 1967 e '30, da cartografia IGM, la delimitazione specifica dell'alveo a bordi pieni è risultata localmente meno precisa, per la non evidenza o effettiva rappresentazione cartografica della sponda principale.

Gli alvei storici sono riportati nelle figure su tema di base costituito dalla carta delle acclività (elaborazione da DTM 5x5 m), al fine di evidenziare in particolare il controllo morfologico del bordo collinare sull'andamento dell'alveo e le relative condizioni di stabilità.

In Figura 7 è inoltre riportata l'elaborazione relativa ai tematismi della piena 1994, in sovrapposizione alla ricostruzione storica degli alvei. Le successive Figura 8, Figura 9 riportano il dettaglio della medesima rappresentazione nei settori di interferenza delle opere in progetto con la fascia golenale inondata.

L'elaborazione è significativa, considerando che l'alveo da ricostruzione storica risulta pressochè coincidente con l'attuale, per la valutazione dell'eventuale riattivabilità delle forme relitte in golena, con riferimento alle evidenze morfologiche costituite dalle tracce di alluvionamento con transito di correnti veloci (frecce rosse).

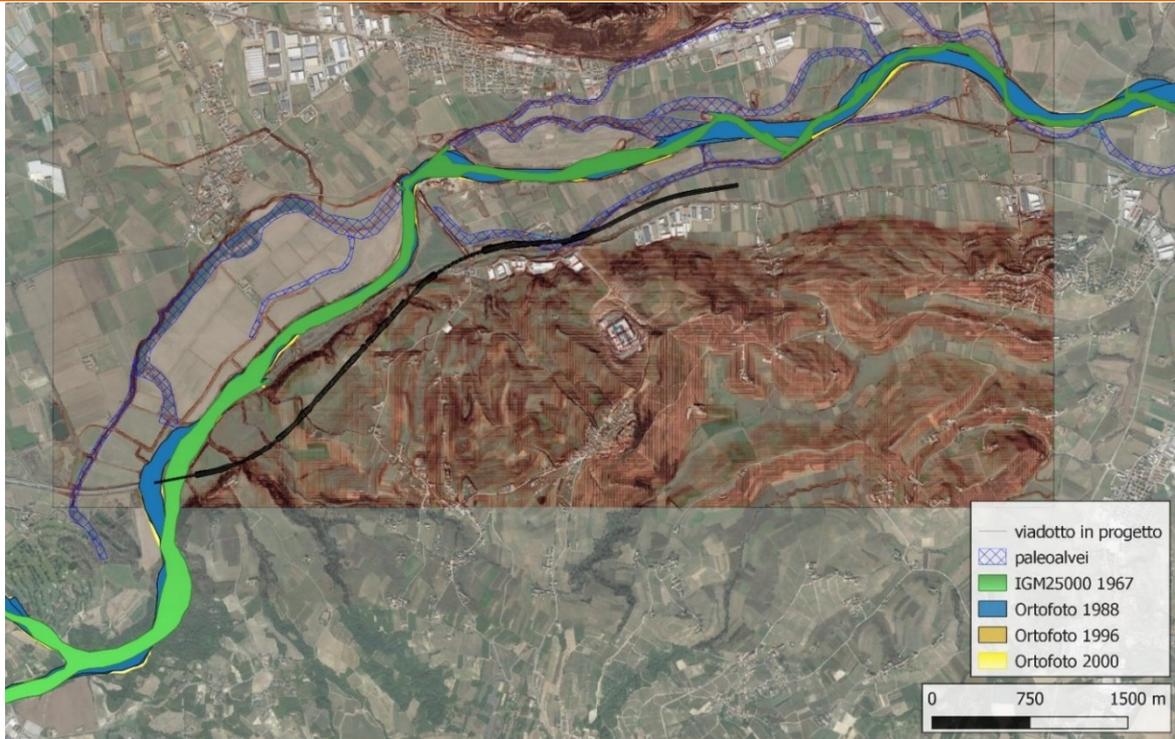


Figura 3 – Sovrapposizione alvei storici 1967, 1988, 1996, 2000, e forme d'alveo relitte, su base ortofotogrammetrica 2021

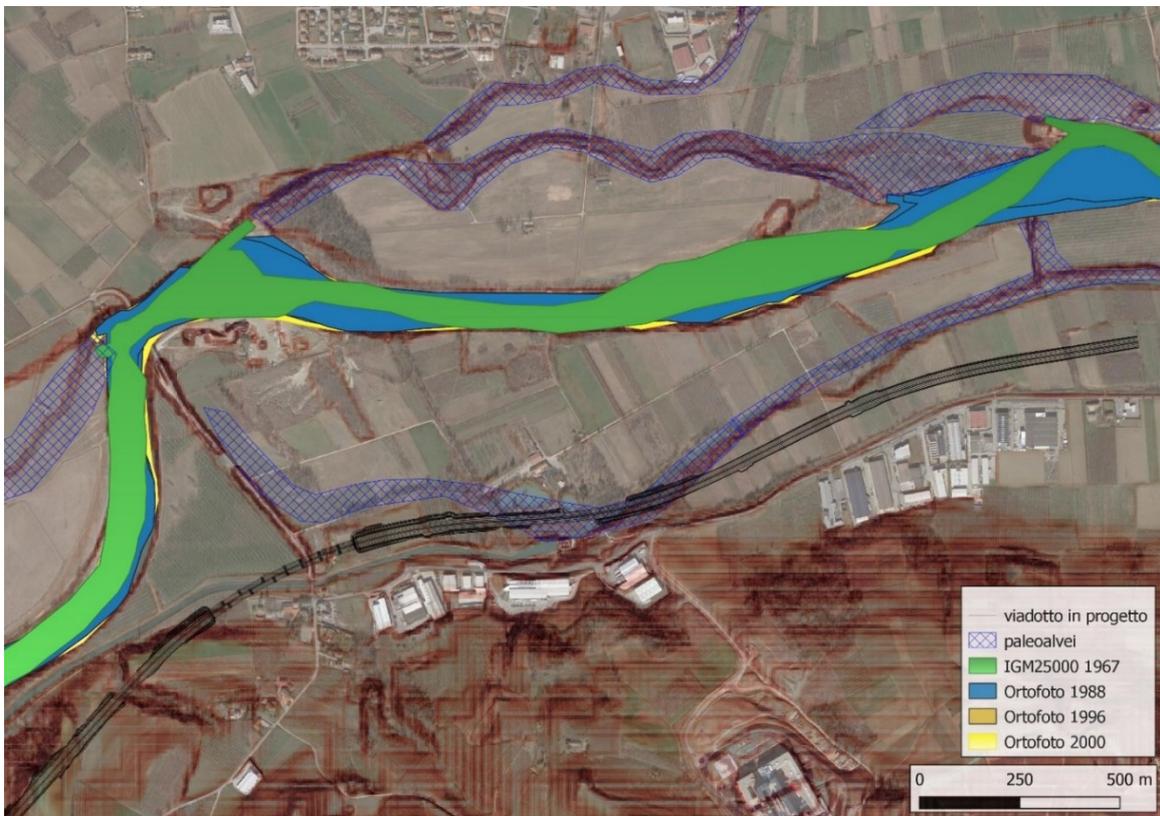


Figura 4 – Dettaglio relativo al tratto in studio; base: acclività da DTM 5x5 m

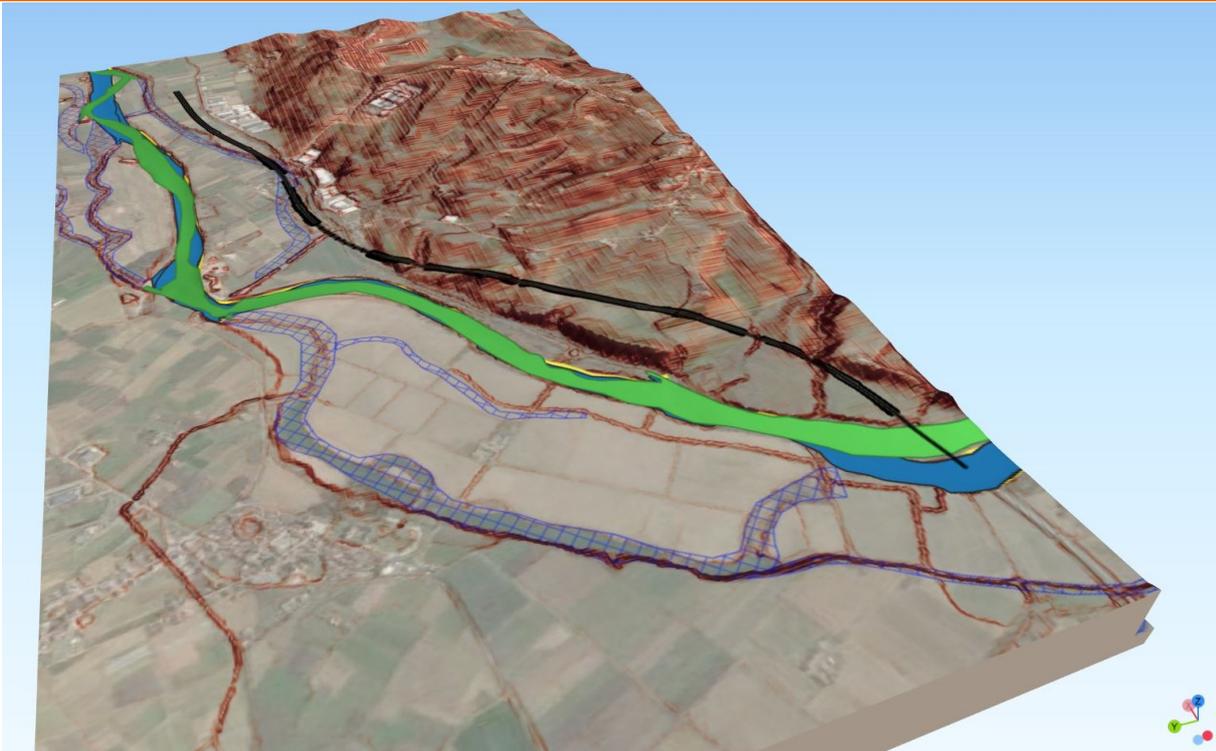


Figura 5 – Dettaglio relativo al tratto in studio (proiezione 3D); base: acclività da DTM 5x5 m

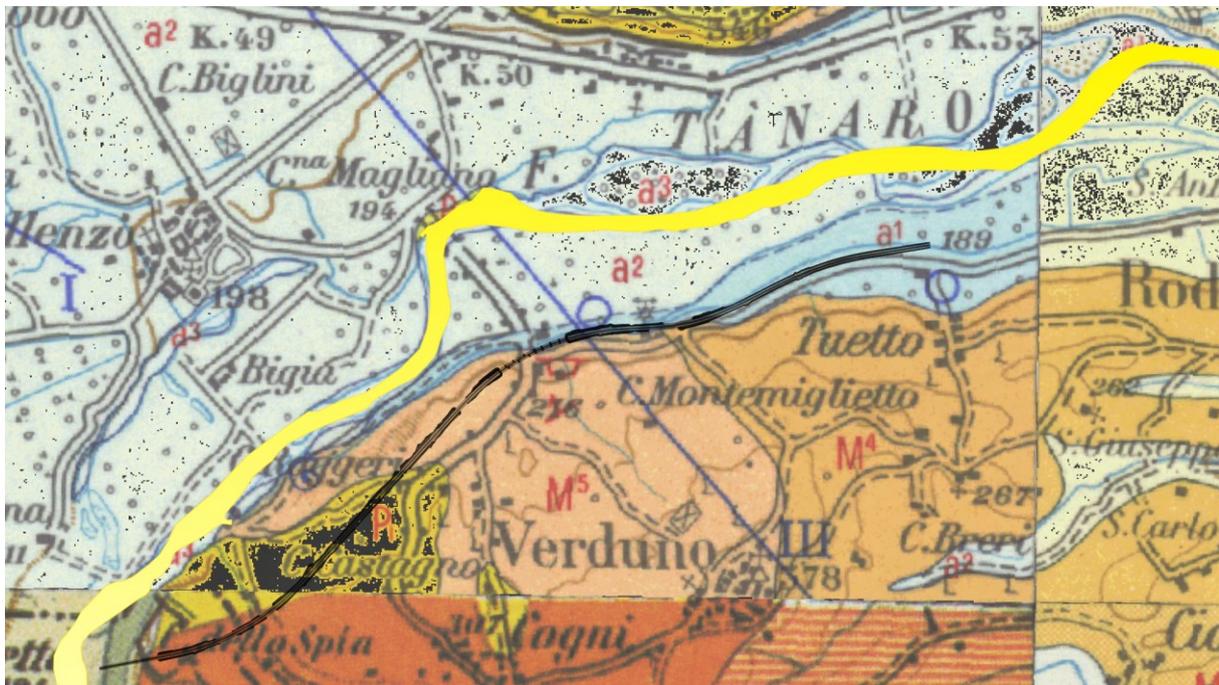


Figura 6 - Alveo attuale (2021) a confronto con cartografia geologica SGN 100.000 con base cartografica di inizio anni '30

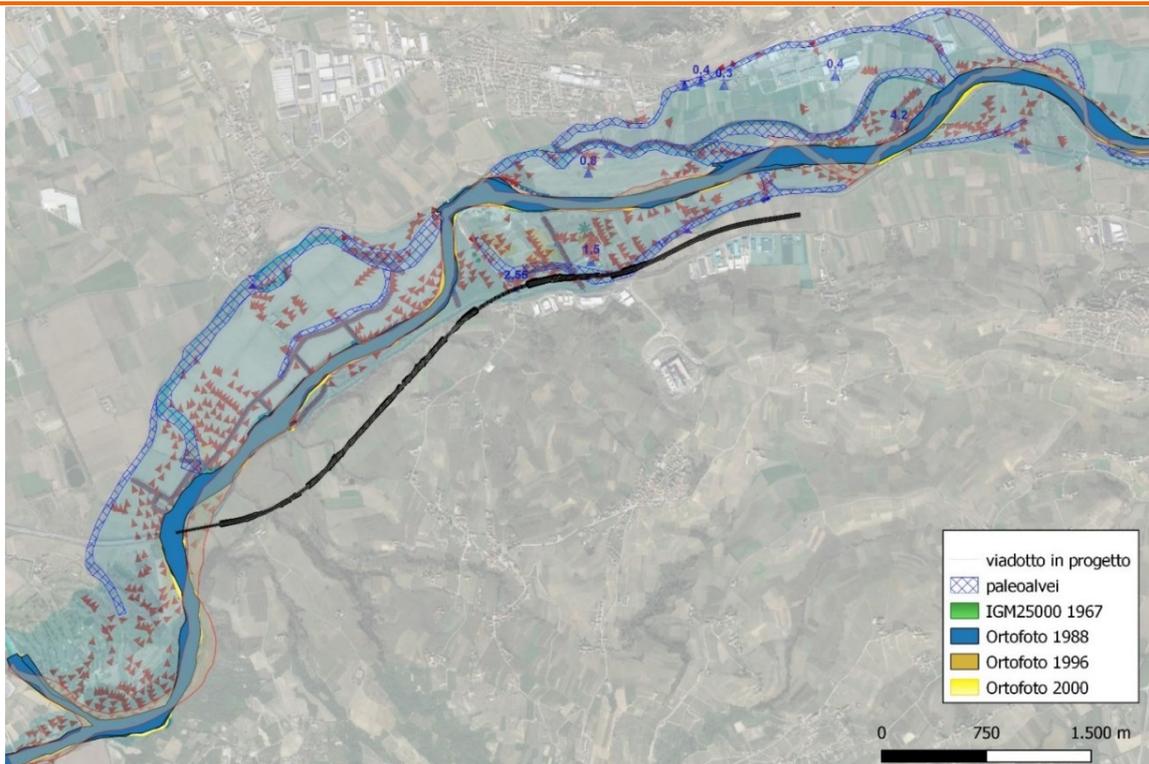


Figura 7 – Ricostruzione storica effetti piena 1994 sulla fascia fluvio-golenale. Sono riportati in sovrapposizione gli alvei storici 1967, 1988, 1996, 2000, e forme d'alveo relitte

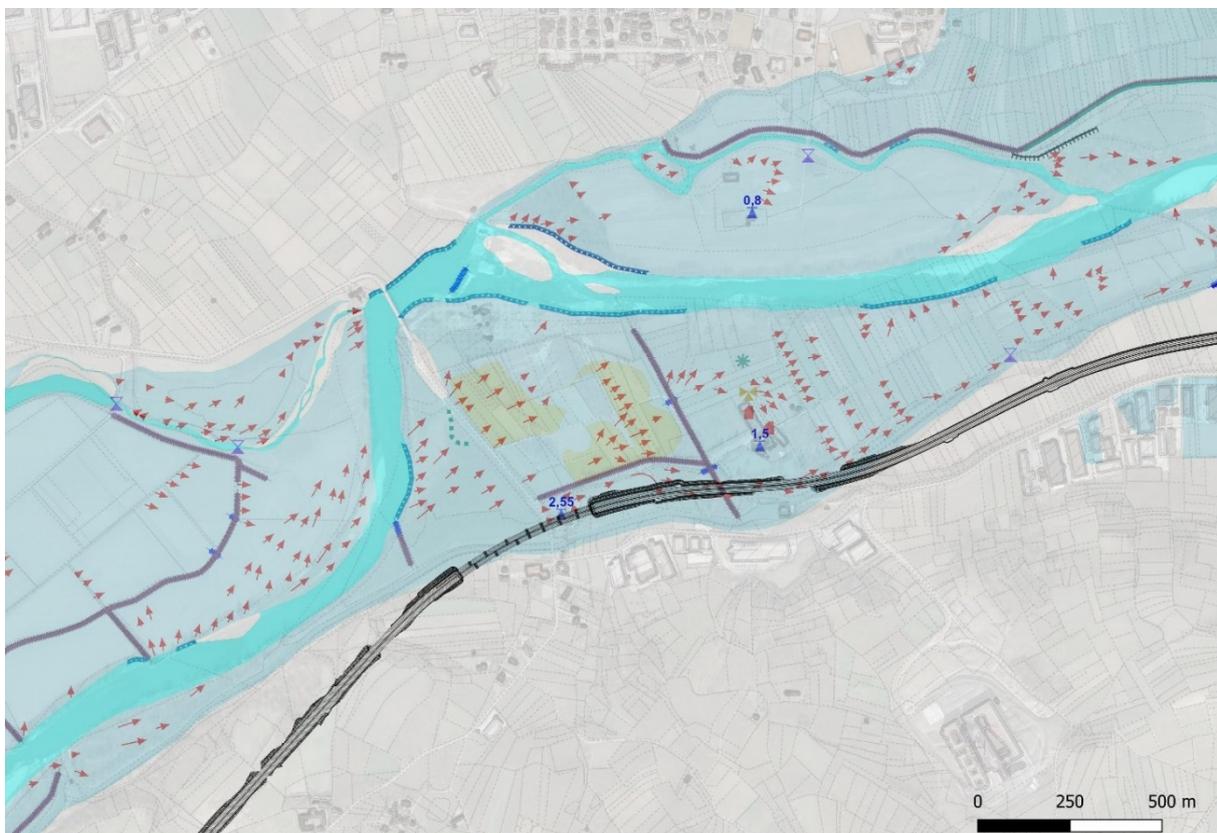


Figura 8 – Dettaglio interferenze delle opere in progetto con la fascia golenale inondata (1)

