Comune di
Saluggia (VC)

MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO E MESSA IN SICUREZZA DEI SITI CHE OSPITANO RIFIUTI NUCLEARI E DEGLI AMBITI COLLOCATI A TERGO DELLA FASCIA B DI PROGETTO DEL PAI

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologico-idraulica

CODICE DOCUMENTO	ELABORATO
S641-02-00200.DOC	1.2

REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE
00	NOVEMBRE 2023	S. GRIVA	A.DENINA	M. CODO

ORDINE INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TORINO
Dott. Ing. MASSIMO CODO
n° 7197 V

SERVIZI DI INGEGNERIA

HY.M. STUDIO
Ingegneria idraulica

HY.M.STUDIO associazione professionale
sede legale e uffici: Via Pomba, 23 – 10123 Torino – t. 011 5613103 fax 011 5592891
Cod. Fisc./P.IVA 05639220010 - e-mail: hym@hymstudio.it - sito web: www.hymstudio.it

R.U. P. Geom. Ombretta Perolio
(Resp. Area Lavori Pubblici Comune di Saluggia)

RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

INDICE

1. PREMESSA 1

2. RIFERIMENTI DI PROGETTO ED INDICAZIONI DELL'AUTORITA' IDRAULICA 2
2.1 Progetto di Piano del rischio alluvioni. 2

3. INQUADRAMENTO PAI E FASCE FLUVIALI 6

4. MESSA A PUNTO DEL MODELLO BIDIMENSIONALE 7
4.1 Costruzione della griglia di calcolo del modello numerico 2D 7
4.2 Parametri del modello 11
4.3 Condizioni al contorno 13
4.4 Strutture 15

5. SCENARI DI SIMULAZIONE 15
5.1 Scenario attuale-di progetto con tempo di ritorno 200 anni 16
5.2 Scenario attuale con tempo di ritorno 20 anni 20
5.3 Scenario attuale con tempo di ritorno 500 anni 23
5.4 Scenario attuale con tempo di ritorno 1000 anni 26
5.5 Scenario con tempo di ritorno 1000 anni – caso con eventuale argine Tr 1000 anni (non previsto in progetto) 29
5.6 Scenario con tempo di ritorno 200 anni "senza barriere" 33
5.7 Scenario con tempo di ritorno 200 anni con rotta arginale 37
5.8 Scenario con tempo di ritorno 1000 anni con rotta arginale 40
5.9 Confronto tra gli scenari 43

6. CONCLUSIONI 45

Allegato 1 – Descrizione del codice di calcolo MIKE 21 HD

1. PREMESSA

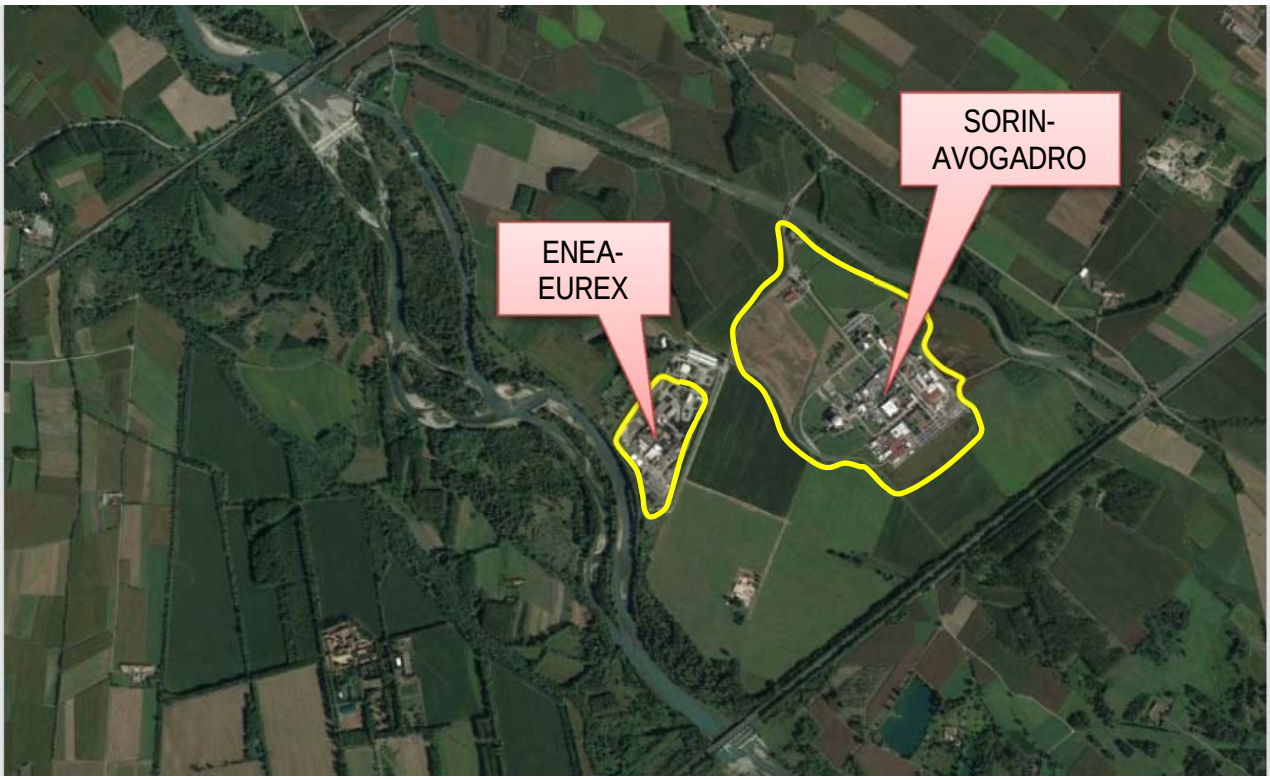
La presente relazione riporta i dati contenuti nell'*analisi idrodinamica e valutazione del rischio idraulico nel tratto di territorio del Comune di Saluggia compreso tra il rilevato ferroviario e il canale Cavour* (Hydrodata – ottobre 2015), assunta come studio di riferimento del PRGC.

Nei paragrafi seguenti, vengono illustrati i risultati delle simulazioni idrodinamiche bidimensionali relative al tratto di Dora Baltea in Comune di Saluggia, nel tratto di territorio compreso tra il rilevato della linea ferroviaria Torino-Milano ed il canale Cavour, entro il quale è ubicato l'insediamento industriale Sorin-Avogadro, in riferimento a due distinti scenari:

- scenario attuale;
- scenario di progetto in base al tracciato della fascia B di progetto attorno al sito Sorin.

Le simulazioni sono state effettuate utilizzando un modello bidimensionale di dettaglio basato sul rilievo LIDAR - modello digitale del terreno (DTM) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (M.A.T.T.M.) realizzato nell'ambito del Piano Ordinario di Telerilevamento Ambientale (POT-A) - opportunamente integrato con i rilievi topografico-batimetrici a terra eseguiti specificatamente allo scopo.

Dopo i paragrafi relativi ai riferimenti normativi, all'inquadramento PAI ed all'illustrazione sintetica delle caratteristiche del modello di simulazione, sono riportate le descrizioni dei dati di input del modello e dei risultati ottenuti in termini di altezze d'acqua sul piano campagna, di quote assolute del pelo libero e di velocità di deflusso, per entrambi gli scenari considerati.



2. RIFERIMENTI DI PROGETTO ED INDICAZIONI DELL'AUTORITA' IDRAULICA

In data settembre 2022, la Direzione Opere pubbliche, Difesa del suolo, Montagna, Foreste Protezione Civile, Trasporti e Logistica - Settore Difesa del Suolo, con nota Classificazione 13.160.80.20 – GPSAP/A18000 - 5/2022A/A1800A, ha fornito precise istruzioni in merito alla definizione del tempo di ritorno di progetto da adottare per l'intervento in oggetto. Se ne riporta, nel seguito, la parte conclusiva:
"Pertanto, d'intesa con l'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, sentita per le vie brevi, si comunica che l'opera arginale a protezione dell'area industriale insistente nel territorio di codesto Comune, dovrà essere dimensionata, coerentemente con le indicazioni del PAI, per una piena di riferimento caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 200 anni".

2.1 Progetto di Piano del rischio alluvioni.

Il Progetto di Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni (Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010), nell'elaborato IV A "Area a rischio significativo di alluvione" - ARS Distrettuale Del Fiume Dora Baltea a Saluggia del 22 dicembre 2014 fornisce i seguenti elementi conoscitivi:

Descrizione dell'ARS di Saluggia e del sistema difensivo

L'area a rischio significativo di Saluggia è posta immediatamente a monte della confluenza in Po, ed è caratterizzata dalla presenza di due importanti insediamenti contenenti scorie nucleari e materiali radioattivi, ubicati all'interno della regione di pertinenza fluviale che nel tratto in questione risulta delimitata con continuità dall'orlo del terrazzo alto.

Tali insediamenti sono posti in sinistra Dora Baltea in Comune di Saluggia, nel tratto compreso fra il ponte ferroviario e il ponte del canale Cavour, e sono: il centro ricerche ENEA all'interno del quale è presente l'impianto nucleare Eurex e il complesso industriale Sorin, presso il quale sono state svolte in passato attività di produzione di radio farmaci, di ricerca in campo nucleare e di raccolta di rifiuti radioattivi e dove è presente il deposito Avogadro con stoccaggio di combustibile irraggiato.

L'intera area golenale in questione, delimitata in fascia B nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF– approvato con DPCM 24 luglio 1998) e nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI – approvato con DPCM 24 maggio 2001), è stata interessata da estesi allagamenti nell'evento dell'ottobre 2000, durante il quale le acque di piena, pur senza interessare direttamente i depositi radioattivi, hanno di fatto circondato gli insediamenti e interessato tutta la viabilità di accesso all'area.

Immediatamente a valle del Canale Cavour e a monte della confluenza in Po, sono inoltre presenti sempre in sinistra idrografica il campo pozzi dell'acquedotto del Monferrato e l'area industriale Teksid, insediamenti anch'essi in parte interessati dagli allagamenti durante l'evento dell'ottobre 2000. I Comuni complessivamente interessati dall'ARS sono quelli di Saluggia, Crescentino, Rondissone, Torrazza Piemonte e Verolengo.

In seguito all'evento del 2000 ed in attuazione ad una specifica Ordinanza del Ministro dell'Interno (n.3130 del 30 aprile 2001), sono stati programmati e ad oggi realizzati gli interventi urgenti di difesa idraulica (argine perimetrale) dell'area ENEA-Eurex, ed è stata aggiornata, in via temporanea, la delimitazione delle fasce fluviali mediante l'inserimento di un limite B di progetto in corrispondenza dell'impianto medesimo (Deliberazione del Segretario Generale n. 75 del 14 giugno 2001). Tale perimetrazione ha carattere

temporaneo in quanto è fatto carico ad ENEA di restituire l'area conformemente alle previsioni del Piano (fascia B) una volta completato il trasferimento delle scorie radioattive e bonificato il sito. I parametri idraulici di riferimento (portata, quote idriche e velocità massime) utilizzate per il dimensionamento delle opere di difesa del sito nucleare sono state definite nell'ambito della suddetta Deliberazione n. 75/2001 sulla base di specifici approfondimenti idraulici effettuati nel maggio 2001 dall'Università di Parma per conto dell'Autorità di bacino.

Descrizione di eventi di piena recenti ed eventuale analisi delle portate di riferimento

L'evento alluvionale di riferimento per l'ARS di Saluggia e più in generale per l'intera asta del fiume Dora Baltea è quello dell'ottobre 2000.

Durante tale evento le acque di piena della Dora Baltea a monte di Saluggia hanno estesamente interessato tutte le aree golenali fino all'orlo del terrazzo alto. Significativi danni si sono verificati in corrispondenza dei ponti, i cui rilevati di accesso, restringendo notevolmente la sezione di deflusso, sono stati fortemente danneggiati. In particolare il rilevato sinistro dell'autostrada Torino-Milano è stato in parte distrutto in corrispondenza di alcuni attraversamenti del reticolo secondario (canale del Rotto). Le acque di piena defluenti attraverso tali brecce sono transitate verso valle fino al ponte ferroviario di Saluggia. In corrispondenza del rilevato sinistro di tale ponte le acque di piena hanno fortemente sollecitato il rilevato medesimo, provocando fenomeni di filtrazione nei terreni del rilevato medesimo e nelle sue fondazioni e la rottura e convogliandosi verso valle in corrispondenza dei due fornici del canale del Rotto e della roggia Camera. A valle di tali fornici le acque di piena si sono riversate nel Canale Farini, la cui rottura della sponda destra ha provocato, unitamente alle acque di esondazione provenienti direttamente dall'alveo della Dora, l'allagamento del sito Sorin e del sito ENEA – Eurex.

A valle del ponte del canale Cavour l'allagamento del campo pozzi del Monferrato è avvenuto a causa delle acque di piena defluenti attraverso i fornici presenti nel rilevato medesimo.

Gli effetti di tale evento alluvionale sono stati cartografati dalla Regione Piemonte mediante fotointerpretazione e sopralluoghi a terra, rappresentando il limite delle aree allagate e alcune informazioni relative alle dinamiche di piena (solchi erosivi, correnti veloci, altezze idriche). Per tale tratto di corso d'acqua è inoltre disponibile una cartografia di dettaglio delle aree allagate e degli effetti indotti realizzata dalla Provincia di Vercelli – Settore Pianificazione territoriale.

La portata di piena dell'evento del 2000 è stata stimata solamente alla stazione di Tavagnasco, posta poco a monte del nodo di Ivrea, in circa 3100 m^3/s (fonte ARPA Piemonte) e costituisce il massimo storico della stazione medesima.

Integrando le informazioni derivanti dai monitoraggi idrologici con le simulazioni modellistiche, nell'ambito dello Studio di fattibilità (AdbPo, 2004) è stata prodotta una descrizione complessiva dell'evento del 2000, in esito alla quale la portata stimata a Saluggia per tale evento è pari a circa 3000 m^3/s.

La portata dell'evento del 2000 ha in termini statistici un tempo di ritorno di poco superiore a 200 anni, stimato considerando anche l'incidenza dell'evento stesso sulle serie storiche.

La portata con TR=200 anni, fissata nella pianificazione di bacino vigente a confluenza Po e stimata

mediante elaborazioni idrologiche ed idrauliche, aggiornate con i dati della piena del 2000, è pari a 2800 m^3/s.

Analisi delle mappe di pericolosità e diagnosi di criticità

La delimitazione delle aree inondabili per lo scenario di elevata e media probabilità (TR 20 e 200 anni), nel tratto di corso d'acqua in questione, è stata effettuata tenendo conto delle aree allagabili delimitate nello Studio di fattibilità (AdbPo, 2004).

Per lo scenario di scarsa probabilità o di evento estremo, si è tenuto conto di tutte le informazioni disponibili, fra cui in particolare il limite di fascia C del PAI, il limite della piena TR 500 dello Studio di fattibilità e le aree allagate durante l'evento massimo storico del 2000.
Le opere di difesa arginale realizzate in seguito all'evento del 2000 e di cui si è tenuto conto nell'ambito della delimitazione delle mappe di pericolosità, sono quelle localizzate in sinistra Dora Baltea a monte del ponte ferroviario di Saluggia, in corrispondenza del sito ENEA – Eurex ed in corrispondenza dello stabilimento Teksid.

Risultano viceversa ancora da completare, in attuazione a quanto previsto dal PAI vigente (fascia B di progetto), le opere di difesa dello stabilimento Sorin, che risulta ancora in parte allagabile, e la chiusura dei fornici del rilevato sinistro del ponte canale Cavour per la difesa del campo pozzi dell'acquedotto del Monferrato. Con riferimento in particolare alla criticità del campo pozzi è stato predisposto ed utilizzato nell'ambito della Variante al PAI del 2008, un approfondimento bidimensionale specifico realizzato nel 2005 da parte dell'Autorità d'Ambito n.5 Astigiano Monferrrato.

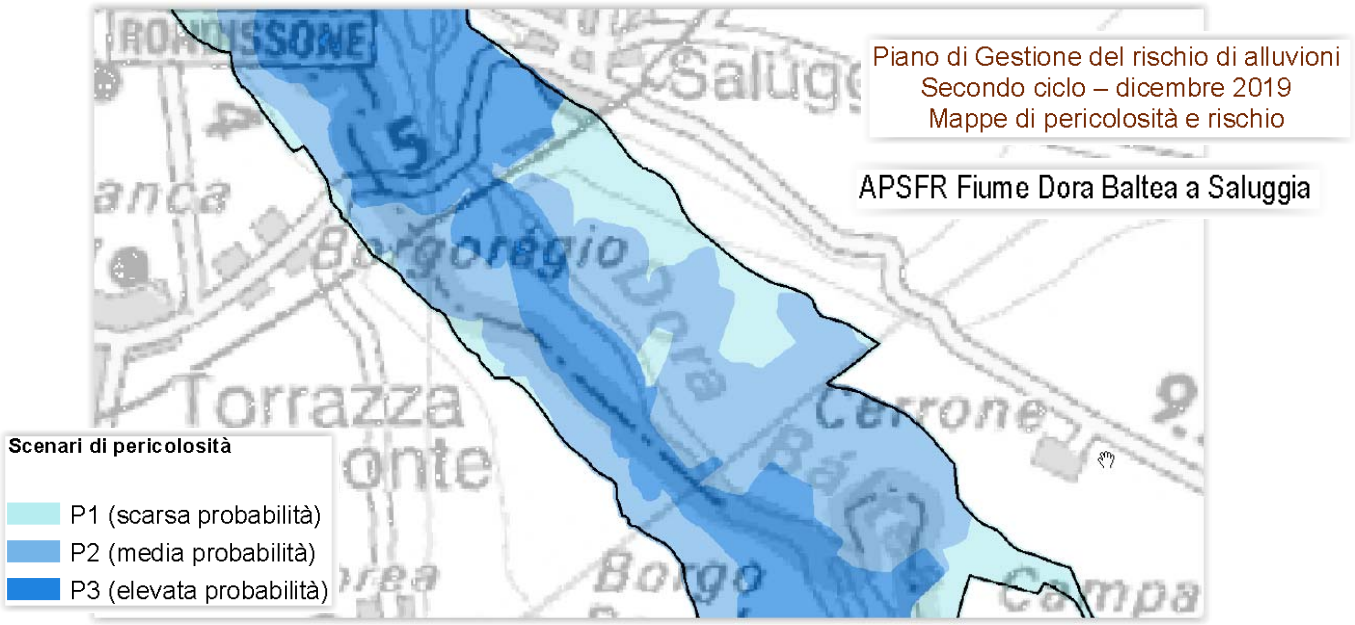
Con riferimento inoltre agli impianti con scorie nucleari deve essere predisposta da parte dei soggetti gestori la verifica del rischio idraulico prevista all'art. 38 ter "Impianti a rischio di incidenti rilevanti e impianti con materiali radioattivi" delle Norme di Attuazione del PAI.

Nel tratto di corso d'acqua in questione sono infine presenti numerosi ponti e traverse irrigue (ponte stradale e ferroviario di Saluggia, traversa canale Farini, ponte canale Cavour, ponte ferroviario e stradale di Verolengo) che, dalle analisi preliminari condotte nell'ambito dello Studio di fattibilità (AdbPo, 2004), non risultano adeguati rispetto al deflusso della piena con TR 200 anni. L'unico ponte sul quale sono stati realizzati interventi di adeguamento è quello dell'Autostrada Torino – Milano, sul quale si è intervenuto nell'ambito del lavori di ampliamento dell'autostrada e contestuale realizzazione del ponte dell'Alta Velocità attualmente presente immediatamente a valle di quello autostradale.
I tiranti medi attesi per lo scenario di piena con TR 200 anni, nelle aree golenali in prossimità degli impianti, sono generalmente inferiori ad 1 metro, con velocità mediamente inferiori a 0,5 m/s.

Nella seduta di Conferenza Istituzionale Permanente AdBPo del 20 dicembre 2019 è stato esaminato il primo aggiornamento delle mappe della pericolosità e del rischio del PGRA (Art. 6 della Direttiva 2007/60). Al fine di garantire il necessario coordinamento con le mappe del primo ciclo e rispondere a quanto richiesto dalla Direttiva 2007/60 per il reporting delle mappe nelle APSFR, l'aggiornamento delle mappe riguarda:
– le mappe di pericolosità (aree allagabili) complessive che costituiscono quadro conoscitivo dei PAI;
– le mappe di rischio (R1, R2, R3, R4) complessive, ai sensi del D. Lgs n. 49/2010;
– le mappe di pericolosità e rischio (aree allagabili, tiranti, velocità, elementi esposti) nelle APSFR, che saranno oggetto di reporting alla Commissione.

