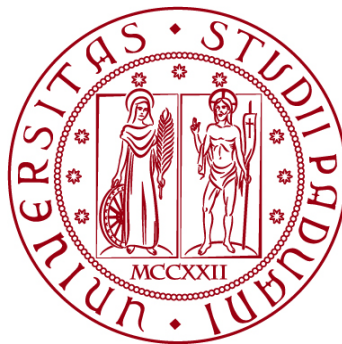


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

**INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL
RISCHIO IDRAULICO NEL BACINO DEL
TORRENTE CODOLO (TV)**

Relatore:
Chiar.mo PROF. ANDREA DEFINA
Correlatore:
Chiar.mo PROF. DANIELE PIETRO VIERO

Laureando: CHIARA DURANTE
2005698

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Sommario

1.	Introduzione	1
2.	Il Torrente Codolo	3
2.1.	Inquadramento geografico	3
2.2.	Le criticità idrauliche	4
3.	Interventi di difesa idraulica	9
3.1.	Bacino di laminazione a nord della ferrovia	10
3.2.	Bacino di laminazione presso l'abitato di San Fior di Sopra	12
3.3.	Bacino di laminazione lungo l'affluente Codolo 2	13
3.4.	Interventi minori	16
4.	Verifica idraulica	21
4.1.	Il modello idrodinamico utilizzato	21
4.1.1.	Le equazioni del moto	23
4.2.	Schematizzazione del sistema	25
4.2.1.	La schematizzazione del sistema del Torrente Codolo	31
4.2.2.	Schematizzazione dei bacini e casi particolari	47
4.3.	Parametri idraulici e idrologici	53
4.3.1.	Caratteristiche del suolo	54
4.3.2.	Curve di possibilità pluviometrica	59
4.3.3.	Condizioni iniziali e al contorno	64
4.4.	Le simulazioni	65
4.4.1.	Simulazioni dello stato di fatto	68
4.4.2.	Simulazioni dello stato di progetto e confronti	77
4.4.2.1.	Bacino di valle progettato per $Tr=10$ anni	81
4.4.2.2.	Bacino di valle progettato per $Tr=50$ anni	97
4.4.3.	Confronto con la simulazione Hec-Ras	110
5.	Conclusioni	119
	Bibliografia	121

1. Introduzione

Il Torrente Codolo sorge ad est di Colle Umberto, comune in provincia di Treviso. Il suo bacino raccoglie le acque provenienti dai territori a sud di Vittorio Veneto ed il suo corso, lungo 15 km, interessa diversi comuni, tra cui Fontanelle (TV), dove confluisce, in sinistra idrografica, nel Fiume Monticano, di cui è uno dei principali affluenti. Proprio la confluenza con il Monticano è tra le cause delle problematiche idrauliche che interessano il Torrente Codolo, al punto da rendere necessario che quest'ultimo fosse arginato per circa 3.00 km a monte della confluenza. A questo si aggiunge una nota e diffusa insufficienza dell'asta principale del torrente stesso, fortemente influenzata dalla presenza di attraversamenti e strutture in alveo. Di rilievo è, in questo caso, il ponte sito in Via XXX Ottobre, a Codognè, il cui impalcato è posto a quota inferiore rispetto a quella raggiunta, di frequente, dalle onde di piena del Codolo.

Le criticità sopra esposte, nonché la registrazione, in tempi recenti, di allagamenti nelle aree di prossimità del corso d'acqua, hanno reso necessari interventi di sistemazione idraulica del Torrente Codolo. La soluzione a cui è pervenuto il gruppo di lavoro del Consorzio Bonifica Piave ha previsto la realizzazione di tre casse d'espansione, per una capacità totale di circa 120000 m³, la sostituzione del ponte sopra citato, nonché il risezionamento diffuso del corso d'acqua, in particolare a valle delle aree di laminazione.

L'approfondimento che segue ha l'obiettivo di analizzare l'intervento nel suo complesso, con particolare attenzione al comportamento delle aree di laminazione. A tale scopo, è stato applicato il modello *2DEF* (Defina et al., 1994, D'Alpaos & Defina, 2007, Viero et al. 2014), modello accoppiato idrodinamico-idrologico, uni-bidimensionale, agli elementi finiti, che permette di risolvere, nel tempo e nello spazio, le equazioni idrauliche che descrivono il fenomeno della propagazione delle onde lunghe in acque basse.

2. Il Torrente Codolo

2.1. Inquadramento geografico

Il torrente Codolo è un corso d'acqua naturale, attualmente in gestione del Consorzio di Bonifica Piave, il cui bacino, denominato Codolo-Servada, coinvolge i territori a sud di Vittorio Veneto, per un totale di circa 4900 ha.

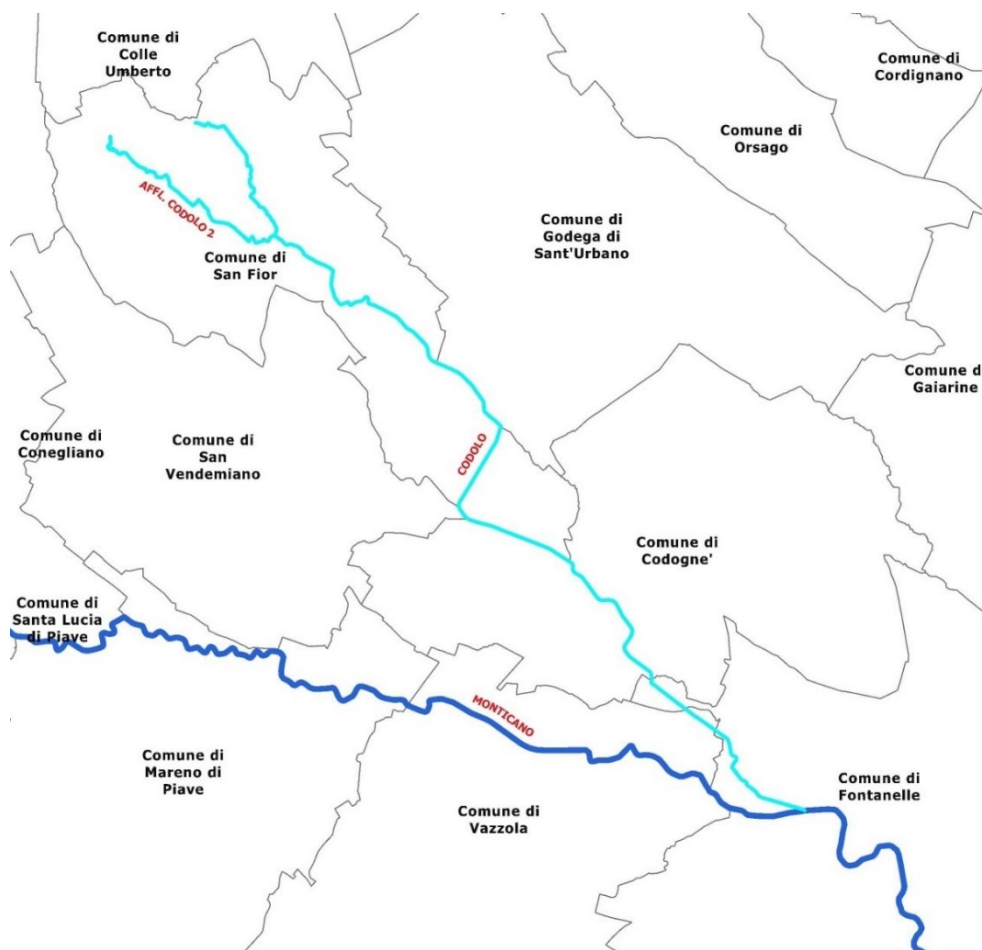


Figura 1: Inquadramento Torrente Codolo. Torrente Codolo in azzurro; Fiume Monticano in Blu.

Il Codolo, rappresentato in azzurro in Figura 1, origina ad est dell'abitato di Colle Umberto. Si sviluppa per 13 km, per poi continuare nel rio Cerveda. Quest'ultimo nasce in area collinare a Vittorio Veneto e scorre verso Sud fino al comune di San Vendemiano, dove accoglie le acque del Torrente Codolo. Da lì percorre altri due chilometri circa, fino a Mareno di Piave, dove confluisce, in sinistra idraulica, nel Fiume Monticano, di cui rappresenta uno dei maggiori affluenti.

Il Fiume Monticano nasce sul Monte Piai, a Vittorio Veneto, dall'unione di tre sorgenti. Da lì, lungo il suo percorso verso Sud-Est, incontra i comuni di Conegliano e Santa Lucia di Piave,

poco oltre la quale riceve in destra idraulica i torrenti Crevada e Cerveda (e quindi, come anticipato, il Codolo). Scorre arginato tra Mareno di Piave e Vazzola, per poi giungere a Motta di Livenza, dove, a sua volta, confluisce nel Fiume Livenza.

Le principali caratteristiche idrografiche del Torrente Codolo sono:

- lunghezza 15 km;
- bacino idrografico complessivo 4896 ha;
- pendenza media di fondo 2.53 m/km.

Nella sua porzione di monte, presso il centro di San Fior di Sopra, il torrente Codolo riceve due affluenti minori, che verranno successivamente denominati, per chiarezza espositiva, “Affluente 1” ed “Affluente 2”.

Verso valle, il torrente riceve, in destra, i suoi due affluenti principali Fossadella e Fossalta. Il primo, di lunghezza pari a 3.00 km e bacino di 2000 ha, trova la propria origine ad ovest di Colle Umberto ed affluisce al Codolo tra i comuni di San Fior e Codognè. Il secondo, di lunghezza pari a 3.5 km e bacino idrografico di 1000 ha, si estende nei comuni di San Vendemiano e Codognè, fino a confluire nel Codolo circa 3.00 km a monte della confluenza di quest’ultimo nel Monticano.

2.2. Le criticità idrauliche

Il Torrente Codolo è caratterizzato, in modo diffuso, lungo tutta la propria asta, da criticità idrauliche.

Secondo quanto definito nel PAI dell’autorità di bacino, la valutazione delle aree a rischio idraulico è il risultato del prodotto tra tre fattori caratterizzanti le stesse:

- Pericolosità, intesa come probabilità di accadimento di un evento calamitoso, generalmente espressa attraverso un tempo di ritorno;
- Esposizione, cioè il valore degli elementi a rischio, per quanto riguarda beni mobili ed immobili, nonché le persone e la loro incolumità;
- Vulnerabilità degli elementi a rischio, intesa come la capacità degli stessi di sopportare le sollecitazioni prodotte dall’evento calamitoso.

All’interno del bacino sono identificate aree caratterizzate da diverse probabilità di accadimento di un evento di piena:

- Aree ad alta probabilità di inondazione (Tr. 50-100 anni);
- Aree a moderata probabilità di inondazione (Tr. 100-200 anni);
- Aree a bassa probabilità di inondazione (Tr. 300-500 anni).

A queste sono associate quattro classi di pericolosità, crescenti da P1 a P4, che identificano aree allagate da eventi di piena con diverso tempo di ritorno (decescente da P1 a P4) e diversi valori di tirante/velocità dell'acqua. Ad essi sono associate diverse norme di gestione/utilizzo del territorio, sia per quanto riguarda aree residenziali ed urbane, sia per gli interventi volti a modificare il regime idraulico locale.

Proprio l'attenta valutazione delle criticità idrauliche, esposte dal Consorzio di Bonifica Piave nella *Carta topografica delle criticità idrauliche* pubblicata nel 2019, è stata posta alla base della formulazione dei criteri decisionali che hanno portato alla configurazione definitiva degli interventi di riduzione del rischio idraulico che saranno esposti nel seguito.

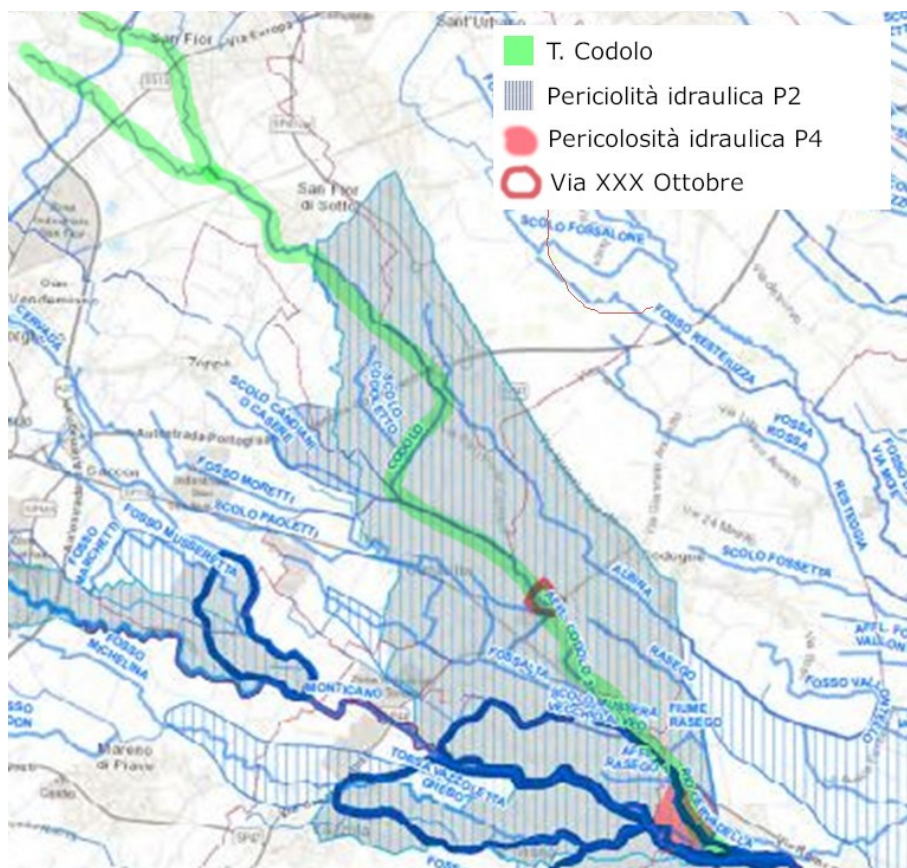


Figura 2: Estratto carta delle criticità idrauliche. (Fonte: Consorzio di Bonifica Piave, modificata).

In particolare, come visibile in Figura 2, partendo da monte, il Torrente Codolo scorre, senza particolari criticità idrauliche fino all'abitato di San Fior di Sotto.

Da qui, proseguendo verso valle, il bacino idraulico del Codolo è caratterizzato da:

- Pericolosità idraulica P2 (pericolosità media), rappresentata con tratteggio azzurro, secondo quanto definito dal “Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale”.
- Pericolosità idraulica P1 (pericolosità bassa), rappresentata con campitura grigia, secondo quanto definito dal Consorzio gestore.

Vengono altresì identificate due zone con diversa pericolosità:

- Un'area, con contorno rosso in Figura 2, corrispondente all'abitato di Cimavilla, frazione di Codognè, caratterizzata da frequenti allagamenti;
- L'area rappresentata dalla forma piena, rossa, identificata con la confluenza del Codolo nel Monticano, con pericolosità idraulica P4 (pericolosità molto elevata).

Inoltre, nella *Relazione Generale del Piano Generale Di Bonifica e Tutela Del Territorio*, redatta dal Consorzio di Bonifica Piave, vengono evidenziate, in modo più puntuale, le seguenti situazioni di pericolo, alcune delle quali già parzialmente esposte:

- elevate arginature rese necessarie alla confluenza col Monticano per effetti di rigurgito da quest'ultimo;
- interferenza dell'impalcato del ponte sito in Via XXX Ottobre, a Codognè, al deflusso del Torrente Codolo, in caso di piena;
- allagamenti di aree agricole con conseguente ristagno d'acqua ed allagamenti dell'area urbana a San Fior di Sopra (tra il torrente Codolo, Via Serravalle e via S. Barozzi), per la presenza di tratti tombinati e riduzioni di sezione, insufficienti a contenere le portate transitanti;
- allagamenti di aree edificate presso i comuni di San Fior e di Codognè, come segnalate dai comuni stessi.

Nel complesso, in relazione viene evidenziata una grave insufficienza dell'asta fluviale: 1/3 delle sezioni sono soggette ad esondazione, 2/3 sono insufficienti ad un deflusso sicuro.



Figura 3: Ponte Via XXX Ottobre. (Fonte: Relazione Generale Ed Illustrativa Sistemazione Idraulica Canale Codolo.)

Tutto ciò risulta confermato e/o supportato da quanto storicamente osservato nei comuni interessati dal passaggio del Torrente Codolo – ed affluenti – e del Fiume Monticano che, negli

anni, sono stati coinvolti in alcuni dei più importanti eventi alluvionali che hanno interessato il Veneto.

In particolare, è stato possibile pervenire ad informazioni relative a tre eventi.

Come riportato sul sito della Regione Veneto, tra il 31/10/2010-02/11/2010 si è assistito ad un prolungato evento alluvionale che ha coinvolto, tra gli altri, i comuni di Cison di Valmarino, Codognè, Cordignano, Cornuda, Fontanelle, Godega di Sant'Urbano, Gorgo al Monticano, San Fior, San Pietro di Feletto, San Vendemiano e Vittorio Veneto.

Nel 2012 si è verificato un'alluvione che ha generato allagamenti nel comune di San Fior, presso l'area agricola in via Serravalle e nell'area urbana dello stesso comune, con particolare coinvolgimento del ponte di via XXX Ottobre.



Figura 4: Esondazione sul ponte di Via XXX Ottobre in occasione dell'evento del 2012. (Fonte: estratto reportage Pio Dal Cin)

Nel Novembre 2017 si è registrata un'esonazione del Ghebo (altro nome del Torrente Codolo) in corrispondenza del ponte recante lo stesso nome, sito in via XXX Ottobre a Codognè. L'alluvione ha coinvolto i territori di San Fior, Vazzola e San Vendemiano.

A fronte delle criticità sopra esposte, nell'ottica, sempre più attuale, di gestione e riduzione del rischio idraulico, è stato previsto un intervento, realizzato in più step, che coinvolgesse l'intero bacino idraulico del Torrente Codolo.

Gli interventi a progetto sono presentati nei capitoli che seguono.

3. Interventi di difesa idraulica

Come anticipato, lo scopo principale del progetto è quello di migliorare le condizioni di deflusso del Torrente Codolo in occasione di eventi di piena, con un doppio obiettivo: da un lato, ridurre i picchi di piena attraverso la realizzazione di bacini di laminazione, e, dall'altro, eliminare le particolari situazioni puntuali generanti criticità.

L'intervento complessivo, già approvato, finanziato e parzialmente realizzato, coinvolge il Torrente Codolo nella totalità del suo corso, dagli affluenti a monte fino alle sezioni di valle.

Come esposto nella *Relazione Generale del Piano Generale Di Bonifica e Tutela Del Territorio* e più ampiamente analizzato nella *Relazione Idraulica - sistemazione idraulica canale Codolo, creazione bacini di laminazione in comune di San Fior e Codognè, sostituzione ponte Ghebo e rimozione ostacoli al deflusso* attuata dall'ente gestore, il progetto è composto da una serie di interventi, tra loro complementari:

- Bacino di laminazione a nord della ferrovia Venezia-Udine;
- Bacino di laminazione a protezione dell'abitato di San Fior di Sopra;
- Bacino di laminazione lungo il secondo affluente del Codolo;
- Rifacimento del ponte in via XXX Ottobre.

A questi, sono affiancati alcuni interventi minori:

- Rimozione di elementi ostacolanti il deflusso, con particolare riferimento ad un sostegno irriguo, inutilizzato, posto 600 m a valle del ponte di via XXX Ottobre;
- Risezionamento dei tratti di Torrente Codolo a valle delle aree di laminazione.

È possibile osservare la disposizione planimetrica dei suddetti interventi nell'immagine visibile in Figura 5.

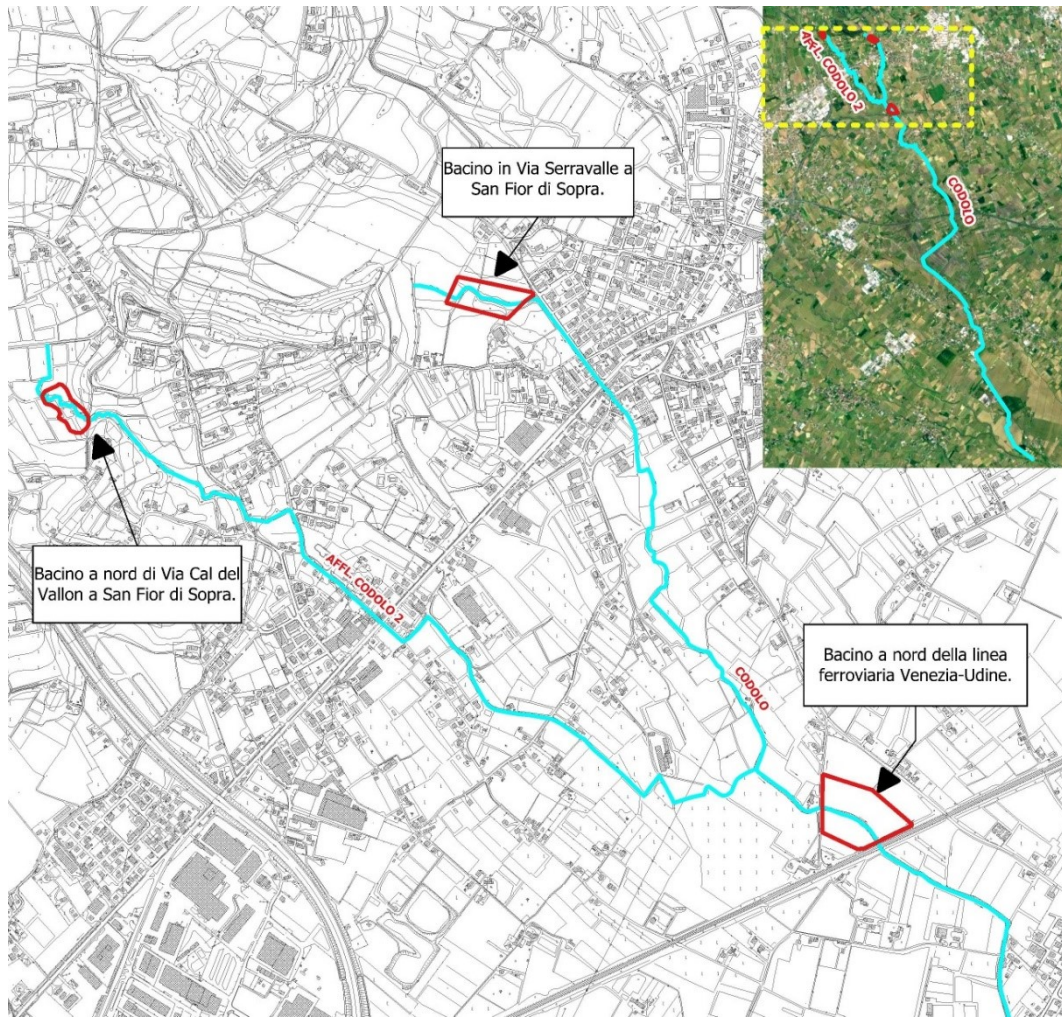


Figura 5: Inquadramento interventi.

3.1. Bacino di laminazione a nord della ferrovia

Il primo bacino di laminazione è sito a confine con la zona di rispetto della linea ferroviaria Venezia-Udine, tra via Santo Stefano e via Cal Bassa, e contribuisce al contenimento del rischio idraulico per le zone di San Fior di Sotto e Codognè.

Come visibile in Figura 6, esso presenta configurazione “in linea” al corso d’acqua ed ha superficie pari a circa 4.3 ha, suddivisa in due “sottobacini” dal torrente stesso, che vi transita in mezzo.

La quota fondo prevista per i due setti è variabile tra 44.90 m s.m.m. e 44.60 m s.m.m e diminuisce da monte (presa) a valle (restituzione), favorendo il deflusso della portata verso le paratoie di scarico. Il fondo del bacino si colloca circa 2.00 m sotto il piano campagna circostante.



Figura 6: Bacino di espansione a monte della ferrovia. (Fonte: Relazione Generale e Illustrativa - sistemazione idraulica canale Codolo)

Il dispositivo di presa, che trasferisce parte delle portate dal corso d'acqua ai due bacini, è sostanzialmente composto da una paratoia centrale a doppio scudo che, quando chiusa, innalza il tirante, facendo transitare la portata attraverso due sfioratori laterali, aventi quota pari a 45.70 m s.m.m., posti appena a monte del manufatto di regolazione stesso, che si trova, a sua volta, presso il rilevato ferroviario.

La paratoia centrale, meccanica, con dimensione 4.50x2.60 m, composta da due elementi, permette la massima flessibilità nella gestione delle portate transitanti: in condizioni di normale deflusso, le paratoie risulteranno completamente sollevate, non interferendo col naturale deflusso del Torrente. Al verificarsi di eventi di piena, le paratoie potranno essere gestite per parzializzare, secondo necessità, la portata, separando quella che viene lasciata defluire a valle (compatibile con quella gestibile in sicurezza dal corso d'acqua) e quella destinata al bacino d'espansione.

Il manufatto di restituzione è composto da due paratoie a singolo scudo, una per "sottobacino", poste ai lati di quella centrale precedentemente descritta. Ogni paratoia, con dimensione 1.2x1.2 m, è progettata per garantire il rapido vuotamento dell'area allagata, dopo un evento di piena che ha occupato il bacino, per permettere la fruizione dello stesso in caso di arrivo di eventi di piena successivi.

A completamento si ha uno sfioratore superficiale a parete sottile, che è previsto entri in funzione in caso si verifichi un nuovo evento di piena a bacino già occupato, evitando così tracimazioni incontrollate dal bacino alla campagna circostante.

In fine, lungo il perimetro del bacino è previsto un argine di contenimento, con altezza massima dal piano campagna di 1.70 m circa, in cui è incluso un franco di sicurezza pari a 0.50 m.

Configurato il bacino come appena esposto, il volume potenzialmente invasabile è variabile tra 66000 m³ e 83000 m³ a seconda che il franco di sicurezza venga mantenuto o annullato.

3.2. Bacino di laminazione presso l'abitato di San Fior di Sopra

Il secondo intervento prevede la realizzazione di un bacino di laminazione, in linea, realizzato a nord dell'abitato di San Fior di Sopra, in via Serravalle, dove il torrente Codolo, dopo aver attraversata la campagna a sud dell'abitato di Colle Umberto, si estende parallelamente a Via Serravalle e percorre il centro urbano dello stesso comune.

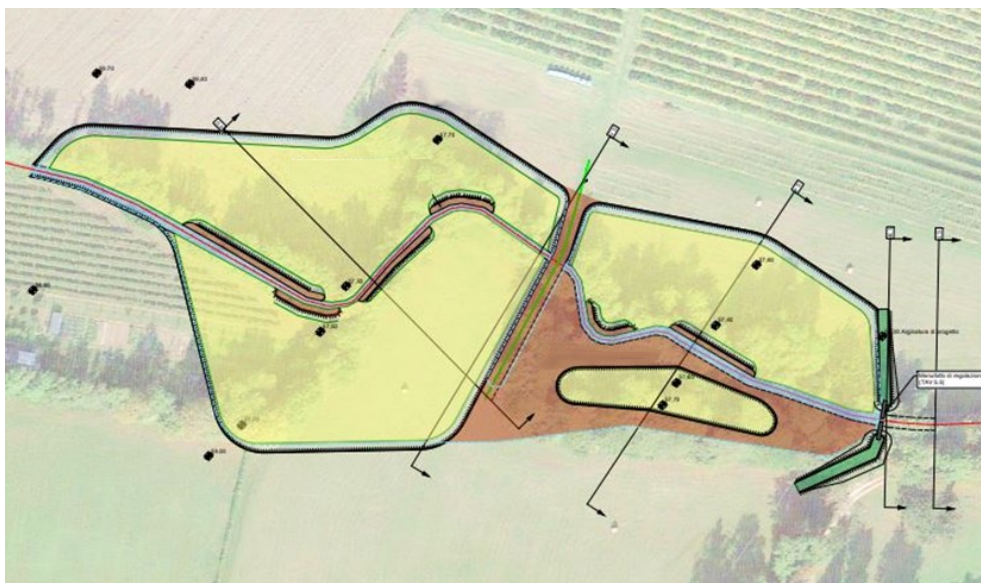


Figura 7: Bacino di San Fior di Sopra

Il bacino di laminazione, con superficie pari a 15600 m² circa, che consente l'invaso di 13500 m³ d'acqua, è stato realizzato tramite un intervento di rimodellamento del piano campagna di pertinenza del corso d'acqua, in un'area agricola già oggetto di frequenti allagamenti (Capitolo 2.2), a causa delle proprie caratteristiche morfologiche e posizionali (prossimità della confluenza tra Affluente 1 e Codolo).

Grazie alle caratteristiche dell'area ed in particolare alle elevate pendenze del piano campagna, in allontanamento dall'alveo, non si sono previsti argini di contenimento, col volume naturalmente mantenuto nell'area designata dalla sua stessa morfologia.

Per aumentare il volume invasabile, si è prevista un'escavazione dell'area in prossimità del Torrente Codolo, con approfondimenti di circa 1.00m.

Il controllo dei volumi invasati è ottenuto attraverso un manufatto di regolazione posto a valle dell'area, configurato come una traversa dotata di apertura centrale, di larghezza pari a 1,00 m, non provvista di paratoia. Detta traversa è dimensionata per consentire il normale deflusso delle portate a valle del bacino e per determinare, solo in caso di eventi di piena, il rigurgito verso monte e quindi l'occupazione del bacino.

A completamento è presente uno sfioratore superficiale che, superata la quota massima d'invaso, prevista a 58.50 m s.m.m., permette la tracimazione del volume, vuotando parzialmente il bacino ed evitando quindi che si realizzino eccessivi innalzamenti della quota del volume invasato oltre le quote di piano campagna.

3.3. Bacino di laminazione lungo l'affluente Codolo 2

Il terzo bacino previsto, a completamento, ha configurazione simile al precedente.

Collocato tra Via Stortan e Via Cal del Vallon, in un'area particolarmente boschiva, il bacino d'espansione si configura come elemento in linea al corso d'acqua.

Il volume da dedicare all'invaso è, anche in questo caso, definito dalla conformazione del territorio, che presenta, ai lati del Torrente Codolo, particolarmente incassato rispetto al piano campagna, notevoli pendenze, che fungono da argini naturali.

Questo è osservabile anche in Figura 8, in cui l'area potenzialmente allagata/allagabile è identificata dalle curve di livello della campagna circostante al Torrente Codolo.

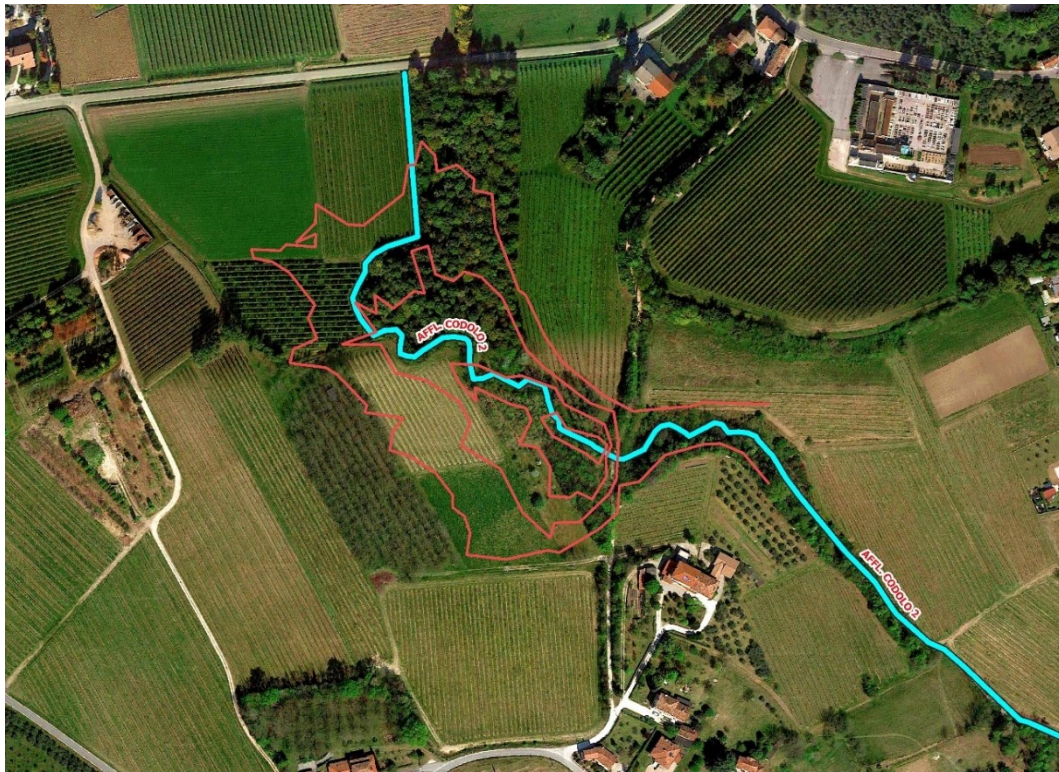
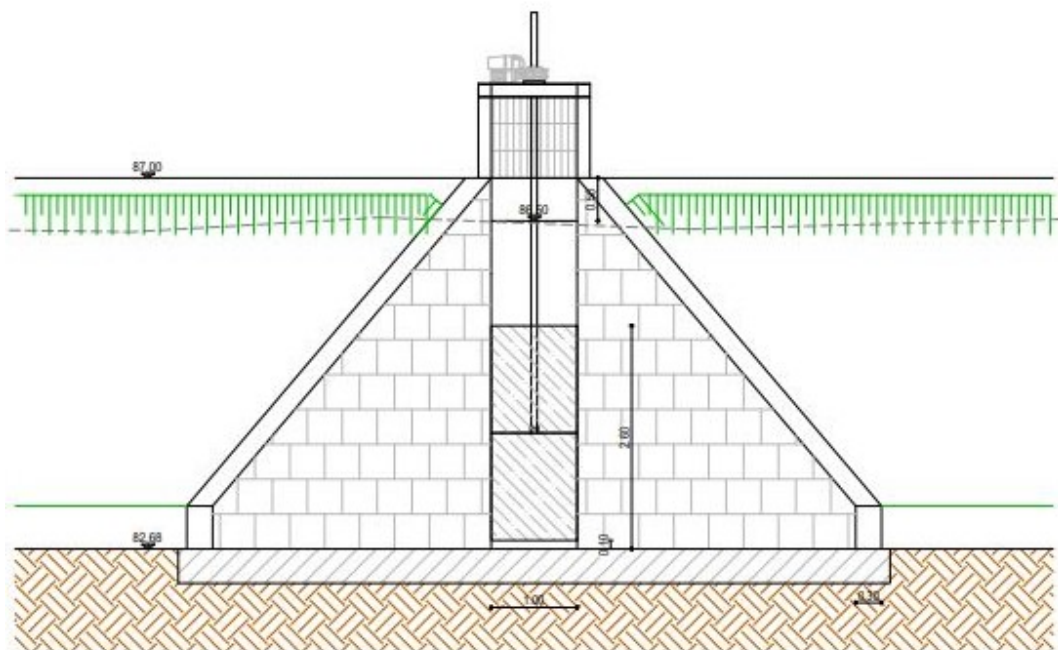


Figura 8: Area dedicata alla laminazione

L'opera di presa, coincidente con quella di restituzione, è identificata con l'opera di sbarramento realizzata presso il ponte carrabile localizzato in Via Cal del Vallon, anch'esso oggetto di rifacimento all'interno del presente progetto.



*Figura 9: Dettaglio opera di presa e ponte.
Vista frontale.*

In particolare, è prevista la realizzazione di una paratoia, mobile ed azionabile manualmente, con apertura al fondo che, in condizioni di normale operatività, è impostata pari a 10.00 cm. In sommità è previsto uno sfioratore superficiale, a garanzia che non si realizzino, nell'area identificata per la laminazione, tiranti eccessivi, non compatibili con la quota campagna circostante.



*Figura 10: Torrente Codolo in prossimità di Via Cal del Vallon.
Vista dall'alveo verso monte.*

Per sfruttare a pieno la conformazione particolarmente incassata del Torrente Codolo a valle di via Cal del Vallon, visibile in Figura 10, è stata prevista, a valle del ponte, la realizzazione di una briglia che permetta un secondo, ridotto, effetto di laminazione dell'onda di piena, portando la portata ad occupare lo spazio naturalmente disponibile in alveo.

3.4. Interventi minori

A completamento dei precedenti, sono previsti alcuni interventi minori.

Il primo di questi riguarda il ponte esistente lungo via XXX Ottobre.

Nell'attuale situazione, l'impalcato del ponte è costituito da travi e spalle in c.a.. A questi sono stati aggiunti, in un secondo momento rispetto alla realizzazione, due muretti perimetrali, sviluppati lungo il bordo dell'impalcato, necessari a contenere le onde di piena del Codolo.

Con il ponte così configurato, il franco netto tra sotto trave del ponte e pelo libero dell'acqua, in condizioni di normale deflusso, è inferiore al metro e mezzo.

Questo, congiuntamente con la riduzione di sezione che si presenta in alveo proprio a causa della presenza del ponte, ha generato fenomeni di rigurgito sempre più frequenti nel tempo, causando esondazioni a monte dello stesso.

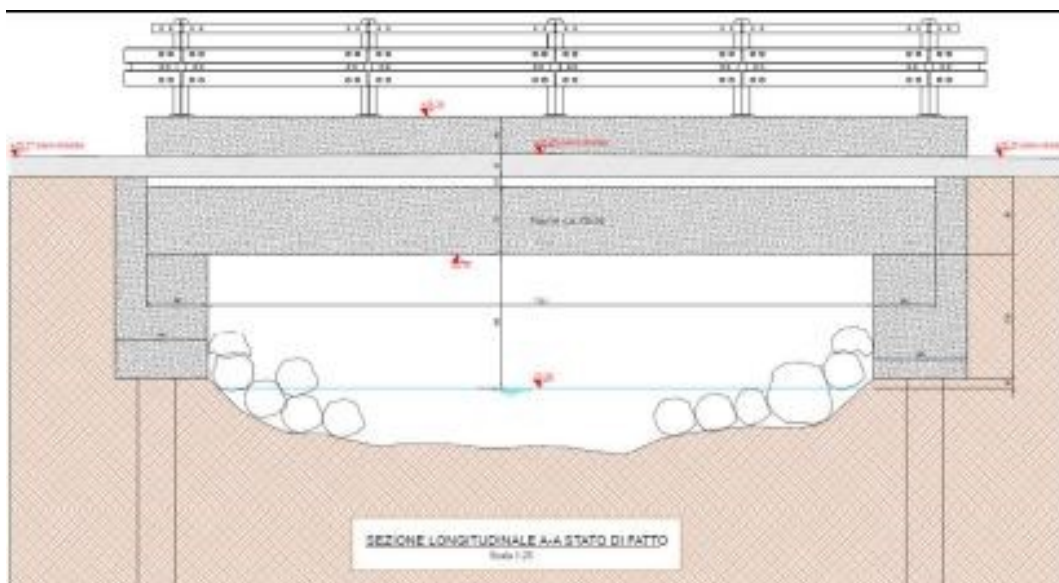


Figura 11: Ponte via XXX Ottobre. STATO DI FATTO. (Fonte: "Relazione Generale e Illustrativa - sistemazione idraulica canale Codolo")

A valle del ponte, a una distanza di circa 1.80 mt, è presente anche una passerella in acciaio e cemento armato, larga circa 2.50 mt, che serve a dare continuità alla pista ciclopedonale. Anch'essa presenta quota impalcato meno di due metri superiore al pelo libero del corso d'acqua.



Figura 12: Ponte in via XXX Ottobre, stato di fatto.

L'intervento di progetto prevede il rifacimento del ponte, realizzando una nuova opera con franco sottoponte pari a 2.30 m, quasi un metro superiore a quello esistente. Il franco sottoponte viene incrementato in parte riducendo lo spessore dell'impalcato, in parte alzando il piano viario. Come conseguenza, la sezione idraulica in corrispondenza del ponte acquisisce sezione più che doppia rispetto a quella dello stato di fatto. Analogamente, la passerella ciclopedonale esistente verrà sostituita con pari elemento già integrato nel ponte di nuova realizzazione.

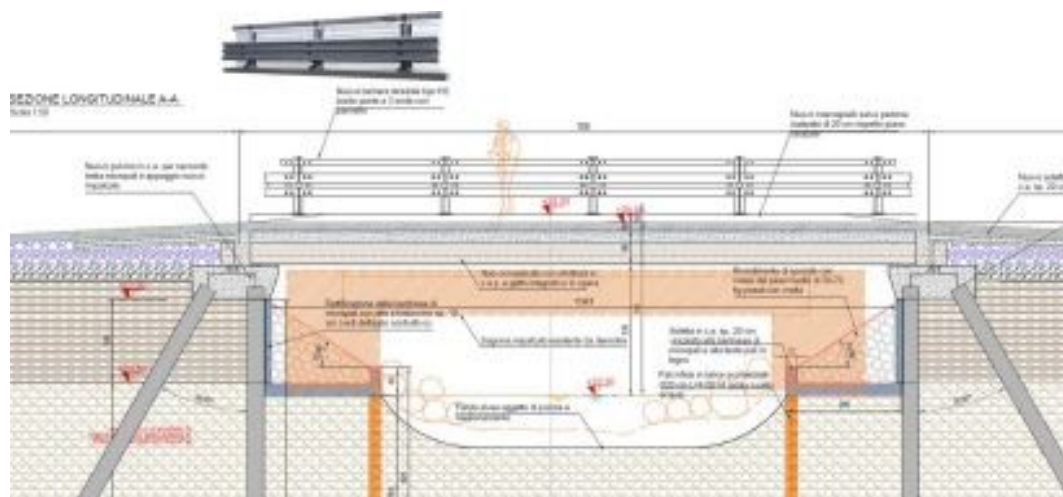


Figura 13: Ponte via XXX Ottobre. STATO DI PROGETTO. (Fonte: "Relazione Generale e Illustrativa - sistemazione idraulica canale Codolo").



Figura 14: Ponte via XXX Ottobre al termine dell'intervento. (Fonte: Anbi Veneto)

Secondariamente, è prevista la rimozione dall'alveo di elementi ostacolanti il deflusso. Il primo elemento rimosso è il sostegno irriguo, posto 600 m a valle del ponte di via XXX Ottobre, non più utilizzato per le attività agricole della zona.

Di questo, visibile in Figura 15, sono in progetto la rimozione delle pile centrali e dell'impalcato, che si può ritenere siano la causa principale di riduzione di sezione e deflusso.



Figura 15: Sostegno irriguo a valle di via XXX Ottobre. (Fonte: "Relazione Generale e Illustrativa - sistemazione idraulica canale Codolo").

A questo segue, oltre al rifacimento di alcuni tratti tombinati aventi sezione inferiore a quella ritenuta necessaria, anche la rimozione dei manufatti, a monte e valle, della confluenza tra Codolo e Scolo Codoletto.

In fine, l'ultimo intervento, realizzato principalmente lungo l'asta dell'Affluente Codolo 2, prevede il risezionamento dell'alveo, dove questo non sia occupato da strutture e tombinamenti, con parziale riduzione delle pendenze dello stesso grazie all'introduzione di salti di fondo.

4. Verifica idraulica

Come ripetutamente espresso, l'obiettivo del presente elaborato è quello di verificare, e dove possibile quantificare, il miglioramento delle condizioni di deflusso del Torrente Codolo in seguito alla realizzazione degli interventi precedentemente esposti.

A questo è possibile affiancare l'osservazione del funzionamento dei tre bacini a progetto.

La verifica idraulica è svolta attraverso la simulazione del comportamento del sistema sotto precise condizioni operative, estensivamente descritte nei capitoli che seguono.

Il modello utilizzato, *2DEF* (Defina et al., 1994, D'Alpaos & Defina, 2007, Viero et al 2014), è un modello accoppiato idrodinamico-idrologico uni-bidimensionale, agli elementi finiti, che permette di risolvere, nel tempo e nello spazio, le equazioni idrauliche che descrivono il fenomeno della propagazione delle onde lunghe in acque basse.

È possibile analizzare i risultati ottenuti dalle simulazioni osservando le variabili idrauliche tipiche del fenomeno: portate, tiranti e velocità. Grazie alla modellazione 2D, è inoltre possibile valutare l'estensione delle eventuali aree allagate in seguito all'esondazione del Torrente dal proprio alveo.

4.1. Il modello idrodinamico utilizzato

2DEF è un modello accoppiato idrodinamico-idrologico, 1D-2D, che risolve le equazioni di De Saint Venant, che descrivono la propagazione delle onde lunghe in acque basse, nell'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni e distribuzione uniforme della velocità sulla verticale, nonché fondo inerosibile.

Le equazioni sono risolte applicando uno schema agli elementi finiti, discretizzando il dominio di calcolo attraverso una griglia di elementi triangolari 2D, con lato di dimensione definita dall'utente, eventualmente combinati con elementi 1D.

L'affiancamento, in un unico dominio, di elementi mono e bi-dimensionali permette di ottenere, contemporaneamente, i vantaggi derivanti dall'utilizzo di entrambi i modelli singolarmente, nonché di avere una più ampia possibilità di scelta nella schematizzazione del sistema.

In particolare, modelli - ed elementi - monodimensionali sono caratterizzati da elevata semplicità e schematicità, andando di fatto a far coincidere il dominio con l'alveo del corso d'acqua o sue porzioni. L'utilizzo di questi elementi è ottimale per rappresentare corsi d'acqua con sezione compatta e/o per la descrizione della rete idrografica secondaria, che:

- svolge ruolo fondamentale nel drenaggio del territorio di pertinenza alla rete principale;
- costituisce una via preferenziale di deflusso in caso di esondazione del corso d'acqua.

Contrariamente, i modelli bidimensionali permettono di simulare, con maggior precisione, il comportamento di alvei di dimensioni notevoli, in cui sia anche non nota a priori la direzione della corrente, nonché di rappresentare eventuali fenomeni di esondazione in termini di estensione delle zone allagate e di permanenza dei tiranti idraulici sul piano campagna. Tutto questo a discapito di un maggior onere computazionale e complessità del modello stesso.

Risulta quindi evidente come accoppiare alle entità 2D quelle 1D permetta di rappresentare il sistema senza trascurare alcun elemento della rete, facendo sì che non si ignorino i meccanismi di deflusso sopra esposti, mantenendo un adeguato livello di precisione nella rappresentazione ed aumentando l'affidabilità dei risultati. Allo stesso tempo, si ottengono oneri computazionali inferiori (e potenzialmente minori cause di instabilità del modello) rispetto ad un puro modello 2D in cui ogni elemento del sistema sia stato rappresentato bidimensionalmente: elementi di piccole dimensioni, come quelli che costituiscono la rete secondaria, richiedono un gran numero di maglie con lato ridotto.

Secondariamente, nella composizione di un modello, al modello idrodinamico viene accoppiato un modello idrologico, sviluppato però separatamente. Infatti, generalmente, nell'analisi e/o progettazione di reti naturali e/o artificiali per la gestione delle precipitazioni, la rete è suddivisa in segmenti. Le condizioni al contorno in ingresso imposte al sistema sono costituite da idrogrammi, generalmente calcolati attraverso un modello afflussi-deflussi, relativi ai singoli sottobacini identificati per il corso d'acqua. Ogni idrogramma è poi attribuito ad uno o più punti della rete contenuta nel sottobacino a cui fa riferimento.

Questo tipo di approccio, sebbene sia il più diffuso sia nello studio di pericolosità idraulica, che nella progettazione delle reti di scolo, presenta alcuni limiti nell'applicazione a bacini di pianura:

- incertezza nella definizione, in termini di numero, estensione e caratteristiche altimetriche, dei sottobacini afferenti al corso d'acqua considerato;
- incertezza nella scelta del punto della rete in cui inserire l'idrogramma per ogni segmento di rete (in testa alla rete piuttosto che distribuito in più punti della stessa);
- difficoltà di predire – e quindi rappresentare - gli effetti dell'interazione tra bacino, rete principale e secondaria nella formazione e propagazione delle piene;
- incapacità di identificare aree allagate per particolare morfologia del terreno, assenza di rete drenante secondaria o, anche in presenza della stessa, per sua inefficienza.

