



Città
di Lucca

il Piano Operativo

Quadro Geologico - Tecnico

**RELAZIONE
IDROLOGICO – IDRAULICA**

SINDACO DI LUCCA
Mario Pardini

APPROVAZIONE

QG.18

Sommario

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO	2
2.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
2.2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	3
2.3	RACCOLTA DEI DATI DISPONIBILI E DEFINIZIONE METODOLOGICA DEI LAVORI	5
2.4	CASI STORICI DEI SISTEMI MODELLATI	8
2.4.1	GENERALITÀ	8
2.4.2	SESTO DI MORIANO	10
2.4.3	SISTEMA RIO DI CARRAIA, RIO LAMA, RIO DEL GATTO E ZONA DI SALTOCCHIO	10
2.4.4	RIO DEL TOPO	10
2.4.5	TORRENTE CERCHIA	11
2.4.6	TORRENTE CANABBIA	12
2.4.7	SISTEMA DEL RIO GUAPPERO E AFFLUENTI	13
3	STUDIO IDROLOGICO	14
3.1	GENERALITÀ	14
3.2	PLUVIOMETRIA	14
3.3	PARAMETRIZZAZIONE IDROLOGICA DEL BACINO	16
3.3.1	DETERMINAZIONE DEL BACINO E SUDDIVISIONE IN SOTTOBACINI	16
3.3.2	PARAMETRIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA DEL BACINO	16
3.3.2.1	Parametri geo-morfologici	17
3.3.2.2	Parametro CN	17
3.3.2.3	Parametri tempo	19
3.3.2.4	Parametro perdite iniziali	20
3.4	TABELLA DEI PARAMETRI IDROLOGICI PER I SOTTOBACINI STUDIATI	20
3.5	AMPLIFICAZIONI DOVUTE AL TRASPORTO SOLIDO	21
3.6	MODELLAZIONE IDROLOGICA DEL BACINO	22
3.7	PARAMETRI CAUTELATIVI UTILIZZATI NELLA MODELLAZIONE IDROLOGICA	28
4	STUDIO IDRAULICO	29
4.1	GENERALITÀ	29
4.2	MODELLI IDRAULICI MONODIMENSIONALI	29
4.2.1	GENERALITÀ	29
4.2.2	DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO E DEI PARAMETRI DELLA MODELLAZIONE	29
4.2.3	RISULTATI DELL'ANALISI IDRAULICA SUL CORSO D'ACQUA	30
4.2.3.1	Generalità	30
4.2.3.2	Sesto di Moriano	30
4.2.4	SISTEMA RIO DI CARRAIA, RIO LAMA, RIO DEL GATTO E ZONA DI SALTOCCHIO	31

4.2.4.1	Rio del Topo	36
4.2.4.2	Torrente Cerchia	37
4.2.4.3	Torrente Canabbia	39
4.2.4.4	Sistema del Rio Guappero e affluenti	41
4.2.5	PARAMETRI CAUTELATIVI UTILIZZATI NELLA MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE	46
4.3	MODELLI IDRAULICI BIDIMENSIONALI	46
4.3.1	GENERALITÀ E DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	46
4.3.1.1	Descrizione del codice di calcolo	46
4.3.1.2	Basi matematiche del modello di calcolo	46
4.3.2	ELEMENTI DI INPUT DELLA MODELLAZIONE	47
4.3.2.1	Morfologia del piano di campagna	47
4.3.2.2	Condizioni al contorno	48
4.3.2.3	Elementi particolari	48
4.3.3	RISULTATI DELL'ANALISI IDRAULICA	49
4.3.3.1	Generalità	49
4.3.3.2	Sesto di Moriano	49
4.3.3.3	Sistema Rio di Carraia, Rio Lama, Rio del Gatto e zona di Saltocchio	51
4.3.3.4	Rio del Topo	53
4.3.3.5	Torrente Cerchia	54
4.3.3.6	Torrente Canabbia	56
4.3.3.7	Sistema del Rio Guappero e affluenti	58
5	CARTA DEI BATTENTI, DELLE VELOCITÀ E DELLE MAGNITUDO	62
5.1	GENERALITÀ	62
5.2	CARTA DEI BATTENTI	62
5.3	CARTA DELLE VELOCITÀ	62
5.4	CARTA DELLA MAGNITUDO	62
6	CARTA DELLE AREE PRESIDATE DA RILEVATRI ARGINALI	64

1 PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dal Comune di Lucca per la "Redazione degli studi idrologici-idraulici di supporto alla predisposizione del Piano Operativo", lo scrivente dott. Ing. Paolo Barsotti, iscritto all'ordine degli ingegneri della Provincia di Lucca con numero di iscrizione A959, redige la presente relazione idrologica idraulica.

Il presente elaborato contiene tutte le informazioni per la definizione dei criteri che hanno portato alla formazione del quadro conoscitivo in materia idraulica ai sensi della Legge Regionale Toscana 65/2014 e del Regolamento Regionale 5R/2020: si tenga presente che quest'ultima normativa è entrata in vigore nel periodo intercorso tra l'avvio del Procedimento e la consegna del presente studio. Nonostante ciò, nel lavoro che si presenta dallo si è tenuto conto delle modifiche apportate dalla suddetta disciplina. Questa relazione è accompagnata dagli allegati idrologico idraulici con gli output delle modellazioni effettuate e dalle cartografie di piano in materia idraulica e.

Ha collaborato all'estensione dello studio la dott.ssa Ing. Ilenia Baldini. Gli elaborati di cui si compone lo studio idraulico, oltre alla presente relazione, sono i seguenti:

- ALL. I1 Idrologia – calcoli delle portate di massima pinea
- ALL. I2 Idraulica – Simulazioni sul sistema di Sesto di Moriano
- ALL. I3 Idraulica – Simulazioni sul sistema di Ponte a Moriano-Saltocchio
- ALL. I4 Idraulica – Simulazioni sul sistema del Rio del Topo
- ALL. I5 Idraulica – Simulazioni sul sistema del Rio Cerchia
- ALL. I6 Idraulica – Simulazioni sul sistema del Rio Canabbia
- ALL. I7 Idraulica – Simulazioni sul sistema del Rio Guappero
- ALL. I8 Carta delle sezioni (Ponte a Moriano-saltocchio)
- ALL. I9 Carta delle sezioni (Rio Topo)
- ALL. I10 Carta delle sezioni (Rio Cerchia)
- ALL. I11 Carta delle sezioni (Rio Canabbia)
- ALL. I12 Carta delle sezioni (Rio Guappero)
- QG 12 Carta dei battenti Tr 30 anni
- QG 12a Carta della velocità della corrente Tr 30 anni
- QG 13 Carta dei battenti Tr 200 anni
- QG 13a Carta della velocità della corrente Tr 200 anni
- QG 15a Carta della magnitudo idraulica
- QG 20 Carta delle aree presidiate da sistemi arginali

2 INQUADRAMENTO

2.1 Inquadramento territoriale

Il territorio comunale di Lucca si estende per 185 kmq circa nella parte centrosettentrionale della Regione Toscana, occupando un'area perlopiù pianeggiante delimitata a Nord dalle propaggini meridionali dell'Appennino Settentrionale (rappresentato in questo caso dai rilievi dei monti che degradano dall'Altipiano delle Pizzorne), ad Ovest dal monte Quiesa e a Sud dai Monti Pisani. Soltanto in corrispondenza di questi limiti si riscontrano aree collinari, che tuttavia risultano piuttosto limitate a differenza delle zone pianeggianti le quali occupano la maggior parte del territorio. Ad Est, invece, non si rilevano limiti fisici evidenti. Il Comune di Lucca risulta compreso quasi completamente all'interno del bacino del Fiume Serchio, salvo una ristretta porzione posta ad Est dell'abitato il cui reticolo idraulico drena verso il Canale Rogio con sbocco a mare attraverso l'Emissario del Bientina che fa parte del Bacino del Fiume Arno.

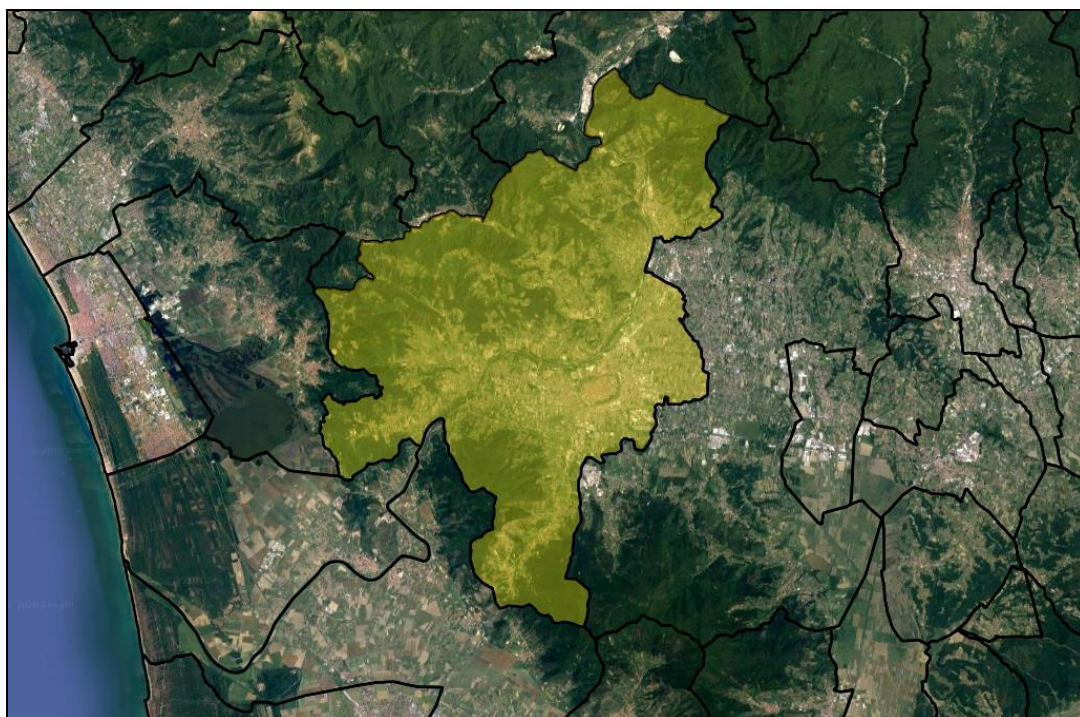


Figura 2.1 – Estensione del territorio comunale di Lucca.

Dal punto di vista idrografico, il reticolo è contraddistinto dalla presenza di un corso d'acqua principale, il Fiume Serchio, che scorre da Nord verso Sud, descrivendo un'ansa evidente attorno alla città di Lucca. Il Fiume Serchio differisce in modo sostanziale, per dimensioni dell'alveo e del bacino, dai suoi affluenti: tra questi i principali sono il Torrente Freddana e il Canale Ozzeri. Il primo, proveniente dalla destra idraulica (detta "Oltreserchio" perché ubicata dalla parte opposta rispetto all'abitato cittadino), drena le acque delle valli che collegano Lucca a Camaiore; il secondo invece è posto in sinistra idraulica e, partendo dal Comune di Capannori, raccoglie le acque di zone pianeggianti poste nella parte meridionale del Comune prima di immettersi nell'effluente.

Si può poi individuare una rete di canali abbastanza diffusa nel territorio. Tra questi, quelli posti nella parte centro orientale del territorio (dalla fascia in cui si trova il nucleo urbano principale fino ai limiti col Comune di Capannori) ospitano esclusivamente scoline e la fitta rete degli ex canali irrigui regionali, poi provinciali e ora in corso di trasferimento, (ai sensi della L.R. 79/2012 e s.m.i.) di nuovo alla Regione ove svolge ancora tale funzione principale. La parte restante, con particolare riferimento all'Oltreserchio e alla parte meridionale, è interessata da reticoli secondari di gestione che per la maggior parte confluiscono nei due affluenti principali e più raramente direttamente nel Serchio.

Anche in questo caso si tratta di sistemi con bacini aventi superfici molto inferiori rispetto all'asta principale, in contesti pianeggianti o pseudo collinari.



Figura 2.2 - Reticolo idrografico del Comune di Lucca: in rosso i corsi d'acqua principali, in azzurro i secondari e in grigio il reticolo di drenaggio o canali irrigui non inclusi nel reticolo.

Un censimento del reticolo idrografico sul territorio è riportato in riferimento alla LR 79/2012 e ai successivi DCRT e DGRT che lo hanno aggiornato; nella Figura 2.2 è riportato un estratto cartografico elaborato in 3D del reticolo che interessa il comune di Lucca e le zone limitrofe.

In generale, il territorio lucchese è stato periodicamente soggetto a problematiche idrauliche dovute ad esondazioni avvenute sia nel passato remoto sia in quello recente. Tra gli ultimi eventi che si sono verificati, la maggior parte ha riguardato il reticolo idraulico minore, o al limite gli affluenti principali del Serchio, sui quali, nel tempo, sono stati realizzati consistenti interventi di messa in sicurezza. Il reticolo secondario è

spesso messo in crisi da piogge molto concentrate sia in termini spaziali sia temporali. Viceversa, gli ultimi fenomeni calamitosi legati al Fiume Serchio riguardano gli eventi del 2000 e del 2009 in cui si sono verificate rotture arginali, in destra idraulica, che hanno causato allagamenti delle aree dell'Oltreserchio, mentre piene significative si sono verificate negli anni 2008, 2012 e 2013 (si veda il seguito della relazione per i dettagli). In tutti i casi suddetti le piene si sono verificate negli ultimi tre mesi dell'anno con prevalenza in novembre e dicembre, talvolta anche in concomitanza di fenomeni di scioglimento di neve caduta nei giorni precedenti.