Sono in corso le attività per il reporting alla Commissione UE dei dati di pericolosità e rischio (aree allagabili, tiranti, velocità, elementi esposti) nelle APSFR, secondo le specifiche definite a livello nazionale. In data 16 marzo 2020 sono pubblicati gli atti della Conferenza Istituzionale Permanente (Deliberazioni n.7 e 8 del 20 dicembre 2019) e le mappe delle aree allagabili, ai sensi di quanto disposto in dette Deliberazioni.

Da tale data di pubblicazione, nelle aree interessate da alluvioni individuate ex novo nelle mappe pubblicate trovano applicazione le misure temporanee di salvaguardia di cui agli artt. 6 e 7 della Deliberazione CIP n.8/2019.



Obiettivi e misure di prevenzione e protezione (art. 7, comma 3, lettera a del D.lgs 49/2010)

Di seguito sono riportate le misure specifiche previste per l'ARS necessarie per il conseguimento degli obiettivi di mitigazione del rischio. Oltre a tale misure devono comunque attuarsi, come specificato nella parte IIIA della relazione di piano, tutte le azioni già previste nella pianificazione e programmazione di bacino e riguardanti le macrocategorie previste dalla Direttiva (prevenzione, protezione, preparazione, ritorno alla normalità e analisi).

Obiettivi generali di distretto	Obiettivi di ARS	Misure (da attuare al 2021)
MIGLIORARE LA PERFORMANCE DEI SISTEMI DIFENSIVI ESISTENTI	Garantire un livello di sicurezza adeguato agli insediamenti presenti	Predisporre la progettazione di fattibilità ed individuare le fonti di finanziamento degli interventi di difesa non ancora realizzati, in attuazione delle fasce B di progetto del PAI (stabilimento Sorin e campo pozzi dell'acquedotto del Monferrato).
RIDURRE L'ESPOSIZIONE AL RISCHIO	Verificare il rischio idraulico a cui sono soggetti gli impianti con materiali radioattivi, garantire adeguate condizioni di sicurezza durante gli eventi di piena e monitorare il progressivo trasferimento delle scorie e bonifica dei siti	Predisporre la verifica delle condizioni di rischio idraulico degli impianti con materiali radioattivi presso i siti Enea – Eurex e Sorin, progettare e realizzare gli eventuali interventi necessari a garantire adeguate condizioni di sicurezza durante gli eventi di piena e monitorare, mediante report annuali, il progressivo trasferimento delle scorie e bonifica dei siti
	Ridurre l'interferenza dei manufatti di attraversamento e trasversali con il deflusso delle piene	Predisporre la verifica della compatibilità idraulica dei ponti e dei manufatti trasversali, progettare e individuare le fonti di finanziamento degli interventi di adeguamento.

3. INQUADRAMENTO PAI E FASCE FLUVIALI

Si riporta nel seguito (figure a1-a2) la rappresentazione-delimitazione delle fasce fluviali del sito di interesse (fonte AdBpo ed AIPO).

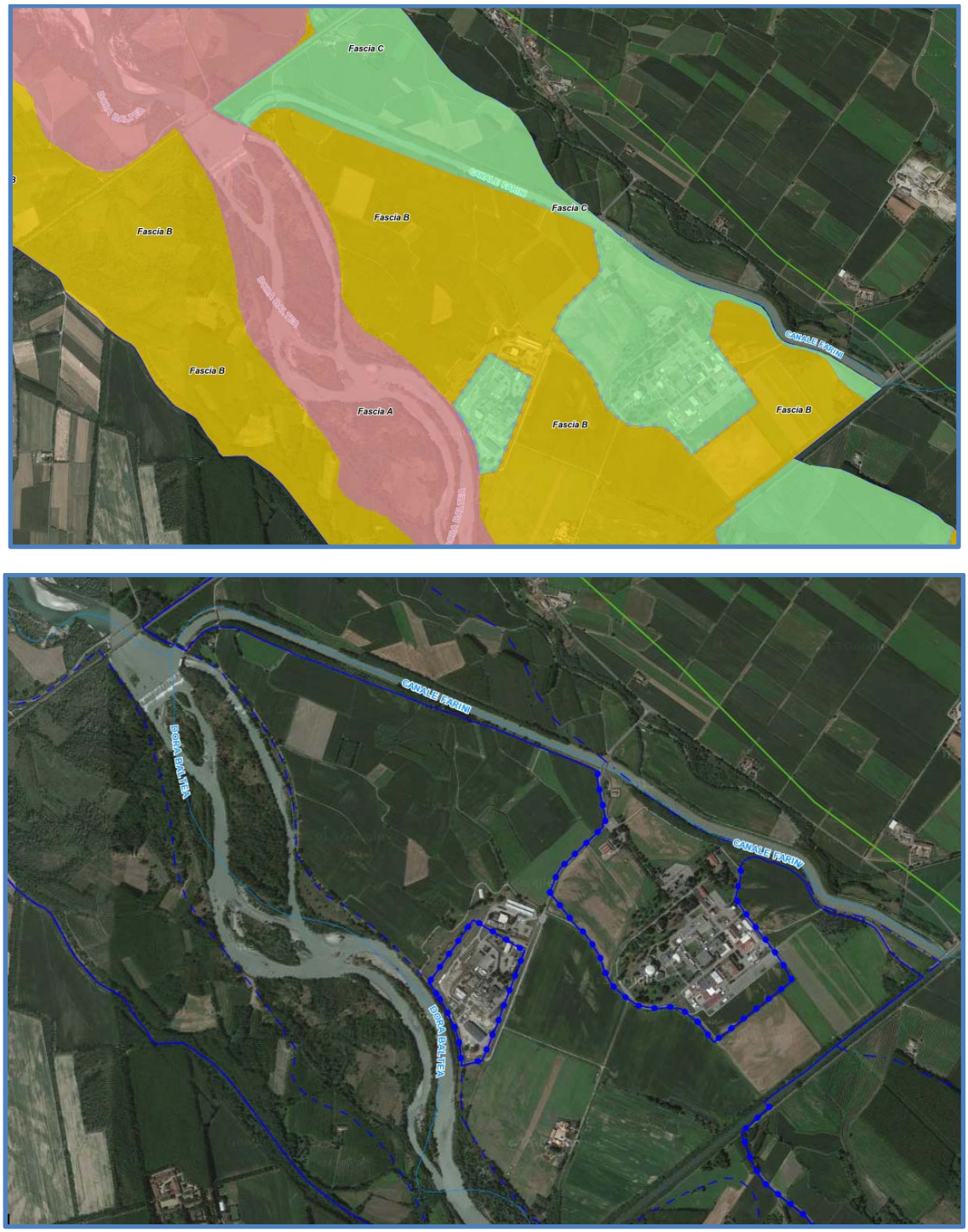


Figura a1 - Rappresentazione delle fasce fluviali nell'area in esame.

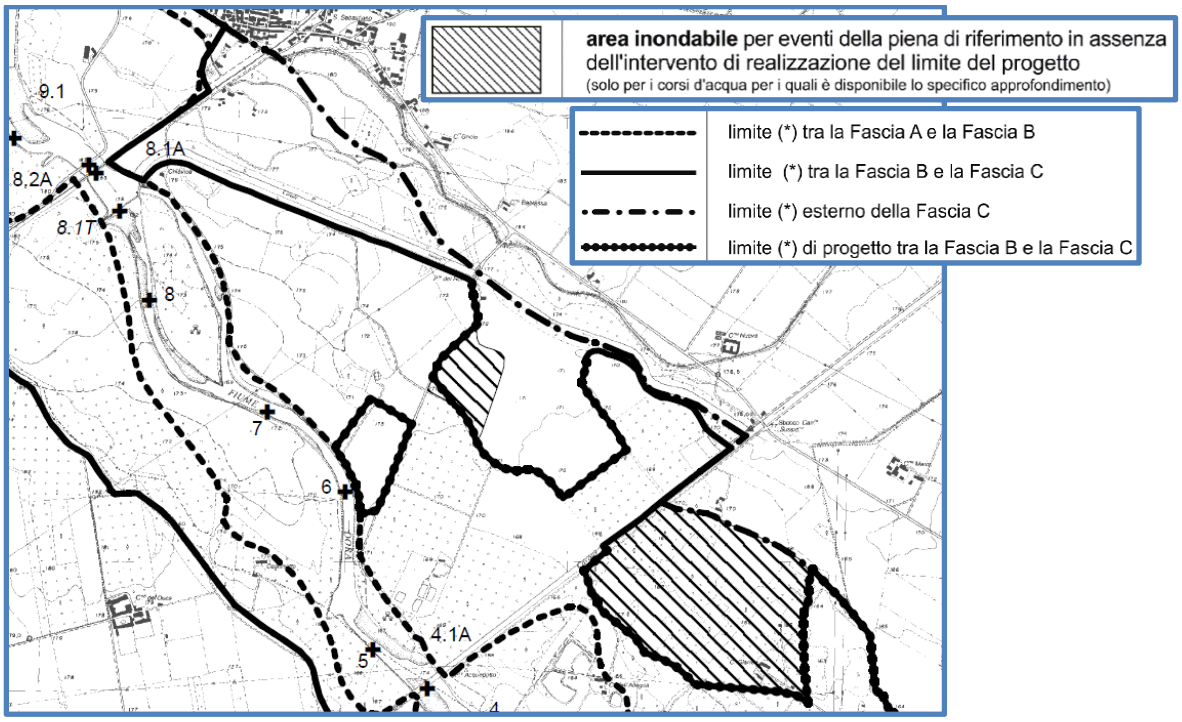


Figura a2– Rappresentazione delle fasce fluviali nell'area in esame.

4. MESSA A PUNTO DEL MODELLO BIDIMENSIONALE

Il modello bidimensionale del nodo di Saluggia, compreso tra il ponte ferroviario e il canale Cavour, è stato messo a punto utilizzando il codice di calcolo bidimensionale MIKE 21 del DHI (vedi descrizione in allegato 1).
Il modello rappresenta la geometria dell'alveo e delle aree golenali della Dora Baltea utilizzando una griglia di calcolo a maglia 5 m derivante dal rilievo LIDAR del MATTM (elaborazione 2014), opportunamente integrato per una migliore caratterizzazione geometrica dell'alveo inciso della Dora Baltea e per una più precisa ed aggiornata descrizione geometrica degli argini, muri e rilevati stradali, in funzione dei rilievi topografico-batimetrici di dettaglio appositamente condotti.

Per la taratura del modello 2D si è fatto riferimento ai risultati della simulazione della situazione attuale per l'evento di progetto con tempo di ritorno 200 anni condotta con il modello 2D dell'Autorità di Bacino del fiume Po (AdBPo) messo a punto da HYDRODATA in uno studio pregresso[1].
Come input idrologico sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena di assegnato tempo di ritorno (20, 200, 500 e 1000 anni) in ingresso nella Dora Baltea a Saluggia.

4.1 Costruzione della griglia di calcolo del modello numerico 2D

In un modello bidimensionale alle differenze finite, come MIKE 21, la descrizione geometrica del terreno è eseguita definendo la quota media del terreno in ogni cella di calcolo. Tale valore è usualmente calcolato, a partire dai dati rilevati, mediante tecniche di interpolazione.

[1] Autorità di Bacino del Fiume Po - Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Baltea nel tratto da Aymavilles alla confluenza in Po – HYDRODATA 2002.

A partire dai punti del rilievo LIDAR disponibile (con risoluzione su celle di dimensione pari a circa 1 m) è stata definita la batimetria del modello su una griglia rettangolare, escludendo a priori tutte le celle con quota superiore a 185 m s.m. (celle di non flusso o inattive). Fondamentale è stata la definizione della dimensione del passo della griglia, che influenza direttamente i tempi di calcolo e l'accuratezza spaziale della soluzione.

All'aumentare del passo di griglia diminuiscono i tempi di calcolo, ma diminuisce l'accuratezza spaziale. La scelta deve quindi essere un compromesso tra le due esigenze. Una buona regola è quella di descrivere l'alveo inciso con almeno 5-6 punti.

In questo caso si è deciso di adottare una griglia di calcolo a maglia 5x5 m. Vista la conformazione rettangolare lunga e stretta dell'area in esame si è deciso di operare una rotazione planimetrica dei punti quotati del DEM pari a 38°, in modo da ridurre al minimo il numero di celle del modello ed avere un'orientazione del flusso nella direzione Nord-Sud con i rilevati del ponte ferroviario e del canale Cavour circa orizzontali. La griglia di calcolo presenta complessivamente 705 righe x 521 colonne.

Nella Figura 1 è riportata la batimetria (o geometria di input) del modello relativa allo scenario attuale mentre nella Figura 2 è rappresentato un particolare di quella di progetto.

In grigio sono evidenziate le zone escluse dal calcolo (celle inattive) perché considerate non allagabili (essenzialmente le aree con quota maggiore di 185 m s.m.). In verde scuro sono evidenziate le aree più depresse (alveo della Dora) mentre in giallo sono distinguibili gli edifici, i rilevati stradali, ferroviario e del Canale Cavour nonché le ulteriori aree in rilievo.

I fabbricati presenti nell'area di studio, sia interni che esterni ai siti ENEA-Eurex e Sogin-Avogadro, sono stati perimetrati e esclusi dalle celle di calcolo, per meglio verificarne l'eventuale effetto sul deflusso della piena.

Rispetto al DTM di rilievo, nel modello è stata opportunamente modificata la zona di imbocco in corrispondenza dell'alveo della Dora 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 nei seguenti punti:

- all'uscita della Dora dal modello a valle del Canale Cavour, per facilitare l'assegnazione delle condizioni al contorno di valle;
- nell'alveo inciso, dove il LIDAR manca della porzione batimetrica (punti al di sotto del livello dell'acqua al momento del rilievo), per descrivere correttamente l'assetto attuale dell'alveo sulla base delle nuove sezioni di rilievo appositamente eseguite;
- nello scenario di progetto, lungo il tracciato della fascia B di progetto per rappresentare l'effetto delle protezioni idrauliche del sito Sorin;
- in alcuni altri scenari modifiche locali sono state apportate per verificarne l'effetto sui risultati, come descritto in dettaglio nel seguito.

Sulla base del rilievo sono state inoltre verificate e aggiornate dove necessario le quote corrispondenti a elementi singolari di particolare interesse per l'evoluzione delle simulazioni, quali il muro antialluvione realizzato attorno al sito ENEA-Eurex, l'argine realizzato lungo l'asse della strada "della Dorona" sul ciglio di sponda sinistra, i corpi stradali che attraversano le aree coltivate.

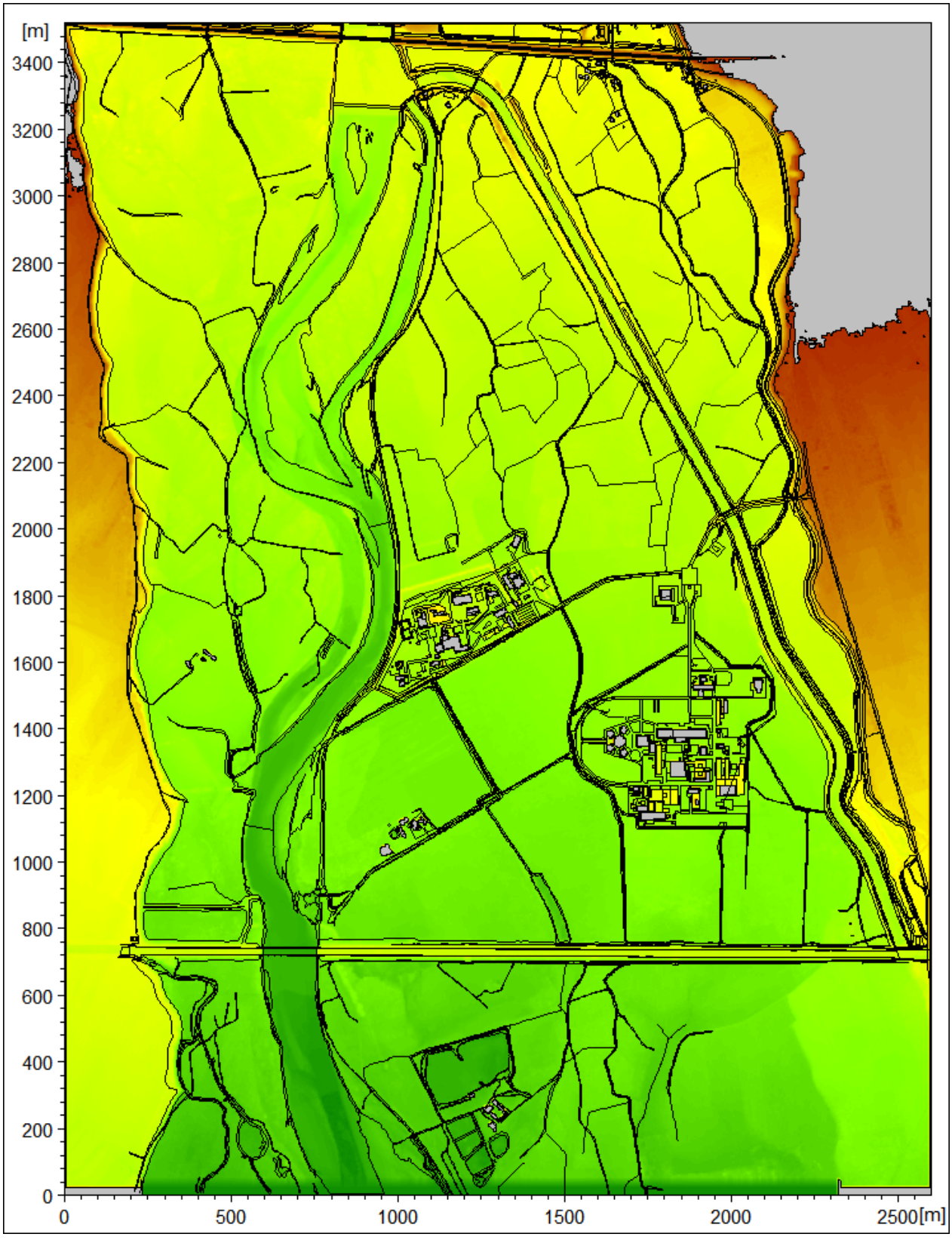


Figura 1 - Rappresentazione della batimetria del modello 2D nello scenario attuale.

