

SS.4 - Variante dell'abitato di Monterotondo Scalo - 2° Stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

COD. RM190

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Elena Bartolucci
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A3217

IL GEOLOGO:

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

IL R.U.P.:

Dott. Ing.
Achille Devitofranceschi

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

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

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott. Ing. N. Granieri	Dott. Ing. D. Carliaccini	Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Arch. N. Kamenicky	Dott. Ing. S. Sacconi	Dott. Ing. F. Macchioni
Dott. Ing. V. Truffini	Dott. Ing. F. Aloe	Geom. C. Vischini
Dott. Arch. A. Bracchini	Dott. Ing. V. De Gori	Dott. Ing. V. Piuino
Dott. Ing. F. Durastanti	Dott. Ing. C. Consorti	Dott. Ing. G. Pulli
Dott. Ing. E. Bartolucci	Geom. M. Manzo	Geom. C. Sugaroni
Dott. Geol. G. Cerquiglini		
Geom. S. Scopetta		
Dott. Ing. L. Sbrenna		
Dott. Ing. M. Briganti Botta		
Dott. Ing. E. Sellari		
Dott. Ing. L. Dinelli		
Dott. Ing. L. Nani		
Dott. Ing. F. Pambianco		
Dott. Agr. F. Berti Nulli		



IDROLOGIA ED IDRAULICA

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO: DPRM0190 LIV. PROG.: D N. PROG.: 20	T00-ID00-IDR-RE03-A CODICE ELAB.: T00ID00IDRRE03	A	-
A	Emissione	17/01/2021	L.Casavecchia
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO
		VERIFICATO	APPROVATO
		E. Bartolucci	N. Granieri

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO	4
3	RIFERIMENTI NORMATIVI	7
4	SINTESI DEL QUADRO TERRITORIALE, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	8
4.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	8
4.2	LITOSTRATIGRAFIA E TETTONICA	9
4.3	GEOMORFOLOGIA	9
4.4	IDROGEOLOGIA.....	10
5	QUADRO IDROLOGICO DI RIFERIMENTO E PIENA DI PROGETTO	12
6	MODELLAZIONE IDRAULICA.....	15
6.1	GEOMETRIA DEL MODELLO E DOMINIO DI CALCOLO	15
6.2	GEOMETRIA DELLE OPERE DI PROGETTO	17
6.3	VALORI DI SCABREZZA	18
6.4	SCENARI DI MODELLAZIONE	20
6.5	CONDIZIONI AL CONTORNO DEL DOMINIO DI CALCOLO.....	20
6.6	CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	21
6.7	SIMULAZIONI	27
6.7.1	Tempo di ritorno: 500 anni	27
6.7.2	Tempo di ritorno: 200 anni	28
6.7.3	Tempo di ritorno: 100 anni	29
6.7.4	Confronto tra i diversi tempi di ritorno	29
6.8	EVOLUZIONE TEMPORALE DELL'ALLAGAMENTO	31
6.9	CONCLUSIONI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA.....	37
6.9.1	Livelli idrometrici di progetto.....	37

6.9.2	Verifica della trasparenza dei rilevati di progetto	38
7	CONSIDERAZIONI SUGLI EFFETTI EROSI SUI RILEVATI DI PROGETTO	39
8	CONSIDERAZIONI IDRAULICHE PER LA CANTIERIZZAZIONE	41
9	CONCLUSIONI.....	45

1 PREMESSA

La presente relazione ha un duplice scopo:

- **valutare la trasparenza idraulica dell'intervento, rispetto alle piene del fiume Tevere.**
- **definire le quote di riferimento per la progettazione della strada argine.**

In particolare, per la presente trattazione, si è fatto riferimento ai seguenti studi idraulici eseguiti nella stessa area di esame:

- “Verifica del conseguimento di migliori livelli di rischio idraulico nella media valle del Tevere tra Orte e Castel Giubileo per la costituzione di un nuovo assetto idraulico tramite sviluppo di strumenti GIS e modelli idrologico-idraulici avanzati”, eseguito dal prof. Ing. Fernando Nardi, 2016. Questo studio rappresenta il riferimento principale ed ufficiale per l'area in esame. Di seguito per semplicità verrà denominato “**Studio Nardi**”;
- Progetto esecutivo per il “Collegamento stradale tra l'autostrada “A1 DIR” e la “S.S. 4 Salaria” a Monterotondo Scalo – Bretella Salaria Sud – 1° stralcio” eseguito da ing. Aurelio Maschiella e ing. Sergio Calabrò. Di seguito verrà denominato “**progetto 1° stralcio**”.
- Progetto definitivo per la “Messa in sicurezza della Media valle del Tevere a salvaguardia della città di Roma – 1° stralcio – lotto 2” eseguito dal prof. Ing. Roberto Guercio e dal prof. Ing. Giuseppe Sappa. Questo studio rappresenta una prosecuzione progettuale derivante dallo Studio nardi. Di seguito verrà denominato “progetto della cassa di espansione”.

In particolar modo lo studio Nardi rappresenta la fonte più recente ed attendibile di carattere ufficiale, esso è quindi stato preso come riferimento per determinare gli idrogrammi di progetto ed utilizzato come confronto per la calibrazione del modello bidimensionale eseguito nel presente studio e per la definizione di alcuni parametri necessari alla modellazione, come ad esempio i valori di scabrezza.

Nelle immagini, schemi esplicativi e modellazioni, riportate nella presente relazione è rappresentato lo schema dell'arginatura per la messa in sicurezza idraulica dei territori oggetto di studio. A seguire si riporta, per un confronto, lo schema progettuale della variante all'abitato di Monterotondo e lo schema progettuale dell'arginatura modellata.

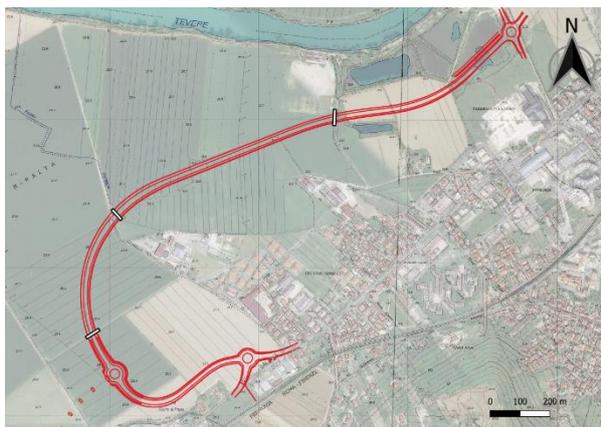


Figura 1: schema progettuale della variante all'abitato di Monterotondo.



Figura 2: schema dell'arginatura per la messa in sicurezza idraulica dei territori oggetto di studio

2 DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO

Per una descrizione dettagliata delle opere di progetto si rimanda alla relazione generale ed alle ulteriori relazioni specialistiche ed elaborati di progetto. Si descrivono nel presente capitolo sinteticamente le opere, evidenziando gli aspetti ritenuti importanti dal punto di vista idraulico.

Il progetto prevede la realizzazione della variante alla S.S. 4 "Salaria" presso l'abitato di Monterotondo. Tale variante è suddivisa in due stralci di cui il primo in fase di appalto/realizzazione, il secondo è oggetto del presente progetto.

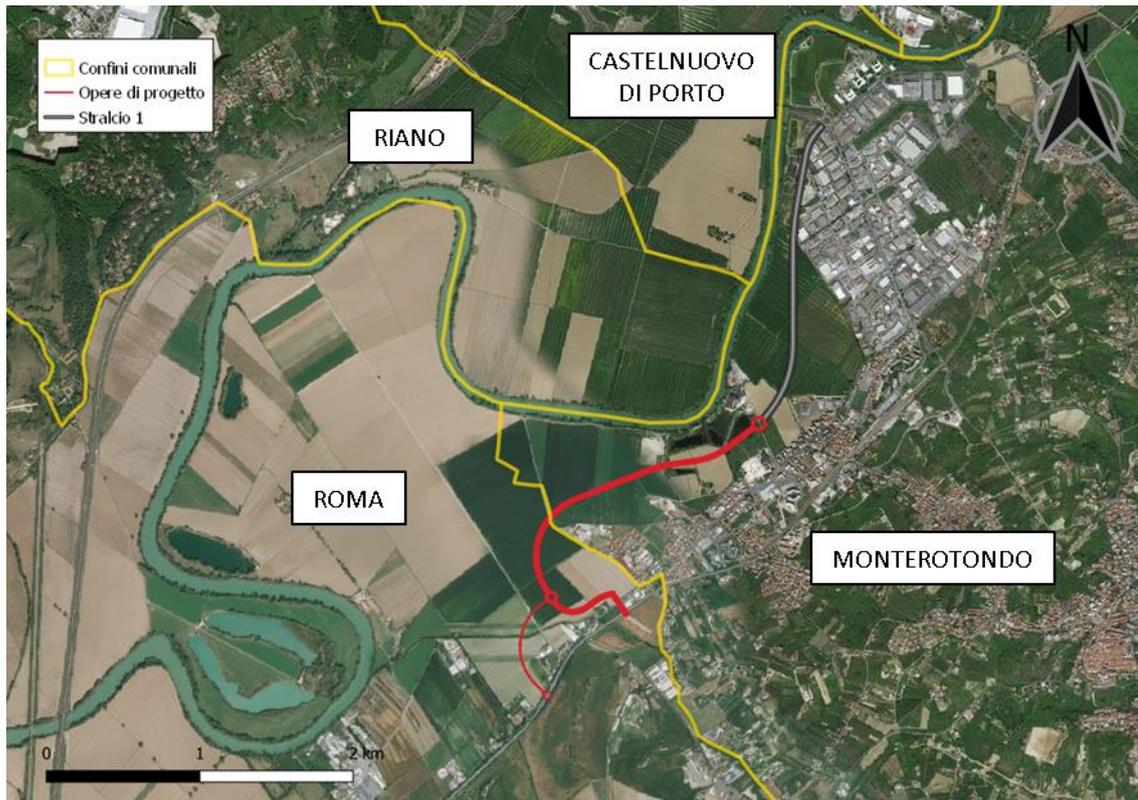


Figura 3 - Inquadramento Stralcio 1 e Stralcio 2

Dal punto di vista idraulico l'opera ha lo scopo di mettere in sicurezza la S.S. 4 Salaria rispetto agli eventi di piena del Tevere, secondo la pianificazione dell'Autorità di Bacino (si veda a proposito l'immagine seguente). La strada di progetto andrà quindi a svolgere la funzione di argine e, assieme ad ulteriori interventi (casce di espansione, ulteriori tratti di argine), permetterà in futuro di mettere in sicurezza l'abitato di Monterotondo, attualmente esposto al rischio di allagamento da parte del fiume Tevere.

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

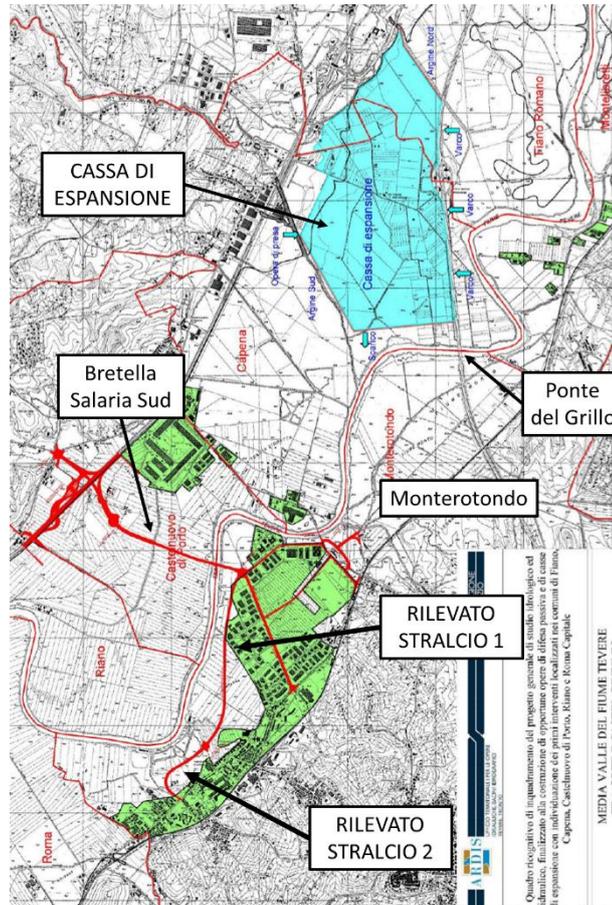


Figura 4 - Inquadramento interventi secondo AdB (immagine estratta da studio Nardi)

Allo stato attuale è in fase di realizzazione lo stralcio 1, mentre il presente progetto riguarda lo stralcio 2. Le opere ulteriori (casse di espansione ed ulteriori argini) non sono oggetto della presente progettazione e saranno realizzate in un futuro, attualmente non ben definito. Finché queste non saranno realizzate la strada argine di progetto dovrà risultare trasparente alla piena, in modo da non peggiorare la situazione rispetto allo stato attuale, ma dovrà poter essere reso impermeabile con interventi minimi.

La strada argine è quindi realizzata in rilevato, come da sezione tipologica riportata di seguito.

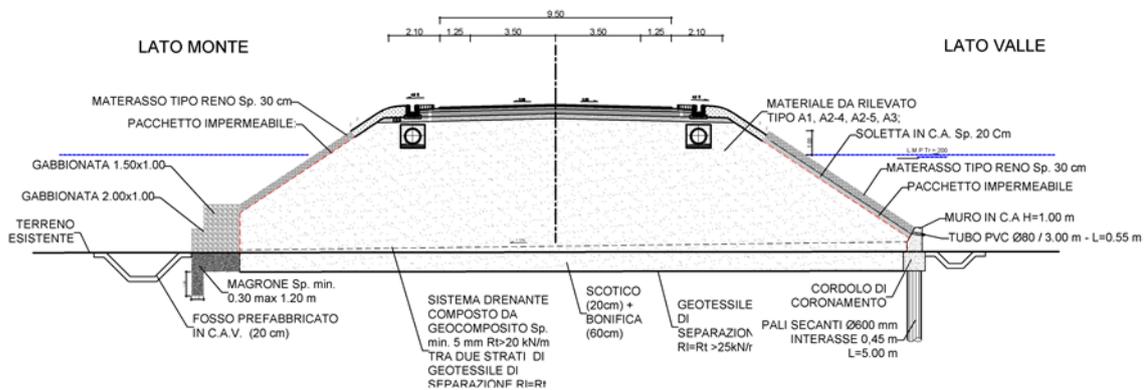


Figura 5 - sezione tipo dell'argine

Al fine di rendere trasparente il rilevato, rispetto alla piena del Tevere, sono previsti n.3 attraversamenti scotalari di sezione 4.0x5.5m, posizionati in corrispondenza di 3 fossi esistenti, meglio descritti nella relazione idraulica sui bacini secondari. In particolare il fosso più a valle (scatolare n.3) è necessario per smaltire l'accumulo dei volumi di piena nell'area esterna al rilevato che tendono a convogliare verso il punto più depresso, situato proprio in corrispondenza dello scatolare 3.

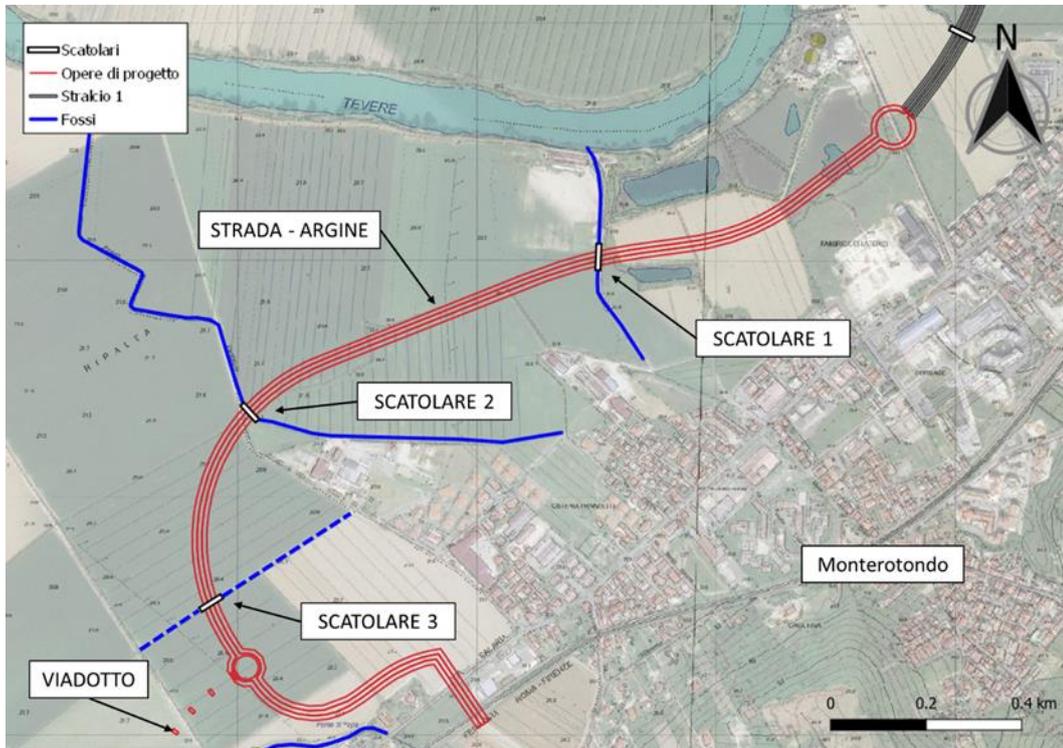


Figura 6 - inquadramento scotalari su rilevato

Alla base del rilevato, sul lato opposto rispetto al Tevere, vengono realizzati dei fossi di convogliamento delle acque, per facilitare lo svuotamento dell'area racchiusa dalla nuova strada convogliando le acque verso i tre scotalari. In proposito si rimanda allo specifico capitolo della relazione sui bacini secondari.

Questi scotalari sono allestiti con delle paratoie che risulteranno aperte fintantoché non saranno realizzate le opere di completamento di cui sopra (casse di espansione, ulteriori rilevati a nord) e fungeranno ordinariamente da attraversamento per le piene dei corsi d'acqua minori. Una volta realizzate tali opere gli scotalari saranno chiusi attraverso paratoie. Le paratoie rimarranno aperte in condizioni ordinarie, mentre si chiuderanno in caso di piena del Tevere, per evitare che le aree edificate di Monterotondo vengano allagate. In questa condizione infatti le acque derivanti dai bacini secondari non saranno più in grado di defluire verso il Tevere, per risolvere tale problema vengono predisposti nel corpo del rilevato dei passaggi per delle tubazioni di rilancio che saranno eventualmente realizzate in futuro, a quota superiore a quella della piena del Tevere. Si precisa che le opere di non fanno parte della presente progettazione, ma ne viene solo considerata la predisposizione.

Il progetto prevede la realizzazione di un tratto in viadotto di raccordo tra la strada-argine e la SS4 Salaria esistente lato Roma che scavalca il fosso Pantanella. Il viadotto risulta compatibile con le piene del fiume Tevere e del fosso Pantanella. Per maggiori particolari rispetto al fosso Pantanella si rimanda alla relazione idraulica sui bacini secondari.