Ribadendo che **la maggior parte delle criticità riguarda il reticolo minore**, si constata un **aumento di fenomeni meteorici aventi tempi di ritorno teoricamente elevati, che, invece, ricorrono con sempre maggior frequenza.**

2.2 Inquadramento normativo

Questo studio ha come scopo principale la determinazione della pericolosità idraulica del territorio per la formazione del quadro conoscitivo del Piano Operativo Comunale, così come definito dalla normativa vigente. I riferimenti normativamente più significativi sono:

- **Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni** (di seguito denominato PGRA), del Distretto di Bacino dell'Appennino Settentrionale approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 27/10/2016 e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana del 4 febbraio 2017 – Serie Generale n. 29. Tale documento a sua volta ha mutuato gli studi e le loro risultanze dal Piano Stralcio di Assetto Idrologico dell'Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio (Ente ad oggi decaduto).

- **La legge regionale 41/2018** “Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d’acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014” che introduce i concetti di magnitudo idraulica e di aree presidiate da rilevati arginali. In questo documento vengono riprese le classi di pericolosità indicate all’interno del PGRA che sono di seguito indicate:
 - a) pericolosità da alluvione elevata (P3), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni;
 - b) pericolosità da alluvione media (P2), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;
 - c) pericolosità da alluvione bassa (P1) corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.
- **La Legge Regionale Toscana 65/2014**, che attualmente è il riferimento principale in ambito urbanistico.
- **Il regolamento relativo alle indagini a supporto degli strumenti urbanistici 5R/2020** recante il “Regolamento di attuazione dell’articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche” e le relative Direttive Tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche – Allegato A della suddetta norma (si fa presente che alla data di avvio del procedimento il Regolamento non era stato pubblicato, ma era vigente il precedente 53R/2011; tuttavia gli scriventi hanno operato in modo tale da fornire tutta la documentazione coerente con la subentrata norma regionale come già indicato in premessa).
- **La legge Regionale 79/2012** che introduce il concetto di reticolo idrografico, a cui è stata data prima attuazione con la Deliberazione del Consiglio Regionale del 11 giugno 2013, n. 57 “Individuazione del reticolo idrografico e di gestione ai sensi dell’articolo 22, comma 1, lettera e), della Legge Regionale 27 dicembre 2012, n. 79”. Attualmente è vigente il reticolo idrografico approvato con la DCR n. 20/2019.

In particolare, per chiarire la natura delle indagini idrauliche, il dispositivo della 65/2014 riporta quanto segue:

Le indagini per la predisposizione del piano strutturale si articolano in:

- a. *Sintesi delle conoscenze,*
- b. *Analisi ed approfondimenti,*
- c. *Valutazioni di pericolosità.*

Per quanto riguarda la **sintesi delle conoscenze**, si rimanda alla raccolta dati dei piani di bacino e degli altri piani urbanistici vigenti, come di seguito indicato:

*La sintesi delle conoscenze comprende la **raccolta della documentazione relativa al quadro conoscitivo esistente e certificato come esso risulta in base ai piani di bacino, al PIT, ai piani territoriali di coordinamento provinciali** per inquadrare le problematiche ed i vincoli presenti sul territorio, sulla cui base effettuare le successive analisi ed elaborazioni. [...]*

Per quanto riguarda gli **approfondimenti**, essi si riferiscono al reticolo idrografico, che, per la Regione Toscana è quello cui si riferisce la LR 79/2012 e i successivi atti di modifica approvati dalla Giunta Regionale o dal Consiglio Regionale, con indicazione specifica del reticolo idrografico (cfr. Figura 2.2). In particolare si fa riferimento alle sue interferenze con il territorio urbanizzato o le aree interessate da potenziali trasformazioni.

Per quanto riguarda invece la **valutazione della pericolosità**, essa risulta strettamente correlata ai **fenomeni aventi tempo di ritorno trentennale e duecentennale**, secondo le indicazioni riportate nelle Direttive Tecniche dell'allegato A alla 5R/2020, che peraltro risulta allineato con le gradazioni di pericolosità tratteggiate nella LR 41/2018 e di conseguenza con il PGRA.

Per le considerazioni sopra riportate, l'obiettivo che ci si è prefissi è la determinazione delle aree esondabili per i tempi di ritorno 30 e 200 anni almeno nelle aree interferenti con il territorio urbanizzato o nelle aree comunque suscettibili di trasformazione. Chiaramente, laddove disponibili, saranno utilizzati i dati di studi già realizzati. La fase di raccolta dati e il *work-flow* utilizzato sono riportati al paragrafo successivo.

2.3 Raccolta dei dati disponibili e definizione metodologica dei lavori

L'iter degli studi idraulici a supporto del Piano Operativo è cominciato prima dell'inizio del procedimento, con la raccolta dei dati propedeutici alle analisi vere e proprie e la definizione dei contenuti da sviluppare per arrivare all'approvazione.

In particolare, tra i dati raccolti si citano sia gli studi svolti a supporto del Piano Strutturale dal medesimo gruppo di lavoro, sia i dati di pericolosità e dei battenti contenuti all'interno del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, che ad oggi risulta lo strumento sovraordinato per la caratterizzazione del quadro conoscitivo in materia idraulica. Questo ultimo materiale, consegnato direttamente dal Distretto di Bacino dell'Appennino Settentrionale al Comune di Lucca, consiste nei seguenti elementi:

- Aree di Potenziale Esondazione (APE) nella piana di Lucca definite dall'Autorità di Bacino del Fiume Serchio nell'ambito del PAI, che coprono gran parte della superficie comunale interessata da pericolosità idraulica, individuando dei comparti per ognuno dei quali sono definiti un livello liquido trentennale ed un livello liquido duecentennale che, per differenza con le quote del terreno desumibili dal rilievo LIDAR, permettono la determinazione dei battenti idrici di riferimento così come riportati peraltro nelle carte ufficiali del PGRA (TAV3 e TAV 4).
- Battenti e velocità per i fenomeni aventi tempo di ritorno 30 e 200 anni desunti da modelli idraulici bidimensionali di dettaglio svolti dall'ufficio tecnico del Distretto di Bacino in relazione ai corsi d'acqua Contesora, Cerchia e Canabbia nonché al Fiume Serchio in località Ponte a Moriano.
- Battenti e velocità per i fenomeni aventi tempo di ritorno 30 e 200 anni desunti da modelli idraulici bidimensionali svolti dallo Studio INGEO nell'ambito dell'aggiornamento del Piano Strutturale comunale del 2016 (corsi d'acqua Isolella-San Lorenzo, Mulerna, Cerasomma, Arsina e Cerreto).
- Sezioni dei corsi d'acqua Serchio e Freddana con indicazione dei livelli liquidi delle simulazioni monodimensionali (cioè solo sul reticolo idraulico, non in relazione ad eventuali fuoriuscite) per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

Sulla base di queste indicazioni è stata prodotta la carta di sovrapposizione tra le aree a pericolosità, le aree per le quali sono disponibili dati dei battenti alla luce del materiale sopra riportato (Aree di Potenziale Esondazione o zone coperte da studi idraulici bidimensionali approvati) ed il perimetro del territorio urbanizzato. Questa mappa ha consentito di individuare con chiarezza le seguenti criticità:

- quelle relative alle aree per cui, pur essendo indicato un grado di pericolosità medio o elevato (riferendosi alla classificazione di PGRA), non è definito un battente di riferimento. Al loro interno, ai sensi dell'articolo 18 della LR 41/2018, nelle more di dato ufficiale del battente e delle velocità, per la gestione degli interventi edilizi si deve assumere come riferimento un battente pari a 2 m, condizione non realistica ed estremamente

penalizzante. Esse corrispondono principalmente alle zone per le quali l'Autorità di Bacino del Fiume Serchio ha individuato, nell'ambito della stesura del PAI e delle sue varianti, una pericolosità idraulica di tipo geomorfologico, non legata a modellazioni idrauliche vere e proprie. In alcuni casi queste situazioni riguardano il territorio urbanizzato, in altri invece porzioni di territorio al di fuori di esso.

- quelle riferibili ai tratti non studiati di rami secondari del reticolo idrografico di cui alla LR 79/2012 che attraversano il territorio urbanizzato. In questo caso, l'assenza di pericolosità è spesso correlabile all'assenza di approfondimenti idraulici sulle aste in questione e pertanto si rende necessario un approfondimento.

In riferimento a queste situazioni l'amministrazione si è posta i seguenti obiettivi:

- definire il battente in tutti quei casi in cui la pericolosità idraulica di una certa area non è associata a un battente per quanto riguarda il territorio urbanizzato.
- definire i parametri di esondazione in tutti quei casi in cui la pericolosità idraulica di una certa area non è associata a un battente al di fuori del territorio urbanizzato almeno per quanto riguarda quelle aste con bacini superiori a 0.5 kmq o con criticità storicamente note o per aree suscettibili di trasformazioni future.
- studiare quei corsi d'acqua ancora sprovvisti di modellazione che intersecano il territorio urbanizzato, almeno per quanto riguarda quelle aste con bacini superiori a 0.5 kmq o con criticità storicamente note.

Il raggiungimento degli obiettivi sopra esposti rappresenta un traguardo ragguardevole in quanto la definizione del battente (e di conseguenza della **magnitudo idraulica**) sulla globalità delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica facilita e chiarifica gli iter delle pratiche sugli interventi edilizi in essere e futuri in tali fasce di territorio. Per di più, analizzando il panorama dei quadri conoscitivi in materia idraulica per quanto riguarda i comuni della Regione Toscana, la definizione globale del battente su tutte le aree caratterizzate da pericolosità o comunque all'interno del perimetro del territorio urbanizzato, risulta piuttosto rara e il conseguimento di questo obiettivo renderebbe Lucca uno dei primi Comuni a disporre di questa informazione.

In relazione alle situazioni di cui al punto precedente, preme sottolineare alcune situazioni particolari che permettono di stabilire il battente senza ricorrere a modellazioni idrauliche di dettaglio. Ci si riferisce in particolare alle seguenti situazioni:

- Le fasce di territorio senza pericolosità idraulica a cavallo del Torrente Freddana. Su tale corso d'acqua, infatti, sono in corso di svolgimento due analisi idrauliche di dettaglio (una promossa dalla Regione Toscana, l'altra dal Distretto di Bacino dell'Appennino Settentrionale). Per tali ragioni appare chiara l'opportunità di non condurre un terzo studio idraulico indipendente, anche in considerazione della possibilità di ricavare risultati differenti dalle altre due simulazioni. Per la definizione del battente in forma analitica si attenderà la validazione dei dati degli studi sopra citati. Prima della validazione dei risultati di tali studi, per la gestione delle pratiche edilizie nelle fasce a pericolosità idraulica a cavallo della Freddana sarà utilizzato il battente esistente e, se non disponibile, il dato del battente fornito dal Distretto di Bacino associato alle sezioni trasversali del corso d'acqua. Qualora l'altezza dell'acqua risultasse inferiore rispetto al piano di campagna, è stato deciso, di comune accordo con gli uffici del Genio Civile in fase di Avvio del Procedimento, di assumere un battente nullo con l'adozione di un franco di sicurezza pari a 15 cm (che corrispondono più o meno all'alzata di uno scalino). Il franco di sicurezza cui si fa riferimento è peraltro indicato all'interno della LR 41/2018 (si rimanda all'articolo 2, comma 1, lettera n, in cui la sopraelevazione è correlata al battente maggiorato di un relativo franco di sicurezza).

- Le fasce di pericolosità in adiacenza al Fiume Serchio in località Vinchiana e in località Sesto di Moriano, per le quali valgono le stesse considerazioni svolte a proposito del torrente Freddana.
- Quelle aree all'interno delle Aree di Potenziale Esondazione la cui quota sul livello del mare è superiore rispetto alla quota del pelo libero trentennale e duecentennale individuato per le APE fornite dai tecnici dei distretti di Bacino. Si tratta di aree “di frangia”, poste in prossimità del perimetro delle APE stesse, o di singolarità all'interno delle APE in cui il piano di campagna si innalza al di sopra dei livelli di esondazione indicati dal Distretto di Bacino. Tra tutti questi casi si cita con particolare riguardo i territori posti a valle del sistema dei Bottacci, in prossimità della confluenza dell'Ozzeri con il Guappero. Tali aree risultano di per se protette dal sistema di laminazione dei Bottacci e da interventi di adeguamento sul sistema del rio Guappero a valle delle casse di espansione realizzati dalla Provincia di Lucca su progetto dell'ing. Renzo Bessi. Pertanto, in queste zone la pericolosità non è associabile al rio Guappero, quanto piuttosto al sistema dell'Ozzeri in generale attraverso i battenti già recepiti dal Distretto di Bacino. Anche in questo caso, qualora il dato del battente risultasse inferiore rispetto al piano di campagna, si è stabilito di adottare un battente nullo con l'impiego di un franco di sicurezza analogo a quello definito ai punti precedenti.

A fronte di queste considerazioni, i corsi d'acqua oggetto di analisi idrauliche di approfondimento richieste dal Comune sono i seguenti:

- **SISTEMA 1:** Affluente destro del Serchio in località Sesto di Moriano;
- **SISTEMA 2:** Rio Lama, Rio del Gatto e Rio di Carraia in località Ponte a Moriano e Saltocchio;
- **SISTEMA 3:** Rio del Topo in località Sant'Alessio, a monte dell'area già oggetto di analisi;
- **SISTEMA 4:** Torrente Cerchia subito a monte del tratto studiato dall'Autorità di Bacino del Fiume Serchio;
- **SISTEMA 5:** Fosso Canabbia e n. 2 affluenti del Rio Certosa a monte del tratto con battenti del Fiume Serchio già individuati;
- **SISTEMA 6:** Rio Guappero a monte dell'immissione nei Bottacci, Fosso dei Frati, Rio di Vaccoli, Rio del Querceto, Rio San Pantaleone e affluente sinistro del Rio Guappero individuato nella cartografia allegata nel sistema del Rio Guappero.

Ad essi si aggiunge l'**area di Saltocchio** interessata dal reticolo di drenaggio e dalla rete dei canali irrigui al di fuori del territorio urbanizzato. Tale area è storicamente soggetta ad allagamenti soprattutto per le sfavorevoli condizioni morfologiche. Si fa presente che tutti i corsi d'acqua sono stati individuati a fronte di un censimento operato in fase di Avvio del Procedimento di concerto con gli Uffici del Genio Civile. Per l'esattezza, alla lista individuata in quell'ambito è stato aggiunto il Rio del Gatto, per dare una maggiore organicità allo studio dell'area di Ponte a Moriano – Saltocchio.