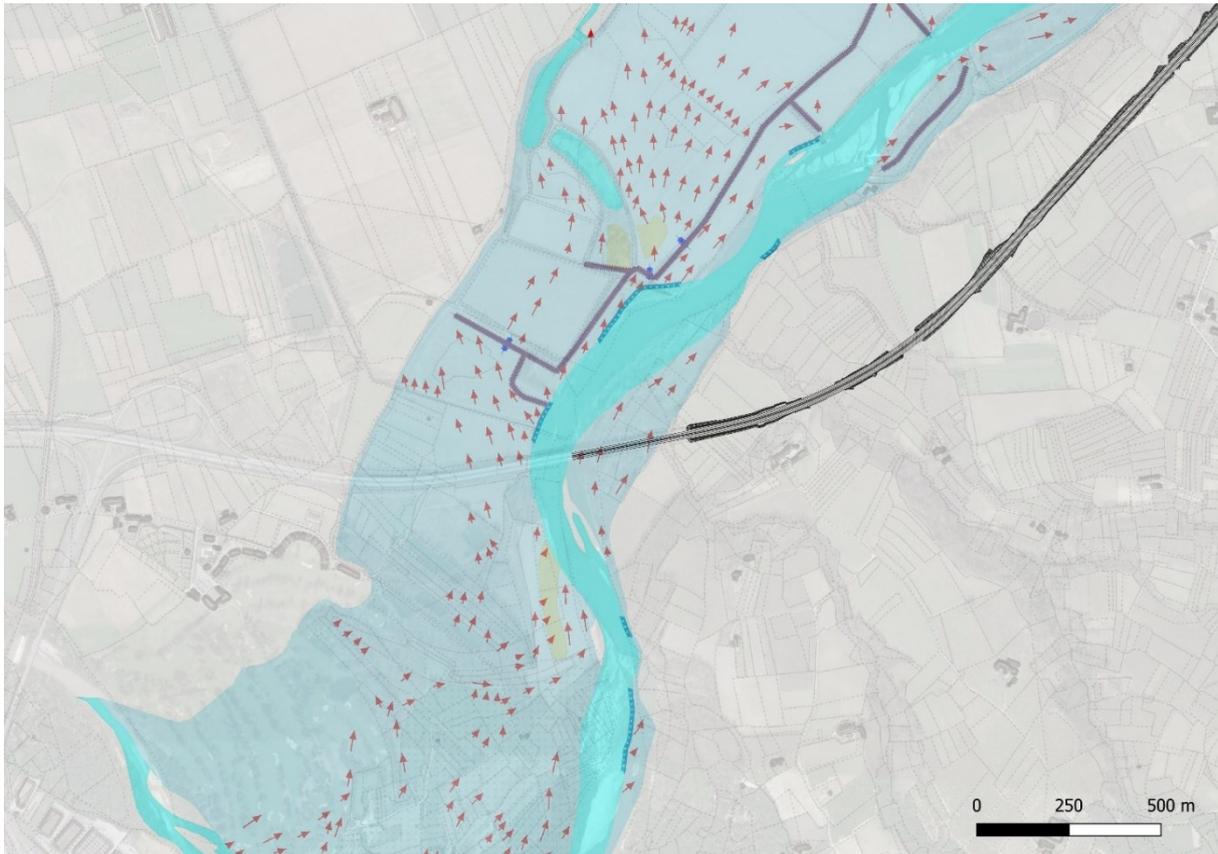


Figura 9 - Dettaglio interferenze delle opere in progetto con la fascia golenale inondata (2)

Dalle suddette elaborazioni (Figura 3÷Figura 9) si evidenzia quanto segue.

- L'andamento evolutivo dell'alveo del Tanaro è stato caratterizzato da una progressiva unicursalizzazione, verosimilmente con abbassamento del profilo di fondo, che ha avuto come conseguenza la disattivazione di rami del pregresso andamento pluricursale/ramificato, di cui sono ancora ben visibili tracce sulla superficie golenale, sia in sinistra che in destra idrografica. La trasformazione recente dell'alveotipo in monocursale è evidente anche dal confronto tra l'alveo attuale e quello dal rilievo primi anni '30, in cui sono ancora ben visibili rami secondari, barre longitudinali e isole (Figura 6).
- Successivamente alla trasformazione di alveotipo, l'alveo monocursale (nell'ultimo cinquantennio documentato dalla cartografia storica) non ha evidenziato alcuna significativa evoluzione nel tratto in fregio alle opere in progetto.
- A riguardo, l'unica modificazione di rilievo è osservabile a monte del tratto di progetto, in destra Tanaro, in corrispondenza del nuovo viadotto AT-CN di Cherasco, risultando peraltro esteso correttamente il tratto su pile, con rilevato verso valle totalmente esterno all'andamento del paleoalveo.
- Nel corso dell'evento di piena 1994, nell'ambito dell'area complessivamente allagata non si sono osservate tendenze alla riattivazione, ovvero significative concentrazioni delle linee di corrente veloce (freccie rosse in Figura 7÷Figura 9) in corrispondenza delle forme relitte; tale osservazione è indicativa del consolidamento della morfologia unicursale stabile riscontrata dall'analisi aerofotogrammetrica.

- Dal punto di vista altimetrico, il profilo di fondo risulta stabilizzato nel segmento superiore del tratto di interesse per la presenza della traversa a valle del ponte SP7; nel tratto inferiore, la trasformazione monocursale ha determinato la stabilizzazione del profilo di fondo a seguito del progresso abbassamento con reincisione delle barre longitudinali e laterali.

Pertanto, l'assetto monocursale e l'andamento d'alveo attuali appaiono stabili e consolidati, e non è attesa alcuna interferenza morfologica diretta con le opere in progetto, anche nello scenario conseguente a eventi di piena significativi.

4. INQUADRAMENTO IDROLOGICO - PORTATE DI RIFERIMENTO

Le verifiche idrauliche di progetto, oggetto del presente documento, sono state condotte per una portata con tempo di ritorno di 200 anni e considerando cautelativamente condizioni di moto stazionario, per definire la massima verosimile estensione delle aree allagabili.

Ulteriori analisi sono state poi condotte con scenari che considerano condizioni di moto vario per verifica della possibile incidenza sulle modalità di propagazione della piena, come illustrato nel capitolo 6.

Le portate idrologiche al colmo di piena per diversi tempi di ritorno del fiume Tanaro sono definite nel vigente Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po (PAI-PO). In data 3 agosto 2021 sono stati adottati, con Decreto del Segretario Generale, i Progetti di aggiornamento al PAI-PO, che apportano modifiche anche delle Mappe di Pericolosità e Rischio del Piano di Gestione del Rischio Alluvione del Distretto Idrografico del Fiume Po (PGRA). Il tratto di studio si inserisce nello specifico nell'adozione dell'aggiornamento relativo al tratto 'Fiume Tanaro da Ceva alla confluenza nel fiume Po' (Decreto n° 72 del 10 giugno 2022, Decreto n° 121 del 26 ottobre 2022).

In Tabella 1 viene riportata la tabella 4.26 di tale aggiornamento "Portate di piena per i corsi d'acqua principali del bacino del Tanaro (Tanaro, Stura di Demonte, Belbo, Bormida, Orba, Stura di Ovada)" dell'Allegato "PROFILI DI PIENA" del PGRA che contiene le portate di piena per i tempi di ritorno di 20, 200 e 500 anni per le sezioni idrologiche significative lungo l'asta del fiume Tanaro.

I valori di portata di riferimento per il tratto in cui insistono le opere in progetto sono quelli relativi alla sezione idrologica di Alba. Per il tempo di ritorno duecentennale la portata al colmo indicata dal documento citato è pari a 3050 m³/s.

Tuttavia, tutti i più recenti studi idrodinamici svolti nel tratto hanno fatto riferimento ad un valore al colmo maggiore, in quanto quello riportato in tabella deriva da una pregressa valutazione che considerava la presenza a monte di Alba di opere di laminazione ad oggi non realizzate. In particolare il valore cui si fa riferimento per TR=200 anni è pari a **3.700 m³/s**, che corrisponde sostanzialmente al valore ricostruito per l'evento di piena massimo storico del 1994.

Tab. 4.26 - parte: portate di piena per il fiume Tanaro (aggiornata, condizioni di stato attuale)

Bacino	Corso d'acqua	Progr. (km)	Sezione		Superficie km ²	Q20 m ³ /s	Q200 m ³ /s	Q500 m ³ /s	Idrometro
			Cod	Denomin.					
Tanaro	Tanaro	61.078	123	Ceva	470	670	1150	1340	
Tanaro	Tanaro	105.503	92	Farigliano	1522	1550	2300	2600	Tanaro a Farigliano
Tanaro	Tanaro	144.620	66	Alba	3374	2050	3050	3400	Tanaro ad Alba
Tanaro	Tanaro	177.563	45	Asti	4241	2650	3606	3900	Tanaro ad Asti
Tanaro	Tanaro	226.908	17	Alessandria (Cittadella)	5258	2850	3869	4200	Tanaro ad Alessandria
Tanaro	Tanaro	236.891	11	Montecastello	7985	3250	5400		

Tabella 1 - Sezioni idrologiche del Piano di Bacino e corrispondenti valori di portata di piena di riferimento per lo stato attuale.

Anche per le finalità del presente studio, in coerenza con quelli pregressi, si è pertanto adottato questo maggiore valore al colmo di riferimento per TR=200 anni.

5. VERIFICA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

L'analisi idraulica alla base delle verifiche oggetto del presente documento è stata condotta mediante allestimento di un modello idrodinamico di elevato dettaglio, con schema bidimensionale, utilizzando il software MIKE21 del DHI.

Obiettivo dell'analisi è valutare l'eventuale interferenza dell'opera in progetto con la piena di riferimento (TR=200 anni), in termini sia di effetti che la presenza dell'opera può produrre sulle modalità di propagazione della piena, sia di effetti che la propagazione della piena può produrre sull'opera stessa.

Le simulazioni sono state eseguite per lo Stato Attuale e lo Stato di Progetto, in modo da esplicitare per confronto le eventuali variazioni dovute alla presenza delle opere.

Il calcolo è stato effettuato a fondo fisso e assumendo cautelativamente condizioni di moto stazionario. Ulteriori analisi integrative sono state svolte, a seguito di specifiche richieste di approfondimento da parte della commissione VIA, considerando schemi di moto vario e fenomeni transitori quali il parziale collasso di un rilevato stradale. Tali analisi sono descritte nel capitolo 6.

5.1. MESSA A PUNTO DEL MODELLO NUMERICO 2D

Il modello geometrico di calcolo (batimetria del modello idrodinamico) è stato costruito a partire dal DTM (modello digitale del terreno) a maglia di dimensioni 0,9x0,9 m derivante dal rilievo LiDAR predisposto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), restituito in coordinate geografiche proiettate nel sistema di riferimento UTM 32 WGS84, e agganciato in quota alla rete di caposalda IGM.

Nelle aree di interesse non coperte dal rilievo LiDAR e che rappresentano tratti marginali del dominio considerato si è utilizzato il DTM a copertura regionale con risoluzione della griglia 5x5 m.

La geometria della zona descritta dal DTM è stata integrata per mezzo delle informazioni altimetriche desunte dal rilievo topografico eseguito nell'ambito della predisposizione del presente progetto.

Sulla base di tale DTM si è quindi costruita la batimetria di un modello idraulico bidimensionale a fondo fisso, utilizzando il codice di calcolo MIKE 21 del DHI, che risolve le equazioni del moto di De Saint Venant su griglia 2D.

La definizione della dimensione del passo della griglia geometrica del modello del terreno influenza direttamente i tempi di calcolo e l'accuratezza spaziale della soluzione. Infatti all'aumentare del passo della griglia diminuiscono i tempi di calcolo, ma diminuisce nel contempo l'accuratezza spaziale della soluzione.

Nel caso in esame la scelta è stata dettata prevalentemente dall'esigenza di descrivere correttamente i flussi di esondazione e poter rappresentare le strutture interferenti. Si è deciso pertanto di adottare una griglia di calcolo di risoluzione pari a 5x5 m.

La griglia di calcolo del modello a maglia 5x5 m presenta complessivamente 1.533 righe x 779 colonne (1.194.207 punti di calcolo).

Nella Figura 10 è rappresentata la batimetria (o geometria di input) complessiva del modello relativa alla situazione attuale (Stato Attuale). In bianco sono rappresentate le zone escluse dal calcolo (celle inattive) perché considerate non allagabili. In verde scuro sono evidenziate le aree più depresse (alveo del Tanaro).

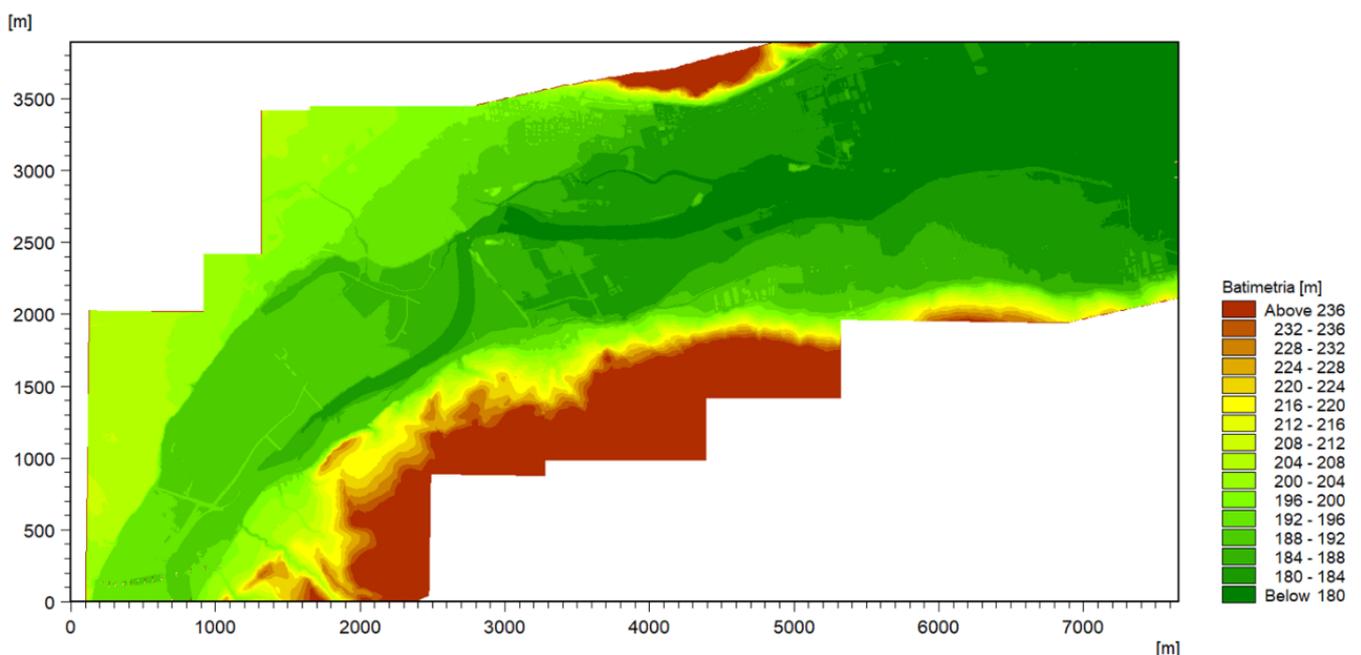


Figura 10 – Corografia del tratto fluviale in esame con rappresentazione della batimetria di rilievo del modello numerico 2D, Stato Attuale.

Per quanto attiene le porzioni d'alveo inciso sommerse al momento del rilievo, si è deciso cautelativamente di non ricostruire l'alveo sulla base di rilievi pregressi. Si sono quindi utilizzate in alveo le quote altimetriche restituite dal LiDAR e il modello numerico così costruito è stato sottoposto ad una procedura di taratura.

Nello specifico, in fase di taratura si sono considerati i valori di livello della superficie libera riprodotti per l'evento di piena duecentennale nell'ambito delle analisi idrauliche di supporto alla precedente progettazione esecutiva del collegamento autostradale Asti-Cuneo, tratto di adeguamento tangenziale di Alba, lotto 2.6. In tale studio l'analisi dell'asta del Tanaro era stata svolta implementando il modello numerico MIKE11 del DHI in assetto quasi-bidimensionale. Il tratto fluviale era esteso a monte fino a ricomprendere il lotto 2.6 e verso valle fino a Masio e la geometria dell'alveo era stata ricostruita con sezioni trasversali di rilievo eseguite nell'anno 2000 nell'ambito della stesura del progetto generale. Tale modello numerico era stato sottoposto ad una procedura di taratura riferita ai livelli idrici registrati nell'evento del novembre 1994, relativamente alla geometria di stato attuale (assenza delle opere in progetto).

Solo a monte della traversa di Santa Vittoria d'Alba, al fine di riprodurre correttamente i livelli della superficie libera, in fase di taratura la quota del fondo è stata abbassata di 2 m e raccordata linearmente a monte con le quote del DTM. Da notare come la traversa in oggetto sia stata ricostruita successivamente all'evento del 1994, e si sia quindi assunto implicitamente, in fase di taratura del modello, che essa non peggiori le condizioni di rischio in termini di livelli idrici registrati durante le fasi di piena. Rispetto al DTM di rilievo LiDAR, sono quindi state opportunamente modificate in alveo le quote relative alla traversa della centrale idroelettrica di Verduno e quella della centrale di Santa Vittoria d'Alba.

Nel modello sono stati inoltre rappresentati con celle di non flusso gli ingombri delle pile del ponte di Pollenzo e dell'attraversamento già realizzato del collegamento autostradale Asti-Cuneo che attraversa il fiume Tanaro all'estremità di monte del lotto in esame.

Infine, è stato verificato che le quote del modello riproducessero correttamente e con continuità gli elementi di discontinuità altimetrica (terrazzi, rilevati di infrastrutture/viabilità). Modifiche locali alle quote del DTM (+3m) sono stati inserite in corrispondenza degli edifici.

Rispetto al DTM di rilievo, è stata infine opportunamente modificata la zona di imbocco del modello in corrispondenza dell'alveo del fiume Tanaro per facilitare l'assegnazione della condizione al contorno di portata in ingresso al modello stesso. Modifiche locali alle quote del DTM sono state inoltre apportate in uscita per favorire l'assegnazione della condizione al contorno di valle.

Nella Figura 11 è rappresentata la batimetria complessiva del modello relativa allo Stato di Progetto. Tale batimetria è stata ottenuta sovrapponendo al modello del terreno di stato attuale quello contenente il progetto dell'opera autostradale in termini di sagoma dei rilevati e geometria degli attraversamenti (ponti e viadotti). Si è considerata nella geometria anche la deviazione del breve tratto del canale di Verduno che va ad interferire con l'autostrada in progetto.