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

- Risultanze della Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo, istituita con decreto ministeriale del 23 novembre 1966 e di seguito semplicemente definita Commissione De Marchi;
- Parere n. 1693/98 del 3 aprile 1998 della Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome, di seguito semplicemente definita Conferenza Stato-Regioni;
- Pareri del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 392 del 14 novembre 1997 e n. 427 del 31 marzo 2000;
- Piano stralcio delle aree soggette a rischio di esondazione nel tratto del Tevere compreso tra Orte e Castel Giubileo, cosiddetto P.S.1, approvato con D.P.C.M. del 3 settembre 1998;
- Prima Elaborazione del progetto di Piano di Bacino, cosiddetto PdB, adottata con Delibera del Comitato Istituzionale n. 80 del 28 settembre 1999;
- Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico, cosiddetto P.A.I., Adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere con delibera n. 114 del 05/04/2006 ed approvato con D.P.C.M. 10/11/2006 (pubblicato sulla G.U. n. 33 del 09/02/2007)
- Parere del Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere del 19 marzo 2008.
- Direttiva Europea 2007/60/CE del 23 ottobre 2007, relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni;
- D.Lgs. 49/2010 del 23 febbraio 2010, attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni (G.U. 2 aprile 2010, n. 77);
- D.M. 17 gennaio 2018, Norme Tecniche per le Costruzioni.

4 SINTESI DEL QUADRO TERRITORIALE, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

4.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio si trova in Regione Lazio, nell'area della Città Metropolitana di Roma, tra il Municipio di Roma 1 ed il comune di Monterotondo, a nord della capitale. L'area oggetto di intervento è compresa tra il fiume Tevere, a nord, e la città di Monterotondo, a sud.

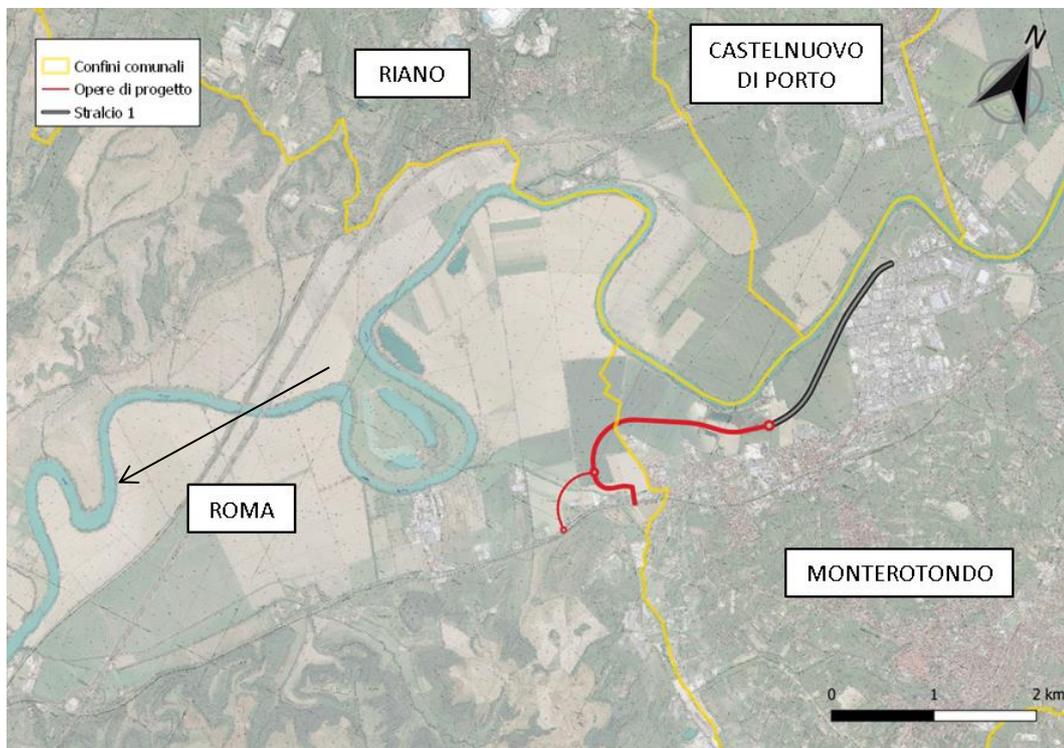
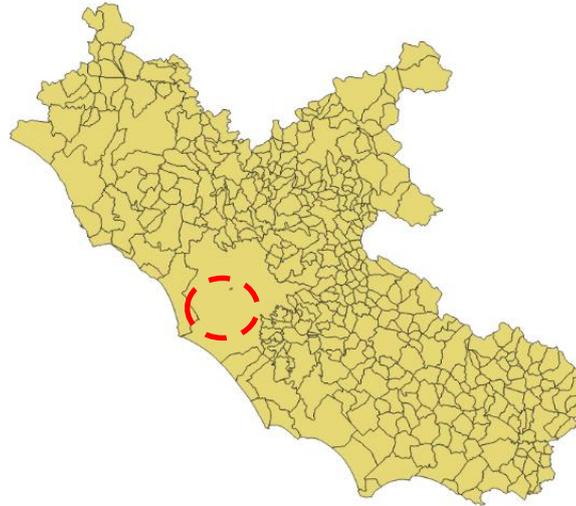


Figura 7 - Inquadramento geografico dell'area in esame

Di seguito si riporta una sintesi del quadro territoriale, geomorfologico e idrogeologico dell'area di studio.

4.2 LITOSTRATIGRAFIA E TETTONICA

Come ampiamente descritto nella Relazione Geologica di progetto (a cui si rimanda) l'area oggetto d'intervento è ubicata in corrispondenza della pianura alluvionale del Fiume Tevere, occupante parte di un basso strutturale o graben, orientato in direzione nord-est/sud-ovest, originatosi nel corso della tettonica distensiva, verificatasi a partire dal Tortoniano. La suddetta struttura è stata colmata dapprima (Pliocene-Pleistocene inferiore) da una sequenza deposizionale rappresentata da una alternanza di sedimenti marini di variabile composizione, evoluta in sedimenti continentali fluvio-lacustri, poi, nel corso del Pleistocene medio-superiore, da depositi piroclastici connessi all'attività degli apparati Vicano e Sabatino e, infine, nell'Olocene, da sedimenti fluviali depositi dal Fiume Tevere e dai suoi tributari.

In corrispondenza delle opere in progetto affiorano i sedimenti alluvionali recenti e attuali del Tevere costituite da alternanze di strati argillosi, limoso sabbiosi, e sabbioso limosi con intercalazioni di lenti di argille torbose mentre nell'area della rotatoria di raccordo con la viabilità esistente dell'Asse 2 si rileva la presenza della formazione geologica di Monte Vaticano

La formazione geologica di Monte Vaticano è costituita da argilla e argilla limosa grigio azzurra, da consistente a molto consistente, con intercalazioni di sabbia fine che passa verso l'alto a limo sabbioso.

I depositi alluvionali e la formazione di Monte Vaticano sono indicati negli elaborati geologici (Relazione E Carta Geologica) rispettivamente con la sigla "b" e "U.M.V".

La ricostruzione del modello geologico per gli assi di progetto è stata effettuata sulla base dei sondaggi geognostici disponibili, sulla documentazione fotografica delle cassette litostratigrafiche e sulle relative prove in sito e di laboratorio.

In basi all'analisi dei dati disponibili è stato possibile riconoscere ed individuare all'interno dei depositi alluvionali recenti ed attuali, diverse litologie che caratterizzano la formazione e che presentano caratteristiche granulometriche e di permeabilità diverse tra loro in accordo con il sistema deposizionale del territorio. In particolare sono stati distinti i seguenti livelli:

- Limo sabbioso
- Sabbia limosa
- Limo sabbioso limoso
- Limo argilloso -sabbioso
- Sabbia con ghiaie
- Sabbia limo argillosa
- Ghiaia in matrice limo sabbiosa

Per la visione dei profili geologici dell'Asse 1- 2- 3 in scala di progetto (H/V 1:2000/1:200) si rimanda ai relativi elaborati di progetto.

4.3 GEOMORFOLOGIA

Come si evince dalla carta geomorfologica di progetto (a cui si rimanda) il territorio su cui andranno ad insistere le opere in progetto è caratterizzato dalle morfologie tipiche delle zone di fondovalle aperte a morfologia pianeggiante dove scorre il fiume Tevere, che rappresenta il principale elemento morfogenetico del territorio. La pianura alluvionale del Tevere, in cui sono ubicati i tracciati di progetto è confinata tra la linea ferroviaria Roma –Milano e il fiume stesso, presenta una larghezza variabile da 600 a 1.800 metri, e quota compresa tra 20 e 24 m s.l.m. con una pendenza media inferiore al 10%. Nelle fasce

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

più prossime al Tevere sono spesso presenti laghetti relitto di antiche attività estrattive dismesse e non riambientate.

Pertanto la zona di progetto è ascrivibile ad un'area valliva aperta a fondo piatto con direttrice NE – SO.

Il principale elemento idrografico è rappresentato dal Fiume Tevere, che ha determinato l'evoluzione morfologica del territorio e anche attualmente influenza i processi geomorfologici e le dinamiche attuali che nell'area di studio.

Il Tevere rappresenta anche il principale asse di deflusso superficiale del reticolo idrografico naturale, costituito dai numerosi corsi d'acqua che solcano le strutture che delimitano il bacino imbrifero dell'area di Monterotondo oltre alle derivazioni del sistema di regimentazione artificiale.

Il fiume Tevere presenta un tracciato meandriforme con una mobilità laterale che consente al fiume di divagare e spostarsi all'interno della piana alluvionale. Si osservano numerosi meandri che si differenziano dal punto di vista morfologico per lo stadio evolutivo raggiunto.

Queste variazioni sono riconducibili alle seguenti componenti quali l'accorciamento, l'estensione, la traslazione, la rotazione, l'ampliamento, il salto del meandro e altre variazioni complesse (Hooke, 2013) date dall'effetto combinato di diverse componenti.

I meandri rilevati nel tratto fluviale interessato dal progetto risultano attivi e altamente dinamici, mostrano una migrazione verso valle. Essi presentano deviazioni e asimmetrie della sponda esterna, rispetto all'apice geometrico dell'ansa. In alcuni casi sembra che le geometrie disegnate dal corso d'acqua siano frutto di una tettonica e/o di lineazioni con richiami verso monte o anomalie di percorso del tracciato fluviale.

Per quanto concerne le condizioni geomorfologiche del territorio di studio, per le caratteristiche del medesimo non sono presenti aree soggette a fenomeni d'instabilità.

4.4 IDROGEOLOGIA

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area di studio sono rappresentate fondamentalmente dal complesso dei sedimenti alluvionali recenti ed attuali del Fiume Tevere. Tale complesso è costituito da sedimenti con granulometria e coefficienti di permeabilità variabili: in esso è presente un sistema di falde sovrapposte e confinate nei livelli a maggiore permeabilità quali sabbia e ghiaia. Presso la superficie o immediatamente al di sotto di essa si riscontra una circolazione idrica sotterranea alimentata dal Tevere e direttamente influenzata dalle sue escursioni di livello idrologico stagionali.

Il complesso idrogeologico dei depositi alluvionali è delimitato sui due lati della valle da formazioni vulcaniche, nonché marine plio-pleistoceniche, caratterizzate da permeabilità da media ad elevata, per le prime di tipo primario e secondario, per le seconde di tipo primario.

Per maggiori dettagli si rimanda alla "Carta Idrogeologica di Progetto"

I dati raccolti in fase di progettazione preliminare ed esecutiva dell'opera infrastrutturale indicano che esiste una stretta relazione tra il regime delle precipitazioni e i livelli piezometrici della falda idrica superficiale. Le escursioni annuali di livello sono molto marcate, specialmente nelle zone più lontane dall'alveo del Fiume Tevere. In vicinanza del fiume, invece, le escursioni tendono a ridursi drasticamente, in quanto i livelli piezometrici sono strettamente collegati al livello idraulico presente nell'alveo del Fiume Tevere, che mantiene una sua costanza nel corso dell'anno idrologico, con l'eccezione di periodi climatici eccezionali.

Per quanto riguarda il rischio idraulico, la cartografia prodotta dall'Autorità di Bacino (vedi "Planimetria della pericolosità e del rischio idraulico") consente di rilevare che gli assi di progetto si posizionano sull'argine sinistro del fiume Tevere e ricadono per maggior parte all'interno della fascia P3, ovvero la

fascia di rischio ad elevata probabilità di alluvionamento (alluvioni frequenti). La parte terminale dell'Asse "3" fuoriesce dall'area a maggior pericolosità e interessano zone a medio-bassa probabilità (P2 e P1).

5 QUADRO IDROLOGICO DI RIFERIMENTO E PIENA DI PROGETTO

Come anticipato nell'introduzione, lo studio Nardi è stato preso a riferimento per definire gli idrogrammi di progetto da adottare presente studio idraulico.

Nello studio Nardi sono state sviluppate due attività principali:

- 1) implementazione delle recenti linee guida per la modellazione idrologico-idraulica del progetto di aggiornamento del PAI dell'area romana (Linee Guida PS5) ed applicazione del modello afflussi-deflussi di tipo IUH su base geomorfologica (WFIUH) per la definizione delle onde di piena dei bacini affluenti nella media valle secondo gli scenari delle precipitazioni sintetiche di riferimento del progetto VAPI;
- 2) acquisizione, analisi delle onde di piena delle cento realizzazioni Monte Carlo del modello PIENE/DEFLUSSI del Piano Direttore e selezione delle onde di piena per diverse sezioni di controllo sulla base di tre scenari di portate e volumi di piena di riferimento associabili ai Tr 50-100, 200 e 500 anni.

Le portate di progetto utilizzate nel presente studio sono dunque quelle in uscita dalla seconda attività appena descritta per tempi di ritorno di 100 (nello studio questo tempo di ritorno viene chiamato 50-100, ma fa effettivamente riferimento ad un valore pari a 100 anni), 200 e 500 anni e per diverse sezioni di riferimento lungo l'asta del Tevere.

Di seguito si riportano gli idrogrammi estratti dalla relazione idrologica e idraulica dello studio Nardi.

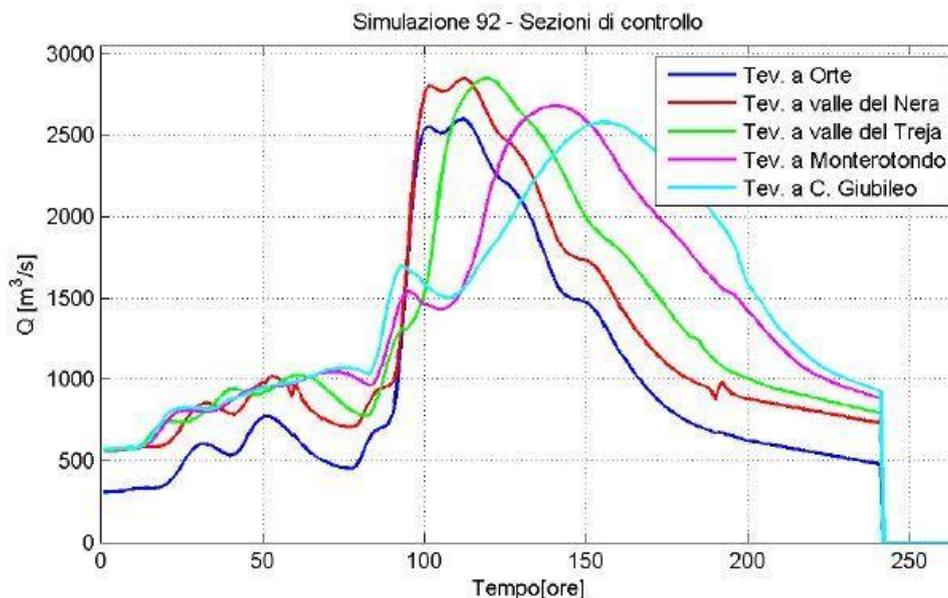


Figura 8 - Idrogramma estratto dalla relazione idraulica dello studio Nardi, corrispondente ad un tempo di ritorno di 100 anni

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

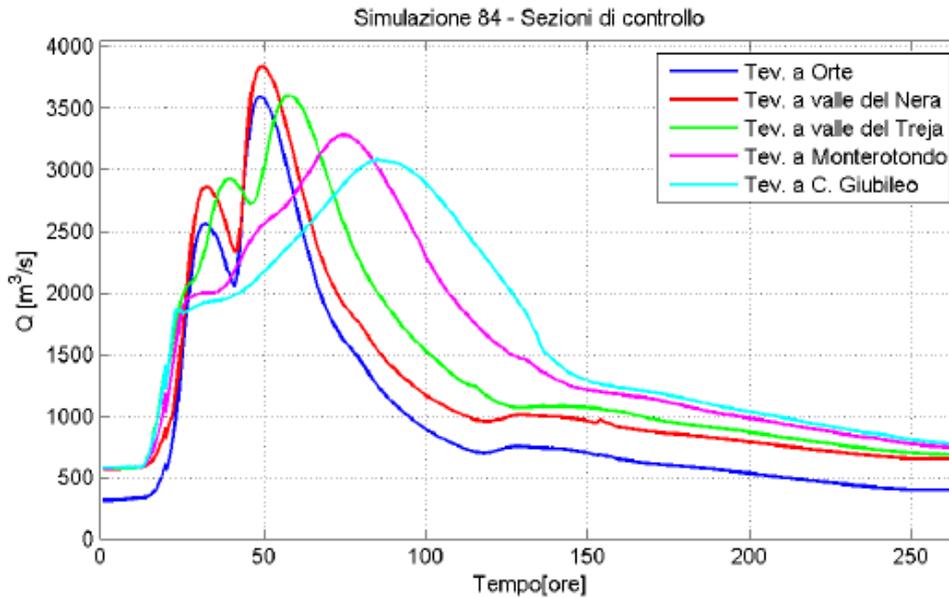


Figura 9 - Idrogramma estratto dalla relazione idraulica dello studio Nardi, corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni

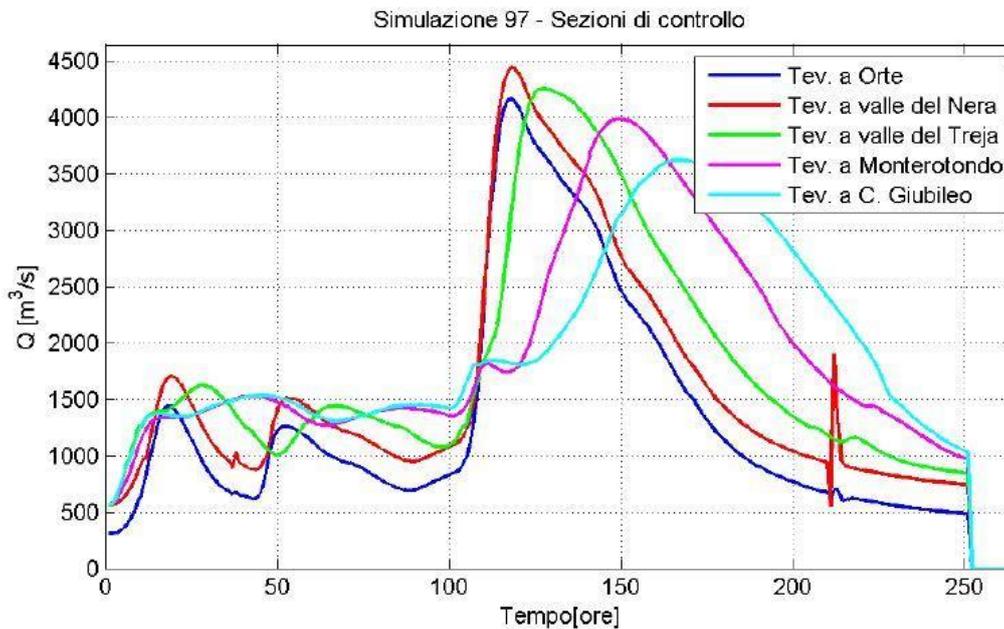


Figura 10 - Idrogramma estratto dalla relazione idraulica dello studio Nardi, corrispondente ad un tempo di ritorno di 500 anni

La sezione di riferimento per il presente progetto è la sezione "Tev. a Monterotondo" (in rosa nelle precedenti figure), posizionata nei pressi del ponte del Grillo (sezione di ingresso della modellazione idraulica effettuata nel presente studio). Non essendo disponibili gli idrogrammi in formato tabellare i dati sono stati estrapolati graficamente dalle immagini riportate sopra, tagliando testa e coda per ridurre la durata delle simulazioni, che rimane tuttavia considerevole.