Le analisi si sono svolte secondo il seguente schema logico:

- Recupero di informazioni relative agli eventi storici realmente accaduti sui corsi d'acqua analizzati in modo da verificare l'attinenza dei modelli realizzati con la realtà (v. par 2.4);
- Recupero di rilievi topografici disponibili sul corso d'acqua o, laddove non disponibili, esecuzione di nuovi rilievi topografici;
- Analisi idrologiche con determinazione delle portate di deflusso per i tempi di ritorno 30 e 200 anni (v. par 3);
- Analisi idrauliche monodimensionali sui corsi d'acqua per la definizione degli eventuali punti di criticità e degli idrogrammi di esondazione (v. par 4.2);

- Analisi idrauliche delle esondazioni sul piano di campagna a partire dai punti di criticità precedentemente definiti con determinazione dei battenti, delle velocità e della **magnitudo ai sensi della LR 41/2018** (v. par 4.3)
- Produzione delle carte dei battenti e delle velocità mediante l'involuppo dei nuovi studi con i dati già disponibili (v. par 5).

I dati dei battenti, delle velocità e della magnitudo sono poi utilizzati dal geologo per la redazione delle carte della pericolosità e del rischio idraulico.

Si ribadisce che alla data di avvio del Procedimento era in corso l'aggiornamento del regolamento regionale 53R/2011, contenente le indicazioni per la conduzione delle analisi idrauliche di dettaglio a supporto dei Piani Urbanistici e dei loro aggiornamenti o varianti. Il presente lavoro tiene conto degli aggiornamenti contenuti nel nuovo regolamento (5R/2020). Nell'ambito di questi aggiornamenti è stata prodotta la carta con indicazione delle aree presidiate da difesa arginale, così come definite dall'art. 14 della LR 41/2018 in modo da supportare l'ufficio tecnico comunale nella funzione della Protezione Civile (v. par 6).

2.4 Casi storici dei sistemi modellati

2.4.1 Generalità

Indicazioni riguardo ai casi storici degli eventi alluvionali che hanno riguardato il Fiume Serchio ed i suoi affluenti sono riportati nel ***“REPORT n. 1 Eventi alluvionali di impatto significativo avvenuti nel passato”*** redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Serchio nell'ambito della redazione del citato “Piano di gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico Pilota del Fiume Serchio” nel settembre 2010. Nel Report sono riportate le piene del Fiume Serchio e dei suoi affluenti di cui sono state reperite notizie storiche dal 1419 al 2009, con particolare riferimento alle piene più importanti (1940, 1982, 1992, 2000 e 2009). Inoltre, molto interessante per la quantità di immagini delle aree allagate (alcune riportate di seguito) è il “Supplemento al n. 0” del Quaderno redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Serchio relativo a *“Gli eventi alluvionali del 9 giugno e del 11 luglio 1992”*, questo ultimo riguardante il fiume Versilia. Infine, per gli eventi degli anni 1991, 1992, 1993 la Regione Toscana ha redatto uno Shp file delle aree allagate di tutto il territorio regionale. Risultano d'interesse le aree riportate per il Comune di Lucca (Figura 2.5).

Si ricordano per informazione i dati delle ultime piene del Fiume Serchio che, in alcuni casi hanno provocato allagamenti. Al fine di dare una indicazione della piena si rappresenta che l'idrometro di riferimento è quello di Monte San Quirico i cui livelli di guardia sono 1° soglia 1.5 m, e la 2° soglia 2.8 m. Nel 2000 la piena ha raggiunto la quota di 3.19 m. e a causa di una rottura arginale all'altezza di Nozzano vi fu l'allagamento dell'abitato e delle aree circostanti. Nel 2009 la piena ha raggiunto la quota di 3.24 m. e a causa di due rotture arginale, una a monte e l'altra a valle della Autostrada A11 verso la Versilia, vi fu l'allagamento dell'Oltreserchio. Piene minori ma significative si sono verificate nel 2008 con quota idrometrica di 2.73 m., nel 2012 con quota idrometrica di 3.02 m. e nel 2013 con quota idrometrica di 2.55 m., che hanno rappresentato le rispettive quote massime annuali delle piene del Serchio. Si è verificato un evento eccezionale nella Valfreddana il 21-22/07/2014 con sormonti arginali e conseguenti allagamenti. Si sono inoltre verificate piccole piene che riguardano Ozzeri, Contesora e Freddana negli eventi del 17-19 gennaio 2014, 5-7 novembre 2016, 4-5 febbraio 2017, 10-12 dicembre 2017, 28 dicembre 2017 e 01-03 febbraio 2019.

Detta documentazione ha costituito una verifica, ove possibile, delle aree allagate risultanti dai modelli 2D elaborati nel presente studio.

Idrometrica storicamente monitorate, tracce su manufatti o edifici in aree inondate).	
1419	(novembre): varie piene con gravissimi danni, testimoniate nelle "Cronache" di Giovanni Sercambi.
1486	(inverno) piene disastrose con gravi inondazioni nella campagna lucchese.
1572	(data imprecisata): violenta piena con crollo del ponte di San Quirico (Lucca).
1608	(12 novembre): piena che travolge di nuovo il ponte di San Quirico (Lucca) e l'argine sinistro, con danni alla città ed alla campagna.
1623	(6 novembre): piena che rompe l'argine tra Saltocchio e Lucca e riporta il fiume verso Bientina e Vicopisano.
1628	(8 dicembre): rotto l'argine di Ponte San Pietro (Lucca) e l'argine sinistro a Sant'Anna, le acque raccolte dall'Ozzeri sono rigurgitate fino a Bientina.
1696	(7 dicembre): piena di notevole portata. La più intensa di cui si abbia memoria al 1730.
1713	(data imprecisata): piena con allagamento della campagna lucchese. Seconda piena di cui si abbia memoria al 1730. "... dieci once più bassa di quella del 1696..."
1721	(data imprecisata): piene con allagamento della campagna lucchese.
1727	
1728	(8 dicembre): rotta a Ponte San Pietro.
1750	(18 novembre): rotto l'argine sinistro a Sant'Anna, le acque si scaricano attraverso la piana a Fagnano, San Donato, San Concordio e fino a Bientina.
1768	(data imprecisata): non si hanno rotte, ma le acque, attraverso l'Ozzeri, rigurgitano nel Bientina.
1772	(data imprecisata): distrutto il ponte "di Orlando" sul Serchio (costruito ai tempi di Castruccio) tra poggio di Perpoli e poggio di Riana.
1786	(20 novembre): travolto l'arco maggiore del ponte San Quirico.
1798	(data imprecisata): rotta a Sant'Anna-Palazzaccio con allagamenti delle campagne.
1812	(18 novembre): travolto il ponte San Quirico, rotto l'argine sinistro a Salicchi, acque in tutta la campagna circostante la città, difesa dalla chiusura delle porte delle mura.
1819	(25 ottobre): rotta a Sant'Anna (Lucca), per salvare la città, tagliato l'argine a Sant'Alessio, travolti gli argini a Ripafratta, con inondazione fino a San Giuliano Terme e a Pisa.
1836	(2 ottobre): una delle maggiori piene conosciute (m 4,92 all'idrometro di Monte San Quirico, circa 2 metri più alta di quella verificatasi il 25 dicembre 2009), senza danni per Lucca grazie al nuovo argine maestro del Nottolini, con rotta però a Cerasomma e inondazione fino a Ripafratta. Gravi danni anche nei tratti del medio ed alto corso del fiume.
1843	(15 - 16 gennaio): travolto il ponte di Diecimo (oggi località Ponterotto), rotte a Sant'Alessio, Nozzano, Filetola, Avane e Migliarino, con devastazione di paesi e campagne e inondazioni fino a Pisa.
1870	(24 ottobre): piena di circa un metro inferiore a quella del 1836.
1872	(21 ottobre): piena di circa un metro inferiore a quella del 1836. Esondazioni diffuse dei corsi d'acqua Freddana, Pedogna, Fraga, Cerchia e Guappero.
1881	(data imprecisata): Nessuna informazione supplementare in merito ad esondazioni e/o danni.

Figura 2.3 - Tabelle estratte dal "REPORT n. 1 Eventi alluvionali di impatto significativo avvenuti nel passato" dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio.

Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio	
1886	(date imprecisate): danni gravissimi in Garfagnana, in rovina molte strade adiacenti al fiume.
1898	
1902	(11 ottobre): Nessuna informazione supplementare in merito ad esondazioni e/o danni.
1920	(15 agosto): Nessuna informazione supplementare in merito ad esondazioni e/o danni.
1922	(4 novembre): taglio dell'Argine a Sant'Alessio per salvare Lucca e i paesi a valle.
1940	(17 novembre): inondazione in riva destra, da Sant'Alessio a Nozzano e Filetola. Rotta l'argine a Nodica con allagamento del bacino del Massaciuccoli. Portata misurata alla sezione di Borgo a Mozzano pari a circa 1740 mc/s.
1952	(19 novembre): inondazione in riva destra a valle di Pontasserchio e rotta presso Nodica.
1966	(4 novembre): il Serchio va in piena, al limite degli argini, ma senza danni alla pianura di Lucca. Interrotta la SS del Brennero, presso Vinciana ed a Bagni di Lucca in località "Le Ravacce" per lo straripamento del torrente Lima.
1982	(9 novembre): piena del Serchio con portata superiore a 2.000 mc/sec a Monte San Quirico, senza danni alla città di Lucca. Inondazione della zona dell'Oltreserchio per rottura degli argini del torrente Certosa e rigurgito delle acque del Serchio. Rottura dell'argine a valle di Nodica sia in sinistra (tenuta di S. Rossore) sia in destra (tenuta a valle di Migliarino). Portata misurata alla sezione di Borgo a Mozzano pari a circa 2000 mc/s.
1987	(24-25 agosto): violentissimi nubifragi a danni in alta Garfagnana con elevata piena estiva del Serchio, fino all'altezza di Castelnuovo di Garfagnana.
1992	(9 giugno): evento alluvionale nella pianura di Lucca, con particolare gravità nelle aree dei bacini del torrente Freddana, del torrente Contesora (Oltreserchio) e dell'Ozzeri.
2000	(1-9 novembre): sequenza di due piene del Serchio con picco di portata di 1.580 mc/sec a Borgo a Mozzano, con rottura dell'argine in località Cateratte e inondazione a Nozzano, allagamenti intorno all'Ozzeri a sud di Lucca e rottura dell'argine sinistro dell'Ozzeri poco a monte della confluenza del Serchio.
2008	(4 e 5 dicembre): piogge intense in particolare sul versante apuano della Garfagnana e sul versante appenninico dell'alta Val di Lima con piena del Serchio. Portata misurata alla sezione di Borgo a Mozzano pari a circa 1025 mc/s.
2009	(20 gennaio): abbondanti e prolungate precipitazioni con allagamenti in Comune di Lucca (S. Alessio) e in Comune di Vecchiano (Filetola).
2009	(23-25 dicembre): precipitazioni intense e prolungate con due picchi di piena consecutivi, con portate stimate in 1.200 e 1.900 mc/sec nel tratto pisano. Rottura degli argini del Serchio nella zona di Santa Maria a Colle in provincia di Lucca e nel tratto compreso tra Nodica e Migliarino Pisano, in provincia di Pisa.

Tabella 1. Tabella di sintesi delle piene storiche del Serchio (con particolare riferimento al tratto pensile sulla piana di Lucca).

Figura 2.4 - Tabelle estratte dal "REPORT n. 1 Eventi alluvionali di impatto significativo avvenuti nel passato" dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio.



Figura 2.5 - Cartografia aree allagate 1991, 1992, 1993 redatta dalla Regione Toscana.

2.4.2 Sesto di Moriano

L'area in oggetto è stata colpita nell'evento alluvionale del novembre 2000 che causò morti nella frazione Vinchiana. Anche l'area di Sesto di Moriano fu oggetto di piogge intense con dissesti franosi, ma non si sono reperite aree allagate.

2.4.3 Sistema Rio di Carraia, Rio Lama, Rio del Gatto e zona di Saltocchio

Sicuramente uno degli eventi recenti più significativi relativi al sistema di Rii in esame è quello verificatosi il 9 giugno 1992 e descritto nel "Supplemento al n. 0" al Quaderno dell'Autorità di Bacino che ha documentato le aree allagate anche se non sono presenti fotografie della zona in argomento. Per l'evento inoltre la Regione Toscana ha cartografato le aree allagate assieme agli eventi del 1991, 1992 e 1993. Per dette aree si riporta un estratto della cartografia anzidetta redatta dalla Regione con a fianco le aree allagate derivanti dal modello eseguito.

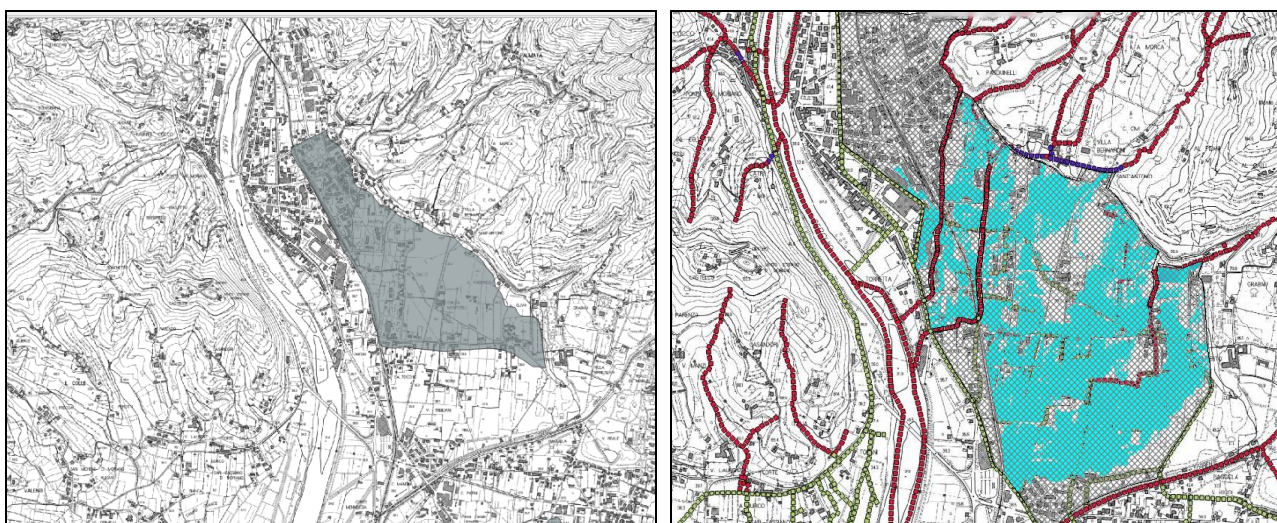


Figura 2.6 - Cartografia aree allagate 1991, 1992, 1993 redatta dalla Regione Toscana
Confronto fra l'Area allagata di Saltocchio e le aree allagate risultanti dal modello.