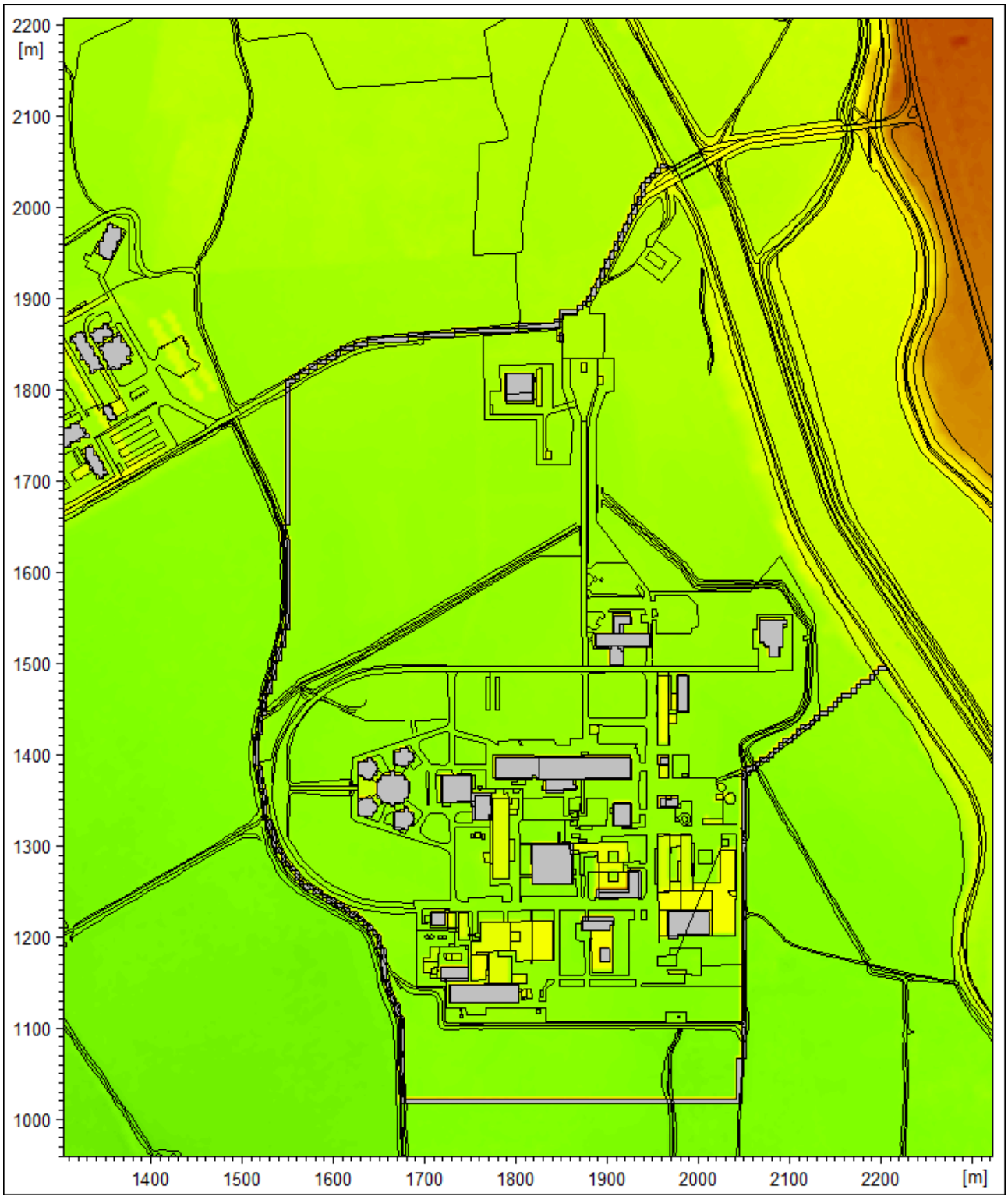


Figura 2 - Particolare della batimetria del modello 2D nello scenario di progetto.

4.2 Parametri del modello

Il modello di simulazione oltre alla descrizione geometrica e alle condizioni al contorno, descritte nel paragrafo successivo, ha bisogno di un'altra serie di parametri che sono: passo di tempo di integrazione del sistema, coefficienti di scabrezza e coefficiente di viscosità turbolenta ("eddy viscosity").

Come passo di tempo di integrazione è stato utilizzato un valore pari a 0,5 secondi, onde evitare problemi di instabilità numerica.

La viscosità turbolenta, legata alla non uniforme distribuzione del campo delle velocità, è 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 0,5 m^2/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. Tale parametro è difficilmente valutabile con precisione ed è abitualmente utilizzato per tarare il modello.

Nel caso in esame la scabrezza è stata definita a seguito di una dettagliata analisi relativa all'uso del suolo e alle specificità delle diverse aree potenzialmente allagabili.

In particolare si è fatto riferimento alla distribuzione areale dei coefficienti di scabrezza di Strickler utilizzata nel modello dell'Autorità di Bacino del Fiume Po nello studio pregresso citato, verificandone con specifici sopralluoghi la congruenza con lo stato attuale dei luoghi, ed apportando limitate variazioni, in particolare nell'alveo inciso della Dora, in corrispondenza della "savanella" realizzata in prossimità del sito ENEA, e nel canale scaricatore del Farini (vedi Figura 3).

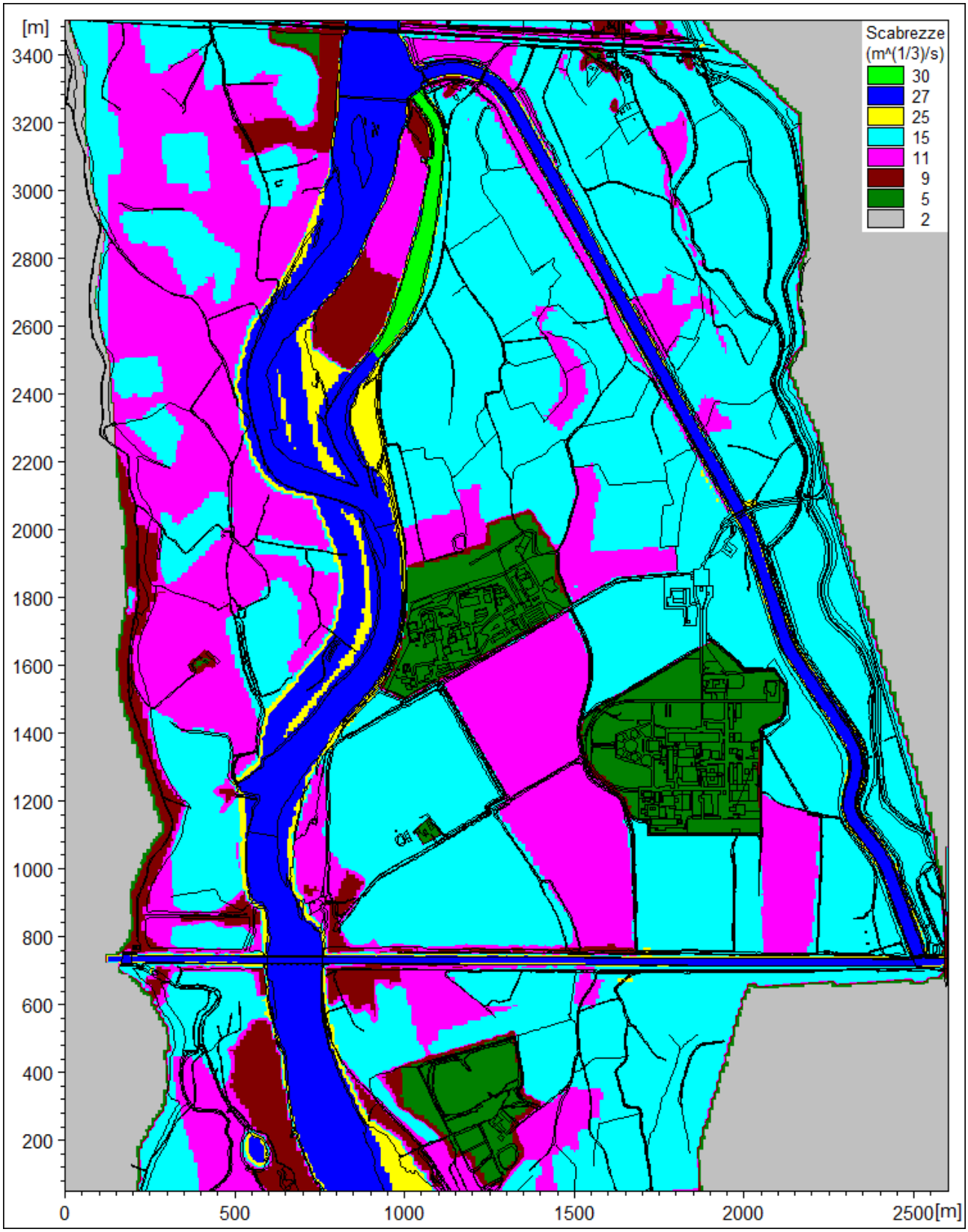


Figura 3 – Mappa delle scabrezze (espresse secondo Strickler) utilizzate nel modello 2D.

4.3 Condizioni al contorno

Le analisi sono state effettuate, attraverso simulazioni in moto vario, considerando gli eventi di piena di progetto di assegnato tempo di ritorno pari a 20, 200, 500 e 1000 anni.

Le condizioni al contorno imposte sono state le seguenti:

- idrogramma di portata di piena in ingresso nella Dora Baltea, lato Nord del modello, di assegnato tempo di ritorno;
- idrogramma di livello in corrispondenza dell'uscita della Dora dal modello, lato Sud, di pari tempo di ritorno.

Gli idrogrammi di portata e livello con tempi di ritorno 200 e 500 anni sono gli stessi già adottati nel modello dell'Autorità di Bacino del Po nello studio pregresso citato, di riferimento per la pianificazione vigente.

Gli idrogrammi di portata e livello con tempi di ritorno 20 e 1000 anni sono invece stati derivati dai precedenti mediante coefficienti di proporzionalità. Come meglio descritto nella relazione generale, alla quale si rimanda, la portata al colmo associata al tempo di ritorno di 1000 anni non deriva da una specifica analisi idrologico-idraulica, ma è stata assunta pari a 4000 m^3/s a seguito di confronto con Regione Piemonte e Autorità di Bacino, con riferimento alle indicazioni della Deliberazione n. 75/2001 del 14 giugno 2001 di AdBPo.

Nella Tabella 1 sono indicati i valori delle portate al colmo di assegnato tempo di ritorno considerati nel presente studio.

Nella Figura 4 sono rappresentati gli idrogramma di portata inseriti nel modello come condizioni al contorno di monte mentre nella Figura 5 sono riportati quelli di livello imposti come condizioni al contorno di valle.

Le condizioni al contorno risultano applicate in punti sufficientemente lontani dall'area di interesse da poter considerare del tutto trascurabili eventuali errori commessi nella loro definizione.

TR	Q (m^3/s)
20	1600
200	2800
500	3390
1000	4000

Tabella 1 - Portate al colmo di assegnato tempo di ritorno.

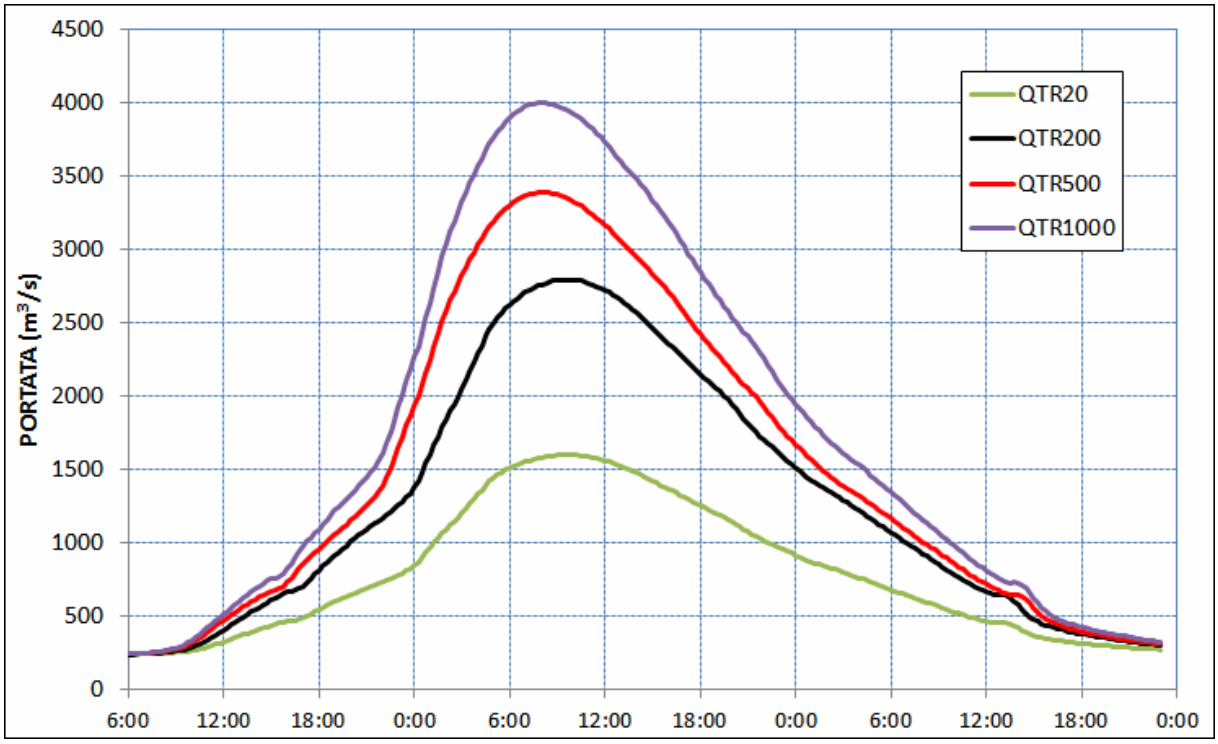


Figura 4 - Idrogrammi di portata in ingresso al modello.

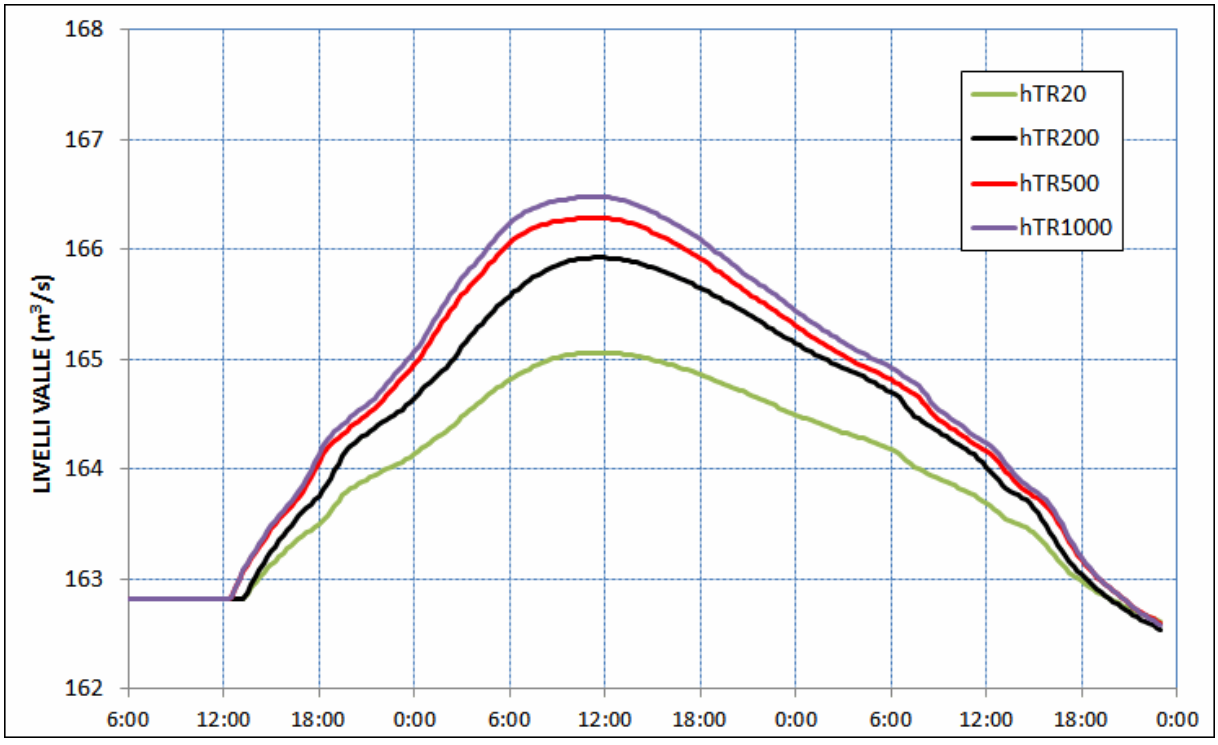


Figura 5 - Idrogrammi di livello imposti al modello come condizioni al contorno di valle.

4.4 Strutture

Nel modello sono state considerate chiuse tutte le paratoie di regolazione del Canale Farini, sia quelle di accesso al canale stesso che quelle relative al suo scaricatore, in accordo con le procedure di gestione della piena adottate dalla Coutenza. La geometria dei manufatti è tale da non consentire lo sfioro al di sopra delle paratoie.
La traversa di presa è stata descritta nel modello 2D assegnando alle corrispondenti celle della griglia di calcolo le quote misurate nell'ambito dei rilievi topografici condotti nel presente studio.
Il ponte del Canale Cavour (vedi Figura 6) è stato rappresentato nell'ambito del modello con una struttura tipo "culvert" di forma geometrica variabile secondo una relazione quota-larghezza che tiene conto della luce libera al deflusso, in modo da poter simulare correttamente l'effetto di rigurgito indotto dallo stesso sia nelle condizioni di deflusso a pelo libero che in pressione: si è infatti verificato che per gli eventi di piena di maggiore gravosità il ponte funziona in pressione, vista la quota di intradosso pari a 169,17 m s.m..
La quota di sommità delle sponde del canale Cavour è pari a circa 174,95-175,00 m s.m.
I fornici presenti sul rilevato del canale, in sponda sinistra, sono stati considerati chiusi, come meglio descritto nella relazione generale, in accordo con lo stato di progetto da pianificazione vigente che ne prevede la chiusura con delle chiaviche.

Inoltre si è considerato che le opere di difesa realizzate a monte del rilevato ferroviario (argine e chiaviche del canale del Rotto e della roggia Camera) siano (come verificato) in buono stato di efficienza e funzionali, evitando quindi di dover inserire nel modello un'immissione di portata a tergo del canale Farini.

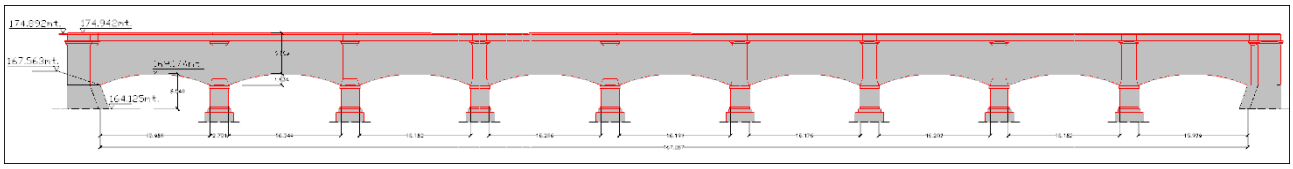


Figura 6 - Prospetto di rilievo del ponte canale Cavour.

5. SCENARI DI SIMULAZIONE

Con il modello sono stati eseguiti i seguenti scenari di simulazione (nel seguito descritti con migliore dettaglio):

- SIM-ATTUALE-di progetto-TR200: scenario attuale con tempo di ritorno 200 anni, utilizzato anche per la taratura del modello attraverso il confronto dei risultati ottenuti con quelli relativi al modello pregresso dell'Autorità di Bacino del Po, rappresentante anche lo scenario di progetto TR200.
- SIM-ATTUALE-TR20: scenario attuale con tempo di ritorno 20 anni;
- SIM-ATTUALE-TR500: scenario attuale con tempo di ritorno 500 anni;
- SIM-ATTUALE-TR1000: scenario attuale con tempo di ritorno 1000 anni;
- SIM-argine TR1000: scenario con eventuale argine Tr1.000 con tempo di ritorno 1000 anni;
- SIM-TR200-SENZA_BARRIERE: scenario con tempo di ritorno 200 anni in cui si è ipotizzata l'assenza della strada che dal sito EUREX costeggia il lato del sito Sorin-Avogadro prossimo al reattore e l'assenza del muretto di recinzione lungo il lato opposto verso il Canale Farini;
- SIM-TR200-ROTTURA_ARGINE: scenario con tempo di ritorno 200 anni in cui si è ipotizzata l'assenza (o la rotta) del tratto di sponda arginale della Dora Baltea in sinistra orografica in un tratto in curva di circa 200 m presente a metà tra l'opera di presa del Canale Farini e il sito EUREX;

- SIM-TR1000- ROTTURA_ARGINE: scenario con tempo di ritorno 1000 anni nelle stesse condizioni dello scenario precedente.

5.1 Scenario attuale-di progetto con tempo di ritorno 200 anni

La simulazione dello scenario attuale con tempo di ritorno 200 anni (SIM-ATTUALE-di progetto-TR200) rappresenta lo stato di fatto delle opere e della topografia della zona in esame in base ai rilievi in campo condotti allo scopo. Tale simulazione, come vedremo nel seguito, è rappresentativa anche dello stato di progetto.

Con questa simulazione si è verificato che i risultati ottenuti in termini di massime quote del pelo libero di piena nei pressi del sito SORIN fossero del tutto confrontabili con quelli calcolati nello studio dell'Autorità di Bacino del Po (alla base della pianificazione vigente) a parità di condizioni al contorno e scabrezze imposte.

Il modello messo a punto nel presente studio differisce da quello dello studio pregresso solo per i seguenti aspetti:

- il DTM di base impiegato è il rilievo LIDAR più aggiornato disponibile, che si è dimostrato comunque sostanzialmente congruente con i rilievi utilizzati nello studio pregresso;
- la griglia di calcolo è a maglia 5x5 m invece che 10x10m, quindi di maggiore dettaglio;
- il ponte del canale Cavour è inserito come struttura di tipo "culvert" interna a MIKE 21, mentre nell'altro modello è stato rappresentato come "culvert" di un modello MIKE 11 accoppiato a MIKE 21 (codice di calcolo MIKE Flood).