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

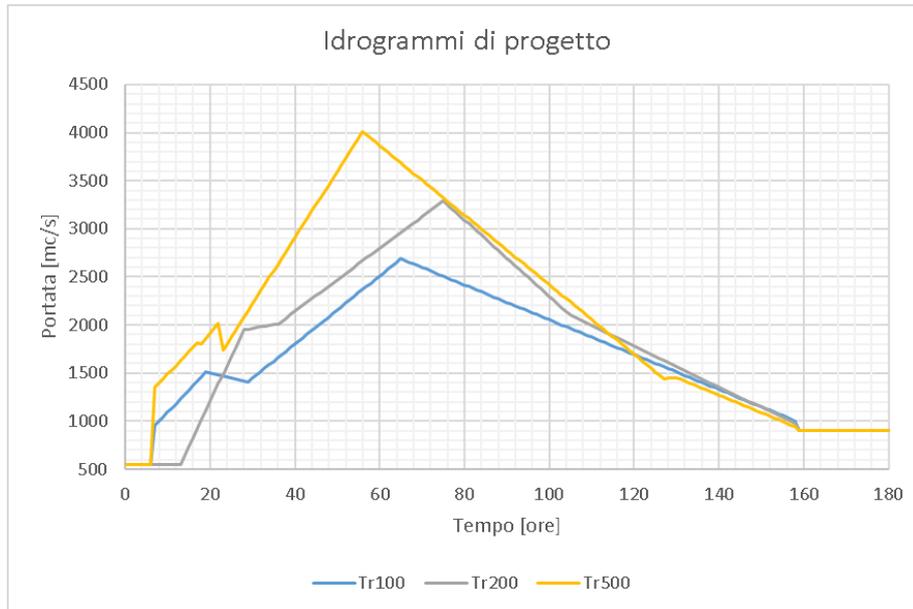


Figura 11 - Idrogrammi di progetto, per diversi tempi di ritorno, ricavati dallo studio Nardi ed impiegati nella presente relazione

L'estrapolazione grafica degli idrogrammi è stata effettuata mantenendo gli stessi picchi di portata e gli stessi tempi di piena, interpolando linearmente tra i punti estratti nei cambi di pendenza delle curve. Tale metodologia riduce leggermente i volumi di piena, tuttavia l'effetto è ritenuto trascurabile in quanto lo scopo della presente relazione è quello di stimare i massimi livelli idrici e la trasparenza delle opere rispetto alla piena. Per determinare i livelli massimi vengono effettuate delle simulazioni a portata costante, pari alla portata di picco, mentre per quanto riguarda la verifica della trasparenza viene verificata la differenza tra la situazione ante-opera e quella post-opera e l'eventuale sottostima dei volumi viene quindi eliminata nella differenza tra le due situazioni.

Di seguito si riportano i valori di portata di picco associati ad ogni tempo di ritorno.

Tr [anni]	Q _{picco} [mc/s]
100	2689
200	3291
500	4010

Tabella 1 - Valore di portata di picco per ogni tempo di ritorno

Si precisa che per il dimensionamento delle opere di progetto sono state considerate le quote idrometriche corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 anni.

6 MODELLAZIONE IDRAULICA

La modellazione del comportamento idrodinamico del fiume Tevere nel tratto di interesse è stata sviluppata mediante implementazione di un modello di calcolo bidimensionale ai volumi finiti. Il software utilizzato per la modellazione è InfoWorks ICM, sviluppato dalla software house Innovyze.

La modellazione bidimensionale del corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza la propagazione delle onde di piena nell'asta fluviale e nelle aree di golena attigue, con la peculiarità di mettere in evidenza il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature; è possibile inoltre valutare con un elevato grado di dettaglio gli effetti sulla propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle. Allo stesso tempo la rappresentazione in termini bidimensionali del campo di velocità consente di analizzare l'evoluzione degli allargamenti indotti dal propagarsi delle onde di piena all'interno dell'area esaminata.

Lo scopo della modellazione idraulica è duplice:

- in primo luogo, si vuole **determinare la quota di imposta del rilevato sulla base dei livelli massimi raggiunti**. A tale scopo, cautelativamente, il dimensionamento verrà basato su simulazioni eseguite a portata costante pari alla portata di picco, non considerando quindi gli effetti di laminazione delle aree golenali;
- in secondo luogo, si vuole **verificare la trasparenza idraulica dell'opera in progetto** rispetto allo stato di fatto. Ciò sarà effettuato inserendo come input del modello gli idrogrammi di progetto, per valutare la reale evoluzione del fenomeno tenendo conto anche degli effetti di laminazione.

6.1 GEOMETRIA DEL MODELLO E DOMINIO DI CALCOLO

La geometria del modello è stata ottenuta a partire da:

- rilievo lidar, risoluzione 1x1m;
- rilievo batimetrico dell'alveo, risoluzione 0.5x0.5m.

I due rilievi sono stati quindi intersecati al fine di ottenere la migliore rappresentazione geometrica dell'area di interesse. Ciò è stato effettuato in ambiente GIS, in particolar modo mediante l'applicazione del calcolatore raster. Si è ottenuto dunque un Modello Digitale del Terreno (DTM) unico, nel quale il rilievo batimetrico è stato mantenuto per rappresentare l'alveo, mentre l'area golenale, e in generale la rimanente area di calcolo, viene modellata a partire dal rilievo lidar. La risoluzione è stata omogeneizzata per l'intera area di interesse a celle di 1x1m. Di seguito un estratto del risultato ottenuto, che comprende il tratto tra il ponte del Grillo fino a valle dei ponti dell'A1 e della ferrovia.

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

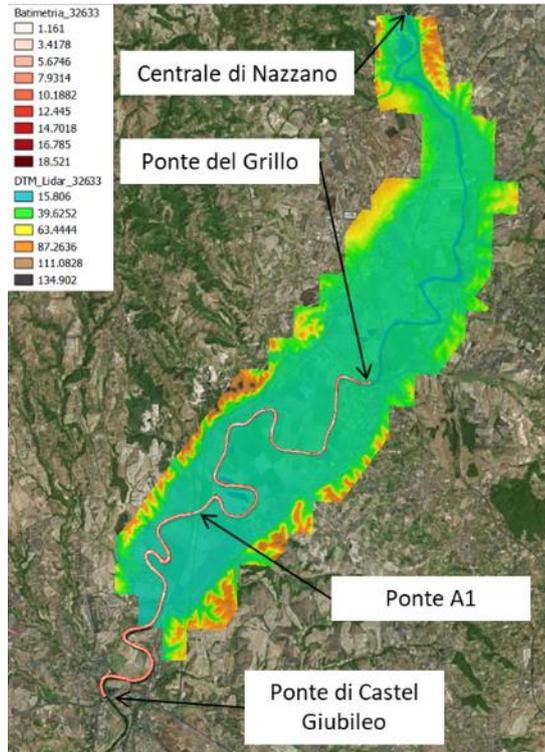


Figura 12 - Rilievo lidar e rilievo batimetrico sovrapposti sull'area di interesse



Figura 13 - Modello Digitale del Terreno utilizzato per la modellazione bidimensionale, dato dalla sovrapposizione di batimetria e rilievo lidar

Sulla base di tale risultato, è stata definita l'area di calcolo per il presente progetto: il tratto di Tevere interessato è delimitato a monte dal ponte del Grillo e a valle dal ponte dell'A1. Il dominio di calcolo è delimitato a sud dal rilevato ferroviario, a nord dal rilevato autostradale e dalle colline, a est dal rilevato

autostradale. Nel modello, in corrispondenza del rilevato stradale dell'A1, sono stati inseriti degli scatolari per simulare gli attraversamenti esistenti. Se ne riportano alcuni esempi di seguito.



Figura 14 - esempi di attraversamenti del rilevato stradale A1 simulati nella modellazione (Google Maps)

Di seguito un inquadramento del dominio di calcolo con quanto sopra descritto.

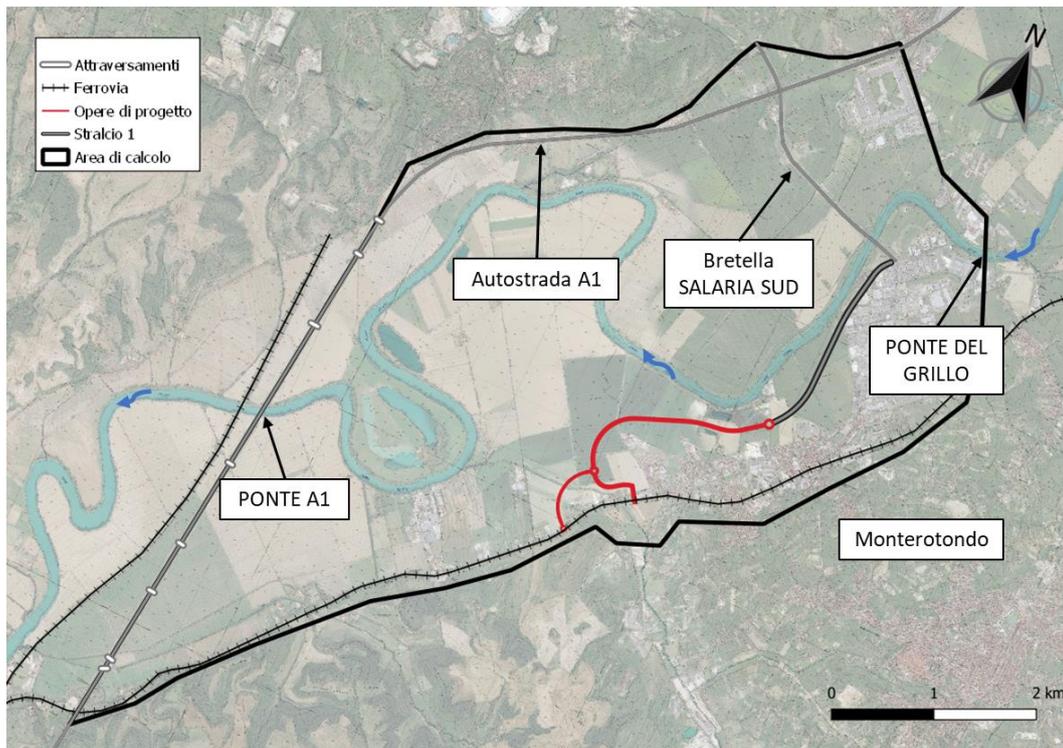


Figura 15 - Dominio di calcolo

6.2 GEOMETRIA DELLE OPERE DI PROGETTO

Le opere di progetto inserite nel modello della situazione post-opera corrispondono a:

- rilevato stradale della nuova salaria;
- viadotto;
- scatolari di attraversamento del rilevato.

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

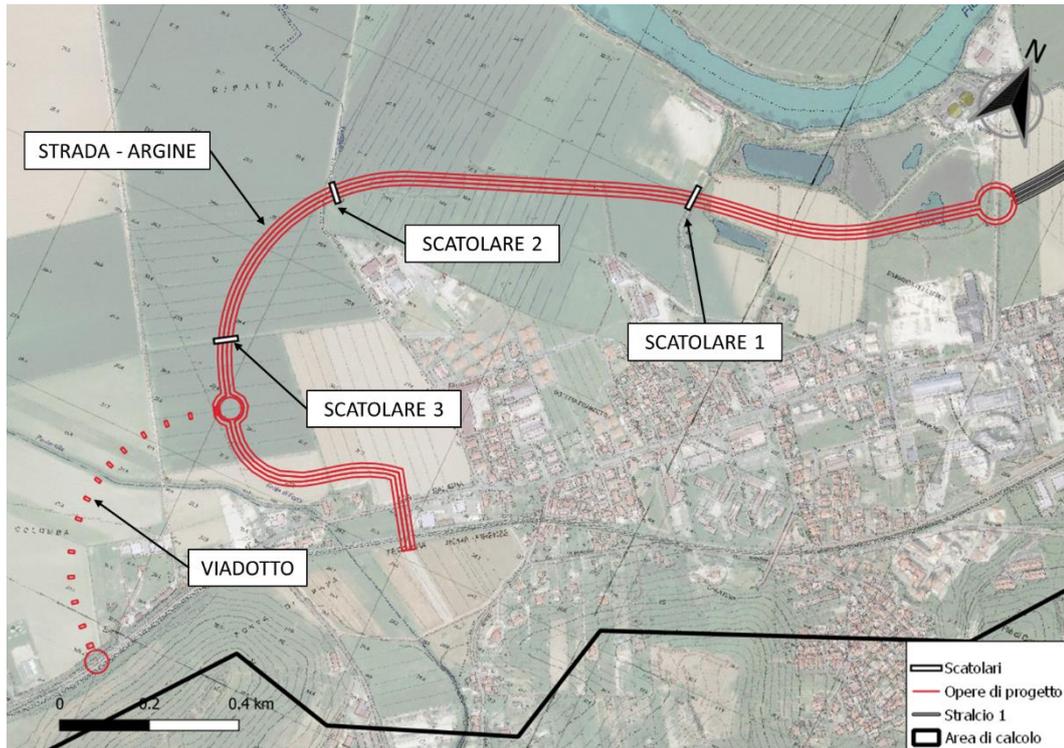


Figura 16 - inquadramento opere di progetto

Ognuno di essi è stato modellato utilizzando diversi approcci. Il rilevato stradale è stato modellato come una parete invalicabile, in modo da cogliere il livello idrometrico massimo in prossimità ad esso. Il viadotto in corrispondenza del fosso Pantanella è stato modellato inserendo esclusivamente le pile e le spalle, in quanto la quota dell'intradosso viene dimensionata considerando un franco di sicurezza a partire dai risultati stessi delle simulazioni. Infine, gli scatolari sono stati inseriti considerando le seguenti dimensioni: 4.0m in larghezza e 5.5m in altezza. Di seguito una tabella con le quote di posa.

Scatolare	Quota [m s.l.m.]
1	20.06
2	19.87
3	19.80

Tabella 2 - quota di posa degli scatolari

6.3 VALORI DI SCABREZZA

I valori di scabrezza sono stati definiti mediante il medesimo procedimento seguito nello studio Nardi, precedentemente citato. A partire dalla carta di Uso del Suolo, fornita dal Geoportale della Regione Lazio, sono stati definiti i coefficienti di scabrezza, considerando i valori tabellari presenti nello studio Nardi. Per l'alveo, si è considerato un coefficiente di Manning di $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$, equivalente a quello definito nello studio Nardi.

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

Di seguito la tabella da cui sono stati presi i valori di scabrezza per l'area golenale e la mappa ottenuta.

codice CLC	Uso suolo	Manning [m ^{-1/3} s]	codice CLC	Uso suolo	Manning [m ^{-1/3} s]
131	Aree estrattive	0.04	1111	Tessuto urbano continuo	0.02
141	Aree verdi urbane	0.035	1112	Tessuto urbano discontinuo	0.03
143	Aree verdi urbane	0.035	1121	Tessuto urbano discontinuo denso con uso misto (Sup. Art. 50%-80%)	0.03
211	Seminitavi in aree non irrigue	0.06	1122	Tessuto urbano discontinuo medio, principalmente residenziale (Sup. Art. 30%-50%)	0.035
221	Vigneti	0.06	1123	Aree portuali	0.02
222	Frutteti e frutti minori	0.06	1211	Aree industriali o commerciali	0.03
223	Oliveti	0.06	1212	Aree destinate ad attività commerciali	0.04
231	Prati stabili	0.1	1221	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	0.02
242	Sistemi colturali e particellari permanenti	0.08	1222	Rete stradale secondaria con territori associati	0.02
243	Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	0.06	1322	Discariche	0.05
311	Boschi di latifoglie	0.2	1332	Aree in costruzione	0.03
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	0.04	1421	Aree ricreative e sportive	0.04
322	Brughiere e cespuglieti	0.06	1422	Aree sportive e ricreative	0.04
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	0.06	2111	Seminitavi in aree non irrigue	0.04
333	Aree con vegetazione rada	0.04	2121	Seminitavi in aree irrigue	0.04
334	Aree bruciate	0.04	3241	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	0.05
411	Paludi	0.05	5111	Fiumi, torrenti e fossi	0.03
421	Paludi	0.05	5121	Bacini d'acqua	0.03
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	0.03	5123	Bacini con prevalente destinazione idrica	0.03
512	Bacini d'acqua	0.03			

Figura 17 - Coefficienti di scabrezza associati all'uso del suolo. Tabella estratta dallo studio Nardi.

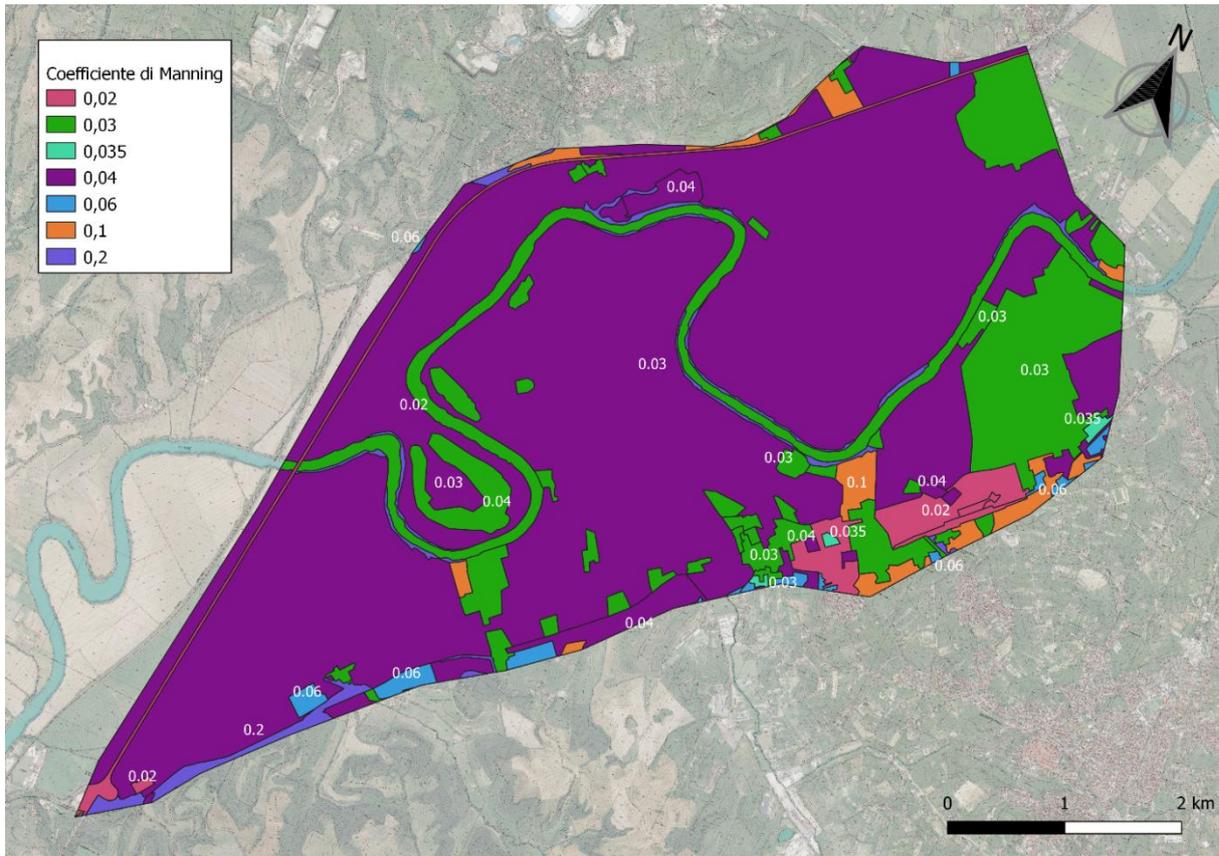


Figura 18 - Mappa delle scabrezze di Manning dell'area in esame

6.4 SCENARI DI MODELLAZIONE

Nel presente studio vengono considerati due scenari di modellazione:

- Scenario 1, o **Ante-opera**: stato di fatto, considerando il rilevato dello stralcio 1 come realizzato;
- Scenario 2, o **Post-opera**: stato di progetto, in cui vengono inserite le opere del presente progetto, ovvero il tratto di nuova Salaria 2° Stralcio.