2.4.4 Rio del Topo

Sicuramente l'evento recente più significativo relativo al rio in esame è quello verificatosi il 9 giugno 1992e descritto nel "Supplemento al n. 0" al Quaderno dell'Autorità di Bacino che ha documentato con ampia copertura di fotografie le aree allagate. Inoltre, la Regione Toscana ha cartografato le aree allagate assieme agli eventi del 1991, 1992 e 1993.

A seguito degli eventi alluvionali anzidetti, il Comune di Lucca ha eseguito una cassa di espansione nella parte collinare del Rio del Topo e ha in progetto di realizzarne un'altra, oltre ad essere intervenuto su parte delle sezioni idrauliche del Rio stesso. La Provincia di Lucca, inoltre, è intervenuta sul Rio Freddanella di Sant'Alessio mediante la realizzazione di uno scolmatore, a monte dell'argine traverso di Corte Pistelli, e di un impianto idrovoro in prossimità dell'argine destro del Fiume Serchio.

Di seguito, nella foto aerea di Sant'Alessio estratta dal "Supplemento al n. 0" dell'Autorità di Bacino Fiume Serchio citato con a fianco la cartografia con il risultato del modello bidimensionale, si può notare una sostanziale coerenza con le aree allagate dal modello dal solo Rio del Topo.

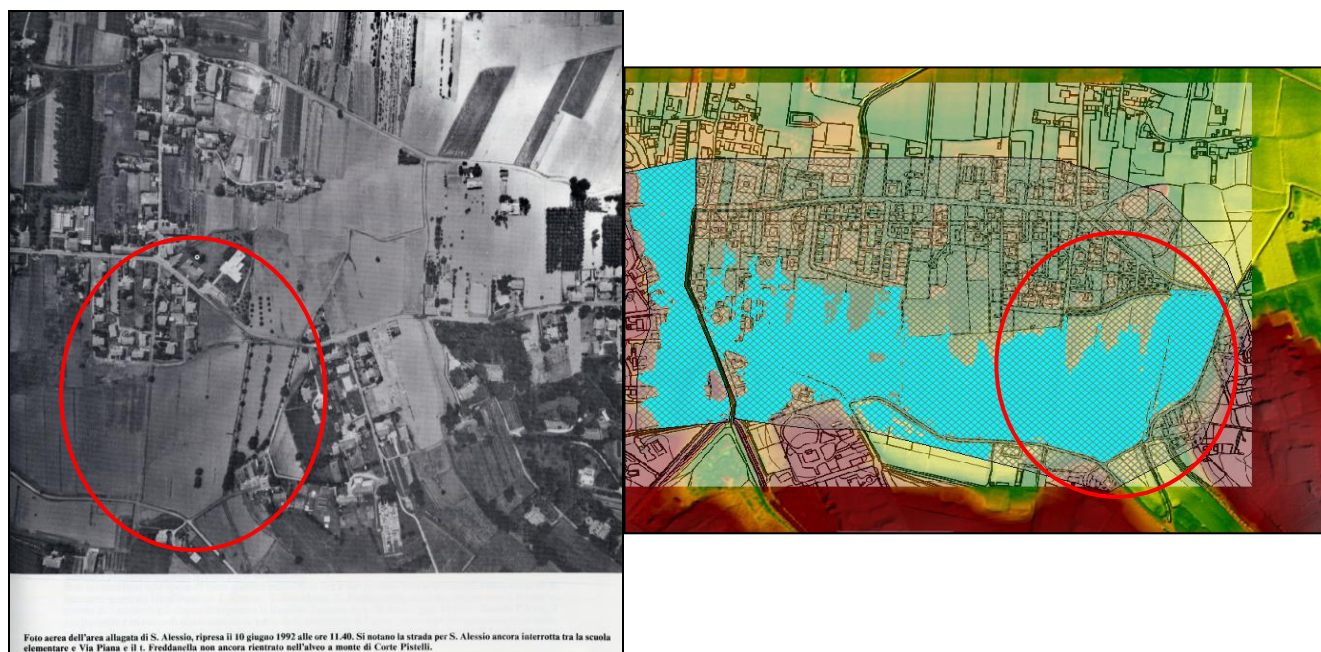


Figura 2.7 - Foto aerea evento del 1992 riguardante l'area di Sant'Alessio e le aree allagate risultanti dal modello.

Si riporta, inoltre, un estratto della cartografia degli eventi del 1991, 1992 e 1993 redatta dalla Regione con le aree allagate.

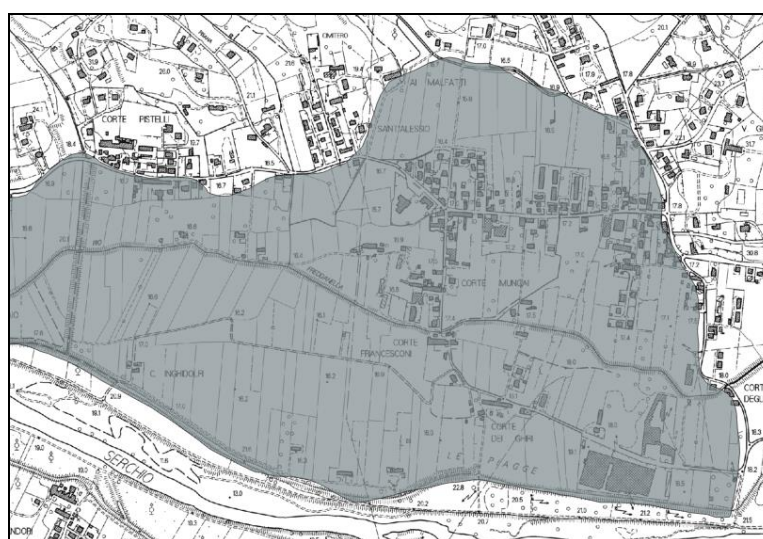


Figura 2.8 - Cartografia aree allagate 1991, 1992, 1993 redatta dalla Regione Toscana area Sant'Alessio.

2.4.5 Torrente Cerchia

Sicuramente l'evento recente più significativo relativo al torrente in esame è quello verificatosi il 9 giugno 1992 e descritto nel "Supplemento al n. 0" al Quaderno dell'Autorità di Bacino per il quale tuttavia non sono presenti coperture fotografiche delle aree allagate. In quella occasione affluì nel torrente Cerchia anche una parte delle acque esondate dal torrente Contesora che, percorrendo Via delle Gavine all'incrocio con Via delle Nubache, furono deviate in parte in questa via con aggravamento delle condizioni di criticità del Cerchia stesso.

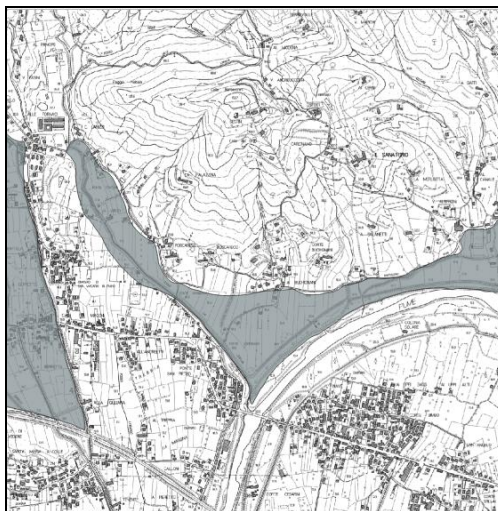


Figura 2.9 - Cartografia aree allagate 1991, 1992, 1993 redatta dalla Regione Toscana area Cerchia.

2.4.6 Torrente Canabbia

Sicuramente l'evento recente più significativo relativo al torrente in esame è quello verificatosi il 9 giugno 1992 e descritto nel "Supplemento al n. 0" al Quaderno dell'Autorità di Bacino che ha documentato con ampia copertura di fotografie le aree allagate. Per l'evento, inoltre, la Regione Toscana ha cartografato le aree allagate assieme agli eventi del 1991 e 1993. Si riporta sotto la foto delle aree allagate nella zona di S. Maria a Colle conseguentemente alle esondazioni del Contesora (rottura dell'argine destro in località Solferino), del Certosa (rottura dell'argine sinistro in località Vignola) e del Canabbia che, come gli altri torrenti, superò le difese per lunghi tratti allagando anche la frazione Maggiano anche se non riportata come area allagata nelle cartografie della Regione. Si può notare che risulta una sostanziale coerenza con le aree allagate dal modello relativamente al solo Canabbia.

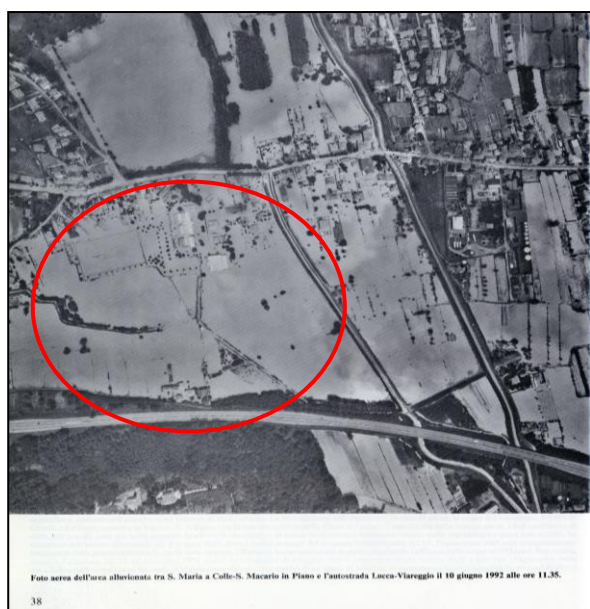


Figura 2.10 - Foto aerea evento del 1992, riguardante l'area di Corte Milla e le aree allagate risultanti dal modello.

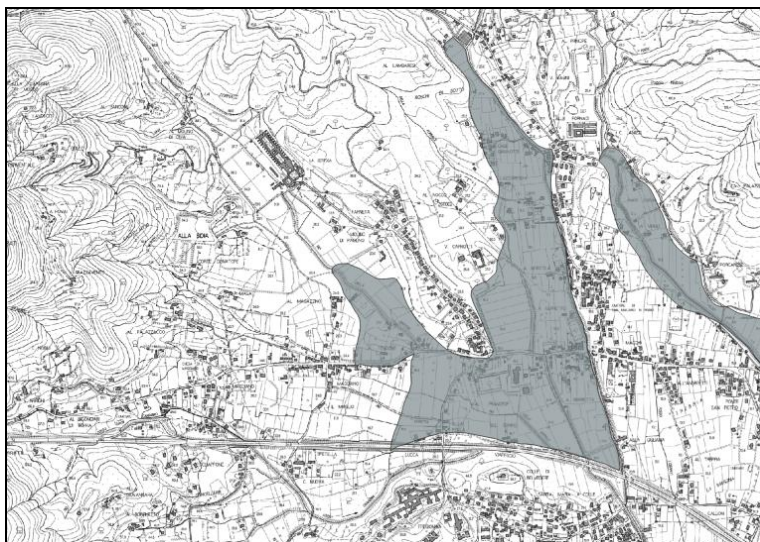


Figura 2.11 - Cartografia aree allagate 1991, 1992, 1993 redatta dalla Regione Toscana area Canabbia, Certosa.

2.4.7 Sistema del Rio Guappero e affluenti

Il Sistema Guappero è stato oggetto di piogge intense principalmente nell'evento del 15-16 novembre 1991 a causa del quale si verificò la rottura dell'argine destro della seconda cassa dei Bottacci con allagamento della zona di Guamo nel Comune di Capannori e il 09 giugno 1992 che riguardò principalmente l'area in destra dell'Ozzeri del quartiere Giardino.

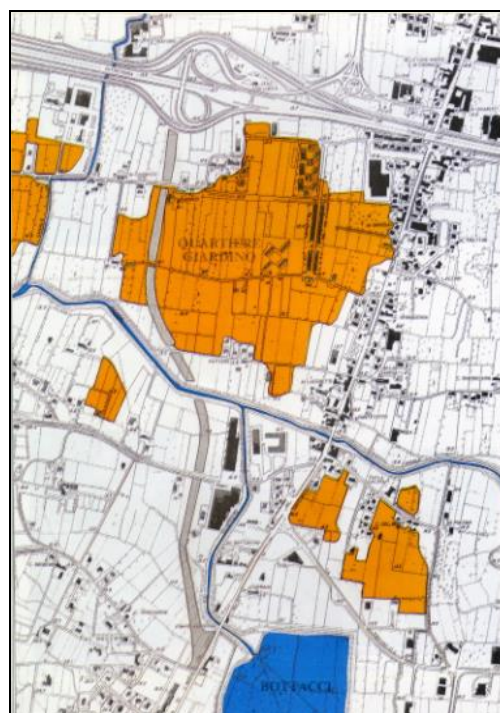
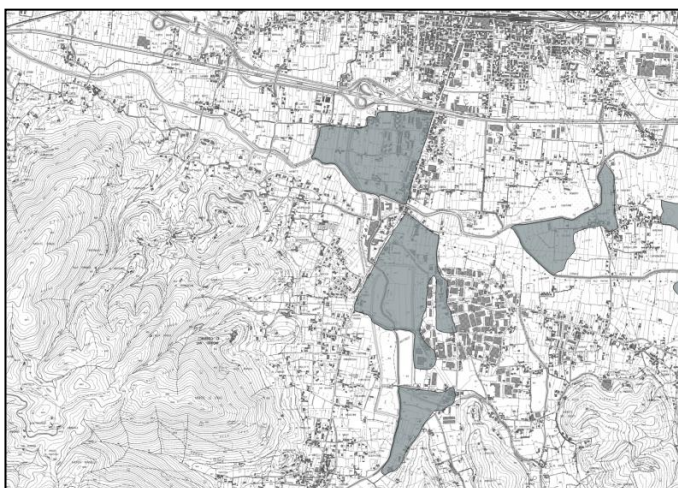


Figura 2.12 - Cartografia aree allagate 1991, 1992, 1993 redatta dalla Regione Toscana area Guappero-Ozzeri ed estratto dal Supplemento 0 al Quaderno dell'Autorità di Bacino Quartiere Giardino piena del 1992.

