

# PROGETTO DEFINITIVO

CUP: H91J12000770005

CIG: 9524700F13

TRANVIA DI FIRENZE

LINEA 4.2

LE PIAGGE - CAMPI BISENZIO



## STUDI ED INDAGINI

### IDROLOGIA ED IDRAULICA

#### STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

#### Relazione idrologica-idraulica e di compatibilità

#### STAZIONE APPALTANTE – COMUNE DI FIRENZE

DIRETTORE DEL SETTORE  
Ing. Michele Priore

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Filippo Martinelli

DEC  
Ing. Andrea Adinolfi

#### APPALTATORE

MANDATARIA



MANDANTI



#### GRUPPO DI PROGETTAZIONE


MANDATARIA



MANDANTI



Responsabile Integrazione Prestazioni Specialistiche

 Ing. Filippo Busola

Progettista

 Ing. A. Cacciatori

Commessa				Fase	Origine	Ambito		Disciplina		Attività		Parte d'opera			Tipologia		Progressivo		Rev.	Scala
F	L	4	2	D	T	G	G	G	G	0	0	E	G	G	R	G	0	1	C	-
REVISIONE		DATA		DESCRIZIONE						SOCIETÀ		REDATTO		VISTO		APPROVATO				
REV A		03/2024		PRIMA EMISSIONE						Technital		G. Massera		I. Sorio		A. Cacciatori				
REV B		09/2024		Emissione a seguito procedura PUA						Technital		G. Massera		I. Sorio		A. Cacciatori				
REV C		12/2024		Revisione per CdS						Technital		G. Da Roit		I. Sorio		A. Cacciatori				

**STUDI ED INDAGINI**  
**IDROLOGIA ED IDRAULICA**  
**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**  
**Relazione idrologica-idraulica e di compatibilità**

---

Dicembre 2024

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO .....</b>	<b>2</b>
2.1	LE STRATEGIE PER IL POTENZIAMENTO DELLA RETE TRANVIARIA DI FIRENZE.....	2
2.2	DESCRIZIONE DEL CONTESTO .....	4
2.3	SINTESI DELLA LINEA TRANVIARIA.....	5
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO.....</b>	<b>6</b>
3.1	P.G.R.A. – DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE.....	6
3.2	L.R. 79/2012 E RD 523/1904 .....	8
3.3	L.R. 41/2018.....	10
3.4	STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI .....	13
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE.....</b>	<b>15</b>
4.1	CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO .....	15
4.2	GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO PER LO STATO DI FATTO .....	17
4.3	DEFINIZIONE DELLA SCABREZZA .....	21
4.4	CONDIZIONI AL CONTERNO DEL MODELLO IDRAULICO .....	24
4.5	ANALISI DEI RISULTATI PER LA CONDIZIONE DELLO STATO DI FATTO .....	31
4.6	GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO PER LO STATO DI PROGETTO .....	40
4.7	INSERIMENTO OPERE DI RICONNESSIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO.....	44
4.8	ANALISI DEI RISULTATI PER LO STATO DI PROGETTO.....	46
4.9	CONFRONTO DEI RISULTATI TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO.....	56
<b>5</b>	<b>ANALISI ED INDIVIDUAZIONE DELLE VOLUMETRIE DI COMPENSO .....</b>	<b>61</b>
5.1	ANALISI DELLE VOLUMETRIE SOTTRATTE AL LIBERO DEFLUSSO DELLE ACQUE DI ESONDAZIONE E VOLUMI DI MAGGIORE IMPERMEABILIZZAZIONE .....	62
5.1.1	Calcolo delle volumetrie nell’ambito del Comune di Firenze .....	62
5.1.2	Calcolo delle volumetrie nell’ambito del Comune di Campi Bisenzio.....	62
5.2	INTERVENTI PER LA GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI.....	63
5.2.1	Interventi previsti nel Comune di Firenze.....	63
5.2.2	Interventi di gestione del rischio previsti nel Comune di Campi Bisenzio .....	63

**INDICE DELLE FIGURE**

Figura 1- Reticolo di gestione ai sensi della LR 79/2012, con individuazione delle interferenze con l'opera in progetto.....	7
Figura 2- Reticolo di gestione ai sensi della LR 79/2012, con individuazione delle interferenze con l'opera in progetto.....	9
Figura 3. Piano strutturale Comune di Campi Bisenzio – Elab. I.03 Carta dei battenti per TR 200 anni .....	14
Figura 4. Modello digitale del terreno (DTM) utilizzato .....	18
Figura 5. Sezioni Batimetriche ricavate dal modello “Piana Fiorentina” e sovrapposizione tracciato tranviario .....	18
Figura 6. Grid di calcolo su DTM .....	19
Figura 7. Grid di calcolo su ortofoto .....	19
Figura 8. Particolare degli elementi Breakline in corrispondenza di argini e tracciato della tramvia.....	20
Figura 9. Mappa delle scabrezze di Manning adottate .....	21
Figura 10. Dettaglio della Mappa delle scabrezze adottate, in corrispondenza dell'opera in progetto .....	22
Figura 11. Modello geometrico con etichettate le condizioni al contorno introdotte .....	24
Figura 12. Posizione dell'idrogramma del Fiume Bisenzio .....	25
Figura 13. Idrogramma del Fiume Bisenzio .....	25
Figura 14. Posizione dell'idrogramma del Fiume Arno.....	26
Figura 15. Idrogramma del Fiume Arno.....	26
Figura 16. Posizione dell'idrogramma del Fosso Reale .....	27
Figura 17. Idrogramma del Fosso Reale .....	27
Figura 18. Posizione delle rotture arginali considerate.....	28
Figura 19. Impostazione della rottura arginale per il Fiume Arno .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 20. Posizione della condizione al contorno di valle del modello 2D.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 21. Scenario di inondazione del tratto di tramvia per rottura degli argini compreso fra Bisenzio e Fosso Reale .....	31
Figura 22. Scenario di inondazione del tratto di tramvia per rottura degli argini del Fiume Arno.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 23. Scenario di inondazione al raggiungimento della massima estensione con interessamento dell'intero tratto di tramvia.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 24. Mappa dei battenti idrici tra la pk 0 e 1+350 .....	32
Figura 25. Mappa dei battenti idrici tra la pk 1+350 e 2+800 .....	33
Figura 26. Mappa dei battenti idrici tra la pk 2+800 e 3+850 .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
Figura 27. Mappa dei battenti idrici tra la pk 3+800 e 5+350 .....	34
Figura 28. Mappa delle velocità tra la pk 0 e 1+300.....	36
Figura 29. Mappa delle velocità tra la pk 1+350 e 2+250.....	37
Figura 30. Mappa delle velocità tra la pk 2+250 e 3+900.....	38
Figura 31. Mappa delle velocità tra la pk 3+900 e 5+350.....	39
Figura 32. Sezione del rilevato tranvia impostata nel modello numerico.....	40
Figura 33. Sviluppo del rilevato tranvia impostato in RAS Mapper con i Ground Points .....	41
Figura 34. Sviluppo del rilevato tranvia impostato in RAS Mapper con i Ground Points .....	41
Figura 35. Sviluppo del rilevato tranvia impostato in RAS Mapper con i Ground Points nel tratto finale.....	42
Figura 36. Planimetria delle opere di parcheggio e deposito previste in progetto.....	43
Figura 37. Opere di parcheggio e deposito previste in progetto ed inserite come modifica del DTM .....	43
Figura 38. Opere di riconnessione del rilevato tranviario in corrispondenza del Deposito .....	44
Figura 39. Sezione trasversale rappresentativa dei 5 manufatti scatolari di trasparenza al di sotto del Deposito .....	44
Figura 40. Tipologico dei manufatti di trasparenza del rilevato.....	45
Figura 41. Localizzazione dei manufatti di trasparenza del rilevato .....	45



PARTE GENERALE

INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI

Relazione Idrologica - Idraulica

Figura 42. Mappa dei battenti idrici tra la pk 0 e 1+350 .....	46
Figura 43. Mappa dei battenti idrici tra la pk 1+350 e 3 +650 .....	47
Figura 44. Mappa dei battenti idrici tra la pk 3+350 e 4+450 .....	48
Figura 45. Mappa dei battenti idrici tra la pk 4+450 e 5+350 .....	49
Figura 46. Mappa delle velocità tra la pk 0 e 1+300.....	50
Figura 47. Mappa delle velocità tra la pk 1+350 e 2+450 .....	51
Figura 48. Mappa delle velocità tra la pk 2+450 e 3+950 .....	52
Figura 49. Mappa delle velocità tra la pk 3+950 e 5+350 .....	53
Figura 50. Mappa del Grid Difference tra la pk 0 e 1+350 .....	56
Figura 51. Mappa del Grid Difference tra la pk 1+350 e 3+000 .....	57
Figura 52. Mappa del Grid Difference tra la pk 3+000 e 4+000 .....	58
Figura 53. Mappa del Grid Difference tra la pk e 4+000 e 5+350.....	59
Figura 54. Mappa del Grid Difference con indicazioni della zona dove si registrano le maggiori differenze..	60
Figura 55. Inquadramento generale dell'infrastruttura tramviaria e delle relative interferenze idrauliche ..	61
Figura 56. Individuazione volumetrie di compenso per il progetto definitivo .....	64
Figura 57. ....	65
Figura 58. Quarto settore sistema San Donnino per volume di compenso coerentemente con gli elementi presenti in adiacenza al Col. Principale Acque Basse .....	65
Figura 59. Sezione da sinistra idraulica del Col. principale Acque Basse dell'Area 1 .....	66
Figura 60. Occupazione areale degli interventi di compenso dovuti al progetto del centro commerciale Coop .....	66
Figura 61. Volumetria di compenso in destra idraulica al Fosso Reale .....	67
Figura 62. sezione da sud verso nord dell'area 2 .....	67
Figura 63. Sezione da sinistra idraulica del Fosso Reale dell'area 2.....	67

**INDICE DELLE TABELLE**

Tab. 1 Valori delle scabrezze utilizzate nel modello idraulico .....	23
--	----

**ABBREVIAZIONI ADOTTATE NEL PRESENTE DOCUMENTO**

## 1 PREMESSA

La presente relazione è redatta, quale documento facente parte del Progetto Definitivo, ai sensi del DPR 207/2010, i cui contenuti sono disciplinati all'art. 25 del medesimo Decreto.

L'oggetto del progetto definitivo è la Tranvia di Firenze – Linea 4.2 – Le Piagge-Campi Bisenzio che dal punto di vista amministrativo ha seguito i seguenti principali passaggi formali:

- con Deliberazione di Giunta n. 666 del 20 dicembre 2022, veniva **approvato il Progetto di Fattibilità Tecnica Economica "rafforzato" della Linea tramviaria 4.2 le Piagge - Campi Bisenzio**;
- con Determinazione Dirigenziale DD/2022/10209 del 22/12/2022, della Direzione Sistema Tranviario Metropolitano, Servizio Gestione Tramvia, ai sensi dell'art. 32, c.2, del D.Lgs. 50/2016, è stato disposto di procedere all'avvio, ai sensi dell'art. 48 c.5 del D.L. 77/2021 alla procedura ristretta di cui all'art. 3 c.1 e art. 61 del D.Lgs 50/2016 per **l'affidamento congiunto della progettazione definitiva ed esecutiva, revisione del piano della sicurezza e coordinamento, fornitura del materiale rotabile e lavori per la realizzazione della Linea Tramviaria 4.2 Tratta Le Piagge Campi Bisenzio** con il criterio del miglior rapporto qualità/prezzo ai sensi dell'art. 95 c.2 del D. Lgs 50/2016;
- il bando di gara è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 28/12/2022, sul profilo di committente della stazione appaltante, sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana e, per estratto, su quattro quotidiani, due a diffusione nazionale e due a diffusione locale;
- con Determinazione Dirigenziale n. DD/2023 /05448 del 28.06.2023, della Direzione Sistema Tranviario Metropolitano, Servizio Gestione Tramvia, venivano approvati i verbali di gara e l'appalto in oggetto veniva aggiudicato, fatto salvo l'esito positivo dei controlli, al RTI costituito con mandataria C.M.B. Società Cooperativa Muratori e Braccianti di Carpi e Alstom Ferroviaria, AMPLIA Infrastructures, HITACHI RAIL STS e COM.NET. (tutte mandanti), il quale fin dalla fase di gara ha indicato come progettisti i soci del RTP Technital (mandataria) e SDA Progetti, ETS, Archlandstudio, Studio Mattioli, Cooperativa Archeologia, IRIDE e STEER (tutte mandanti);
- con Ordine di Servizio del RUP n.1 del 09/11/2023, la Stazione Appaltante dava l'Avvio della Progettazione Definitiva a far data dal 13/11/2023, tenendo conto di quanto indicato nella consegna del contratto in via d'urgenza ai sensi degli artt. 8 e 13 del D.Lgs. 50/2016 come da verbale trasmesso con prot. 302302 del 25/09/2023, nell'art. 20, c. 1 del CSA e nell'art. 25, c. 3 del CSA.

## 2 INQUADRAMENTO

### 2.1 LE STRATEGIE PER IL POTENZIAMENTO DELLA RETE TRANVIARIA DI FIRENZE

Il sistema tranviario di Firenze attualmente in esercizio è composto dalle linee T1 e T2 che, incrociandosi nell'area della stazione ferroviaria di Santa Maria Novella, servono il bacino del quadrante nord-ovest captando gran parte dell'utenza al di fuori dell'area centrale, da sempre critica per la mobilità del capoluogo toscano.

#### LA LINEA T1: LEONARDO

La Linea T1 collega il Comune di Scandicci con il Polo Universitario Ospedaliero di Careggi, transitando per la stazione di Santa Maria Novella a Firenze. La lunghezza del percorso è di 11,5 km con n. 26 fermate.

La Linea T1 è nata riunendo la Linea 1: Scandicci - Stazione FS di Santa Maria Novella (in esercizio dal 14 febbraio 2010 con 15 fermate lungo un tracciato di 7,7 km) e la Linea 3.1: Stazione FS di S. Maria Novella - Ospedale Careggi - (in esercizio dal 16 luglio 2018 con 11 fermate lungo un tracciato di 5,5 km).



#### LA LINEA T2: VESPUCCI

La Linea T2 collega il capolinea Aeroporto "Vespucci" di Peretola con Stazione FS di Santa Maria Novella ove si interscambia con la Linea T1, per terminare al capolinea di piazza dell'Unità d'Italia; la linea è in esercizio dal 2018.

Si tratta di una linea fondamentale per il sistema tranviario della città di Firenze in quanto interessa la zona di maggior sviluppo dell'area metropolitana (Novoli), collega l'Aeroporto di Peretola con la nuova stazione ferroviaria dell'Alta Velocità di Belfiore, ed infine serve i nuovi insediamenti per l'Università e il Palazzo di Giustizia nell'area di Novoli. La lunghezza del percorso è 5,3 km, con n. 12 fermate



Il capolinea di piazza dell'Unità d'Italia è provvisorio, fino alla realizzazione della tratta di collegamento denominata VACS "Variante Centro Storico 2° lotto" che collegherà Piazza dell'Unità d'Italia con Piazza San Marco percorrendo viale Strozzi - viale Lavagnini e Piazza della Libertà; la sub-tratta è in fase avanzata di costruzione ed è prevista l'entrata in esercizio nel 2024.

Con Accordo di Programma fra Regione Toscana ed i Comuni di Firenze, Sesto Fiorentino, Campi Bisenzio e Bagno a Ripoli sono stati definiti il programma di interventi ed i reciproci impegni per il completamento dell'estensione del sistema tranviario, fra cui l'estensione della Linea 3 a Bagno a Ripoli (Linea 3.2.1) e Rovezzano (Linea 3.2.2) e le estensioni delle Linee tramviarie verso Campi Bisenzio (Linea 4 ) e Sesto Fiorentino (Linea 2..2 che collegherà l'aeroporto di Peretola con il centro di Sesto Fiorentino):

## LA LINEA T4

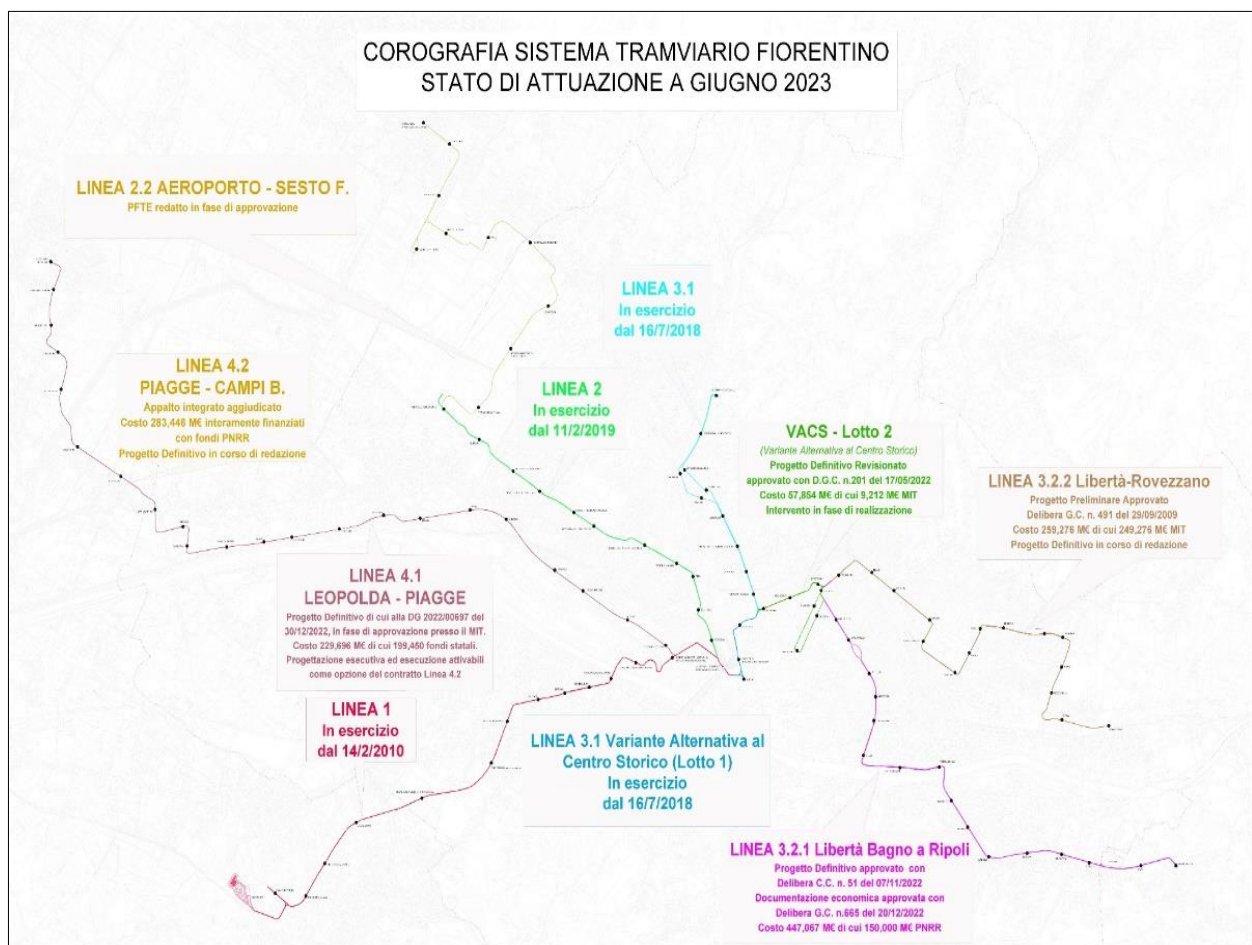
La linea 4 è composta dalle tratte 4.1 e 4.2 ed è prevista la realizzazione in regime di appalto integrato.

La prima tratta: **Linea 4.1 “Leopolda -Le Piagge”** (di cui è stato approvato il progetto definitivo) si sviluppa tra la zona di Porta al Prato e l'area delle Piagge, costituendo il collegamento tra la città di Firenze e il centro abitato di Campi Bisenzio. Il tracciato si interconnette con la Linea 1 in corrispondenza della fermata “Porta al Prato – Leopolda” e giunge alla fermata “Le Piagge” correndo in parte sulla ex linea ferroviaria Firenze-Empoli (già dismessa da RFI) e in parte su nuova sede. La lunghezza della Linea 4.1 è di 6,370 km con n. 13 fermate (compreso capolinea Le Piagge).

La seconda tratta: **Linea 4.2 “Le Piagge – Campi Bisenzio”** (di cui è stato approvato il PFTE “rafforzato”) riprende il tracciato dalla fermata Le Piagge e termina a Campi Bisenzio, consentendo così al sistema tranviario fiorentino di innestarsi nell’agglomerato urbano di Campi Bisenzio. La lunghezza della Linea 4.2 è di 5,360 km con n. 11 fermate (escluso capolinea Le Piagge).

La presente relazione riferisce sui contenuti del progetto definitivo della linea tramviaria 4.2 che costituisce il collegamento con la zona sud-est della città di Firenze dalla stazione Le Piagge, in Comune di Firenze, fino al capolinea di Campi Bisenzio, rappresentando di fatto il prolungamento della Linea 4.1 “Leopolda-Piagge”.

Nella figura seguente è riportato il quadro complessivo del sistema tranviario di Firenze (immagine tratta dal sito [https://mobilita.comune.fi.it/tramvia/sistema\\_tramviario](https://mobilita.comune.fi.it/tramvia/sistema_tramviario)).



## 2.2 DESCRIZIONE DEL CONTESTO

La linea 4.2 insiste sui territori dei Comuni di Firenze e Campi Bisenzio con uno sviluppo complessivo di circa km 3+350 m, sviluppandosi sulla direttrice sud/est verso nord/ovest. Per gran parte del suo sviluppo, il tracciato si affianca alle direttrici principali di traffico lasciando la sede stradale attuale a svolgere la sua funzione con le medesime caratteristiche presenti, senza cioè alterarne la sezione e l'organizzazione stradale.

Il territorio attraversato si presenta parzialmente urbanizzato, con tratti ove l'antropizzazione si concretizza in abitati tipici della periferia a tratti di campagna quali zone cuscinetto agricolo tra gli agglomerati urbani.

La zona nel Comune di Firenze presenta edifici multipiano a scopo abitativo con ampie aree a verde che spostandosi verso ovest assume sempre più una prevalenza di aree verdi rispetto alle aree antropizzate.

Superata l'autostrada A1 ci si muove verso nord, verso la SR "Pistoiese" entrando nel territorio comunale di Campi Bisenzio: il contesto presenta alternativamente aree costruite ed aree verdi, le prime conseguenza dell'urbanizzazione tipica dei contesti periferici che si sono sviluppati attorno alle principali direttrici di traffico, nello specifico la via Pistoiese, fin da epoche remote: questa zona è stata abitata fin dall'epoca romana e ha una lunga storia di agricoltura e attività manifatturiere fino ai giorni nostri.

La realizzazione della nuova SR "Pistoiese" ha spostato l'infrastruttura principale al di fuori o ai limiti degli agglomerati urbani, ma negli anni lo sviluppo edilizio ha creato un grande borgo senza soluzione di continuità.

Si incontrano in successione da est verso ovest il Canale Macinante con a fianco il fosso S. Donnino, il fosso o collettore Acque Basse-Gavine, il Fosso Reale con i suoi colatori laterali ed infine il fosso Prunaia. La geomorfologia del territorio presenta una piana solcata da un "pettine" di corpi idrici che confluiscono nel fiume Bisenzio a sua volta immissario del più ampio bacino del fiume Arno.

Un elemento caratterizzante che si trova in questo contesto sono i bacini o casse di espansione delle incisioni idrografiche che attraversano il territorio con andamento prevalente nord-sud. Questi elementi appartengono anche all'area ZSC-ZPS IT5140011 "Stagni della Piana Fiorentina e Pratese" caratterizzata da depressioni che in caso di piene della rete idrografica, direttamente o per rigurgito, tendono ad essere sommerse con la creazione di zone umide.

Spostandosi verso nord ovest fino a raggiungere il centro del Comune di Campi Bisenzio, il contesto assume nuovamente una prevalenza di insediamenti antropici (nuclei abitati, zone commerciali, infrastrutture per la mobilità) seppur la valenza ambientale rimanga un elemento caratterizzante del paesaggio: ampie distese coltivate o parchi pubblici si alternano lasciando spazio all'edificazione intensa solo nell'intorno del centro abitato comunale.

## 2.3 SINTESI DELLA LINEA TRANVIARIA

La linea tramviaria 4.2, quale naturale proseguimento della linea 4.1 Leopolda - Le Piagge (non oggetto del presente progetto definitivo), si sviluppa dalla fermata Le Piagge (compresa nel progetto e lavori della linea 4.1) all'abitato di San Donnino e da questo fino al centro di Campi Bisenzio: l'intera linea 4 costituisce un'opera di importanza strategica che si inserisce nel sistema tranviario fiorentino e che fa parte di un sistema intercomunale che collega il comune di Firenze con il comune di Campi Bisenzio, interconnettendosi alla linea 1 in corrispondenza della stazione Leopolda Porta al Prato. Obiettivo principale della progettazione è il miglioramento dell'offerta di mobilità pubblica da e verso il capoluogo fiorentino lungo la direttrice nord ovest, attualmente molto trafficata e facente capo alla SR "Pistoiese", lungo la quale si sviluppano anche le linee di trasporto pubblico urbano ed extraurbano: si tratta di mettere a servizio delle comunità locali un sistema di trasporto alternativo a quello su gomma, al fine di ridurre il traffico veicolare che insiste su tutta l'area ed il centro del capoluogo.

La linea 4.2 ha uno sviluppo complessivo di circa km 5+360 m dalla fermata Le Piagge al capolinea Rucellai in Piazza Aldo Moro a Campi Bisenzio. Il tracciato presenta sempre due binari tranviari in direzioni di marcia opposte.

Lungo il suo sviluppo sono previste n. 11 fermate di cui n. 4 nel comune di Firenze (Nave di Brozzi, Campania, Abruzzi, San Donnino) e n. 7 nel comune di Campi Bisenzio (Pistoiese, Castagno, Repubblica, Racchio, Palagetta, Giordano Bruno, Rucellai).

Per l'esercizio tranviario è previsto anche una zona cosiddetta "Deposito" dove trovano ubicazione le strutture per il rimessaggio e la manutenzione dei mezzi: la sua collocazione sul territorio è prevista in Comune di Firenze ed in adiacenza all'Autostrada A1 sul lato ovest, a sud dell'abitato del quartiere di San Donnino.

Per favorire la massima attrattività della linea tramviaria nei confronti dell'utenza, lungo il tracciato sono state individuate delle aree da destinarsi a parcheggi, per favorire lo scambio intermodale tra il traffico privato e il trasporto pubblico. I parcheggi prendono il nome dalle località e sono ubicati in prossimità di fermate della tranvia:

1. Parcheggio Campania
2. Parcheggio Castagno
3. Parcheggio S. Donnino
4. Parcheggio Pistoiese

L'intersezione con i corsi d'acqua prevede che la linea tramviaria si sviluppi su idonei manufatti di scavalco: i 4 principali attraversamenti con ponti sono nell'ordine da ovest verso est:

- Ponte sul Canale Macinante;
- Ponte sul fosso o collettore Acque Basse-Gavine;
- Viadotto sul Fosso Reale e i colatori laterali
- Ponte sul fosso Prunaia

Nel tratto che si affianca alla SR "Pistoiese" sono previsti degli interventi strutturali per il prolungamento dei sottopassi stradali di via S. Jacopo e Via dei Manderi e la realizzazione di un nuovo sottopasso pedonale in corrispondenza del previsto parcheggio e fermata "Pistoiese".