In merito allo scenario 1 dello stato Ante-opera in riferimento alle opere dello stralcio 1, si precisa che sono stati inseriti nel modello sia il rilevato sia le relative tubazioni che lo attraversano al fine di garantirne la trasparenza idraulica.

In merito allo scenario 2 dello stato Post-opera, sono stati inseriti il rilevato di progetto e i relativi scatolari, che hanno lo scopo di rendere "trasparente" l'opera alla piena. Tale trasparenza sarà garantita fino alla realizzazione delle casse di espansione di cui allo Studio Nardi, dopo la quale gli scatolari saranno chiusi.

6.5 CONDIZIONI AL CONTORNO DEL DOMINIO DI CALCOLO

In generale, il dominio di calcolo è esteso lateralmente fino a comprendere i vincoli geometrici che non permettono alla piena di uscire dal dominio di calcolo (es. rilevato ferroviario, rilevato A1, colline), mentre

i bordi esterni dell'intera area di calcolo sono stati impostati in modo tale che sia permesso il deflusso dell'acqua al di fuori del dominio in condizione di moto uniforme. Quest'ultima condizione, tuttavia, risulta pressoché superflua, in quanto il dominio è appunto delimitato prevalentemente da rilevati che confinano il moto all'interno degli stessi.

Le condizioni di monte e di valle del dominio impostate nelle naturali sezioni di ingresso ed uscita delle portate dal dominio di calcolo, coincidono rispettivamente con il ponte del Grillo e con il ponte dell'A1 (carreggiata di monte).

In tali sezioni sono stati definiti:

- a monte, in corrispondenza del ponte del Grillo, l'immissione di portata (idrogramma di progetto o portata costante);
- a valle, in corrispondenza del ponte dell'A1, la scala di deflusso delle portate.

Gli idrogrammi di progetto, validi come condizione di monte, sono stati illustrati nel paragrafo precedente.

In merito alla condizione al contorno nella sezione di uscita (di valle), invece, la scala di deflusso utilizzata è estratta dalla relazione idraulica del progetto della cassa di espansione, precedentemente citato, e di seguito riportata.

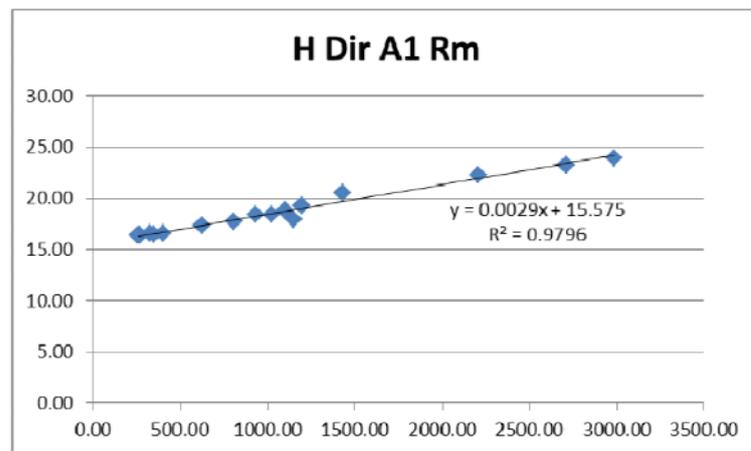


Figura 19 - Scala di deflusso per la sezione in corrispondenza del ponte dell'A1, estratta dal progetto della cassa di espansione

Come riportato nella relazione idraulica del progetto della cassa di espansione, tale scala di deflusso è stata ricostruita *“in base a misure dirette effettuate durante i diversi rilievi batimetrici dell'alveo ed ai valori di portata e livello forniti dal citato studio del prof. Nardi [ovvero il medesimo studio preso come riferimento nel presente progetto, ndr]. La funzione di migliore adattamento dei predetti valori è risultata essere quella lineare, come visualizzato sul grafico rappresentativo della perequazione livelli - portate.”*

Come verrà specificato anche nel paragrafo successivo inerente alla calibrazione del modello, tale condizione al contorno è necessaria per l'influenza da valle dello sbarramento presente in corrispondenza di Castel Giubileo (posto circa 12 km a valle del ponte dell'A1), che determina importanti fenomeni di rigurgito percepibili fino all'altezza di Monterotondo.

6.6 CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Il modello bidimensionale è stato calibrato e validato sulla base dei risultati dello studio Nardi. A tal proposito, si mostrano nella figura seguente le sezioni dello studio Nardi (in arancione) all'interno del

dominio di calcolo del presente progetto impiegate per il confronto. In aggiunta a queste, sono state inserite ulteriori tre sezioni utili al presente studio (in blu, C_A, C_B, C_C).

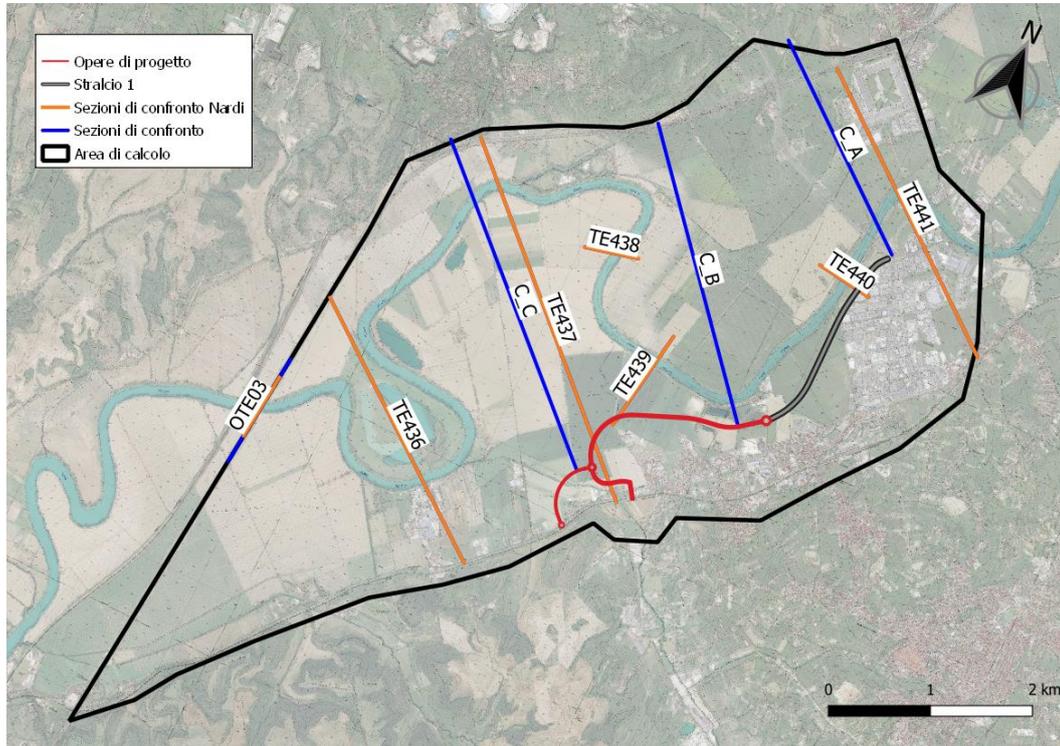


Figura 20 - Sezioni di confronto estratte dallo studio Nardi

Di seguito, si riporta una tabella illustrativa delle distanze progressive delle varie sezioni lungo l'asta del Tevere (fonte studio Nardi), con relative quote idrometriche per i tempi di ritorno di 500, 200 e 100 anni. La sezione OTE03 corrisponde al ponte dell'A1, ovvero alla sezione di chiusura/uscita del dominio di calcolo del presente studio.

SEZIONE			NARDI 500	NARDI 200	NARDI 100
codice	Progr.		H [m s.l.m.]	H [m s.l.m.]	H [m s.l.m.]
TE 441	87229		25.04	24.54	23.87
TE 440	88261		24.79	24.22	23.57
TE 439	90721		24.44	23.78	23.06
TE 438	92109		24.31	23.62	22.83
TE 437	94285		24.20	23.47	22.56
TE 436	98506		23.92	23.19	22.13
OTE 03	100861		23.57	22.87	21.69

Tabella 3 – Codice, progressiva, e quota idrometrica delle sezioni dello studio Nardi, per Tr=200 anni, utilizzate per la calibrazione del modello bidimensionale

Al fine del presente progetto, è stata introdotta una progressiva relativa, con lo 0 a partire dalla sezione TE441 verso valle, per tenere conto anche delle sezioni di confronto aggiunte dalla scrivente. Di

seguito una tabella riepilogativa delle sezioni e della progressiva che si terrà come riferimento per il presente progetto.

SEZIONE			
Codice		Progressiva Nardi [m]	Progressiva Relativa [m]
TE	441	87229	0
	C_A		360
TE	440	88261	1032
	C_B		2654
TE	439	90721	3492
TE	438	92109	4880
TE	437	94285	7056
	C_C		7349
TE	436	98506	11277
OTE	03	100861	13632

Tabella 4 - Progressiva relativa introdotta per il presente studio. In blu le sezioni di confronto aggiunte dalla scrivente

Sono state svolte, dunque, diverse simulazioni per la calibrazione e la validazione del modello, fino ad ottenere la configurazione definitiva per la modellazione dello stato di fatto. In particolare sono stati eseguiti i seguenti passaggi:

- simulazione a portata costante, imponendo la condizione di moto uniforme nella sezione di uscita (OTE03);
- simulazione a portata costante (Q_{co}), con scala di deflusso imposta nella sezione di valle (OTE03);
- simulazione con idrogramma di progetto (Q_{va}), con scala di deflusso imposta nella sezione di valle (OTE03);

Le simulazioni eseguite con condizioni di moto uniforme alla sezione OTE03 sono risultate, almeno per la parte di valle del dominio, totalmente incongruenti, dimostrando la necessità di introdurre la scala di deflusso come condizione al contorno. Nell'immagine seguente il risultato grafico di una simulazione eseguita con tali condizioni al contorno, per tempo di ritorno 200 anni e portata costante. Si noti come, rispetto ai risultati individuati dallo studio Nardi, le quote idrometriche ottenute risultano generalmente inferiori, raggiungendo una differenza negativa di circa 5.5m alla sezione OTE03.

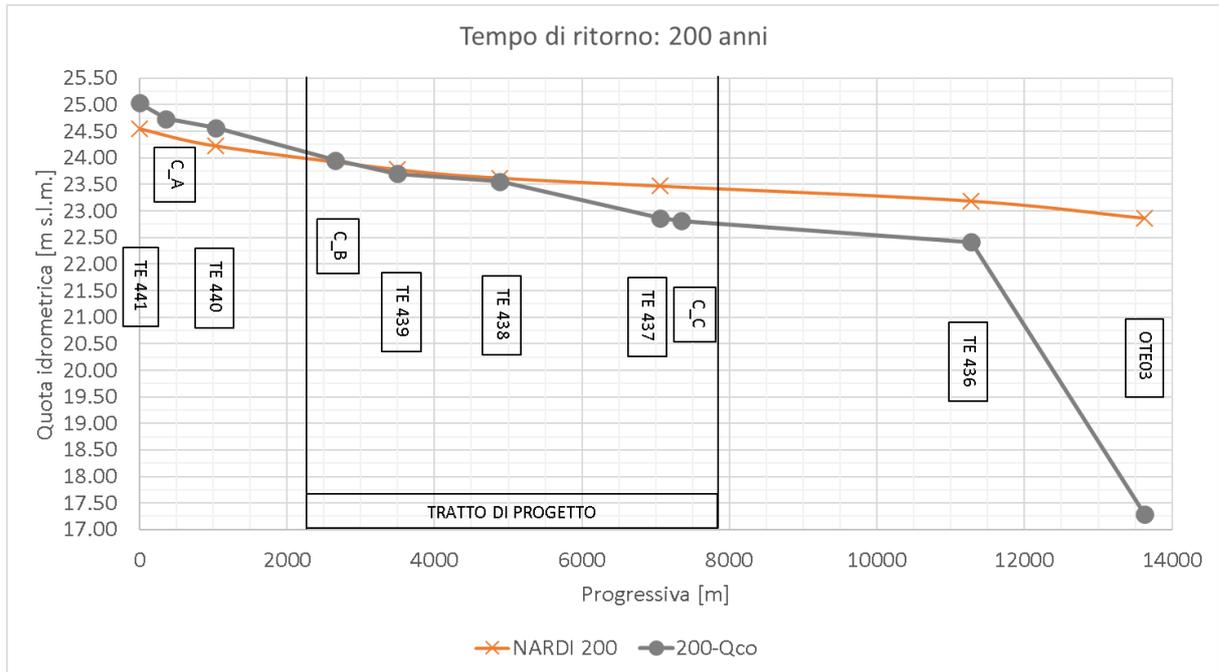


Figura 21 - Simulazione eseguita a portata costante e condizione al contorno di valle a moto uniforme

Di seguito i risultati della calibrazione dello stato ante-opera, con la condizione di valle imposta come scala delle portate. Vengono considerate le massime quote idrometriche raggiunte (massimo sulla sezione durante tutta la simulazione), rispetto ai risultati dello studio Nardi, per tempi di ritorno di 500, 200 e 100 anni. Vengono in particolare riportati i profili idrometrici per lo studio Nardi (marcatori a croce), per la simulazione a portata costante pari alla portata di picco Q_{co} (linea azzurra) e per la simulazione con idrogramma Q_{va} (linea verde). Dopo i grafici si riportano i risultati anche in forma tabellare.

L'analisi dei grafici mostra che:

- la modellazione risulta **cautelativa rispetto allo studio Nardi**, con livelli ed andamenti idrometrici simili ma leggermente più elevati;
- le simulazioni a portata costante generano ragionevolmente **quote idrometriche maggiori** rispetto alla simulazione a portata variabile.
- In merito alla sezione OTE03, impostata come condizione al contorno, i risultati vengono sfalsati a causa di particolari situazioni di carattere numerico dovute alla presenza della condizione al contorno di valle (scala di deflusso). Tali effetti sono tuttavia lontani dall'area di progetto e non inficiano i risultati della modellazione.

A questo punto il modello si ritiene rappresentativo dello stato di fatto, considerando che i livelli ottenuti sono comunque cautelativi rispetto allo studio Nardi. Il modello bidimensionale costituito, perciò, è ritenuto calibrato e validato ai fini del presente studio.