3 STUDIO IDROLOGICO

3.1 Generalità

La stima delle portate nelle aste del reticolo idraulico in oggetto per i tempi di ritorno definiti dalla normativa è la base delle successive verifiche idrauliche. Nel caso specifico il reticolo analizzato è costituito dai sistemi precedentemente citati.

Le valutazioni idrologiche sono condotte attraverso lo studio dei seguenti aspetti:

- **Determinazione del regime pluviometrico** con definizione delle curve di possibilità pluviometrica aventi i tempi di ritorno indicati dalla normativa (paragrafo 3.2);
- **Caratterizzazione dei bacini attraverso i parametri idrologici** necessari alla modellazione idrologica vera e propria (paragrafo 3.3);
- **Simulazione dei fenomeni meteorici estremi** per i tempi di ritorno indicati dalla normativa, con determinazione della portata al colmo e degli idrogrammi di piena per i corsi d'acqua analizzati (paragrafo 3.6).

3.2 Pluviometria

Il regime pluviometrico relativo ad una certa parte di territorio si determina attraverso l'analisi statistica dei dati di pioggia registrati dalle stazioni meteorologiche presenti sul territorio. Al termine di questo processo si determinano le cosiddette "Curve di Possibilità Pluviometrica" (CPP), le quali, in funzione del tempo di ritorno, permettono di quantificare l'altezza di pioggia corrispondente ad un fenomeno avente una certa durata. La forma classica con cui sono espresse le curve di possibilità pluviometrica per aree estese è la seguente:

$$h = \psi \cdot a \cdot t^n$$

Dove:

- h è l'altezza di pioggia in mm;
- t è la durata della precipitazione in ore;
- ψ è il coefficiente di ragguaglio;
- a ed n sono coefficienti stabiliti dall'analisi delle serie statistiche.

Si cita a proposito lo studio "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme" (Enrica Caporali, Valentina Chiarello, Giuseppe Rossi) prodotto nell'ambito dell'Accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana (marzo 2014). Il risultato di tale studio, aggiornato alla banca dati delle piogge a tutto il 2012, è una carta a copertura regionale che individua un reticolo dove in ogni cella si definiscono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno. Si analizzano dunque le celle intersecate dal sistema in esame e si mettono a confronto le curve di possibilità pluviometrica ad esse relative, per i tempi di ritorno di interesse tecnico. Dall'analisi delle celle si può interpolare la curva rappresentativa per ogni sistema attraverso la media pesata dei coefficienti (in cui i pesi sono rappresentati dall'area di bacino coperta da ciascuna cella pluviometrica).

Di seguito si riportano, a titolo di esempio, i grafici e le equazioni delle CPP analizzate per il caso del sistema del torrente Canabbia, sia per il tempo di ritorno duecentennale sia per quello trentennale.

Tempo di ritorno 200 anni			
	a	n	AREA
Curva 1	96.324	0.33356	1000000
Curva 2	94.229	0.34415	192965
Curva 3	98.142	0.31405	854808
Curva 4	97.528	0.31606	367212
Curva 5	95.246	0.34376	981117
Curva 6	94.46	0.33553	3159
Curva 7	97.487	0.31054	475945
Curva 8	97.208	0.32558	144683
Curva 9	94.996	0.32929	61455
Curva 10	98.151	0.33435	257664
Curva 11	95.266	0.34956	232429
Curva 12	94.497	0.35666	13829
CURVA MEDIATA			
	a	n	
	96.61357	0.329378	

Figura 3.1 - Curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno 200 anni (bacino del fosso Canabbia).

Tempo di ritorno 30 anni			
	a	n	AREA
Curva 1	69.218	0.30789	1000000
Curva 2	67.714	0.31847	192965
Curva 3	70.525	0.28837	854808
Curva 4	70.082	0.29039	367212
Curva 5	68.443	0.31808	981117
Curva 6	67.877	0.30986	3159
Curva 7	70.053	0.28486	475945
Curva 8	69.854	0.29991	144683
Curva 9	68.264	0.30361	61455
Curva 10	70.532	0.30868	257664
Curva 11	68.458	0.32389	232429
Curva 12	67.904	0.33099	13829
CURVA MEDIATA			
	a	n	
	69.42611	0.303702	

Figura 3.2 - Curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno 30 anni (bacino del fosso Canabbia).

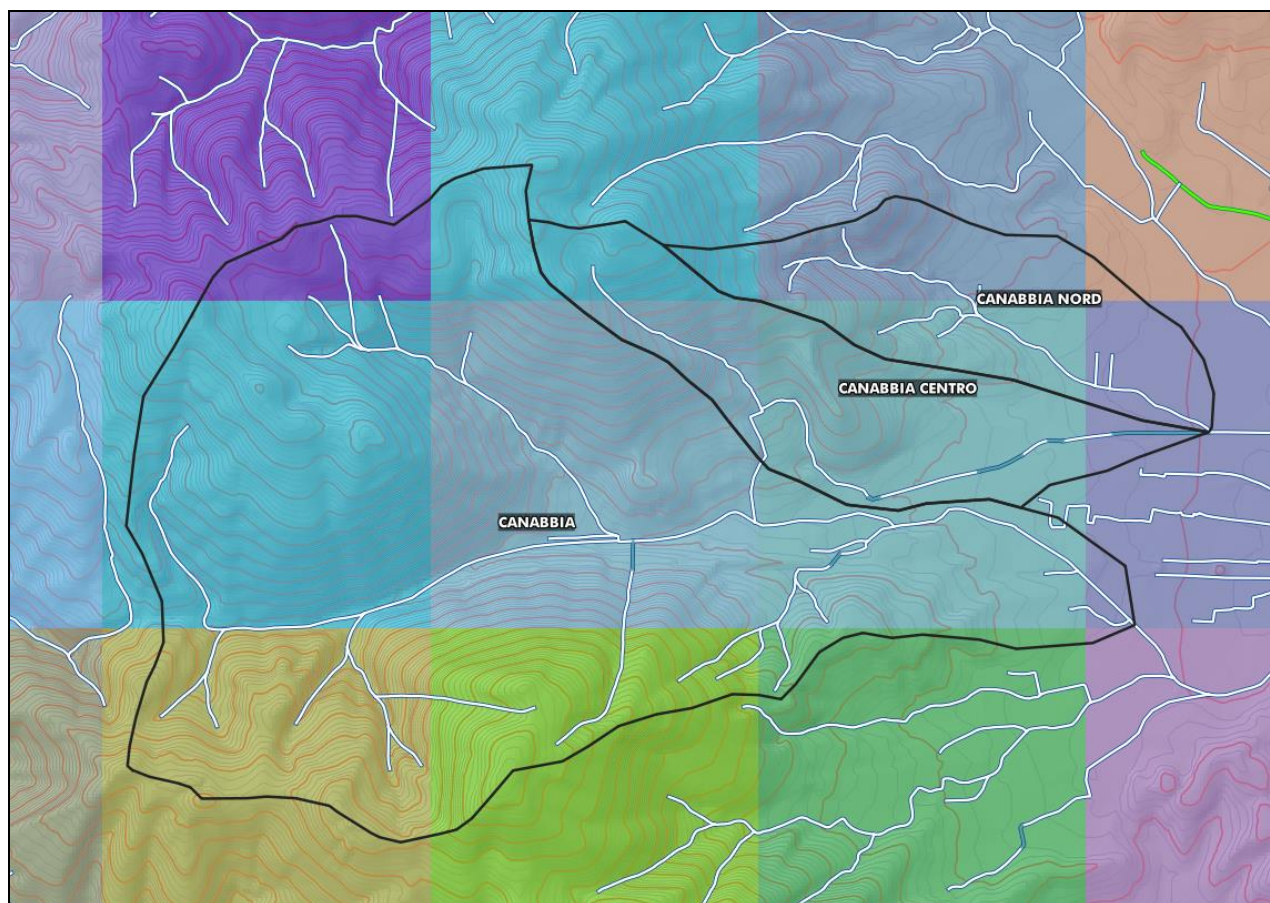


Figura 3.3 - Planimetria dei bacini del sistema Canabbia con indicazione delle celle del modello pluviometrico.

Per i problemi relativi alle costruzioni idrauliche occorre riferirsi a curve di possibilità pluviometrica valide per superfici di una certa estensione (per tenere conto dell'effetto realistico che le intensità di pioggia misurate puntualmente tendono a ridursi con l'aumentare dell'area interessata) che sono desumibili da quelle sopra riportate con l'applicazione del coefficiente di ragguaglio all'area. Infatti, attraverso il prodotto del coefficiente di ragguaglio ψ , si ottiene una riduzione dei valori di pioggia. Esistono varie metodologie per la valutazione del suddetto coefficiente: nei casi in esame

il ragguaglio all'area produrrebbe una riduzione degli afflussi meteorici, rispetto alle CPP non depurate, di una percentuale significativa. Per questo motivo, a favore di sicurezza, nelle modellazioni idrologiche si utilizzano le CPP non ragguagliate.

3.3 Parametrizzazione idrologica del bacino

La suddivisione in sottobacini competenti alle aste più significative del reticolo e la parametrizzazione secondo le grandezze geo-morfologiche sono operazioni necessarie per le successive analisi idrologiche.

3.3.1 Determinazione del bacino e suddivisione in sottobacini

Nell'ambito di aree naturali, la linea spartiacque segue l'andamento delle linee di cresta del suolo, mentre le aste dei corsi d'acqua si sviluppano lungo le linee di compluvio. In base a queste considerazioni, fissata una certa sezione di chiusura, è possibile delimitare il bacino ad essa afferente. Nella presente analisi, inoltre, si suppone trascurabile il contributo delle acque sotterranee (intendendo con questo termine quelle che scorrono, non canalizzate, al di sotto del livello del terreno), il cui effetto durante le piene non è paragonabile a quello prodotto dal deflusso superficiale.

Generalmente, in ambito urbano l'intervento antropico risulta decisivo sulla dinamica del deflusso delle acque meteoriche: la determinazione del sistema di canalizzazione delle acque risulta indispensabile per l'identificazione delle aree scolanti pertinenti ad una certa sezione di interesse. L'analisi del sistema di drenaggio urbano delle aree in esame è stato oggetto di specifici e approfonditi sopralluoghi. È opportuno rilevare che l'urbanizzazione riscontrata nei bacini analizzati non ha ripercussioni così significative rispetto a quello che è l'andamento naturale delle linee spartiacque.

L'individuazione delle aree scolanti del bacino è riportata nell'allegato idrologico ALL. I1

3.3.2 Parametrizzazione geomorfologica del bacino

La parametrizzazione dei bacini si è posta come obiettivo la determinazione delle seguenti grandezze:

- A_b Area di bacino,
- L_{max} Lunghezza del percorso idraulico massimo,
- L_s Lunghezza del percorso idraulico significativo¹,
- Q_{max} Quota del punto più alto,
- Q_{maxs} Quota del punto più alto significativo,
- Q_{min} Quota del punto più basso (nella sezione di chiusura),
- Q_{med} Altezza media sulla sezione di chiusura, individuata tramite la curva ipsografica del sottobacino,
- i Pendenza media dell'asta principale (individuata sul percorso significativo),
- i_v Pendenza media dei versanti (individuata attraverso la carta acclivometrica del bacino)²,
- CN Coefficiente CN,

¹ Per l'individuazione della pendenza dell'asta principale si fa riferimento al percorso idraulico massimo depurato di un tratto di estensione pari al 20 % da detrarre nella parte di monte, in quanto generalmente molto più acclive del resto del percorso. Il tratto individuato per la valutazione della pendenza e tutte le grandezze che ad esso si riferiscono vengono individuate come "significative".

² Altre indicazioni di bibliografia indicano anche la possibilità di calcolare la pendenza media attraverso il rapporto $(DZ \cdot L)/A$ dove DZ è l'equidistanza tra le isoipse, L la loro lunghezza totale ed A l'area del bacino. Il risultato è praticamente coincidente con la valutazione attraverso il raster delle pendenze analizzato.

- T_{cor} Tempi di corrivazione,
- T_{con} Tempo di concentrazione,
- T_{lag} Tempo di ritardo,
- I_L Perdite iniziali in percentuale, valutate col metodo dell'SCS (vedasi par. successivo).

3.3.2.1 Parametri geo-morfologici

Le grandezze morfologiche del bacino (area di bacino, lunghezza dei percorsi, pendenze, quote e conseguentemente la curva ipsografica da cui si ricava Hmed) sono determinate sulla base della carta tecnica regionale e del modello digitale del terreno (DTM) da esso derivato.