### 3 INQUADRAMENTO NORMATIVO

---

#### 3.1 P.G.R.A. – DISTRETTO APPENNINO SETTENTRIONALE

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) delle Units of Management (U.O.M.) Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone, è redatto ai sensi della direttiva 2007/60/CE e del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 ed è finalizzato alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone. Ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate, tenendo conto delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato e sulla base delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni di cui all'art. 6, le misure di prevenzione, di protezione, di preparazione e di risposta e ripristino finalizzate alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone. Sono soggette alla Disciplina di Piano le aree riportate nelle mappe della Pericolosità da Alluvione Fluviale, così classificate:

- pericolosità da alluvione elevata (P3), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni;
- pericolosità da alluvione media (P2), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;
- pericolosità da alluvione bassa (P1) corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.

Nella figura seguente, si riporta uno stralcio della Mappa della Pericolosità da Alluvione relativa alle aree di intervento. Si osserva che il tracciato tranvia ricade in aree da alluvione poco frequente interessate da allagamenti per TR= 200 anni ad eccezione di un tratto nel Comune di Campi Bisenzio.



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

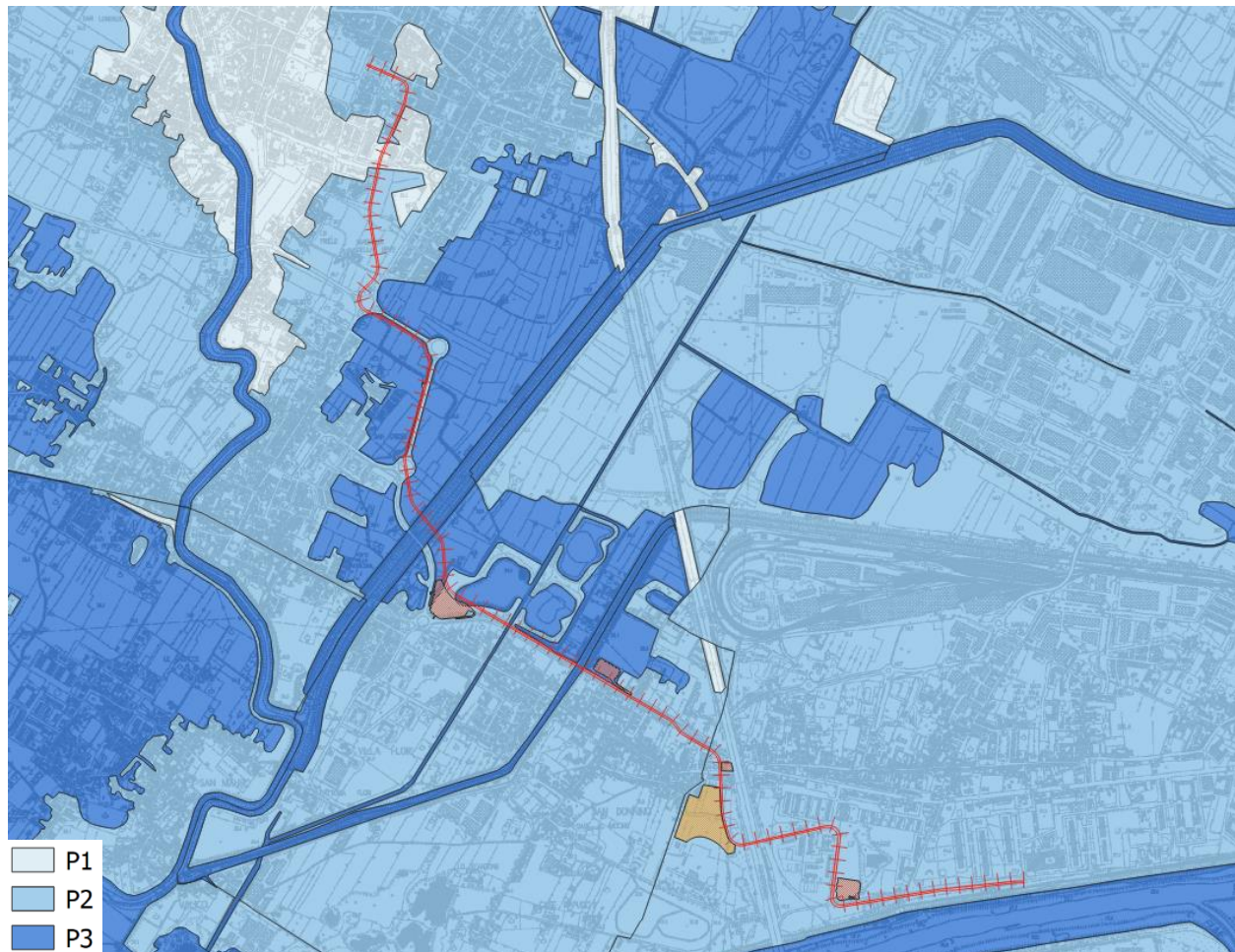


Figura 1- Reticolo di gestione ai sensi della LR 79/2012, con individuazione delle interferenze con l'opera in progetto.

Nella Disciplina di Piano, CAPO II, SEZIONE I sono riportate le norme e gli indirizzi a scala di bacino relative alle aree a pericolosità da alluvione fluviale. In particolare, in aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) valgono i disposti di cui all'art.7 di cui si riporta un estratto:

Art. 7. Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) – Norme

1. Nelle aree P3, per le finalità di cui all'art. 1, sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio, fatto salvo quanto previsto al seguente comma 2 e al successivo art. 8
2. Nelle aree P3 da alluvioni fluviali l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.
3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P3.

Art. 8 – Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) – Indirizzi per gli strumenti di governo del territorio

b) sono da subordinare, se non diversamente localizzabili, al rispetto delle condizioni di gestione del rischio, le previsioni di

- nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico;

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
*Relazione Idrologica - Idraulica*

- interventi di ampliamento della rete infrastrutturale primaria, delle opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali e degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;

In aree a pericolosità da alluvione media (P2) valgono i disposti di cui all'art.9:

Art. 9 – Aree a pericolosità da alluvione media (P 2) – Norme

1. Nelle aree P2, per le finalità di cui all'art. 1, sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio, fatto salvo quanto previsto al seguente comma 2 e al successivo art. 10.
2. Nelle aree P2 da alluvioni fluviali l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.
3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P2.

Art. 10 – Aree a pericolosità da alluvione media (P2) – Indirizzi per gli strumenti governo del Territorio

b) sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio le previsioni di:

- nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico;
- interventi di ampliamento della rete infrastrutturale primaria, delle opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali e degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006.

### **3.2 L.R. 79/2012 E RD 523/1904**

In attuazione alla Legge Regionale 27 dicembre 2012, n. 79 - Nuova disciplina in materia di Consorzi di Bonifica, la Regione Toscana ha individuato il reticolo idrografico e di gestione, approvato la prima volta nel 2013 ed aggiornato con Delibera di Consiglio 101/2016. Nella figura seguente Figura 2 viene mostrato il tracciato delle opere in progetto e le intersezioni con il Reticolo definito ai sensi del Regolamento citato:



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

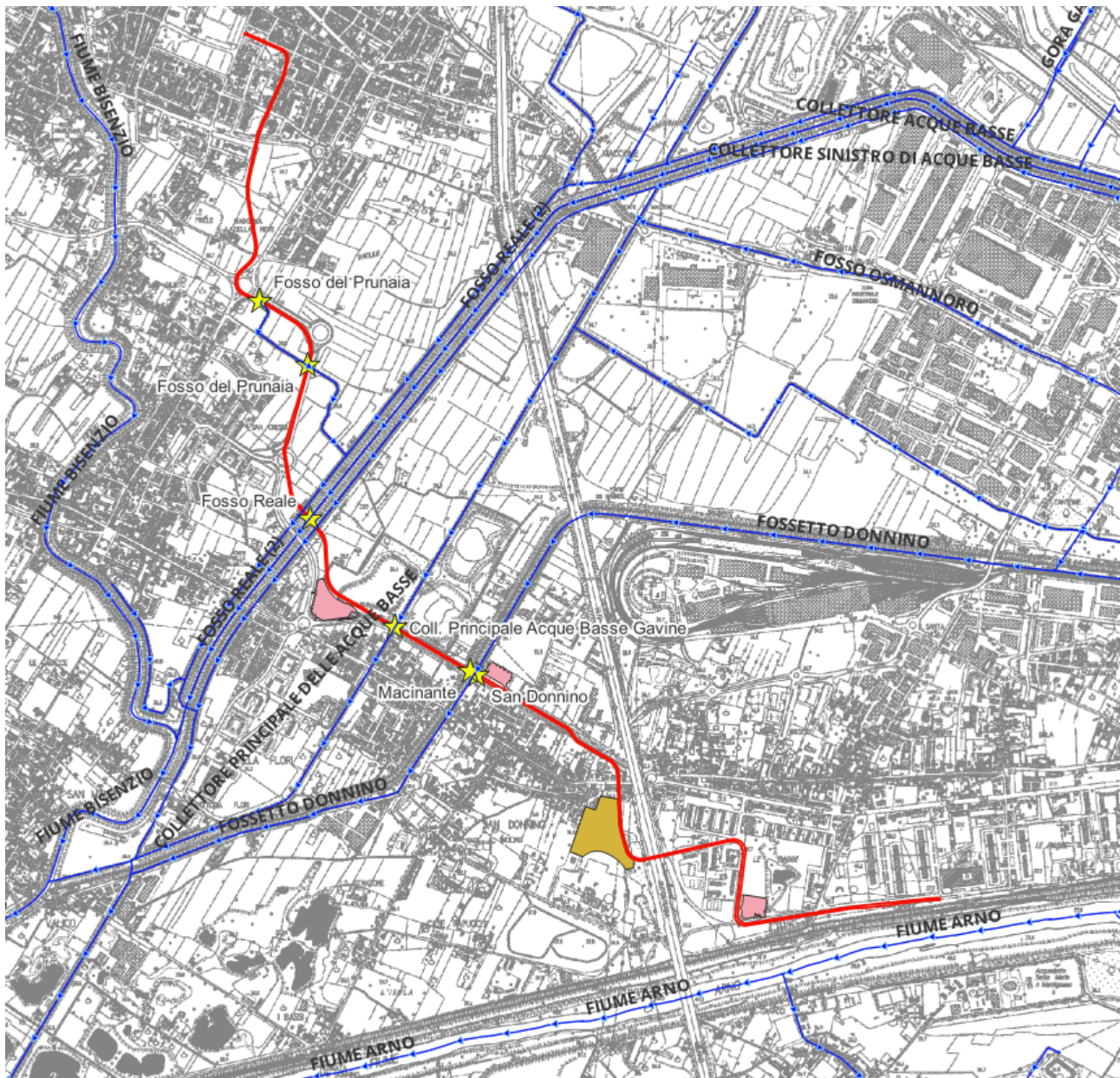


Figura 2- Reticolo di gestione ai sensi della LR 79/2012, con individuazione delle interferenze con l'opera in progetto.

Il reticolo di gestione è soggetto al R.D. n. 523 del 25/07/1904 rappresenta il Testo Unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.

Gli interventi in alveo o nelle pertinenze di un corso d'acqua dichiarato pubblico o su superfici appartenenti al demanio idrico catastalmente definite, ovvero che per qualsiasi altro motivo intendano occupare, temporaneamente o in modo permanente, anche in subalveo o in proiezione, superfici appartenenti al demanio idrico sono soggetti ad autorizzazione idraulica ai sensi del R.D. 523/1904. A titolo esemplificativo e non esaustivo, sono opere ed interventi la cui realizzazione è subordinata al rilascio dell'autorizzazione idraulica ai sensi del R.D. 523/1904:

- ponti carrabili, ferroviari, passerelle pedonali;

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
*Relazione Idrologica - Idraulica*

- attraversamenti dell'alveo con tubazioni e condotte interrato, sospese o aggraffate ad altri manufatti di attraversamento;
- attraversamenti dell'alveo con linee aeree elettriche, telefoniche o di altri impianti di telecomunicazione;
- tubazioni aggraffate ai muri d'argine che occupino l'alveo in proiezione orizzontale;
- muri d'argine ed altre opere di protezione delle sponde;
- opere di regimazione e di difesa idraulica;
- opere di derivazione e di restituzione e scarico di qualsiasi natura;
- scavi e demolizioni.

Valgono inoltre i seguenti disposti:

**Art. 93:** Nessuno può fare opere nell'alveo dei fiumi, torrenti, rivi, scolatoi pubblici e canali di proprietà demaniale, cioè nello spazio compreso fra le sponde fisse dei medesimi, senza il permesso dell'autorità amministrativa. Formano parte degli alvei i rami o canali, o diversivi dei fiumi, torrenti, rivi e scolatoi pubblici, ancorché in alcuni tempi dell'anno rimangono asciutti.

**Art. 96:** Sono lavori ed atti vietati in modo assoluto sulle acque pubbliche, loro alvei, sponde e difese i seguenti: [...]

f) Le piantagioni di alberi e siepi, le fabbriche, gli scavi e lo smovimento del terreno a distanza dal piede degli argini e loro accessori come sopra, minore di quella stabilita dalle discipline vigenti nelle diverse località, ed in mancanza di tali discipline a distanza minore di metri quattro per le piantagioni e smovimento del terreno e di metri dieci per le fabbriche e per gli scavi;

g) Qualunque opera o fatto che possa alterare lo stato, la forma, le dimensioni, la resistenza e la convenienza all'uso, a cui sono destinati gli argini e loro accessori come sopra, e manufatti attinenti;

h) Le variazioni ed alterazioni ai ripari di difesa delle sponde dei fiumi, torrenti, rivi, canali e scolatoi pubblici tanto arginati come non arginati, e ad ogni altra sorta di manufatti attinenti; [...]

### 3.3 L.R. 41/2018

Con la L.R. 24 luglio 2018, n. 41 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni).

Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014, la Regione Toscana disciplina la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua.

Nel rispetto della normativa comunitaria e statale di riferimento, la Legge Regionale classifica le aree a pericolosità da alluvione come segue:

- **“aree a pericolosità per alluvioni frequenti”:** le aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.Lgs. 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni frequenti o a pericolosità per alluvioni elevata (allagabilità per tempi di ritorno non inferiori a trenta anni);
- **“aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti”:** le aree classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del D.Lgs. 49/2010 come aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti o a pericolosità per alluvioni media (allagabilità per tempi di ritorno non inferiori a duecento anni).

Dalla combinazione dei battenti e delle velocità della corrente associati allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti, si definisce la “magnitudo idraulica” di una determinata area:

1. **“magnitudo idraulica moderata”**: valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiore a 0,3 metri;
2. **“magnitudo idraulica severa”**: valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0,3 metri e inferiore o uguale a 0,5 metri;
3. **“magnitudo idraulica molto severa”**: battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 1 metro. Nei casi in cui la velocità non sia determinata battente superiore a 0,5 metri.

Al Capo III della L.R.41/2018, sono contenute le disposizioni relative agli interventi edilizi all’interno del perimetro del territorio urbanizzato, In particolare, l’art.13, individua i condizionamenti relativi alle infrastrutture lineari o a rete:

*Art. 13 - Infrastrutture lineari o a rete*

1. ***Nuove infrastrutture a sviluppo lineare e relative pertinenze possono essere realizzate nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c).***
2. ***Nuove infrastrutture a sviluppo lineare e relative pertinenze possono essere realizzate nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.***
3. ***L'adeguamento e l'ampliamento di infrastrutture a sviluppo lineare esistenti e delle relative pertinenze può essere realizzato nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.***

[...]

dove con **“rischio medio R2”**, definito dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 29 settembre 1998 (Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del D.L. 11 giugno 1998, n. 180), si intende il **rischio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l’incolumità delle persone, l’agibilità degli edifici e delle infrastrutture e la funzionalità delle attività economiche.**

4. ***Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, gli interventi di seguito indicati possono essere realizzati alle condizioni stabilite:***

[...]

- b) parcheggi in superficie, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali;*
6. *Nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, possono essere realizzati sottopassi, solo se non diversamente localizzabili, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.*

Al Capo IV della L.R.41/2018, sono contenute le disposizioni relative agli interventi edilizi all'esterno del perimetro del territorio urbanizzato, In particolare, l'art.16, individua i condizionamenti relativi alle infrastrutture lineari o a rete:

Art. 16 - Infrastrutture lineari o a rete

**5. Nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, possono essere realizzate nuove infrastrutture a sviluppo lineare e relative pertinenze a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c).**

Ai fini della tutela dei corsi d'acqua, l'art. 3 individua gli interventi consentiti negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce di larghezza di dieci metri dal piede esterno dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda dei corsi d'acqua del reticolo idrografico di cui all'articolo 22, comma 2, lettera e), della legge regionale 27 dicembre 2012, n. 79.

In particolare:

Art. 3 - Tutela dei corsi d'acqua

[...]

2. Negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce di larghezza di dieci metri dal piede esterno dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda dei corsi d'acqua del reticolo idrografico di cui all'articolo 22, comma 2, lettera e), della l.r. 79/2012, nel rispetto della normativa statale e regionale di riferimento e delle condizioni di cui al comma 5, sono consentiti i seguenti interventi:

a) interventi di natura idraulica, quali in particolare:

- 1) trasformazioni morfologiche degli alvei e delle golene;
- 2) impermeabilizzazione del fondo degli alvei;
- 3) rimodellazione della sezione dell'alveo;
- 4) nuove inalveazioni o rettificazioni dell'alveo.

**b) reti dei servizi essenziali e opere sovrappassanti o sottopassanti il corso d'acqua;**

c) opere finalizzate alla tutela del corso d'acqua e dei corpi idrici sottesi;

d) opere connesse alle concessioni rilasciate ai sensi del regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 (Approvazione del testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici);

e) interventi volti a garantire la fruibilità pubblica;

f) itinerari ciclopedonali;

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

*g) opere di adduzione e restituzione idrica;*

*h) interventi di riqualificazione ambientale.*

[...]

*5. Gli interventi di cui ai commi 2, 3 e 4 sono consentiti, previa autorizzazione della struttura regionale competente, che verifica la compatibilità idraulica nel rispetto delle seguenti condizioni:*

*a) sia assicurato il miglioramento o la non alterazione del buon regime delle acque;*

*b) non interferiscano con esigenze di regimazione idraulica, accessibilità e manutenzione del corso d'acqua e siano compatibili con la presenza di opere idrauliche;*

*c) non interferiscano con la stabilità del fondo e delle sponde;*

*d) non vi sia aggravio del rischio in altre aree derivante dalla realizzazione dell'intervento;*

*e) non vi sia aggravio del rischio per le persone e per l'immobile oggetto dell'intervento;*

*f) il patrimonio edilizio esistente di cui al comma 3 sia inserito nel piano di protezione civile comunale al fine di prevenire i danni in caso di evento alluvionale.*

*6. Il rispetto delle condizioni di cui al comma 5 costituisce elemento di verifica della compatibilità idraulica ai fini del rilascio dell'autorizzazione di cui al medesimo comma 5.*

*L'autorizzazione idraulica è rilasciata dalla struttura regionale competente con le modalità definite nel regolamento di cui all'articolo 5, comma 1, lettera e), della legge regionale 28 dicembre 2015, n. 80 (Norme in materia di difesa del suolo, tutela delle risorse idriche e tutela della costa e degli abitati costieri).*

*L'autorizzazione è rilasciata entro quarantacinque giorni dal ricevimento della domanda. [...]*

### **3.4 STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI**

A completamento del quadro conoscitivo da un punto di vista idraulico del territorio in cui è previsto il nuovo tracciato tranvia e le sue pertinenze si è fatto riferimento anche ai contenuti riportati negli elaborati tecnici a supporto del Piano strutturale del Comune di Campi Bisenzio, nello specifico gli elaborati I.03, I.04, I.05 e I.06 nonché alla documentazione utile alla definizione compiuta della condizione ante operam dell'area. Di seguito viene riportata, a titolo esemplificativo e rappresentativo delle condizioni allo stato di fatto, l'elaborato cartografico I.03 "Carta dei battenti per TR 200 anni":



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

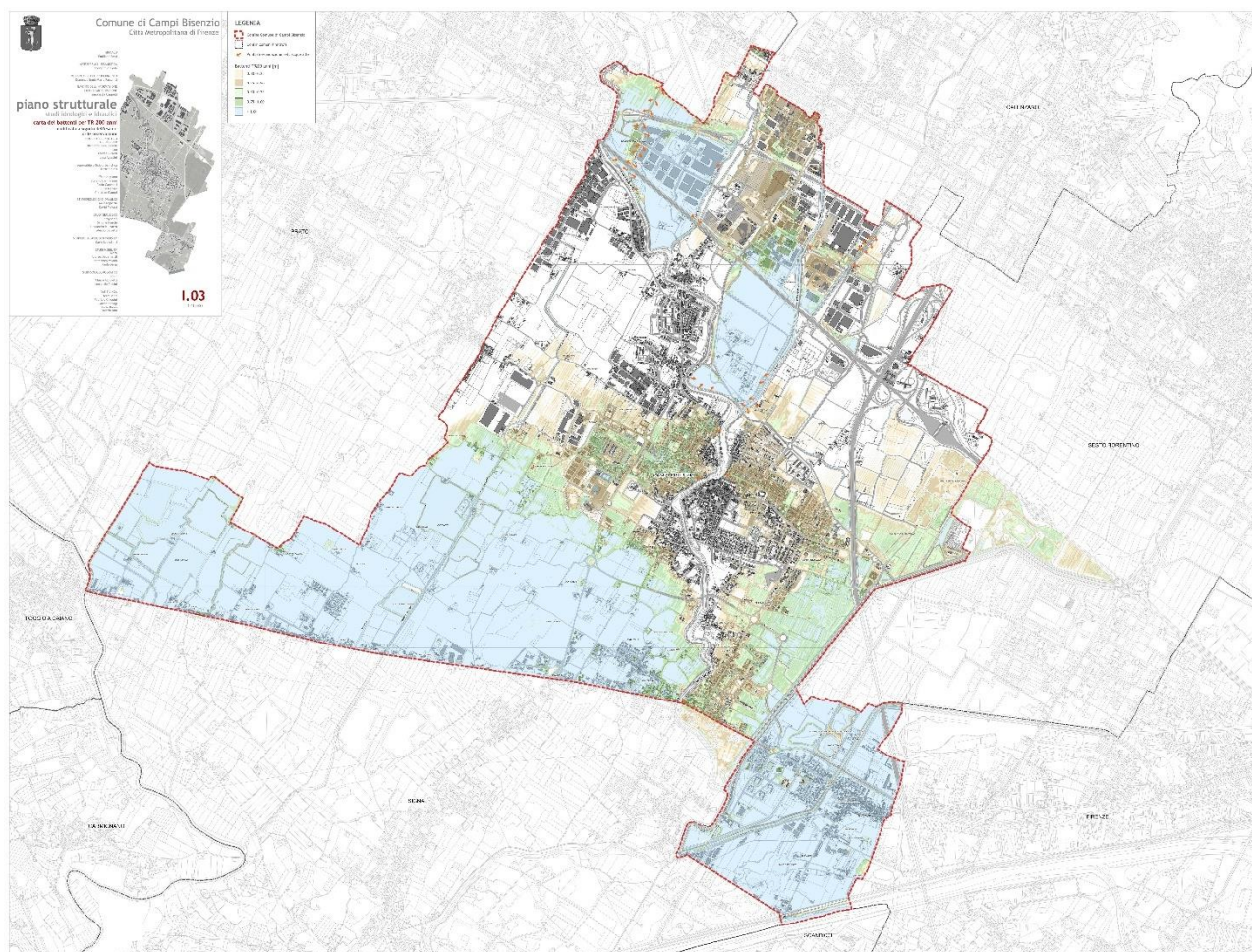


Figura 3. Piano strutturale Comune di Campi Bisenzio – Elab. I.03 Carta dei battenti per TR 200 anni

## 4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE

In ragione dello scenario di pericolosità idraulica esistente nell'area di intervento precedentemente descritto, si rende necessario quindi uno studio idraulico di dettaglio, atto a verificare quanto definito nell'ambito della pianificazione di bacino vigente e a valutare la compatibilità idraulica della linea ferroviaria e delle nuove opere di pertinenza (Parcheggi e Deposito) in progetto nel suo complesso.

Si è proceduto quindi all'implementazione del modello idraulico, numerico, bidimensionale del Fiume Arno, Fiume Bisenzio, Fosso Reale e del territorio fra questi compreso su cui verranno realizzate le opere, finalizzato alla simulazione della propagazione dell'onda di piena associata ad un tempo di ritorno di progetto di **200 anni**, propedeutica alla verifica di compatibilità idraulica delle nuove opere del tracciato tranviario di progetto nel suo complesso.

Come richiesto dalle normative vigenti, citate nei paragrafi precedenti, risulta necessario valutare la compatibilità delle opere in progetto ed eventualmente prevedere la realizzazione di opportune opere idrauliche atte a garantire il non aggravio delle condizioni di rischio alle aree circostanti l'opera realizzata.

L'obiettivo di queste eventuali opere idrauliche di riconnessione del territorio è quello di garantire, nel caso di nuove opere a sviluppo lineare realizzate prevalentemente con piano viabile in rilevato come nel caso in oggetto, la "trasparenza idraulica" della linea così da non generare un incremento dei battenti rispetto alla condizione ante-operam, non alterare le direttrici di ruscellamento della corrente idrica sul piano campagna e quindi da non generare incrementi localizzati anomali di velocità della corrente.

Per un efficace ed esaustivo confronto fra la condizione ante-operam e quella post-operam, in cui sono state previste opere di trasparenza del rilevato si rimanda agli elaborati: FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-31-C, FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-32-C, FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-33-C: Planimetria Confronto Battenti Stato di Fatto - Stato di Progetto TR200 da cui risulta come l'opera sia stata resa trasparente nei confronti di eventi alluvionali a TR200, particolarmente significativi, dovuti alle portate defluenti a seguito dei sormonti arginali sui tre corsi d'acqua presi in esame nel modello numerico "Piana Fiorentina" dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, per la redazione delle mappe della pericolosità da alluvione del PGRA: Fiume Bisenzio, Fosso Reale, Fiume Arno.

In particolare si dovrà verificare come le opere in progetto, non comportino una modifica delle condizioni di allagamento esistenti e contestualmente in corrispondenza del territorio urbanizzato, il non superamento del rischio medio R2, definito dal Presidente del Consiglio dei ministri del 29 Settembre 1998 (Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art.1, commi 1 e 2) come il rischio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e delle infrastrutture e la funzionalità delle attività economiche.

Tutte le modellazioni idrauliche sono state effettuate tramite l'ausilio del software HEC-RAS vers. 6.4.1, sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineering.