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

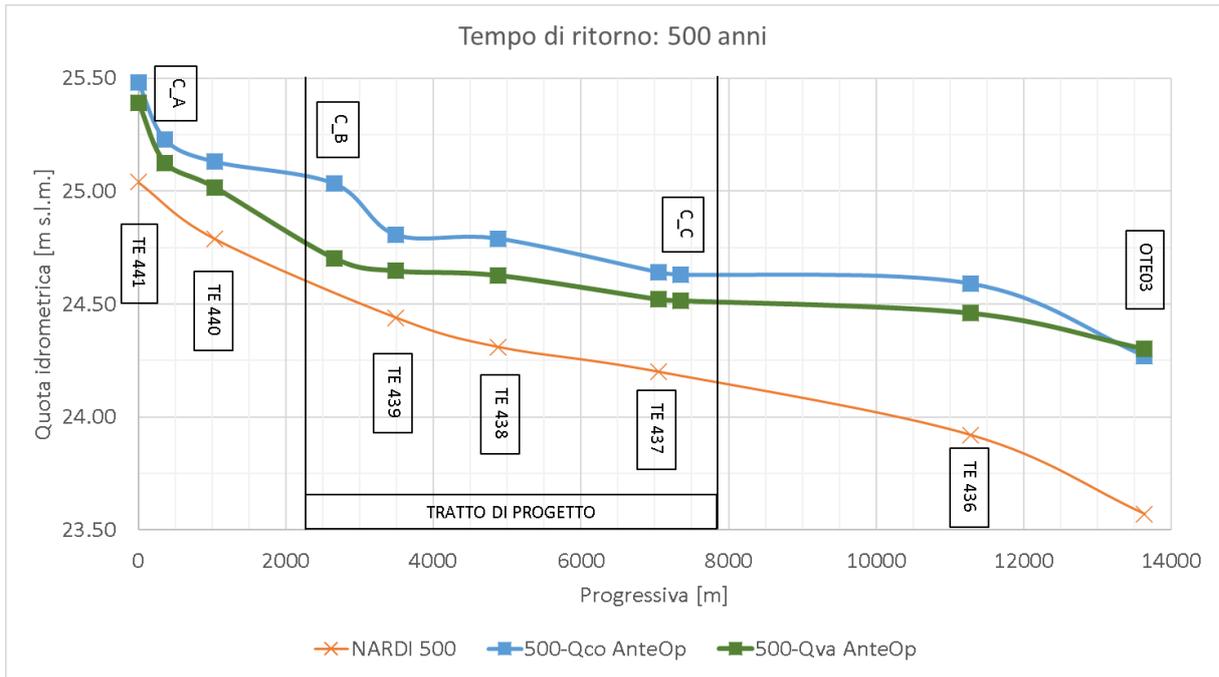


Figura 22 - Quote idrometriche di calibrazione, Tr500 anni

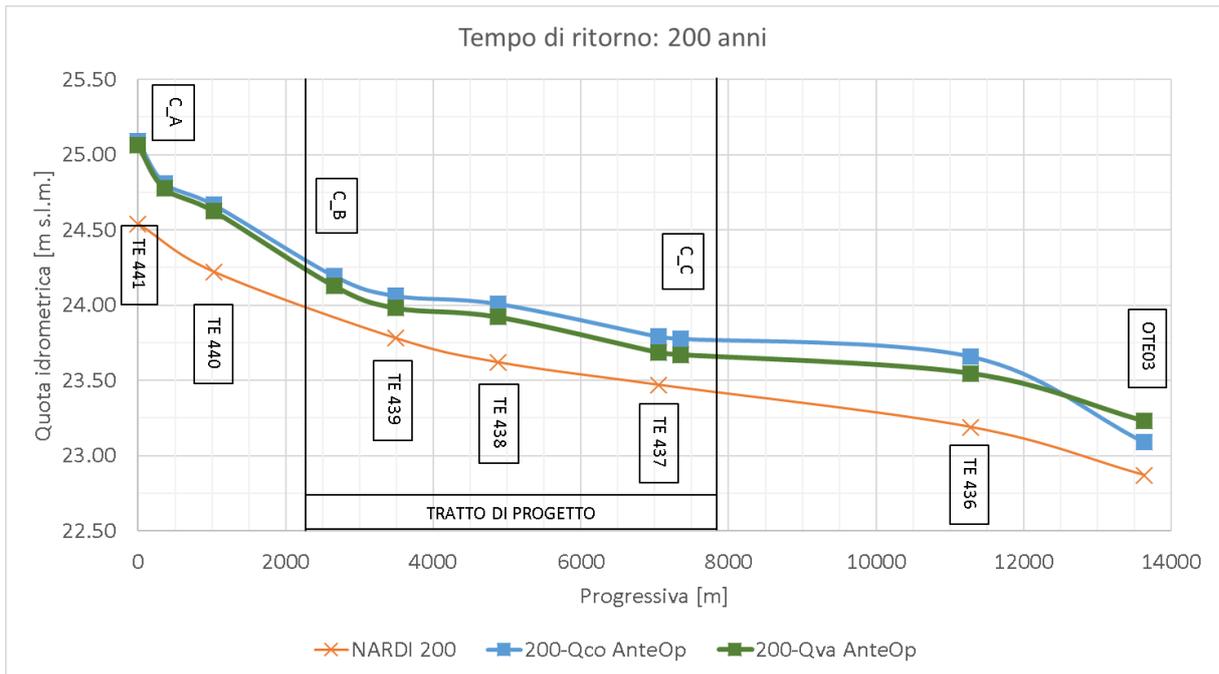


Figura 23 - Quote idrometriche di calibrazione, Tr200 anni

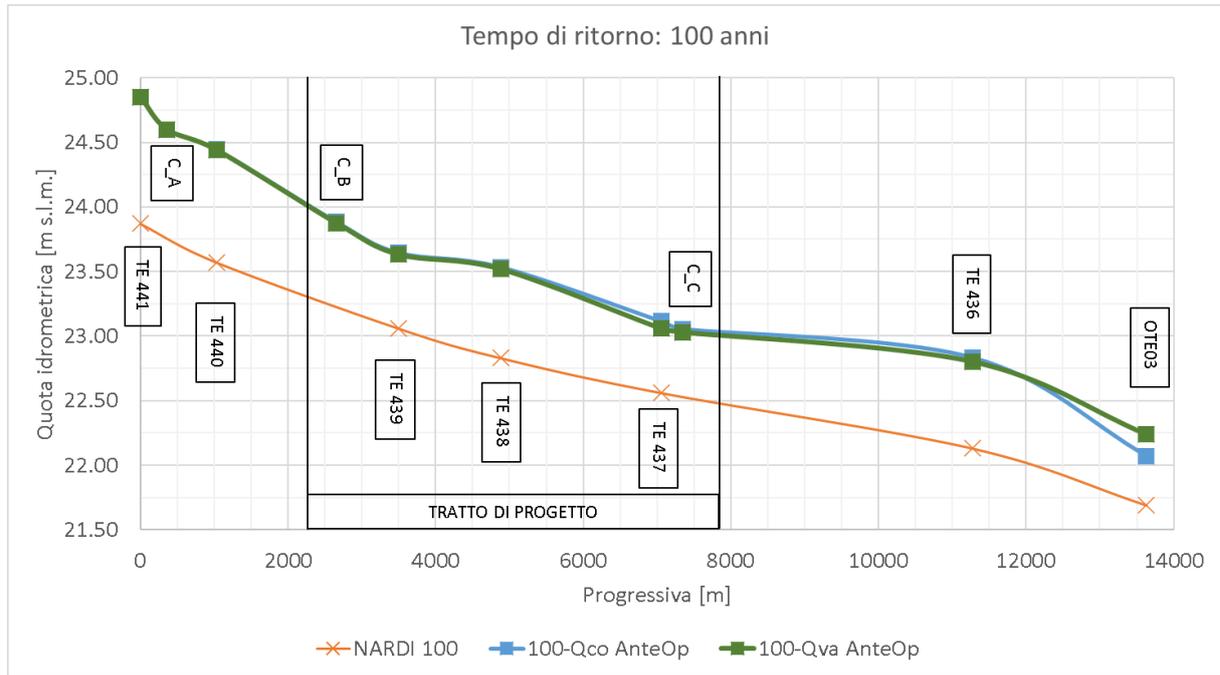


Figura 24 - Quote idrometriche di calibrazione, Tr100 anni

Si riporta una tabella riassuntiva dei valori di quota ottenuti. In azzurro le sezioni che interessano il tratto di progetto.

SEZIONE	Progr.	NARDI 500	500-Qco	500-Qva	NARDI 200	200-Qco	200-Qva	NARDI 100	100-Qco	100-Qva
Codice	[m]	H [m s.l.m.]								
TE 441	0	25.04	25.48	25.39	24.54	25.09	25.07	23.87	24.85	24.85
C_A	360		25.23	25.13		24.81	24.78		24.60	24.60
TE 440	1032	24.79	25.13	25.02	24.22	24.67	24.62	23.57	24.45	24.44
C_B	2654		25.03	24.70		24.20	24.13		23.88	23.87
TE 439	3492	24.44	24.81	24.65	23.78	24.06	23.98	23.06	23.65	23.63
TE 438	4880	24.31	24.79	24.63	23.62	24.01	23.92	22.83	23.53	23.52
TE 437	7056	24.20	24.64	24.52	23.47	23.79	23.68	22.56	23.11	23.06
C_C	7349		24.63	24.51		23.78	23.67		23.05	23.03
TE 436	11277	23.92	24.59	24.46	23.19	23.66	23.55	22.13	22.83	22.80
OTE 03	13632	23.57	24.27	24.30	22.87	23.09	23.23	21.69	22.07	22.24

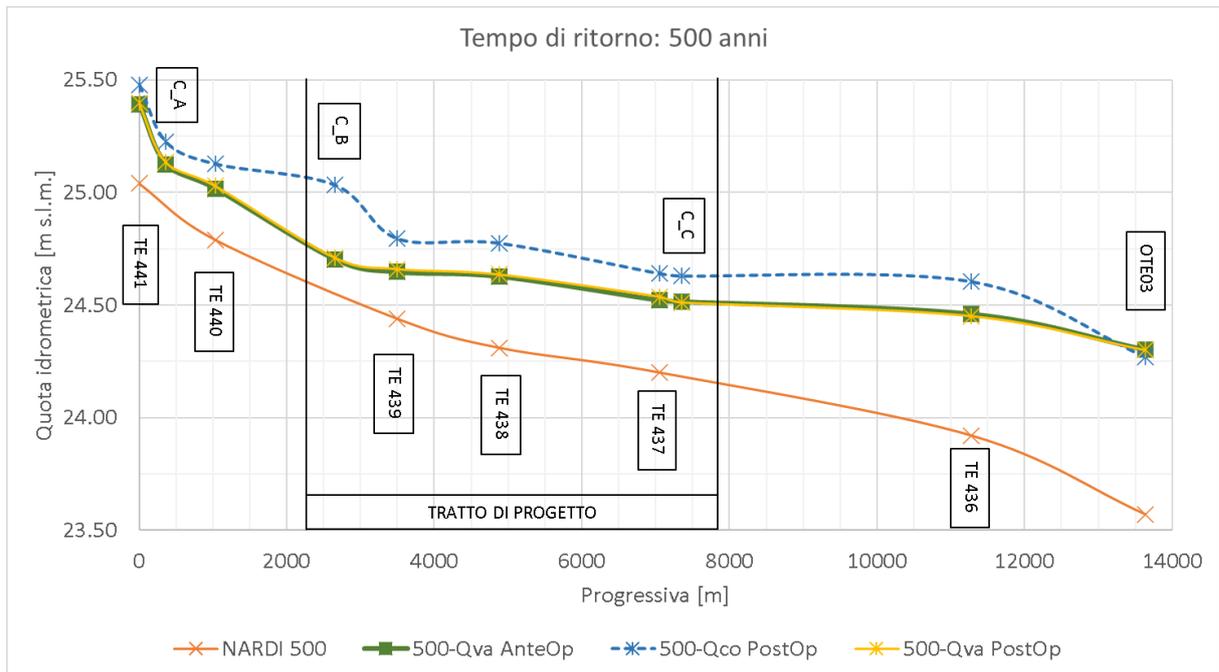
Tabella 5 - Quote idrometriche dello studio Nardi e dello stato di fatto del presente studio a confronto

6.7 SIMULAZIONI

Nel presente paragrafo si illustrano i risultati delle simulazioni eseguite per i tempi di ritorno considerati. Come anticipato, lo scopo della modellazione è quella di dimensionare la quota di progetto del rilevato stradale, sulla base dei livelli massimi raggiunti, e di verificare la trasparenza idraulica dell'opera rispetto alla situazione ante-opera. Per ogni grafico, quindi, verranno riportati:

- quote altimetriche massime post-opera ottenute con la simulazione a portata costante.
- quote altimetriche ante-opera e post-opera per simulazioni eseguite a portata variabile (idrogramma di progetto), in modo da dimostrare la trasparenza idraulica del progetto.

6.7.1 Tempo di ritorno: 500 anni

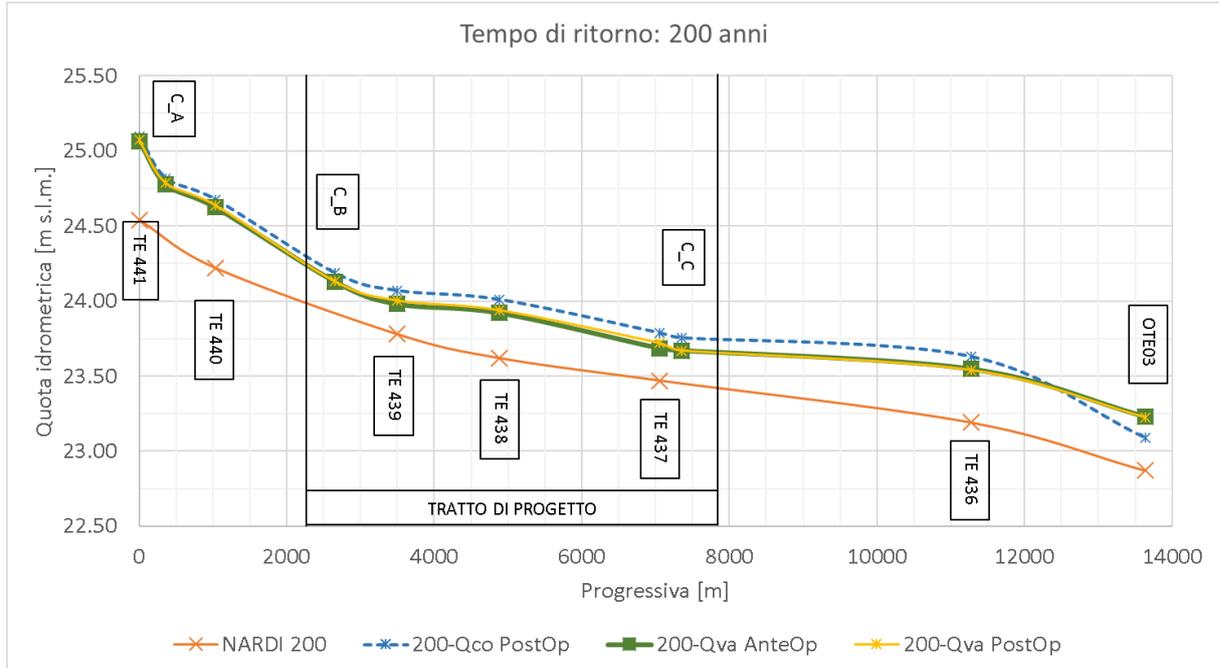


SEZIONE		Progr. [m]	500-Qco		500-Qva	
TE	441		PostOp H [m s.l.m.]	AnteOp H [m s.l.m.]	PostOp H [m s.l.m.]	Differenza Post-Ante Op. [m]
	C_A	360	25.23	25.13	25.14	0.01
	C_B	2654	25.03	24.70	24.71	0.01
	C_C	7349	24.63	24.51	24.51	0.00

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

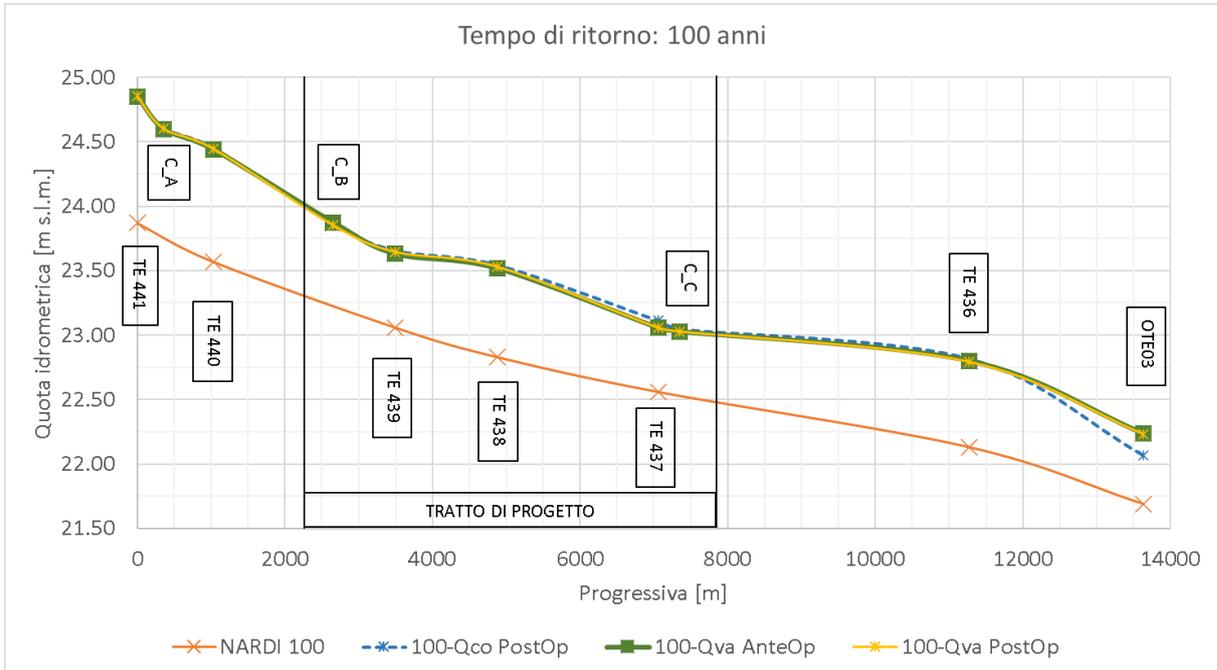
TE	436	11277	24.60	24.46	24.45	-0.01
OTE	03	13632	24.27	24.30	24.30	0.00

6.7.2 Tempo di ritorno: 200 anni



		200-Qco	200-Qva			
SEZIONE	Progr.	PostOp	AnteOp	PostOp	Differenza Post-Ante Op.	
Codice	[m]	H [m s.lm.]	H [m s.lm.]	H [m s.lm.]	[m]	
TE	441	0	25.09	25.07	25.07	0.01
	C_A	360	24.82	24.78	24.79	0.01
TE	440	1032	24.68	24.62	24.64	0.01
	C_B	2654	24.19	24.13	24.13	0.00
TE	439	3492	24.07	23.98	24.00	0.02
TE	438	4880	24.01	23.92	23.94	0.02
TE	437	7056	23.79	23.68	23.72	0.04
	C_C	7349	23.76	23.67	23.67	0.00
TE	436	11277	23.63	23.55	23.54	-0.01
OTE	03	13632	23.09	23.23	23.23	0.00

6.7.3 Tempo di ritorno: 100 anni



SEZIONE		Progr.	100-Qco		100-Qva	
			PostOp	AnteOp	PostOp	Differenza Post-Ante Op.
Codice		[m]	H [m s.l.m.]	H [m s.l.m.]	H [m s.l.m.]	[m]
TE	441	0	24.86	24.85	24.85	0.00
	C_A	360	24.61	24.60	24.60	0.00
TE	440	1032	24.45	24.44	24.45	0.01
	C_B	2654	23.86	23.87	23.86	-0.02
TE	439	3492	23.66	23.63	23.65	0.02
TE	438	4880	23.54	23.52	23.53	0.01
TE	437	7056	23.11	23.06	23.06	0.00
	C_C	7349	23.05	23.03	23.03	0.00
TE	436	11277	22.82	22.80	22.79	-0.01
OTE	03	13632	22.07	22.24	22.23	0.00

6.7.4 Confronto tra i diversi tempi di ritorno

Infine, si riportano i risultati confrontando le simulazioni eseguite per lo scenario post-opera, a portata costante, per visualizzare le differenze tra i vari tempi di ritorno.

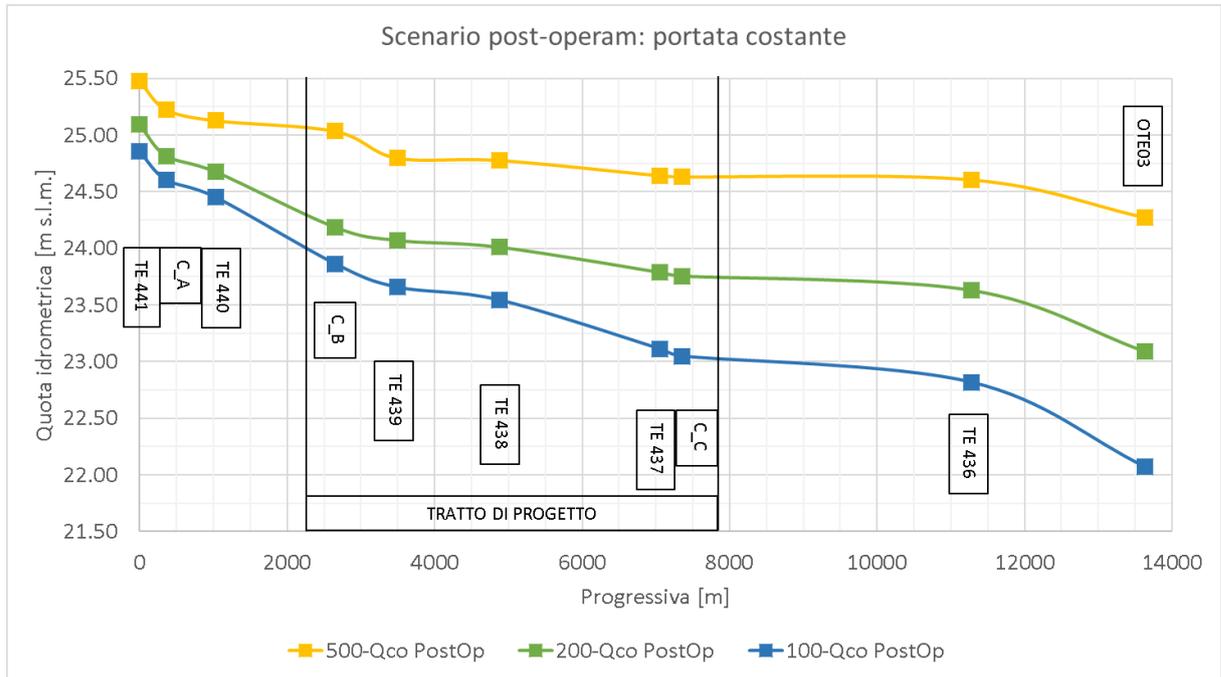


Figura 25 – Scenario post-opera a portata costante per differenti tempi di ritorno

Internamente al tratto di progetto, le differenze maggiori si osservano tra le sezioni TE437 e C_C: tra i 500 e i 200 anni pari a circa 85cm, tra i 200 e i 100 anni pari a circa 70 cm. Nella tabella seguente si riportano per completezza i risultati in forma tabellare.