3.3.2.2 Parametro CN

Il coefficiente CN, che serve per la determinazione delle perdite di bacino e per la valutazione dei tempi di concentrazione, è invece determinato sulla base delle caratteristiche di pedologia, uso del suolo e condizioni di umidità del terreno al momento dell'evento simulato. Il coefficiente CN indica l'attitudine al deflusso di una certa porzione di territorio: maggiore è il valore del coefficiente CN, maggiore è l'aliquota di pioggia che tende a trasformarsi in deflusso superficiale rispetto a quella che non partecipa alla formazione della piena per le cosiddette perdite di bacino (infiltrazione, intercezione, ecc.).

Per quanto riguarda la permeabilità si distinguono quattro categorie (A, B, C e D) a permeabilità decrescente, come si evince dalla Tabella 3.1.

Caratteristiche geomorfologiche e di permeabilità	
Gruppo	Caratteristiche
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tabella 3.1 - Classificazione litologica dei suoli secondo il Soil Conservation Service).

La disposizione dei gruppi pedologici presenti nei bacini analizzati è riportata nell'allegato idrologico ed è stata determinata attraverso i dati resi disponibili dal servizio Difesa del Suolo della Regione Toscana (Implementazione di modello idrologico distribuito per il territorio toscano - ref. Prof. Fabio Castelli).

Nell'ambito della citata banca dati messa a disposizione dalla Regione Toscana si trovano anche gli usi del suolo nelle aree in esame³.

³ L'uso del suolo è stato desunto dalla banca dati del settore "Difesa del Suolo" Regione Toscana che a sua volta è mutuato dallo studio Corine Land Cover. Si segnala tuttavia che nelle banche dati cartografiche della Regione Toscana è disponibile anche un'altra mappa dell'uso del suolo, che, rispetto a quella citata, ha un dettaglio molto maggiore (ad esempio suddivide le zone urbane in strade e tessuto edificato). Si ritiene ragionevole utilizzare l'uso del suolo a grande scala per gli scopi idrologici, mentre la mappa di dettaglio sarà sfruttata per analisi idrauliche di dettaglio, onde definire le dinamiche specifiche di deflusso.

L'incrocio dei dati di uso del suolo e di permeabilità permette la determinazione del CN che, ad ogni modo, è fornito anch'esso all'interno della succitata banca dati regionale. La tabella successiva mostra un esempio della distribuzione del CN suddiviso per aree in relazione al bacino del torrente Canabbia. Nell'allegato idrologico sono presenti tutte le tabelle dei fogli elettronici per la determinazione del coefficiente CN dei bacini analizzati.

Valutazione del coefficiente CN medio				
Area	3335036			
CN medio	66.06			
C defl medio	0.18			
Codice CLC	Descrizione	Classe permeabilità	CN	Area
112	Territori modellati artificialmente - Zone urbanizzate - Tessuto urbano discontinuo	B	85	38397
112	Territori modellati artificialmente - Zone urbanizzate - Tessuto urbano discontinuo	B	85	27815
112	Territori modellati artificialmente - Zone urbanizzate - Tessuto urbano discontinuo	B	85	395
112	Territori modellati artificialmente - Zone urbanizzate - Tessuto urbano discontinuo	B	85	62749
311	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi di latifoglie	B	60	901465
311	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi di latifoglie	B	60	11376
311	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi di latifoglie	B	60	415
311	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi di latifoglie	B	60	207573
311	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi di latifoglie	D	79	44903
242	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Sistemi colturali e particellari permanenti	B	73	20830
211	Territori agricoli - Seminativi - Seminativi in aree non irrigue	B	73	23441
242	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Sistemi colturali e particellari permanenti	B	73	16815
242	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Sistemi colturali e particellari permanenti	B	73	30420
324	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea - /	B	56	10581
324	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea - /	D	77	6964
311	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi di latifoglie	D	79	15771
311	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi di latifoglie	B	60	124216
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	11664
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	5089
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	D	79	1339
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	65312
243	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	B	73	12795
243	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	B	73	17276
243	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	D	84	1823
243	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	B	73	166903
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	576673
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	55
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	10343
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	16696
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	134506
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	517
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	D	79	447129
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	15189
313	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi misti	B	60	11380
243	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	B	73	63261
243	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	B	73	4422
243	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	B	73	71814
243	Territori agricoli - Zone agricole eterogenee - Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	B	73	125241
311	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi di latifoglie	B	60	1747
311	Territori boscati e ambienti semi naturali - Zone boscate - Boschi di latifoglie	B	60	29739

Tabella 3.2 - Corrispondenza tra gli usi del suolo del progetto Corine Land Cover e quelli del Soil Conservation Service.

Il coefficiente CN dipende anche dalle condizioni di umidità del suolo ipotizzate. Queste sono descritte dal parametro AMC (Antecedent Moisture Condition) che considera la precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti all'evento simulato e varia a seconda della stagione in cui si considera l'evento. I parametri AMC (riportati nella successiva tabella) sono rispettivamente AMC I, AMC II e AMC III e si riferiscono a imbibizioni del terreno crescenti. Per questo studio si ritiene prudentiale la simulazione della condizione AMC III. A tal proposito è opportuno segnalare che, nell'ambito di studi effettuati (approvati dalle Autorità competenti) negli anni precedenti per la progettazione di opere di messa in sicurezza (alcuni peraltro su rii oggetto del presente approfondimento) o con finalità urbanistiche, fu utilizzato il coefficiente CN in classe AMC II.

PARAMETRO AMC ANTECEDENT MOISTURE CONDITION		
CLASSE AMC	STAGIONE DI RIPOSO	STAGIONE DI CRESCITA
I	<12.7	<35.5
II	12.7 – 28.0	35.5 – 53.3
III	> 28.0	> 53.3

Tabella 3.3 - Coefficiente AMC in relazione all'altezza totale di pioggia (in mm) caduta nei 5 giorni precedenti.

Si noti che i coefficienti riportati nella tabella precedente si riferiscono alla condizione AMC II: il passaggio da un CN che si riferisce alla condizione AMC II (sinteticamente indicato con CNII) a un parametro CNIII avviene secondo la formula:

$$CN_{III} = \frac{23 \cdot CN_{II}}{10 + 0.13 \cdot CN_{II}}$$

La sovrapposizione delle caratteristiche pedologiche e di uso del suolo permette la determinazione del coefficiente CN.

Poiché le caratteristiche di uso del suolo e di permeabilità dell'area sono disuniformi, le aree di bacino sono state suddivise in modo da determinare zone del territorio con caratteristiche omogenee sia di uso del suolo sia di permeabilità. In seguito, avendo determinato per ogni zona il valore del coefficiente CN, è stata effettuata una media pesata sulla superficie globale del sottobacino, fino a determinare il valore del CN medio attraverso la relazione:

$$CN_{med} = \frac{\sum_i CN_i \cdot A_i}{\sum_i A_i}$$

3.3.2.3 Parametri tempo

Infine, per quanto riguarda i parametri “tempi” associati ai bacini analizzati, i tempi di corrivazione e concentrazione sono stati valutati con le formule di Tournon, dell'SCS e dell'FAA:

$$t_c = 0.396 \cdot \frac{L}{\sqrt{S}} \left[\frac{A_B}{L^2} \cdot \sqrt{S / S_v} \right]^{0.72}$$

Tempo di corrivazione secondo Tournon

in cui

- L è la lunghezza dell'asta principale in km,
- S è la pendenza media dell'alveo,
- A_B è l'area del bacino in km²,
- S_v è la pendenza media dei versant.

$$t_c = \frac{100 \cdot L^{0.8} \cdot [(1000 / CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot S^{0.5}}$$

Tempo di concentrazione dell'SCS

dove:

- t_c è il tempo di concentrazione in ore,
- L la lunghezza dell'asta massima espressa in ft (piedi),
- CN è il valore del coefficiente CN per quel bacino,
- S è la pendenza media del bacino espressa in % (dal termine inglese “Slope”).

$$t_c = \frac{1.8 \cdot (1.1 - C) \cdot L^{0.5}}{S^{0.333}}$$

Tempo di corrivazione secondo FAA Federal Aviation Administration

dove:

- t_c è il tempo di concentrazione in ore,
- L la lunghezza dell'asta massima espressa in ft (piedi),
- C è il valore del coefficiente di deflusso,
- S è la pendenza media del bacino espressa in % (dal termine inglese "Slope").

Si noti che il tempo di concentrazione, utilizzando l'idrogramma dell'SCS, viene a coincidere con il tempo di corrivazione.

In generale, le stime dell'SCS e di Tournon non differiscono in maniera sostanziale e pertanto, come regola generale, per i sottobacini individuati è stata assunto come riferimento la media tra i due metodi. Soltanto in qualche caso, per i bacini più piccoli e pianeggianti, è stato assunto come riferimento il tempo calcolato con la formula FAA.

3.3.2.4 Parametro perdite iniziali

Infine, è stato determinato il parametro delle "perdite iniziali di bacino" con riferimento al metodo dell'SCS. Questa teoria permette la quantificazione dell'entità di acqua che, infiltrandosi, non partecipa alla formazione della piena. Tale volume liquido, che si può indicare come "perdita" si suddivide in due aliquote:

- Perdite iniziali: il modello adottato suppone che le prime acque di pioggia imbibiscano il terreno e si infiltrino in esso senza partecipare al deflusso.
- Perdite successive: superato il principio dello scroscio, il volume liquido eccedente le perdite iniziali in parte si infiltra nel terreno, in parte defluisce attraverso la rete idrica del bacino, generando le onde di piena.

Per la quantificazione della pioggia netta o efficace, si fa riferimento alla seguente formula, sempre suggerita dal Soil Conservation Service:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

dove:

- P_e è la pioggia efficiente (o netta) misurata in mm,
- P è la pioggia totale misurata in mm,
- $S = 25.4(1000/CN - 10)$ è l'assorbimento potenziale massimo, misurato in mm,
- I_a è l'assorbimento iniziale, misurato anch'esso in mm.

L'assorbimento iniziale I_a , stanti le caratteristiche geologiche e la presenza di diversi terreni agricoli, è stato assunto pari a $0.2 \cdot S$ per tutti i sottobacini.

3.4 Tabella dei parametri idrologici per i sottobacini studiati

A seguito dell'analisi geomorfologica condotta sui bacini, i parametri determinati per ciascun bacino sono riportati nella tabella sottostante:

Bacino	Area (km ²)	Ia(mm)	CN	T _{Lag} (min)	SISTEMA
Sesto	0.202	11.6	81.4	9.9	SISTEMA 1
Carraia	2.191	14.8	77.5	39.9	SISTEMA 2
Lama sx	1.133	11.1	82	24.1	
Lama monte	0.254	11.8	81.2	11.8	
Gatto	0.684	6.5	88.6	15.4	
Saltocchio	1.003	6.9	88.1	44.6	
Topo	0.754	5.7	89.9	38.6	SISTEMA 3
Cerchia	5.289	9.5	84.3	64.3	SISTEMA 4
Canabbia_nord	0.569	9.9	83.6	18.8	SISTEMA 5
Canabbia_centro	0.681	10.2	83.3	20	
Canabbia	3.335	11.3	81.7	52.5	
S.Pantaleone	4.492	13.4	79.1	43.3	SISTEMA 6
Guapperino	1.365	11.9	81	29.7	
Colle	0.244	8.1	86.2	9.5	
Querceto	0.733	8.9	85	18.8	
Butano - S.Maria	2.156	13	79.6	33.1	
Muracci	2.04	12.8	79.8	32	
Guapperetto	1.537	12.3	80.5	23.9	
Vaccoli	2.372	14	78.4	35.3	
Vignale	1.117	12.5	80.2	25.8	
Sciupatino	0.713	8.7	85.4	28.2	
Coloredo	0.558	10	83.6	26.7	
Fрати	1.17	13.3	79.3	25.4	

Tabella 3.4 - Parametri idrologici risultanti dall'analisi idrologica dei bacini.

3.5 Amplificazioni dovute al trasporto solido

Da un punto di vista idrologico e nello specifico della modellistica idrologica, l'impatto del trasporto solido si traduce in un incremento percentuale della portata per effetto della volumetria del materiale veicolato dalla corrente. Le valutazioni sul trasporto solido sono state sviluppate dal Geol. Paolo Sani nell'ambito delle indagini tecniche a supporto del Piano Operativo e riportate nella relazione geologica. In tale documento si descrivono le metodologie seguite nonché si precisa il coefficiente di amplificazione della portata.

Corso d'acqua	Tratto	Tipologia di processo	Coeff K di amplificazione	Coeff K di amplif. mediato
Rio di sesto	A monte del punto A	TT	1.8	1.8
Rio del Gatto	A monte di quota 60	TT	1.4	1.4
	A valle di quota 60	TF	1	
Rio del Topo	Intero corso	TF	1	1
Rio Canabbia nord	Intero corso	TF	1	1
Rio Canabbia centro	A monte del punto B	TM	4	2.06
	A valle del punto B	TF	1	
Rio Canabbia	A valle quota 100	TF	1	1
Rio dei Frati	A monte di quota 52	TT	1.5	1.35
	A valle di quota 52	TF	1	
Rio di Vaccoli	A monte del punto D	TT	1.5	1.39
	A valle del punto D	TF	1	
Rio del Querceto	A monte del punto D	TT	1.5	1.38
	A valle del punto D	TF	1	
Rio di Colle	A monte del punto A	TT	1.5	1.5
Rio di S.Pantaleone	A valle di quota 130	TF/TT	1.3	1.3
Rio Guapperino	Intero corso	TT	1	1

Tabella 3.5 - Coefficienti di amplificazione del trasporto solido.

Si nota che talvolta l'amplificazione di portata non è applicata agli interi bacini studiati, ma solo a monte di una certa sezione. Pertanto, i coefficienti di amplificazione sono stati applicati ad una porzione del sottobacino, determinando un ulteriore coefficiente pari al rapporto tra l'area del sottobacino correlato alla sezione di chiusura ove si esaurisce il trasporto solido e l'area totale del bacino. I coefficienti impiegati (uguali al prodotto dei due sopracitati coefficienti) sono riportati nella precedente Tabella 3.5.