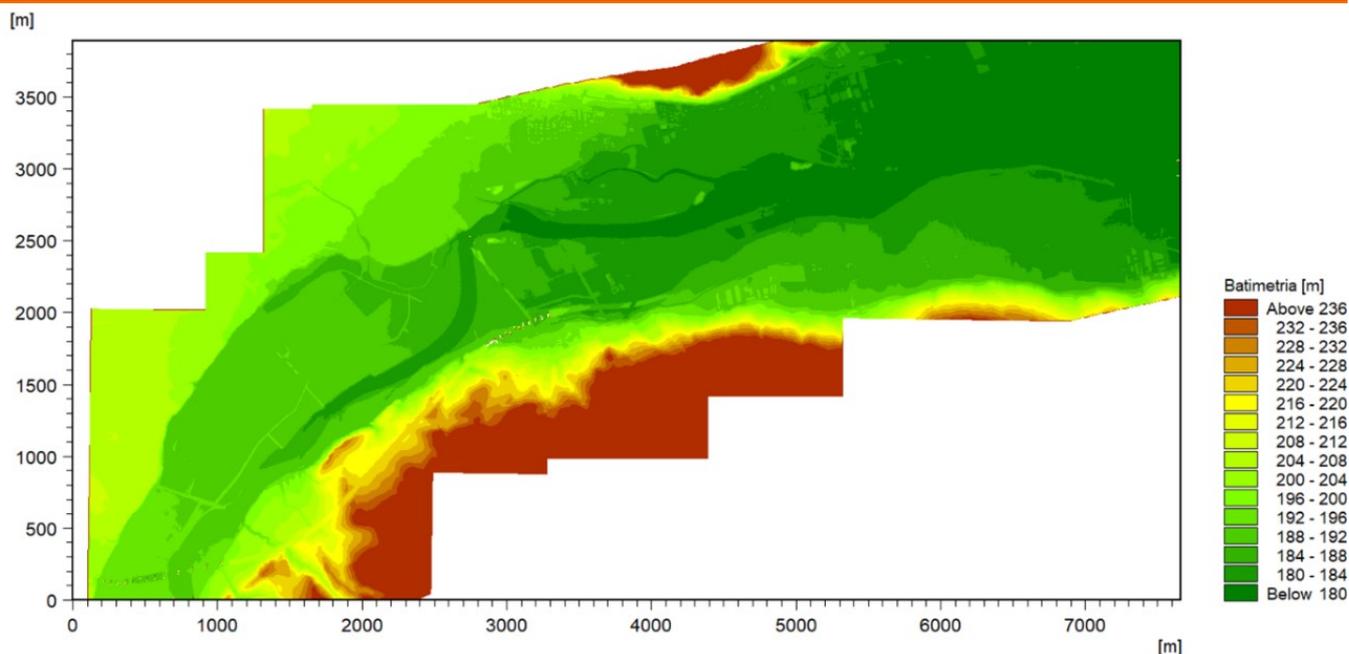


Figura 11 – Corografia del tratto fluviale in esame con rappresentazione della batimetria di rilievo del modello numerico 2D, Stato di Progetto.

5.2. PARAMETRI IDRAULICI E CONDIZIONI AL CONTERNO

Al modello, per le simulazioni di verifica idraulica di progetto, è stata assegnata come condizione al contorno di monte la portata al colmo costante nel tempo pari a $3700 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\text{TR}=200$ anni, cfr. capitolo 4). Differenti condizioni (di moto vario) sono state assegnate per le analisi integrative di cui al capitolo 6, come descritto in tale capitolo.

Come condizione al contorno di valle si è assunto un valore di livello idrico costante nel tempo pari a $174,81 \text{ m s.m.}$ Tale valore è stato desunto dai risultati del modello idrodinamico monodimensionale sviluppato per le valutazioni idrauliche preliminari del progetto del tratto di completamento del Lotto II.6 e relativo al tratto di corso d'acqua compreso tra il ponte A33 esistente in località Massimini e il ponte stradale nell'abitato di Alba.

Le condizioni al contorno risultano in ogni caso applicate in punti sufficientemente lontani dalle aree di interesse e con i dovuti accorgimenti da poter ritenere del tutto trascurabili eventuali errori commessi nell'introduzione delle condizioni al contorno stesse.

Il modello di simulazione, oltre alla riproduzione corretta della geometria del terreno e alle condizioni al contorno, ha bisogno di un'altra serie di parametri che sono: passo di tempo di integrazione del sistema, coefficiente di viscosità turbolenta ("eddy viscosity") e coefficienti di scabrezza.

Come passo di tempo di integrazione è stato necessario utilizzare, per ragioni di stabilità numerica legate al numero di Courant della corrente, un valore pari a $0,7$ secondi.

La viscosità turbolenta è legata alla non uniforme distribuzione del campo delle velocità e viene simulata nel modello tramite il coefficiente di eddy viscosity. Nel caso in esame al coefficiente di eddy viscosity è stato assegnato un valore costante pari a $1,0 \text{ m}^2/\text{s}$ sull'intera estensione del modello.

La scabrezza rappresenta, all'interno delle equazioni del moto, il parametro che regola le perdite di energia distribuite, in primo luogo quelle per attrito sul fondo di scorrimento e sulle sponde dell'alveo attivo e sulle golene e aree di allagamento. Tale parametro è difficilmente valutabile con precisione ed è abitualmente utilizzato per tarare il modello.

Il modello numerico così costruito è stato in particolare sottoposto ad una procedura di taratura riferita ai livelli idrici riportati nelle analisi idrauliche di supporto alla precedente progettazione esecutiva del collegamento autostradale Asti-Cuneo già citata. Le verifiche svolte sui livelli hanno messo in evidenza come, per raggiungere le quote idriche indicate, sia necessario assegnare alle zone golenali attive del Tanaro parametri di scabrezza di Strickler pari a $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, mentre per l'alveo inciso pari a $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Tali valori, soprattutto quello relativo all'alveo inciso, risultano piuttosto cautelativi rispetto a quelli tipici di letteratura tecnica.

5.3. ANALISI DEI RISULTATI DEL MODELLO

Nelle figure che seguono si forniscono le rappresentazioni dei risultati del modello bidimensionale ottenuti dalle simulazioni condotte per lo Stato Attuale e lo Stato di Progetto.

Le mappe in Figura 12, Figura 13 e Figura 14 descrivono rispettivamente la distribuzione delle altezze d'acqua rispetto al fondo alveo e al piano golenale, della superficie libera e delle velocità osservati nell'area in esame nella condizione a regime di moto permanente nello Stato Attuale.

Le mappe in Figura 15, Figura 16 e Figura 17 descrivono invece le medesime restituzioni (rispettivamente la distribuzione delle altezze d'acqua rispetto al fondo alveo e al piano golenale, della superficie libera e delle velocità) per la condizione a regime di moto permanente nello Stato di Progetto.

Nella Figura 12 e in Figura 15, relative rispettivamente allo Stato Attuale e allo Stato di Progetto, le aree di esondazione ottenute dalla simulazione in moto stazionario per la massima portata di piena duecentennale sono messe a confronto con le Fasce fluviali del PAI.

Da notare come le aree di esondazione ottenute nel presente studio per l'evento TR=200 anni siano piuttosto coerenti con l'andamento della Fascia Fluviale B del PAI. Solo nell'area più a Nord, in corrispondenza delle frazioni a Est di Santa Vittoria d'Alba, le aree di esondazione si estendono oltre tale limite, raggiungendo e addirittura superando il perimetro della Fascia Fluviale C e dell'equivalente fascia di pericolosità bassa del PGRA.

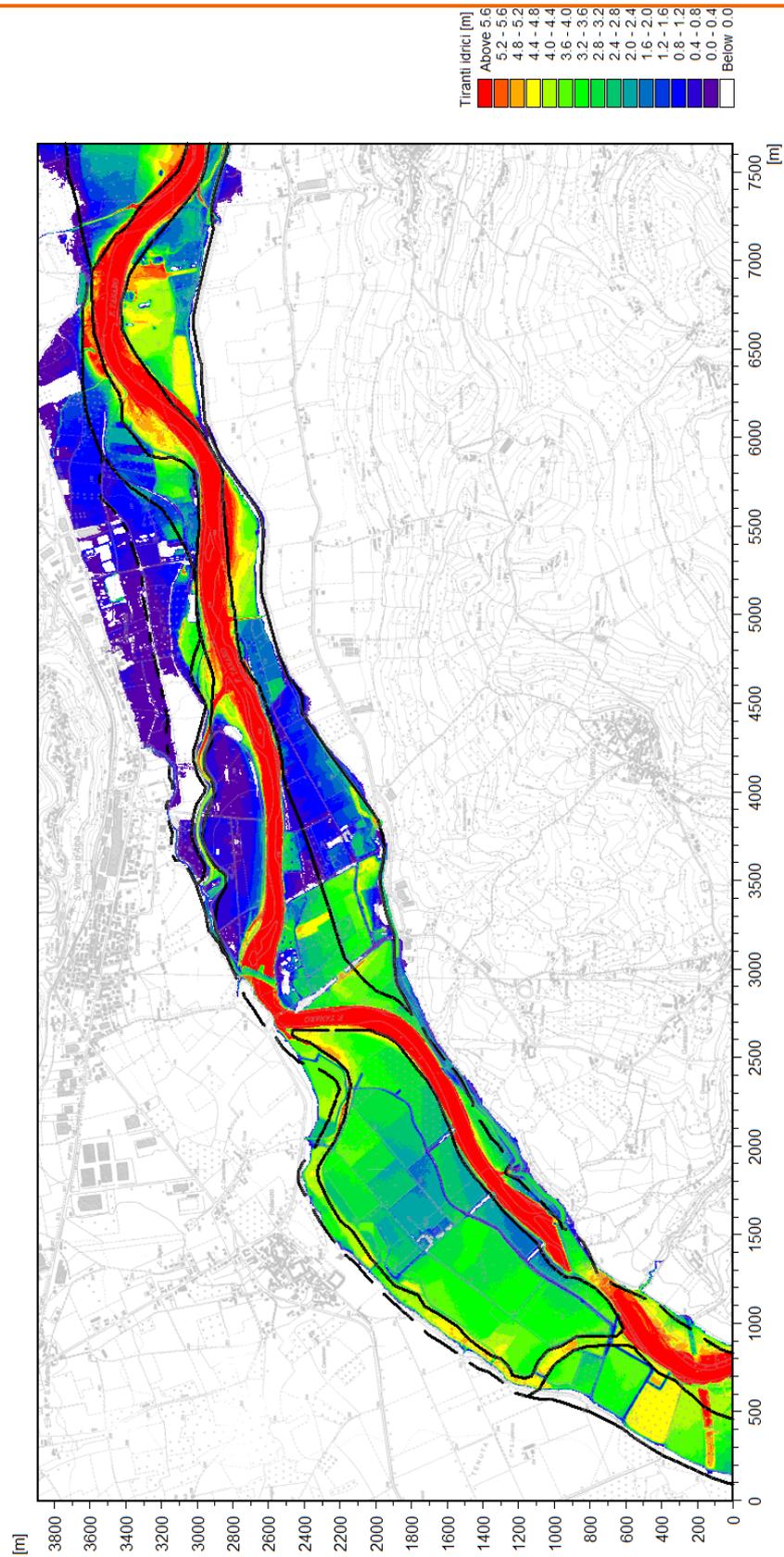


Figura 12 – Altezze d'acqua rispetto al fondo alveo o al piano campagna per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato Attuale. Sono indicati sulla mappa anche i limiti delle Fasce fluviali (PAI).

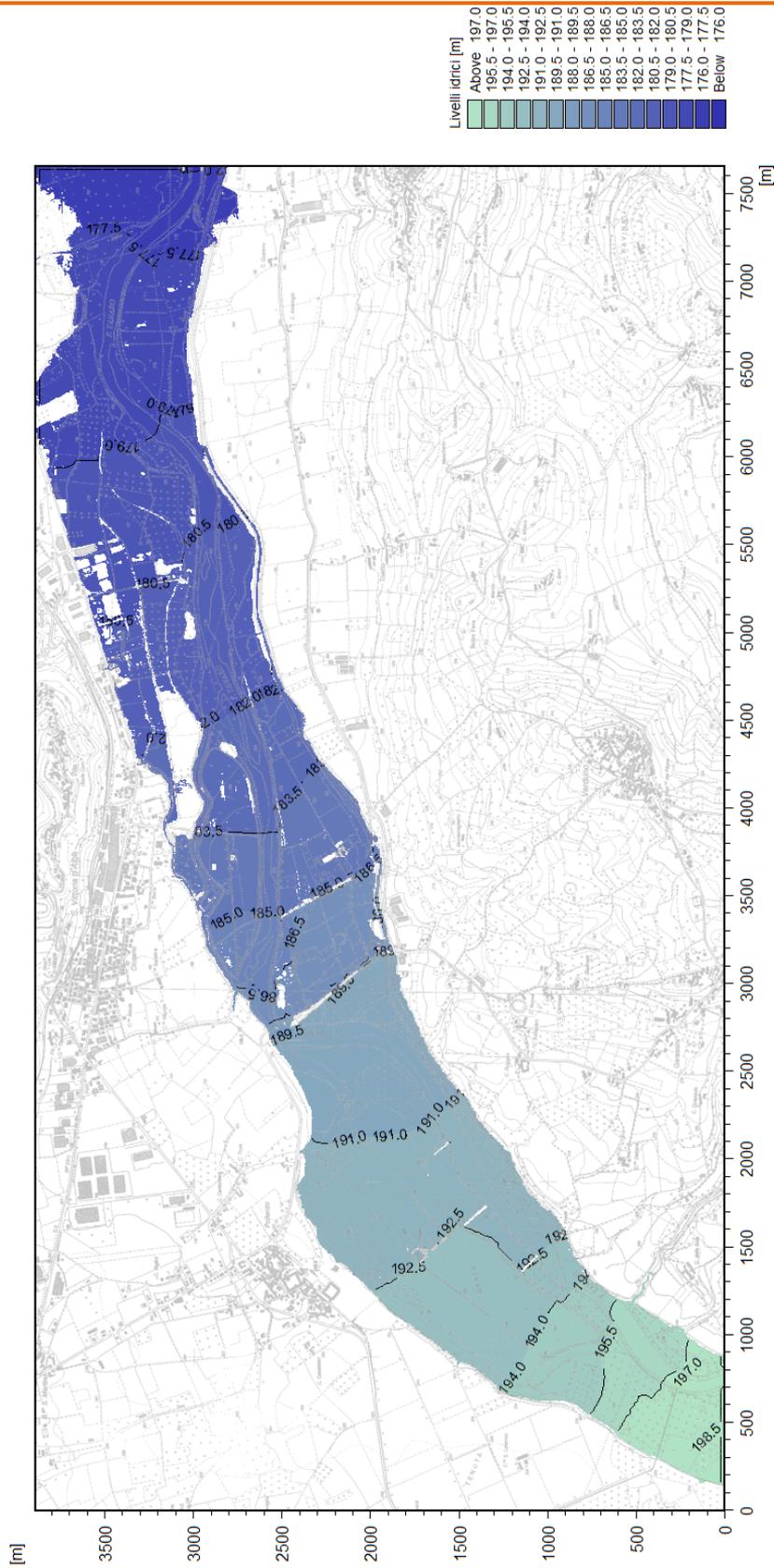


Figura 13 – Distribuzione delle quote del pelo libero per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato Attuale.

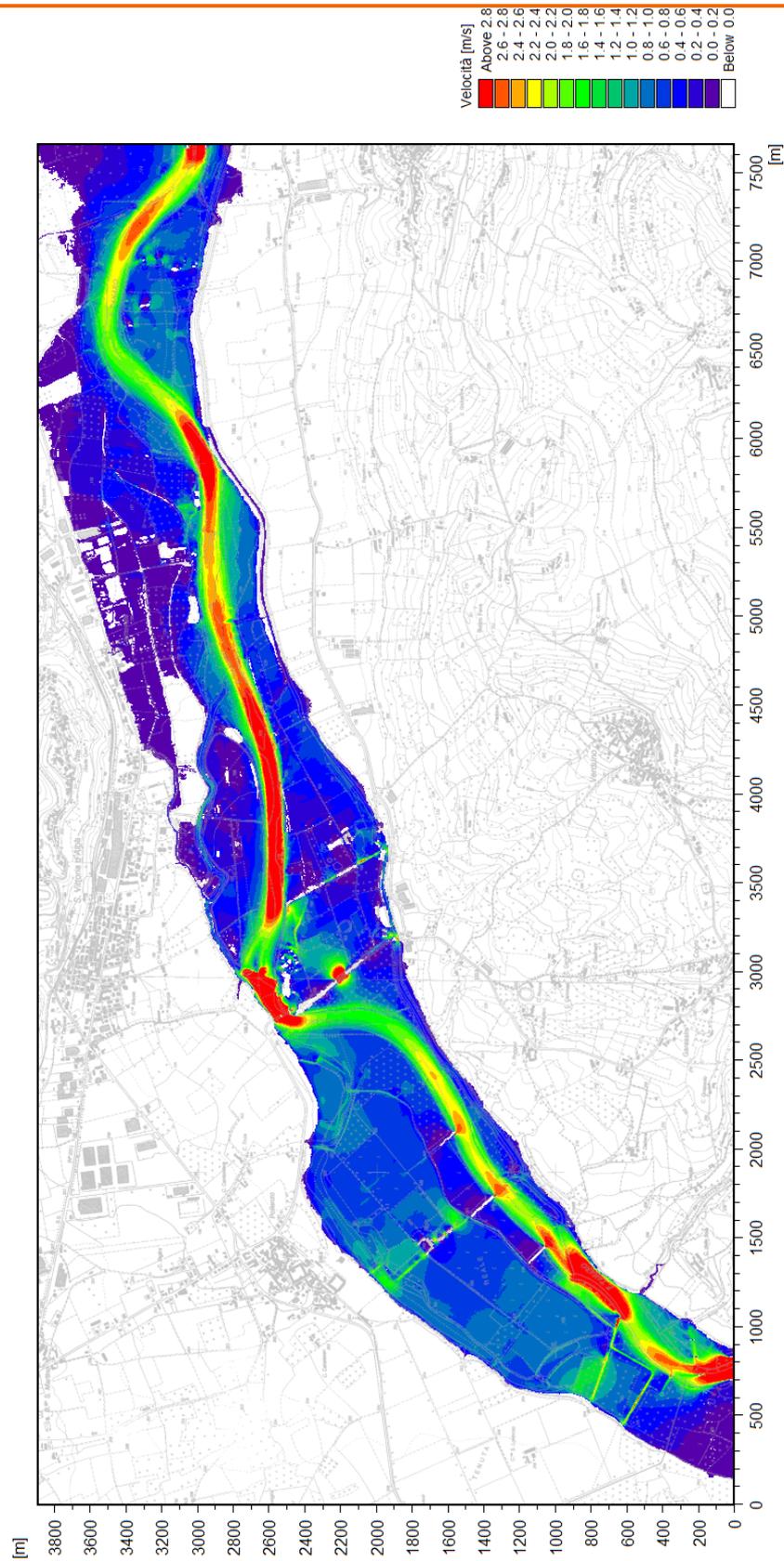


Figura 14 – Distribuzione delle velocità per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato Attuale.

