

FIUMICINO
WATERFRONT

SOGGETTO ESECUTORE E FINANZIATORE



CITTÀ DI
FIUMICINO

SOGGETTO PROPONENTE ED ATTUATORE



RINA CONSULTING S.P.A.

Via Antonio Cecchi 6, 16129 Genova
tel +39 010 31961
www.rina.org
Registro imprese di Genova: 03476550102
Partita IVA: 03476550102



Atelier(s) Alfonso Femia s.r.l.

Via Interiano 3/11, 16124 Genoa
tel. +39 010.540095 fax 010.5702094
Via Cadolini 32/38, 20137 Milan
tel. +39 02.54019701 fax 010.54115512
55 rue des petites écuries, 75010 Paris
tel +331.42462894
genova@atelierfemia.com - www.atelierfemia.com
Registro imprese di Genova: 01601780990
Partita IVA: 01601780990



RESPONSABILE COORDINAMENTO
DELLE DISCIPLINE SPECIALISTICHE

Ing. **ALESSANDRO ODASSO**
Direttore Tecnico - Rina Consulting S.p.A.

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Arch. Alfonso FEMIA - Architettura e Landscape
Ing. Marco COMPAGNINO - Studio di impatto ambientale
Dott. Sandro LORENZATTI - Archeologia
Ing. Michele DI LAZZARO - Studio Idraulico e idrologico
Arch. Riccardo COCCIA - Prevenzione incendi
Ing. Alessandro VITA - Studio Geotecnico
Dott. Geol. Roberto SALUCCI - Geologia
Ing. Federico BARABINO - Sicurezza
Dott. Geol. Paolo RAVASCHIO - Rilievi e indagini
Ing. Flavio MARANGON - Studio trasportistico
Ing. Bruno RAMPINELLI ROTA - Compatibilità vincoli aeronautici

COORDINAMENTO DELLA PROGETTAZIONE

Ing. Marino BALZARINI - Project Management Consultancy
Arch. Paola DEL BIANCO - Project Manager Deputy
Ing. Alessandro PIAZZA - Coordinamento Opere Civili
Ing. Damiano SCARCELLA - Coordinamento Opere Marittime
Arch. Sara GOTTARDO - Coordinamento Architettura e Landscape

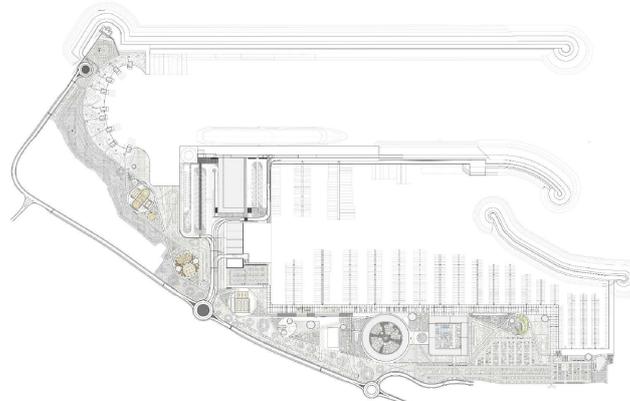
UNITÀ DI PROGETTO

Ing. Massimo GUIDI - Dirigente Comune di Fiumicino



PORTO TURISTICO-CROCIERISTICO DI FIUMICINO ISOLA SACRA
CUP:F1122000320007

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA



00_INQUADRAMENTO GENERALE

GEOLOGIA E IDROLOGIA-GEOTECNICA-SISMICA

STUDIO IDROLOGICO E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

COMMESSA	SERVIZIO LOTTO	OPERA	DISCIPLINA	TIPO	PROG.	REV.	SCALA
P0031150	D0	MP00	GI	REL	01	00	

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA
00	Emissione per approvazione	M. Di Lazzaro	A. Piazza	A. Odasso	31/07/2023
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

NOME FILE: 0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_0

INDICE

	Pagina
INDICE DELLE TABELLE	2
INDICE DELLE FIGURA	2
1 PREMESSA	6
1.1 OGGETTO DELL'ELABORATO	6
1.2 NORMATIVA E PUBBLICAZIONI DI RIFERIMENTO	6
1.3 INQUADRAMENTO NELLA PIANIFICAZIONE DI BACINO	7
2 ANALISI IDROLOGICA	11
2.1 APPROCCIO METODOLOGICO	11
2.2 SERIE STORICA DELLE PORTATE DI PIENA	11
2.3 ADATTAMENTO PER INFERENZA STATISTICA	14
2.4 IDROGRAMMA DI PIENA	16
3 DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO	18
3.1 DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO	18
3.2 DESCRIZIONE DELLO STATO DI PROGETTO	20
3.3 MODELLAZIONE IDRAULICA	22
3.4 MODELLO NUMERICO – BREVE TRATTAZIONE TEORICA	22
3.5 MODELLO NUMERICO	26
3.6 RISULTATI	33
3.7 MODELLAZIONE M1B	33
3.8 MODELLAZIONE M2B	37
3.9 MODELLAZIONE M3B	41
3.10 MODELLAZIONE M4B	44
3.11 ANALISI DEI RISULTATI	47
3.12 CONCLUSIONI	61

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3-1: Elenco sintetico delle simulazioni condotte; per ciascuna simulazione sono riportati: lo scenario di riferimento (ante e post operam); la condizione al contorno di monte (evento con idrogramma di lunga durata – evento con idrogramma di breve durata); condizione al contorno di valle (storm surge adottato).	32
Table 3-2 - Tabella delle elevazioni, dei tiranti e delle velocità nei punti di controllo;	53

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1 - Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (II ciclo) – mappa della pericolosità idraulica per esondazione del fiume Tevere	9
Figura 1-2 - Autorità di Bacino del fiume Tevere - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (I ciclo) – mappa della pericolosità idraulica per esondazione della rete dei canali di bonifica dell'Agro Romano redatta ai sensi della Direttiva Alluvioni (2007/60/CE)	9
Figura 1-3 - Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (II ciclo) – mappa del Rischio ai sensi del D. Lgs. 49/2010	10
Figura 1-4 Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico per il Bacino del Fiume Tevere aggiornato nella mappatura dell'area in oggetto con Decreto Segretariale n°46/22 del Giugno 2022	10
Figura 2-1 – serie storica delle portate del Tevere a Ripetta	12
Figura 2-2 – istogramma delle frequenze empiriche per le portate del Tevere a Ripetta	12
Figura 2-3 - frequenze empiriche di non superamento	13
Figura 2-4 - Funzioni di ripartizione dei modelli (legge lognormale, legge di Frechet e legge EV-1) a paragone con la frequenza di non superamento del campione	14
Figura 2-5-andamento delle piene del 1870, 1900, 1915 e 1937	17
Figura 2-6 - andamento della piena del 1870, riscalato per il valore di piena al colmo inferito	17
Figura 3-1 Inquadramento area di progetto	18
Figura 3-2 Altimetria del sito oggetto dell'intervento. In nero: argine di nuova realizzazione.	19
Figura 3-3 Tombino idraulico – a destra: vista satellitare; a sinistra: vista in prospettiva.	20
Figura 3-4 Viabilità di progetto – vista planimetrica	21
Figura 3-5 Stralcio modello di studio lato monte (Ponte Guglielmo Marconi – Roma)	27
Figura 3-6 Dominio di calcolo monodimensionale. Finche in rosso: rilievo batimetrico per sezioni (1997); in grigio: rilievo batimetrico anno 2020.	28
Figura 3-7 Inquadramento del modello digitale del terreno utilizzato per la determinazione delle fasce di espansione del fiume Tevere.	29
Figura 3-8 Mappatura delle classi di uso del suolo	30
Figura 3-9 Idrogramma di piena – evento di lunga durata	31
Figura 3-10 Idrogramma di piena – evento di breve durata	32
Figura 3-11 Inviluppo dei massimi tiranti (massimi livelli idrici registrati durante l'evento di piena rispetto alla quota del terreno) – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio – area della Fiumara Grande.	34
Figura 3-12 Inviluppo delle massime velocità – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio – area della Fiumara Grande.	35
Figura 3-13 Inviluppo delle massime elevazioni della superficie idrica (Water Surface Elevation) – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio – area della Fiumara Grande.	36
Figura 3-14 Inviluppo dei massimi tiranti – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio nell'area della Fiumara Grande.	38
Figura 3-15 Inviluppo delle massime velocità – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio nell'area della Fiumara Grande.	39

Figura 3-16 Inviluppo dei massimi livelli – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio nell'area della Fiumara Grande	40
Figura 3-17 Inviluppo dei massimi tiranti – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio.	41
Figura 3-18 Inviluppo delle massime velocità – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio	42
Figura 3-19 Inviluppo dei massimi livelli – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio.	43
Figura 3-20 Inviluppo dei massimi tiranti – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio	44
Figura 3-21 Inviluppo delle massime velocità – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio.	45
Figura 3-22 Inviluppo dei massimi livelli – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio	46
Figura 3-24 Stralcio del profilo di rigurgito – inviluppo del massimo livello (M1-2-3-4 B)	47
Figura 3-25 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M1-3 – Sezione al contorno di monte (ponte Marconi)	48
Figura 3-26 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M1-3B – Sezione a monte del Canale di Fiumicino	48
Figura 3-27 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M1-3B – Sezione a valle di ponte di Tor Boacciana.	49
Figura 3-28 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M2-4B – Sezione al contorno	49
Figura 3-29 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M2-4B – Sezione a monte del Canale di Fiumicino.	50
Figura 3-30 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M2-4B – Sezione a valle di ponte di Tor Boacciana.	50
Figura 3-31 Raffronto Mappa PAI Tevere (aggiornamento 2022) - risultati della modellazione idraulica in termini di Elevazione massima raggiunta dalla piena duecentennale	51
Figura 3-32 Raffronto Mappe PAI Tevere - risultati della modellazione –con il Piano Stralcio elaborato PAI – TAV.45 (Piano Stralcio Fasce Fluviali – Corridoio 5); Simulazione M1B	52
Figura 3-34 Punti di controllo	53
Figura 3-35 Borgo di Fiumara Grande – traccia planimetrica delle sezioni di controllo	55
Figura 3-36 - Borgo di Fiumara Grande – sezione di controllo 0	56
Figura 3-37 - Borgo di Fiumara Grande – sezione di controllo 1	56
Figura 3-38 - Borgo di Fiumara Grande – sezione di controllo 2	57
Figura 3-39 - Borgo di Fiumara Grande – sezione di controllo 3	57
Figura 3-40 Inquadramento delle sezioni di controllo tra Via del Faro e Via Scagliosi	58
Figura 3-41 - Ante Operam – campo della velocità (picco di piena) con linee di flusso	58
Figura 3-42 - Post Operam - li campo della velocità (picco di piena) con linee di flusso	59
Figura 3-43 - Raffronto Ante-Post Operam dell'idrogramma in attraversamento via del Faro	60
Figura 3-44 - Raffronto Ante-Post Operam dell'idrogramma in attraversamento via Scagliosi	60
Figura 3-45 - Raffronto Ante-Post Operam del massimo livello idraulico misurato lungo via Scagliosi	61

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

P0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_00

STUDIO IDROLOGICO E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ
IDRAULICA
FIUME TEVERE**

1 PREMESSA

1.1 OGGETTO DELL'ELABORATO

Il presente elaborato riporta le metodologie adottate, i dati utilizzati e le assunzioni operate, e infine i risultati dello **studio di compatibilità idraulica** redatto per il nuovo Porto Turistico di Fiumicino Isola Sacra; in particolare, lo studio qui presentato è relativo alla compatibilità idraulica rispetto agli eventi di progetto del fiume Tevere, trovandosi l'area di realizzazione del nuovo porto in prossimità dello sbocco di fiumara Grande (foce sud).

Lo studio è volto ad accertare se le modifiche territoriali prodotte dalla realizzazione dell'intervento, ed in particolare l'urbanizzazione che si viene ad attuare nella porzione di territorio compreso tra la via del Faro ed il mare, possono avere ripercussioni in termini di pericolosità e di rischio idraulico sulle aree limitrofe.

Il **porto turistico di Fiumicino Isola Sacra** è previsto appunto nella parte meridionale dell'area di isola Sacra, in adiacenza della Foce di Fiumara Grande. La concessione demaniale per la sua costruzione, di durata novantennale, è stata affidata alla società Iniziative Portuali S.p.a. (IP) nel febbraio 2010 dal Comune di Fiumicino, sulla base di un *Accordo di Programma* sottoscritto con lo stesso comune e con la Regione Lazio.

Il progetto sviluppato da IP prevedeva la realizzazione di 1,400 posti barca e di un cantiere nautico da 10,300 mq. A questi si aggiungevano oltre 40,000 mq di edilizia, destinata in gran parte a residenze, ma anche ad un albergo e superfici commerciali, di ristorazione e di servizio.

Le attività di costruzione del Porto, cominciate nel 2010, sono state interrotte dal concessionario dopo pochi mesi e ad oggi risulta realizzata solo una parte della diga foranea, senza che siano state realizzate né la marina, né le opere edili, né le opere necessarie all'urbanizzazione dell'area in concessione, al soddisfacimento degli standard urbanistici, né quelle aggiuntive previste a servizio di Isola Sacra, lasciando le aree di progetto in un generale stato di degrado.

Nel 2022 la Fiumicino Waterfront S.r.l., società costituita ad hoc da dal fondo iCON Infrastructure LLP e dalla Royal Caribbean Group, ha rilevato la concessione demaniale per la realizzazione e gestione del porto turistico di Fiumicino, rivisitando il progetto originale di Iniziative Portuali S.p.a e, pur mantenendo la prevalente funzione nautica da diporto (in accordo al DPR 2 Dicembre 1997 n. 509 - Decreto Burlando "porti turistici"), introduce la funzione turistico-crociéristica nel più esterno dei due bacini che compongono il porto.

Lo studio è articolato in una parte di analisi idrologica, relativa alla stima delle portate di riferimento del Tevere a Ripetta, che costituisce l'input di forzante per la parte idraulica.

La simulazione idraulica è stata condotta lungo il tratto del fiume Tevere dal Ponte Guglielmo Marconi a Roma alla foce del fiume stesso, integrando in termini di aree di esondazione potenziale tutte le aree ubicate a Sud della Fiumara Grande, l'Isola Sacra e le aree poste a nord del Canale di Fiumicino.

1.2 NORMATIVA E PUBBLICAZIONI DI RIFERIMENTO

Si presenta nel seguito un elenco delle Normative e Pubblicazioni in riferimento alle quali è sviluppato il documento.

1. *Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale - Piano di Assetto Idrogeologico;*
2. *Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale - Piano stralcio per il tratto metropolitano del Tevere da Castel Giubileo alla foce – PS5;*
3. *Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – PAI – Norme Tecniche di Attuazione;*
4. *Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – PAI – Norme Tecniche di Attuazione – Progetto di II aggiornamento del Piano di bacino stralcio per il tratto metropolitano del Tevere da Castel Giubileo alla foce – PS5 – Allegati alle norme tecniche di attuazione;*
5. *Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – Fasce e rischio idraulico sul reticolo secondario e minore (Rete canali di bonifica dell'Agro Romano) – Tavola PB88 – I – Rete canali di bonifica;*

6. *Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – deliberazione n. 20/2019 – Riesame ed aggiornamento delle mappe della pericolosità e del rischio alluvioni. Adozioni delle misure di salvaguardia;*
7. *Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – Aree sottoposte a misure di salvaguardia ai sensi della Delibera n° 20 del 20/12/2019 della Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale – Tavola 43;*
8. *Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale (ex Autorità di Bacino del fiume Tevere) – Studio idrologico ed idraulico bidimensionale per l'aggiornamento del piano di assetto idrogeologico del reticolo secondario per l'area di Roma Capitale – Relazione Linee Guida;*
9. *D. Lgs. 23 febbraio 2010 n.49 – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – Mappe di pericolosità e rischio – Relazione sugli aspetti metodologici;*
10. *DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 29 settembre 1998*
11. *Comune di Roma – Piano Comunale di Protezione Civile (art. 12, comma 2, lett. e) del D.lgs-1/2018) – Piano di Emergenza Comunale (D.F.R. Lazio 363/2014) – Fascicolo 2 – Rischio Idraulico;*
12. *Centro Studi Deflussi Urbani – Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione;*
13. *Centro Studi Deflussi Urbani – Acque di prima pioggia nei sistemi di fognatura. Manuale di progettazione;*
14. *Idraulica dei sistemi fognari. Dalla teoria alla pratica (Gisonni C., Hager W.H.);*
15. *Progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia);*
16. *Norme tecniche per le costruzioni 2018.*

1.3 INQUADRAMENTO NELLA PIANIFICAZIONE DI BACINO

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni I ciclo del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, è stato adottato il 17 dicembre 2015 con deliberazione n. 6 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, costituito ai sensi dell'art.12, comma 3, della legge n. 183/1989 e integrato dai componenti designati dalle Regioni il cui territorio ricade nel Distretto Idrografico non già rappresentante nel medesimo Comitato.

Per il II ciclo del PGRA, gli elaborati di aggiornamento sono stati esaminati e condivisi nella seduta della Conferenza Operativa del 15 dicembre 2021, che ha espresso al riguardo parere favorevole.

Il Piano è stato preceduto, come previsto dalla normativa sopra ricordate, da una lunga fase di attività preparatorie tra le quali – la più importante – la fase di mappatura della pericolosità e del rischio del Distretto idrografico dell'Appennino centrale.

Il Piano consta di due sezioni

- la parte A) riguarda principalmente l'attività di pianificazione di bacino di cui agli articoli 65, 66, 67, 68 del decreto legislativo n. 152/06, facendo salvi gli strumenti di pianificazione già predisposti nell'ambito della pianificazione di bacino già prodotta nell'ambito della normativa previgente; essa è in particolare quella che rileva dal punto di vista della mappatura delle aree rischio di cui alle Figura 1-1 e 1-2
- la parte B) riguarda, in coordinamento con le altre Regioni e con il Dipartimento nazionale della Protezione Civile, il sistema di allertamento, nazionale, statale e regionale, per il rischio idraulico di cui alla Direttiva P.C.M. 27/2/2004.

Con il parere n. 12 del 26 marzo 2021 la Commissione tecnica VIA VAS ha escluso il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto dell'Appennino Centrale dall'assoggettabilità a VAS fornendo alcune osservazioni/prescrizioni recepite mediante una relazione integrativa nel Piano gestione Rischio Alluvioni in adozione.

Infine, in data 20 dicembre 2021 con Delibera n.27/2021 la Conferenza Istituzionale Permanente ha adottato l'aggiornamento del PGRA ai sensi degli art.65 e 66 del D.Lgs 152/2006 e con il DPCM del 1 dicembre 2022 il Piano è stato definitivamente approvato.

