



**COMUNE DI  
VENEZIA**



Città metropolitana  
di Venezia

---

PROGETTO

**PIANO INTEGRATO METROPOLITANO  
EX ART 21 DL 152/21 - PNRR M5C2  
INTERVENTO 2.2.**

---

**BOSCO DELLO SPORT**

---

**Accordo di Programma**

ai sensi dell'art. 7 LR 11/2004

---

TITOLO ELABORATO

**Valutazione di compatibilità  
idraulica.**

ai sensi della DGRV n.2948 del 06.10.2009

MAGGIO 2022

# BOSCO DELLO SPORT

ACCORDO DI PROGRAMMA AI SENSI ART. 7 L.R. 11/2004

## VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Ai sensi della DGRV n.2948 del 06.10.2009

| Data          | Documento  |
|---------------|--|
| APRILE 2022   | VCI_BoscoSport.docx  |
| <b>Autori</b> | dott. Alessandro Vendramini<br>dott. Roberta Rocco<br>ing. Loris Lovo<br>dott. Francesca Pavanello<br>geom. Davide Folin |



| Verificato          | Approvato                   |
|---------------------|-----------------------------|
| Dott. Roberta Rocco | Dott. Alessandro Vendramini |

CONSULENZA SPECIALISTICA:

Studio  
RINALDO



ricerca **research**  
pianificazione **planning**  
progettazione **project**

AGRI.TE.CO. **Ambiente Progetto Territorio** sc  
Istituto di Ricerca riconosciuto dal  
Ministero dell'Istruzione e della Ricerca, dal  
Ministero delle Politiche Agricole Forestali ed  
inserita nell'European Directory of Fisheries and  
Aquaculture Research UE

per la sostenibilità, la  
resilienza degli ambienti  
di transizione, lo sviluppo  
delle comunità locali

for sustainability, the  
resilience of transition  
landes, the development  
of local communities

## INDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>CONSIDERAZIONI GENERALI.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO E PROGRAMMATICO.....</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1      | Normativa di riferimento e Quadro di riferimento programmatico.....                                  | 5         |
| <b>3</b> | <b>STATO DI FATTO .....</b>  | <b>7</b>  |
| 3.1      | Descrizione generale.....  | 7         |
| 3.2      | Uso del suolo .....  | 9         |
| 3.3      | Altimetria .....   | 11        |
| 3.4      | Elementi della rete idraulica e corpi ricettori.....   | 14        |
| 3.4.1    | Rete idraulica principale.....   | 16        |
| 3.4.2    | Rete idraulica secondaria .....  | 18        |
| 3.5      | Rischio idraulico e criticità.....   | 20        |
| 3.5.1    | Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni 2021-2027.....  | 20        |
| 3.5.2    | Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Scolante nella Laguna di Venezia.....                      | 23        |
| 3.5.3    | Criticità idrauliche.....  | 25        |
| <b>4</b> | <b>STATO DI RIFORMA.....</b>   | <b>26</b> |
| 4.1      | Descrizione degli interventi.....  | 26        |
| 4.2      | Uso del suolo .....  | 26        |
| 4.2.1    | Analisi delle trasformazioni delle superfici.....  | 26        |
| 4.2.2    | Calcolo del coefficiente di deflusso medio ragguagliato .....  | 28        |
| 4.2.3    | Classe di intervento.....  | 29        |
| 4.3      | Corpo idrico ricettore.....  | 29        |
| <b>5</b> | <b>DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI COMPENSAZIONE IDRAULICA .....</b>                                  | <b>31</b> |
| 5.1      | Metodi di calcolo .....  | 31        |
| 5.2      | Precipitazioni di riferimento.....   | 32        |
| 5.3      | Pre-dimensionamento del volume di invaso .....   | 34        |
| 5.3.1    | Stima del volume di invaso con il metodo dell'invaso .....   | 34        |
| 5.3.2    | Stima del volume di invaso con il metodo delle piogge.....   | 36        |
| 5.3.3    | Volume di invaso integrativo per la compensazione degli interventi di rialzo dal piano campagna..... | 38        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>5.4</b> | <b>Definizione degli invasi per le acque meteoriche.....</b>                                   | <b>39</b> |
| 5.4.1      | Invasi superficiali .....  | 39        |
| 5.4.2      | Invasi profondi.....   | 41        |
| 5.4.3      | Sintesi delle opere di compensazione proposte .....  | 43        |
| <b>6</b>   | <b>VERIFICHE DI INVARIANZA IDRAULICA .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Schema della rete e sottobacini afferenti.....</b>  | <b>45</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Tempi di corrivazione.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>6.3</b> | <b>Trasformazione afflussi-deflussi .....</b>  | <b>48</b> |
| <b>6.4</b> | <b>Calcolo delle portate di deflusso .....</b>   | <b>50</b> |
| <b>6.5</b> | <b>Simulazioni modellistiche a moto vario .....</b>  | <b>52</b> |
| 6.5.1      | Il software HEC-RAS .....  | 52        |
| 6.5.2      | Schema della rete.....   | 54        |
| 6.5.3      | Condizioni al contorno .....   | 58        |
| 6.5.4      | Risultati delle simulazioni.....   | 60        |
| <b>7</b>   | <b>VERIFICA DEI REQUISITI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA AI SENSI DEL<br/>PGRA 2021-2027 .....</b> | <b>71</b> |
| <b>7.1</b> | <b>Conclusioni.....</b>  | <b>75</b> |
| <b>8</b>   | <b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>  | <b>76</b> |

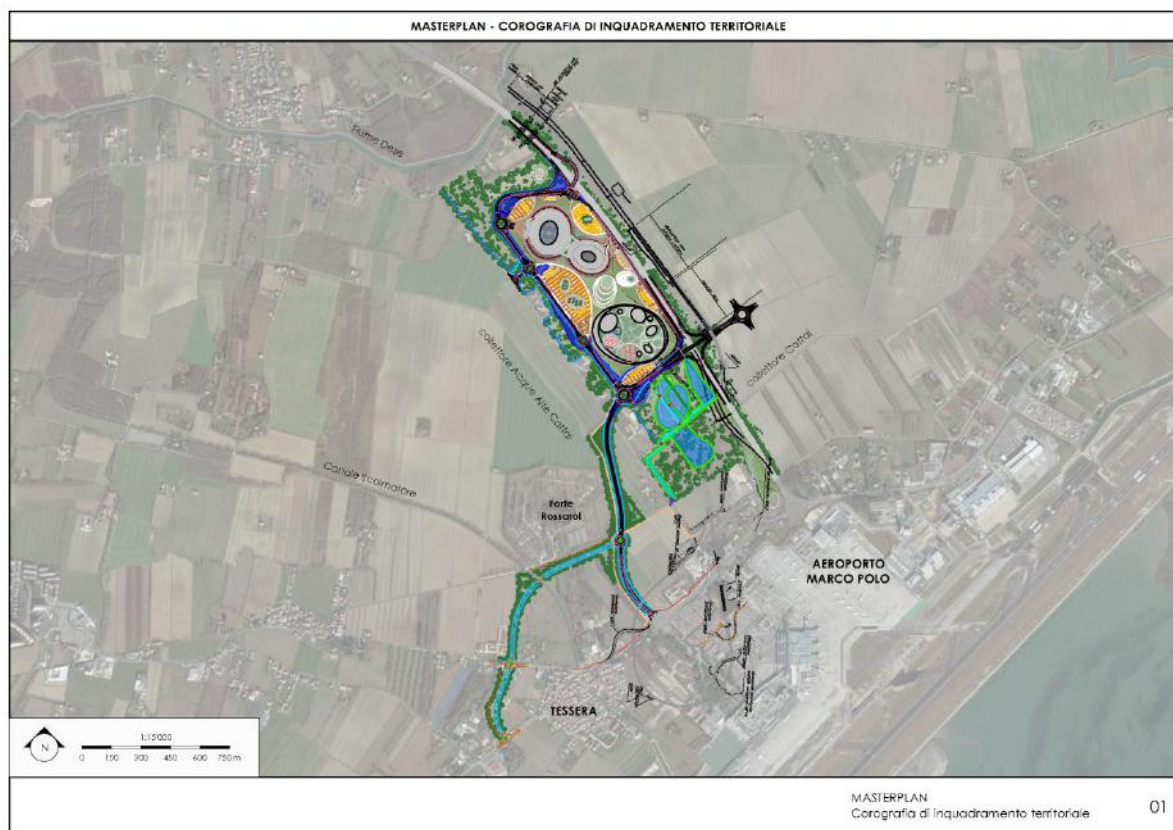
### ALLEGATI GRAFICI

|       |  |
|-------|--|
| 01    | Corografia di inquadramento territoriale - Masterplan    |
| 02    | Stato di fatto - Rilievo topografico                     |
| 03    | Stato di progetto - Uso del suolo                        |
| 03bis | Stato di progetto - Uso del suolo - Ambito viabilità sud |
| 04    | Stato di progetto - Invasi superficiali                  |
| 05    | Stato di progetto - Invasi profondi                      |
| 06    | Stato di progetto - Sezioni tipologiche                  |
| 07    | Stato di progetto - Sottobacini e schema rete di calcolo |

## 1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Oggetto della presente relazione è la descrizione delle valutazioni connesse con il calcolo delle opere necessarie a garantire l'invarianza idraulica, a seguito della prevista realizzazione della nuova cittadella "Bosco dello Sport" a Tessera (VE).

Si tratta di un intervento estremamente importante che andrà ad incidere su una superficie di oltre 110 ha, come indicato nella tavola n.01 allegata, qui riportata, che rappresenta la planimetria generale del *Masterplan* di progetto georeferenziata sulla foto satellitare della zona di Tessera (fonte *ESRI World Imagery*).



**Figura 1: corografia di inquadramento territoriale**

In estrema sintesi è prevista la realizzazione di un nuovo stadio con capacità di 16.000 spettatori, un palazzetto dello sport da 12.000 posti oltre a una serie estesa di servizi quali campi da tennis, padel, beach volley, oltre ad aree spettacoli e altri edifici di servizio.

Va da sé che tale compendio di infrastrutture richiede anche la presenza di strade e parcheggi: in generale si tratta di trasformazioni del territorio che devono essere analizzate non solo sotto l'aspetto urbanistico, viabilistico e ambientale, ma anche sotto il profilo idraulico.

Nella normativa vigente infatti l'idraulica si presenta come un fattore di fondamentale importanza, essendo richiesto un compendio di opere idrauliche tali da garantire la cosiddetta "invarianza idraulica" dell'intero ambito di intervento, vale a dire la certezza che non sia alterato, e se possibile che sia migliorato, l'assetto idraulico del territorio, in questo caso assoggettato a bonifica mediante sollevamento meccanico. Il reticolo idraulico esistente è infatti afferente all'impianto idrovoro di Cattal, che come poi descritto è caratterizzato da due distinti regimi ("acque medie" e "acque basse") in funzione della giacitura dei terreni.

I contenuti del presente studio di compatibilità idraulica sono quindi definiti in ottemperanza alla DGR 2948/2009 "Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici - Modifica delle delibere n.1322/2006 e n.1841/2007 in attuazione della sentenza del Consiglio di Stato n. 304 del 3 aprile 2009" e al relativo Allegato A, contenente appunto "Modalità operative e indicazioni tecniche" per la redazione delle necessarie valutazioni.

Obiettivo primario del presente documento è quindi la dimostrazione che, per effetto delle nuove previsioni urbanistiche connesse all'intervento in titolo, non viene aggravato l'esistente livello di rischio idraulico né viene pregiudicata la possibilità di riduzione di tale livello.

Il presente studio si articola quindi nelle seguenti parti:

- la descrizione dello stato di fatto dell'area di intervento, da porre poi a confronto con il corrispondente stato di riforma;
- l'analisi della trasformazione dell'uso del suolo nelle prospettate condizioni di riforma, fondamentale per la valutazione del coefficiente ragguagliato di deflusso ai fini del calcolo dell'invarianza idraulica;
- il calcolo del volume di invaso necessario a garantire l'invarianza idraulica;
- la descrizione delle modalità con le quali verrà garantito il raggiungimento del suindicato volume di invaso complessivo;
- la simulazione con modello idrologico-idraulico finalizzato a dimostrare l'efficacia degli interventi proposti in occasione di precipitazione estreme con differenti caratteristiche.

## 2 QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO E PROGRAMMATICO

Il documento di Valutazione di compatibilità idraulica è redatto ai sensi della Deliberazione di Giunta Regionale Veneto DGRV 3637/2002 *“Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e idrogeologico - Indicazioni per la formazione dei nuovi strumenti urbanistici”*, che prevede appunto la redazione di tale documento per gli *“strumenti urbanistici generali o varianti generali o varianti che comportino una trasformazione territoriale che possa modificare il regime idraulico”*, in modo da dimostrare *“in relazione alle nuove previsioni urbanistiche, che non viene aggravato l’esistente livello di rischio idraulico né viene pregiudicata la possibilità di riduzione, anche futura, di tale livello”* e che indichi altresì *“le misure compensative introdotte nello strumento urbanistico ai fini del rispetto delle condizioni esposte”*.

Come anticipato, il presente studio è quindi redatto in ottemperanza alla DGRV 2948/2009 *“Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici - Modifica delle delibere n.1322/2006 e n.1841/2007 in attuazione della sentenza del Consiglio di Stato n. 304 del 3 aprile 2009”* e al relativo Allegato A *“Modalità operative e indicazioni tecniche”*.

Come dettagliato all’interno del quadro di riferimento programmatico dello Studio ambientale, vari sono i documenti pianificatori cui è necessario riferirsi e senza voler qui ripetere quanto già dettagliato in quella sede si riassumono i principali criteri cui il presente studio dovrà ottemperare. Il particolare:

- prevedere allo scarico un contributo massimo di 5 l/s ha (Piano delle Acque del Comune di Venezia);
- prevedere, a titolo di compensazione per le aree oggetto di innalzamento del piano campagna, invasi supplementari in misura non inferiore a 150 m<sup>3</sup>/ha, prescrizione questa che risulta significativa nel caso in esame, come descritto in seguito.

### 2.1 Normativa di riferimento e Quadro di riferimento programmatico

- *Testo Unico sull’Ambiente*, D.Lgs. 152/2006 e ss. mm. ii;
- *Piano di Tutela delle Acque della Regione Veneto*, adottato con deliberazione del Consiglio Regionale n.107 del 5 novembre 2009;
- *Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico Scolante nella Laguna di Venezia* adottato dalla Regione del Veneto con DGRV n.401 del 31.03.2015;
- *Piano di gestione del rischio di alluvioni delle Alpi Orientali*, approvato con D.P.C.M. del 27 ottobre 2016;

- *Piano generale di bonifica e di tutela del territorio* ricadente nel comprensorio gestito dal Consorzio di Bonifica Acque Risorgive, approvato con Delibera n. 29/2016 del 22.02.2016 l'Assemblea Consorziale e in attesa di ratifica dalla Regione Veneto;
- Legge Regionale n.11 del 23.04.2004, "*Norme per il governo del territorio*";
- DGRV n.2948 del 06.10.2009 e relativo Allegato A "*Valutazione della compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici. Modalità operative e indicazioni tecniche*";
- DGRV n.3637 del 13.12.2002 "*Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e idrogeologico - Indicazioni per la formazione dei nuovi strumenti urbanistici*";
- *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale* di Venezia approvato con DGRV n.1137 del 23.03.2010;
- Ordinanze nn. 2-3-4 del 22 gennaio 2008 del Commissario Straordinario delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26.09.2007;
- *Piano di Assetto del Territorio* del Comune di Venezia, approvato con delibera di Giunta della Provincia di Venezia n. 128 del 10.10.2014.



### 3 STATO DI FATTO

#### 3.1 Descrizione generale

L'area di studio è costituita dalla zona a uso agricolo ubicata fra le località di Tessera, Dese e Ca' Noghera, all'interno dell'ambito territoriale della Municipalità di Favaro Veneto, parte del Comune di Venezia, a sud-ovest della bretella di allacciamento dell'Autostrada A57 con l'aeroporto Marco Polo, come evidenziato con colore rosso nella Figura 2, su base aerofotografica tratta dalla fonte *ESRI World Imagery*.



Figura 2: inquadramento territoriale su base aerofotografica (fonte *ESRI World Imagery*)

Maggiore dettaglio dell'inquadramento territoriale è fornito nella seguente Figura 3, in cui i limiti dell'ambito di trasformazione sono indicati con colore rosso.



Figura 3: limiti dell'ambito di intervento su base aerofotografica (fonte ESRI World Imagery)

Si evidenzia come il margine orientale dell'area si estenda lungo il limite di pertinenza della bretella autostradale, all'esterno del relativo fosso di guardia, mentre a ovest il limite principale sia dato da via Ca' Zorzi e dalle pertinenze degli edifici privati lungo la stessa strada. Si osserva inoltre che a nord-est dell'area scorre il fiume Dese, principale elemento della rete idrografica in questa zona, mentre a sud-est si riconosce il sedime aeroportuale. I limiti dell'area di trasformazione si diramano poi verso sud e sud-ovest, in prossimità dell'ambito del Forte Rossarol, per consentire la realizzazione di nuove viabilità di raccordo con la località di Tessera e la SS 14 "Triestina".

### 3.2 Uso del suolo

L'area di intervento ha una superficie complessiva di circa 114.8 ha e, ai fini dello studio, può essere distinta in due comparti, con differenti peculiarità:

- il primo comparto, in prossimità della bretella autostradale, è quello che sarà effettivamente interessato dagli impianti sportivi, dai relativi parcheggi e altri servizi, nonché alle aree per la compensazione ambientale, su un'area complessiva di circa 95.9 ha attualmente a uso quasi esclusivamente agricolo di tipo estensivo;
- il secondo, a sud-ovest del precedente, dove sorgerà la nuova viabilità di raccordo con il centro di Tesserà e con le strade esistenti, che interessa una superficie di 18.9 ha.

Come già evidenziato, allo stato attuale il territorio incluso nell'area di intervento è quasi completamente ad uso agricolo, destinato a coltivazioni di tipo estensivo.

Il più recente aggiornamento 2018 della *Banca dati della Copertura del Suolo della Regione del Veneto* (vd. Figura 4) indica infatti tali superfici come "Terreni arabili in aree irrigue", mentre alcune informazioni di maggiore dettaglio si possono trarre dalla *Banca dati* datata 2006 (vd. Figura 5), in cui le aree sono indicate come coltivate a soia e a mais, o a riposo.

Ai fini della valutazione dell'attuale capacità di deflusso del territorio, si applicherà quindi all'intera superficie un coefficiente di deflusso rappresentativo di un tale uso agricolo, pari a 0.10 secondo quanto prescritto ai sensi della DGRV 2948/2009 (Allegato A).

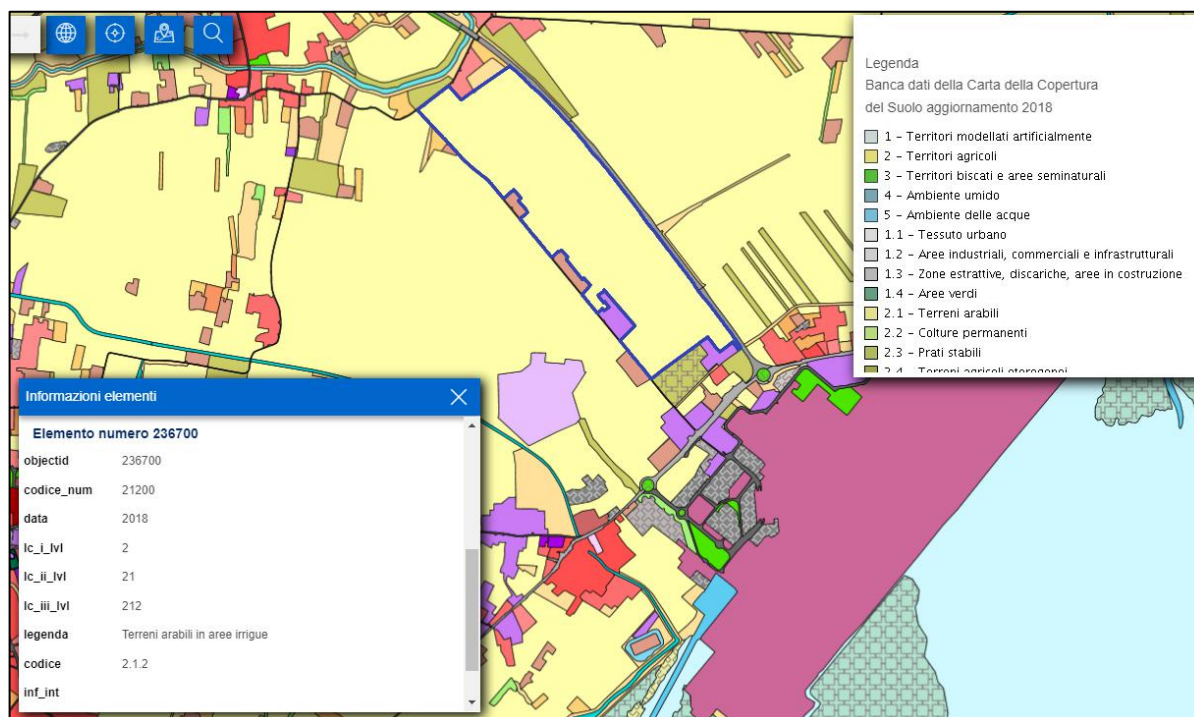


Figura 4: Banca dati uso del suolo della Regione Veneto 2018 (Geoportale Regione Veneto)

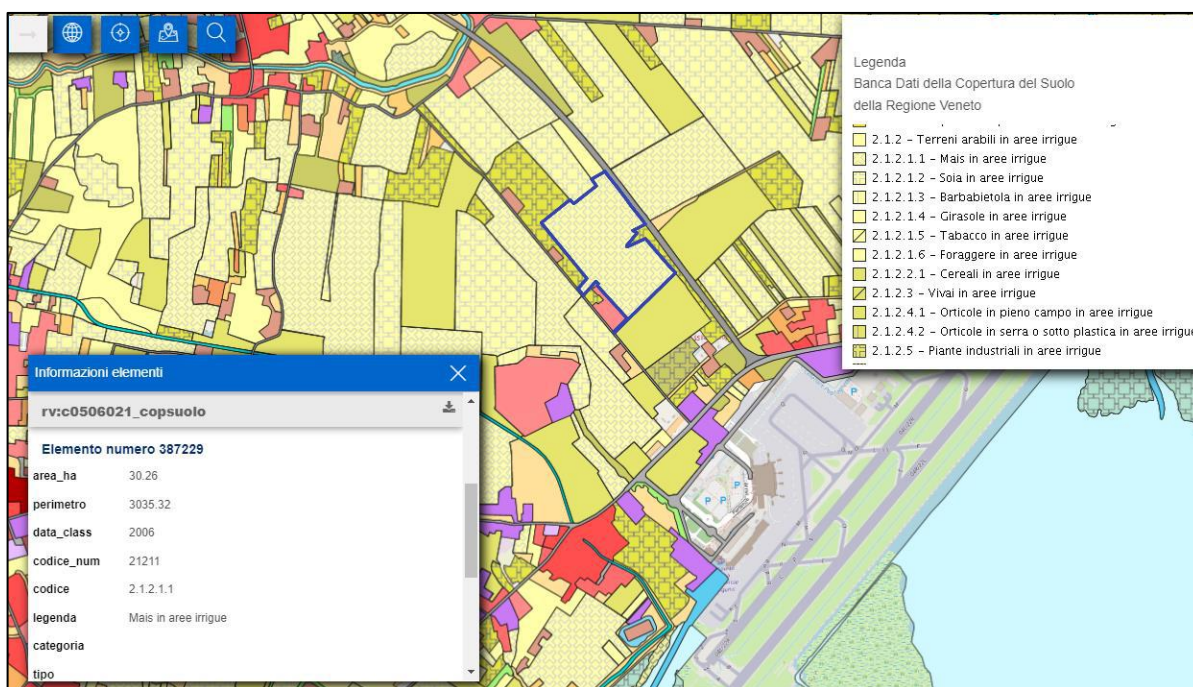


Figura 5: Banca dati uso del suolo della Regione Veneto 2006 (Geoportale Regione Veneto)

Una significativa vista dell'area in esame allo stato attuale è fornita anche dalle immagini disponibili nella fonte online Google Street View, riportate in Figura 6 e Figura 7.



Figura 6: vista da via Ca' Zorzi (febbraio 2021)



Figura 7: vista da bretella autostradale (ottobre 2021)

### 3.3 Altimetria

Dal punto di vista altimetrico, l'area presenta una diffusa soggiacenza dei terreni rispetto al livello medio del mare, con una pendenza generale da nord-ovest a sud-est, come è possibile riscontrare dalla carta delle altimetrie rappresentata nella seguente Figura 8, ricavata dal micro-rilevo della terraferma veneziana realizzato dal Servizio Geologico della Provincia di Venezia nel maggio 2009 a partire dai dati ottenuti dal rilievo laser scanner eseguito dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale su incarico del Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto.

Nella mappa in Figura 8, come deducibile dalla scala cromatica annessa, sono riportati con gradazioni di arancione e rosso i terreni con quota maggiore del medio mare, mentre con tonalità di verde e blu sono indicate le zone sotto il livello medio del mare. Appare evidente l'ampia depressione corrispondente alla zona delle "acque basse" a est della bretella autostradale, dove i terreni agricoli sono diffusamente al di sotto del livello medio del mare, mentre le aree a ovest, il centro urbanizzato di Tessera, il sedime aeroportuale e le zone lungo la SS 14 "Triestina" sono generalmente più alte, con quote di circa 2.0 m s.m.m.

All'interno dell'ambito di intervento, i cui limiti sono rappresentati in nero nella mappa sopra riportata, le quote massime sono di circa 0.50 m s.m.m. nella zona più a nord e di circa 1.00 m s.m.m. nella zona in prossimità dell'abitato di Tessera, mentre le quote minime del "piano campagna" sono di circa -0.90 m s.m.m. nelle aree agricole in prossimità del corso del Collettore Cattal.

L'area di trasformazione è stata oggetto di apposito rilievo topografico, eseguito nel febbraio 2022 per il presente servizio, la cui restituzione è riportata nella tavola allegata n.02, qui riprodotta in Figura 9.

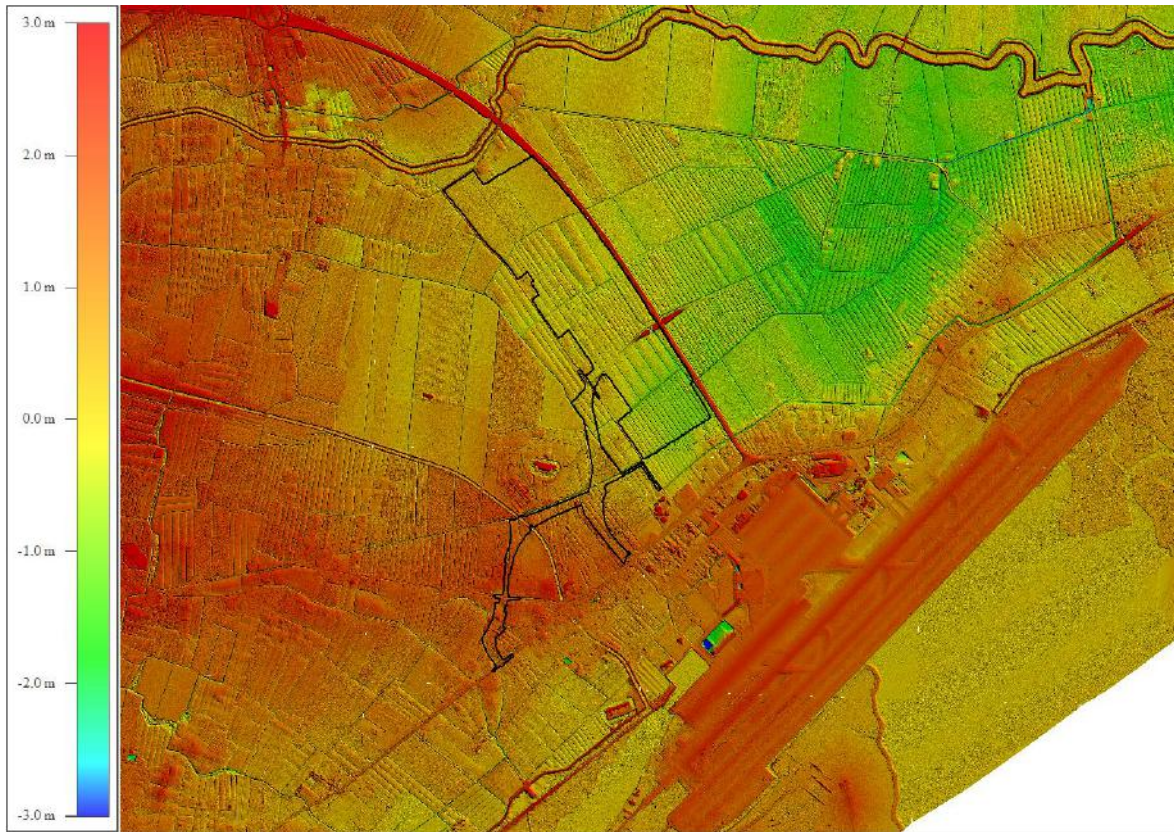


Figura 8: altimetria del territorio (fonte *Commissario Delegato emergenza 26 settembre 2007*)



Figura 9: rilievo topografico febbraio 2022

Da tale rilievo è stato possibile ricavare un aggiornamento della carta delle altimetrie dell'ambito di studio, riprodotta di seguito in Figura 10 in forma di mappa cromatica con scala di riferimento analoga a quella della precedente Figura 8 (da -3.0 a +3.0 m s.m.m.).

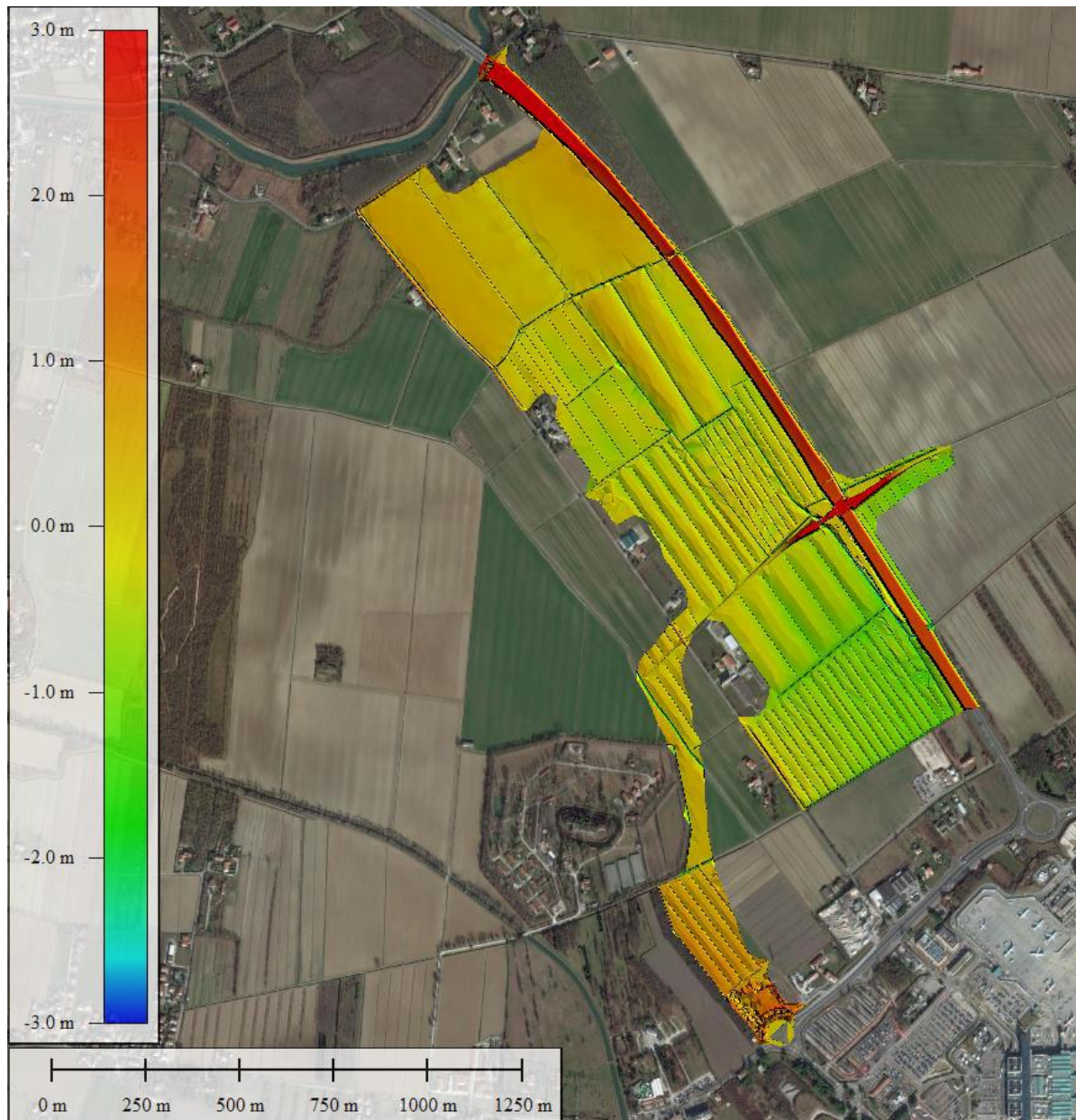


Figura 10: altimetria nell'ambito di intervento da rilievo febbraio 2022 (su ortofoto ESRI World Imagery)

### 3.4 Elementi della rete idraulica e corpi ricettori

Di particolare interesse, all'interno del sopra citato aggiornamento topografico, è il rilievo di dettaglio degli elementi della rete idraulica, rappresentati nella tavola n.02 in colore blu (rete principale, gestita dal Consorzio di Bonifica "Acque Risorgive"), azzurro (rete secondaria di capofossi) e arancione (scoline e fossi), che ha concesso di valutare con precisione la pendenza di ogni elemento (oltre che delle superfici scolanti) e determinare così le direzioni preferenziali e le principali caratteristiche del sistema di drenaggio delle acque meteoriche.

Dal punto di vista idrologico, il territorio in esame è parte del bacino idrografico del fiume Dese, parte del bacino scolante nella Laguna di Venezia, ed è assoggettato a bonifica per scolo meccanico, essendo incluso nel comprensorio gestito dal Consorzio di Bonifica "Acque Risorgive", costituito nel 2009 dall'accorpamento dei precedenti Consorzi "Dese Sile", in cui ricadeva la zona di Tessera, e "Sinistra Medio Brenta".

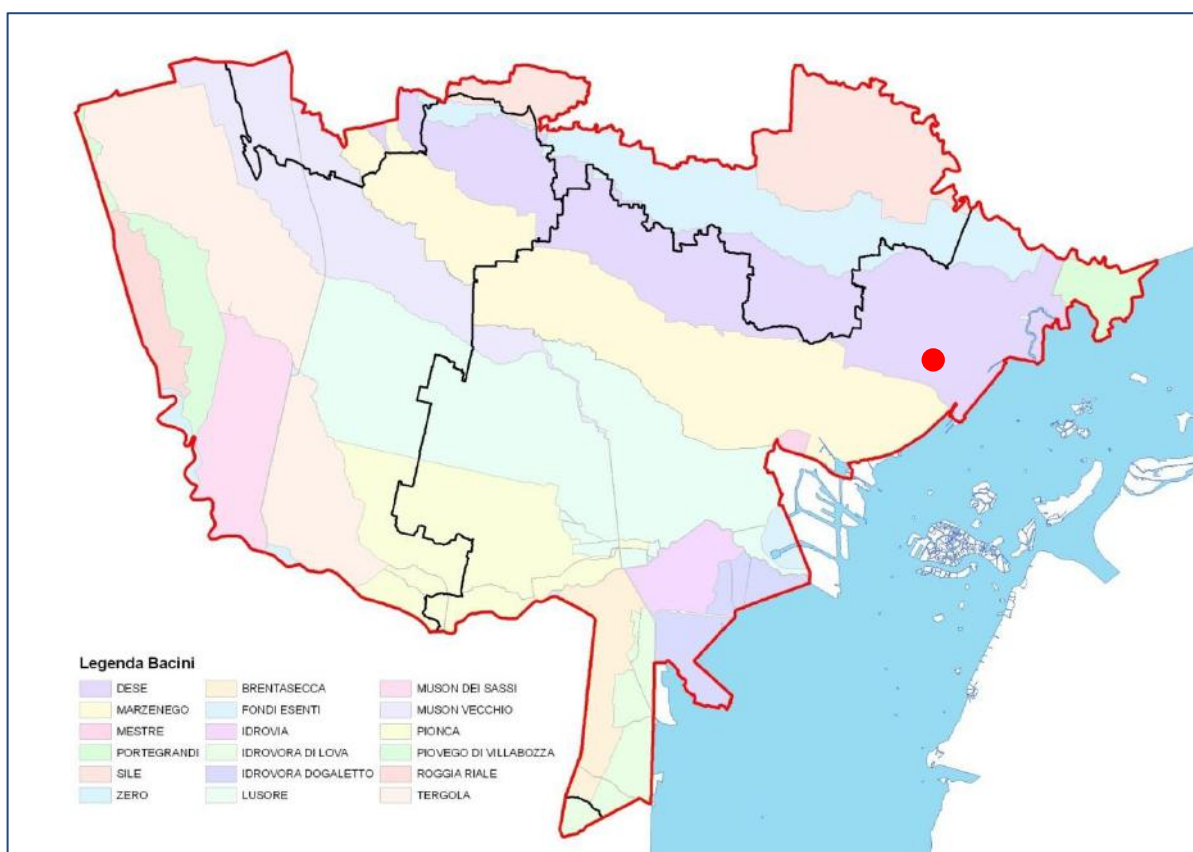


Figura 11: comprensorio del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive e principali bacini idrografici

L'ambito di studio è quindi parte del bacino tributario dell'impianto idrovoro "Cattal", un territorio esteso circa 2021 ha evidenziato in colore arancione nella seguente Figura 12,



tratta dal Piano delle Acque del Comune di Venezia.