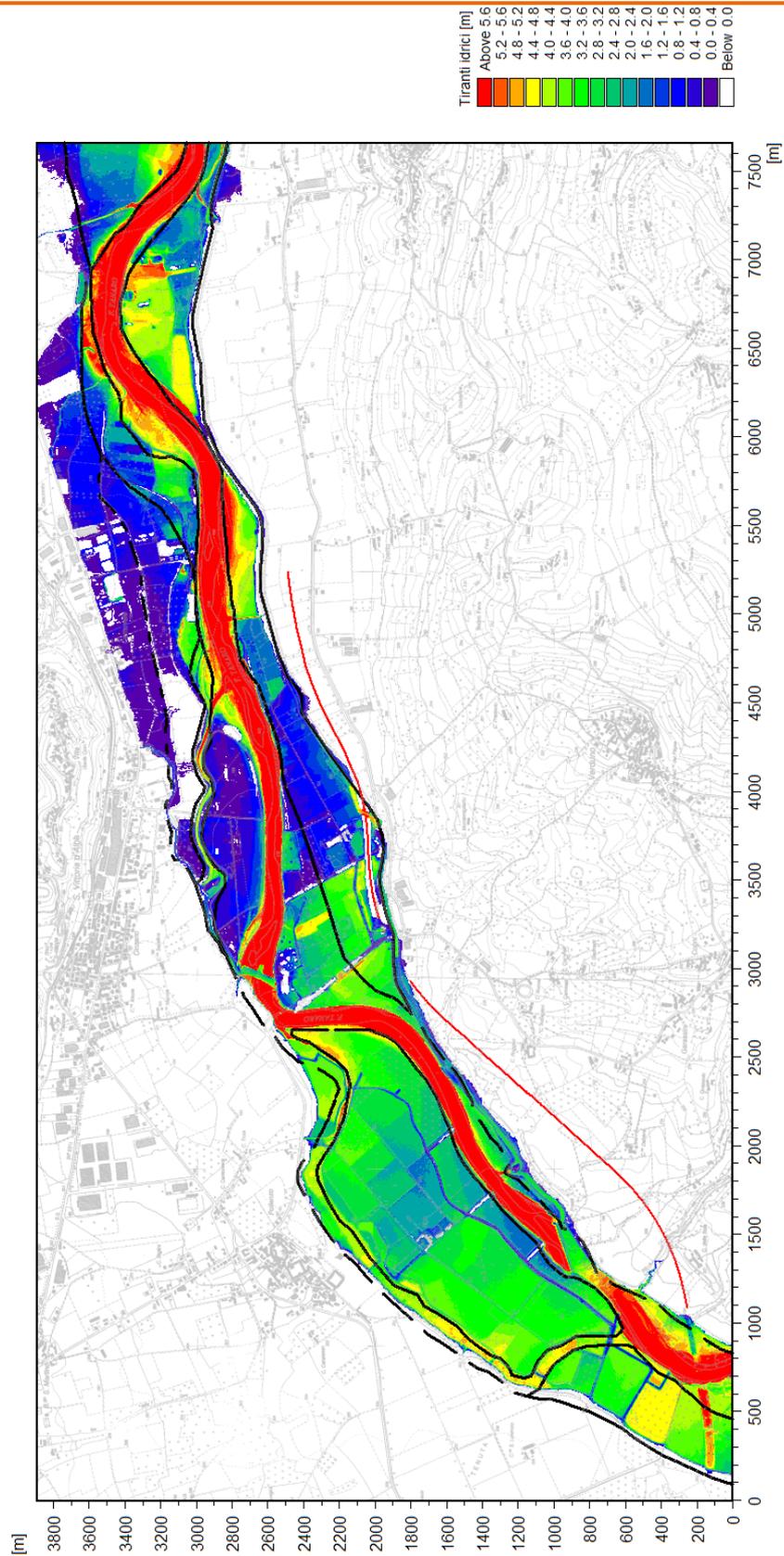


Figura 15 – Altezze d’acqua rispetto al fondo alveo o al piano campagna per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato di Progetto. Sulla mappa sono indicati in rosso il tracciato del collegamento autostradale in progetto e in nero i limiti delle Fasce fluviali (PAI).

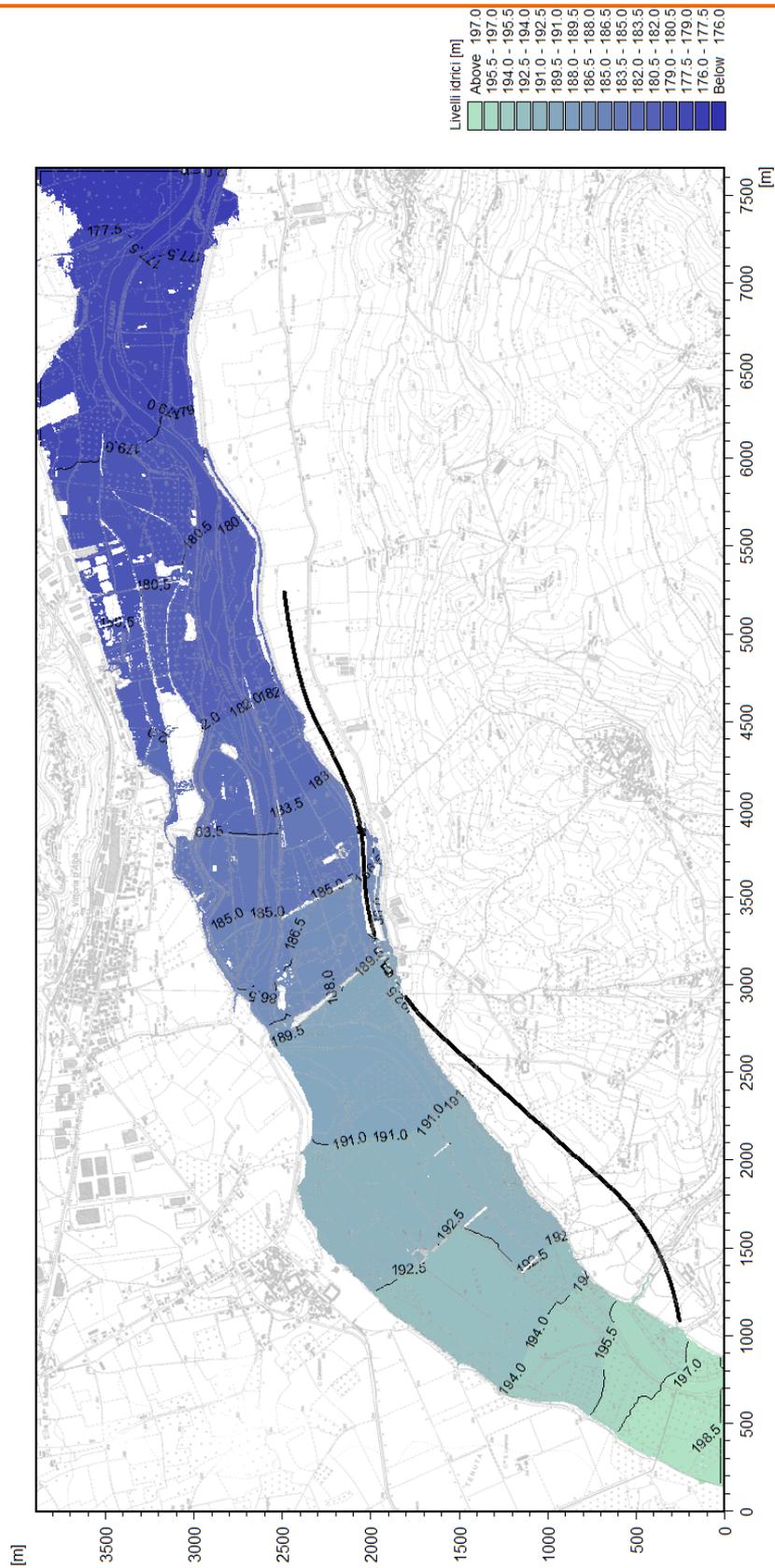


Figura 16 – Distribuzione delle quote del pelo libero per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato di Progetto. Sulla mappa è indicato in nero il tracciato del collegamento autostradale in progetto.

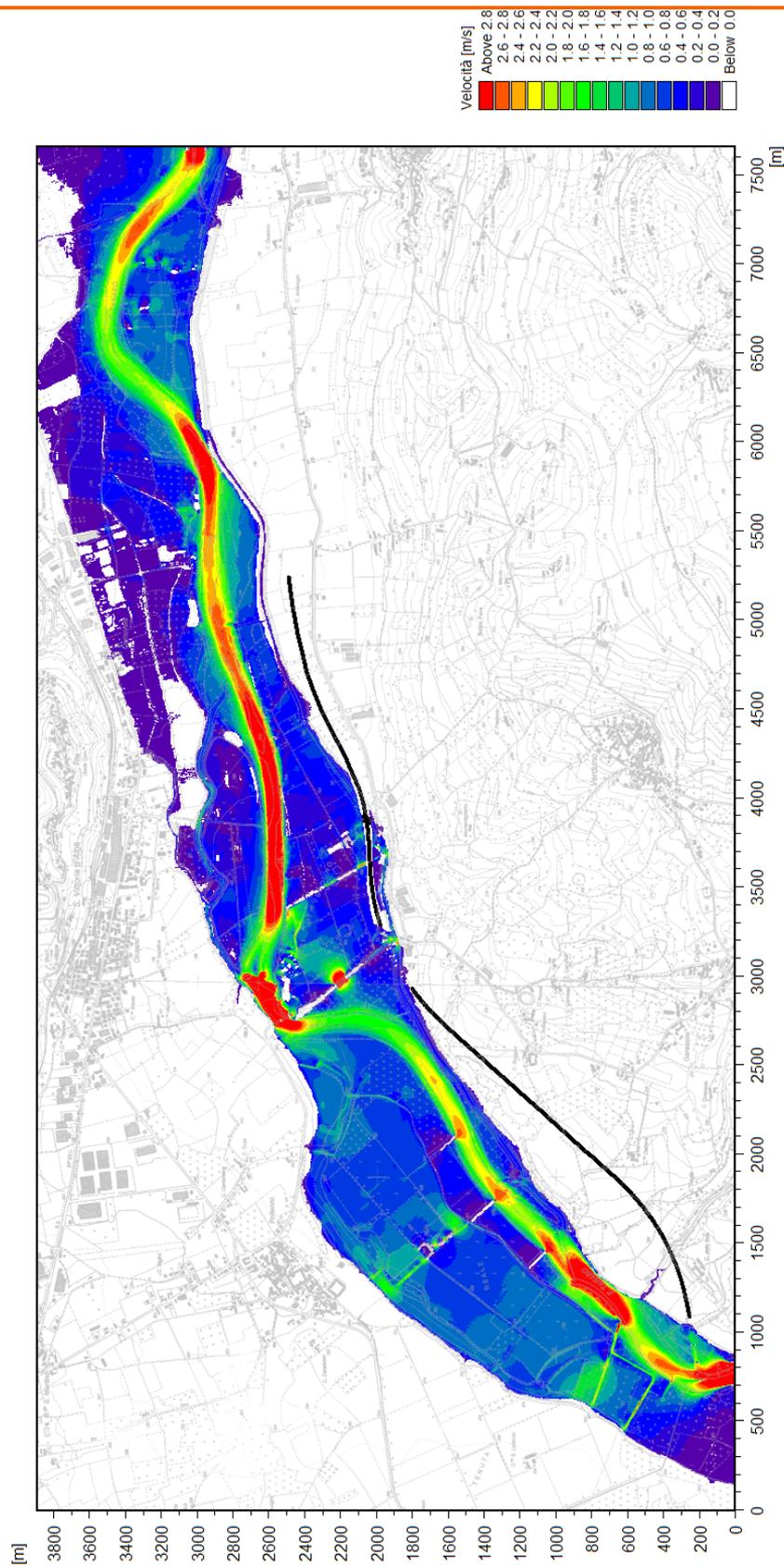


Figura 17 – Distribuzione delle velocità per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato di Progetto. Sulla mappa è indicato in nero il tracciato del collegamento autostradale in progetto.

Non si riscontrano a scala complessiva delle variazioni percepibili nelle aree di esondazione ottenute dalle simulazioni per lo Stato Attuale e lo Stato di Progetto, dimostrando quindi la compatibilità idraulica dell'opera in progetto nell'area fluviale del fiume Tanaro, nei termini di non aggravio delle condizioni di rischio idraulico attuale al deflusso dell'evento di piena di riferimento (tempo di ritorno di 200 anni).

Per una migliore leggibilità dei risultati ottenuti e per verificare in maggior dettaglio quanto sopra affermato, di seguito (immagini da Figura 18 a Figura 23) si forniscono rappresentazioni delle medesime mappe di distribuzione dei principali parametri idrodinamici con un ingrandimento di dettaglio nella sola area in cui il tracciato autostradale in progetto interferisce con la Fascia B del PAI.

Un ulteriore maggior dettaglio è fornito in Figura 24 per l'area circostante il nuovo rilevato autostradale nel tratto di interferenza con la Fascia B. Le due mappe a confronto tra Stato Attuale e Progetto rappresentano la distribuzione dei flussi idrici (in termini di vettori velocità) e delle massime quote di superficie libera.

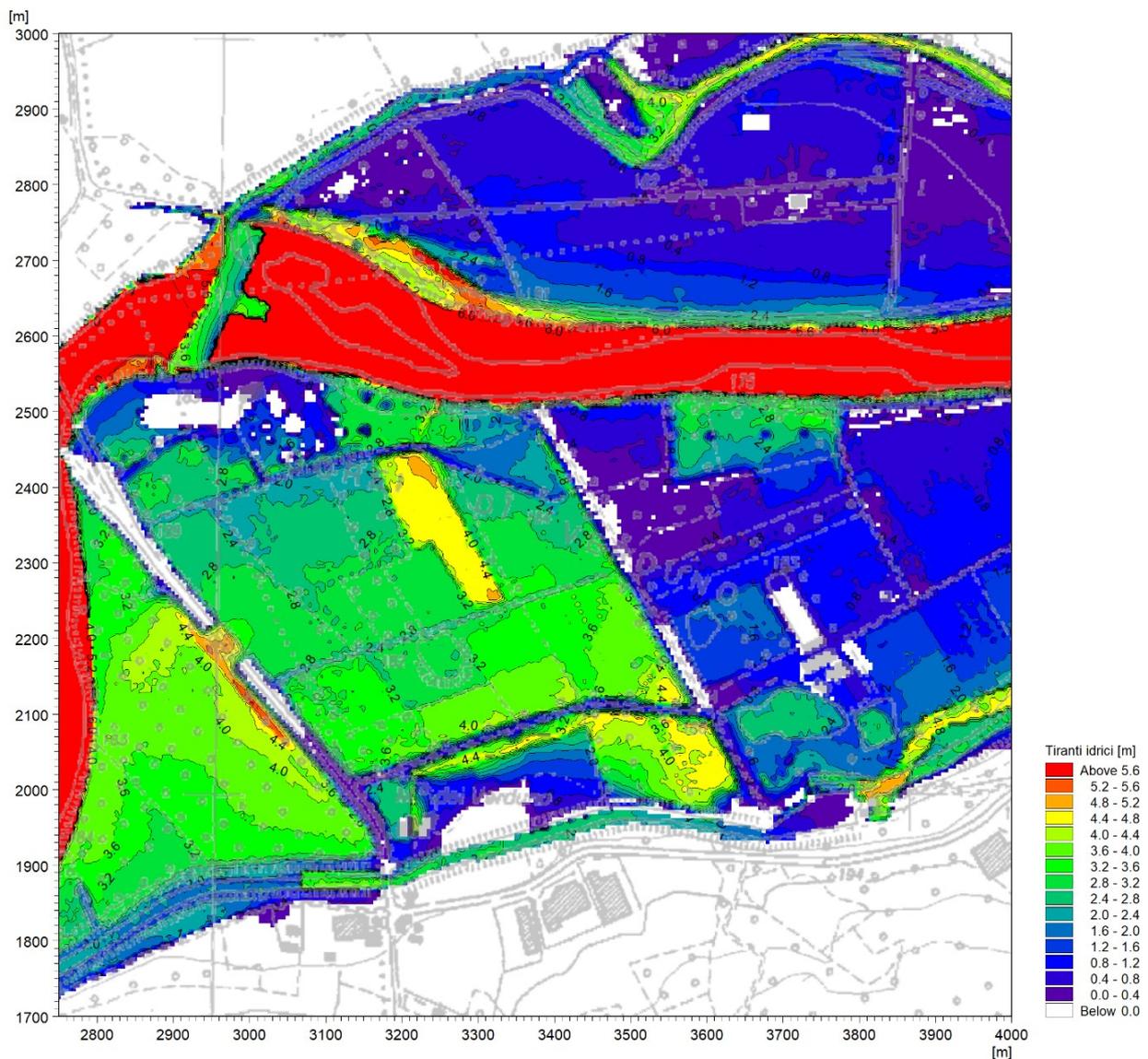


Figura 18 – Altezze d'acqua rispetto al fondo alveo o al piano campagna per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato Attuale.

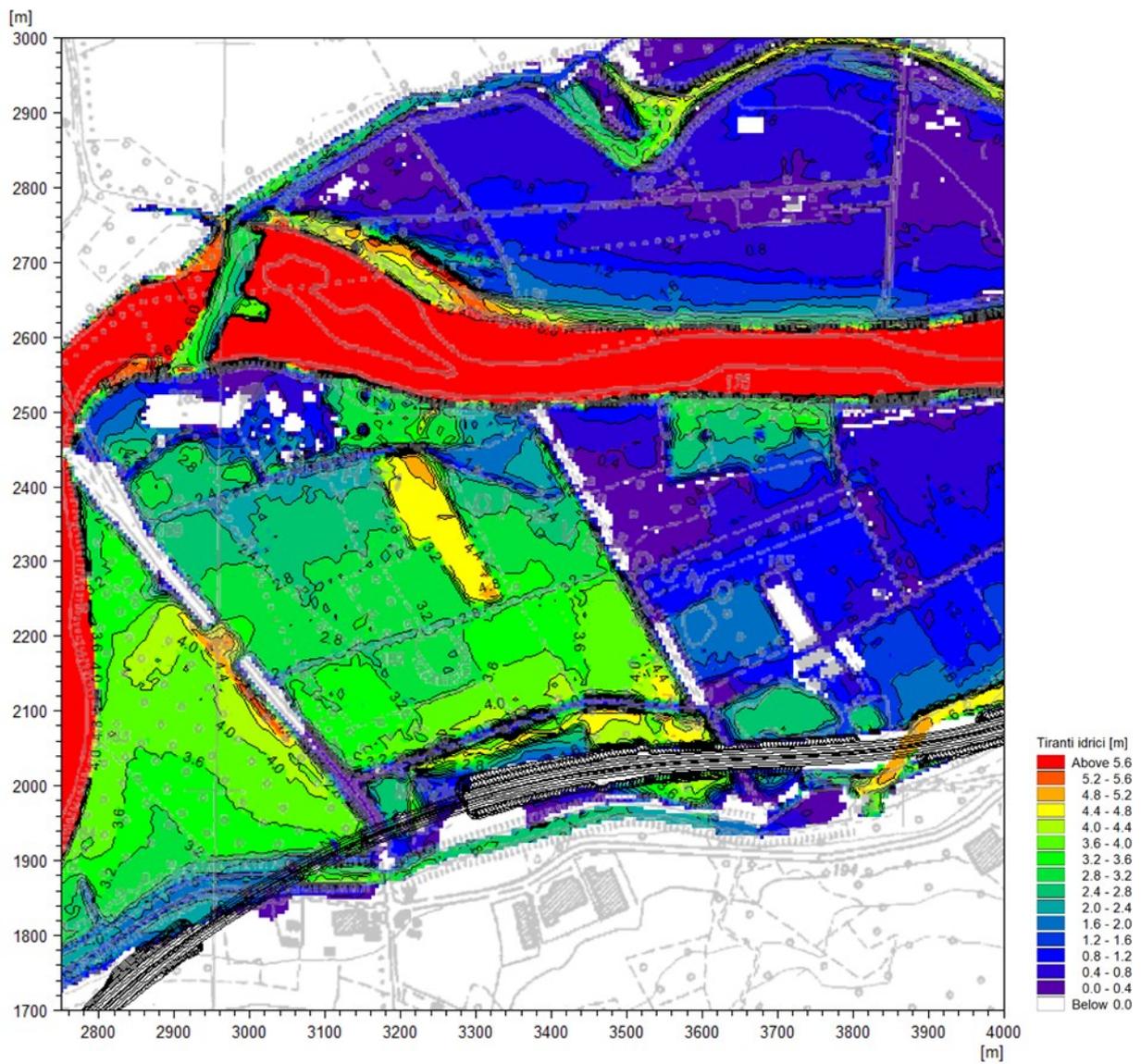


Figura 19 – Altezze d'acqua rispetto al fondo alveo o al piano campagna per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato di Progetto. Sulla mappa è indicato il tracciato del rilevato autostradale.