Per i contenuti delle mappe del II ciclo la delibera di presa d'atto della conferenza istituzionale permanente è del 20 dicembre 2019.

Dal punto di vista della Pianificazione di Bacino, l'area in cui verrà realizzato il nuovo porto turistico risulta ricadere alla data di emissione del progetto nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (ABDAC), che ricomprende anche l'area già di pertinenza dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

Tale area risulta perimetrata ai sensi del sopra citato PGRA (D. Lgs. 49/2010) e classificata come *area a bassa pericolosità idraulica (P1)* per quanto riguarda la potenziale esondazione del fiume Tevere e dei bacini minori (pericolosità complessiva, figura 1-1).

Per quanto riguarda la pericolosità relativa al potenziale allagamento per il reticolo minore, è opportuno rilevare che l'area, nell'ambito della redazione delle mappe del *I ciclo di PGRA* da parte dell'allora competente *Autorità di Bacino del Fiume Tevere*, non è risultata perimetrata (figura 1-2); questo indicava che l'attenzione maggiore in termini di pericolosità idraulica deriva dagli effetti di allagamento dovuti all'impossibilità del reticolo secondario di esitare le portate degli scoli minori al Tevere, e che quindi lo scenario di riferimento principale per l'area di intervento è rappresentato principalmente dalla piena del fiume, dato confermato anche dalle modellazioni di cui alla presente relazione.

Si è in ogni caso ritenuto valutare in modo specifico se l'intervento in oggetto, per effetto della modifica delle quote del terreno nell'area di nuova realizzazione, dovesse avere qualche impatto sul regime dei fossi di bonifica adiacenti.

Per quanto riguarda il rischio idraulico, dal punto di vista del rischio di esondazione del fiume Tevere l'area oggetto dell'intervento è perimetrata nel PGRA ai sensi del D. Lgs. 49/2010 e del DPCM del 29/9/1998 come area a rischio medio, essendo bassa la pericolosità idraulica pari a P1 ma con un elevato valore dei beni esposti (area portuale), come indicato in figura 1-3.

Il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico per il Bacino del Fiume Tevere è stato aggiornato nella mappatura dell'area in oggetto con Decreto Segretariale n°46/22 del Giugno 2022; la nuova mappa integrata di pericolosità e rischio presenta delle modifiche rispetto alla precedente versione dell'aggiornamento del PAI per il tratto metropolitano del Tevere da Castel Giubileo alla foce (PS5, che riportava l'assetto idraulico con le fasce fluviali e le zone a rischio del Tevere).

Il PAI vigente è rappresentato in figura 1-4 e perimetra l'area di intervento come area a rischio R3.

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

P0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_00

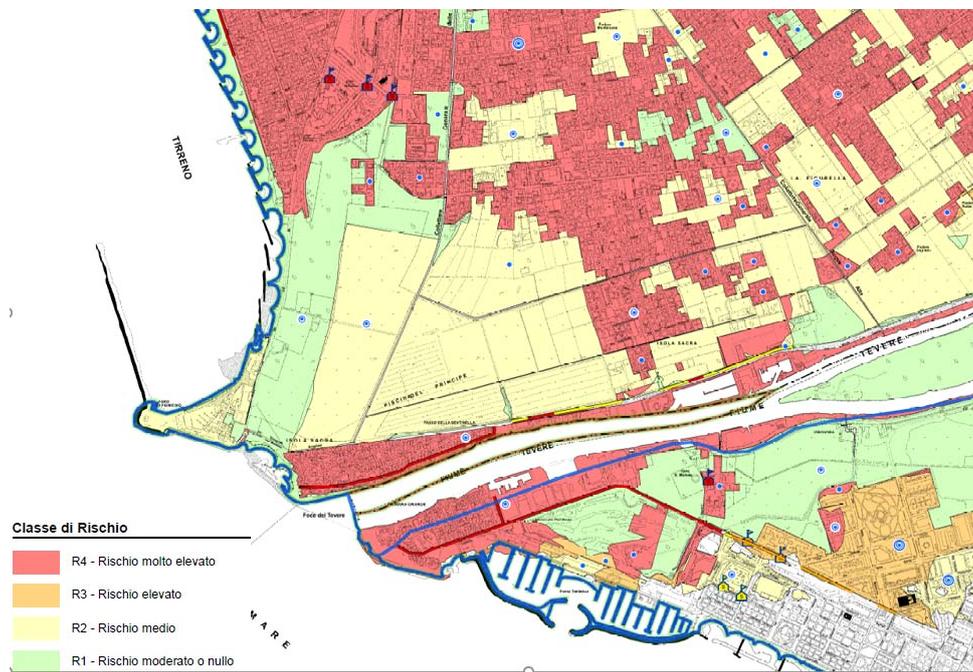


Figura 1-3 - Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (II ciclo) – mappa del Rischio ai sensi del D. Lgs. 49/2010

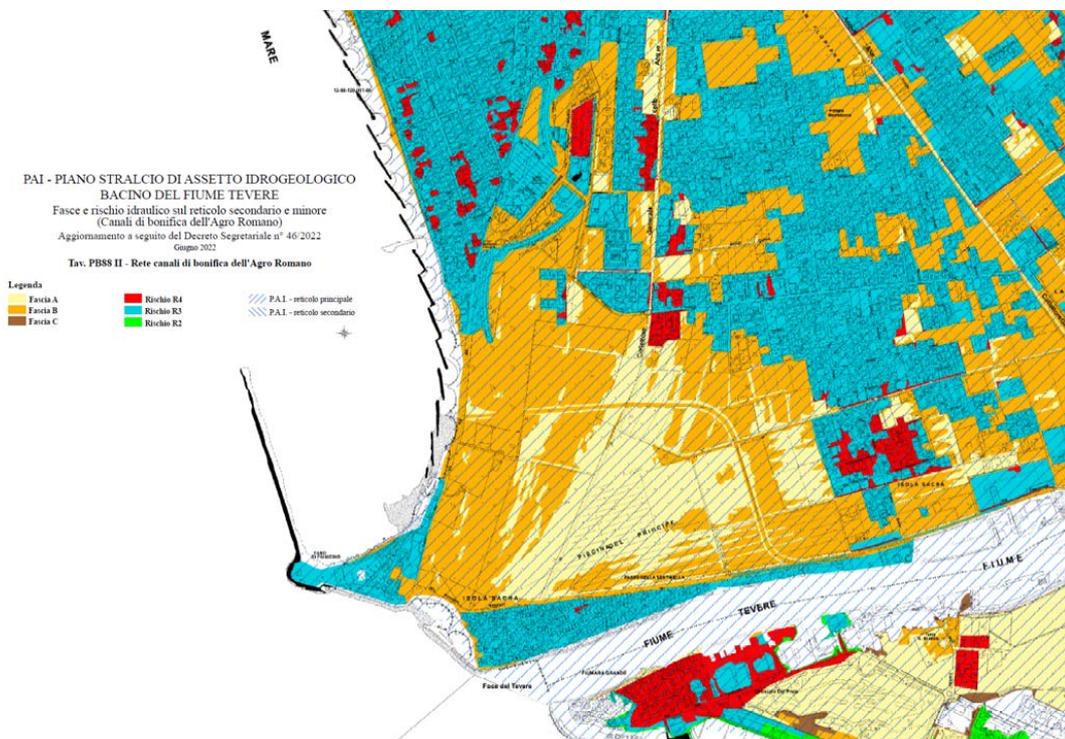


Figura 1-4 Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico per il Bacino del Fiume Tevere aggiornato nella mappatura dell'area in oggetto con Decreto Segretariale n°46/22 del Giugno 2022

2 ANALISI IDROLOGICA

2.1 APPROCCIO METODOLOGICO

Il presente capitolo riporta gli studi idrologici realizzati e finalizzati alla definizione dell'idrogramma di piena del fiume Tevere presso la sezione di chiusura in esame con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Gli studi sono suddivisi in due passaggi:

- Stima della portata di progetto: è stata condotta un'inferenza statistica di tipo diretto per la determinazione delle portate al colmo, in considerazione della forte presenza di registrazioni idrometriche presso la stazione del Tevere a Roma Ripetta;
- Determinazione dell'idrogramma di progetto: è stato adottato un approccio storico per determinare la forma dell'idrogramma.

2.2 SERIE STORICA DELLE PORTATE DI PIENA

Al fine di analizzare il comportamento empirico degli eventi estremi del fiume Tevere, sono stati raccolti 3 set di dati idrometrici presso la stazione idrometrica di Roma Ripetta:

- Set 1: registrazioni idrometriche orarie relative agli anni 1921 – 1985. Questi valori fanno riferimento agli annali idrologici dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale e resi pubblici dall'ente ISPRA;
- Set 2: registrazioni idrometriche sub orarie relative agli anni 2003-2021 – centro funzionale regione Lazio;
- Set 3: registrazioni idrometriche relative alle piene del 1870, 1900, 1915 e 1937 (idrogrammi completi).

Al fine di stimare le portate al colmo avvalendosi di una distribuzione di probabilità per descrivere la frequenza di accadimento degli eventi di piena, è necessario estrarre dai set di dati i valori estremi delle portate che rappresentano i colmi.

A tal proposito, in questo studio, è adottato il metodo dei massimi annuali.

Il metodo dei massimi annuali consiste nell'estrazione di un solo valore di portata per ogni anno di registrazione, e si fonda sull'assunzione che il processo stocastico di formazione dei deflussi massimi annuali sia indipendente e stazionario.

- L'indipendenza del dato vuole che gli eventi siano generati da processi meteorologici ed idrologici diversi e mutualmente non influenzati. Quest'assunzione è generalmente soddisfatta nel momento in cui si seleziona un solo valore annuale.
- La stazionarietà del dato prevede che la probabilità di realizzazione di un certo evento sia invariabile sotto traslazione temporale. Tale assunzione risulta debole in vista degli inevitabili cambiamenti climatici intercorsi nei cento anni di osservazione e altresì in seguito al mutamento del bacino idrografico del fiume, ma è tuttavia assunta ai fini della realizzazione dello studio.

Di seguito sono illustrate diverse rappresentazioni del campione: distribuzione temporale dei massimi annuali, istogramma delle frequenze empiriche, distribuzione delle frequenze empiriche cumulate.

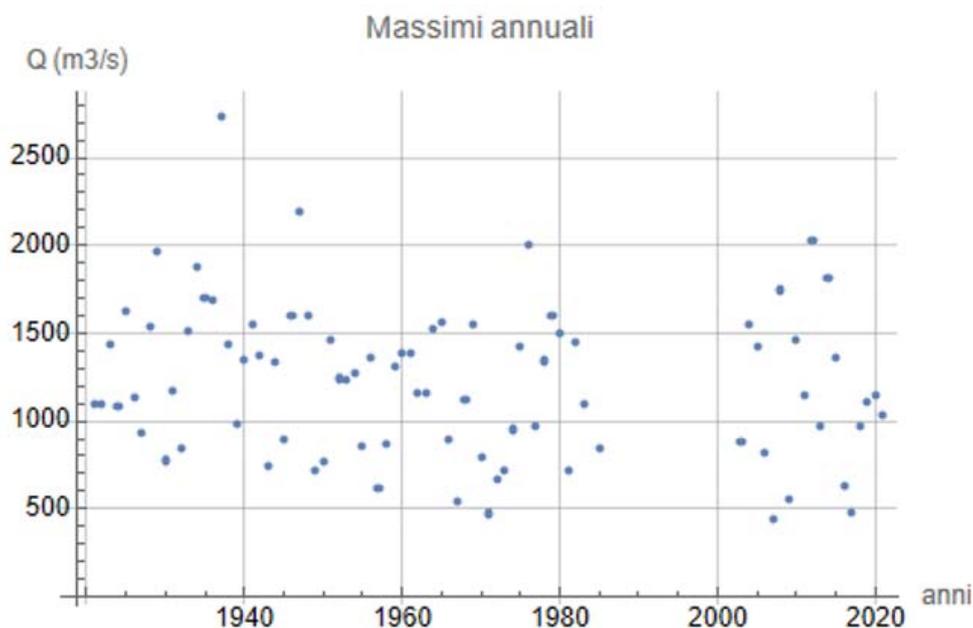


Figura 2-1 – serie storica delle portate del Tevere a Ripetta

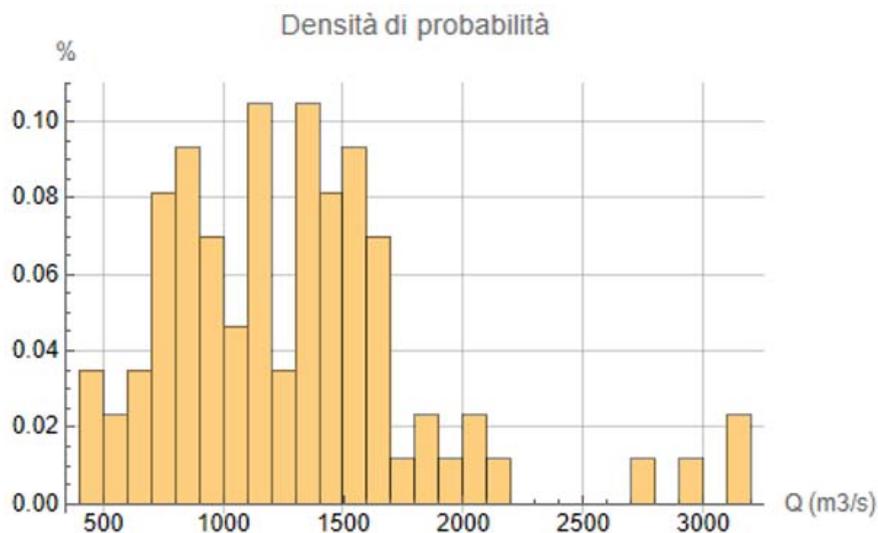


Figura 2-2 – istogramma delle frequenze empiriche per le portate del Tevere a Ripetta

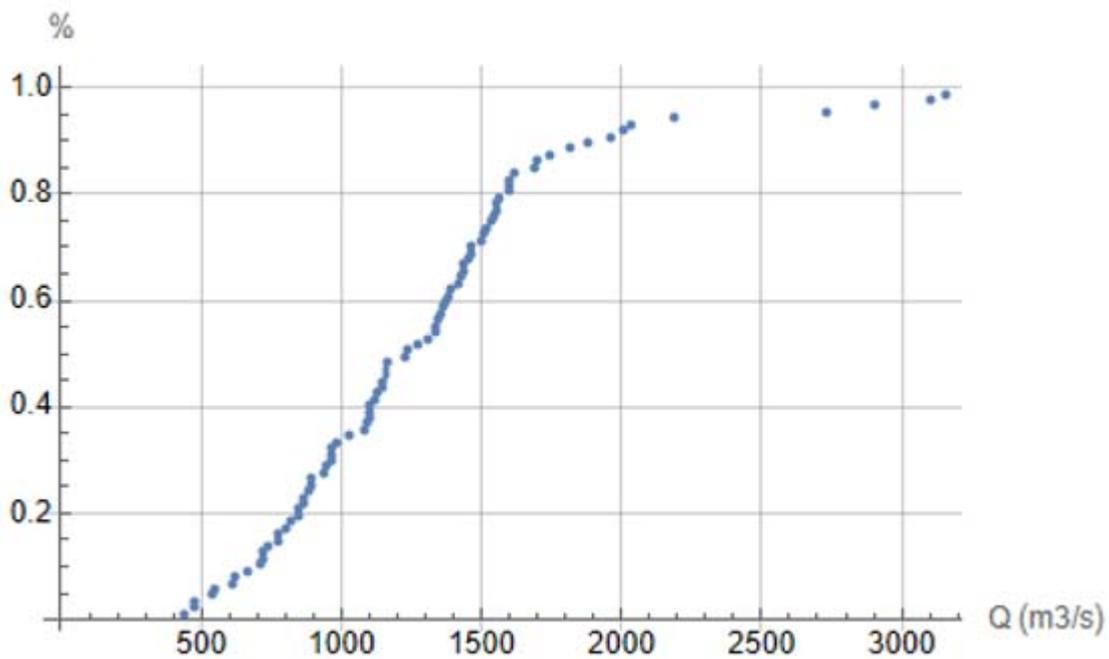


Figura 2-3 - frequenze empiriche di non superamento

Sono di seguito rappresentati gli indicatori statistici campionari di interesse:

- Media = 1284 (in m³/s, media delle portate massime annue registrate su tutto il campione);
- Deviazione standard = 567 (in m³/s, deviazione delle portate massime annue registrate su tutto il campione);

2.3 ADATTAMENTO PER INFERENZA STATISTICA

In questo paragrafo è descritta la procedura adottata al fine di identificare la legge di probabilità che meglio descrive il comportamento del campione. A tal proposito sono portate in analisi tre distribuzioni che la letteratura comunemente suggerisce per la stima dei valori estremi: La legge Lognormale, la legge di Frechet e la legge di tipo Gumbel (di qui in avanti chiamata EV-1).