### 4.1 CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO

La modellazione bidimensionale di un corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza la propagazione delle onde di piena nell'asta fluviale, nelle aree ripariali attigue e non da ultimo nel territorio circostante nel caso di esondazione, riuscendo a modellare il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature; è possibile inoltre rappresentare con un elevato grado di dettaglio la propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle.

Allo stesso tempo la rappresentazione in termini bidimensionali del campo di velocità consente di analizzare l'evoluzione degli allagamenti indotti dal propagarsi delle onde di piena all'interno dell'area esaminata.

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

L'algoritmo di modellazione del moto bidimensionale in HEC-RAS ha le seguenti caratteristiche:

1. Modellazione combinata 1D e 2D: possibilità di eseguire una modellazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario permette all'utente di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando la modellazione 1D per l'asta fluviale principale, e la modellazione 2D nelle zone esterne che lo richiedono per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi.
2. Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità all'utente. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabile a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
3. Algoritmo di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai Volume finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.
4. Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra l'argine o attraverso la breccia
5. Maglie computazionali strutturate non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
6. Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pre-analizzata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione.

Il moto bidimensionale è descritto dalle equazioni di De Saint Venant, derivate a partire dalla formulazione completa di Navier Stokes. Queste equazioni si ottengono imponendo la conservazione della massa (equazione di continuità) e della quantità di moto nelle due direzioni principali x e y all'interno di un generico volume di controllo. Si ottiene quindi il seguente sistema di equazioni

$$\begin{aligned} & \bullet \quad \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \\ & \bullet \quad \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + (u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}) &= +g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t (\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) - c_f u + f_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + (u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y}) &= +g \frac{\partial H}{\partial y} + \nu_t (\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) - c_f v + f_y \end{aligned} \end{aligned}$$

dove:

- $t$  è il tempo
- $u$  e  $v$  sono le componenti del vettore velocità lungo le direzioni x e y rispettivamente

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
*Relazione Idrologica - Idraulica*

- $H$  indica il livello idrico fissata una quota  $z$  di riferimento
- $h$  è il livello idrico riferito al fondo
- $q$  è un termine che rappresenta i flussi in ingresso e/o uscita
- $g$  è l'accelerazione gravitazionale
- $V_t$  rappresenta il coefficiente di viscosità cinematica
- $C_f$  è il coefficiente di resistenza al fondo
- $f$  rappresenta il parametro di Coriolis.

La complessità della trattazione può portare all' introduzione di alcune semplificazioni alle equazioni De Saint Venant, che riconducono all' analisi del modello diffusivo, tralasciando i termini inerziali relativi alle accelerazioni locali e convettive. In molti casi, infatti, i modelli a complessità ridotta conducono a risultati del tutto confrontabili con quelli più complessi, con il vantaggio di un minore onere computazionale e una maggiore stabilità della soluzione. I termini dell'equazione De Saint Venant vengono semplificati nel modo seguente:

$$\begin{aligned} & \bullet \quad \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{x} + \frac{\partial(hv)}{y} + q = 0 \\ & \bullet \quad \begin{aligned} c_f u &= g \frac{\partial H}{\partial x} \\ c_f v &= g \frac{\partial H}{\partial y} \end{aligned} \end{aligned}$$

## 4.2 GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO PER LO STATO DI FATTO

Ogni modellazione idraulica bidimensionale, richiede l'utilizzo di una base cartografica che è costituita dal modello digitale del terreno (DTM) al fine considerare l'esatta morfologia del territorio sul quale avviene la propagazione dell'onda di piena.

Il modello digitale del terreno considerato sia per lo stato di fatto che di progetto ha risoluzione spaziale di 1x1 metro ed è quello reso disponibile dal sito cartografico della Regione Toscana, che è stato in modo opportuno integrato con le sezioni 1D dei corsi d'acqua analizzati, ricavate dal modello idraulico "Piana Fiorentina" trasmesso ed utilizzato dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale per la redazione delle mappe di pericolosità da alluvione del P.G.R.A.



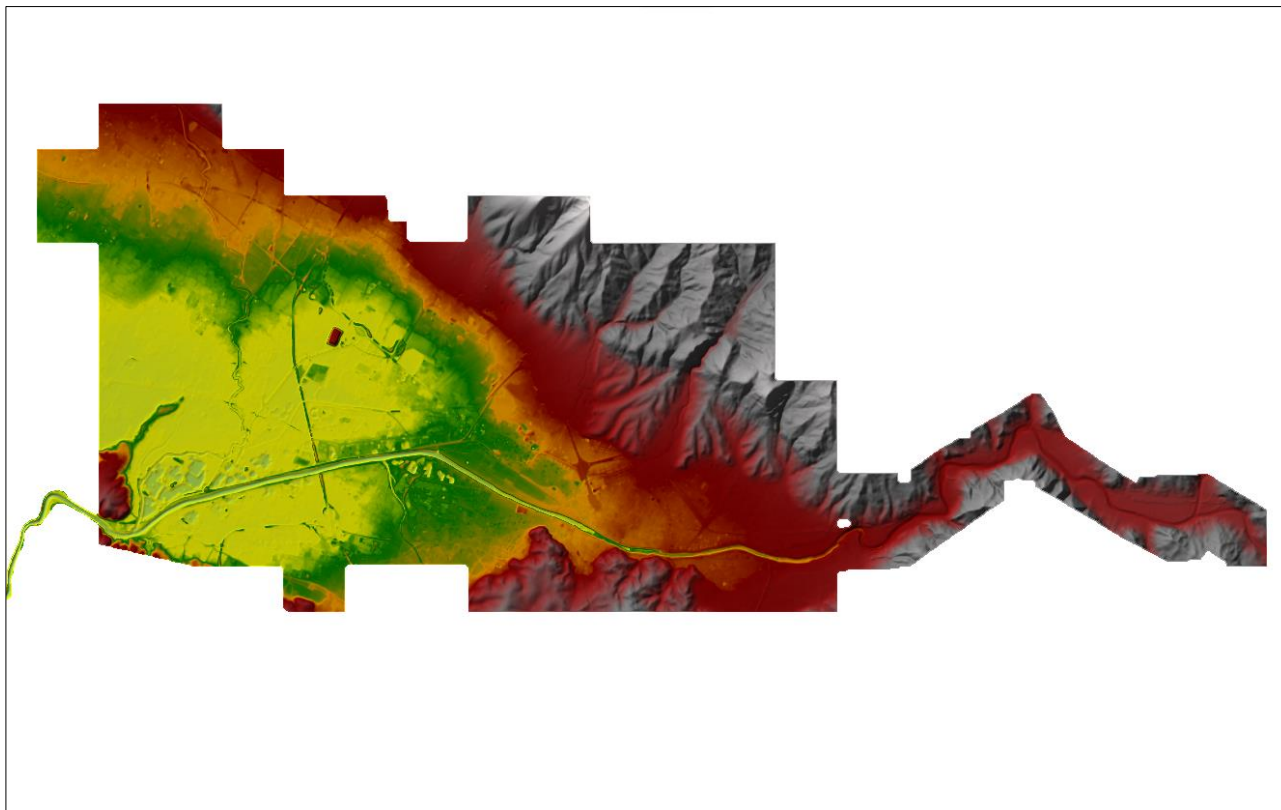


Figura 4. Modello digitale del terreno (DTM) utilizzato



Figura 5. Sezioni Batimetriche ricavate dal modello “Piana Fiorentina” e sovrapposizione tracciato tranviario



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

Le caratteristiche geometriche dell'area di interesse (in seguito definita dominio di calcolo) sono riportate all'interno del modello idraulico tramite una discretizzazione del territorio attraverso elementi generalmente poligonali, nota come mesh.

La mesh di calcolo possiede una risoluzione variabile spazialmente tale per cui l'andamento plano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato a rappresentare il corso d'acqua, alvei e golene, sia i canali secondari e le aree del territorio potenzialmente allagabili.

A partire dal DEM, è stato il dominio di calcolo che è costituito da un reticolo formato da maglie di forma regolare e irregolare di dimensione variabile dai 50 a 2 metri.

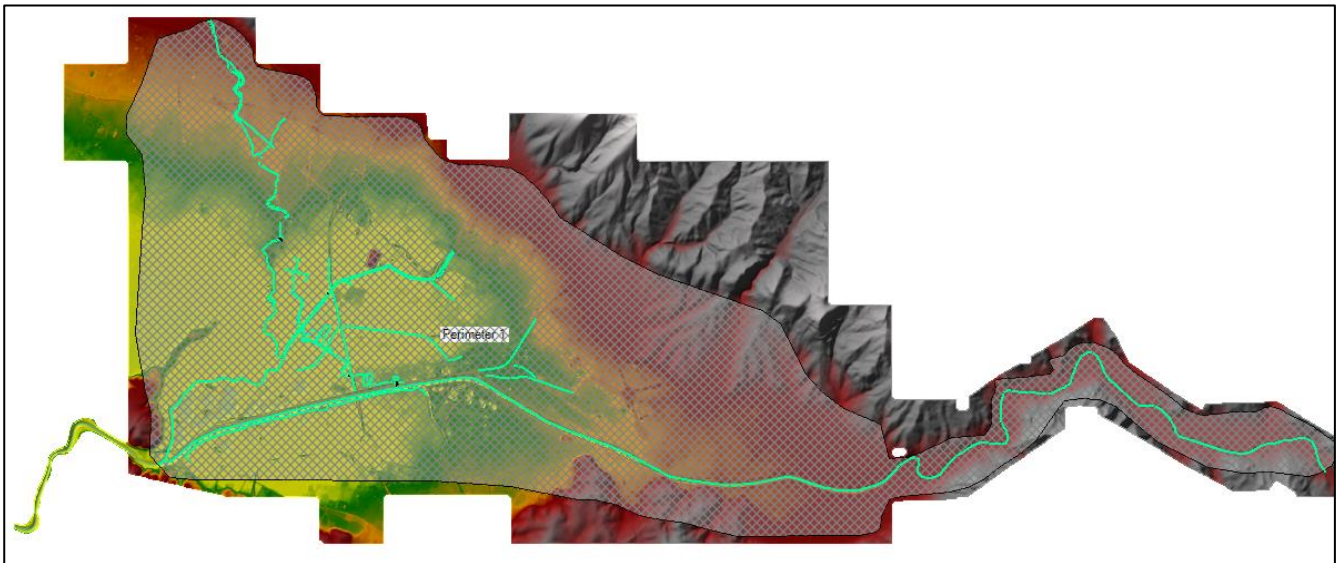


Figura 6. Grid di calcolo su DTM



Figura 7. Grid di calcolo su ortofoto



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

Sulla base dell'analisi di dettaglio del DTM disponibile, incrociandolo criticamente con ortofoto e rilievi a terra è stata posta particolare attenzione in corrispondenza di ogni variazioni di livello del terreno sia naturale che antropica, dove il modello numerico per poter ricostruire correttamente il territorio sulla base delle linee di discontinuità reali sito specifiche, richiede l'inserimento di elementi "Breakline" in grado di allineare il lato delle celle rispetto alla direzione della corrente idrica.



Figura 8. Particolare degli elementi Breakline in corrispondenza di argini e tracciato della tramvia



### 4.3 DEFINIZIONE DELLA SCABREZZA

La scelta di un adeguato valore di scabrezza di Manning risulta essere di fondamentale importanza ai fini della modellazione idraulica bidimensionale, in quanto influisce sull'idrodinamica della corrente incidendo sui valori dei battenti e delle velocità e conseguentemente sulle aree inondabili. Il software assegna per ogni cella 2D il rispettivo valore, in corrispondenza del centro della singola cella (cell center) in funzione di quello che è il Land Cover definito dall'utente mediante la realizzazione di uno shapefile poligonale.

In ragione delle caratteristiche morfometriche dell'area di indagine e della sua variabilità spaziale in termini di uso e copertura del suolo si è scelto di assegnare al modello una parametrizzazione distribuita spazialmente del coefficiente di scabrezza "n" di Manning. L'analisi è stata svolta sulla base della cartografia dell'Uso del Suolo disponibile sul geoportale della Regione Toscana che ha permesso di assegnare per ciascuna classe di uso un valore di scabrezza secondo le indicazioni presenti nella letteratura scientifica di settore (2011 National Land Cover Data Set NCLS; Open Channel Hydraulics, Chow, Van Te, 1959; HEC-RAS River Analysis System 2D Modelling, 2016) e a seguito di un'analisi di sensitività di tale parametro sul modello realizzato. In Figura 9 viene mostrata l'intera mappatura dei valori di scabrezza adottati nel modello 2D, per il cui dettaglio si rimanda all'elaborato FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-05-A; in Figura 10 invece viene mostrato il dettaglio nell'area oggetto di intervento.

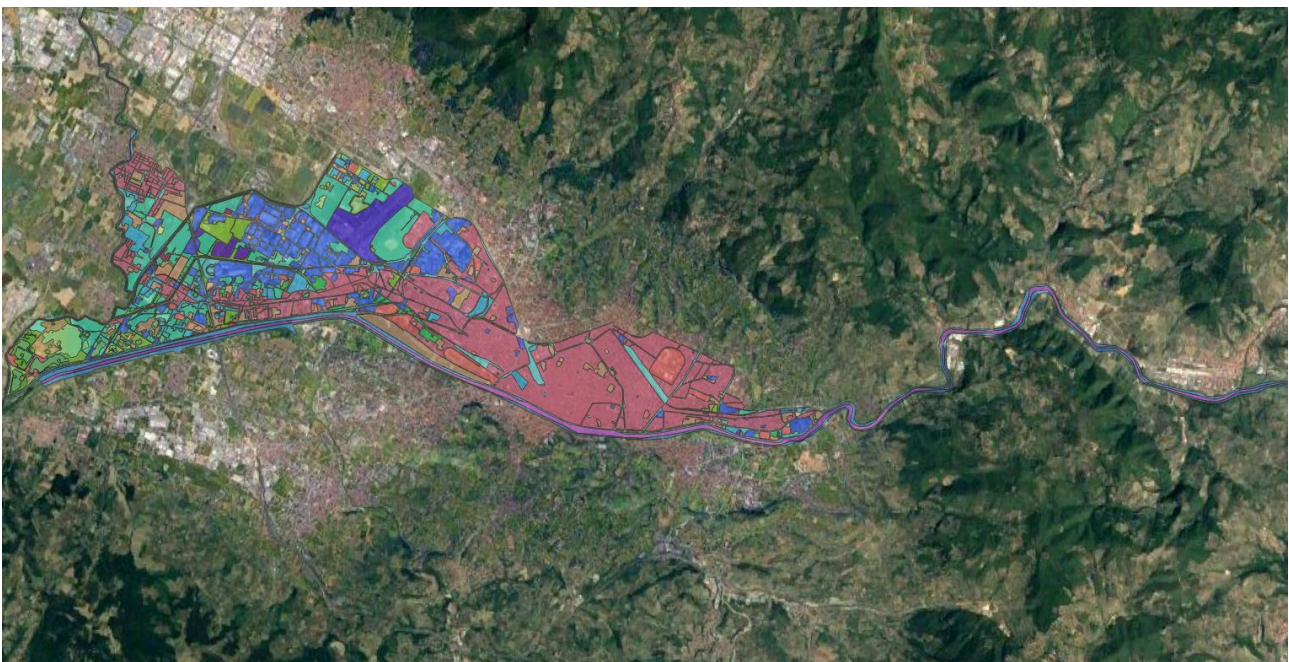


Figura 9. Mappa delle scabrezze di Manning adottate

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

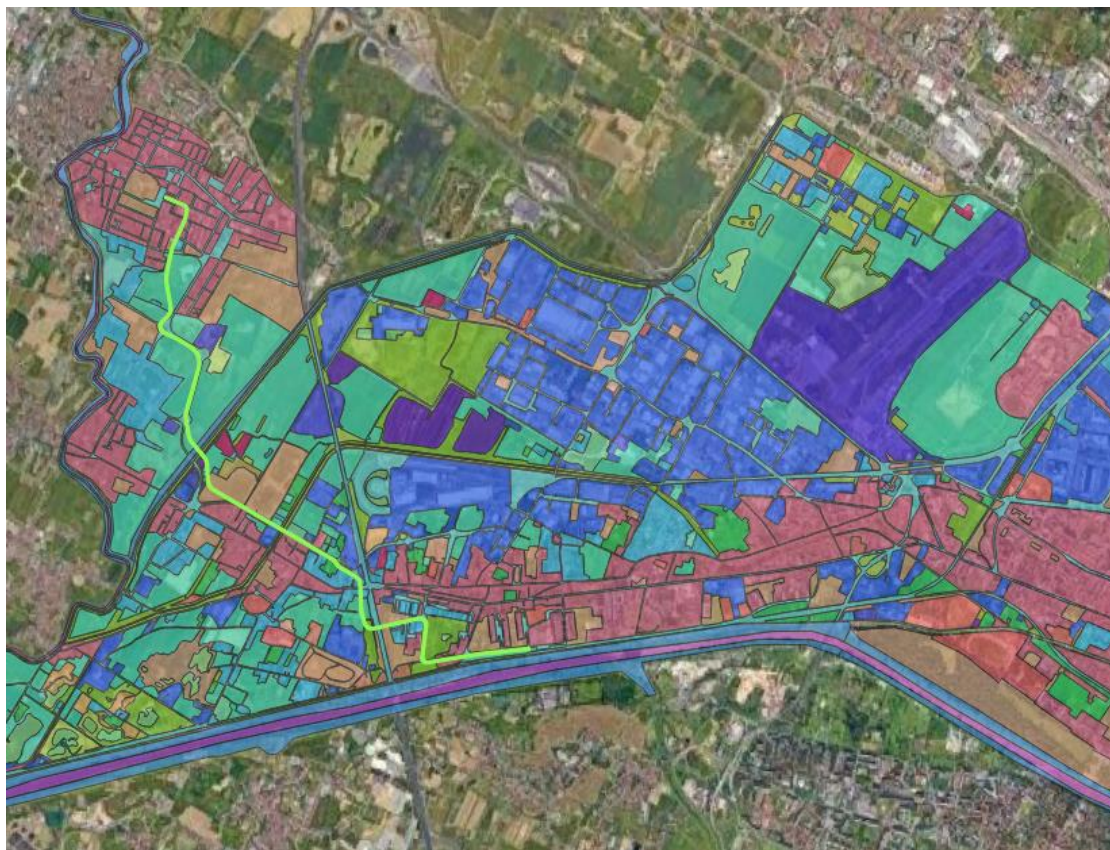


Figura 10. Dettaglio della Mappa delle scabrezze adottate, in corrispondenza dell'opera in progetto

In definitiva i valori di scabrezza espressi secondo Manning sono riportati nella tabella seguente:

Uso del suolo	Manning n (s/m <sup>1/3</sup> )
Aeroporti	0.020
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	0.035
Aree con vegetazione rada	0.035
Aree estrattive	0.035
Aree industriali e commerciali	0.200
Aree ricreative e sportive	0.035
Aree verdi urbane	0.035
Boschi di latifoglie	0.060
Cantieri, edifici in costruzione	0.200
Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.035
Colture temporanee associate a colture permanenti	0.035
Corsi di acqua, canali e idrovie	0.030
Discariche, depositi di rottami	0.100
Frutteti e frutti minori	0.035
Oliveti	0.035
Paludi interne	0.030
Prati stabili	0.035
Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	0.030

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
*Relazione Idrologica - Idraulica*

Seminativi irrigui e non irrigui	0.035
Sistemi colturali e particellari complessi	0.035
Specchi di acqua	0.030
Vigneti	0.035
Zone residenziali a tessuto continuo	0.200
Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	0.200

*Tab. 1 Valori delle scabrezze utilizzate nel modello idraulico*



#### 4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO DEL MODELLO IDRAULICO

La simulazione idraulica necessita della definizione e conseguente immissione all'interno del modello geometrico, degli input idrologici, caratterizzati in questo caso dagli idrogrammi di piena con tempo di ritorno TR 200 anni.

Nel modello in oggetto le condizioni al contorno sono rappresentate dai valori di portata variabili nel tempo, ottenuti dal modello “*Piana Fiorentina*” descritto in precedenza, relativamente ai fiume Arno, Bisenzio e Fosso Reale, le cui posizioni vengono riportate nelle immagini seguenti.

A queste sono state aggiunti gli “idrogrammi di piena interni” già utilizzati nel modello citato “*Piana Fiorentina*” e ripresi integralmente. Tali condizioni interne rappresentano deflussi di entità sicuramente minore, ma comunque importanti nell'intenzione di ricostruire uno scenario idrologico, in termini di condizioni al contorno, il più fedele possibile a quanto validato dalle fasi che hanno portato alla redazione delle mappe della pericolosità da alluvione del PGRA.

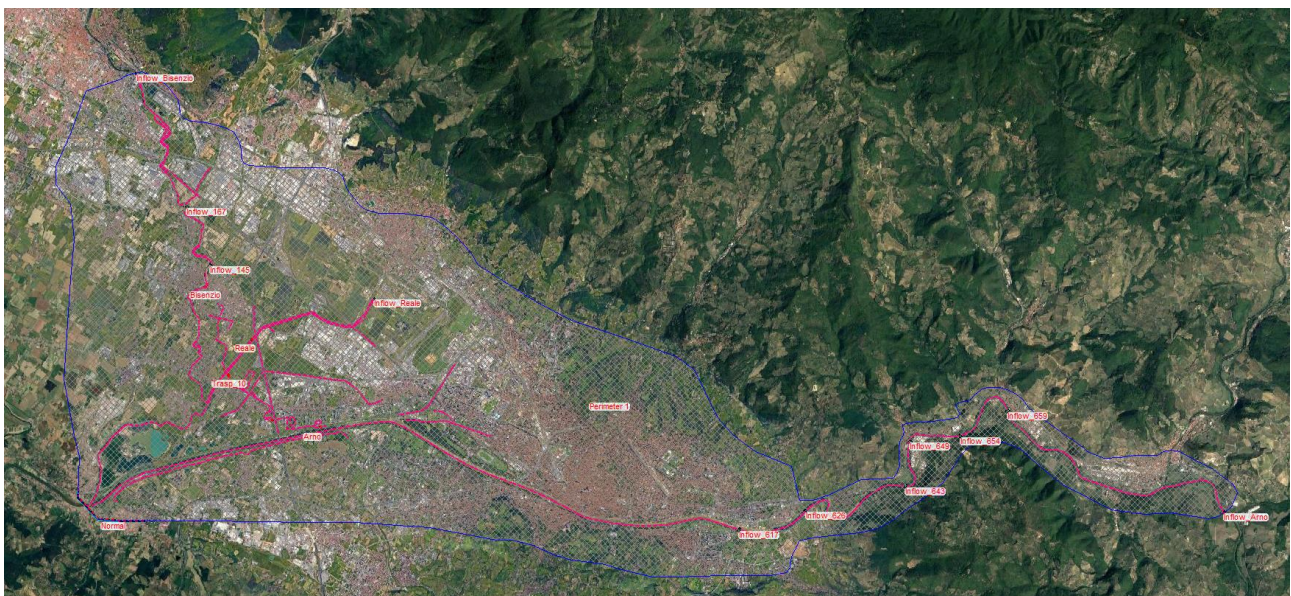


Figura 11. Modello geometrico con etichettate le condizioni al contorno introdotte

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 12. Posizione dell'idrogramma del Fiume Bisenzio