Come taratura del modello sono stati pertanto semplicemente calibrati i parametri di controllo della simulazione del ponte del canale Cavour, ottenendo una quota di livello massima a valle del sito Sorin-Avogadro pari a 169,90 m s.m., praticamente coincidente con il valore ottenuto con il precedente modello (169,91 m s.m.).

Nella Figura 7 sono riportati i tiranti idrici massimi calcolati col modello.

In golena sinistra, a monte del sito EUREX la sponda arginale della Dora contiene i livelli di piena. Questa risulta essere la principale differenza rispetto alle simulazioni dello Studio di Fattibilità AdBPo, ed è conseguente alla realizzazione del rilevato arginale in asse alla strada "della Dorona".

L'esondazione che si verifica risale da valle per effetto del rigurgito indotto dal ponte del Canale Cavour; in corrispondenza del sito Sorin gli allagamenti risulterebbero contenuti (sulla base delle caratteristiche geometriche rilevate) dalla presenza sia del rilevato della stradina locale (lato fiume) che del muro di recinzione lato canale Farini e Sud-Est. Si evidenzia tuttavia come tali elementi non siano stati realizzati considerando che potessero rivestire la funzione di contenimento dei livelli di piena.

Nella seguente Figura 8 è rappresentata la mappa delle massime velocità di deflusso: in corrispondenza del sito SORIN si osservano valori estremamente ridotti di velocità, generalmente inferiori a 0,25 m/s, in quanto la risalita da valle avviene in modo relativamente lento e graduale.

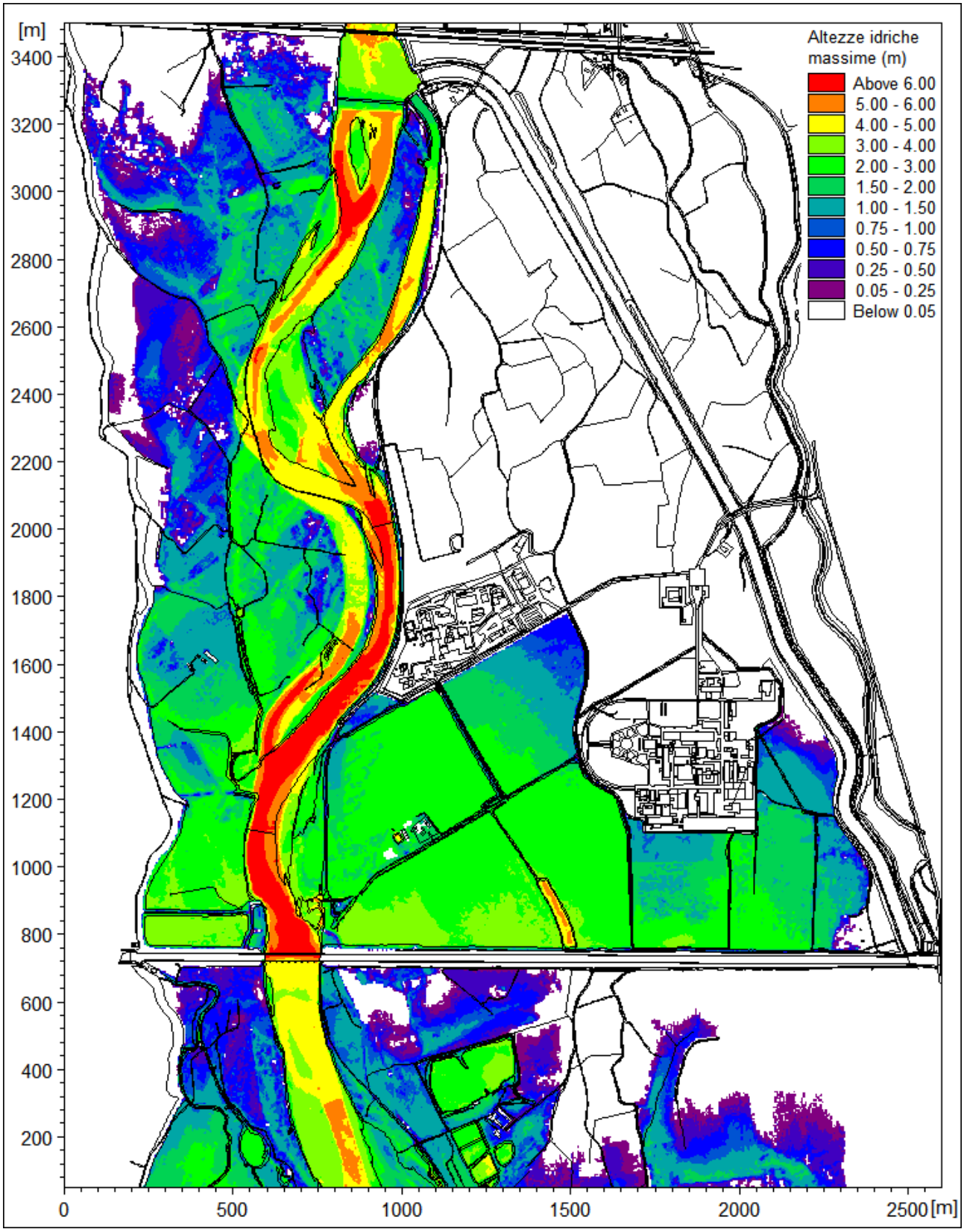


Figura 7 - Scenario attuale con tempo di ritorno 200 anni. Mappa dei tiranti idrici massimi.

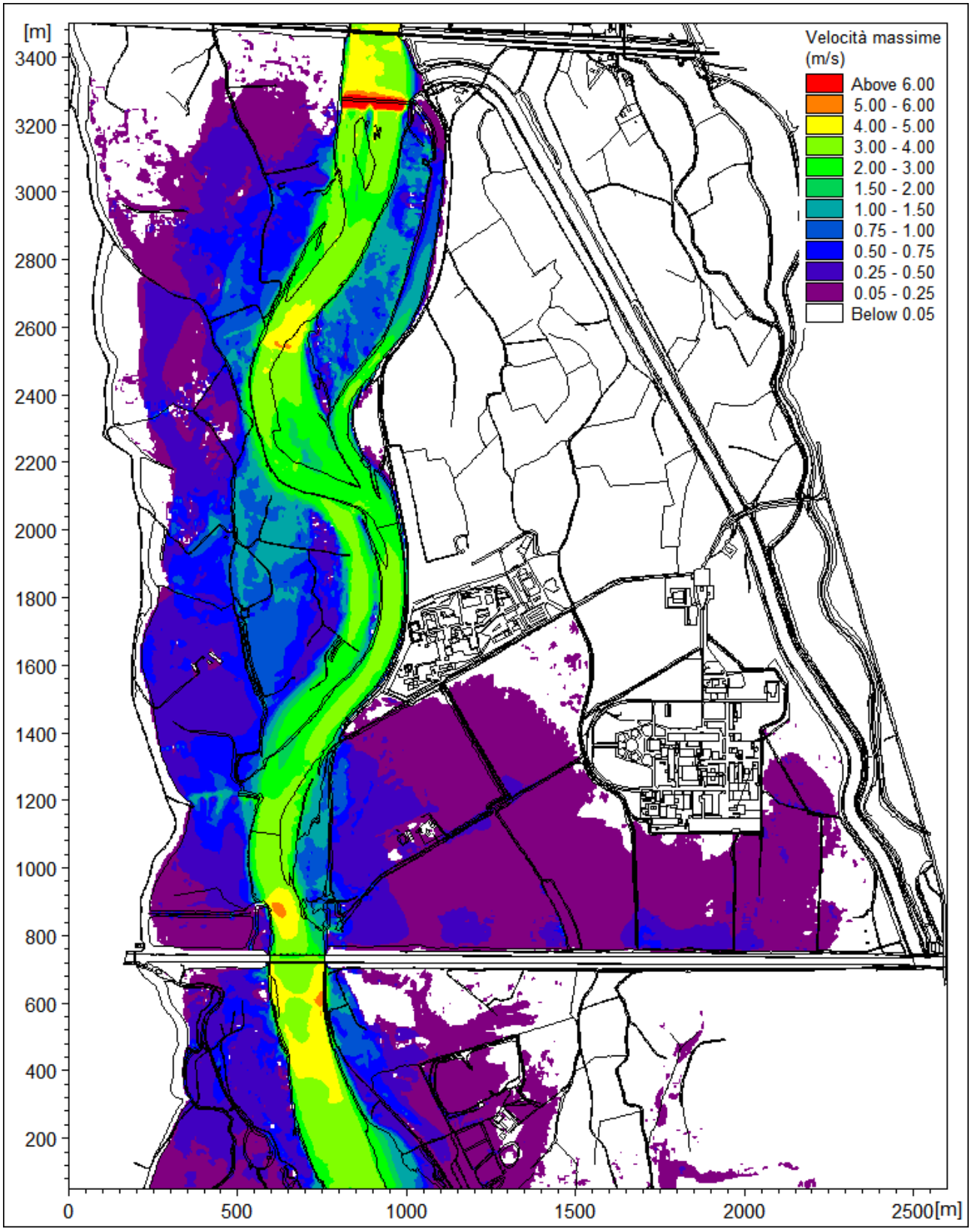


Figura 8 - Scenario attuale con tempo di ritorno 200 anni. Mappa delle velocità massime.

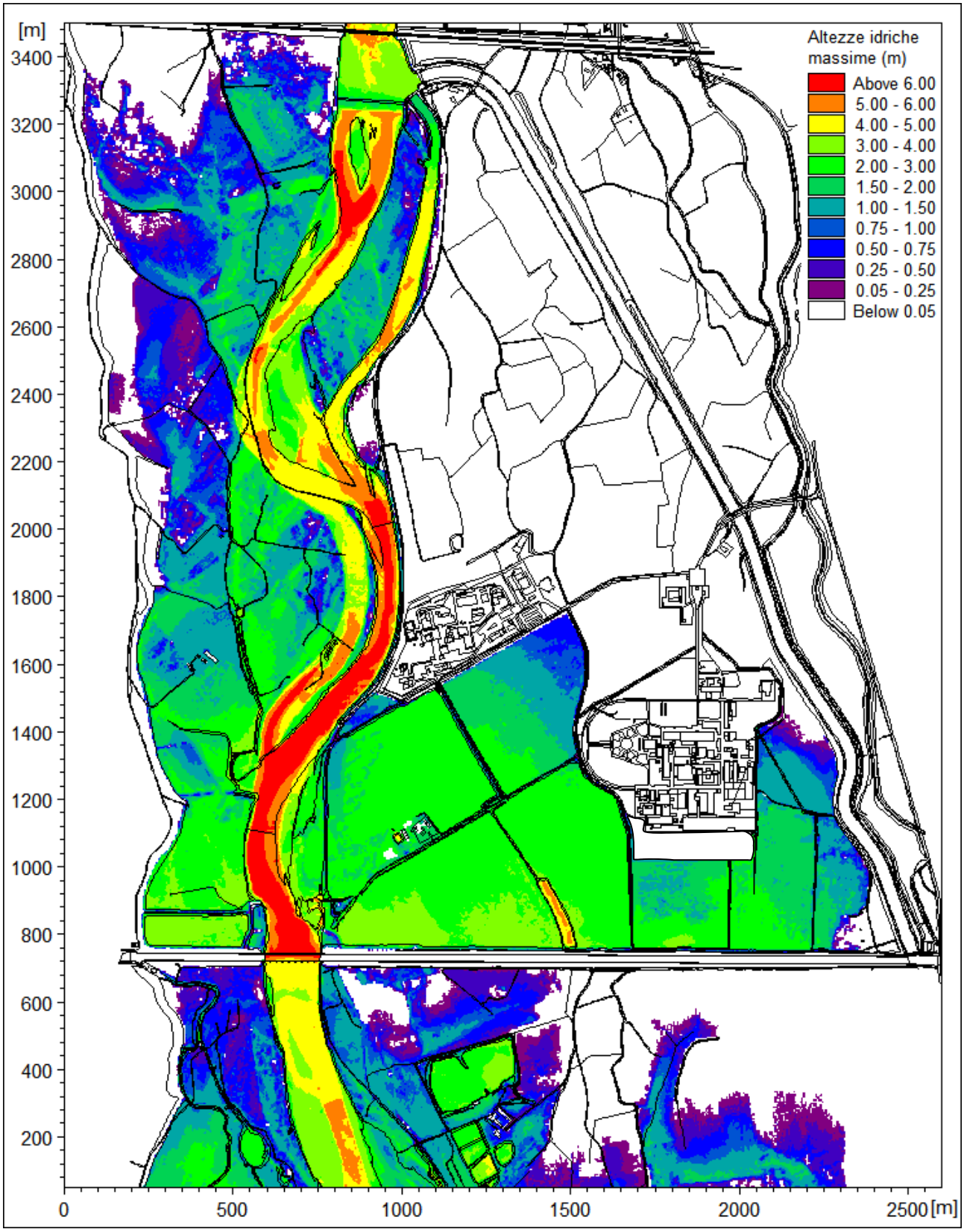


Figura 9 - Scenario di progetto con tempo di ritorno 200 anni. Mappa dei tiranti idrici massimi.

Lo scenario attuale, oggetto di questa simulazione, dimostra una sostanziale adeguatezza (con margine molto ridotto pari a 20-40 cm) della stradina perimetrale esterna al sito Sorin, in termini di contenimento dei livelli Tr 200, senza adeguato franco.

La stradina esistente non è tuttavia un rilevato arginale, ma un manufatto costituito da materiali non adatti a garantire l'impermeabilità e la stabilità in caso di piena. Il nuovo argine in progetto provvederà quindi a garantire la stabilità e l'impermeabilità della difesa idraulica ed a garantire il metro di franco sui livelli di piena Tr 200.

Lo scenario di progetto è rappresentato dalla figura 9. L'innalzamento del livello idrico in golena post-operam, rispetto alla situazione ante-operam, è trascurabile (quantificabile in 1-2 cm) e rientra nella tolleranza di precisione del modello idrodinamico.

La quota di sommità della difesa Enea-Eurex è pari a 174,95-175,05 m s.m.
La quota di sommità di progetto della difesa idraulica di nostra competenza (sito Sorin) e' pari a 170,92-172,33.
La difesa Enea-Eurex ha pertanto una quota di ritenuta idraulica di 3-4 m superiore a quella Sorin.

5.2 Scenario attuale con tempo di ritorno 20 anni

La simulazione dello scenario attuale con tempo di ritorno 20 anni (SIM-ATTUALE-TR20) è stata condotta con il modello bidimensionale mantenendo costanti tutti i parametri definiti per la simulazione duecentennale di taratura e introducendo, come unica modifica, le condizioni al contorno in oggetto.

Nella Figura 10 sono riportati i tiranti idrici massimi calcolati col modello. Con questo tempo di ritorno le esondazioni risultano abbastanza limitate e in particolare in golena sinistra non raggiungono minimamente il sito SORIN. Nella Figura 11 è rappresentata la mappa delle corrispondenti massime velocità di deflusso.

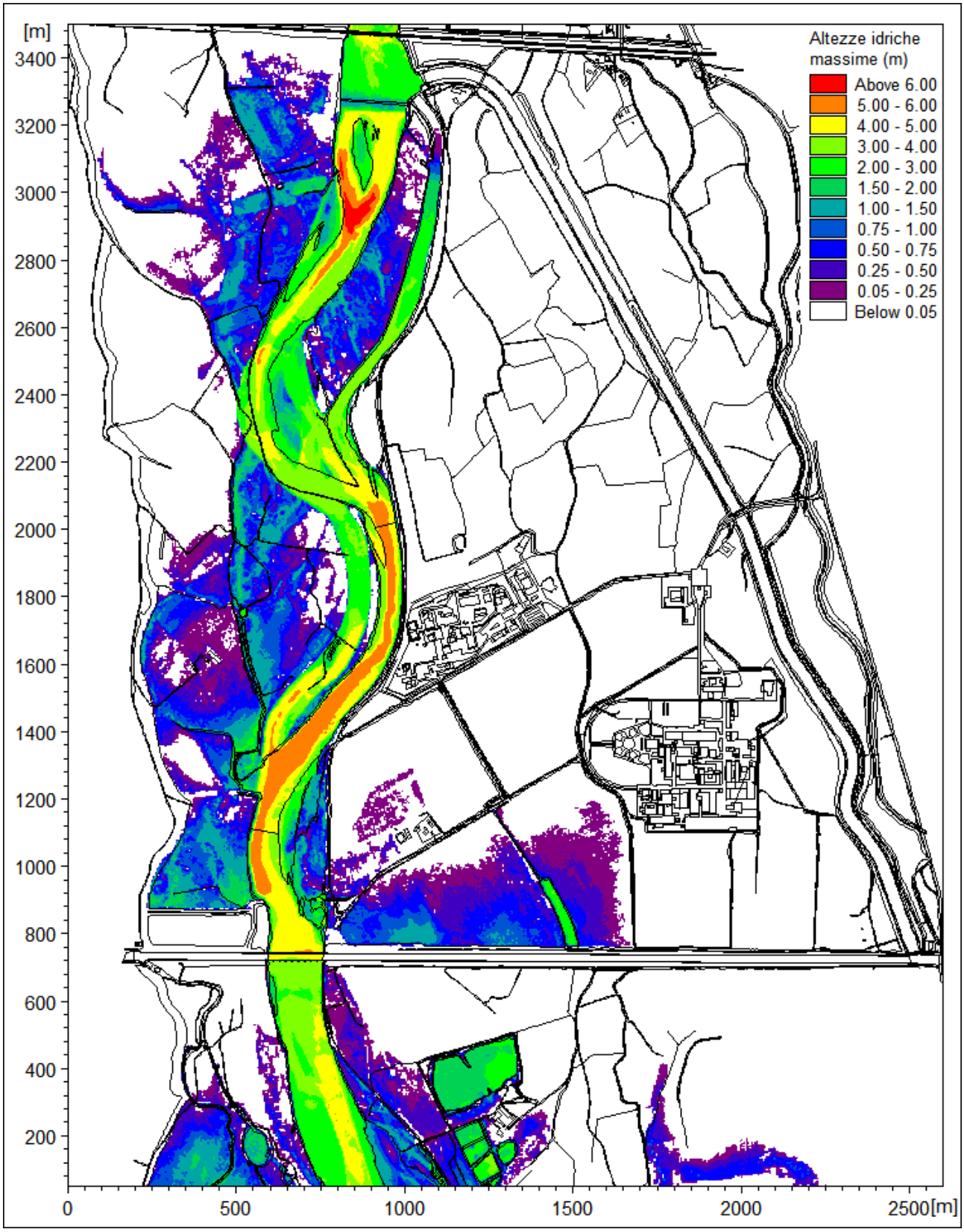


Figura 10 - Scenario attuale con tempo di ritorno 20 anni. Mappa dei tiranti idrici massimi.