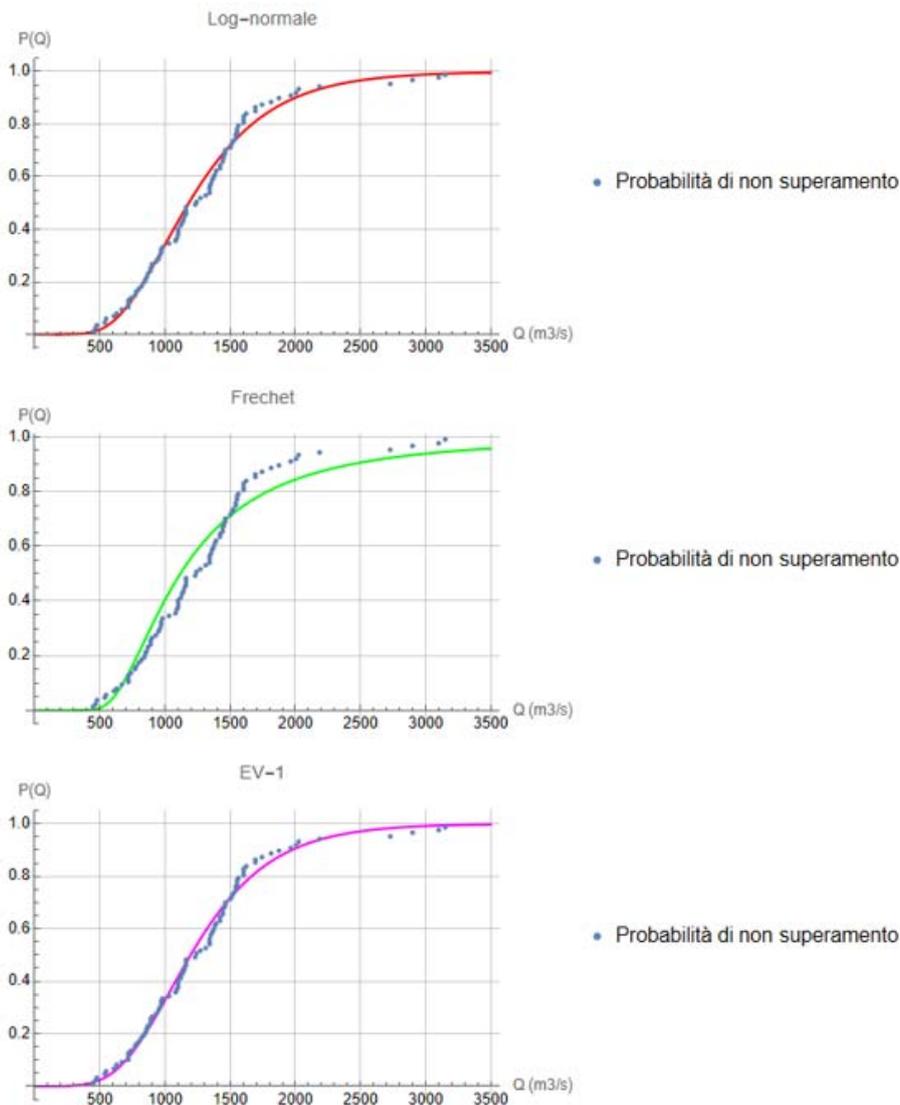


Figura 2-4 - Funzioni di ripartizione dei modelli (legge lognormale, legge di Frechet e legge EV-1) a paragone con la frequenza di non superamento del campione

Da una prima analisi qualitativa, si nota come la legge di Frechet non si adatti in maniera soddisfacente al campione, ed è pertanto scartata dalle successive verifiche.

La bontà dell'adattamento è verificata quantitativamente tramite il test statistico Kolmogorov-Smirnov. Il test si basa su una metrica D di confronto fra frequenza empirica e valori modellati:

$$D = \text{Max}|F_i - P_Q(Q_i)|$$

Ove:

- D è la metrica utilizzata per il test
- Il secondo membro è il massimo assoluto degli scarti fra valore osservato e stimato

Il test è superato qualora sia vera la seguente affermazione:

$$D < \delta(\alpha, n)$$

Ove $\delta(\alpha, n)$ è un valore critico che dipende dal livello di significatività del test e dalla numerosità del campione. Il livello di significatività indica la probabilità che il test rigetti l'ipotesi quando l'ipotesi è in realtà vera. La letteratura stima che, per un valore di significatività di $\alpha = 0.05$, δ sia così calcolabile:

$$\delta = \frac{1.36}{\sqrt{n}}$$

Il test, così applicato, risulta abbondantemente verificato per le due leggi di probabilità presentate. Tuttavia, il campione utilizzato per il test è stato utilizzato anche per la taratura del modello, e ciò invalida l'affidabilità del test. Per ovviare a questo problema si introduce il metodo Monte Carlo.

Ipotizzando che il campione osservato sia una realizzazione di una variabile casuale il cui comportamento è descrivibile da una legge di probabilità proposta, allora è possibile confrontare questo campione con numerose altre realizzazioni della stessa variabile casuale che seguono la stessa legge probabilistica.

Pertanto:

- sono stati generati 1000 campioni casuali per distribuzione di probabilità, ciascuno con numerosità pari a quella del campione osservato;
- Per ogni campione è stato stimato un modello con le procedure descritte in questo paragrafo;
- Per ogni campione è stata stimata la metrica D^* del test Kolmogorov-Smirnov.

Di questi 2000 valori della metrica D^* (1000 per la legge lognormale, 1000 per la legge EV-1) è stata calcolata la frequenza empirica

Tabella 2-1 – Test di Kolmogorov Smirnov sulle distribuzioni utilizzate

Legge lognormale	Legge EV-1
D = 0.080	D = 0.073
D*(95%) = 0.090	D*(95%) = 0.088
Il test accetta l'ipotesi	Il test accetta l'ipotesi

Il test accetta l'ipotesi per entrambi i modelli proposti. Per lo studio in esame è stata adottata la legge EV-1, visto il minor valore della metrica D del test Kolmogorov-Smirnov.

Definito il modello di stima per le portate al colmo e appuratane la bontà dell'adattamento, è possibile estrapolare dal modello le portate di piena di progetto.

Visto che, con riferimento ad un anno, la probabilità di non superamento di un evento è legata al tempo di ritorno in questo modo:

$$\text{Probabilità di non superamento} = 1 - \frac{1}{\text{Tempo di ritorno}}$$

Allora, per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, la probabilità di non superamento sarà rispettivamente: 49/50; 199/200 e 499/500.

Calcolando i percentili della distribuzione EV-1 in relazione alle probabilità di non superamento così ottenute, si ottengono i seguenti valori di portata al colmo di progetto:

Tabella 2-2 – Portate attese per tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni

Tempo di ritorno [anni]	Portata [m ³ /s]
50	2755
200	3372
500	3778

2.4 IDROGRAMMA DI PIENA

Per l'adozione della forma dell'idrogramma di piena si è fatto riferimento alle piene storiche degli ultimi 150 anni per le quali sono disponibili gli idrogrammi completi registrati a Ripetta.

Di queste quattro piene, non sono state considerate le piene del 1915 e 1937, perché generate da eventi multipli in successione, con successive fasi di precipitazione, che hanno sostenuto le portate nel corso d'acqua per diversi giorni. Come si vedrà nella simulazione idraulica, anche adottando piene con durate complessive decisamente inferiori a quelle storiche registrate, la variazione delle condizioni di inviluppo (massimi livelli registrati) dipende solo in modo molto debole dal volume complessivo della piena; non si è ritenuto quindi adottare eventi complessi con periodi di morbida prolungati.

Tra le piene del 1870 e 1900, entrambe piuttosto simili nella fase ascendente, la piena del 1870 presenta volumi leggermente superiori.

Per tale ragione, si è assunta come forma della piena di riferimento per la successiva simulazione idraulica la piena del 1870.

L'idrogramma ricostruito è quello riportato in figura 2-6.

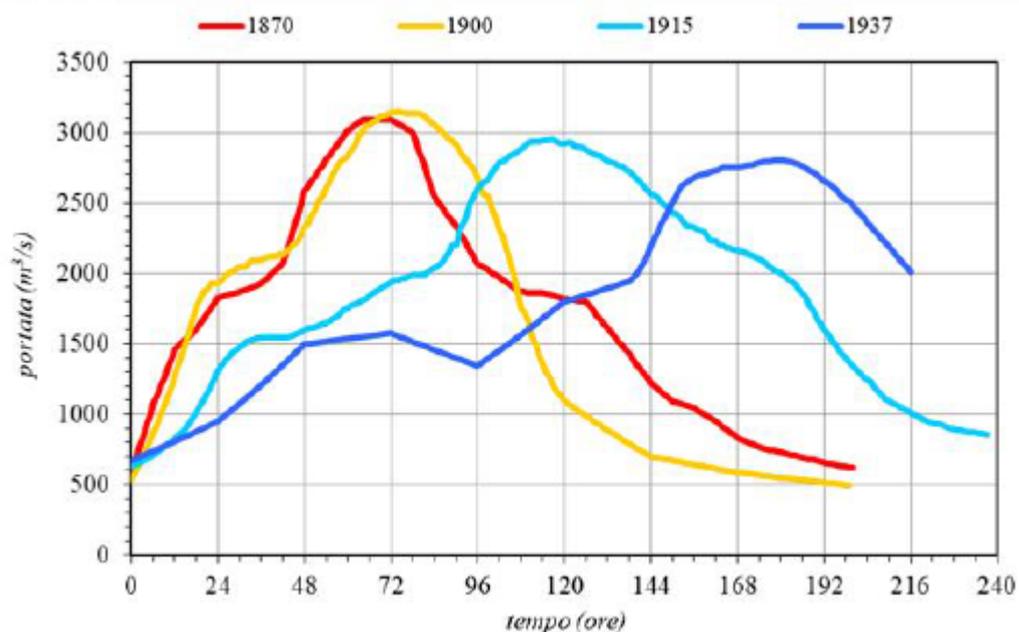


Figura 2-5-andamento delle piene del 1870, 1900, 1915 e 1937

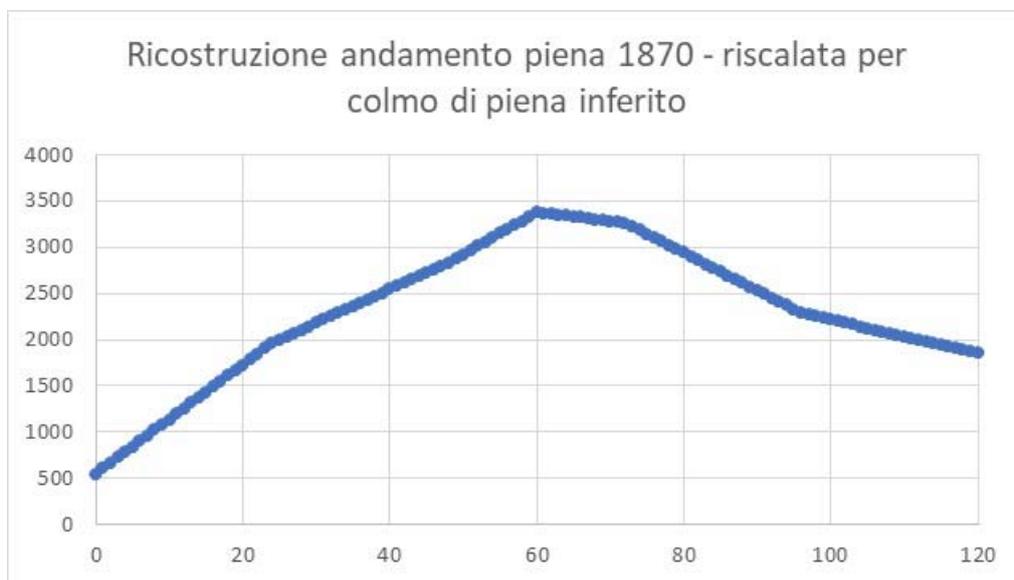


Figura 2-6 - andamento della piena del 1870, riscalato per il valore di piena al colmo inferito

3 DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

Il presente capitolo descrive il contesto territoriale caratterizzante il sito oggetto di studio e le modifiche che saranno compiute su scala territoriale nel corso dell'implementazione del progetto. L'analisi è rivolta, oltre che al lotto di nuova edificazione, costituito dal margine rivierasco occidentale ubicato a Nord della foce del Tevere, alla regione limitrofa coinvolta nei processi di formazione e propagazione delle onde di piena del fiume Tevere stesso. L'inquadramento complessivo è rappresentato nella seguente figura 3-1.

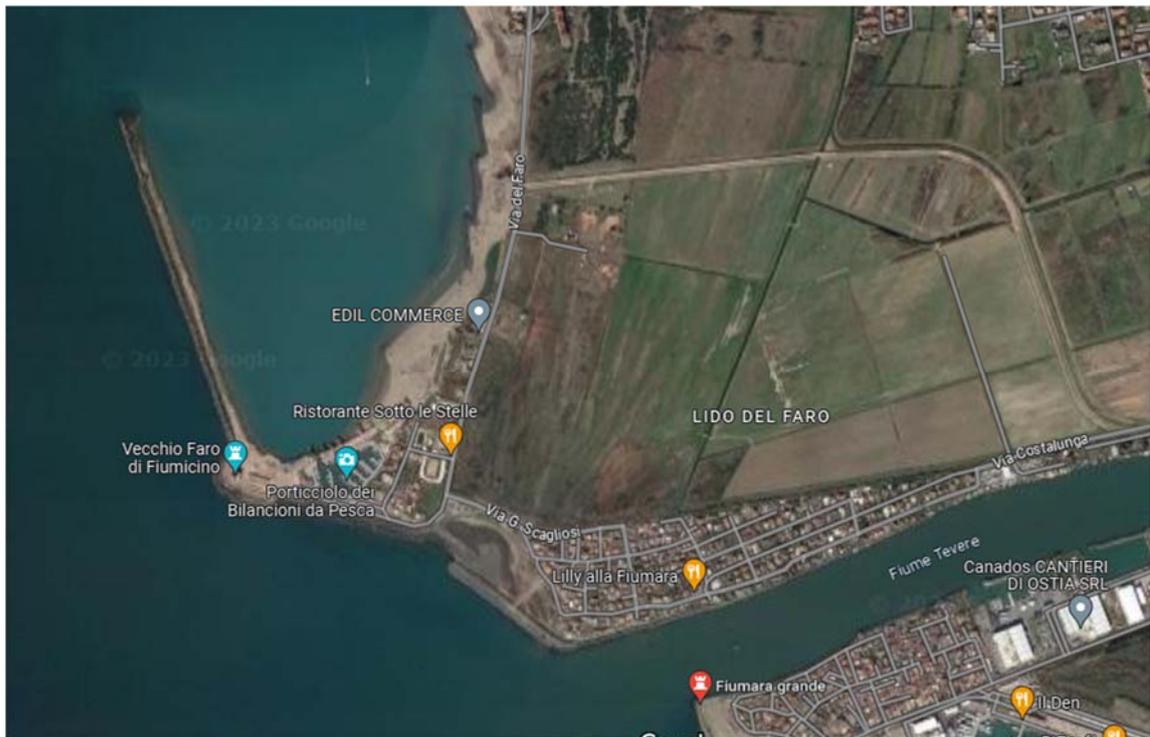


Figura 3-1 Inquadramento area di progetto

3.1 DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

L'area oggetto d'intervento si sviluppa in destra idraulica del tratto in foce del fiume Tevere, nella regione compresa tra via del Faro (comune di Fiumicino) e la linea di costa, in prossimità del borgo di Fiumara Grande. La porzione di territorio, a ridosso della via litoranea, si presenta sotto forma di terreno incolto ed è confinante a Nord-Est con l'area di espansione del Fiume Tevere. La regione in esame è delimitata a Nord-Est dall'argine di recente realizzazione realizzato per consentire la protezione idraulica del quartiere di Isola Sacra dai fenomeni di esondazione del fiume; tale argine ha modificato in modo consistente le dinamiche di espansione del Tevere.

L'argine in oggetto, realizzato dall'ex Ardis, è stato implementato nella modellazione propedeutica al presente studio (sia nelle condizioni ante operam sia post operam), in quanto già portato a termine; tanto per tenere conto anche della richiesta pervenuta con nota dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale – protocollo 1447 - registrata alla Regione Lazio il 27/2/2019.

Dal punto di vista delle elevazioni, il piano di campagna è generalmente caratterizzato da quote altimetriche comprese tra 0 e 1.0 m sm, con valori di minimo collocati in prossimità dei canali di bonifica. La viabilità esistente

(Via del Faro), parallela alla costa con direzione prevalente Nord-Est, presenta un assetto in rilevato, con livello compreso tra +0.50-1.8m slm. L'infrastruttura si colloca in media a 50-100cm di elevazione superiore a quella del piano campagna che caratterizza l'area di espansione del Tevere, delimitata sui lati settentrionale e orientale dall'argine di nuova realizzazione (figura successiva).

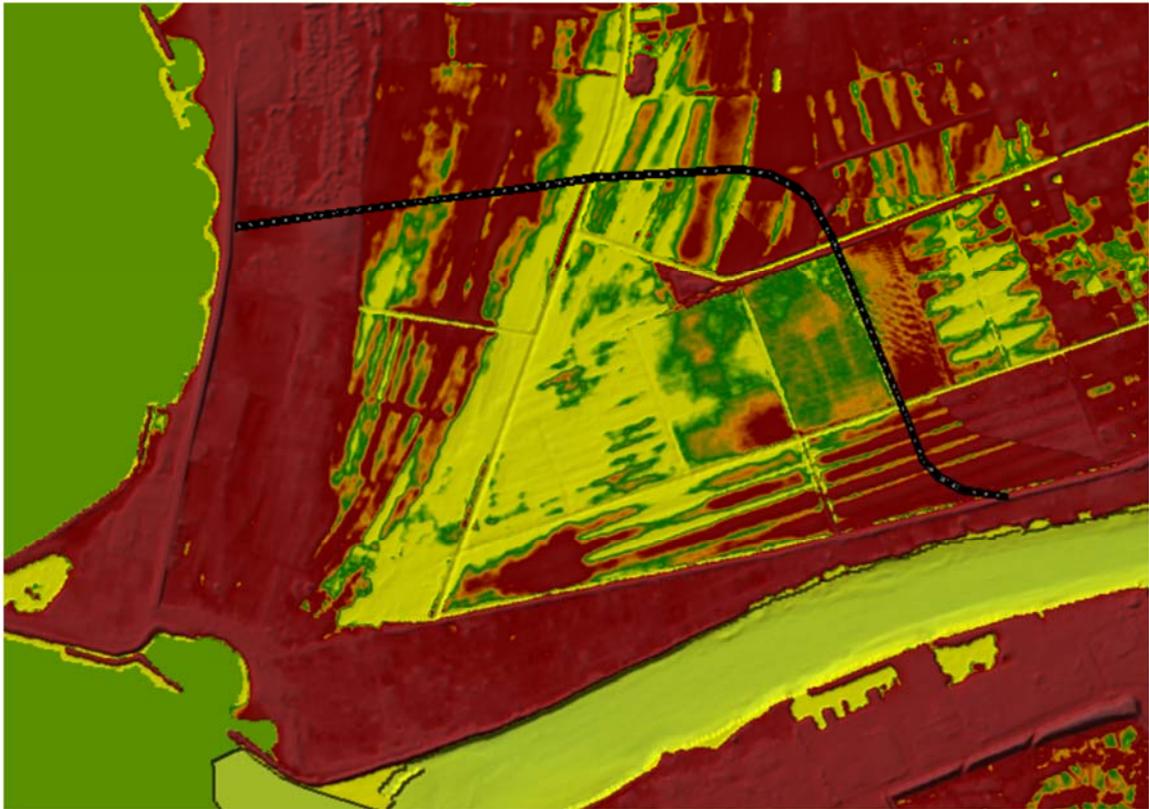


Figura 3-2 Altimetria del sito oggetto dell'intervento. In nero: argine di nuova realizzazione.