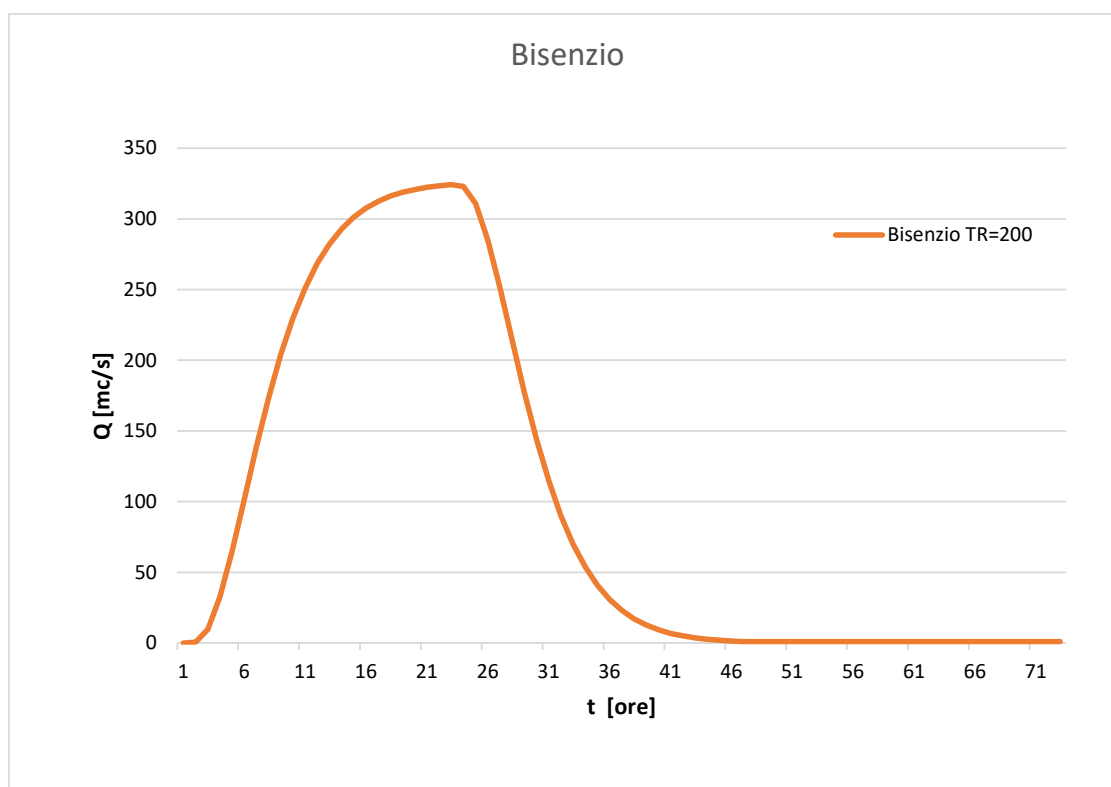


Figura 13. Idrogramma del Fiume Bisenzio



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

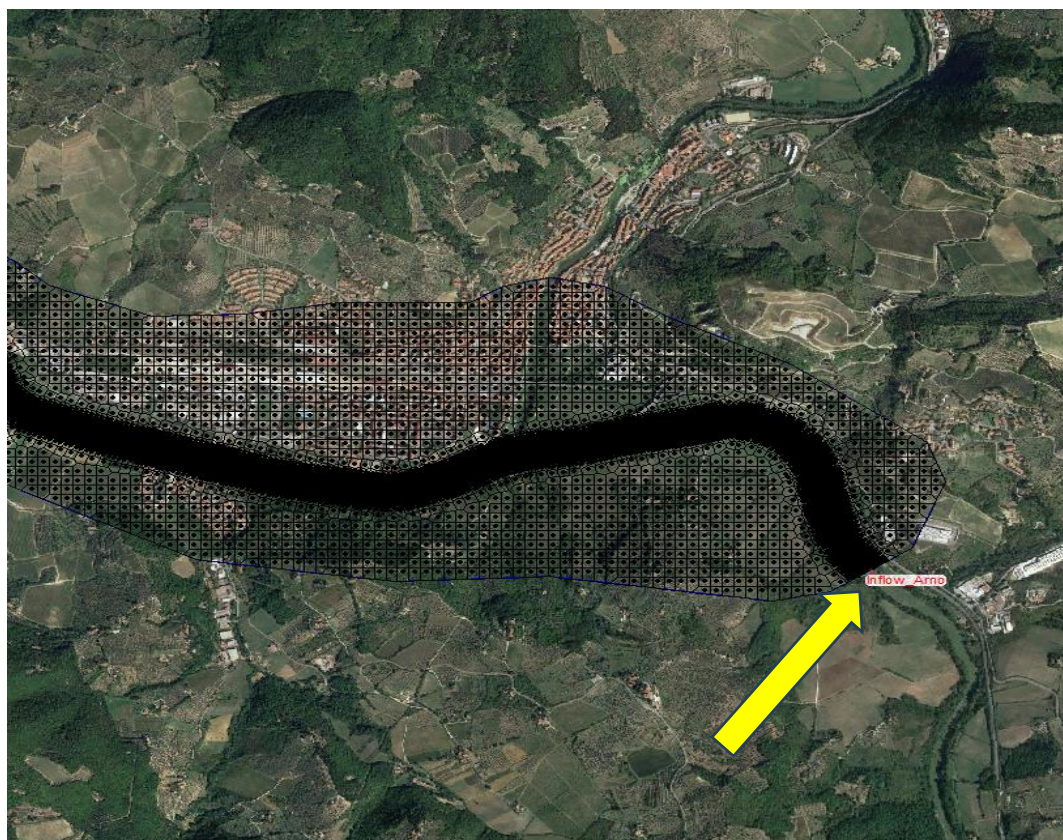


Figura 14. Posizione dell'idrogramma del Fiume Arno

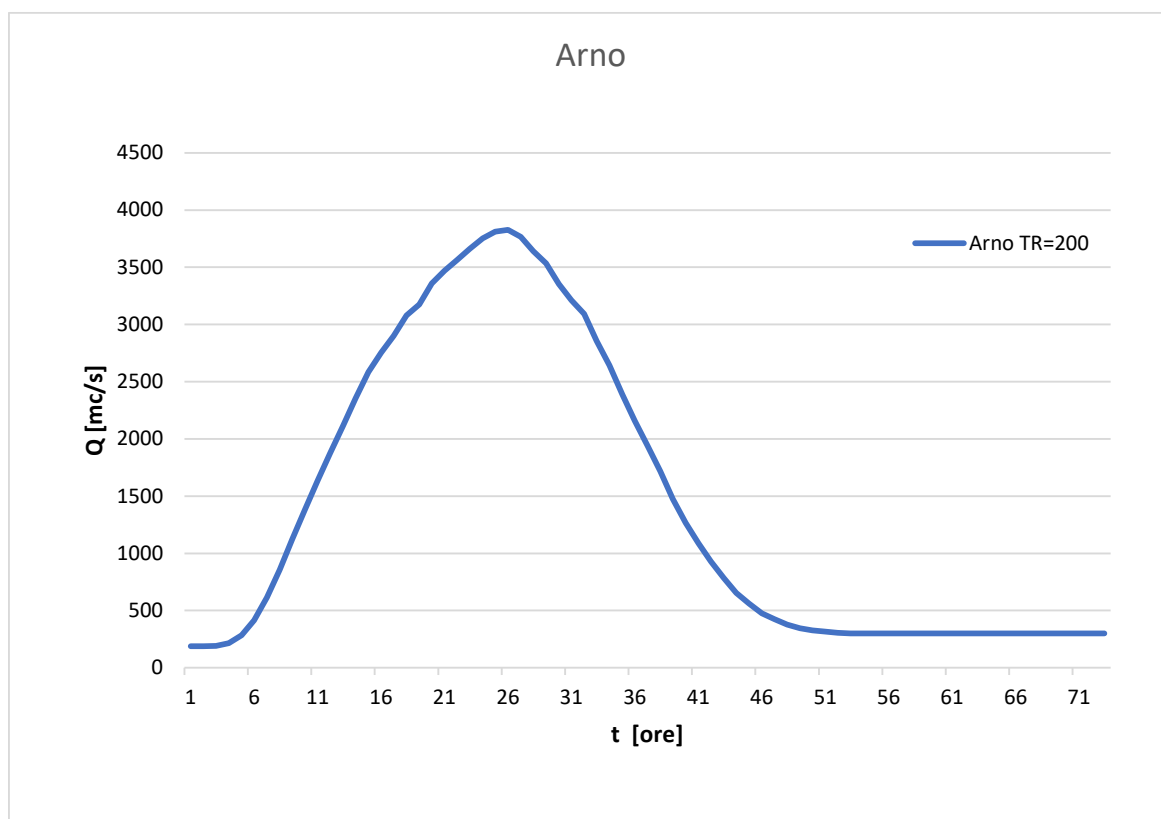


Figura 15. Idrogramma del Fiume Arno

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

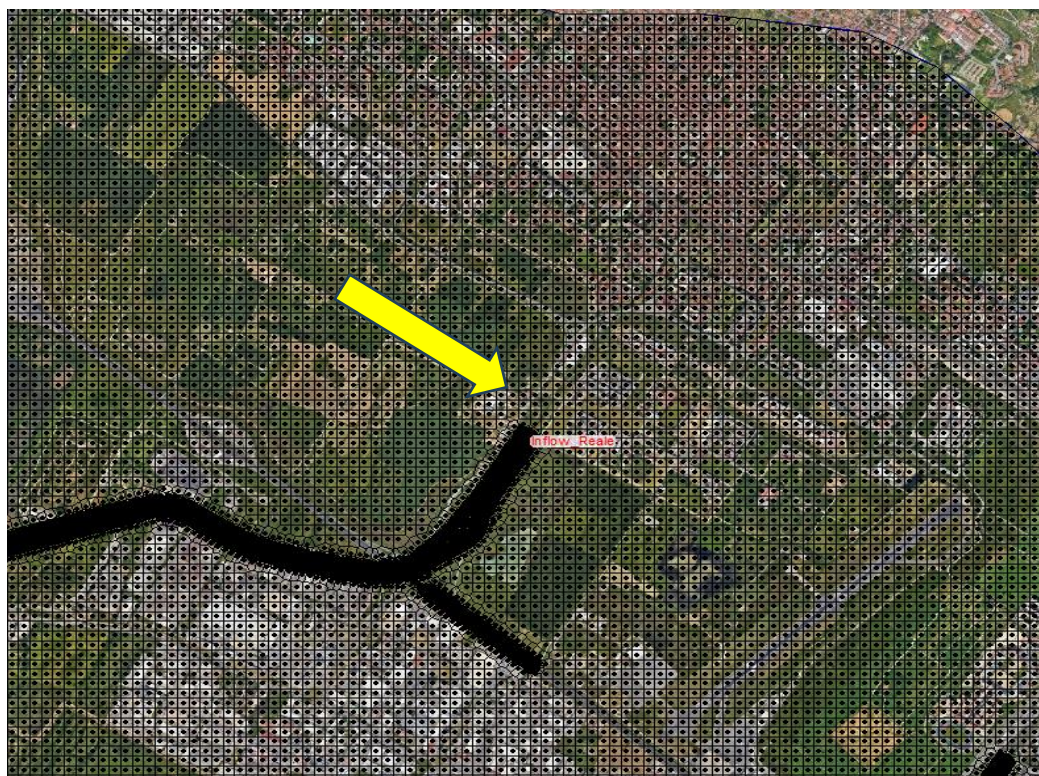


Figura 16. Posizione dell'idrogramma del Fosso Reale

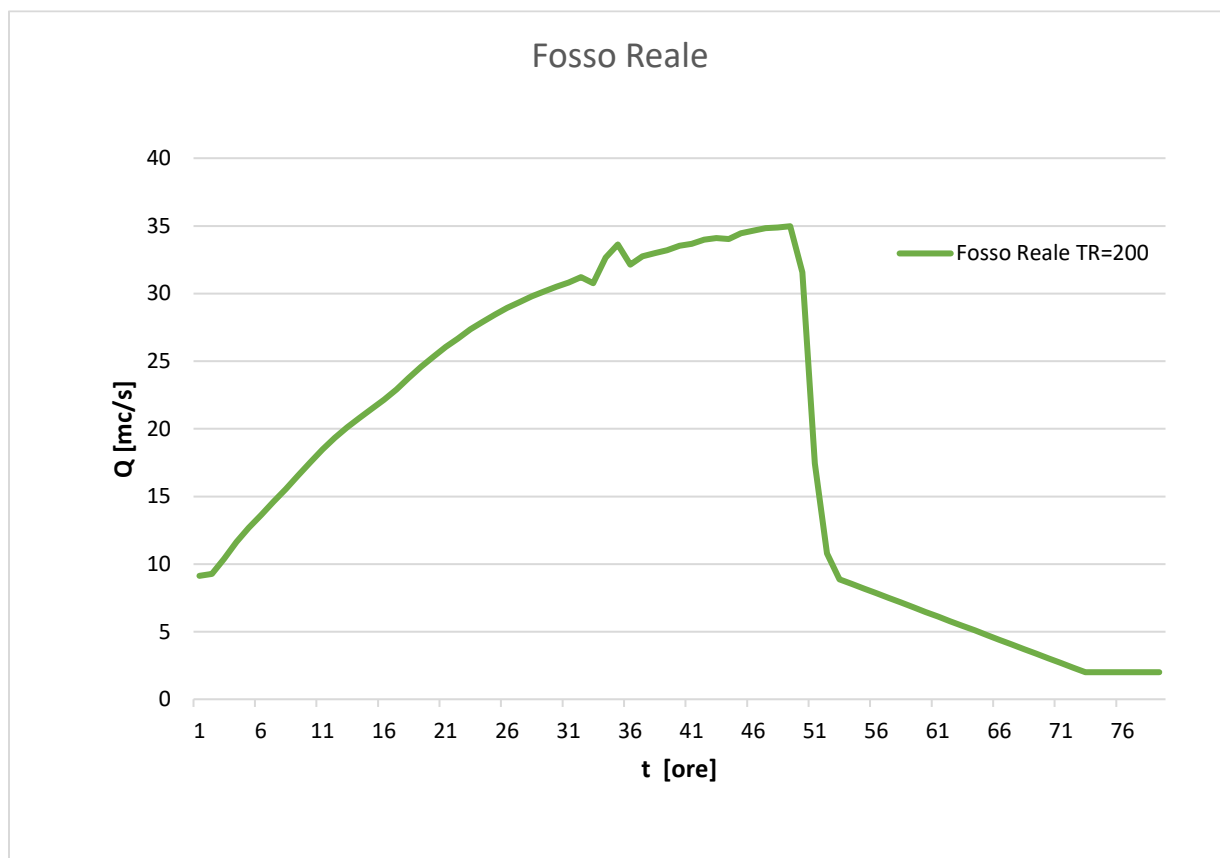


Figura 16. Idrogramma del Fosso Reale



Al fine poi di ricostruire uno scenario alluvionale che potesse essere coerente con l'attuale perimetrazione del PGRA, con cui poter sviluppare un confronto fra le condizioni ante e post operam, lo scrivente come detto ha fatto riferimento al modello "Piana Fiorentina", che viene riportato nell'immagine seguente, da cui sono stati ripresi integralmente gli idrogrammi generati dal sormonto delle arginature a TR200, come concordato con Genio Civile Valdarno Centrale - Regione Toscana.

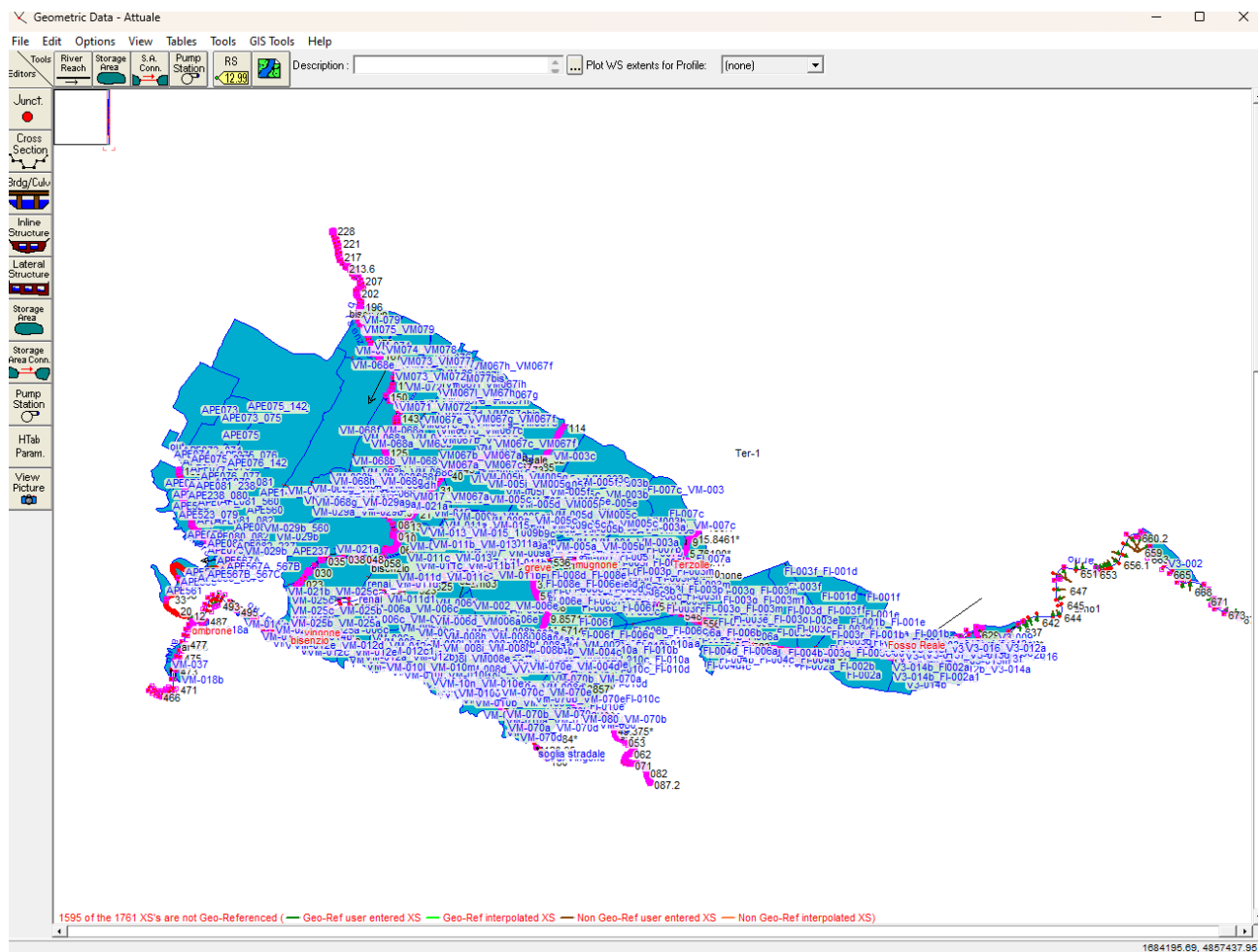


Figura 17. Modello geometrico "Piana Fiorentina"

Il modello di riferimento per le sollecitazioni idrologiche è costituito da sezioni 1D e da elementi *Storage Area*. Le sezioni poi sono collegate lateralmente alle *Storage Area*, mediante elementi *Lateral Structure*. Effettuando un'analisi dettagliata, è stato possibile ricavare gli idrogrammi in uscita tramite le Lateral che verranno utilizzate come condizioni al contorno aggiuntive nel modello idraulico 2D. Si specifica in questa sede che sono stati considerati tutti gli idrogrammi in uscita dalle Lateral che interessano l'area oggetto di intervento.

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

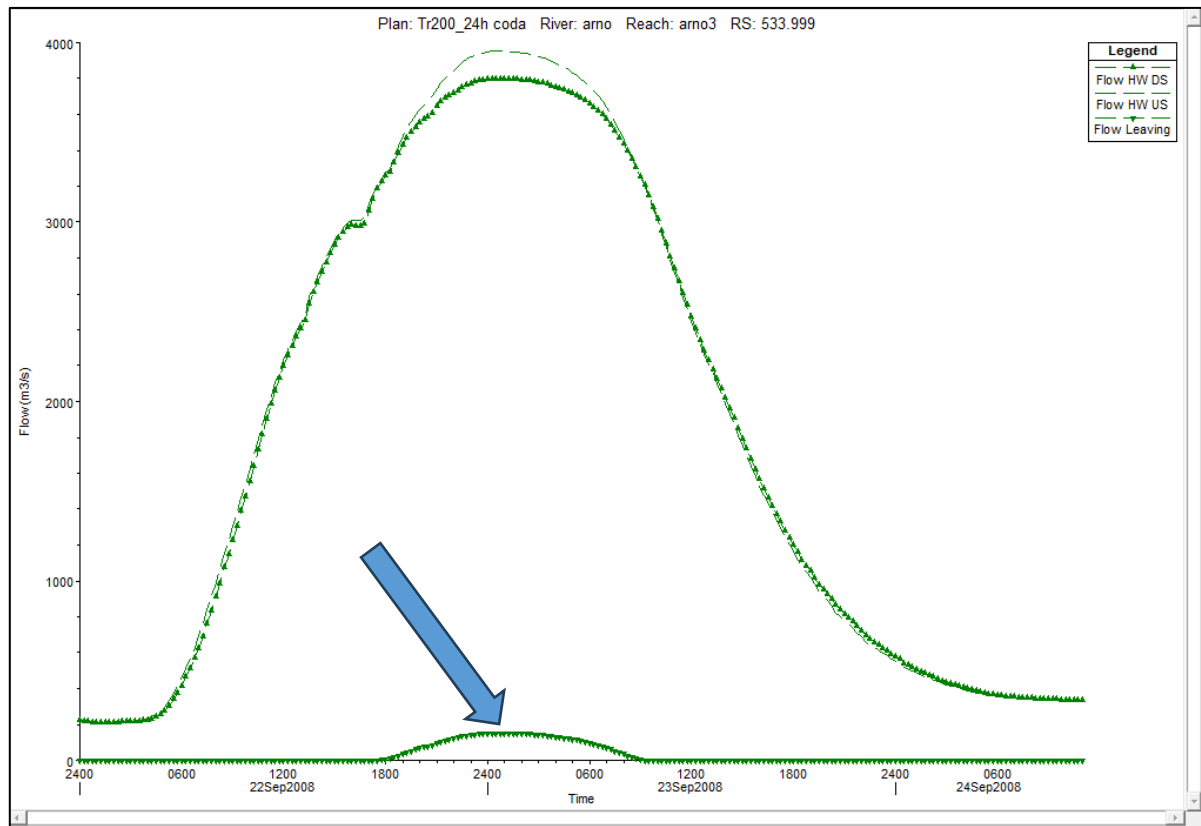


Figura 19. Esempio di idrogramma in uscita dalla Lateral

All'interno del modello idraulico 2D, gli idrogrammi sono stati inseriti tramite elementi *BC Line* considerando il tratto interessato dalle Lateral. A titolo esemplificativo sei riportano di seguito le immagini del modello 2D da cui si desumono le Lateral precedentemente descritte.



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

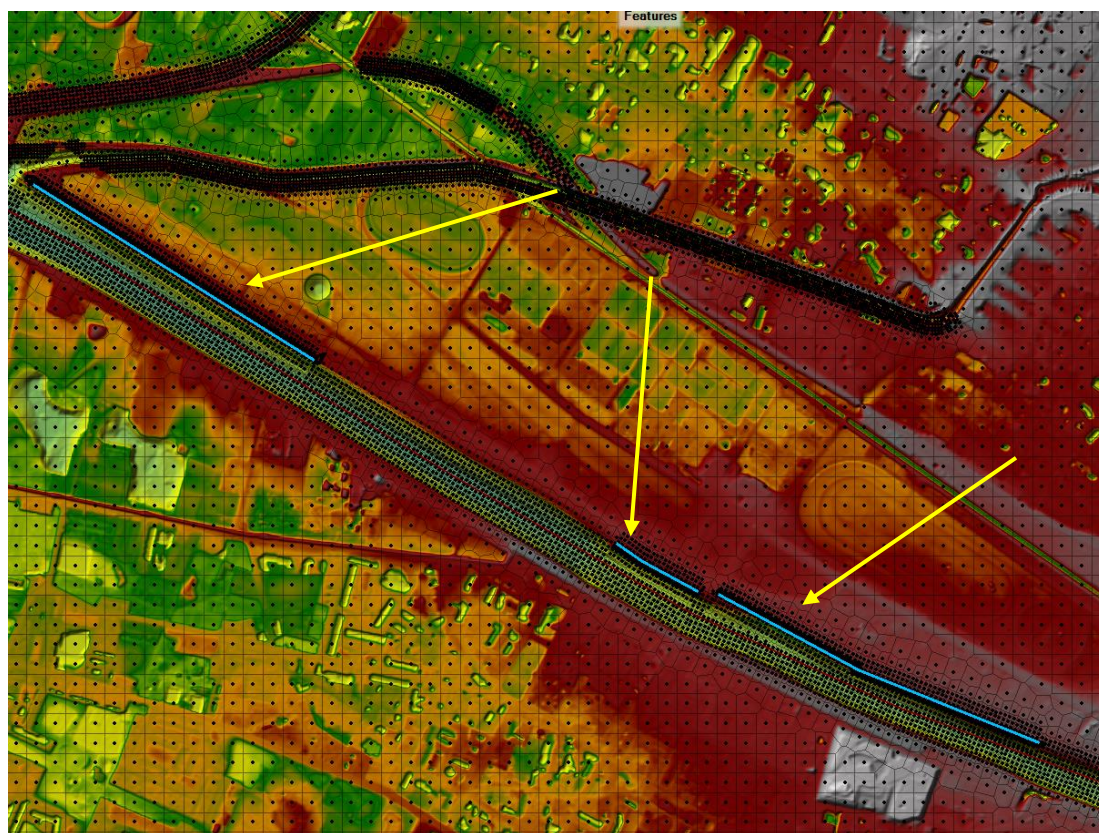


Figura 20. Posizionamento planimetrico di applicazione degli idrogrammi delle Lateral

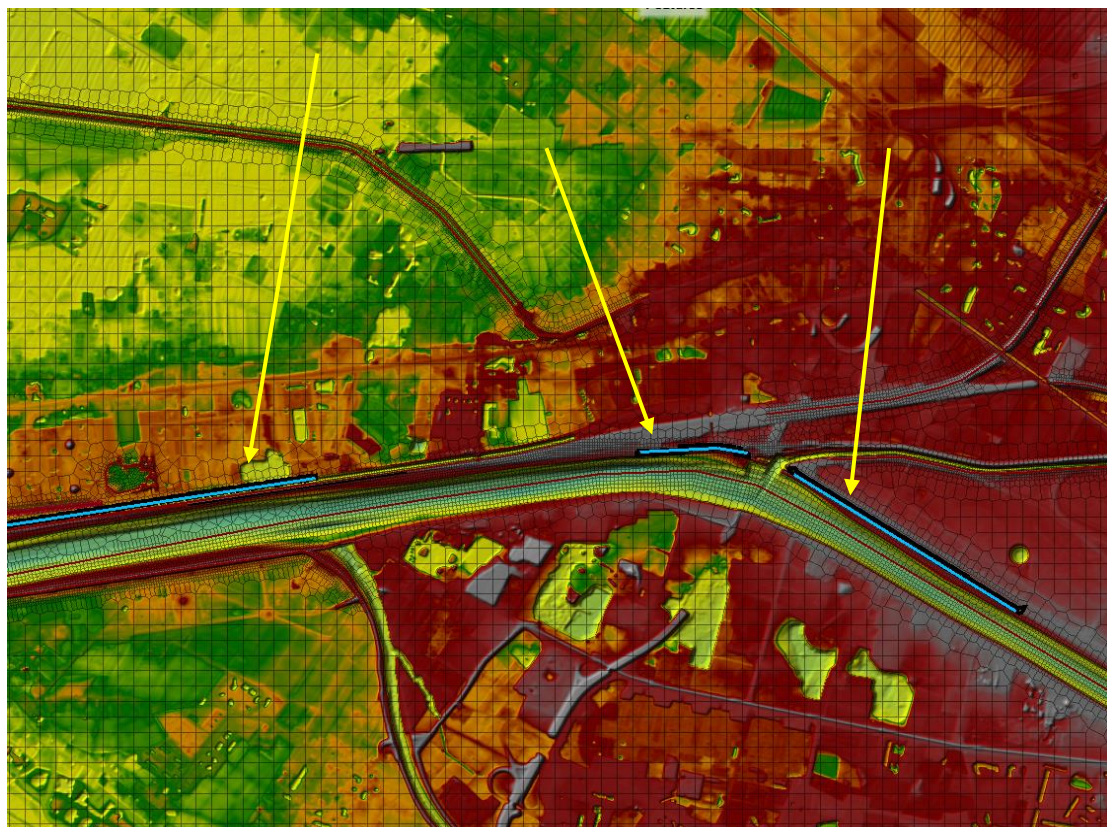


Figura 21. Posizionamento planimetrico di applicazione degli idrogrammi delle Lateral



#### 4.5 ANALISI DEI RISULTATI PER LA CONDIZIONE DELLO STATO DI FATTO

Nel presente paragrafo vengono sintetizzati i risultati ottenuti per lo scenario di simulazione nella condizione di Stato di Fatto, rimandando per le mappe di dettaglio in termini di battenti idrici e delle velocità agli elaborati specifici: FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-11-B; FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-12-B; FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-13-B e FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-21-B; FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-22-B; FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-23-B

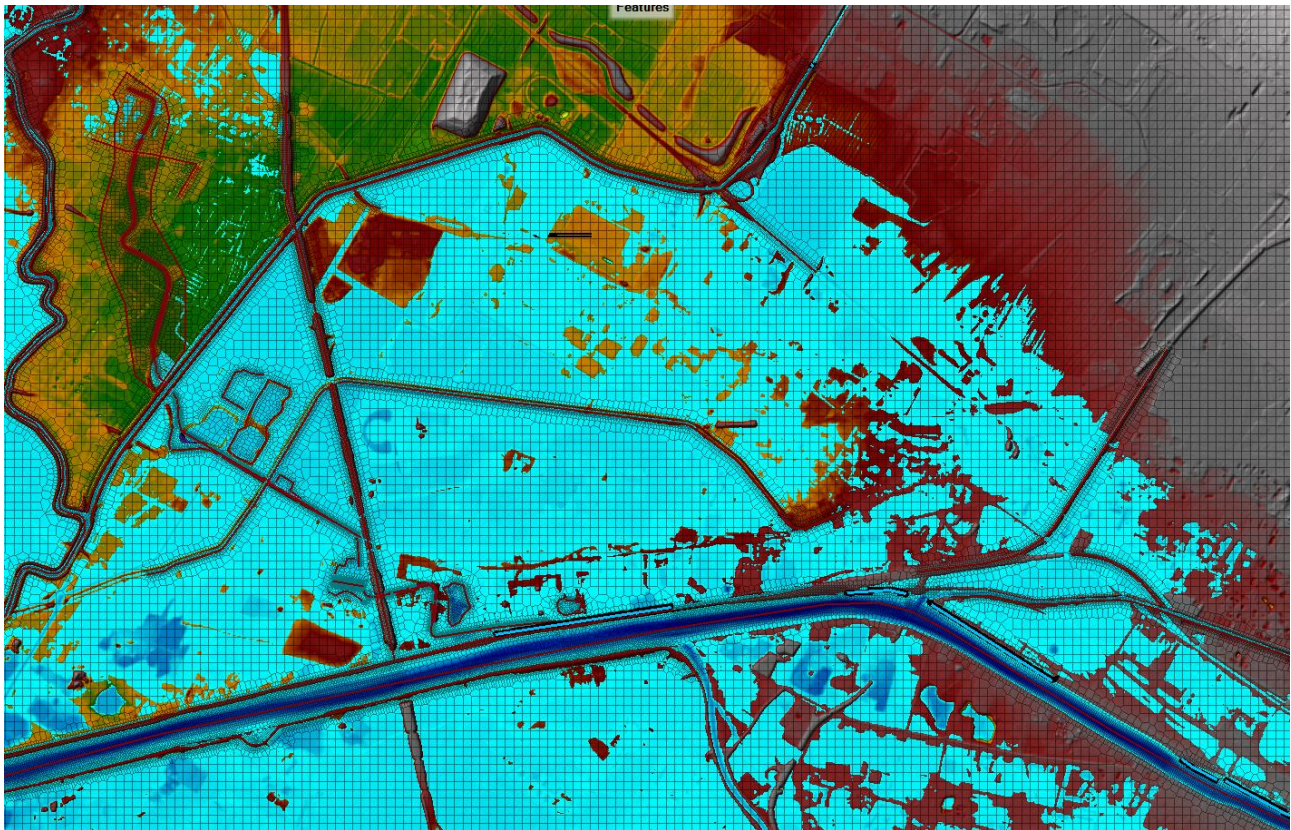


Figura 22. Scenario di inondazione di insieme

PARTE GENERALE

INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI

Relazione Idrologica - Idraulica

Risulta evidente come lo scenario simulato sia particolarmente severo sia in termini di estensione e quindi di interessamento di parti del territorio che di valori di tiranti raggiunti. Tale scenario è significativo anche nel mettere in evidenza i settori del territorio vulnerabili o meno vulnerabili per condizioni di natura orografica che quindi possono essi stessi rappresentare un condizionamento alla propagazione dei deflussi (arginature, rilevati infrastrutturali ed opere di scavalco esistenti).