Questo problema è stato estensivamente analizzato ed ha portato gli sviluppatori di *2DEF* a bypassare queste fonti di incertezza accoppiando, direttamente, al modello idrodinamico bidimensionale un modello idrologico. Quindi, non è più necessario il calcolo degli idrogrammi

di piena, poiché risulta sufficiente conoscere le precipitazioni che li generano, applicate all'intero bacino idrografico del corso d'acqua in analisi.

Gli obiettivi perseguiti dal modello accoppiato sono la corretta descrizione dei flussi che si realizzano nella rete di drenaggio secondaria, per un affidabile calcolo dei volumi che arrivano alla rete principale, ed il raggiungimento di un livello di dettaglio tale da consentire una modellazione del sistema che sia contemporaneamente realistica ed affidabile, pur rimanendo agevole nell'applicazione.

4.1.1. Le equazioni del moto

Nella soluzione puramente idrodinamica, il modello utilizzato risolve le equazioni di De Saint Venant, che descrivono la propagazione delle onde lunghe in acque basse, nell'ipotesi di:

- distribuzione idrostatica delle pressioni;
- distribuzione uniforme della velocità sulla verticale;
- fondo fisso.

Il sistema risolutore di partenza è composto quindi da due equazioni di conservazione della quantità di moto, nelle due direzioni ortogonali x e y, ed una per la continuità:

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{q_x |\vec{q}|}{K_s^2 H^{\frac{10}{3}}} - \frac{\tau_{wx}}{\gamma Y} - Re_x - \frac{fv}{g} = 0 \\ \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{q_y |\vec{q}|}{K_s^2 H^{\frac{10}{3}}} - \frac{\tau_{wy}}{\gamma Y} - Re_y - \frac{fu}{g} = 0 \\ \eta \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Dove:

- h: livello idrometrico;
- H: profondità d'acqua equivalente;
- \vec{u} (u,v): velocità media;
- q (q_x, q_y): portata specifica, ottenuta integrando sulla verticale la velocità media;
- Y: volume d'acqua per unità di superficie;
- K_s : coefficiente di scabrezza di Strickler;
- Re: termini di Reynolds nelle due direzioni;
- f: parametro di Coriolis;
- η : frazione di area bagnata per unità di superficie.

In fine, $\tau_w = (\tau_{wx}; \tau_{wy})$ è lo sforzo prodotto dall'azione del vento sulla superficie libera, espresso come

$$\tau_w = \rho_a c_d U_w^2 \quad (2)$$

in cui U_w è la velocità del vento e c_d il coefficiente di drag.

Per la risoluzione dell'aspetto idrologico, viene introdotta un'area rappresentativa elementare (REA), con dimensione compatibile con quella dell'elemento di calcolo, rispetto a cui viene modellato il flusso d'acqua, che sarà quindi riferito alla sottogriglia.

Per ogni REA, si considera lo strato superficiale del terreno, con spessore variabile, per simulare i principali processi idrologici, quali infiltrazione e ritenzione delle precipitazioni, seguiti da saturazione, percolazione e runoff, attivato da meccanismo di Dunne.

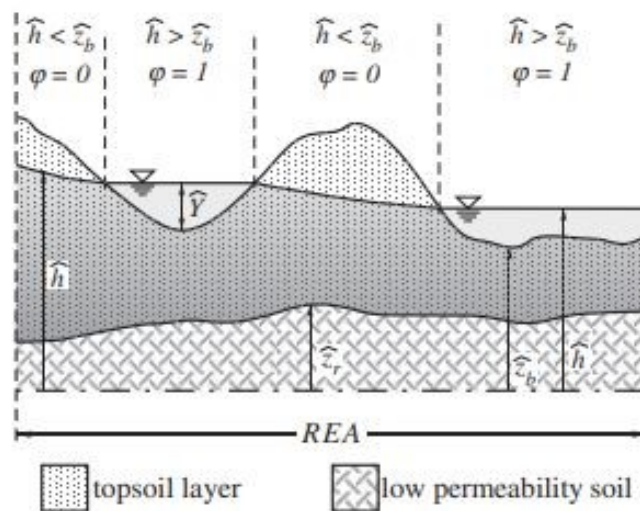


Figura 16: Esempio REA (Fonte: *Integrated mathematical modeling of hydrological and hydrodynamic response to rainfall events in rural lowland catchments*).

Il modello, inoltre, presuppone la coesistenza di flusso superficiale e sotterraneo, in cui η rappresenta la frazione di superficie bagnata in cui si ha flusso superficiale, mentre il suo complementare rappresenta la frazione d'area in cui si ha flusso sub-superficiale. È quindi possibile identificare aree bagnate all'interno di zone pressoché totalmente asciutte.

Pertanto, le equazioni descrittive del bilancio di massa, all'interno di ogni REA, per i due tipi di flusso diventano:

$$\frac{\partial w_s}{\partial t} + \nabla * q_s + \varphi(s - r) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial w_f}{\partial t} + \nabla * q_f + (1 - \varphi)r - \varphi s + f = 0 \quad (4)$$

Dove:

- t : tempo
- w_s : volume d'acqua, per unità di superficie, stagnante sulla stessa
- w_f : volume d'acqua, per unità di superficie, stoccato nello strato superficiale
- q_s : vettore bidimensionale che rappresenta la portata superficiale per unità di superficie
- q_f : vettore bidimensionale che rappresenta la portata sub-superficiale per unità di superficie
- r : tasso di precipitazione
- s : tasso d'infiltrazione dalla superficie al primo strato di terreno
- f : tasso di percolazione verticale, stimabile con un modello d'infiltrazione
- φ definita come $\varphi = 1$ se $h > z_b$, $\varphi = 0$ altrimenti
- h : elevazione dell'acqua, positiva o negativa rispetto alla superficie
- z_b : superficie del terreno.

Le equazioni, combinate, portano a:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \nabla * q - r + f = 0 \quad (5)$$

Il volume d'acqua per unità di superficie stoccato in un certo istante è

$$w = \varphi + \varphi n_e (h - z_b)(z_b - z_r) + (1 - \varphi) n_e (h - z_r) \quad (6)$$

Dove:

- n_e : porosità
- z_r : quota inferiore dello strato superficiale di terreno

entrambe costanti nel REA.

4.2.Schematizzazione del sistema

Come introdotto ai paragrafi precedenti, 2DEF permette la rappresentazione di un dominio attraverso elementi mono e bi-dimensionali.

Elementi monodimensionali

Gli elementi monodimensionali permettono di descrivere un intero corso d'acqua, o sue porzioni, con ridotti oneri computazionali, nonché di rappresentare, in un dominio

bidimensionale, tutta una serie di elementi, quali sfioratori, argini e paratoie, normalmente presenti in un reticolo idraulico e difficilmente rappresentabili in 2D.

Di seguito vengono introdotti solamente gli elementi utilizzati per la modellazione dello specifico corso d'acqua considerato nel presente elaborato.

I *canali* permettono la rappresentazione dell'alveo del corso d'acqua e sono particolarmente adatti alla schematizzazione della rete idrica minore. Essi possono anche rappresentare corsi d'acqua principali, purché la sezione di questi ultimi sia compatta e sia nota a priori la direzione della corrente. Non sono quindi adatti alla rappresentazione di superfici allagabili e golene.

I canali vengono rappresentati nel modello come tronchi rettilinei, la cui lunghezza è definita dall'utente, e possono avere sezione di diverso tipo: rettangolare, trapezia, circolare o per punti. Possono inoltre essere rappresentate sezioni chiuse, simmetriche, con eventuale funzionamento in pressione.

Il modello tratta le sezioni chiuse come se, in corrispondenza del cielo, presentassero una stretta fessura, di larghezza definita dall'utente. Fintanto che il livello nel canale si mantiene inferiore a quello del cielo della sezione non si hanno differenze nella risoluzione del sistema rispetto a quanto esposto in precedenza, relativo al moto a pelo libero. Invece, una volta raggiunto tale limite, inizia ad essere considerata l'apertura: il livello d'acqua nella fessura coincide con la quota piezometrica lungo il canale che, di fatto, grazie alla presenza dell'apertura, non lavora mai propriamente in pressione. Questo permette di alleggerire il modello da eventuali problemi, computazionali e di stabilità, legati alla risoluzione del moto in pressione. Quanto esposto è graficamente rappresentato in Figura 17.

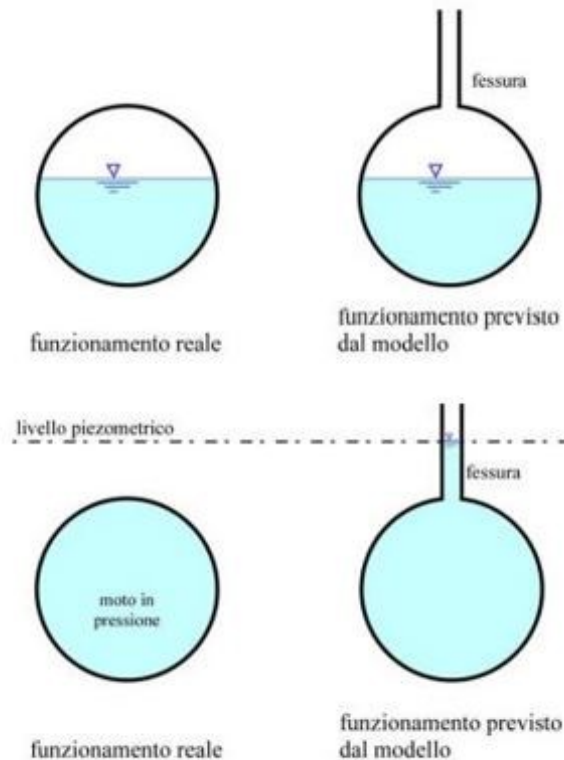


Figura 17: Esempio funzionamento canale in pressione. (Fonte: Modello 2DEF)

Per rappresentare, invece, gli elementi a completamento della rete idrografica, diversi dall'alveo del corso d'acqua, si introducono i *tronchi speciali*. Questi rappresentano elementi di controllo presenti nella rete (paratoie, sfioratori), nonché tutti gli elementi morfologici vincolanti per il deflusso (rilevati e argini).

Nel modello realizzato sono presenti tronchi:

- traversa/argine/salto di fondo: permette di rappresentare monodimensionalmente un elemento traversa, determinando i tiranti idrici a monte e valle dello stesso e definendo di conseguenza la portata di tracimazione; anche gli argini sono rappresentati come soglie sfioranti, permettendo di simulare un'eventuale tracimazione degli stessi. Come visibile in Figura 18, si può avere portata di tracimazione nulla, efflusso libero o rigurgitato.

Sfruttando questo elemento è anche possibile simulare la presenza di brecce e cedimenti del corpo arginale.

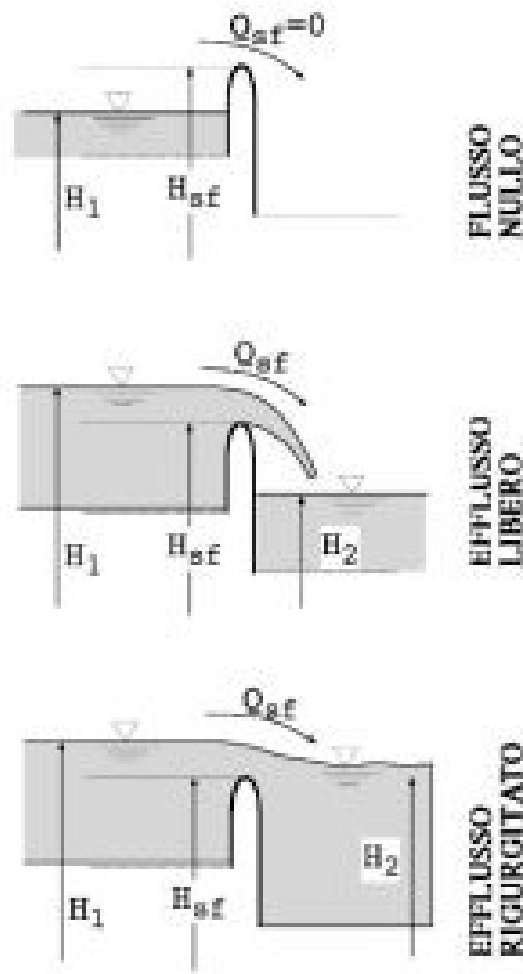


Figura 18: Esempio funzionamento argine (Fonte: Incidenza).

Le grandezze necessarie alla rappresentazione di questo elemento sono:

- Coefficiente di portata C_q ;
- Larghezza dello sfioratore $B(m)$;
- Quota (m).

- paratoia: permette di schematizzare la presenza, nella rete, di luci sottobattenti, con o senza paratoia, con efflusso libero o rigurgitato.

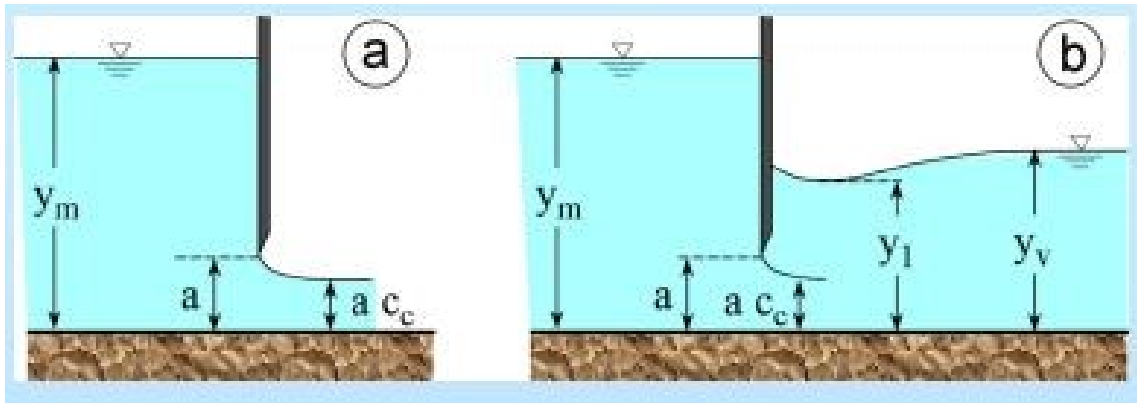


Figura 19: Paratoia sollevata a battente. (Fonte: Modello 2DEF.)

Le grandezze necessarie per la descrizione di questo elemento sono:

- Massima apertura;
- Larghezza della sezione (considerata rettangolare);
- Coefficiente di contrazione C_q ;
- Quota fondo;
- Livello da sostenere (eventualmente nullo);
- Tipo di funzionamento.

Per quanto riguarda l'ultima caratteristica, il modello è in grado di simulare paratoie con:

- Apertura fissa;
- Apertura tale da far fluire sempre una massima portata, costante ed assegnata;
- Apertura tale da mantenere a monte una quota del pelo libero assegnata.

Elementi bidimensionali

Come già anticipato, gli elementi bidimensionali sono caratterizzati da elementi triangolari piani, con lato di dimensione imposta dall'utente. Questo deve avere estensione adeguatamente definita, tenendo in considerazione le problematiche esposte al paragrafo precedente, nonché le caratteristiche del dominio da rappresentare ed il grado di precisione ricercato per la simulazione.

Per ogni maglia è necessario assegnare quota media del fondo, parametro a_r , generalmente imposto pari a 0.3, e coefficiente di Strickler. Nel seguito (paragrafo 4.2.1) verranno esposti i metodi utilizzati per la determinazione dei parametri richiesti.

I due diversi tipi di elementi, 1D o 2D, qui descritti possono coesistere all'interno dello stesso dominio grazie alla presenza di *nodi*. Questi rappresentano i vertici delle maglie triangolari, nonché gli estremi di canali e tronchi speciali.

Ne deriva quindi che è possibile inserire gli elementi 1D in corrispondenza dei nodi delle maglie, collegando nodi della stessa maglia/di maglie vicine, così da definire un sistema di elemento 1D e area circostante.

Condizioni iniziali ed al contorno

L'ultimo step per la simulazione del sistema è l'imposizione di condizioni iniziali ed al contorno.

Le prime descrivono il dominio nel suo stato appena antecedente all'inizio dell'evento che si vuole simulare, sia in termini di imbibizione del terreno – e quindi saturazione e capacità di filtrazione – che di portata transitante nella rete di canali o di volume accumulato nelle aree di laminazione, tutti elementi che possono avere grande influenza sulla risposta del bacino ad una precipitazione.

Le seconde contengono le informazioni necessarie alla soluzione dell'idrodinamica del sistema. Generalmente, per un problema idrodinamico sono richieste condizioni al contorno di monte e di valle.

Le condizioni al contorno di monte, usualmente inserite sotto forma di idrogrammi, come nel caso del modello proposto in *Relazione Idraulica*, non sono necessarie per il funzionamento di *2DEF* che, grazie all'abbinamento di modello idrologico e idrodinamico, è in grado di definire in autonomia le portate in arrivo in ogni punto del dominio sulla base dei dati di pioggia inseriti. Le condizioni al contorno di valle, invece, sono normalmente definite come livello costante o scala delle portate. Mentre il primo è d'immediata definizione, la seconda può essere definita con diversi metodi, che richiedono diversi livelli di conoscenza del corso d'acqua e del suo dominio e, conseguentemente, garantiscono diversi livelli di affidabilità. In particolare, è possibile determinare la scala delle portate in una sezione sulla base:

- della legge idraulica di un manufatto di controllo presente nella rete (es. traversa o paratoia);
- di misure periodiche e contemporanee di h e Q , opportunamente interpolate;
- dei valori di h e Q ottenuti da un modello numerico in cui la sezione di interesse sia interna al dominio.

Eventualmente è anche possibile definire una scala delle portate a moto uniforme, avendo nota la pendenza media del tratto di fiume nella sezione in corrispondenza della quale si vuole definire la scala delle portate.

Nel modello qui descritto sono state imposte diverse condizioni al contorno di valle, esposte al paragrafo seguente.

4.2.1. La schematizzazione del sistema del Torrente Codolo

Vengono nel seguito esposte le modalità con cui si è ritenuto di schematizzare il sistema, le cui caratteristiche reali sono state esposte ai capitoli precedenti.

Il dominio

Innanzitutto, per lo studio della propagazione della piena, è necessario definire il perimetro esterno di calcolo, all'interno del quale sono contenute tutte le aree di interesse per lo studio.

Avendo scelto di utilizzare, per la simulazione, il modello accoppiato idrologico-idrodinamico, è necessario considerare, come dominio, l'intero bacino idrologico del Torrente Codolo, che concorre alla generazione delle portate fluenti nello stesso

Il dominio di calcolo scelto ha superficie pari a 49.0 km² e coinvolge i comuni di Vittorio Veneto, Colle Umberto, San Fior, San Vendemiano, Codognè e Fontanelle.

Esso si estende, da Nord a Sud, da Via Antonio Canova, che diventa poi Via Ippolito Nievo, a Vittorio Veneto, fino a Via Chiesa in comune di Fontanelle (TV), dove confluisce nel Fiume Monticano.

Ad Ovest ed Est i limiti del dominio hanno direzione pressochè costante; a N-O il contorno del dominio corrisponde con la Strada Statale 51 di Alemagna a Vittorio Veneto, per poi proseguire verso S-O in Via Roma a San Vendemiano. Ugualmente, a N-E il perimetro è definito da Via San Daniele, seguita da Via Palù, a San Fior.

In fine, i due limiti laterali si incontrano a Sud, dove il Torrente Codolo si congiunge con il Fiume Monticano, nei pressi di Via Chiesa a Codognè.

Come si può osservare in Figura 20, nel dominio sono compresi i bacini del Torrente Fossadella e del Torrente Fossalta, due principali affluenti del Torrente Codolo, già parzialmente descritti al Capitolo 2.

Il primo raccoglie gli apporti meteorici di pertinenza dell'area più a Nord del dominio, per poi immetterli nel T. Codolo a Sud della A28 Portogruaro-Conegliano, mentre al secondo competono le portate corrispondenti alla parte S-O del dominio, fino alla sua confluenza a Sud di Via Alcide de Gasperi a San Vendemiano.

Per la rappresentazione del dominio di calcolo e il suo utilizzo nel modello, si è utilizzato un poligono, con lati/segmenti di dimensione minima pari a 120.0 m. Questo ha permesso, nella generazione della mesh, di poter considerare, almeno per le porzioni più esterne della stessa, maglie con lato di tale dimensione.

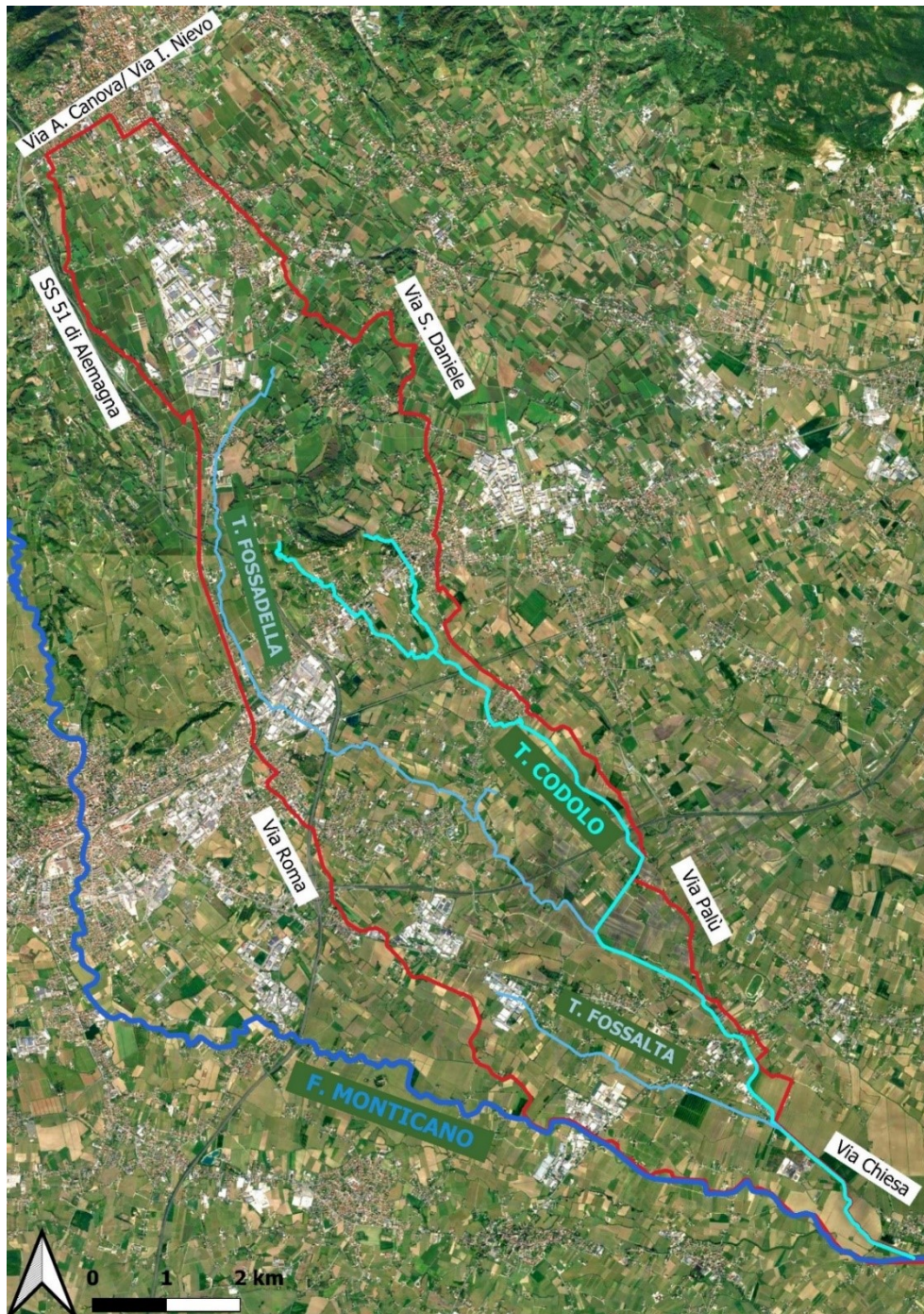


Figura 20: Dominio di calcolo.

Il grado di precisione nella rappresentazione

Definito il perimetro esterno, per poter rappresentare correttamente il dominio di calcolo è necessario considerare le caratteristiche morfologiche che lo contraddistinguono.

Riprendendo parzialmente quanto esposto al capitolo 4.1 relativamente alle fonti d'errore nella definizione del modello, è possibile osservare come, sebbene grazie all'introduzione dell'unico modello idraulico-idrologico sia stato possibile ridurre fortemente l'incertezza relativa al primo

dei punti esposti (incertezza nella definizione dei sottobacini e relativi idrogrammi), permanga, invece, il rischio d'errore dovuto alle altre tematiche esposte.

Come approfonditamente trattato anche nell'articolo *Hydrologic synthesis: Across processes, places, and scales* pubblicato su *Water Resources Research*, il vero punto focale di ogni modello sta nella sua capacità di rappresentare sistemi dinamici complessi che interagiscono mutuamente tra loro. Con particolare riferimento ai sistemi idraulici/idrologici, è noto come questi coinvolgano un ampio range di processi e scale, richiedendo al modellista una scelta nella metodologia di "sintesi" degli stessi, riuscendo, al contempo, a tenere in considerazione la variabilità dei sistemi, sia in termini di tempo e spazio, quanto delle caratteristiche naturali e sociali (relativamente alla loro influenza sul tessuto urbano) che caratterizzano i percorsi di deflusso dell'acqua.

A tal proposito, l'autore evidenzia come non in tutti i modelli possa ritenersi corretta la soluzione, in un primo momento apparentemente ottimale per questo problema, che prevede di costruire un modello dall'elevata complessità, in cui venga esplicitamente rappresentata l'eterogeneità - anche su piccola scala - della superficie e dei fenomeni che vi concorrono. Infatti, un'elevata complessità del modello potrebbe limitarne l'applicabilità, non rendendo, di fatto, possibile identificare quali meccanismi siano prevalenti nel sistema e quali parametri siano rappresentati correttamente o meno.

Secondariamente, per la definizione del modello qui realizzato, si è considerato anche quanto esposto in *Effects of minor drainage networks on flood hazard evaluation*. Nell'articolo si evidenzia come i processi di inondazione in pianura siano influenzati principalmente dalla presenza di ostacoli e costruzioni civili, come rilevati stradali, argini o muri, che devono necessariamente essere rappresentati nel modello. Allo stesso modo, anche un'estesa rete idraulica secondaria, composta non solo da canali, ma anche da opere di gestione e controllo delle acque, potrebbe influenzare il comportamento del sistema, definendo vie preferenziali di deflusso, che vanno a convogliare le portate in aree altrimenti non direttamente coinvolte dall'esondazione.

Questi elementi, che si potrebbero potenzialmente e parzialmente trascurare in analisi su larghissima scala, non possono essere ignorati in modelli in scala ridotta, come quelli che riguardano bacini idrografici di ridotta dimensione e fenomeni che coinvolgono l'area urbana. Questo criterio è stato applicato nella realizzazione del presente modello.

In fine, si considera che, fino ad ora, si è analizzata la presenza della rete idraulica secondaria sotto il punto di vista della creazione degli allagamenti, mentre questa ha ruolo fondamentale anche nella fase terminale dell'evento stesso. In particolare, proprio dalla presenza (o meno) e

dall'efficienza della rete secondaria di drenaggio può dipendere la durata di un fenomeno di alluvione, così come il tempo necessario allo smaltimento dell'acqua dalla superficie, una volta questo sia terminato. Nella realtà, questi due elementi sono particolarmente importanti, poiché definiscono il grado di danno arrecato a cose, persone e colture, nonché, indirettamente, il grado di pericolo dell'alluvione stesso.

I modelli studiati per la stesura degli articoli sopra citati permettono agli autori di giungere alla conclusione che, nello specifico caso di modelli sviluppati per lo studio di fenomeni di esondazione ed allagamento, non sia necessario un estremo grado di precisione nella rappresentazione della superficie, quanto sia necessario identificare correttamente gli elementi che ricoprono ruolo attivo nello sviluppo del fenomeno. Inoltre, è necessario essere ben consapevoli delle fonti d'incertezza che permeano la simulazione (a qualunque scala di dettaglio), così che queste possano essere tenute in considerazione nella valutazione dei risultati ottenuti.

Per raggiungere un appropriato equilibrio tra precisione, accuratezza e fluidità di calcolo, può quindi essere opportuno – e così sarà fatto nel seguito – identificare gli elementi che necessitano di esplicita rappresentazione, come i principali canali della rete secondaria, è quelli che è, invece, possibile tenere in considerazione non tanto nella loro individualità, quanto attraverso l'utilizzo di diversi parametri descrittivi della superficie, quali, ad esempio, il coefficiente di resistenza di Strickler.

Quanto espresso in questo paragrafo è stato posto alla base delle scelte applicate nel modello del Torrente Codolo per la schematizzazione della superficie interna al dominio, così come esposte nel seguito.

La mesh:

La mesh interna al dominio è stata definita sulla base delle varie informazioni disponibili.

Innanzitutto, seguendo quanto esposto in precedenza, sfruttando le informazioni disponibili da CTR, immagini satellitari ed altri strumenti a disposizione quali Google Maps e Street View, si sono identificate porzioni di terreno con particolari caratteristiche altimetriche quali, ad esempio, rilevati stradali e ferroviari, così come zone particolarmente scoscese o profonde rispetto al piano circostante.

Questi elementi sono stati ben delimitati rispetto a quanto circostante, così da poterli quotare con massima precisione. Infatti, riproponendo quanto detto in precedenza circa la caratterizzazione delle maglie ed in particolare il loro rappresentare una porzione piana di superficie, considerare contemporaneamente all'interno della stessa maglia porzioni

appartenenti, ad esempio, al piano campagna ed a un rilevato stradale, comporterebbe importanti errori nella quotatura della stessa, così come poi nella definizione delle vie di deflusso superficiale dell'acqua.



Figura 21: Esempio di definizione di elementi appartenenti alla rete di viabilità stradale principale (in rosa) rispetto al piano campagna circostante.

Secondariamente, si sono identificati gli elementi naturali appartenenti alla rete idrografica secondaria, descritti attraverso polilinee che permettano poi la rappresentazione degli stessi attraverso elementi 1D.

Tra questi, prima di tutto, si sono identificati i due principali affluenti del Torrente Codolo, visibili in Figura 20:

- Il Torrente Fossadella, che raccoglie gli apporti meteorici della porzione più a Nord del dominio, per poi farli confluire nel T. Codolo a Sud dell'autostrada A28 Portogruaro-Conegliano;
- Il Torrente Fossalta, a cui compete invece la porzione Sud-Ovest del bacino, fino alla sua confluenza nel Codolo presso Via Roma, a Codognè.

Non avendo a disposizione rilievi o particolari informazioni, questi due torrenti sono stati rappresentati come tronchi con sezione trapezia. Le dimensioni sono state definite misurando la base maggiore (larghezza della sezione in corrispondenza della superficie libera), da quanto rappresentato su Google Street View e considerando scarpate 3:2. Si è, in seguito, verificata la coerenza dei risultati ottenuti con quanto ricavabile dai dati LiDAR.

Successivamente, si sono considerati i principali canali a cielo aperto della rete secondaria, tra quelli di cui fosse almeno nota la configurazione planimetrica, come visibile in Figura 22. Anche questi sono stati schematizzati nel modello attraverso elementi monodimensionali a sezione trapezia. Anche in questo caso, la base maggiore è stata misurata su Google Street View e si sono considerate scarpate 3:2. In Figura 24 è possibile verificare quali canali della rete secondaria siano stati inseriti nel modello.



Figura 22: Canali della rete idraulica secondaria (in giallo); dominio di calcolo in rosso.

Pur essendo nota la disposizione planimetrica degli elementi principali della rete di acque bianche, che ha il compito di drenare le principali aree impermeabili nella zona a nord della SS13, non essendo note le caratteristiche altimetriche e di sezione della stessa, nonché non essendo disponibili informazioni relative all'eventuale presenza di rete bianca nelle altre aree urbane interne al dominio, si è scelto di non rappresentare esplicitamente la rete nel modello. Piuttosto, la sua presenza è stata concettualmente schematizzata all'interno dei parametri del modello descrittivi della superficie e del suo drenaggio.

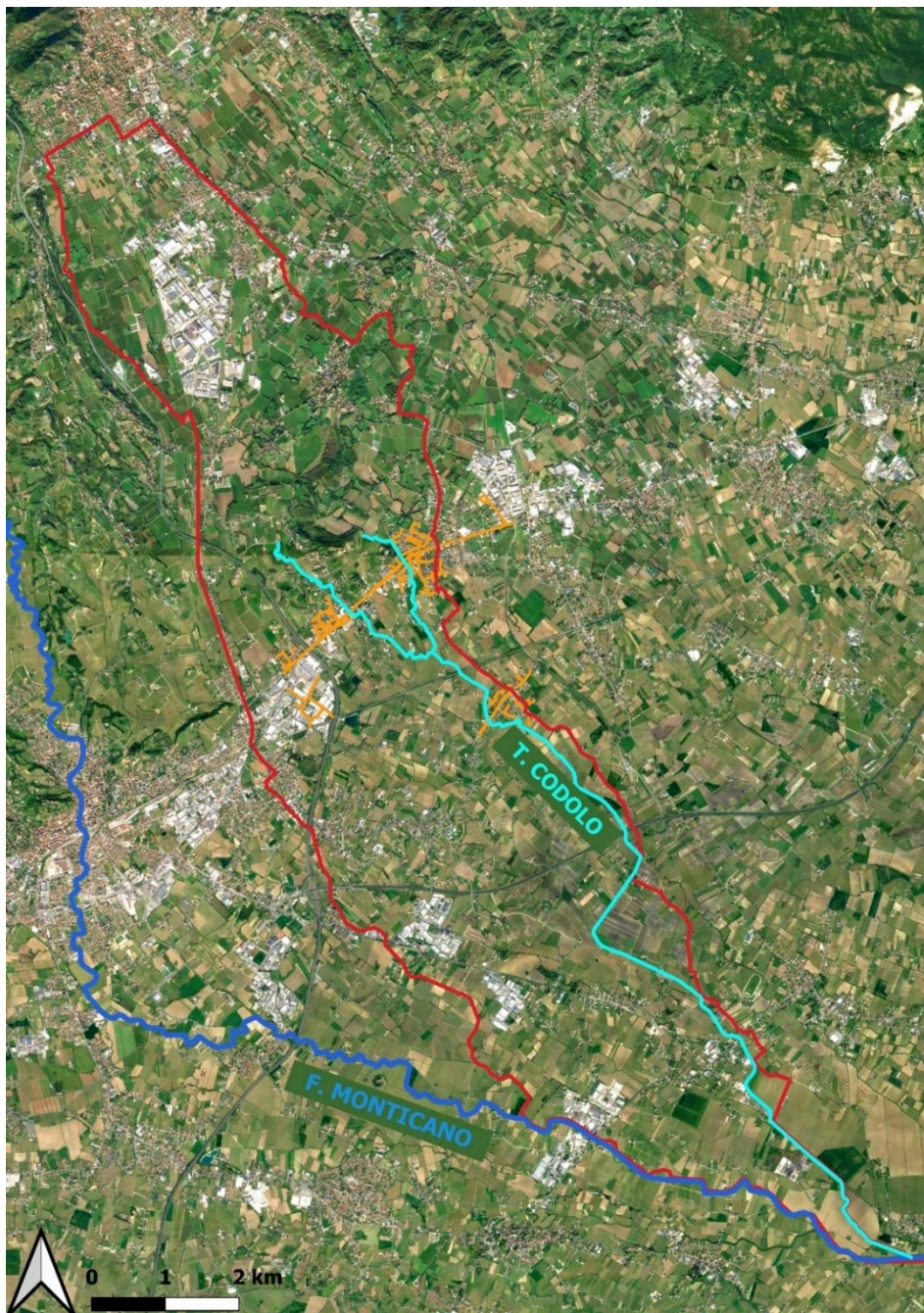


Figura 23: Rete delle acque bianche (in arancione) all'interno del dominio di calcolo (rosso).

Schematizzate le caratteristiche principali del sistema, si è infittita la rete di rappresentazione con linee che permettessero di identificare superfici con scabrezza diversa. Si sono quindi rappresentati, ad esempio, il perimetro delle aree industriali, quello delle zone abitate ad alta piuttosto che bassa densità, le strade che dividevano zone abitate da aree agricole.

Definita la geometria di massima del sistema, il piano campagna è stato rappresentato attraverso maglie triangolari di lato variabile. In particolare, si sono utilizzate maglie con lato pari a 20 m circa nelle zone più prossime all'alveo, per poi aumentare la dimensione fino ad arrivare ad avere, al perimetro del sistema, maglie con lato di 120.0 m. Nel far variare la dimensione delle maglie, si sono considerate le caratteristiche altimetriche e di scabrezza del terreno, mantenendo maglie di dimensione ridotta laddove fosse necessario un maggiore grado di precisione.

In fine, si sono considerate maglie con lato di 5.00 m all'interno dei bacini di laminazione, per avere una precisa rappresentazione del loro funzionamento.

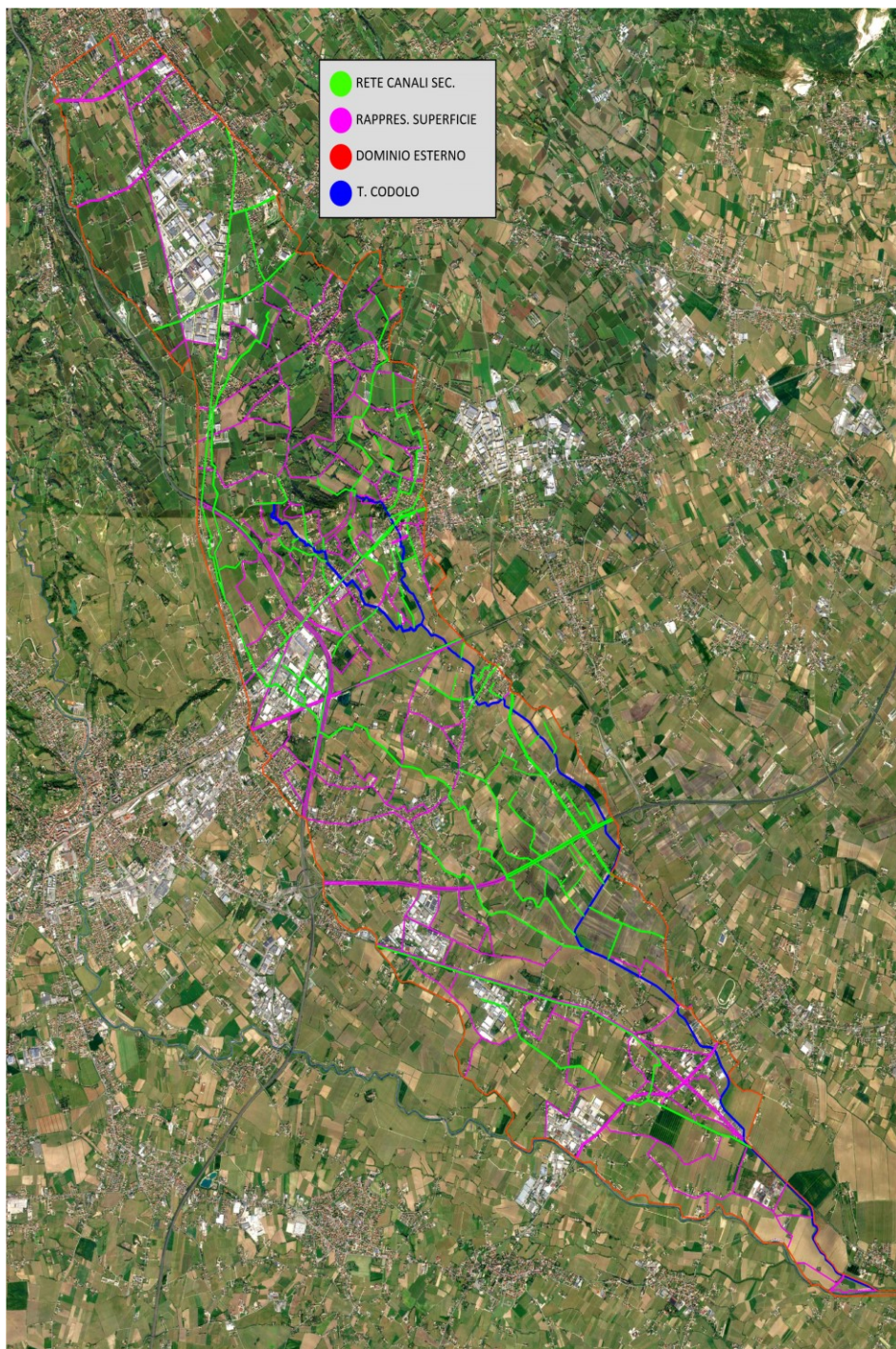


Figura 24: Esempio polilinee di separazione superfici (viola) e polilinee rappresentazione rete idraulica secondaria (verdi).

Seguendo un procedimento simile a quello appena esposto, è stato possibile tracciare l'alveo partendo dalle informazioni a disposizione, derivanti da CTR, immagini satellitari e rilievi topografici.

In questo caso, è stato essenziale rappresentare il tracciato seguito dal Torrente nel modo più fedele possibile, limitatamente alla necessità di definirlo attraverso tratti, rettilinei, di

dimensione sufficientemente grande da non richiedere la generazione di una mesh troppo fitta. Come anticipato, la dimensione scelta è stata pari a 20.0 m.

L'alveo è stato rappresentato seguendo il tracciato della mezzaria del corso d'acqua delle immagini aeree, lungo il quale sono poi stati posizionati gli elementi 1D canale.

Si è poi effettuato l'offset, da entrambi i lati, della traccia del T. Codolo, per una distanza circa pari alla larghezza del canale stesso. Questo permette di rappresentare adeguatamente la prima porzione di terreno di pertinenza del fiume, talvolta posta a quota leggermente più alta rispetto al resto del piano campagna e prima area influenzata da un eventuale superamento, anche ridotto, dei cigli del corso d'acqua.

La quotatura:

Affinché la rappresentazione del dominio sia il più possibile aderente alla condizione reale, le maglie sono state quotate sfruttando i dati altimetrici più affidabili tra quelli a disposizione, quindi dati LiDAR e da rilievo.

I primi sono stati forniti dalla Provincia di Treviso, settore Ambiente e Pianificazione Territoriale, e ricavati con un'avanzata tecnica di telerilevamento, che permette di acquisire un gran numero di dati relativi all'altimetria di una superficie, anche molto estesa, in poco tempo. Il LiDAR fornisce un cluster di punti di cui sia stata rilevata la quota, coerentemente elaborati al fine di ricavare informazioni sulla superficie quanto più ripulite possibile dalla presenza di edifici, alberi ed altre strutture potenzialmente rilevate.

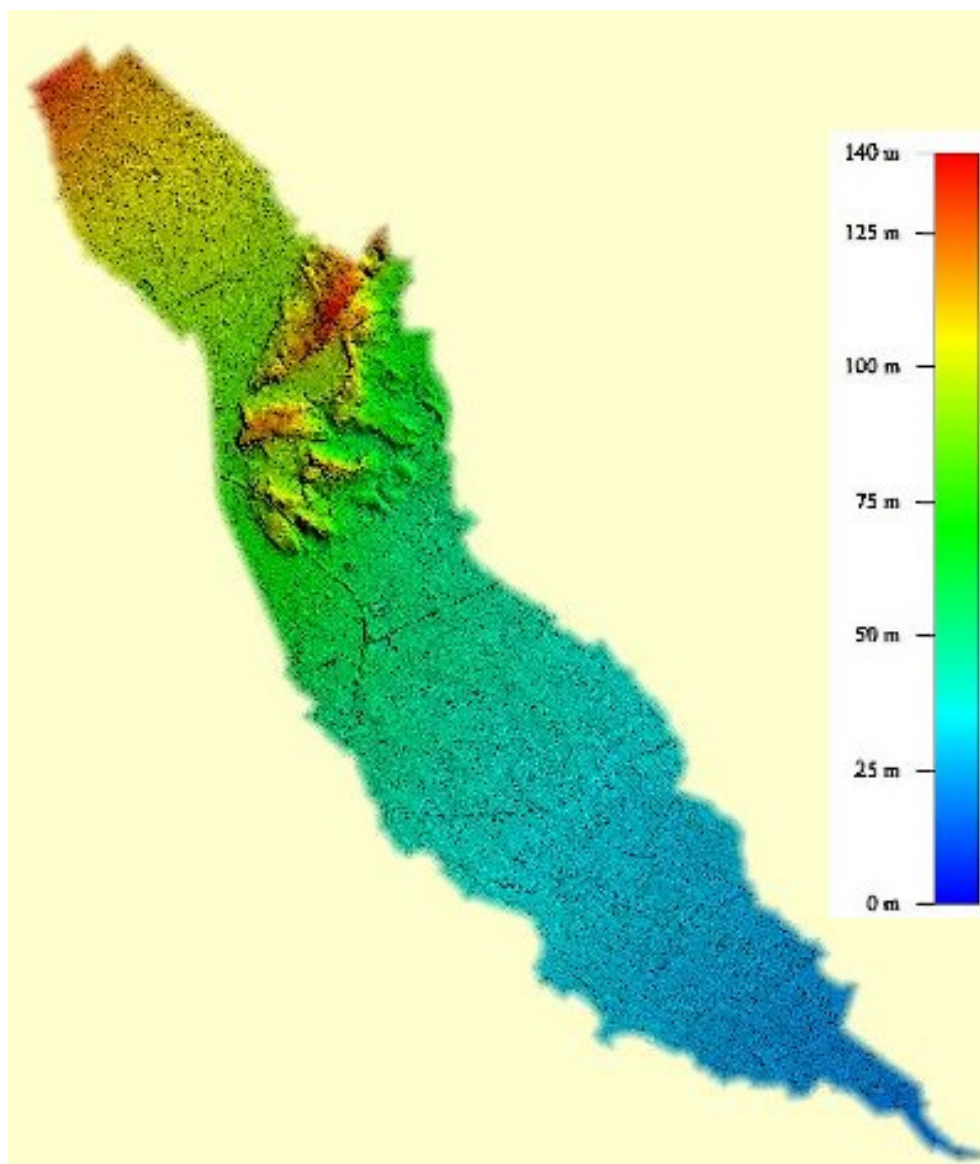


Figura 25: Dati LiDAR limitati al dominio di interesse.

I dati da rilievo provengono da due diverse fonti e sono stati ricavati durante tre diverse campagne di rilievo.

Il primo ente fornitore di rilievo è stato il Consorzio di Bonifica Piave, che ha messo a disposizione del progettista dati relativi a 10 sezioni ed una serie di pozzetti, tominamenti ed attraversamenti presenti in alveo.

Successivamente, sono state commissionate ad una società esterna due diverse campagne di rilievo, datate 2020 e 2021.

Da questa sono state fornite, nel complesso, informazioni relative a 126 sezioni, 51 tra ponti e passi carrai, 10 briglie e 7 salti di fondo. In occasione di questi rilievi sono stati raccolti anche i dati relativi all'altimetria delle zone identificate per la realizzazione dei bacini.