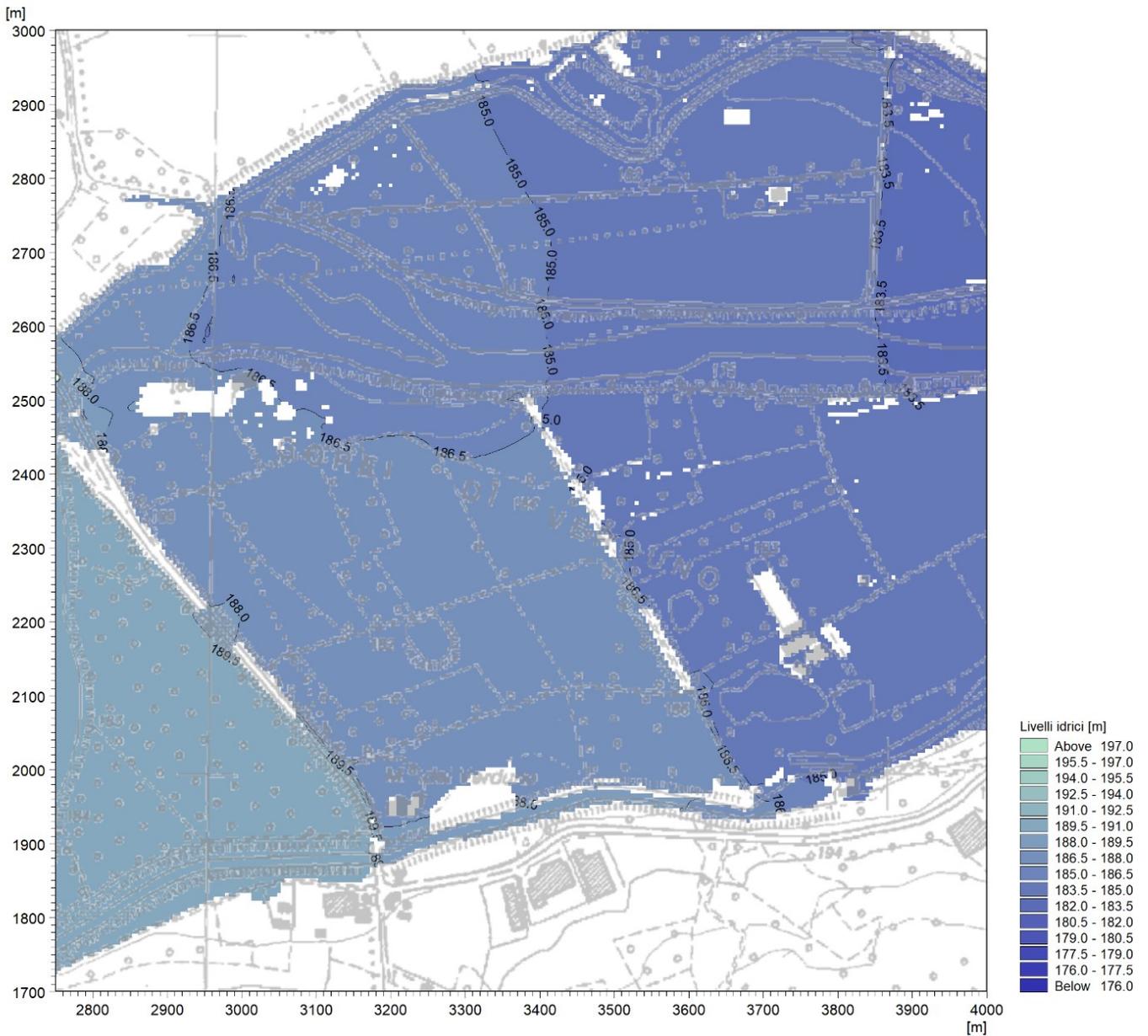


Figura 20 – Distribuzione delle quote del pelo libero per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato Attuale.

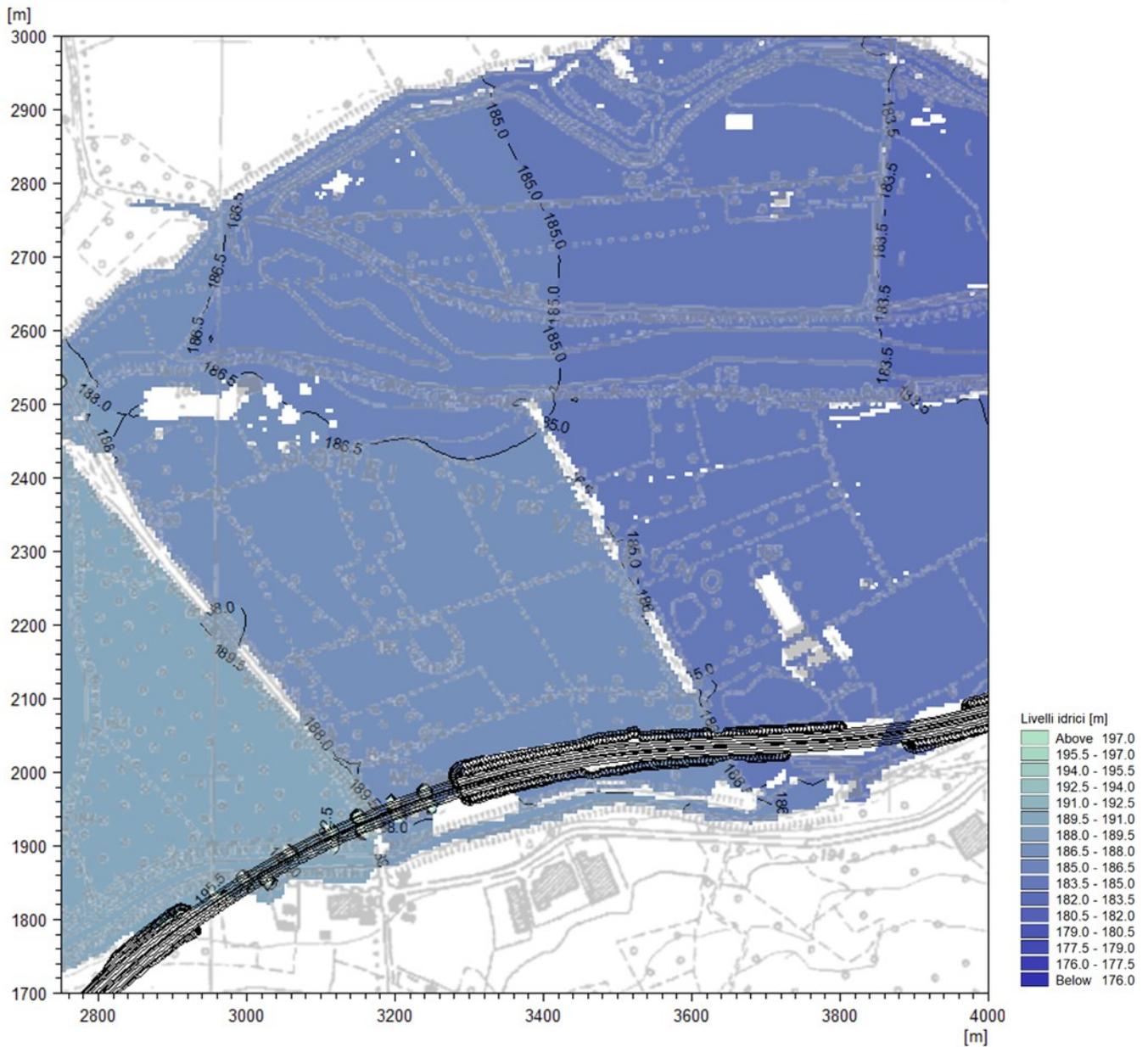


Figura 21 – Distribuzione delle quote del pelo libero per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato di Progetto. Sulla mappa è indicato il tracciato del rilevato autostradale.

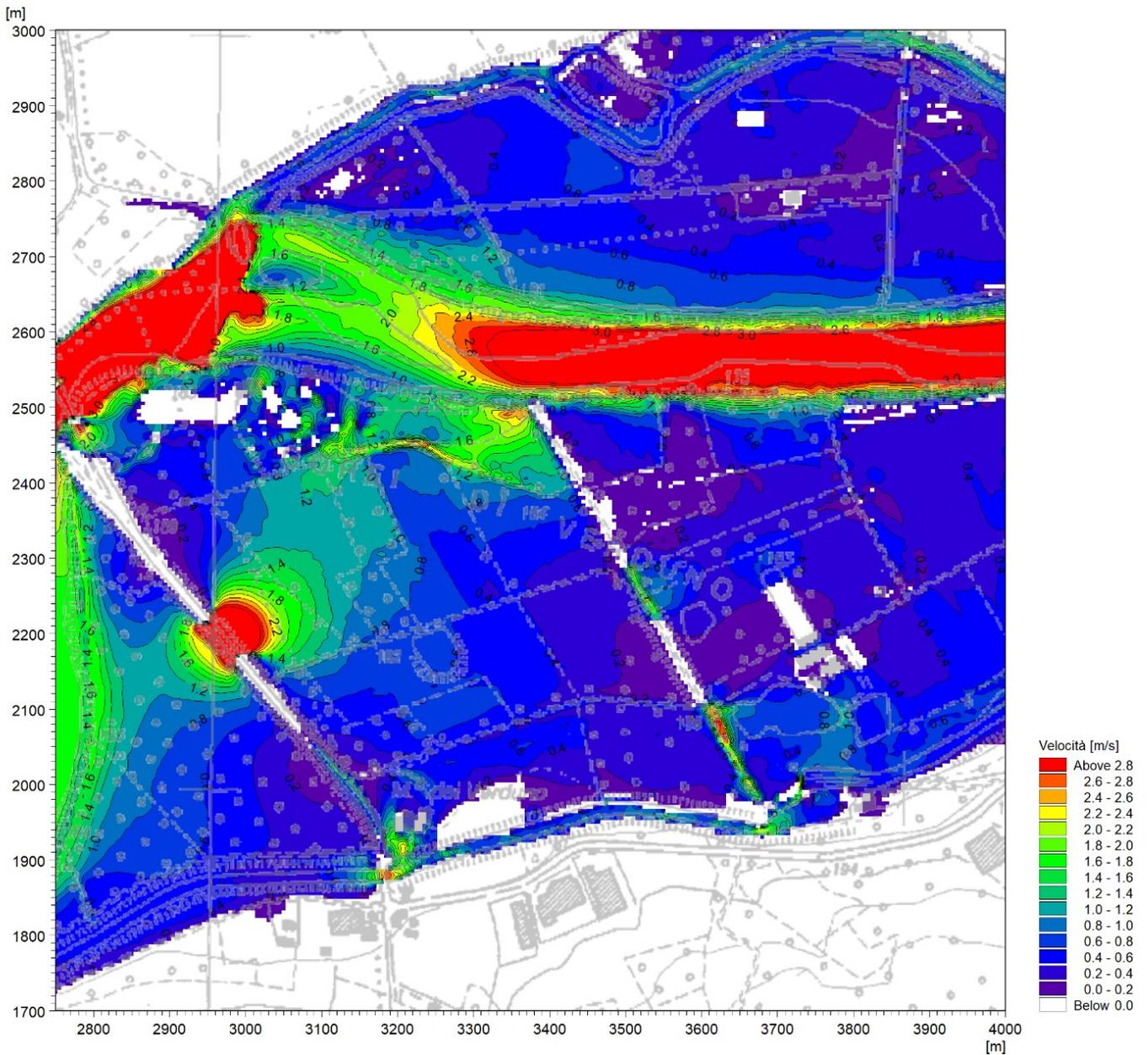


Figura 22 – Distribuzione delle velocità per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato Attuale.

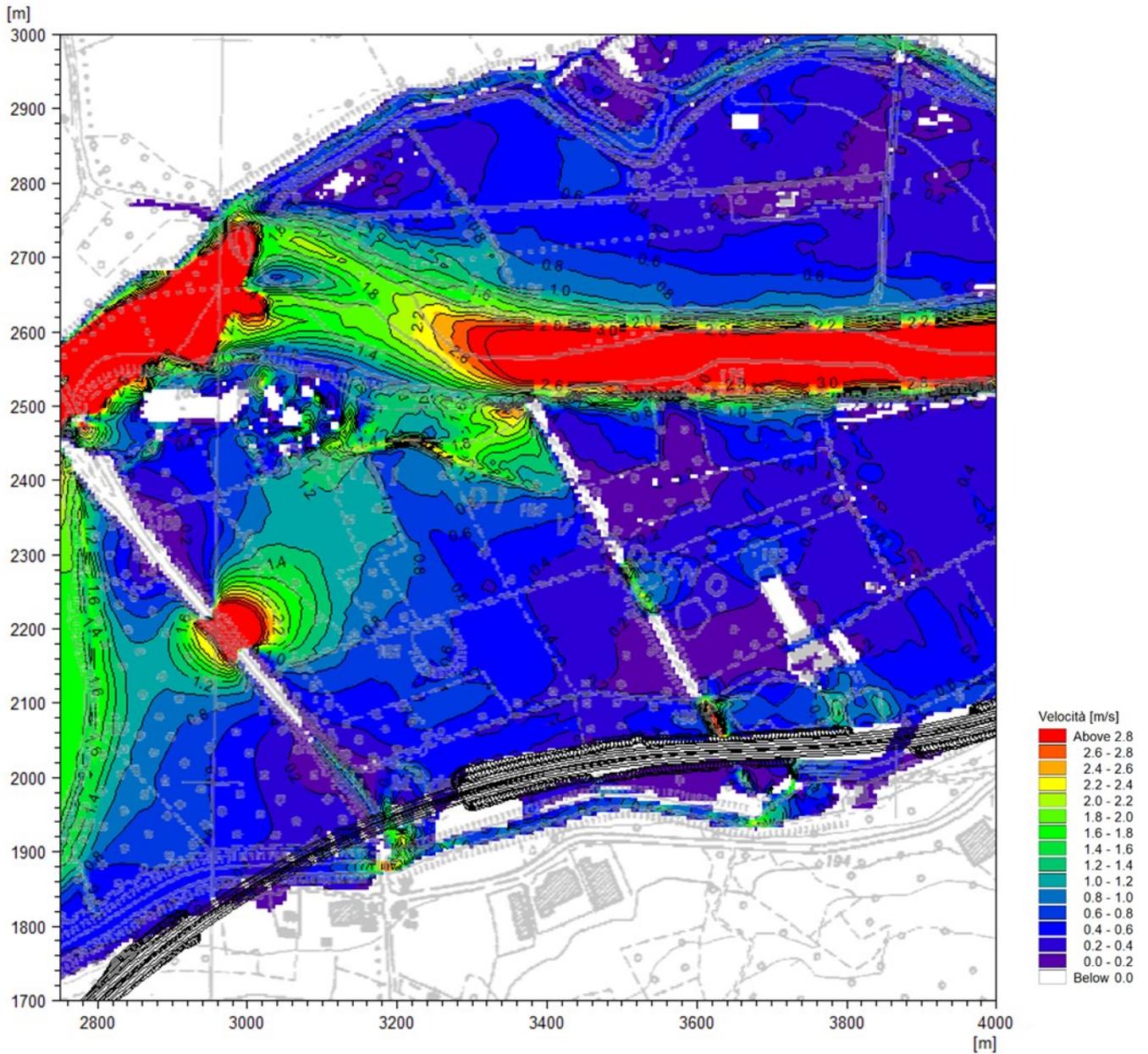


Figura 23 – Distribuzione delle velocità per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, Stato di Progetto. Sulla mappa è indicato il tracciato del rilevato autostradale.