L'argine di nuova realizzazione, caratterizzato da un'altezza media compresa tra 250 e 300cm (quota assoluta), presenta un ingombro in coronamento pari a 3 metri, e un ingombro alla base pari a circa 22m. Come è possibile osservare dalle immagini che seguono, lungo l'argine, sul lato settentrionale del suo perimetro, è presente un tombino idraulico scatolare a sezione quadrangolare di 200x200 cm che permette la continuità idraulica del canale di bonifica a sezione trapezoidale di dimensioni 500x150cm. Il canale rappresenta la continuità degli scoli trasversali ad esso afferenti.



Figura 3-3 Tombino idraulico – a destra: vista satellitare; a sinistra: vista in prospettiva.

Collocato centralmente all'area in esame, il presidio attraversa l'abitato di Isola Sacra (direzione Nord-Est) e defluisce all'interno dell'impianto di sollevamento collocato in prossimità del Canale di Fiumicino.

Dal sopralluogo realizzato (maggio 2023) è stato possibile osservare la pressoché totale assenza di deflusso, condizione questa attribuibile alle ridotte pendenze longitudinali del presidio. In caso di evento di piena e attivazione dell'area di laminazione, dunque, appare plausibile che lo svuotamento controllato della regione possa realizzarsi attraverso il tombino/canale per gradiente idraulico generato dai differenti livelli raggiunti a Sud-Ovest e Nord-Est del rilevato arginale.

In sede di verifiche di compatibilità degli interventi di progetto, dunque, si è deciso cautelativamente di non tener conto della presenza del tombino scatolare, ipotizzando che le modeste portate convogliabili dal manufatto possano ritenersi trascurabili in presenza di un evento critico di periodicità statistica media elevata; in tal senso, l'ipotesi risulta appunto cautelativa rispetto alla possibilità che una seppur modestissima quota dei volumi immagazzinati nell'area possa defluire nel canale stesso.

3.2 DESCRIZIONE DELLO STATO DI PROGETTO

Il Progetto della nuova infrastruttura portuale comporta la modifica della porzione di territorio compresa tra la via litoranea e la costa secondo le modalità che seguono:

Via del Faro – la viabilità di progetto mantiene il tracciato planimetrico e viene modificata nell'assetto altimetrico. Il livello medio del profilo in asse alla strada viene innalzato su valori medi compresi tra 2m e 4m slm. Contestualmente la viabilità è soggetta a locali allargamenti della sezione (rotatorie).



Figura 3-4 Viabilità di progetto – vista planimetrica

Nell'area portuale vengono realizzati gli edifici, le infrastrutture di collegamento previsti dalla sezione progettuale. Dal punto di vista complessivo, l'area delimitata e sud e ad est dalla via del Faro viene posta a quote superiori a quelle attuali; gli esiti delle verifiche idrauliche dovranno quindi riguardare se la parziale sottrazione dei volumi soggetti alla nuova infrastrutturazione rispetto alla disponibilità di esondazione delle piene del Tevere possa avere una qualche influenza sui tiranti nelle zone limitrofe.

Per tale ragione si è provveduto a realizzare un modello idraulico che tenesse conto:

- della dinamica di trasferimento in alveo della piena del Tevere, comprendendo anche gli effetti di laminazione che si verificano su un lungo tratto della porzione extra-urbana del fiume, a partire dal ponte Guglielmo Marconi a Roma;
- della dinamica di invaso e svasso dell'area limitrofa alla foce del Tevere – sul lato settentrionale che, con la realizzazione del nuovo argine da parte di ex Ardis, si viene a configurare come un importante volume di laminazione in fregio alla porzione terminale del corso d'acqua
- dei deflussi occorrenti sul canale di Fiumicino, che concorrono alla determinazione dei livelli sul tratto finale del fiume compreso tra la diramazione in corrispondenza del lago Traiano e la foce stessa, e della relativa ripartizione delle portate tra i due rami del fiume.

3.3 MODELLAZIONE IDRAULICA

Il presente capitolo ha come obiettivo la descrizione delle modalità adottate per la realizzazione delle simulazioni idrauliche della regione oggetto di studio. Come già anticipato all'interno della Premessa al presente documento, le simulazioni idrauliche sono state sviluppate mediante Software Open Source Hec-Ras 2D 6.2, annoverato dalla FEMA (Federal Emergency Management Association) degli Stati Uniti d'America tra gli strumenti referenziati per supportare un'indagine modellistica 1-2D.

Nel dettaglio, la simulazione dell'asta fluviale (monodimensionale) è stata accoppiata, per le tratte caratterizzate dai livelli superiori alle arginature esistenti, a un dominio di espansione bidimensionale. Considerata la ridotta durata che caratterizza gli eventi critici di piena del reticolo minore presente all'interno dell'area di studio (dc=1.0-1.5h), si è ritenuto opportuno rimandare le analisi dello stesso ad altra sede.

I paragrafi che seguono riportano una breve descrizione teorica del Software e l'implementazione Ante Operam e Post Operam del dominio di simulazione.

3.4 MODELLO NUMERICO – BREVE TRATTAZIONE TEORICA

Il modello idraulico implementato è il software HEC-RAS 6.02 sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center (HEC), divisione dell'Institute of Water Resources (IWR) dello US Army Corps of Engineers. HEC-RAS consente il calcolo sia monodimensionale sia bidimensionale, ovvero una loro combinazione, del profilo idraulico per corsi d'acqua naturali o artificiali, in condizioni di moto permanente o di moto vario.

Nel dominio di calcolo 1D il modello integra le equazioni di De Saint Venant 1D per le correnti a pelo libero (sistema alle derivate parziali di tipo iperbolico a due incognite, che dipendono dalla progressiva spaziale x e dal tempo), ricavate dalle equazioni di conservazione della massa (equazione di continuità) e di bilancio della quantità di moto, sotto opportune ipotesi (fluido incomprimibile, correnti lineari o gradualmente variate - ossia con traiettorie delle particelle fluide rettilinee e parallele, dove le componenti del vettore velocità sono nulle nel piano normale alla direzione della corrente, e distribuzione idrostatica della pressione sulla sezione trasversale – e pendenza di fondo limitata):

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Qv}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial H}{\partial x} + S_f \right) \end{cases}$$

dove (per la generica sezione fluviale, identificata nello spazio dall'ascissa curvilinea x , e per il generico istante di tempo t):

Q è la portata;

v è la velocità media della corrente;

A è l'area bagnata della sezione trasversale;

H è la quota sul livello del mare del pelo libero ($H=h+z_0$, con h tirante idrico e z_0 quota del fondo sul livello medio del mare);

S_f è la cadente, ovvero la perdita di energia per unità di peso della corrente e per unità di lunghezza del corso d'acqua;

q_l è l'eventuale termine sorgente (portata per unità di lunghezza dovuta agli apporti laterali);

g è l'accelerazione di gravità.

Il sistema di equazioni alle derivate parziali non lineare del primo ordine, generalmente non integrabile in forma analitica, viene approssimato alle differenze finite e risolto numericamente dal codice di calcolo attraverso la tecnica iterativa Newton-Raphson.

Il codice HEC-RAS suddivide l'area interessata al moto in tre zone principali perpetuando la convenzione introdotta con HEC-2: zona golenale sinistra (left overbank, lob), alveo ordinario (channel, ch), zona golenale di destra (right

overbank, rob). Per tener conto dell'andamento curvilineo dell'asse, la distanza di calcolo tra due sezioni viene ponderata rispetto alla frazione di portata che fluisce rispettivamente in golena sinistra (lob), nel canale ordinario (ch) e nella golena destra (rob). La lunghezza mediata del tratto L è calcolata quindi nel seguente modo:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

con

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} lunghezze del tratto relative rispettivamente all'area golenale sinistra (lob), al canale principale (ch) e all'area golenale destra (rob);

\bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, canale principale e golena destra.

La determinazione della conveyance della sezione e del coefficiente α di ragguglio delle altezze cinetiche richiede di norma una maggior suddivisione del flusso in porzioni di sezione all'interno delle quali la velocità possa ritenersi uniformemente distribuita. Nelle zone golenali, l'approccio usato da HEC-RAS (o meglio l'approccio di default, ma il programma ne contempla anche altri di carattere opzionale) consiste nell' assumere come base della suddivisione linee verticali, in corrispondenza dei punti di discontinuità nel valore della scabrezza n. La valutazione della conveyance per ogni elemento viene quindi effettuata con la formula di Manning scritta per unità di misura del sistema internazionale:

$$Q = K \cdot S_f^{1/2}, \quad K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3}$$

con i parametri:

K = conveyance (m³/s)

n = coefficiente di scabrezza di Manning (m^{-1/3}s)

A = area di flusso (m²)

R = raggio idraulico (m)

tutti riferiti alla singola porzione di flusso. Le conveyance parziali di ogni area golenale vengono quindi sommate per ottenere infine i due valori di conveyance relativi rispettivamente alla golena destra e sinistra. Di norma, il canale principale è invece trattato come un unico elemento dotato di un solo valore di conveyance. Il valore finale unico di K per l'intera sezione è ottenuto come somma dei tre contributi parziali (lob, ch, rob).

Per ciò che concerne invece il coefficiente di ragguglio α , ad ogni sezione resterà associata una sola superficie libera e di conseguenza una sola altezza cinetica. Pertanto, per un dato valore del tirante idrico nella sezione, l'altezza cinetica viene calcolata come un valor medio pesato alla portata fra quelli associati alle tre sottosezioni: golena sinistra, canale, golena destra. In pratica l'altezza cinetica è calcolata mediante la seguente relazione generale:

$$\alpha \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \left(\frac{V_i^2}{2g} \right)}{Q_{tot}}$$

da cui α risulta:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot V_i^2}{Q \cdot V^2}$$

Il programma considera, riguardo alle perdite di carico concentrate, una contrazione ogni volta che l'altezza cinetica della sezione di monte risulta maggiore di quella della sezione più a valle, viceversa per l'espansione.

La modalità attraverso cui il programma calcola per ogni sezione il valore incognito dell'altezza della superficie libera, a partire da dati geometrici e di portata assegnati in input, è costituita da una soluzione iterativa delle equazioni dell'energia e delle perdite di carico. La procedura di calcolo consiste, più in dettaglio, nei seguenti passi:

scelta di un valore di primo tentativo per la quota della superficie libera (WS1, water surface) in corrispondenza della sezione di monte, per correnti lente, o di valle, per correnti veloci;

calcolo, a partire dal valore assunto al passo 1, dei corrispondenti valori di conveyance totale e di altezza cinetica;

stima di \bar{S}_f e soluzione dell'equazione delle perdite di carico per il calcolo delle perdite di carico totali h_e ;

soluzione, a partire dai valori ottenuti al passo 2 e 3, dell'equazione dell'energia per il calcolo della superficie libera WS2;

confronto fra il valore di WS2 calcolato ed il valore assunto al passo 1 e reiterazione dei passi 1-5 fino al raggiungimento della convergenza, definita per default da una differenza fra i due valori inferiore a 0,003 m (o qualsiasi altra tolleranza definibile dall'utente).

La scelta del valore dell'altezza della superficie libera di partenza viene effettuata con metodi che variano fra la prima e le successive iterazioni: per il primo tentativo si adotta un valore ottenuto dalla proiezione dell'altezza calcolata alla sezione precedente; alla seconda iterazione il valore di primo tentativo viene incrementato del 70% dell'errore (WScalcolata - WSassunta) relativo al primo step; infine il terzo tentativo e seguenti sono basati sul metodo "secante", che proietta il valore della differenza fra quota calcolata e quota assunta ai due tentativi precedenti, secondo la relazione:

$$WS_i = WS_{i-2} - Err_{i-2} \cdot \frac{Err_{ass}}{Err_{dif}}$$

con

WS_i = valore di WS assunto al passo i-esimo

WS_{i-1} = valore di WS assunto nella (i-1)-esima iterazione

WS_{i-2} = valore di WS assunto nella (i-2)-esima iterazione

Err_{i-2} = errore relativo alle due iterazioni precedenti (WScalcolato, i-2 – WS_{i-2});

Err_{ass} = WS_{i-2} – WS_{i-1};

Err_{dif} = WS_{i-1} – WScalcolato, i-1 + Err_{i-2}

La variazione di WS fra un tentativo e il successivo è vincolata ad un massimo di \square 50% del valore assunto allo step precedente. Il numero massimo delle iterazioni risulta comunque limitato (per default pari a 20) e nel corso di esse il programma tiene traccia del valore di WS che produce il minimo errore fra valore assunto e valore calcolato, indicato come "superficie libera di minimo errore". Qualora il massimo delle iterazioni venga eguagliato prima del raggiunto bilanciamento, il programma calcola l'altezza critica e verifica se l'errore associato alla superficie libera di minimo errore è inferiore ad una prefissata tolleranza. Se questo accade e se tale superficie è ben posta rispetto all'altezza critica calcolata (ovvero è maggiore dell'altezza critica per corrente lenta e minore per corrente veloce), allora il programma assume proprio tale valore come risposta finale del processo iterativo, altrimenti adotta l'altezza critica, producendo in entrambi i casi una nota informativa. L'incapacità di bilanciare l'equazione dell'energia entro il dato numero di iterazioni è generalmente da imputarsi ad un inadeguato numero di sezioni. L'altezza critica viene assunta anche ogniqualvolta la superficie libera calcolata risulta "mal posta" rispetto ad essa, ovvero quando risulta al di sotto dell'altezza critica per correnti lente e al di sopra per correnti veloci. HEC-RAS calcola l'altezza critica mediante un processo iterativo in cui viene assunto un valore di WS cui corrisponde il valore minimo del carico

totale H.

I metodi impiegati per sviluppare tale processo sono due: il metodo “parabolico” ed il metodo “secante”. Il primo risulta più veloce a livello computazionale, ma in grado di localizzare un solo punto di minimo. Dal momento che per la maggior parte delle sezioni esiste un solo minimo del carico totale, il metodo parabolico rappresenta il metodo di default di HEC-RAS, riservandosi il programma la facoltà di passare al metodo secante qualora il primo non converga.

Il passaggio attraverso l'altezza critica rende tuttavia inapplicabile l'equazione dell'energia, la quale si basa sull'ipotesi di condizioni di flusso gradualmente variato.

Tutti i fenomeni che producono una transizione corrente lenta - corrente veloce e viceversa, quali variazioni di pendenza, costrizioni associate alla presenza di un ponte, confluenze, ecc., sono quindi affrontati da HEC-RAS col ricorso all'equazione dei momenti.

Nel dominio di calcolo 2D (non previsto nella presente trattazione) il programma utilizza le equazioni di Shallow Water (o equazioni di De Saint Venant 2D), semplificazioni delle equazioni di Navier-Stokes mediate (su un periodo di tempo sufficientemente piccolo rispetto ai fenomeni che si vogliono seguire e sufficientemente grande rispetto ai disturbi della turbolenza); oltre all'ipotesi di fluido incomprimibile, si assume che la scala verticale delle lunghezze sia molto più piccola della scala orizzontale e quindi che la componente verticale della velocità risulti trascurabile e che la pressione sia distribuita in maniera idrostatica. Assumendo infine trascurabili i termini inerziali nell'equazione di bilancio della quantità di moto si semplifica ulteriormente l'equazione di bilancio della quantità di moto ottenendo l'equazione di diffusione dell'onda:

$$\frac{n^2|V|V}{(R(H))^{4/3}} = -\nabla H$$

da cui si ricava:

$$V = -\frac{(R(H))^{2/3}}{n} \frac{\nabla H}{|\nabla H|^{1/2}}$$

dove V è il vettore velocità, n è il coefficiente di Manning, R(H) è il raggio idraulico della sezione e ∇H è il gradiente della quota della superficie idrica sul livello del mare.

Combinando quest'ultima con l'equazione di continuità, in forma vettoriale:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot hV + q_l = 0$$

si ottiene il modello Diffusive Wave Approximation of the Shallow Water equations (DSW) utilizzato da Hec-Ras nel calcolare il moto all'interno del dominio bidimensionale nel modello, rappresentato dall'equazione:

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \nabla \cdot \beta \nabla H + q_l = 0$$

$$\beta = \frac{(R(H))^{5/3}}{n|\nabla H|^{1/2}}$$

La soluzione ai volumi finiti adottata da Hec-Ras sfrutta infine le informazioni idrauliche fornite dal modello digitale del terreno (DTM) utilizzato, che definisce area bagnata, volume e raggio idraulico del livello H in un generico istante temporale.

La portata in uscita dal dominio 1D è regolata dall'equazione dello stramazzo, implementata lungo gli sfioratori laterali disposti tra le sezioni per le quali i tiranti idraulici eccedono l'altezza degli argini golenali:

$$Q = C_d L H^{3/2}$$

In cui L è la lunghezza di sfioro, H è la differenza di altezza tra la superficie libera della corrente e la quota di sfioro; il coefficiente di sfioro, C_d , è definito in base al dislivello tra il ciglio spondale dell'alveo e il terreno adiacente, in base alle indicazioni fornite dalla tabella:

What is being modeled with the Lateral Structure	Description	Range of Weir Coefficients
Levee/Roadway – 3ft or higher above natural ground	Broad crested weir shape, flow over levee/road acts like weir flow	1.5 to 2.6 (2.0 default) SI Units: 0.83 to 1.43
Levee/Roadway – 1 to 3 ft elevated above ground	Broad crested weir shape, flow over levee/road acts like weir flow, but becomes submerged easily.	1.0 to 2.0 SI Units: 0.55 to 1.1
Natural high ground barrier – 1 to 3 ft high	Does not really act like a weir, but water must flow over high ground to get into 2D flow area.	0.5 to 1.0 SI Units: 0.28 to 0.55
Non elevated overbank terrain. Lat Structure not elevated above ground	Overland flow escaping the main river.	0.2 to 0.5 SI Units: 0.11 to 0.28

3.5 MODELLO NUMERICO

Modello digitale del terreno

Come anticipato in fase di introduzione, la simulazione accoppia un dominio monodimensionale che riproduce le batimetrie del fiume Tevere per assegnate sezioni e un campo di studio bidimensionale necessario a estendere l'analisi per le tratte in esondazione. Al fine di ridurre gli effetti di "bordo" legati all'applicazione dell'idrogramma di piena (monte), si è deciso di estendere il campo di studio a Ponte Guglielmo Marconi (Roma), collocato a una distanza di oltre 20 km dalla zona di interesse.

L'importanza di un dominio così esteso per quanto riguarda la modellazione idraulica è dovuta anche agli effetti di laminazione che, seppur in forma molto meno importante rispetto a quanto avviene a nord della città di Roma, avvengono in modo modesto anche nel tratto considerato.