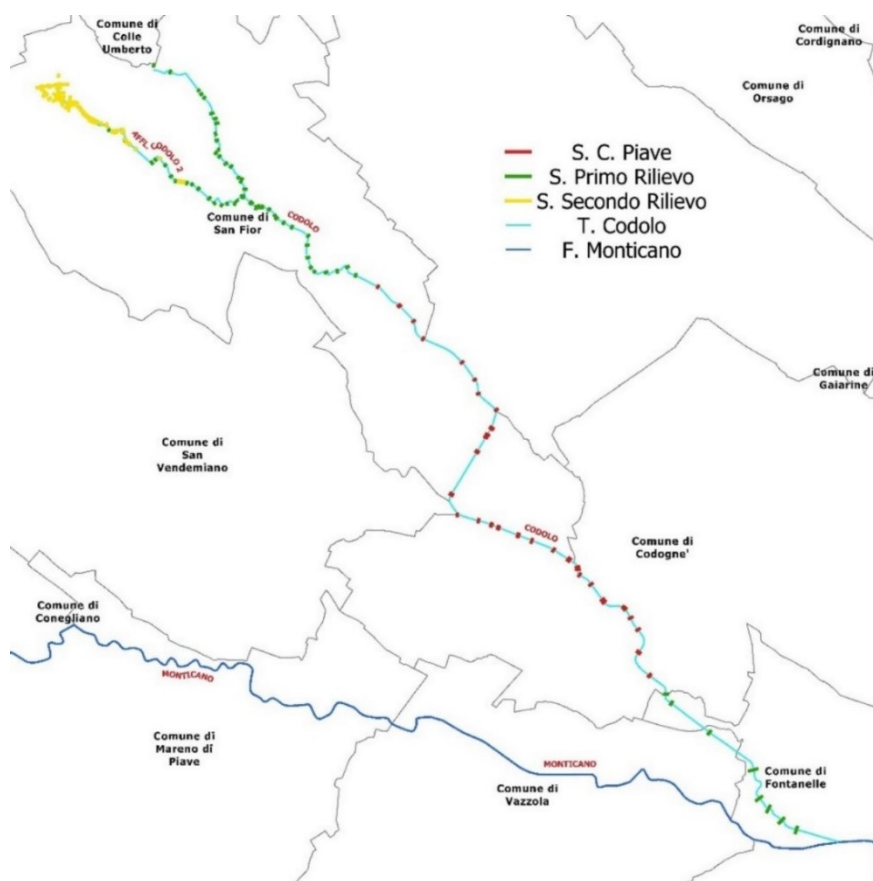


Figura 26: Sezioni rilevate.

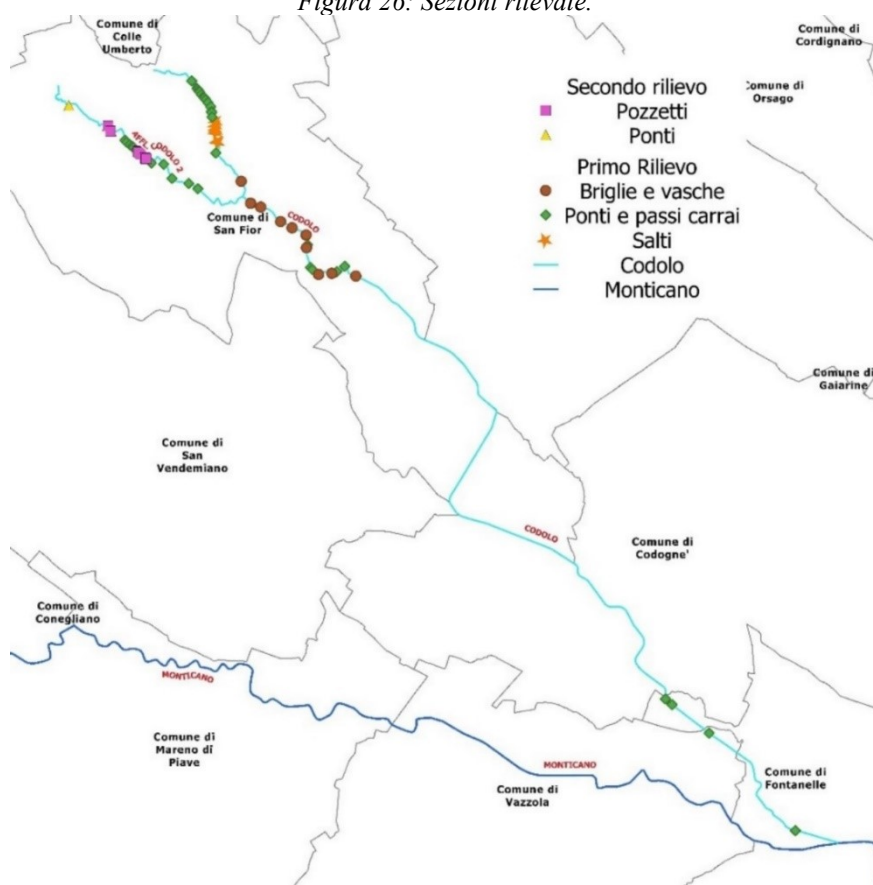


Figura 27: Manifatti rilevati.

Per quotare la mesh è stato applicato il procedimento che segue.

Si sono innanzitutto quotati i tronchi rappresentativi del Torrente Codolo. Le sezioni, definite “per punti”, sono state quotate sfruttando i file XYZ disponibili da rilievo, contenenti informazioni relative ad altimetria e conformazione delle stesse. In Figura 28 si può vedere il processo con cui è stato possibile attribuire ad un canale (quello selezionato in verde) una sezione, interpolando (linea rossa sottile) i punti XYZ (quadratini colorati con colori coerenti con la scala mostrata in basso a destra). La sezione così ottenuta è quella visibile in alto a destra. Poiché il piano campagna è stato rappresentato attraverso le maglie 2D, la sezione è poi stata “ripulita” dei punti non appartenenti all’alveo.

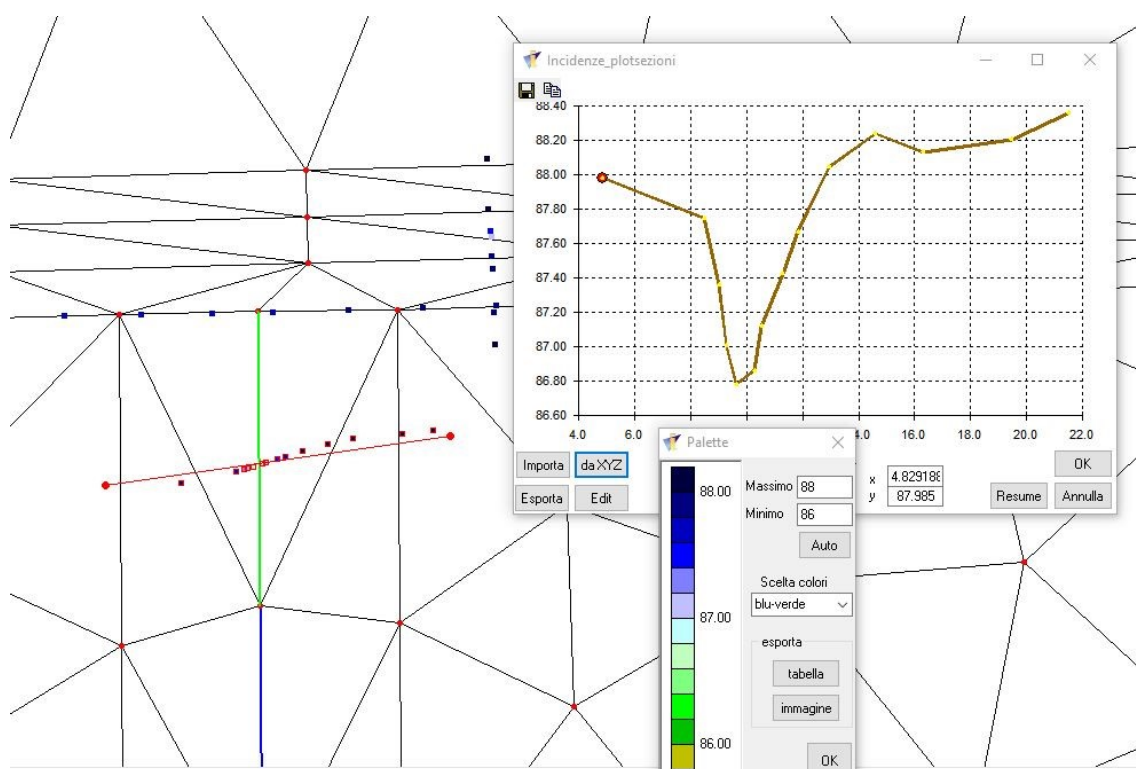


Figura 28: Esempio attribuzione area canale.

Si è poi sfruttata la funzione di interpolazione, resa disponibile dall’interfaccia grafica del modello, per definire forma e quote dei canali intermedi alle sezioni rilevate.

Si sono, poi, descritti e quotati i canali rappresentanti elementi non conformi con la sezione irregolare dell’alveo, quali tombinamenti e scatolari.

Inseguito, si sono quotate le aree relative ai bacini di laminazione. Per lo stato di fatto, si sono quotate le maglie 2D dai dati resi disponibili da rilievo. Invece, facendo preciso riferimento allo stato di progetto, le maglie rappresentanti i bacini di laminazione sono state quotate secondo configurazione e quote definite da progetto ed esposte al capitolo 3. Anche in questo caso, si è

prestata particolare attenzione ad attribuire correttamente alle maglie le quote identificative dei diversi elementi (fondo, argini,...).

Successivamente, si sono utilizzati i dati dal LiDAR per quotare tutti gli elementi 2D che non fossero stati già quotati. Si è inoltre verificato che questi ultimi fossero stati correttamente rappresentati nelle loro caratteristiche altimetriche, senza particolari errori di attribuzione di quote alle maglie, con dati coerenti rispetto a quelli ottenuti dalle informazioni già utilizzate.

In fine, sono stati quotati i canali a pelo libero appartenenti alla rete secondaria. In particolare, avendo definito le dimensioni della sezione come esposto ai paragrafi precedenti e non avendo sempre a disposizione informazioni relative alle quote di *talweg* delle sezioni, sono state utilizzate le informazioni altimetriche rese disponibili da LiDAR, tenendo in considerazione la possibilità che la quota del fondo dei canali fosse influenzata dalla presenza di acqua negli stessi.

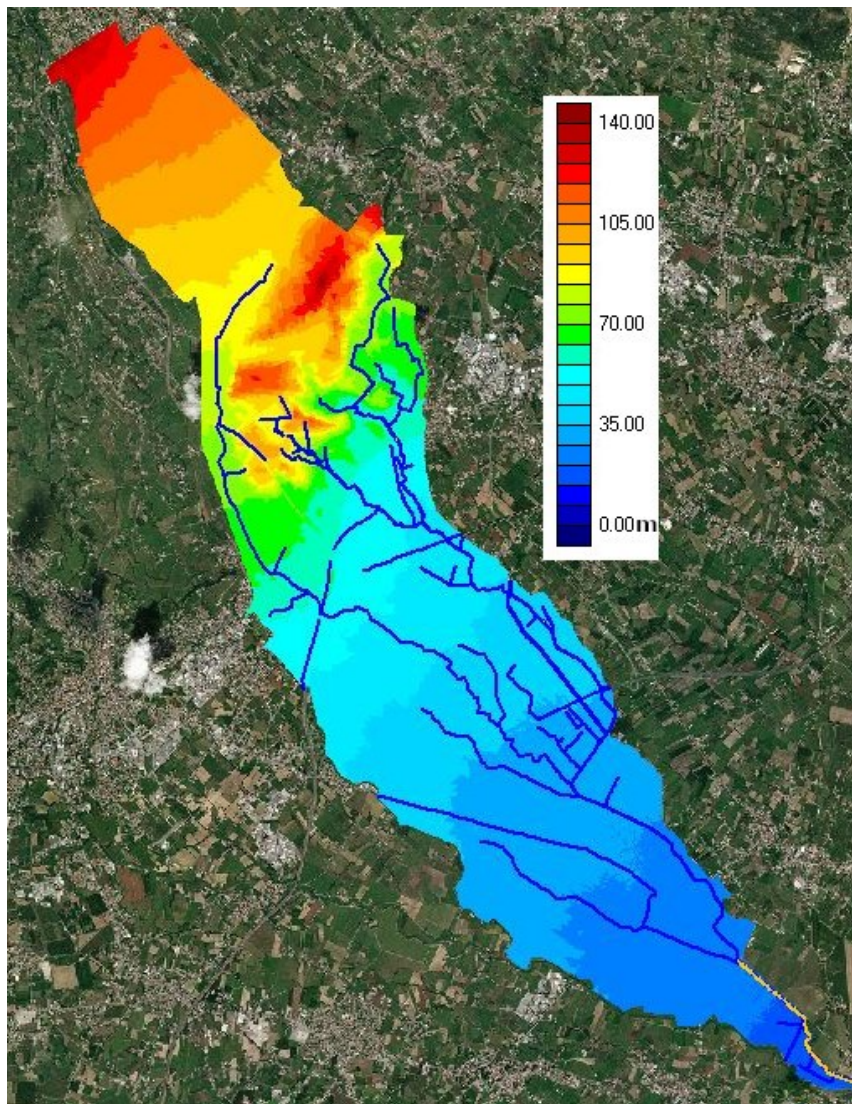


Figura 29: Sistema quotato.

Il coefficiente di scabrezza:

Rappresentata la mesh, è stato necessario attribuire, ad ogni maglia, un valore del coefficiente di Strickler.

Si sono considerate diverse classi di Ks, valutando le superfici presenti all'interno del dominio. Poiché l'eccessiva varietà nell'attribuzione dei coefficienti di Strickler alle maglie può causare pesantezza del modello, con conseguente allungamento nei tempi di calcolo e simulazione, ci si è assicurati di definire classi in numero tale da poter rappresentare adeguatamente la superficie, senza però esagerare nel grado di precisione.

Le classi scelte tra quelle descritte in *Open-Channel Hydraulics* di Chow sono state:

CLASSE	DESCRIZIONE	Ks ($\frac{m^{1/3}}{s}$)
1	Alvei di montagna: sponde con alberi e cespugli; sul fondo ghiaia, ciottoli e massi radi.	25
2	Canali regolarizzati in terra, con sponde ben inerbite.	28
3	Area dominate da arbusti (più del 20% della vegetazione totale) con altezza inferiore a 5 metri. Include veri arbusti, alberi giovani o alberi danneggiati da condizioni metereologiche	20
4	Area utilizzata per le colture stagionali, come grano, soia, verdure e cotone, ma anche per colture pluriannuali quali frutteti e vigneti.	30
5	Superficie edificata a bassa densità. Include aree con un mix di materiali da costruzione e vegetazione. La superficie impermeabile è pari al 20-50% del totale.	40
6	Superficie edificata ad alta intensità. La superficie impermeabile è pari al 80-100% del totale.	50

Per quanto riguarda specificatamente la rappresentazione dei bacini di laminazione, sono state aggiunte due ulteriori classi:

CLASSE	DESCRIZIONE	$K_s \left(\frac{m^{1/3}}{s}\right)$
7	“Emergent Herbaceous Wetlands” Area con vegetazione erbacea in presenza maggiore dell’80% del totale; il terreno è periodicamente coperto o saturato d’acqua.	20
8	Superficie ricoperta da mix di cemento ed inerti.	50

Infine, per la rappresentazione della rete secondaria, ai canali a pelo libero, supposti naturali, è stata attribuita classe 2, mentre per la rete delle acque bianche (così come per le porzioni “in pressione” dell’alveo principale) è stata introdotta una nuova classe:

CLASSE	DESCRIZIONE	$K_s \left(\frac{m^{1/3}}{s}\right)$
9	Canali e condotte in calcestruzzo liscio, con curve e connessioni.	75

Come anticipato, per attribuire il coefficiente di Strickler, si sono identificate, nel dominio, aree che si potessero ritenere uniformi per valore di K_s . Il risultato ottenuto per il dominio del Torrente Codolo è visibile in Figura 30.

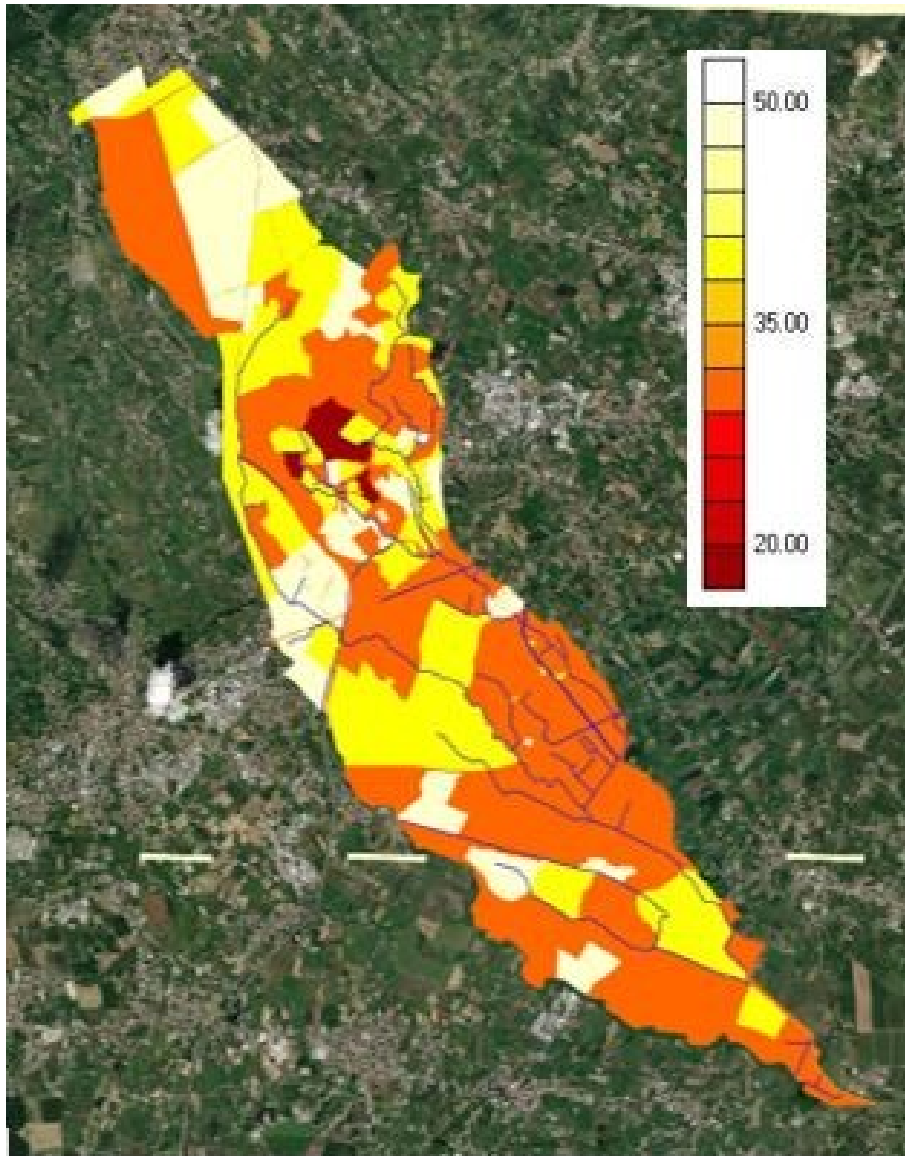


Figura 30: Attribuzione coefficienti Strickler al dominio.

4.2.2. Schematizzazione dei bacini e casi particolari

Esposti i criteri generali di rappresentazione del sistema, si descrivono le particolari modalità di schematizzazione dei bacini.

Bacino di laminazione a nord della ferrovia. Il primo bacino di laminazione, sito a confine con la zona di rispetto della linea ferroviaria Venezia-Udine, è stato schematizzato come visibile in Figura 31.

Il Torrente Codolo è stato rappresentato attraverso elementi 1D a sezione trapezia, con dimensioni e quote da progetto.

La superficie di laminazione, in linea al corso d'acqua, è stata rappresentata attraverso elementi bidimensionali. Ugualmente, anche gli argini interni ed esterni sono stati rappresentati con

elementi 2D: la sommità è stata quotata come da progetto, mentre le sponde sono state definite interpolando quota di sommità e fondo del bacino.

I manufatti di regolazione sono stati così concettualizzati:

- sfioratori da alveo a bacini laterali rappresentati come *tronchi speciali sfioratore* a quota 45.70 m e lunghezza 15.00 m l'uno. Vista la larghezza della superficie sfiorante, ad essi è stato attribuito coefficiente di portata pari a 0.385, corrispondente ad uno stramazzone in parete grossa in sommità del quale si realizza passaggio in condizione critica della corrente;
- paratoia, di dimensioni 4.5x2.6 m, rappresentata come *tronco speciale paratoia*, con apertura regolata come esposto al paragrafo seguente. Poiché, la paratoia è stata progettata affinché, una volta chiusa, essa permettesse di sfiorare portata a quota 47.80 m, pari al massimo invaso consentito in alveo, al tronco precedente è stato affiancato un *tronco speciale sfioratore*, con lunghezza pari alla larghezza della paratoia e quota sfiorante quella precedente;
- organo di vuotamento che, per ogni sotto-bacino, è composto da una paratoia di dimensioni 1.2x1.2 m, anch'essa regolata, rappresentata come *tronco speciale paratoia* e da quattro sfioratori di lunghezza 3.3m ciascuno e quota 47.00 m, rappresentati come *tronchi speciali sfioratore*.

Le paratoie di scarico sono state simulate con apertura regolabile. Piuttosto che impostare una legge d'apertura definita a priori, come effettuato nella simulazione di verifica alla progettazione (vedi *Relazione Idraulica - sistemazione idraulica canale Codolo, creazione bacini di laminazione in comune di San Fior e Codognè, sostituzione ponte Ghebo e rimozione ostacoli al deflusso*), si è scelto di imporre al programma il mantenimento di un determinato livello a valle della cassa stessa. I criteri di scelta del livello da mantenere a valle saranno esposti al paragrafo 4.4.2.

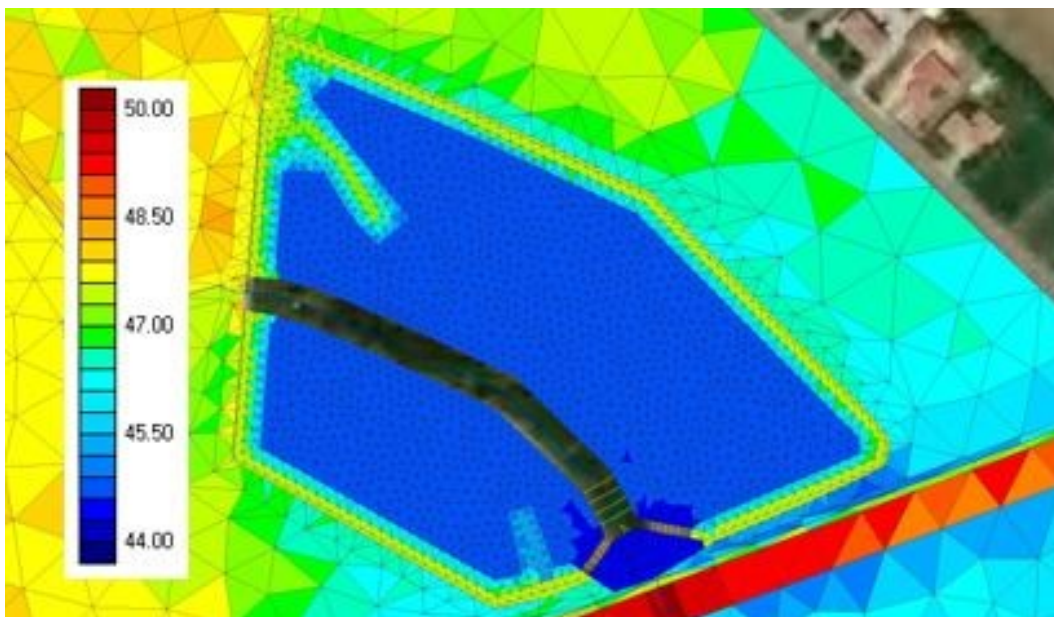


Figura 31: Bacino a Nord della ferrovia.

Bacino di laminazione a San Fior di Sopra. Il bacino di laminazione presso Via Serravalle, a San Fior di Sopra, è stato schematizzato come visibile in Figura 32.

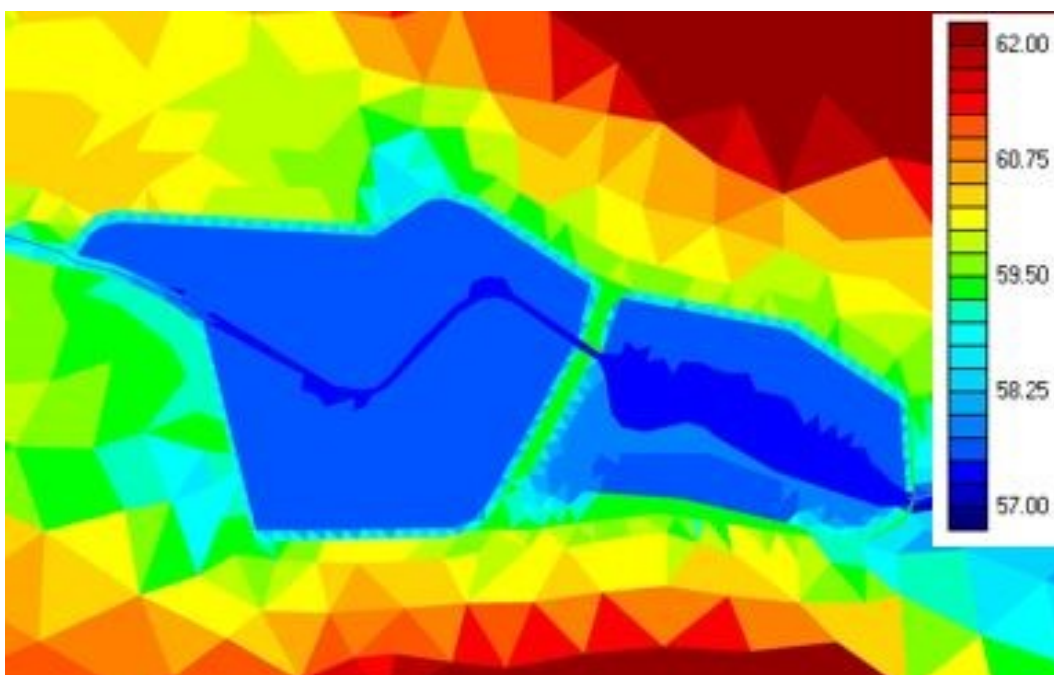


Figura 32: Bacino di Via Serravalle

Il Torrente Codolo è stato rappresentato attraverso elementi 1D a sezione trapezia, con dimensioni e quote da progetto.

La superficie di laminazione, in linea al corso d'acqua, è stata rappresentata attraverso elementi bidimensionali. Ugualmente, anche gli argini esterni sono stati rappresentati con elementi 2D: la sommità è stata quotata come da progetto, mentre le sponde sono state definite interpolando quota di sommità e fondo del bacino.

Il manufatto di regolazione è composto da traversa con apertura centrale, sprovvista di paratoia. Nel modello, questo è stato schematizzato sfruttando due *tronchi speciali sfioratore*. Il primo, posto a quota 56.85 m, con larghezza 1.00 m, rappresenta l'apertura della paratoia; il secondo, posto a quota 58.50 m, con larghezza 5.00 m, simula la superficie superiore della traversa. Ad entrambi è stato attribuito un coefficiente di portata pari a 0.385.

Bacino di laminazione lungo l'affluente Codolo 2. Analogamente al caso precedente, anche il bacino di laminazione posto lungo l'affluente Codolo 2 ha configurazione in linea al corso d'acqua.

Il torrente è, nuovamente, stato rappresentato attraverso elementi monodimensionali. A differenza del caso precedente, però, le sezioni sono state inserite per punti, sulla base delle tavole di progetto.

L'opera di regolazione, già rappresentata in Figura 9, è stata rappresentata attraverso un tronco speciale *paratoia a battente* di dimensioni 0.98x0.1 m, con apertura fissa.

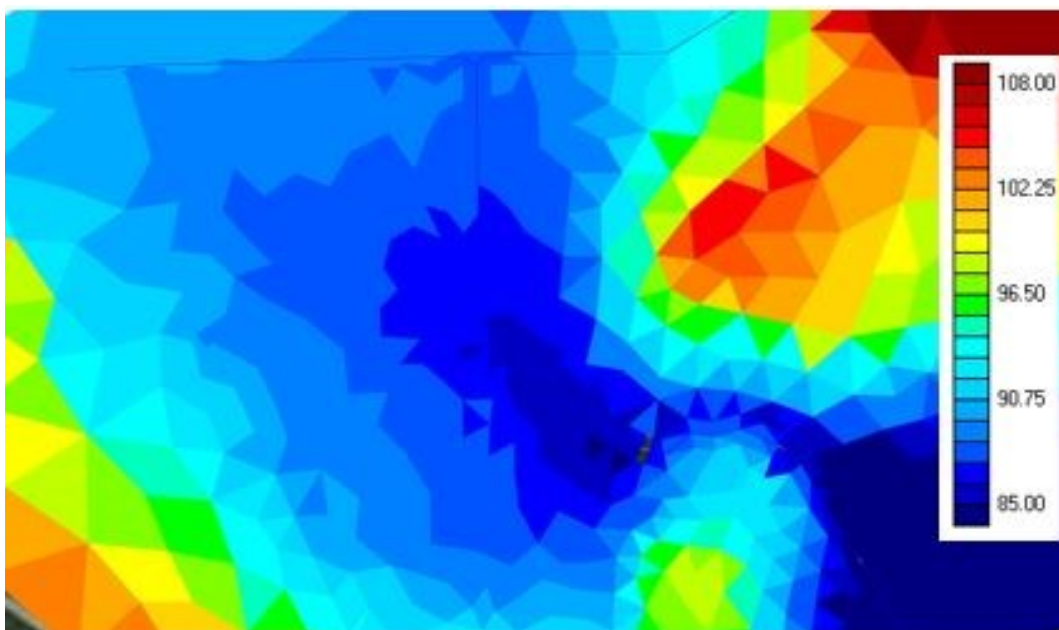


Figura 33: Bacino Affluente Codolo 2

Un caso particolare. Infine, si ritiene di descrivere un caso particolarmente esplicativo della schematizzazione applicata per passare da realtà a modello.

Si considera il Torrente Codolo nel suo tratto compreso tra Via Europa (SS13 Pontebbana) e Via degli Alpini, a San Fior. Qui, l'alveo si presenta, per un primo tratto, evidenziato in giallo in Figura 34, arginato attraverso muretti artificiali. Successivamente, affronta un tratto, lungo 6.00 metri circa ed evidenziato in verde, con possibile funzionamento in pressione, a causa della

presenza di un attraversamento stradale. In fine, il corso d'acqua si trova confinato tra due edifici, per una distanza di circa 40.0 m.

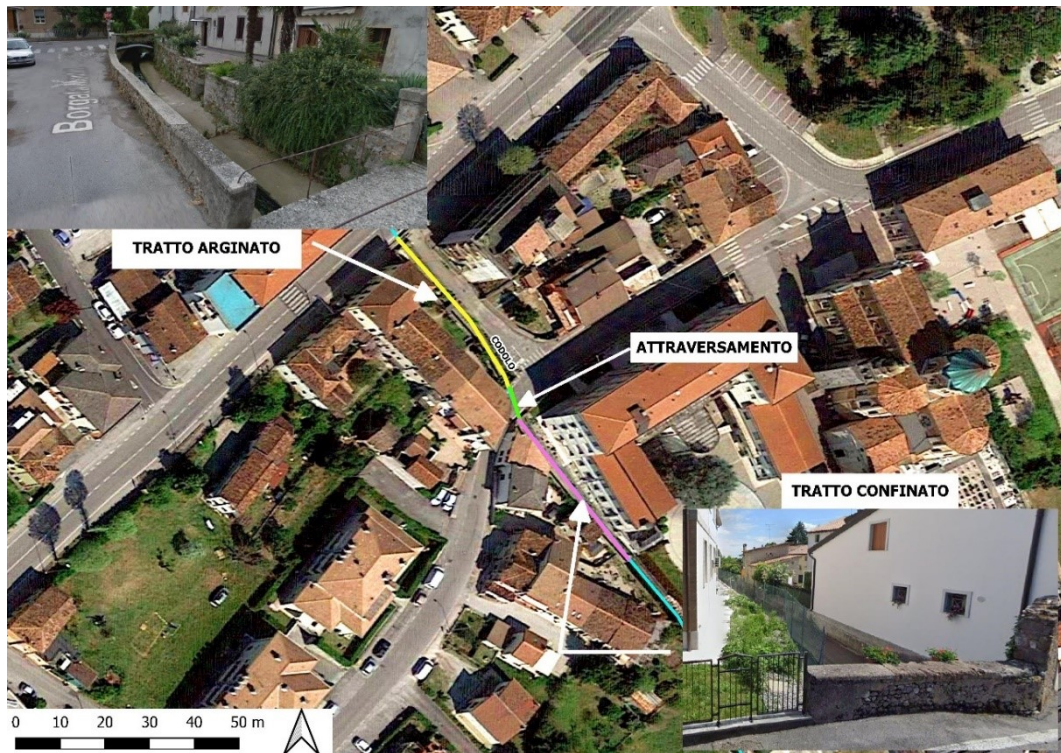


Figura 34: Torrente Codolo a San Fior

Questa situazione è stata rappresentata nel modello come visibile in Figura 35.

Il Torrente è stato rappresentato attraverso elementi monodimensionali *canale*, la cui sezione è stata definita per punti, sulla base dei dati da rilievo. Le maglie bidimensionali rappresentano il piano campagna circostante.

I tratti arginati – sia da muretto, che dalle pareti degli edifici – presentano, confinanti, area non coperta da maglie. L'assenza di maglie circostanti fa sì che l'acqua non possa esondare dall'alveo del corso d'acqua sul piano campagna.

In particolare, per quanto riguarda il terzo dei tratti considerati, quello tra i due edifici, questa rappresentazione è stata sufficiente per simulare il comportamento del T. Codolo; nella realtà, così come nel modello, la portata transitante in alveo non può fuoriuscire dallo stesso, essendo contenuta dai muri, potendo solo proseguire lungo il proprio corso, eventualmente aumentando tirante e velocità.

Nel primo tratto, invece, sono stati inseriti, per ogni nodo, tronchi speciali *argine/sfioratore*, con lunghezza pari a quella dell'argine che devono rappresentare e quota di sfioro pari alla sommità del muretto, come rilevata. Questo permette di simulare un'eventuale esondazione del Torrente Codolo al di sopra delle strutture di contenimento, andando ad allagare il piano circostante.

Infine, il tratto intermedio è stato rappresentato attraverso un elemento canale con sezione rettangolare, chiusa, anch'essa descritta secondo quanto definito in campagna di rilievo.

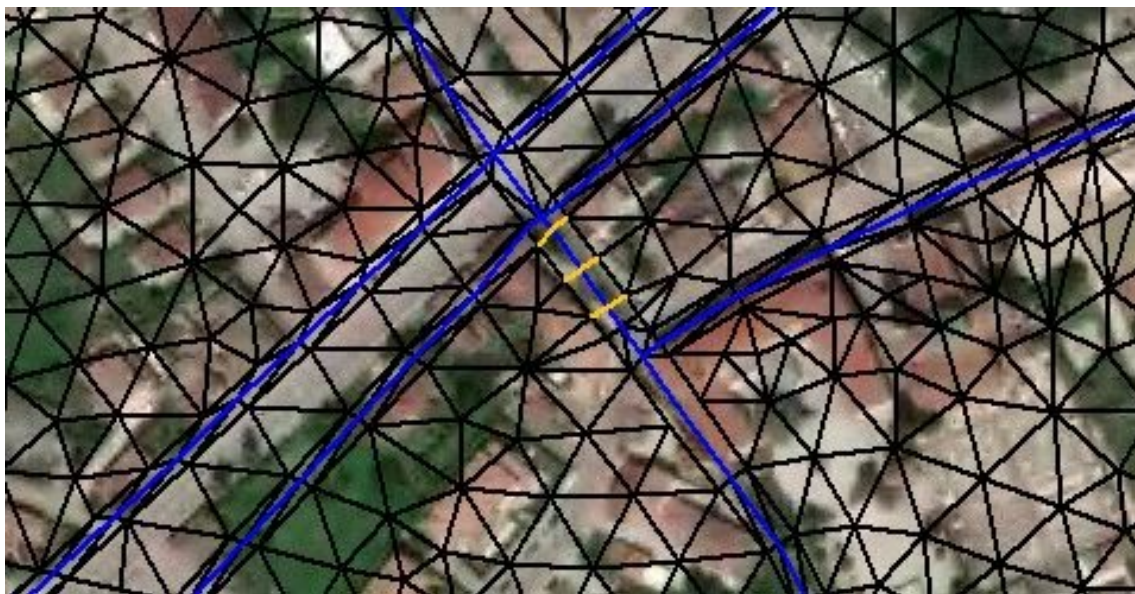


Figura 35: Torrente Codolo a San Fior - MODELLO

4.3. Parametri idraulici e idrologici

Il bacino idrografico del Torrente Codolo ha superficie di 4896 ha, pari a 48.96 km², con larghezza pressoché costante di circa 3.3 km ed estensione di circa 15.5 km.



Figura 36: Bacino del Torrente Codolo

I territori coperti dal bacino sono i comuni di Vittorio Veneto, Colle Umberto, San Fior, San Vendemiano, Codognè, Vazzola e Fontanelle, tutti in provincia di Treviso.

La pendenza media della superficie è pari a 2.5%, altamente variabile tra le diverse porzioni del territorio.

La sua superficie è a destinazione prevalentemente agricola, con presenza di centri abitati ben circoscritti.

Nel bacino idrografico del Codolo sono inclusi i sottobacini relativi ai suoi due principali affluenti, i torrenti Fossadella e Fossalta.

Il primo, che ha superficie pari a 1912 ettari e pendenza del 2.8%, drena la porzione Nord del bacino del Codolo; il secondo, a cui compete la porzione più ad est del bacino, ha superficie di 991 ettari e pendenza pari a 2.17%.

4.3.1. Caratteristiche del suolo

È possibile caratterizzare il bacino del Torrente Codolo dal punto di vista geologico.

A tale scopo, si considera la Tavola 01-03 del Piano delle Acque del consorzio di Bonifica Piave, denominata *Carta dei suoli*.

Nello studio di tale documento, che ha permesso di ottenere quanto esposto nel seguito, si è fatto riferimento a quanto contenuto nel testo *Carta dei suoli in scala 1:50000*, redatto da ARPAV nel 2020, recante la spiegazione della legenda per la tavola considerata.

Nell'analisi sviluppata da Arpa Veneto – e ripresa dal Consorzio di Bonifica Piave – il suolo viene descritto attraverso le caratteristiche che presenta su quattro livelli gerarchici, dal genere allo specifico: distretto (L1), sovraunità di paesaggio (L2), unità di pedopaesaggio (L3) e unità cartografiche (L4).

Il distretto permette di distinguere i principali ambiti territoriali, quali aree di pianura, suddivise in bacini fluviali di afferenza, e rilievi, distinti per diverse litologie. Il codice identificativo di ogni distretto è una lettera maiuscola.

La sovraunità di paesaggio suddivide le aree sulla base dei principali caratteri che hanno condizionato lo sviluppo dei suoli. Tra questi vi sono la posizione nel paesaggio, l'età di formazione della superficie ed il grado di evoluzione dei suoli. La sovraunità si indica attraverso un numero, da aggiungere alla lettera del distretto.

Le unità di pedopaesaggio caratterizzano il territorio sulla base della morfologia ed in particolare della presenza di dossi, depressioni o versanti ripidi. Ai codici già definiti viene aggiunto un ulteriore numero, separato dal precedente attraverso l'utilizzo di un punto.

Infine, le unità cartografiche identificano porzioni di territorio omogenee per suolo. All'interno di ognuna di queste, si identificano da uno a tre tipologie di suolo prevalenti, le unità tipologiche di suolo (UTS). Il codice per l'unità cartografica è composto da quello delle UTS che la compongono.

Si tralascia l'analisi estesa di quanto rilevato dalle carte considerate. Nelle prossime righe viene, invece, proposta una trattazione riassuntiva e semplificata, coerentemente col grado di dettaglio scelto ed applicato per la modellazione.

Le rappresentazioni grafiche riportate sono state ottenute sfruttando i dati messi a disposizione da Arpa Veneto su www.gaia.arpa.veneto.it. In particolare, Arpa Veneto rende disponibili, sul proprio sito, le versioni digitalizzate di tutti gli elementi, raccolti in *layers*, che vanno a comporre le tavole e carte proposte dall'ente per la regione di pertinenza. Sfruttando queste informazioni, è stato possibile concentrare la rappresentazione – e conseguentemente l'analisi - sull'area d'interesse, ottenendo una più immediata descrizione del sistema.

Innanzitutto, si sono considerate le informazioni relative al layer L4, nella carta in scala 1:250000. A tale scala, visibile in Figura 37, il sistema è stato suddiviso in un certo numero di superfici omogenee. Le principali, che vanno a caratterizzare le zone più ampie del bacino, sono:

- **GG1.1:** “Cordonii morenici maggiormente sviluppati, di varia età, appartenenti alle cerchie medie ed esterne con superfici da ondulate a molto pendenti intensamente terrazzate con depositi prevalentemente sovraconsolidati. Materiale parentale: calcareo.”
- **RC2.2:** “Versanti di forma complessa con fitte incisioni ramificate e crinali arrotondati, sviluppati su substrati prevalentemente marnosi o flyschoidi molto calcarei, con diffuse emergenze di substrati più competenti. Materiale parentale: marnoso-calcareo e conglomeratico.”
- **AA2.3:** “Pianura ghiaiosa fluvioglaciale del Piave e piana proglaciale dell'anfiteatro di Vittorio Veneto (conoide di Nervesa e di Vittorio Veneto), con tracce di canali intrecciati, subpianeggianti (0,5-1% di pendenza). Materiale parentale: sabbie e ghiaie estremamente calcaree.”
- **BA1.5:** “Area di transizione tra alta e bassa pianura della piana proglaciale dell'anfiteatro di Vittorio Veneto (conoide di Vittorio Veneto), pianeggiante (0,2-0,3% di pendenza). Materiale parentale: sabbie, ghiaie e limi estremamente calcarei.”
- **BA2.3:** “Aree depresse nella parte alta della pianura alluvionale del Piave, pianeggianti. Materiale parentale: limi e argille, estremamente calcarei.”
- **BR6.10:** “Aree di risorgiva e valli incise dei corsi di risorgiva sul substrato alluvionale di origine alpina, ad accumulo di sostanza organica in superficie, pianeggianti. Materiale parentale: limi e sabbie da molto a estremamente calcaree”.

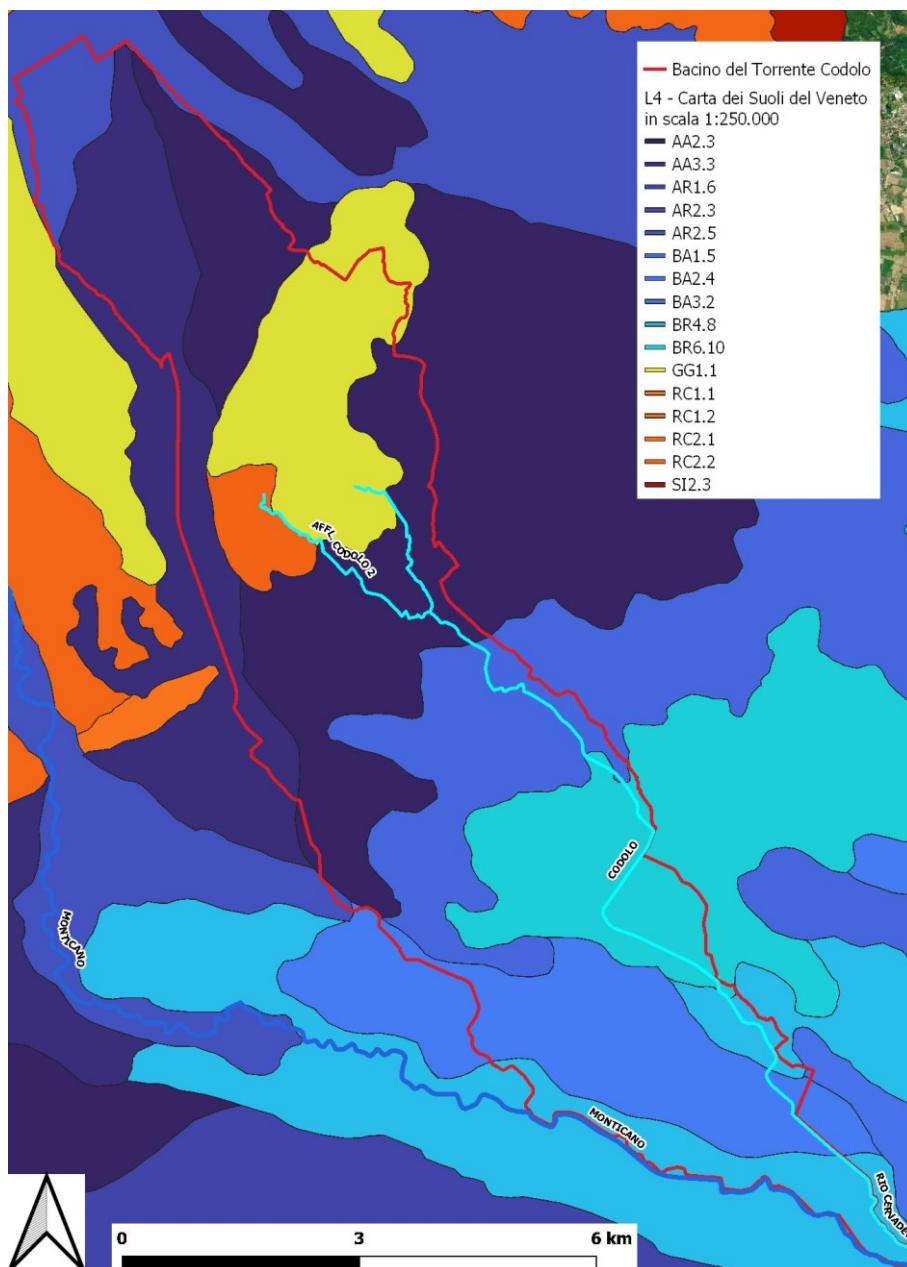


Figura 37: Estratto Carta dei Suoli scala 1:250000; Layer L4.

Secondo quanto osservato, è possibile concludere che il materiale del bacino sia prevalentemente calcareo, composto principalmente da sabbie e limi.

La permeabilità del suolo è stata ricavata dal sito di Arpa Veneto, da cui è stato possibile ricavare la carta visibile in Figura 38.

Le classi lì rappresentate fanno riferimento ai seguenti range di permeabilità:

- Classe 2: bassa (0,036-0,36 mm/h);
- Classe 3: moderatamente bassa (0,36-3,6 mm/h);
- Classe 4: moderatamente alta (3,6-36 mm/h);
- Classe 5: alta (36-360 mm/h);
- Classe 6: molto alta (>360 mm/h).

In questo caso, è possibile osservare come il bacino sia caratterizzato, principalmente, da terreno con permeabilità moderatamente alta e moderatamente bassa; questo risulta coerente con i dati precedenti ed, in particolare, con la presenza, alternata, sia di limi (permeabilità bassa) che di sabbie (permeabilità più alta).