La suddetta idrovora Cattal, che recapita nel fiume Dese circa 5 km a monte della relativa foce in Laguna di Venezia, è stata edificata nel 1928 ed è caratterizzata attualmente da una capacità di sollevamento di circa 10 m<sup>3</sup>/s, ottenuta mediante una serie di n.7 elettropompe con diverse capacità, il cui utilizzo è a servizio di due distinti regimi idraulici, come poi meglio specificato:

- n.4 elettropompe a servizio del collettore Acque Basse, per una capacità di 6900 l/s;
- n.2 elettropompe a servizio del collettore Acque Medie, per una capacità di 3000 l/s.

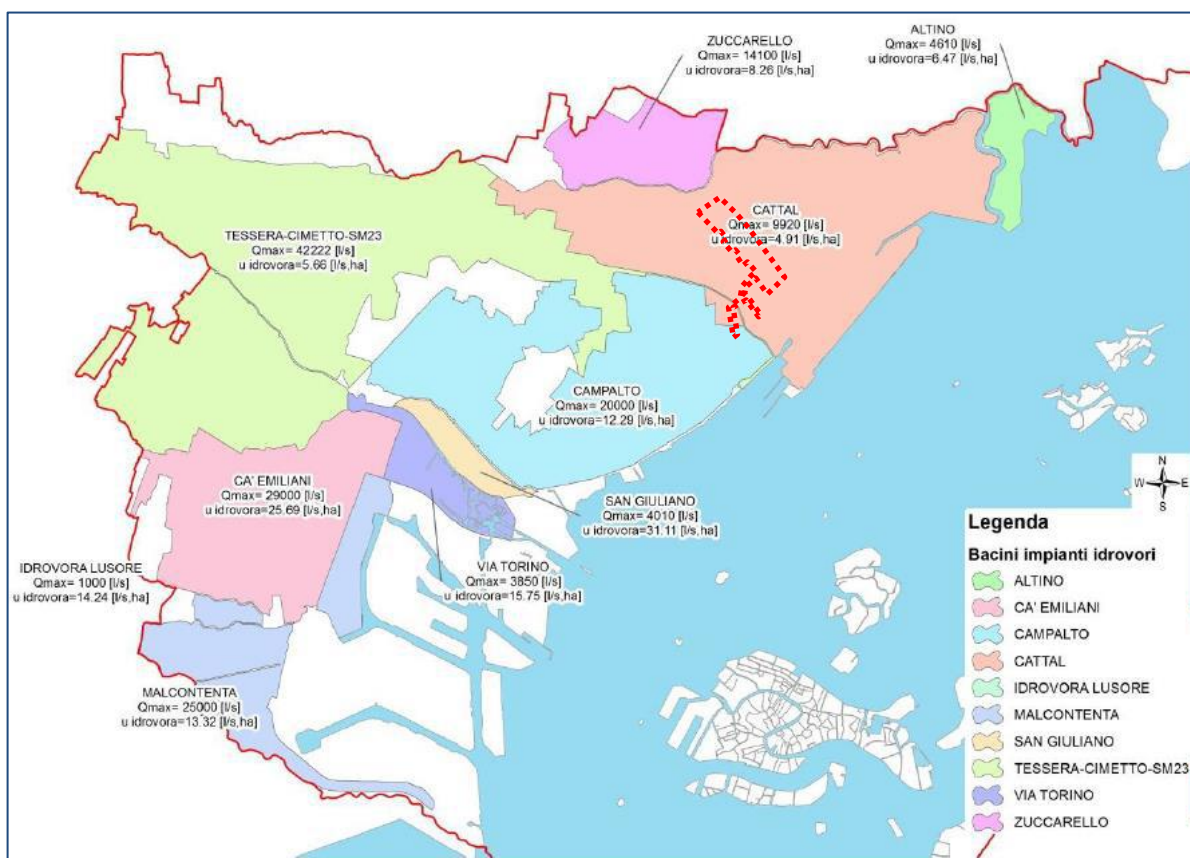


Figura 12: bacini tributari delle idrovore (Piano delle Acque - Comune di Venezia, 2016)

Vengono di seguito riportate in Figura 13 un'immagine dell'attuale edificio dell'idrovora Cattal, in cui è ben visibile il duplice regime idraulico nei canali di macchina, e le schede dei sottobacini sottesi a ciascun regime tratti dal Rapporto finale "Progetto per l'integrazione delle conoscenze sui carichi inquinanti immessi nella Laguna di Venezia dai bacini a scolo meccanico della gronda lagunare" a cura di ARPAV e dell'ex Magistrato alle Acque di Venezia - Ufficio Tecnico per l'Antinquinamento della Laguna di Venezia (ottobre 2013).

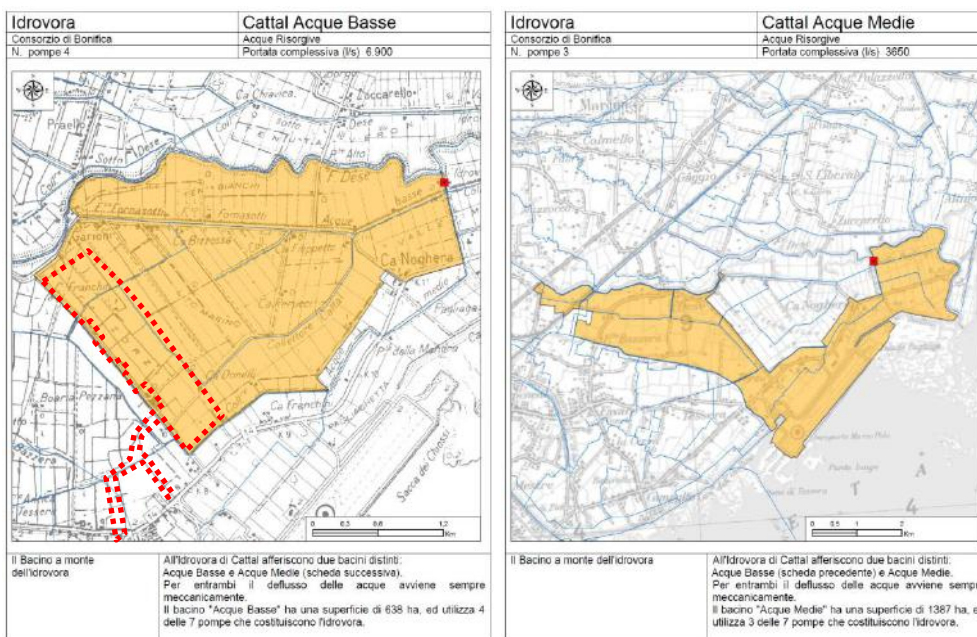


Figura 13: idrovora Cattal

### 3.4.1 Rete idraulica principale

Come già identificato nell'analisi del rilievo di dettaglio e come deducibile dalla carta delle "Opere idrauliche in gestione al Consorzio" (CdB Acque Risorgive, Nordest Ingegneria Srl, 2015) di cui un dettaglio è riprodotto in Figura 14, i principali corsi d'acqua presenti nell'ambito di studio sono:

- il fiume Dese, a nord dell'ambito di studio, recettore finale dei sottobacini locali, che sfocia in Laguna di Venezia a est del sedime aeroportuale;

- il collettore Acque Alte Cattal, che nasce per derivazione dal Dese e scorre a sud-ovest dell'ambito di studio, diventando collettore Acque Medie Cattal dopo aver raccolto le acque del collettore Trego di Levante (derivate dal Canale Scolmatore) e aver svoltato nettamente verso est in prossimità della SS 14 "Triestina", per giungere infine all'impianto idrovoro Cattal, che scarica nuovamente nel fiume Dese;
- il collettore Acque Basse Cattal, che scorre a nord-est dell'ambito di studio (con il nome nel tratto iniziale di coll. Fornasotti) e raccoglie le acque delle zone agricole maggiormente depresse, fino all'impianto idrovoro Cattal che è appunto caratterizzato da un doppio regime idraulico di acque "medie" e "basse", dovendo gestire due livelli di bonifica nettamente diversi;
- il collettore Cattal, corpo idrico recettore delle acque meteoriche in eccesso dell'intero comparto oggetto di trasformazione che ha origine nella porzione centrale dell'ambito di studio, scorre lungo il margine orientale dell'area per circa 1 km, sottopassando poi la bretella autostradale circa 500 m a nord della rotatoria con la SS 14 in prossimità dell'aeroporto e prosegue verso est fino al coll. Acque Basse Cattal e al sopra citato impianto idrovoro Cattal;
- il collettore Canaletta Irrigua, che deriva dal coll. Acque Alte Cattal, attraversa l'ambito di studio nella zona nord e recapita nel coll. Fornasotti e da qui nel coll. Acque Basse Cattal;
- il Canale Scolmatore, fondamentale per allontanare le piene del fiume Marzenego dal centro di Mestre e raccogliere i contributi del territorio a est del centro stesso, che afferisce all'impianto idrovoro di Tessera scaricando infine nuovamente nel fiume Marzenego (canale Osellino), a monte della relativa foce in Laguna a ovest dell'aeroporto.

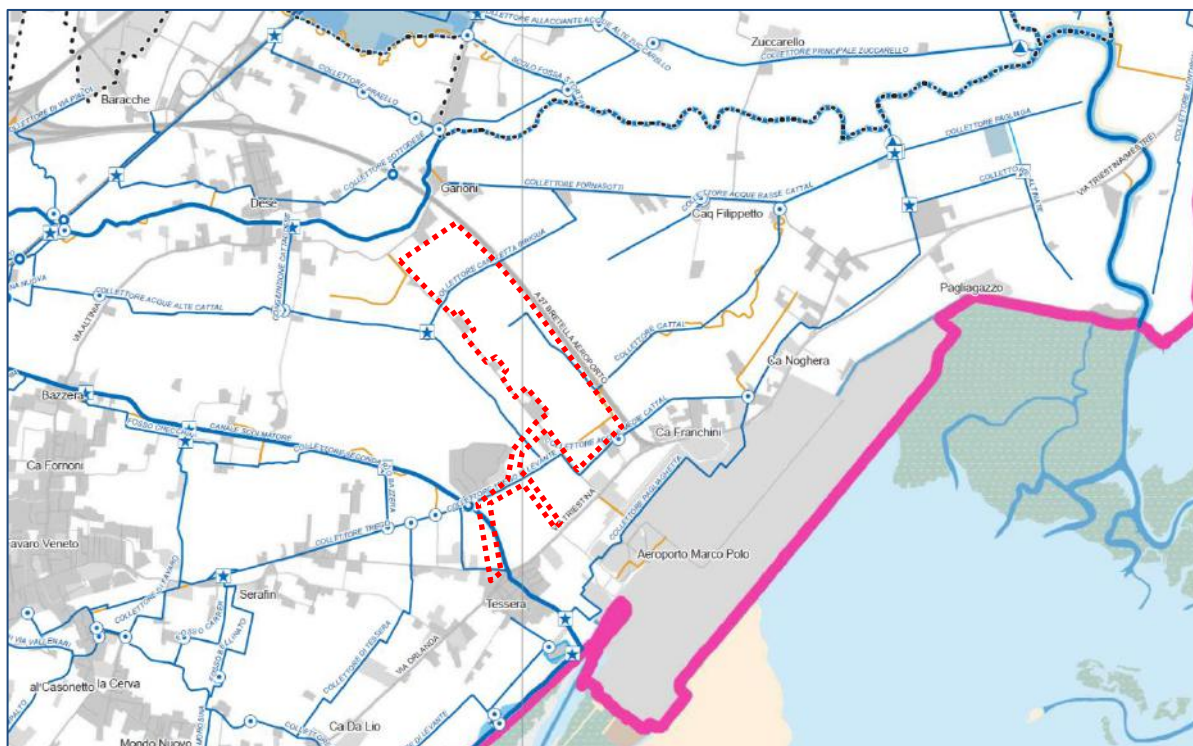


Figura 14: estratto tavola "Opere idrauliche in gestione al Consorzio" (CdB AR, Nordest Ingegneria Srl, 2015)

### 3.4.2 Rete idraulica secondaria

Con riferimento alla rete idraulica minore, si evidenzia in particolare che i terreni agricoli sono caratterizzati da scolo mediante drenaggio sub-superficiale solamente nella porzione più settentrionale, mentre nel resto dell'ambito sono presenti evidenti scoline che recapitano le acque meteoriche in una rete di fossi e capofossi che afferisce al collettore Cattal. Si può quindi concludere che l'ambito di studio, almeno per quanto riguarda il comparto su cui avranno luogo le maggiori trasformazioni legate alla nuova cittadella dello sport, ha come corpo idrico ricettore il collettore Cattal, con recapito finale presso l'omonimo impianto idrovoro.

Tale conclusione trova conferma anche nella *Carta dei sottobacini idraulici* del Piano delle Acque del Comune di Venezia (Figura 15), nonché nella relativa Relazione idrologico-idraulica (Figura 16).

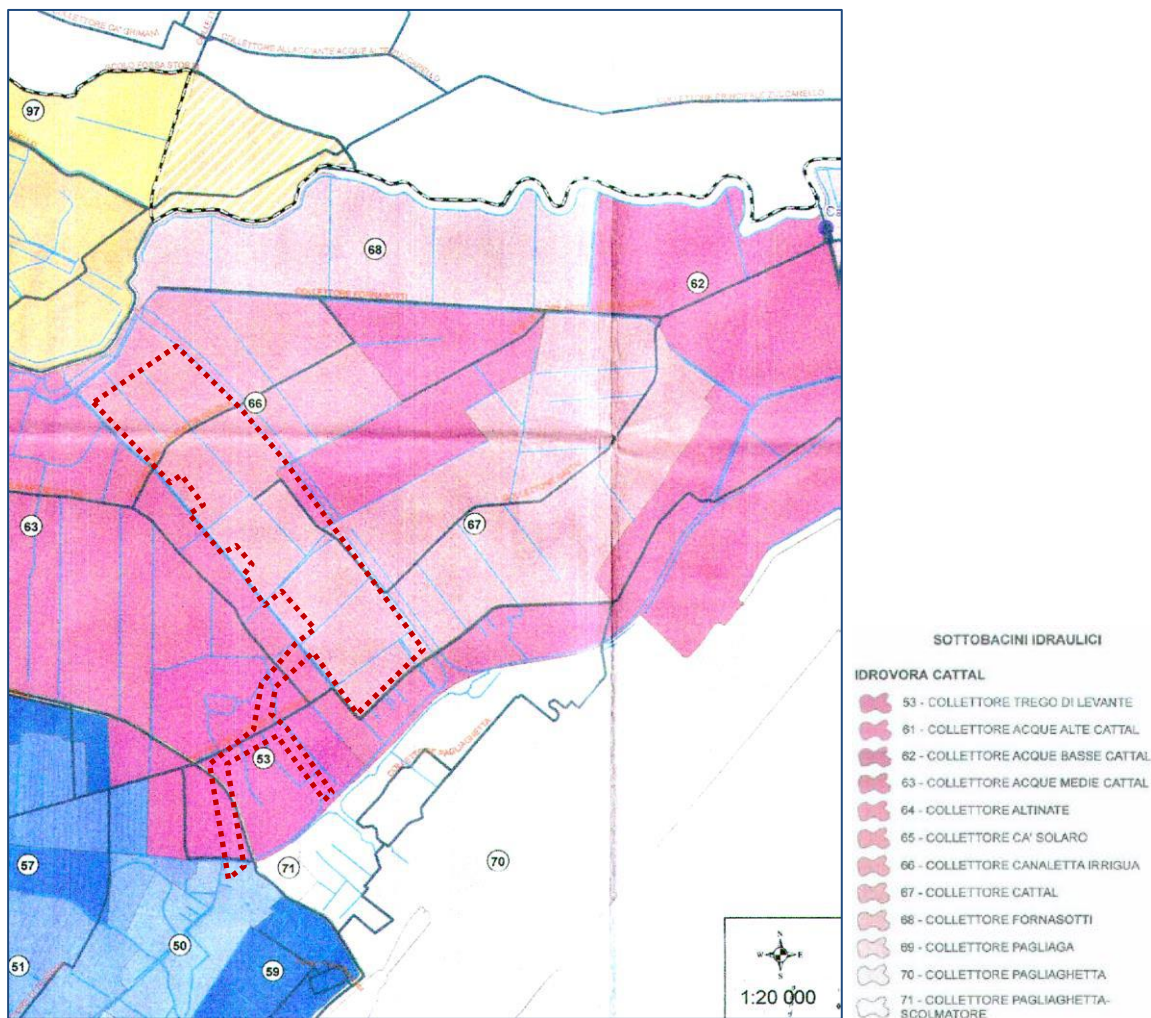


Figura 15: estratto Carta dei sottobacini idraulici (Piano delle Acque - Comune di Venezia, 2016)

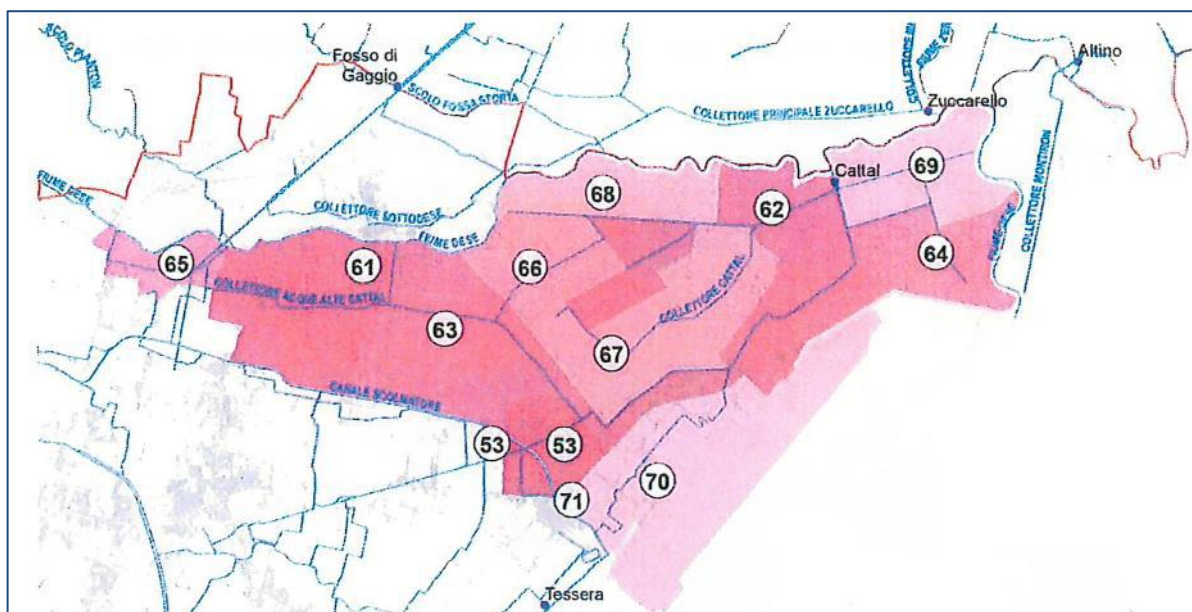


Figura 16: bacino idrografico afferente all'idrovora Cattal (Piano delle Acque - Comune di Venezia, 2016)

### 3.5 Rischio idraulico e criticità

Diverse sono le fonti principali per la valutazione dello stato attuale del rischio idraulico e delle criticità idrauliche esistenti:

- il primo aggiornamento del *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni* (PGRA 2021-2027) adottato in data 21.12.2021 dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell’Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (G.U. n. 29 del 04.02.2022), che sostituisce il precedente *Piano di Assetto Idrogeologico* (PAI) del Bacino Idrografico Scolante nella Laguna di Venezia per le valutazioni di pericolosità idraulica e di rischio idraulico specifico del territorio, fornendo inoltre la previsione delle mappa di allagamento per eventi con bassa, media o alta probabilità di accadimento;
- la mappatura delle Aree allagate durante gli eventi alluvionali del 26 settembre 2007 elaborata dall’ex Commissario O.P.C.M. 3621;
- il *Piano delle Acque* del Comune di Venezia (2016), in cui sono evidenziate le criticità puntuali della rete di drenaggio delle acque meteoriche a livello comunale.

#### 3.5.1 Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni 2021-2027

Come anticipato, è di recente entrato in vigore il primo aggiornamento del *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto delle Alpi Orientali* (PGRA 2021-2027), strumento generale che individua e perimetra le aree a pericolosità idraulica, le zone di attenzione, le aree fluviali, le aree a rischio, pianificando e programmando le azioni e le norme d’uso sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato.

L’ambito di studio ricade nelle tavole n.AE27 e n.AE26 delle carte di pericolosità idraulica, rischio idraulico e allagabilità allegato al suddetto aggiornamento. Si riportano quindi di seguito le visualizzazioni di tali cartografie, tratte per una più agevole presentazione dal sistema *webgis* dell’AdBD Alpi Orientali ([sigma.distrettoalpiorientali.it](http://sigma.distrettoalpiorientali.it)), da cui è possibile osservare come il sedime dell’ambito di intervento sia caratterizzato da:

- pericolosità idraulica moderata P1 (vd. Figura 17);
- rischio idraulico specifico moderato R1 (vd. Figura 18).

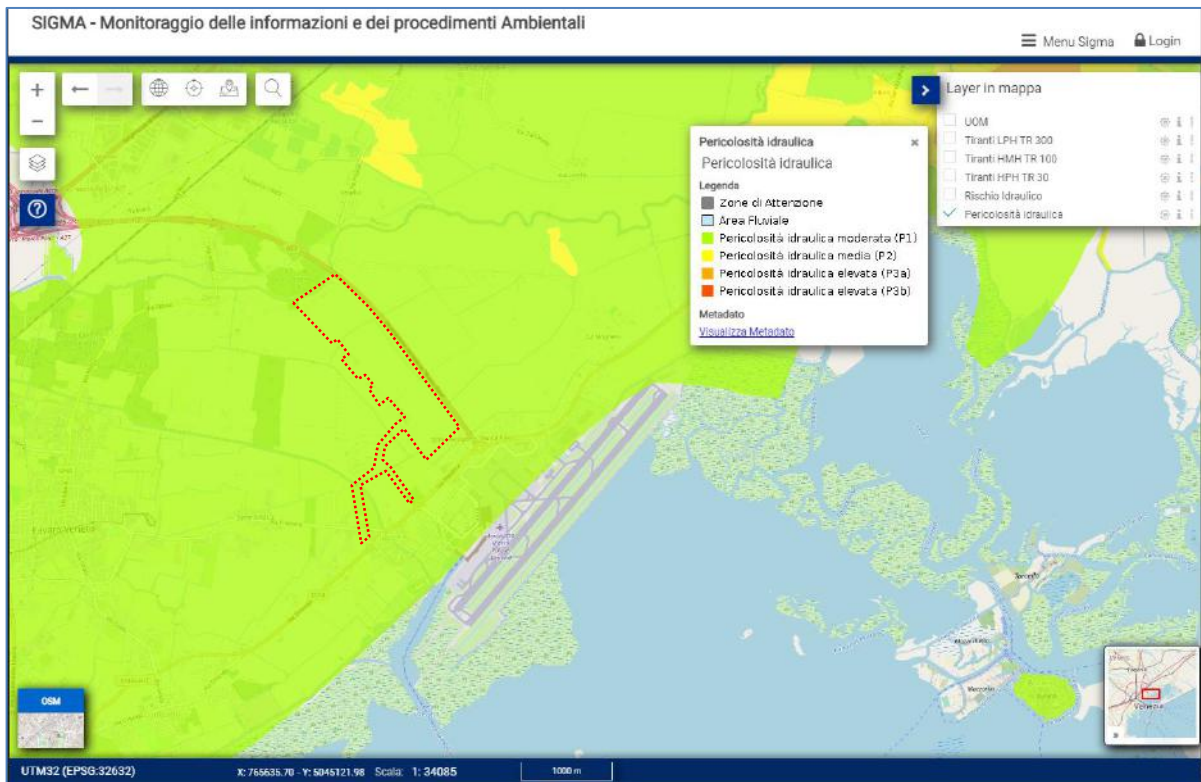


Figura 17: carta pericolosità idraulica PGRA 2021-2027 (AdBD Alpi Orientali)

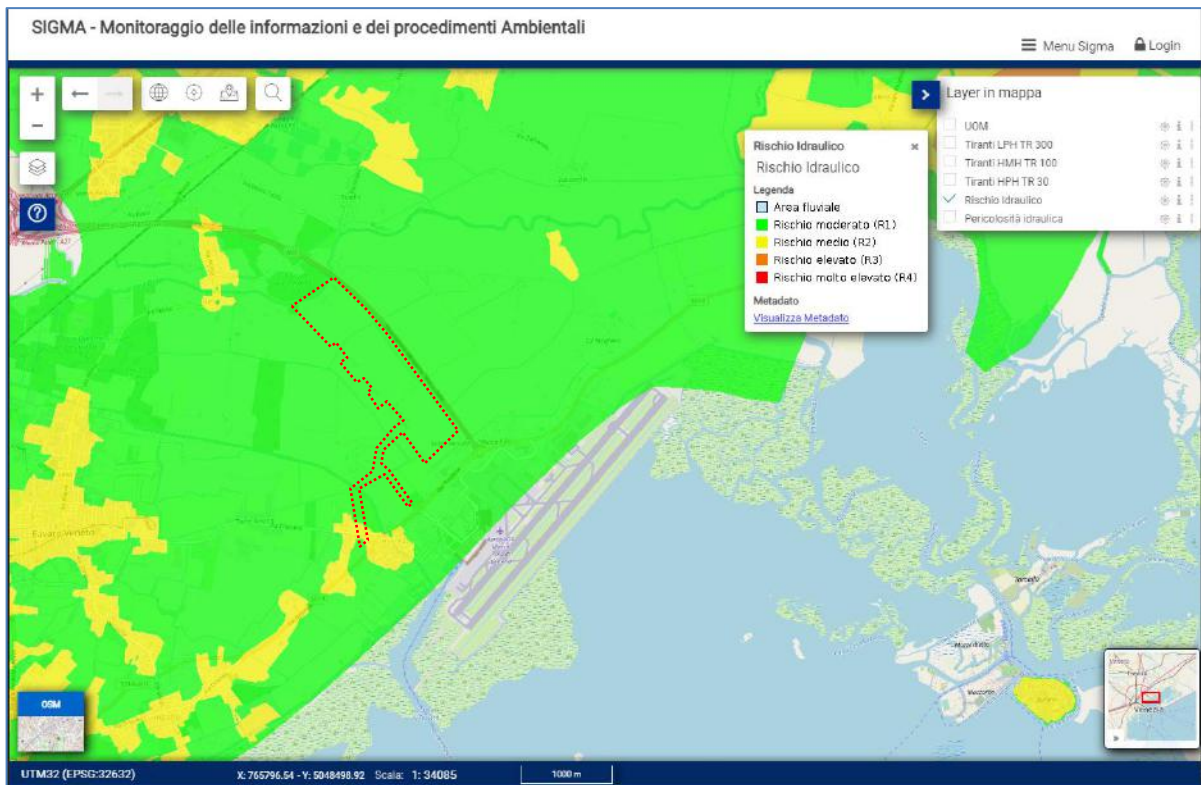


Figura 18: carta rischio idraulico PGRA 2021-2027 (AdBD Alpi Orientali)

Il PGRA 2021-2027 propone inoltre la perimetrazione delle aree che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo lo scenario di bassa probabilità (tempo di ritorno  $T_r$  fino a 500 anni), di media probabilità ( $T_r$  fra 100 e 200 anni) e alta probabilità ( $T_r$  fra 20 e 50 anni), indicando per ogni scenario sopra richiamato l'estensione delle inondazioni, l'altezza idrica e le caratteristiche del deflusso. Si riscontra quindi che nell'area di intervento sono calcolati:

- assenza di allagamenti per scenari con alta probabilità di accadimento (vd. Figura 19);
- tiranti inferiori a 50 cm in caso di allagamento per eventi a media o bassa probabilità di accadimento (vd. Figura 20 e Figura 21).

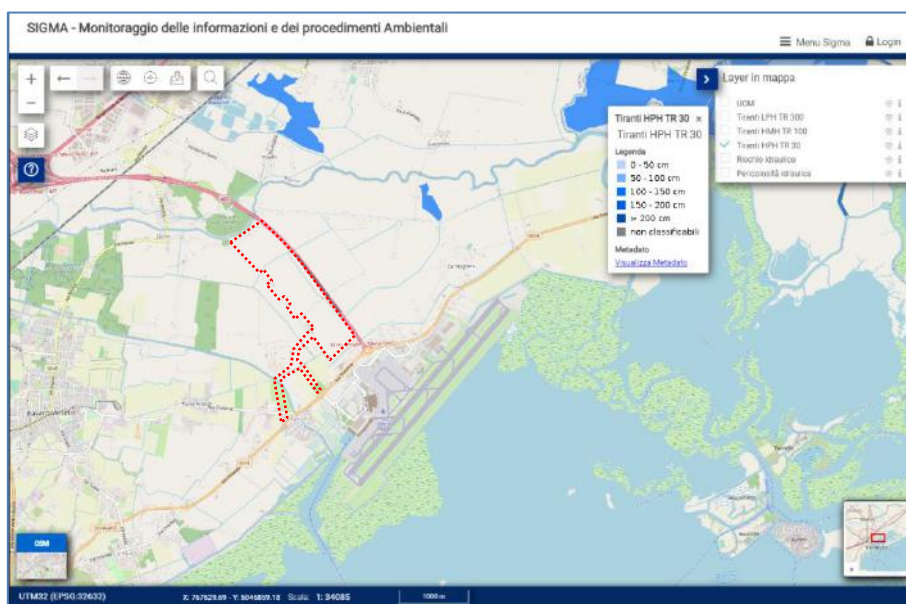


Figura 19: carta allagabilità  $T_r$  30 anni PGRA 2021-2027 (AdBD Alpi Orientali)

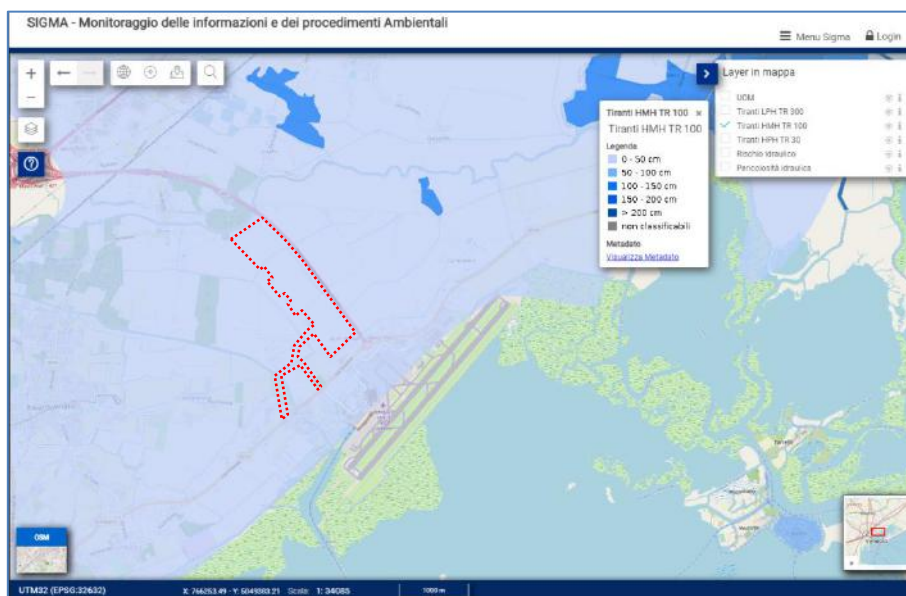


Figura 20: carta allagabilità  $T_r$  100 anni PGRA 2021-2027 (AdBD Alpi Orientali)



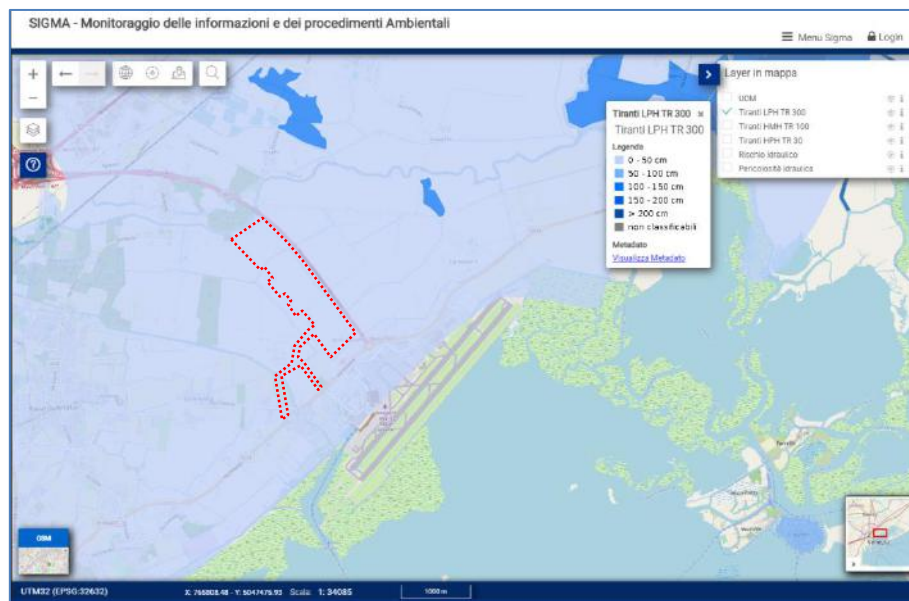


Figura 21: carta allagabilità Tr 300 anni PGRA 2021-2027 (AdBD Alpi Orientali)

### 3.5.2 Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Scolante nella Laguna di Venezia

Per completezza, si riporta inoltre il riferimento al PAI del Bacino Scolante nella Laguna di Venezia in vigore fino allo scorso gennaio, in cui l'area di intervento era contenuta nelle tavole n.50 e n.60 della Carta della Pericolosità Idraulica, la cui sovrapposizione è riprodotta in Figura 22. Anche in tal caso l'intero ambito era caratterizzato da una pericolosità idraulica "P1 - Pericolosità idraulica moderata - Area soggetta a scolo meccanico", evidenziato con retino puntinato azzurro, mentre non erano presenti, né all'interno dell'ambito né del relativo sottobacino idrografico, aree a pericolosità media (P2) o elevata (P3). Nelle stesse tavole erano riportate, con tratteggio nero, le aree allagate durante gli eventi alluvionali del settembre 2007, dalla cui mappatura, riportata anche nella successiva Figura 23, è possibile osservare che le aree all'interno dell'ambito di studio non sono state interessate da tali allagamenti.