Di seguito vengono mostrati i risultati di dettaglio dei valori di battente raggiunti, suddivisi per tratti di linea tranviaria per una più facile lettura:



Figura 23. Mappa dei battenti idrici tra la pk 0 e 1+350



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

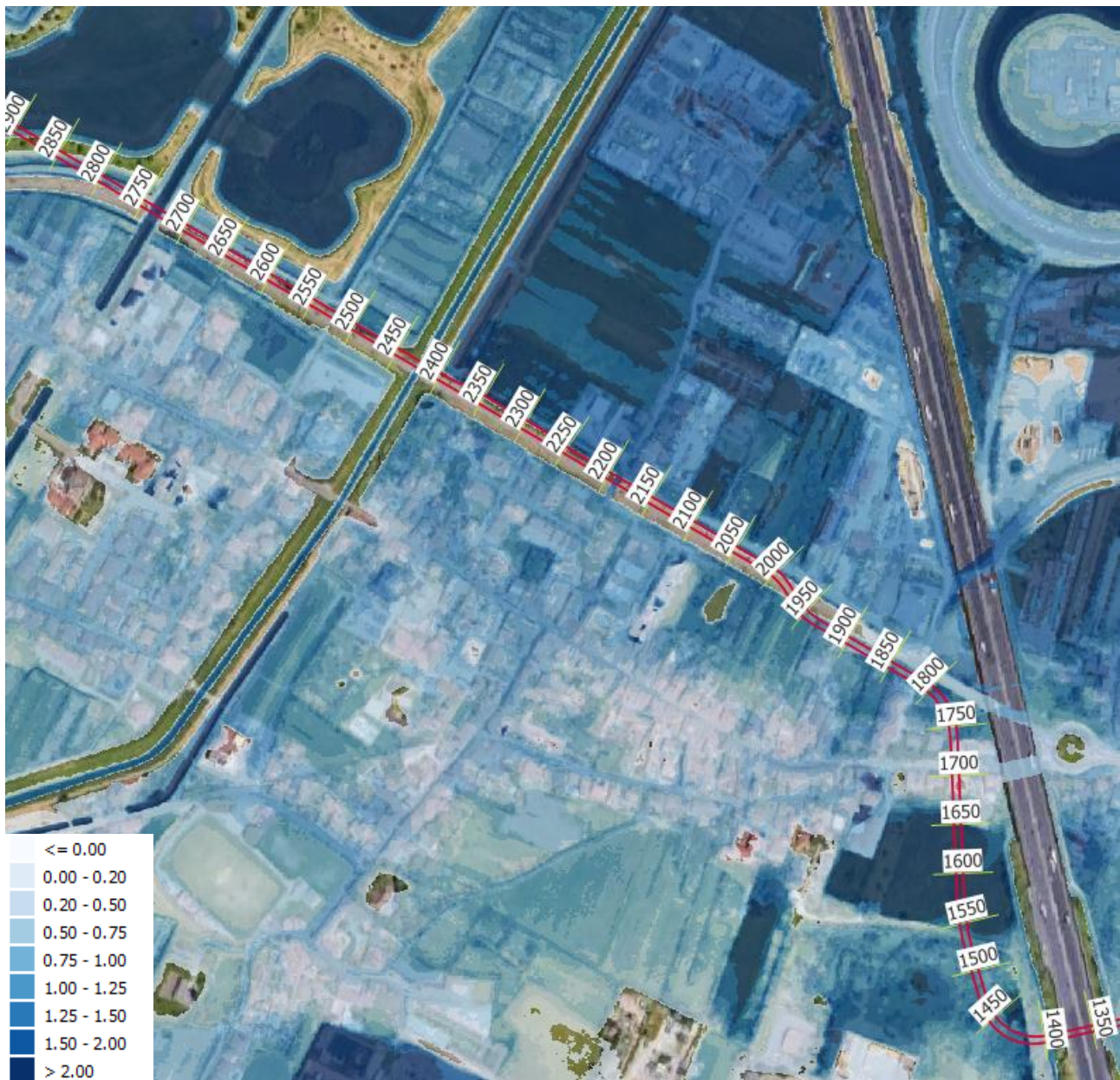


Figura 24. Mappa dei battenti idrici tra la pk 1+350 e 2+800



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 25. Mappa dei battenti idrici tra la pk 2+850 e 4+100

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 26. Mappa dei battenti idrici tra la pk 4+100 e 5+350



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

Analoga disamina viene svolta sui valori di velocità instauratisi sul territorio in corrispondenza del tracciato della tranvia.

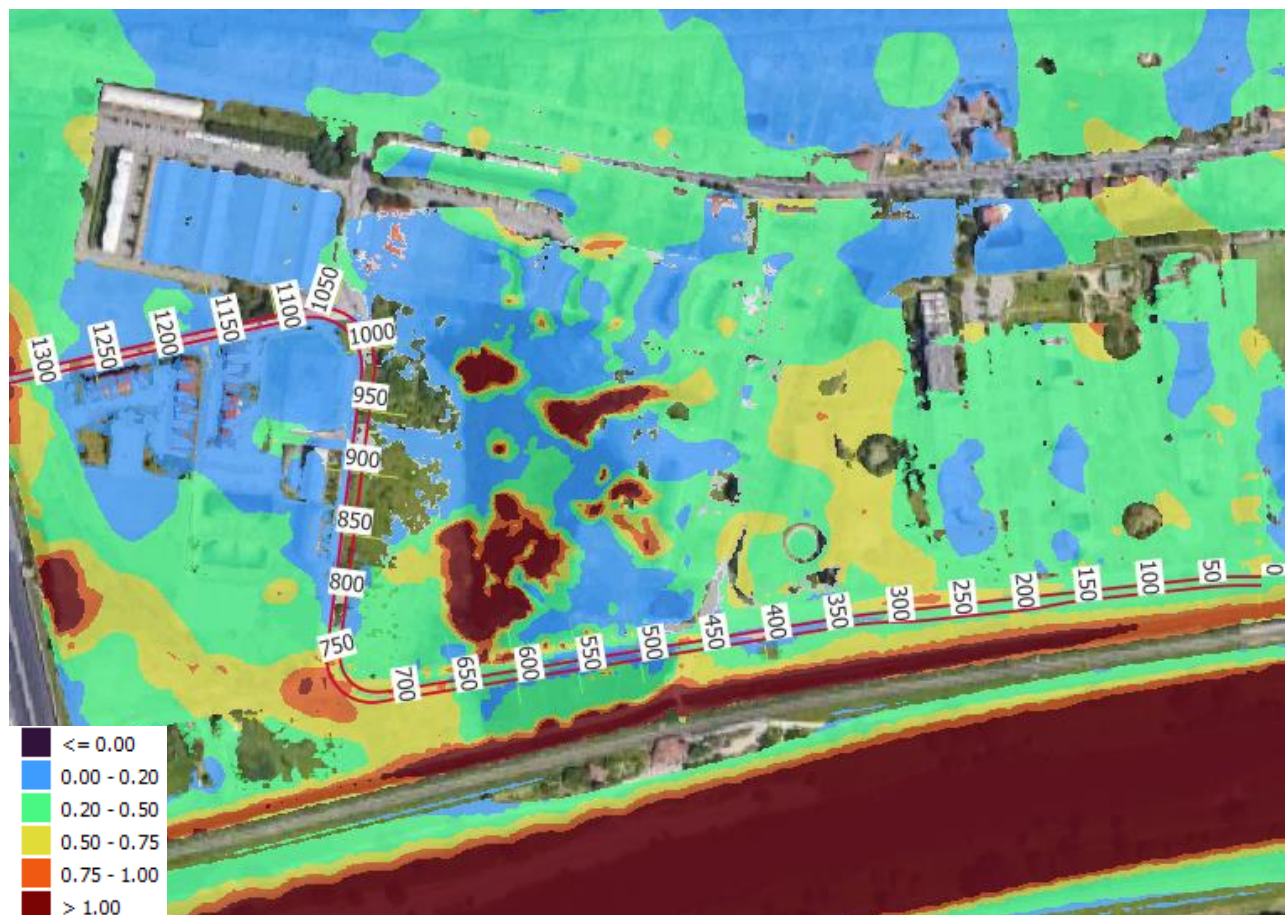


Figura 2718. Mappa delle velocità tra la pk 0 e 1+300

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

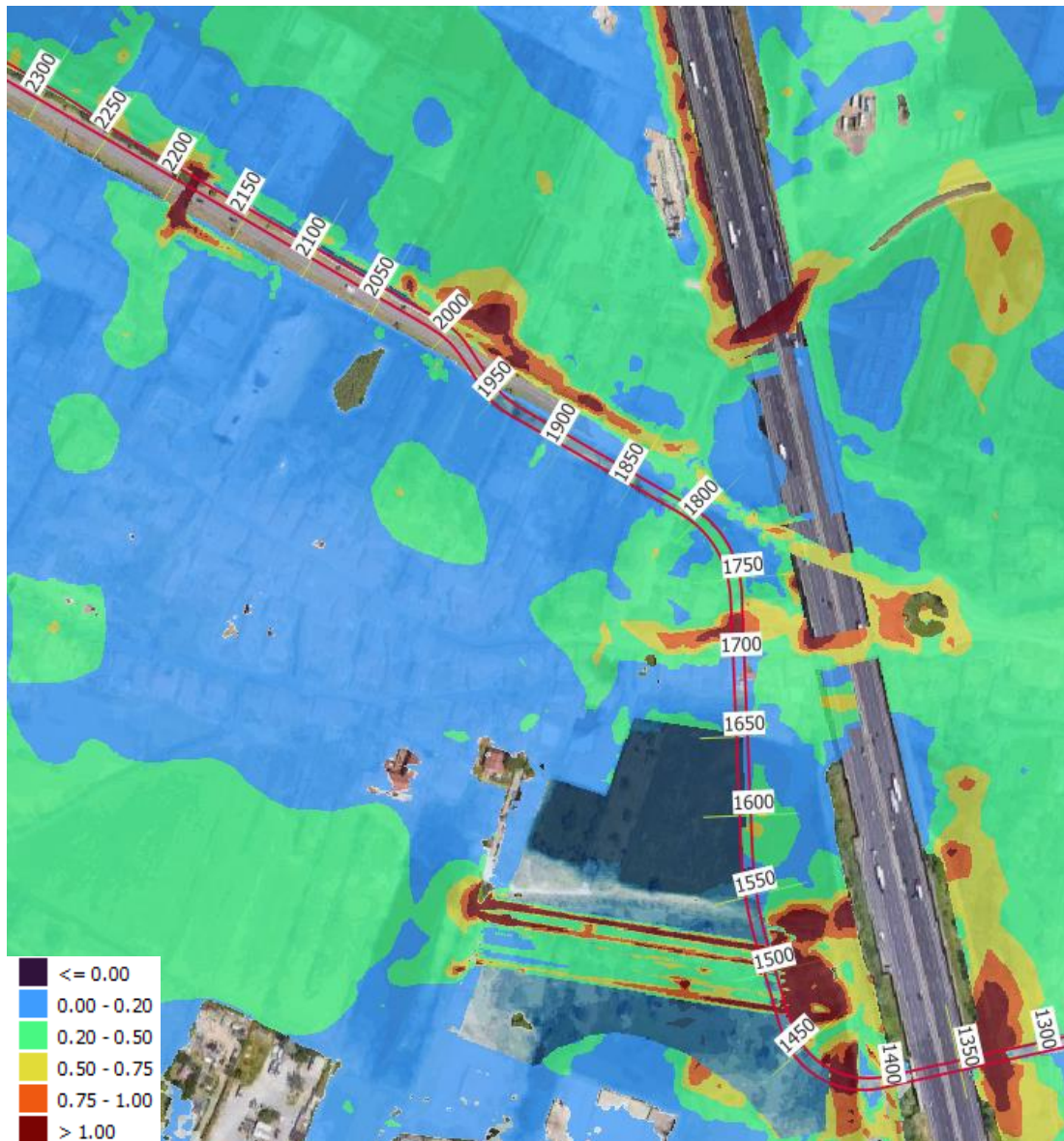


Figura 28. Mappa delle velocità tra la pk 1+350 e 2+250



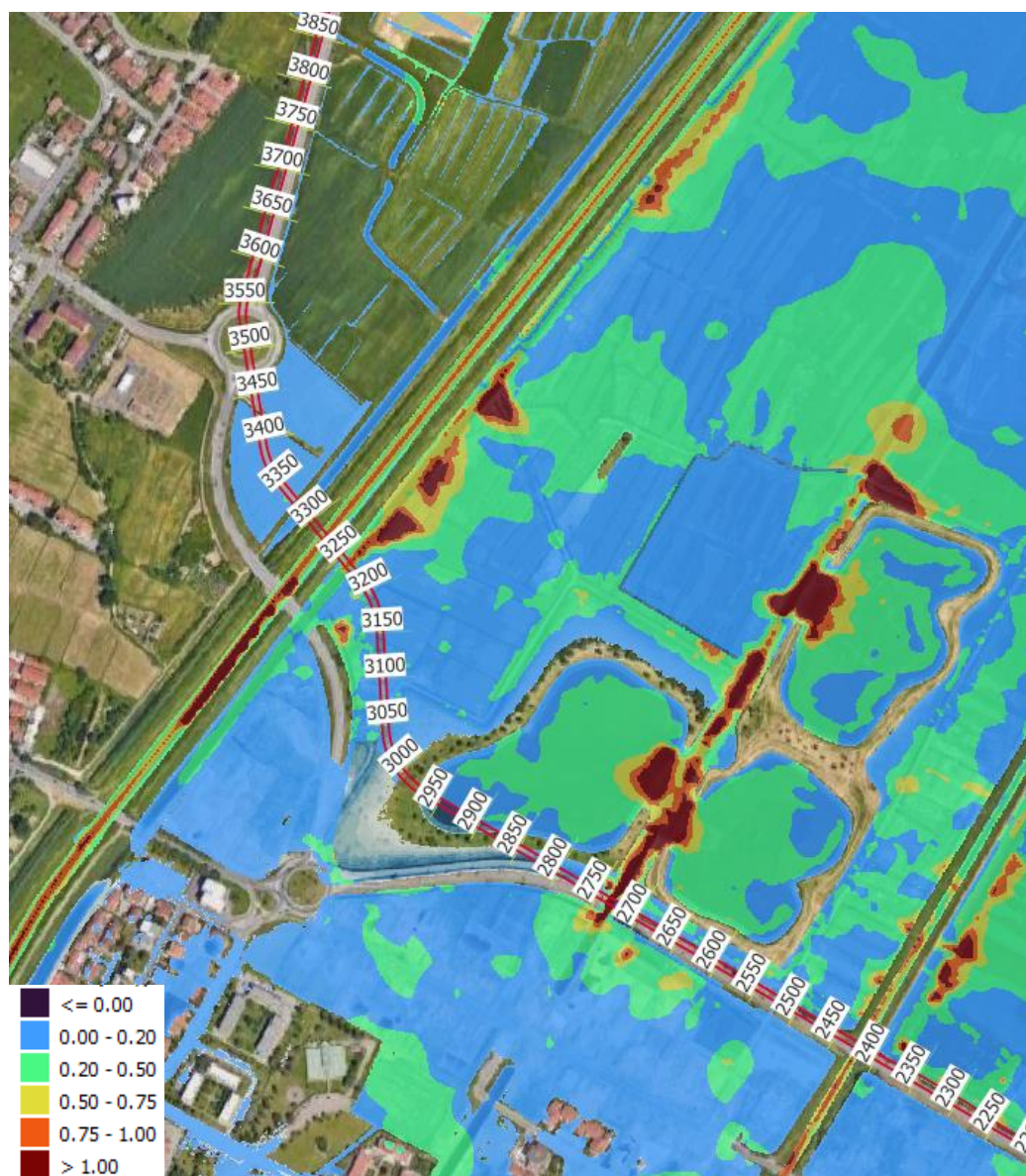


Figura 29. Mappa delle velocità tra la pk 2+250 e 3+800

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 30. Mappa delle velocità tra la pk 3+900 e 5+350



#### 4.6 GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO PER LO STATO DI PROGETTO

Nel presente paragrafo viene descritta la geometria del modello idraulico nella condizione di progetto, inserendo quindi tutte le opere previste in progetto intese sia come tutta l'opera lineare tramviaria che tutte le aree accessorie quali ad esempio i Parcheggi ed il Deposito al fine di verificare poi con simulazioni dedicate, l'inserimento della tranvia risulta non comportare un sostanziale impatto sul territorio circostante e quindi essere compatibile con la normativa vigente.

Quanto alle condizioni al contorno e le scabrezze risultano essere le medesime di quelle descritte per lo stato di fatto, pertanto si rimanda alla precedente trattazione.

La conformazione plano altimetrica delle opere in progetto è stata introdotta fedelmente nel modello numerico mediante le modifiche necessarie a ricostruire nel DTM di base le geometrie di progetto. Tale operazione ha permesso di avere uno scenario di progetto perfettamente integrato nel modello DTM dello stato di fatto avendo quindi massima coerenza sia con la descrizione del territorio che con i confronti fra le due condizioni.

Di seguito in Figura viene mostrato una sezione esemplificativa del rilevato tramviario introdotto:

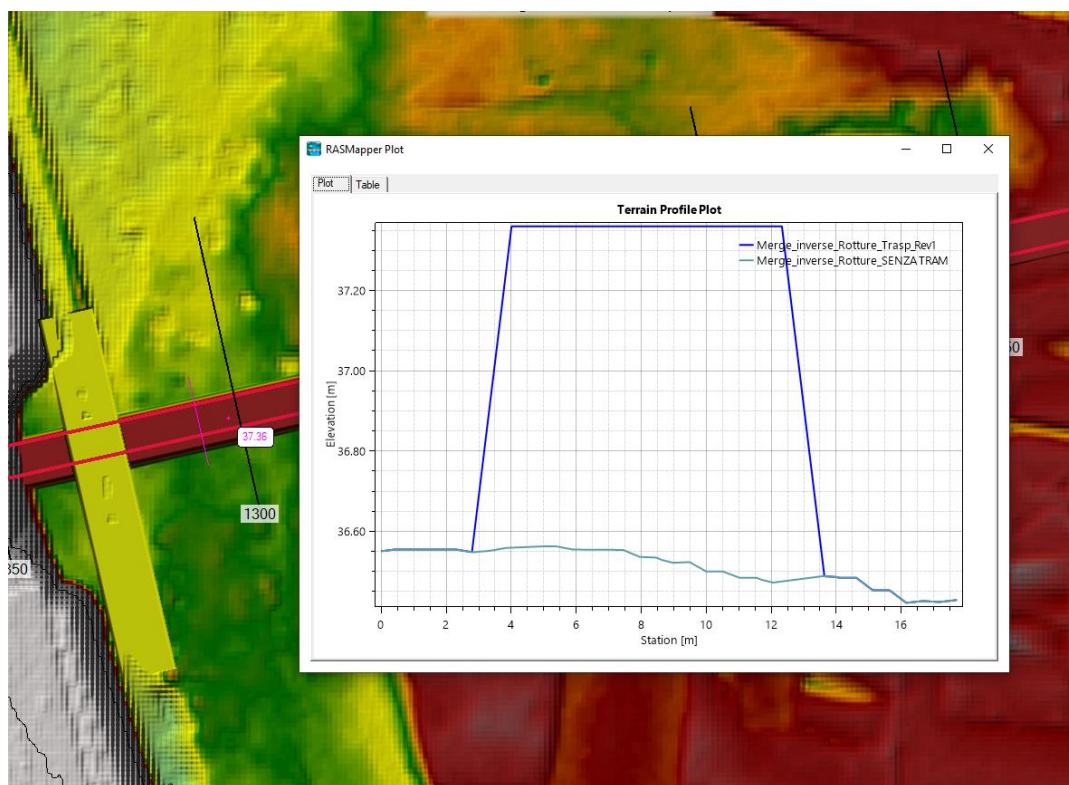


Figura 31. Sezione del rilevato tranvia impostata nel modello numerico

In questo modo, è stato possibile considerare nella modellazione idraulica, il potenziale “ostacolo” rappresentato dai rilevati in progetto.



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

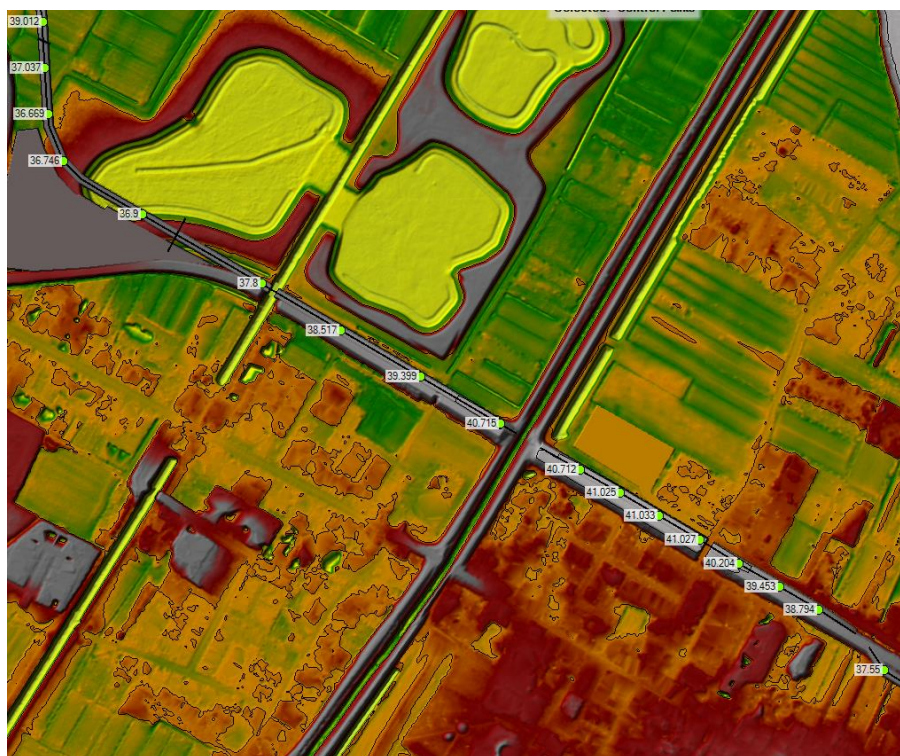


Figura 32. Sviluppo del rilevato tranvia impostato in RAS Mapper con i Ground Points



Figura 33. Sviluppo del rilevato tranvia impostato in RAS Mapper con i Ground Points

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

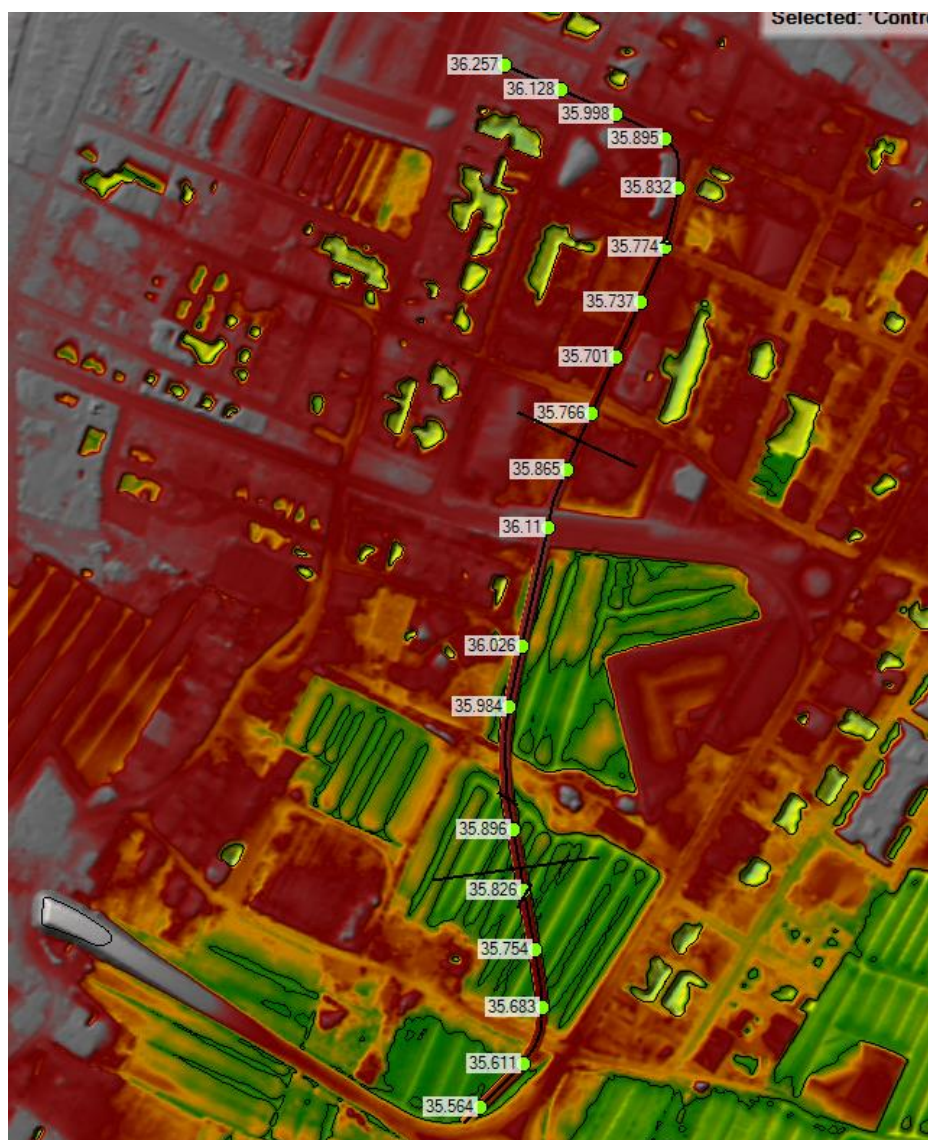


Figura 3419. Sviluppo del rilevato tranvia impostato in RAS Mapper con i Ground Points nel tratto finale

Sempre relativamente alla condizione di progetto, è stata considerata la presenza degli aerali parcheggio e del deposito della tramvia, potendoli integrare nel DTM con la medesima conformazione plano altimetrica riscontrabile nelle tavole progettuali di dettaglio.