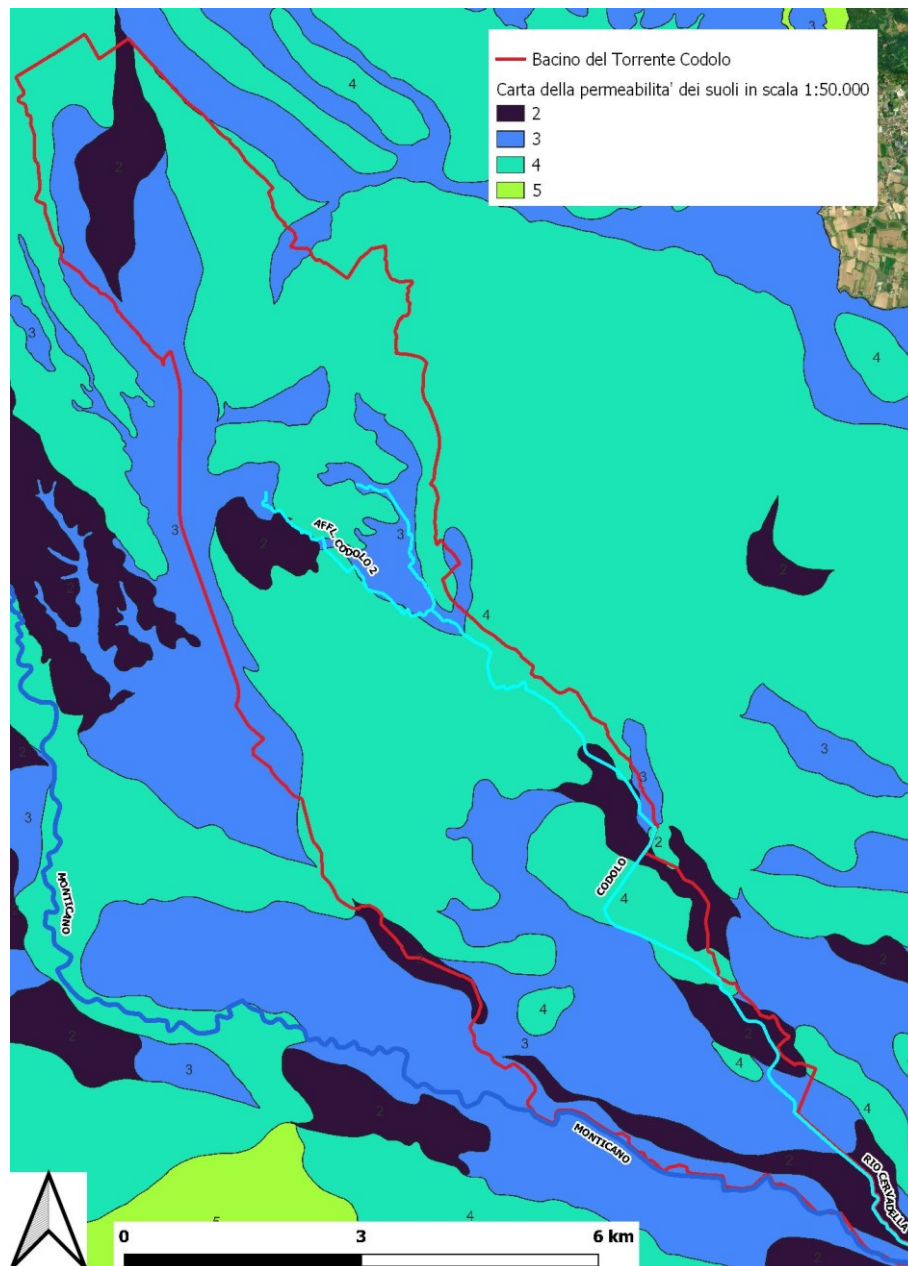


Figura 38: Permeabilità suoli. Estratto carta dei suoli del Veneto

Analogamente, è importante valutare l'utilizzo del suolo che, unitamente alla permeabilità dello stesso, influenza ampiamente la formazione del deflusso superficiale all'interno del bacino. Questo dato è visibile in Figura 39, secondo quanto reso disponibile da AVEPA, ente istituito dalla Regione del Veneto per la gestione economica nel settore agricolo.

Per rapidità espositiva, si sono racchiuse le varie classi di utilizzo – nel sito suddivise a seconda del tipo di coltura o del tipo di struttura edificata – in due macro-classi: terreno erboso/coltivabile (in giallo nell’immagine) e superficie edificabile (in blu).

Si osserva che, a parte alcune situazioni localizzate di aree edificate presenti internamente a porzioni prevalentemente agricole, verosimilmente rappresentanti edifici civili a supporto dell’attività agricola, è possibile identificare delle macroporzioni di sottobocino con unico uso del suolo. In particolare, la porzione di nord del bacino ha uso agricolo, si identificano poi, al centro, due aree edificate, di diversa estensione; queste identificano i principali centri abitati, nonché aree industriali interne al bacino. Infine, nella porzione di sud del bacino, è nuovamente prevalente l’utilizzo agricolo e seminativo.

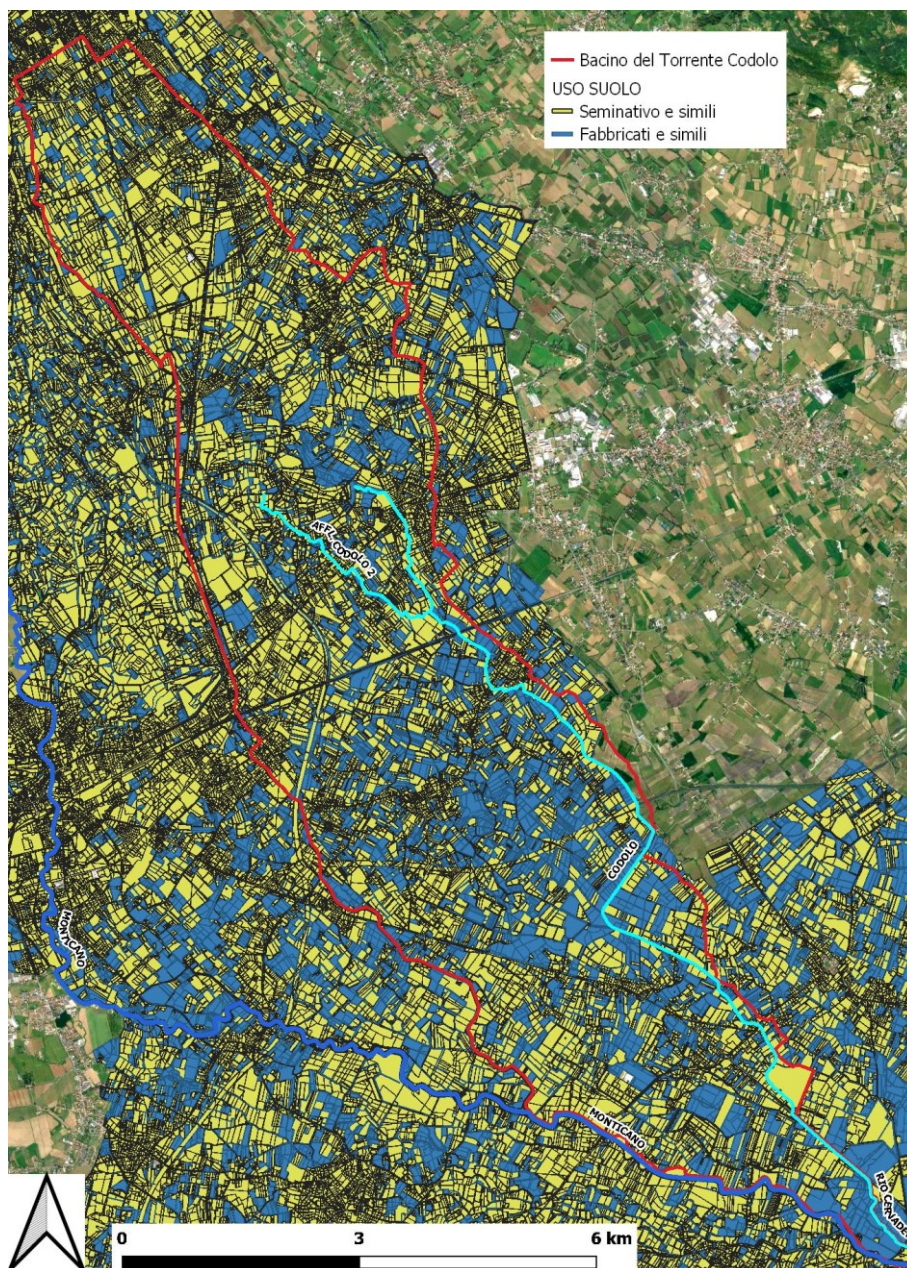


Figura 39: Utilizzo del suolo (Fonte: AVEPA)

Si precisa che, proprio per coerenza con il grado di dettaglio scelto per la modellazione, tutti questi dati sono stati analizzati e rielaborati per ottenere un risultato in linea con quanto sviluppato fino ad ora. In particolare, l'utilizzo del suolo è stato considerato nella definizione delle macrozone per il K_s , così come esposto al paragrafo relativo al Coefficiente di Strickler e visibile in Figura 30. Ugualmente, la tipologia di terreno e la sua permeabilità sono stati utilizzati per definire i parametri di infiltrazione e filtrazione profonda del terreno, anch'essi suddivisi in classi di numero pari alle classi del K_s .

4.3.2. Curve di possibilità pluviometrica

Per progettare strutture idrauliche o per valutare l'efficienza di una rete di drenaggio è necessario conoscere – o calcolare - le portate che sollecitano il sistema. Per ottenere tale dato, oltre alla conoscenza della tipologia di terreno presente, che influenza altamente la risposta del bacino idraulico, è anche necessario individuare la precipitazione di progetto.

Con particolare riferimento allo studio di fenomeni alluvionali, oltre alla conoscenza dell'entità delle precipitazioni, è necessario conoscerne la variabilità spaziale e temporale.

Pertanto, le precipitazioni di progetto vengono generalmente rappresentate attraverso curve di Intensità-Durata-Frequenza (IDF), che legano l'altezza di pioggia $\chi_{t,T}$ osservata in una superficie in un assegnato intervallo di tempo, sia alla durata della precipitazione che alla superficie considerata.

Per stimare il valore di $\chi_{t,T}$ a partire da una serie di misurazioni è necessario applicare una distribuzione di probabilità, di cui vengano adeguatamente stimati i parametri.

Le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica utilizzate nello sviluppo del modello e nella definizione delle piogge di progetto, citate anche nella *Relazione Idraulica - sistemazione idraulica canale Codolo, creazione bacini di laminazione in comune di San Fior e Codognè, sostituzione ponte Ghebo e rimozione ostacoli al deflusso*, derivano dal documento *Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento* redatto dallo studio Nordest Ingegneria s.r.l. per il comprensorio del Consorzio di Bonifica Piave.

I dati pluviometrici utilizzati per l'elaborazione delle curve sono quelli raccolti dal Centro Meteorologico di Teolo, con intervallo temporale tra le diverse rilevazioni pari a 5 minuti.

La distribuzione statistica utilizzata per l'elaborazione dei dati è la distribuzione GEV. Questa serve a rappresentare l'insieme delle distribuzioni che identificano i massimi (o minimi) valori di una certa grandezza idraulica/idrologica in un certo intervallo di tempo, generalmente pari all'anno.

Considerando, ad esempio, i massimi annuali X delle piogge giornaliere come i massimi di una serie di N (con N tendente ad infinito) variabili casuali Y_i ($i = 1, \dots, N$), tra loro indipendenti ed identicamente distribuite, è possibile individuare la distribuzione asintotica di X considerando l'andamento della sua coda superiore, indipendentemente dalla distribuzione di Y . La distribuzione asintotica può essere di Gumbel, di Frechet o di Weibull, tutte e tre riassumibili all'interno della legge generale dei valori estremi GEV (Jenkinson 1955):

$$P(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{\xi(x - \varepsilon)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{\xi}} \right\} \text{ se } \xi \neq 0 \quad (7)$$

$$P(x) = \exp \left\{ - \exp \left[- \frac{(x - \varepsilon)}{\alpha} \right] \right\} \text{ se } \xi = 0 \quad (8)$$

Dove ξ è un parametro di forma, α è il parametro di scala e ε il parametro di posizione. Tali parametri, calcolati per il Consorzio di Bonifica Piave con il metodo degli L-moments, assumono i valori visibili in Figura 40.

Durata	ε	α	ξ
5 minuti	0.890	0.228	-0.104
10 minuti	0.894	0.243	-0.163
15 minuti	0.886	0.246	-0.129
30 minuti	0.875	0.257	-0.099
45 minuti	0.868	0.261	-0.078
1 ora	0.865	0.262	-0.066
3 ore	0.860	0.243	0.001
6 ore	0.851	0.221	0.088
12 ore	0.855	0.231	0.049
24 ore	0.848	0.237	0.063
1 giorno	0.847	0.249	0.036
2 giorni	0.856	0.234	0.038
3 giorni	0.855	0.254	-0.006
4 giorni	0.858	0.241	0.012
5 giorni	0.866	0.243	-0.028

Figura 40: parametri GEV della distribuzione regionale di precipitazione per la curva di crescita del Consorzio di bonifica Piave. (Fonte: Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento).

Noti tali valori è possibile calcolare una stima dell'altezza adimensionale di precipitazione, per un dato tempo di ritorno T (con $T = \frac{1}{1-P(x)}$), attraverso l'equazione 12:

$$\widehat{\chi}(T) = \varepsilon + \frac{\alpha}{\xi} \left[\left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^\xi - 1 \right]. \quad (9)$$

Questa rappresenta il fattore di crescita con periodo di ritorno T e permette di calcolare l'altezza di precipitazione dimensionale come il prodotto

$$\chi(T) = \widehat{\chi}(T) * \mu_x \quad (10)$$

in cui μ_x è il valor medio dei massimi di precipitazione, che può teoricamente coincidere con la media dei massimi di una precisa stazione o anche con la media pesata, calcolata su più stazioni.

Identificati i parametri con cui lavorare, sono state calcolate le curve di possibilità pluviometrica.

In particolare, come esposto nel secondo dei due documenti citati, l'analisi svolta per la determinazione di queste curve è di tipo regionalizzato. Questa metodologia fonda sull'assunzione che, in una certa area, la distribuzione dei massimi di precipitazione sia omogenea. Ciò permette di analizzare, contemporaneamente, i dati misurati in diversi punti della superficie, per poi estendere i risultati ottenuti a tutta l'area considerata, andando a sopperire ad un'eventuale mancanza di dati – come accaduto proprio nel caso citato.

Attraverso uno studio della distribuzione spaziale delle precipitazioni, all'interno del dominio di competenza del Consorzio di Bonifica Piave, sono state individuate diverse zone a regime pluviometrico omogeneo. A tale scopo, si sono valutati i valori di $\widehat{\chi}(T)$ per una durata di riferimento e si è verificato che questi fossero statisticamente simili. All'interno dello studio presentato da Nordest Ingegneria s.r.l è stato applicato il criterio secondo il quale, per poter concludere che due (o più) stazioni appartengano alla stessa zona omogenea, queste debbano presentare valori di altezza di precipitazione omogenei tra loro per eventi di tutte le durate considerate.

Noto quanto appena esposto, sono state calcolate le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica, a due e tre parametri, che permettono di calcolare l'altezza di precipitazione o la sua intensità media in funzione della durata.

Considerando la formula a tre parametri, si può scrivere

$$h = \frac{a}{(t + b)^c} t \quad (11)$$

Imponendo, nell'equazione (11), $b = 0$ e $n = 1 - c$, si ottiene la seguente formula a due parametri

$$h = a * t^n \quad (12)$$

in cui i parametri a e n possono essere definiti attraverso regressione lineare sulla retta espressa dall'equazione numero (12) su un piano bi-logaritmico.

In particolare, a rappresenta l'intercetta e n la pendenza della retta che interpola i punti sperimentali.

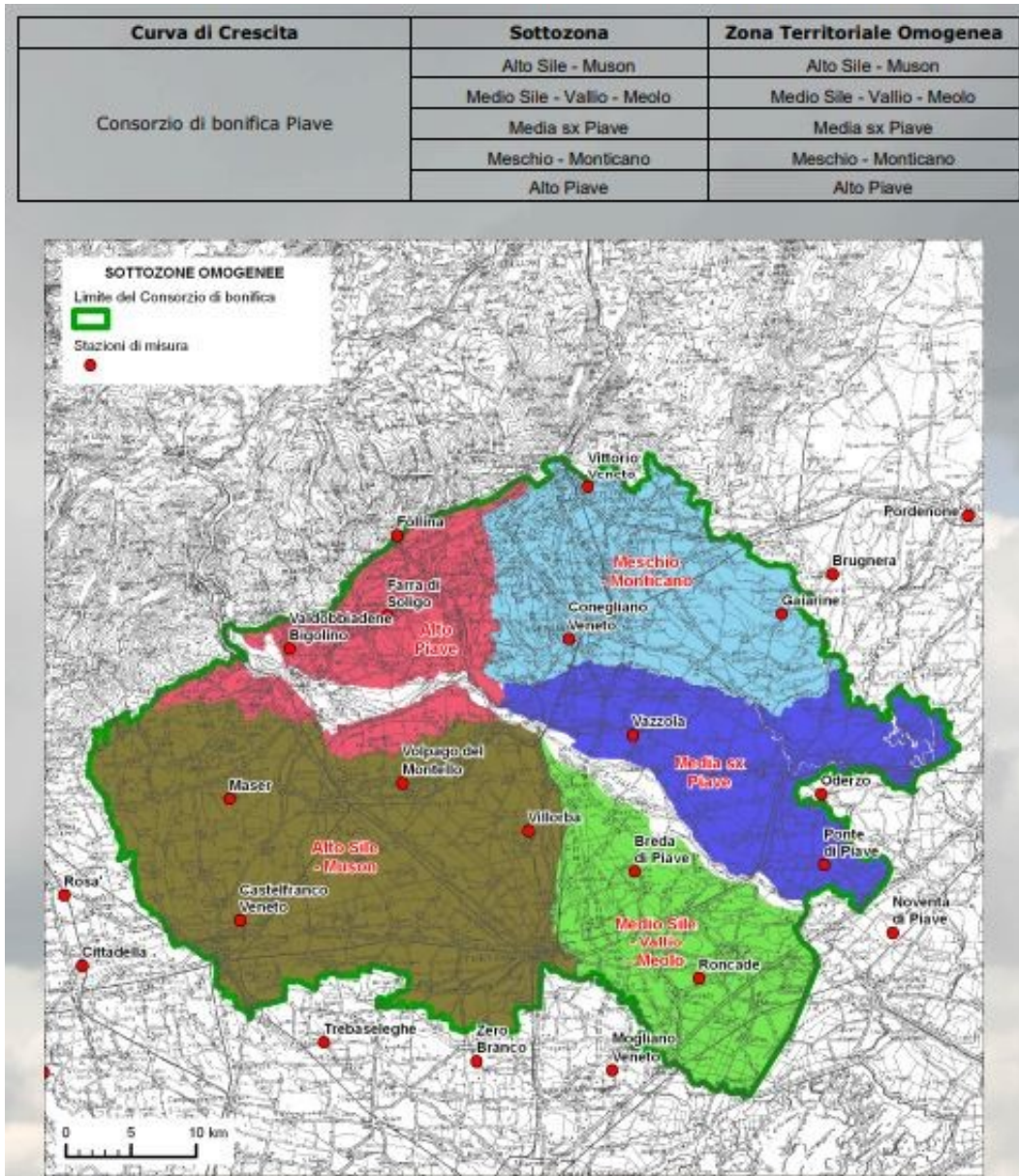


Figura 41: Zone territoriali omogenee. (Fonte: Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento).

Poiché anche le curve segnalatrici sono state calcolate con riferimento ad aree omogenee, i parametri sopra esposti sono stati definiti per ogni sottozona.

All'interno della superficie del Consorzio, lo studio ha portato all'identificazione di cinque zone omogenee, visibili in Figura 41.

Il bacino del Torrente Codolo ricade nella zona omogenea Meschio-Monticano.

Per questa zona, i valori relativi alla curva segnalatrice a tre parametri - in cui t è espresso in minuti per ottenere h in millimetri - sono:

Curve a 3 parametri			
Tr	a	b	c
2	18.1	9.7	0.794
5	23.4	10.6	0.793
10	26.1	11.0	0.787
20	28.0	11.3	0.778
30	28.9	11.4	0.772
50	29.7	11.6	0.764
100	30.6	11.8	0.752
200	31.0	11.9	0.739

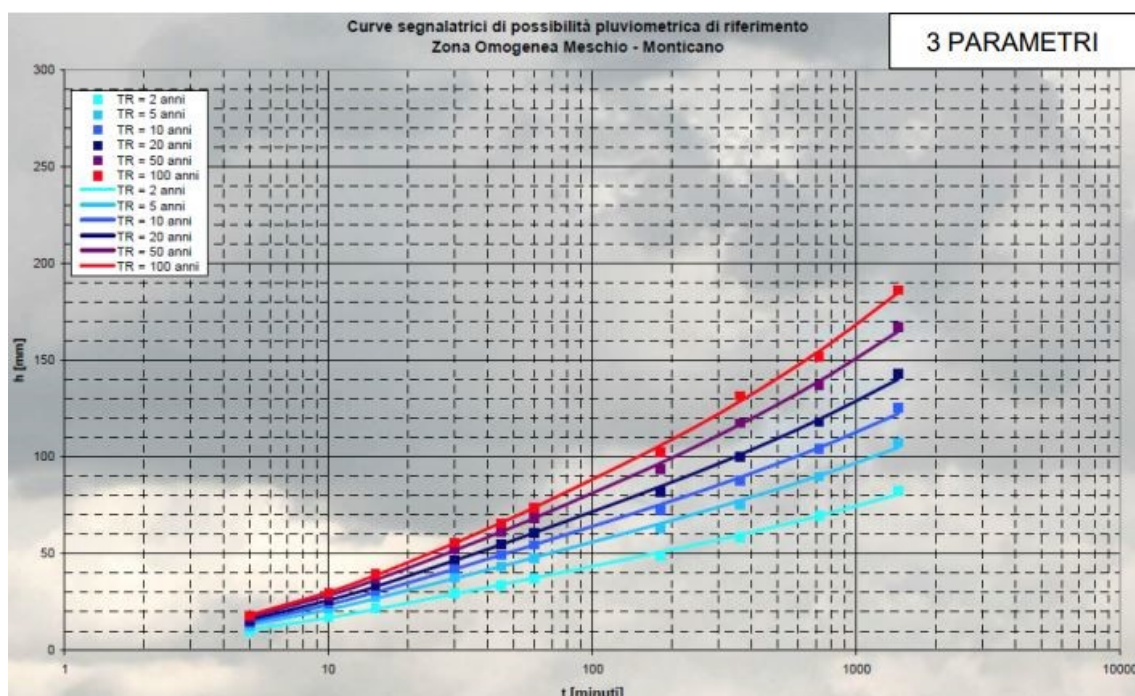


Figura 42: Curve di possibilità pluviometrica a 3 parametri. (Fonte: Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento).

Per la curva segnalatrice di possibilità pluviometrica a due parametri, in cui t è espresso in giorni per ottenere nuovamente h in millimetri, i valori ottenuti sono

Curve a 2 parametri		
Tr	n	a
2	0.365	76.000
5	0.354	99.500
10	0.344	115.200
20	0.334	131.800
30	0.328	141.300
50	0.320	153.400
100	0.309	170.200
200	0.298	187.400

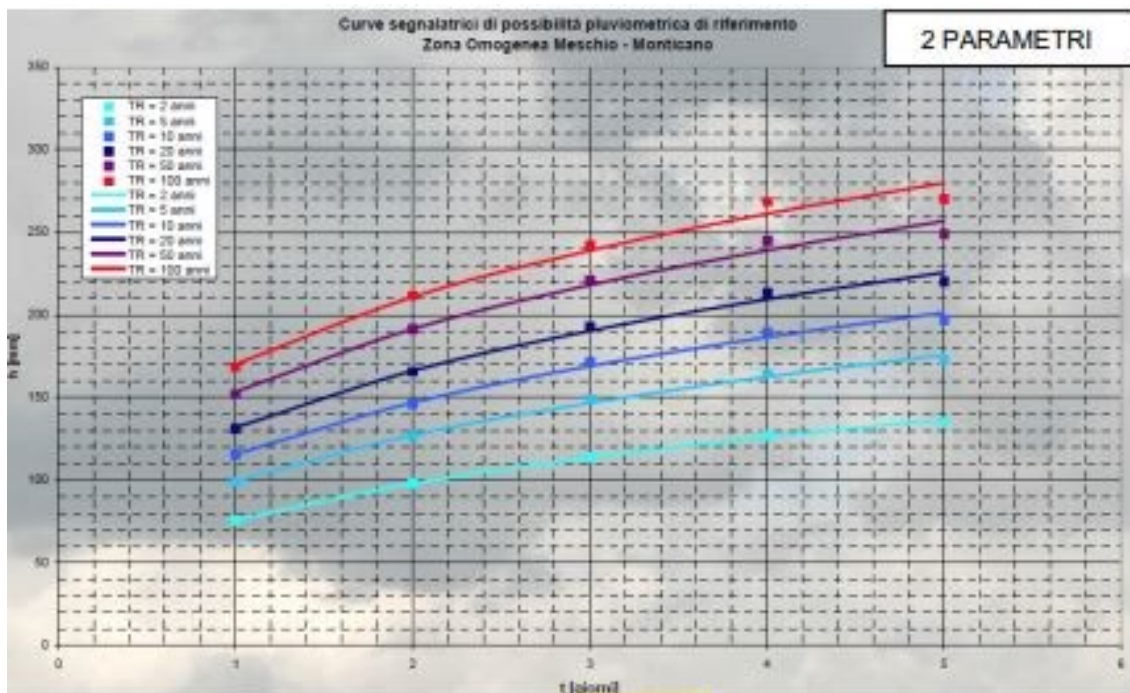


Figura 43: Curve di possibilità pluviometrica a 2 parametri. (Fonte: Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento).

La prima delle due equazioni, quella a tre parametri, fornisce migliori risultati nella stima dell'altezza di precipitazione per eventi con durata compresa tra i 5 minuti e le 24 ore. Contrariamente, la seconda risulta ottimale per eventi con durata tra 1 e 5 giorni.

4.3.3. Condizioni iniziali e al contorno

Come anticipato, per il modello del bacino del Torrente Codolo sono state introdotte alcune condizioni.

Per definire le condizioni iniziali ottimali sono state svolte diverse simulazioni con varie situazioni di partenza. In particolare, sono state svolte simulazioni di una stessa precipitazione partendo da condizioni diverse del bacino all'inizio della stessa. Si è considerato il bacino sia asciutto che bagnato, con livelli di umidità diversi, a loro volta ottenuti simulando, da bacino asciutto, diverse precipitazioni di entità e durata variabili. Dalle diverse simulazioni, è stato possibile osservare l'effetto delle diverse condizioni iniziali del terreno sulle modalità di risposta del bacino ed in particolare si è riscontrato che maggiore l'imbibizione del terreno, più si riduce il tempo di corrivazione del bacino e maggiore il volume nel dominio stesso. Ciononostante, le differenze riscontrate sono di entità ridotta.

Come condizione iniziale del modello del bacino del Torrente Codolo, si è considerato il sistema al termine di una simulazione che prevede 48 ore di precipitazione costante, con intensità 1 mm/h, e 72 ore di precipitazione nulla.

Per quanto riguarda, invece, le condizioni al contorno di valle, la prima è stata imposta al Torrente Codolo nell'ultimo nodo che lo rappresenta. In questa posizione, coincidente col punto in cui il Codolo si immette nel Monticano, si è attribuita una condizione di livello costante, posto arbitrariamente 1.00 m sotto la quota arginale nella stessa sezione. Secondariamente, si sono attribuite altre due condizioni al contorno per due canali, appartenenti alla rete secondaria, atti a drenare il piano campagna in adiacenza ai tratti di Codolo arginati. Questi scaricano la portata raccolta all'esterno del dominio considerato. In particolare, il primo, a cui è stata attribuita una condizione al contorno di livello costante, scarica direttamente nel Fiume Monticano. Il secondo, invece, costituisce affluente del Rasego, posto in sinistra idraulica al Codolo. In questo caso è stata definita una scala delle portate, partendo da una condizione di moto uniforme.

4.4. Le simulazioni

Con i parametri sopra definiti, sono state svolte simulazioni con precipitazioni, costanti, di tempo di ritorno 10 e 50 anni.

Per definire la durata di precipitazione di progetto – e quindi l'intensità della stessa - si è cercata la precipitazione che sollecitasse il bacino andando a generare il massimo idrogramma. A tal fine, si è considerata la curva a tre parametri, con tempo di ritorno di 10 anni:

$$h = \frac{26.1}{((t * 60) + 11)^{0.787}} (t * 60) \quad (13)$$

$$i = \frac{h}{t} \quad (14)$$

T (ore)	h (mm)	i (mm/ora)
4	80.97	20.24
8	93.73	11.72
10	98.59	9.86
12	102.68	8.56
14	106.26	7.59
20	117.32	5.87

Per l'analisi dei risultati sono state identificate 5 sezioni distribuite lungo il dominio, perpendicolari allo stesso, visibili in Figura 44.

La simulazione ha permesso di ottenere, alla sezione 4, ultima sezione di valle del dominio, posta subito a monte dei canali che sottraggono portata dal dominio, le portate visibili in Figura 45. Dal grafico è stato possibile identificare, come precipitazione di progetto, quella con durata pari a 10 ore.

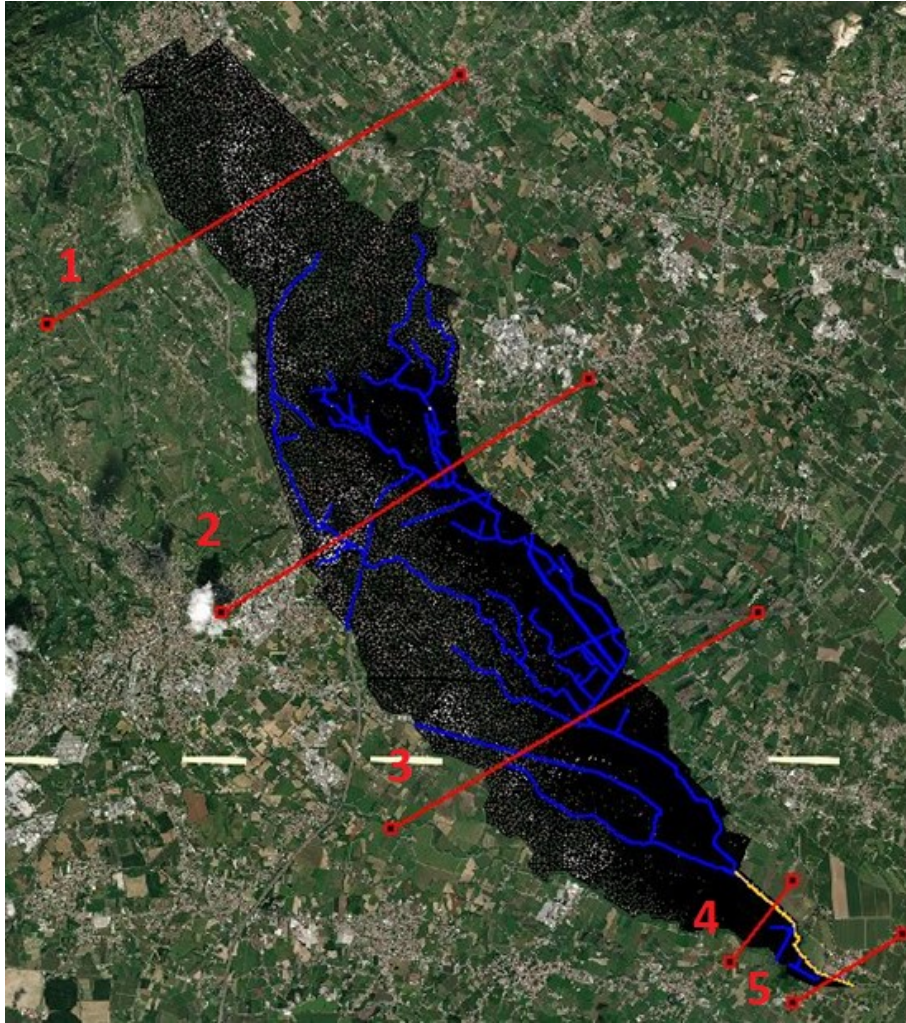


Figura 44: Sezioni riferimento per analisi risultati.

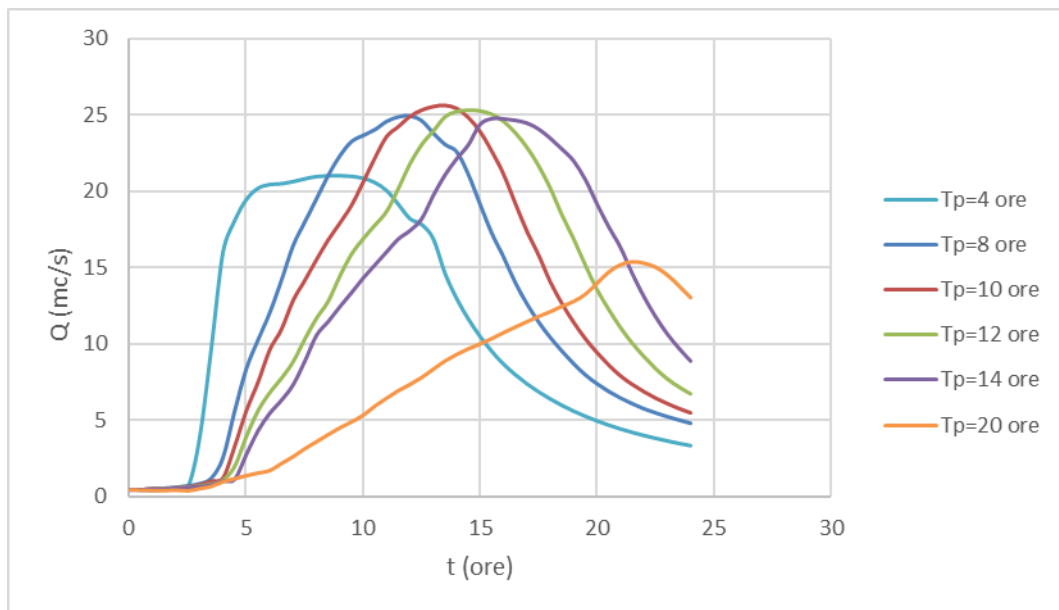


Figura 45: Confronto portate, per precipitazioni di diversa durata, alla sezione 4, per eventi con T_r 10 anni. T_p indica la durata della precipitazione.

4.4.1. Simulazioni dello stato di fatto

Simulazione evento di precipitazione con $Tr = 10$ anni

Il primo evento simulato è stato quello con tempo di ritorno pari a 10 anni.

I parametri della simulazione sono:

- Durata precipitazione: 10 ore;
- Intensità di precipitazione: 9.86 mm/h;
- Durata simulazione: 24 ore.

In Figura 46 è possibile visualizzare gli idrogrammi per le sezioni proposte in precedenza. La portata massima, pari a circa $23.7 \text{ m}^3/\text{s}$, si verifica alla sezione 3. Tra le sezioni 4 e 5 si ha una riduzione di portata dovuta ai canali, presenti nel bacino, che scaricano portata al di fuori dello stesso.

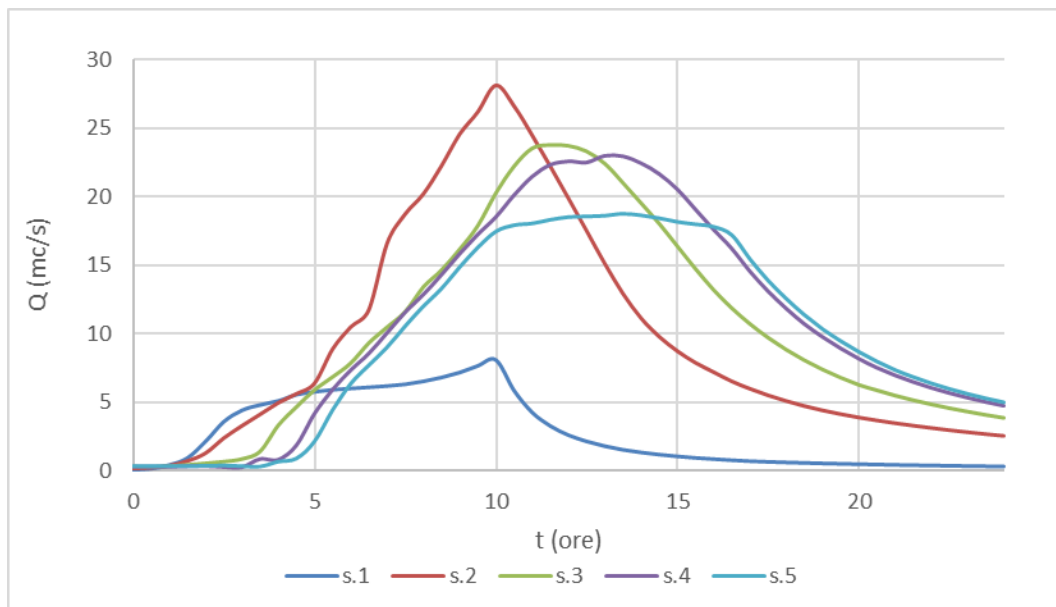


Figura 46: Idrogrammi, alle diverse sezioni di Figura 44, per piogge con $Tr=10$ anni.

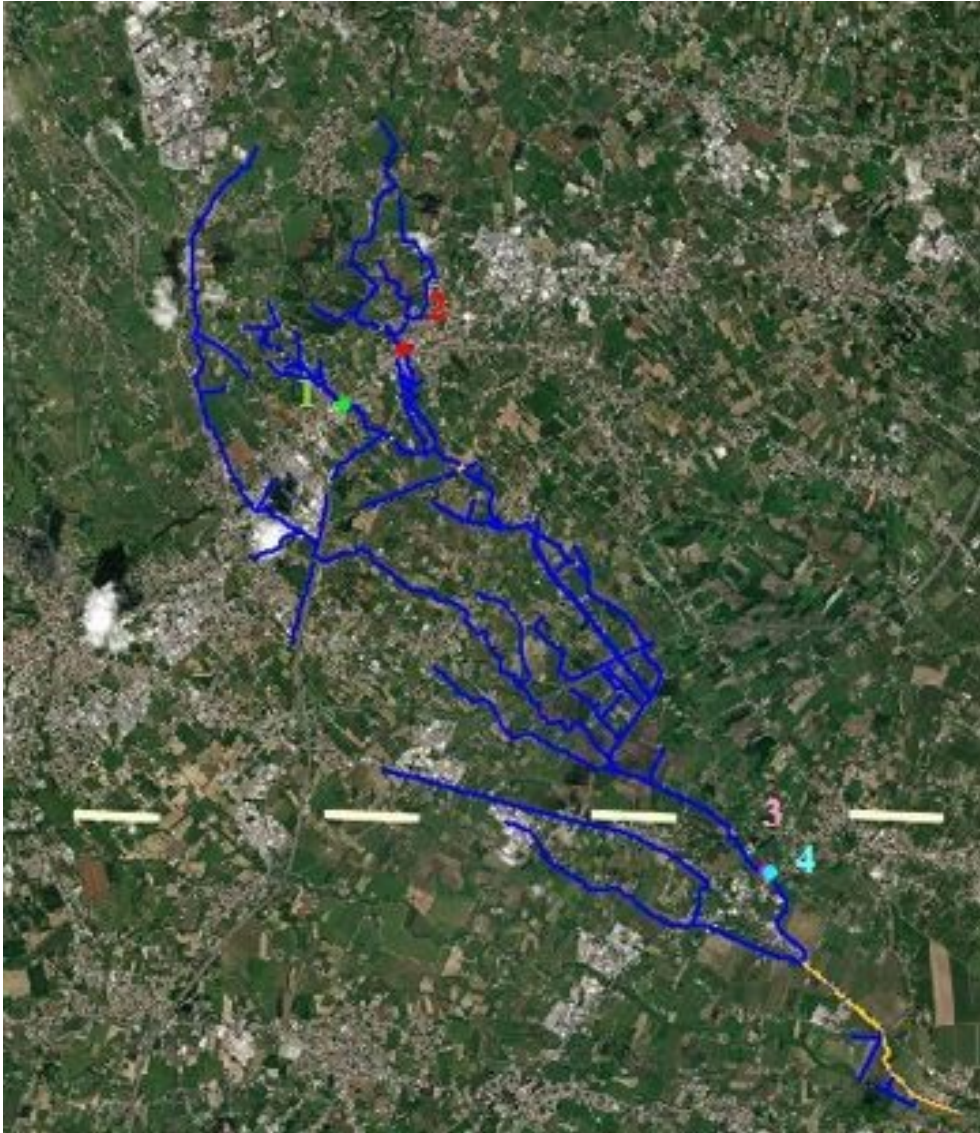


Figura 47: Collocazione, nel dominio, di punti di interesse.

Identificati, all'interno del dominio, i punti corrispondenti alle zone maggiormente coinvolte da esondazioni del Torrente Codolo (punti 1 e 2 di Figura 48) e dall'influenza del ponte presente in via XXX Ottobre (punti 3 e 4 di Figura 49) già per precipitazioni con tempo di ritorno pari a soli 10 anni, è possibile osservare quanto segue:

- Nel punto 2, posto in corrispondenza dell'abitato di San Fior, all'altezza della SS.13, si realizzano in alveo livelli fino a 57.17 m, prossimi al piano campagna circostante, con quota media di 57.40 m (Figura 48).

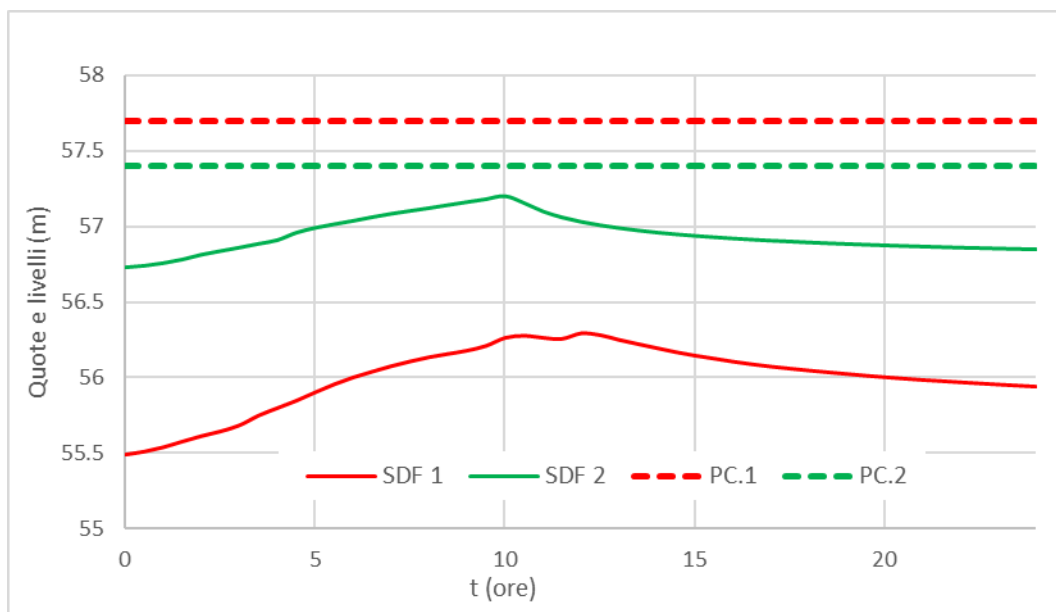


Figura 48: Quote e livelli punti 1 e 2 (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna).

- Nel punto 4, identificato con il ponte in via XXX Ottobre, il livello in alveo raggiunge la quota dell'impalcato, andando a generare un effetto di rigurgito, che però non giunge al punto 3, posto 40 m a monte dello stesso (Figura 49).

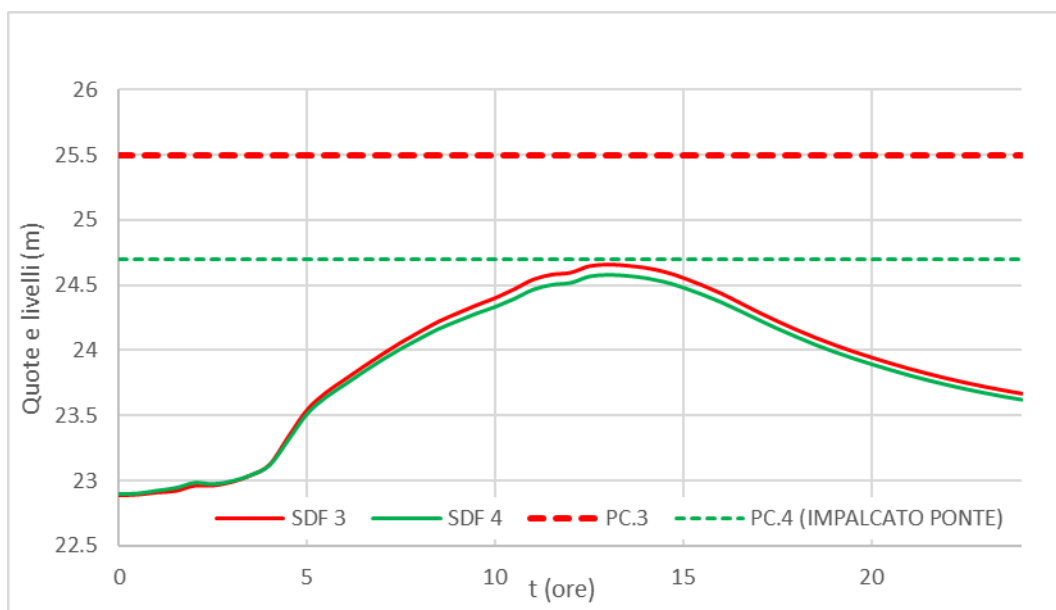


Figura 49: Quote e tiranti punti 3 e 4. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna).

In Figura 50 è possibile osservare i massimi tiranti che si realizzano, all'interno del dominio, per la simulazione in analisi. I canali sono stati sostituiti con i colori identificativi del tirante che si realizza negli stessi. In particolare, si verifica che, salvo alcune maglie circoscritte, che risultano bagnate per stagnazione della pioggia a causa della particolare conformazione del

terreno, non si verificano particolari fenomeni di allagamento dovuti all'esonazione del Torrente Codolo dall'alveo, pur avendo verificato la presenza di situazioni di criticità.

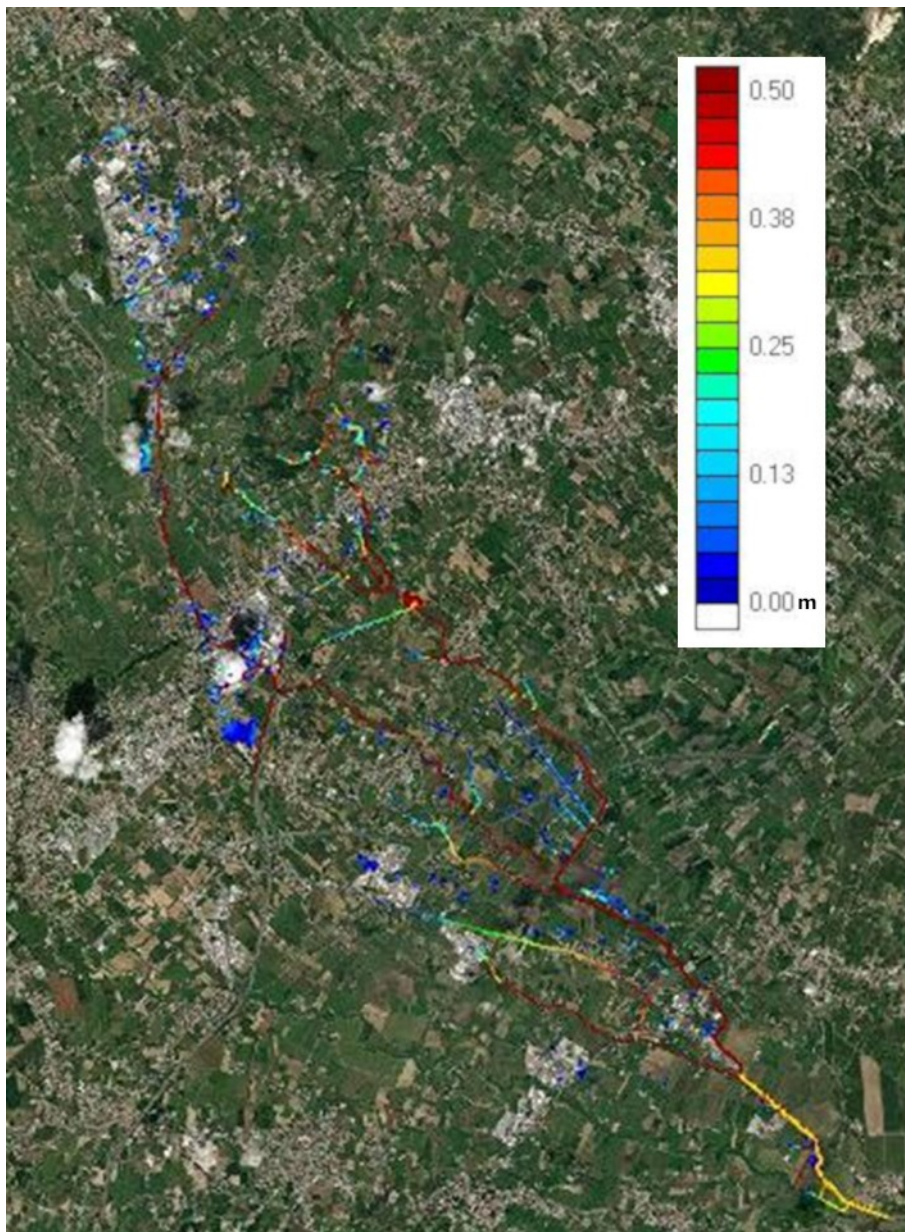


Figura 50: Tiranti interni al dominio per precipitazioni con $Tr=10$ anni.