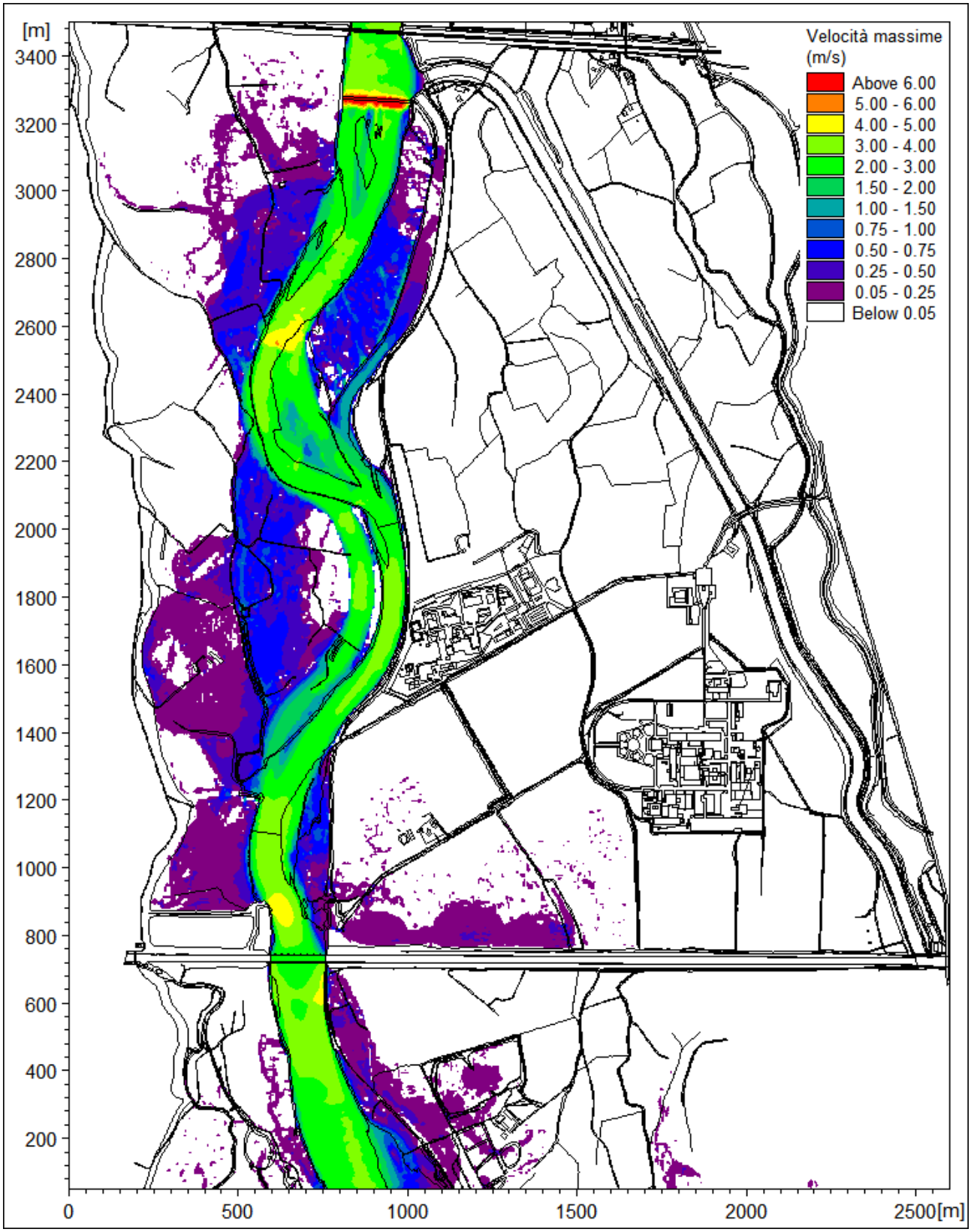


Figura 11 - Scenario attuale con tempo di ritorno 20 anni. Mappa delle velocità massime.

5.3 Scenario attuale con tempo di ritorno 500 anni

Anche per la simulazione dello scenario attuale con tempo di ritorno 500 anni (SIM-ATTUALE-TR500) il modello bidimensionale è stato applicato mantenendo costanti tutti i parametri precedentemente definiti, cambiando soltanto le condizioni al contorno.

Nella Figura 12 sono riportati i tiranti idrici massimi calcolati. Con questo tempo di ritorno la risalita da valle delle esondazioni per effetto del rigurgito del ponte del canale Cavour risulta più estesa e gravosa e determina l'allagamento del sito SORIN (sormontando i rilevati delle stradine presenti sul perimetro e i muretti di recinzione).

Successivamente si verificano esondazioni anche in sinistra orografica a monte del sito EUREX (tratto immediatamente a valle del rilevato arginale realizzato in asse alla strada vicinale "della Dorona") che procedono verso valle congiungendosi con le precedenti. Le quote massime del pelo libero in corrispondenza del sito SORIN sono circa un metro maggiori di quelle dell'evento duecentennale.

Nella Figura 13 è rappresentata la mappa delle corrispondenti massime velocità di deflusso. Anche in questo caso i valori massimi di velocità in golena sinistra risultano bassi, in generale compresi tra 0,25 e 0,50 m/s e mai superiori a 0,75 m/s; si tratta quindi di una espansione lenta e graduale degli allagamenti.

Si evidenzia come nel tratto di monte, immediatamente a valle del rilevato ferroviario e a monte della presa del canale Farini, si verifichi il sormonto dell'argine in sinistra, con esondazione di portata a tergo del canale, che (considerato vuoto a inizio simulazione, con paratoie di imbocco chiuse) si riempie gradualmente.

Per le finalità della simulazione si è considerato, in via cautelativa, che il canale Farini non sia in grado di consegnare portata al canale Cavour, ovvero si è considerato il Farini come se fosse chiuso da valle. La portata drenata da tale canale quindi si accumula con innalzamento dei livelli, finchè fuoriesce sormontando le sponde e generando modesti allagamenti in sponda destra, poco a monte della stradina su cui si intesta la fascia B di progetto, e in sponda sinistra presso il sito Sorin-Avogadro. Nelle condizioni rappresentate, per il tempo di ritorno di 500 anni non si verificano esondazioni in destra al canale che possano interessare direttamente il sito.

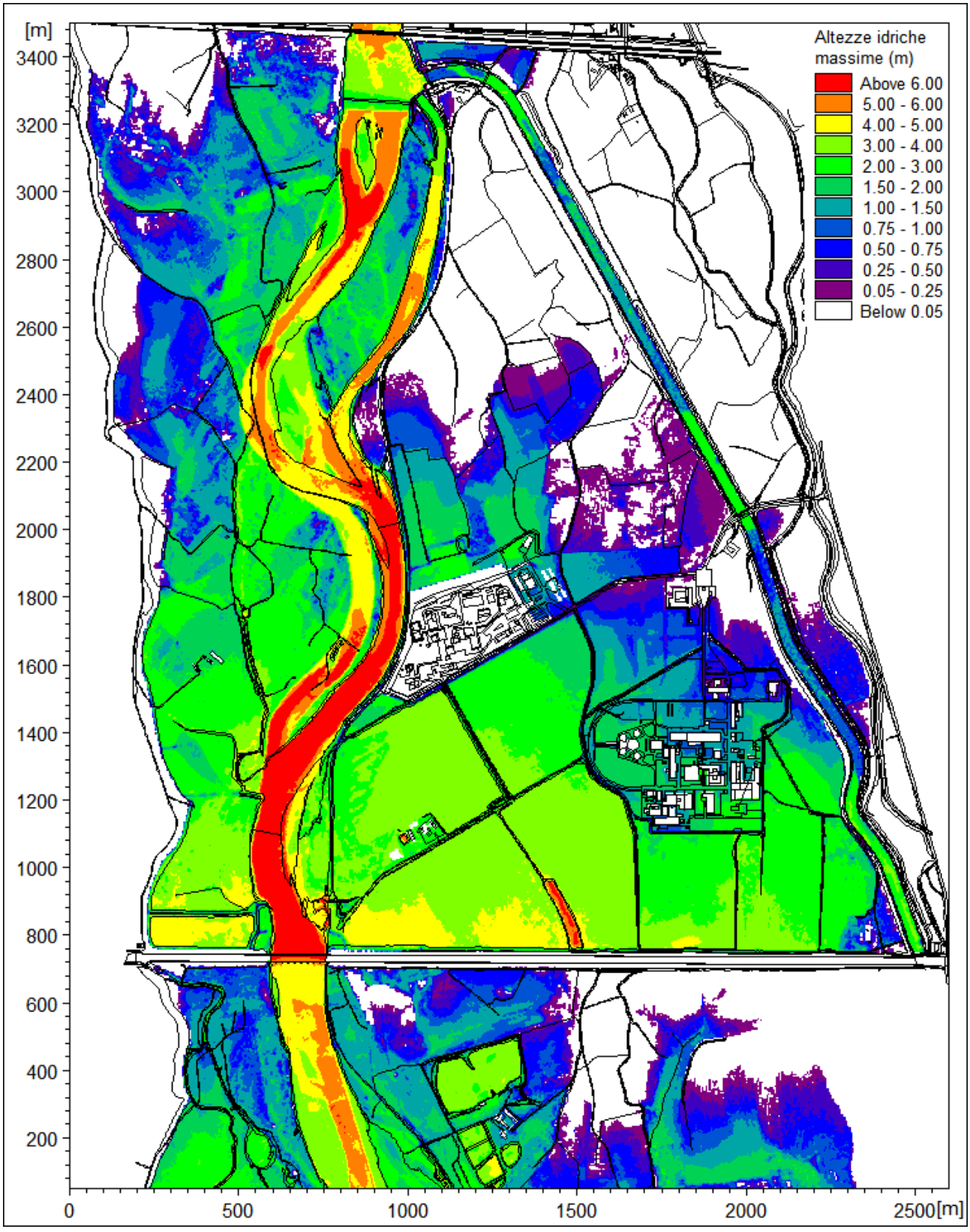


Figura 12 - Scenario attuale con tempo di ritorno 500 anni. Mappa dei tiranti idrici massimi.

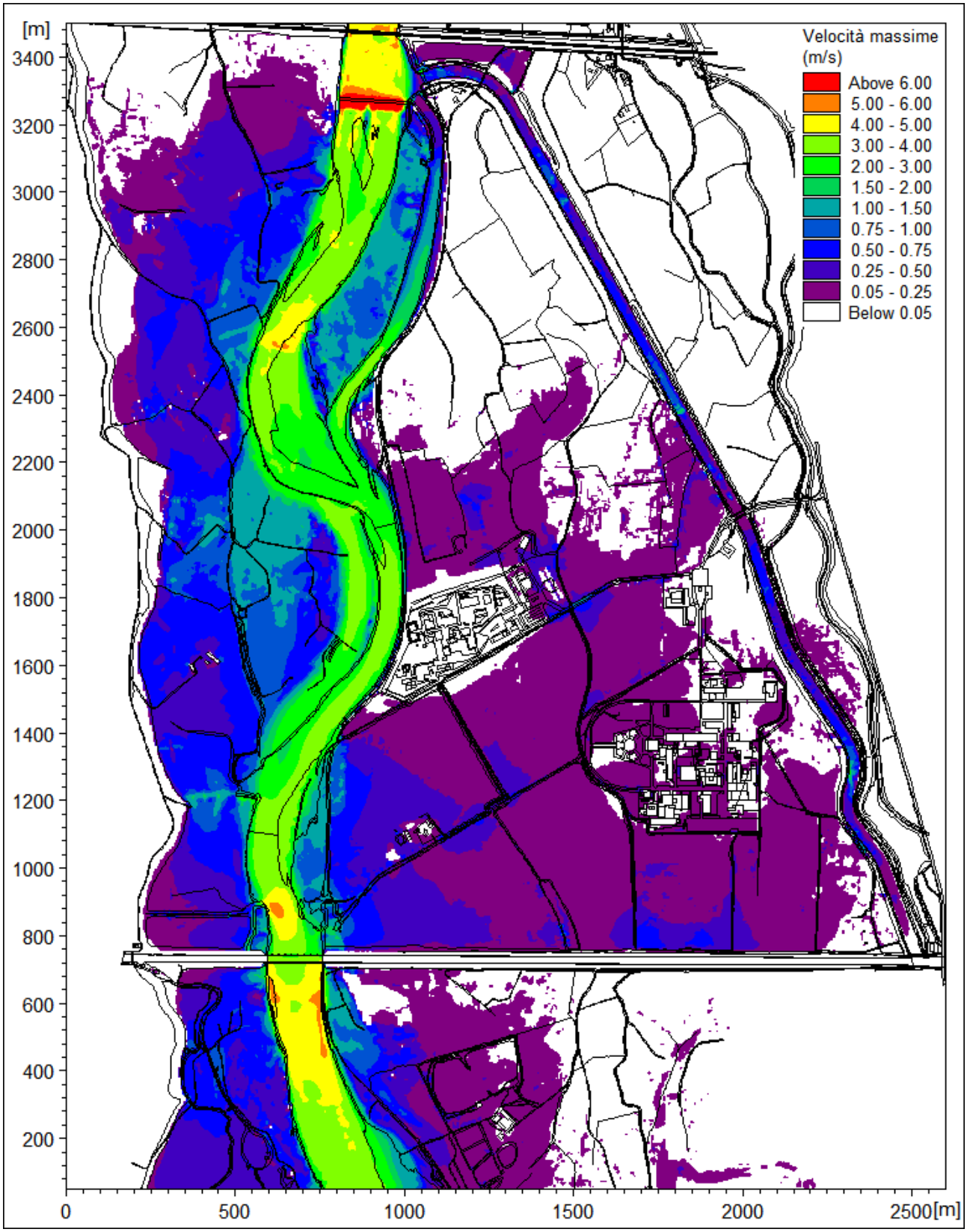


Figura 13 - Scenario attuale con tempo di ritorno 500 anni. Mappa delle velocità massime.

5.4 Scenario attuale con tempo di ritorno 1000 anni

Lo scenario attuale con tempo di ritorno 1000 anni (SIM-ATTUALE-TR1000) rappresenta l'evoluzione dell'evento maggiormente critico considerato nel presente studio.

Nella Figura 14 sono riportati i tiranti idrici massimi calcolati. L'evento millenario in golena sinistra determina un'evoluzione temporale delle esondazioni simile a quello del caso precedente ma maggiormente gravoso: anche in questo caso le esondazioni procedono inizialmente da valle verso monte per poi congiungersi con quelle che si verificano successivamente in sponda sinistra della Dora a monte del sito EUREX, sormontando anche (soprattutto nel tratto terminale) il rilevato arginale realizzato in asse alla strada "della Dorona".

Anche in questo caso si osserva la medesima dinamica di riempimento del canale Farini, con esondazioni su entrambe le sponde a monte del sito Sorin-Avogadro e solo in sinistra più a valle (il ciglio di sponda in corrispondenza del sito pare in queste condizioni ancora in grado di contenere i livelli in destra al canale, pur con franchi modesti).

Le quote massime del pelo libero in corrispondenza del sito SORIN sono circa di due metri maggiori di quelle dell'evento duecentennale.

Nella Figura 15 è rappresentata la mappa delle massime velocità di deflusso. Anche in questo caso i valori massimi di velocità in golena sinistra risultano non eccessivamente elevati e in generale inferiori a 1,0 m/s.

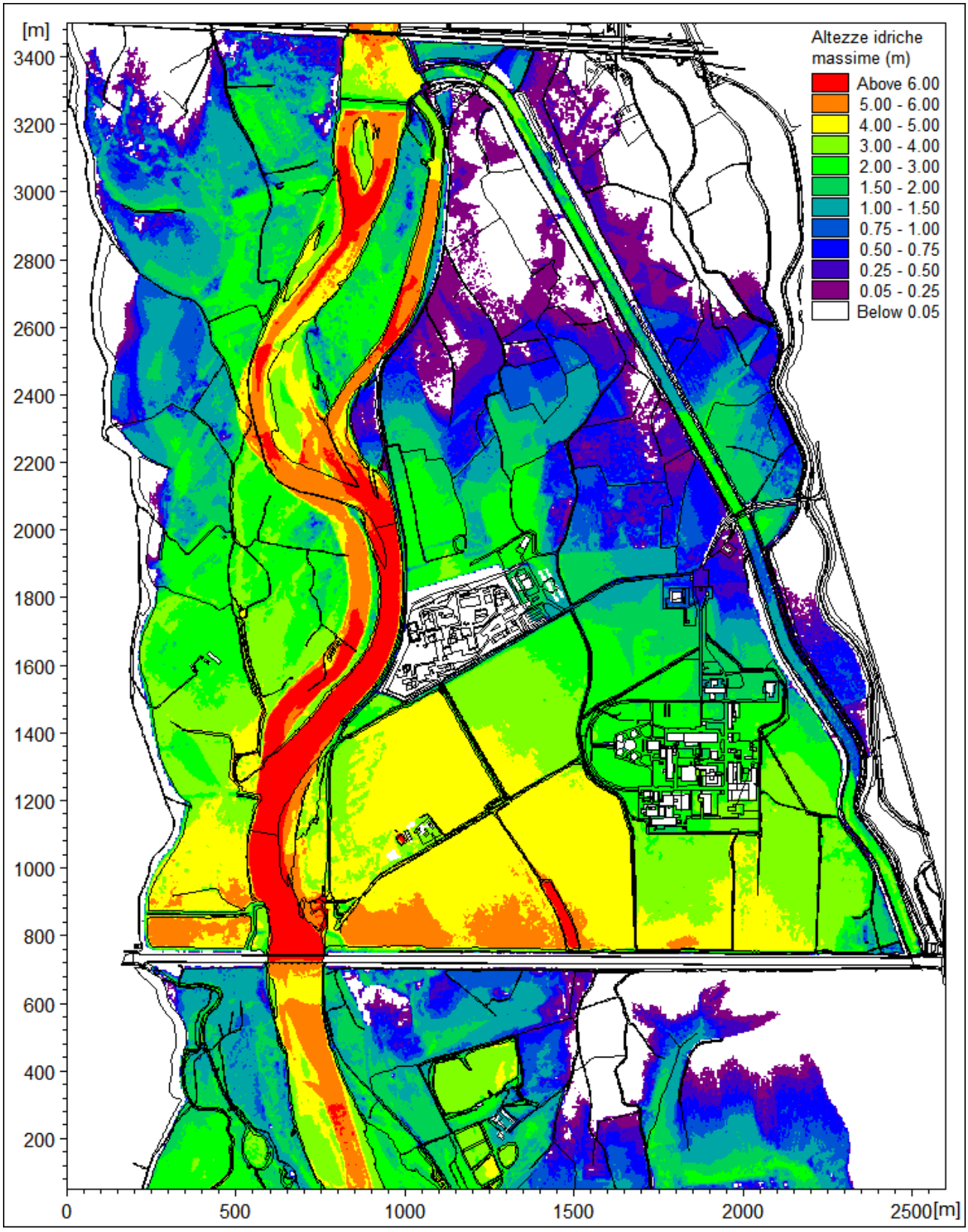


Figura 14 - Scenario attuale con tempo di ritorno 1000 anni. Mappa dei tiranti idrici massimi.

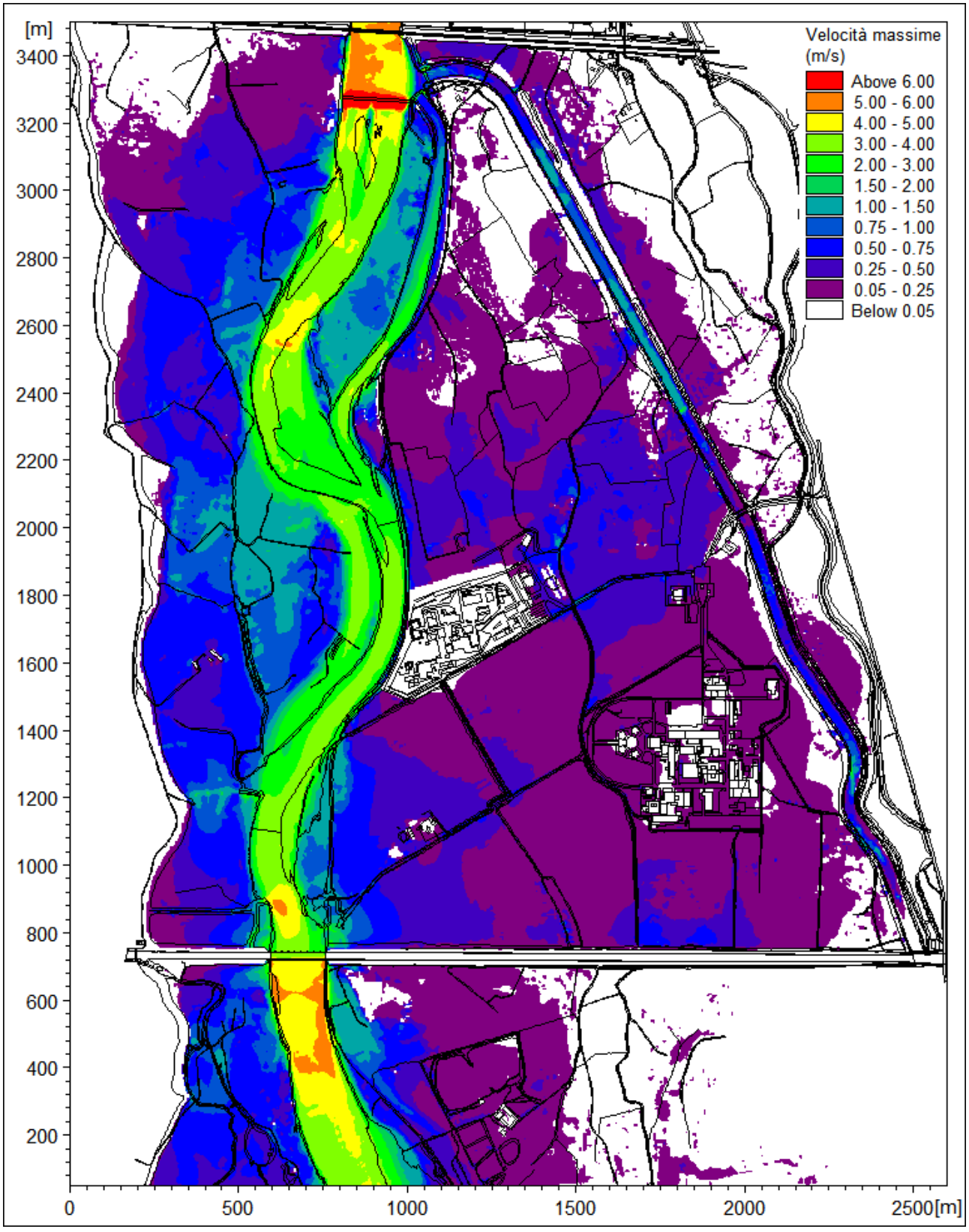


Figura 15 - Scenario attuale con tempo di ritorno 1000 anni. Mappa delle velocità massime.