3.6 Modellazione idrologica del bacino

La modellazione idrologica vera e propria consiste nella trasformazione degli afflussi meteorici, quantificati secondo le indicazioni precedenti, in deflussi, ovvero in portate attraverso le sezioni di chiusura. Il processo descritto avviene attraverso modelli matematici, chiamati "modelli di trasformazione afflussi- deflussi", basati su algoritmi di calcolo che utilizzano i parametri geo-morfologici dei bacini definiti in precedenza. Tali modelli matematici, ampiamente trattati in letteratura, prendono spunto dalla definizione di idrogrammi unitari, ovvero idrogrammi prodotti da una pioggia netta unitaria di durata 1 minuto.

Nel presente studio, i bacini in esame sono stati modellati secondo l'idrogramma unitario dell'SCS. Questo idrogramma unitario è ampiamente descritto in letteratura ed è basato sui seguenti parametri geomorfologici:

- Area del bacino,
- Curve Number,
- Tempo di ritardo, calcolato a partire dal tempo di corrivazione.

I calcoli idrologici veri e propri sono stati sviluppati con il codice di calcolo HEC HMS 4.2.1 fornito da

*U.S. Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources.
Hydrologic Engineering Center
609 Second Street - Davis, CA 95616-4620*

La modellazione avviene secondo lo schema di seguito riportato:

- Determinazione dello ietogramma delle piogge totali per diverse durate di pioggia con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni a partire dalle curve di possibilità pluviometrica. Immissione in HMS dei valori ottenuti per le precipitazioni (precipitation gage). In accordo con gli uffici tecnici delle Autorità competenti si è ritenuto opportuno simulare fenomeni contraddistinti da uno ietogramma costante o triangolare⁴ a seconda dei casi.
- Schematizzazione del bacino mediante sottobacini elementari (Basin Model).
- Definizione del modello di infiltrazione, della legge di trasformazione afflussi-deflussi e del deflusso di base, mediante alcuni parametri geomorfologici (estensione, CN, Lag time, I_a ecc.).
- Immissione dei dati relativi alla componente Meteorologic Model (interazione fra modello di bacino e modello meteorologico definito in funzione delle diverse durate degli eventi).
- Immissione dei dati relativi alla componente Control Specifications (inizio e fine simulazione idrologica con fissato intervallo temporale di calcolo, che nello studio compiuto è stato posto pari ad 1 minuto).

⁴ Per tutti i sistemi è stato utilizzato uno ietogramma costante ad eccezione dei sistemi del Cerchia e di Sesto di Moriano per le ragioni che sono esposte in calce al presente paragrafo.

- Determinazione delle onde di piena nelle sezioni in esame in funzione della durata dell'evento meteorologico.

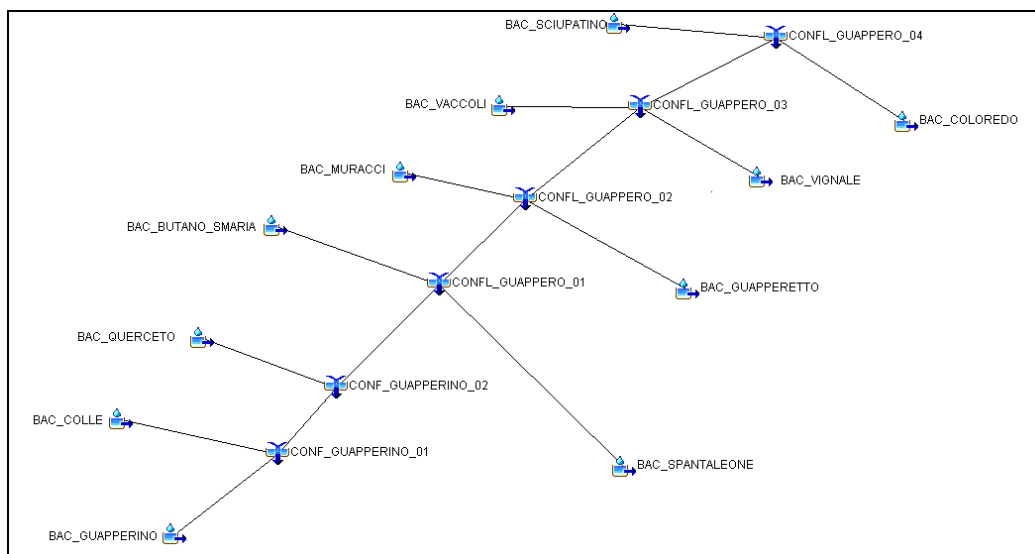


Figura 3.4 - Schema del sistema del Guappero.

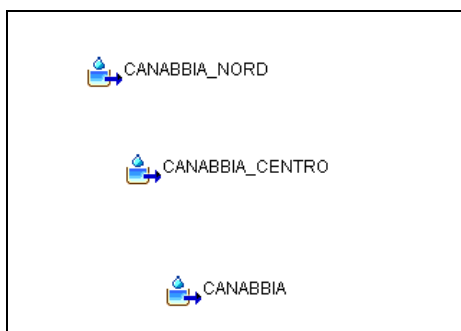


Figura 3.5 - Schema del sistema del Canabbia.

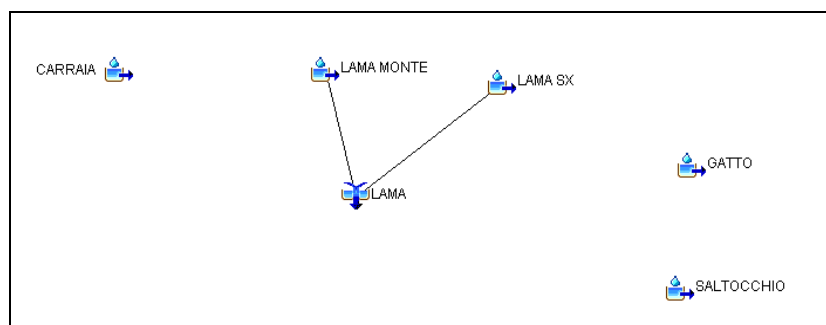


Figura 3.6 - Schema del sistema di Ponte a Moriano e Saltocchio.

Sono stati simulati gli eventi di pioggia di durata compresa tra 15 minuti e 3 ore (tempo di ritorno di 200 e 30 anni). Per ogni simulazione sono stati calcolati gli idrogrammi e in particolare i valori di picco degli idrogrammi. Dal confronto di queste portate al colmo si può risalire alla portata massima per i tempi di ritorno analizzati. Di seguito si riportano gli schemi di quei sistemi formati da più sottobacini.

In generale, **le stime che si desumono sono significativamente più alte rispetto agli studi condotti negli anni passati sui corsi d'acqua, sia in occasione dell'aggiornamento degli strumenti urbanistici comunali, sia a supporto di progettazione di opere di sicurezza sui corsi d'acqua.** Di seguito si riporta il caso del Rio Guappero nella sezione di ingresso nei Bottacci per la piena duecentennale.

	Studio 2010	Studio 2020 (ietogr. costante)	Differenza
Rio Guappero	159.9 m³/s	239.05 m³/s	+50%

Tabella 3.6 - Incremento della portata duecentennale in relazione al Rio Guappero.

Ciò dipende principalmente dalla **applicazione di svariati coefficienti e di ipotesi più cautelative rispetto all'epoca dei precedenti studi**; basti pensare alle nuove curve di possibilità pluviometrica e all'applicazione del coefficiente amplificativo del trasporto solido che hanno determinato incrementi non poco significativi (a volte si tratta di ordini grandezza differenti). In generale, se da un lato è vero che i cambiamenti climatici danno luogo a fenomeni estremi più rilevanti rispetto a quelli attesi una decade fa, è anche vero che le opere di messa in sicurezza realizzate sul territorio, in relazione alle stime di pioggia senza gli attuali coefficienti di sicurezza non sono andate in crisi. Questo implica, in presenza di eventi meteorologici significativi, che le stime di portata precedenti non sono del tutto sottovalutate. In sostanza lo scrivente, confrontandosi con i tecnici del Comune e del Genio Civile, ha illustrato che l'applicazione di tutti i parametri cautelativi e le ipotesi prudenziali (e tra questi lo ietogramma triangolare) **avrebbe condotto a valutazioni a volte non ragionevoli della portata di calcolo e di conseguenza molto penalizzanti per il territorio in termini di opportunità di intervento**. Per evitare queste situazioni troppo gravose e talvolta lontane dalla realtà, sono state applicate ipotesi meno catastrofiche, pur mantenendo i coefficienti indicati puntualmente dalla letteratura tecnica e dalle pubblicazioni della Regione Toscana. Ad esempio, per il sistema del Rio Guappero, pur mantenendo inalterate le considerazioni sulle piogge e applicando il coefficiente CNIII, si è ritenuto opportuno utilizzare lo scenario con pioggia costante che comporta comunque un incremento delle portate del 50% rispetto alle stime redatte dallo scrivente nell'anno 2010. Ragionamenti analoghi sono stati condotti per i corsi d'acqua del sistema del morianese e per il Rio Topo.

I risultati dei modelli idrologici sono di seguito riportati. Per ogni sistema sono stati riportati i risultati sia delle simulazioni triangolari sia di quelle costanti, indicando quelle effettivamente impiegate.

TR 30 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
SOTTOBACINO_01	3.82	4.81	4.63	4.24	3.87	3.56	3.29	3.07	2.88	2.71	2.57	2.44	4.81
TR 30 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
SOTTOBACINO_01	4.07	4.73	4.75	4.63	4.48	4.33	4.20	4.09	3.98	3.89	3.80	3.78	4.75
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
SOTTOBACINO_01	7.30	8.56	7.94	7.15	6.46	5.89	5.43	5.04	4.72	4.44	4.04	3.84	8.56
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
SOTTOBACINO_01	8.66	10.44	10.23	9.65	9.06	8.52	8.04	7.61	7.24	6.90	6.61	6.34	10.44

Tabella 3.7 - Risultati del Rio di Sesto (SISTEMA 1). Per questo sistema sono state ritenute attendibili le simulazioni triangolari.

TR 30 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CARRAIA	3.94	7.24	9.44	10.84	11.64	12.01	12.12	12.05	11.88	11.65	11.38	11.10	12.12
LAMA	6.04	9.72	11.42	11.90	11.77	11.37	10.86	10.35	9.85	9.38	8.96	8.57	11.90
LAMA MONTE	2.04	2.81	2.82	2.65	2.45	2.28	2.12	1.98	1.86	1.76	1.67	1.59	2.82
LAMA SX	5.17	8.18	9.43	9.72	9.58	9.24	8.83	8.42	8.02	7.65	7.30	6.99	9.72
GATTO	11.35	14.09	13.65	12.53	11.40	10.40	9.56	8.84	8.25	7.73	7.29	6.90	14.09
SALTOCCHIO	1.47	0.85	0.44	0.26	0.17	0.11	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	1.47
TR 30 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CARRAIA	4.77	7.92	10.16	11.76	12.86	13.55	13.93	14.08	14.10	14.02	13.88	13.71	14.10
LAMA	7.09	10.65	12.69	13.64	13.88	13.76	13.49	13.14	12.78	12.41	12.04	11.70	13.88
LAMA MONTE	2.44	3.27	3.38	3.28	3.13	2.97	2.83	2.69	2.57	2.46	2.36	2.28	3.38
LAMA SX	6.09	9.04	10.64	11.32	11.46	11.34	11.09	10.80	10.50	10.19	9.89	9.60	11.46
GATTO	13.11	16.48	16.89	16.28	15.44	14.60	13.82	13.11	12.47	11.89	11.37	10.90	16.89
SALTOCCHIO	1.69	0.92	0.32	0.09	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.69
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CARRAIA	9.78	16.23	20.16	22.34	23.30	23.52	23.29	22.82	22.21	21.54	20.85	20.17	23.52
LAMA	13.05	19.52	21.93	22.12	21.34	20.24	19.07	17.98	16.97	16.06	15.25	14.53	22.12
LAMA MONTE	4.44	5.47	5.23	4.77	4.33	3.96	3.66	3.40	3.18	2.99	2.83	2.69	5.47
LAMA SX	11.12	16.33	18.00	17.99	17.32	16.43	15.50	14.63	13.82	13.09	12.44	11.85	18.00
GATTO	20.74	24.38	22.94	20.66	18.56	16.79	15.34	14.15	13.16	12.31	11.59	10.96	24.38
SALTOCCHIO	2.88	1.79	1.04	0.68	0.48	0.35	0.27	0.21	0.16	0.13	0.10	0.09	2.88
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CARRAIA	11.40	17.60	21.77	24.61	26.40	27.37	27.79	27.83	27.64	27.32	26.92	26.47	27.83
LAMA	14.96	21.40	24.79	26.09	26.16	25.69	25.01	24.25	23.48	22.72	21.99	21.31	26.16
LAMA MONTE	5.20	6.54	6.56	6.27	5.92	5.59	5.29	5.02	4.78	4.56	4.37	4.19	6.56
LAMA SX	12.79	18.10	20.69	21.58	21.56	21.13	20.55	19.91	19.26	18.63	18.03	17.47	21.58
GATTO	23.71	28.99	29.20	27.90	26.32	24.80	23.40	22.15	21.03	20.03	19.12	18.32	29.20
SALTOCCHIO	3.20	1.82	0.72	0.26	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20

Tabella 3.8 - Risultati del sistema di Ponte a Moriano e Saltocchio (SISTEMA 2).
Per questo sistema sono state ritenute attendibili le simulazioni costanti.

TR 30 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
RIO TOPO	4.02	6.12	7.23	7.69	7.76	7.63	7.40	7.12	6.83	6.54	6.27	6.01	7.76
TR 30 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
RIO TOPO	4.54	6.60	7.90	8.70	9.13	9.30	9.31	9.22	9.09	8.92	8.74	8.56	9.31
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
RIO TOPO	6.53	9.73	11.37	11.95	11.95	11.67	11.25	10.78	10.31	9.84	9.41	9.00	11.95
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
RIO TOPO	7.29	10.48	12.47	13.66	14.26	14.49	14.46	14.31	14.08	13.81	13.52	13.23	14.49

Tabella 3.9 - Risultati del Rio del Topo (SISTEMA 3). Per tale sistema sono state ritenute attendibili le simulazioni costanti.