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 205. Planimetria delle opere di parcheggio e deposito previste in progetto

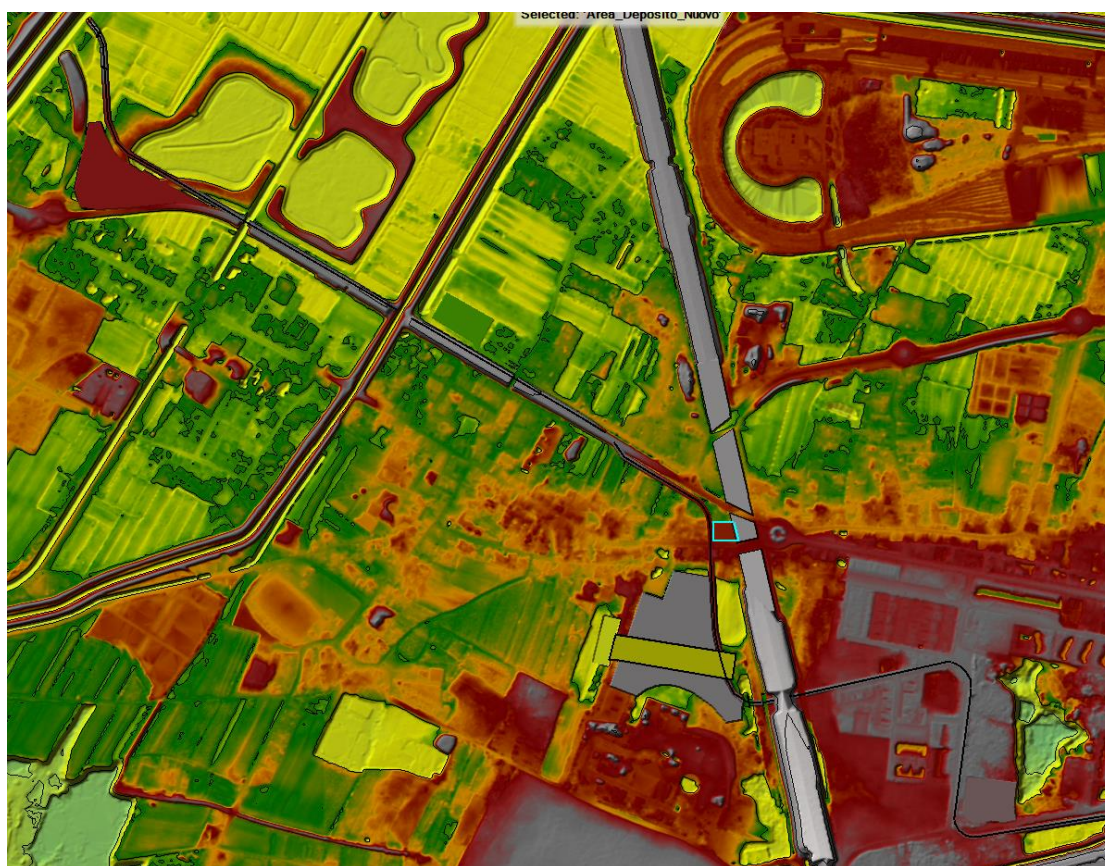


Figura 36. Opere di parcheggio e deposito previste in progetto ed inserite come modifica del DTM



#### 4.7 INSERIMENTO OPERE DI RICONNESSIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO

Una volta definite le condizioni idrodinamiche della corrente allo stato di progetto in termini di valori: dei battenti idrici, delle velocità e delle direzioni prevalenti dei flussi idraulici che segue la corrente nel suo ruscellamento sul territorio nella condizione ante operam, è stato avviato un processo iterativo di confronto puntuale, nei diversi tratti di tracciato tranviario, fra le condizioni ante operam e post operam, che ha portato ad individuare la localizzazione e la tipologia di opere idrauliche in grado di garantire un efficace ed efficiente riconnessione idraulica del territorio dove questa poteva essere in qualche misura alterata dalla presenza delle opere in progetto.

La prima importante opera, già individuata in fase di PFTE, è rappresentata dalla riconnessione idraulica dell'area del deposito a servizio della tranvia in direzione est-ovest, come mostrato in Figura 21, realizzata mediante la posa di 5 scatolari di dimensione 2.4x2.2 metri con quota di scorrimento pari a 34.15 mslm. Per i dettagli dell'opera si rimanda alla tavola specifica FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-06-A.

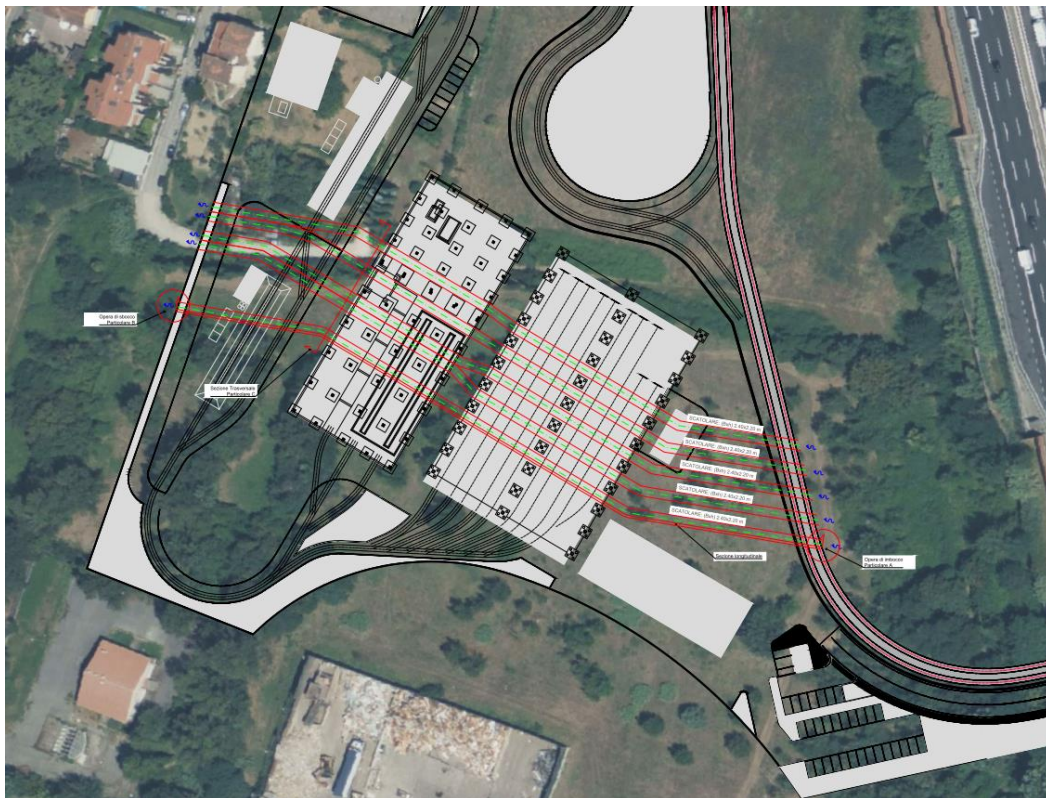


Figura 218. Opere di riconnessione del rilevato tranviario in corrispondenza del Deposito

Particolare C: Sezione trasversale  
Scala 1:10

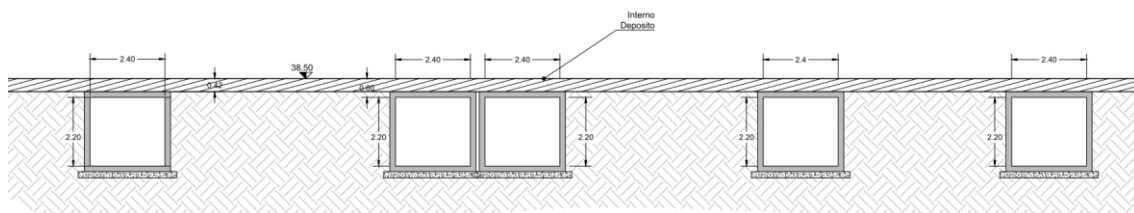


Figura 22. Sezione trasversale rappresentativa dei 5 manufatti scatolari di trasparenza al di sotto del Deposito

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

A questa si aggiunge l'opera di riconnessione, in direzione sud-nord, anche questa già individuata in fase di PFTE, che prevede l'inserimento di 10 elementi circolari di diametro pari a 1 m posti a quota 35.45 mslm in uscita dal sottopasso dell'autostrada e compresi nella fascia fra Deposito e rilevato autostradale stesso.

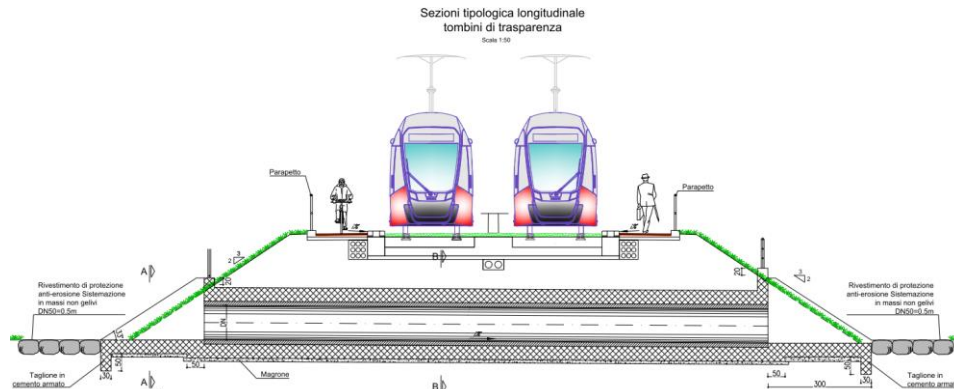


Figura 39 Tipologico dei manufatti di trasparenza del rilevato

Oltre a questi interventi più significativi da un punto di vista della dimensioni dei manufatti impiegati, sono stati inseriti manufatti di trasparenza idraulica realizzati mediante tombini in cls con diametro DN800 di attraversamento del rilevato tranviario posti a piano campagna e localizzati dove le porzioni di territorio attraversato dal rilevato tranviario risultavano ancora non completamente riconnesse, pur avendo comunque previsto in progetto il ripristino della continuità idraulica di tutte le scoline o anche fossi di minor entità eventualmente tagliati dalle opere in progetto.

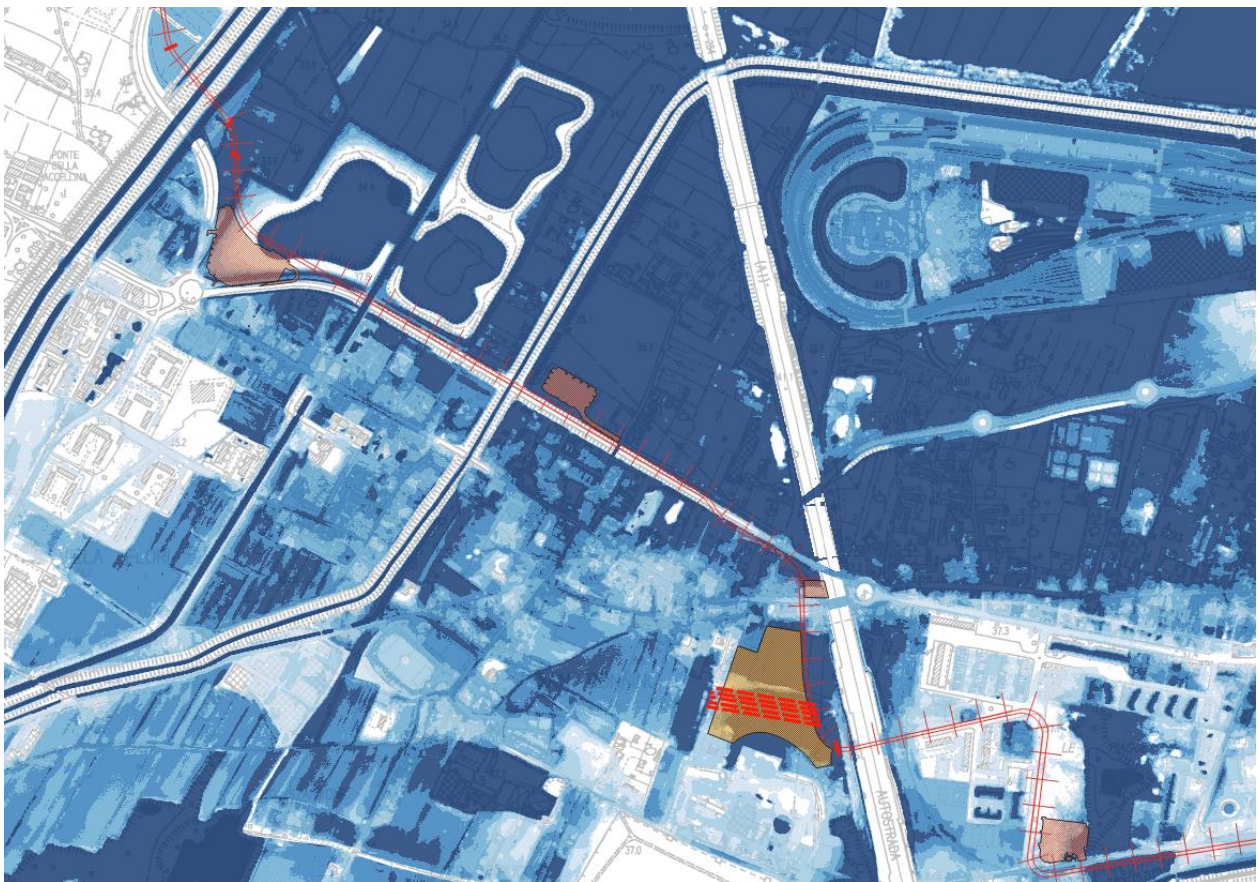


Figura 40. Localizzazione dei manufatti di trasparenza del rilevato



#### 4.8 ANALISI DEI RISULTATI PER LO STATO DI PROGETTO

Una volta fissata la configurazione di progetto, intesa come assetto del territorio con l'inserimento delle opere tranviarie unitamente all'inserimento delle opere idrauliche di riconnessione del territorio è stata sviluppata la simulazione conclusiva che fotografa e dettaglia lo scenario idrologico-idraulico già rappresentato nella configurazione ante opera, ma questa volta mostrato nella condizione post operam.

Di seguito vengono mostrati i risultati della simulazione idraulica nella condizione di progetto, rimandando agli elaborati specifici per il dettaglio FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-14-B, FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-15-B, FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-16-B

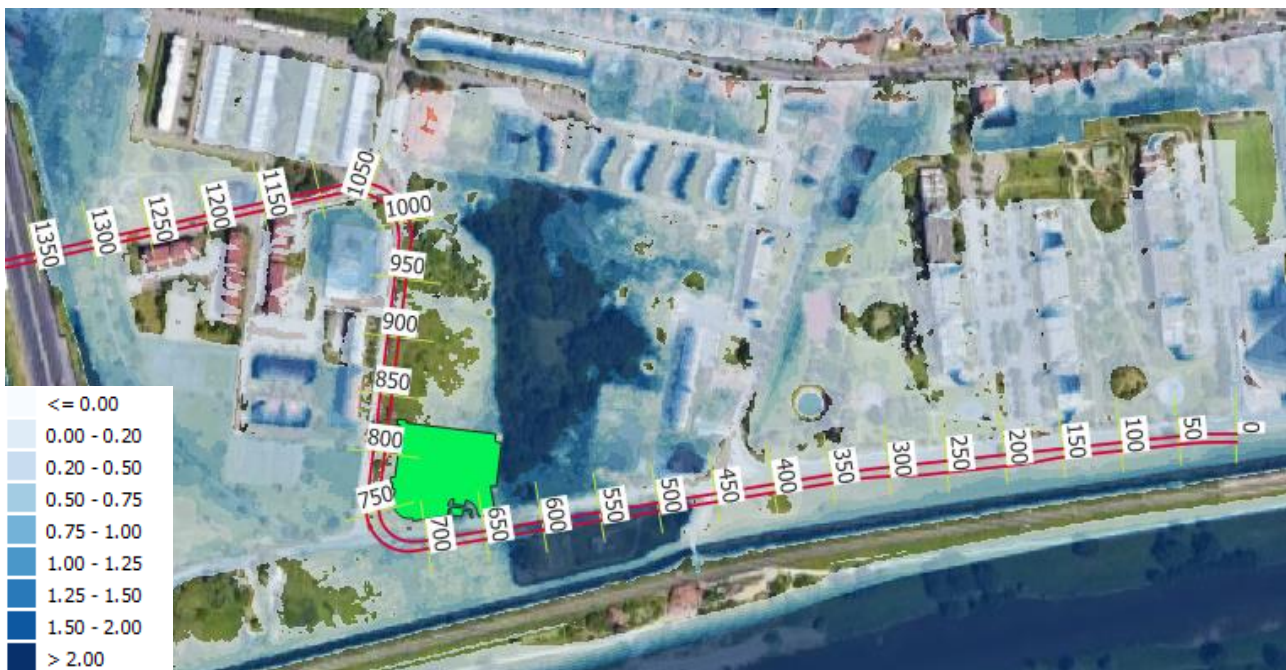


Figura 41. Mappa dei battenti idrici tra la pk 0 e 1+350



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

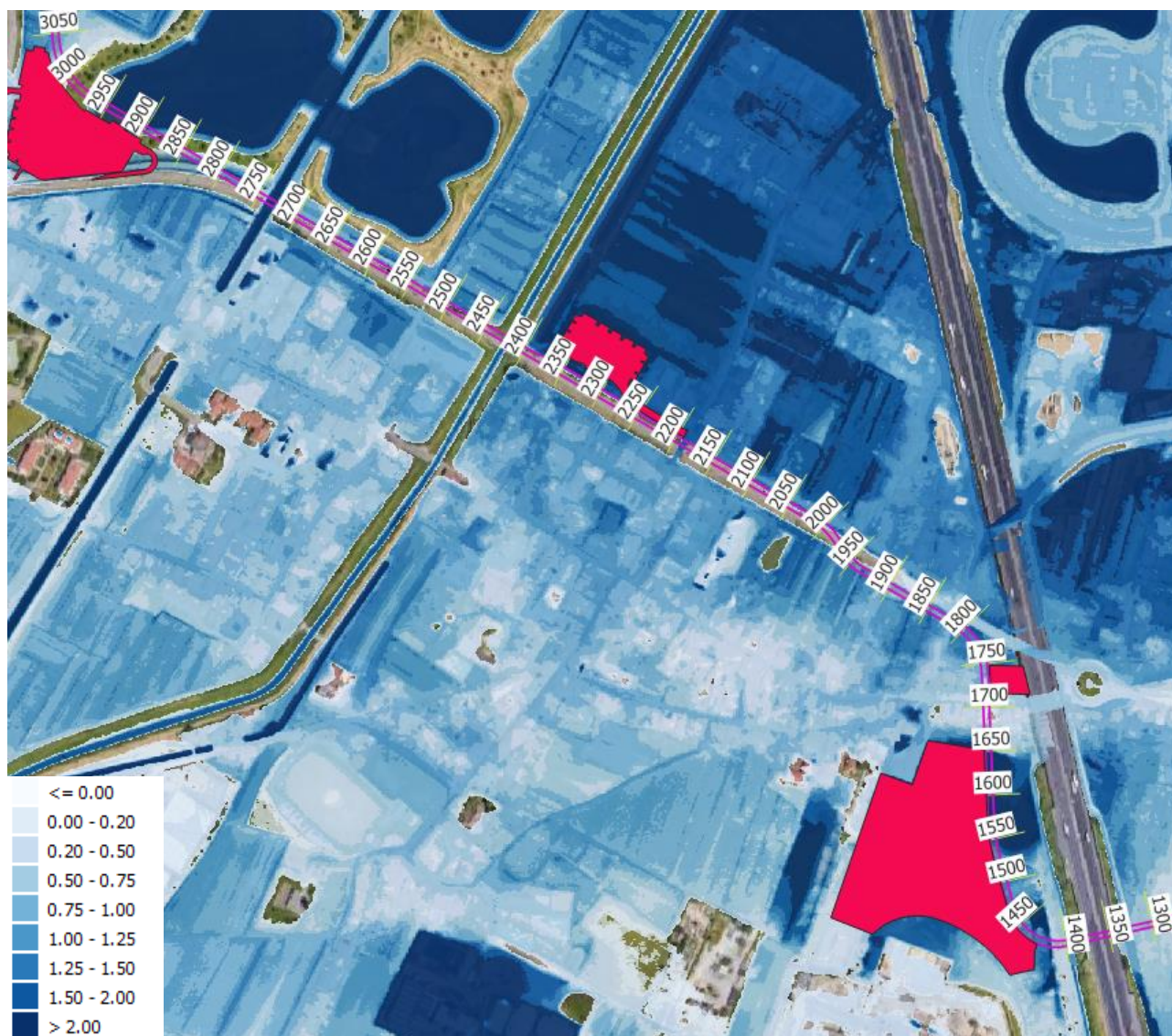


Figura 42. Mappa dei battenti idrici tra la pk 1+350 e 3+150

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 43. Mappa dei battenti idrici tra la pk 3+150 e 3+950



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 44. Mappa dei battenti idrici tra la pk 3+950 e 5+350



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

Analogamente a quanto mostrato in merito ai valori d battente, vengono riportate di seguito le mappe di dei valori delle velocità per lo stato di progetto suddivise per tratti di tracciato tranviario, rimandando anche per queste alle tavole di dettaglio FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-24-B, FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-25-B, FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-26-B