5.5 Scenario con tempo di ritorno 1000 anni – caso con eventuale argine Tr 1000 anni (non previsto in progetto)

La simulazione di progetto con tempo di ritorno 1000 anni (SIM-argine-TR1000) è stata condotta con il modello bidimensionale mantenendo costanti tutti i parametri definiti per la simulazione precedente (comprese le condizioni al contorno), introducendo, come unica modifica, la presenza di una barriera difensiva lungo il tracciato della fascia B di progetto, al fine di valutarne gli effetti idrodinamici (vedi batimetria in Figura 2).

Nella Figura 16 sono riportati i tiranti idrici massimi calcolati, mentre nella Figura 17 è rappresentata la mappa delle massime velocità di deflusso. L'estensione delle aree allagate è complessivamente simile a quella dello scenario attuale.

Al fine di evidenziare le differenze nelle condizioni di deflusso tra i due scenari, attuale e di progetto, sono state prodotte due differenti mappe: nella Figura 18 sono riportate le differenze di livello tra le quote di pelo libero massime dello scenario di progetto e dello scenario attuale e nella Figura 19 sono rappresentate le differenze tra le velocità massime (scenario di progetto - scenario attuale).

Per effetto della barriera, e del conseguente restringimento della sezione di deflusso (la portata esondata può defluire a valle solo attraverso il "corridoio" tra la nuova difesa e l'esistente muro antialluvioni attorno al sito EUREX), si assiste a monte del sito SORIN ad un sovralzo dei livelli per effetto di rigurgito e rallentamento dei flussi di esondazione provenienti dalla sponda sinistra della Dora, con valori massimi dell'ordine di +0,60 m.

La minore sezione libera al deflusso di esondazione tra i due siti EUREX e SORIN determina anche un aumento locale di velocità (inferiore a +1 m/s) in corrispondenza della zona più ristretta e una conseguente minore velocità nella zona di rigurgito a monte di essa (fino a circa -0,3 m/s).

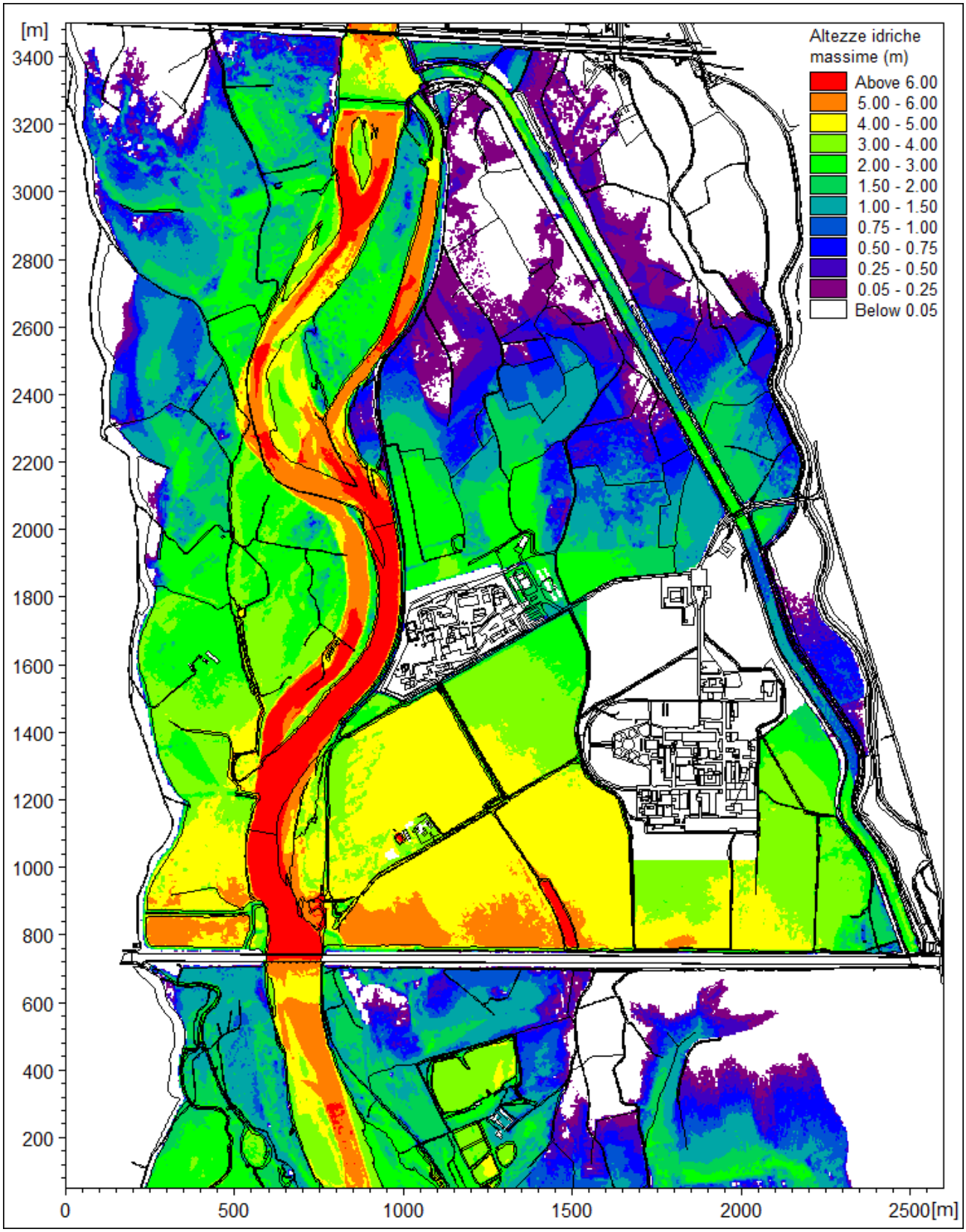


Figura 16 - Scenario con argine con tempo di ritorno 1000 anni. Mappa dei tiranti idrici massimi.

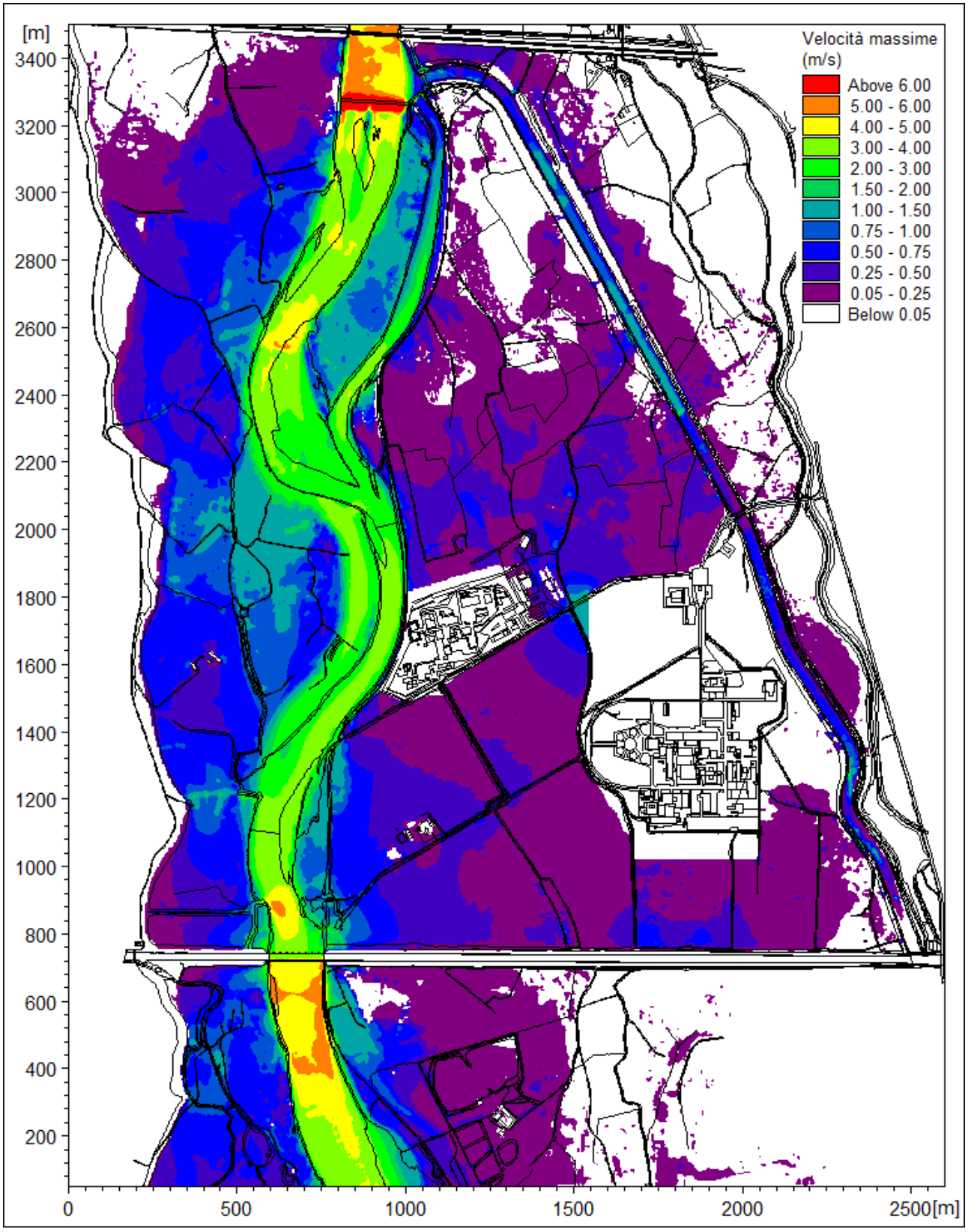


Figura 17 - Scenario con argine con tempo di ritorno 1000 anni. Mappa delle velocità massime.

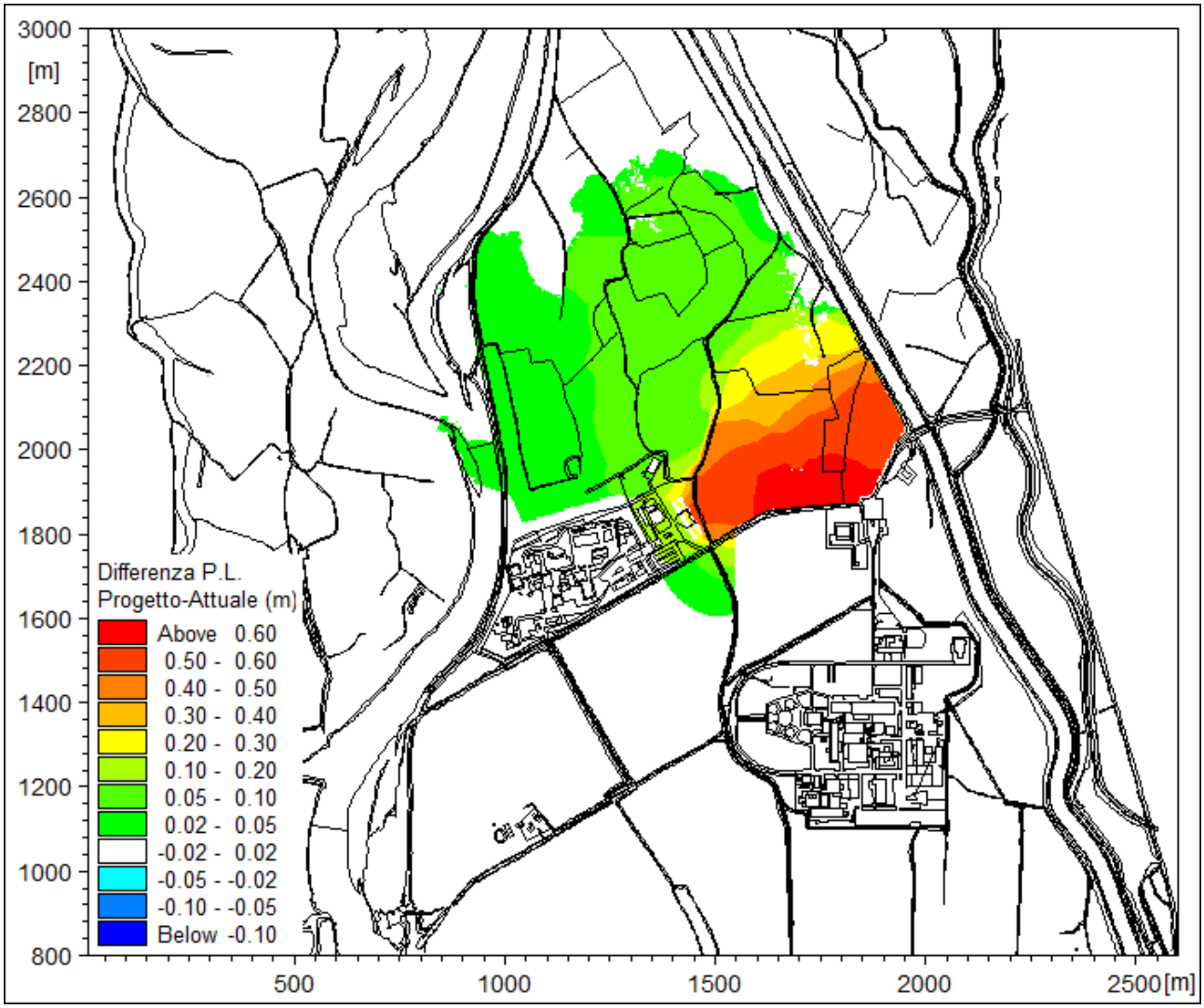


Figura 18 - Evento con tempo di ritorno 1000 anni. Mappa delle differenze di livello tra le quote di pelo libero massime dello scenario con argine e dello scenario attuale.

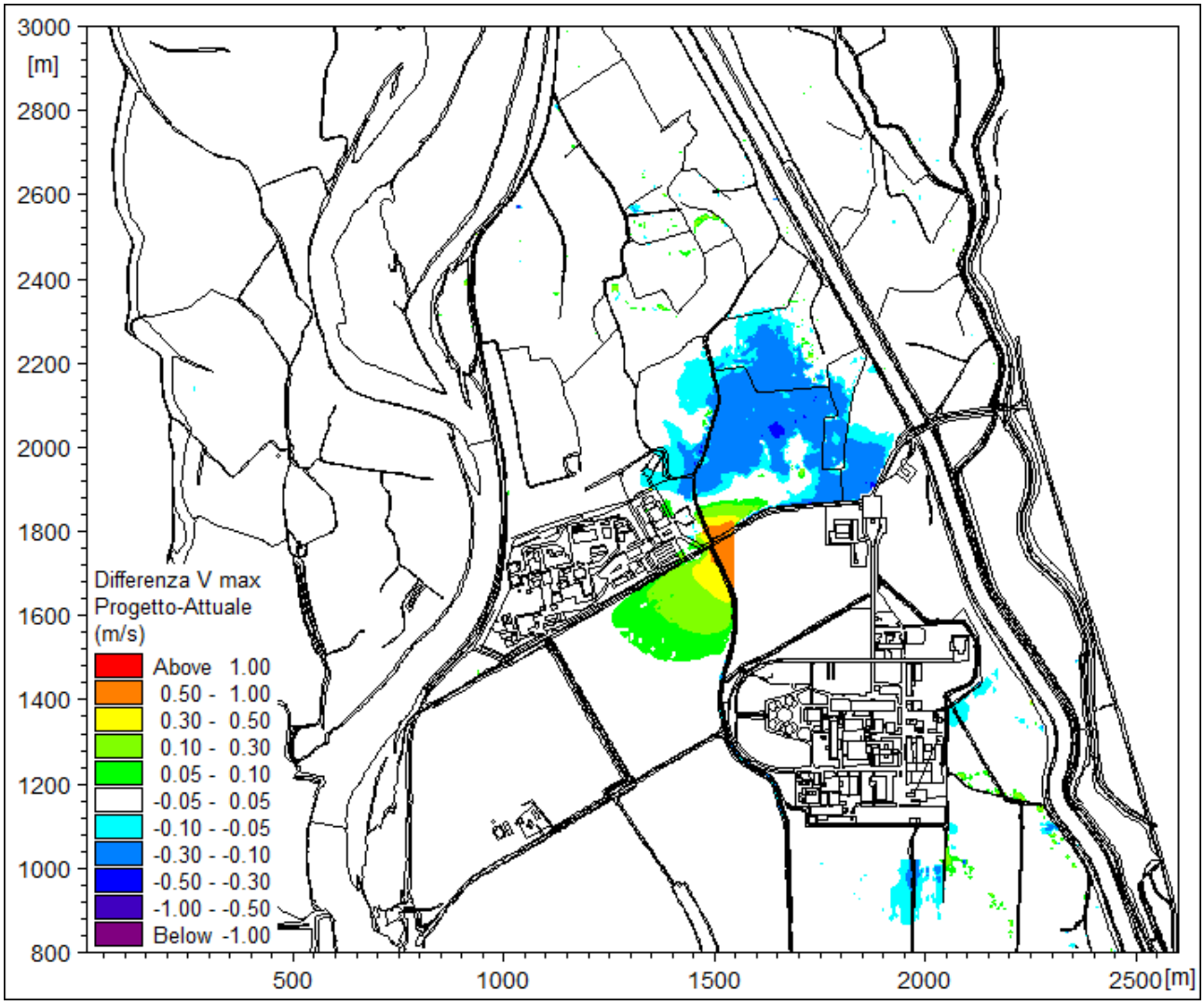


Figura 19 - Evento con tempo di ritorno 1000 anni. Mappa delle differenze tra le velocità massime dello scenario con argine e dello scenario attuale.

5.6 Scenario con tempo di ritorno 200 anni “senza barriere”

L’analisi dei risultati dello scenario di stato attuale con tempo di ritorno 200 anni ha mostrato come gli allagamenti provocati dalla piena (e segnatamente dal rigurgito ad opera del ponte del canale Cavour) risulterebbero contenuti dagli elementi sovramontanti che circondano il sito Sorin-Avogadro, ovvero i rilevati delle stradine campestri e il muro di recinzione perimetrale.

Si presume tuttavia che tali opere non siano state progettate per adempiere a tale scopo di tenuta idraulica / contenimento dei livelli; si segnala in particolare, a titolo di esempio, che la stradina che si sviluppa a monte del sito vede la presenza di attraversamenti (tombini circolari) e il passaggio dello scarico del sito.

Si è pertanto ritenuto corretto estendere la valutazione anche ad un esame del rischio idraulico residuo, definibile per confronto tra la simulazione precedentemente descritta e uno scenario in cui si consideri la completa assenza di questi elementi che costituiscono barriera al deflusso della piena.

Si evidenzia come l'estensione delle aree allagabili interna al perimetro del sito Sorin-Avogadro sia da ritenersi indicativa di un possibile rischio di allagamento, ma non possa essere utilizzata per un'analisi di dettaglio dei flussi tra i vari fabbricati o per una mappatura di aree a maggiore o minore rischio, in quanto la definizione delle quote del terreno deriva unicamente dal modello LIDAR e non è stato possibile integrarla/verificarla con un rilievo topografico celerimetrico come fatto per gli altri elementi di maggiore interesse (il rilievo eseguito è stato limitato al perimetro del sito).