Simulazione evento di precipitazione con $Tr = 50$ anni

I parametri della simulazione con precipitazione di tempo di ritorno pari a 50 anni sono:

- Durata precipitazione: 10 ore;
- Intensità di precipitazione: 13.25 mm/h;
- Durata simulazione: 24 ore.

In Figura 51 è possibile visualizzare gli idrogrammi per le sezioni proposte in precedenza (Figura 44). La portata massima, pari a circa $36.8 \text{ m}^3/\text{s}$, si verifica alla sezione 2. Tra le sezioni

4 e 5 si ha una riduzione di portata dovuta ai canali, presenti nel bacino, che scaricano portata al di fuori dello stesso.

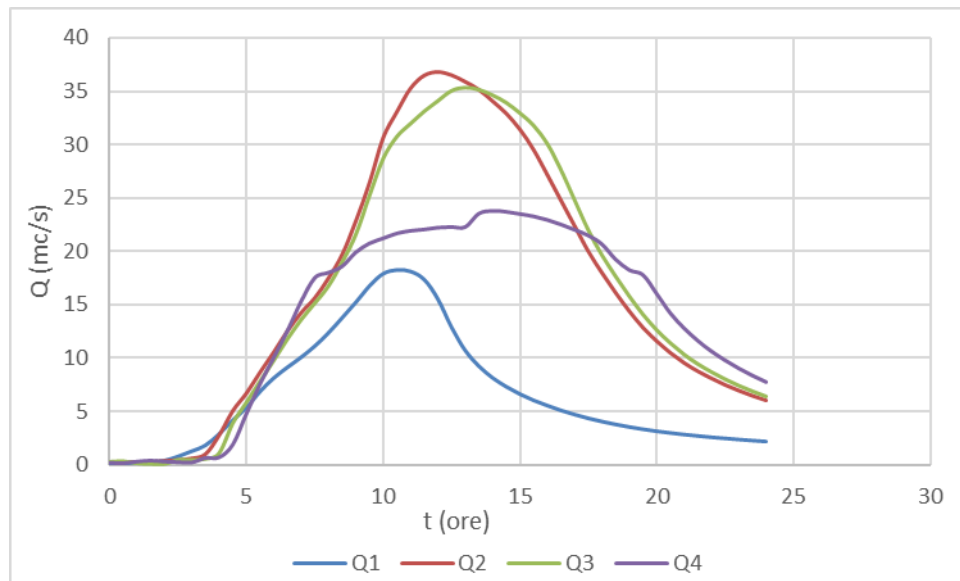


Figura 51: Idrogrammi per piogge con $Tr=50$ anni. (Le curve rappresentano la portata alle diverse sezioni di Figura 44).

Come fatto per il caso precedente, è possibile verificare che:

- Nel punto 2, posto in corrispondenza dell'abitato di San Fior, all'altezza della SS.13, si realizzano in alveo livelli superiori rispetto al piano campagna circostante, creando allagamenti della zona abitata; i livelli rimangono superiori al piano campagna per circa 2 ore (Figura 52).

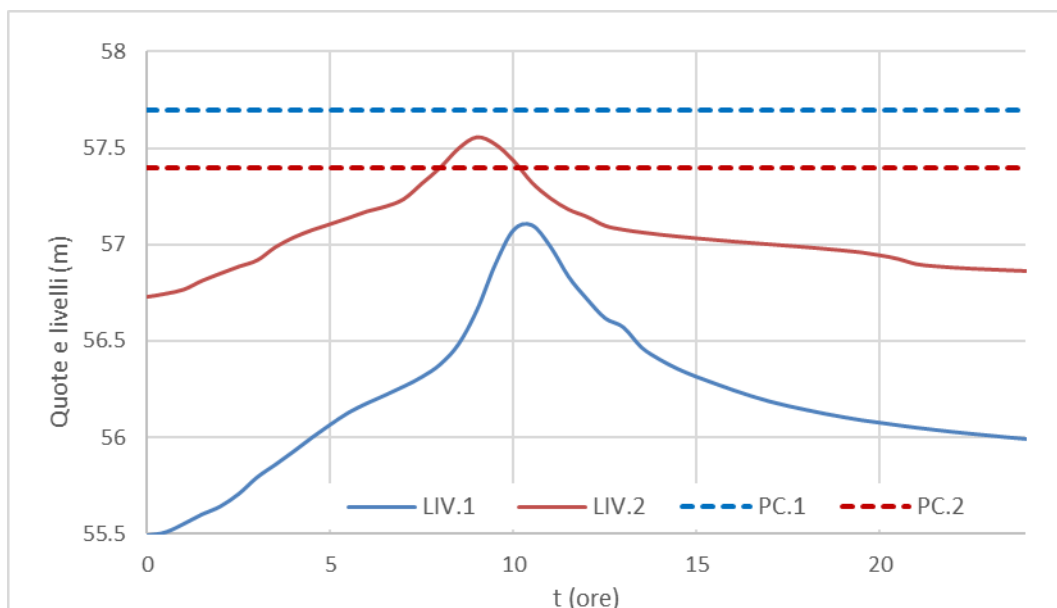


Figura 52: Quote e livelli punti 1 e 2. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna).

- Nel punto 4, identificato con il ponte in via XXX Ottobre, il livello in alveo supera la quota dell'impalcato di circa 30 cm, creando allagamenti sul piano stradale che durano più di 5 ore. L'effetto di rigurgito generato dal ponte si ripercuote verso monte (Figura 53).

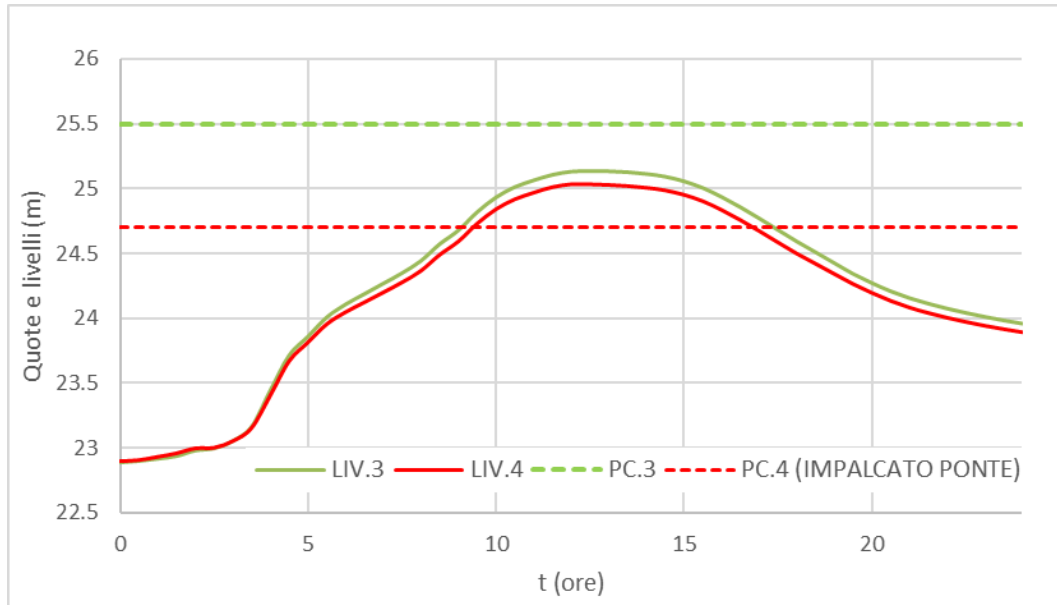


Figura 53: Quote e livelli punti 3 e 4. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna).

- nel tratto di valle del Torrente Codolo, in corrispondenza della sua immissione nel Monticano, l'acqua raggiunge il livello degli argini, talvolta superandoli (Figura 54).



Figura 54: Argini sormontati (in rosso) per evento con Tr 50 anni.

In Figura 55 è possibile osservare i massimi tiranti che si realizzano, all'interno del dominio, per la simulazione in analisi. Come nel caso precedente, è possibile verificare la presenza di porzioni circoscritte di terreno allagate a causa della precipitazione di progetto, della conformazione del terreno e/o di una scarsa capacità di drenaggio della rete di canali secondari (di cui, si precisa, sono stati rappresentati solo gli elementi principali).

Per l'evento generato da una precipitazione con tempo di ritorno di 50 anni, si verificano significativi allagamenti, esposti più nello specifico nelle immagini che seguono, in cui la scala grafica per i tiranti è sempre quella vista in Figura 55. In particolare, come visibile in Figura 56, si hanno importanti allagamenti presso l'abitato di San Fior di Sotto, a valle della confluenza dei due affluenti nel T. Codolo. Le principali aree allagate si realizzano a monte della ferrovia, nell'area depressa del piano campagna, in corrispondenza della zona identificata per la realizzazione di uno dei bacini di laminazione. La situazione di criticità del Codolo permane fino al centro abitato di San Fior di Sotto, dove si ha esondazione del torrente con tiranti sul piano stradale di circa 30.00 cm.

Procedendo verso valle si identifica una seconda zona allagata, di notevole estensione, a monte dell'autostrada Conegliano-Pordenone, nella frazione di Levada. Le cause dell'esondazione

sono da imputare, oltre alla configurazione del corso d'acqua e del terreno circostante, alla presenza del rilevato dell'autostrada, con relativo attraversamento, che ostacola il deflusso verso valle dell'acqua. Ugualmente accade a valle dell'autostrada, in cui entra in gioco anche l'influenza di un canale della rete secondaria.

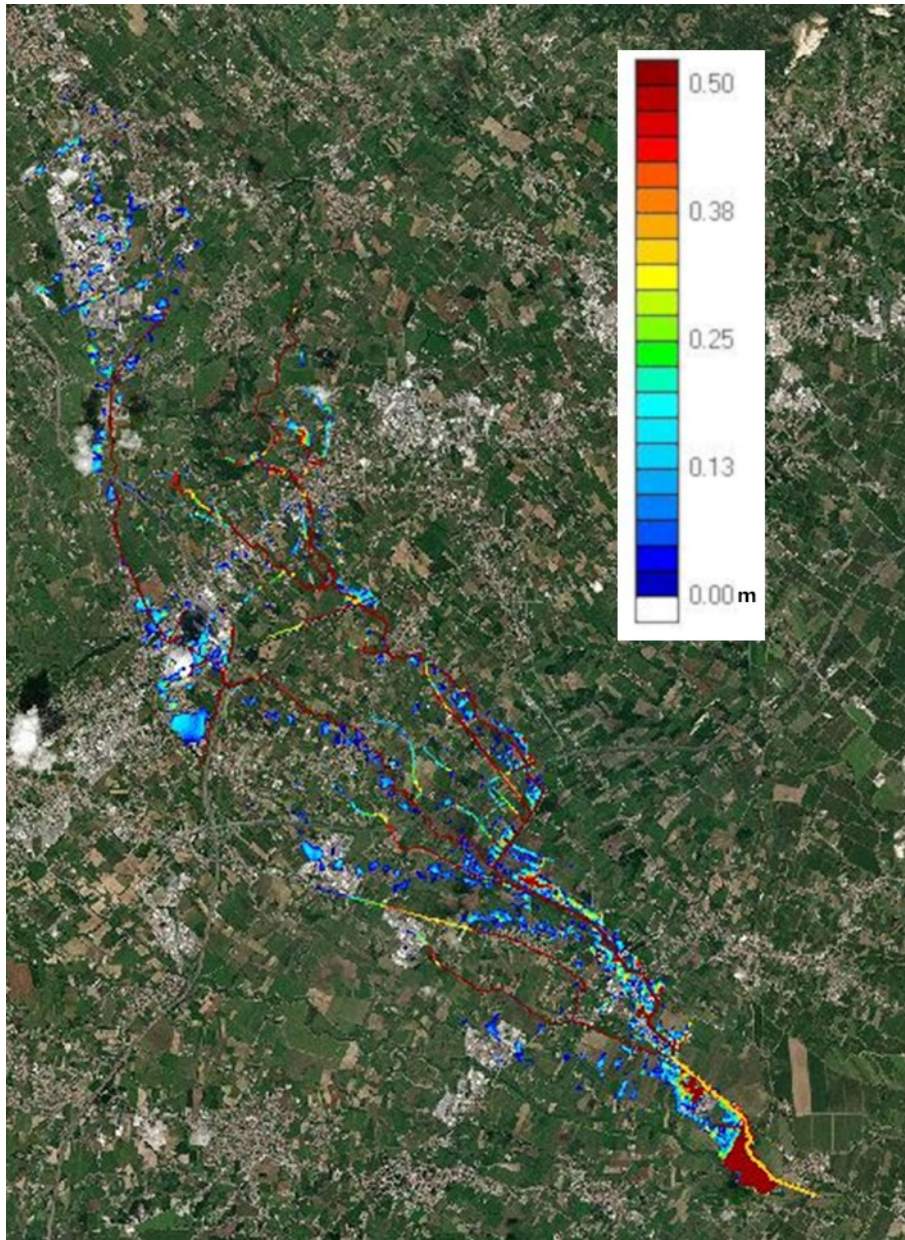


Figura 55: Tiranti per precipitazione con $Tr=50$ anni.

Infine, si verificano gli effetti della presenza del ponte di via XXX Ottobre, già esposti in precedenza e visibili in Figura 58 (in alto) e della confluenza del Torrente Codolo nel Monticano (in basso). In particolare, nel secondo caso l'allagamento del piano campagna è dato in parte dalla tracimazione del Codolo ed, in parte, dall'incapacità della superficie di drenare la portata che vi transita. In particolare, i terreni coltivati presenti in destra idrografica al Codolo sono contenuti tra gli argini del Codolo stesso e degli arginelli presenti lungo il Monticano.

Questo fa sì che le precipitazioni sui terreni, così come le portate tracimate dal torrente, vengano stoccate sul piano campagna, dove i due canali di scolo presenti, pur di dimensioni non trascurabili, non sono in grado di accogliere e scaricare all'esterno dell'area tutta la portata presente sulla superficie. I tiranti che si realizzano al di sopra del piano campagna superano il metro.

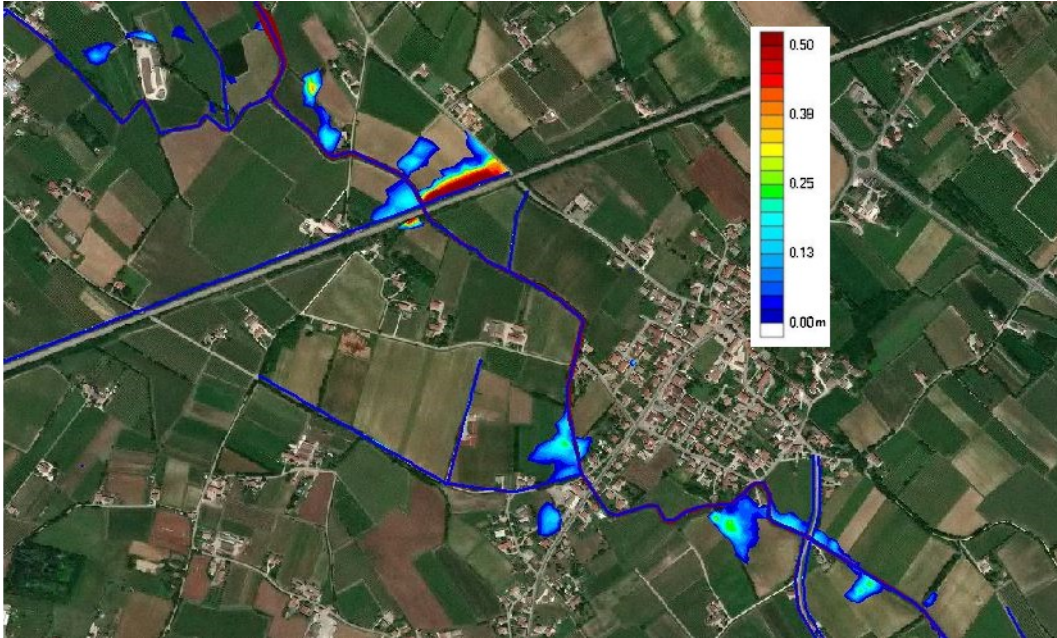


Figura 56: Allagamenti presso l'abitato di San Fior di Sotto.



Figura 57: Allagamenti lungo l'autostrada Conegliano-Pordenone.

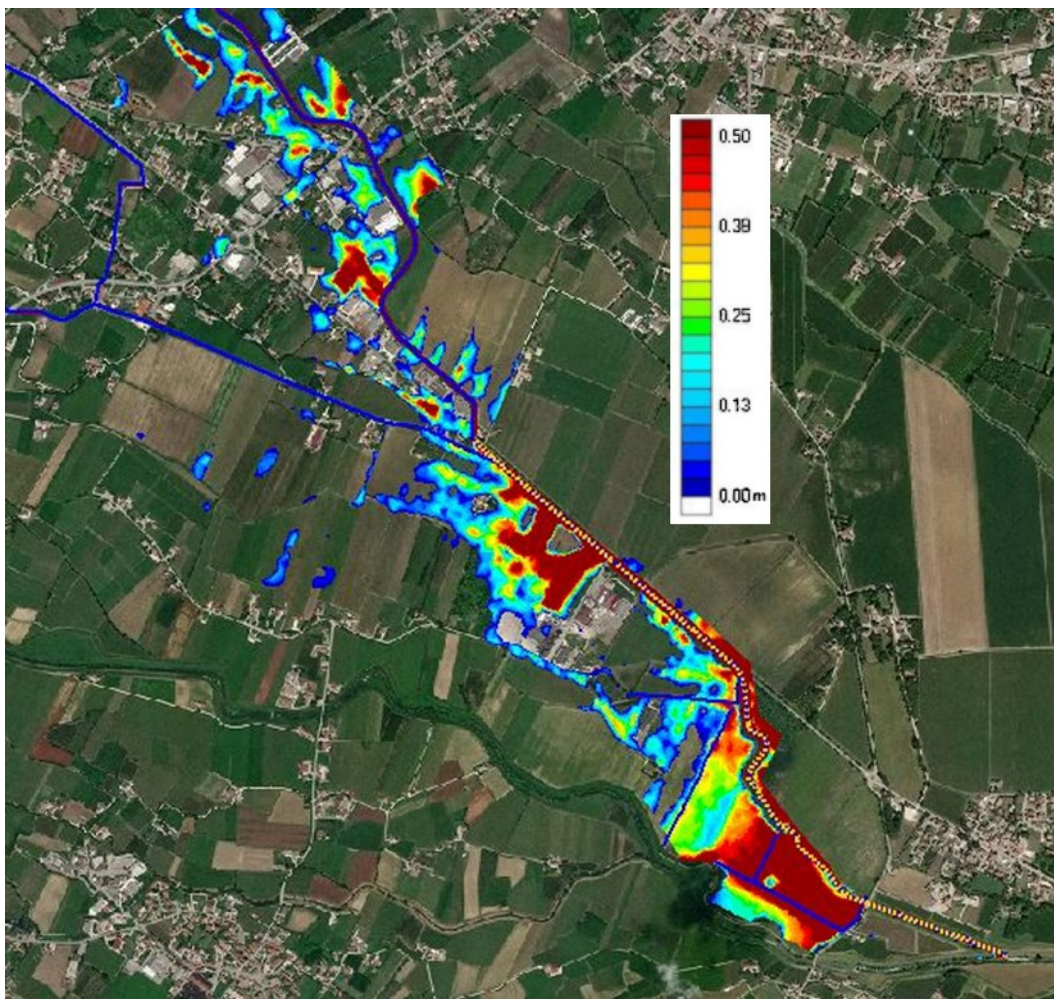


Figura 58: Allagamenti in corrispondenza della confluenza del Codolo nel Monticano.

4.4.2. Simulazioni dello stato di progetto e confronti

Successivamente, è stato simulato lo stato di progetto.

Come anticipato al paragrafo 4.2.2, per il bacino a Nord della ferrovia sono state valutate diverse soluzioni operative. In particolare, in virtù di quanto esposto ai capitoli precedenti circa le criticità idrauliche diffuse e le frequenti alluvioni che hanno coinvolto il territorio, anche in epoca recente, si è ritenuto di simulare il funzionamento del bacino progettando l'apertura della paratoia in riferimento sia ad eventi di precipitazione con tempo di ritorno di 50 anni, che per eventi con tempo di ritorno di 10 anni.

Come dimostrato al paragrafo precedente, infatti, eventi con tempo di ritorno di 10 anni, pur non generando importanti allagamenti del piano campagna, sono sufficienti a far sì che, in alcune sezioni del dominio, si realizzino le condizioni critiche per il torrente. Nell'ottica di ridurre la pericolosità del Codolo e le esondazioni sempre più frequenti negli ultimi anni, potrebbe essere corretto prevedere l'utilizzo del bacino già per eventi con tempo di ritorno ridotto. Scegliendo questo criterio di progettazione, però, qualora all'evento di progetto

seguisse una nuova precipitazione che trovasse, quindi, il bacino già pieno o se si verificasse un evento con tempo di ritorno superiore a quello di progetto, durante il quale la cassa si riempirebbe senza però laminare il picco di piena, la cassa risulterebbe poco efficiente.

Contrariamente, perseguendo il criterio di progettazione “standard”, secondo cui sia corretto far entrare in funzione la cassa solo per eventi che generino portata superiore a quella naturalmente gestibile dal corso d’acqua, l’apertura della paratoia del bacino di valle deve essere progettata sulla base dell’evento con tempo di ritorno di 50 anni. In questo caso, contrariamente al precedente, il bacino non verrà riempito per eventi con tempo di ritorno 10 anni – come già detto, gestibili in autonomia dal torrente, anche se non in sicurezza – riservando il volume disponibile in cassa per eventi con tempo di ritorno superiore. Nello specifico caso qui considerato, l’applicazione di questo secondo criterio potrebbe operare a discapito dei punti critici sopra identificati, per i quali sarebbe sufficiente il verificarsi di un evento con tempo di ritorno appena superiore ai 10 anni perché il tirante idraulico vada a coinvolgere il piano campagna in pieno centro abitato.

Seguono i risultati ottenuti applicando entrambi i criteri proposti.

Per determinare il livello da mantenere a valle della cassa, si è considerata la portata massima che si ritiene possa transitare nelle prime sezioni a valle della stessa, definita pari a circa $6 \text{ m}^3/\text{s}$ e $12 \text{ m}^3/\text{s}$, a seconda che si scelga di mantenere o meno il franco di sicurezza. I due valori di portata, ed il rispettivo tirante alla sezione del Codolo subito a valle delle opere di scarico della cassa, sono stati utilizzati per progettare la cassa per eventi con tempo di ritorno rispettivamente di 10 e 50 anni.

Definito un tirante di valle di primo tentativo, si sono svolte 7 simulazioni con valori variabili in un intorno dello stesso, al fine di identificare quello ottimale – per le precise condizioni imposte e/o semplificazioni fatte nel modello – nel caso di progettazione riferita alla precipitazione con Tr 10 o 50 anni. I valori simulati sono quelli visibili nella tabella che segue, in cui Vn indica la coppia di livelli utilizzati per ogni rispettiva simulazione.

I risultati ottenuti dalle simulazioni si possono vedere nelle immagini che seguono. In Figura 59 e Figura 60 si osservano rispettivamente i risultati in termini di portate in ingresso e uscita dalla cassa e di volumi trattenuti in cassa per l’evento generato da precipitazione con tempo di ritorno 10 anni. Ugualmente, in Figura 61 e Figura 62 sono riportati i risultati per l’evento generato da precipitazione con tempo di ritorno 50 anni.

Il funzionamento delle paratoie così impostate è tale che esse rimangano aperte fintanto che il tirante nel Codolo a valle della cassa sia inferiore al valore limite imposto e si chiudano, invece,

quando questo sia superiore, andando ad immagazzinare acqua nel bacino. Il livello delle paratoie di scarico è stato imposto 0.4 m al di sotto di quello della paratoia centrale.

CODICE SIMULAZIONE	LIVELLO DA MANTENERE (m s.l.m.)	
	PARAT. CENTRALE	PARAT. SCARICO BACINI
V1	45.2	44.8
V2	45.4	45.0
V3	45.5	45.1
V4	45.8	45.4
V5	46.1	45.7
V6	46.3	45.9
V7	46.5	46.1

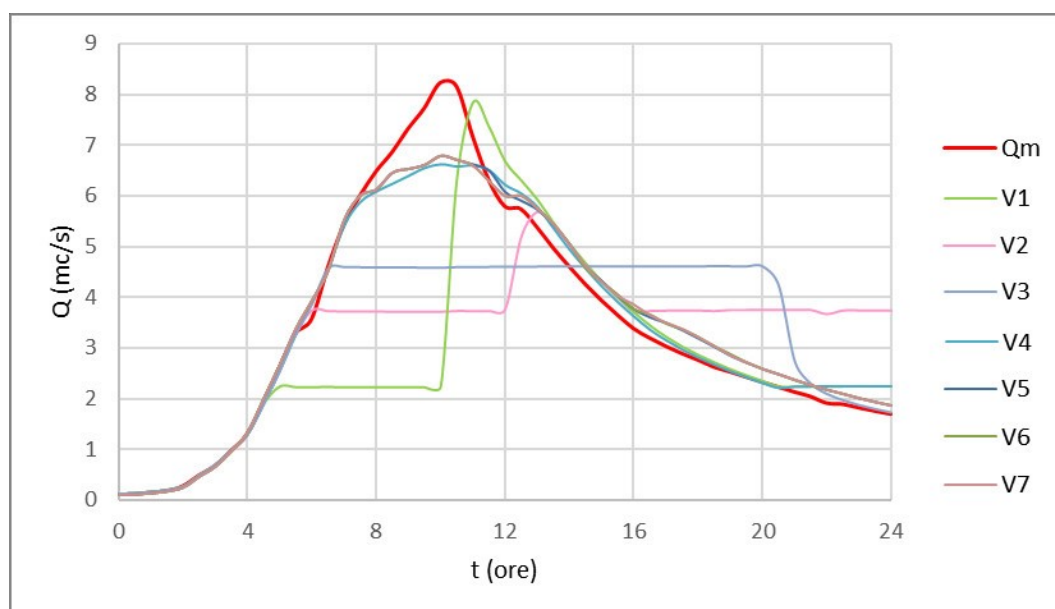


Figura 59: Andamento delle portate nel tempo per diversi livelli di valle, per evento con TR=10 anni. (Portata a monte della cassa in rosso; le altre curve rappresentano portata a valle della cassa per diversi codici simulazione.)

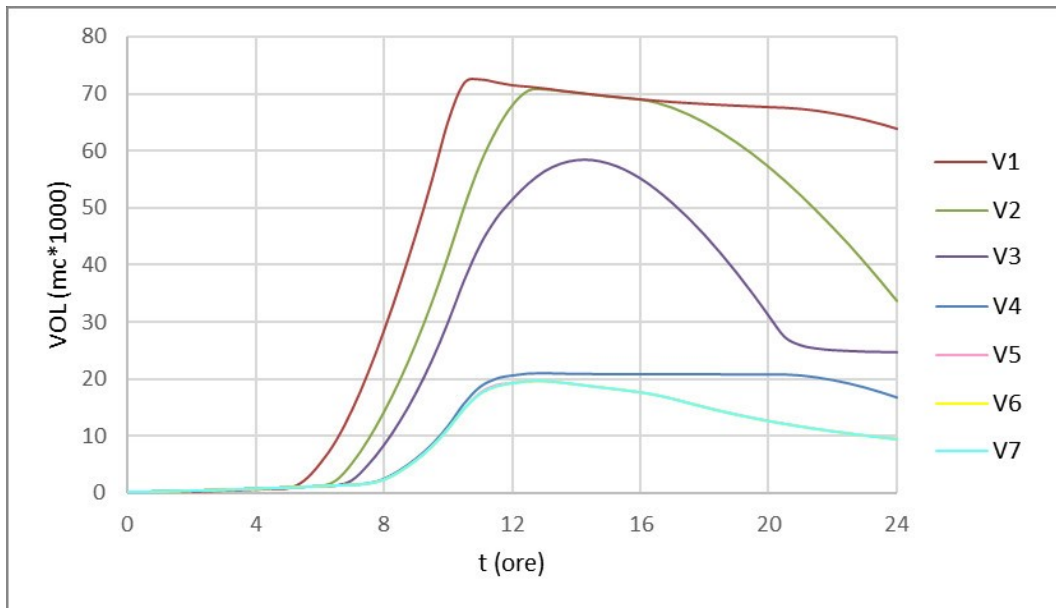


Figura 60: Andamento del volume invasato nel tempo nel bacino per diversi livelli di valle per evento con $TR=10$ anni. (Le curve rappresentano il volume trattenuto in cassa per diversi codici simulazione)

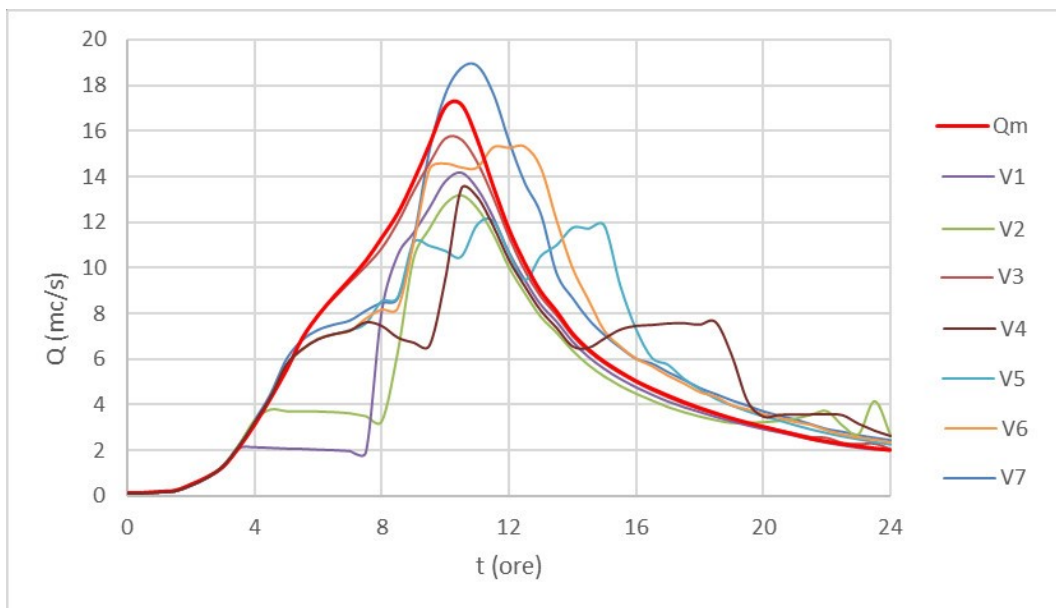


Figura 61: Andamento delle portate nel tempo per diversi livelli di valle per evento con $TR=50$ anni. (Portata a monte della cassa in rosso; le altre curve rappresentano portata a valle della cassa per diversi codici simulazione).

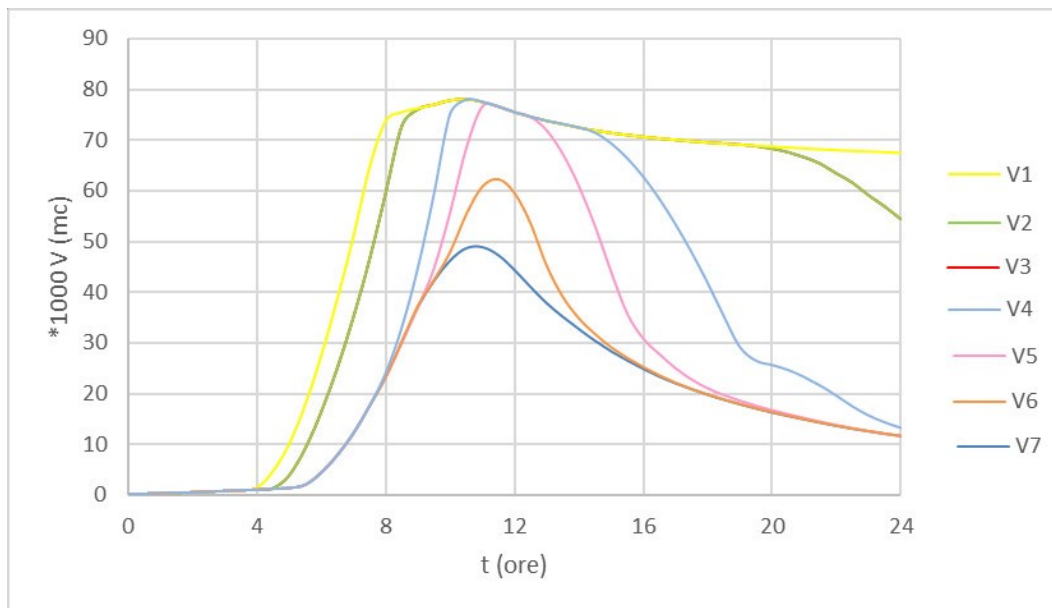


Figura 62: Andamento del volume invasato nel bacino per diversi livelli di valle per evento con $TR=50$ anni. (Le curve rappresentano il volume trattenuto in cassa per diversi codici simulazione)

Visti i risultati in termini di volumi e portate, tra i vari valori simulati, si è deciso di utilizzare la coppia di valori $V3$ per la progettazione con tempo di ritorno 10 anni e la coppia $V5$ per quella di 50 anni.

4.4.2.1. Bacino di valle progettato per $Tr=10$ anni

Evento generato da precipitazione con $Tr=10$ anni

Bacino sull'affluente Codolo 2. Precipitazioni con $Tr=10$ anni generano, in ingresso e uscita dal bacino, le portate visibili in Figura 63. In particolare, come si può osservare nel grafico, per la particolare collocazione del bacino, situato esattamente alle prime sezioni di monte del torrente Codolo, le portate in arrivo alla sezione di controllo sono particolarmente ridotte. Di conseguenza, l'intera portata riesce a transitare, senza evidente laminazione, attraverso la paratoia.

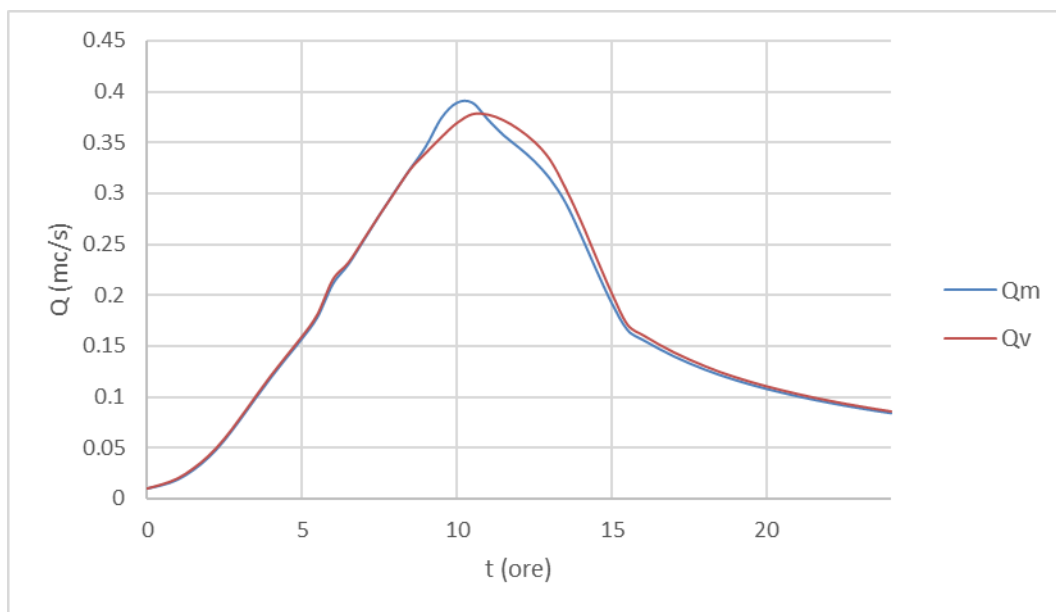


Figura 63: Portate a monte (Q_m) e valle (Q_v) del bacino sull'affluente Codolo 2.

Coerentemente con la ridotta portata, anche il volume trattenuto è limitato e pari a 224 m^3 .

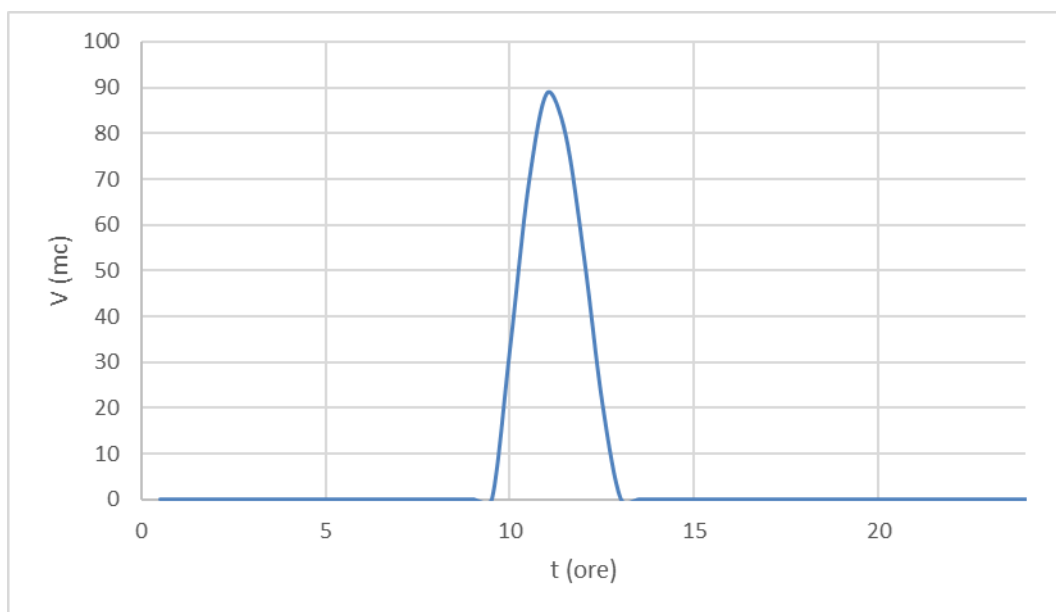


Figura 64: Volume bacino sull'affluente Codolo 2.

Bacino a San Fior di Sopra. Precipitazioni con $T_r=10$ anni generano, in ingresso e uscita dal bacino, le portate visibili in Figura 65. La cassa lamina circa $\frac{0.7 \text{ m}^3}{\text{s}}$.

L'entità ridotta delle portate è dovuta alla stessa ragione del bacino precedente, con la differenza che, in questo caso, sono presenti alcuni apporti da canali appartenenti alla rete secondaria, che scaricano già in testa al Codolo.

Il volume massimo invasato è pari a 3000 m^3 (Figura 66) ed il rispettivo tirante massimo è pari a 57.87 m , su un piano campagna con quota media pari a 57.50 m (Figura 66).

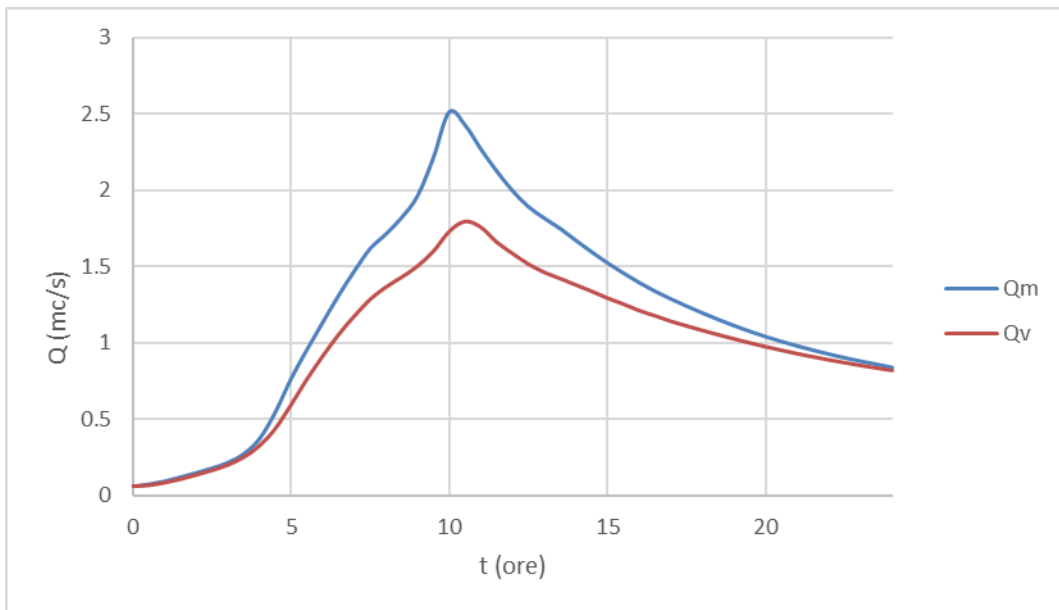


Figura 65: Portate a monte (Q_m) e valle (Q_v) del bacino San Fior di Sopra.

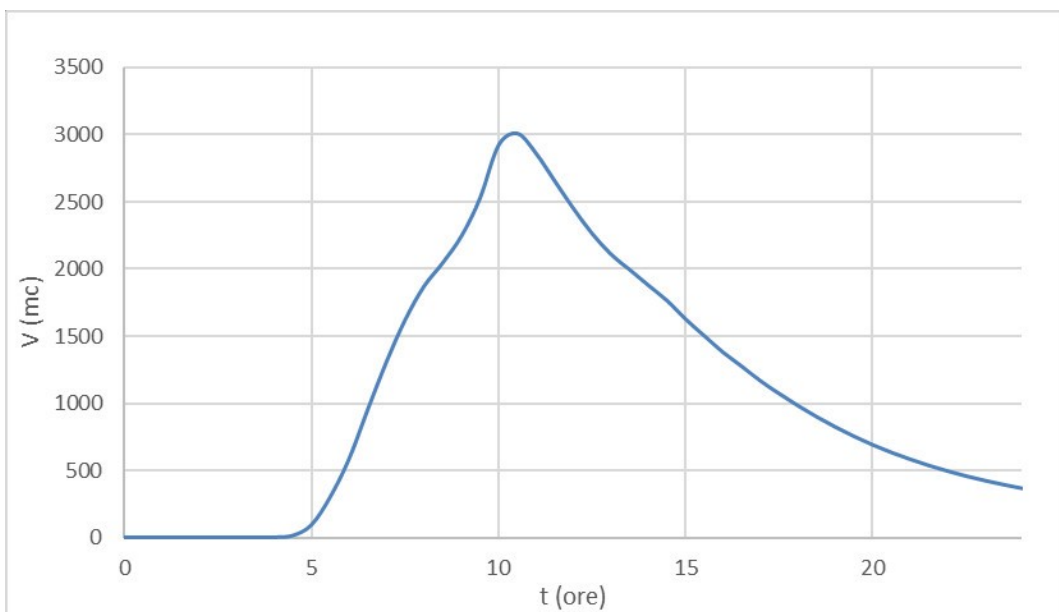


Figura 66: Volume bacino San Fior di Sopra.

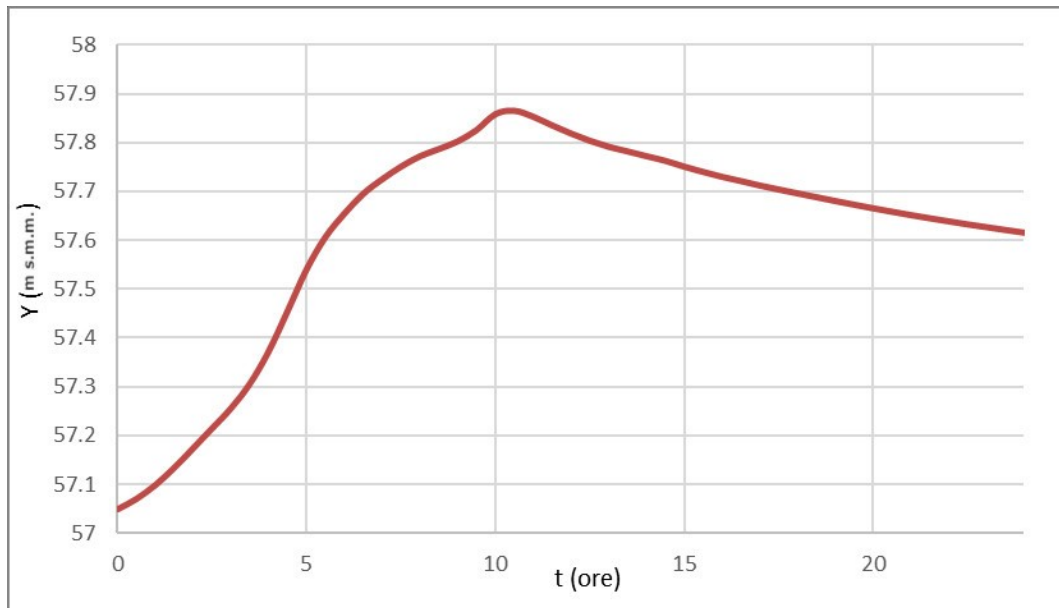


Figura 67: Livello bacino San Fior di Sopra.

Bacino a Nord della Ferrovia. Nel caso di evento generato da precipitazione con tempo di ritorno di 10 anni e bacino progettato per $T_r=10$ anni, le portate che si realizzano a monte e valle della cassa sono visibili in Figura 68. Al picco, la cassa lamina circa $\frac{4.5 m^3}{s}$, andando perfettamente a tranciare il picco della piena.