Figura 3-5 Stralcio modello di studio lato monte (Ponte Guglielmo Marconi – Roma)

Le sezioni del modello monodimensionale sono ottenute a mezzo di:

- Rilievo batimetrico del fiume Tevere relativo all'anno 2020 fornito dal Centro Funzionale della Regione Lazio. Il dato, caratterizzato da una risoluzione 50x50cm, comprende la foce del corso d'acqua e include l'asta di Fiumara Grande e il Canale di Fiumicino;
- Rilievo batimetrico del fiume Tevere relativo all'anno 1997, utilizzato prevalentemente per la riproduzione delle sezioni di calcolo collocate a monte del rilievo batimetrico di cui al punto precedente.



Figura 3-6 Dominio di calcolo monodimensionale. Finche in rosso: rilievo batimetrico per sezioni (1997); in grigio: rilievo batimetrico anno 2020.

La ricostruzione del dominio bidimensionale è stata ottenuta per sovrapposizione di modelli digitali del terreno derivati da differenti fonti e caratterizzati da livello di risoluzione differente. Nel dettaglio:

Rilievo Lidar restituito su una griglia a maglie di lato 100x100cm fornito dall'ex Ministero dell'Ambiente - Ministero dell'Ambiente e Sicurezza Energetica – nell'ambito del Piano Straordinario per il Telerilevamento (PST), ed esteso dalla foce del Fiume Tevere (Isola Sacra) alla città di Roma;

rilievo Lidar 200x200cm fornito dal Ministero dell'Ambiente e Sicurezza Energetica nell'ambito del medesimo Piano sopra descritto – copertura della fascia costiera; i due modelli digitali sono stati integrati in un dato senza soluzione di continuità;

rilievo di dettaglio dell'area di intervento, inclusa via del Faro e l'argine di recente realizzazione collocato in destra idraulica in zona borgo di Fiumara Grande.

La figura che segue riproduce l'estensione del dominio di interesse.

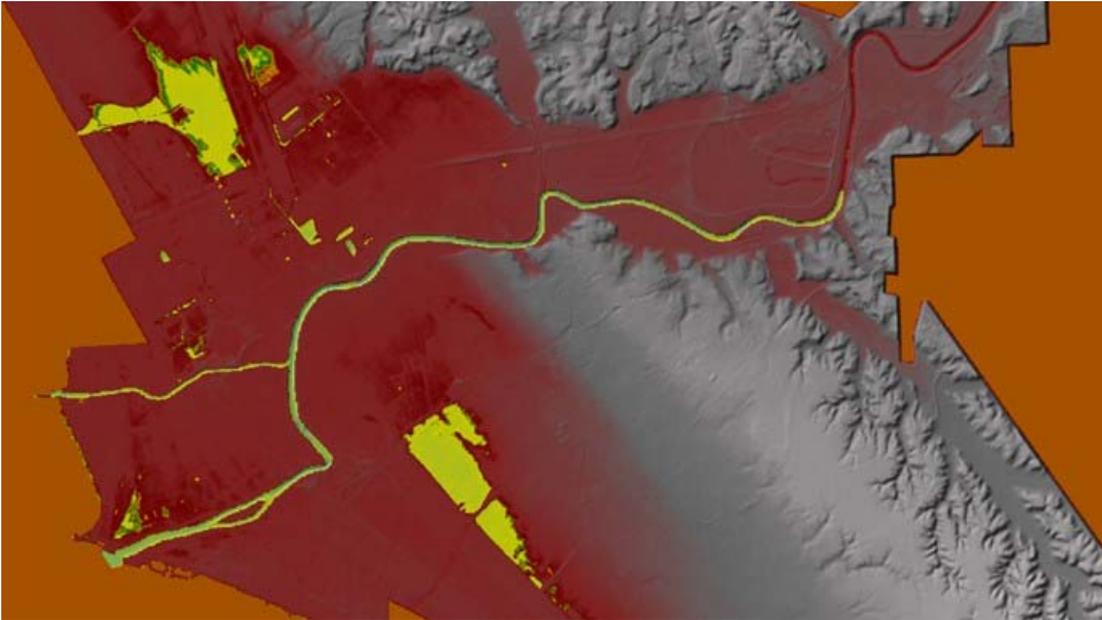


Figura 3-7 Inquadramento del modello digitale del terreno utilizzato per la determinazione delle fasce di espansione del fiume Tevere.

Dominio modello numerico – mesh di calcolo

La modellazione numerica è stata sviluppata in ragione del dato topografico riportato nel precedente paragrafo. In riferimento alla richiesta dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Centrale (Prot. 0001447), le simulazioni includono l’argine di difesa dell’abitato di Isola Sacra (Ante-Post Operam) e la strada di nuova progettazione di Via del Faro (Post Operam).

Il campo di simulazione bidimensionale è realizzato a mezzo di maglie regolari di dimensione variabile:

- 10.0x10.0m – 5.0x5.0m: foce del fiume Tevere – fasce limitrofe all’argine collocato in destra idraulica dal ramo di Fiumara Grande;
- 2.0x2.0m: zona di Isola Sacra – area di progetto;
- 20.0x20.0m: fasce esterne alle zone di interesse.

Modello numerico – scabrezza idraulica

Il coefficiente di scabrezza n di Manning rappresenta un parametro di taratura dei modelli e andrebbe definito, nel rispetto degli intervalli presenti in letteratura, attraverso analisi granulometriche e morfologiche dei corsi d’acqua. Per la presente progettazione si è ritenuto opportuno procedere in solo riferimento ai valori attribuibili alla superficie rispetto alla classe di uso del suolo.

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

P0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_00

Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230
112	Discontinuous urban fabric	0.115
121	Industrial or commercial units	0.230
122	Roads and rail networks and associated land	0.038
124	Airports	0.230
131	Mineral extraction sites	0.104
132	Dump sites	0.115
133	Construction sites	0.115
142	Sport and leisure facilities	0.023
211	Non-irrigated arable land	0.043
212	Permanently irrigated land	0.043
213	Rice fields	0.023
221	Vineyards	0.043
222	Fruit trees and berry plantations	0.043
223	Olive groves	0.043
231	Pastures	0.298
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043
242	Complex cultivation patterns	0.023
243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
244	Agro-forestry areas	0.058
311	Broad-leaved forest	0.230
312	Coniferous forest	0.127
313	Mixed forest	0.230
321	Natural grasslands	0.039
322	Moors and heathland	0.058
323	Scierophyllous vegetation	0.058
324	Transitional woodland-shrub	0.058
331	Beaches, dunes, sands	0.138
332	Bare rocks	0.104
333	Sparsely vegetated areas	0.104
334	Burnt areas	0.104
411	Inland marshes	0.115
511	Water courses	0.035
512	Water bodies	0.035



Figura 3-8 Mappatura delle classi di uso del suolo

Il coefficiente di Manning associato alle sezioni del Tevere è fissato pari a:

Alveo inciso – $0.027 \text{ sm}^{-1/3}$;

Alveo golenale – $0.035 \text{ sm}^{-1/3}$.

Modello numerico – condizioni al contorno

Le seguenti condizioni al contorno sono state adottate per le simulazioni:

Condizione al contorno di monte – alla sezione di monte, ubicata in prossimità di Ponte Guglielmo Marconi (Roma) si è ipotizzata l'applicazione di due distinti idrogrammi:

Evento di lunga durata – idrogramma duecentennale ($Q_{200}=3372 \text{ m}^3/\text{s}$ – $dpicco=60\text{h}$) di durata complessiva pari a 120h (figura 3-9)

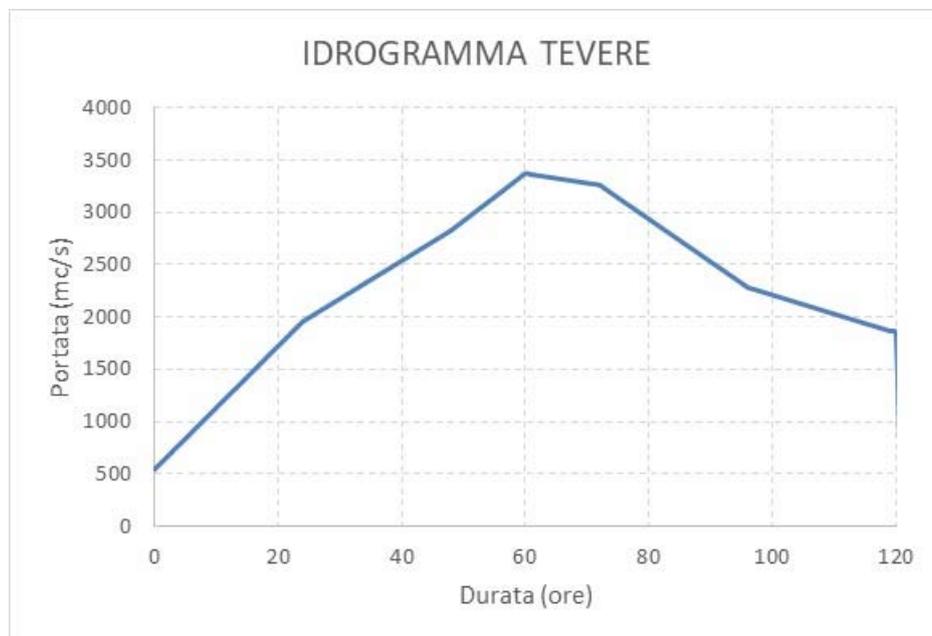


Figura 3-9 Idrogramma di piena – evento di lunga durata

Al fine di verificare l'impatto della durata dell'evento di piena sul permanere dei livelli nell'area sul lato orientale della via del Faro, soggetta alle condizioni di allagamento anche a causa dell'argine di nuova realizzazione, si è stimato anche l'andamento dei tiranti in conseguenza di una onda di piena di durata pari alla metà di quella della figura 3-9, e di forma triangolare isoscele (ma con valore del colmo di piena pari a quello inferito per la piena duecentennale) – figura 3-10.

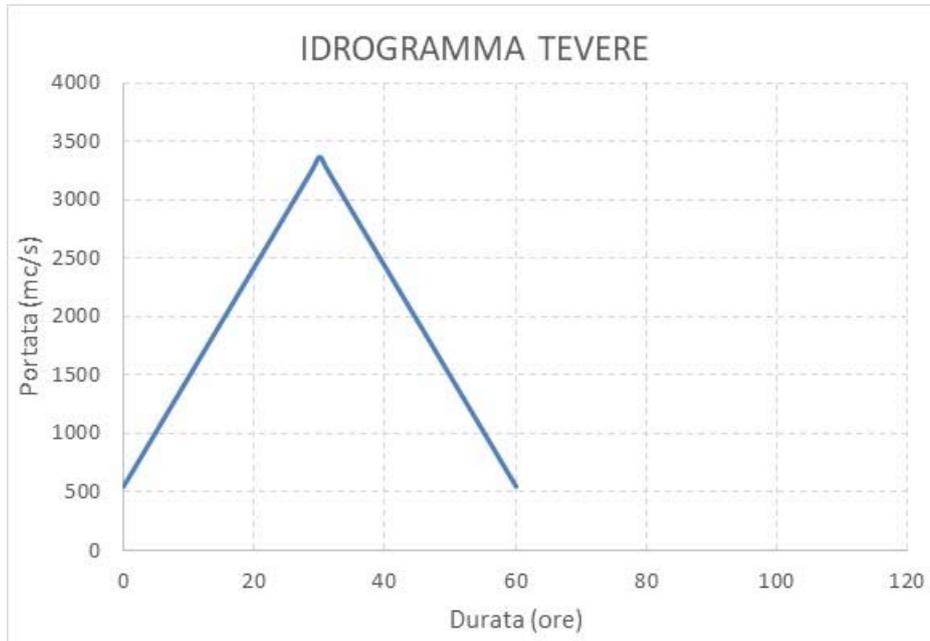


Figura 3-10 Idrogramma di piena – evento di breve durata

Evento di breve durata – idrogramma duecentennale ($Q_{200}=3372\text{m}^3/\text{s}$ – durata di picco = 30h) di durata complessiva pari a 60h.

Condizione al contorno di valle - Ipotesi di deflusso governata dai fenomeni di Storm Surge (sollevamento meteorologico) con livello assoluto pari a 0.75m msl.

MODELLO NUMERICO – simulazioni

La tabella che segue riassume gli scenari di simulazione modellati.

Tabella 3-1: Elenco sintetico delle simulazioni condotte; per ciascuna simulazione sono riportati: lo scenario di riferimento (ante e post operam); la condizione al contorno di monte (evento con idrogramma di lunga durata – evento con idrogramma di breve durata); condizione al contorno di valle (storm surge adottato).

SIMULAZIONE	DOMINIO	CC-MONTE	CC-VALLE
M1B	ANTE OPERAM	EVENTO LUNGO	WSE=0.75m msl
M2B	ANTE OPERAM	EVENTO BREVE	WSE=0.75m msl
M3B	POST OPERAM	EVENTO LUNGO	WSE=0.75m msl
M4B	POST OPERAM	EVENTO BREVE	WSE=0.75m msl

3.6 RISULTATI

Il presente capitolo ha come obiettivo la presentazione e la successiva illustrazione dei risultati ottenuti mediante le simulazioni idrauliche di cui al **presente capitolo**. Come già riportato tutte le modellazioni sono state realizzate nell'ipotesi di un evento critico di riferimento pari a 200 anni e secondo gli scenari illustrati al capitolo 2.

I risultati sono illustrati in forma di planimetrie, sezioni e grafici delle variabili idrauliche di interesse (flusso, velocità e livelli).

3.7 MODELLAZIONE M1B

Nello stato ante operam l'area perimetrata dall'argine ARDIS appare allagata con tiranti di circa 1,5 metri; tiranti simili vengono raggiunti anche in sinistra idraulica del corso del Tevere.

L'area di futura realizzazione delle infrastrutture portuali è interessata solo da modesti allagamenti, con tiranti in generale inferiori ai 30 centimetri.

Le velocità, fuori dall'argine maestro del fiume Tevere, appaiono ovunque modeste; si tratta infatti di esondazione dei volumi della piena in condizioni quasi statiche.

L'involuppo dei livelli nell'area di esondazione in destra idraulica mostra una situazione di flusso praticamente nullo.



Figura 3-11 Involuppo dei massimi tiranti (massimi livelli idrici registrati durante l'evento di piena rispetto alla quota del terreno) – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio – area della Fiumara Grande.



Figura 3-12 Inviluppo delle massime velocità – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio – area della Fiumara Grande.



Figura 3-13 Inviluppo delle massime elevazioni della superficie idrica (Water Surface Elevation) – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio – area della Fiumara Grande.

3.8 MODELLAZIONE M2B

La simulazione M2B differisce dalla precedente per la sola onda immessa (condizione al contorno di monte); in particolare, è stata adottata per verificare l'influenza dei volumi di piena sul raggiungimento di condizioni stazionarie all'interno dell'area di esondazione delimitata dall'argine dell'ex ARDIS. Data la notevole durata di entrambe le onde di piena adottate, si è verificato che nel range di durate fisicamente associate agli eventi di piena maggiori per il fiume Tevere (quindi con durate minime di 30 ore), l'effetto della durata non è rilevante, in quanto nell'area di esondazione si raggiungono praticamente gli stessi livelli (differenze di circa 5 cm al massimo).

Tale verifica ha permesso di disaccoppiare il problema dei volumi di piena da quello delle durate (a patto di scegliere durate superiori a 30 ore), semplificando notevolmente l'onere computazionale delle simulazioni stesse.



Figura 3-14 Inviluppo dei massimi tiranti – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio nell'area della Fiumara Grande.

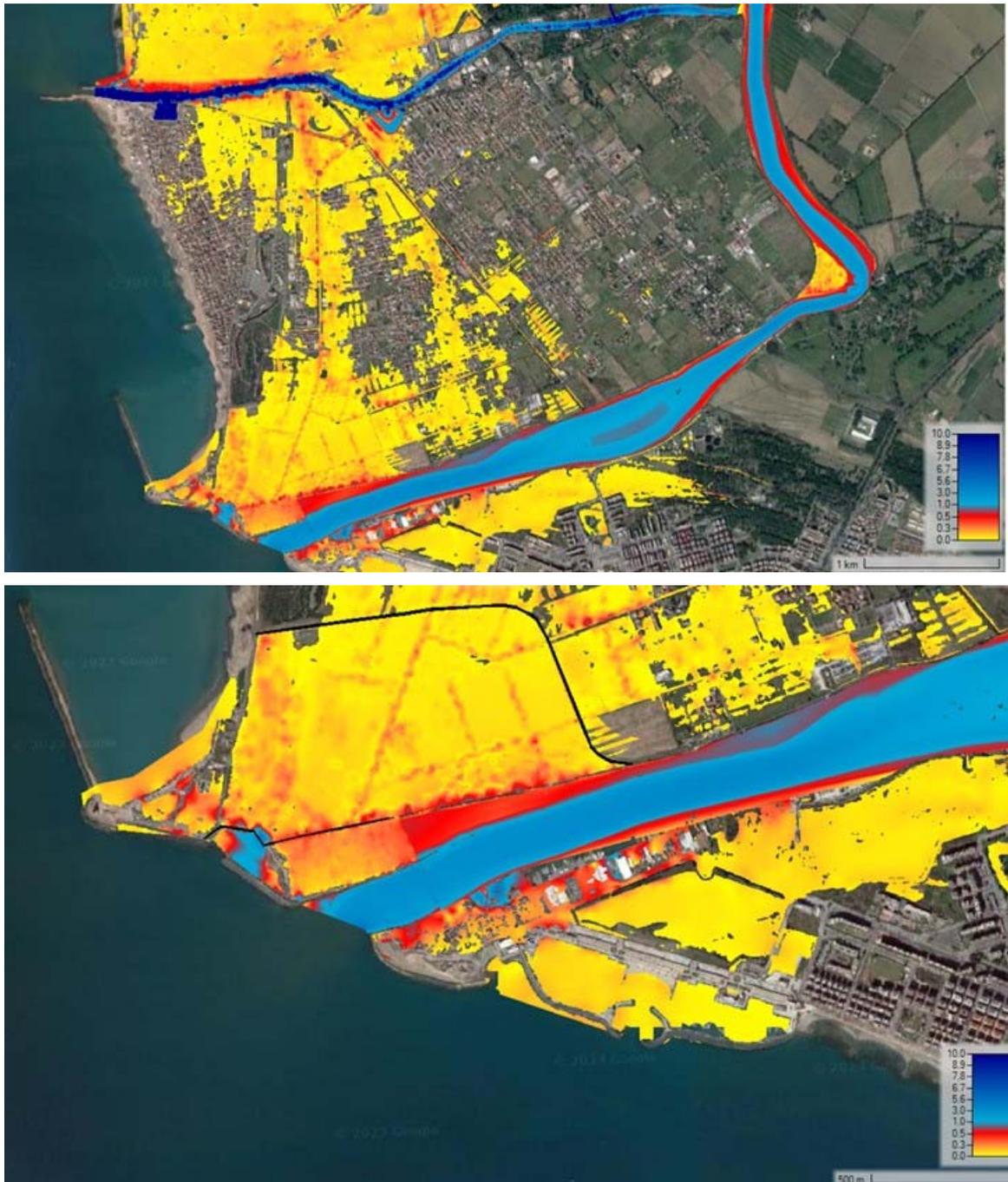


Figura 3-15 Inviluppo delle massime velocità – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio nell’area della Fiumara Grande.