Con lo scenario con tempo di ritorno 200 anni "senza barriere" (SIM-TR200-SENZA_BARRIERE) si è quindi cautelativamente ipotizzata l'assenza della strada che dal sito EUREX costeggia il lato del sito Sorin-Avogadro prossimo al reattore e l'assenza del muretto di recinzione lungo il lato opposto (verso il Canale Farini.

Nella Figura 20 sono riportati i tiranti idrici massimi calcolati mentre nella Figura 21 è rappresentata la mappa delle massime velocità di deflusso. In questo caso i flussi di esondazione provenienti da valle non vengono ostacolati e pertanto vanno ad interessare le aree interne al sito SORIN, con velocità massime però estremamente basse e livelli massimi dell'ordine del metro.

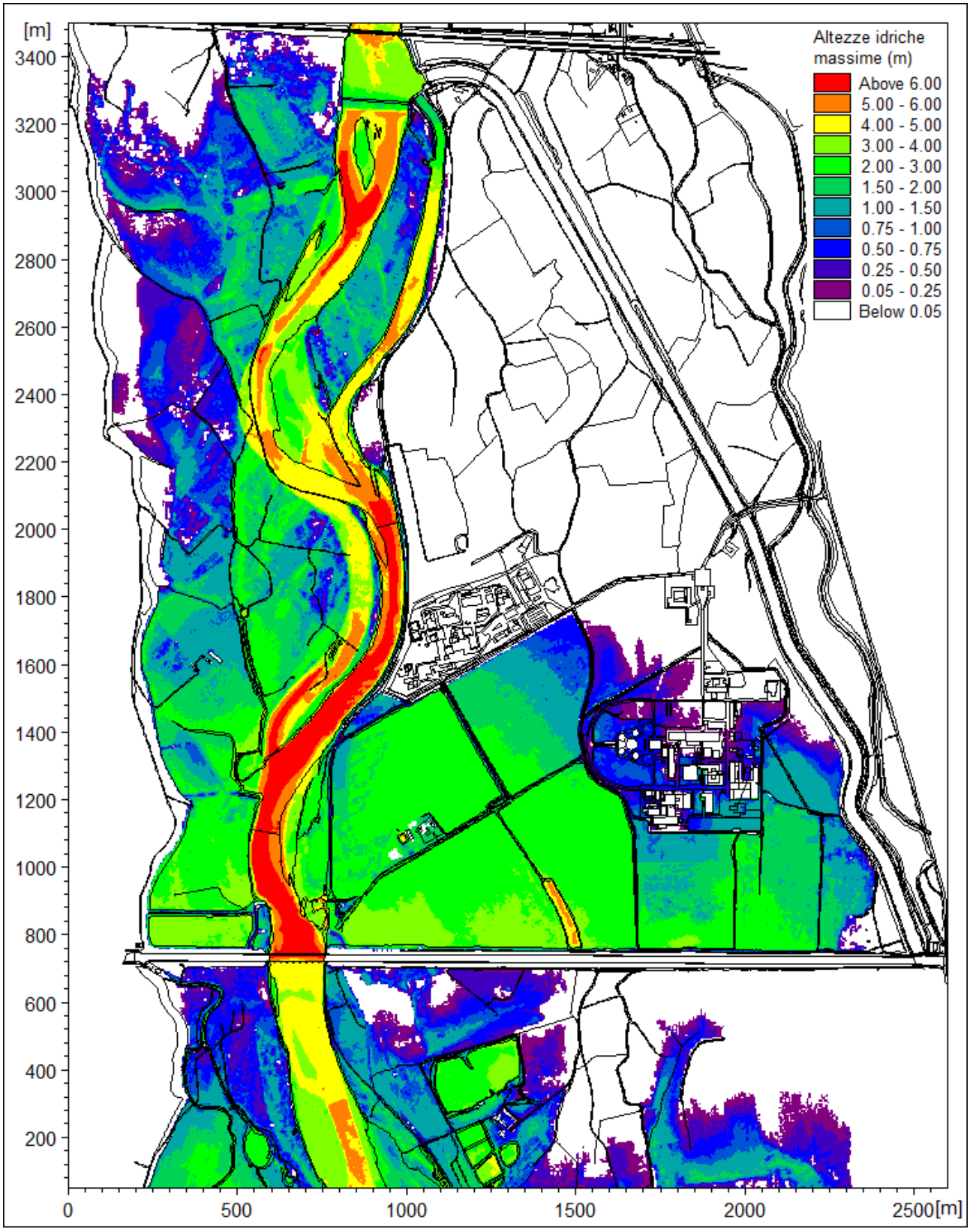


Figura 20 - Scenario con tempo di ritorno 200 anni “senza barriere”. Mappa dei tiranti idrici massimi.

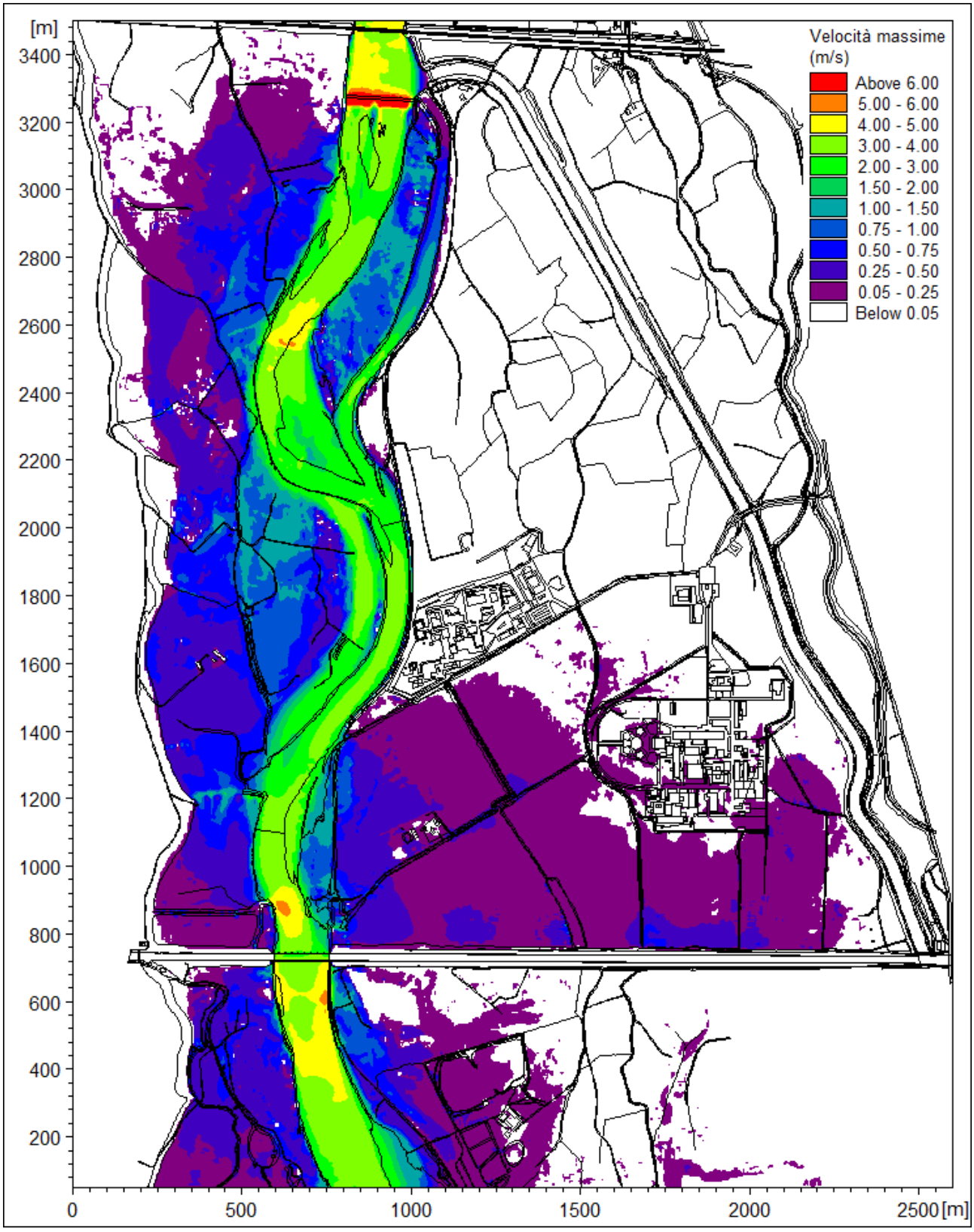


Figura 21 - Scenario con tempo di ritorno 200 anni “senza barriere”. Mappa delle velocità massime.

5.7 Scenario con tempo di ritorno 200 anni con rotta arginale

La principale differenza riscontrata tra le simulazioni (per TR=200 anni) condotte nell'ambito del già citato Studio di fattibilità di AdBPo e quelle omologhe di stato attuale, a seguito della realizzazione di alcuni interventi di sistemazione, risiede nel contenimento dei livelli in sponda sinistra a monte del sito ENEA-Eurex ad opera del rilevato arginale realizzato in asse alla strada "della Dorona".

Poiché tuttavia tale opera non ha modificato la posizione della fascia B / B di progetto, che da pianificazione vigente si attesta in questo tratto sulla sponda destra del canale Farini (per cui il manufatto in esame non sarebbe da intendersi come "argine" a tutti gli effetti), e risultando essa in rilevato di circa 1,0-1,5 m rispetto ai campi retrostanti (cfr. planimetrie di rilievo annesse), si è ritenuto corretto, per completezza dello studio, estendere l'analisi anche a uno scenario che comportasse un malfunzionamento di tale opera, con estensione delle esondazioni a tergo.

Nello scenario con tempo di ritorno 200 anni con rotta arginale (SIM-TR200-ROTTURA_ARGINE) si è quindi cautelativamente ipotizzata l'assenza (o la rotta) del tratto di sponda arginale della Dora Baltea in sinistra in un tratto in curva di circa 200 m circa a metà tra l'opera di presa del Canale Farini e il sito EUREX.

Tale tratto è stato valutato come quello di relativa maggiore vulnerabilità, ovvero quello dove sarebbe più verosimile il formarsi di un'ipotetica rotta, essendo sormontato dalla piena per un tempo di ritorno di 1000 anni, ed essendo ubicato presso una curva del canale scaricatore che potrebbe causare l'insorgere di fenomeni erosivi.

Nella Figura 22 sono riportati i tiranti idrici massimi calcolati mentre nella Figura 23 è rappresentata la mappa delle massime velocità di deflusso.

In questo caso i flussi di esondazione provenienti dalla rotta arginale sono significativi e si sommano a quelli di risalita provenienti da valle, secondo uno schema analogo a quello descritto per le dinamiche di esondazione degli eventi associati a più elevati tempi di ritorno.

Le velocità massime in golena si mantengono comunque su valori limitati, in particolare presso il sito Sorin-Avogadro (< 0,5 m/s).

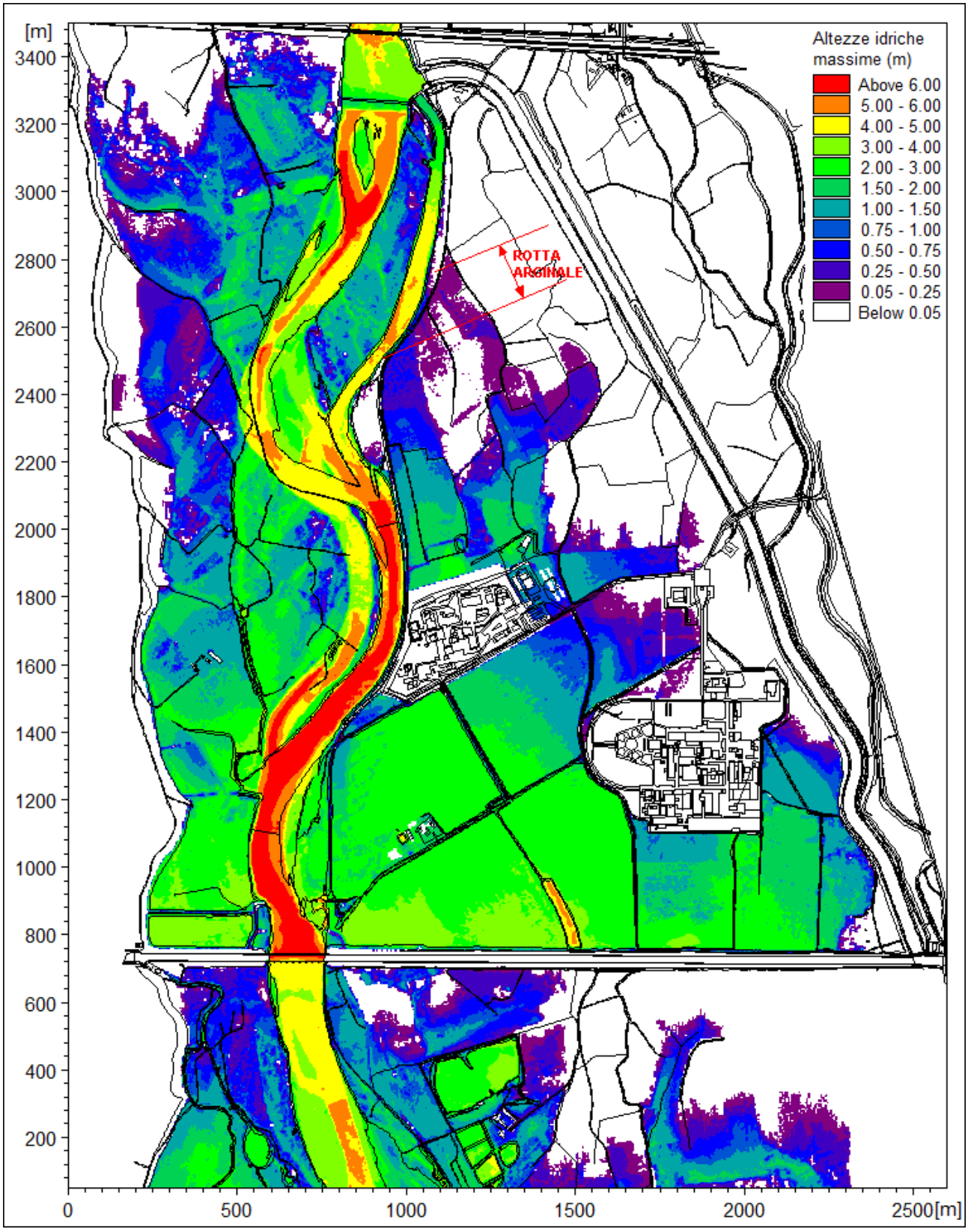


Figura 22 - Scenario con tempo di ritorno 200 anni con rotta arginale. Mappa dei tiranti idrici massimi.

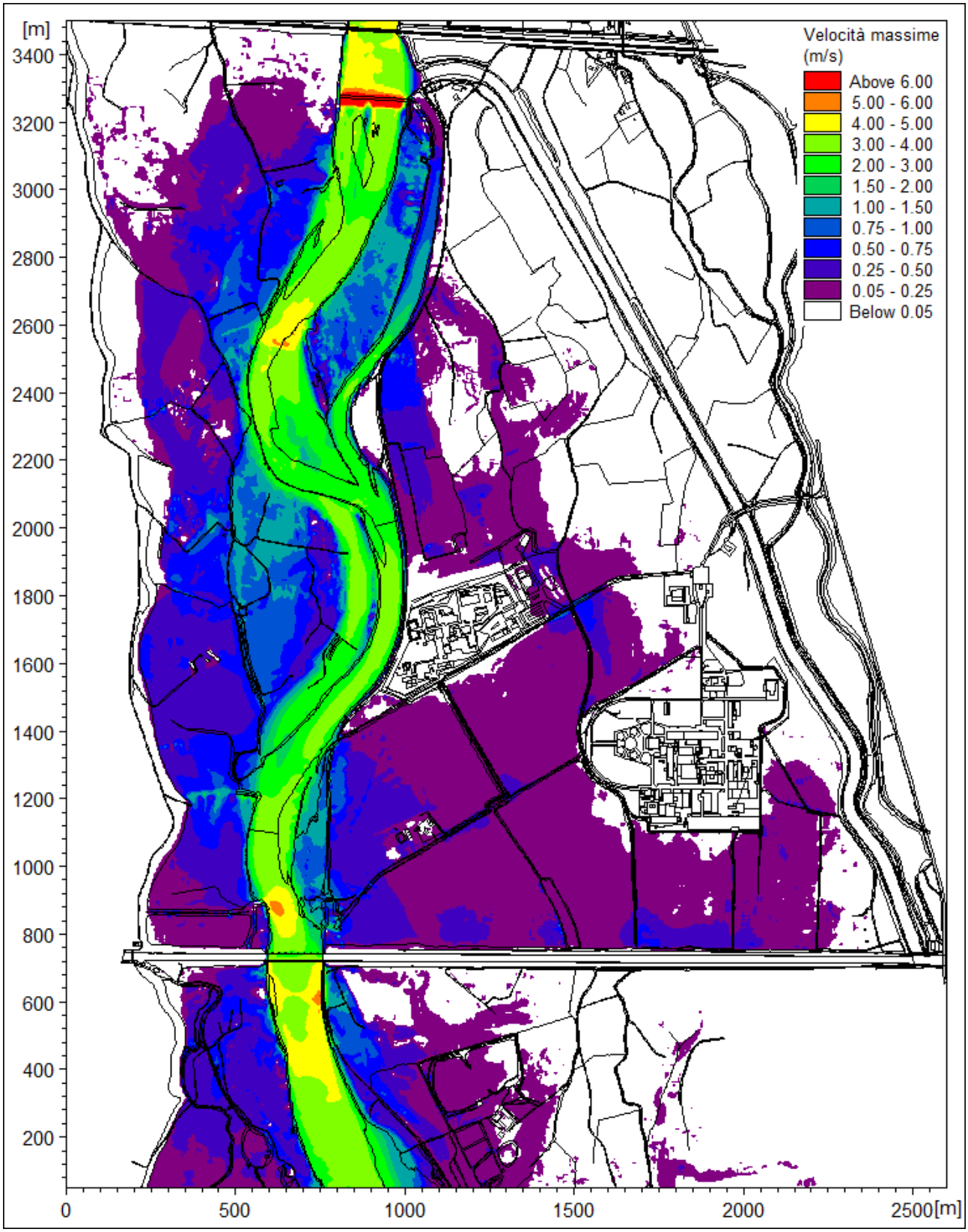


Figura 23 - Scenario con tempo di ritorno 200 anni con rotta arginale. Mappa delle velocità massime.

5.8 Scenario con tempo di ritorno 1000 anni con rotta arginale

Lo scenario con tempo di ritorno 1000 anni con rotta arginale (SIM-TR1000- ROTTURA_ARGINE) è del tutto analogo al precedente ad eccezione del più gravoso evento di piena considerato come condizione al contorno.

Nella Figura 24 sono riportati i tiranti idrici massimi calcolati in questo caso, mentre nella Figura 25 è rappresentata la mappa delle massime velocità di deflusso.

Come per l'evento duecentennale, i maggiori flussi di esondazione provenienti dalla rotta arginale determinano condizioni di livello e velocità maggiormente critiche lungo le aree golenali prossime ai due siti EUREX e SORIN.