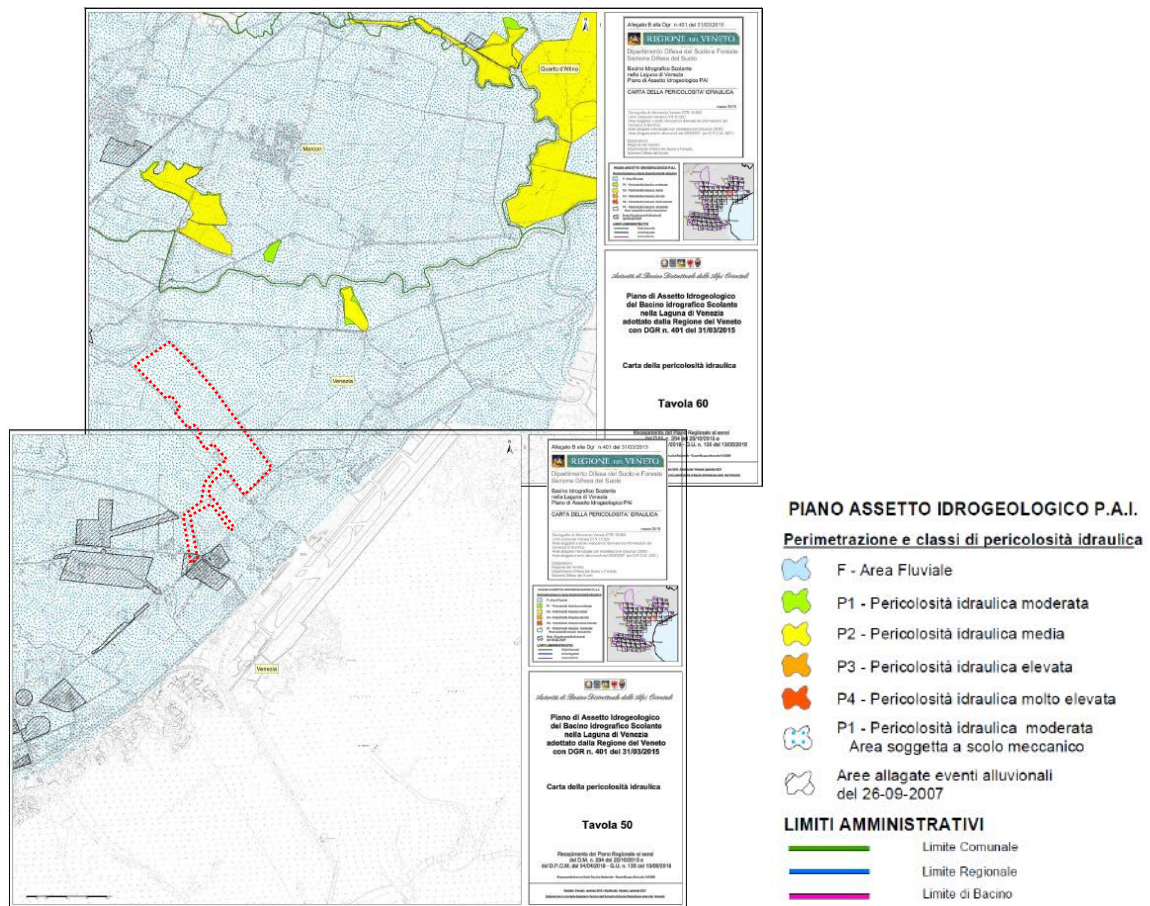


Figura 22: PAI Bacino Scolante in Laguna - Carta della Pericolosità Idraulica (AdB Alpi Orientali, 2015)

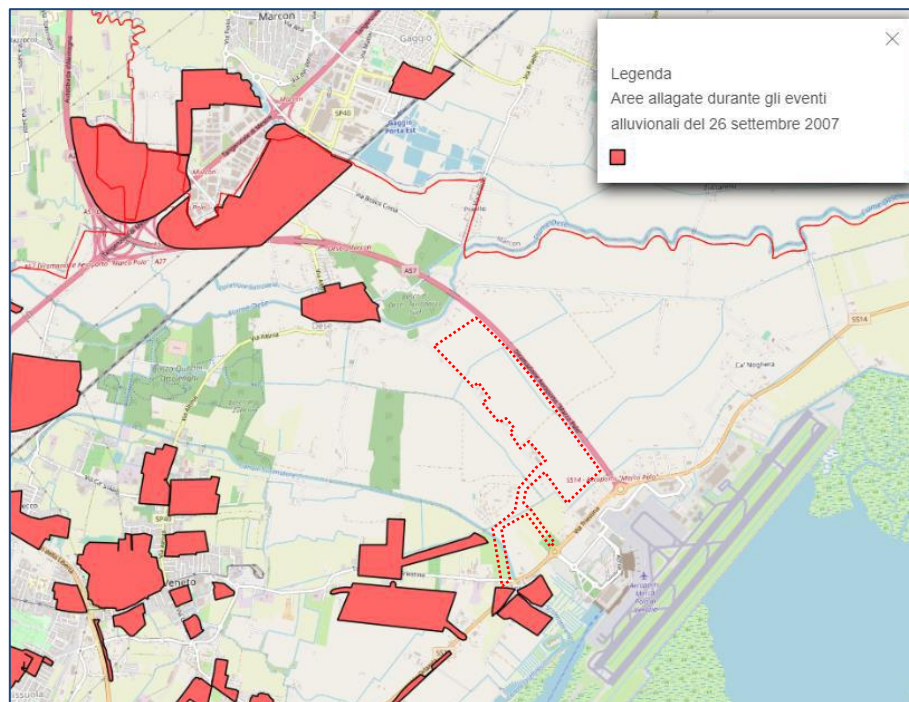


Figura 23: aree allagate durante gli eventi alluvionali del 26 settembre 2007 (Geoportale Regione Veneto)

### 3.5.3 Criticità idrauliche

Con riferimento all'identificazione delle criticità idrauliche a livello di dettaglio comunale presentato nel Piano delle Acque del Comune di Venezia, si riscontrano due principali criticità nel bacino idrografico attualmente afferente all'idrovora Cattal:

- l'insufficienza idraulica del collettore Acque Medie Cattal, che nella relativa modellazione genera esondazioni per eventi con tempo di ritorno di 20 anni (scheda criticità n.46);
- la necessità di potenziamento dell'impianto idrovoro Cattal e di interventi di compensazione e di invaso nel sottobacino (scheda criticità n.47).

Per la risoluzione di tali criticità, da parte del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive sono stati avviati numerosi progetti, relativi in sintesi a:

- la ricalibratura del collettore Acque Medie Cattal e dello scolo Pagliaghetta, suo affluente;
- la realizzazione di un bacino di laminazione lungo il corso dello stesso collettore Acque Medie Cattal;
- la realizzazione di un nuovo impianto idrovoro per la diversione dei contributi di piena del collettore Acque Medie Cattal verso il canale Osellino (tratto di foce del fiume Marzenego);
- la realizzazione di un bacino di fitodepurazione a monte dell'idrovora Cattal, finalizzato all'ottenimento dei prescritti requisiti ambientali.

## 4 STATO DI RIFORMA

### 4.1 Descrizione degli interventi

In sintesi, la trasformazione in esame consiste nella realizzazione di una nuova “Cittadella dello sport”, costituita da:

- uno stadio con capacità di 16'000 spettatori;
- un'arena palasport da 12'000 posti;
- una serie estesa di servizi quali campi da tennis, padel, beach volley, aree spettacoli e altri edifici di servizio;
- aree boscate per la compensazione e la ricomposizione ambientale per una superficie complessiva di oltre 40 ha;
- circa 15 km di nuovi percorsi ciclo-pedonali;
- un compendio di nuova viabilità per l'accesso a n.7 aree di parcheggio distribuite lungo il perimetro dell'area di intervento.

### 4.2 Uso del suolo

#### 4.2.1 Analisi delle trasformazioni delle superfici

Al fine del calcolo dell'invarianza idraulica la prima attività da svolgere è l'analisi delle modificazioni dell'uso del suolo nelle prospettate configurazioni di riforma, finalizzata alla valutazione della variazione complessiva della permeabilità delle superfici e, di conseguenza, della relativa risposta idrologica in caso di eventi gravosi di precipitazione.

Primaria attenzione è stata quindi posta nell'analisi dell'articolazione delle superfici che si realizzeranno con lo stato di riforma nel comparto dedicato agli impianti sportivi, ai parcheggi e alle aree di compensazione ambientale, illustrata nella tavola allegata n.03, qui riprodotta in Figura 24.

L'analisi generale delle trasformazioni è sintetizzabile nei seguenti criteri:

- complessivamente l'ambito di intervento ha una superficie di 95.9 ha, dei quali 61.4 ha saranno dedicati alle superfici a verde (boschi, prati, verde attrezzato) in adiacenza alla cittadella;
- a sud dell'ambito della cittadella dello sport, all'interno di un ambito di circa 18.9 ha, ulteriori 4.0 ha saranno interessati dalla realizzazione della nuova viabilità di collegamento con la SS 14 in località Tesserà, e 14.0 ha saranno dedicati ad aree verdi.



Figura 24

Analizzando in dettaglio le tipologie delle superfici all'interno del comparto relativo alla cittadella dello sport, si può osservare che:

- le principali superfici impermeabilizzate sono quelle della copertura del nuovo stadio e del palasport, oltre alla superficie pedonale attorno a tali strutture. Si aggiungono in questa categoria tutte le coperture dei vari edifici previsti e la nuova viabilità per l'accesso all'area e ai parcheggi disposti lungo il perimetro, per una superficie stimata pari a 26.7 ha, rappresentata nella suddetta tavola in colore grigio;
- tutti gli stalli di parcheggio verranno realizzati come superfici semi-permeabili, con una particolare metodologia costituita da ghiaia inerbita, per una superficie complessiva pari a 2.8 ha, indicata in tavola con colore arancione;
- importante sarà nell'ambito di progetto la viabilità ciclo-pedonale, che sarà realizzata con superfici semipermeabili pari complessivamente a 5.0 ha, indicati in tavola con colore giallo;
- come anticipato, le aree a verde, sia all'interno dell'ambito degli impianti sportivi che nelle immediate vicinanze, occuperanno una superficie di circa 61.4 ha, evidenziata in tavola con colore verde.

#### 4.2.2 Calcolo del coefficiente di deflusso medio ragguagliato

Come indicato dalle indicazioni operative della DGRV 2948/2009 (Allegato A):

*“I coefficienti di deflusso, ove non determinati analiticamente, andranno convenzionalmente assunti pari a 0,1 per le aree agricole, 0,2 per le superfici permeabili (aree verdi), 0,6 per le superfici semi-permeabili (grigliati drenanti con sottostante materasso ghiaioso, strade in terra battuta o stabilizzato, ...) e pari a 0,9 per le superfici impermeabili (tetti, terrazze, strade, piazzali,...)”*.

Si assumono quindi coefficienti di deflusso, da applicare alle suddette superfici, pari a:

- 0.9 per le superfici impermeabili;
- 0.6 per le superfici semi-permeabili (stalli di parcheggio e viabilità ciclo-pedonale);
- 0.2 per le aree a verde.

Nella Tabella 1 di seguito riportata è quindi contenuta la sintesi di tali valutazioni, poste a base del calcolo del coefficiente di deflusso ragguagliato, stimato come valore medio sull'intera superficie del comparto, pesato rispetto all'estensione delle aree con differente permeabilità. Per l'ambito di trasformazione corrispondente al comparto "1" il coefficiente di deflusso medio ragguagliato è quindi pari a 0.43.

| <b>COMPARTO 1 - BOSCO DELLO SPORT</b> |             |                   |
|---------------------------------------|-------------|-------------------|
| A agricole [m <sup>2</sup> ]          | 0.1         | -                 |
| A verdi [m <sup>2</sup> ]             | 0.2         | 614'069.00        |
| A semipermeabili [m <sup>2</sup> ]    | 0.6         | 77'708.00         |
| A impermeabili [m <sup>2</sup> ]      | 0.9         | 266'944.00        |
|                                       |             |                   |
| <b>A tot [m<sup>2</sup>]</b>          |             | <b>958'721.00</b> |
| <b>Cd medio ragguagliato</b>          | <b>0.43</b> |                   |

Tabella 1: caratteristiche uso del suolo - stato di riforma - comparto 1

Per quanto attiene la nuova viabilità di collegamento con la SS 14, si tratta di una superficie di 4.0 ha impermeabilizzati per la realizzazione della nuova viabilità e di ulteriori 14.0 ha a verde, all'interno dei quali verranno realizzati i volumi di invaso di stretta pertinenza della compensazione idraulica della nuova viabilità. A corredo di tali aree, si stimano superfici semi-permeabili per la viabilità ciclo-pedonale per un totale di 0.9 ha. Nella seguente Tabella 2 è presentato il calcolo del coefficiente di deflusso medio ragguagliato per tale comparto, che porta al valore di 0.37.

| <b>COMPARTO 2 - VIABILITÀ</b>      |             |                   |
|------------------------------------|-------------|-------------------|
| A agricole [m <sup>2</sup> ]       | 0.1         | -                 |
| A verdi [m <sup>2</sup> ]          | 0.2         | 140'187.00        |
| A semipermeabili [m <sup>2</sup> ] | 0.6         | 8'961.00          |
| A impermeabili [m <sup>2</sup> ]   | 0.9         | 39'656.00         |
|                                    |             |                   |
| <b>A tot [m<sup>2</sup>]</b>       |             | <b>188'804.00</b> |
| <b>Cd medio ragguagliato</b>       | <b>0.37</b> |                   |

Tabella 2: caratteristiche uso del suolo - stato di riforma - comparto 2

La stima del coefficiente medio ragguagliato riferito all'intera superficie di trasformazione porta alle valutazioni sintetizzate nella seguente Tabella 3: considerando la superficie totale di 114.8 ha il coefficiente medio ragguagliato è leggermente inferiore a quello calcolato per la zona degli impianti sportivi, pari cioè a 0.42.

| <b>TOTALE</b>                      |             |                     |
|------------------------------------|-------------|---------------------|
| A agricole [m <sup>2</sup> ]       | 0.1         | -                   |
| A verdi [m <sup>2</sup> ]          | 0.2         | 754'256.00          |
| A semipermeabili [m <sup>2</sup> ] | 0.6         | 86'669.00           |
| A impermeabili [m <sup>2</sup> ]   | 0.9         | 306'600.00          |
|                                    |             |                     |
| <b>A tot [m<sup>2</sup>]</b>       |             | <b>1'147'525.00</b> |
| <b>Cd medio ragguagliato</b>       | <b>0.42</b> |                     |

Tabella 3: caratteristiche uso del suolo - stato di riforma - totale

#### 4.2.3 Classe di intervento

Ai sensi dell'Allegato A alla DGRV 2948/2009, l'intervento si configura quindi come caso di "marcata impermeabilizzazione potenziale" poiché si riferisce a:

- una superficie totale di 114.8 ha (superiore a 10 ha);
- un coefficiente di deflusso medio ragguagliato nella prospettata configurazione di riforma pari a 0.42 (Imp>0.3).

#### 4.3 Corpo idrico ricettore

Come accennato in precedenza, la realizzanda cittadella dello sport insiste all'interno del bacino di bonifica a sollevamento meccanico tributario dell'impianto idrovoro Cattal, in un sottobacino afferente al collettore Cattal.

In ottemperanza a quanto prescritto dalle "Linee guida" edite nel 2009 dall'ex Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007, il recapito delle acque meteoriche dovrebbe restare invariato rispetto allo stato *ante*

*operam: “È inoltre importante ricordare che l’invarianza idraulica così come intesa nella DGR 1322/06 e nelle ordinanze commissariali non è solo riferita alla portata scaricata, altri sono gli aspetti necessari a garantirla. In particolare: 1. L’invarianza del punto di recapito. Oltre a mantenere invariata la portata generata dal lotto oggetto di trasformazione è infatti opportuno convogliare le acque nel medesimo ricettore dello stato di fatto, ciò consente di non aggravare altre reti”.*

In considerazione del fatto che la cittadella dello sport verrebbe ad insistere in prossimità del limite che separa il sottobacino delle “Acque basse” da quello delle “Acque medie” afferente ai collettori Acque Alte e Acque Medie Cattal, e su esplicita indicazione del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive, ente gestore dei collettori e degli impianti di bonifica del territorio in esame, si ritiene tuttavia opportuno che i deflussi generati nella futura configurazione di progetto vengano deviati verso il Collettore Acque Medie Cattal, che come già indicato scorre lungo il margine sud-ovest dell’area di intervento.

Si evidenzia infatti che il bacino delle *Acque Medie* è oggetto di un importante piano di ristrutturazione idraulica, come già anticipato nel §3.5.3. All’interno di questo sedime infatti insiste l’aeroporto Marco Polo di Venezia, per cui in attuazione a specifiche intese fra il Consorzio di Bonifica e SAVE è stato dato avvio a un grande piano, che prevede la realizzazione di un nuovo impianto idrovoro della capacità di 8 m<sup>3</sup>/s, una volta a regime, oltre alla realizzazione di un grande bacino di laminazione in sinistra idraulica del collettore Acque Medie Cattal.

Viene quindi scelto come corpo idrico ricettore il collettore Acque Medie Cattal in vece del collettore Cattal, il cui alveo non sarà modificato al di fuori dell’area di intervento.

Il recapito nel Collettore Acque Medie sarà ottenuto mediante un manufatto di collegamento, ubicato nel vertice sud dell’area di intervento, che consentirà al contempo l’attraversamento in sottopassaggio di via Ca’ Zorzi e l’incollo dei volumi idrici invasati a monte, permettendo lo scarico delle portate massime effettivamente consentite.



## 5 DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI COMPENSAZIONE IDRAULICA

Oggetto del presente capitolo è la descrizione del dimensionamento e delle principali scelte ingegneristiche in merito ai dispositivi di compensazione idraulica necessari per garantire la compatibilità idraulica degli interventi proposti, in termini di invarianza rispetto alla condizione attuale del territorio e di ottemperanza dei vincoli vigenti.

I criteri di dimensionamento di tali opere sono definiti, per la Regione del Veneto, all'interno del documento di *“Valutazione di compatibilità idraulica - Linee guida”* edito nel 2009 dal Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione del Veneto. Come ribadito in tale documento, *“le misure compensative consistono sostanzialmente nella individuazione e progettazione di volumi e modalità di gestione di essi in modo che l'area interessata da intervento di trasformazione del suolo non modifichi la propria risposta idrologico-idraulica in termini di portata generata”*.

Viene quindi di seguito descritto il calcolo del necessario volume di compensazione per garantire l'invarianza idraulica, ponendosi la necessità di definire le relative modalità di realizzazione, ai fini della successiva verifica con modello idrologico-idraulico, come prescritto dalla normativa regionale, trattandosi di un intervento di *“marcata impermeabilizzazione potenziale”*.

### 5.1 Metodi di calcolo

Le suddette *“Linee guida”* forniscono criteri ingegneristici *“semplificati”* per il dimensionamento delle opere di invaso mediante formule e abachi utilizzabili direttamente per classi di intervento di *“trascurabile impermeabilizzazione potenziale”*, *“modesta impermeabilizzazione”* o *“modesta impermeabilizzazione potenziale”* (metodo dell'invaso) o di *“significativa impermeabilizzazione potenziale”* (metodo cinematico-razionale o delle sole piogge), mentre indicano che per casi di *“marcata impermeabilizzazione potenziale”* come il caso in esame è necessario uno specifico studio idrologico-idraulico, a livello di bacino, in grado di evidenziare la formazione dell'onda di piena di progetto, di verificare l'efficacia del sistema di invaso nel contenimento dei volumi di piena e nella restituzione ai corpi idrici recettori, mediante simulazioni modellistiche di moto vario.

Punto di partenza per il pre-dimensionamento delle opere è in ogni caso la formulazione del metodo dell'invaso, che tratta il problema di moto vario in modo semplificato e può

essere applicato con il supporto degli abachi specifici per ciascuna zona territoriale omogenea in cui è divisa la regione o con specifici strumenti di calcolo messi a disposizione dal competente Consorzio di Bonifica Acque Risorgive ([www.acquerisorgive.it](http://www.acquerisorgive.it)), basati sul recente studio commissionato dal Consorzio Unione Regionale Consorzi Gestione e Tutela del Territorio e Acque Irrighe ANBI Veneto “*Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento*”, basato su dati meteorologici aggiornati fino al 31/12/2017.

Una volta definito l'ordine di grandezza dei volumi di invaso necessari per l'invarianza idraulica, mediante approccio ingegneristico semplificato, sarà quindi proposto e verificato mediante modellazione matematica a moto vario un dettagliato compendio di opere di laminazione, distribuito correttamente nell'ambito di trasformazione oggetto di studio.

## 5.2 Precipitazioni di riferimento

Per l'analisi idraulica qui descritta si fa riferimento a dati di pioggia “sintetici” calcolati cioè su base statistica in funzione del tempo di ritorno e della durata di pioggia a partire dalle curve di possibilità pluviometrica più recenti approvate dal Consorzio di Bonifica Veneto Acque Risorgive, contenute nel sopra citato aggiornamento 2019 dell’*“Analisi regionalizzata delle precipitazioni”*, tali da fornire appunto un valore statistico ai risultati ottenuti.

Con riferimento a quanto prescritto dal Consorzio di Bonifica Acque Risorgive, per precipitazioni di durata compresa fra 5 minuti e 24 ore è possibile calcolare l'altezza di pioggia  $h$  per un tempo di ritorno  $T_r$  e un tempo di pioggia  $t_p$  mediante una curva di possibilità pluviometrica a tre parametri nella forma:

$$h = \frac{a}{(t_p + b)^c} t_p$$

in cui  $t_p$  è espresso in [minuti] e  $h$  in [mm], mentre i parametri  $a$ ,  $b$ , e  $c$  sono stati calcolati per la “sottozona omogenea 3” (evidenziata in rosso nella mappa del comprensorio in Figura 25) in cui è contenuto l'ambito di Tessera, e riassunti nella seguente tabella, in funzione dei tempi di ritorno  $T_r$  a cui fare riferimento, cui corrispondono le altezze di pioggia rappresentate nel grafico in Figura 26.

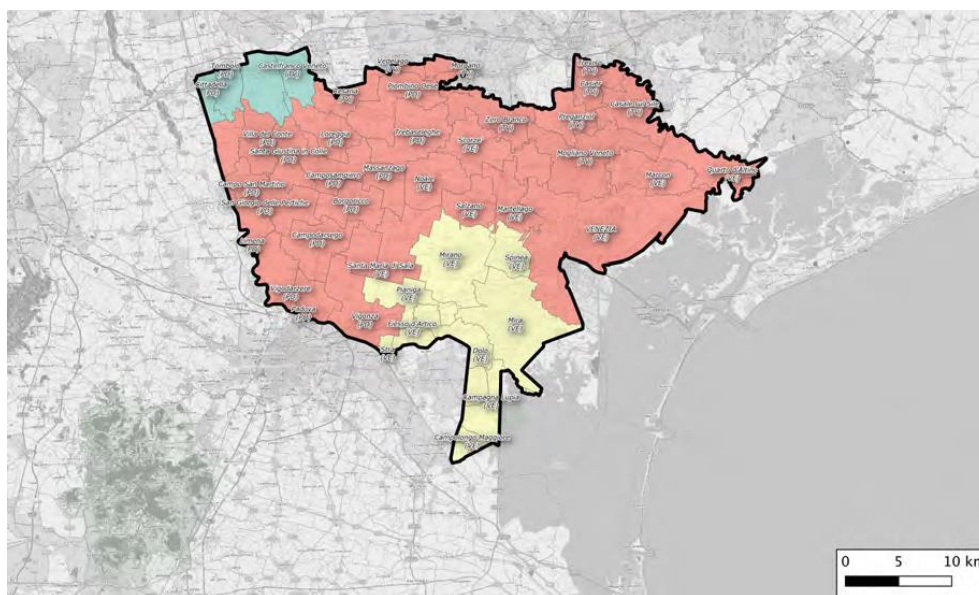


Figura 25: sottozone omogenee (Analisi regionalizzata delle precipitazioni - CdB Acque Risorgive, i4 Consulting Srl, 2019)

| Tr<br>[anni] | a    | b    | c     |
|--------------|------|------|-------|
| 2            | 19.6 | 9.3  | 0.812 |
| 5            | 23.7 | 10.0 | 0.807 |
| 10           | 26.1 | 10.4 | 0.798 |
| 20           | 28.0 | 10.7 | 0.787 |
| 30           | 28.8 | 10.9 | 0.780 |
| 50           | 29.7 | 11.1 | 0.770 |
| 100          | 30.5 | 11.3 | 0.755 |
| 200          | 30.9 | 11.5 | 0.740 |

Tabella 4: parametri della curva segnalatrice tri-parametrica per le piogge sub-giornaliere sottozona omogenea 3 (Analisi regionalizzata delle precipitazioni - CdB Acque Risorgive, i4 Consulting Srl, 2019)

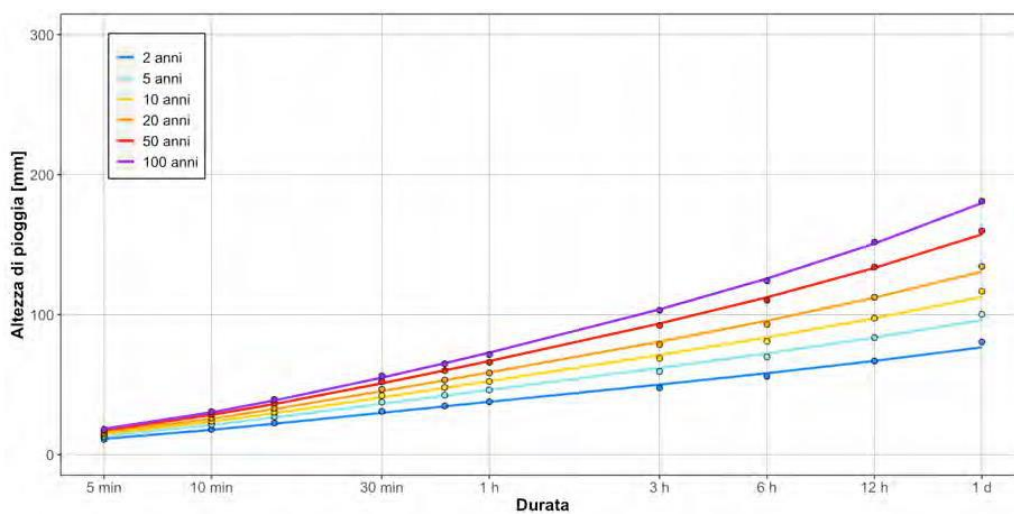


Figura 26: curve segnalatrici di possibilità pluviometrica per durate sub-giornaliere - sottozona omogenea 3 (Analisi regionalizzata delle precipitazioni - CdB Acque Risorgive, i4 Consulting Srl, 2019)

Per l'analisi dell'ambito di trasformazione, caratterizzato da sottobacini afferenti alla rete di raccolta di esigua estensione e con tempi di corrivazione ridotti, si sceglie quindi di fare riferimento a eventi con diverso tempo di pioggia, da 1 a 12 ore, per tempi di ritorno di 50 anni, in modo da poter combinare le valutazioni per quanto riguarda la frequenza e la gravosità degli eventi considerati.

Per  $T_r = 50$  anni si ottiene quindi:

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| per $t_p = 1$ ora  | $h = 66.8$ mm  |
| per $t_p = 3$ ora  | $h = 93.6$ mm  |
| per $t_p = 6$ ora  | $h = 112.3$ mm |
| per $t_p = 12$ ora | $h = 133.3$ mm |

Considerando la superficie complessiva del bacino afferente alla rete considerata, pari a circa 115 ha (di cui circa 31 da considerarsi impermeabili), si stanno quindi valutando eventi di pioggia corrispondenti a volumi meteorici complessivi variabili fra 77'000 e 153'000 m<sup>3</sup>.

### 5.3 Pre-dimensionamento del volume di invaso

#### 5.3.1 Stima del volume di invaso con il metodo dell'invaso

Con i parametri sopra discussi è possibile applicare gli strumenti di calcolo forniti dal Consorzio di Bonifica Acque Risorgive, con la fondamentale ipotesi che il coefficiente udometrico consentito allo scarico sia pari a 5 l/s·ha, come prescritto dal Piano delle Acque del Comune di Venezia per le trasformazioni presso il bacino Cattal.

Con l'ulteriore ipotesi, semplificativa, che gli invasi siano ottenuti mediante sezioni aperte, si ottengono quindi per il comparto della cittadella dello sport i seguenti risultati per il tempo di ritorni di 50 anni, che portano a stimare che il volume necessario per tale comparto, al fine del rispetto dell'invarianza idraulica è pari a circa 46'570 m<sup>3</sup>, con un contributo specifico per unità di superficie pari a circa 483 m<sup>3</sup> per ettaro di trasformazione.

Ideato e realizzato da: ing. Martino Cerni

**ACQUE RISORGIVE**  
CONSORZIO DI BONIFICA

**METODO DELL' INVASO**

Specificare : - Comune  
- tempo di ritorno [anni]  
- coefficiente d'afflusso  
- coefficiente udometrico imposto [l/s,ha]  
- esponente  $\alpha$  della scala delle portate

Versione 1.0  
Curve di possibilità pluviometrica  
ANBI Veneto 2019

**ABBI VENETO**  
UNIONE REGIONALE CONSORZI DISTRETTO  
E TUTELA DEL TERRITORIO E ACQUE IRRIGUE

**PARAMETRI IN INGRESSO**

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Venezia                                      | 50                       |
| Coefficiente d'afflusso k                    | 0.43 [-]                 |
| Coefficiente udometrico imposto allo scarico | 5 [l/s, ha]              |
| Esponente $\alpha$ della scala delle portate | 1.5 [-]                  |
| Superficie intervento                        | 958721 [m <sup>2</sup> ] |

**RISULTATI**

Parametri della curva di possibilità pluviometrica  $h = \frac{a \cdot t}{(t + b)^c}$

|                         |                 |   |                                |
|-------------------------|-----------------|---|--------------------------------|
| Comune di               | Venezia         | a | 29.7 [mm min <sup>-0.1</sup> ] |
| Zona                    | ZONA OMOGENEA 3 | b | 11.1 [min]                     |
| Tempo di ritorno [anni] | 50              | c | 0.77 [-]                       |

|   |  |
|---|--|
| Volume specifico richiesto per l'invarianza | 483 [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ] |
| Volume richiesto per l'invarianza           | 46269.6 [m <sup>3</sup> ]              |

Programma gratuito distribuito dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive (www.acquerisorgive.it)  
Si declina ogni responsabilità per qualsiasi danno, diretto o indiretto, causato dall'utilizzo del programma.

Figura 27: Tr 50 anni

Con riferimento alla superficie totale di intervento, comprensiva cioè anche del comparto destinato alla nuova viabilità verso Tessera, i risultati ottenuti analogamente sono riportati di seguito, e portano alla stima di un volume di invaso necessario complessivamente pari a circa 53'700 m<sup>3</sup>.

Ideato e realizzato da: ing. Martino Cerni

**ACQUE RISORGIVE**  
CONSORZIO DI BONIFICA

**METODO DELL' INVASO**

Specificare : - Comune  
- tempo di ritorno [anni]  
- coefficiente d'afflusso  
- coefficiente udometrico imposto [l/s,ha]  
- esponente  $\alpha$  della scala delle portate

Versione 1.0  
Curve di possibilità pluviometrica  
ANBI Veneto 2019

**ABBI VENETO**  
UNIONE REGIONALE CONSORZI DISTRETTO  
E TUTELA DEL TERRITORIO E ACQUE IRRIGUE

**PARAMETRI IN INGRESSO**

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Venezia                                      | 50                          |
| Coefficiente d'afflusso k                    | 0.42 [-]                    |
| Coefficiente udometrico imposto allo scarico | 5 [l/s, ha]                 |
| Esponente $\alpha$ della scala delle portate | 1.5 [-]                     |
| Superficie intervento                        | 1'147'525 [m <sup>2</sup> ] |

**RISULTATI**

Parametri della curva di possibilità pluviometrica  $h = \frac{a \cdot t}{(t + b)^c}$

|                         |                 |   |                                |
|-------------------------|-----------------|---|--------------------------------|
| Comune di               | Venezia         | a | 29.7 [mm min <sup>-0.1</sup> ] |
| Zona                    | ZONA OMOGENEA 3 | b | 11.1 [min]                     |
| Tempo di ritorno [anni] | 50              | c | 0.77 [-]                       |

|   |  |
|---|--|
| Volume specifico richiesto per l'invarianza | 468 [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ] |
| Volume richiesto per l'invarianza           | 53695.3 [m <sup>3</sup> ]              |

Programma gratuito distribuito dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive (www.acquerisorgive.it)  
Si declina ogni responsabilità per qualsiasi danno, diretto o indiretto, causato dall'utilizzo del programma.

Figura 28: Tr 50 anni

### 5.3.2 Stima del volume di invaso con il metodo delle piogge

La stima del volume necessario per garantire l'invarianza idraulica, ossia per invasare temporaneamente i maggiori volumi generati dall'area nella prospettata configurazione di riforma, può essere calcolato anche come differenza fra i volumi affluiti alla rete di raccolta e i volumi massimi scaricabili nel corpo idrico ricettore, nell'ipotesi semplificativa di trascurare tutti i processi di trasformazione afflussi-deflussi a meno della separazione della precipitazione efficace ottenuta con il metodo del coefficiente di deflusso medio.

Tale ipotesi semplicistica implica che le portate in ingresso al sistema di invaso siano sovrastimate e di conseguenza, nel caso si riesca a garantire la costanza della portata massima allo scarico, anche i volumi di laminazione risulteranno sovrastimanti e cautelativi. Ipotizzando quindi di applicare la formulazione dell'altezza di precipitazione  $h$  (calcolata in millimetri) nella forma:

$$h(t) = \frac{a \cdot t}{(b + t)^c}$$

come funzione del tempo di pioggia  $t$  (espresso in minuti) e di 3 parametri  $(a, b, c)$  determinati mediante l'Analisi regionalizzata di recente aggiornata dal già citato studio commissionato da ANBI a i4 Consulting Srl (dicembre 2019), a loro volta funzione del tempo di ritorno dell'evento e della zona territoriale di riferimento, si può considerare che il volume in ingresso alla rete  $V_{IN}$  nel tempo di pioggia  $t$  sia pari a:

$$V_{IN} = S \cdot \varphi \cdot \frac{a \cdot t}{(b + t)^c}$$

e che nello stesso tempo il volume massimo scaricabile  $V_{OUT}$  sia pari alla portata imposta dalle prescrizioni del Piano delle Acque  $Q_{IMP}$  moltiplicata per lo stesso tempo  $t$ :

$$V_{OUT} = Q_{IMP} \cdot t$$

Il volume da invasare  $V$  al tempo di pioggia  $t$  è quindi esprimibile come:

$$V = V_{IN} - V_{OUT} = S \cdot \varphi \cdot h(t) - Q_{IMP} \cdot t = S \cdot \varphi \cdot \frac{a \cdot t}{(b + t)^c} - Q_{IMP} \cdot t$$

il cui valore massimo è ricavabile ponendo pari a 0 la derivata prima di  $V$  in funzione di  $t$ . La durata di pioggia critica per l'intero bacino scolante  $t_{critico}$  non è esprimibile in forma esplicita da tale derivata, tuttavia è sufficiente un semplice processo iterativo per la risoluzione della seguente relazione:

$$t_{critico} = \left\{ \frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot \left[ -\frac{c \cdot t_{critico}}{t_{critico} + b} + 1 \right]} \right\}^{-1/c} - b$$

Nelle ipotesi di riferimento di tempo di ritorno di 50 anni, si ha quindi per il caso in esame:

$$a = 29.7 \quad b = 11.1 \quad c = 0.770 \quad (\text{vd. Tabella 4})$$

$$S = 958'721 \text{ m}^3 \text{ per il comparto 1}$$

$$\varphi = 0.43 \quad (\text{vd. Tabella 1})$$

$$Q_{IMP} = 5 \text{ l/s} \cdot \text{ha} \cdot 9.59 \text{ ha} = 479 \text{ l/s} = 0.479 \text{ m}^3/\text{s}$$

da cui è possibile ricavare la durata critica pari a:

$$t_{critico} = 418 \text{ minuti} = 6.97 \text{ ore}$$

Tale valore, come anticipato, è da considerarsi valido per l'intero bacino nelle prospettate condizioni di riforma, mentre si vedrà in seguito come per le valutazioni di moto vario di dettaglio si sia fatto riferimento anche a un tempo critico per ciascun sotto-bacino in cui l'intero ambito può essere suddiviso, con riferimento alla rete di progetto, posto pari a 1 ora. Con riferimento all'intero bacino è stato comunque calcolato il massimo valore di portata, definibile con il metodo cinematico, pari a:

$$\text{per } t_p = t_{critico} \quad Q_{max} = \frac{S \varphi h(t_{critico})}{t_{critico}}$$

il cui andamento temporale è rappresentato nella seguente Figura 29, e il corrispondente massimo volume di invaso, come differenza fra il volume affluito e quello defluito, il cui andamento temporale è rappresentato in Figura 30. Si riscontra che il massimo volume di invaso secondo la formulazione sopra esposta è pari a:

$$V_{INV} = 36'064 \text{ m}^3$$

valore inferiore a quello precedentemente stimato con il metodo dell'invaso, e per questo motivo non tenuto in considerazione nel corso del seguente dimensionamento.