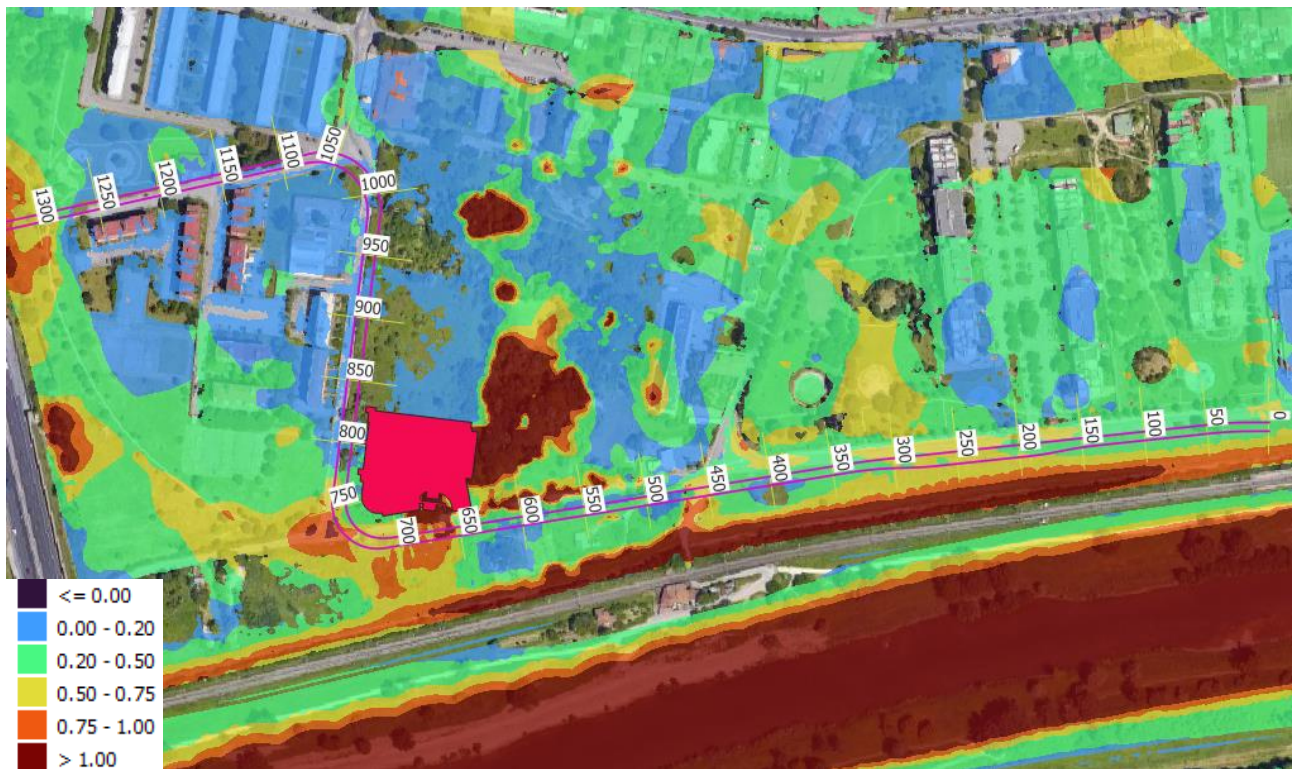


Figura 45. Mappa delle velocità tra la pk 0 e 1+300

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

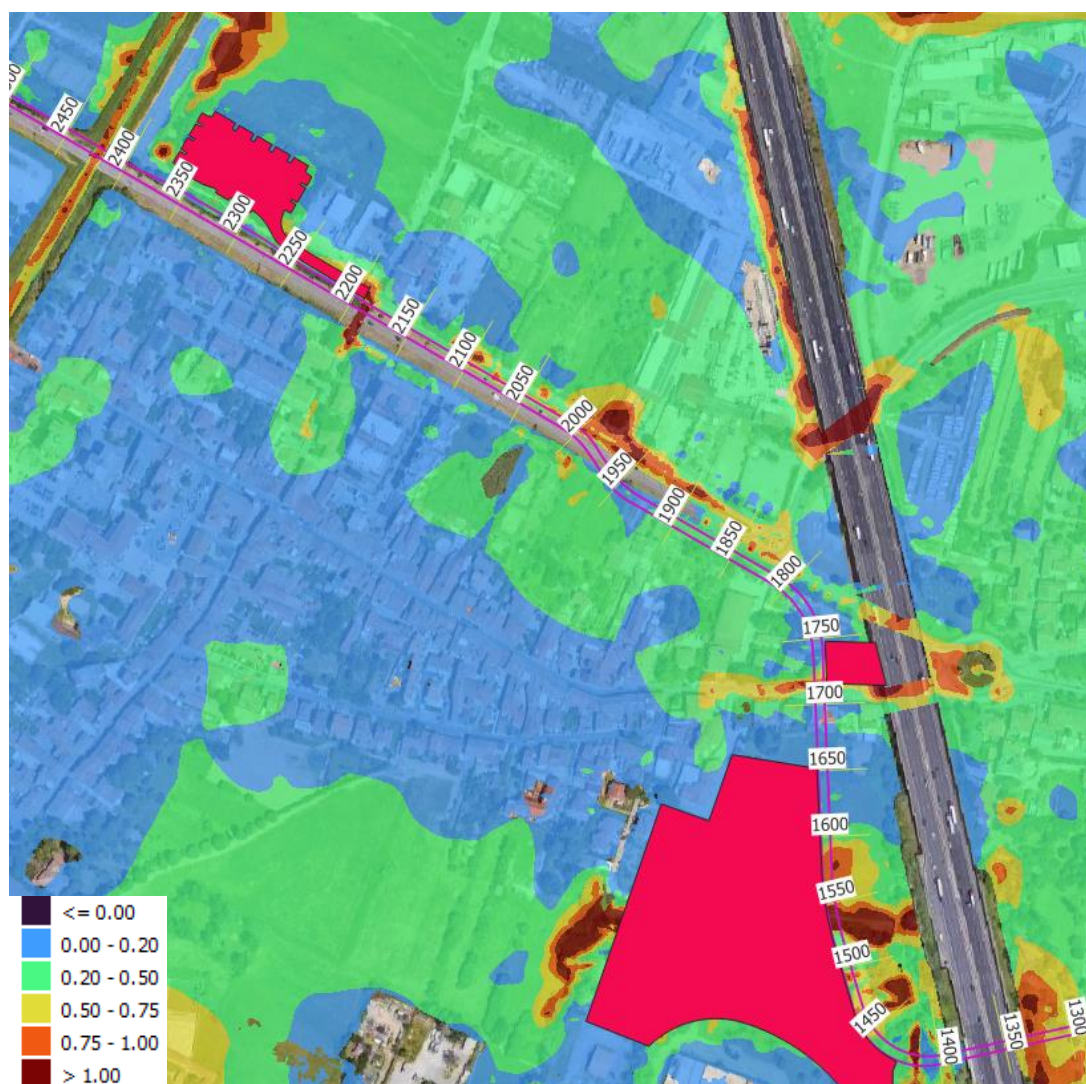


Figura 46. Mappa delle velocità tra la pk 1+300 e 2+450



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

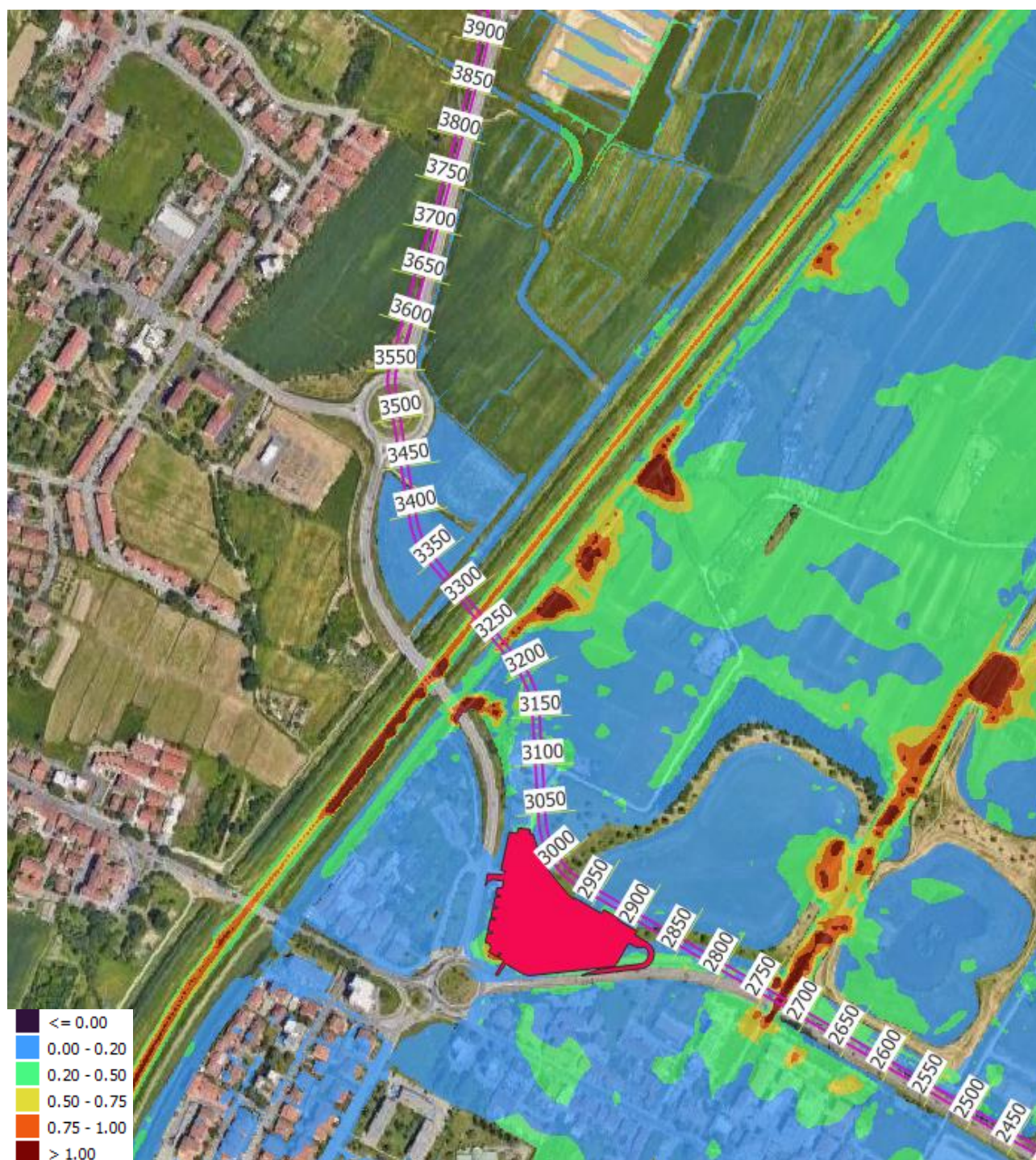


Figura 47. Mappa delle velocità tra la pk 2+450 e 3+900



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 48. Mappa delle velocità tra la pk 3+950 e 5+350



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

Nella condizione di progetto, è stato inoltre tenuto in conto anche dell'inserimento della *Vasca del 4° settore del sistema San Donnino*, che venendo direttamente connessa al reticolo e svuotata a gravità nello stesso, diventa un elemento idraulicamente rilevante alla dinamica idraulica dell'alveo. Il 4° settore del Sistema San Donnino viene realizzato per assecondare la necessità di prevedere delle volumetrie di compenso al volume sottratto alla libera esondazione dalla presenza delle opere in progetto in rilevato, per la cui disamina di dettaglio si rimanda al successivo paragrafo 5.2.

Il modello digitale del terreno è stato modificato per considerare il funzionamento rappresentato nell'immagine seguente.

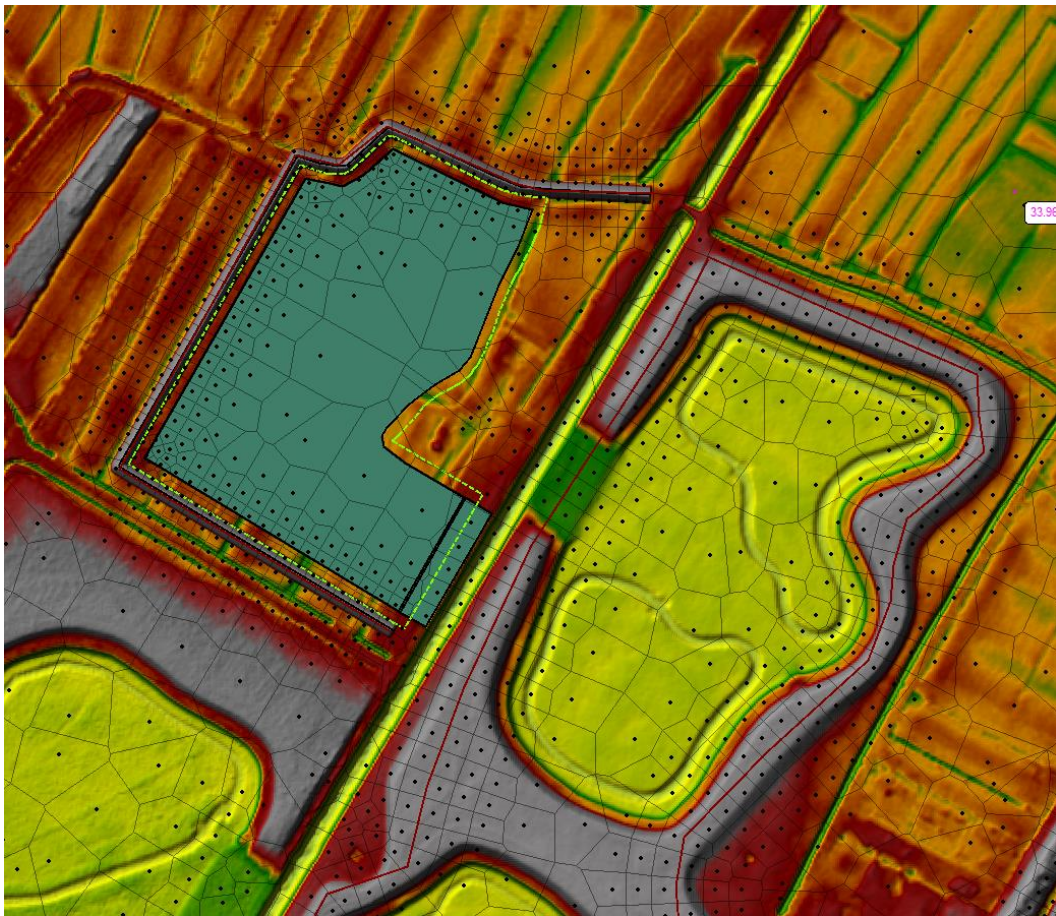


Figura 49. Particolare del modello digitale del terreno con presenza della Vasca 4



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

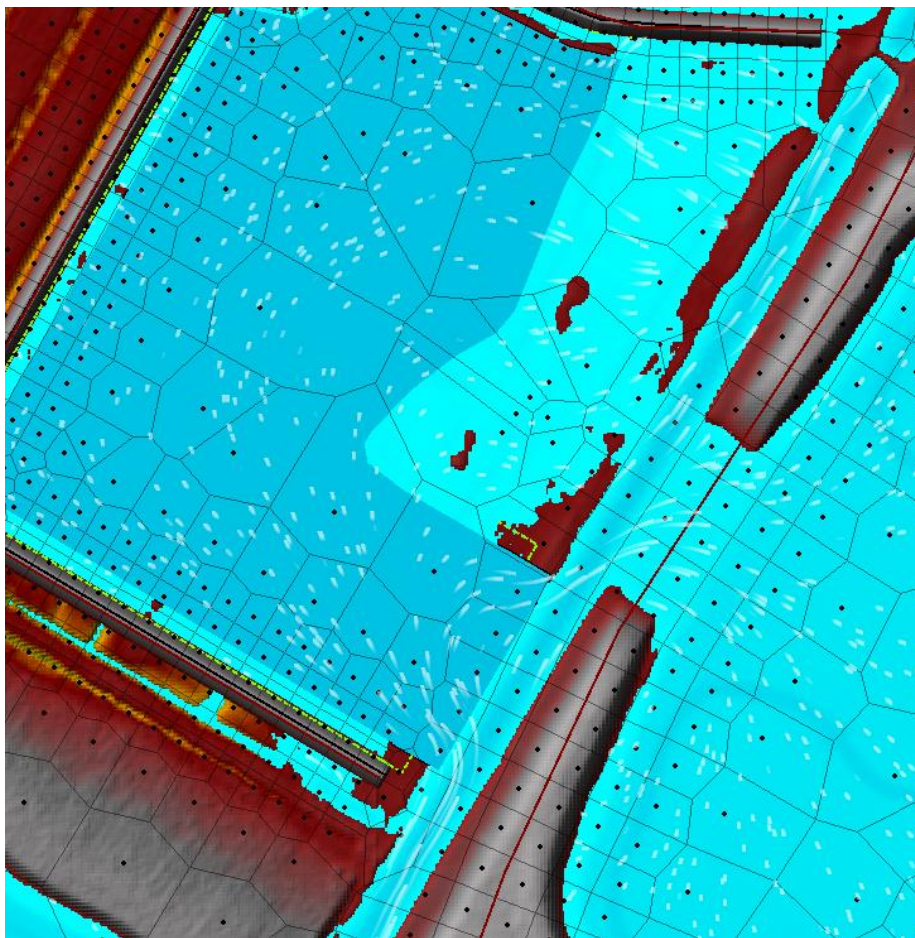


Figura 50. Andamento delle linee di corrente in fase di riempimento della Vasca del 4° settore

Come visibile nell'immagine precedente, si verifica il riempimento della Vasca 4 San Donnino seguendo l'andamento Sud-Nord attraverso il canale centrale.

Nelle fasi progettuali successive si svilupperà il dettaglio delle opere idrauliche necessarie alla connessione idraulica dell'invaso al Coll. Principale Acque Basse.

#### 4.9 CONFRONTO DEI RISULTATI TRA LO STATO DI FATTO E DI PROGETTO

Una volta ricostruito lo scenario completo allo stato di progetto, per effettuare un confronto di dettaglio fra le due condizioni ante e post operam, valutando numericamente, quindi precisamente, per ogni cella del dominio di calcolo le differenze in termini di tirante idrico fra le due condizioni, è stata eseguita una procedura definita comunemente *Grid Difference*, di cui di seguito si riportano i risultati.

Si rimanda anche per questo alle tavole di dettaglio che sono state ricavate per l'intero tratto tranviario, come già fatto per i comuni tematismi (Battenti e Velocità) prodotti per analisi di confronto in ambito di esondazioni: FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-31-C, FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-32-C, FL42-D-T-II-II-01-EGG-PL-33-C.

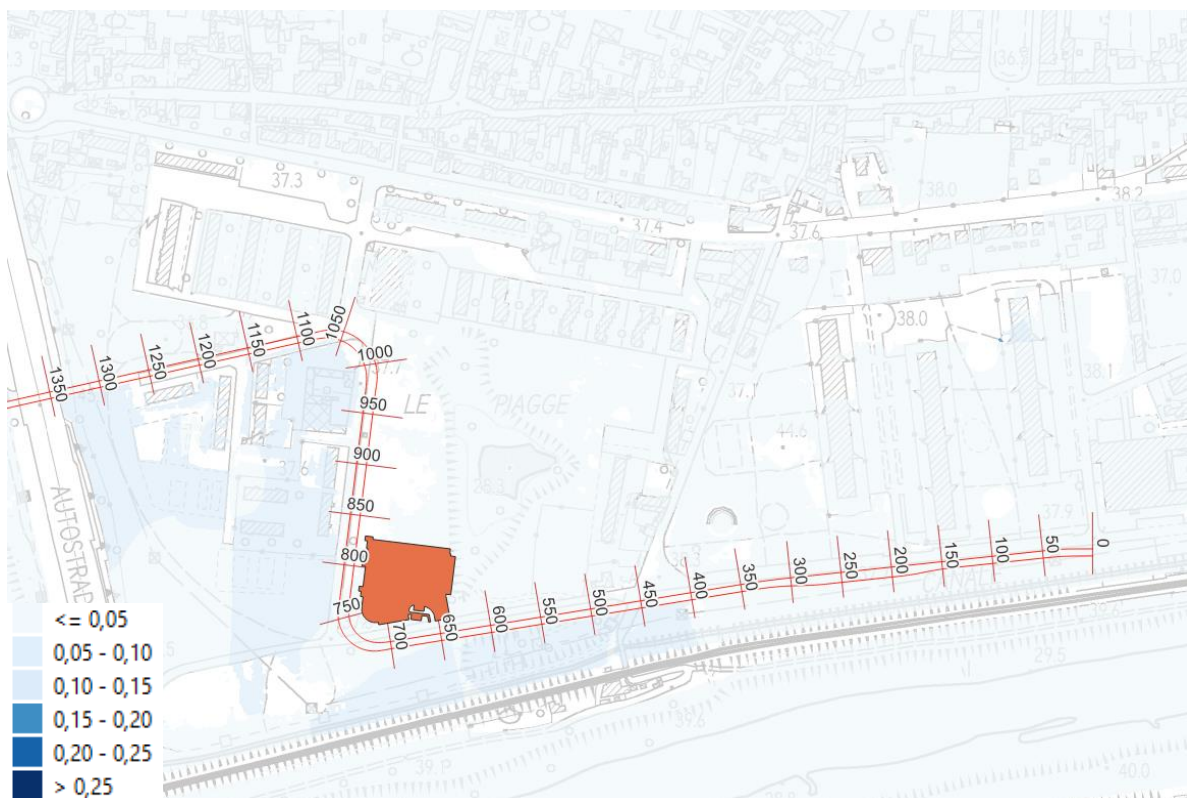


Figura 51. Mapa del Grid Difference tra la pk 0 e 1+350



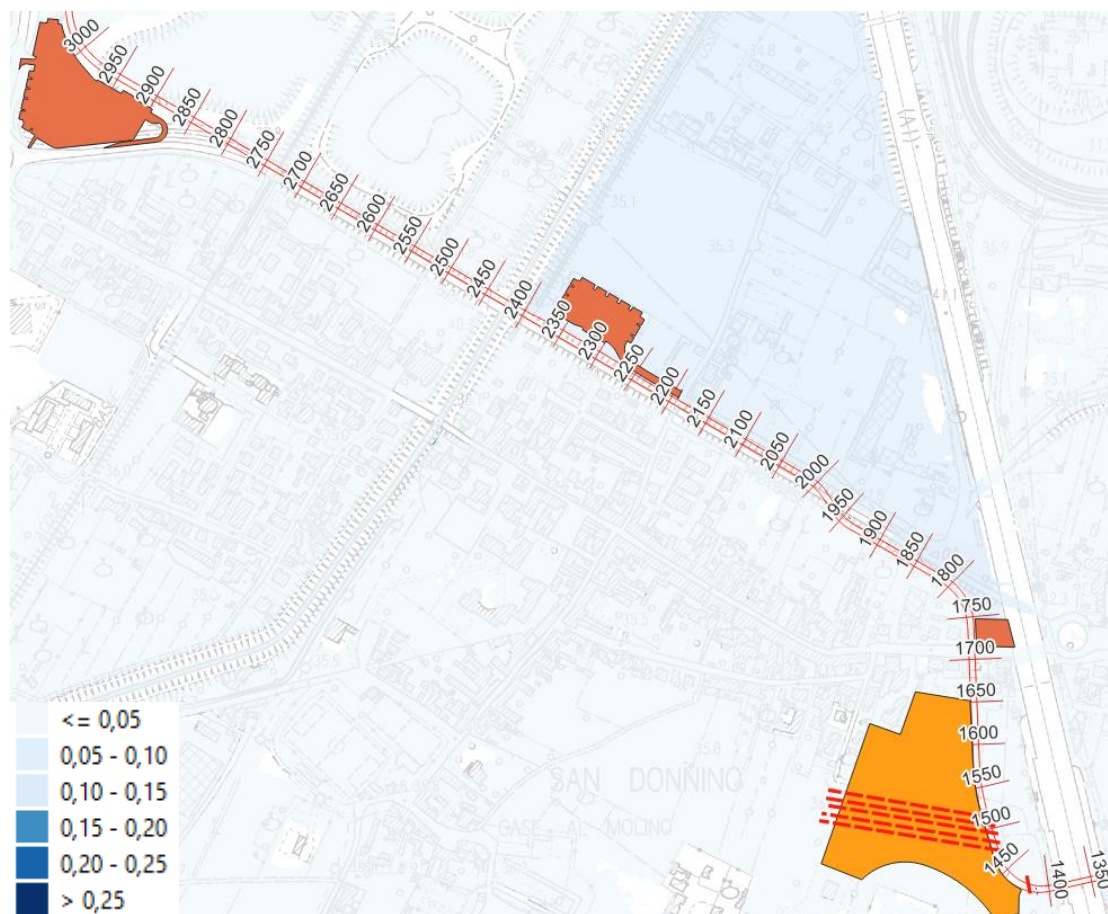


Figura 23. Mappa del Grid Difference tra la pk 1+350 e 3+000

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

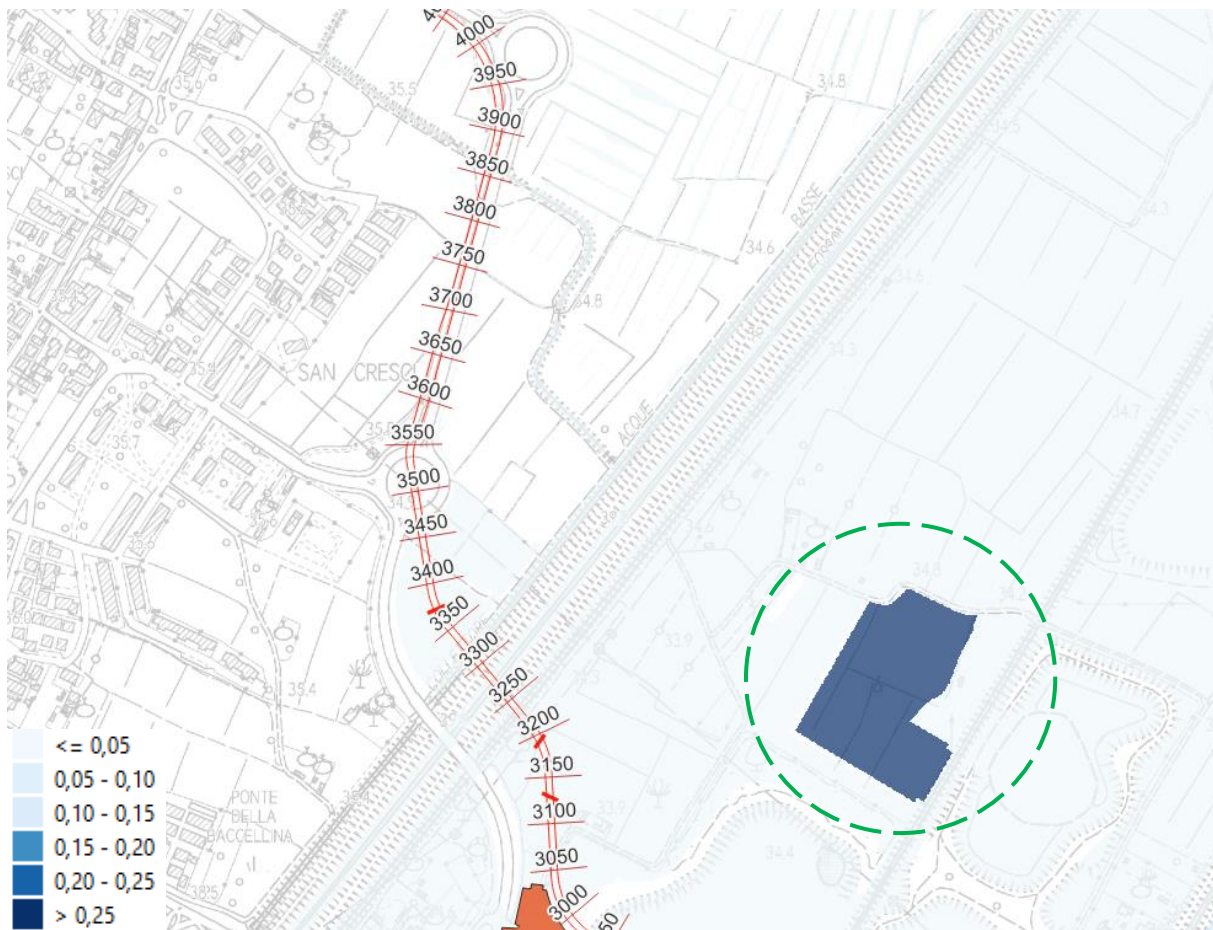


Figura 24. Mappa del Grid Difference tra la pk 3+000 e 4+000

La presenza del 4° settore della Casse del Sistema S. Donnino viene efficacemente messa in evidenza dal cromatismo di colore scuro, in cui si nota come le differenze rispetto allo stato ante operam (in assenza di scavo) siano, come ovvio, ben superiori ai 25cm.



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

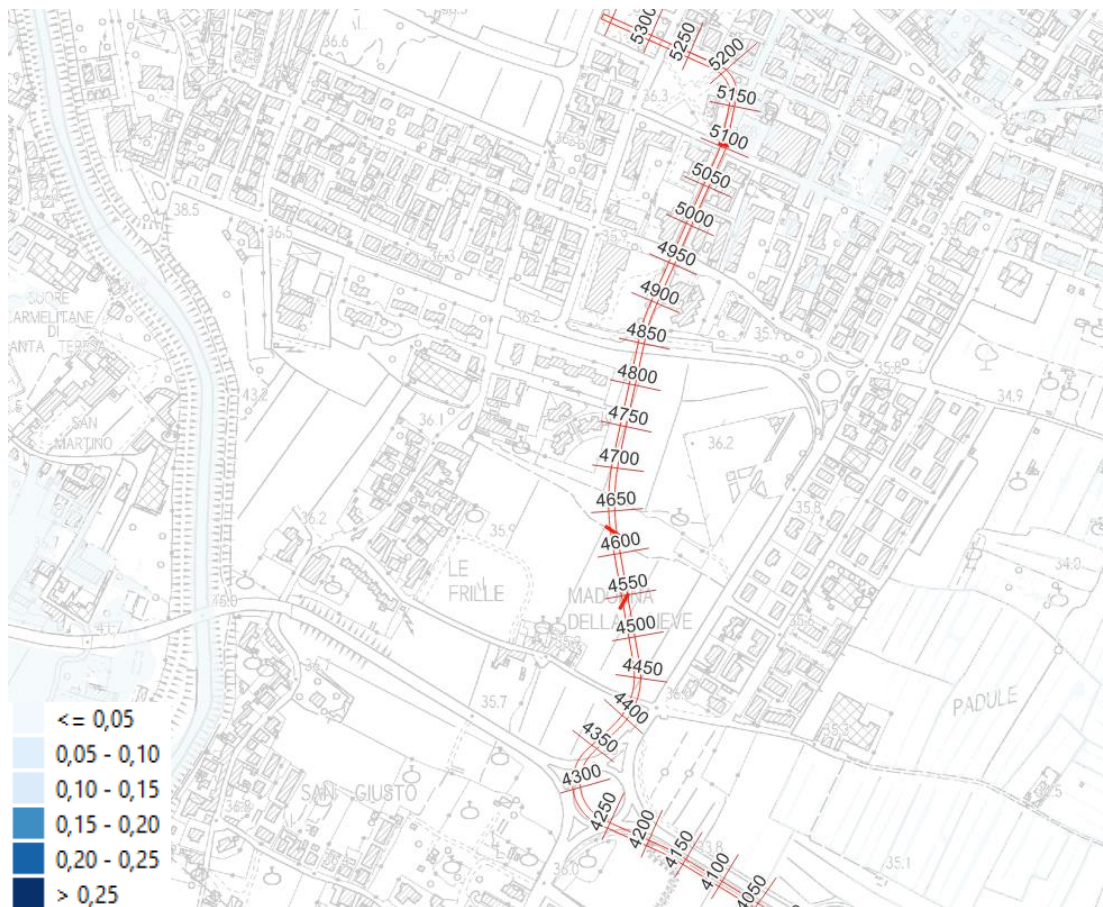


Figura 25. Mappa del Grid Difference tra la pk e 4+000 e 5+350

Come esplicitato nel capitolo 4 al paragrafo 4.4, in cui è stata fatta ampia disamina delle condizioni al contorno adottate, il confronto fra i regimi idraulici instauratisi nelle condizioni ante e post operam è stato svolto prendendo in esame la ricostruzione di uno scenario alluvionale particolarmente severo per il territorio: considerando portate con TR200 e tutte le portate originate dai sormonti arginali evidenziate nel modello di riferimento “Piana Fiorentina”. Tale disamina ha permesso di definire così con più accuratezza dove e quali opere idrauliche prevedere per rendere la tranvia assolutamente sostenibile e compatibile rispetto al rischio idraulico potenzialmente indotto.