			500-Qco	200-Qco	100-Qco
SEZIONE		Progr.	PostOp	PostOp	PostOp
Codice		[m]	H [m s.l.m.]	H [m s.l.m.]	H [m s.l.m.]
TE	441	0	25.48	25.09	24.86
	C_A	360	25.23	24.82	24.61
TE	440	1032	25.13	24.68	24.45
	C_B	2654	25.03	24.19	23.86
TE	439	3492	24.80	24.07	23.66
TE	438	4880	24.78	24.01	23.54
TE	437	7056	24.64	23.79	23.11
	C_C	7349	24.63	23.76	23.05
TE	436	11277	24.60	23.63	22.82
OTE	03	13632	24.27	23.09	22.07

Tabella 6 - risultati numerici per simulazioni a portata costante e scenario post-opera per confronto tra tempi di ritorno

6.8 EVOLUZIONE TEMPORALE DELL'ALLAGAMENTO

Nel presente paragrafo si riporta una serie di immagini per illustrare l'evoluzione del fenomeno alluvionale nel tempo. Si riportano dunque delle schermate in ambiente Infoworks per l'evento generato dall'idrogramma di progetto a tempo di ritorno 200 anni. Il Tevere inizia ad invadere la piana alluvionale poco dopo le 19 ore di simulazione, mentre i tiranti massimi vengono raggiunti per un tempo pari a circa 78 ore.

Si precisa che l'idrogramma inserito come input alla simulazione ha una durata totale di 6 giorni. Si è però impostata una durata della simulazione maggiore, in modo da verificare come e in quanto tempo la piana alluvionale ritorni in condizioni asciutte. Tale condizione viene raggiunta ad un tempo pari a circa 8 giorni.

L'allagamento inizia nella parte di monte del dominio, subito a valle del ponte del Grillo, espandendosi poi praticamente a tutto il dominio di calcolo. Alla fine della simulazione i tiranti sono dell'ordine di pochi centimetri, che rimangono pressoché costanti in quanto il modello non considera l'infiltrazione del terreno (a favore di sicurezza per gli scopi del presente studio).

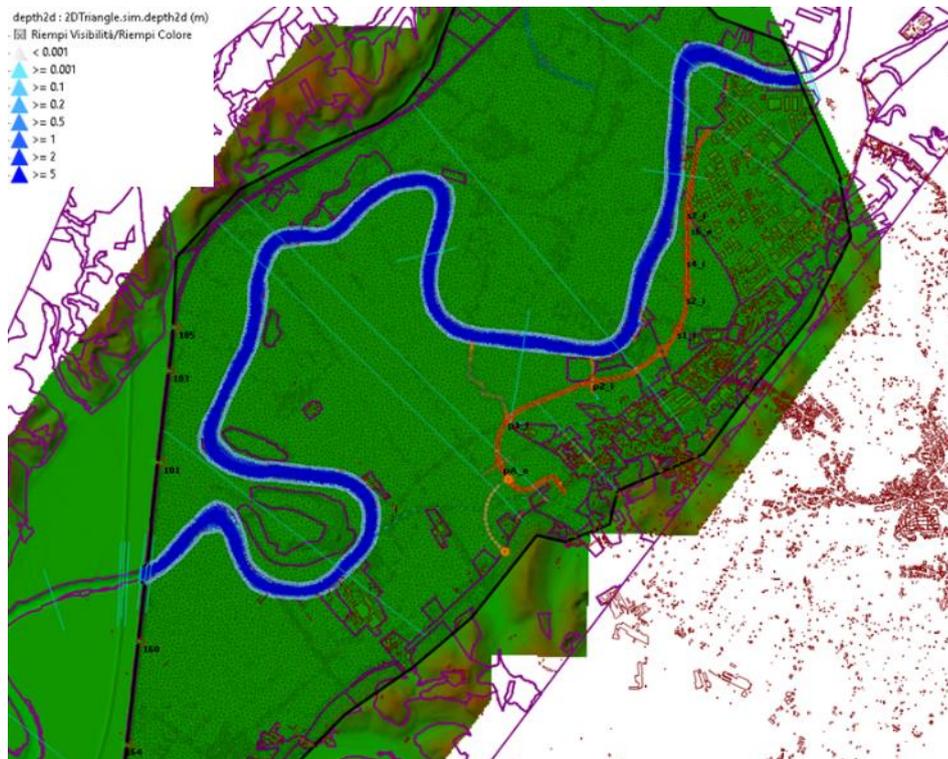


Figura 26 - t=19 ore

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

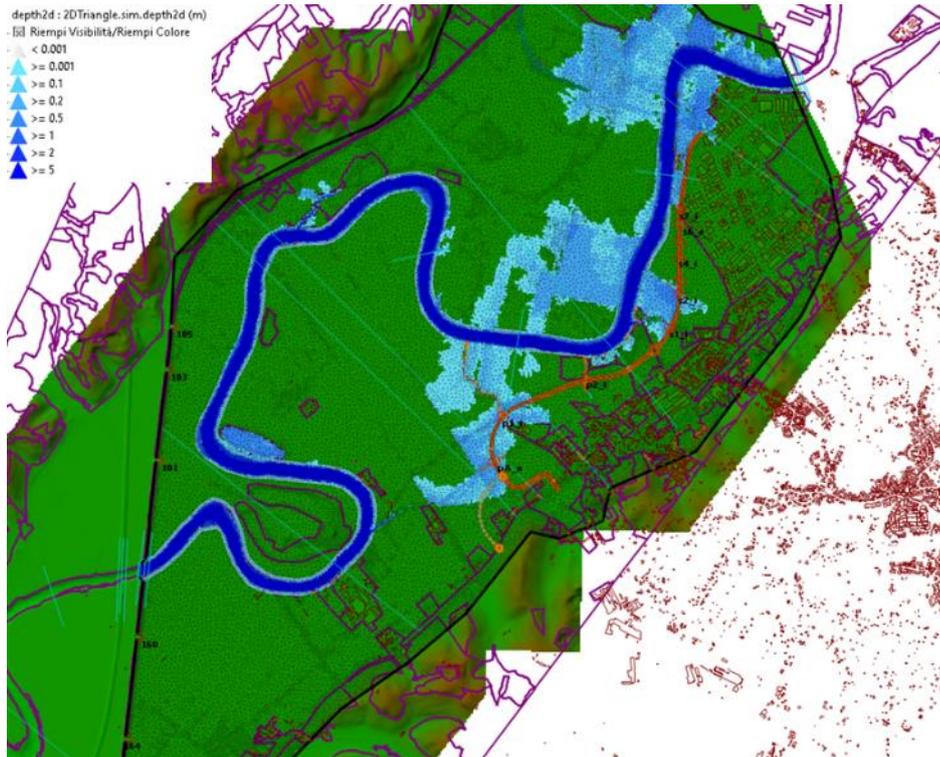


Figura 27 - t=22 ore

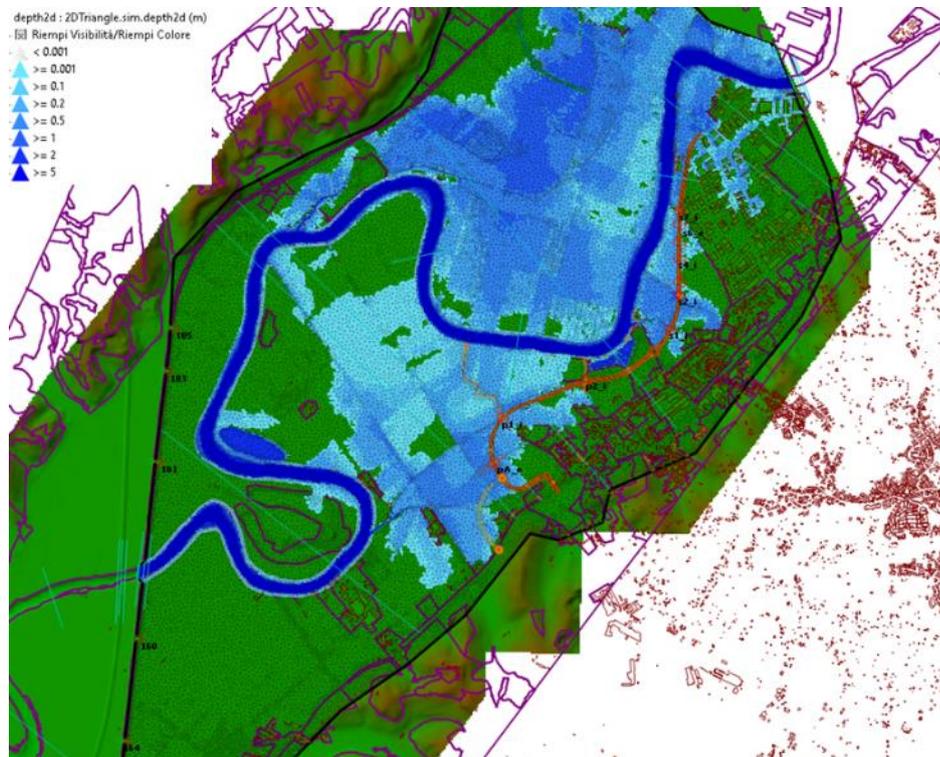


Figura 28 - t=25 ore

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

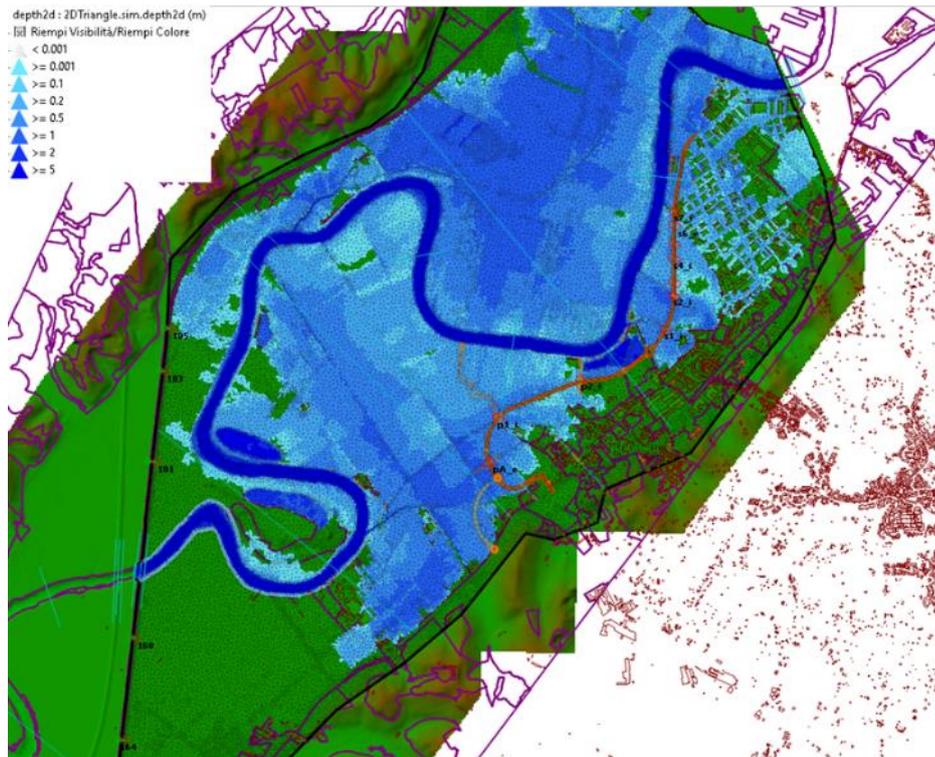


Figura 29 - t=28 ore

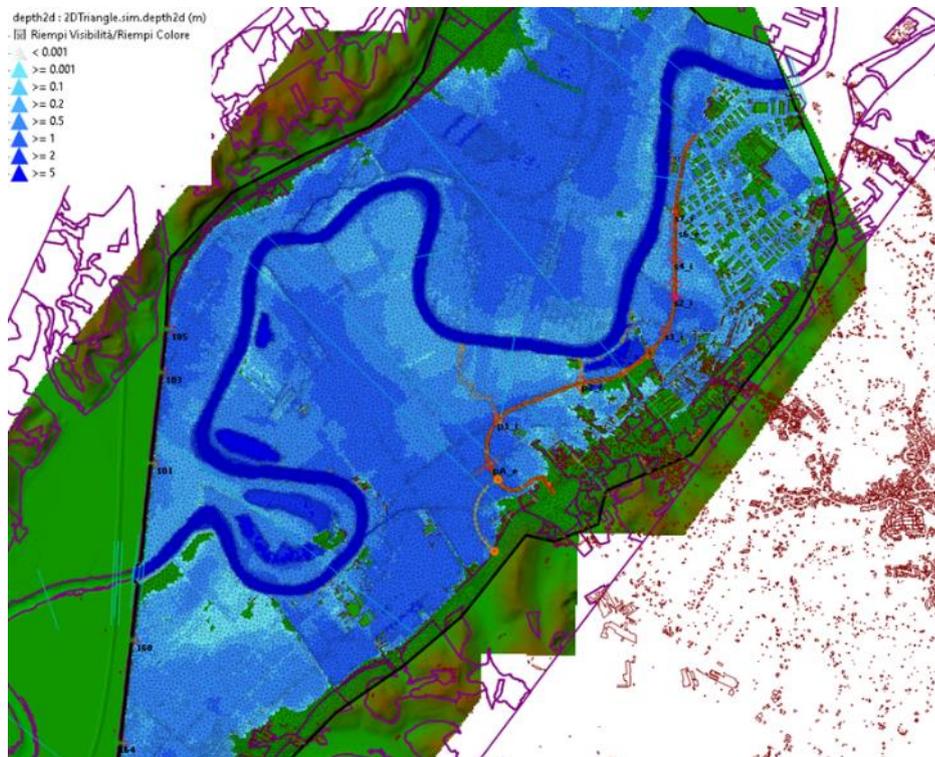


Figura 30 - t=35 ore

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

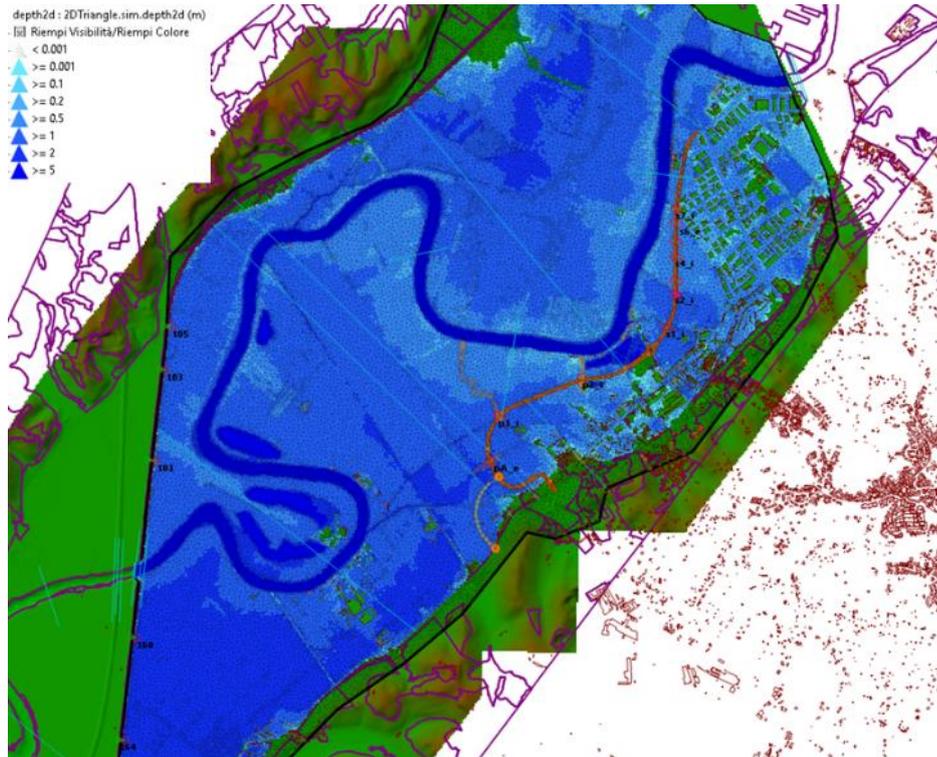


Figura 31 - t=55 ore

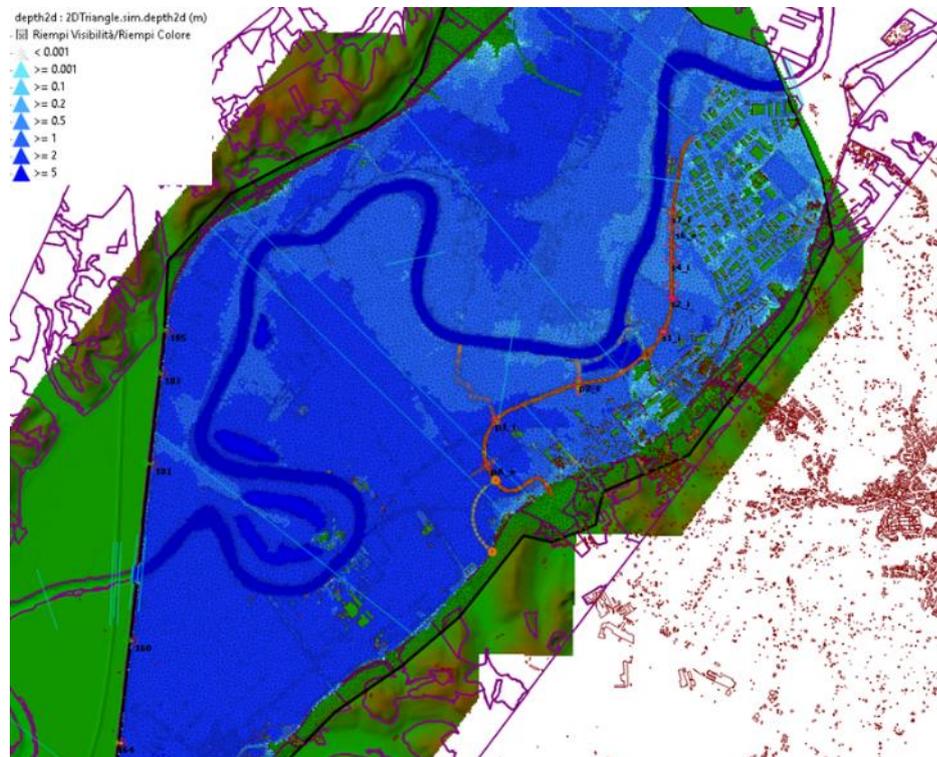


Figura 32 - t=78 ore (quote idrometriche massime)