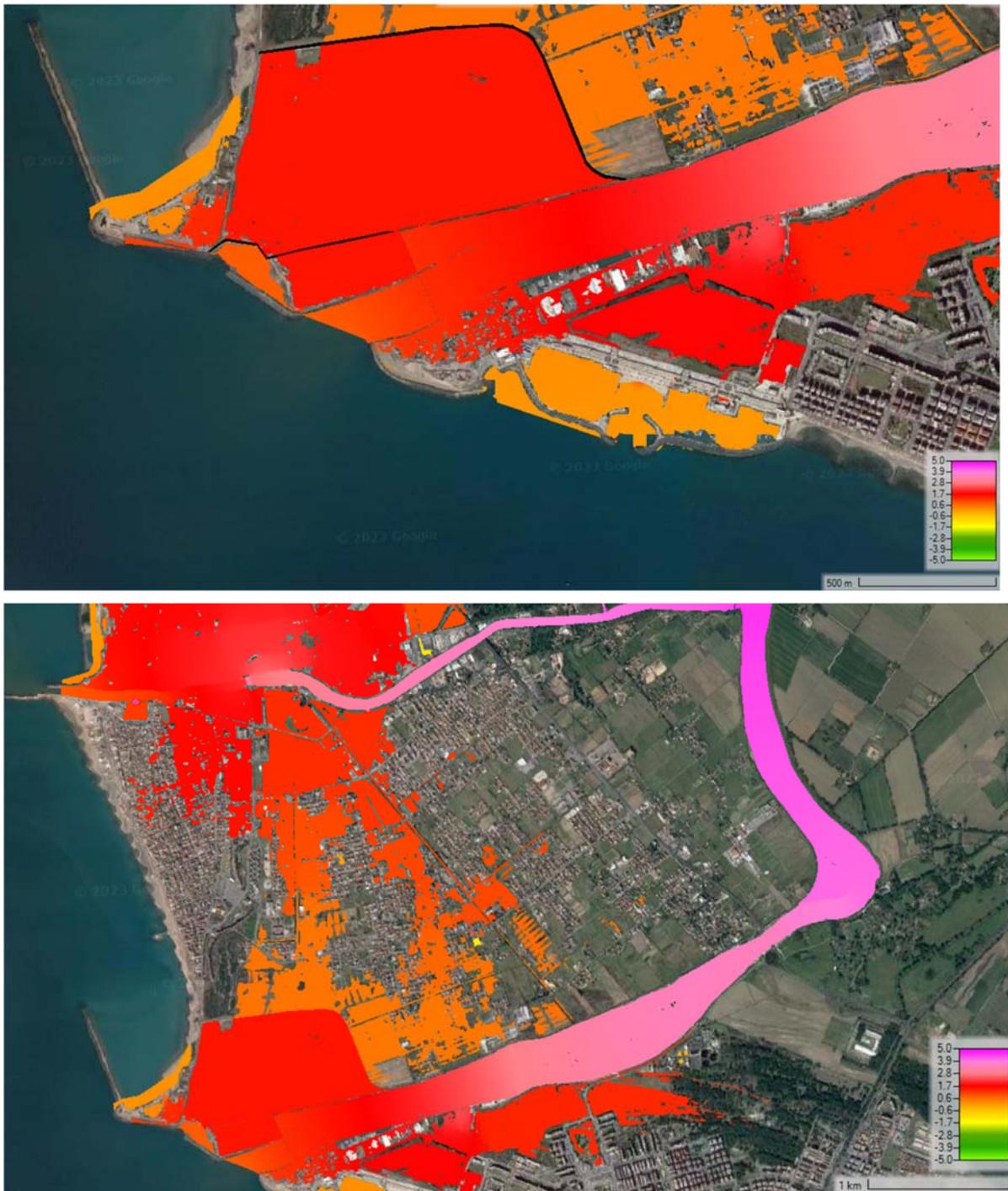


Figura 3-16 Inviluppo dei massimi livelli – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio nell'area della Fiumara Grande

3.9 MODELLAZIONE M3B

Questa simulazione è relativa alle condizioni post operam, con forzante idrologica di lunga durata.

Nello stato post operam l'area perimetrata dall'argine ARDIS appare allagata con il medesimo tirante osservato nella configurazione ante operam; tiranti simili vengono raggiunti anche in sinistra del corso del Tevere.

L'area di futura realizzazione delle infrastrutture portuali è protetta in questo caso dall'argine costituito dalla via del Faro. Le velocità, fuori dall'argine maestro del fiume Tevere, appaiono ovunque modeste.



Figura 3-17 Inviluppo dei massimi tiranti – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio.

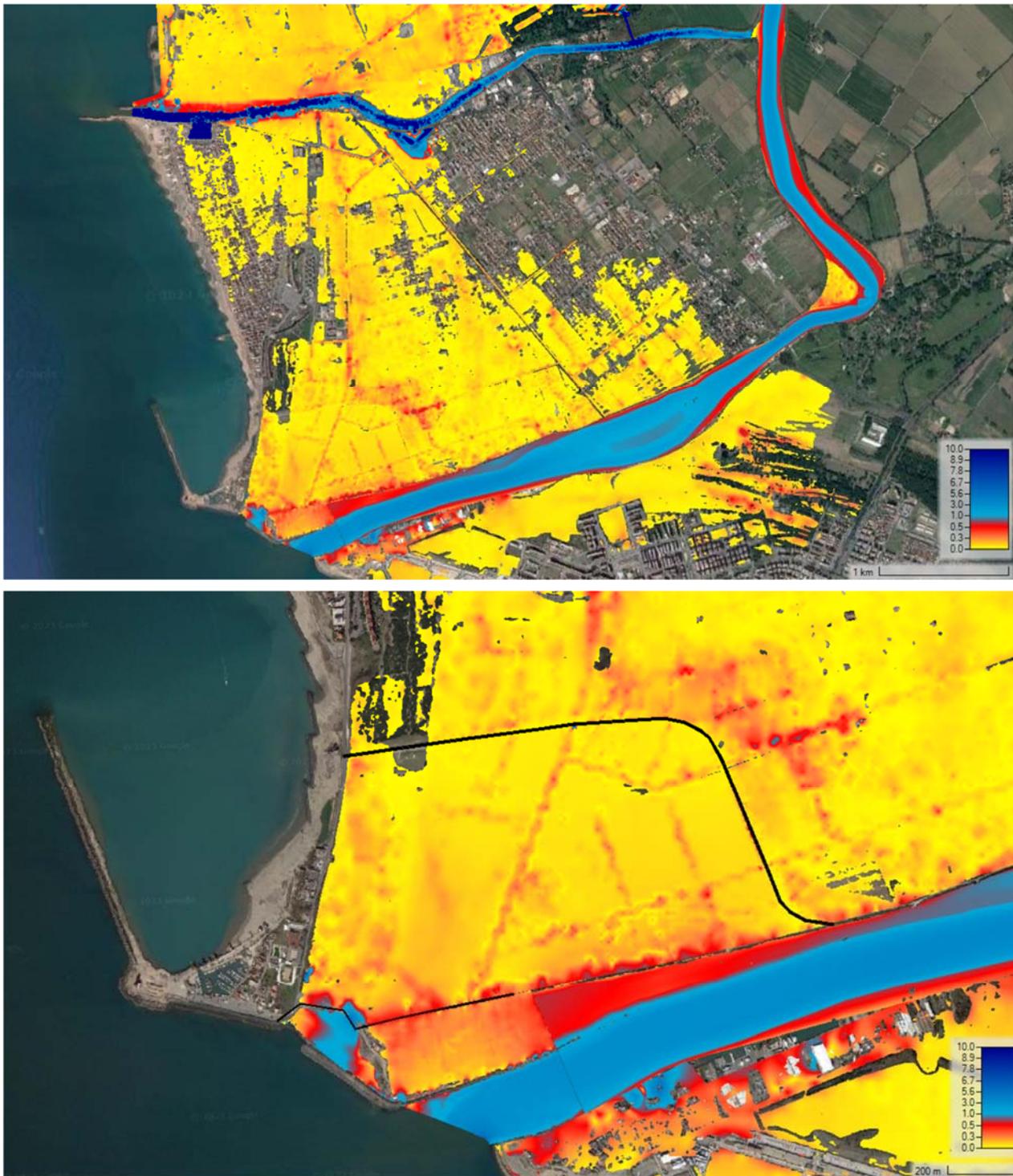


Figura 3-18 Inviluppo delle massime velocità – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio

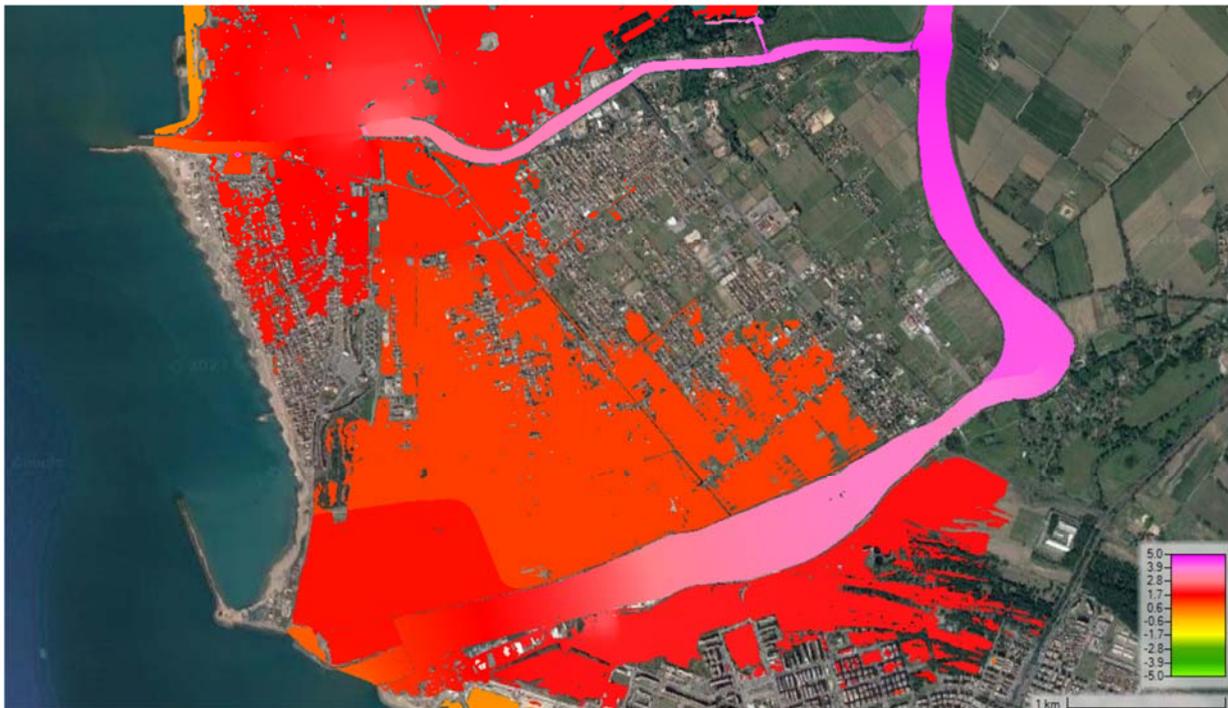


Figura 3-19 Involuppo dei massimi livelli – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio.

3.10 MODELLAZIONE M4B

La simulazione M4B – riferita alle condizioni post operam - differisce dalla precedente per la sola onda immessa (condizione al contorno di monte); in particolare, è stata adottata per verificare l'influenza dei volumi di piena sul raggiungimento di condizioni stazionarie all'interno dell'area di esondazione delimitata dall'argine dell'ex ARDIS. Data la notevole durata di entrambe le onde di piena adottate, si è verificato che, anche nella condizioni post operam, nel range di durate fisicamente associate agli eventi di piena maggiori per il fiume Tevere (quindi con durate minime di 30 ore), l'effetto della durata non è rilevante, in quanto nell'area di esondazione si raggiungono praticamente gli stessi livelli (differenze di circa 2-3 cm al massimo).



Figura 3-20 Inviluppo dei massimi tiranti – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio

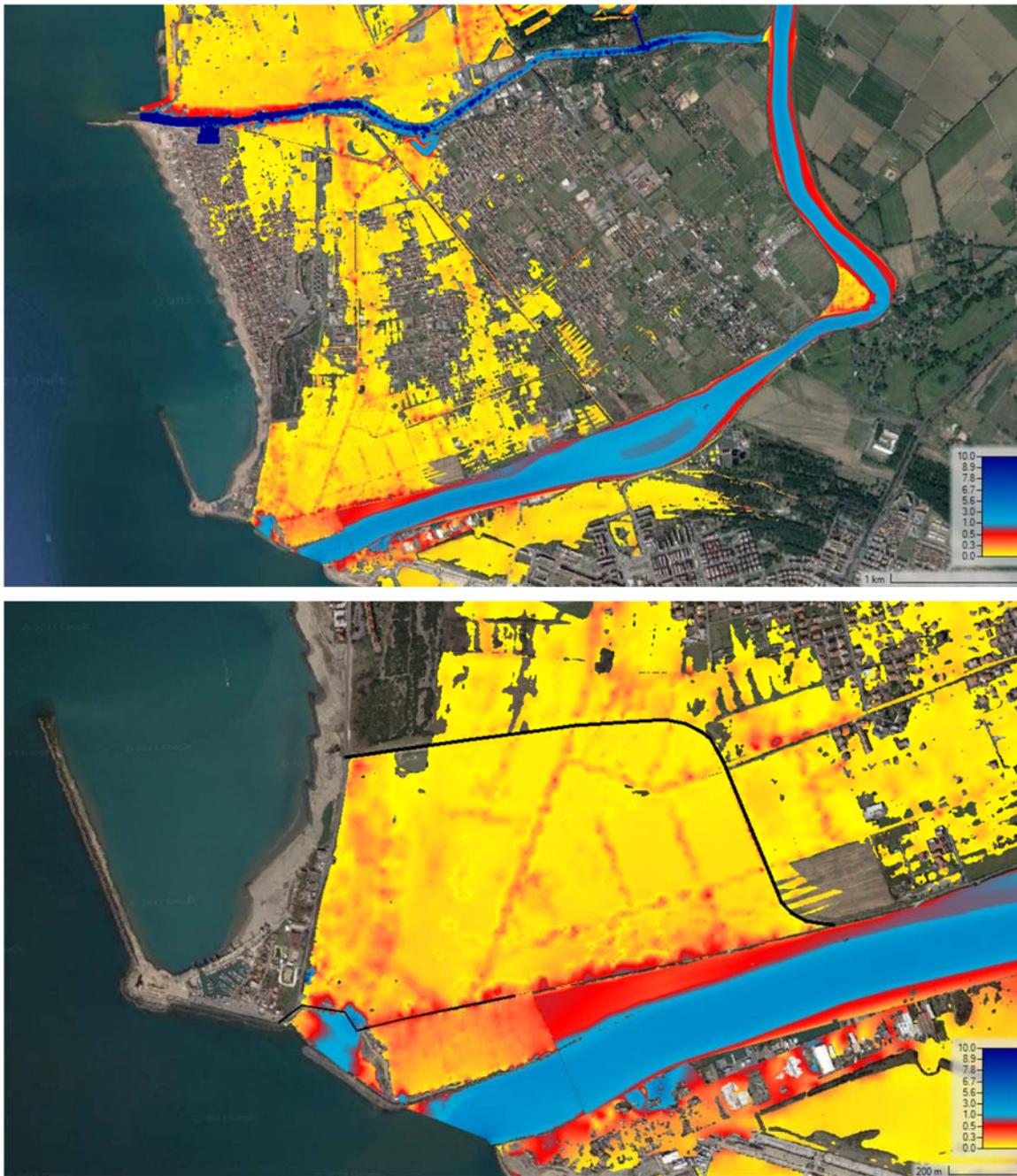


Figura 3-21 Involuppo delle massime velocità – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio.