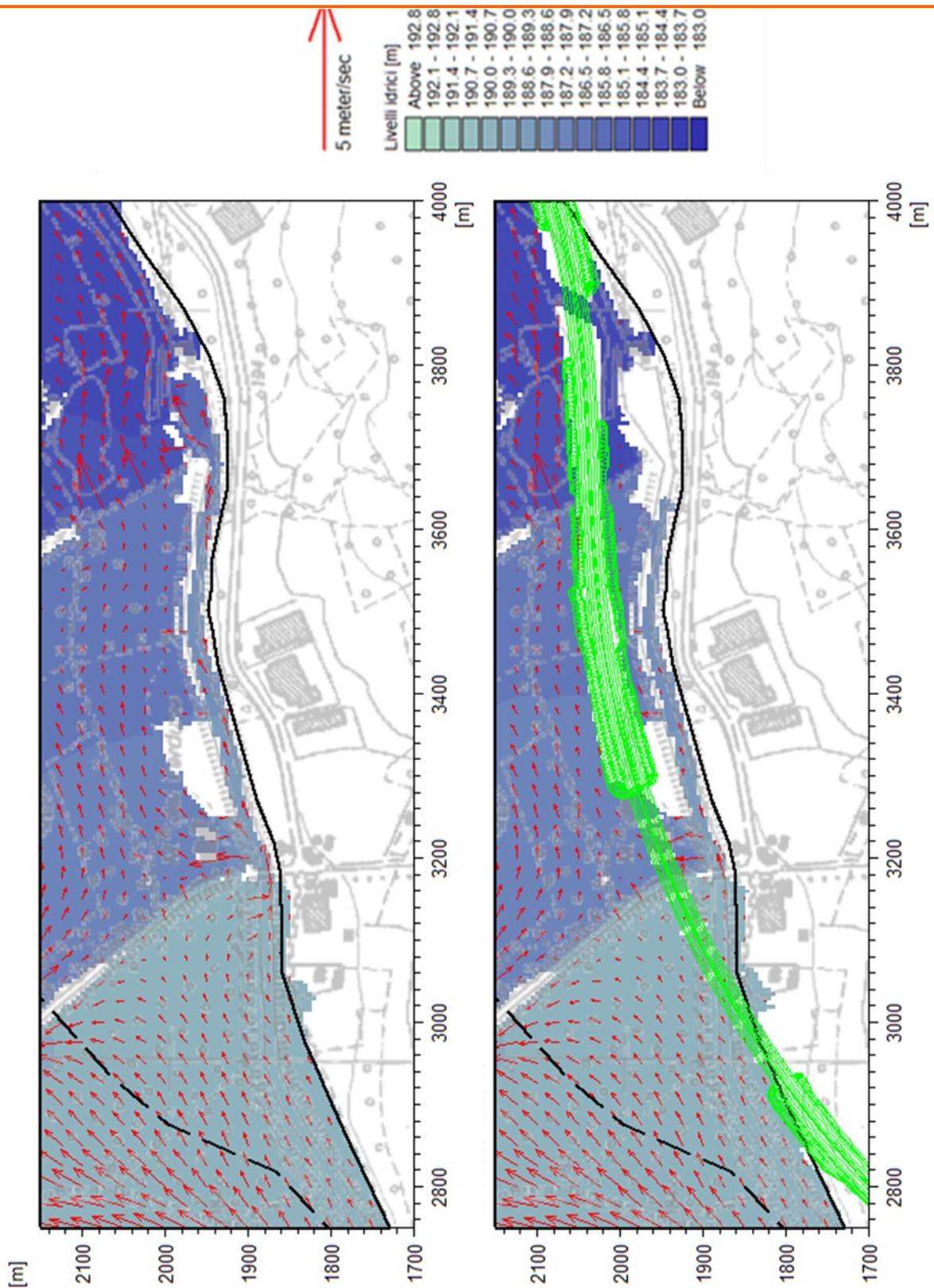


Figura 24 – Distribuzione delle quote del pelo libero per la portata con tempo di ritorno di 200 anni nell'area in cui le aree di esondazione interagiscono con l'opera in progetto, Stato Attuale (sx) e di Progetto (dx). Sulla mappa sono indicati il campo di vettori di velocità di deflusso e il tracciato del rilevato autostradale con le pile del viadotto.

Nella Figura 25 e nella Figura 26 sono riportati i profili della superficie libera per l'evento di piena duecentennale, tratti dai risultati del modello bidimensionale, su un tracciato parallelo all'asse autostradale e in prossimità dello stesso, sovrapposti al profilo delle quote di sommità del piano stradale dell'autostrada in direzione Cuneo e in direzione Asti rispettivamente. Le progressive longitudinali sono calcolate dall'estremità di monte del tratto considerato, in direzione Ovest-Est.

Maggiori dettagli sono riportati nell'elaborato 02.04.03_P017_E_IDR_PL_001 (*Planimetria di individuazione delle sezioni idrauliche e profilo idrico di piena*) che riportano la localizzazione planimetrica dei profili e il valore delle quote associate agli stessi.

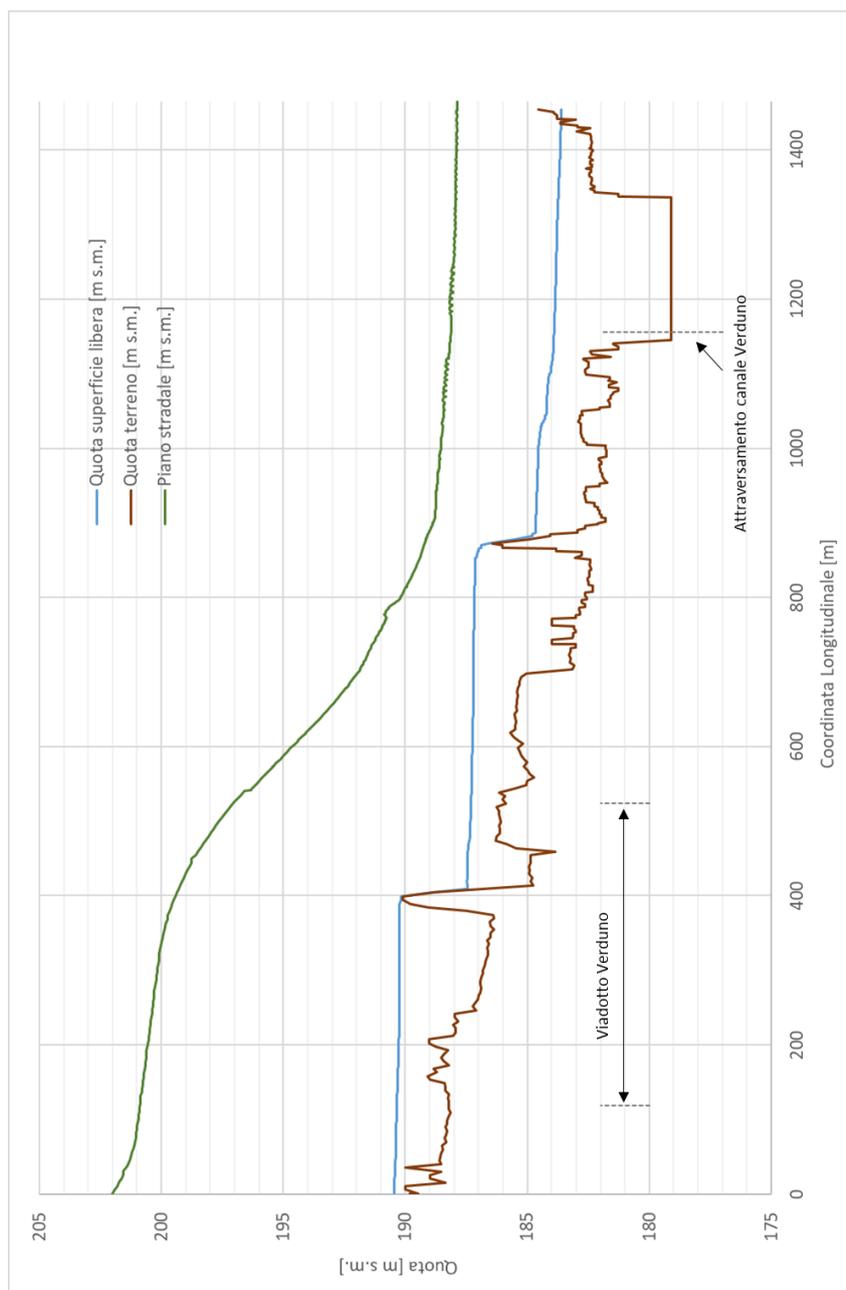


Figura 25 – Profilo longitudinale della superficie libera per la portata con tempo di ritorno di 200 anni in corrispondenza delle quote di sommità del piano stradale dell'autostrada in direzione Cuneo. Viene riportato anche l'andamento del terreno in prossimità della base del rilevato stradale.

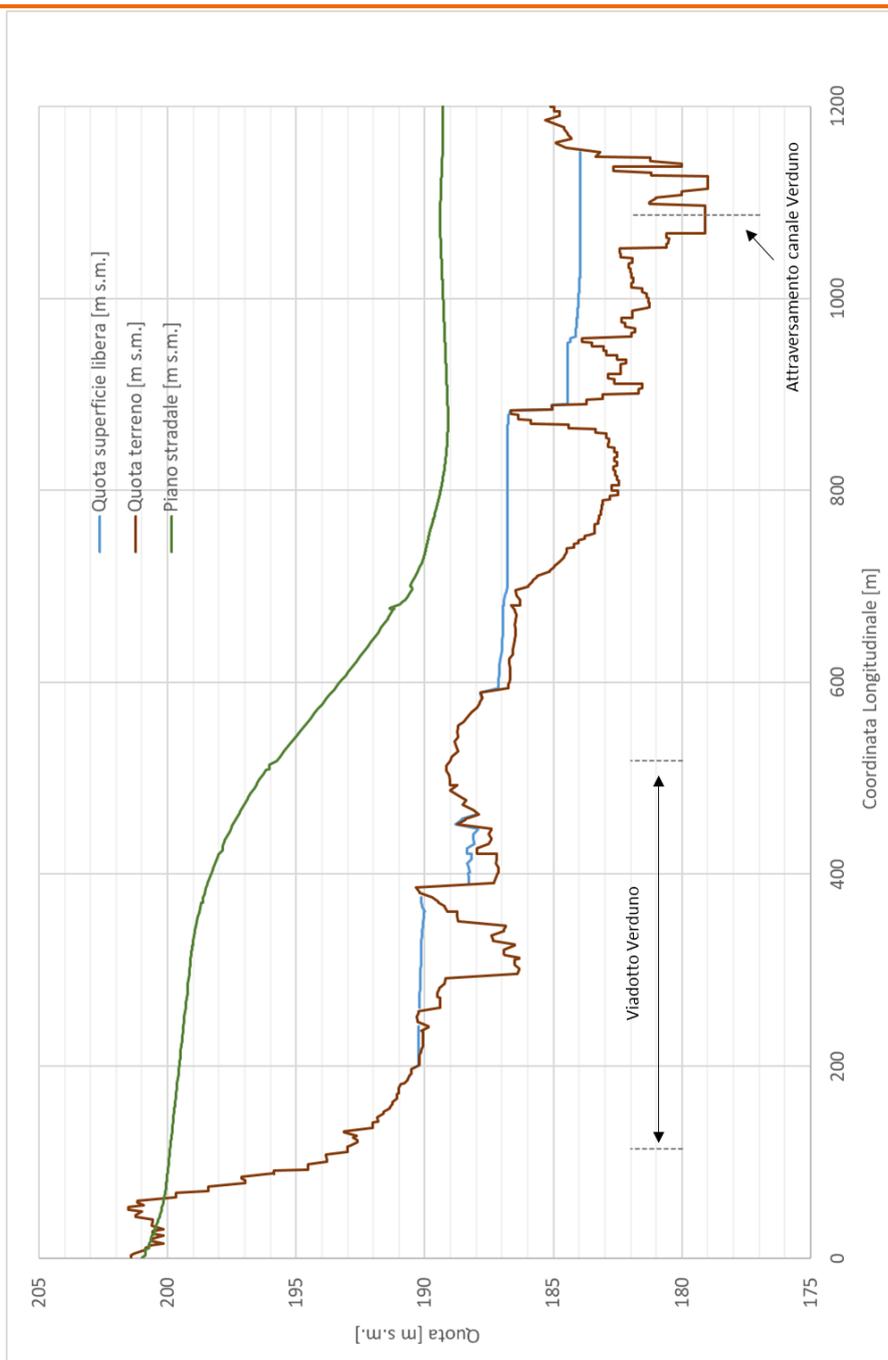


Figura 26 – Profilo longitudinale della superficie libera per la portata con tempo di ritorno di 200 anni in corrispondenza delle quote di sommità del piano stradale dell'autostrada in direzione Asti. Viene riportato anche l'andamento del terreno in prossimità della base del rilevato stradale.

Si osserva come il profilo idrico sia condizionato dalla presenza nell'area di due rilevati stradali che si sviluppano perpendicolari all'area golenale e sono scavalcati dall'autostrada in progetto, nello specifico il rilevato della S.P.7 (progressiva 870 m) e quello della viabilità minore in corrispondenza della centrale idroelettrica di Verduno (progressiva 1270 m).

Tali rilevati costituiscono un ostacolo al deflusso verso valle della corrente in golena, determinando un innalzamento del livello della superficie libera fino al parziale sormonto del rilevato stesso. Poiché tali rilevati non sono opere dimensionate con fini idraulici, è possibile che essi subiscano dissesti e

smottamenti ove in fase parossistica di piena si venga a creare un carico idraulico così rilevante come quello predetto dal modello (che pure è cautelativo trattandosi di una simulazione in condizioni di moto permanente). A tal proposito è stata quindi condotta un'analisi integrativa per valutare i possibili effetti di un crollo del rilevato con fenomeno assimilabile a un dam break (capitolo 6).

Per quanto riguarda la carreggiata in direzione Cuneo (lato fiume), l'estensione degli allagamenti prodotti dalla piena duecentennale lambisce il corpo autostradale lungo tutto il tratto di intersezione con la Fascia B.

Per tale carreggiata il valore del franco idraulico rispetto alla piena duecentennale, calcolato rispetto al piano stradale, risulta superiore a 4 m per gran parte del tratto in esame. Esso si riduce al di sotto di tale valore nel tratto compreso tra le progressive 720 m e 1080 m. Valori prossimi a 2.3 m si verificano in corrispondenza del rilevato della viabilità locale in prossimità della centrale di Verduno, alla progressiva di circa 870 m.

Per quanto riguarda la carreggiata in direzione Asti, gli allagamenti della piena duecentennale lambiscono il corpo autostradale per un tratto leggermente inferiore. Analogamente a quanto precedentemente descritto, il franco risulta superiore a 4 m per gran parte del rilevato autostradale in progetto, con valori prossimi a 2.5 m all'altezza della centrale di Verduno.

Le opere di attraversamento esistenti (viadotto sulla S.P.7 e attraversamento canale di Verduno) sono ampiamente verificate rispetto alla piena duecentennale.

In corrispondenza del viadotto della S.P.7 si verificano livelli idrici massimi dell'evento di piena duecentennale pari a 190,4 m s.m. nel tratto a Ovest (a monte) rispetto al rilevato della strada, e pari a 187,5 m s.m. nel tratto collocato a Est (valle). Il ponte presenta franchi variabili circa da 4,41 m a 8,08 m.

I livelli idrici massimi al di sotto dell'attraversamento del canale di Verduno risultano pari a 183,96 m e, rispetto all'intradosso pari a 185,8 m, il franco idraulico risulta pari a 1,84 m.

Il valore di velocità media in adiacenza al rilevato in direzione Cuneo risulta pari a 0,6 m/s. I valori massimi non superano generalmente il valore di 1,5 m/s con qualche valore localizzato più elevato, nel range 2,0-2,5 m/s. Per quanto riguarda il rilevato in direzione Asti, il valore medio di velocità è pari a 0,4 m/s e i valori massimi non superano generalmente il valore di 1,1 m/s con qualche valore localizzato maggiore, sempre comunque inferiore a 2,2 m/s.

6. ANALISI IDRAULICHE INTEGRATIVE

6.1. INCIDENZA DELLE OPERE SULLE MODALITÀ DI PROPAGAZIONE DELLA PIENA

Come descritto in precedenza, le verifiche idrauliche oggetto del presente documento sono state condotte per una portata con tempo di ritorno di 200 anni considerando cautelativamente condizioni di moto stazionario, per definire la massima estensione delle aree allagabili.

Si è infatti ritenuto trascurabile la possibile incidenza in termini di sottrazione di aree di laminazione del corso d'acqua, in considerazione del modesto ingombro planimetrico delle opere in progetto e del loro posizionamento ai margini della fascia di potenziale esondazione del Fiume Tanaro.

A seguito di specifica richiesta da parte della Commissione VIA, si sono comunque prodotti gli approfondimenti di analisi di seguito descritti.

Come indicato nel capitolo 4, la portata di riferimento adottata per le verifiche corrisponde sostanzialmente al valore ricostruito per l'evento di piena massimo storico del 1994 (3.700 m³/s).

Per la definizione della riduzione della capacità di invaso determinata dalla costruzione del nuovo rilevato stradale è necessario fare riferimento a condizioni di moto vario, con definizione dell'idrogramma di portata rappresentativo dell'evento di piena duecentennale.

A tale scopo sono stati considerati i due eventi di piena descritti in Figura 27, relativi ai maggiori eventi alluvionali che hanno interessato l'asta del Tanaro nel periodo recente (nel 1994 e nel 2016), riscalati sulla portata al colmo adottata come riferimento e associata a un tempo di ritorno di TR200 anni.

Si tratta di eventi di piena caratterizzati da un andamento differente per quanto riguarda la forma dell'onda di piena, ma simili dal punto di vista dei volumi cumulati e della durata dell'evento. I valori di portata al colmo "originali" del 1994 e del 2016 sono pari rispettivamente a circa 3.700 m³/s e 3.442 m³/s.

La Figura 28 riporta i volumi cumulati nei due eventi di piena "scalati" di Figura 27, considerando solo la porzione al di sopra del valore di soglia di 500 m³/s, per il quale tutta la portata risulta contenuta in alveo.

Si nota come nell'idrogramma 1 (piena 1994) il volume cumulato raggiunga il valore di 236.000.000 m³ a fronte dei 231.000.000 m³ dell'idrogramma 2 (piena 2016).

Si nota inoltre come per entrambi gli eventi la durata dell'evento risulti assai rilevante, con portate che superano il valore di 1.000 m³/s per un tempo superiore alle 30 ore. Il valore di portata pari a 2.500 m³/s risulta superato per un tempo pari a circa 15 ore nell'idrogramma 1 (piena 1994) e a circa 19 ore nell'idrogramma 2 (piena 2016).

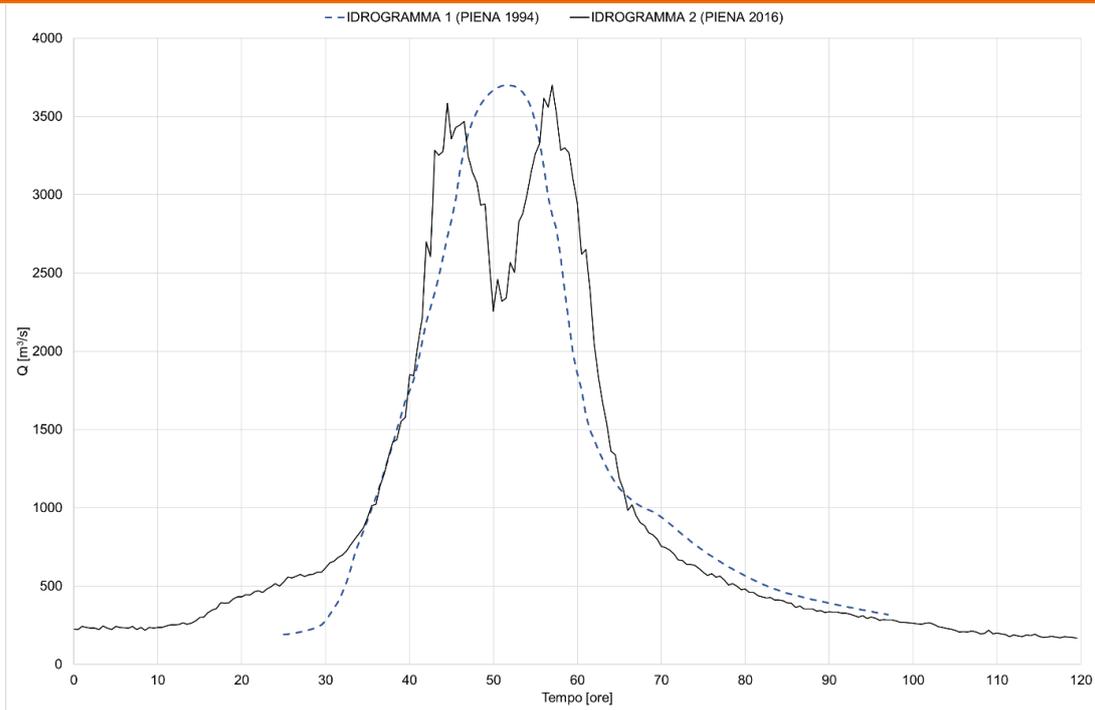


Figura 27 – Idrogrammi di piena degli eventi storici del 1994 e del 2016 riscaldati sulla portata al colmo con TR200 anni ($3700 m^3/s$).