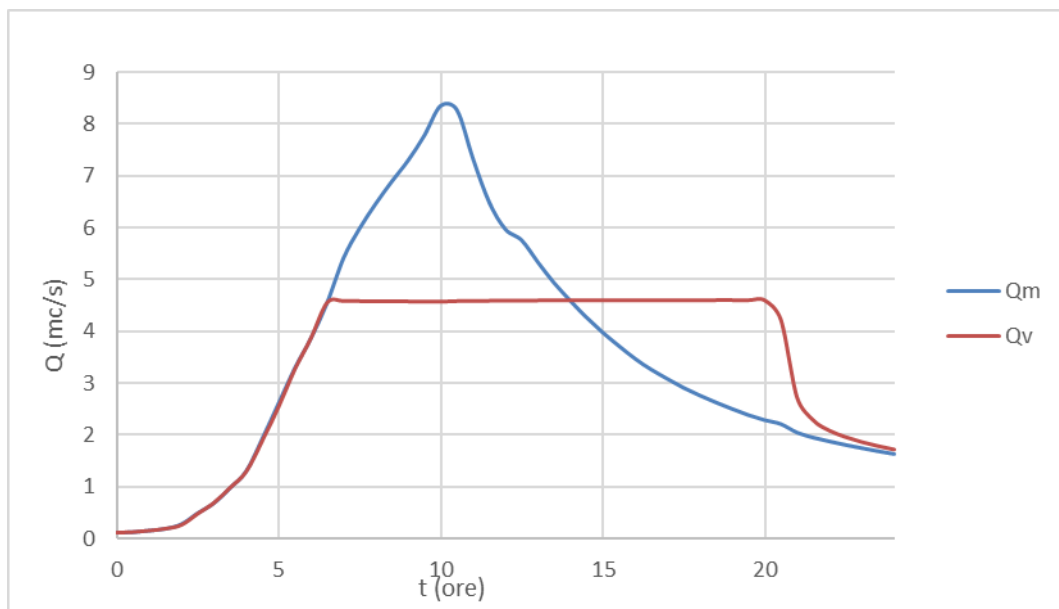


Figura 68: Portate di monte (Q_m) e valle (Q_v) al bacino a Nord della ferrovia.

Il volume massimo invasato nel bacino è pari $58000 m^3$, inferiore al massimo volume invasabile, definito in fase di progettazione pari a $66000 m^3$. In Figura 69 è possibile osservare che il volume invasato risulta massimo a 14 ore dall'inizio della simulazione, 3 ore e mezzo

dopo l'arrivo del picco della piena a monte degli sfioratori in ingresso; le 10 ore rimanenti di simulazione non sono sufficienti al totale vuotamento del bacino.

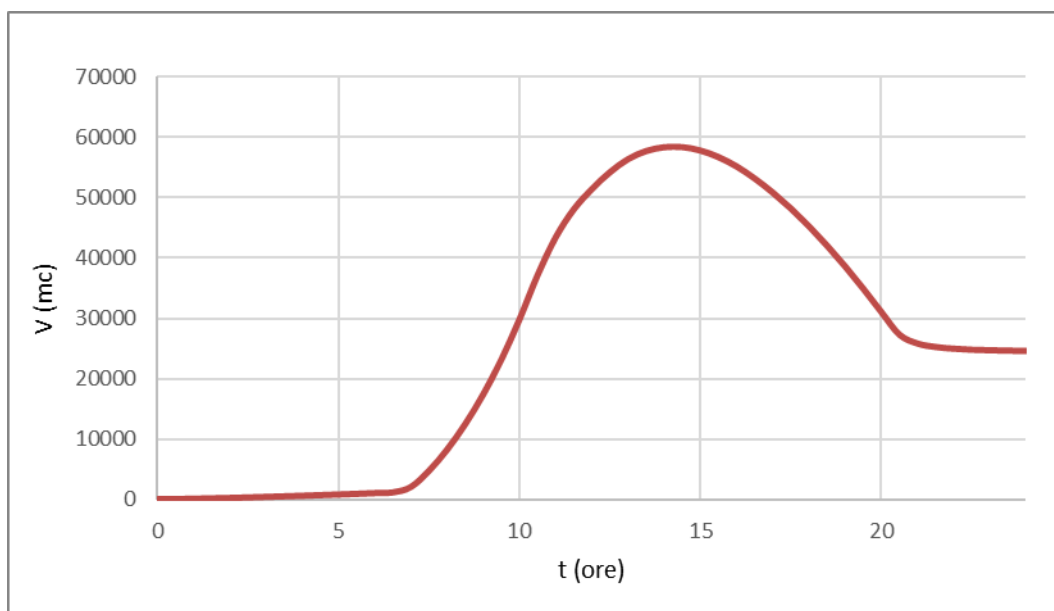


Figura 69: Volume bacino nord ferrovia.

I livelli che si realizzano all'interno dei due sottobacini sono visibili in Figura 70. Si nota che essi non sono sufficienti ad attivare gli sfioratori di scarico, posti a quota 47.00 m s.l.m.

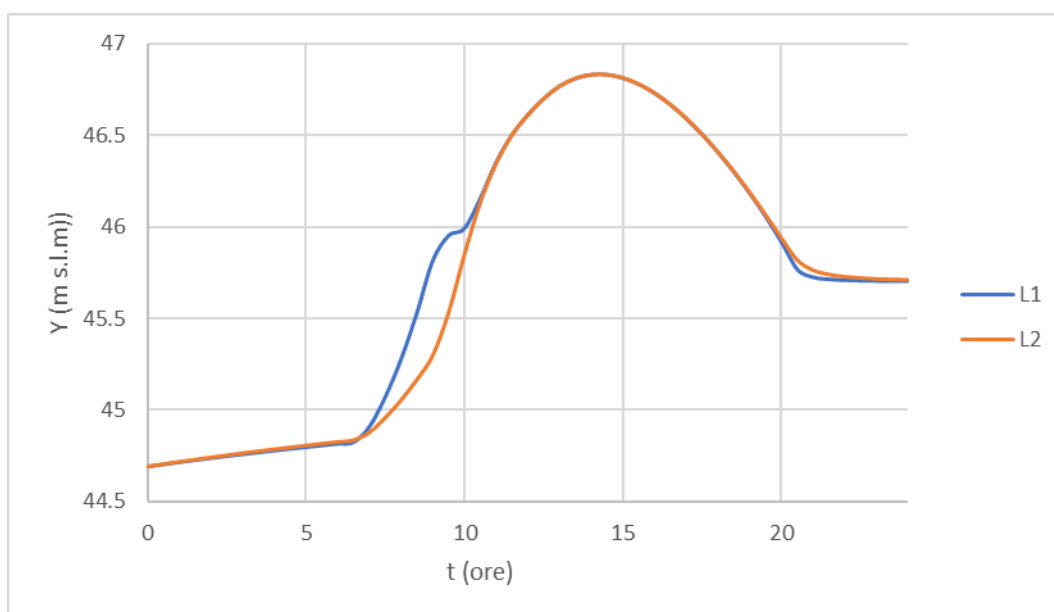


Figura 70: Livelli bacino nord ferrovia, per la porzione di bacino in destra (L1) e sinistra (L2) idrografica.

Infine, in Figura 71 è possibile osservare le portate transitanti attraverso i manufatti di regolazione di valle. Si può osservare che risultano nulla le portate sfiorate, sia dallo sfioratore centrale (SF.CE) posto in sommità alla paratoia, che degli sfioratori di scarico dei sottobacini (SF.DX e SF.SX.). La paratoia centrale (PAR.CE.), posta in alveo, rimane aperta nel momento

di picco della piena, regolata in autonomia per lasciare transitare a valle solo la portata corrispondente al livello di progetto.

L'andamento delle portate transitanti attraverso gli sfioratori che deviano portata dall'alveo verso il volume a disposizione (SF.AL—DX e SF.AL-SX) evidenzia che la porzione di bacino in destra idraulica al Codolo, di estensione minore, si riempie per prima, presentando una riduzione nella portata sfiorata a quasi 10 ore dall'inizio della simulazione, ma prima dell'arrivo del picco di piena, a causa di un rigurgito dal bacino che si verifica perché in cassa si realizza un livello superiore alla quota dello sfioratore. Con l'aumento del tirante in alveo, la portata sfiorata torna ad aumentare. Questo comportamento risulta coerente con l'andamento dei tiranti che si realizzano in cassa (L1 in Figura 70). A circa 15 ore dall'inizio della simulazione, la portata sfiorata diventa negativa, ad indicare portata che passa dai bacini all'alveo del Codolo. Si osserva quindi che il bacino si vuota attraverso la paratoia centrale, piuttosto che dalle paratoie di scarico; il livello a valle risulta ancora troppo alto per aprire le paratoie dei due sottobacini.

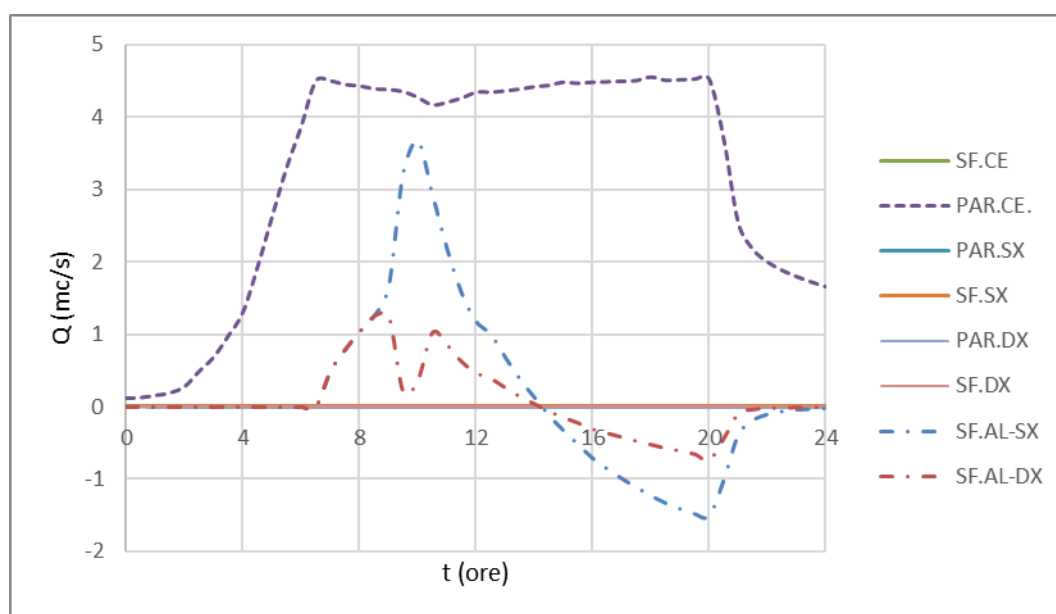


Figura 71: Andamento nel tempo delle portate transitanti attraverso i manufatti di regolazione. Si osservano la portata che transita attraverso la paratoia centrale (PAR.CE.) e lo sfioratore in sommità alla stessa (SF.CE.), nonché le portate attraverso le paratoie (PAR.DX e PAR.SX) e gli sfioratori (SF.DX e SF.SX) delle porzioni di bacino in destra e sinistra idrografica rispettivamente. Le curve tratto-punto rappresentano la portata sfiorata nel tempo dall'alveo alla porzione di bacino in destra (SF.AL-DX) e sinistra (SF. AL-SX) idrografica

In fase di progettazione sarebbe stato possibile effettuare un'analisi sulla quota di apertura delle due paratoie minori, cercando di ottimizzare il vuotamento del bacino. In questo elaborato, dato il grande numero di semplificazioni e supposizioni poste alla base del modello, si è ritenuto superflua una tale analisi. Si è quindi definita la quota di attivazione delle paratoie minore 0.4m

sotto quella della paratoia centrale, con l'unico obiettivo di evitare fenomeni di rigurgito che facessero entrare portata dal Codolo alla cassa attraverso le paratoie stesse, andando a sottrarre volume alla laminazione.

Nel caso di evento generato da precipitazione con tempo di ritorno di 10 anni, gli idrogrammi che si realizzano alle sezioni considerate in precedenza (Figura 44) sono visibili Figura 72, in cui sono poste a confronto con i rispettivi valori per lo stato di fatto. Vengono proposti solo i risultati relativi alle sezioni a valle dei bacini.

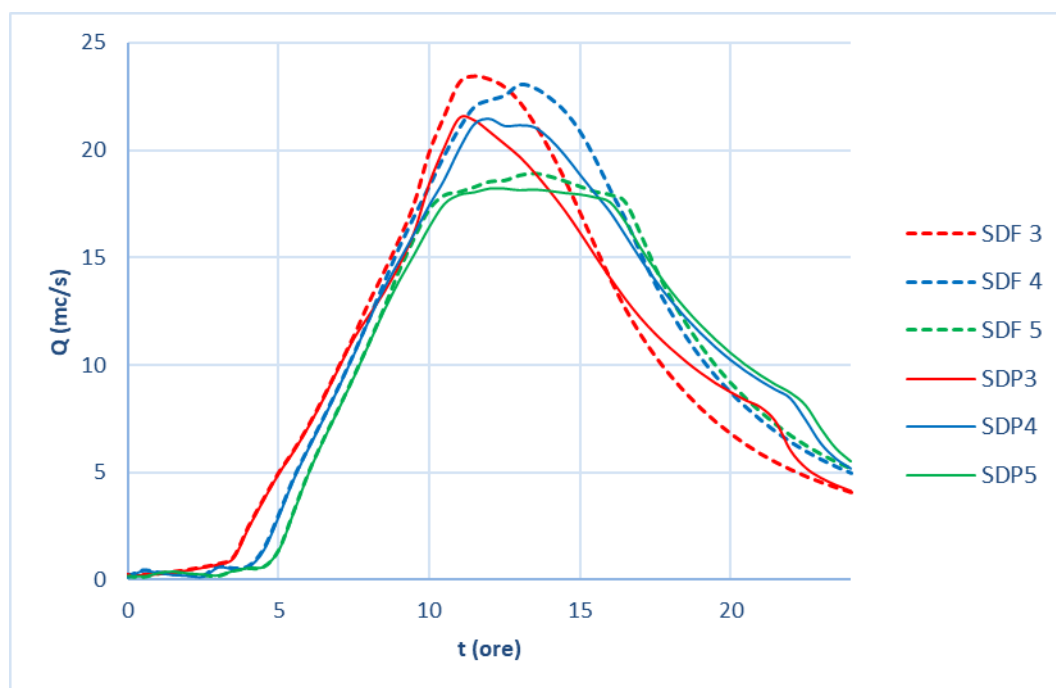


Figura 72: Andamento delle portate nel tempo; confronto tra stato di fatto (tratteggiate) e di progetto (continue) alle sezioni di Figura 44.

Osservando gli stessi punti analizzati in Figura 52 e Figura 53, è possibile osservare che per i punti 1 e 2, a valle dei bacini di monte, non si hanno rilevanti variazioni nei tiranti, a causa dei ridotti volumi invasati nei bacini, come esposto al paragrafo seguente (Figura 73).

Contrariamente, i punti 3 e 4 presentano riduzione dei livelli, grazie alla presenza del bacino di laminazione a Nord della ferrovia. In particolare, questi punti molto prossimi alla sezione di chiusura del bacino e quindi lontani dai bacini di laminazione, presentano riduzione dei tiranti ridotta a causa dei numerosi nuovi apporti di portata che si verificano tra il bacino di valle e la sezione di chiusura del Codolo e che vanno ad influire in modo significativo sui tiranti che si presentano in alveo. Ciononostante, risulta eliminato il fenomeno di rigurgito creato dal ponte di Via XXX Ottobre, principalmente grazie all'aumento della quota sottotrave dello stesso (Figura 74).

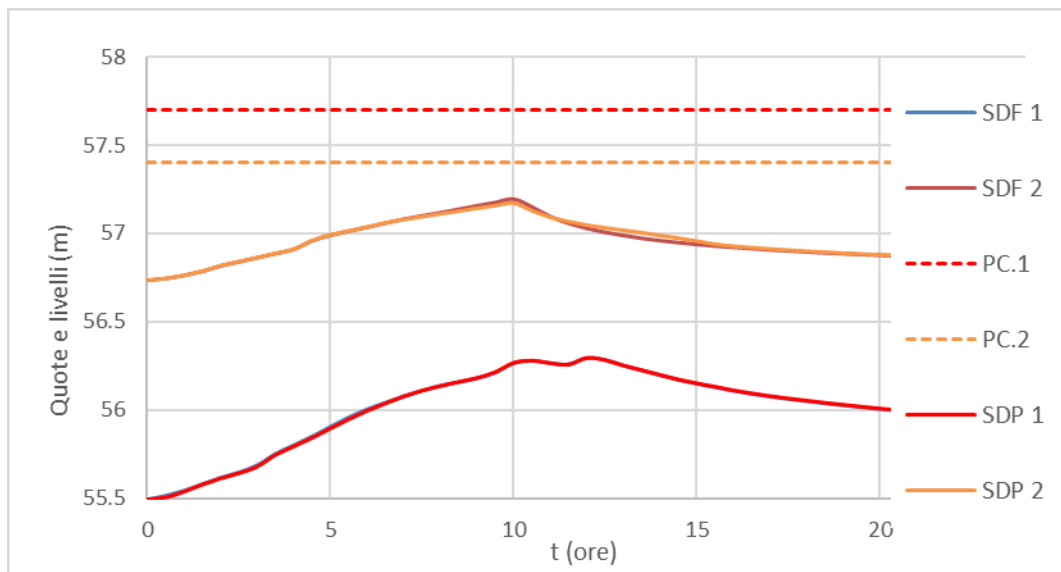


Figura 73: Quote e livelli ai punti 1 e 2 di Figura 47. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna per stato di fatto SDF e di progetto SDP).

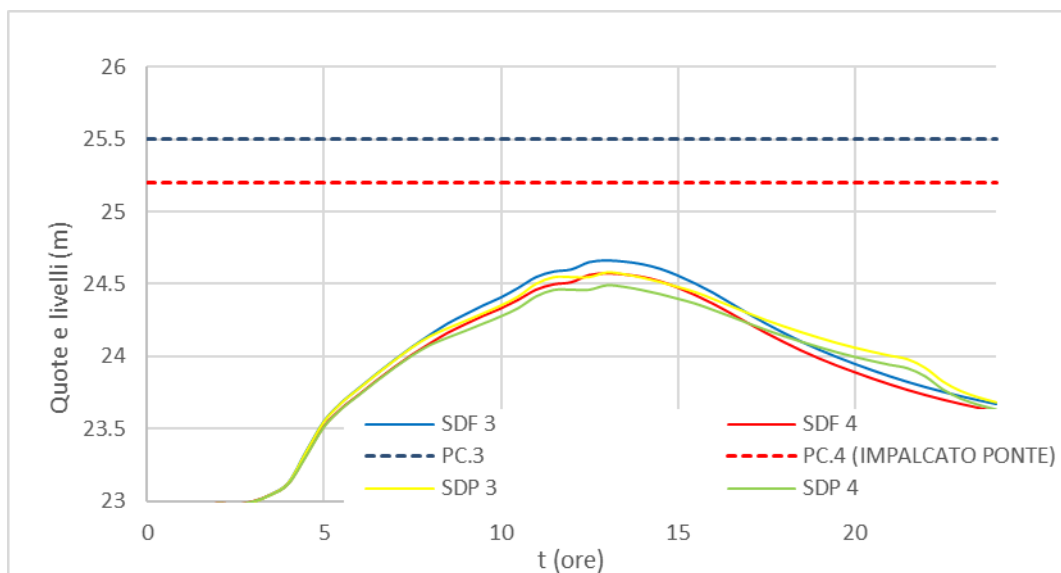


Figura 74: Quote e livelli ai punti 3 e 4 di Figura 47..(Le linee continue indicano i livelli raggiunti nello stato di fatto SDF e di progetto SDP, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna).

I tiranti che si realizzano all'interno del dominio sono molto simili a quelli dello stato di fatto e visibili in Figura 75.

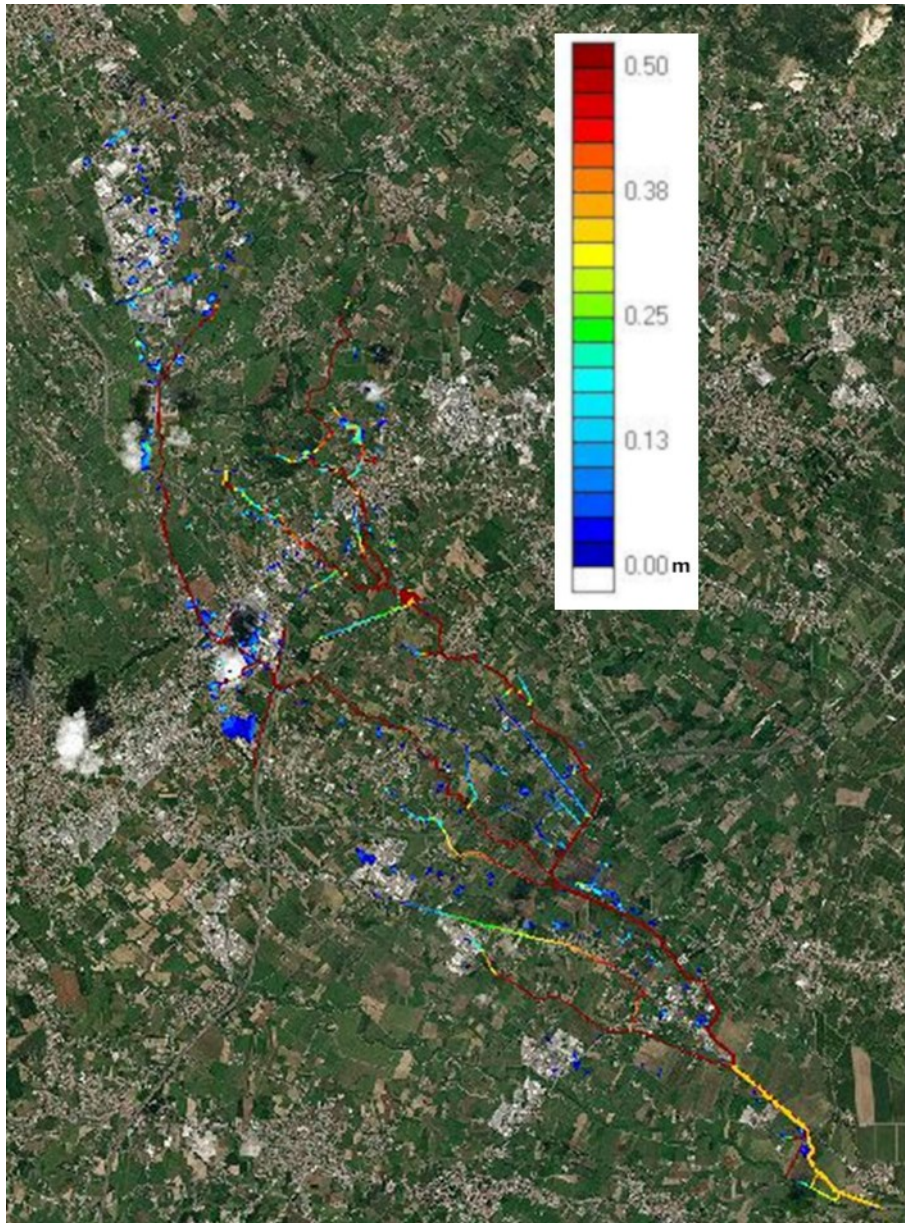


Figura 75: Tiranti per SDP Tr=10 anni.

Evento generato da precipitazione con Tr=50 anni.

Bacino affluente Codolo 2. Precipitazioni con Tr=50 anni generano, in ingresso e uscita dal bacino, le portate visibili in Figura 76. In particolare, come si può osservare nel grafico, per la particolare collocazione del bacino, situato esattamente alle prime sezioni di monte del torrente Codolo, le portate in arrivo alla sezione di controllo sono particolarmente ridotte. Ugualmente, la laminazione operata dalla paratoia è ridotta e pari, nel momento di picco, a $0.1 \frac{m^3}{s}$.

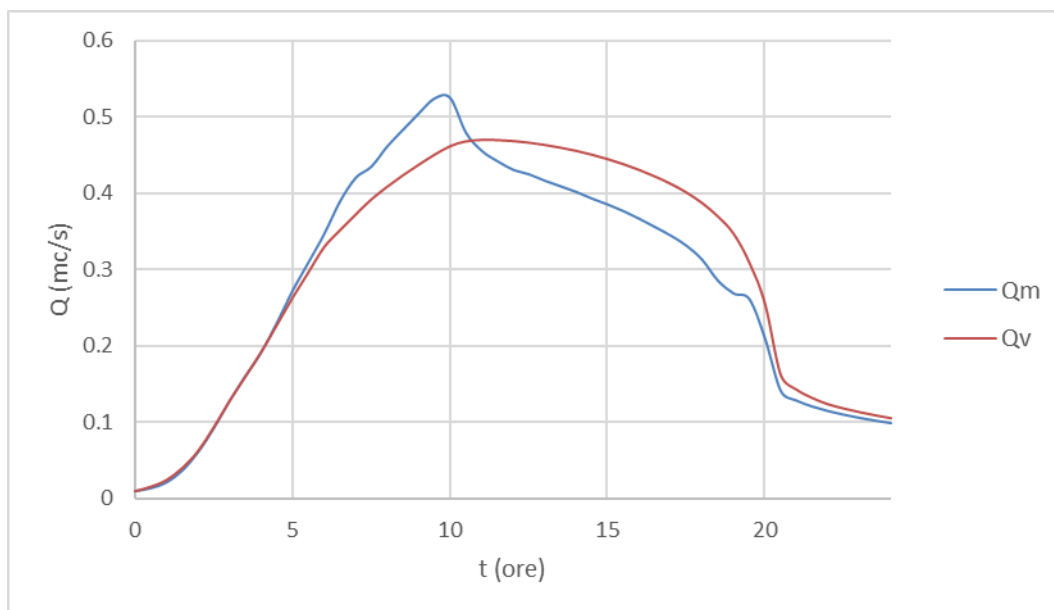


Figura 76: Andamento nel tempo delle portate a monte (Q_m) e valle (Q_v) del bacino sull'affluente Codolo 2.

Coerentemente con la ridotta portata, anche il volume trattenuto è limitato e pari a 900 m^3 .

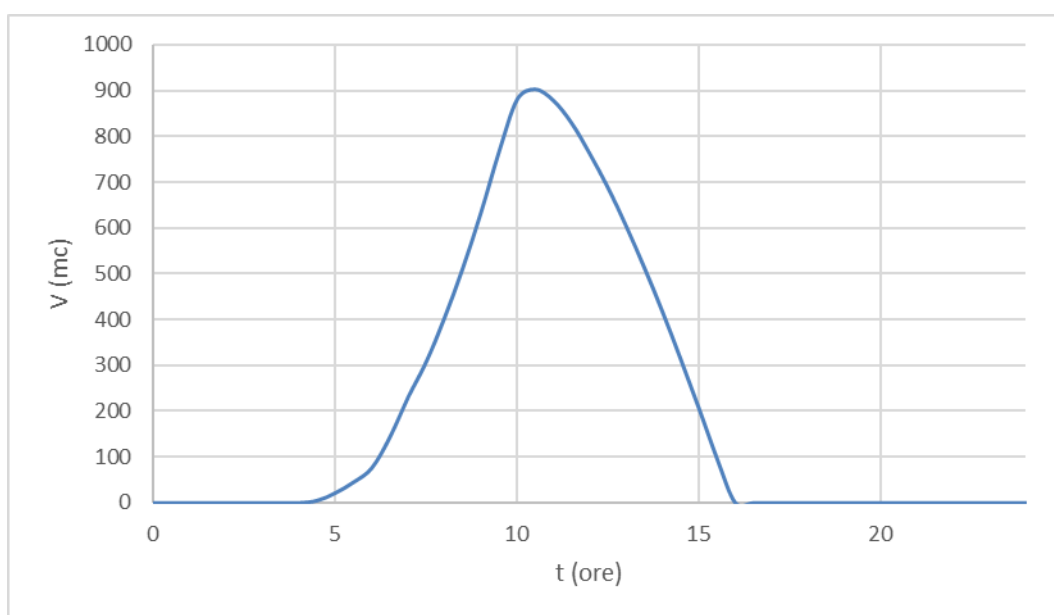


Figura 77: Volume bacino affluente Codolo 2.

Bacino a San Fior di Sopra. Precipitazioni con $T_r=50$ anni generano, in ingresso e uscita dal bacino, le portate visibili in Figura 78. La cassa lamina circa $1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ e la portata transita unicamente attraverso l'apertura della traversa, senza attivare gli sfioratori superficiali. Il volume massimo invasato è pari a 7000 m^3 (Figura 79) ed il rispettivo tirante massimo è pari a 58.08 m , su un piano campagna con quota media pari a 57.50 m . Il tirante è pari a 0.58 m (Figura 80).

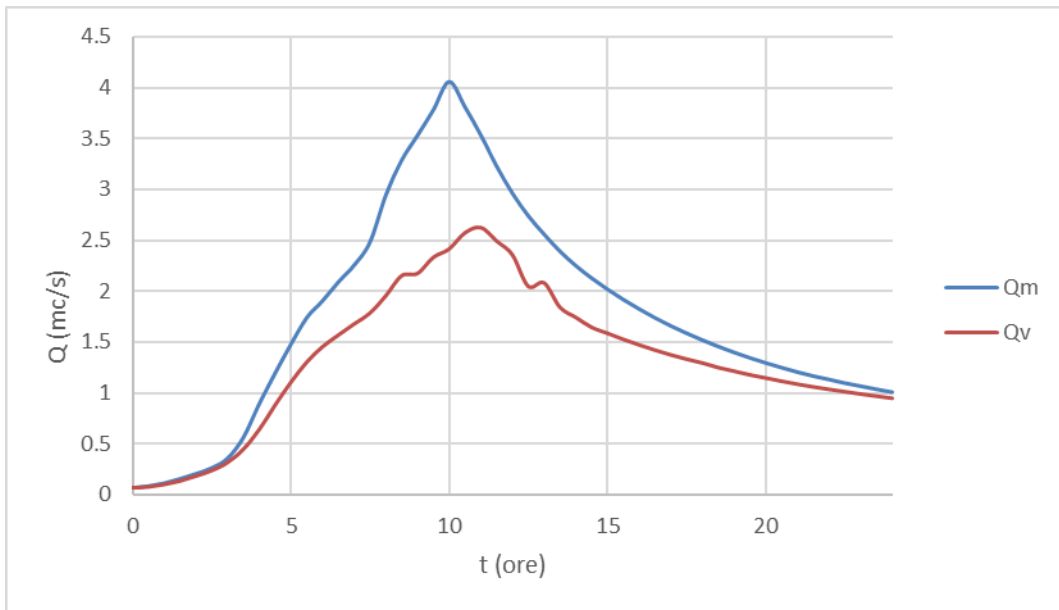


Figura 78: Andamento nel tempo delle portate a monte (Q_m) e valle (Q_v) del bacino San Fior di Sopra.

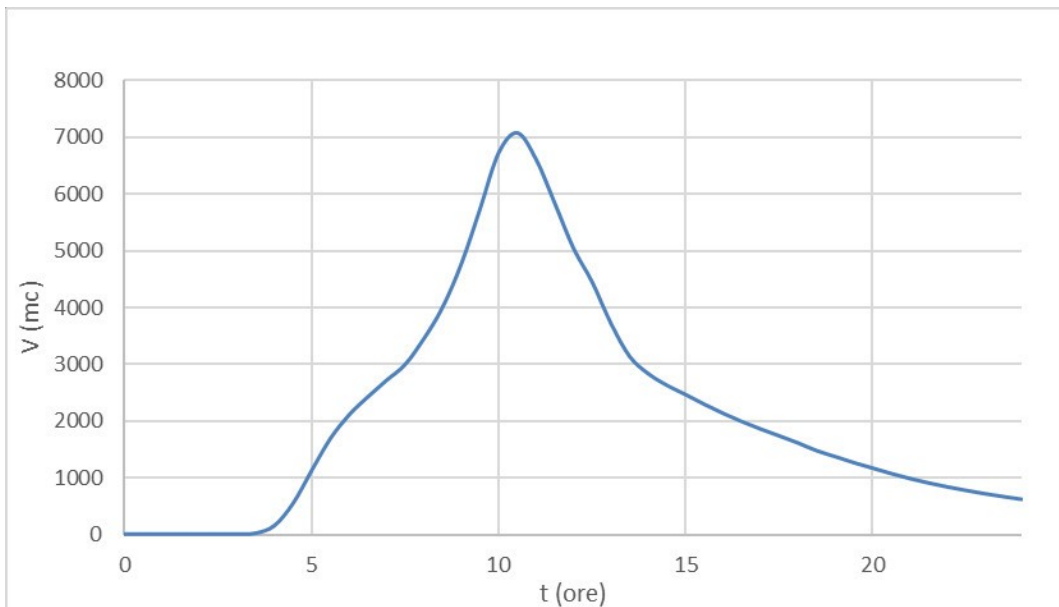


Figura 79: Volume bacino San Fior di Sopra.

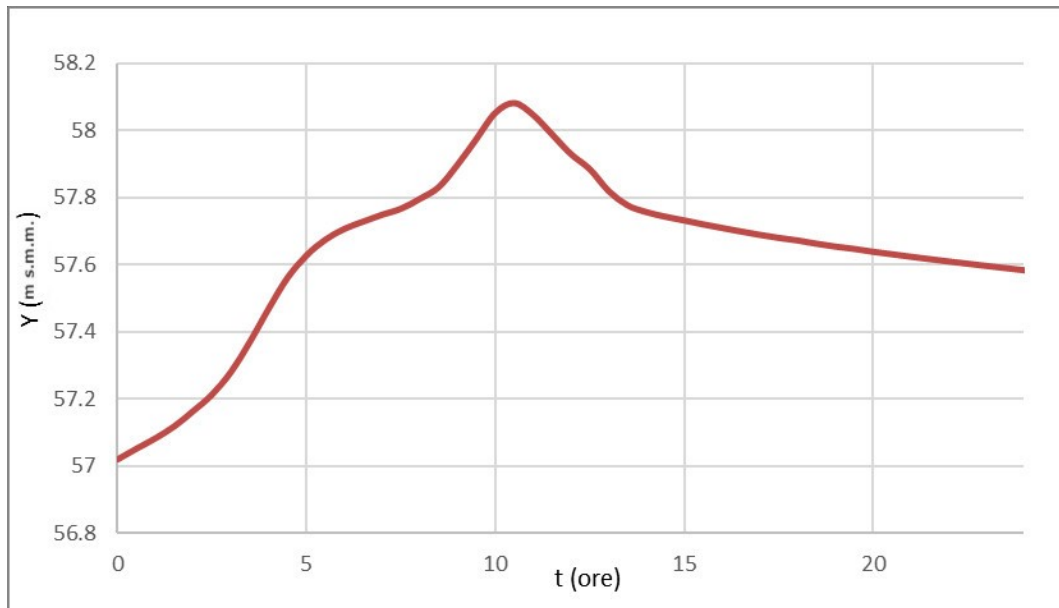


Figura 80: Livello bacino San Fior di Sopra.

Bacino a Nord della Ferrovia. Nel caso di evento generato da precipitazione con tempo di ritorno di 50 anni e bacino progettato per $Tr=10$ anni, le portate che si realizzano a monte e valle della cassa sono visibili in Figura 81. In particolare, come atteso, essendo progettata per un evento con tempo di ritorno inferiore rispetto a quello in analisi, la cassa non è in grado di laminare efficientemente la piena, andando a raccogliere portata prematuramente ed esaurendo il volume disponibile alla laminazione prima dell'arrivo del picco di piena.

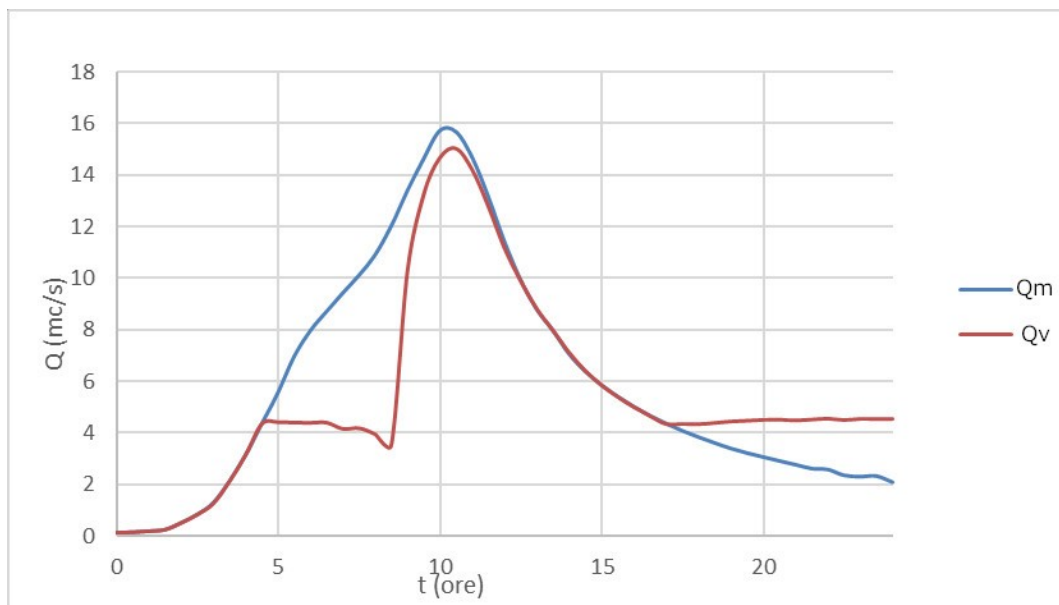


Figura 81: Andamento nel tempo delle portate a monte (Q_m) e valle (Q_v) del bacino a Nord della ferrovia

Il volume massimo invasato nel bacino è quasi $80000 m^3$, superiore al massimo volume invasabile mantenendo il franco di sicurezza. In Figura 82 è possibile osservare che il volume

invasato risulta massimo a 10 ore dall'inizio della simulazione, ma già a 8 ore e mezzo il volume è molto prossimo a tale valore. Questo risulta coerente con quanto visto al grafico precedente.

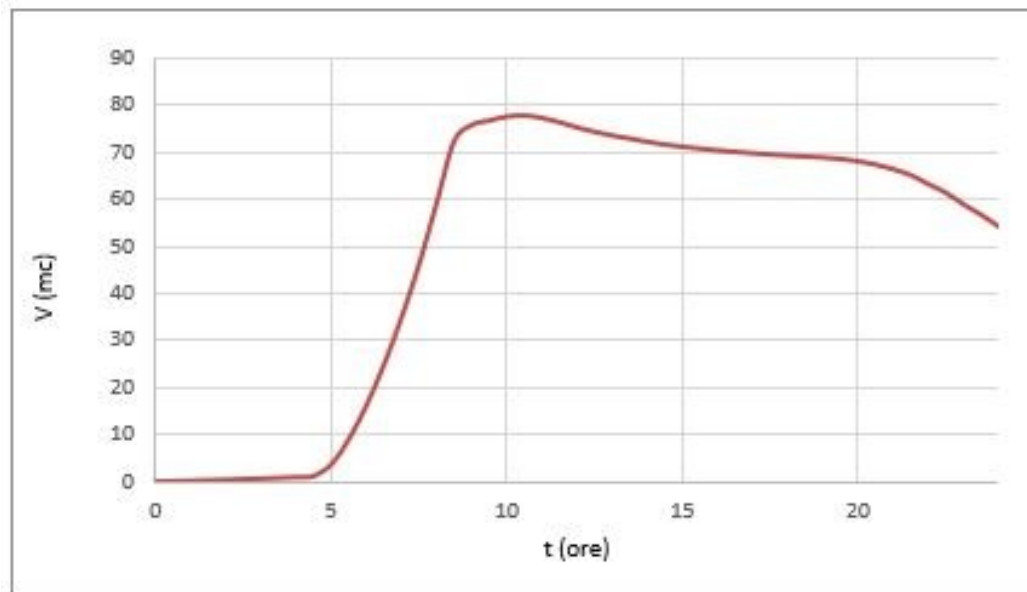


Figura 82: Volume bacino nord ferrovia.

I livelli che si realizzano all'interno dei due sottobacini sono visibili in Figura 83 e superiori alla quota degli sfioratori di scarico, pari a 47.00 m s.l.m.

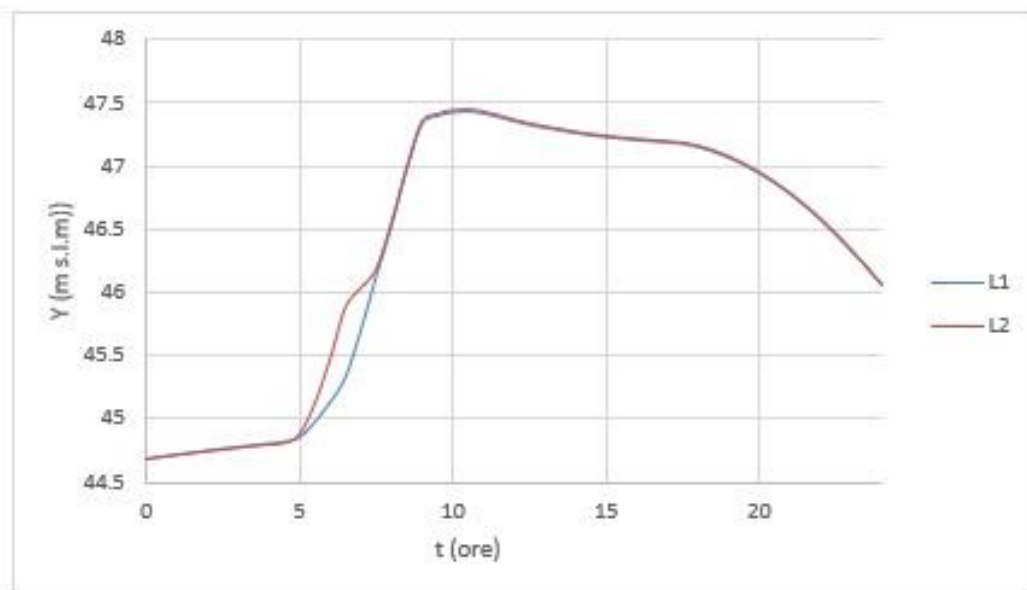


Figura 83: Livelli bacino nord ferrovia, per la porzione di bacino in destra (L1) e sinistra (L2) idrografica.

Infine, in Figura 84 sono rappresentate le portate transittanti attraverso i manufatti di regolazione di valle. Si può osservare che, coerentemente con quanto esposto nel grafico precedente, si attivano gli sfioratori di scarico dei sottobacini (SF.DX e SF.SX.), mentre risulta nulla la portata sfiorata dallo sfioratore centrale (SF.CE) posto in sommità alla paratoia.

La paratoia centrale (PAR.CE.), posta in alveo, è chiusa nel momento di picco della piena.

L'andamento delle portate transittanti attraverso gli sfioratori che deviano portata dall'alveo verso il volume a disposizione (SF.AL—DX e SF.AL-SX) evidenzia che la porzione di bacino in destra idraulica al Codolo, di estensione minore, si riempie per prima. A circa 15 e 20 ore dall'inizio della simulazione, rispettivamente per lo sfioratore in sinistra e destra idraulica, la portata sfiorata diventa negativa, ad indicare portata che passa dai bacini all'alveo del Codolo. Il livello a valle risulta ancora troppo alto per aprire le paratoie dei due sottobacini. A tal proposito, valgono le stesse osservazioni esposte per l'evento con $Tr=10$ anni.

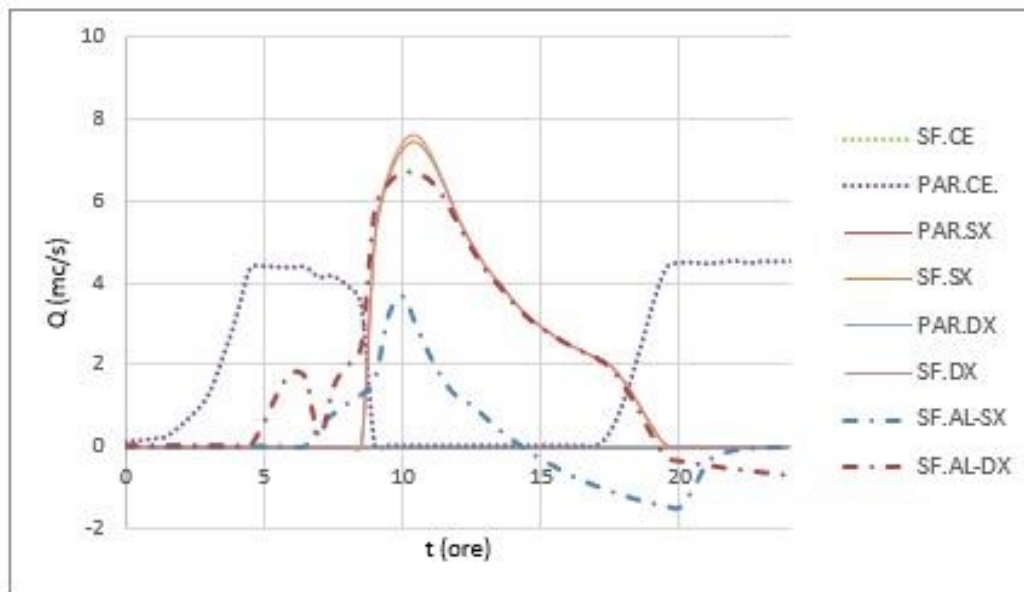


Figura 84: Andamento nel tempo delle portate transittanti attraverso i manufatti di regolazione. Si osservano la portata che transita attraverso la paratoia centrale (PAR.CE.) e lo sfioratore in sommità alla stessa (SF.CE.), nonché le portate attraverso le paratoie (PAR.DX e PAR.SX) e gli sfioratori (SF.DX e SF.SX) delle porzioni di bacino in destra e sinistra idrografica rispettivamente. Le curve tratto-punto rappresentano la portata sfiorata nel tempo dall'alveo alla porzione di bacino in destra (SF.AL-DX) e sinistra (SF. AL-SX) idrografica

Nel caso di evento generato da precipitazione con tempo di ritorno di 50 anni, gli idrogrammi che si realizzano alle sezioni considerate in precedenza sono visibili in Figura 85, in cui sono poste a confronto con i rispettivi valori per lo stato di fatto. Vengono proposti solo i risultati relativi alle sezioni a valle dei bacini.

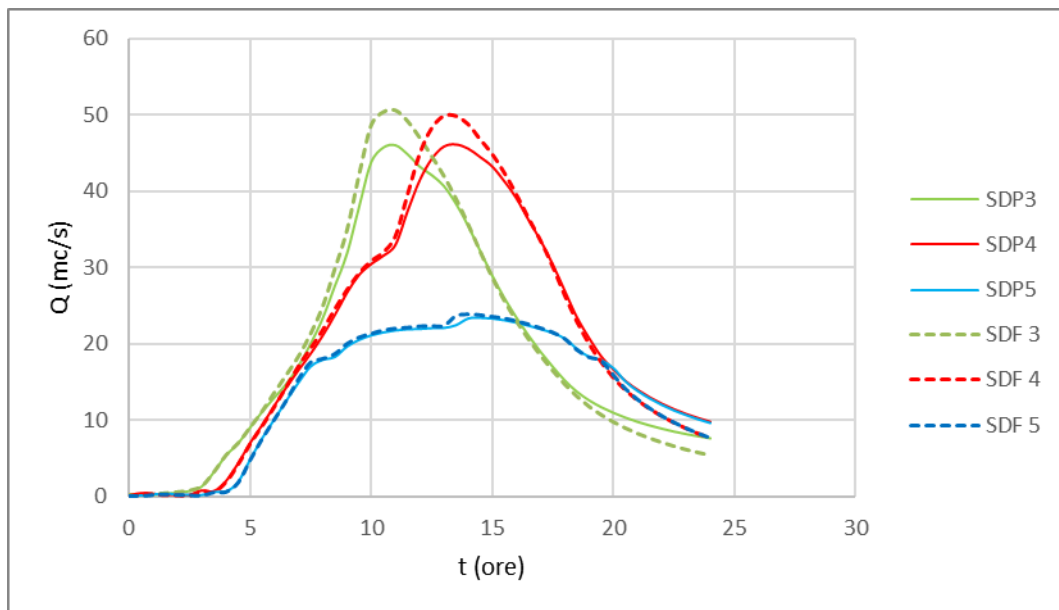


Figura 85: Andamento delle portate nel tempo; confronto tra stato di fatto (tratteggiate) e di progetto (continue) alle sezioni di Figura 44.