Figura 3-22 Involuppo dei massimi livelli – in alto: inquadramento generale; in basso: inquadramento di dettaglio

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

P0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_00

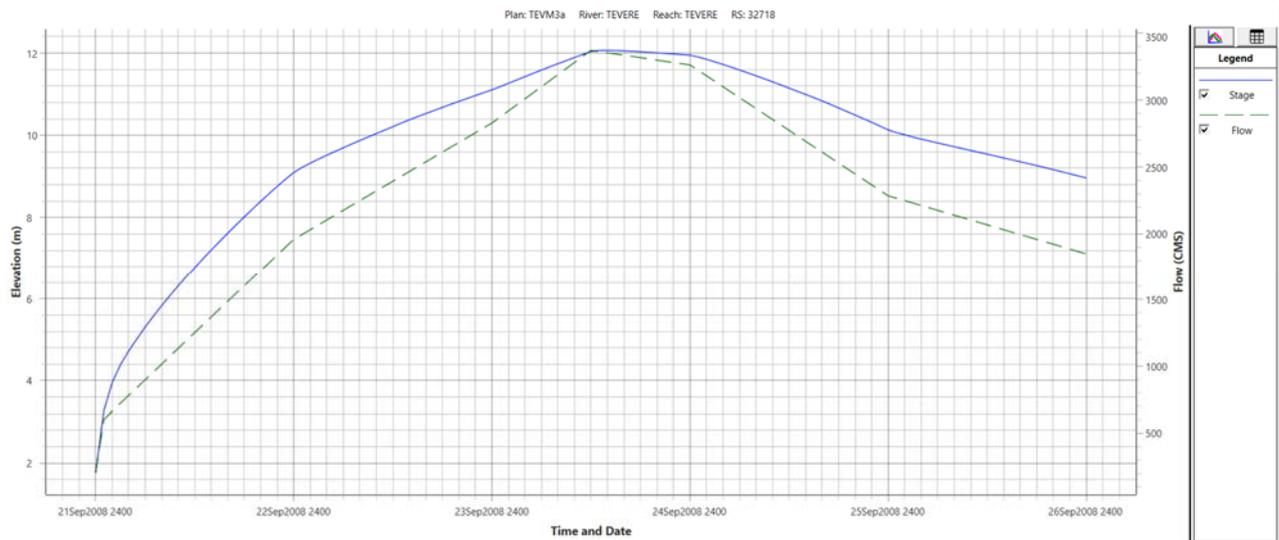


Figura 3-24 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M1-3 – Sezione al contorno di monte (ponte Marconi)

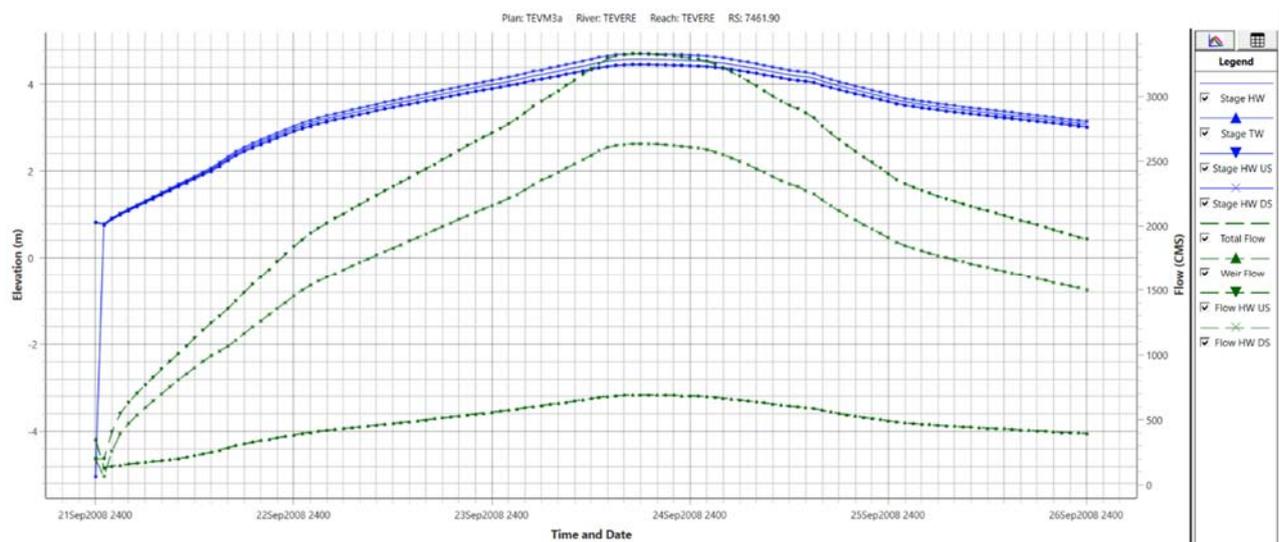


Figura 3-25 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M1-3B – Sezione a monte del Canale di Fiumicino (prima della ripartizione delle portate)

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

P0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_00

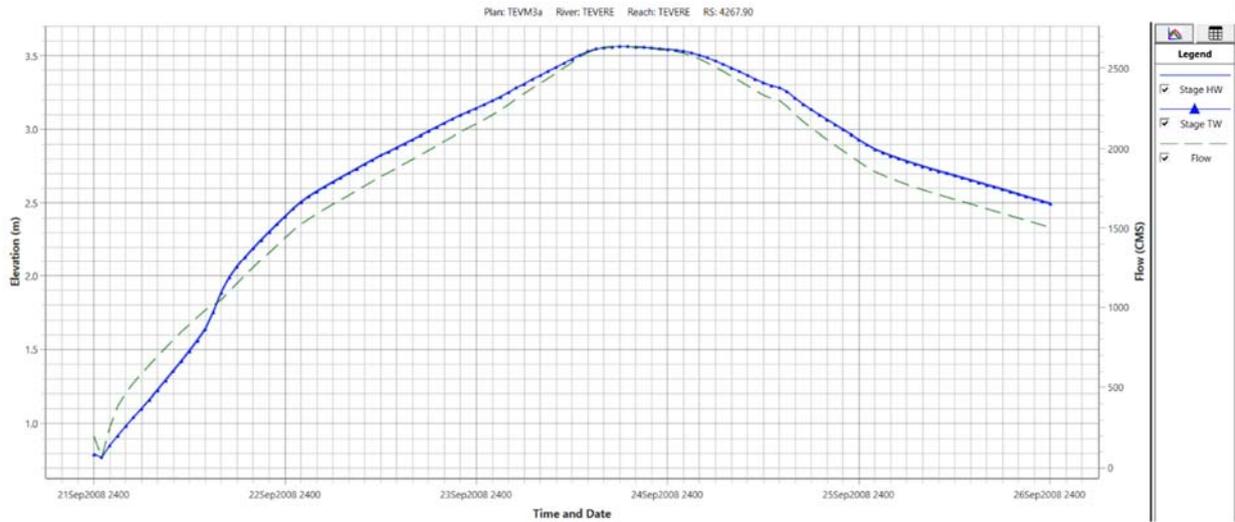


Figura 3-26 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M1-3B – Sezione a valle di ponte di Tor Boacciana.

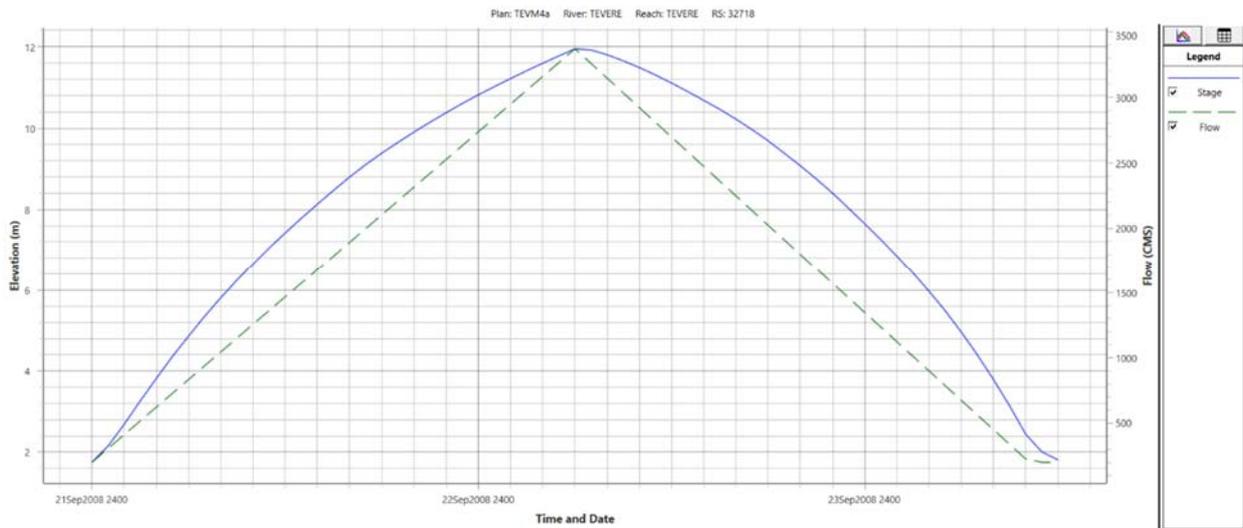


Figura 3-27 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M2-4B – Sezione al contorno

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

P0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_00

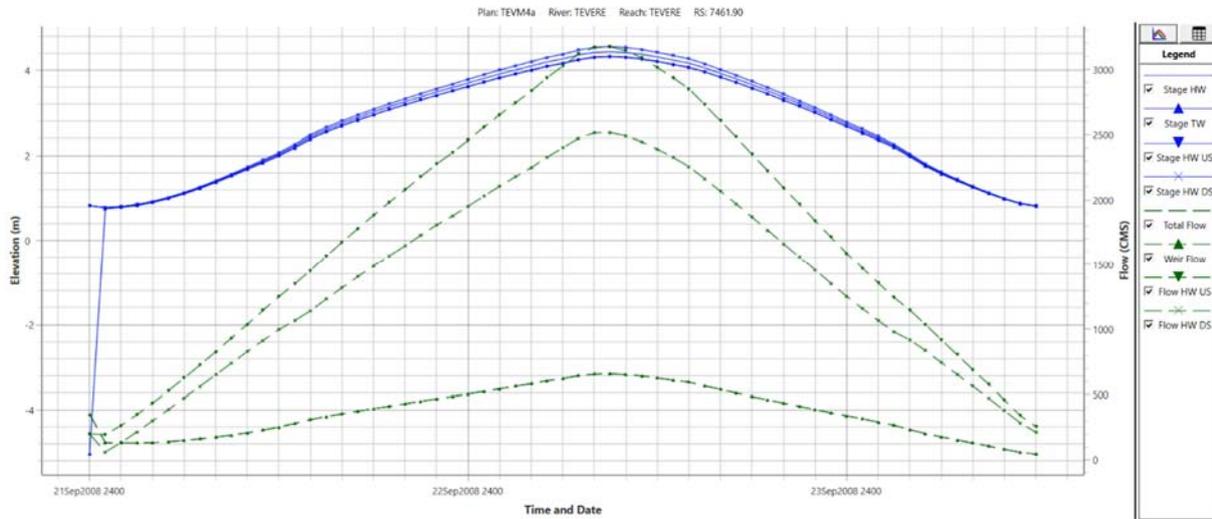


Figura 3-28 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M2-4B – Sezione a monte del Canale di Fiumicino.



Figura 3-29 Idrogramma di piena – laminazione monte-valle. Onda M2-4B – Sezione a valle di ponte di Tor Boacciana.

Alle condizioni indicate, i maggiori volumi sottesi dall'idrogramma di lunga durata giustificano la maggiore espansione delle fasce di esondazione riscontrate per le simulazioni M1-M3B rispetto alle M2-M4B; tale differenza tuttavia, nonostante la grandissima variazione di volume, è poco significativa in termini di livelli raggiunti.

Dal confronto tra i risultati ottenuti alle condizioni Ante Operam (M1-2B) e il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico – Bacino del Fiume Tevere – Fasce fluviali e zone a rischio (Tav. 45) è possibile osservare una buona coerenza delle aree soggette a inondazione per eventi critici di periodo di ritorno compreso tra i 200-300 anni. Nel dettaglio si rileva che l'argine progettato a protezione dell'abitato di Isola Sacra permette di limitare l'espansione dell'esondazione del fiume Tevere in destra idraulica. Il quartiere è tuttavia soggetto a fenomeni di allagamento

riconducibili all'esondazione in sinistra idraulica del Canale di Fiumicino, con valori del tirante in media dell'ordine dei 50cm da piano campagna.

Come già anticipato nei capitoli precedenti, al fine di massimizzare la valutazione delle condizioni di rischio della porzione di territorio d'interesse, le simulazioni realizzate sono state riprodotte nell'ipotesi di assenza di trasparenza idraulica del rilevato arginale, escludendo quindi lo scatolare collocato in continuità al canale di bonifica esistente. Alle modalità indicate, dunque, sono impediti i fenomeni di deflusso eventualmente innescati dal gradiente piezometrico positivo tra l'area di espansione e la zona di Isola Sacra.



Figura 3-30 Raffronto Mappa PAI Tevere (aggiornamento 2022) - risultati della modellazione idraulica in termini di Elevazione massima raggiunta dalla piena duecentennale

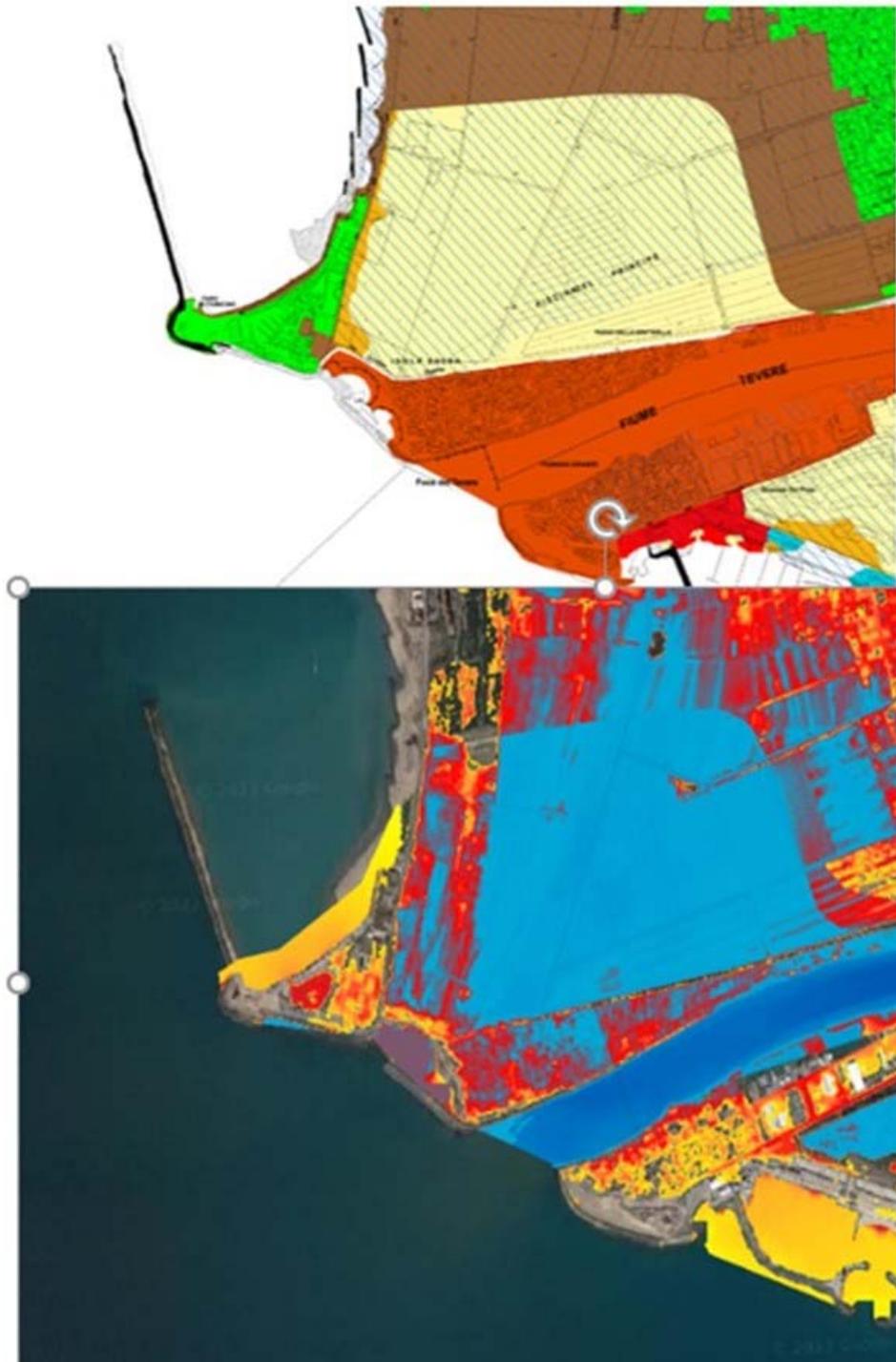


Figura 3-31 Raffronto Mappe PAI Tevere - risultati della modellazione –con il Piano Stralcio elaborato PAI – TAV.45 (Piano Stralcio Fasce Fluviali – Corridoio 5); Simulazione M1B

Come è possibile osservare dagli elaborati dedicati, i livelli/tiranti idraulici raggiunti alle condizioni Ante e Post Operam presentano risultati analoghi esclusivamente dipendenti dallo scenario simulato. Come anticipato, i maggiori volumi convogliati dall'evento di lunga durata comportano il manifestarsi di condizioni più critiche per i modelli M1 ed M3B rispetto a M2B e M4B. Si rileva, altresì, che la progettazione di Via Faro, con un generale-modesto innalzamento del profilo altimetrico, permetta il confinamento delle fasce di alluvionamento a Est della viabilità, impedendo di fatto la propagazione dell'esondazione lato litorale. La tabella 3-2 riporta i valori dei tiranti misurati ai 16 punti di controllo individuati per il campo di studio in esame. I punti di controllo sono riportati in figura 3.33. per ciascuno di essi viene riportato: la massima elevazione idrica raggiunta (WSE); la profondità idrica (DPT), la velocità.

I valori riportati sono rispettivi a ciascuna simulazione (M1 ed M2 per l'Ante Operam, M3 e M4 per il Post Operam)



Figura 3-32 Punti di controllo

Table 3-2 - Tabella delle elevazioni, dei tiranti e delle velocità nei punti di controllo;

- M1: condizioni ante operam, onda lunga;
- M2: condizioni ante operam, onda breve
- M3: condizioni post operam, onda lunga;
- M4: condizioni post operam, onda breve

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

P0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_00

Elevazione idrica, tirante e velocità												
Punto di controllo	M1			M2			M3			M4		
	WSE m msl	DPT m	VEL m/s									
0	1.51	1.04	0.42	1.47	0.98	0.32	1.52	1.05	0.34	1.47	0.98	0.32
1	1.51	1.34	0.56	1.47	1.26	0.40	1.52	1.35	0.52	1.47	1.26	0.40
2	1.51	1.15	0.36	1.47	1.06	0.60	1.52	1.16	0.59	1.47	1.06	0.60
3	1.51	1.21	0.37	1.47	1.21	0.25	1.52	1.22	0.32	1.47	1.21	0.25
4	1.51	0.86	0.31	1.47	0.80	0.08	1.52	0.87	0.10	1.47	0.80	0.08
5	1.51	0.76	0.04	1.47	0.68	0.04	1.52	0.77	0.04	1.47	0.68	0.04
6	1.51	0.80	0.17	1.47	0.73	0.20	1.52	0.81	0.16	1.47	0.73	0.20
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	1.51	1.27	0.10	1.47	1.26	0.06	1.52	1.28	0.05	1.47	1.26	0.06
9	1.51	1.66	0.03	1.47	1.37	0.21	1.52	1.67	0.12	1.47	1.37	0.21
10	1.51	1.16	0.03	1.47	1.11	0.02	1.52	1.17	0.03	1.47	1.11	0.02
11	1.51	1.43	0.06	1.47	1.39	0.06	1.52	1.44	0.06	1.47	1.39	0.06
12	1.51	0.93	0.09	1.47	0.86	0.09	1.52	0.94	0.08	1.47	0.86	0.09
13	1.30	0.29	0.33	1.27	0.25	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Come è possibile osservare, in fase di esondazione la regione delimitata dal rilevato arginale subisce un progressivo allagamento, con livelli idrici massimi dell'ordine dei 140-150 cm msl. Eventi caratterizzati da durate maggiori e medesimo picco conducono a livelli idraulici moderatamente maggiori, con differenze in media dell'ordine dei 5cm. L'inviluppo delle massime velocità di deflusso indica valori compresi nel campo 0.50-0.10m/s.

L'invarianza dei livelli idraulici è altresì confermata dalle sezioni di controllo collocate in prossimità di Fiumara Grande in destra idraulica al fiume Tevere (Figura 3-35, 3-36, 3-37, 3-38).