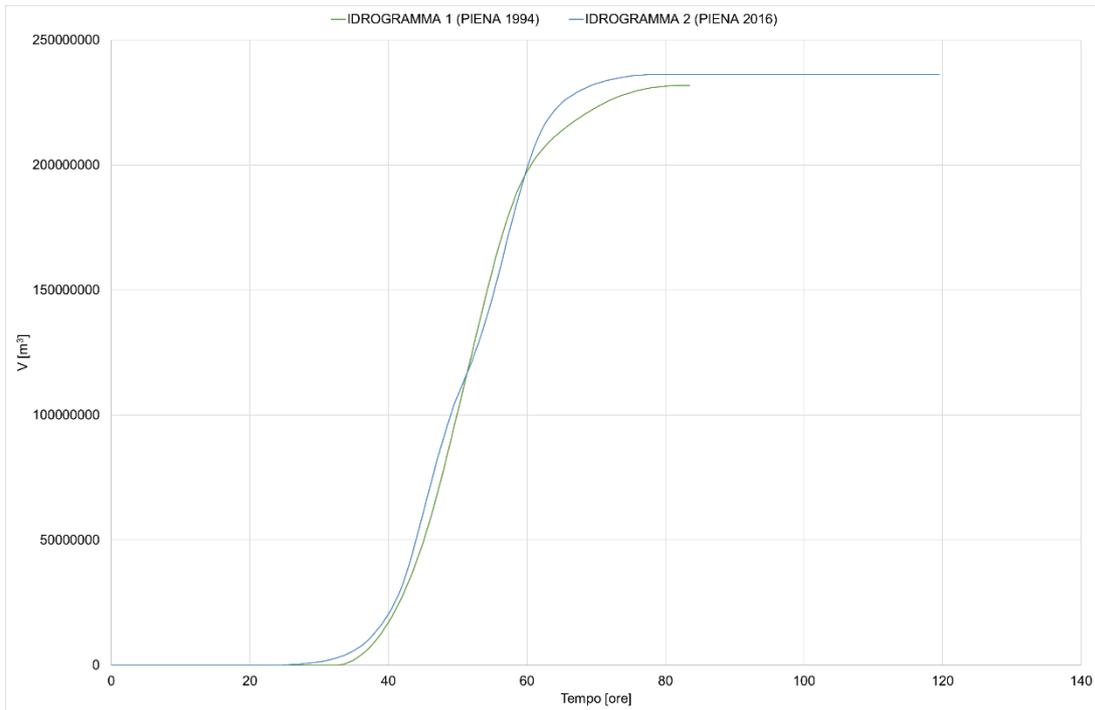


Figura 28 – Volumi cumulati degli eventi di piena storici del 1994 e del 2016 riscaldati sulla portata al colmo con TR200 anni ($3700 m^3/s$).

Considerando i volumi complessivi dell'idrogramma e quelli coinvolti nelle aree di competenza del rilevato stradale lambite dagli allagamenti, si può affermare la trascurabilità della capacità di invaso determinata dall'intervento proposto.

Nello specifico, l'area del rilevato stradale risulta lambita dalla piena e inizia ad esercitare il potenziale effetto di laminazione quando la portata in alveo risulta pari a circa 1.800 m³/s, valore notevolmente inferiore al valore di picco pari a 3.700 m³/s.

Le simulazioni in moto stazionario hanno dimostrato come nell'analisi dello stato di fatto l'esondazione interessi le zone di competenza del rilevato arginale per un'area pari a circa 44.140 m², con valore medio dei massimi tiranti idrici pari a 2,1 m.

Tale valore appare coerente con quanto registrato durante l'evento alluvionale del Novembre 1994, per il quale è stato ricostruito che nella zona dove è previsto il rilevato arginale si fossero verificati tiranti idrici variabili dai 1,55 m ai 2,55 m (dati ARPA Piemonte - Evento alluvionale del 5-6 Novembre 1994).

Il valore del volume potenzialmente laminato dalle aree dove è previsto il rilevato stradale risulta quindi pari a 92.700 m³. Tale valore risulta trascurabile e pari a circa lo 0,1% rispetto ai volumi complessivi dell'onda di piena indisturbata calcolati per valori di portata superiore ai 1800 m³/s (90.000.000 m³ per l'idrogramma 1 e ai 87.000.000 m³ per l'idrogramma 2).

La presenza della nuova opera autostradale è pertanto da ritenersi trascurabile in termini di effetti potenzialmente inducibili sulla propagazione dell'onda di piena di riferimento.

6.2. ANALISI DI DAM BREAK DEL RILEVATO DELLA S.P.7

L'autostrada in progetto scavalca in viadotto il rilevato della S.P.7 (Figura 29) nel tratto che si estende tra il canale di Verduno e la strada Regione Gorei.

Come descritto nel capitolo 5.3, il profilo idrico di piena è condizionato dalla presenza di tale rilevato, che costituisce uno sbarramento dei deflussi in golena, determinando un innalzamento del livello della superficie libera fino al parziale sormonto del rilevato stesso. Poiché quest'ultimo non è un'opera dimensionata con fini idraulici, è possibile che subisca dissesti e smottamenti ove in fase parossistica di piena si venga a creare un carico idraulico così rilevante come quello predetto dal modello.

A tal proposito è stata quindi condotta un'analisi integrativa per valutare i possibili effetti di un crollo del rilevato, con fenomeno assimilabile a un dam break (capitolo 6).

Per la determinazione dell'onda di piena indotta da tale ipotetico collasso, il modello bidimensionale MIKE 21 allestito con schema a fondo fisso per le verifiche di progetto è stato modificato in modo da rappresentare la variazione della geometria del rilevato a seguito della creazione di una breccia.

Per definire la localizzazione della breccia si è ritenuto maggiormente cautelativo considerare la rottura in corrispondenza dell'intersezione tra la S.P.7 e l'opera in progetto, in modo da 'concentrare' l'onda in uscita il più direttamente possibile verso le pile e il rilevato stradale dell'opera in progetto. La posizione e dimensione della breccia sono rappresentate in Figura 29; la larghezza è stata assunta pari a 40 m, coerentemente con una possibile dinamica di crollo che tenga conto dell'estensione complessiva del tratto sormontato.



Figura 29 – Rilevato d'accesso al ponte sul Tanaro della S.P. 7 che interagisce con il rilevato stradale. È indicata in giallo la localizzazione della breccia lungo il rilevato.

Per la definizione dell'onda di dam break si è proceduto come segue.

- Si è considerata come condizione iniziale quella che viene definita nel modello in condizioni di moto stazionario per una portata duecentennale TR200 pari a $3.700 \text{ m}^3/\text{s}$. In tali condizioni il livello a monte della S.P. 7 risulta pari a 190,2 m s.m. mentre a valle risulta pari a 187,5 m s.m., con una differenza di livello pari a 2,7 m.
- A seguito del collasso del rilevato, la breccia che si forma va ad interessare una larghezza di 40 m e la quota finale del fondo della breccia è stata ipotizzata pari a 187,5 m s.m. Trattandosi di un rilevato in terra, si è considerato che il collasso sia graduale, e che avvenga in 5 minuti, riproducendo la progressiva interazione tra la corrente defluente attraverso la breccia ed il materiale solido costituente il rilevato.

La Figura 30 riporta l'idrogramma di piena risultante, associato alla formazione della breccia con le caratteristiche descritte.

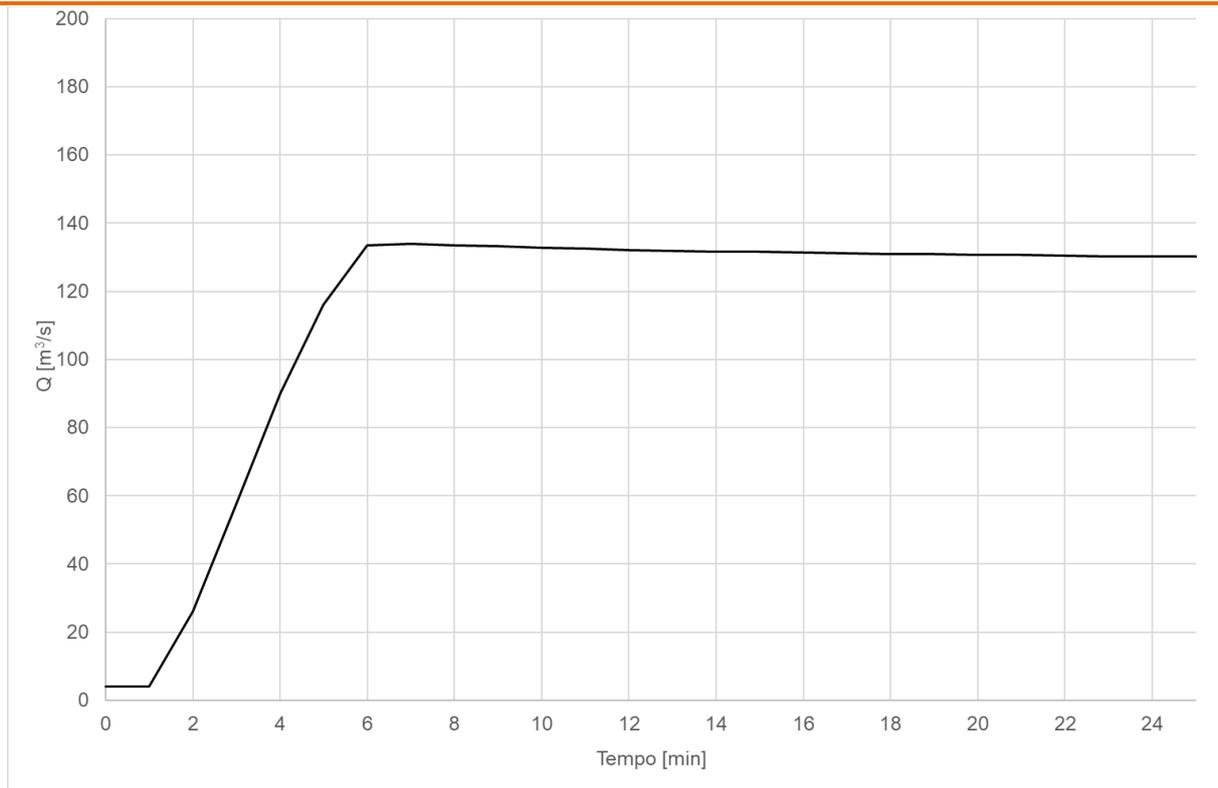


Figura 30 – Idrogramma di piena di dam break associato al crollo del rilevato della S.P.7.

Nella condizione di moto stazionario di riferimento per il progetto la portata che defluisce per sfioro al di sopra del rilevato è pari a circa $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (il sormonto è di modesta entità).

La creazione della breccia produce un incremento della portata che transita da monte a valle del rilevato, che cresce gradualmente fino a circa $135 \text{ m}^3/\text{s}$, per poi assestarsi su una nuova condizione di stazionarietà con deflusso pari a circa $130 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il raggiungimento di tale nuova condizione, legata alla schematizzazione idraulica in moto permanente, avviene in un intervallo temporale dell'ordine di circa 20 minuti. La portata defluente nella breccia è parte del deflusso in golena che in assenza di essa rientrerebbe verso l'alveo inciso in corrispondenza dello sbarramento costituito dal rilevato.

La condizione assunta di verifica in moto permanente è significativa in quanto la durata del colmo di piena è pari ad alcune ore, per cui la fase in cui si ha sormonto del rilevato è caratterizzata da un andamento piuttosto costante delle portate defluenti.

La dinamica del crollo del rilevato viene descritta in Figura 31, Figura 32 e Figura 33 (output del modello MIKE21) che rappresentano la distribuzione delle altezze d'acqua sul piano campagna in istanti successivi all'inizio del dam break (prima del crollo, in fase di apertura della breccia, poco dopo l'apertura completa della breccia). Le frecce indicano il campo di vettori di velocità di deflusso. Le sfumature di colorazione blu evidenziano le aree di esondazione con minori tiranti idrici, quelle rosse con i maggiori.

In Figura 34, Figura 35 e Figura 36 le distribuzioni dei massimi tiranti idrici, delle massime velocità di flusso e della massima quota della superficie libera durante l'evento di dam break sono messe a confronto con la configurazione antecedente al crollo, propria dello stato stazionario.

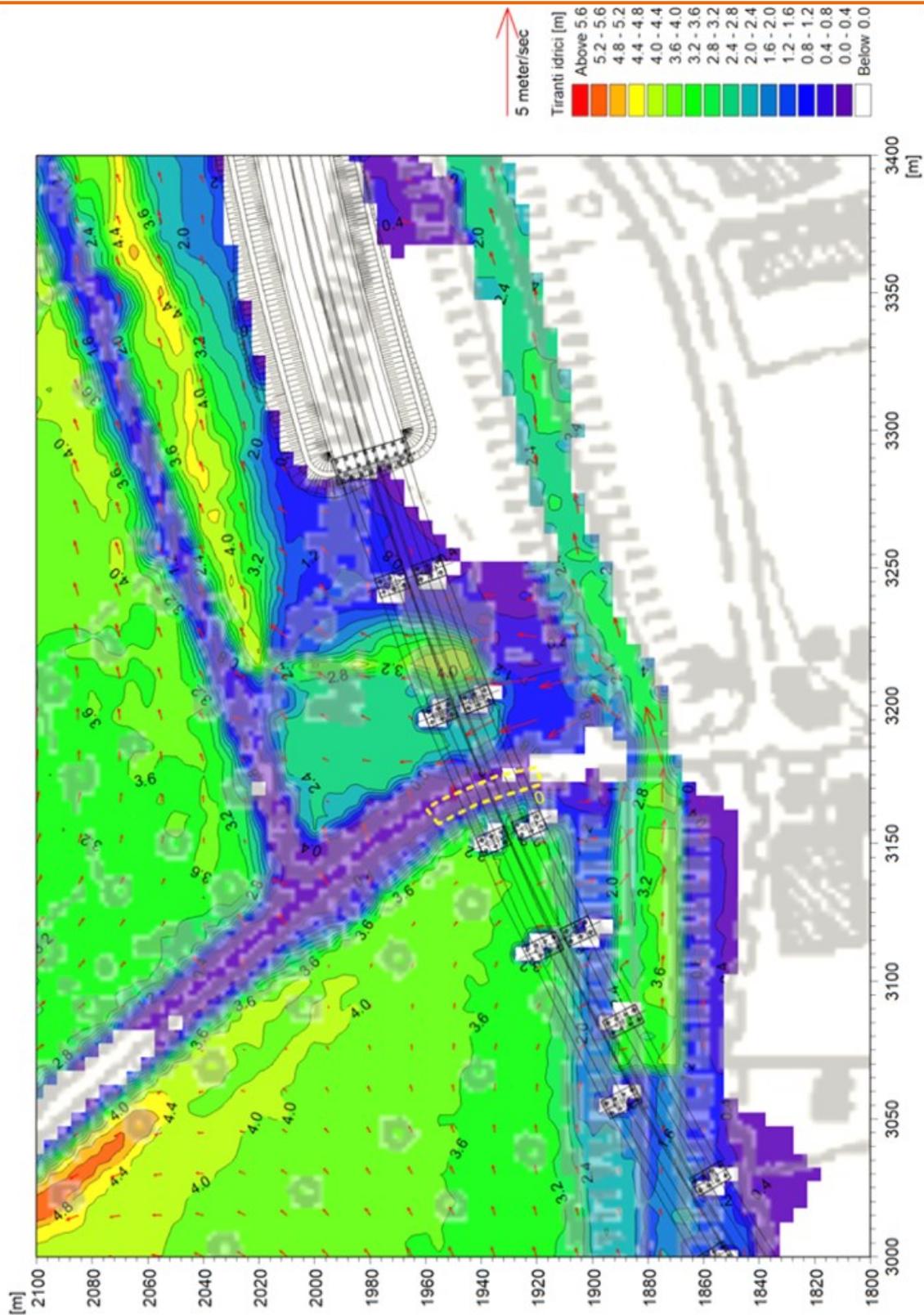


Figura 31 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna prima del crollo del rilevato. Sulla mappa sono indicati il tracciato del rilevato autostradale con indicate le pile del viadotto, la localizzazione della breccia associata al crollo e il campo di vettori di velocità di deflusso.

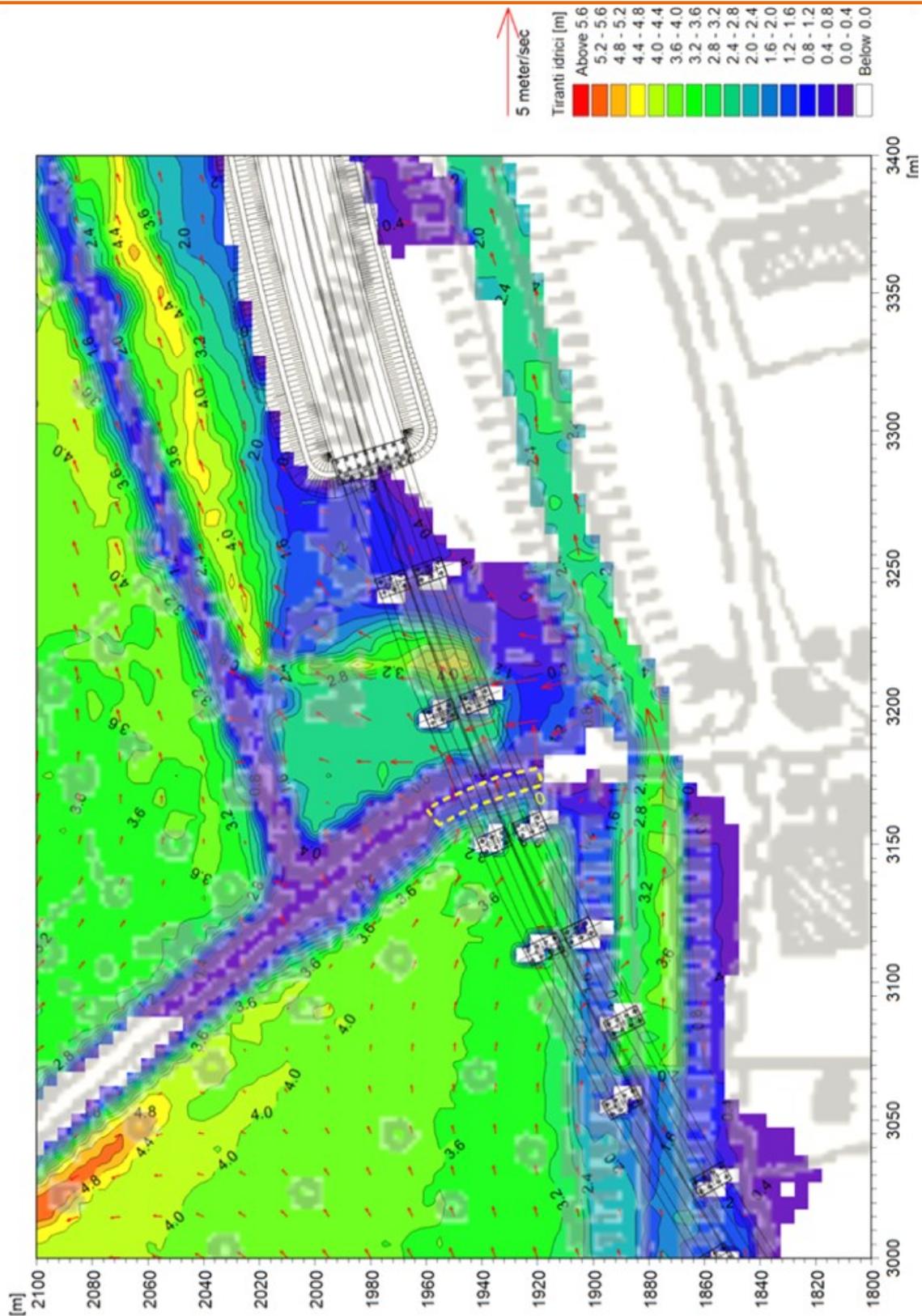


Figura 32 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna 2 minuti dopo l'inizio del crollo del rilevato. Sulla mappa sono indicati il tracciato del rilevato autostradale con indicate le pile del viadotto, la localizzazione della breccia associata al crollo e il campo di vettori di velocità di deflusso.