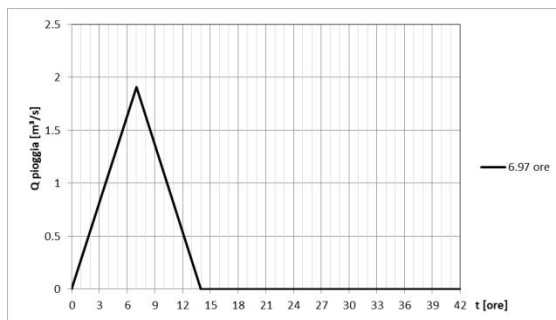


Figura 29: portata generata per  $t_p = 6.97$  ore

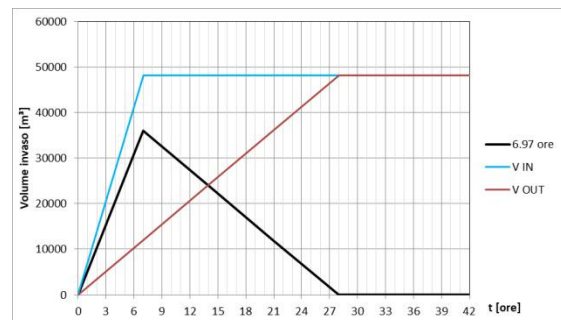


Figura 30: volume invasato per  $t_p = 6.97$  ore

### 5.3.3 Volume di invaso integrativo per la compensazione degli interventi di rialzo dal piano campagna

Al risultato più cautelativo ottenuto e descritto in precedenza in termini di volume di invaso (§ 5.3.1) è necessario, come anticipato, sommare un ulteriore contributo di invaso per la compensazione degli interventi di rialzo delle superfici rispetto al piano campagna nella zona degli impianti sportivi, prescritto pari a 150 m<sup>3</sup>/ha di superficie rialzata.

Dalle previsioni del Masterplan, è possibile stimare che la superficie destinata a rialzo rispetto all'esistente piano campagna è pari a circa 60.6 ha, concentrata nella zona centrale e settentrionale dell'ambito, per cui sarà necessario ottenere un ulteriore volume di invaso non inferiore a 9'090 m<sup>3</sup> dedicato a tale compensazione idraulica.

Il volume di invaso complessivamente necessario per l'invarianza idraulica, nelle ipotesi sopra proposte, è quindi pari a:

$$V_{INV} = 62'775 \text{ m}^3$$



## 5.4 Definizione degli invasi per le acque meteoriche

Nel precedente paragrafo è stato descritto il calcolo semplificato del necessario volume di compensazione per garantire l'invarianza idraulica, ponendosi quindi la necessità di definire le relative modalità di realizzazione, ai fini della successiva verifica con modello idrologico-idraulico, come prescritto dalla normativa regionale, trattandosi di un intervento di "marcata impermeabilizzazione potenziale".

Detto volume è pari a circa 62'775 m<sup>3</sup>, valore questo non marginale che impone una suddivisione in diverse componenti, come di seguito descritto.

### 5.4.1 Invasi superficiali

Una prima distinzione deve essere posta con riferimento agli invasi superficiali, a cielo aperto, che potranno trovare spazio all'interno delle aree a verde previste dal Masterplan.

La tavola allegata n.04, qui riprodotta in Figura 31, contiene la rappresentazione schematica di tali invasi, riconducibili a tre distinte categorie:

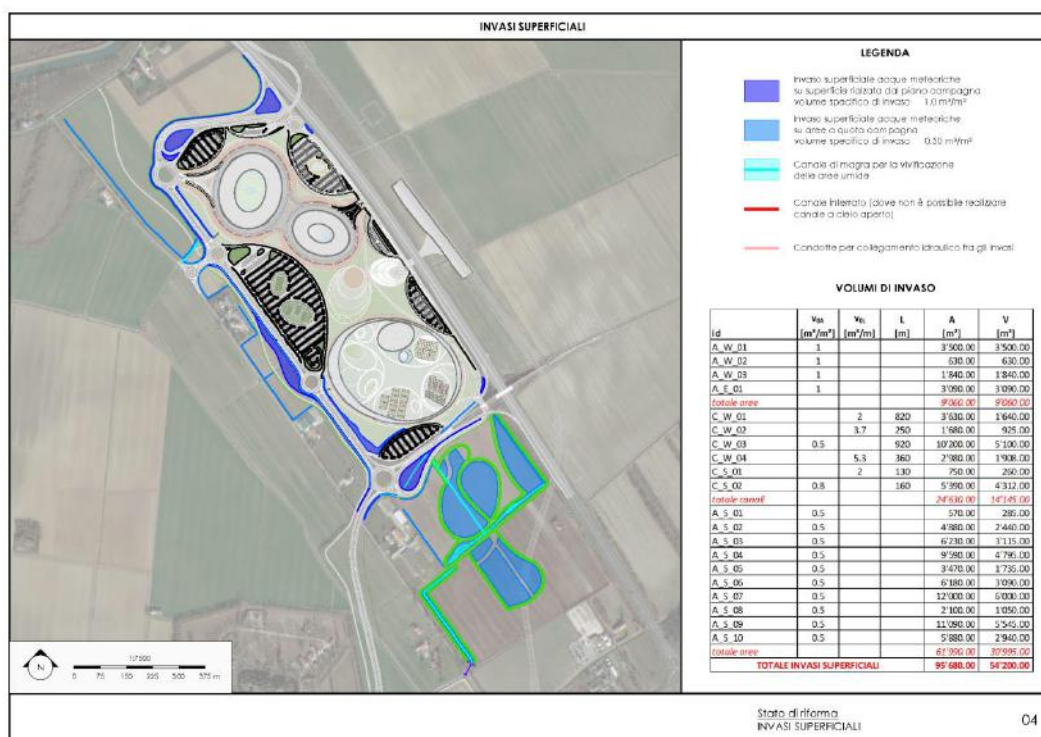


Figura 31: opere di compensazione - planimetria degli invasi superficiali

1. Invasi superficiali ottenuti in aree allagabili ai lati della nuova viabilità o delimitate negli spazi contenuti dagli svincoli e nelle aree di pertinenza degli impianti sportivi e dei servizi (indicate in planimetria con colore blu scuro), che avranno giaciture di

progetto sopraelevate rispetto all'attuale piano campagna, variabili fra circa 0.75 e 1.00 m s.m.m. In questo caso è possibile ipotizzare un volume specifico di invaso minimo pari a 1 m<sup>3</sup> per metro quadrato di superficie, tenuto conto che sarà possibile predisporre dei manufatti di regolazione, che consentano di riempire tali superfici con un adeguato franco di sicurezza. A tal fine verranno utilizzate tutte le superfici all'interno delle nuove rotatorie di progetto e dei raccordi viari, con una superficie complessiva significativa, pari a circa 37'300 m<sup>2</sup> corrispondenti a un invaso di circa 26'300 m<sup>3</sup>;

2. Invasi superficiali ottenuti mediante bassure e arginature delle aree di compensazione ambientale a sud della zona degli impianti sportivi, con giacitura superiore al livello ordinario della falda freatica, piantumate con essenze in grado di sopportare periodici allagamenti. Per tale tipologia di superfici è stata adottata una capacità di invaso specifico pari a 0,5 m<sup>3</sup> per metro quadrato, equivalente quindi a un tirante massimo di 50 cm rispetto al fondo. All'interno di tale categoria sono state inserite le superfici integrative esterne all'area della cittadella dello sport, per una superficie complessiva di circa 62'000 m<sup>2</sup> corrispondenti a un volume di circa 31'000 m<sup>3</sup>, all'interno dei quali è computato anche un volume di circa 9'500 m<sup>3</sup> a titolo di compensazione delle aree per cui è previsto il rialzo rispetto al piano campagna esistente;
3. Sono infine rappresentate con colore azzurro chiaro nella tavola n.04 anche le aree caratterizzate da quote di fondo più basse, al di sotto del livello ordinario della falda freatica, vale a dire canalizzazioni per garantire un flusso di vivificazione per le aree umide a sud. Tali volumi non sono utili ai fini dell'invarianza idraulica, poiché non risulterebbero vuoti all'incidere di un evento di precipitazione, ma svolgono in ogni caso un importante ruolo nel sistema idraulico di progetto.

La sintesi delle dimensioni caratteristiche degli invasi superficiali di progetto è contenuta nella seguente Tabella 5, in cui è possibile valutare il volume totale disponibile all'interno di tali invasi, pari a circa 54'200 m<sup>3</sup>: valore poco superiore a quello calcolato come necessario con il metodo più cautelativo al precedente § 5.3.1.

| id                                | $v_{0A}$<br>[m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ] | $v_{0L}$<br>[m <sup>3</sup> /m] | L<br>[m] | A<br>[m <sup>2</sup> ] | V<br>[m <sup>3</sup> ] |
|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------|------------------------|------------------------|
| A_W_01                            | 1   |                                 |          | 3'500.00               | 3'500.00               |
| A_W_02                            | 1   |                                 |          | 630.00                 | 630.00                 |
| A_W_03                            | 1   |                                 |          | 1'840.00               | 1'840.00               |
| A_E_01                            | 1   |                                 |          | 3'090.00               | 3'090.00               |
| <i>totale aree</i>                |   |                                 |          | <i>9'060.00</i>        | <i>9'060.00</i>        |
| C_W_01                            |   | 2                               | 820      | 3'630.00               | 1'640.00               |
| C_W_02                            |   | 3.7                             | 250      | 1'680.00               | 925.00                 |
| C_W_03                            | 0.5   |                                 | 920      | 10'200.00              | 5'100.00               |
| C_W_04                            |   | 5.3                             | 360      | 2'980.00               | 1'908.00               |
| C_S_01                            |   | 2                               | 130      | 750.00                 | 260.00                 |
| C_S_02                            | 0.8   |                                 | 160      | 5'390.00               | 4'312.00               |
| <i>totale canali</i>              |   |                                 |          | <i>24'630.00</i>       | <i>14'145.00</i>       |
| A_S_01                            | 0.5   |                                 |          | 570.00                 | 285.00                 |
| A_S_02                            | 0.5   |                                 |          | 4'880.00               | 2'440.00               |
| A_S_03                            | 0.5   |                                 |          | 6'230.00               | 3'115.00               |
| A_S_04                            | 0.5   |                                 |          | 9'590.00               | 4'795.00               |
| A_S_05                            | 0.5   |                                 |          | 3'470.00               | 1'735.00               |
| A_S_06                            | 0.5   |                                 |          | 6'180.00               | 3'090.00               |
| A_S_07                            | 0.5   |                                 |          | 12'000.00              | 6'000.00               |
| A_S_08                            | 0.5   |                                 |          | 2'100.00               | 1'050.00               |
| A_S_09                            | 0.5   |                                 |          | 11'090.00              | 5'545.00               |
| A_S_10                            | 0.5   |                                 |          | 5'880.00               | 2'940.00               |
| <i>totale aree</i>                |   |                                 |          | <i>61'990.00</i>       | <i>30'995.00</i>       |
| <b>TOTALE INVASI SUPERFICIALI</b> |   |                                 |          | <b>95'680.00</b>       | <b>54'200.00</b>       |

Tabella 5: invasi superficiali

#### 5.4.2 Invasi profondi

Oltre ai volumi superficiali sono ovviamente previsti anche volumi di invaso sotterranei o profondi, ottenuti grazie alla capacità delle tubazioni interrato e dei manufatti vari a servizio della rete di raccolta e di drenaggio delle acque meteoriche (fatta eccezione per gli specifici volumi di invaso delle acque di prima pioggia a servizio dei parcheggi, che non possono essere considerati ai fini dell'invarianza idraulica, tenuto conto che è assolutamente possibile che all'incidere dell'evento di precipitazione questi siano già riempiti, in attesa di essere inviati a trattamento).

La planimetria schematica di tali invasi profondi è contenuta nella tavola allegata n.05, qui riprodotta in Figura 32.

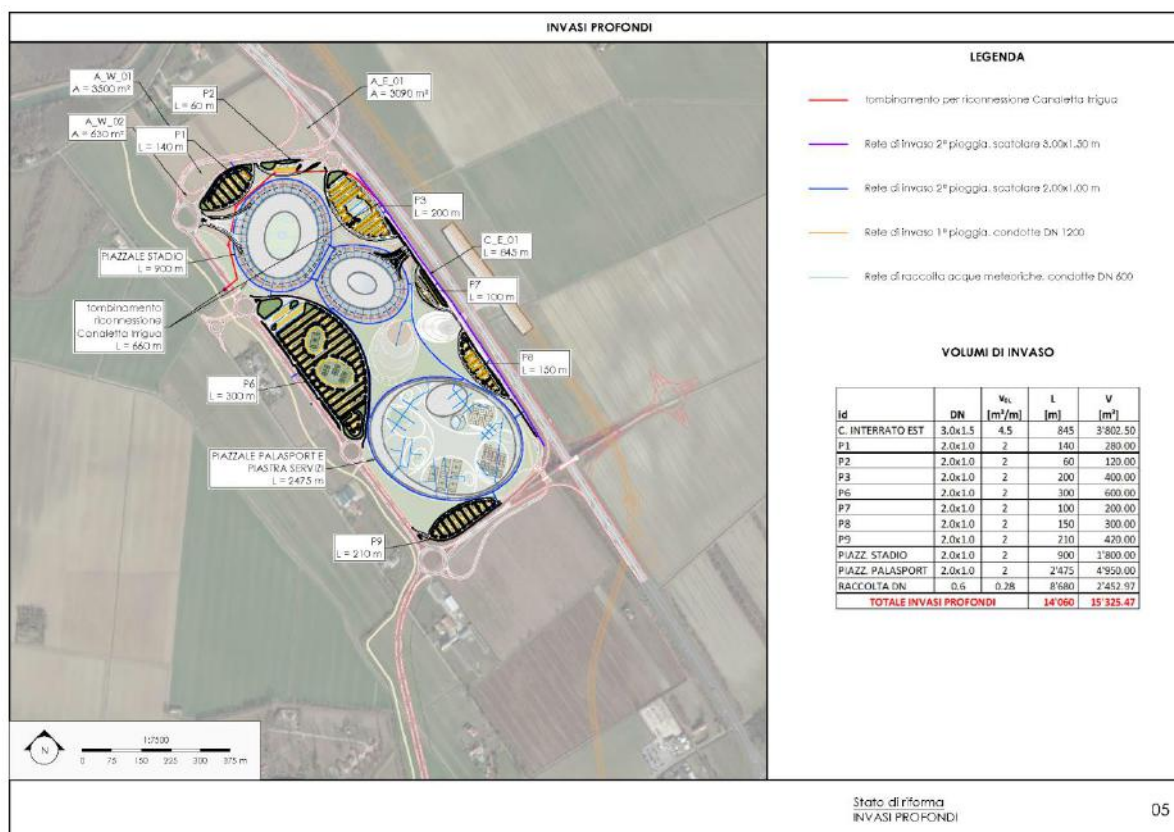


Figura 32: opere di compensazione - planimetria degli invasi profondi

Come indicato nella suddetta tavola n.05, sono compresi in tale categoria di opere i seguenti volumi:

1. le tubazioni lungo il margine perimetrale dei parcheggi, per il collettamento delle acque meteoriche “di seconda pioggia” scolanti dalle relative superfici (pur se prevalentemente semi-permeabili), per le quali si prevede l’impiego di condotte prefabbricate scatolari con dimensioni nominali interne di 2.0x1.0 m, tali da essere quindi ampie ma di altezza ridotta per consentire il deflusso a gravità verso il punto di scarico finale;
2. le tubazioni di raccolta delle acque meteoriche dai suddetti parcheggi, collegate alle caditoie di captazione distribuite sulle superfici della viabilità interna, previste con condotte circolari con DN 600 mm;
3. le dorsali di collettamento all’interno della cittadella, destinate a raccogliere i deflussi incidenti sulle porzioni impermeabili e semipermeabili della piattaforma dove verranno realizzati gli impianti, oltre alle relative tubazioni perimetrali al piazzale dello stadio, del palasport e della piastra per gli altri servizi, anche in

questo caso ottenute con elementi scatolari 2.0x1.0 m per i tratti perimetrali e DN 600 mm per i tratti di raccolta;

4. fra gli invasi profondi rientra anche la rete di raccolta dei flussi incidenti sulla nuova viabilità parallela alla bretella autostradale lungo il bordo nord-est dell'ambito, non essendoci fisicamente lo spazio per realizzare, come per molti versi sarebbe stato auspicabile, un canale a cielo aperto, che sarà destinata anche a collettare e trasportare verso il punto di recapito le acque meteoriche raccolte nei parcheggi P3, P7 e P8 lungo tale bordo. Per tale canalizzazione interrata è previsto un condotto scatolare con dimensioni nominali interne di 3.0x1.5 m.

Come indicato nella Tabella 6 qui riportata, i volumi di invaso ottenibili nel sistema di condotte interrate è pari a circa 15'300 m<sup>3</sup>.

| id                            | DN      | v <sub>OL</sub><br>[m <sup>3</sup> /m] | L<br>[m]      | V<br>[m <sup>3</sup> ] |
|-------------------------------|---------|--|---------------|------------------------|
| C. INTERRATO EST              | 3.0x1.5 | 4.5                                    | 845           | 3'802.50               |
| P1                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 140           | 280.00                 |
| P2                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 60            | 120.00                 |
| P3                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 200           | 400.00                 |
| P6                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 300           | 600.00                 |
| P7                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 100           | 200.00                 |
| P8                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 150           | 300.00                 |
| P9                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 210           | 420.00                 |
| PIAZZ. STADIO                 | 2.0x1.0 | 2                                      | 900           | 1'800.00               |
| PIAZZ. PALASPORT              | 2.0x1.0 | 2                                      | 2'475         | 4'950.00               |
| RACCOLTA DN                   | 0.6     | 0.28                                   | 8'680         | 2'452.97               |
| <b>TOTALE INVASI PROFONDI</b> |         |  | <b>14'060</b> | <b>15'325.47</b>       |

Tabella 6: invasi profondi

#### 5.4.3 Sintesi delle opere di compensazione proposte

Il compendio di volumi invasabili all'incidere di una precipitazione è quindi dato dalla somma di volumi superficiali e profondi sopra descritti, per un volume totale pari a circa 69'500 m<sup>3</sup>.

Nella tavola allegata n.06 sono contenute due sezioni trasversali caratteristiche per il compendio di invasi proposto: la prima (A-A) è relativa al sistema di invaso a cui afferiscono le piattaforme della cittadella dello sport e i relativi parcheggi: si compone quindi della rete di raccolta dalle caditoie superficiali, dell'invaso di prima e seconda pioggia, con i necessari pozzetti di separazione per impedire il relativo mescolamento, e del

collegamento fra le linee di invaso di seconda pioggia e gli invasi superficiali distribuiti intorno alla viabilità di progetto. In azzurro chiaro è rappresentata la porzione inferiore dei canali perimetrali, non considerata per l'invaso delle acque meteoriche, che viene interessata dal deflusso di magra per la vivificazione degli spazi acquei previsti a sud.



Figura 33: sezione A-A

Nella seconda sezione (B-B) è invece rappresentato un transetto delle aree di invaso superficiale a sud, nella zona dedicata alla compensazione ambientale. In tale ambito, i bacini invasabili sono ottenuti mediante arginatura parziale delle aree verdi, la cui altimetria è mantenuta pari a quella attuale per consentire la piantumazione di specie ad alto fusto, su cui sono possibili volumi specifici di invaso pari a  $0.50 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .

Anche in questo caso è rappresentato in colore azzurro chiaro la sezione più profonda della cunetta di magra, utile non ai fini dell'invarianza idraulica ma per favorire il deflusso a gravità dei volumi invasati verso il punto di recapito.



Figura 34: sezione B-B

## 6 VERIFICHE DI INVARIANZA IDRAULICA

### 6.1 Schema della rete e sottobacini afferenti

Lo schema semplificato della rete, in uno con la relativa distinzione fra differenti sezioni tipologiche discretizzate nella modellazione matematica di moto vario, sovrapposta alla suddivisione della planimetria di progetto in sottobacini imbriferi elementari, è contenuto nella tabola allegata n.07, qui riprodotta in Figura 35.

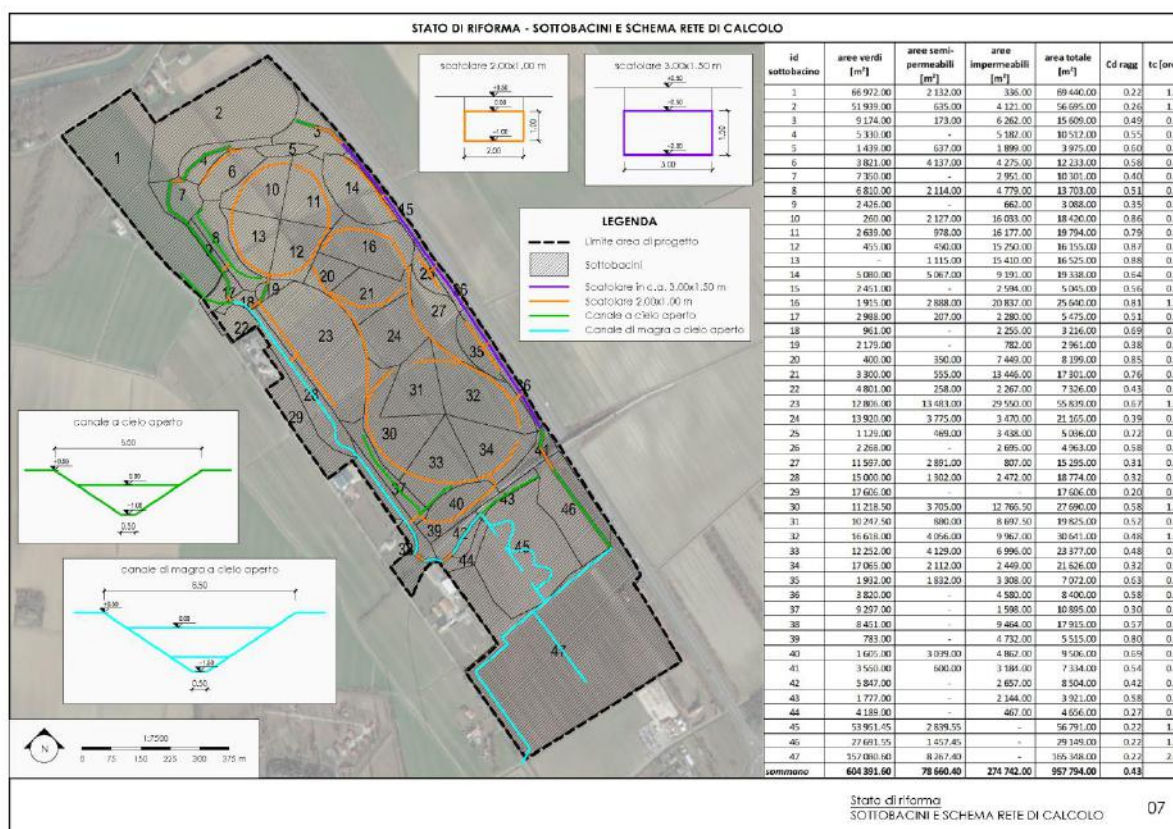


Figura 35: schema dei sottobacini elementari e della rete di calcolo

Con diversi colori sono quindi riportate le diverse tipologie di canalizzazione previste:

- in colore verde, le aree di invaso e i canali a cielo aperto che consentono un invaso specifico fino a 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, caratterizzati da quote rialzate rispetto il piano campagna esistente (sommità +0.50 m s.m.m., fondo -1.00 m s.m.m.), in quanto realizzati nelle immediate pertinenze della viabilità o delle piattaforme di progetto;
- in colore azzurro, le canalizzazioni a cielo aperto che contengono anche una cunetta di magra per consentire un deflusso "di vivificazione" dal collettore Canaletta Irrigua allo scarico in collettore Cattal (fondo -1.50 m s.m.m.) e le aree di invaso ottenute nella zona di ricomposizione ambientale a sud, mediante arginatura del piano campagna

esistente (sommità +0.50 m s.m.m., fondo -0.50 m s.m.m.), dove consentono un invaso distribuito di 0.50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>;

- in colore arancione le canalizzazioni interratoe ottenute mediante condotte scatoari di dimensioni nominali interne di 2.0x1.0 m (cielo 0.00 m s.m.m., scorrimento -1.00 m s.m.m.), che costituiscono la rete di raccolta di seconda pioggia di tutte le superfici anche solo parzialmente impermeabilizzate, presso i parcheggi, le piattaforme dello stadio, del palasport e dei servizi;
- in colore viola il canale scatoare interrato per la raccolta delle acque della zona rivolta a nord-est, verso la bretella autostradale, con dimensioni nominali interne di 3.0x1.5 m (cielo -0.50 m s.m.m., scorrimento -2.00 m s.m.m.).

Nella stessa tavola è riportata la tabella di sintesi delle superfici di ciascun sottobacino, distinte per tipologie di permeabilità coerentemente con il metodo di calcolo imposto dalla DGRV 2948/2009, con il calcolo del relativo coefficiente di deflusso medio ragguagliato, a partire dalla mappatura dei diversi usi del suolo già descritta nel § 4.2. Si osserva che i coefficienti di deflusso medio sono compresi fra valori minimi di 0.20 (zone a bosco) e 0.88 (sottobacini impermeabili corrispondenti alle piattaforme dello stadio e del palasport).

## 6.2 Tempi di corrivazione

Il calcolo del tempo di corrivazione per i sottobacini imbriferi di riferimento si è basato sulla celebre formula di *Ventura*, di ampio utilizzo per comprensori di pianura, che indica il tempo di corrivazione come funzione di sole due variabili tipiche del bacino *i*: la superficie  $A_b$  e la pendenza media del percorso idraulico principale  $I$ :

$$t_{c,i} = 0.1272 \sqrt{\frac{A_{b,i}}{I_i}}$$

con  $A_b$  espressa in [km<sup>2</sup>], pendenza  $i$  adimensionale, e  $t_c$  calcolato in [ore].

Come noto, esistono numerose trattazioni per la definizione del tempo di corrivazione (fra le molte si citano per memoria quelle di *Giandotti*, di *Pezzoli*, di *Kirpich*, di *Pasini*, di *Turazza*), tuttavia in assenza di specifiche prove sperimentali rimane sempre una certa indeterminazione riguardo a tale parametro. Senza voler qui entrare nel dettaglio delle prove eseguite, si evidenzia che la formula di *Ventura* è quella che ha dato valori medi per diverse caratteristiche del bacino e che si è rivelata la più idonea per basse pendenze dei percorsi idraulici, poste pari a 0.0004 (40 cm /km) in ogni bacino.



Nella seguente tabella, già contenuta nella tabola n.07, sono quindi calcolati anche i tempi caratteristici di corrivazione di ciascun sottobacino. Appare evidente che, a meno di alcuni sottobacini particolarmente estesi, corrispondenti alle zone destinate a bosco, i tempi di corrivazione sono tutti poco variabili nell'intorno di 1 ora, valore che per semplicità sarà preso come riferimento per tutti i sottobacini.

| id sottobacino | aree verdi [m <sup>2</sup> ] | aree semi-permeabili [m <sup>2</sup> ] | aree impermeabili [m <sup>2</sup> ] | area totale [m <sup>2</sup> ] | Cd ragg     | tc [ore] |
|----------------|------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|-------------|----------|
| 1              | 66'972.00                    | 2'132.00                               | 336.00                              | 69'440.00                     | 0.22        | 1.68     |
| 2              | 51'939.00                    | 635.00                                 | 4'121.00                            | 56'695.00                     | 0.26        | 1.51     |
| 3              | 9'174.00                     | 173.00                                 | 6'262.00                            | 15'609.00                     | 0.49        | 0.79     |
| 4              | 5'330.00                     | -                                      | 5'182.00                            | 10'512.00                     | 0.55        | 0.65     |
| 5              | 1'439.00                     | 637.00                                 | 1'899.00                            | 3'975.00                      | 0.60        | 0.40     |
| 6              | 3'821.00                     | 4'137.00                               | 4'275.00                            | 12'233.00                     | 0.58        | 0.70     |
| 7              | 7'350.00                     | -                                      | 2'951.00                            | 10'301.00                     | 0.40        | 0.65     |
| 8              | 6'810.00                     | 2'114.00                               | 4'779.00                            | 13'703.00                     | 0.51        | 0.74     |
| 9              | 2'426.00                     | -                                      | 662.00                              | 3'088.00                      | 0.35        | 0.35     |
| 10             | 260.00                       | 2'127.00                               | 16'033.00                           | 18'420.00                     | 0.86        | 0.86     |
| 11             | 2'639.00                     | 978.00                                 | 16'177.00                           | 19'794.00                     | 0.79        | 0.89     |
| 12             | 455.00                       | 450.00                                 | 15'250.00                           | 16'155.00                     | 0.87        | 0.81     |
| 13             | -                            | 1'115.00                               | 15'410.00                           | 16'525.00                     | 0.88        | 0.82     |
| 14             | 5'080.00                     | 5'067.00                               | 9'191.00                            | 19'338.00                     | 0.64        | 0.88     |
| 15             | 2'451.00                     | -                                      | 2'594.00                            | 5'045.00                      | 0.56        | 0.45     |
| 16             | 1'915.00                     | 2'888.00                               | 20'837.00                           | 25'640.00                     | 0.81        | 1.02     |
| 17             | 2'988.00                     | 207.00                                 | 2'280.00                            | 5'475.00                      | 0.51        | 0.47     |
| 18             | 961.00                       | -                                      | 2'255.00                            | 3'216.00                      | 0.69        | 0.36     |
| 19             | 2'179.00                     | -                                      | 782.00                              | 2'961.00                      | 0.38        | 0.35     |
| 20             | 400.00                       | 350.00                                 | 7'449.00                            | 8'199.00                      | 0.85        | 0.58     |
| 21             | 3'300.00                     | 555.00                                 | 13'446.00                           | 17'301.00                     | 0.76        | 0.84     |
| 22             | 4'801.00                     | 258.00                                 | 2'267.00                            | 7'326.00                      | 0.43        | 0.54     |
| 23             | 12'806.00                    | 13'483.00                              | 29'550.00                           | 55'839.00                     | 0.67        | 1.50     |
| 24             | 13'920.00                    | 3'775.00                               | 3'470.00                            | 21'165.00                     | 0.39        | 0.93     |
| 25             | 1'129.00                     | 469.00                                 | 3'438.00                            | 5'036.00                      | 0.72        | 0.45     |
| 26             | 2'268.00                     | -                                      | 2'695.00                            | 4'963.00                      | 0.58        | 0.45     |
| 27             | 11'597.00                    | 2'891.00                               | 807.00                              | 15'295.00                     | 0.31        | 0.79     |
| 28             | 15'000.00                    | 1'302.00                               | 2'472.00                            | 18'774.00                     | 0.32        | 0.87     |
| 29             | 17'606.00                    | -                                      | -                                   | 17'606.00                     | 0.20        | 0.84     |
| 30             | 11'218.50                    | 3'705.00                               | 12'766.50                           | 27'690.00                     | 0.58        | 1.06     |
| 31             | 10'247.50                    | 880.00                                 | 8'697.50                            | 19'825.00                     | 0.52        | 0.90     |
| 32             | 16'618.00                    | 4'056.00                               | 9'967.00                            | 30'641.00                     | 0.48        | 1.11     |
| 33             | 12'252.00                    | 4'129.00                               | 6'996.00                            | 23'377.00                     | 0.48        | 0.97     |
| 34             | 17'065.00                    | 2'112.00                               | 2'449.00                            | 21'626.00                     | 0.32        | 0.94     |
| 35             | 1'932.00                     | 1'832.00                               | 3'308.00                            | 7'072.00                      | 0.63        | 0.53     |
| 36             | 3'820.00                     | -                                      | 4'580.00                            | 8'400.00                      | 0.58        | 0.58     |
| 37             | 9'297.00                     | -                                      | 1'598.00                            | 10'895.00                     | 0.30        | 0.66     |
| 38             | 8'451.00                     | -                                      | 9'464.00                            | 17'915.00                     | 0.57        | 0.85     |
| 39             | 783.00                       | -                                      | 4'732.00                            | 5'515.00                      | 0.80        | 0.47     |
| 40             | 1'605.00                     | 3'039.00                               | 4'862.00                            | 9'506.00                      | 0.69        | 0.62     |
| 41             | 3'550.00                     | 600.00                                 | 3'184.00                            | 7'334.00                      | 0.54        | 0.54     |
| 42             | 5'847.00                     | -                                      | 2'657.00                            | 8'504.00                      | 0.42        | 0.59     |
| 43             | 1'777.00                     | -                                      | 2'144.00                            | 3'921.00                      | 0.58        | 0.40     |
| 44             | 4'189.00                     | -                                      | 467.00                              | 4'656.00                      | 0.27        | 0.43     |
| 45             | 53'951.45                    | 2'839.55                               | -                                   | 56'791.00                     | 0.22        | 1.52     |
| 46             | 27'691.55                    | 1'457.45                               | -                                   | 29'149.00                     | 0.22        | 1.09     |
| 47             | 157'080.60                   | 8'267.40                               | -                                   | 165'348.00                    | 0.22        | 2.59     |
| <b>somma</b>   | <b>604'391.60</b>            | <b>78'660.40</b>                       | <b>274'742.00</b>                   | <b>957'794.00</b>             | <b>0.43</b> |          |

Tabella 7: caratteristiche dei sottobacini elementari

### 6.3 Trasformazione afflussi-deflussi

Per il caso in esame si fa riferimento al modello idrologico concettuale “cinematico” o “della corrivazione”, basato sulla separazione delle componenti efficaci alla formazione della piena, a partire dai volumi totali di precipitazione, e sul ritardo di corrivazione delle acque meteoriche.

Con riferimento a tale metodo per il calcolo delle trasformazioni afflussi-deflussi nel bacino idrologico elementare afferente alla rete di progetto, è noto che la massima portata generata è riscontrabile nell’ipotesi di durata dell’evento di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino stesso, ipotesi che darebbe luogo a un idrogramma della portata generata nel tempo di forma triangolare, nel quale la portata raggiungerebbe il valore massimo  $Q_{max}$  dopo il tempo di pioggia  $t_c$ , e si annullerebbe dopo una uguale durata, secondo l’equazione:

$$\text{per } t_p = t_c \quad Q_{max} = \frac{S \cdot \varphi \cdot h(t_c)}{t_c}$$

in cui  $C_d$  è il coefficiente di deflusso ragguagliato per il sottobacino di superficie  $A_b$ .

Le portate massime ipotetiche per eventi di precipitazione con durate differenti dal tempo di corrivazione avranno invece valori inferiori a quella sopra indicata calcolata, pari a:

$$\text{per } t_p < t_c \quad Q_{max} = \frac{S \cdot \varphi \cdot h(t_p)}{t_c}$$

$$\text{per } t_p > t_c \quad Q_{max} = \frac{S \cdot \varphi \cdot h(t_p)}{t_p}$$

In queste condizioni, poste come ipotesi per il problema in esame, l’idrogramma di piena generato dall’impulso di pioggia crescerà fino al valore massimo  $Q_{max}$  in un tempo pari al tempo di pioggia  $t_p$ , e resterà costante e pari a  $Q_{max}$  fino al raggiungimento del tempo di corrivazione  $t_c$ , tornando a 0 dopo un tempo ancora pari a  $t_p$  dalla fine della precipitazione.

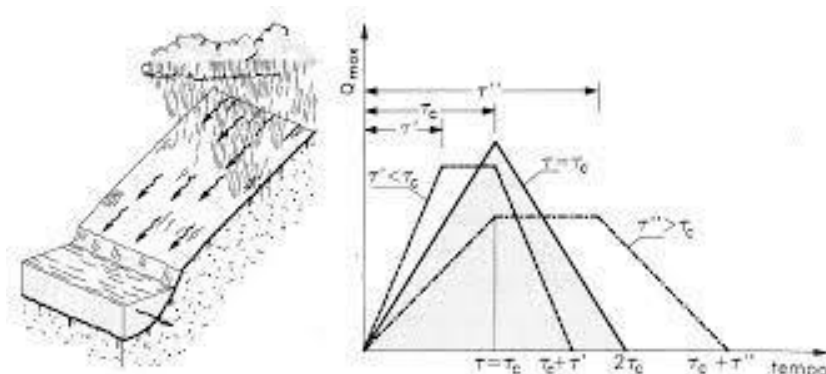


Figura 36: idrogrammi di piena metodo cinematico (da *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Da Deppo et al. 2004)

Come indicato al precedente paragrafo, per consentire un agile calcolo dei deflussi efficaci generati dai numerosi sottobacini afferenti alla rete di progetto, da utilizzare come condizioni al contorno in ingresso per la modellazione matematica, data la sostanziale omogeneità delle dimensioni caratteristiche dei sottobacini elementari, si è scelto di considerare, per ciascun sottobacino, un tempo di corrivazione di 1 ora, con la possibilità di considerare un uguale tempo di pioggia di 1 ora.