Osservando gli stessi punti analizzati in Figura 52 e Figura 53 è possibile osservare che non si verificano riduzioni importanti di livello. In particolare, al punto 1, posto a valle del bacino sull'affluente Codolo 2, la riduzione è pressoché nulla, poiché la portata transitante è bassa e, conseguentemente, lo è anche il volume invasato nell'area. In corrispondenza del punto 2, a valle del bacino a San Fior di Sopra, si ha una maggiore riduzione dei tiranti, che riduce il tirante sul piano stradale da 30.0 cm a 5.0 mm circa (Figura 86). Ai punti 3 e 4, invece, la riduzione del tirante è praticamente impercettibile, per il ridotto volume invasato – all'istante sbagliato – dai bacini, che fa sì che la portata sottratta al corso d'acqua perda velocemente d'influenza procedendo verso valle. Ciononostante, l'intervento previsto per il ponte di Via XXX Ottobre sembra essere risolutivo dei fenomeni che lì si verificano (Figura 87).

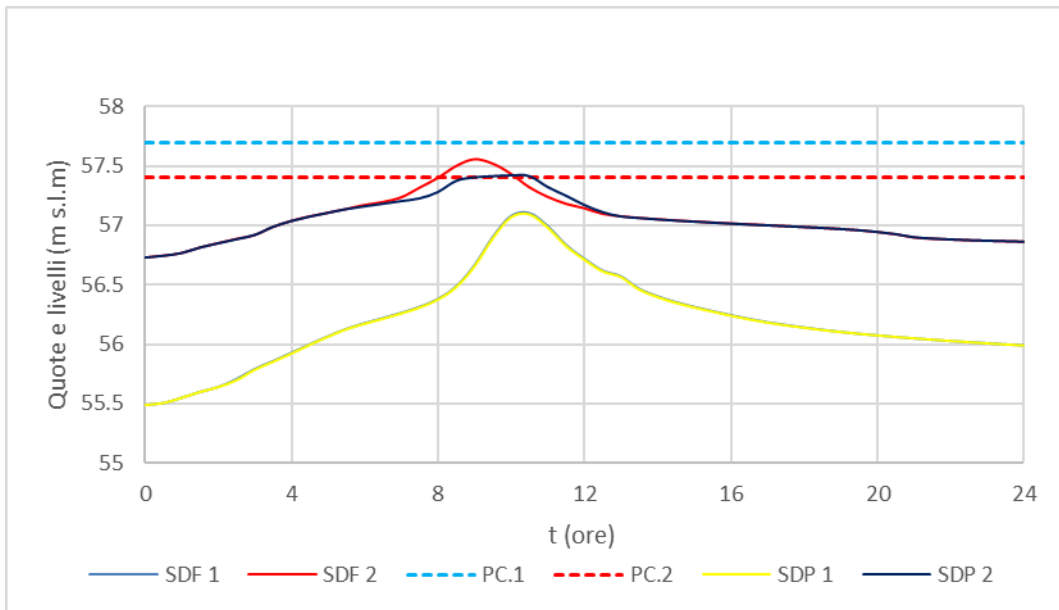


Figura 86: Quote e livelli ai punti 1 e 2 di Figura 47. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna per stato di fatto SDF e di progetto SDP).

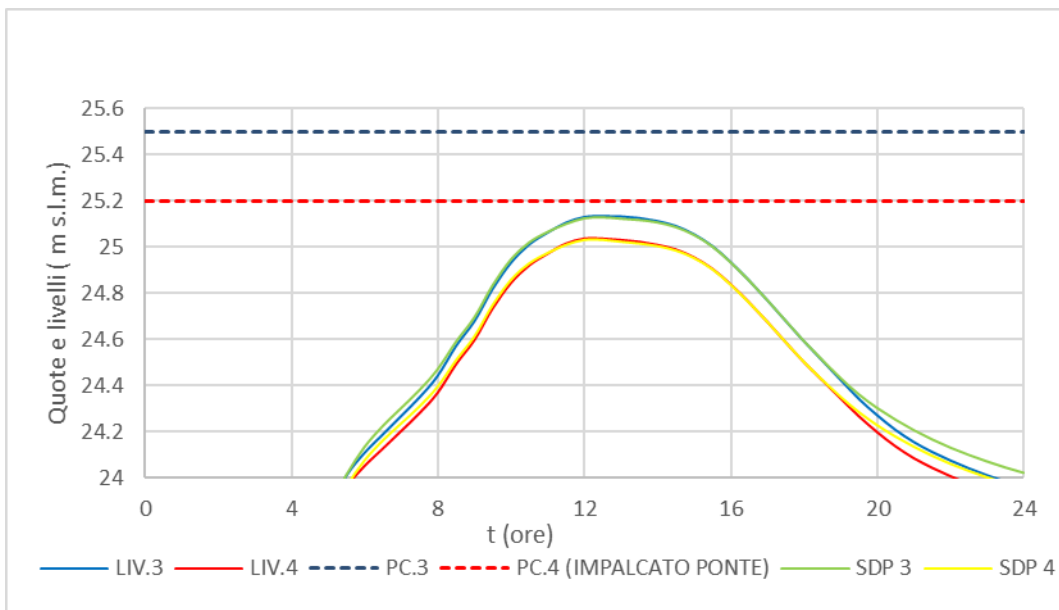


Figura 87: Quote e livelli ai punti 3 e 4 di Figura 47. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti nello stato di fatto SDF e di progetto SDP, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna).

Viste le ridotte capacità di laminazione dei bacini, i tiranti che si realizzano all'interno del dominio sono molto simili a quelli dello stato di fatto e visibili in Figura 88.

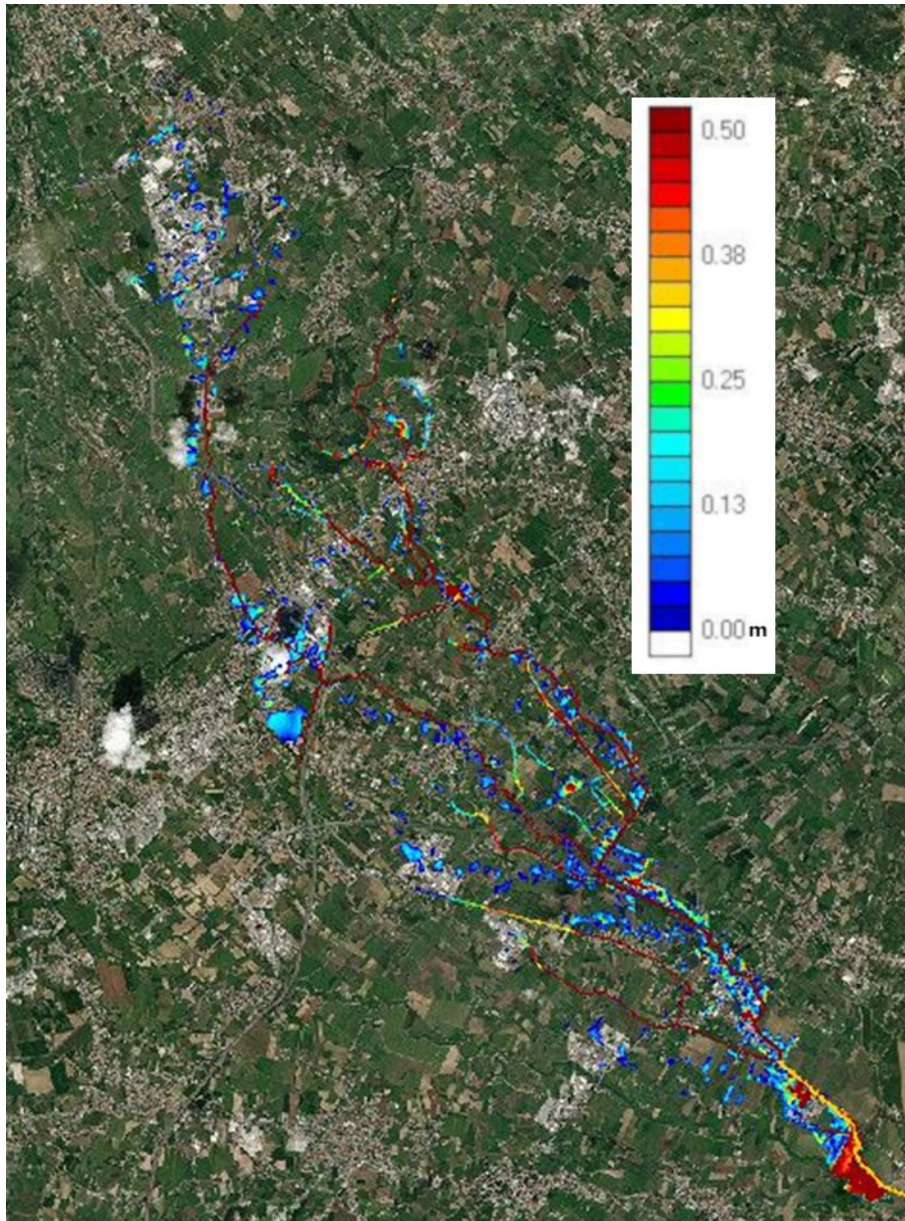


Figura 88: Tiranti per precipitazione con $Tr=50$ anni.

4.4.2.2. Bacino di valle progettato per $Tr=50$ anni

Evento generato da precipitazione con $Tr=10$ anni

Si precisa che il comportamento dei due bacini collocati più a nord del dominio dipende unicamente dal tempo di ritorno della precipitazione che genera la portata, indipendentemente dal tempo di ritorno per cui è stato progettato il bacino di valle. Per questo motivo, il comportamento di questi due bacini viene qui tralasciato, poiché pari a quello esposto al paragrafo 4.4.2.1.

Bacino a Nord della Ferrovia. Nel caso di evento generato da precipitazione con tempo di ritorno di 10 anni e bacino progettato per $Tr=50$ anni, le portate che si realizzano a monte e

valle della cassa sono visibili in Figura 89. Al picco, la cassa lamina circa $2.0 \frac{m^3}{s}$, raccogliendo in cassa un massimo di $20000 m^3$.

I livelli che si realizzano all'interno dei due sottobacini sono diversi, in virtù della diversa dimensione degli stessi, a pari portata sfiorata dagli sfioratori in ingresso. La quota raggiunta non è sufficiente a far attivare gli sfioratori di scarico.

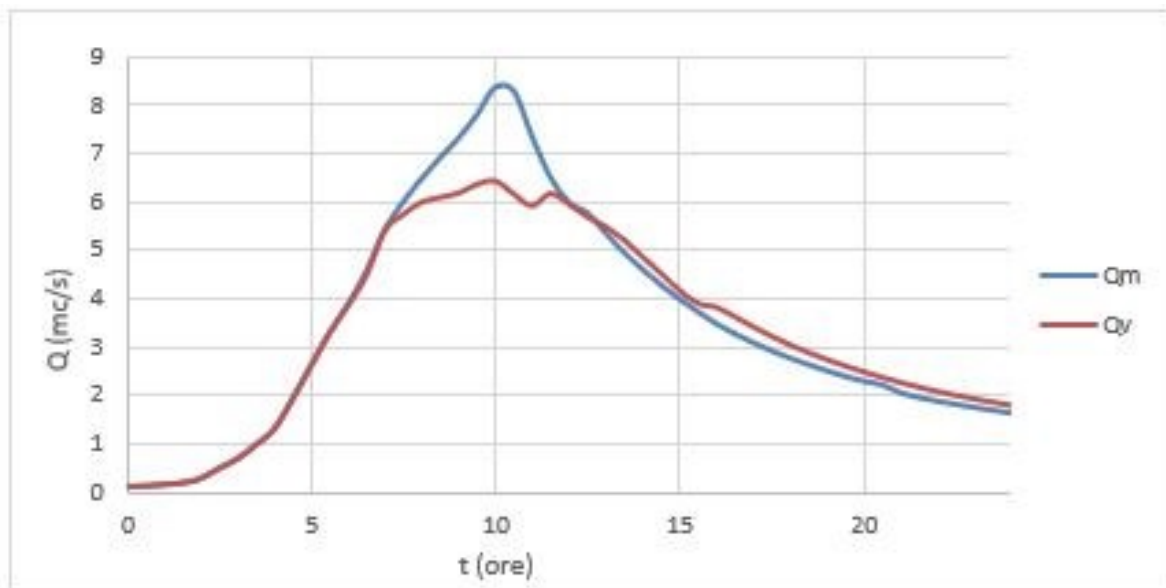


Figura 89: Andamento nel tempo delle portate a monte (Q_m) e valle (Q_v) del bacino a Nord della ferrovia.

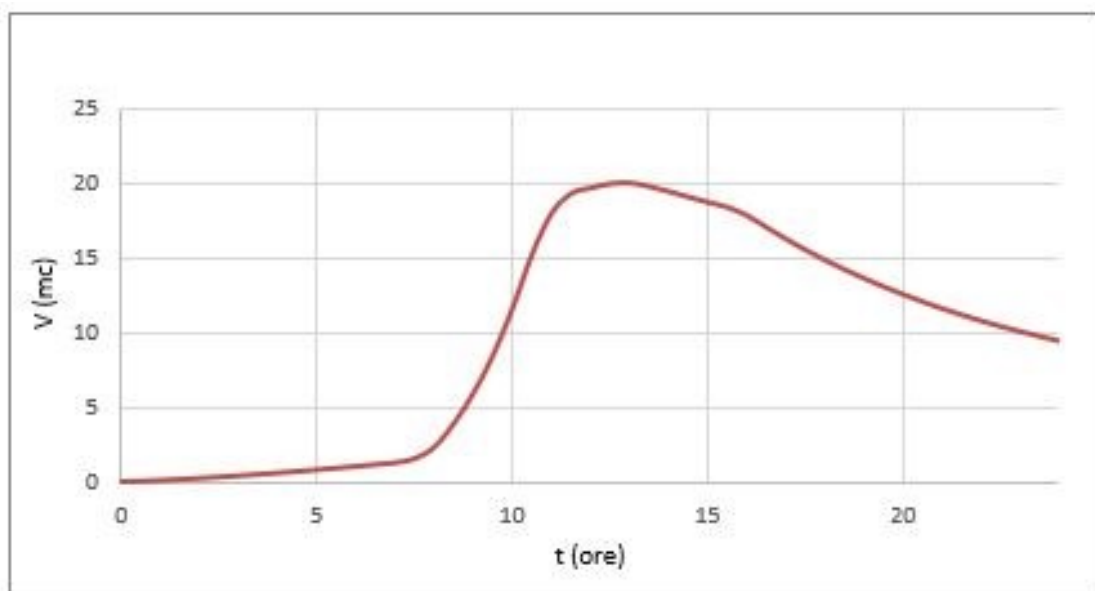


Figura 90: Volume bacino nord ferrovia.

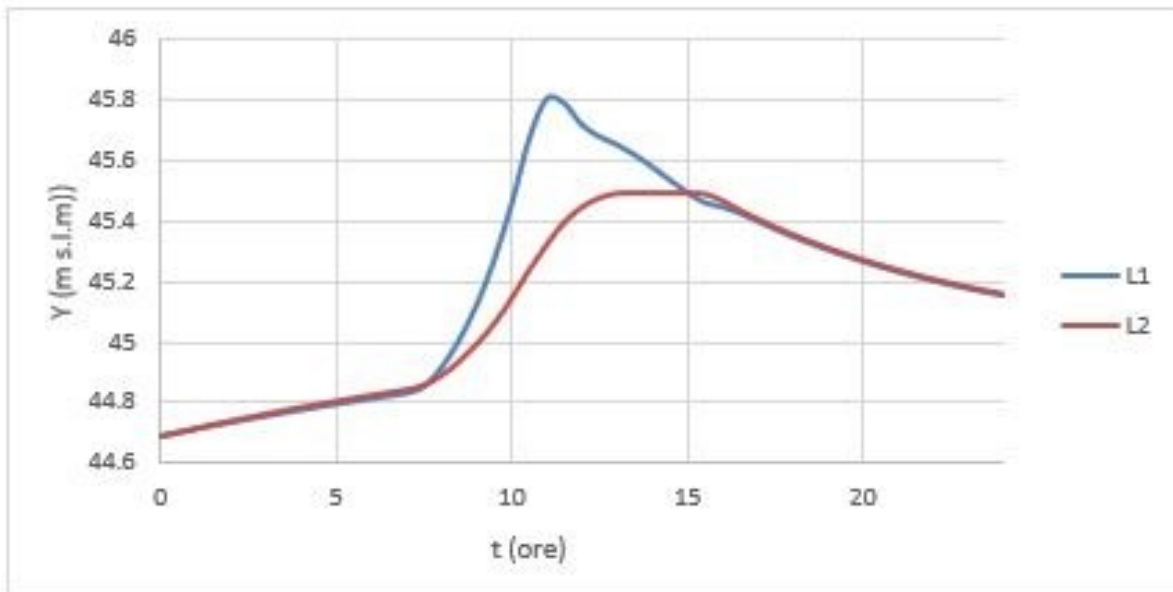


Figura 91: Livelli bacino nord ferrovia, per la porzione di bacino in destra (L1) e sinistra (L2) idrografica.

Infine, in Figura 92 è possibile osservare le portate transitanti attraverso i manufatti di regolazione di valle. Si può osservare che risultano nulle le portate sfiorate, sia dallo sfioratore centrale (SF.CE) posto in sommità alla paratoia, che degli sfioratori di scarico dei sottobacini (SF.DX e SF.SX.), coerentemente con quanto verificato nelle immagini precedenti. La paratoia centrale (PAR.CE.), posta in alveo, rimane aperta durante tutta la durata della piena, coerentemente con l'evento per cui la cassa è stata progettata per entrare in funzione. Le paratoie di scarico si aprono in coda alla piena, per vuotare la cassa una volta terminato il picco. L'andamento delle portate transitanti attraverso gli sfioratori che deviano portata dall'alveo verso il volume a disposizione (SF.AL—DX e SF.AL-SX) evidenzia che la porzione di bacino in destra idraulica al Codolo, di estensione minore, si riempie per prima, raggiungendo quota pari a quella degli sfioratori in ingresso a circa 11.5 ore dall'inizio della simulazione. In corrispondenza di tale punto si verifica rigurgito dal bacino verso il Codolo, che termina con l'aumento del tirante in alveo, grazie al quale la portata sfiorata torna ad aumentare.

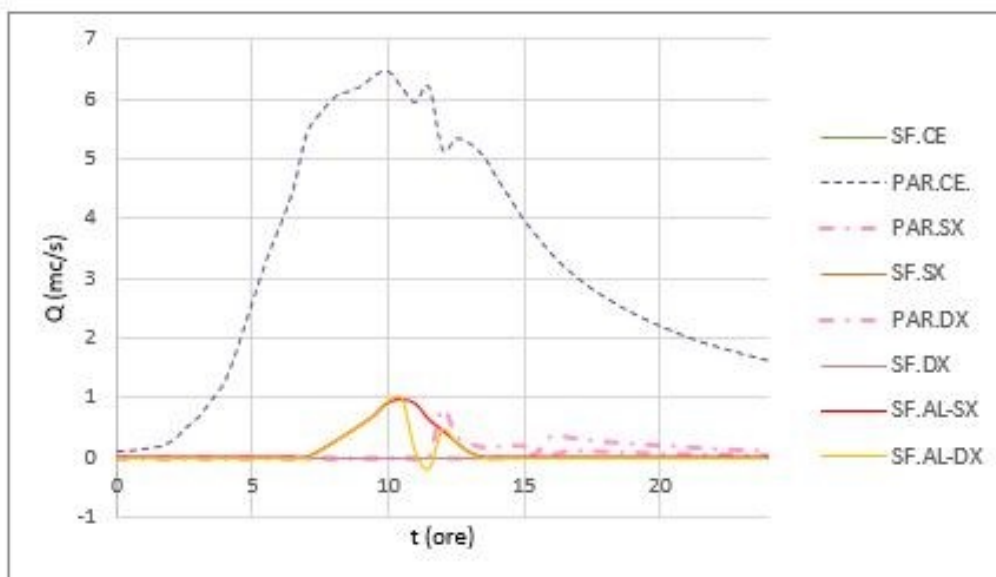


Figura 92: Andamento nel tempo delle portate transitanti attraverso i manufatti di regolazione. Si osservano la portata che transita attraverso la paratoia centrale (PAR.CE.) e lo sfioratore in sommità alla stessa (SF.CE.), nonché le portate attraverso le paratoie (PAR.DX e PAR.SX) e gli sfioratori (SF.DX e SF.SX) delle porzioni di bacino in destra e sinistra idrografica rispettivamente. Si riporta anche la portata sfiorata nel tempo dall'alveo alla porzione di bacino in destra (SF.AL-DX) e sinistra (SF. AL-SX) idrografica

Nel caso di evento generato da precipitazione con tempo di ritorno di 10 anni, gli idrogrammi che si realizzano alle sezioni considerate in precedenza (Figura 44) sono visibili in Figura 93, in cui sono poste a confronto con i rispettivi valori per lo stato di fatto. Vengono proposti solo i risultati relativi alle sezioni a valle dei bacini.

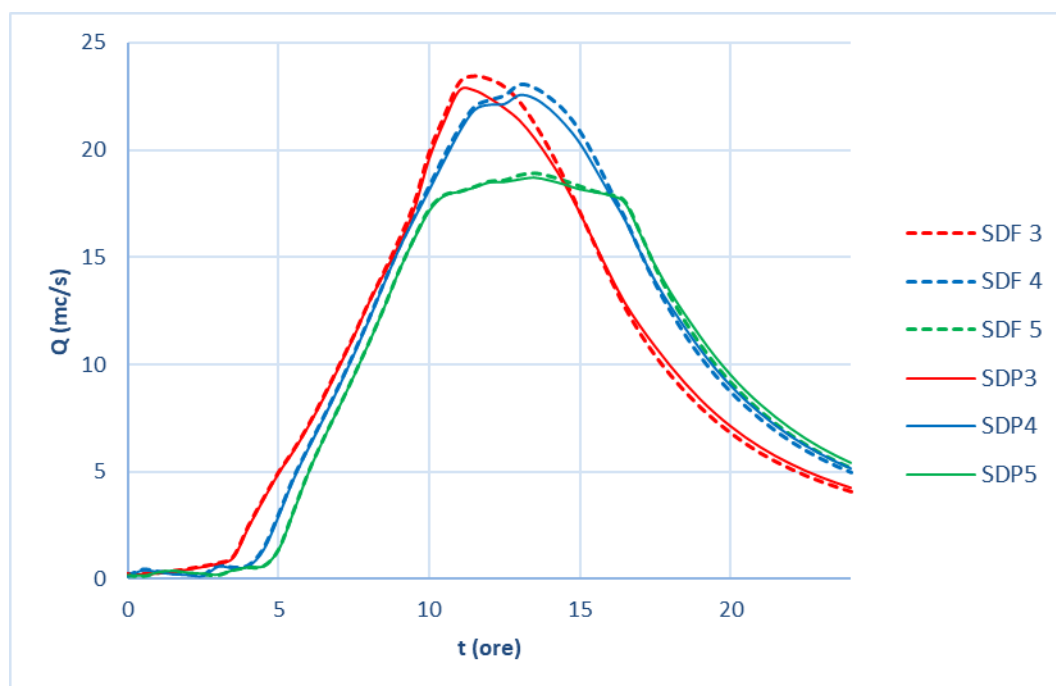


Figura 93: Andamento delle portate nel tempo; confronto tra stato di fatto (tratteggiate) e di progetto (continue) alle sezioni di Figura 44.

Nuovamente, si confrontano i tiranti nei punti critici. Ai punti 1 e 2 le condizioni sono pari a quelle esposte in precedenza per evento con pari tempo di ritorno, poiché posti a monte del bacino a Nord della ferrovia (Figura 94). Ai punti 3 e 4, invece, la riduzione del tirante è praticamente impercettibile, per lo scarso volume invasato nei bacini (Figura 95).

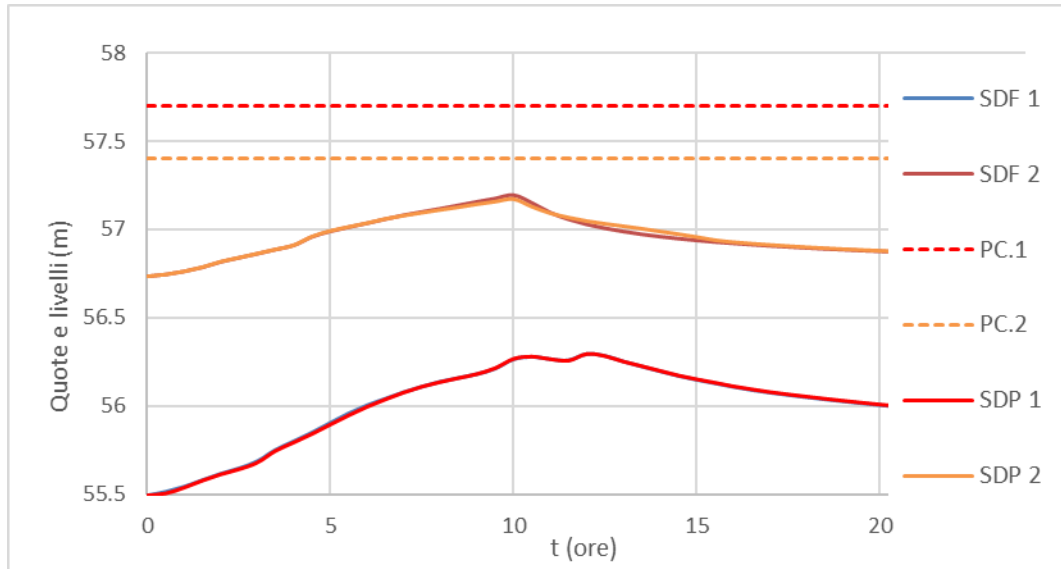


Figura 94: Quote e livelli ai punti 1 e 2 di Figura 47. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna per stato di fatto SDF e di progetto SDP).

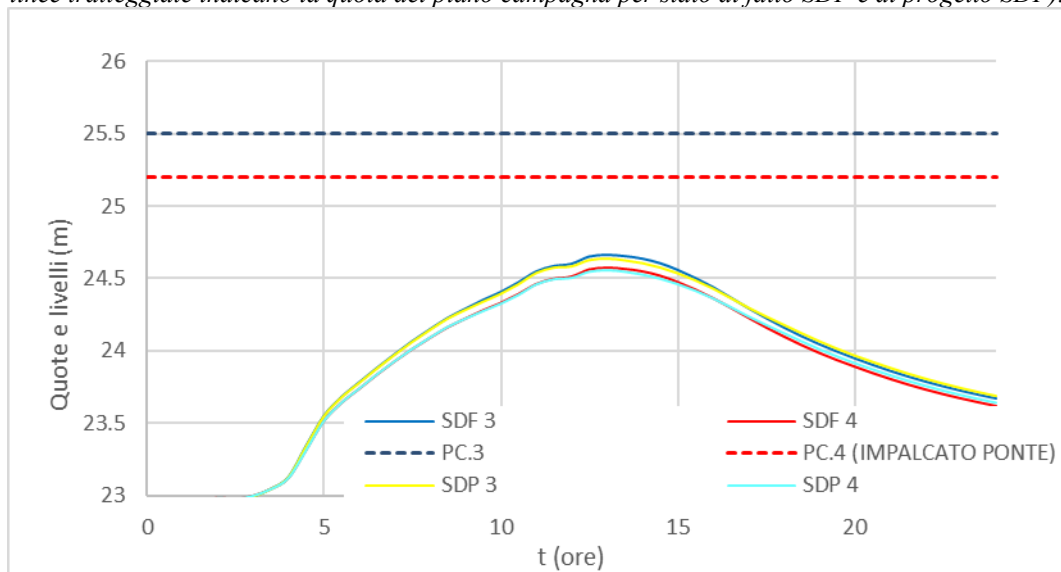


Figura 95: Quote e livelli ai punti 3 e 4 di Figura 47. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna per stato di fatto SDF e di progetto SDP).

In termini di tiranti nel dominio, non si hanno visibili variazioni rispetto allo stato di fatto.

Evento generato da precipitazione con $Tr=50$ anni. Si precisa che il comportamento dei due bacini posti più a nord del dominio dipende unicamente dal tempo di ritorno della precipitazione che genera la portata, indipendentemente dal tempo di ritorno per cui è stato progettato il bacino

di valle. Per questo motivo, il comportamento di questi due bacini viene qui tralasciato, poiché uguale a quello esposto al paragrafo 4.4.2.1.

Bacino a Nord della Ferrovia. Nel caso di evento generato da precipitazione con tempo di ritorno di 50 anni e bacino progettato per $Tr=50$ anni, le portate che si realizzano a monte e valle della cassa sono visibili in Figura 96. Al picco, la cassa lamina circa $7.05 \frac{m^3}{s}$.

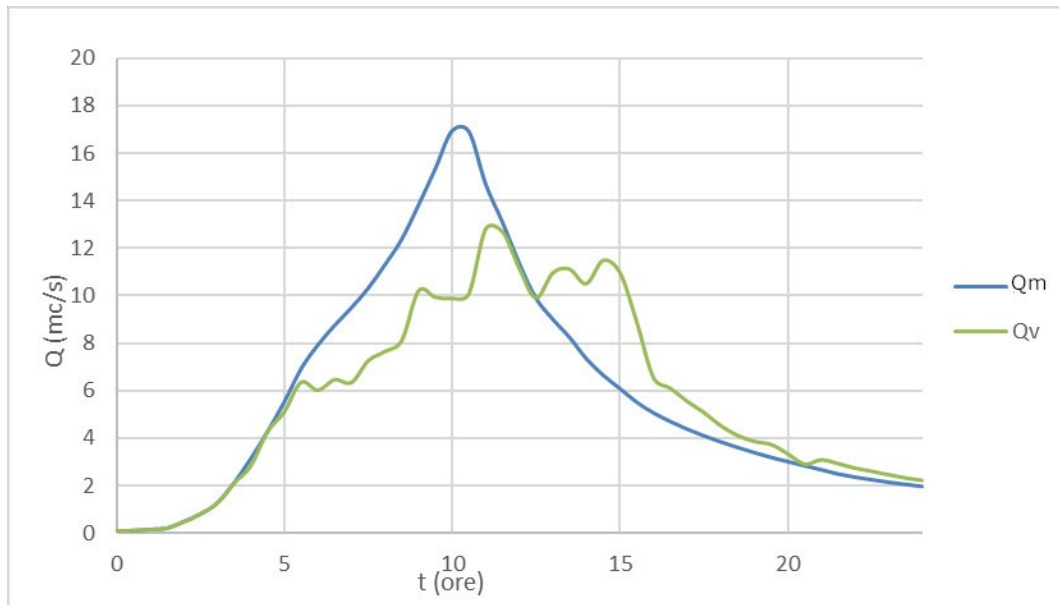


Figura 96: Andamento nel tempo delle portate a monte (Q_m) e valle (Q_v) del bacino a Nord della ferrovia.

Il volume massimo invasato nel bacino è pari $76500 m^3$, molto prossimo al massimo volume invasabile, senza franco di sicurezza, pari a $83000 m^3$.

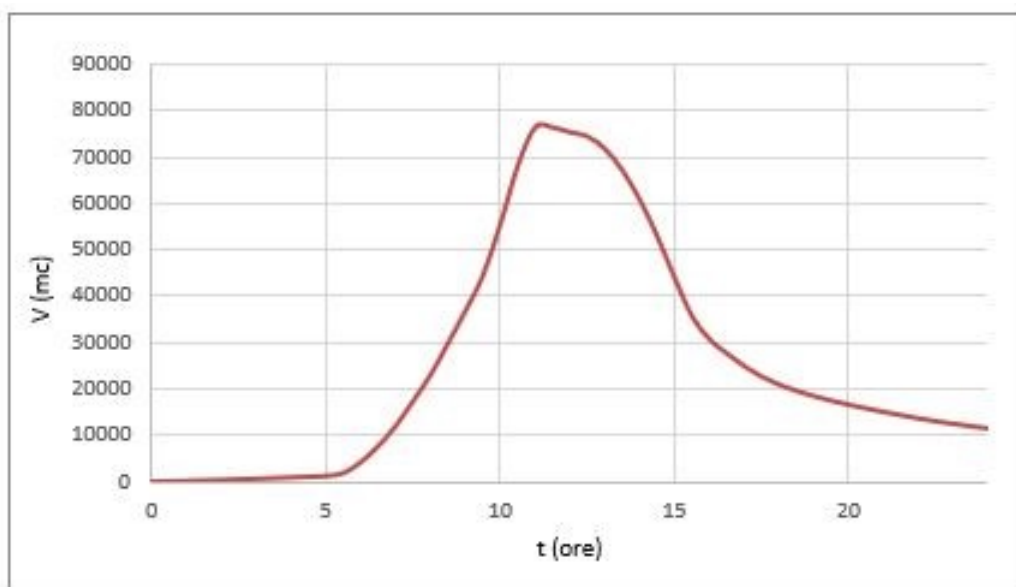


Figura 97: Volume bacino nord ferrovia.

I livelli che si realizzano all'interno dei due sottobacini sono visibili in Figura 98. Essi non sono sufficienti ad attivare gli sfioratori di scarico, posti a quota 47.00 m s.l.m.

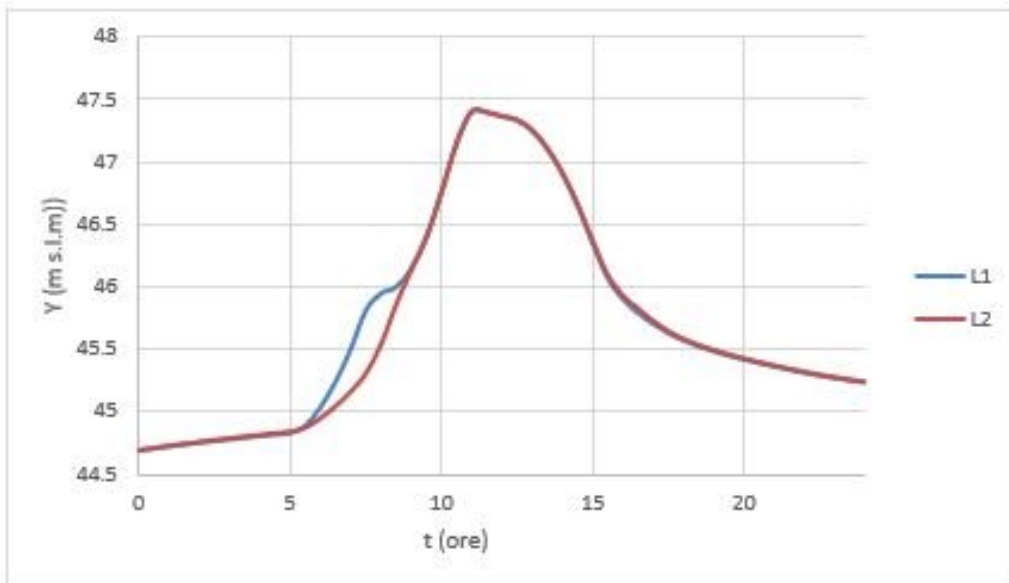


Figura 98: Livelli bacino nord ferrovia, per la porzione di bacino in destra (L1) e sinistra (L2) idrografica.

Infine, in Figura 99 Figura 71 è possibile osservare le portate transitanti attraverso i manufatti di regolazione di valle. Si può osservare, coerentemente con quanto mostrato nei grafici precedenti, risulta nulla la portata sfiorata dallo sfioratore centrale (SF.CE) posto in sommità alla paratoia, ma non quelle degli sfioratori di scarico dei sottobacini (SF.DX e SF.SX.). La paratoia centrale (PAR.CE.), posta in alveo, è chiusa nel momento di picco della piena.

L'andamento delle portate transitanti attraverso gli sfioratori che deviano portata dall'alveo verso il volume a disposizione (SF.AL—DX e SF.AL-SX) evidenzia che la porzione di bacino in destra idraulica al Codolo, di estensione minore, si riempie per prima, presentando una riduzione nella portata sfiorata a circa 8 ore dall'inizio della simulazione, ma prima dell'arrivo del picco di piena. Con l'aumento del tirante in alveo, la portata sfiorata torna ad aumentare. Questo comportamento risulta coerente con l'andamento dei tiranti che si realizzano in cassa. A circa 13.5 ore dall'inizio della simulazione, la portata sfiorata diventa negativa, ad indicare portata che passa dai bacini all'alveo del Codolo. Si osserva quindi che il bacino si vuota principalmente attraverso la paratoia centrale, piuttosto che dalle paratoie di scarico, che si attivano solamente terminato il passaggio del picco della piena. Circa l'apertura delle paratoie di scarico, valgono le considerazioni già espresse in precedenza.

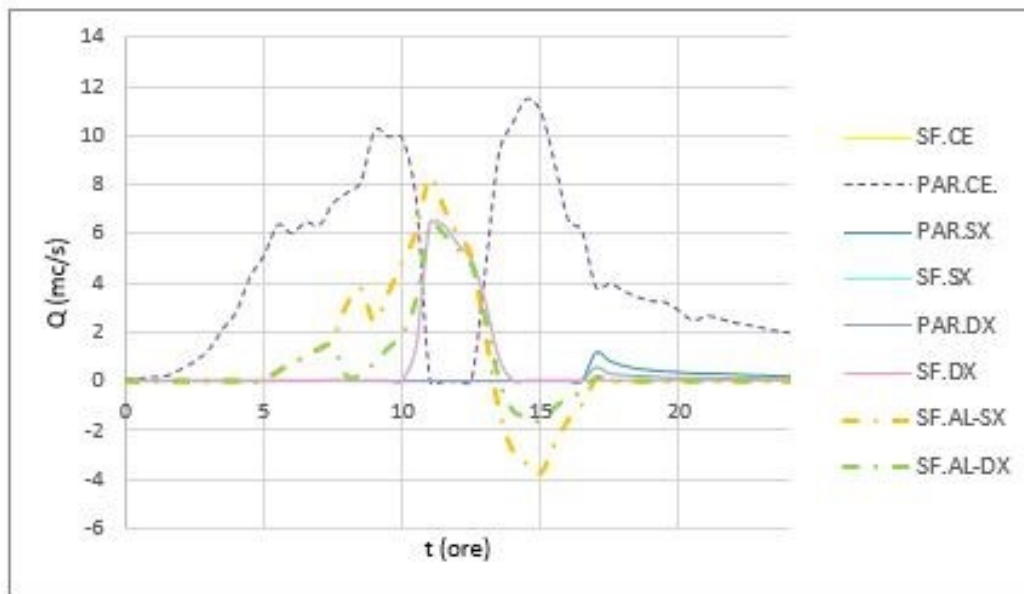


Figura 99: Andamento nel tempo delle portate transitanti attraverso i manufatti di regolazione. Si osservano la portata che transita attraverso la paratoia centrale (PAR.CE.) e lo sfioratore in sommità alla stessa (SF.CE.), nonché le portate attraverso le paratoie (PAR.DX e PAR.SX) e gli sfioratori (SF.DX e SF.SX) delle porzioni di bacino in destra e sinistra idrografica rispettivamente. Le curve tratto-punto rappresentano la portata sfiorata nel tempo dall'alveo alla porzione di bacino in destra (SF.AL-DX) e sinistra (SF. AL-SX) idrografica

Nel caso di evento generato da precipitazione con tempo di ritorno di 50 anni, gli idrogrammi che si realizzano alle sezioni considerate in precedenza sono visibili in Figura 100, in cui sono poste a confronto con i rispettivi valori per lo stato di fatto. Vengono proposti solo i risultati relativi alle sezioni a valle dei bacini.

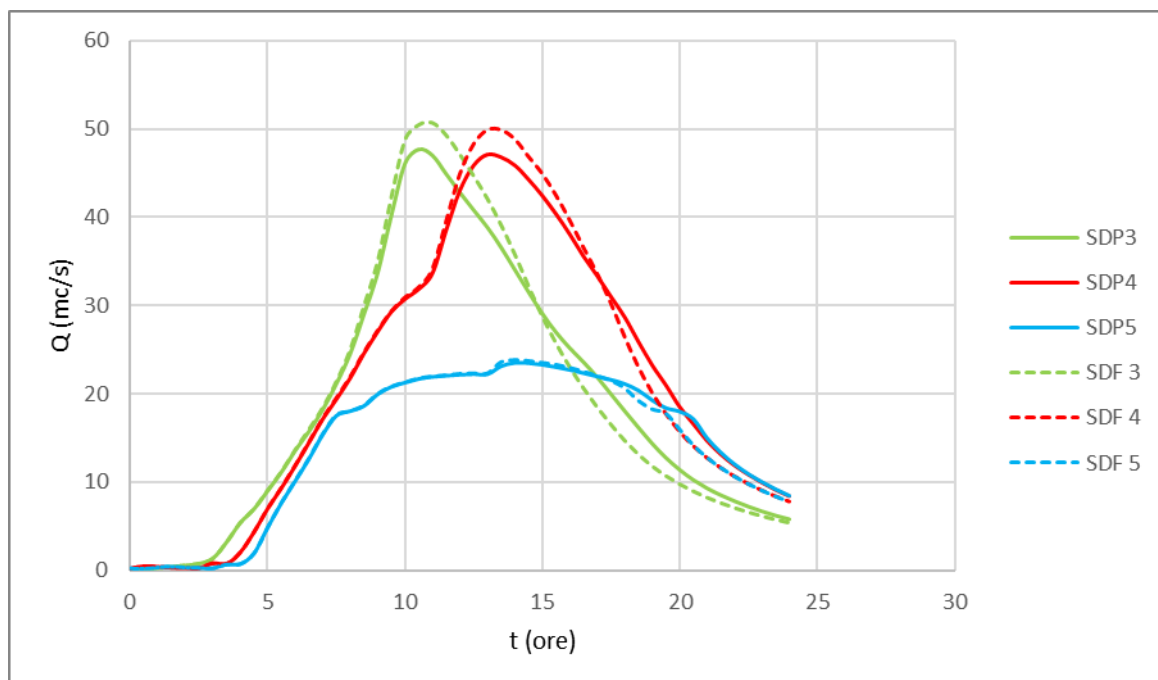


Figura 100: Andamento delle portate nel tempo; confronto tra stato di fatto (tratteggiate) e di progetto (continue) alle sezioni di Figura 44.

Nuovamente, si confrontano i tiranti nei punti critici. Ai punti 1 e 2 le condizioni sono pari a quelle esposte in precedenza per evento con pari tempo di ritorno, poiché posti a monte del bacino a Nord della ferrovia (Figura 101). Ai punti 3 e 4, invece, la riduzione del tirante è praticamente impercettibile. Continuano a valere le osservazioni circa l'efficienza dell'intervento previsto sul ponte in Via XXX Ottobre (Figura 102).

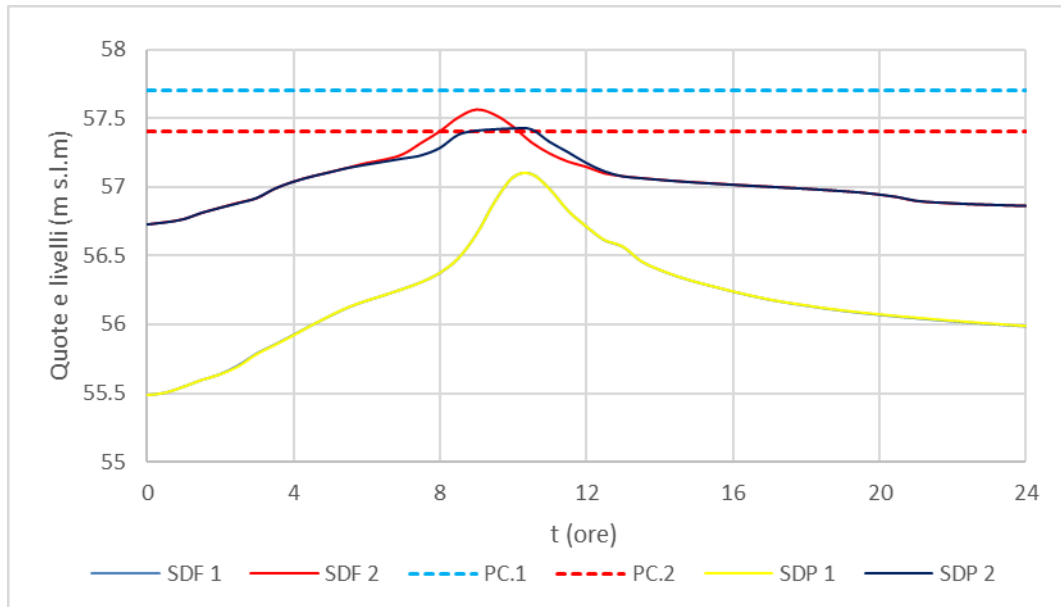


Figura 101: Quote e livelli ai punti 1 e 2 di Figura 47. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna per stato di fatto SDF e di progetto SDP).

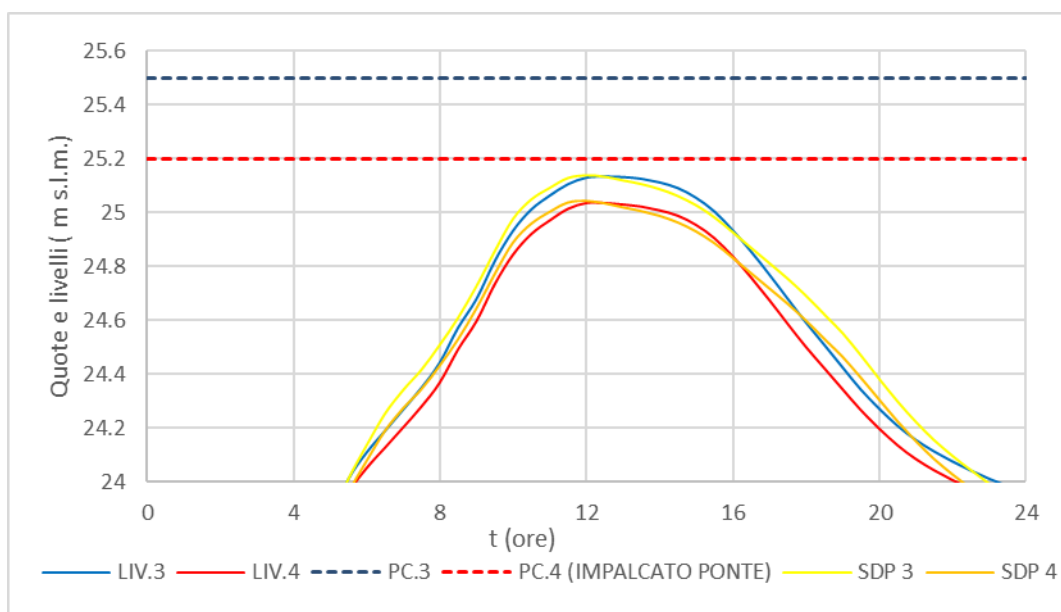


Figura 102: Quote e livelli ai punti 3 e 4 di Figura 47. (Le linee continue indicano i livelli raggiunti, mentre le linee tratteggiate indicano la quota del piano campagna per stato di fatto SDF e di progetto SDP).

I tiranti che si realizzano all'interno del dominio sono visibili in Figura 103.