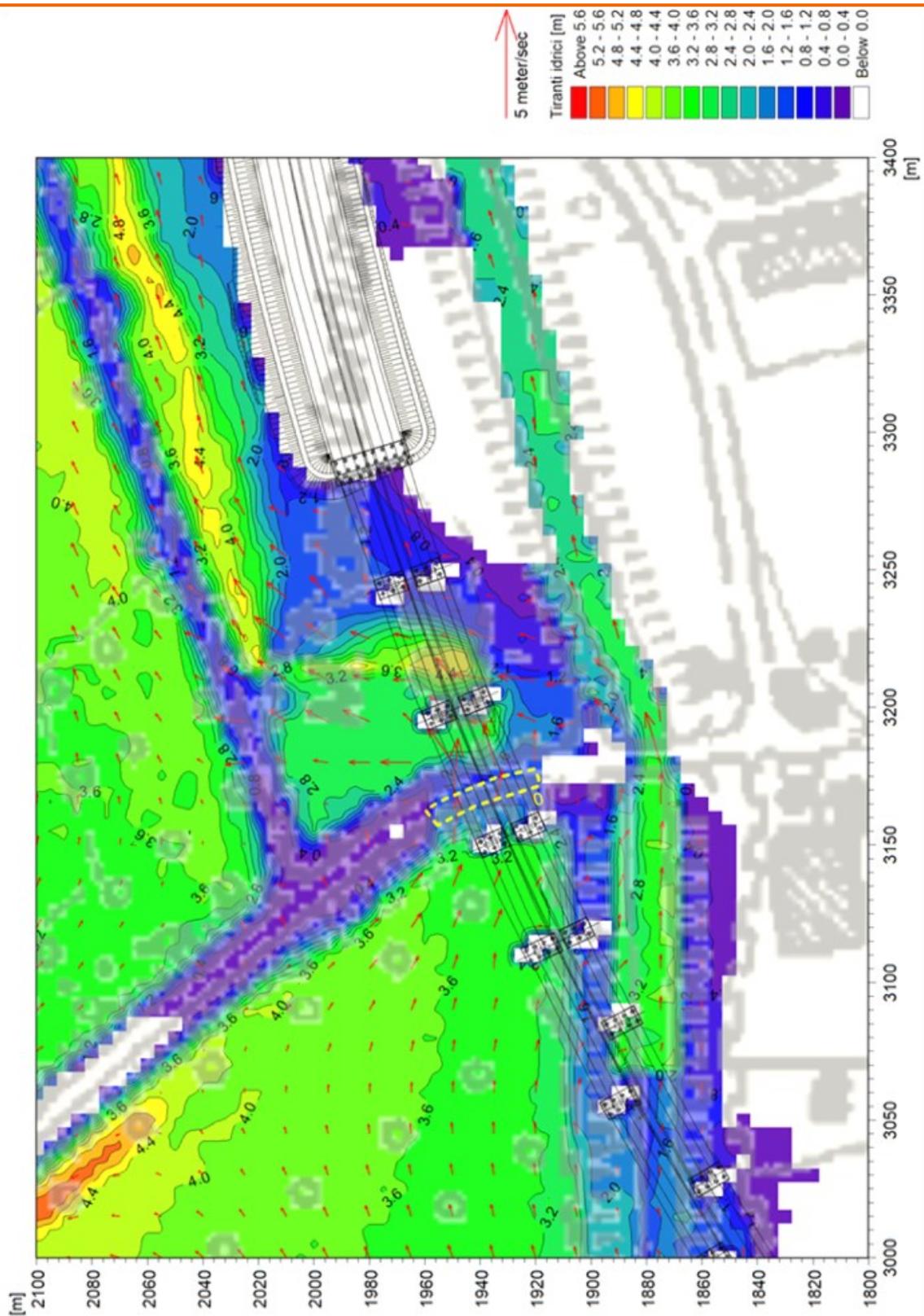


Figura 33 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna 6 minuti dopo l'inizio del crollo del rilevato. Sulla mappa sono indicati il tracciato del rilevato autostradale con indicate le pile del viadotto, la localizzazione della breccia associata al crollo e il campo di vettori di velocità di deflusso.

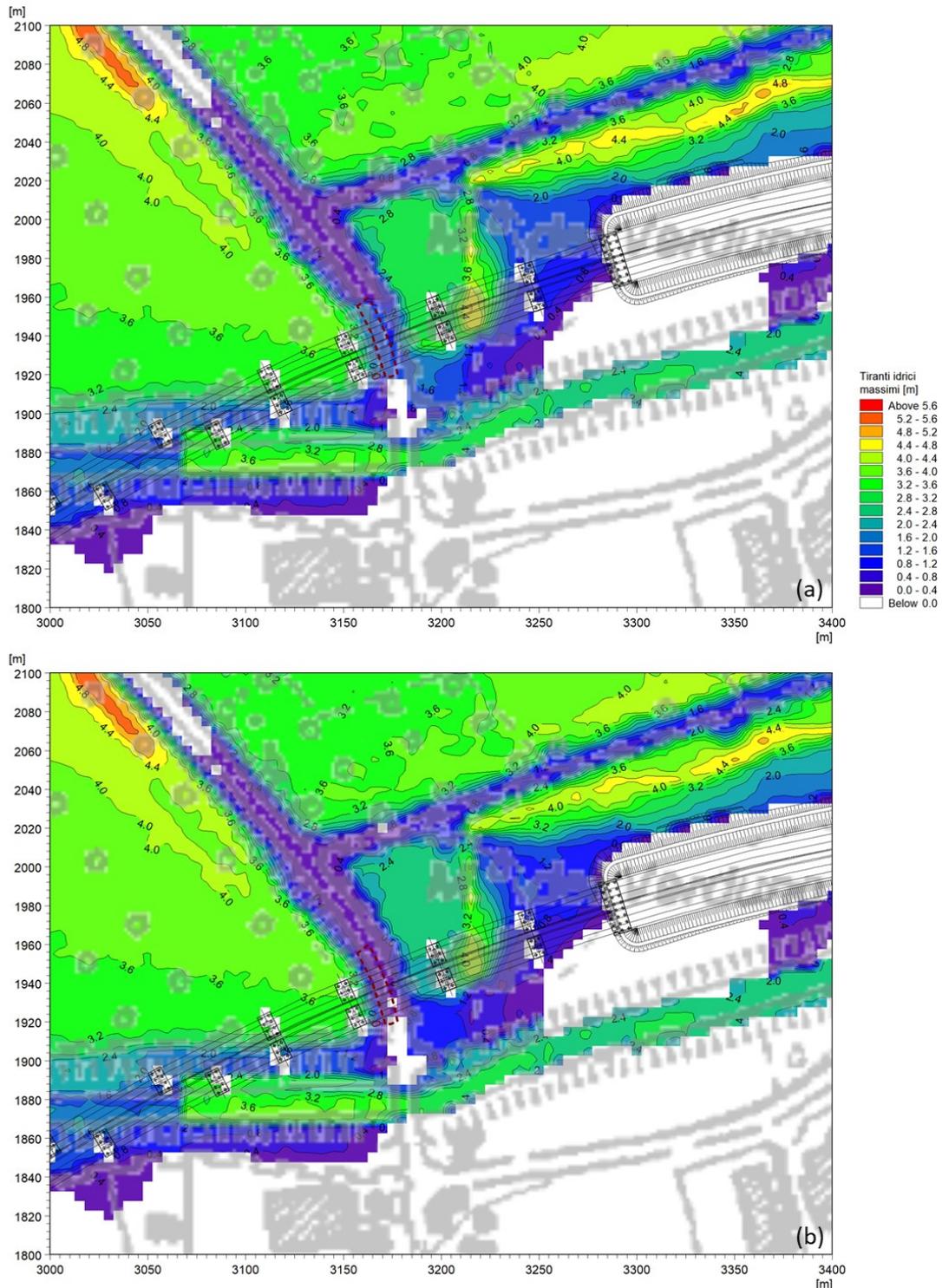


Figura 34 – Distribuzione involuppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna durante l’evento di dam break (a) messa a confronto con la configurazione antecedente al crollo (b), propria dello stato stazionario. Sulla mappa sono indicati il tracciato del rilevato autostradale con indicate le pile del viadotto e la localizzazione della breccia associata al crollo.

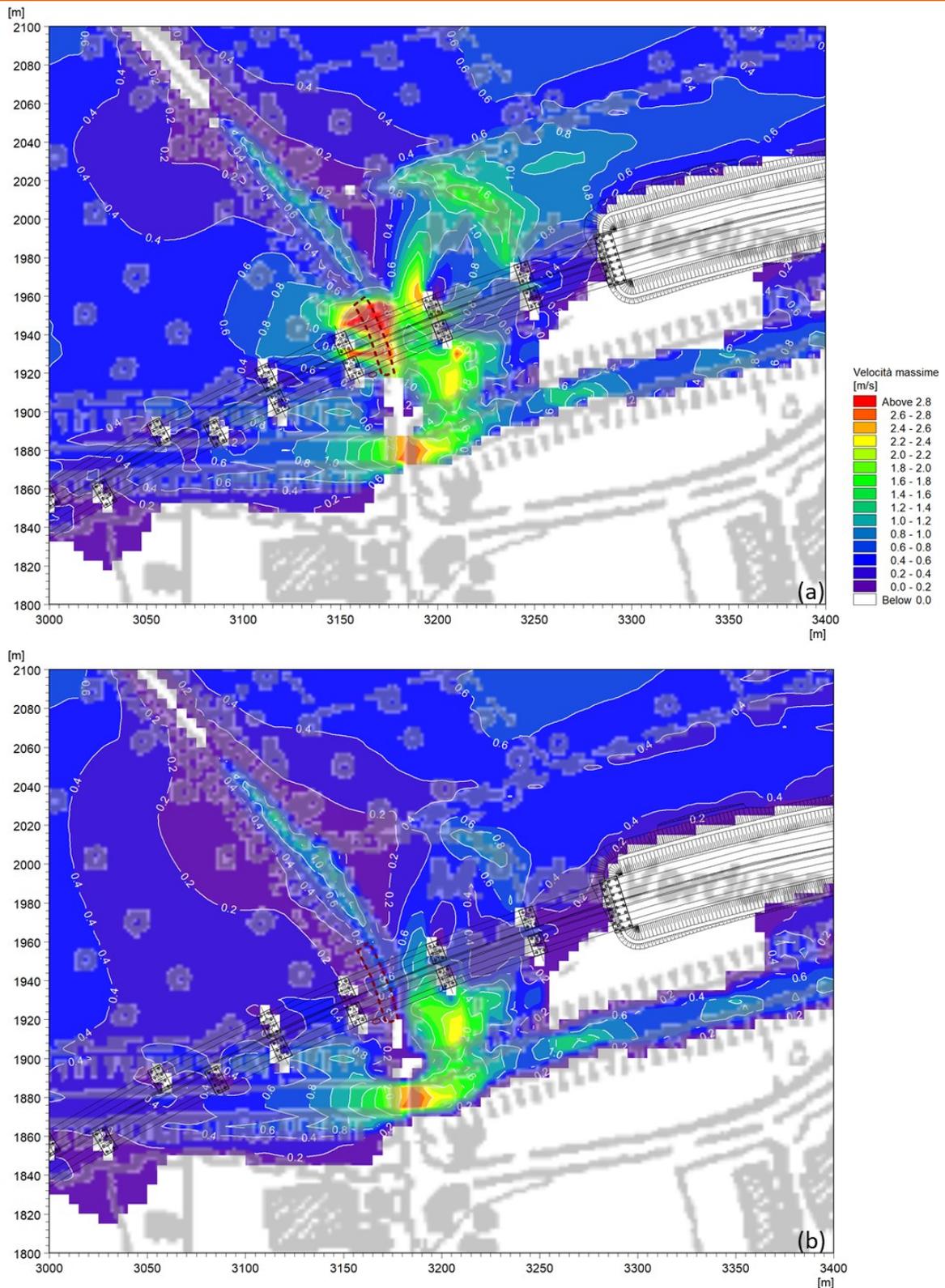


Figura 35 – Distribuzione involuppo delle massime velocità di flusso durante l'evento di dam break (a) messa a confronto con la configurazione antecedente al crollo (b), propria dello stato stazionario. Sulla mappa sono indicati il tracciato del rilevato autostradale con indicate le pile del viadotto e la localizzazione della breccia associata al crollo.

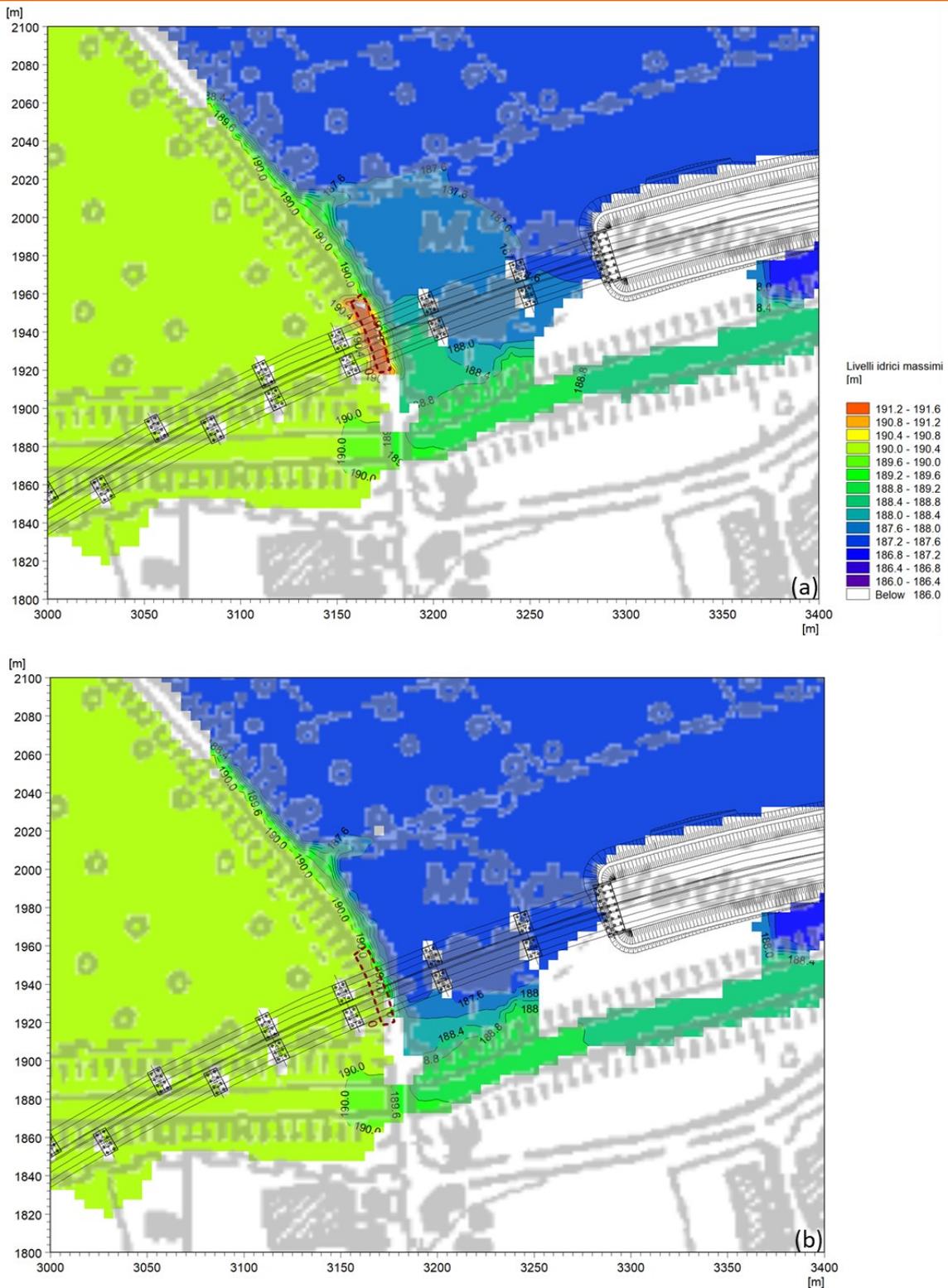


Figura 36 – Distribuzione involuppo della massima quota dei livelli idrici durante l'evento di dam break (a) messa a confronto con la configurazione antecedente al crollo (b), propria dello stato stazionario. Sulla mappa sono indicati il tracciato del rilevato autostradale con indicate le pile del viadotto e la localizzazione della breccia associata al crollo.

Si nota come il crollo produca un incremento localizzato dei tiranti idrici e delle velocità nell'area subito a valle della breccia, andando ad interessare le pile del viadotto e in misura inferiore la spalla del rilevato autostradale.

L'aumento dei tiranti idrici, conseguente alla maggiore portata defluente, risulta più consistente in corrispondenza delle pile localizzate subito a valle della breccia, dove i tiranti idrici massimi crescono di circa 90 cm. In corrispondenza della spalla del rilevato autostradale l'incremento è limitato al valore di circa 40 cm.

Da rilevare come tali incrementi di livello idrico siano connessi a dinamiche di deflusso locali e non vadano a modificare l'estensione delle aree potenzialmente inondabili.

Il deflusso della portata concentrata all'interno della breccia provoca inoltre un incremento locale delle velocità, con valori massimi osservabili entro la breccia stessa, pari a circa 3 m/s.

Rispetto alla condizione precedente al dam break le velocità massime variano da un valore di 1,6 m/s a valori di 2,6 m/s a monte delle pile del viadotto localizzate subito a valle della breccia. Tale incremento delle velocità diminuisce progressivamente procedendo verso valle, e in corrispondenza del rilevato autostradale si registrano valori massimi della velocità di 0,6 m/s a fronte dei valori di 0,2 m/s antecedenti al crollo.

Si tratta di valori che si mantengono compatibili con le caratteristiche delle strutture in progetto, non destando preoccupazioni per l'insorgere di possibili effetti erosivi.