Gli idrogrammi di piena generati complessivamente dall'intero bacino (comparto 1) sono quindi presentati nei grafici di seguito riportati in Figura 37, con riferimento a diverse durate degli eventi di pioggia, da 1 a 24 ore.

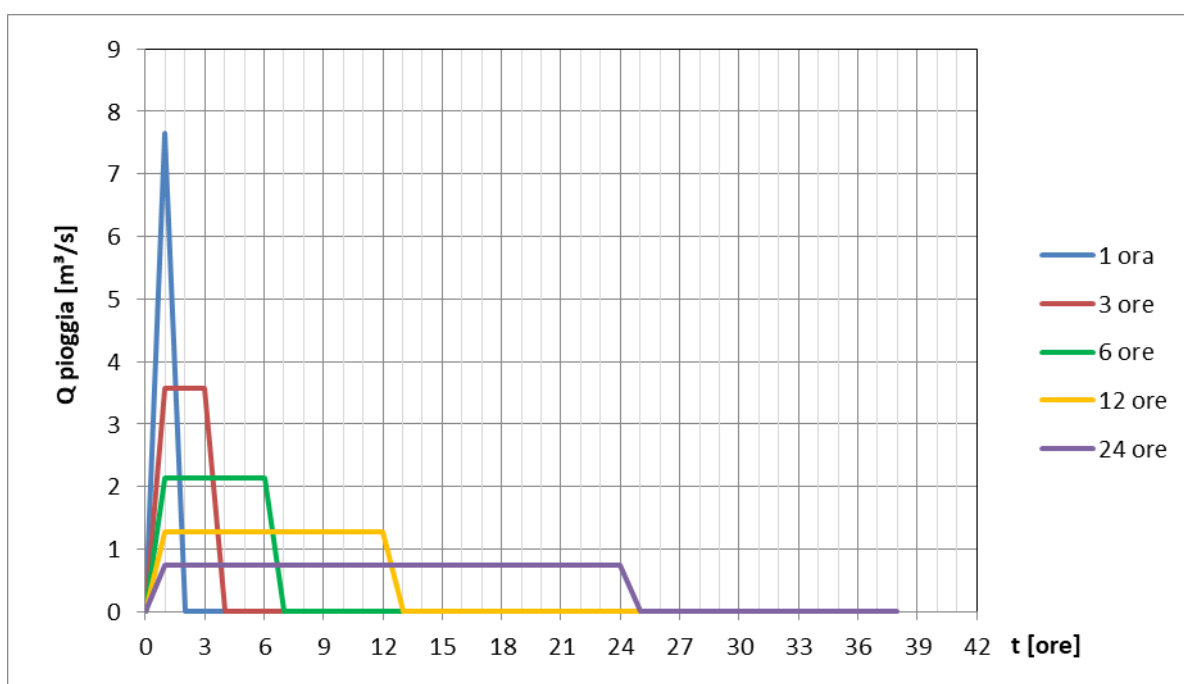


Figura 37: idrogrammi di piena generati dall'intero bacino

Come noto, l'evento di precipitazione con durata minore può mettere in crisi la rete dal punto di vista idraulico per la possibile insufficienza delle condotte di raccordo a far defluire il picco di portata generata da ogni singolo sottobacino, mentre gli eventi con durata maggiore sono quelli che possono generare criticità per il maggiore volume di pioggia efficace generato e diretto alla rete.

Per ciascuno dei tempi di pioggia sopra considerati, è stato quindi possibile valutare, nell'ipotesi semplificata di trascurare tutti i processi di trasformazione afflussi-deflussi interni al bacino, l'andamento temporale del volume affluito alla rete, del volume scaricabile verso il corpo ricettore, e di conseguenza l'andamento del volume da invasare, dato dalla differenza fra i due suddetti volumi.

Si riporta quindi nel grafico in Figura 38 l'andamento temporale del volume da invasare, in funzione dei diversi tempi di pioggia considerati. Come anticipato al § 5.3.2, è stato calcolato come il tempo di pioggia critico a livello di bacino complessivo sia pari a circa 7 ore (tempo molto prossimo al caso significativo di 6 ore qui valutato), risultato che appare verificato anche dal grafico sotto riportato.

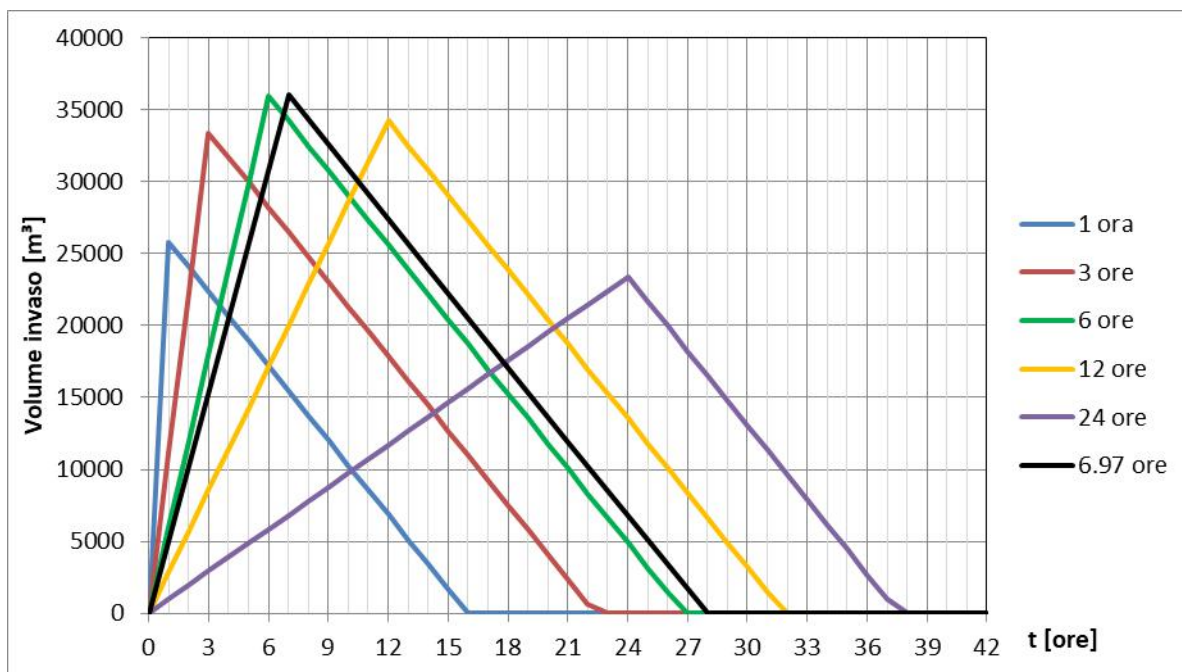


Figura 38: volume da invasare per diversi tempi di pioggia

Si sceglie quindi di sottoporre a modellazione quattro diversi tempi di pioggia significativi, di riferimento anche per l'analisi regionalizzata delle precipitazioni già citata: 1, 3, 6 e 12 ore.

#### 6.4 Calcolo delle portate di deflusso

Nell'ipotesi semplificativa sopra esposta, per cui  $t_p = t_c = 1$  ora per ciascun sottobacino, con le formule sopra riportate, nella seguente Tabella 8 sono riportate anche le massime portate efficaci generate da ciascun sottobacino, valide come valore al colmo dell'idrogramma triangolare in ingresso alla rete.

Sono inoltre riportate le massime portate calcolate, secondo le formule indicate al precedente § 6.3, per tempi di pioggia superiori all'ora: 3, 6, 12 ore, che sono state utilizzate come condizioni al contorno per specifiche simulazioni di moto vario mediante la modellazione matematica HEC-RAS, di seguito descritta.

| tronco<br>recettore | id<br>sottobacino | area totale<br>[m <sup>2</sup> ] | Cd ragg     | tc [ore] | Qmax<br>tp1ora<br>[l/s] | Qmax<br>tp3ore<br>[l/s] | Qmax<br>tp6ore<br>[l/s] | Qmax<br>tp12ore<br>[l/s] |
|---------------------|-------------------|----------------------------------|-------------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| GW01                | 1                 | 69'440.00                        | 0.22        | 1.68     | 278.0                   | 129.8                   | 77.9                    | 46.2                     |
| X03-C               | 2                 | 56'695.00                        | 0.26        | 1.51     | 268.8                   | 125.5                   | 75.3                    | 44.7                     |
| AE01                | 3                 | 15'609.00                        | 0.49        | 0.79     | 140.6                   | 65.6                    | 39.4                    | 23.4                     |
| X03-C               | 4                 | 10'512.00                        | 0.55        | 0.65     | 106.4                   | 49.7                    | 29.8                    | 17.7                     |
| AE01                | 5                 | 3'975.00                         | 0.60        | 0.40     | 44.2                    | 20.6                    | 12.4                    | 7.3                      |
| X03-AB              | 6                 | 12'233.00                        | 0.58        | 0.70     | 131.7                   | 61.5                    | 36.9                    | 21.9                     |
| X03-C               | 7                 | 10'301.00                        | 0.40        | 0.65     | 76.6                    | 35.8                    | 21.5                    | 12.7                     |
| CW02-AB             | 8                 | 13'703.00                        | 0.51        | 0.74     | 128.7                   | 60.1                    | 36.1                    | 21.4                     |
| X03-C               | 9                 | 3'088.00                         | 0.35        | 0.35     | 20.1                    | 9.4                     | 5.6                     | 3.3                      |
| XS01-A              | 10                | 18'420.00                        | 0.86        | 0.86     | 292.5                   | 136.6                   | 82.0                    | 48.6                     |
| XS01-B              | 11                | 19'794.00                        | 0.79        | 0.89     | 291.0                   | 135.8                   | 81.5                    | 48.4                     |
| XS01-B              | 12                | 16'155.00                        | 0.87        | 0.81     | 261.5                   | 122.1                   | 73.3                    | 43.5                     |
| XS01-A              | 13                | 16'525.00                        | 0.88        | 0.82     | 269.9                   | 126.0                   | 75.6                    | 44.9                     |
| X05-AB              | 14                | 19'338.00                        | 0.64        | 0.88     | 228.9                   | 106.8                   | 64.1                    | 38.0                     |
| CE01-4              | 15                | 5'045.00                         | 0.56        | 0.45     | 52.4                    | 24.5                    | 14.7                    | 8.7                      |
| XP02-A              | 16                | 25'640.00                        | 0.81        | 1.02     | 387.4                   | 180.9                   | 108.5                   | 64.4                     |
| CW01-1              | 17                | 5'475.00                         | 0.51        | 0.47     | 51.5                    | 24.0                    | 14.4                    | 8.6                      |
| CW01-1              | 18                | 3'216.00                         | 0.69        | 0.36     | 41.2                    | 19.3                    | 11.6                    | 6.9                      |
| XS01-C              | 19                | 2'961.00                         | 0.38        | 0.35     | 21.2                    | 9.9                     | 5.9                     | 3.5                      |
| XP01-A              | 20                | 8'199.00                         | 0.85        | 0.58     | 129.8                   | 60.6                    | 36.4                    | 21.6                     |
| XP01-B              | 21                | 17'301.00                        | 0.76        | 0.84     | 243.1                   | 113.5                   | 68.1                    | 40.4                     |
| T03                 | 22                | 7'326.00                         | 0.43        | 0.54     | 58.6                    | 27.3                    | 16.4                    | 9.7                      |
| X02-AB              | 23                | 55'839.00                        | 0.67        | 1.50     | 691.4                   | 322.8                   | 193.7                   | 114.9                    |
| XP02-B              | 24                | 21'165.00                        | 0.39        | 0.93     | 151.7                   | 70.8                    | 42.5                    | 25.2                     |
| X06-AB              | 25                | 5'036.00                         | 0.72        | 0.45     | 66.9                    | 31.2                    | 18.7                    | 11.1                     |
| CE01-3              | 26                | 4'963.00                         | 0.58        | 0.45     | 53.4                    | 25.0                    | 15.0                    | 8.9                      |
| CE01-3              | 27                | 15'295.00                        | 0.31        | 0.79     | 88.7                    | 41.4                    | 24.9                    | 14.8                     |
| CW03-2              | 28                | 18'774.00                        | 0.32        | 0.87     | 111.5                   | 52.1                    | 31.2                    | 18.5                     |
| CW03-2              | 29                | 17'606.00                        | 0.20        | 0.84     | 65.4                    | 30.5                    | 18.3                    | 10.9                     |
| XP01-D              | 30                | 27'690.00                        | 0.58        | 1.06     | 296.2                   | 138.3                   | 83.0                    | 49.2                     |
| XP01-D              | 31                | 19'825.00                        | 0.52        | 0.90     | 193.2                   | 90.2                    | 54.1                    | 32.1                     |
| XP02-C              | 32                | 30'641.00                        | 0.48        | 1.11     | 273.4                   | 127.6                   | 76.6                    | 45.4                     |
| XP02-E              | 33                | 23'377.00                        | 0.48        | 0.97     | 208.4                   | 97.3                    | 58.4                    | 34.6                     |
| XP01-F              | 34                | 21'626.00                        | 0.32        | 0.94     | 127.8                   | 59.7                    | 35.8                    | 21.2                     |
| X07-AB              | 35                | 7'072.00                         | 0.63        | 0.53     | 82.8                    | 38.7                    | 23.2                    | 13.8                     |
| CE01-1              | 36                | 8'400.00                         | 0.58        | 0.58     | 90.7                    | 42.3                    | 25.4                    | 15.1                     |
| CW04-A              | 37                | 10'895.00                        | 0.30        | 0.66     | 61.2                    | 28.6                    | 17.2                    | 10.2                     |
| CW03-2              | 38                | 17'915.00                        | 0.57        | 0.85     | 189.5                   | 88.5                    | 53.1                    | 31.5                     |
| X01                 | 39                | 5'515.00                         | 0.80        | 0.47     | 82.0                    | 38.3                    | 23.0                    | 13.6                     |
| X01                 | 40                | 9'506.00                         | 0.69        | 0.62     | 121.0                   | 56.5                    | 33.9                    | 20.1                     |
| CE01-1              | 41                | 7'334.00                         | 0.54        | 0.54     | 73.1                    | 34.1                    | 20.5                    | 12.1                     |
| CW03-1              | 42                | 8'504.00                         | 0.42        | 0.59     | 66.1                    | 30.9                    | 18.5                    | 11.0                     |
| CS02-2              | 43                | 3'921.00                         | 0.58        | 0.40     | 42.4                    | 19.8                    | 11.9                    | 7.1                      |
| CW03-1              | 44                | 4'656.00                         | 0.27        | 0.43     | 23.4                    | 10.9                    | 6.5                     | 3.9                      |
| AS01                | 45                | 56'791.00                        | 0.22        | 1.52     | 231.9                   | 108.3                   | 65.0                    | 38.6                     |
| CE01-1              | 46                | 29'149.00                        | 0.22        | 1.09     | 119.0                   | 55.6                    | 33.4                    | 19.8                     |
| AS08                | 47                | 165'348.00                       | 0.22        | 2.59     | 675.3                   | 315.3                   | 189.2                   | 112.2                    |
| <b>sommano</b>      |                   | <b>957'794.00</b>                | <b>0.43</b> |          |                         |                         |                         |                          |

Tabella 8: portate generate dai sottobacini elementari per tp 1, 3, 6, 12 ore

## 6.5 Simulazioni modellistiche a moto vario

### 6.5.1 Il software HEC-RAS

Un approccio di calcolo che tenga conto delle variazioni dei livelli nel tempo in una rete o della sequenza degli attacchi e stacchi di un'idrovora, quali sono i casi in esame, non può che essere considerato con schemi di calcolo a moto vario.

L'efficienza idraulica della rete infatti dipende dal rapporto fra i tempi caratteristici della risposta idrologica ed il tempo di vuotamento della rete ad opera degli impianti o di riempimento per effetto di un profilo di rigurgito provocato dall'innalzamento del livello del recapito. Tali fenomeni sono in idraulica descritti dalle equazioni di *De S. Venant*.

Le verifiche idrauliche sono quindi state condotte mediante l'applicazione del software HEC-RAS, nella relativa più recente versione 6.1, sviluppato e distribuito dallo statunitense *Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers*, di uso generalizzato negli Stati Uniti e nel mondo, per l'integrazione dei profili idraulici in diverse condizioni di moto.

Nella forma qui applicata, tale software utilizza un modello matematico unidimensionale (1D) che consente di descrivere la propagazione delle onde lunghe nel caso in cui le uniche caratteristiche del moto non trascurabili siano quelle nella direzione dell'asse del corso d'acqua. Queste condizioni sono rispettate con buona approssimazione nel caso in esame, per la regolarità delle caratteristiche idrauliche e geometriche del canale lungo il suo corso e l'assenza di importanti variazioni di direzione, che potrebbero presupporre significativi effetti bidimensionali.

Il modello utilizzato dal software è basato sull'equazione di continuità della massa fluida e sull'equazione dinamica unidimensionale di conservazione della quantità di moto.

Con riferimento allo schema nella figura sottostante, in cui  $x$  è la direzione principale del moto, l'equazione di continuità della massa d'acqua può essere scritta come segue:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

dove:

- $A$  è l'area bagnata complessiva della sezione considerata;
- $Q$  è la portata fluente per la stessa sezione;
- $q_l$  è la portata in ingresso per unità di lunghezza.

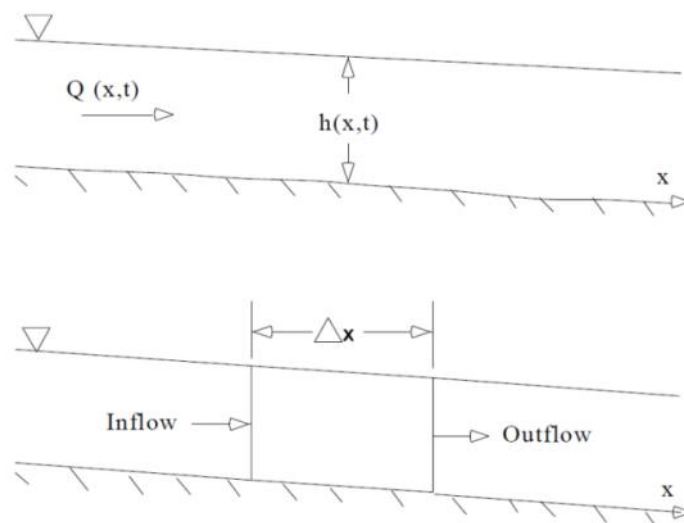


Figura 39: schematizzazione di calcolo HEC-RAS

Con riferimento allo stesso volume di controllo, descritto nella precedente Figura 39, l'equazione dinamica di conservazione della quantità di moto indica invece l'uguaglianza tra il flusso di quantità di moto dovuto alla portata fluida e la somma delle forze di pressione, della forza di gravità e degli sforzi di attrito tangenziali ai contorni bagnati, e può essere scritta come:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

dove, oltre alle grandezze già definite:

- $V$  è la velocità media nella sezione;
- $S_f$  è la perdita di carico per unità di lunghezza, positiva se il flusso è nella direzione positiva delle  $x$ ;
- $g$  è l'accelerazione di gravità.

Secondo l'equazione di *Manning*, la cadente piezometrica  $S_f$  si può ricavare dalla formula per la resistenza al moto nell'ipotesi di *moto uniforme*:

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{R_H^{4/3}A^2}$$

dove:

- $R_H$  è il raggio idraulico della sezione;
- $n$  è il coefficiente di scabrezza secondo *Manning* della superficie di contorno, pari all'inverso del coefficiente di scabrezza secondo *Strickler*  $K_S$ .

Le equazioni così distinte vengono linearizzate, e risolte secondo uno schema implicito alle differenze finite tra le diverse sezioni trasversali schematizzate.

### 6.5.2 Schema della rete

Lo schema della rete, costituita dalla discretizzazione del compendio di invasi superficiali e profondi descritto nel precedente capitolo e rappresentato in forma semplificata nella sopra riportata tavola n.07, è stato implementato nel modello monodimensionale HEC-RAS come rappresentato in Figura 40, direttamente estratta dall'interfaccia grafica del modello.

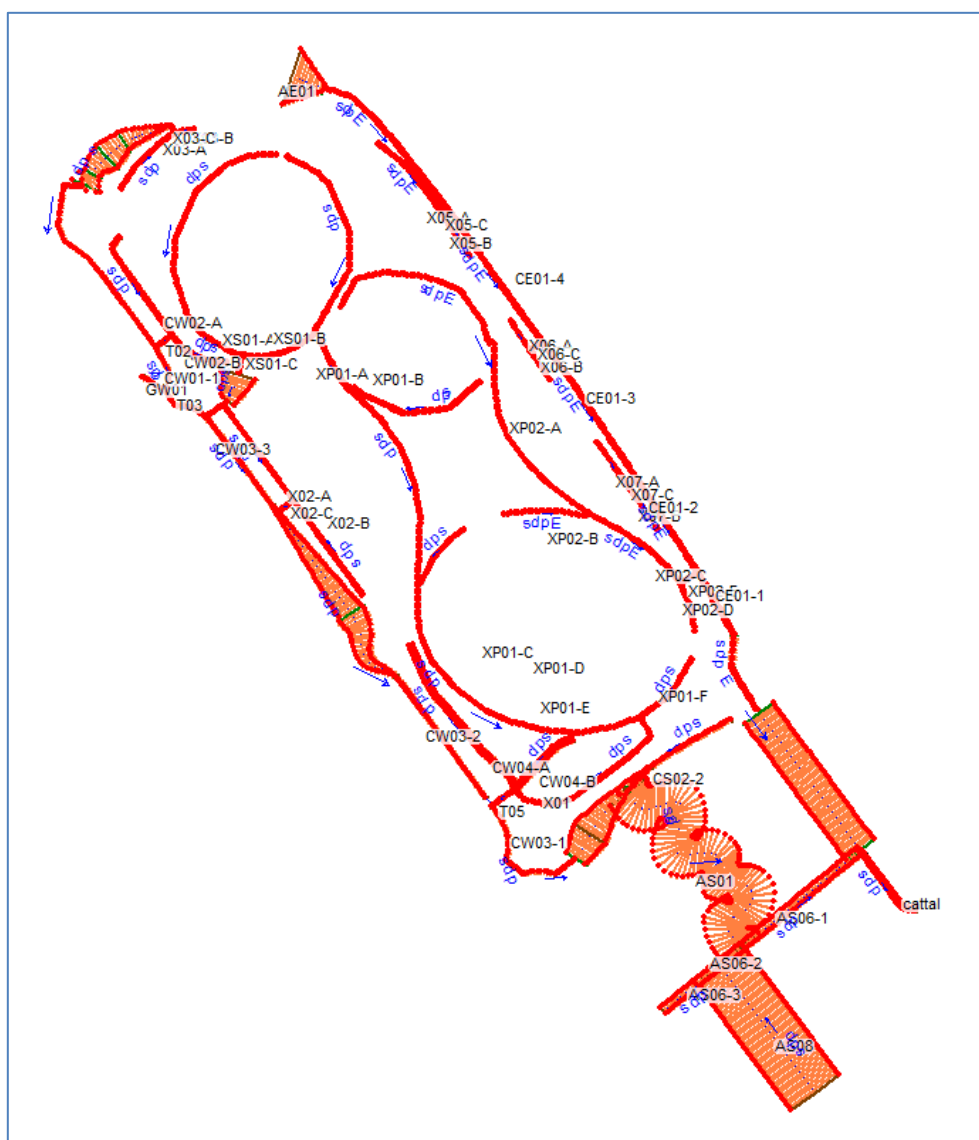


Figura 40: schema geometrico del modello HEC-RAS

In tale schematizzazione, ogni tronco è stato rappresentato mediante la relativa sezione trasversale, con passo di interpolazione fra sezioni successive sempre inferiore a 5 m.

A titolo di esempio, si riportano di seguito le sezioni trasversali significative di alcuni tronchi di interesse.



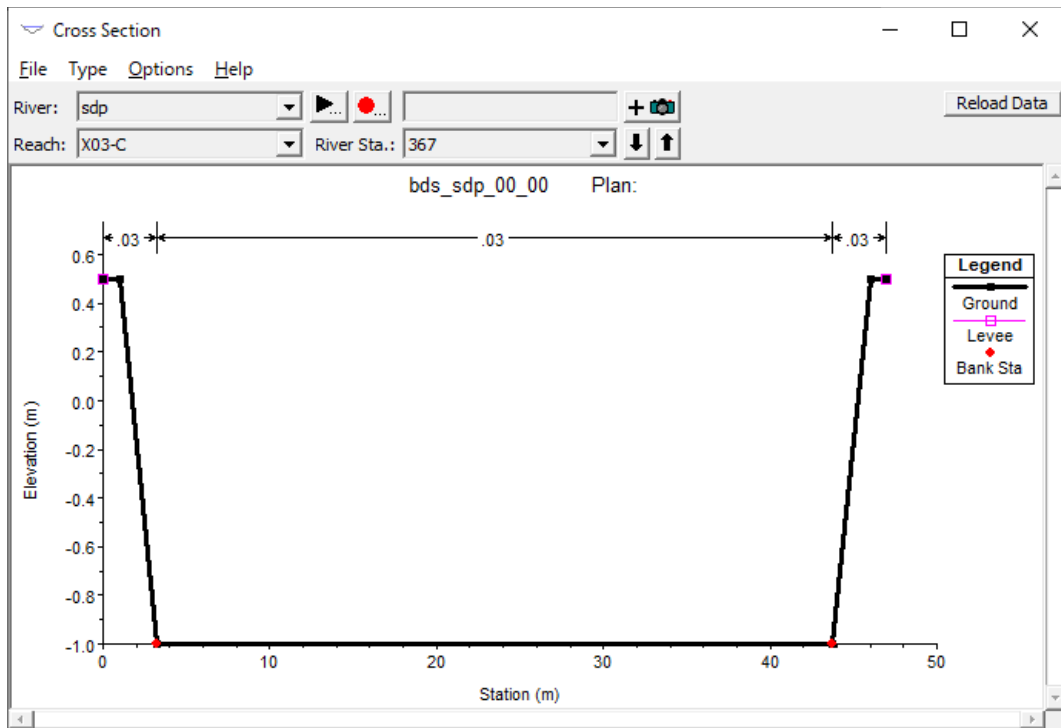


Figura 41: sezione trasversale area A\_W\_01

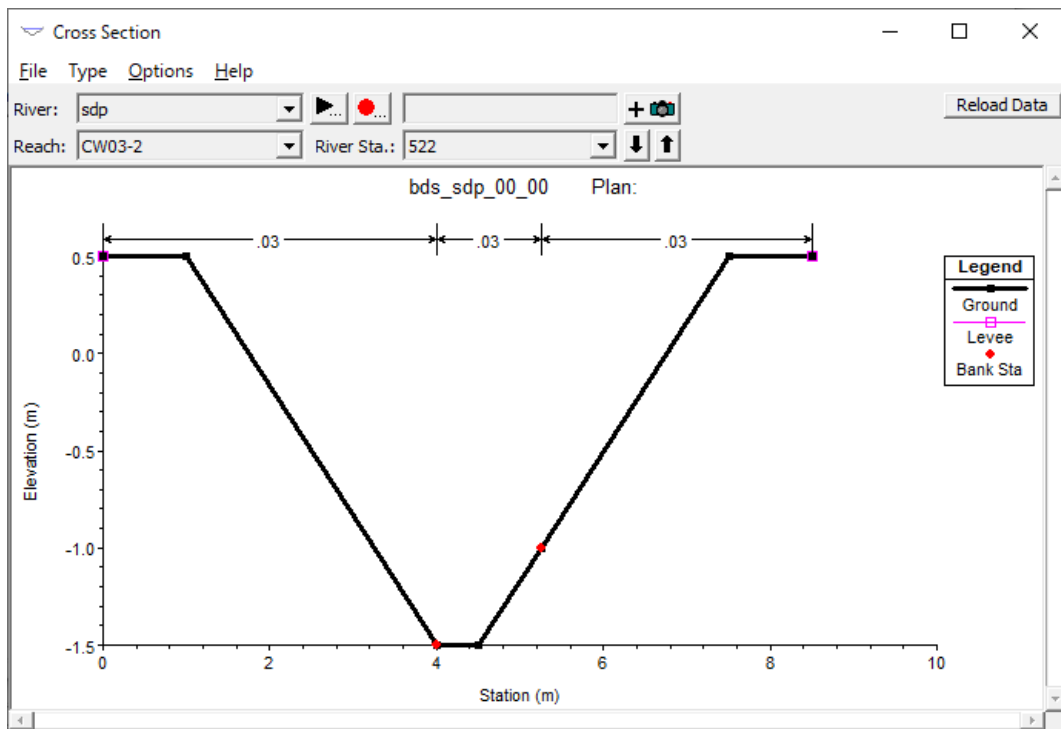


Figura 42: sezione trasversale canale C\_W\_03-3

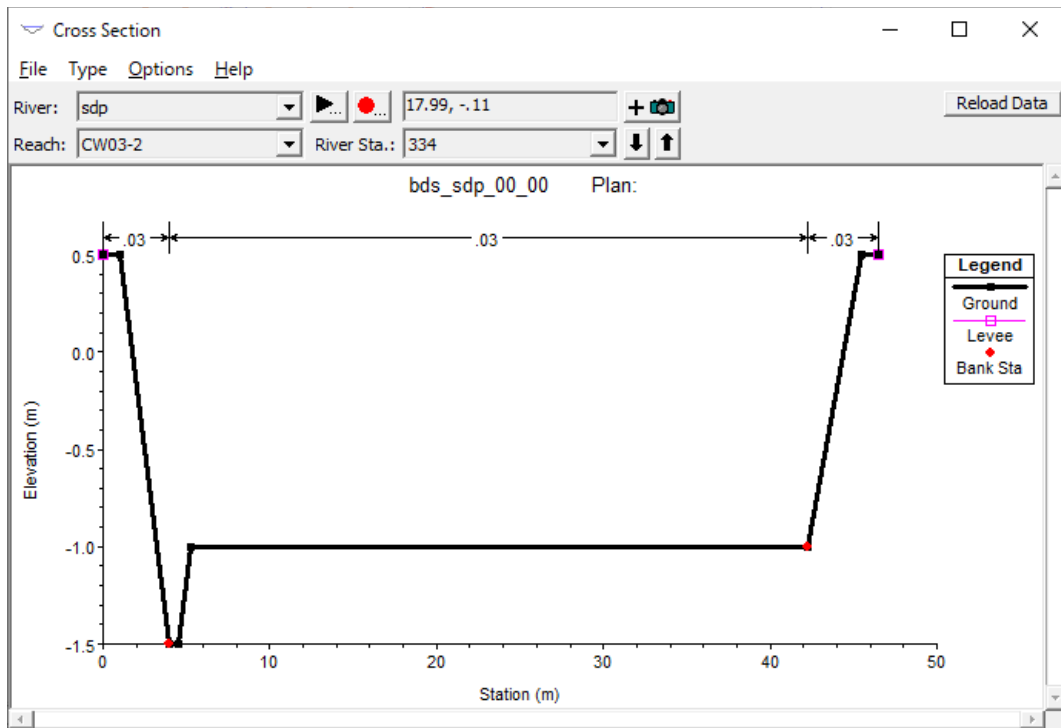


Figura 43: sezione trasversale canale C\_W\_03-2

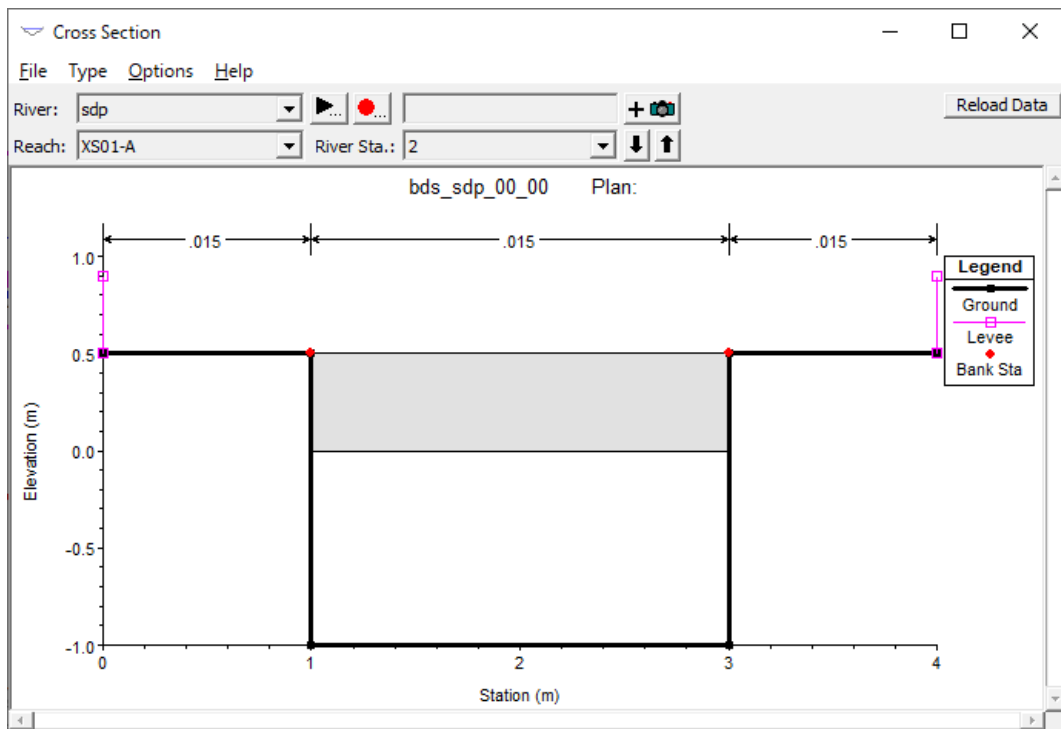


Figura 44: sezione trasversale condotta scatolare XS\_01

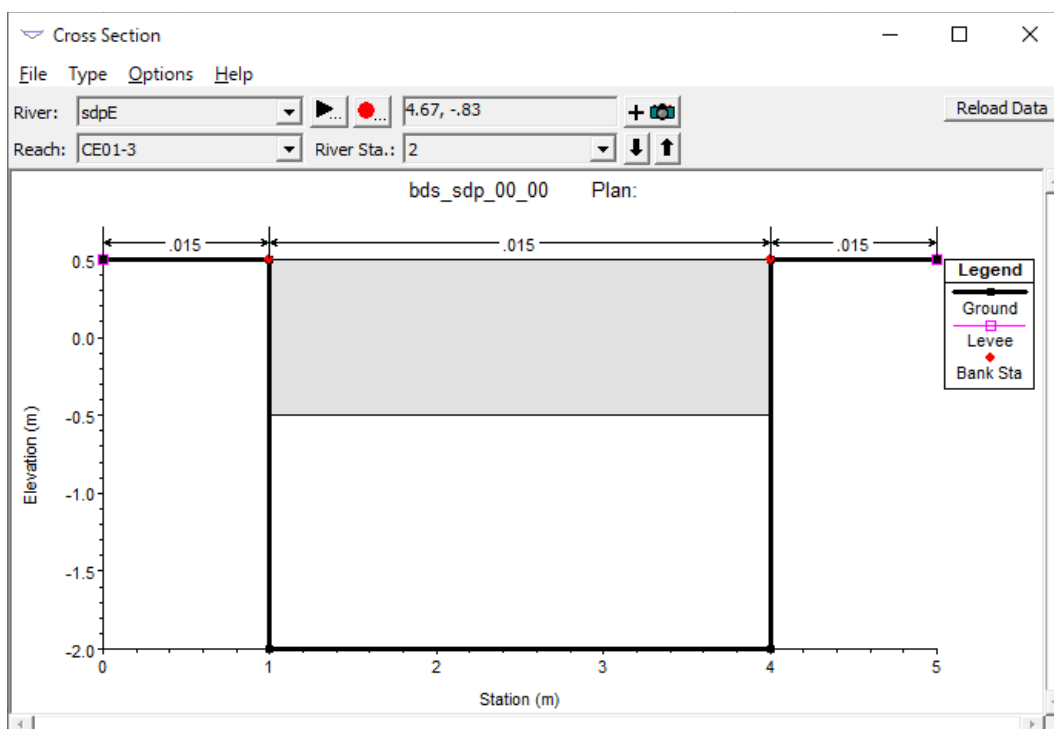


Figura 45: sezione trasversale condotta scatolare CE\_01

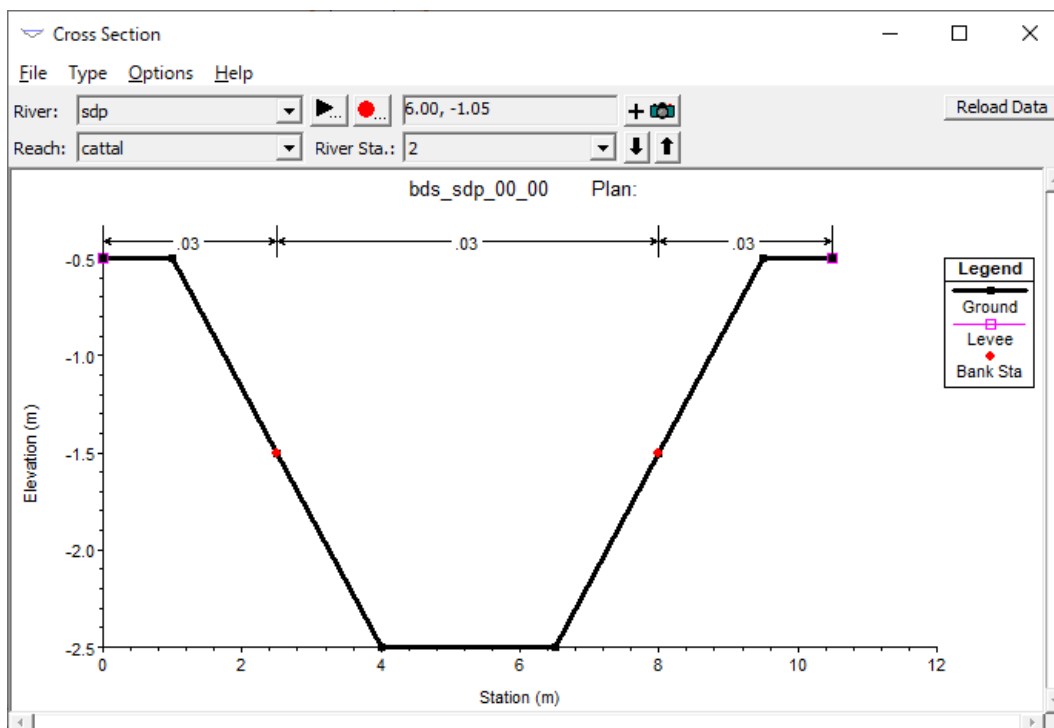


Figura 46: sezione trasversale collettore Cattal (sezione di valle)

### 6.5.3 Condizioni al contorno

#### 6.5.3.1 Condizioni al contorno di valle

La condizione al contorno imposta alla sezione di chiusura a valle della rete modellata è pari all'imposizione di una scala delle portate tale da consentire un deflusso verso il collettore Cattal sempre inferiore alla massima portata consentita dalle prescrizioni del Piano delle Acque, pari cioè a  $Q_{IMP} = 0.498 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Non si entra quindi in questa sede nel merito dell'effettivo dispositivo da predisporre per la garanzia di tale vincolo, che potrà essere costituito, per esempio, da un manufatto di sfioro o con luce di fondo o con una bocca tassata con foronomia calibrata per la portata sopra indicata.