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

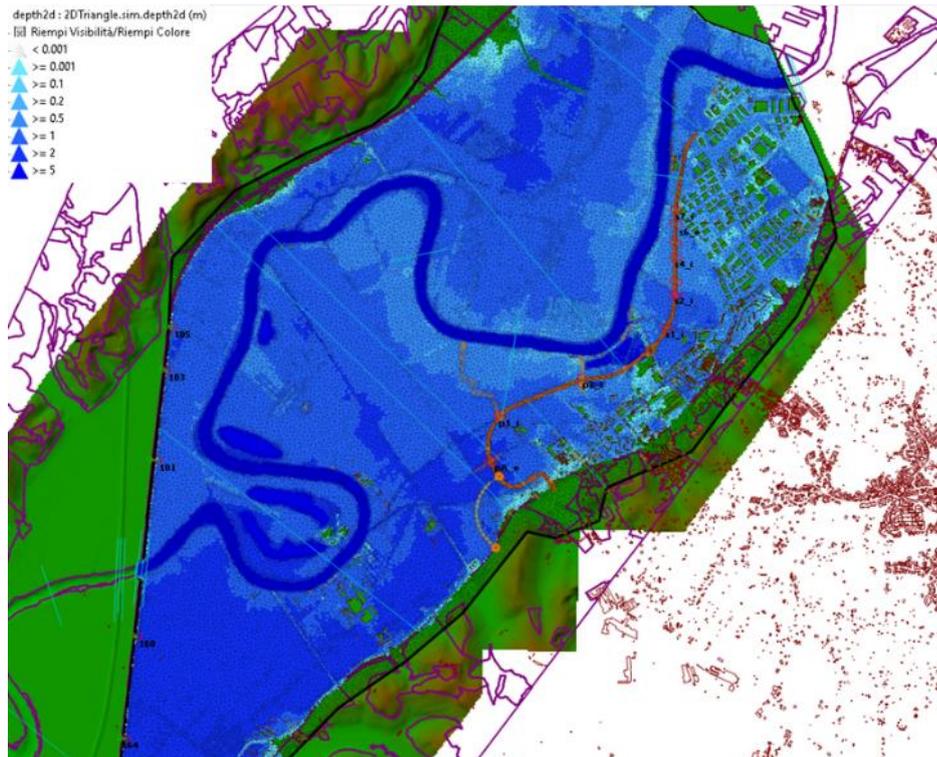


Figura 33 - t=96 ore (4 giorni)

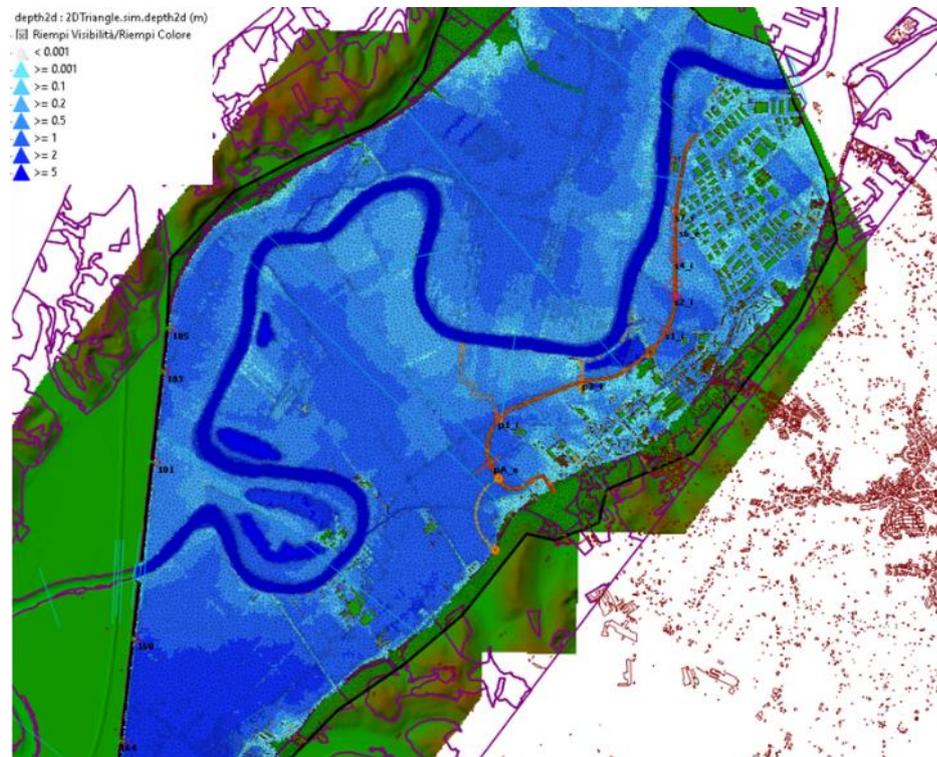


Figura 34 - t=120 ore (5 giorni)

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

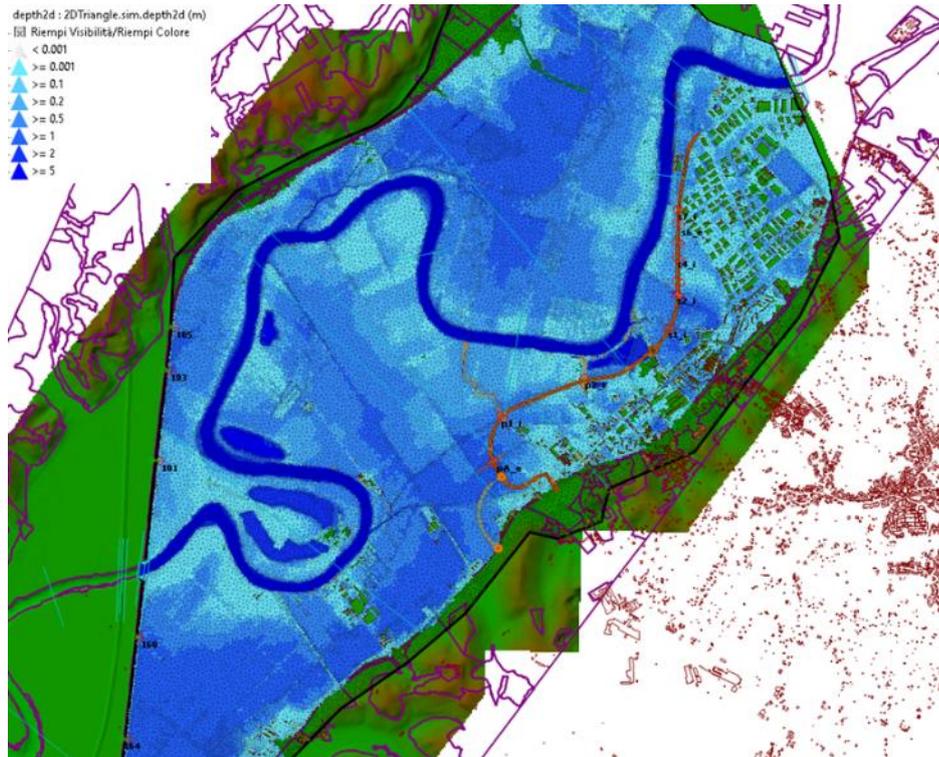


Figura 35 - t=144 ore (6 giorni)

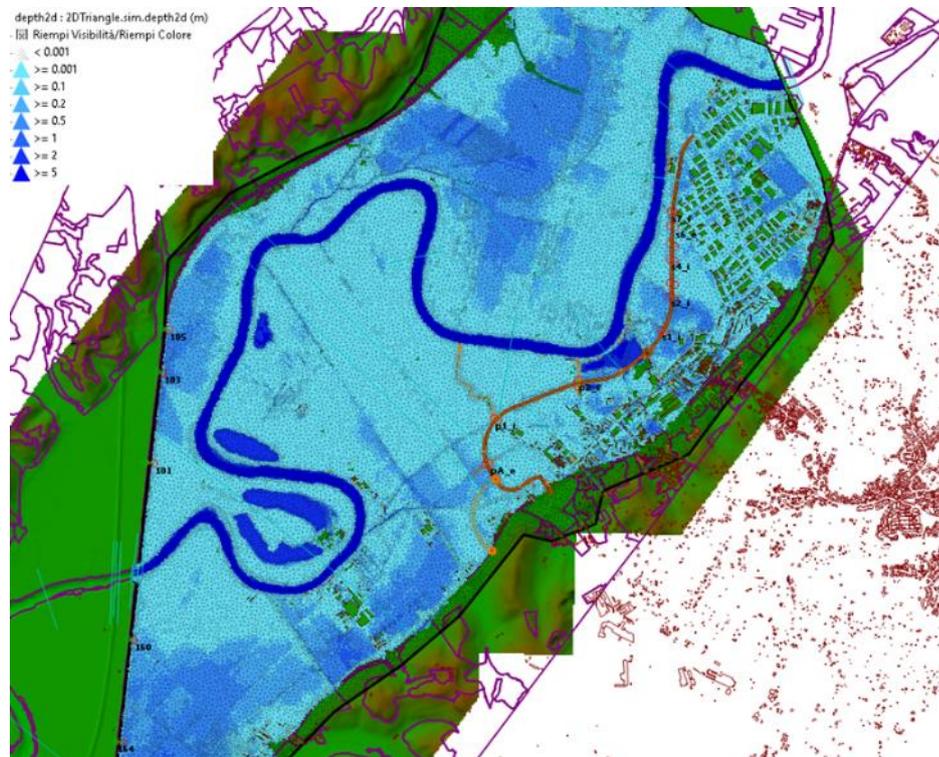


Figura 36 - t=192 ore (8 giorni)

6.9 CONCLUSIONI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

6.9.1 Livelli idrometrici di progetto

Per ogni tempo di ritorno, nel tratto di progetto, le quote idrometriche post-opera risultanti dalla simulazione a portata costante sono superiori rispetto a quella a portata variabile. Si è quindi considerata tale simulazione a portata costante per il dimensionamento della quota di progetto del rilevato stradale, in favore di sicurezza. Di seguito la mappa corrispondente. Sono stati indicati alcuni punti numerati, per i quali si forniscono le quote esatte. In rosso, i punti individuati lato Tevere, in giallo quelli lato Monterotondo.

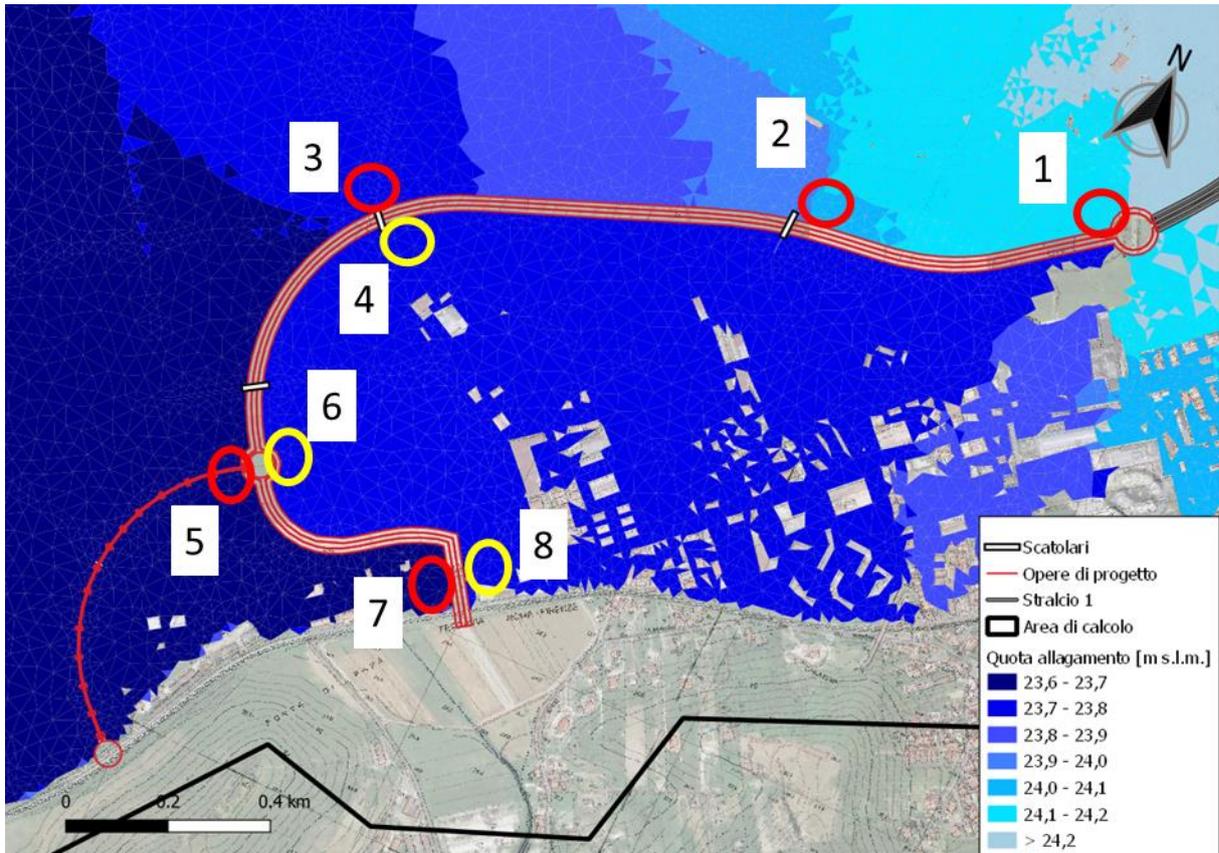


Figura 37 - quote di allagamento nei pressi del rilevato stradale per simulazione a portata costante e tempo di ritorno 200 anni

Le quote idrometriche, da valle a monte del rilevato, sono comprese nell'intervallo 23.6-24.2 m s.l.m.. In tabella seguente i valori esatti per i punti individuati.

Punto	Quota [m s.l.m.]
1	24,16
2	24,12
3	23,77
4	23,79

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

5	23,69
6	23,79
7	23.68
8	23.79

Tabella 7 – quote altimetriche per i punti individuati in Figura 37. In rosso chiaro i punti lato Tevere, in giallo lato Monterotondo

Si precisa inoltre che, per quanto riguarda la quota di intradosso del viadotto sopra al fosso Pantanella (vedi Relazione sui bacini secondari), la simulazione di riferimento considera la combinazione tra la piena di progetto del fosso Pantanella a del Tevere, a favore di sicurezza.

6.9.2 Verifica della trasparenza dei rilevati di progetto

Per ogni tempo di ritorno, le differenze tra lo stato post-opera e quello ante-opera, verificate in condizioni di portata variabile, è dell'ordine di pochi centimetri. In alcune sezioni, la quota dello scenario ante-opera risulta superiore a quella post-opera. Differenze così ridotte, che possono essere associate ad una tolleranza del modello rispetto alla mesh computazionale generata nei due scenari, dimostrano la trasparenza idraulica dell'opera. Nella tabella seguente si riassume quanto già riportato.

SEZIONE		Progr.	Differenza Post-Ante Op.		
			Tr500	Tr200	Tr100
Codice		[m]	[m]	[m]	[m]
TE	441	0	0.01	0.01	0.00
	C_A	360	0.01	0.01	0.00
TE	440	1032	0.01	0.01	0.01
	C_B	2654	0.01	0.00	-0.02
TE	439	3492	0.01	0.02	0.02
TE	438	4880	0.01	0.02	0.01
TE	437	7056	0.02	0.04	0.00
	C_C	7349	0.00	0.00	0.00
TE	436	11277	-0.01	-0.01	-0.01
OTE	03	13632	0.00	0.00	0.00

7 CONSIDERAZIONI SUGLI EFFETTI EROSIVI SUI RILEVATI DI PROGETTO

L'intervento di progetto prevede la realizzazione di un rilevato stradale, il quale è interessato dalla piena del fiume Tevere, da un lato direttamente, dall'altro solamente per garantire la trasparenza idraulica dell'intervento. Considerando la differente velocità della corrente sui due lati del rilevato si prevede l'impiego di due tipologie di pacchetti di rivestimento, una per il lato interno alla piana alluvionale, o lato Tevere, e una per il lato esterno, o lato Monterotondo:

- lato Tevere si prevede pacchetto impermeabile, soletta in c.a. (spessore 20 cm), materasso tipo reno (spessore 30 cm). A protezione del piede del rilevato è previsto un muro in c.a. di altezza 1m;
- lato Monterotondo si prevede pacchetto impermeabile, materasso tipo reno (spessore 30 cm). A protezione del piede del rilevato è prevista la posa di gabbionate.

In figura seguente si riporta un estratto della sezione tipologica prevista.

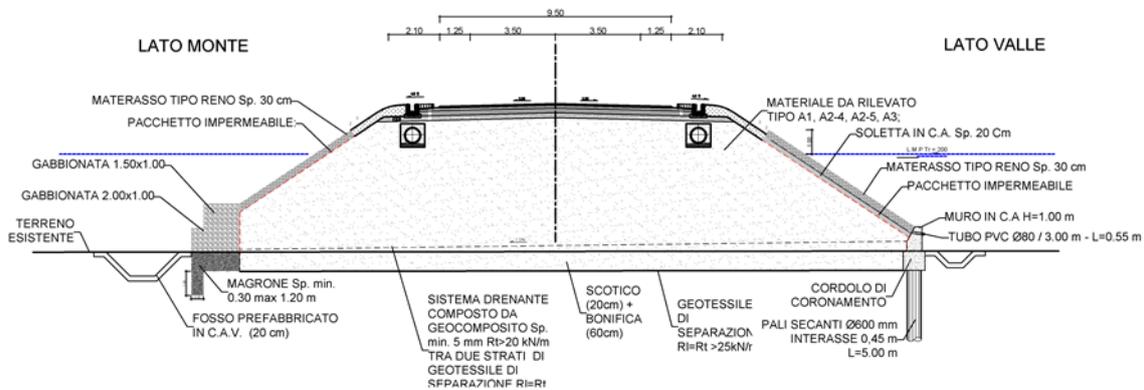


Figura 38 - estratto della sezione tipo del rilevato.

Per la verifica all'erosione si prendono in considerazione le velocità massime ottenute dalla simulazione a tempo di ritorno 200 anni, con la quale si è dimensionata anche la quota di progetto del rilevato. In questo caso si prende come riferimento la simulazione a portata variabile, per considerare le velocità non solo al picco ma anche nelle fasi crescenti e calanti della piena. Di seguito si mostra la mappa delle velocità massime ottenute presso il rilevato.