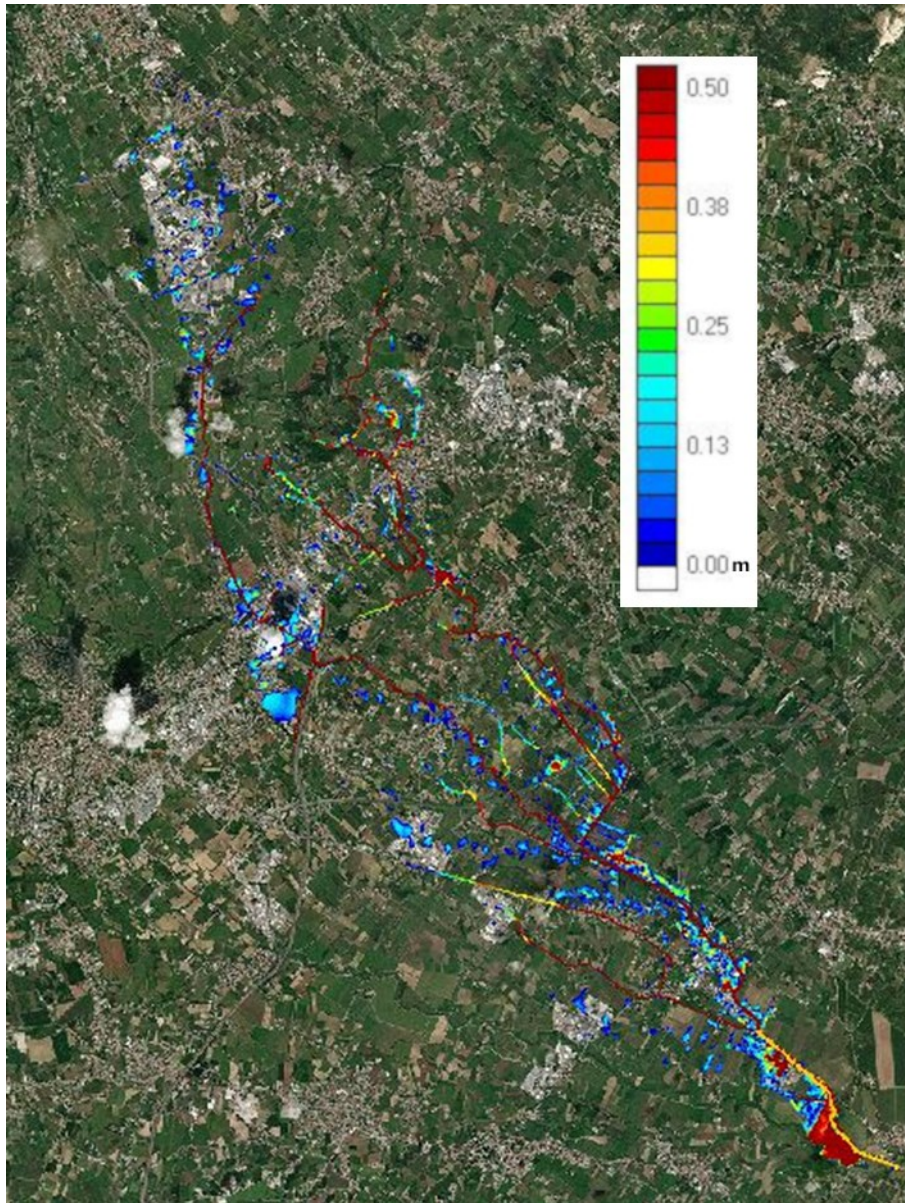


Figura 103: Tiranti per SDP $Tr=50$ anni.

È possibile confrontare questi risultati con quanto esposto per lo stato di fatto ed in particolare con le Figura 55 e seguenti. Anche qui, come nel caso precedente, è possibile verificare la presenza di porzioni circoscritte di terreno allagate a causa della precipitazione di progetto, della conformazione del terreno e/o di una scarsa capacità di drenaggio della rete di canali secondari.

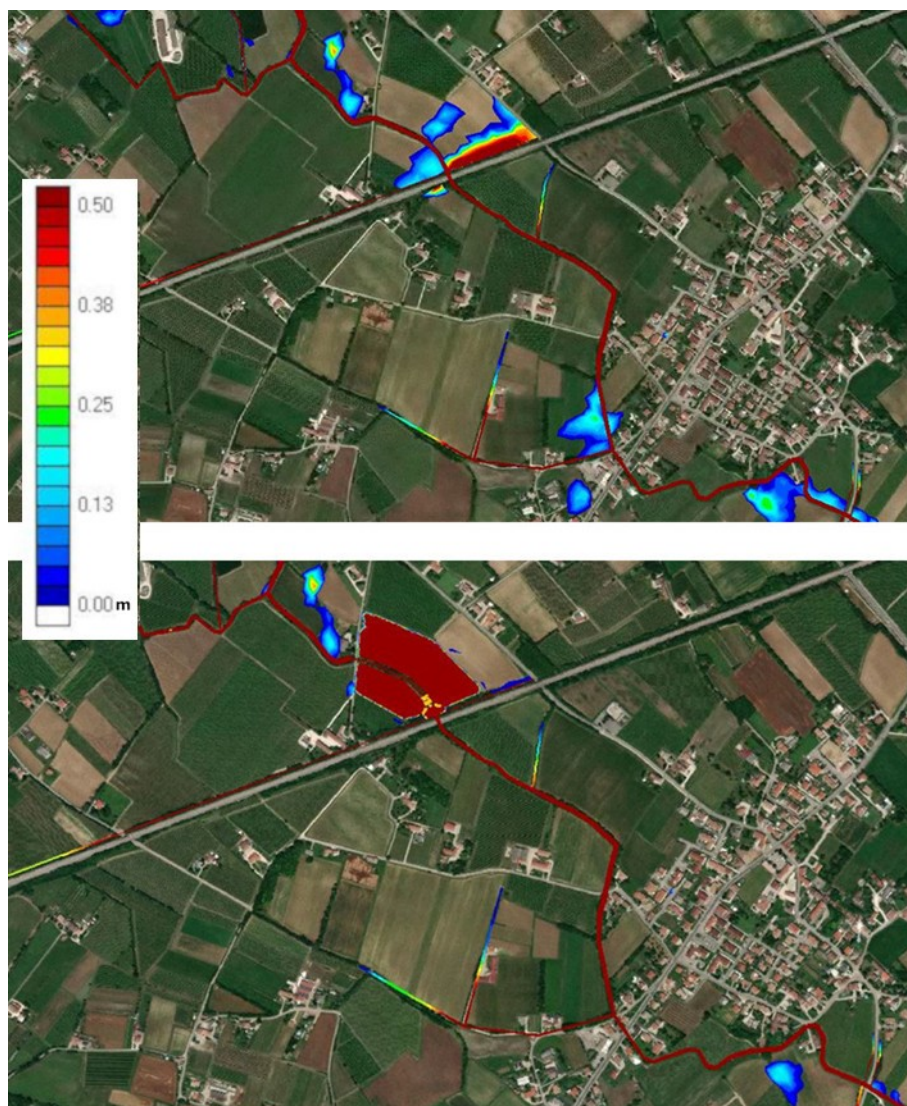


Figura 104: Allagamenti presso l'abitato di San Fior di Sotto (SDF sopra e SDP sotto).

In Figura 104 è possibile osservare come variano i tiranti che si realizzano sul terreno prima e dopo l'inserimento dei bacini di laminazione. In particolare, si può osservare che la realizzazione della cassa permette di:

- raccogliere parte del volume che avrebbe altrimenti allagato il campo a monte del rilevato ferroviario, nonostante la presenza dei canali di scolo;
- evitare le esondazioni che si realizzano, nello stato di fatto, in prossimità del centro abitato di San Fior di Sotto. In particolare, le aree che ancora risultano allagate sono composte da campi caratterizzati da quota depressa rispetto al piano circostante. Non sono presenti tiranti sul piano stradale.

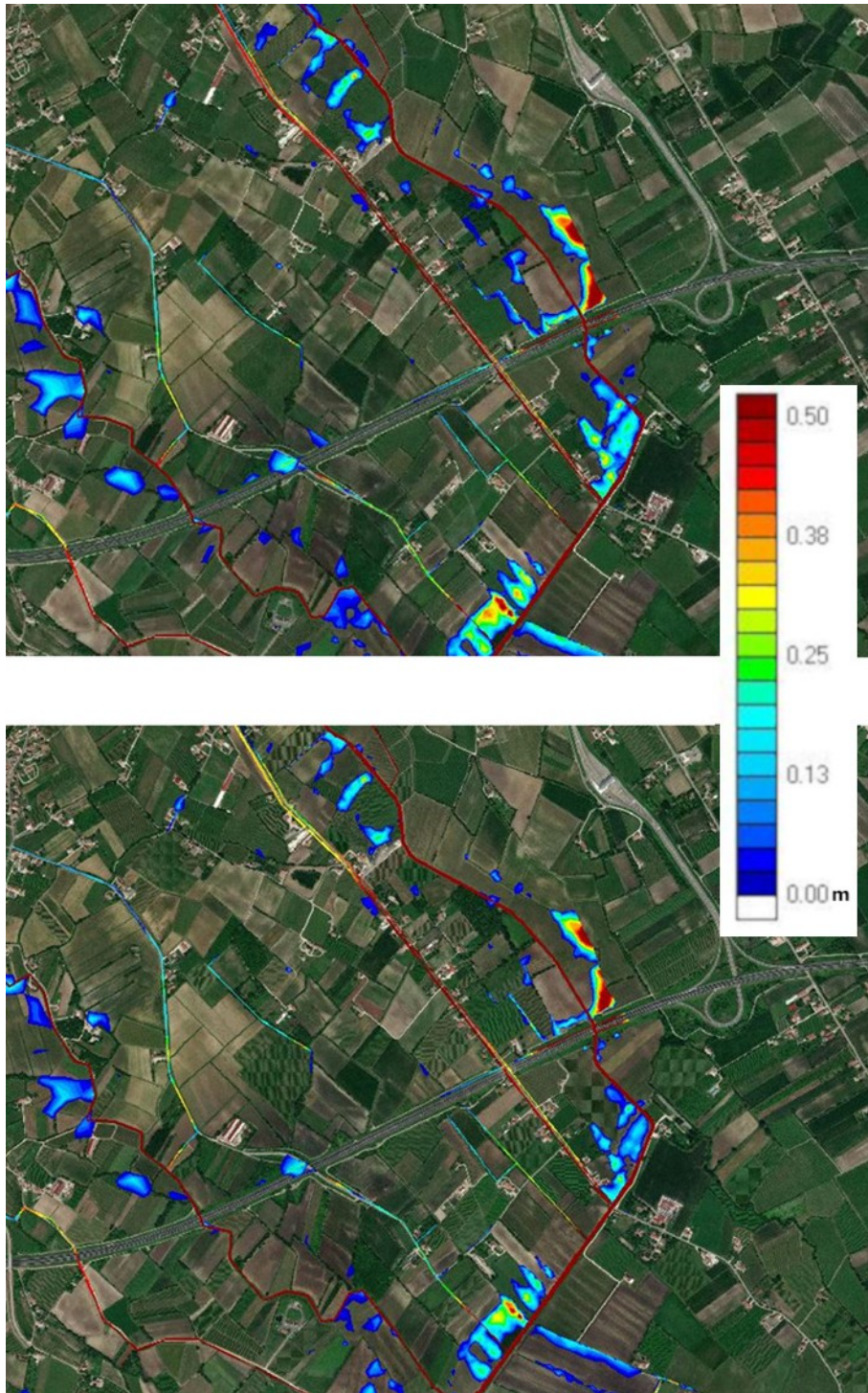


Figura 105: Allagamenti lungo l'autostrada Conegliano-Pordenone (SDF sopra, SDP sotto).

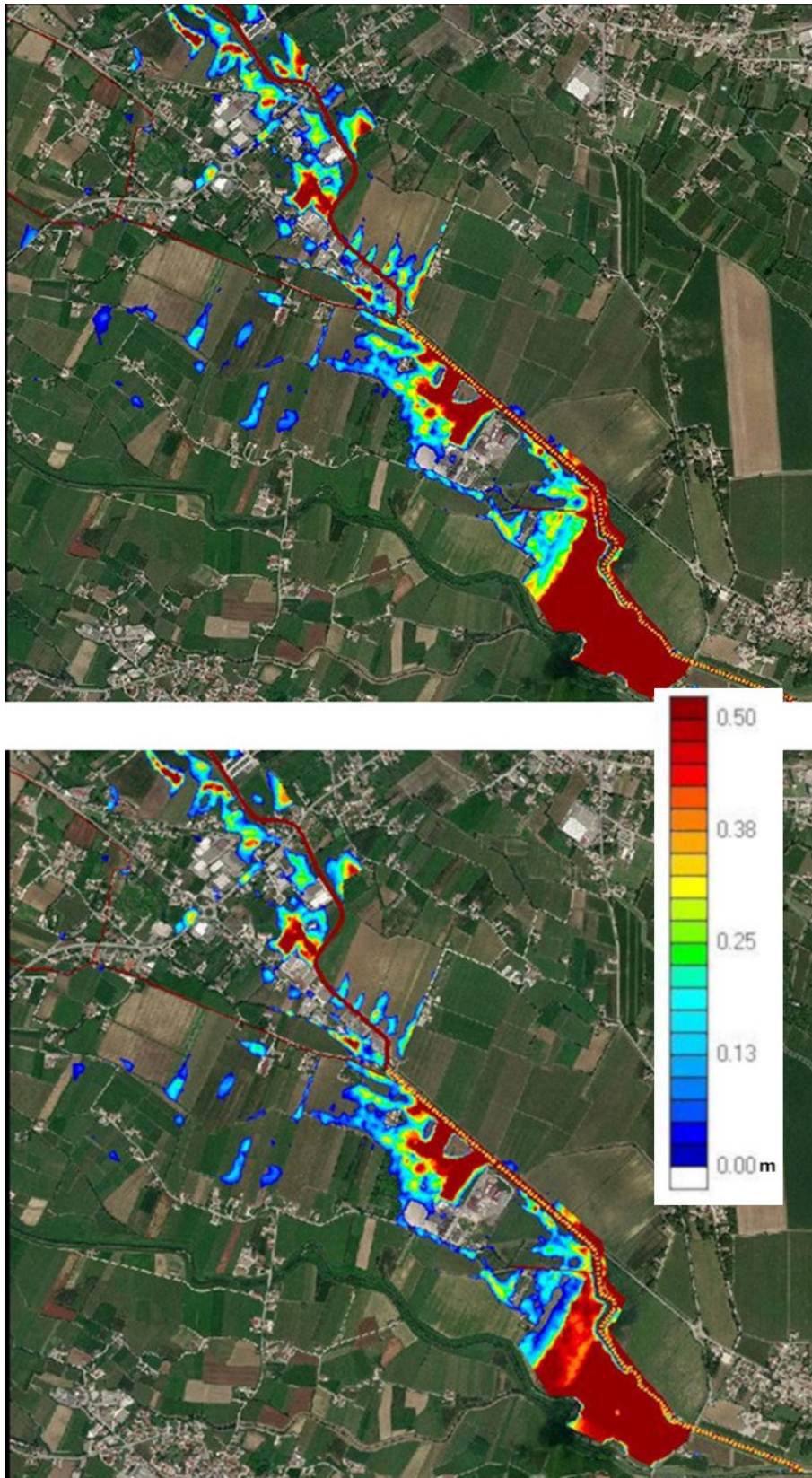


Figura 106: Allagamenti in corrispondenza della confluenza del Codolo nel Monticano (SDF sopra, SDP sotto).

L'influenza delle aree di laminazione si riduce procedendo verso valle. In particolare, come si può osservare in Figura 105 e Figura 106, l'intervento non è in grado di risolvere le criticità presenti all'altezza dell'autostrada Conegliano-Pordenone, così come quelle presenti alla

confluenza del Codolo nel Monticano. Ciononostante, le aree allagate risultano inferiori nello stato di progetto rispetto allo stato di fatto, riportando anche tiranti inferiori sul piano campagna, come si può osservare confrontando i colori nelle immagini precedenti. In particolare, in corrispondenza delle aree in destra idrografica al Codolo, in prossimità della confluenza nel Monticano, i tiranti presenti sui campi presentano una riduzione di circa 20 cm.

Infine, risultano risolte le problematiche presenti in corrispondenza del ponte di Via XXX Ottobre. Tuttavia, risulta evidente che l'intervento risolutivo sia il rifacimento del ponte, piuttosto che l'inserimento dei bacini nel dominio. Inoltre, sebbene il rifacimento del ponte risolva la problematica dell'acqua che invade il piano stradale, eliminare la causa di rigurgito nel Codolo non è sufficiente ad impedirne l'esondazione nelle aree circostanti.

4.4.3. Confronto con la simulazione Hec-Ras

In fase di progettazione, la verifica idraulica del progetto è stata svolta utilizzando il programma di calcolo Hec-Ras, che permette di risolvere profili di moto permanente e vario, per corsi d'acqua naturali e artificiali.

A differenza di quanto fatto in questo elaborato, con Hec-Ras è stato possibile produrre unicamente un modello monodimensionale, in cui i bacini di laminazione sono inseriti come *storage area*, cioè area di laminazione bidimensionale.

Inoltre, la verifica è stata svolta, separatamente, per il Torrente Codolo con relativo bacino, quello posto a nord della ferrovia, e per ognuno dei due affluenti di nord, con il bacino che ad ognuno compete. I diversi colori con cui sono evidenziati i vari canali in Figura 107 indicano l'appartenenza a diversi modelli risolutivi.

Le condizioni iniziali del modello monodimensionale sono condizioni di “tutto asciutto”. Le condizioni al contorno, per ognuno dei modelli sviluppati con Hec-Ras, sono definite a monte – o in nodi intermedi del corso d'acqua – come idrogrammi di piena, definiti per i sottibacini visibili in Figura 108; a valle come livello a moto permanente autonomamente calcolato dal programma, una volta fornita la pendenza del tratto terminale di valle.

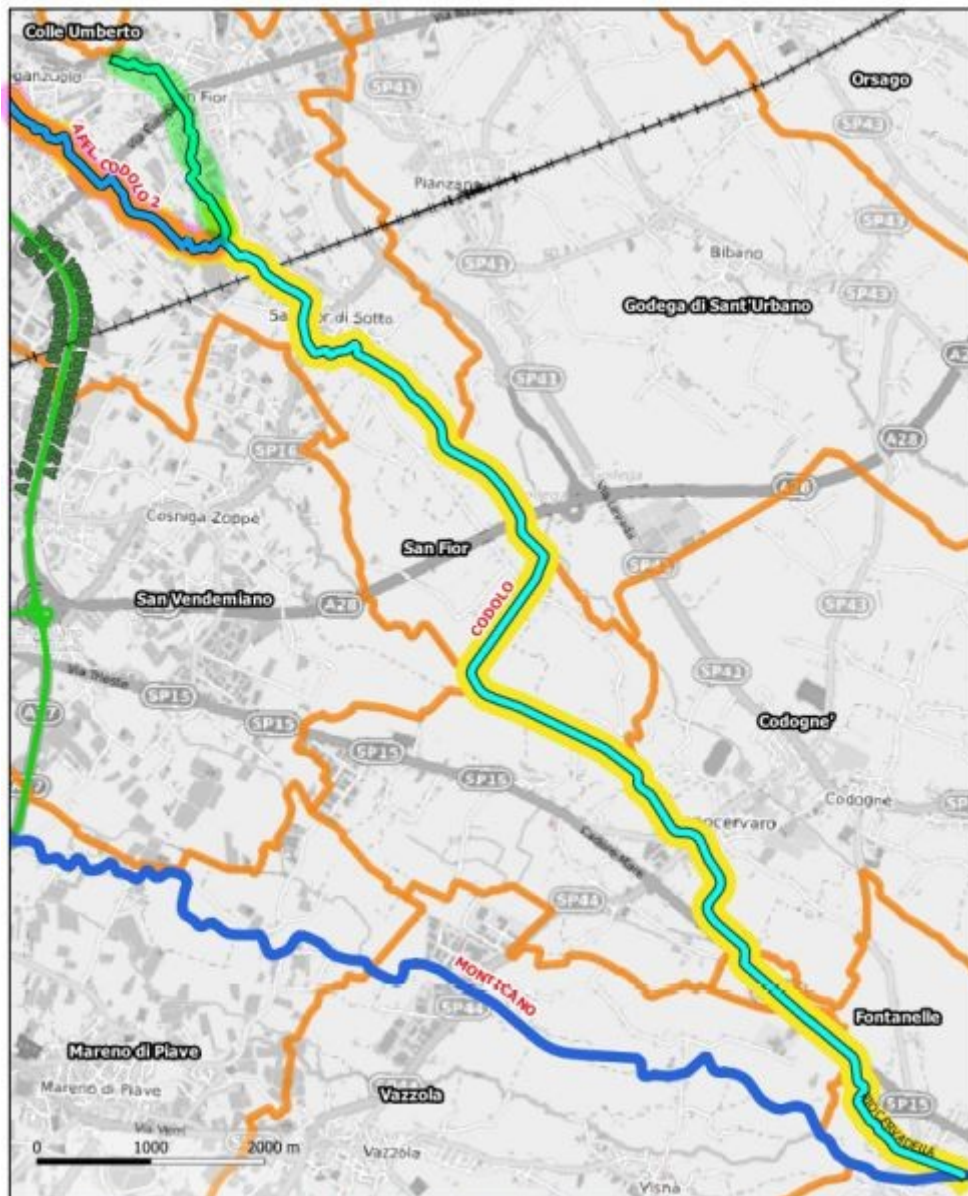


Figura 107: Inquadramento dei diversi modelli. (Fonte: Relazione Idraulica, modificata)

È necessario evidenziare, poiché potenzialmente influente sulle portate transitanti in alveo, che, come indicato nella relazione idraulica che accompagna la progettazione, “per motivi legati alla stabilità del modello, gli idrogrammi calcolati sono stati inseriti eliminando la prima parte del grafico (tempo di formazione del ruscellamento superficiale e di iniziale infiltrazione delle acque nel terreno) con portata pari a 0. Inoltre, sempre per le stesse necessità, è stata impostata una portata minima pari a $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ per tutti gli idrogrammi.”.

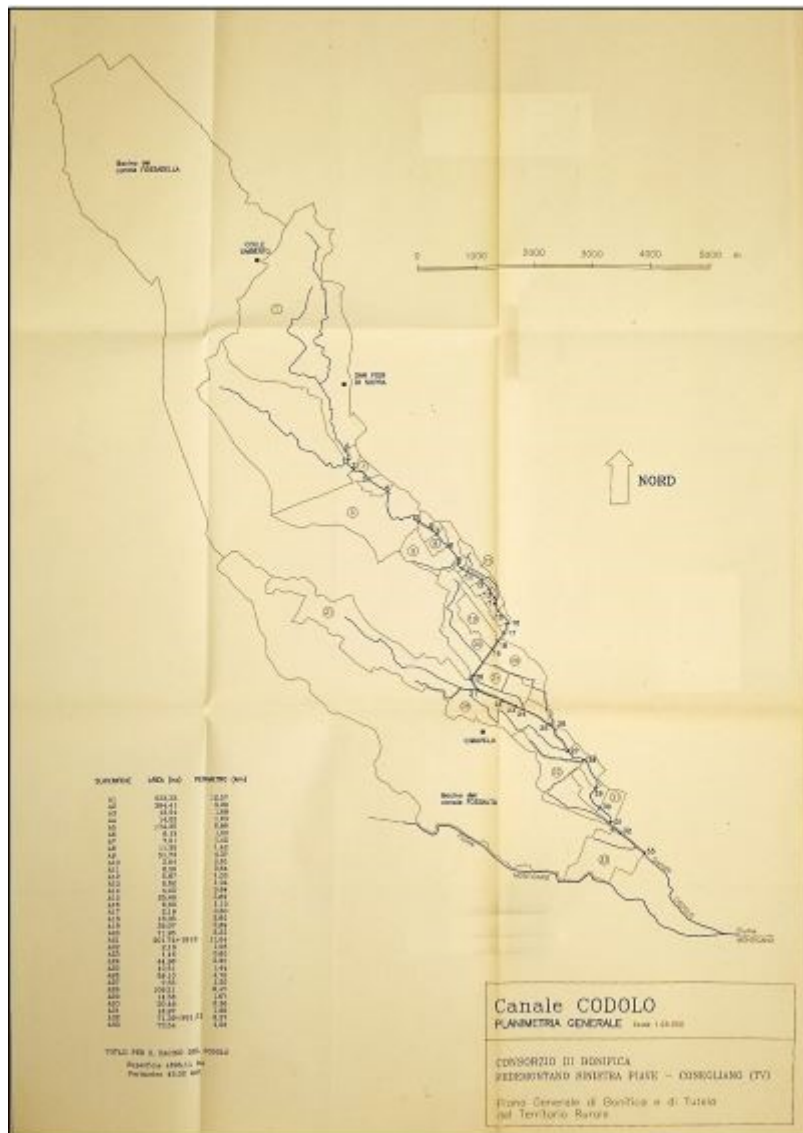


Figura 108: Planimetria generale Torrente Codolo ed individuazione dei sottobacini. Progetto di verifica e ricalibratura della rete di bonifica, 28 giugno 1991 (Fonte: Relazione idraulica)

Visti i diversi approcci alla modellazione (monodimensionale o accoppiato monodimensionale) e le diverse ipotesi di progetto richieste dai due programmi (idrogrammi di piena piuttosto che intensità di precipitazione), si vogliono confrontare i risultati ottenuti per le simulazioni effettuate per lo stato di progetto. Vista la diversa struttura dei modelli, e quindi la differente rappresentazione degli elementi, si ritiene che il modo più facile e diretto per confrontare i risultati sia attraverso l'analisi del comportamento dei bacini, in termini di portate e volumi.

L'evento di riferimento per questa analisi è quello con tempo di ritorno pari a 50 anni.

Bacino sull'affluente Codolo 2. Come esposto in precedenza in Figura 76 e Figura 77, secondo quanto simulato con *2DEF*, per precipitazioni con tempo di ritorno di 50 anni, al bacino sull'affluente Codolo 2 si hanno:

- Volume massimo in cassa pari a 900 m^3 ;
- Portata in ingresso $0.53 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ e portata in uscita $0.47 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

Diversamente, secondo modellazione Hec-Ras, si realizzano:

- Volume invasato in cassa pari a circa 3000 m^3 ;
- massima portata in ingresso è pari a $1.25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ e massima portata in uscita è circa $0.55 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ (come visibile in Figura 109).

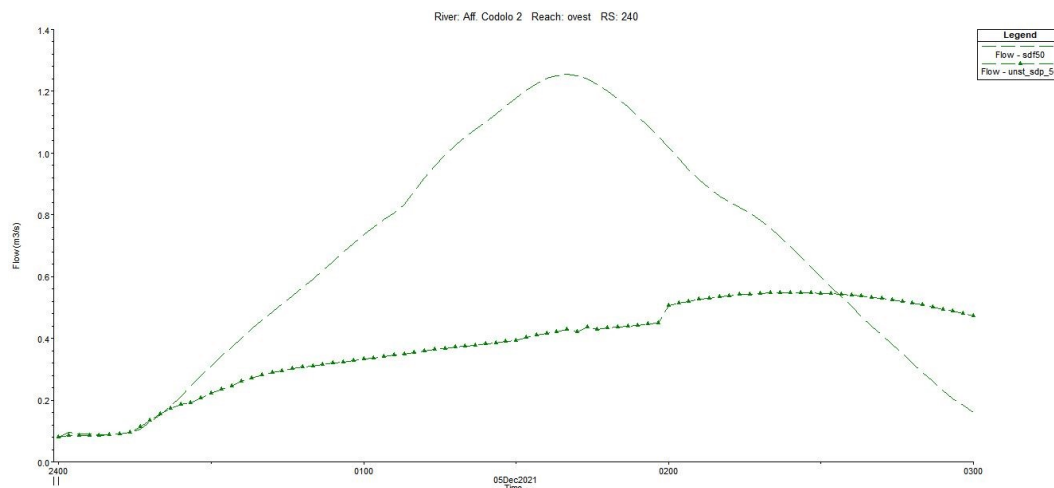


Figura 109: Portate a monte (tratteggiata) e valle (pallini) del manufatto di regolazione, per Tr 50 anni, secondo simulazione Hec-Ras.

È quindi possibile osservare che, nei due diversi modelli, la cassa presenta una diversa capacità di laminazione. In particolare, sebbene le portate in uscita siano molto simili tra loro (coerentemente con l'aver inserito, in entrambi i modelli, lo stesso elemento di regolazione), le portate in arrivo da monte risultano particolarmente differenti tra loro.

Si può ritenere che questo fattore sia un primo sintomo della profonda differenza concettuale tra i due modelli.

Come visibile in Figura 110, nella progettazione Hec-Ras, le portate afferenti all'affluente Codolo 2 sono definite sulla base dei sottobacini identificati nel bacino idrografico dell'affluente stesso. Alla prima sezione di testa del corso d'acqua, a monte della cassa, è stata attribuita l'intera portata generata dal sottobacino 1, tralasciando qualunque considerazione circa la presenza di canali secondari e/o elementi devianti il deflusso, così come la possibilità

che parte della precipitazione si disperda sul piano campagna o si infiltri, senza arrivare in alveo.

Contrariamente, come già esposto in precedenza, in *2DEF* la precipitazione è stata lasciata libera di fluire sul piano campagna e nel primo strato di terreno, interagendo con gli elementi 1D inseriti a rappresentare la rete secondaria. La differenza nei risultati ottenuti dai due diversi modelli, in particolare in termini di portata, sembra evidenziare come il primo approccio porti ad attribuire al corso d'acqua portate che, per conformazione del territorio e della rete, non gli appartengono.

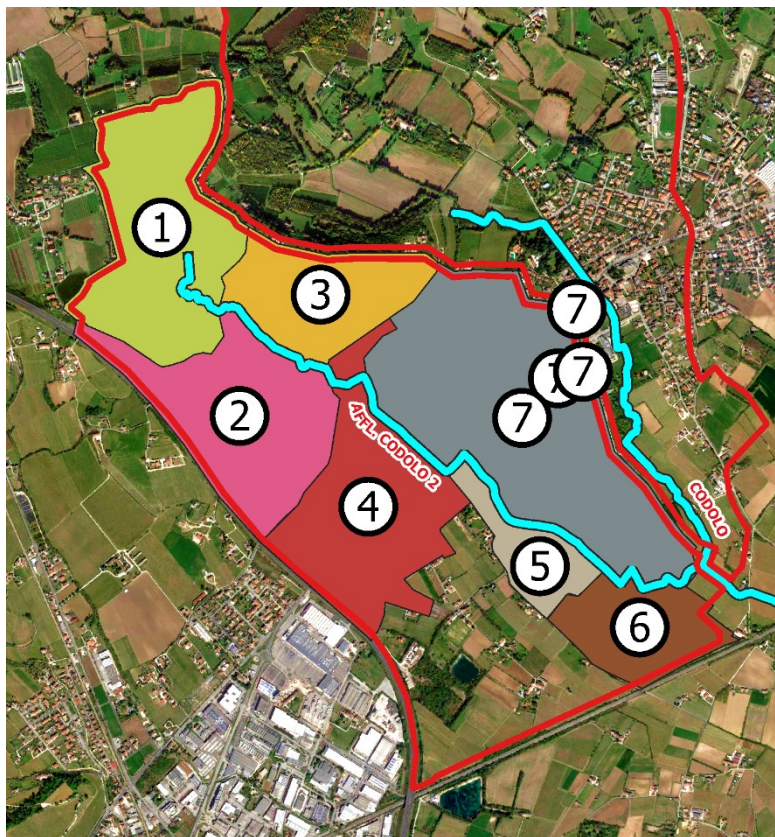


Figura 110: Sottobacini affluente Codolo 2.

Bacino a San Fior di Sopra. Nuovamente, simulando in *2DEF* una precipitazione con tempo di ritorno 50 anni, al bacino collocato a San Fior di Sopra, si realizzano:

- Volume massimo in cassa pari a 7073 m^3 ;
- Massima quota del pelo libero pari a 58.6 m s.l.m. ;
- Portata in ingresso $4.06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ e portata in uscita $2.62 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

Diversamente, secondo modellazione Hec-Ras, si realizzano:

- Volume massimo in cassa pari a 17300 m^3 ;
- Massima quota del pelo libero pari a 58.61 m s.l.m. ;
- Portata in ingresso $5.22 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ e portata media in uscita $3.4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

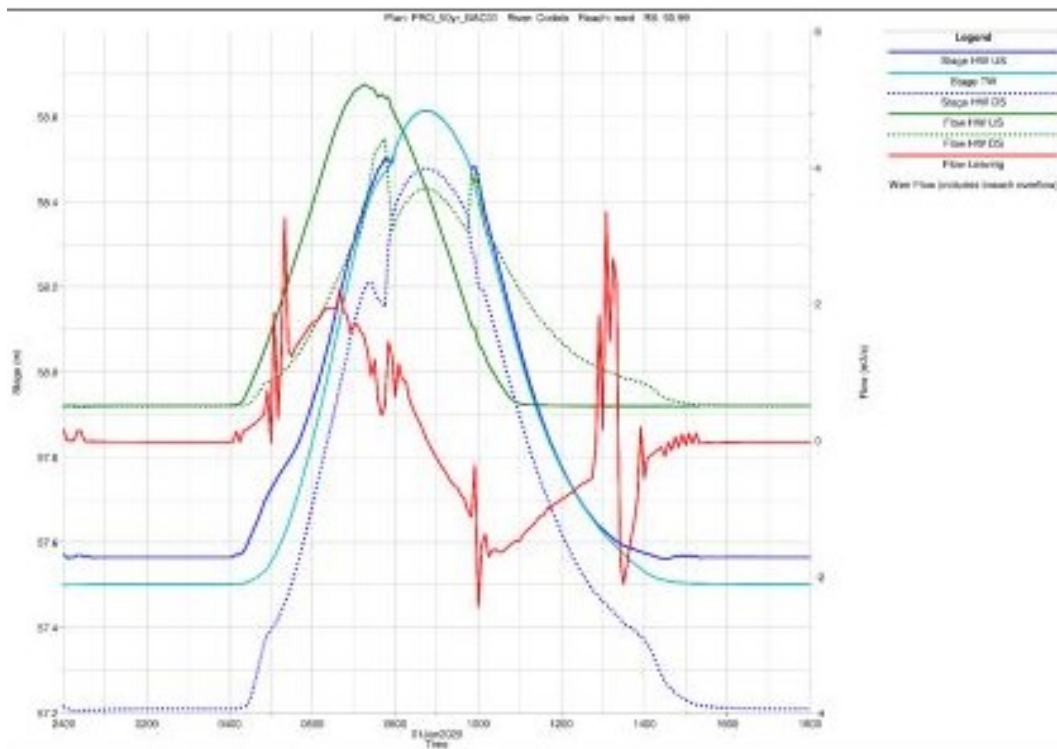


Figura 111: Portate nel bacino secondo modellazione Hec-Ras. (Fonte: Relazione Idraulica).

Nuovamente, oltre ad una leggera differenza nella portata in ingresso al bacino, verosimilmente con causa simile al caso precedente, si evidenzia una grande discrepanza tra i volumi invasati nei bacini nei due diversi modelli, con il secondo volume più che doppio rispetto al primo.

Poiché l'apparato di regolazione è lo stesso nei due casi e la differenza di portata non è tale da giustificare la differenza di volume, si ritiene che quest'ultima sia causata dalla diversa schematizzazione/metodologia rappresentativa del bacino.

In particolare, in Hec-Ras il bacino è stato rappresentato come mostrato in Figura 112, cioè attraverso l'inserimento di una *storage area* con superficie pari alla superficie del bacino e quota fondo pari alla minima quota del bacino, pari a 57.5 m s. l. m.

Diversamente, in 2DEF il bacino è stato schematizzato come esposto al paragrafo 4.2.2, cioè rappresentando esplicitamente gli argini esterni ed anche il simil-argine intermedio, che, di fatto, vanno a ridurre il volume effettivamente disponibile al passaggio della piena. Similmente, la quota fondo non è stata posta pianeggiante e pari alla minima, ma è stata riproposta quanto più fedelmente possibile a quella di progetto; sono quindi state rappresentate le zone boschive con quota media superiore alla circostante.



Figura 112: Geometria di progetto del modello per le opere complementari - bacino di laminazione via Serravalle (Fonte: Relazione Idraulica).

Bacino a nord della ferrovia. Nuovamente, simulando in *2DEF* una precipitazione con tempo di ritorno 50 anni, al bacino collocato a nord della ferrovia, si realizzano, a seconda del tempo di ritorno su cui è stato progettato:

Tr di progetto (anni)	10	50
Volume massimo (m^3)	77987	76530
Massima quota ($m s. l. m$)	47.44	47.40
Portata in ingresso ($\frac{m^3}{s}$)	16.9	16.9
Portata in uscita ($\frac{m^3}{s}$)	15.03	12.7

Come atteso, nei confronti di un evento con Tr. 50 anni, risulta più efficiente, in termini di capacità di laminazione, il bacino progettato proprio sulla base di un evento con tempo di ritorno 50 anni. Tiranti e volumi risultano pressoché identici; come visto in precedenza, la differenza sta nell'istante in cui il volume viene sottratto alla piena.

Diversamente, secondo modellazione Hec-Ras, nel bacino si realizzano:

- Volume massimo in cassa pari a $59410 m^3$;
- Massima quota del pelo libero pari a $46.99 m s. l. m.$;
- Portata in ingresso $18.2 \frac{m^3}{s}$ e portata media in uscita $15.0 \frac{m^3}{s}$.

Bisogna precisare che, a differenza del modello sviluppato con *2DEF*, in cui la paratoia è stata impostata regolata in autonomia in funzione del tirante di valle, in Hec-Ras lo stesso elemento

è stato descritto attraverso una precisa legge di chiusura della paratoia, riportata in Figura 113 e così definita:

- paratoia completamente aperta all'inizio dell'evento;
- abbassamento della paratoia dopo 3,5 ore dall'inizio dell'evento (ovvero poco prima del picco massimo);
- riapertura completa dopo 7 ore (coda dell'evento).

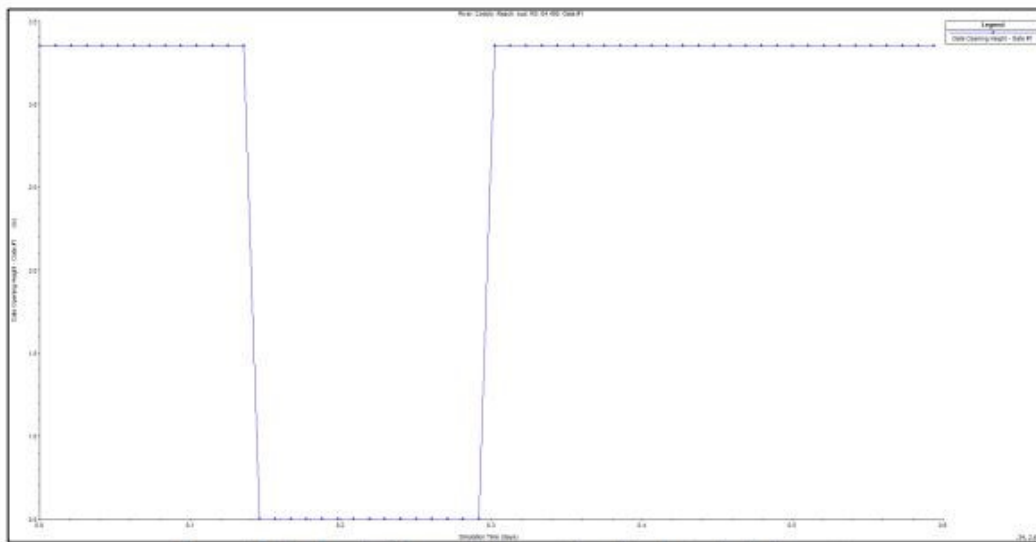


Figura 113: legge di chiusura della paratoia (Fonte: Relazione idraulica).

Tale legge, applicata alle simulazioni con qualunque tempo di ritorno, risulta particolarmente restrittiva per la simulazione ed influenza in modo importante il comportamento del bacino.

Non si è ritenuto corretto/possibile applicare la stessa legge nel modello *2DEF*, per la difficoltà di definire, a priori, tempo di ritorno, grado di chiusura e durata della stessa ottimali per ogni tempo di ritorno.

Si osserva innanzitutto che, come nei casi precedenti, la portata in arrivo al bacino risulta differente nei due casi, con la portata in Hec-Ras maggiore di quella ottenuta in *2DEF*.

La laminazione attuata dal bacino simulato in *2DEF* è maggiore rispetto a quella del secondo modello, così come sono maggiori tiranti e volumi. Questo può essere imputabile proprio alla diversa legge di regolazione della paratoia centrale, essenziale nella definizione dei tiranti che si realizzano in alveo e quindi della portata sfiorata nel bacino.

Nuovamente, si osserva che in Hec-Ras il bacino è stato inserito come *storage area* con quota fondo costante. Anche in questo caso, questa semplificazione nella schematizzazione del bacino può comportare una serie di conseguenze. Innanzitutto, trascurare la presenza di argini interni ed esterni equivale a sovrastimare la superficie utile del bacino (ed il volume disponibile all'interno del bacino) e potenzialmente a sottostimare i tiranti che si realizzano all'interno dello

stesso. Questo ultimo punto potrebbe ripercuotersi sul funzionamento degli organi di regolazione/vuotamento della cassa, influenzando l'efficienza della stessa.

Evento con Tr 50 anni. Viste le differenze che si realizzano nelle portate nelle rispettive sezioni dei due diversi modelli, si ritiene poco utile confrontare i risultati degli stessi in termini di tiranti nelle diverse sezioni del corso d'acqua.

Piuttosto, si ritiene corretto precisare che, seppur le due simulazioni fondino su assunzioni completamente diverse, esse presentino coerenza nei risultati *di massima* ottenuti per eventi con tempo di ritorno 50 anni.

In particolare, entrambe le simulazioni evidenziano che gli interventi di progetto non sono in grado di eliminare le criticità rilevate lungo il Torrente Codolo. In entrambi i casi, permangono tracimazioni diffuse tra l'abitato di San Fior di Sotto e l'autostrada Portogruaro-Conegliano.

La rimozione dei manufatti di sostegno irriguo, pur risolvendo qualche piccolo fenomeno locale, non è soluzione ai fenomeni di tracimazione che avvengono nelle aree contigue del corso d'acqua, con particolare riferimento alla porzione di valle del corso d'acqua.

Infine, la nuova configurazione del ponte in Via XXX Ottobre risulta, in entrambi i casi, risolutiva per i fenomeni di rigurgito che coinvolgono il piano stradale, ma non è sufficiente ad impedire l'esonazione del Codolo nelle aree circostanti.

5. Conclusioni

Sulla base di quanto esposto fino ad ora e considerando i risultati della simulazione sviluppata con *2DEF*, è possibile concludere che l'inserimento delle aree di laminazione nel bacino idrografico del Torrente Codolo risulta risolutivo nel caso in cui l'obiettivo dell'intervento sia quello di limitare la pericolosità idraulica e le esondazioni in corrispondenza delle aree abitate di San Fior di Sopra e San Fior di Sotto, per eventi con tempo di ritorno pari a 10 anni. Diversamente, indipendentemente dal fatto che il bacino di valle sia progettato per eventi con tempo di ritorno 10 o 50 anni, gli interventi risultano poco efficaci nell'eliminazione delle esondazioni che coinvolgono in modo diffuso l'asta del Torrente Codolo, perdendo di influenza man mano che si procede verso la sezione di chiusura.

Per entrambi gli eventi considerati, il rifacimento del ponte in via XXX Ottobre risulta risolutivo dei fenomeni di rigurgito da esso stesso creati, pur non risolvendo in alcun modo il sormonto arginale che si verifica a monte e valle dello stesso.

Indipendentemente dai risultati ottenuti per lo specifico corso d'acqua analizzato, il confronto tra i modelli realizzati con Hec-Ras e *2DEF*, ha permesso di osservare che l'applicazione di un modello puramente monodimensionale, rispetto a quello accoppiato mono-bidimensionale ed idrologico-idrodinamico, porta a trascurare un gran numero di fenomeni propri della formazione delle onde di piena all'interno di un bacino idrografico, quali l'influenza della rete secondaria, la presenza di percorsi preferenziali per l'acqua dati da geometria ed altimetria del terreno o per peculiarità puntuali presenti all'interno del dominio. Allo stesso modo, la modalità di rappresentazione applicata ha permesso di osservare fenomeni coinvolgenti il piano campagna circostante al corso d'acqua, quali, ad esempio, l'allagamento dei campi a sud del dominio per incapacità dei terreni/canali secondari di scaricare la precipitazione in arrivo. Questi fenomeni, che non si possono osservare nella rappresentazione monodimensionale- e nemmeno nella bidimensionale con modello idrologico disaccoppiato, possono talvolta essere ampiamente influenti sul comportamento del bacino ed in particolare sulla sua risposta all'arrivo di una precipitazione o di un fenomeno alluvionale.

Infine, come si è osservato, l'aver applicato un modello idrologico-idraulico ha fatto sì che si potessero ridurre le fonti di incertezza dovute alla necessità di identificare e caratterizzare i sottobacini, nonché di attribuire le rispettive portate nei diversi nodi del corso d'acqua a cui queste afferiscono.

Tutto questo permette di ottenere modelli più affidabili - perché richiedono meno ipotesi alla partenza, più precisi, perché rappresentano/descrivono non solo l'alveo del corso d'acqua, ma anche il piano campagna circostante o gli elementi bidimensionali appartenenti alla rete, e di

più immediata interpretazione: è, infatti, più facile osservare un'esondazione in termini di tiranti sulle maglie 2D piuttosto che doverla stimare sulla base dei tiranti che si verificano in alveo e sul loro confronto con le quote arginali.

Bibliografia

- Consorzio di Bonifica Piave, Battagion P., Pretto L., Pietrobon F., Bixio V., Bixio A.C., *Relazione Generale del “Piano Generale Di Bonifica e Tutela Del Territorio”*, 667, 2019.
- Consorzio Bonifica Piave, De Götzen A., *Relazione Idraulica - sistemazione idraulica canale Codolo, creazione bacini di laminazione in comune di San Fior e Codognè, sostituzione ponte Ghebo e rimozione ostacoli al deflusso*, 86, 2020.
- Consorzio Bonifica Piave, De Götzen A., *Relazione Generale e Illustrativa - sistemazione idraulica canale Codolo, creazione bacini di laminazione in comune di San Fior e Codognè, sostituzione ponte Ghebo e rimozione ostacoli al deflusso*, 40, 2020.
- Chow V.T., *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, 680, 1959.
- Viero D.P., Peruzzo P., Carniello L., Defina A., *Un approccio accoppiato alla modellazione idrologica e idraulica 2D in bacini di pianura*, XXXIV Convegno nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bari, 8-10 settembre, 2, 2014.
- Viero D.P., Peruzzo P., Carniello L., Defina A., *Integrated mathematical modeling of hydrological and hydrodynamic response to rainfall events in rural lowland catchments*, Water Resources Research, 50, doi.org/10.1002/2013WR014293, 17, 2014.
- Blöschl G., *Hydrologic synthesis: Across processes, places, and scales*, Water Resources Research, Vol. 42, W03S02, doi.org/10.1029/2005WR004319, 3, 2006.
- Dottori F., Di Baldassare G., Todini E., *Detailed data is welcome, but with a pinch of salt: Accuracy, precision, and uncertainty in flood inundation modelling*, Water Resources Research, Vol. 49, 6079–6085, doi.org/10.1002/Wrcr.20406, 7, 2013.
- Domeneghetti A., *Effects of minor drainage networks on flood hazard evaluation*, IAHS publication 364, doi:10.5194/piahs-364-192-2014,7, 2014.
- Consorzio Bonifica Piave, Bixio V., Fiume A., Vazzoler C., Zanetti S., *Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento*, 97, 2011.
- Bussettini M., Braca G., Lastoria B., Mariani S., *Linee guida per l'analisi e l'elaborazione statistica di base delle serie storiche di dati idrologici*, ISPRA, Manuali e Linee Guida 84/2013, ISBN: 978-88-448-0584-5, 167, 2013.
- Overeem A, Buishand A., Holleman I., *Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties*, Journal of Hydrology, Volume 348, issues 1-2, 10, 2008.

- Carta dei suoli in scala 1:50000, ARPAV, 2020.
- Carta dei suoli in scala 1:250000, ARPAV, 2020
- Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza; Piave, Brenta-Bacchiglione, *Progetto di piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino idrografico del fiume Livenza*, 211, 2015.