#### 6.5.3.2 Condizioni al contorno di monte

Le condizioni al contorno imposte a monte di ciascun tronco della rete schematizzata sono date dagli idrogrammi di piena, triangolari o trapezi, i cui valori massimi per i diversi tempi di pioggia (1, 3, 6, 12 ore) sono stati riportati nella Tabella 8.

Nella stessa tabella sono infatti stati indicati anche i tronchi recettori di ciascun contributo di portata, che sono ubicati talvolta all'estremità di monte dei singoli tronchi, talvolta lungo i tronchi stessi, dovendo rappresentare immissioni laterali da superfici scolanti locali o fossi e condotte di minori dimensioni, non schematizzati nel modello.

Si riportano di seguito, a titolo di esempio, due degli idrogrammi imposti a monte di due tronchi (X01-A, in corrispondenza del parcheggio C01, e AS08, in corrispondenza all'area boscata a sud).

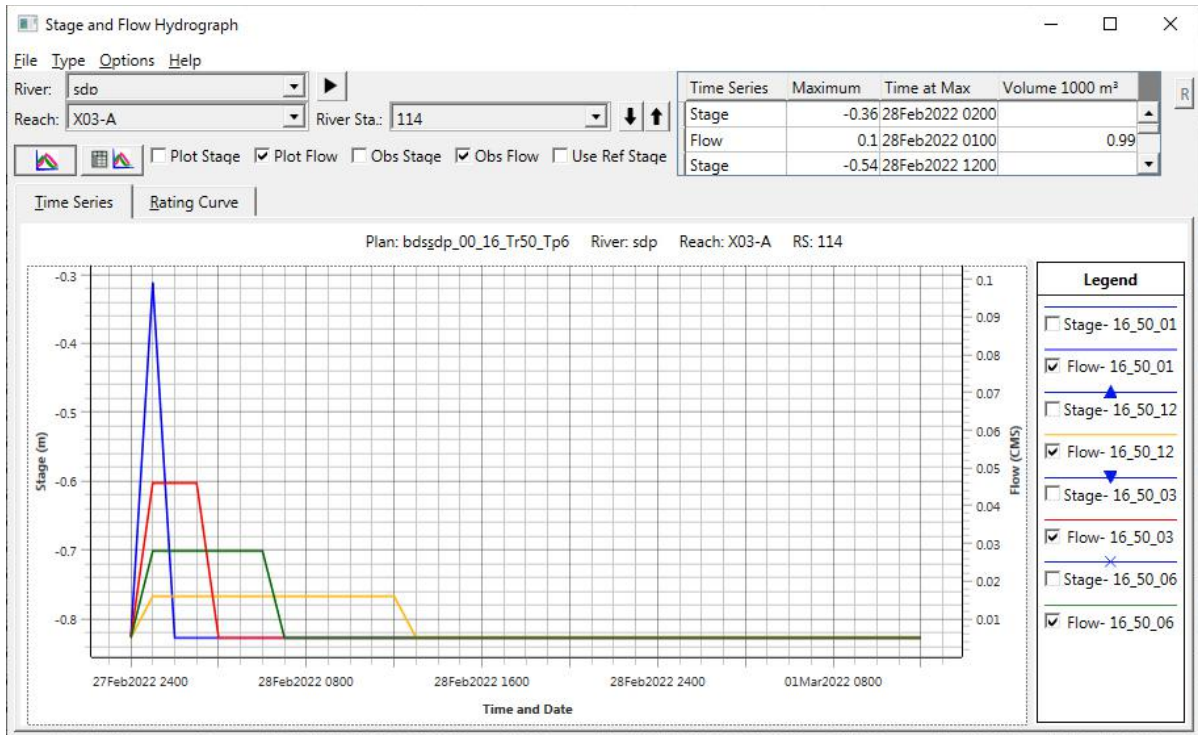


Figura 47: idrogrammi in ingresso tronco X03-A

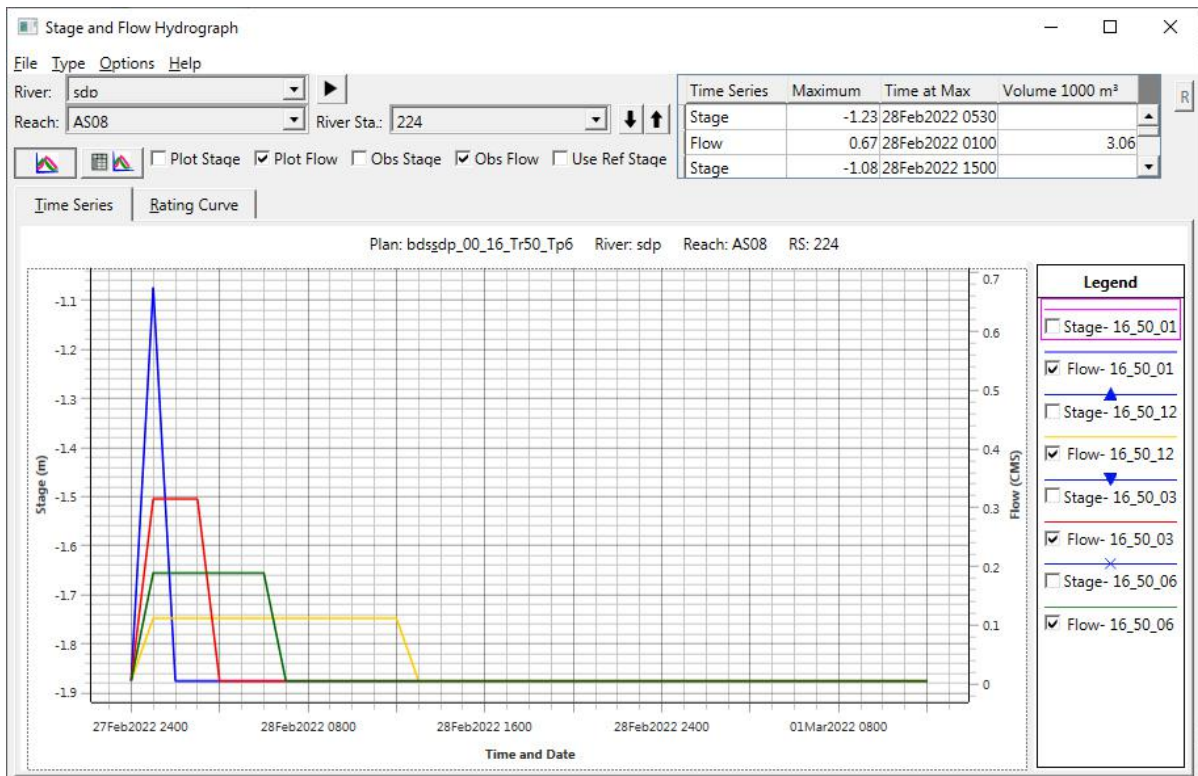


Figura 48: idrogrammi in ingresso tronco A\_S\_08

#### 6.5.4 Risultati delle simulazioni

Le simulazioni a moto vario della propagazione dell'onda di piena generata dagli eventi di pioggia con durata di 1, 3, 6 e 12 ore, per un tempo di ritorno di 50 anni, sono state condotte per una durata complessiva di 36 ore, per garantire un tempo sufficiente per la propagazione di tutti i contributi fino alla sezione di chiusura anche per gli eventi più lunghi, con un passo di integrazione numerica di 5 secondi, tale da ottimizzare i tempi di calcolo e la stabilità del modello.

I risultati ottenuti sono esprimibili in diversa forma:

- come profili longitudinali di massimo riempimento (o di riempimento variabile istante per istante) dei tronchi modellati;
- come riempimento (massimo o istantaneo) in corrispondenza alle singole sezioni trasversali;
- come diagramma temporale di portate e livelli calcolati in corrispondenza a ciascuna sezione trasversale del modello.

Per dovere di sintesi, si riporta quindi di seguito una selezione rappresentativa del compendio di risultati ottenuti, che potrà essere messo a disposizione della Superiore Approvazione, qualora di interesse, con la doverosa anticipazione che, per tutti i casi simulati, il modello ha dimostrato che:

- gli invasi schematizzati proposti, sia a cielo aperto che interrati, si sono dimostrati sufficienti al contenimento dei volumi di piena generati nel bacino nelle prospettate condizioni di riforma;
- in nessuna sezione sono stati riscontrati fenomeni di esondazione o superamenti delle quote di sicurezza idraulica imposte in funzione al piano quotato di progetto;
- in tutte le sezioni è risultato garantito un franco di sicurezza idraulico variabile fra 20 e 60 cm, che consente di ritenere sufficientemente cautelativo il dimensionamento dei dispositivi di invaso ai fini dell'invarianza idraulica.

Per agevolare la lettura dei risultati, nelle seguenti rappresentazioni sono quindi posti a confronto i livelli idrici di riempimento (in sezioni o in profili longitudinali) e gli idrogrammi di piena (in termini di portata e di livello) a confronto per le diverse durate di pioggia, con la colorazione già utilizzata per i precedenti grafici:

- blu per il tempo di pioggia  $t_p = 1$  ora;
- rosso per il tempo di pioggia  $t_p = 3$  ore;

- verde per il tempo di pioggia  $t_p = 6$  ore;
- giallo per il tempo di pioggia  $t_p = 12$  ore.

Si evidenzia che, per la tipica convenzione del software HEC-RAS, i profili longitudinali sono in ogni caso tracciati da valle (sinistra) verso monte (destra). Per analoga impostazione concettuale, le sezioni di dettaglio sono riportate in ordine da valle verso monte.