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

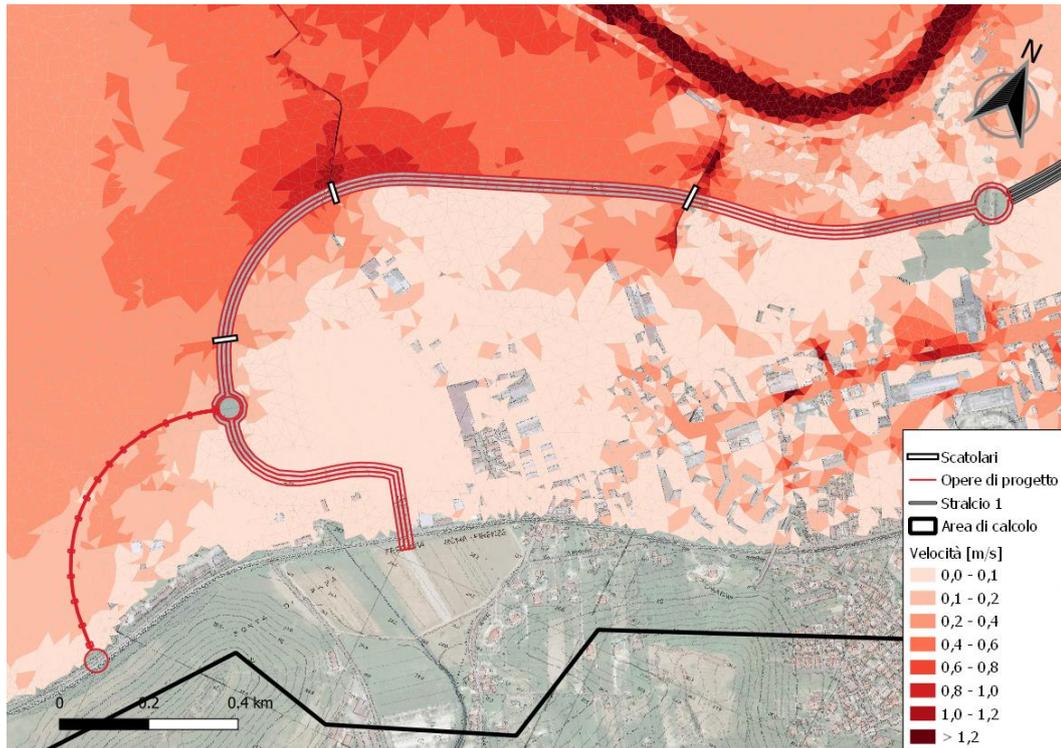


Figura 39 - velocità massime nei pressi del rilevato stradale, per un tempo di ritorno di 200 anni

Dalla figura si può osservare:

- lato Tevere: le velocità risultano maggiori in prossimità degli scatolari 1 e 2 (fosso Ventaglio) e dell'ordine di 1 m/s. In generale, sul resto del rilevato le velocità si attestano nell'intervallo 0,4-0,8 m/s.
- lato Monterotondo: le velocità massime risultano ancora maggiori in prossimità degli scatolari e dell'ordine di 0,5 m/s. Sul resto del rilevato le velocità sono minime e nell'ordine di 0,1 m/s.

Le velocità in gioco sono dunque molto basse. Tali risultati risultano ragionevoli in quanto il rilevato è localizzato in area golenale, lontano dal filone principale della corrente. In conseguenza di ciò, e considerata la tipologia di rivestimento previsto, si ritiene che le velocità di cui sopra non possano in alcun modo creare effetti di trascinamento tali da mettere a rischio la stabilità dell'opera.

8 CONSIDERAZIONI IDRAULICHE PER LA CANTIERIZZAZIONE

Sono state svolte alcune simulazioni per tempi di ritorno inferiori rispetto a quelli considerati precedentemente, al fine di poter individuare delle aree di cantiere ragionevolmente sicure rispetto ad una eventuale alluvione del Tevere.

I valori di portata estratti per eseguire tali simulazioni sono stati ricavati da analisi statistica rispetto ai valori indicati nello studio Nardi, unici valori di riferimento ufficiali a disposizione della scrivente.

Di seguito si riportano i valori di portata di picco associati ad ogni tempo di ritorno a disposizione.

Tr [anni]	Q _{picco} [mc/s]
100	2689
200	3291
500	4010

Tabella 8 - Valore di portata di picco per ogni tempo di ritorno

A partire da questi valori, sono stati ricavati valori di portata di picco per tempi di ritorno di 10, 20, 30 e 50 anni facendo riferimento alla distribuzione di Gumbel.

Essendo per la legge di Gumbel:

$$y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right]$$

$$Q(Tr) = u + \alpha \cdot y = u - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right]$$

avendo le coppie di valori

Tr(100); Q(100)

Tr(200); Q(200)

Tr(500); Q(500)

si possono determinare i valori dei parametri u e α della distribuzione, con cui è possibile ricalcolare la portata per i tempi di ritorno voluti.

Di seguito i risultati ottenuti. Il calcolo è stato eseguito incrociando le coppie di valori aventi tempi di ritorno differenti: 100-200 anni, 100-500 anni e 200-500 anni.

		Tempi di ritorno considerati		
		100-200	100-500	200-500
Q _{picco} [mc/s]	Tr=10 anni	655.59	765.14	905.20
	Tr=20 anni	1278.50	1354.49	1469.11
	Tr=30 anni	1636.85	1693.53	1793.52
	Tr=50 anni	2084.80	2117.35	2199.04

Tabella 9 - Valore di portata di picco ottenuti per ogni tempo di ritorno (10, 20, 30, 50) a partire da analisi statistica

Si noti che ricavando i parametri della distribuzione di Gumbel incrociando a sistema i valori di portata associati a tempi di ritorno di 200 e 500 anni, si ottengono i valori di portata maggiori e quindi cautelativi (evidenziati in verde in tabella) rispetto alle altre combinazioni utilizzate.

Sono state quindi eseguite, per ogni valore di portata stimato, delle simulazioni a portata costante, in modo da individuare le aree prossime all'area di progetto soggette a maggior allagamento.

Di seguito gli estratti delle simulazioni eseguite in ambiente Infoworks.

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

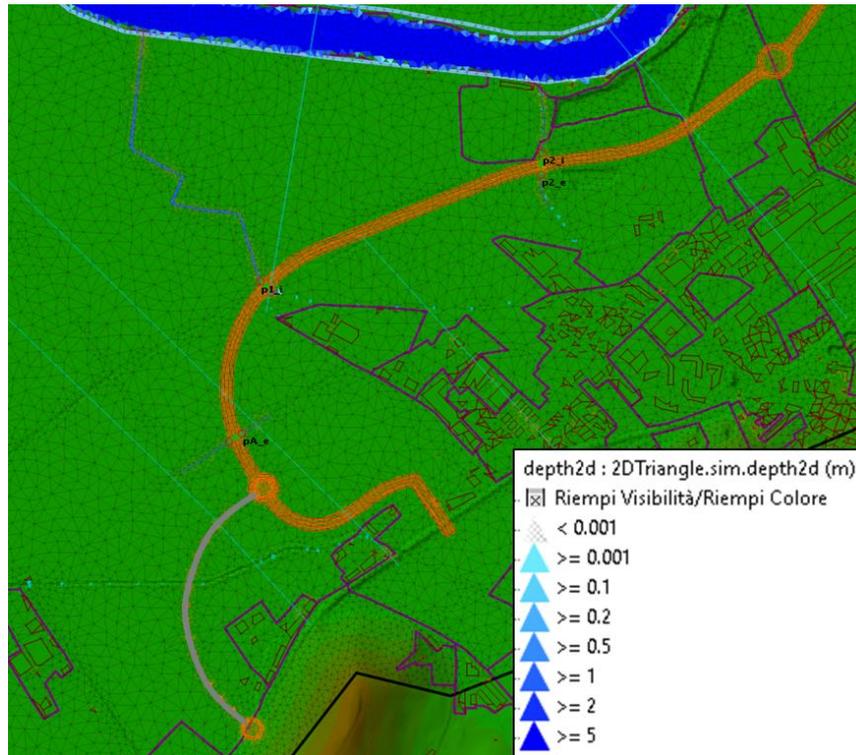


Figura 40 – Tr10anni Post-opera

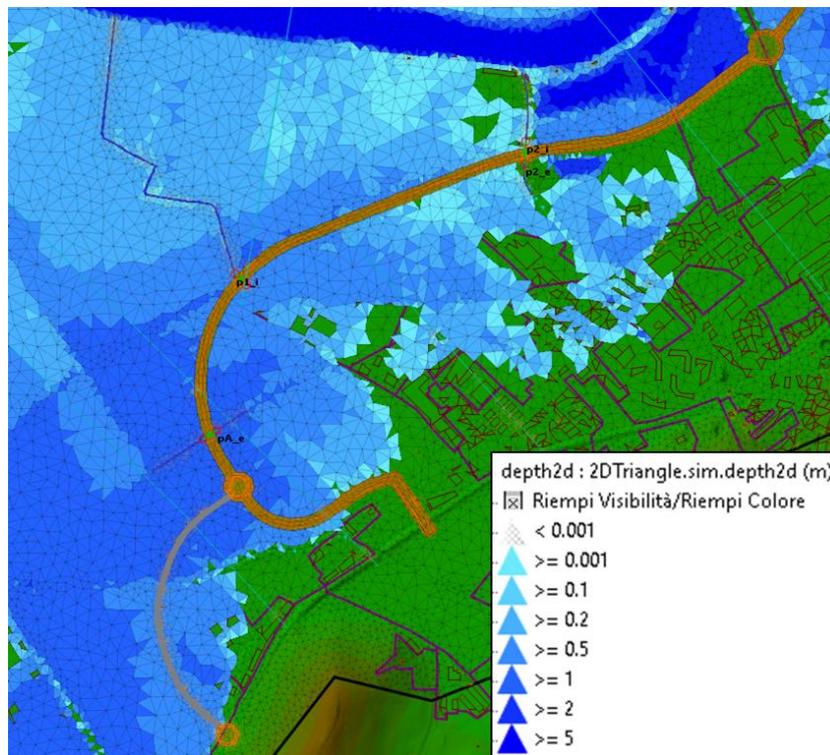


Figura 41 – Tr20anni Post-opera

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

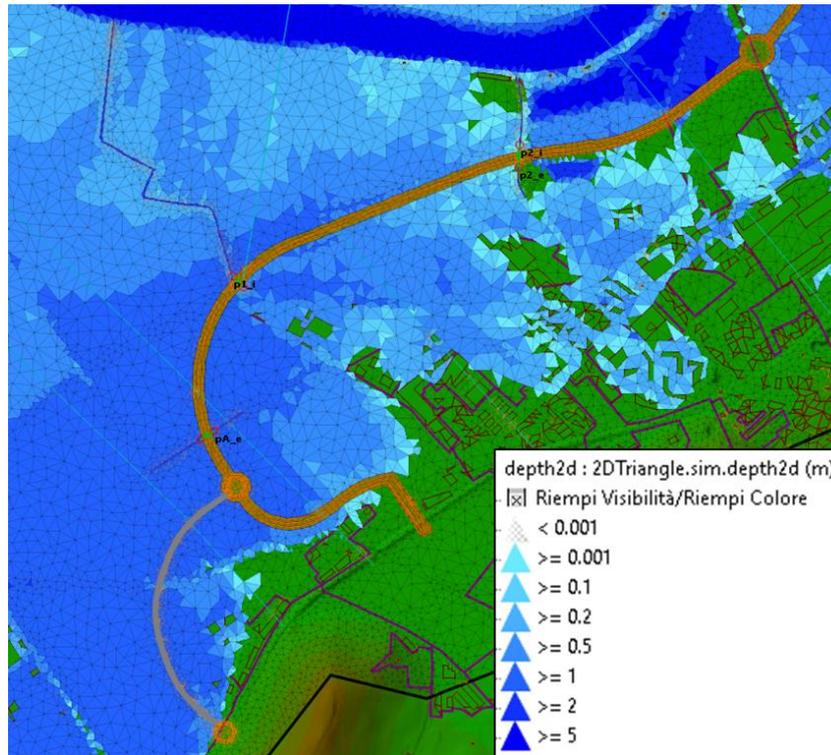


Figura 42 - Tr30anni Post-opera

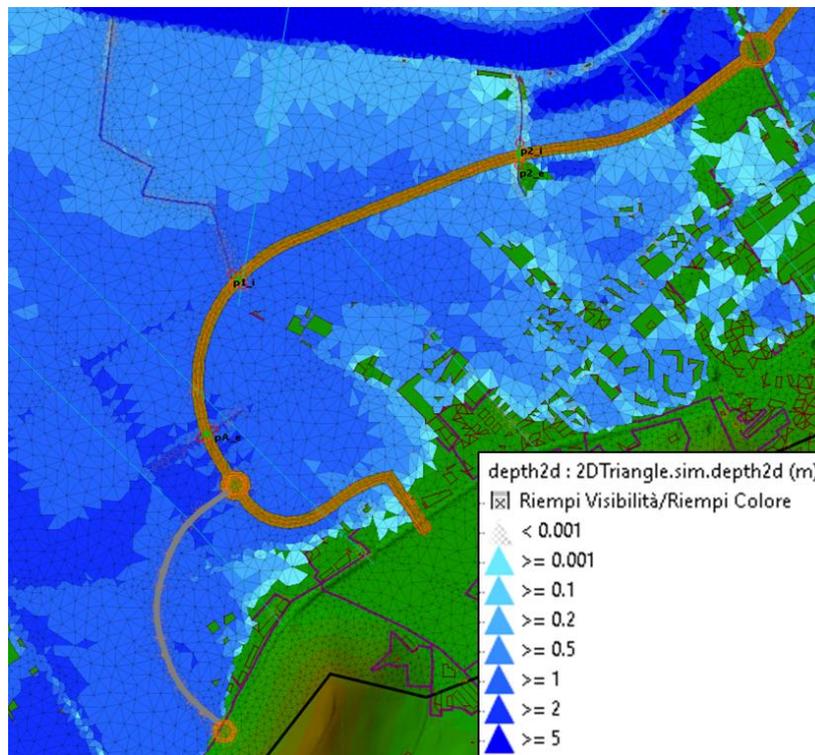


Figura 43 - Tr50anni Post-opera

Relazione modellazione bidimensionale del fiume Tevere

Dall'analisi effettuata risulta che fino ad un tempo di ritorno di 10 anni non ci sia esondazione del Tevere. Tuttavia, essendo l'analisi basata su portate estrapolate statisticamente e non su un'analisi idrologica rigorosa, si è ritenuto cautelativo svolgere ulteriori simulazioni fino ad un tempo di ritorno di 50 anni. Le mappe di allagamento mostrano quindi i valori di tirante idrico nell'area di progetto.

Le zone critiche, in cui si raggiungono i tiranti idrici maggiori, sono principalmente due:

1. nei pressi dell'estremo meridionale del rilevato, in cui per tempo di ritorno di 50 anni si raggiungono tiranti superiori ai 2m;
2. nei pressi dell'estremo settentrionale del rilevato, lato Tevere, in cui sono presenti delle depressioni dove naturalmente si generano degli accumuli d'acqua.

Di seguito un'immagine aerea con evidenziate le aree appena descritte.

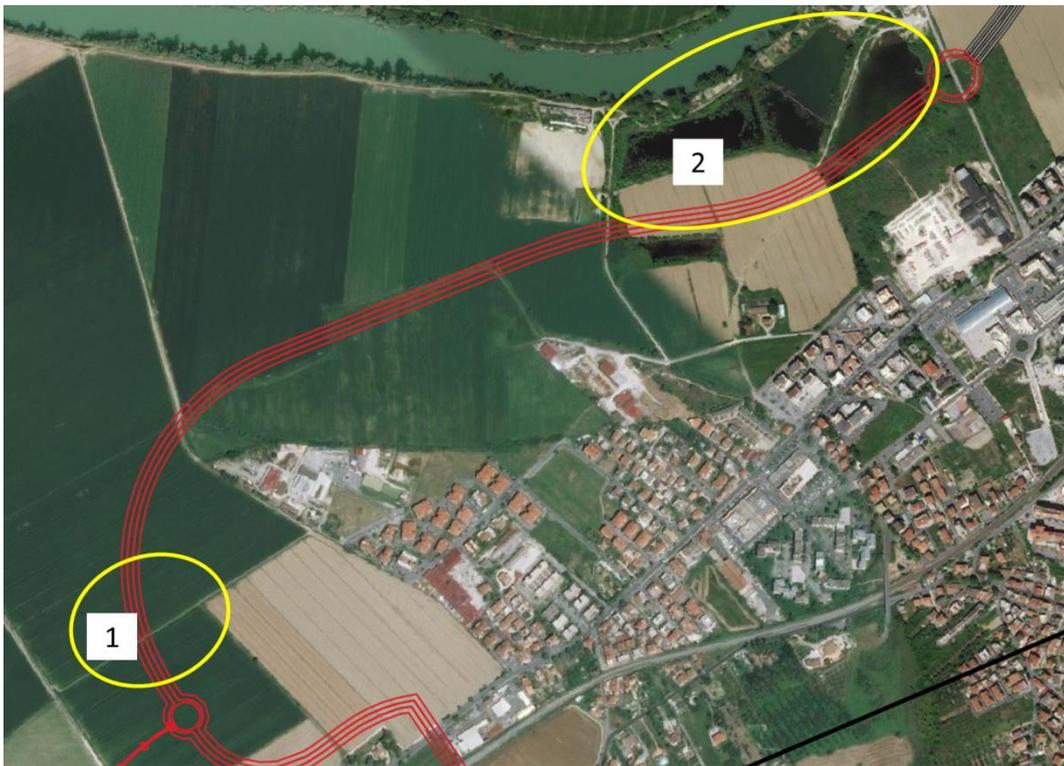


Figura 44 - ortofoto di inquadramento per le aree a maggior tirante idrico in caso di alluvione

Nelle altre aree mediamente i tiranti sono invece variabili tra 0.8m (Tr 20 anni) e 1.5m (Tr 50 anni).

Queste simulazioni sono alla base delle considerazioni legate al coordinamento della sicurezza e per la progettazione della cantierizzazione, che sono esplicitate negli appositi elaborati del presente progetto.

9 CONCLUSIONI

Il presente studio idraulico, realizzato mediante modellazione numerica bidimensionale, ha lo scopo di definire le quote idrauliche per la progettazione del rilevato stradale, nonché dimostrare la trasparenza idraulica del rilevato rispetto alla piena del Tevere.

Le portate di progetto e le condizioni idrologiche ed al contorno sono state definite sulla base del documento denominato "Studio Nardi", per esteso "Verifica del conseguimento di migliori livelli di rischio idraulico nella media valle del Tevere tra Orte e Castel Giubileo per la costituzione di un nuovo assetto idraulico tramite sviluppo di strumenti GIS e modelli idrologico-idraulici avanzati". Sono poi stati considerati gli ulteriori studi idrologico-idraulici realizzati nell'area, riportati nell'introduzione alla presente relazione. Nel presente studio si considerano le portate con tempo di ritorno pari a 100-200-500 anni.

La geometria è stata ricavata sulla base di rilievi topografici differenti: batimetria del fiume Tevere, rilievo Lidar 1x1m dell'area golenale, rilievo celerimetrico effettuato dallo scrivente per i fossi esistenti nei pressi dell'area di progetto.

La calibrazione ha dimostrato la bontà del modello, restituendo risultati leggermente cautelativi rispetto allo studio Nardi e ritenuti quindi idonei per la presente progettazione.

Le quote idrometriche massime, necessarie per definire le quote di progetto del rilevato, sono state ricavate implementando una portata costante, pari alla portata di picco dell'idrogramma di progetto. In questo modo sono state considerate le quote più cautelative. Il dimensionamento viene effettuato considerando un tempo di ritorno pari a 200 anni.

La trasparenza del rilevato è stata verificata considerando la portata variabile e quindi l'idrogramma di progetto. I risultati della modellazione hanno evidenziato differenze di livello tra lo stato ante-opera e post-opera dell'ordine di pochi centimetri. Tali differenze sono talmente minime da potersi considerare nel range di affidabilità del modello numerico, permettono quindi di affermare che l'intervento può ritenersi trasparente rispetto alle piene del fiume Tevere.

È quindi stata effettuata un'analisi delle velocità nei pressi delle opere di progetto, tali velocità risultano molto basse (al massimo dell'ordine di 1m/s) e, considerate le opere di rivestimento e protezione previste, non si ritengono necessari ulteriori approfondimenti in merito.

In ultima analisi sono state stimate, su base statistica, le portate per tempi di ritorno inferiori (10-20-30-50 anni). Le relative simulazioni numeriche permettono di rappresentare le aree allagate ed i relativi tiranti per la progettazione della cantierizzazione e dei protocolli di sicurezza.