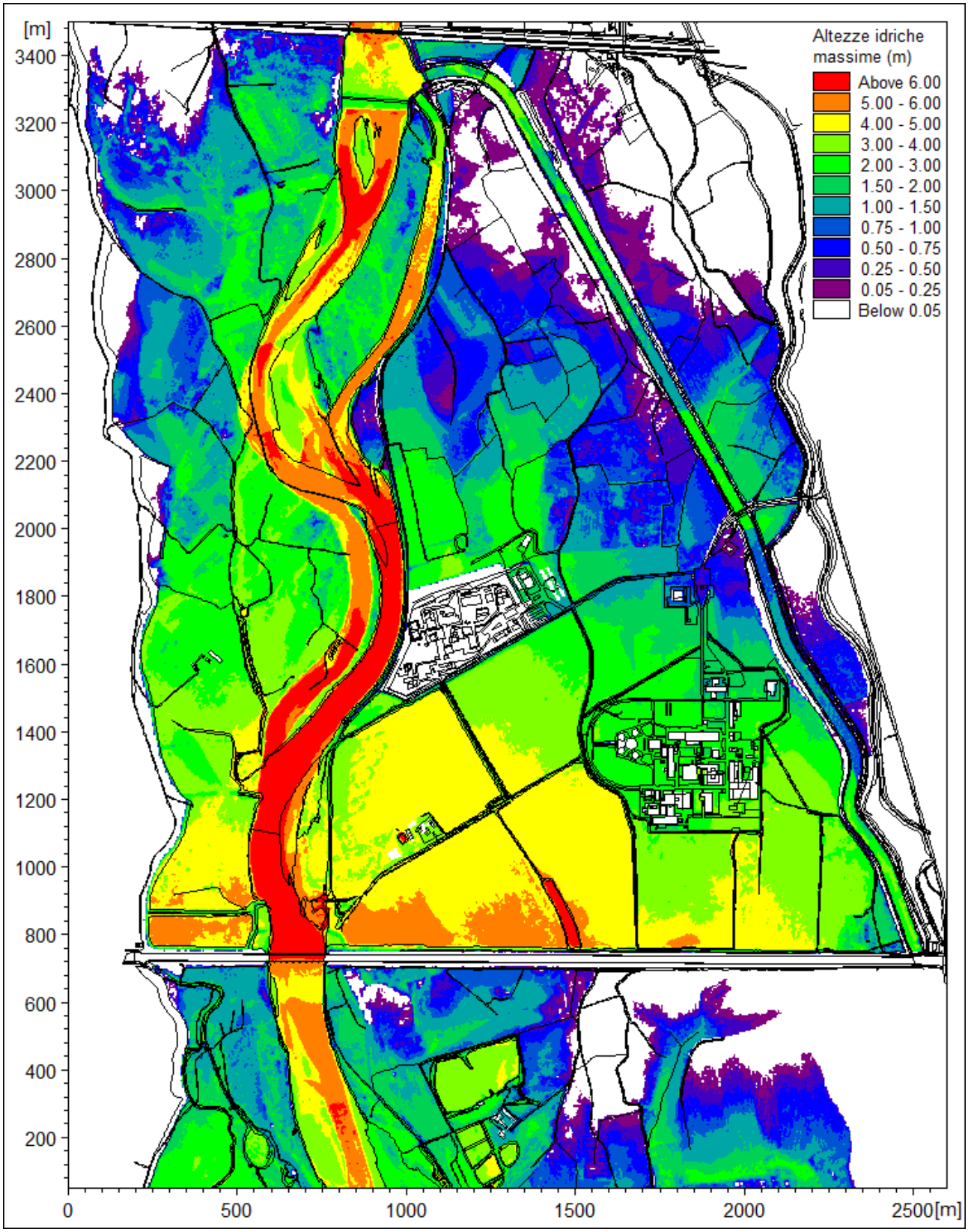


Figura 24 - Scenario con tempo di ritorno 1000 anni con rotta arginale. Mappa dei tiranti idrici massimi.

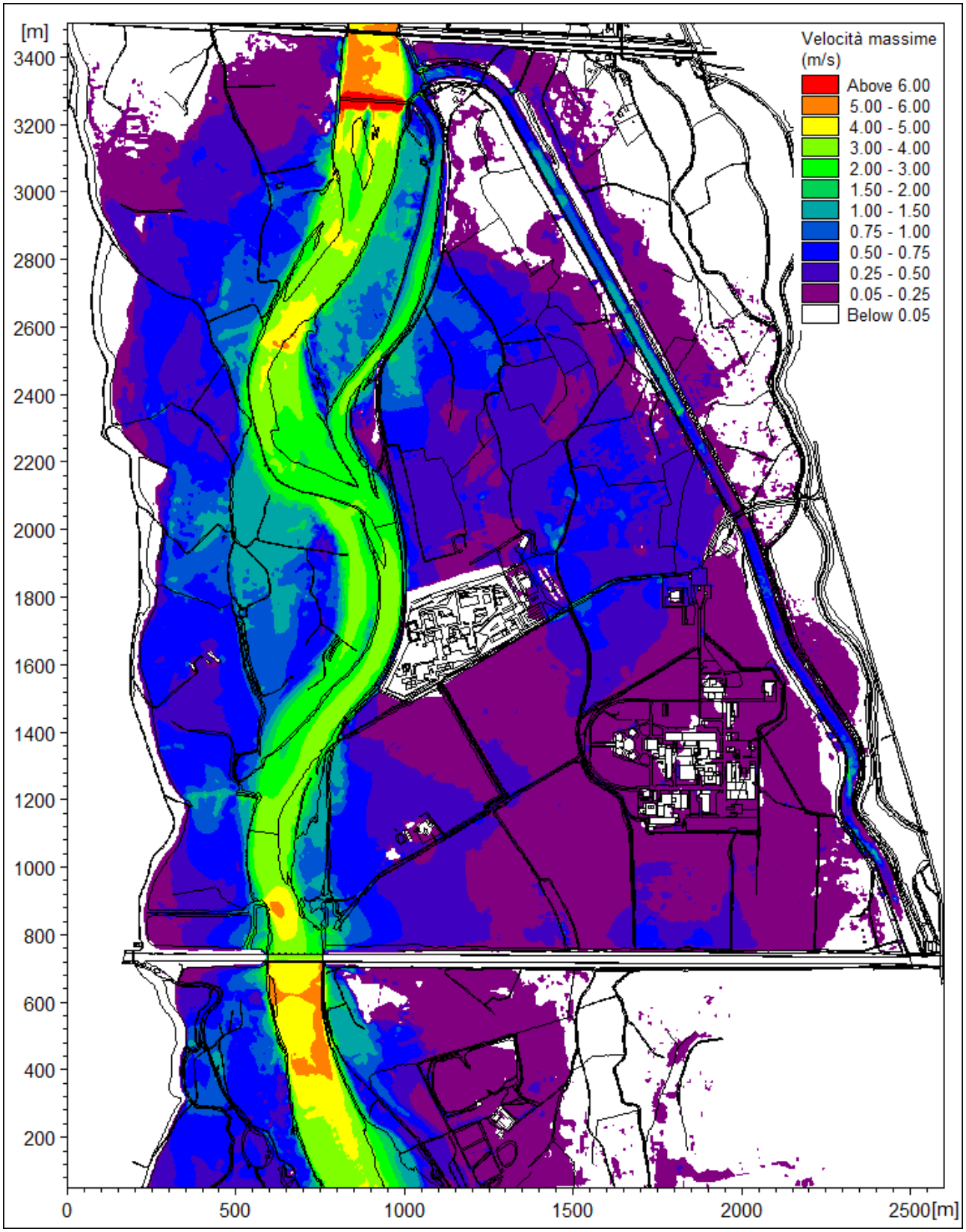


Figura 25 - Scenario con tempo di ritorno 1000 anni con rotta arginale. Mappa delle velocità massime.

5.9 Confronto tra gli scenari

Nella Tabella 2 è riportato un riassunto dei valori massimi del pelo libero in corrispondenza del sito Sorin-Avogadro (a valle dello stesso, ovvero lato canale Cavour, da dove proviene l'esondazione principale). A parità di tempo di ritorno, i differenti scenari definiscono quote massime di esondazione poco diverse tra loro.

SCENARIO DI SIMULAZIONE	P.L. max (m s.m.)
SIM-ATTUALE-TR20	167,41
SIM-ATTUALE-progetto-TR200	169,90
SIM-TR200-SENZA_BARRIERE	169,89
SIM-TR200-ROTTURA_ARGINE	169,92
SIM-ATTUALE-TR500	170,86
SIM-ATTUALE-TR1000	171,90
SIM-con argine-TR1000	171,91
SIM-TR1000-ROTTURA_ARGINE	171,92

Tabella 2 - Valori massimi della quota del pelo libero in corrispondenza del sito Sorin-Avogadro (lato valle).

La quota del pelo libero a monte del sito Sorin-Avogadro, negli scenari di stato attuale in cui si verifica un allagamento, o è prossima al piano campagna (pochi cm di acqua) o differisce di poco da quella di valle, in quanto i gradienti idraulici risultano modesti. Nella configurazione di progetto (indagata per TR=1000 anni) si verifica invece un sovralzo significativo a causa della presenza della barriera antialluvione in corrispondenza del tracciato dalla fascia B di progetto (v. Tabella 3).

In prossimità dell'estremità di valle del canale scaricatore del Farini è stato indagato l'effetto di una rotta sul rilevato arginale in asse alla strada "della Dorona". In questo punto i livelli massimi di piena in alveo alla Dora sono quelli riportati in Tabella 3 per diversi scenari di evento. La quota di ritenuta dell'argine (in corrispondenza della diramazione di una stradina campestre) è pari a 174,54 m s.m., mentre il piano campagna a tergo risulta 1,0-1,2 m più depresso (localmente quote variabili tra 173,51 e 173,20 m s.m.).

SCENARIO DI SIMULAZIONE	Valle sito Sorin	Monte sito Sorin	Strada "Dorona"
SIM-ATTUALE-progetto-TR200	169,90	---	173,54
SIM-TR200-ROTTURA_ARGINE	169,92	171,33	173,44
SIM-ATTUALE-TR1000	171,90	172,00	174,66
SIM-argine-TR1000	171,91	172,68	174,66
SIM-TR1000-ROTTURA_ARGINE	171,92	172,08	174,22

Tabella 3 - Valori massimi dei livelli idrici [m s.m.] in diversi siti e per differenti scenari.

Si osserva quindi come per TR=200 anni l'argine verifichi 1 m di franco rispetto al massimo livello di piena, e come quest'ultimo sia poco superiore alla quota di piano campagna (20-30 cm). Per TR=1000 anni invece l'argine è sormontato di una decina di cm.

L'elemento che risulta più gravoso in relazione all'evoluzione della piena, in termini di esondazioni nelle golene laterali, è come già osservato il rigurgito generato dal ponte del canale Cavour (e dalla presenza del relativo rilevato trasversale alla golena).

Il deflusso per TR=20 anni avviene con circa 1,3 m di franco rispetto alla chiave dell'arco (cfr. Tabella 4 e Figura 26). Per la portata con tempo di ritorno di 200 anni invece il funzionamento è in pressione (livello circa 40 cm sopra la chiave dell'arco). Per eventi più gravosi si riscontra un incremento progressivo di livello di circa 1 m considerando la piena cinquecentennale e quindi la millenaria.

Il livello in alveo risulta tuttavia ancora notevolmente inferiore alla quota di sormonto (circa 3,5 m).

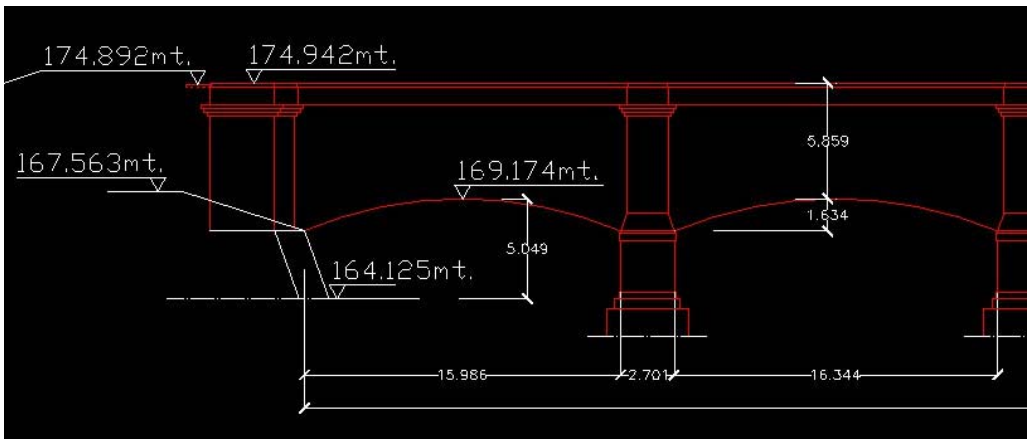


Figura 26 – Caratteristiche geometriche dell'attraversamento del canale Cavour (dettaglio).

SCENARIO DI SIMULAZIONE	P.L. max (m s.m.)
SIM-ATTUALE-TR20	167,86
SIM-ATTUALE-progetto-TR200	169,58
SIM-ATTUALE-TR500	170,45
SIM-ATTUALE-TR1000	171,46
SIM-argine-TR1000	171,46

Tabella 4 - Valori massimi della quota del pelo libero immediatamente a monte del ponte del canale Cavour.

6. CONCLUSIONI

Le simulazioni idrauliche condotte nel presente studio (mediante allestimento di modellistica numerica bidimensionale) hanno consentito di analizzare dettagliatamente il comportamento idraulico in piena dell'area fluviale della Dora Baltea compresa tra la linea ferroviaria TO-MI e il canale Cavour, con riferimento a diversi scenari e tempi di ritorno.
I risultati ottenuti, rappresentati prevalentemente in termini di mappe di distribuzione spaziale di altezze d'acqua e velocità, consentono la valutazione del rischio idraulico dell'area in esame con riferimento a differenti probabilità di occorrenza e a scenari integrativi significativi per questa finalità.

In sintesi, con riferimento alla golena sinistra, si è osservato quanto segue.

- Per TR=200 anni (tempo di ritorno di riferimento progettuale) le opere realizzate post alluvione 2000 (savanella, rilievo arginale di sponda) appaiono correttamente dimensionate e in grado di evitare esondazioni nel tratto di monte.
  A valle del sito Enea-Eurex si verifica una diffusa esondazione in golena, causata dal rigurgito prodotto dal ponte del canale Cavour, che presenta un funzionamento in pressione. L'esondazione è di tipo lento e graduale, con risalita da valle e modesti gradienti idraulici.
  Gli elementi sovramontanti che circondano il sito Sorin-Avogadro (rilevati di strade campestri, muro di recinzione) hanno quote di sommità al limite del contenimento dei livelli di piena evitando un allagamento incontrollato del sito stesso, a tratti con franco idraulico (ancorchè ridotto: 20-40 cm). Si tenga presente che non si tratta tuttavia di strutture dimensionate per avere funzione di ritenuta idraulica e su cui pertanto non si può fare pieno affidamento per la difesa del sito.

- Per un'analisi del rischio idraulico residuo sono state condotte ulteriori simulazioni di scenario considerando l'assenza dei citati elementi sovramontanti e l'insorgere di una rotta nel rilevato arginale su strada "della Dorona".
  Nel primo caso si osserva come i livelli di valle risalgano a allagare la quasi totalità del sito, pur con velocità modestissime, ma livelli significativi, anche dell'ordine del metro (si evidenzia comunque come per la batimetria del modello non ci si sia potuti basare su quote di rilievo interne al perimetro del sito, ma solo sul DTM LIDAR); la presenza di opere di contenimento perimetrali risulta quindi fondamentale per la difesa idraulica del sito.
  Nel secondo scenario (che si ritiene di bassa probabilità di occorrenza, vista la presenza di un corretto franco idraulico di 1 m e la tipologia realizzativa, con difesa antierosiva in massi al piede) la rotta provoca un deflusso in golena già da monte, che giunge ad allagare l'area a Nord Ovest del sito Sorin-Avogadro, ma senza apprezzabili variazioni alle condizioni di vulnerabilità idraulica già osservate in precedenza. Il sito Enea-Eurex è già adeguatamente difeso dall'esistente muro antialluvione.

- Per TR=1000 anni gli allagamenti interessano la quasi totalità dell'area golenale. Al flusso in risalita da valle (il primo a raggiungere l'area del sito Sorin-Avogadro) si aggiunge quello proveniente da monte (per sormonto dell'argine spondale e per esondazione laterale dal canale Farini.
  Relativamente a quest'ultimo, si precisa come nelle simulazioni si siano adottate ipotesi di particolare cautela, considerando il canale come completamente chiuso a valle (nessun recapito nel canale Cavour). Anche le paratoie di presa sono considerate chiuse, per cui il canale è inizialmente vuoto; successivamente si verifica un'esondazione in sinistra più a monte, a tergo del canale, che ne provoca il riempimento. Non avendo considerato un recapito a valle, il graduale innalzamento dei livelli provoca esondazioni laterali

soprattutto in sponda sinistra del canale, ma anche in destra nel tratto a monte del sito Sorin-Avogadro (e marginalmente nel tratto di valle).
I livelli di piena sono in grado di sormontare gli elementi sovramontanti perimetrali e di causare il completo allagamento del sito Sorin-Avogadro; anche in questo caso comunque le velocità in tutta la golena sono modeste (in genere < 0,5 m/s, <0,25 m/s nell'area del sito). Il sito Enea-Eurex è invece adeguatamente difeso dall'esistente muro antialluvione.

- Per la piena millenaria sono stati indagati due scenari integrativi, ovvero quello di rottura arginale precedentemente descritto e quello di progetto, con presenza della barriera antialluvione in corrispondenza del tracciato dalla fascia B di progetto.
  Per il primo caso (più significativo che non per TR=200 anni, in quanto la difesa viene sormontata per la piena millenaria) non si riscontrano variazioni significative nell'idrodinamica dei flussi in golena, se non una maggiore intensità di allagamento nella porzione di monte. A monte del sito Sorin si verifica un rialzo del livello inferiore ai 10 cm rispetto alla simulazione di stato attuale.
  Per la simulazione di progetto si rilevano invece differenze locali più significative nell'area a monte dei siti Enea-Eurex e Sorin-Avogadro. Per effetto della nuova barriera, e del conseguente restringimento della sezione di deflusso (la portata esondata può defluire a valle solo attraverso il "corridoio" tra la nuova difesa e l'esistente muro antialluvioni attorno al sito Enea-Eurex), si assiste a monte del sito Sorin-Avogadro ad un sovralzo dei livelli per effetto di rigurgito e rallentamento dei flussi di esondazione provenienti dalla sponda sinistra della Dora, con valori massimi dell'ordine di +0,60 m. La minore sezione libera al deflusso di esondazione tra i due siti EUREX e SORIN determina anche un aumento locale di velocità (inferiore a +1 m/s) in corrispondenza della zona più ristretta e una conseguente minore velocità nella zona di rigurgito a monte di essa (fino a circa -0,3 m/s).

- Lo scenario di piena con tempo di ritorno di 500 anni presenta condizioni di deflusso intermedie tra i TR 200 e 1000 anni; si verifica l'allagamento del sito Sorin-Avogadro per sormonto degli elementi perimetrali e l'allagamento parziale delle aree più a monte per esondazione sia dalla Dora, poco a monte del sito Enea-Eurex, sia dal canale Farini.
  Per TR=20 anni la golena non è quasi interessata da deflusso, se non nella porzione più prossima al rilevato del canale Cavour.

Allegato 1 – Descrizione del codice di calcolo MIKE 21 HD

Il codice di calcolo MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile approssimare il comportamento con l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei: il numero "21" che contraddistingue il codice sta proprio ad indicare la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il modulo idrodinamico risolve le equazioni complete del moto di de St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema di de St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial q}{\partial y}=0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right)+gh\frac{\partial \zeta}{\partial x}+\frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2}$$
$$-\frac{1}{\rho_w}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(h\tau_{xx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(h\tau_{yy}\right)\right]-\Omega q-fVV_x+\frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial x}p_a$$
$$+\frac{1}{\rho_w}\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right)=0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q^2}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{pq}{h}\right)+gh\frac{\partial \zeta}{\partial y}+\frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2}$$
$$-\frac{1}{\rho_w}\left[\frac{\partial}{\partial y}\left(h\tau_{yy}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(h\tau_{xy}\right)\right]-\Omega p-fVV_y+\frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial y}p_a$$
$$+\frac{1}{\rho_w}\left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial S_{xy}}{\partial x}\right)=0$$

nelle quali:

h(x,y,t) = profondità dell'acqua;
ζ (x,y,t) = quota del pelo libero;
p,q(x,y,t) = portate unitarie nelle direzioni x e y;
C(x,y) = coefficiente di scabrezza di Chezy;
g = accelerazione di gravità;
f(V) = fattore d'attrito del vento;
V,Vx,Vy(x,y,t) = velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;
Ω (x,y) = parametro di Coriolis;
pa (x,y,t) = pressione atmosferica;

ρw = densità dell'acqua;
x,y = coordinate spaziali;
t = tempo;
τxx, τxy, τyy = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;
Sxx,Sxy,Syy = componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y. La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(E\frac{\partial p}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(E\frac{\partial p}{\partial y}\right)$$ (nella direzione x);

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(hE\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hE\frac{\partial u}{\partial y}\right)$$ (nella direzione x);

tali due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E=c_S^2\Delta^2\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2\right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale, Δ è la dimensione spaziale della griglia e c_s è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(hE\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{2}hE\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right)$$

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria ($m^3/s/m$) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m^3/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

La condizioni iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore

assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" si verifica che la situazione ottenuta sia di effettiva stazionarietà.

Le equazioni del modello sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).