#### 6.5.4.1 Dorsale ovest

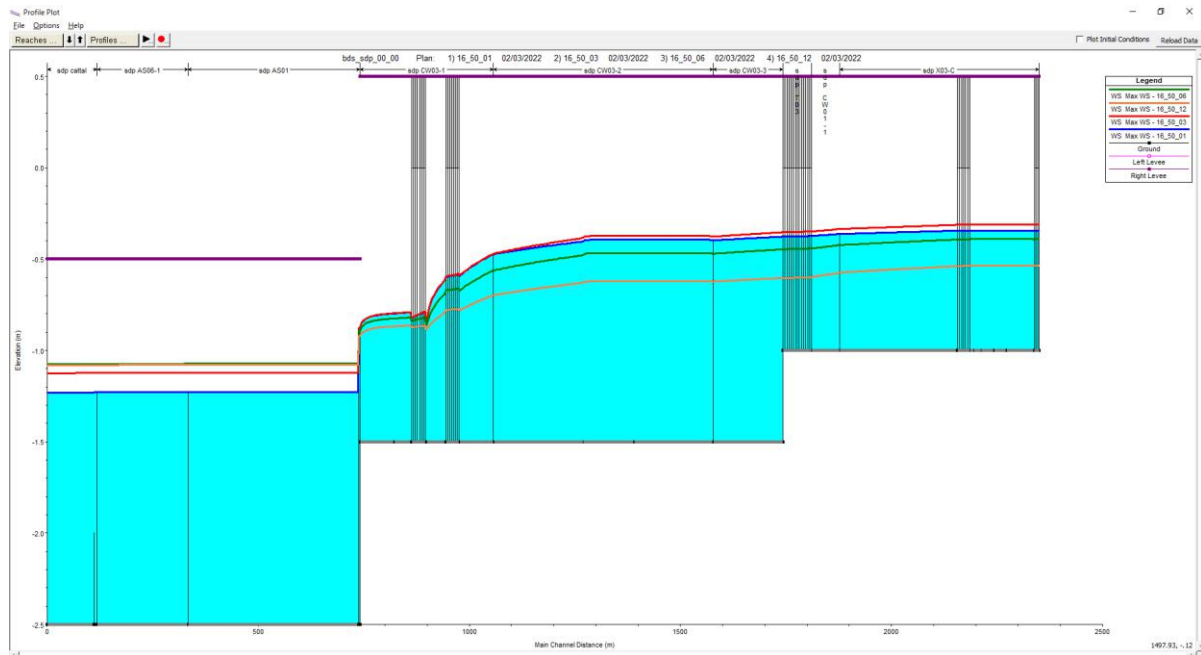


Figura 49: profilo longitudinale dorsale ovest - massimo riempimento

1

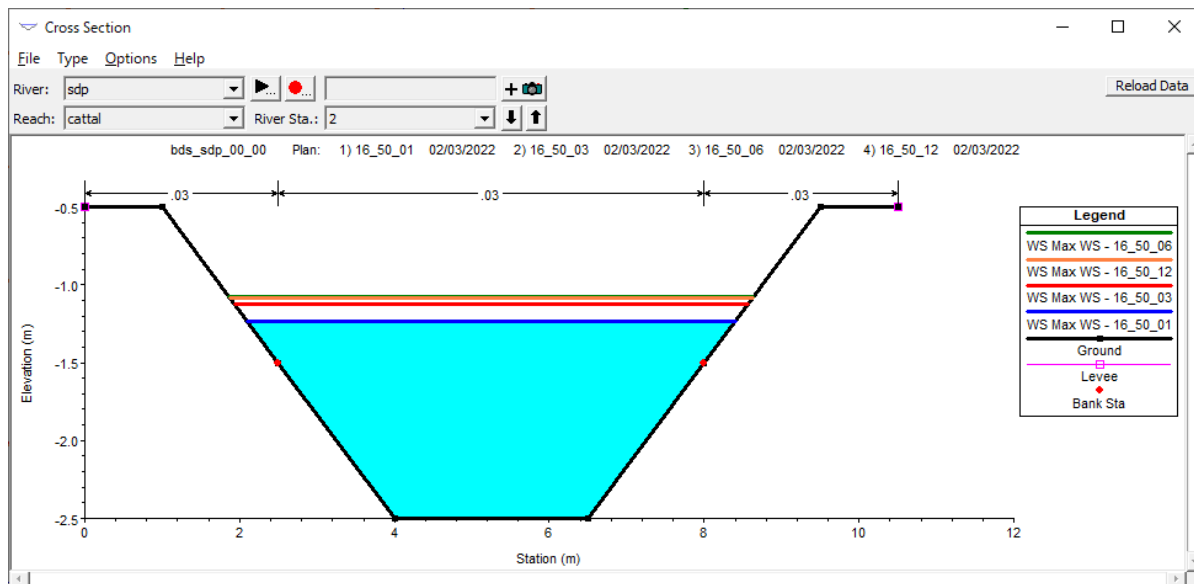


Figura 50: collettore Cattal - sez.2 (valle)- massimo riempimento

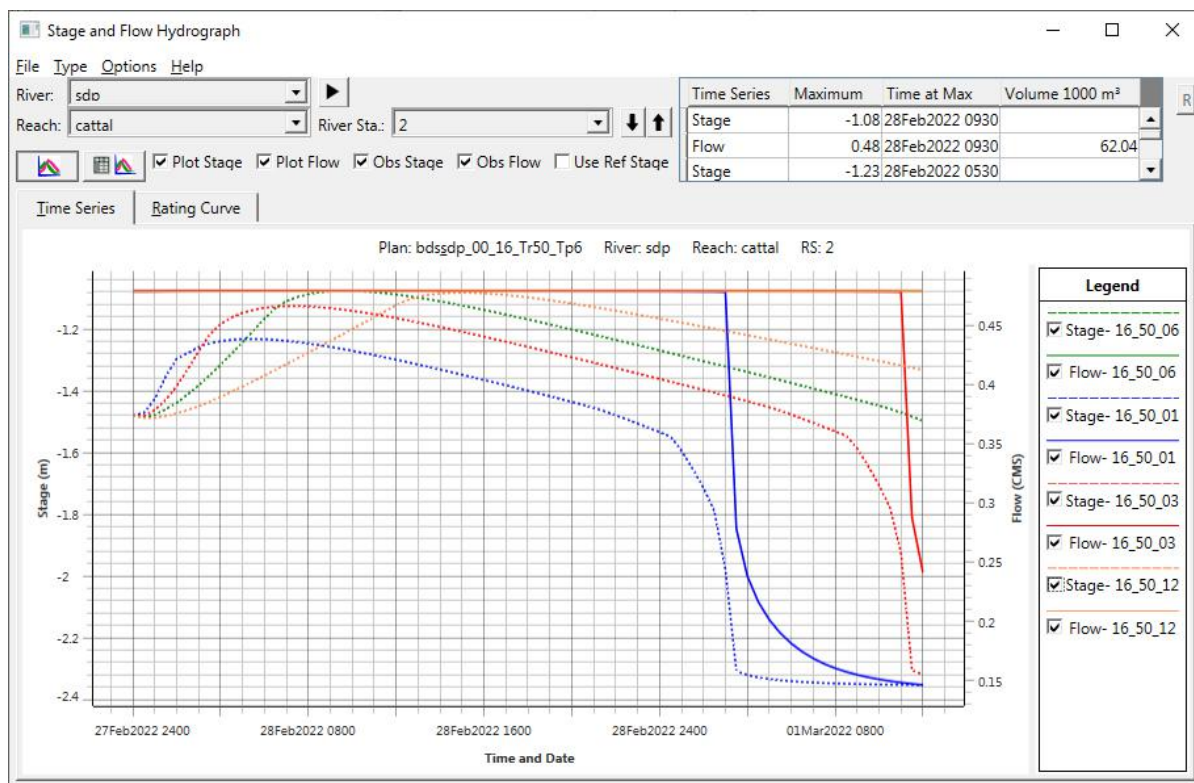


Figura 51: collettore Cattal - sez.2 (valle) - idrogrammi di piena



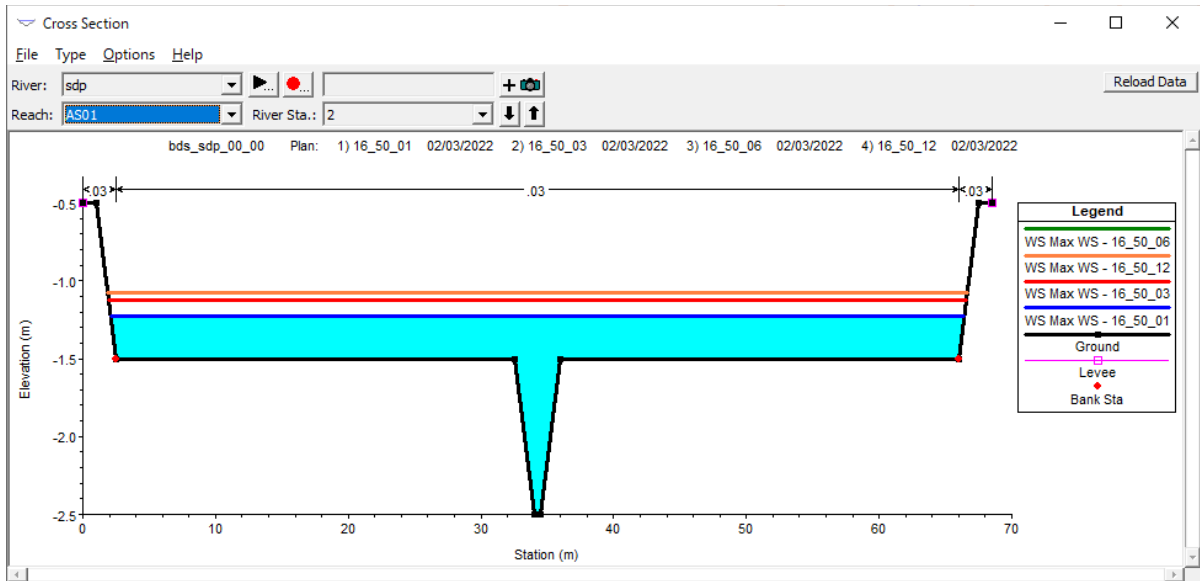


Figura 52: canale AS01 - sez.2 - massimo riempimento

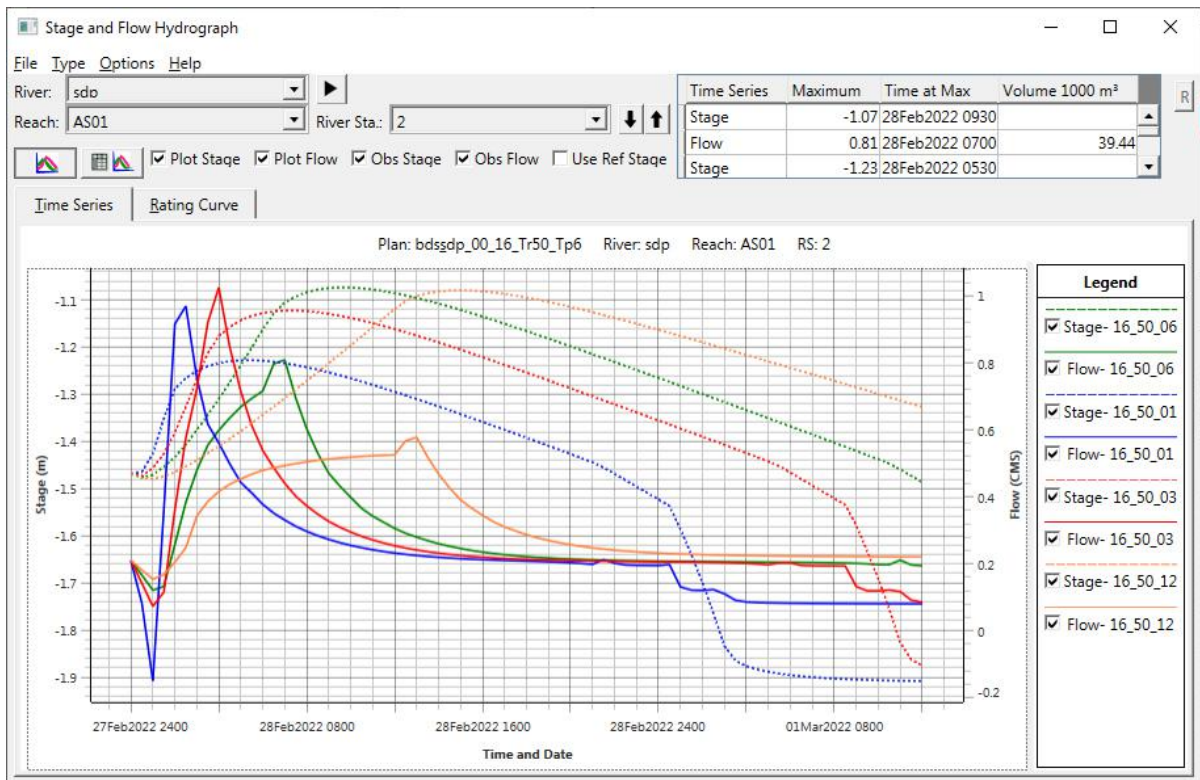


Figura 53: canale AS01 - sez.2 - idrogrammi di piena

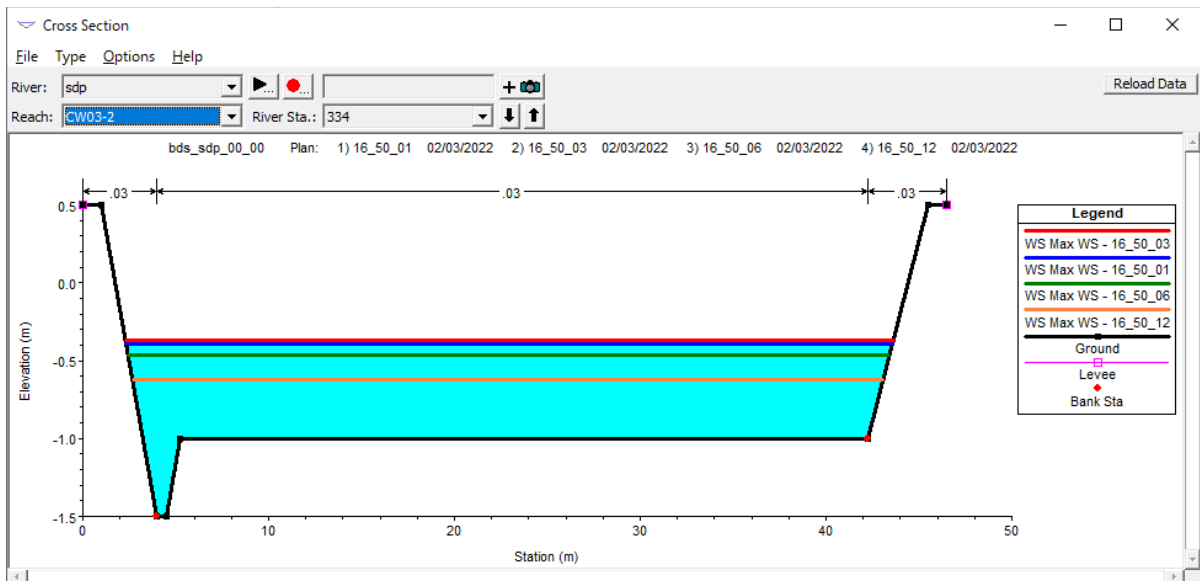


Figura 54: canale CW03-2 - sez.334 - massimo riempimento

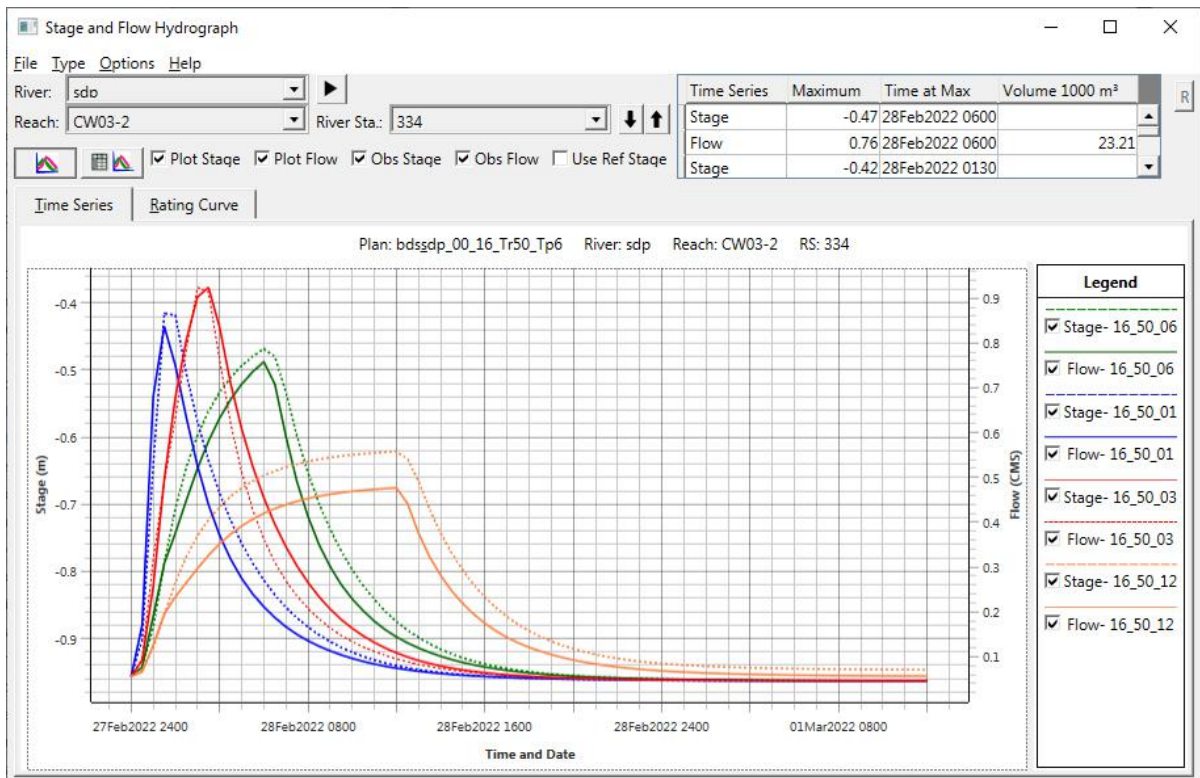


Figura 55: canale CW03-2 - sez.334 - idrogrammi di piena

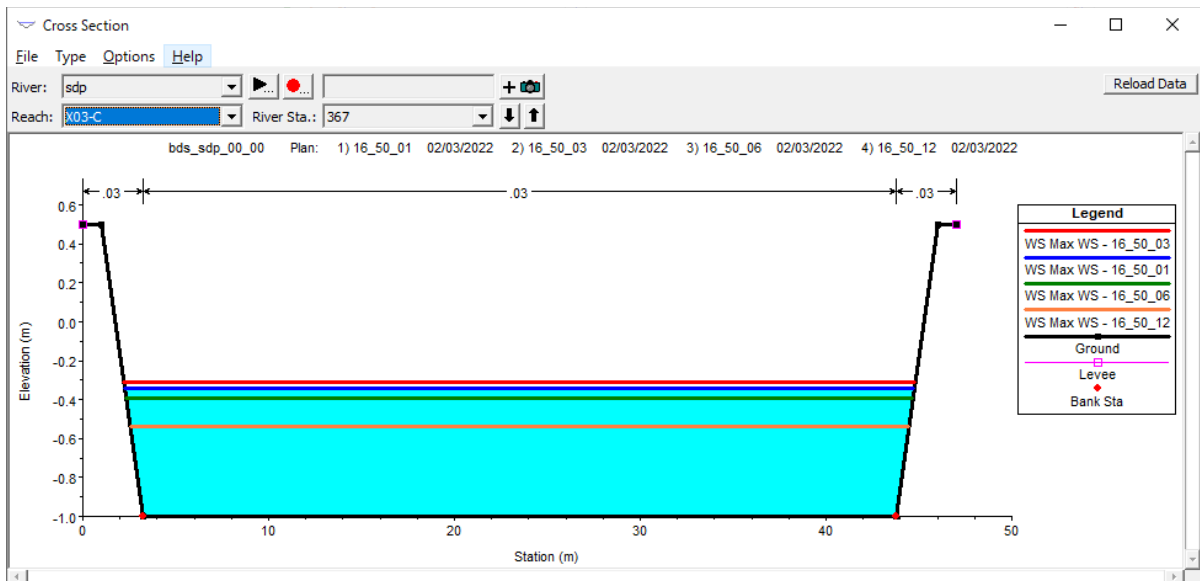


Figura 56: canale X03-C (AW01) - sez.367 - massimo riempimento

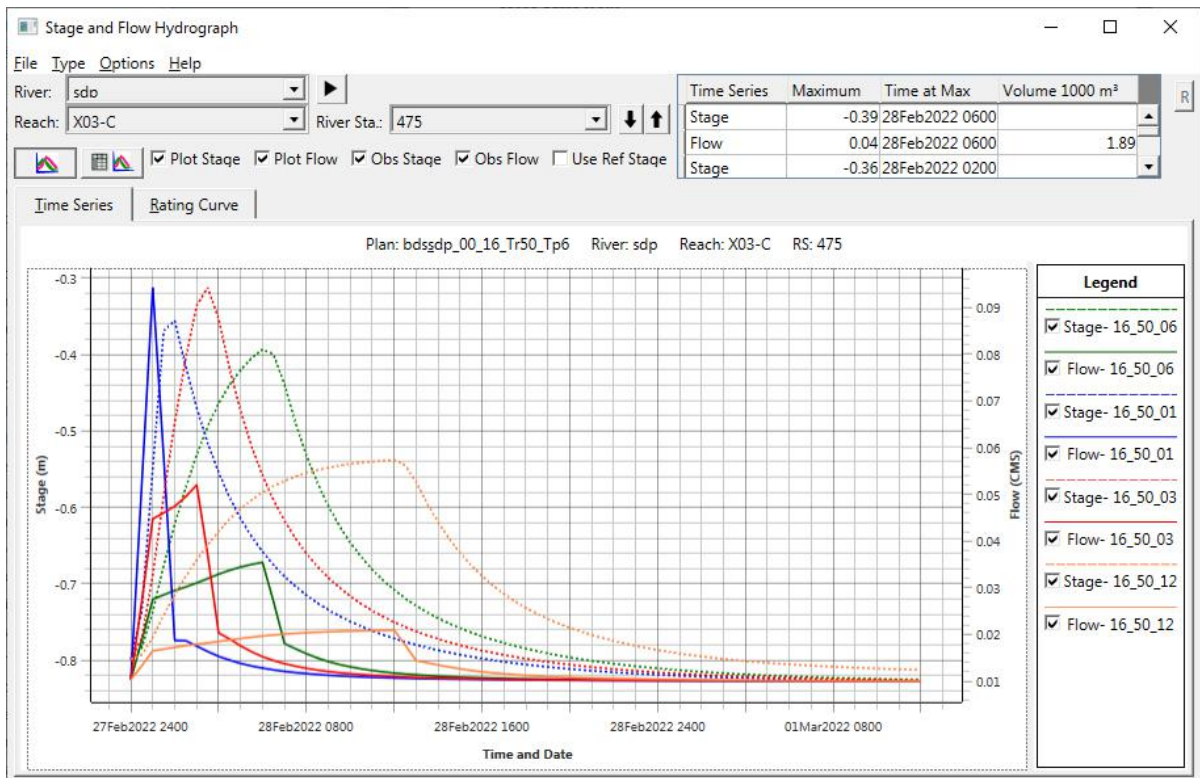


Figura 57: canale X03-C (AW01) - idrogrammi di piena

6.5.4.2 Dorsale est

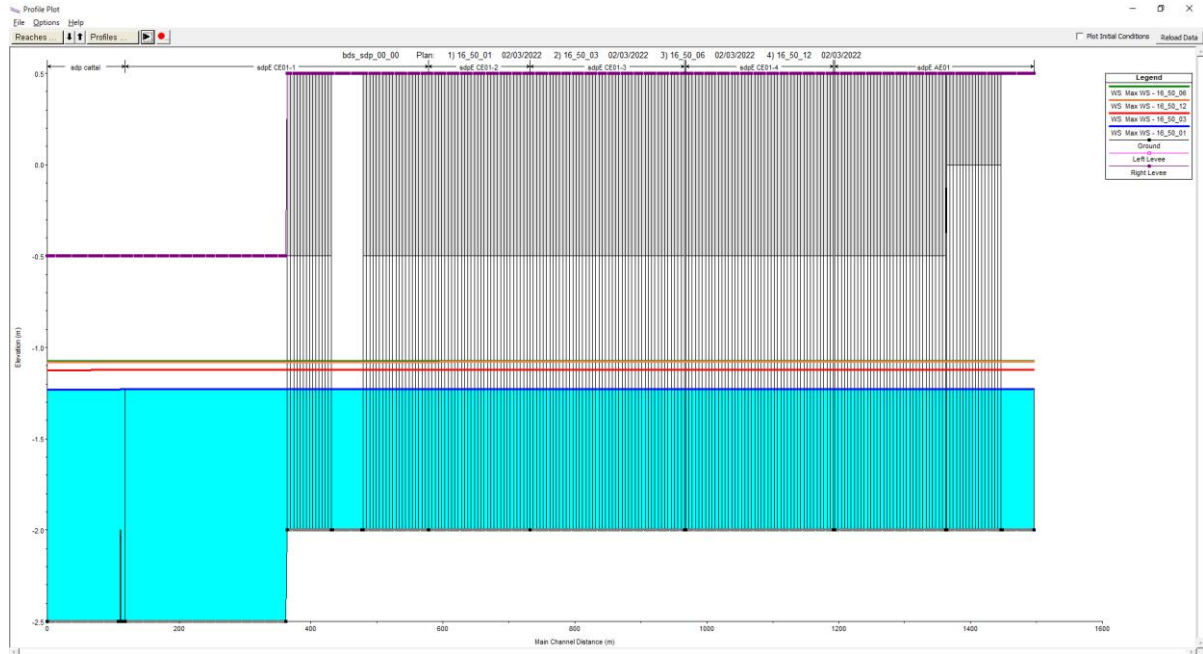


Figura 58: profilo longitudinale dorsale est - massimo riempimento

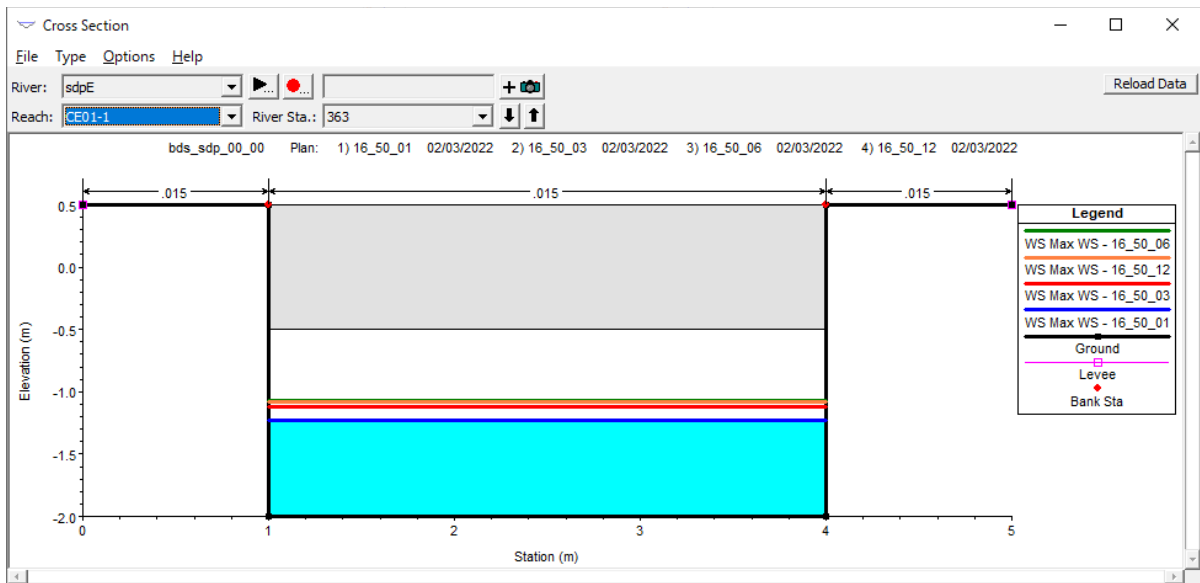


Figura 59: canale interrato CE01-1 - sez. 363 (valle) - massimo riempimento

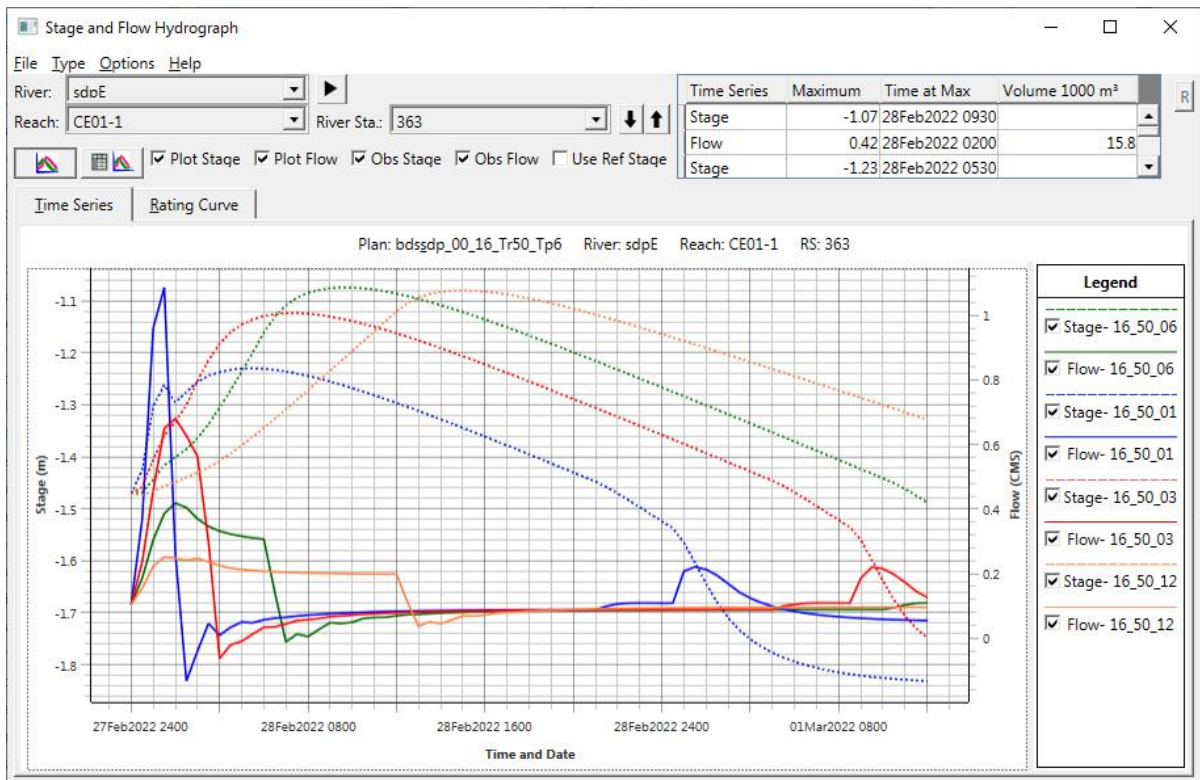


Figura 60: canale interrato CE01-1 - sez. 363 (valle) - idrogrammi di piena

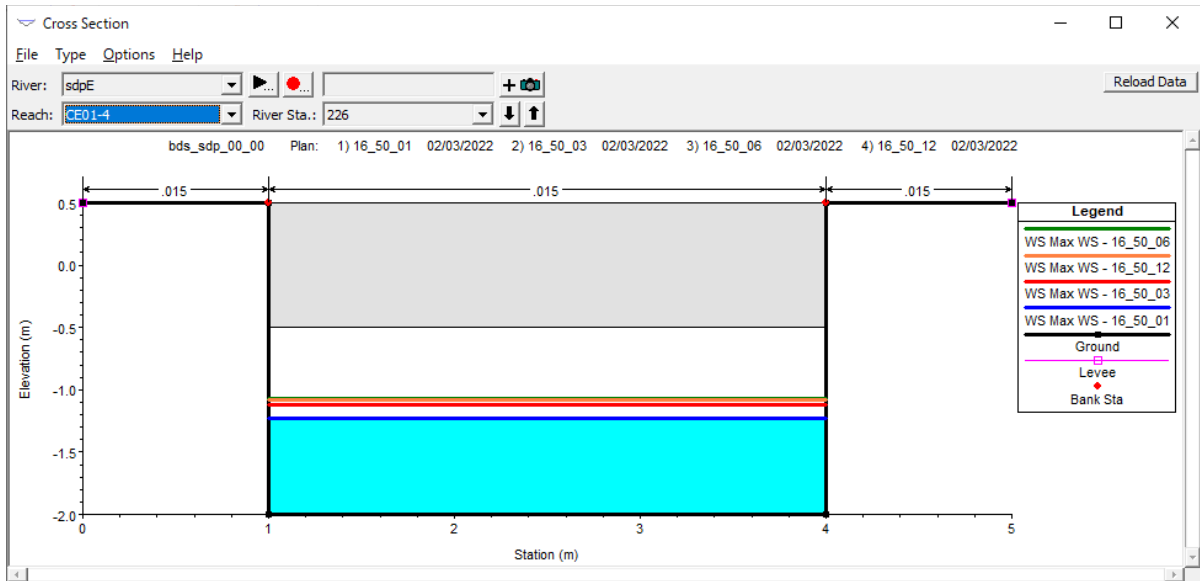


Figura 61: canale interrato CE01-4 - sez. 226 (monte) - massimo riempimento

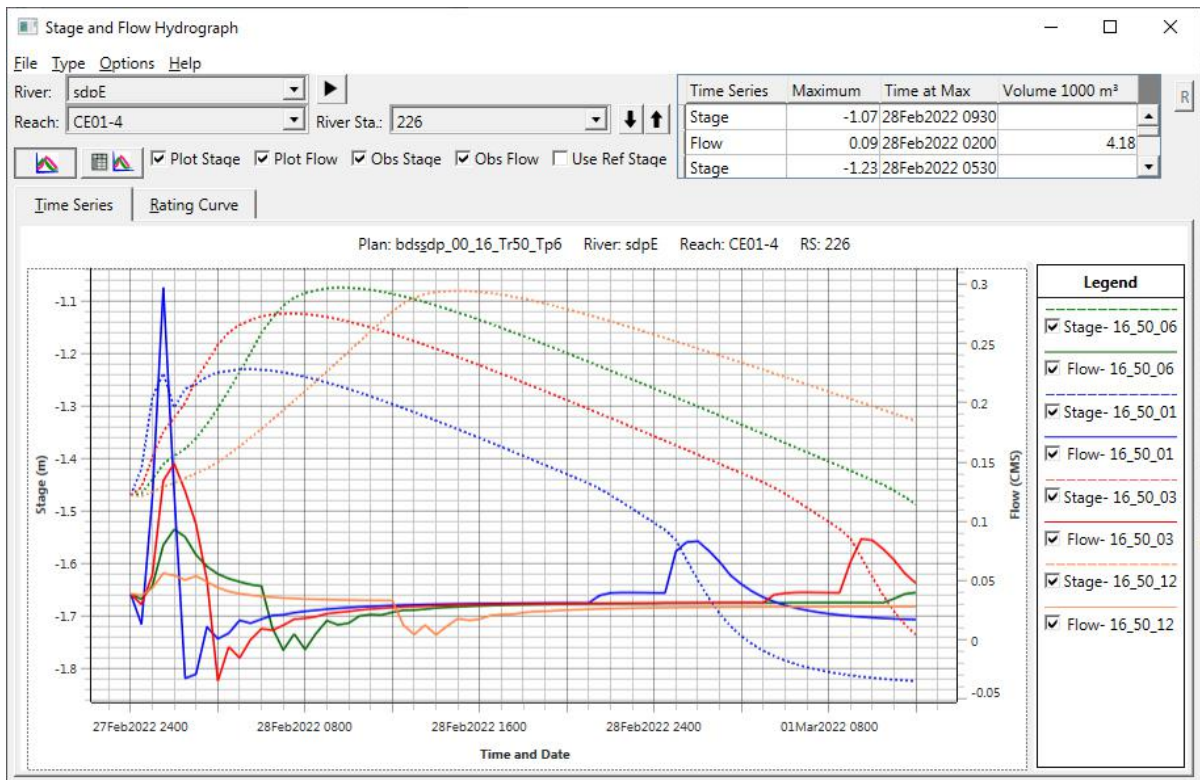


Figura 62: canale interrato CE01-4 - sez. 226 (monte) - idrogrammi di piena

### 6.5.4.3 Collettore Stadio

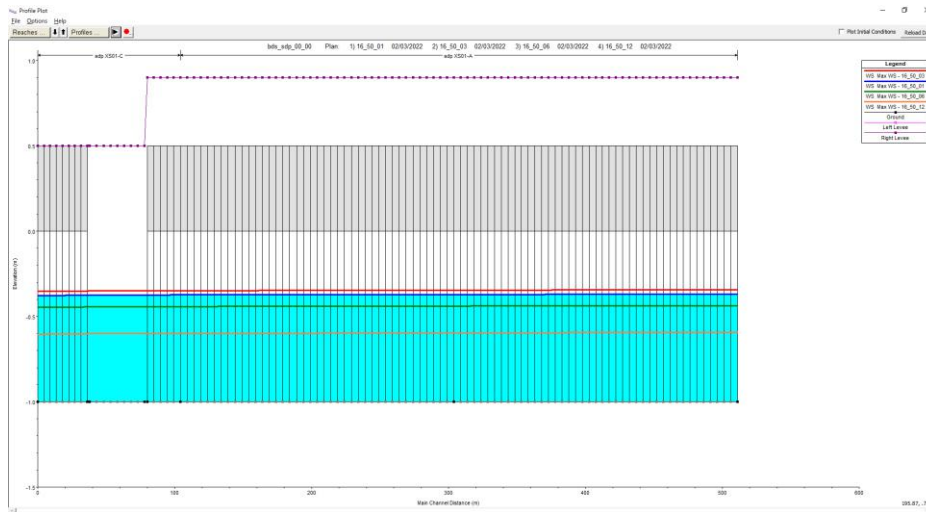


Figura 63: profilo longitudinale collettore stadio (ovest) - massimo riempimento

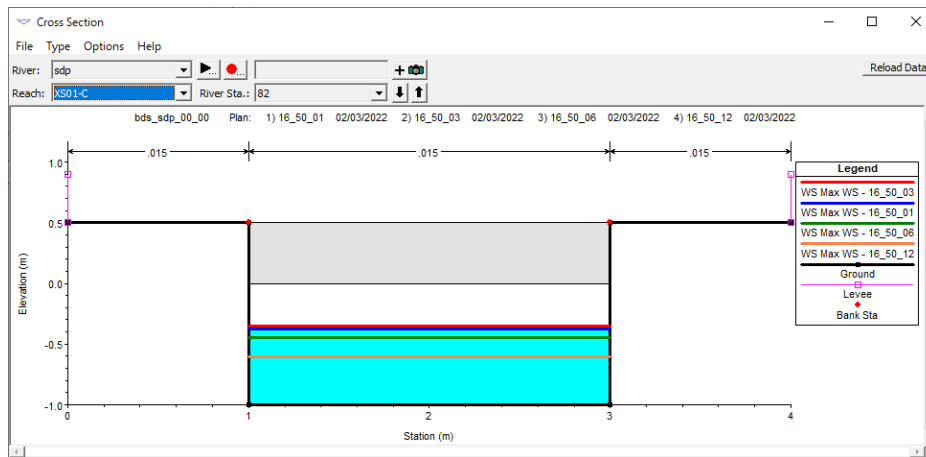


Figura 64: canale interrato XS01-C - sez.82 - massimo riempimento

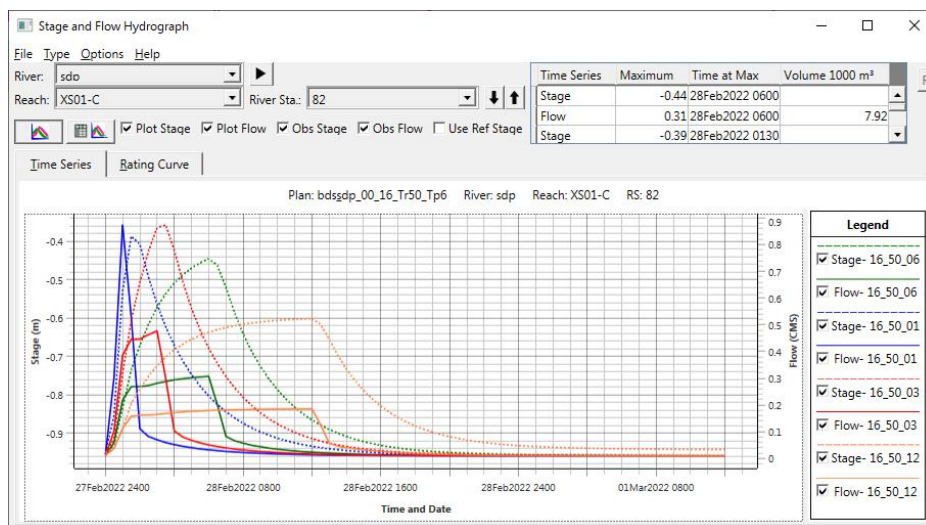


Figura 65: canale interrato XS01-C - sez.82 - idrogrammi di piena

### 6.5.4.4 Collettore Palasport - Piastra servizi

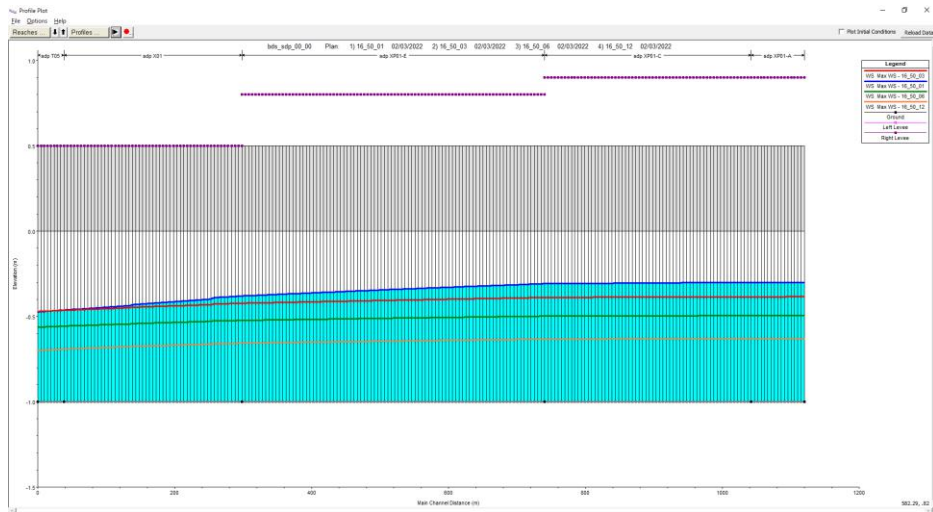


Figura 66: profilo longitudinale collettore palasport (ovest) - massimo riempimento

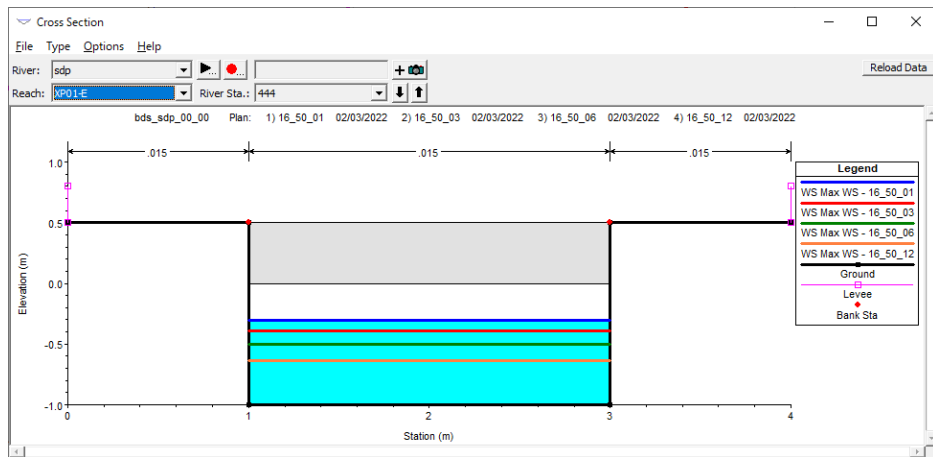


Figura 67: canale interrato XP01-E - sez.444 - massimo riempimento

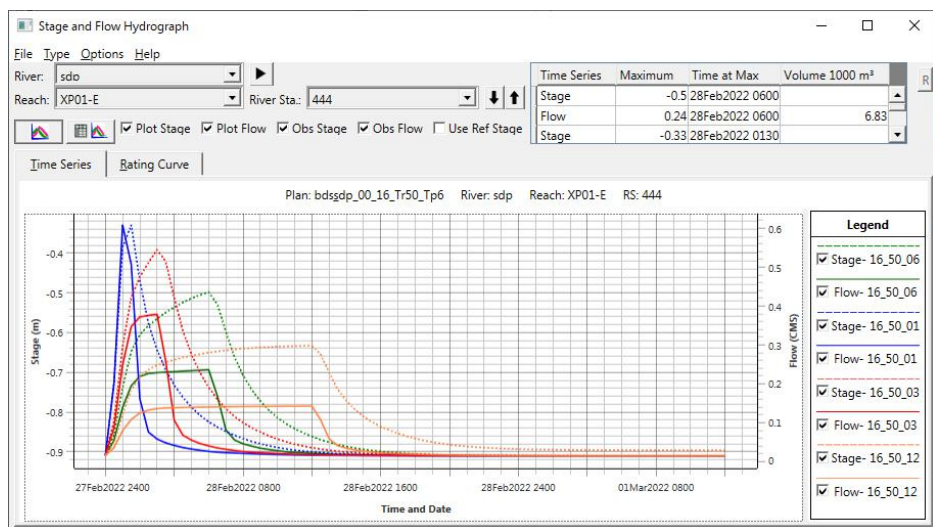


Figura 68: canale interrato XP01-E - sez.444 - idrogrammi di piena



## 7 VERIFICA DEI REQUISITI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA AI SENSI DEL PGRA 2021-2027

Come anticipato al paragrafo 3.5, il primo aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto delle Alpi Orientali (PGRA 2021-2027) di recente entrato in vigore, attribuisce al sedime di intervento le classi specifiche di:

- pericolosità idraulica moderata P1 (vd. Figura 17);
- rischio idraulico specifico moderato R1 (vd. Figura 18).

Data la specifica classe di pericolosità, gli interventi in esame si devono ritenere assoggettabili agli artt. 7 (“Disposizioni comuni”) e 14 (“Aree classificate a pericolosità moderata P1”) delle Norme Tecniche di Attuazione del PGRA, che prescrivono in particolare quanto segue:

*art.7, c.3*

*Tutti gli interventi e le trasformazioni di natura urbanistica ed edilizia devono essere tali da:*

- a. migliorare o mantenere le condizioni esistenti di funzionalità idraulica, agevolare e comunque non impedire il normale deflusso delle acque;*
- b. non aumentare le condizioni di pericolo dell’area interessata, nonché a valle o a monte della stessa;*
- c. non ridurre complessivamente i volumi invasabili delle aree interessate tenendo conto dei principi dell’invarianza idraulica e favorire, laddove possibile, la creazione di nuove aree di libera esondazione;*
- d. non pregiudicare la realizzazione o il completamento degli interventi di cui all’Allegato III del Piano.*

*art.14, c.4*

*Tutti gli interventi e le trasformazioni di natura urbanistica ed edilizia che comportano la realizzazione di nuovi edifici, opere pubbliche o di interesse pubblico, infrastrutture, devono in ogni caso essere collocati a una quota di sicurezza idraulica pari ad almeno 0,5 m sopra il piano campagna. Tale quota non si computa ai fini del calcolo delle altezze e dei volumi previsti negli strumenti urbanistici vigenti alla data di adozione del Piano.*

La questione riveste un’importanza particolare tenuto conto che una larga parte degli interventi previsti prevede l’innalzamento della giacitura del suolo, rispetto al piano campagna originario. Per le aree oggetto di rialzo sarebbe quindi necessario un volume di invasato, a titolo di compensazione delle aree originariamente allagabili, non più pari a 150

m<sup>3</sup> per ettaro, come indicato dal Consorzio di Bonifica Acque Risorgive, ma equivalente al mancato volume invasabile per allagamento.

Essendo però indicata una classe di allagabilità (per eventi con media e bassa probabilità) con un *range* estremamente variabile (da 0 a 50 cm) su una superficie molto vasta, occorre definire quale possa essere l'effettivo tirante di allagamento nell'ambito di intervento.

Attesa la circostanza di come, evidentemente, la quota superficiale di allagamento non può che essere orizzontale, la valutazione degli effettivi tiranti non può che partire dall'analisi delle giaciture del comprensorio, a titolo di semplificazione di una possibile modellazione idrodinamica tridimensionale del fenomeno di alluvione (necessaria secondo il PGRA solo per classi di rischio superiori), avendo qui indicato in Figura 69 una mappa cromatica delle altimetrie dedotta dal già citato rilievo del Commissario Delegato all'emergenza 2007, da cui risulta del tutto evidente che l'area oggetto di intervento (con tratteggio grigio) si trova in una zona a quota più elevata rispetto al resto del comprensorio a est.

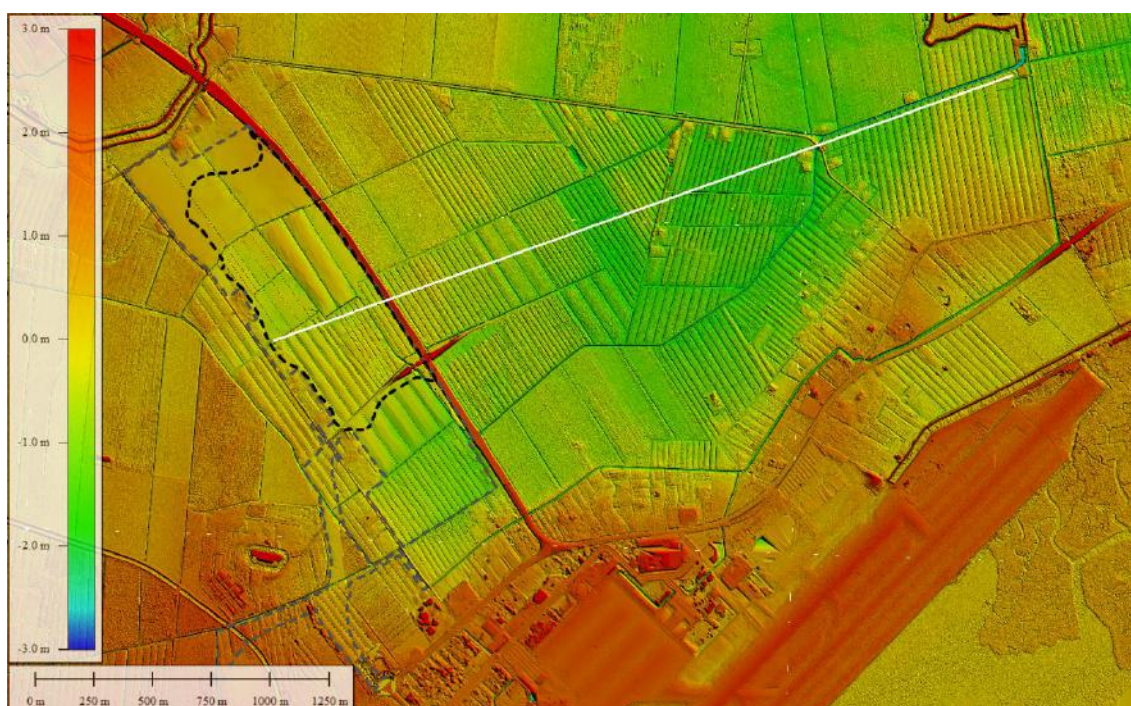


Figura 69: altimetrie del bacino (fonte *Commissario Delegato emergenza 26 settembre 2007*)

Andando ad analizzare una sezione del territorio attuale (vd. Figura 70), estesa dall'ambito di intervento fino all'idrovora di Cattal (lungo la traccia in colore bianco nella precedente Figura 69) si può osservare come le aree più depresse abbiano giacitura talvolta inferiore a -1.50 m s.m.m., potendo ritenere che un'attendibile quota media delle aree più depresse stia nell'intorno di -1.20 m s.m.m.

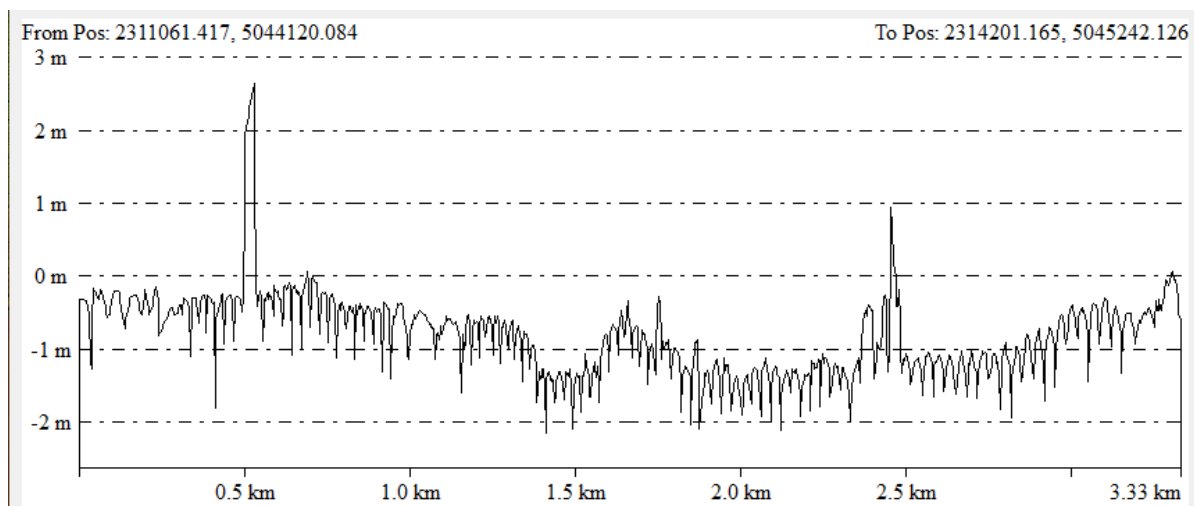


Figura 70: sezione del bacino

Su tale quota è quindi stato considerato un allagamento massimo di 50 cm, con sommità quindi a  $-0.70$  m s.m.m. Nella seguente Figura 71 è contenuta un'ipotetica mappa degli allagamenti per tale livello (colore azzurro), ottenuta con riferimento a un piano orizzontale a quota  $-0.70$  m s.m.m., avendo riportato nella successiva Figura 23 il corrispondente profilo del terreno con evidenziata tale quota di allagamento. Del tutto evidente come tutte le aree oggetto di innalzamento rispetto al piano campagna (il cui perimetro indicativo è riportato con linea nera tratteggiata) siano escluse da tale potenziale allagamento.

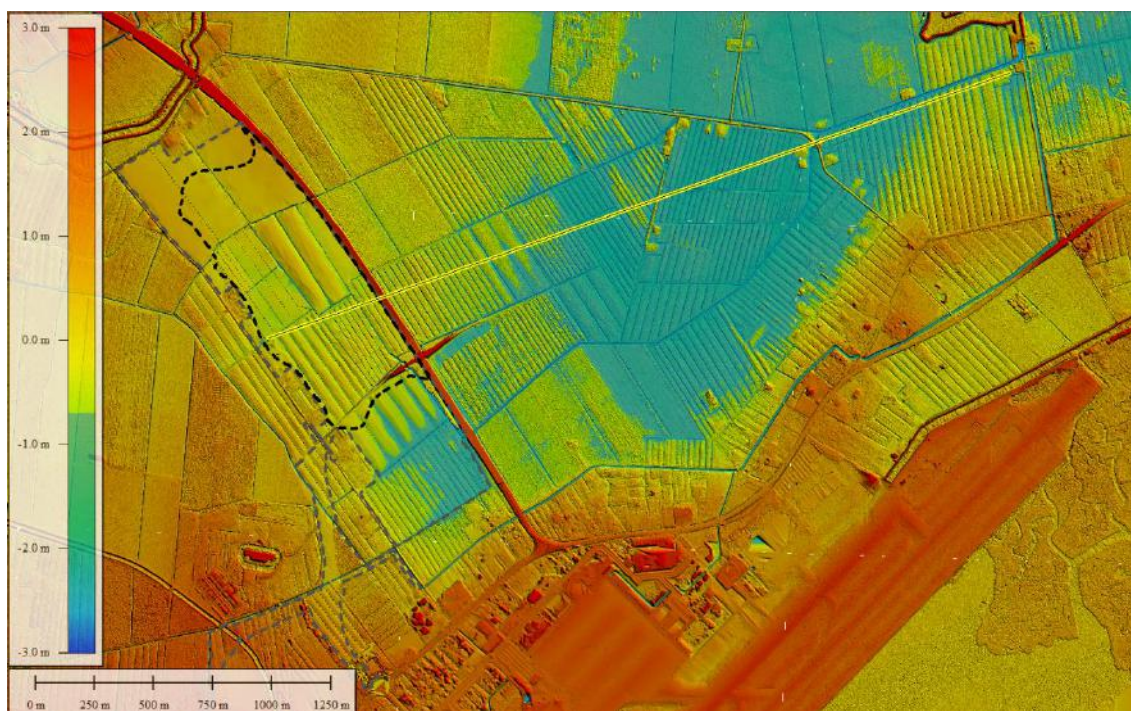


Figura 71: altimetrie del bacino con allagamento a  $-0.70$  m s.m.m.

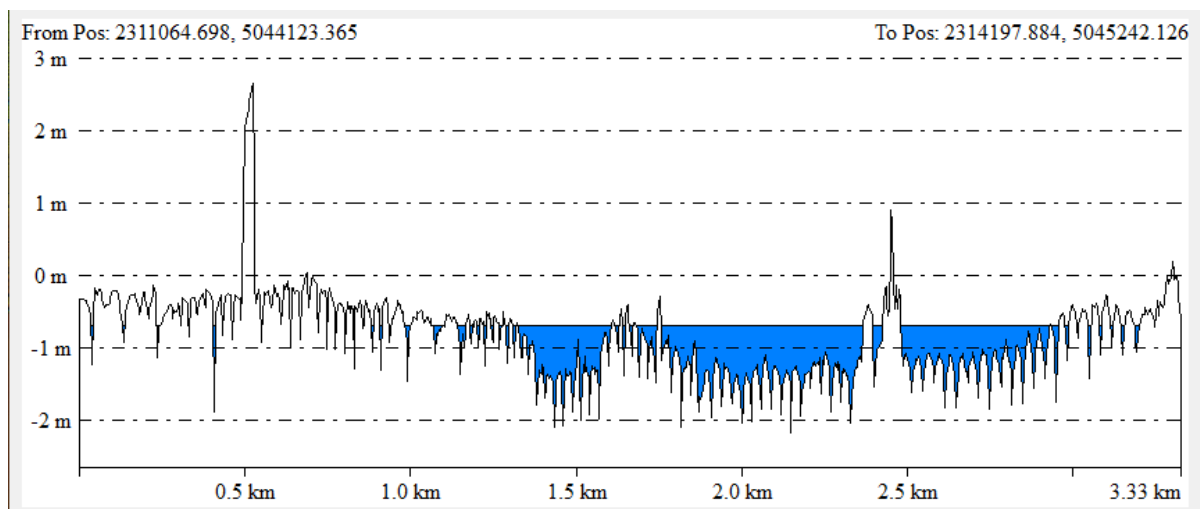


Figura 72: sezione del bacino con allagamento a -0.70 m s.m.m.