Dall’analisi delle mappe ottenute dall’applicazione della metodologia definita “Grid Difference” redatte con sensibilità di 5cm, è possibile notare come le differenze in termini di battenti idrici tra lo stato di fatto e di progetto, lungo tutto il tracciato della tranvia risultano essere minime, con valori sempre inferiori ai 5 cm, pertanto considerabili trascurabili.

In corrispondenza della zona indicata nell’immagine seguente è possibile notare valori leggermente maggiori nell’ordine dei 9 cm, (comunque sempre inferiori ai 10cm considerabile in generale quale valore soglia per la tolleranza delle discretizzazioni numeriche operate da modelli di questo tipo) a fronte però di tiranti che allo stato di fatto assumevano valori nell’ordine dei 2m; tale differenza ancor più in considerazione delle condizioni dello stato di fatto è da ritenersi accettabile.

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

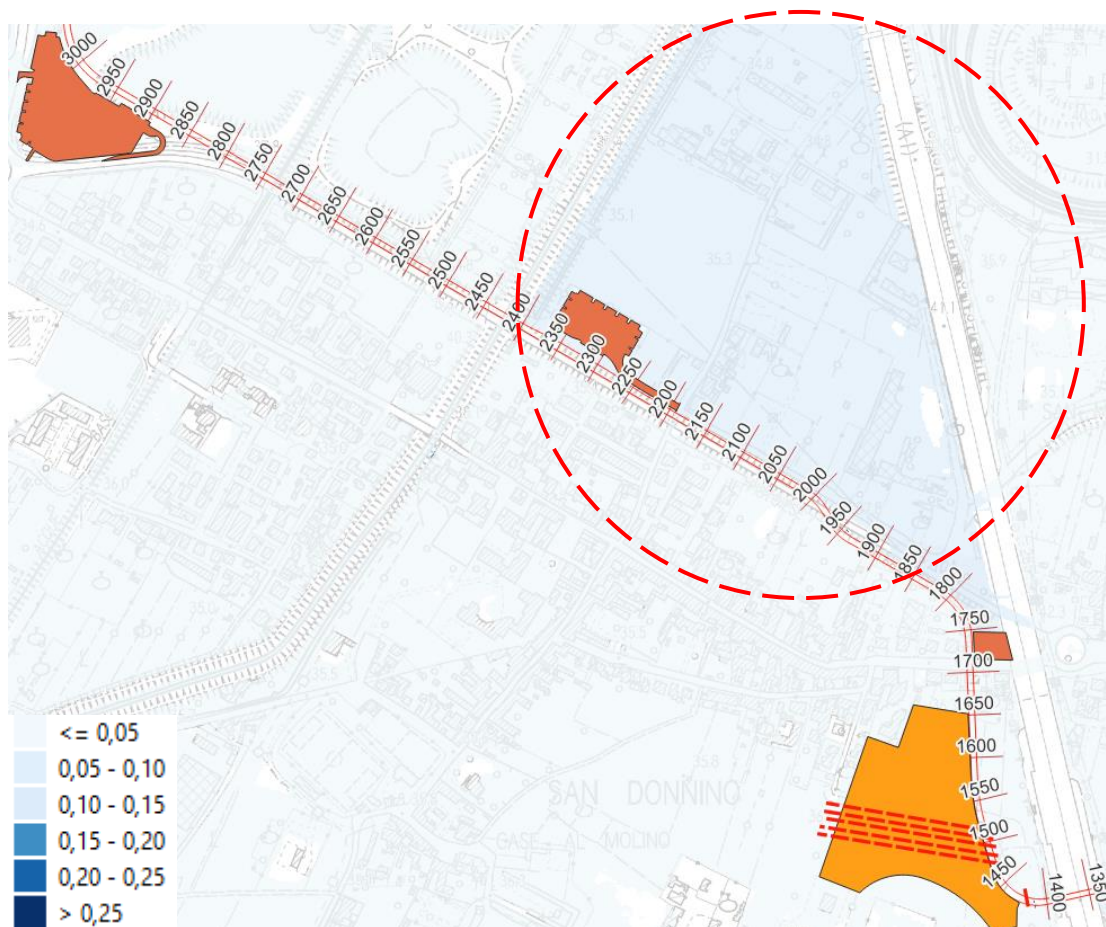


Figura 26. Mappa del Grid Difference con indicazioni della zona dove si registrano le maggiori differenze

Per tutto quanto sin qui esposto l'infrastruttura e le sue pertinenze nella configurazione di progetto anche grazie alle opere di trasparenza idraulica previste, non comporta modifiche ai regimi idraulici di esondazione rispetto allo stato ante operam né allo stesso modo comporta un aumento del rischio dell'area circostante.





Lo sviluppo della linea in oggetto prevede quindi un tratto di circa 2.00 km all'interno del comune di Firenze e i restanti 3.5 km nel comune di Campi Bisenzio.

L'analisi delle volumetrie sopra citate è stata condotta separatamente per il comune di Firenze e Campi Bisenzio valutando, in ciascun ambito territoriale, il compenso necessario a riequilibrare in termini algebrici il nuovo assetto imposto dalla presenza del rilevato tranvia.

Negli ambiti a pericolosità da alluvione frequente e poco frequente del territorio urbanizzato, la fattibilità dell'opera in argomento è condizionata ai sensi e per gli effetti dall'art. 13 della L.R.41/2018 mentre, fuori dal territorio urbanizzato, ai sensi dell'art. 16. L'obiettivo della Legge sopra citata è quello di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche, nonché al fine di mitigare i fenomeni di esondazione e dissesto idrogeologico. Disciplina, quindi, la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua.

## 5.1 ANALISI DELLE VOLUMETRIE SOTTRATTE AL LIBERO DEFLUSSO DELLE ACQUE DI ESONDAZIONE E VOLUMI DI MAGGIORE IMPERMEABILIZZAZIONE

Il calcolo delle suddette volumetrie e quindi dei volumi di compenso necessari per il non aggravio del rischio è stato condotto seguendo i criteri di cui sotto:

- Il volume sottratto dall'infrastruttura è calcolato rispetto ai livelli idrometrici associati ad eventi meteorici con tempi di ritorno pari a 200 anni;
- Il livello idrometrico di riferimento è stato determinato come inviluppo su tutti i battenti a disposizione (PGRA e strumenti di pianificazione comunali);
- È stato considerato un volume generato dalla maggiore impermeabilizzazione dovuta all'opera, determinato su altezze di pioggia duecentennali (estrapolate dal Servizio Idrologico e Geologico Regionale).

### 5.1.1 Calcolo delle volumetrie nell'ambito del Comune di Firenze

All'interno del comune di Firenze i volumi totali da recuperare per il non aggravio delle condizioni di rischio ammontano a circa **86000 mc**, ripartiti come segue:

- 10.500 mc sottratti dai nuovi rilevati della linea tramviaria, compresi tra le progressive 0+400 – 0+700 e 1+400 – 1+8001;
- 70.500 sottratti dal rilevato del nuovo deposito con quota di progetto 38.50 mslm;
- 3.000 mc sottratti dal parcheggio Campania;
- 1.600 mc generati dalla maggiore impermeabilizzazione a seguito della realizzazione dell'infrastruttura. Ai fini del calcolo si è considerato la sola quota parte dell'opera (linea tramviaria, deposito e parcheggio) realizzata su area attualmente a verde. Per il calcolo della pioggia si è fatto riferimento ad un evento TR200 anni con durata 1h, per il quale il Servizio Idrologico Regionale indica un'altezza di pioggia di 69.62mm.

### 5.1.2 Calcolo delle volumetrie nell'ambito del Comune di Campi Bisenzio

All'interno del comune di Campi Bisenzio i volumi totali da recuperare per il non aggravio delle condizioni di rischio ammontano a circa **40000 mc**, ripartiti come segue:

- 12.000 mc sottratti dai nuovi rilevati della linea tramviaria, compresi tra le progressive 1+800 – 3+200 e 4+350 – 4+850.
- 2.500 mc sottratti dal parcheggio Pistoiese



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
*Relazione Idrologica - Idraulica*

- 14.000 mc sottratti dal parcheggio Castagno
- 10.000 mc come volume sottratto dall'infrastruttura alla cassa ovest del sistema di casse di San Donnino
- 1.500 mc generati dalla maggiore impermeabilizzazione a seguito della realizzazione dell'infrastruttura (linea tramviaria, parcheggi). Ai fini del calcolo si è considerato la sola quota parte dell'opera realizzata su area attualmente a verde. Per il calcolo della pioggia si è fatto riferimento ad un evento TR200 anni con durata 1h, per il quale il Servizio Idrologico Regionale indica un'altezza di pioggia di 69.62mm.

In definitiva si ottengono le seguenti volumetrie da compensare per garantire il non aggravio del rischio:

- 86.000 mc all'interno del Comune di Firenze.
- 40.000 mc all'interno del Comune di Campi Bisenzio.

Per un totale di **126.000 mc di volumi da compensare**.

## **5.2 INTERVENTI PER LA GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI**

Nel presente paragrafo si descrivono gli interventi di natura idraulica previsti per il non aggravio del rischio da alluvione. In accordo all'Art.8, comma 2.b della LR 41/2018 è prevista la realizzazione di opere di sbancamento del terreno (aree verdi centrali dell'area) allo scopo di contribuire a compensare i volumi sottratti alla libera esondazione dalle opere oggetto della presente relazione.

Si fa presente che per quanto riguarda il Comune di Firenze non risulta possibile individuare i volumi necessari da recuperare all'interno del comune stesso. Tali volumi, perciò, saranno recuperati nel comune di Campi Bisenzio dove è presente un'area vincolata urbanisticamente e preposta alla realizzazione di interventi finalizzati alla mitigazione del rischio idraulico.

### *5.2.1 Interventi previsti nel Comune di Firenze*

Gli interventi per la gestione del rischio nel Comune di Firenze riguardano:

- Rialzamento della quota del piano del deposito tranviario a quota di sicurezza pari a 38.10 m slm oltre a 30 cm di franco di sicurezza previsto dal RUC del Comune di Firenze (quota minima 38.40 m slm). È stata prevista una quota minima di 38.50 m slm in analogia alla quota di messa in sicurezza del progetto dell'impianto di ALIA SPA;

### *5.2.2 Interventi di gestione del rischio previsti nel Comune di Campi Bisenzio*

Al fine di assicurare una condizione di sostenibilità idraulica agli interventi in progetto sono stati definiti degli areali per il compenso dei volumi sottratti alla libera espansione delle acque (*Figura 28*), tali da rendere nullo l'impatto idraulico delle opere in progetto nei confronti del territorio circostante. Gli areali definiti in questa fase di progetto definitivo, sono stati scelti sulla base di quanto individuato nel progetto di fattibilità tecnico economica (PFTE), ed infine riadattati sulla base delle effettive disponibilità di aree nella presente fase progettuale.

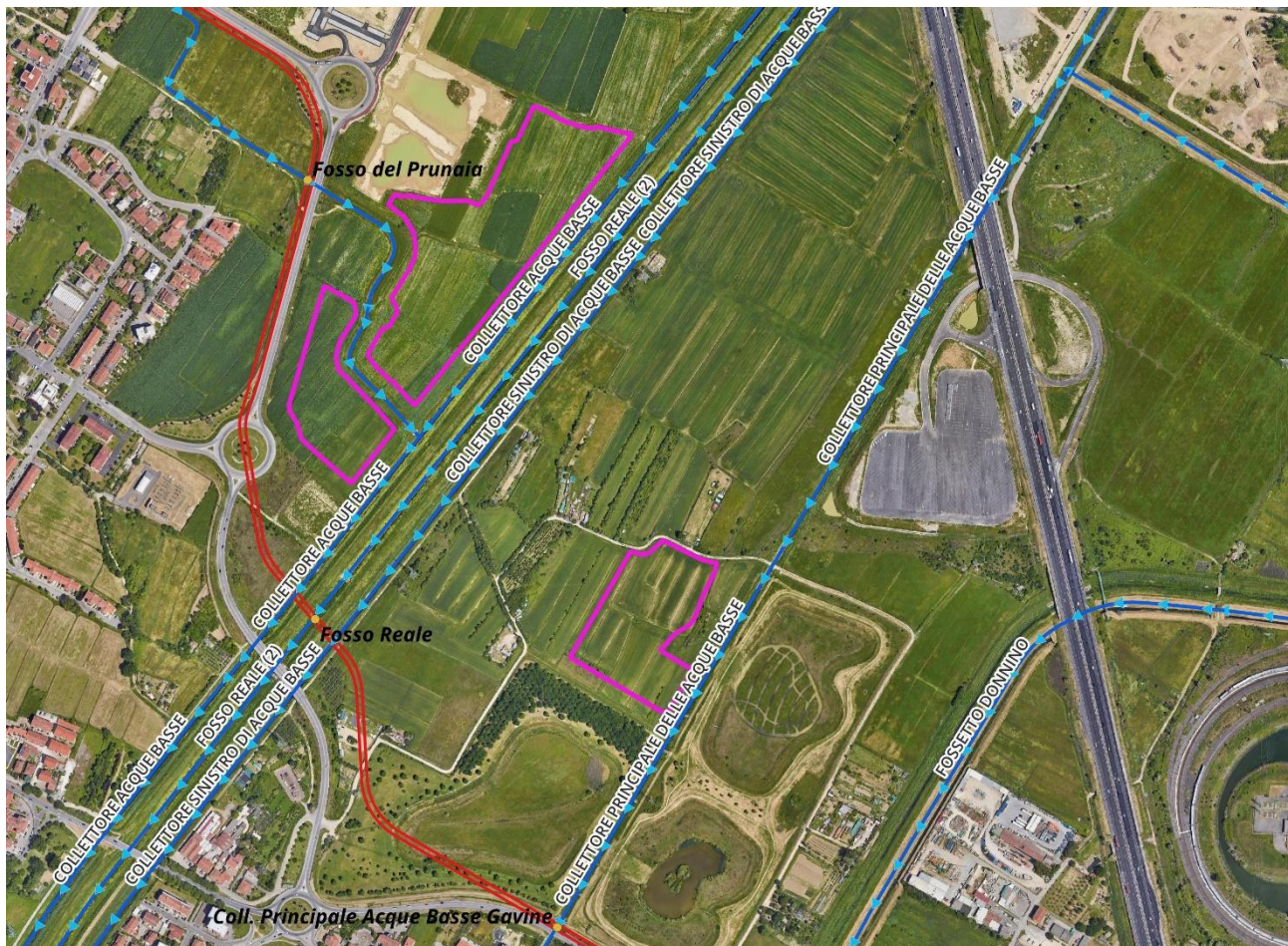


Figura 28. Individuazione volumetrie di compenso per il progetto definitivo

In Figura 30 si mostra il **primo intervento** areale per il compenso volumetrico sopra citato, previsto nel **quarto settore del sistema di casse d'espansione di San Donnino**. L'area individuata è di circa 14'789 mq. In accordo con la L.R.41/2018, non sono state previste variazioni morfologiche a distanze inferiori ai 10 metri dai corpi idrici in adiacenza alle volumetrie in oggetto, in questo caso il Collettore Principale Acque Basse. Il piano di scavo è previsto ad una profondità di 30.80 m slm. Considerando una quota media del terreno attuale di 34.28 m slm, si predispone uno scavo di profondità media pari circa a 3.00 m. L'inclinazione delle sponde è stata definita pari a 3:2. Tale valore considerato consono a tipologie di terreno non caratterizzati da particolari peculiarità in termini di coesione ed angolo d'attrito. Il volume ottenuto dallo scavo è pari a 74'628.68 mc.

Quello che in prima istanza è stato individuato come volume di compenso, in questa fase progettuale è stato connesso al reticolo così da assolvere la funzione di cassa di espansione, coerentemente con i tre settori già in essere nelle immediate adiacenze del quarto settore San Donnino (Figura 29). A questo scopo, nelle successive fasi progettuali, verranno definiti nel dettaglio esecutivo gli organi di sfioro e restituzione del quarto settore delle Casse di San Donnino. Considerando la sola quota parte di **volume nella cassa** che viene **restituita a gravità** al reticolo in adiacenza, il volume che può essere effettivamente considerato a compenso è pari a **56'185 mc**.



PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica

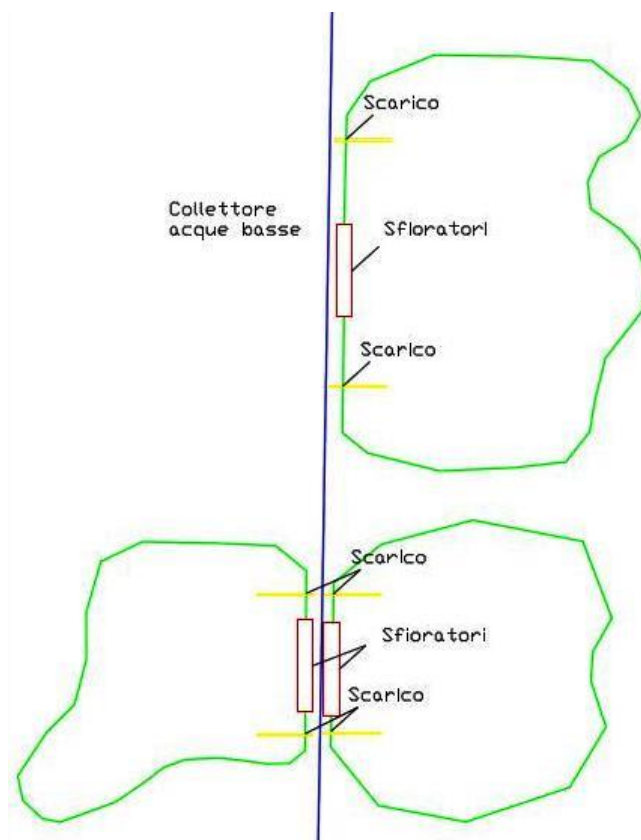


Figura 29. Indicazione delle casse d'espansione presenti in adiacenza al Coll. Principale Acque Basse

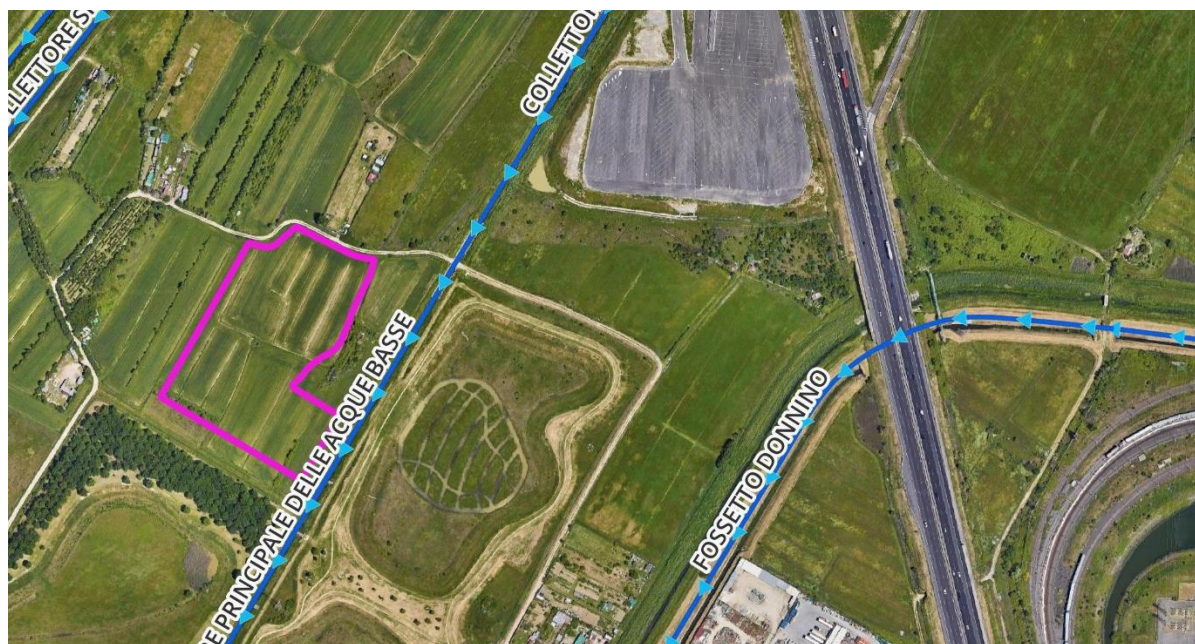


Figura 30. Quarto settore sistema San Donnino per volume di compenso coerentemente con gli elementi presenti in adiacenza al Col. Principale Acque Basse

PARTE GENERALE  
INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 31. Sezione da sinistra idraulica del Col. principale Acque Basse dell'Area 1

Il secondo intervento di compenso nella fase di PFTE era stato previsto in destra idraulica rispetto al Colatore Destro del Fosso Reale. L'areale individuato nella precedente fase corrispondeva ad una superficie di circa 100.000 mq. Gli approfondimenti svolti durante il progetto Definitivo hanno evidenziato la realizzazione, nella stessa area, di interventi nella forma di volumetrie a compenso di infrastrutture limitrofe e del centro commerciale Coop (Figura 60), come previsto dalla pianificazione comunale.

In **Figura 33** si mostra il **secondo intervento** areale per il compenso volumetrico previsto **in destra rispetto al Fosso Reale**. L'area individuata è stata suddivisa in due volumetrie data la presenza del Fosso Prunaia all'interno della stessa. In accordo con la L.R.41/2018, non sono state previste variazioni morfologiche a distanze inferiori ai 10 metri dai corpi idrici in adiacenza alle volumetrie in oggetto, in questo caso il colatore destro del Fosso Reale ed il Fosso Prunaia.

L'areale a Sud occupa circa 21'147 mq, mentre quello a Nord 45'105 mq. Il piano di scavo è previsto ad una profondità di 30.90 m slm e 31.10 m slm, rispettivamente. Considerando una quota media del terreno attuale di 34.75 m slm, si predispone uno scavo di profondità media pari circa a 4.70 m. L'inclinazione delle sponde è stata definita pari a 3:2. Tale valore considerato consono a tipologie di terreno non caratterizzate da particolari peculiarità in termini di coesione ed angolo d'attrito. La volumetria di compenso ottenuta è pari a 239'373 mc. Per i suddetti areali verrà previsto un organo di scarico a gravità nel Colatore Destro. Alla luce di questo aspetto il volume che può essere effettivamente considerato a compenso è pari a **170'256 mc**. L'altezza d'acqua che invece rimane all'interno delle volumetrie sopra citate in parte si infiltra nel terreno ed in parte risulta funzionale a fornire un ambiente favorevole alla fruizione degli spazi da parte delle specie animali presenti nel territorio.



Figura 32. Occupazione areale degli interventi di compenso dovuti al progetto del centro commerciale Coop



PARTE GENERALE  
 INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI  
 Relazione Idrologica - Idraulica



Figura 33. Volumetria di compenso in destra idraulica al Fosso Reale

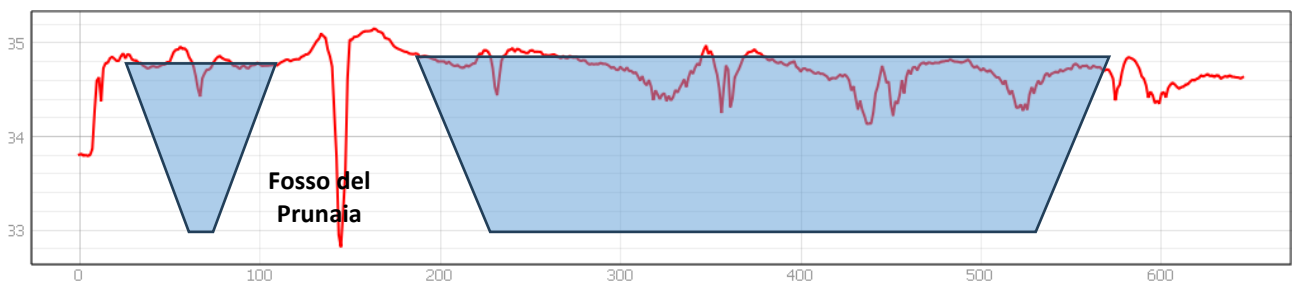


Figura 34. sezione da sud verso nord dell'area 2

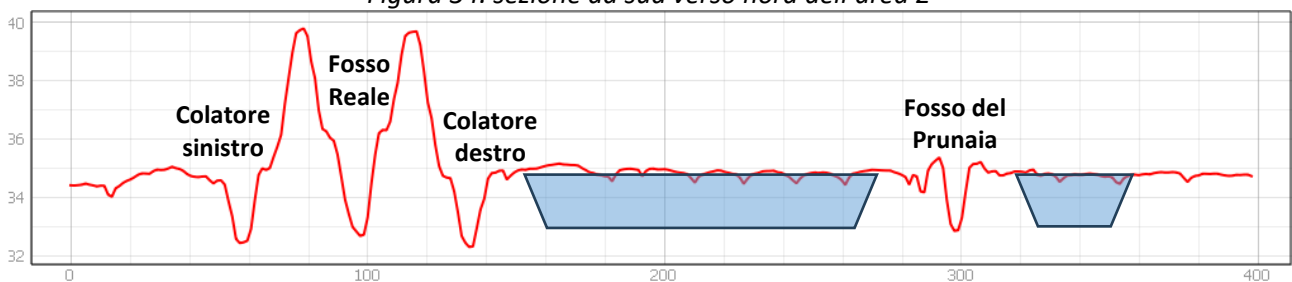


Figura 35. Sezione da sinistra idraulica del Fosso Reale dell'area 2

In conclusione, il volume occupato dalle opere tramviarie in progetto e quindi sottratto alla libera esondazione è risultato essere pari a 126'000 mc. **La volumetria individuata a compenso** della volumetria sottratta dalle opere, citata in precedenza, nella fase di Progetto Definitivo risulta essere pari a **circa 226'441**

PARTE GENERALE

INQUADRAMENTO GENERALE – ELABORATI GENERALI

*Relazione Idrologica - Idraulica*

**mc**, quindi quasi **1.8 volte la volumetria strettamente necessaria al pareggio** di quanto sottratto con l'inserimento nel territorio dell'infrastruttura tramviaria.