Figura 3-33 Borgo di Fiumara Grande – traccia planimetrica delle sezioni di controllo

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

P0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_00

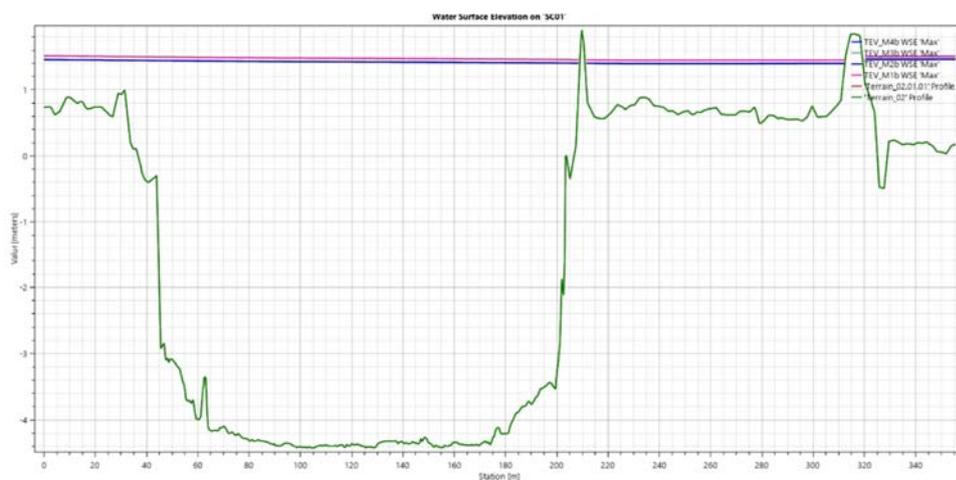


Figura 3-34 - Borgo di Fiumara Grande – sezione di controllo 0

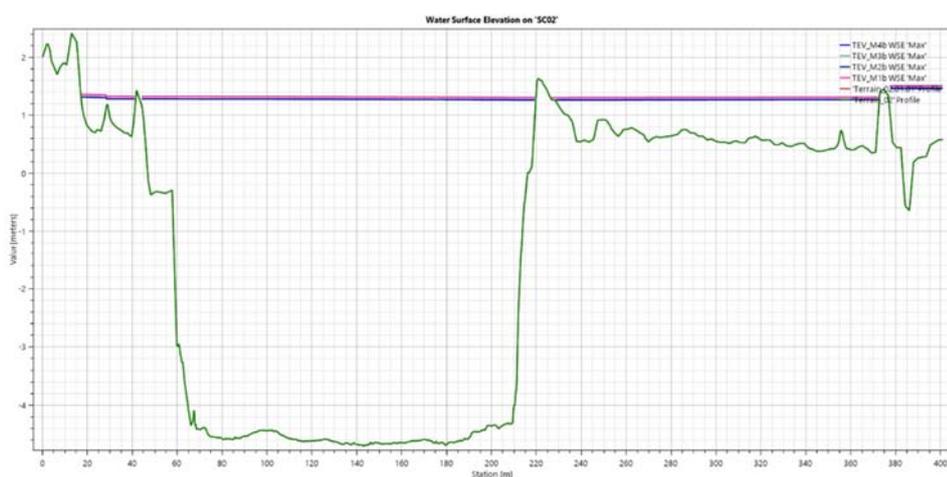


Figura 3-35 - Borgo di Fiumara Grande – sezione di controllo 1

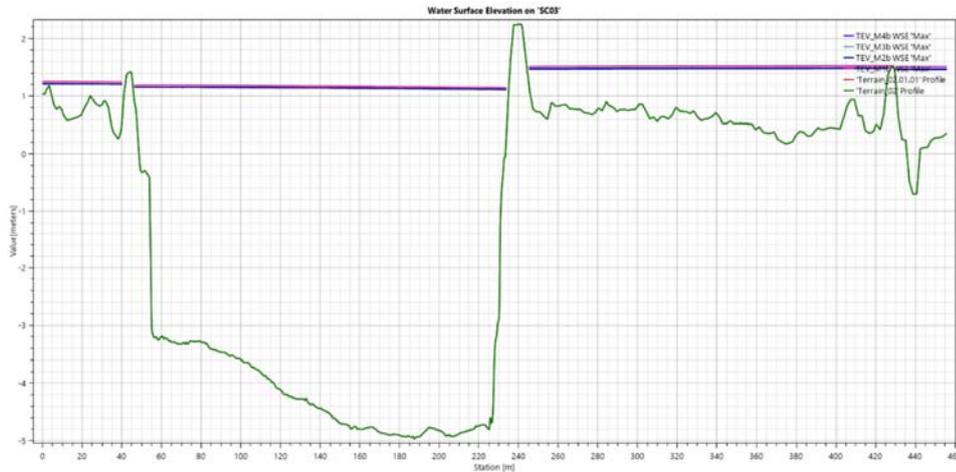


Figura 3-36 - Borgo di Fiumara Grande – sezione di controllo 2

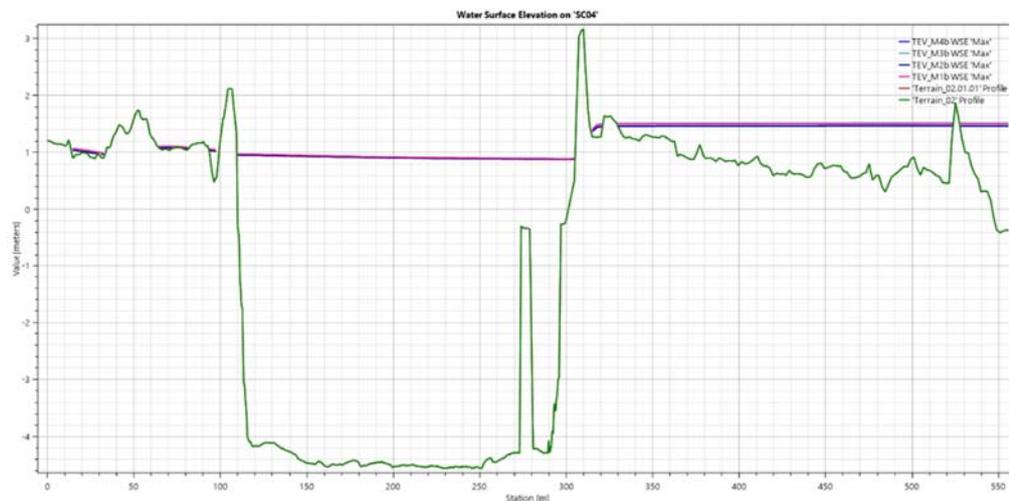


Figura 3-37 - Borgo di Fiumara Grande – sezione di controllo 3

Dall'analisi delle sezioni di controllo collocate lungo via del Faro e via Giuseppe Scagliosi è possibile osservare che il contenimento dell'esondazione generato dalla nuova viabilità di progetto comporta un modesto incremento delle portate e dei livelli presenti lungo via Scagliosi.

Nel dettaglio, la variazione tra le condizioni ante e Post Operam del picco di piena in attraversamento via Scagliosi è dell'ordine di $+1 \text{ m}^3/\text{s}$ e il relativo incremento dei livelli non eccede i 5 cm (involuppo dei massimi). Il campo di velocità non subisce variazioni di rilievo tra condizioni Ante e Post Operam.

Tale aspetto appare in generale congruente con i risultati osservati al precedente punto che dimostravano l'assenza di variazioni di rilievo dei livelli registrati per i 15 punti di controllo presenti all'interno dell'area di espansione del fiume Tevere.

Tutte le immagini di seguito riportate sono riferite all'evento di progetto più cautelativo (M1-3B) e riportano: le impronte delle sezioni su via del Faro e via Scagliosi (figura 3-39); il campo di velocità in condizioni di picco di piena, nelle condizioni ante e post operam. (figura 3-40 e 3-41), l'andamento dell'idrogramma su via del faro in condizioni ante e post operam;

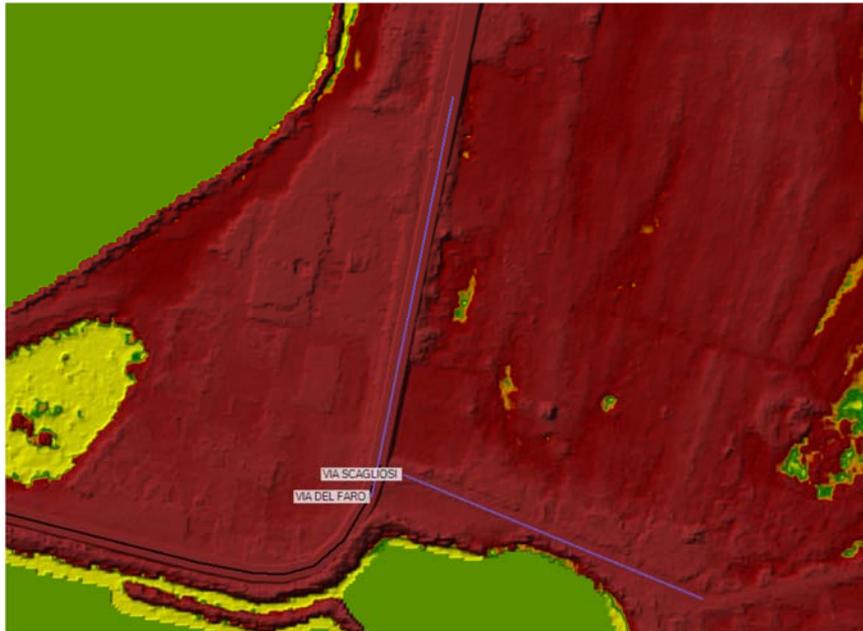


Figura 3-38 Inquadramento delle sezioni di controllo tra Via del Faro e Via Scagliosi

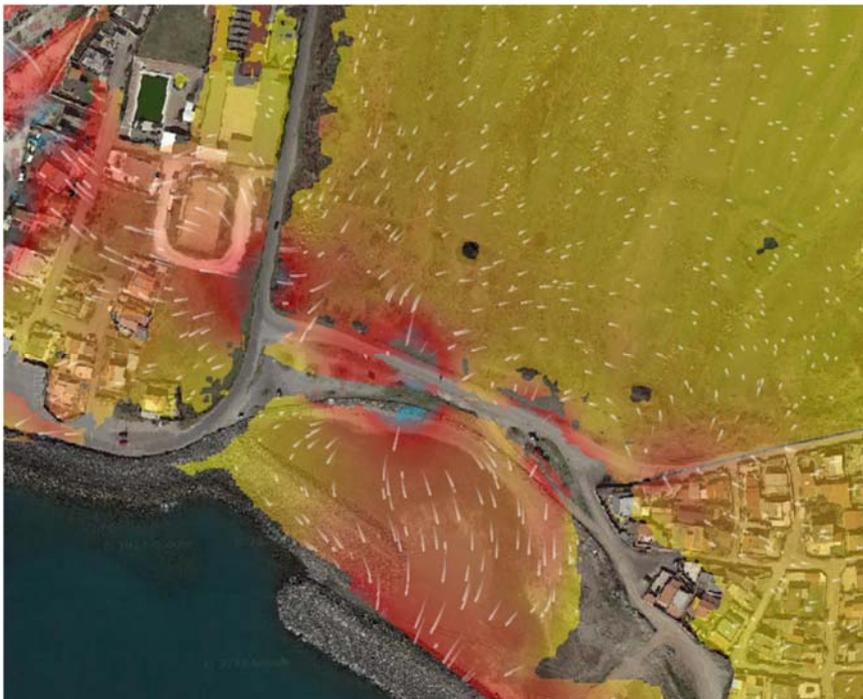


Figura 3-39 - Ante Operam – campo della velocità (picco di piena) con linee di flusso



Figura 3-40 - Post Operam - li campo della velocità (picco di piena) con linee di flusso

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA - FIUME TEVERE

P0031150-D-0-MP00-GI-REL-01_00

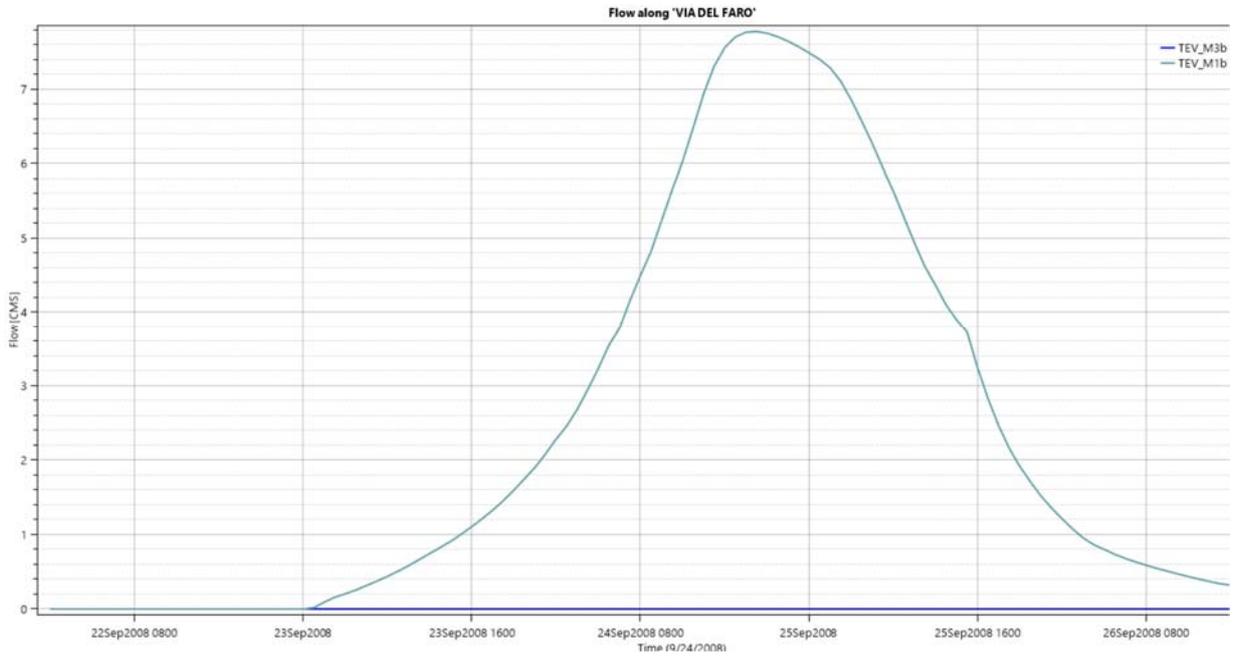


Figura 3-41 - Raffronto Ante-Post Operam dell'idrogramma in attraversamento via del Faro

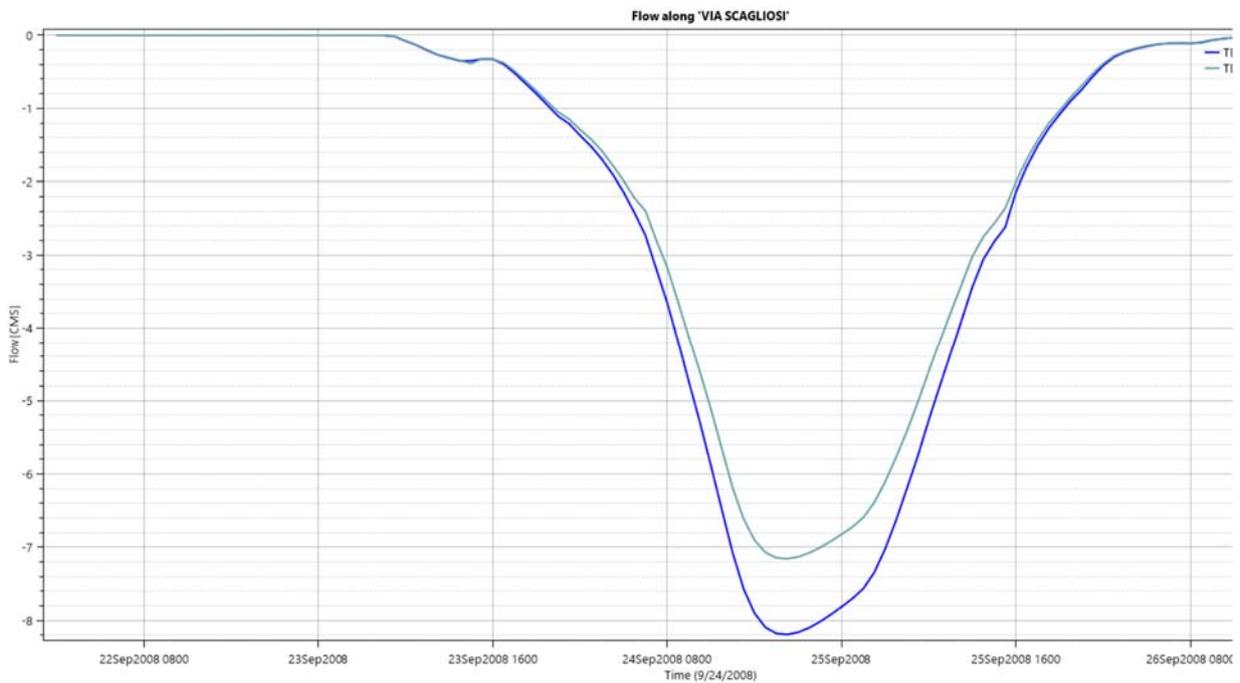


Figura 3-42 - Raffronto Ante-Post Operam dell'idrogramma in attraversamento via Scagliosi



Figura 3-43 - Raffronto Ante-Post Operam del massimo livello idraulico misurato lungo via Scagliosi

3.12 CONCLUSIONI

I risultati illustrati ai precedenti punti dimostrano la generale compatibilità dell'intervento rispetto alle condizioni di pericolo/rischio idraulico che gravano il campo di studio.

Il modesto innalzamento del profilo altimetrico di via del Faro, con contestuale limitazione del deflusso di piena duecentennale a Ovest della viabilità esistente e di progetto, ma con modifica altimetrica della stessa, non conduce ad alcun aggravio dei livelli e velocità relativi ai punti e alle sezioni di controllo indicate, con eccezione dei valori registrati per via Scagliosi.

Nel dettaglio, gli incrementi presenti risultano, alle condizioni massime, dell'ordine dei 5 centimetri o inferiori, e di fatto non modificano il livello di pericolosità dell'area compresa tra la via del Faro, il Tevere a sud e il canale di Fiumicino a Nord.

Alle condizioni indicate, dunque, la progettazione realizzata non comporta il peggioramento delle variabili di deflusso per l'area di espansione e per il centro abitato di Fiumara Grande e può dunque ritenersi idraulicamente compatibile.