A favore di sicurezza si è poi voluto analizzare un innalzamento della quota di sommersione a -0.50 m s.m.m., che significa un allagamento con tiranti superiori al metro in aree dove il PGRA indica il relativo valore massimo pari a 50 cm anche nelle situazioni più gravose. Anche in questo caso, come indicato nella mappa cromatica in Figura 73 e nel profilo altimetrico in Figura 74, le aree innalzate rispetto al piano campagna sono al di fuori di quelle allagabili, fatta eccezione di minime superfici in adiacenza al reticolo di scoline esistenti.

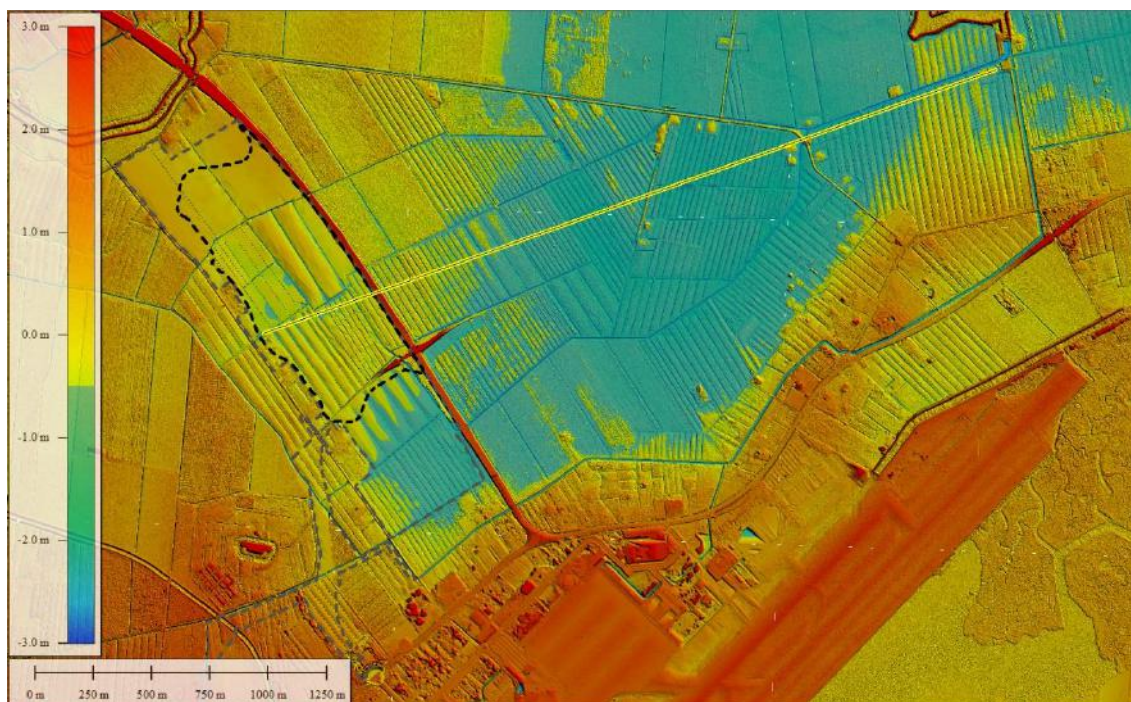


Figura 73: altimetrie del bacino con allagamento a -0.50 m s.m.m.

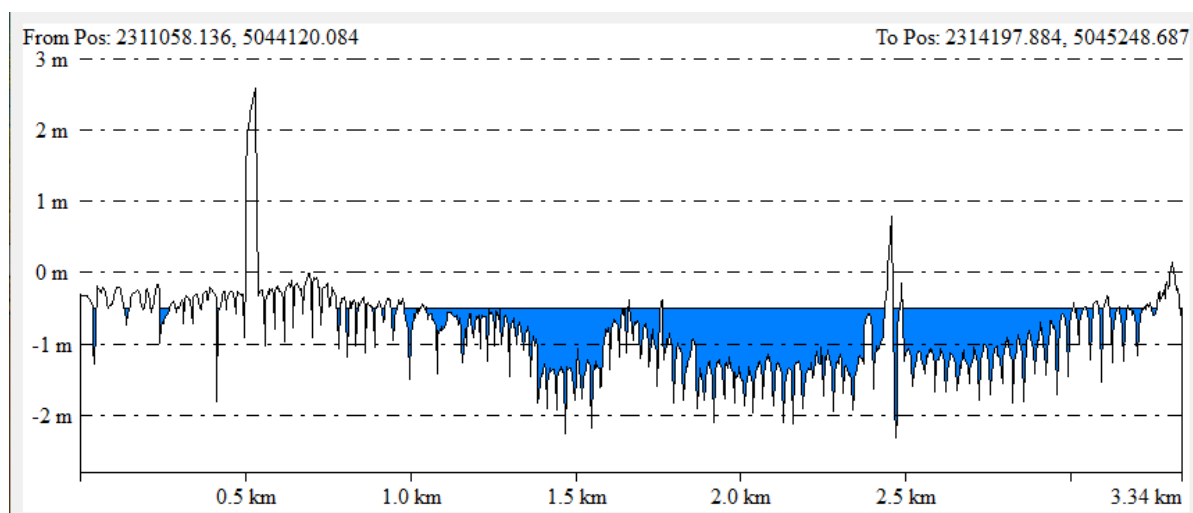


Figura 74: sezione del bacino con allagamento a -0.50 m s.m.m.

## 7.1 Conclusioni

Oggetto del presente paragrafo era una valutazione finalizzata a dimostrare che le opere complessivamente previste per garantire l'invarianza idraulica dell'intervento rispettino non solo i criteri indicati nel Piano delle Acque nel Comune di Venezia e nella DGRV 2948/2009, ma anche quelli di recente entrati in vigore con l'aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto delle Alpi Orientali, che prevedono di considerare fra i volumi di compensazione anche quelli connessi con un allagamento del territorio con profondità variabile fra 0 e 50 cm.

Per capire quale potesse essere l'effettivo volume da considerare è stato analizzato un modello tridimensionale dell'altimetria del territorio, valutando gli effetti di potenziali allagamenti nelle porzioni più depresse (con quote fino a -1.0 m s.m.m.) a fronte di un allagamento massimo previsto di 50 cm, in rispetto di quanto indicato dalle carte di allagabilità del PGRA.

L'analisi prodotta a dimostrare come non siano da prevedere ulteriori contributi di laminazione rispetto a quanto previsto, finalizzati a garantire 150 m<sup>3</sup>/ha per le aree rialzate rispetto al piano campagna, oltre al volume necessario per l'invarianza idraulica generale.

A margine si evidenzia che il volume complessivo di laminazione previsto per la compensazione idraulica (72'600 m<sup>3</sup>) garantisca un tirante equivalente di allagamento di circa 12 cm sull'area oggetto di rialzo rispetto al piano campagna, all'interno quindi del range indicato nel PGRA.

## 8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Oggetto del presente documento è stata la valutazione di compatibilità idraulica delle trasformazioni urbanistiche connesse alla realizzazione del Bosco dello Sport in località Tesserà (VE), in ottemperanza alla DGRV 2948/2009 “Nuove indicazioni per la formazione degli strumenti urbanistici - Modifica delle delibere n.1322/2006 e n.1841/2007 in attuazione della sentenza del Consiglio di Stato n. 304 del 3 aprile 2009” e al relativo Allegato A, contenente le “Modalità operative e indicazioni tecniche” per la redazioni di tali valutazioni.

Lo studio di valutazione, partendo dall’analisi dello stato di fatto dei luoghi, delle reti idrografiche esistenti e del relativo livello di rischio, pericolosità e criticità idraulica, ha dunque analizzato l’effetto delle previste trasformazioni sul comportamento idrologico delle superfici interessate dagli interventi, in termini di diminuzione della permeabilità media e quindi della portata generata che andrebbe ad affluire alla rete.

Il compendio di opere si pone infatti come caso di “marcata impermeabilizzazione potenziale” dell’ambito interessato, poiché si riferisce a:

- una superficie totale di 114.8 ha (superiore a 10 ha);
- un coefficiente di deflusso medio ragguagliato nello stato di riforma pari a 0.42.

Obiettivo ultimo dello studio è quindi stato quello di dimensionare e di verificare le opere di invaso necessarie a laminare le piene generate nella prospettata configurazione di riforma, a titolo di mitigazione del rischio idraulico, per garantire l’invarianza idraulica all’interno del sottobacino di riferimento.

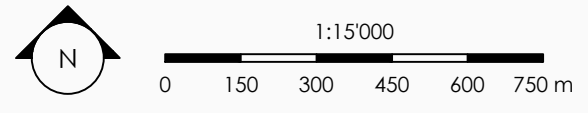
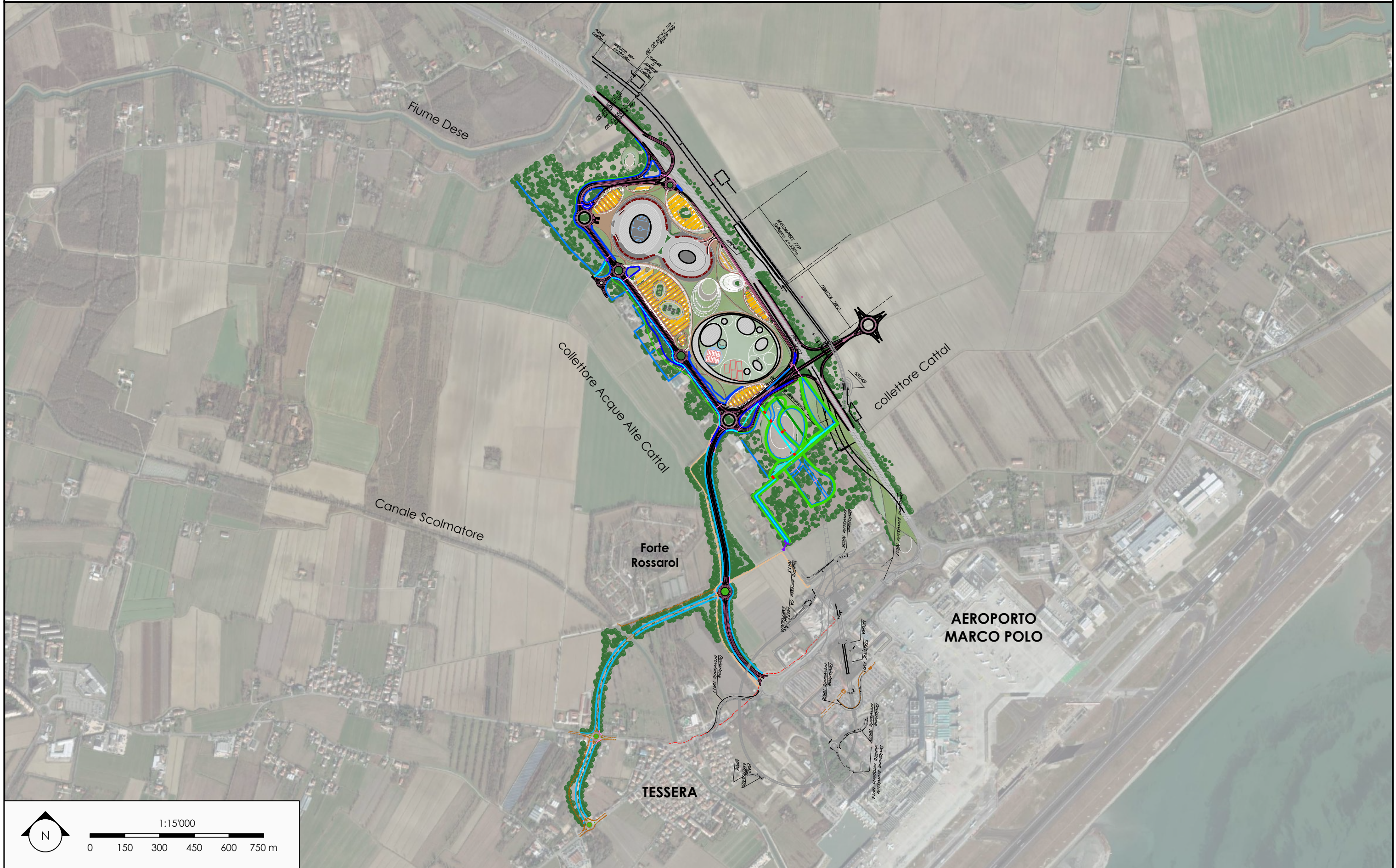
Attraverso il confronto di diversi metodi di dimensionamento, proposti dal competente Consorzio di Bonifica Acque Risorgive per interventi di minore entità, è stato quindi definito un volume “obiettivo” di invaso pari a 62'775 m<sup>3</sup>, che è stato ottenuto mediante la proposta progettuale di differenti dispositivi integrati:

- invasi superficiali, ottenuti mediante avvallamenti nel terreno all’interno delle previste aree a verde, per un volume di 54'200 m<sup>3</sup>;
- invasi profondi, ottenuti mediante condotte interrato, per un volume di 15'330 m<sup>3</sup>;

per un volume complessivamente invasabile pari a circa 69'500 m<sup>3</sup>.

Le simulazioni idrodinamiche di moto vario, svolte mediante modello matematico HEC-RAS 6.1, hanno infine concesso di verificare il corretto funzionamento e dimensionamento dei volumi sopra indicati, con ampio margine di sicurezza idraulica rispetto a eventi di precipitazione con tempo di ritorno di 50 anni e durate di pioggia variabili fra 1 e 12 ore.

MASTERPLAN - COROGRAFIA DI INQUADRAMENTO TERRITORIALE



STATO DI FATTO - RILIEVO TOPOGRAFICO

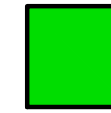


**LEGENDA**  
- - - Limite area di progetto

N  
1:7500  
0 75 150 225 300 375 m



# USO DEL SUOLO



AREA PERMEABILE (A VERDE)  
S = 140'187 m<sup>2</sup>  
Cd = 0.20



AREA SEMI-PERMEABILE (PERCORSI)  
S = 8'961 m<sup>2</sup>  
Cd = 0.60



AREA IMPERMEABILE (ASFALTI)  
S = 39'656 m<sup>2</sup>  
Cd = 0.90

AREA totale COMPARTO 2  
Stot = 188'804 m<sup>2</sup>

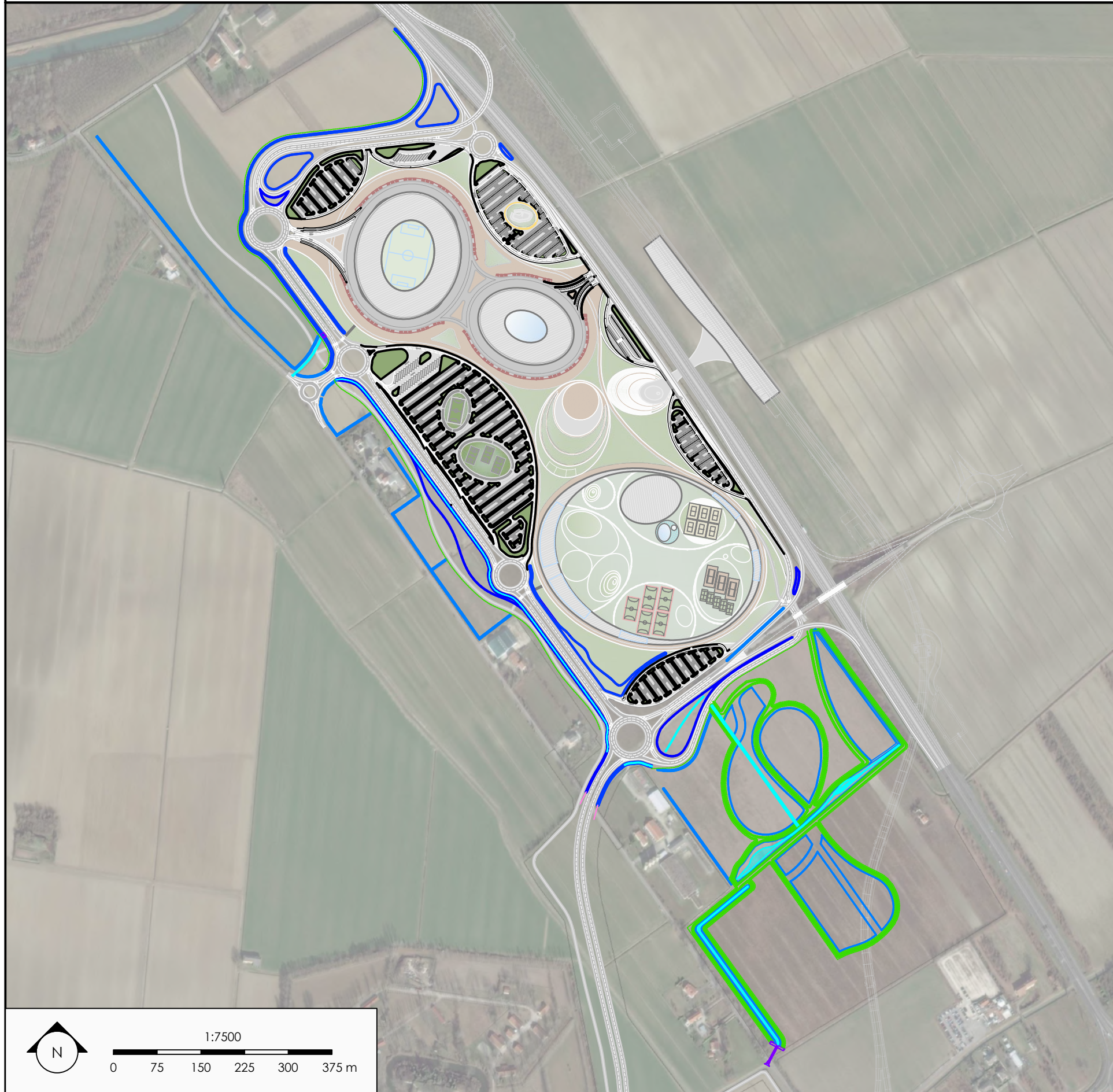
COEFFICIENTE DI DEFLUSSO RAGGUAGLIATO  
CdR = 0.37



1:7500

0 75 150 225 300 375 m

## INVASI SUPERFICIALI



### LEGENDA

- Invaso superficiale acque meteoriche su superficie rialzata dal piano campagna  
volume specifico di invaso 1.0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>
- Invaso superficiale acque meteoriche su aree a quota campagna  
volume specifico di invaso 0.50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>
- Canale di magra per la vivificazione delle aree umide
- Canale interrato (dove non è possibile realizzare canale a cielo aperto)
- Condotte per collegamento idraulico fra gli invasi

### VOLUMI DI INVASO

| id                                | V <sub>0A</sub><br>[m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ] | V <sub>0L</sub><br>[m <sup>3</sup> /m] | L<br>[m] | A<br>[m <sup>2</sup> ] | V<br>[m <sup>3</sup> ] |
|-----------------------------------|--|--|----------|------------------------|------------------------|
| A_W_01                            | 1  |  |          | 3'500.00               | 3'500.00               |
| A_W_02                            | 1  |  |          | 630.00                 | 630.00                 |
| A_W_03                            | 1  |  |          | 1'840.00               | 1'840.00               |
| A_E_01                            | 1  |  |          | 3'090.00               | 3'090.00               |
| <b>totale aree</b>                |  |  |          | <b>9'060.00</b>        | <b>9'060.00</b>        |
| C_W_01                            |  | 2                                      | 820      | 3'630.00               | 1'640.00               |
| C_W_02                            |  | 3.7                                    | 250      | 1'680.00               | 925.00                 |
| C_W_03                            | 0.5  |  | 920      | 10'200.00              | 5'100.00               |
| C_W_04                            |  | 5.3                                    | 360      | 2'980.00               | 1'908.00               |
| C_S_01                            |  | 2                                      | 130      | 750.00                 | 260.00                 |
| C_S_02                            | 0.8  |  | 160      | 5'390.00               | 4'312.00               |
| <b>totale canali</b>              |  |  |          | <b>24'630.00</b>       | <b>14'145.00</b>       |
| A_S_01                            | 0.5  |  |          | 570.00                 | 285.00                 |
| A_S_02                            | 0.5  |  |          | 4'880.00               | 2'440.00               |
| A_S_03                            | 0.5  |  |          | 6'230.00               | 3'115.00               |
| A_S_04                            | 0.5  |  |          | 9'590.00               | 4'795.00               |
| A_S_05                            | 0.5  |  |          | 3'470.00               | 1'735.00               |
| A_S_06                            | 0.5  |  |          | 6'180.00               | 3'090.00               |
| A_S_07                            | 0.5  |  |          | 12'000.00              | 6'000.00               |
| A_S_08                            | 0.5  |  |          | 2'100.00               | 1'050.00               |
| A_S_09                            | 0.5  |  |          | 11'090.00              | 5'545.00               |
| A_S_10                            | 0.5  |  |          | 5'880.00               | 2'940.00               |
| <b>totale aree</b>                |  |  |          | <b>61'990.00</b>       | <b>30'995.00</b>       |
| <b>TOTALE INVASI SUPERFICIALI</b> |  |  |          | <b>95'680.00</b>       | <b>54'200.00</b>       |

## INVASI PROFONDI

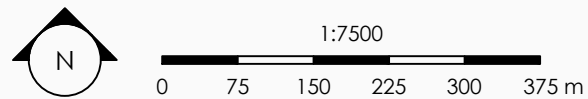


### LEGENDA

- tombinamento per riconnessione Canaletta Irrigua
- Rete di invaso 2<sup>a</sup> pioggia, scatolare 3.00x1.50 m
- Rete di invaso 2<sup>a</sup> pioggia, scatolare 2.00x1.00 m
- Rete di invaso 1<sup>a</sup> pioggia, condotte DN 1200
- Rete di raccolta acque meteoriche, condotte DN 600

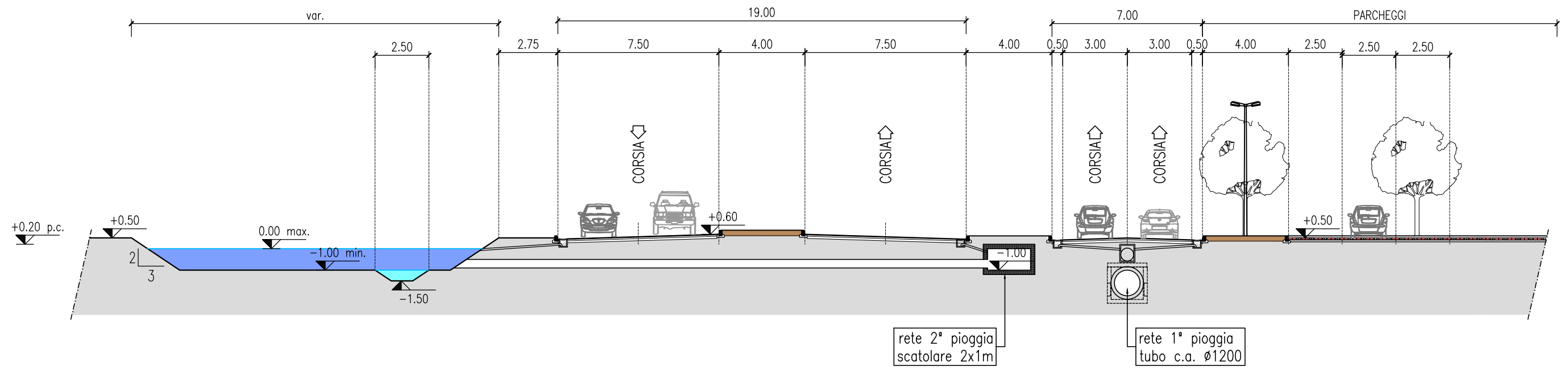
### VOLUMI DI INVASO

| id                            | DN      | v <sub>0L</sub><br>[m <sup>3</sup> /m] | L<br>[m]      | V<br>[m <sup>3</sup> ] |
|-------------------------------|---------|--|---------------|------------------------|
| C. INTERRATO EST              | 3.0x1.5 | 4.5                                    | 845           | 3'802.50               |
| P1                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 140           | 280.00                 |
| P2                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 60            | 120.00                 |
| P3                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 200           | 400.00                 |
| P6                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 300           | 600.00                 |
| P7                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 100           | 200.00                 |
| P8                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 150           | 300.00                 |
| P9                            | 2.0x1.0 | 2                                      | 210           | 420.00                 |
| PIAZZ. STADIO                 | 2.0x1.0 | 2                                      | 900           | 1'800.00               |
| PIAZZ. PALASPORT              | 2.0x1.0 | 2                                      | 2'475         | 4'950.00               |
| RACCOLTA DN                   | 0.6     | 0.28                                   | 8'680         | 2'452.97               |
| <b>TOTALE INVASI PROFONDI</b> |         |  | <b>14'060</b> | <b>15'325.47</b>       |

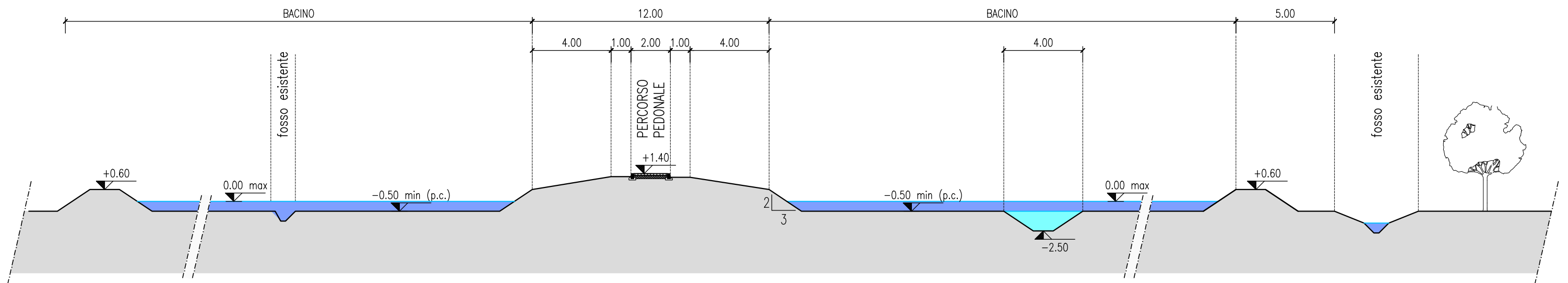


STATO DI RIFORMA - SEZIONI TRASVERSALI

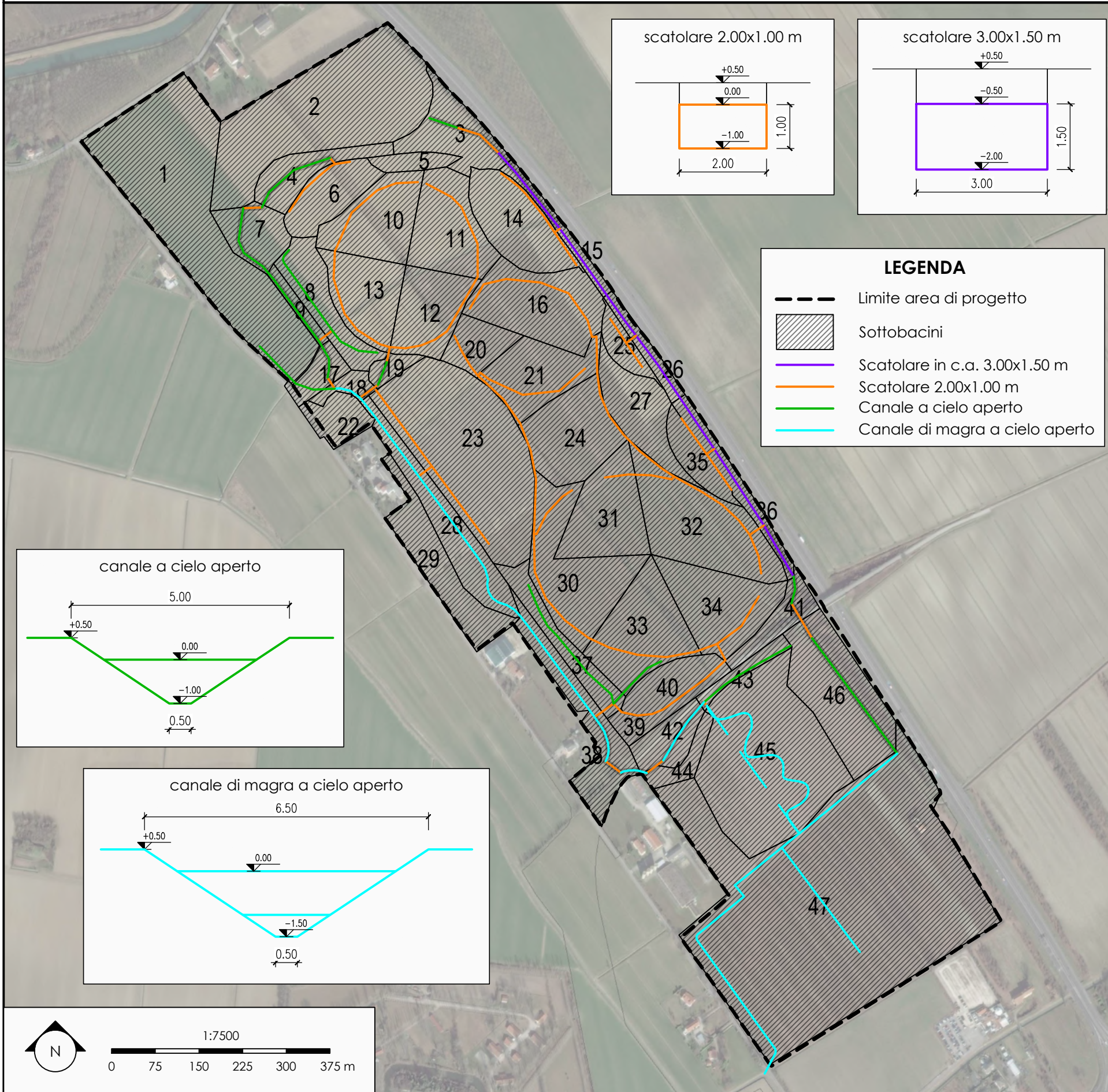
SEZIONE A-A  
scala 1:200



SEZIONE B-B  
scala 1:200



STATO DI RIFORMA - SOTTOBACINI E SCHEMA RETE DI CALCOLO



| id sottobacino  | aree verdi [m <sup>2</sup> ] | aree semi-permeabili [m <sup>2</sup> ] | aree impermeabili [m <sup>2</sup> ] | area totale [m <sup>2</sup> ] | Cd ragg     | tc [ore] |
|-----------------|------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|-------------|----------|
| 1               | 66 972.00                    | 2 132.00                               | 336.00                              | 69 440.00                     | 0.22        | 1.68     |
| 2               | 51 939.00                    | 635.00                                 | 4 121.00                            | 56 695.00                     | 0.26        | 1.51     |
| 3               | 9 174.00                     | 173.00                                 | 6 262.00                            | 15 609.00                     | 0.49        | 0.79     |
| 4               | 5 330.00                     | -                                      | 5 182.00                            | 10 512.00                     | 0.55        | 0.65     |
| 5               | 1 439.00                     | 637.00                                 | 1 899.00                            | 3 975.00                      | 0.60        | 0.40     |
| 6               | 3 821.00                     | 4 137.00                               | 4 275.00                            | 12 233.00                     | 0.58        | 0.70     |
| 7               | 7 350.00                     | -                                      | 2 951.00                            | 10 301.00                     | 0.40        | 0.65     |
| 8               | 6 810.00                     | 2 114.00                               | 4 779.00                            | 13 703.00                     | 0.51        | 0.74     |
| 9               | 2 426.00                     | -                                      | 662.00                              | 3 088.00                      | 0.35        | 0.35     |
| 10              | 260.00                       | 2 127.00                               | 16 033.00                           | 18 420.00                     | 0.86        | 0.86     |
| 11              | 2 639.00                     | 978.00                                 | 16 177.00                           | 19 794.00                     | 0.79        | 0.89     |
| 12              | 455.00                       | 450.00                                 | 15 250.00                           | 16 155.00                     | 0.87        | 0.81     |
| 13              | -                            | 1 115.00                               | 15 410.00                           | 16 525.00                     | 0.88        | 0.82     |
| 14              | 5 080.00                     | 5 067.00                               | 9 191.00                            | 19 338.00                     | 0.64        | 0.88     |
| 15              | 2 451.00                     | -                                      | 2 594.00                            | 5 045.00                      | 0.56        | 0.45     |
| 16              | 1 915.00                     | 2 888.00                               | 20 837.00                           | 25 640.00                     | 0.81        | 1.02     |
| 17              | 2 988.00                     | 207.00                                 | 2 280.00                            | 5 475.00                      | 0.51        | 0.47     |
| 18              | 961.00                       | -                                      | 2 255.00                            | 3 216.00                      | 0.69        | 0.36     |
| 19              | 2 179.00                     | -                                      | 782.00                              | 2 961.00                      | 0.38        | 0.35     |
| 20              | 400.00                       | 350.00                                 | 7 449.00                            | 8 199.00                      | 0.85        | 0.58     |
| 21              | 3 300.00                     | 555.00                                 | 13 446.00                           | 17 301.00                     | 0.76        | 0.84     |
| 22              | 4 801.00                     | 258.00                                 | 2 267.00                            | 7 326.00                      | 0.43        | 0.54     |
| 23              | 12 806.00                    | 13 483.00                              | 29 550.00                           | 55 839.00                     | 0.67        | 1.50     |
| 24              | 13 920.00                    | 3 775.00                               | 3 470.00                            | 21 165.00                     | 0.39        | 0.93     |
| 25              | 1 129.00                     | 469.00                                 | 3 438.00                            | 5 036.00                      | 0.72        | 0.45     |
| 26              | 2 268.00                     | -                                      | 2 695.00                            | 4 963.00                      | 0.58        | 0.45     |
| 27              | 11 597.00                    | 2 891.00                               | 807.00                              | 15 295.00                     | 0.31        | 0.79     |
| 28              | 15 000.00                    | 1 302.00                               | 2 472.00                            | 18 774.00                     | 0.32        | 0.87     |
| 29              | 17 606.00                    | -                                      | -                                   | 17 606.00                     | 0.20        | 0.84     |
| 30              | 11 218.50                    | 3 705.00                               | 12 766.50                           | 27 690.00                     | 0.58        | 1.06     |
| 31              | 10 247.50                    | 880.00                                 | 8 697.50                            | 19 825.00                     | 0.52        | 0.90     |
| 32              | 16 618.00                    | 4 056.00                               | 9 967.00                            | 30 641.00                     | 0.48        | 1.11     |
| 33              | 12 252.00                    | 4 129.00                               | 6 996.00                            | 23 377.00                     | 0.48        | 0.97     |
| 34              | 17 065.00                    | 2 112.00                               | 2 449.00                            | 21 626.00                     | 0.32        | 0.94     |
| 35              | 1 932.00                     | 1 832.00                               | 3 308.00                            | 7 072.00                      | 0.63        | 0.53     |
| 36              | 3 820.00                     | -                                      | 4 580.00                            | 8 400.00                      | 0.58        | 0.58     |
| 37              | 9 297.00                     | -                                      | 1 598.00                            | 10 895.00                     | 0.30        | 0.66     |
| 38              | 8 451.00                     | -                                      | 9 464.00                            | 17 915.00                     | 0.57        | 0.85     |
| 39              | 783.00                       | -                                      | 4 732.00                            | 5 515.00                      | 0.80        | 0.47     |
| 40              | 1 605.00                     | 3 039.00                               | 4 862.00                            | 9 506.00                      | 0.69        | 0.62     |
| 41              | 3 550.00                     | 600.00                                 | 3 184.00                            | 7 334.00                      | 0.54        | 0.54     |
| 42              | 5 847.00                     | -                                      | 2 657.00                            | 8 504.00                      | 0.42        | 0.59     |
| 43              | 1 777.00                     | -                                      | 2 144.00                            | 3 921.00                      | 0.58        | 0.40     |
| 44              | 4 189.00                     | -                                      | 467.00                              | 4 656.00                      | 0.27        | 0.43     |
| 45              | 53 951.45                    | 2 839.55                               | -                                   | 56 791.00                     | 0.22        | 1.52     |
| 46              | 27 691.55                    | 1 457.45                               | -                                   | 29 149.00                     | 0.22        | 1.09     |
| 47              | 157 080.60                   | 8 267.40                               | -                                   | 165 348.00                    | 0.22        | 2.59     |
| <b>sommario</b> | <b>604 391.60</b>            | <b>78 660.40</b>                       | <b>274 742.00</b>                   | <b>957 794.00</b>             | <b>0.43</b> |          |