TR 30 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CERCHIA	11.63	19.98	25.78	29.98	32.92	34.79	35.85	36.32	36.39	36.16	34.06	33.57	36.39
TR 30 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CERCHIA	13.44	21.41	27.27	31.81	35.37	38.12	40.17	41.62	42.58	43.17	43.45	41.40	43.45
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CERCHIA	20.89	34.59	43.87	50.42	54.79	57.35	58.59	58.92	58.65	57.97	54.56	53.52	58.92
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CERCHIA	23.73	36.85	46.36	53.64	59.27	63.52	66.61	68.71	70.04	70.77	71.05	70.99	71.05

Tabella 3.10 – Risultati del Rio Cerchia (SISTEMA 4). Per tale sistema sono state ritenute attendibili le simulazioni triangolari.

TR 30 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CANABBIA	14.35	14.35	18.03	20.48	21.95	22.70	22.95	22.88	22.61	22.20	21.72	21.19	22.95
CANABBIA CENTRO	13.21	19.32	20.88	20.56	19.58	18.44	17.33	16.30	15.38	14.55	13.82	13.17	20.88
CANABBIA_NORD	4.62	6.61	7.02	6.83	6.46	6.05	5.66	5.31	5.00	4.73	4.48	4.27	7.02
TR 30 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CANABBIA	10.11	15.46	19.22	21.97	23.98	25.37	26.26	26.75	26.96	26.95	26.81	26.58	26.96
CANABBIA CENTRO	15.39	21.70	24.34	24.87	24.49	23.78	22.95	22.11	21.30	20.54	19.82	19.16	24.87
CANABBIA_NORD	5.37	7.48	8.26	8.35	8.17	7.89	7.59	7.29	7.01	6.75	6.50	6.28	8.35
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CANABBIA	16.03	25.52	31.51	35.29	37.34	38.18	38.25	37.83	37.12	36.23	35.25	34.23	38.25
CANABBIA CENTRO	23.53	32.91	34.55	33.37	31.35	29.24	27.28	25.52	23.98	22.62	21.43	20.38	34.55
CANABBIA_NORD	8.16	11.17	11.53	11.02	10.28	9.54	8.87	8.28	7.77	7.32	6.93	6.59	11.53
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
CANABBIA	18.30	27.35	33.58	38.08	41.28	43.40	44.67	45.30	45.48	45.33	44.98	44.49	45.48
CANABBIA CENTRO	27.02	37.24	41.08	41.58	40.72	39.39	37.94	36.49	35.10	33.80	32.59	31.46	41.58
CANABBIA_NORD	9.38	12.75	13.87	13.89	13.52	13.02	12.50	11.99	11.51	11.07	10.66	10.28	13.89

Tabella 3.11 - Risultati del Rio Canabbia (SISTEMA 5). Per tale sistema sono state ritenute attendibili le simulazioni costanti.

TR 30 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
FOSSO DEI FRATI	5.68	9.79	11.86	12.64	12.75	12.51	12.13	11.69	11.23	10.78	10.36	9.97	12.75
TR 30 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
FOSSO DEI FRATI	6.77	10.79	13.21	14.47	14.97	15.04	14.89	14.64	14.33	14.00	13.67	13.34	15.04
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
FOSSO DEI FRATI	11.33	18.25	21.28	22.08	21.82	21.11	20.23	19.31	18.43	17.59	16.82	16.12	22.08
TR 200 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
FOSSO DEI FRATI	13.19	20.13	24.06	25.93	26.51	26.43	26.03	25.48	24.87	24.24	23.61	23.00	26.51

Tabella 3.12 - Risultati del Rio dei Frati (SISTEMA 6). Per tale sistema sono state ritenute attendibili le simulazioni costanti.

	TR 30 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI												
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
BAC BUTANO SMARIA	6.50	11.01	13.63	14.93	15.40	15.40	15.15	14.75	14.29	13.81	13.33	12.87	15.40
BAC COLLE	5.77	6.33	5.72	5.06	4.52	4.09	3.74	3.46	3.22	3.02	2.85	2.70	6.33
BAC COLOREDO	2.93	4.48	5.13	5.29	5.20	5.01	4.79	4.56	4.34	4.13	3.94	3.77	5.29
BAC GUAPPERETTO	6.87	11.06	12.86	13.33	13.17	12.74	12.21	11.66	11.12	10.62	10.15	9.73	13.33
BAC GUAPPERINO	5.19	8.46	10.14	10.83	10.94	10.77	10.45	10.07	9.68	9.29	8.92	8.57	10.94
BAC MURACCI	6.49	10.90	13.41	14.59	14.97	14.91	14.61	14.19	13.72	13.24	12.76	12.30	14.97
BAC QUERCETO	8.28	11.58	12.15	11.73	11.02	10.29	9.60	8.98	8.44	7.96	7.54	7.17	12.15
BAC SCIUPATINO	4.12	6.13	6.95	7.12	6.98	6.71	6.40	6.08	5.77	5.48	5.22	4.98	7.12
BAC SPANTALEONE	12.92	22.47	28.68	32.62	34.81	35.81	36.03	35.77	35.21	34.46	33.62	32.74	36.03
BAC VACCOLI	8.32	14.56	18.39	20.52	21.49	21.75	21.58	21.18	20.65	20.05	19.44	18.83	21.75
BAC VIGNALE	4.53	7.40	8.76	9.20	9.19	8.96	8.63	8.28	7.92	7.58	7.27	6.97	9.20
CONFL GUAPPERO_01	27.15	45.58	57.20	64.38	68.48	70.38	70.72	70.05	68.73	67.05	65.18	63.25	70.72
CONFL GUAPPERO_02	39.92	66.34	82.30	91.50	96.19	97.81	97.39	95.80	93.50	90.86	88.05	85.26	97.81
CONFL GUAPPERO_03	52.14	87.33	108.41	120.39	126.23	128.00	127.22	124.95	121.84	118.32	114.65	110.97	128.00
CONFL GUAPPERO_04	59.07	97.71	120.24	132.60	138.31	139.66	138.38	135.55	131.94	127.92	123.81	119.72	139.66
CONF GUAPPERINO_01	7.12	10.28	12.62	13.95	14.33	14.18	13.78	13.27	12.73	12.19	11.69	11.21	14.33
CONF GUAPPERINO_02	14.24	21.54	24.70	25.66	25.35	24.47	23.37	22.25	21.17	20.16	19.23	18.38	25.66
	TR 30 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI												
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
BAC BUTANO SMARIA	7.71	12.03	14.85	16.63	17.60	18.02	18.09	17.95	17.71	17.40	17.06	16.70	18.09
BAC COLLE	6.85	7.78	7.39	6.86	6.36	5.92	5.54	5.21	4.93	4.68	4.46	4.26	7.78
BAC COLOREDO	3.40	4.93	5.77	6.14	6.24	6.19	6.06	5.91	5.74	5.57	5.41	5.25	6.24
BAC GUAPPERETTO	8.13	12.22	14.47	15.45	15.69	15.54	15.23	14.85	14.44	14.02	13.62	13.23	15.69
BAC GUAPPERINO	6.11	9.26	11.19	12.27	12.75	12.87	12.77	12.56	12.30	12.02	11.73	11.44	12.87
BAC MURACCI	7.69	11.93	14.65	16.32	17.20	17.54	17.55	17.37	17.10	16.78	16.43	16.07	17.55
BAC QUERCETO	9.61	13.12	14.34	14.41	14.02	13.50	12.96	12.42	11.92	11.45	11.02	10.62	14.41
BAC SCIUPATINO	4.74	6.72	7.80	8.29	8.42	8.34	8.17	7.95	7.73	7.50	7.27	7.06	8.42
BAC SPANTALEONE	15.37	24.44	30.78	35.33	38.48	40.47	41.58	42.06	42.10	41.87	41.46	40.93	42.10
BAC VACCOLI	9.95	15.91	19.93	22.62	24.24	25.08	25.39	25.36	25.14	24.80	24.40	23.97	25.39
BAC VIGNALE	5.36	8.15	9.77	10.56	10.83	10.81	10.65	10.42	10.17	9.90	9.63	9.37	10.83
CONFL GUAPPERO_01	32.06	49.52	61.55	70.04	75.86	79.48	81.33	81.95	81.79	81.13	80.17	79.01	81.95
CONFL GUAPPERO_02	47.16	72.37	89.07	100.30	107.41	111.29	112.89	113.04	112.29	110.99	109.37	107.52	113.04
CONFL GUAPPERO_03	61.73	95.36	117.56	132.25	141.39	146.29	148.20	148.19	147.04	145.22	142.99	140.49	148.20
CONFL GUAPPERO_04	69.80	106.77	130.78	146.29	155.62	160.35	161.90	161.56	160.04	157.83	155.24	152.39	161.90
CONF GUAPPERINO_01	8.37	10.94	13.14	14.83	15.76	16.11	16.13	15.96	15.70	15.39	15.06	14.71	16.13
CONF GUAPPERINO_02	16.49	23.68	27.47	29.02	29.39	29.18	28.65	27.97	27.24	26.49	25.75	25.03	29.39
	TR 200 ANNI - SIMULAZIONI COSTANTI												
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
BAC BUTANO SMARIA	12.78	20.50	24.61	26.33	26.67	26.30	25.56	24.66	23.71	22.76	24.71	22.39	26.67
BAC COLLE	9.67	10.12	8.92	7.80	6.91	6.23	5.69	5.25	4.89	4.58	4.40	4.02	10.12
BAC COLOREDO	5.27	7.76	8.66	8.75	8.49	8.09	7.66	7.25	6.86	6.50	6.59	6.00	8.75
BAC GUAPPERETTO	13.20	20.09	22.57	22.83	22.18	21.18	20.09	19.03	18.04	17.14	17.83	16.19	22.83
BAC GUAPPERINO	9.86	15.32	17.85	18.63	18.51	17.98	17.27	16.50	15.75	15.04	15.84	14.38	18.63
BAC MURACCI	12.69	20.21	24.09	25.61	25.81	25.34	24.56	23.63	22.68	21.74	23.43	21.24	25.81
BAC QUERCETO	14.42	19.36	19.79	18.78	17.43	16.13	14.96	13.93	13.05	12.28	12.07	11.00	19.79
BAC SCIUPATINO	7.15	10.33	11.46	11.55	11.18	10.65	10.07	9.51	8.99	8.52	8.50	7.74	11.55
BAC SPANTALEONE	25.75	42.39	52.69	58.68	61.53	62.38	62.03	60.96	73.80	57.81	66.10	66.10	73.80
BAC VACCOLI	16.88	27.76	33.98	36.97	37.95	37.82	37.06	36.00	34.80	33.56	37.36	33.81	37.95
BAC VIGNALE	8.76	13.54	15.49	15.89	15.59	14.99	14.30	13.59	12.93	12.31	12.92	11.72	15.89
CONFL GUAPPERO_01	52.35	84.14	103.14	114.04	119.51	121.14	120.25	117.84	129.35	110.91	123.11	117.88	129.35
CONFL GUAPPERO_02	76.91	122.07	147.78	161.28	166.92	167.37	160.39	169.19	169.19	149.75	164.38	155.31	169.19
CONFL GUAPPERO_03	101.38	161.68	195.60	212.88	219.53	219.46	215.58	209.63	215.79	195.44	214.66	200.84	219.53
CONFL GUAPPERO_04	113.57	179.32	215.26	232.90	239.05	238.12	233.27	226.37	231.59	210.45	229.74	214.58	239.05
CONF GUAPPERINO_01	12.43	18.03	22.01	23.83	24.03	23.44	22.52	21.49	20.48	19.51	20.24	18.39	24.03
CONF GUAPPERINO_02	25.34	37.13	41.74	42.60	41.46	39.57	37.48	35.42	33.52	31.79	32.31	29.39	42.60
	TR 200 ANNI - SIMULAZIONI TRIANGOLARI												
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
BAC BUTANO SMARIA	14.80	22.32	27.05	29.85	31.26	31.74	31.67	31.29	30.76	30.15	29.50	28.84	31.74
BAC COLLE	11.50	12.74	12.02	11.11	10.28	9.56	8.94	8.41	7.94	7.54	7.18	6.86	12.74
BAC COLOREDO	6.03	8.54	9.86	10.40	10.48	10.34	10.10	9.82	9.53	9.24	8.96	8.69	10.48
BAC GUAPPERETTO	15.28	22.26	25.83	27.20	27.35	26.94	26.29	25.55	24.78	24.03	23.30	22.61	27.35
BAC GUAPPERINO	11.37	16.75	19.90	21.55	22.18	22.22	21.94	21.52	21.02	20.50	19.97	19.46	22.22
BAC MURACCI	14.68	22.04	26.58	29.19	30.42	30.78	30.62	30.19	29.63	29.00	28.34	27.68	30.78
BAC QUERCETO	16.56	22.13	23.87	23.78	23.05	22.13	21.20	20.30	19.45	18.68	17.96	17.30	23.87
BAC SCIUPATINO	8.12	11.33	13.01	13.71	13.83	13.65	13.33	12.96	12.57	12.19	11.82	11.46	13.83
BAC SPANTALEONE	29.84	45.81	56.68	64.23	69.23	72.16	73.63	74.05	73.80	73.14	72.22	71.16	74.05
BAC VACCOLI	19.64	30.18	37.05	41.42	43.85	44.94	45.17	44.89	44.33	43.60	42.79	41.95	45.17
BAC VIGNALE	10.14	14.93	17.54	18.70	18.98	18.82	18.45	18.00	17.51	17.02	16.54	16.07	18.98
CONFL GUAPPERO_01	60.40	90.89	111.33	125.33	134.48	139.76	142.08	142.42	141.58	140.00	138.00	135.75	142.42
CONFL GUAPPERO_02	88.81	132.58	160.73	178.97	189.82	195.13	196.78	196.14	194.13	191.35	188.10	184.64	196.78
CONFL GUAPPERO_03	117.24	175.71	213.14	236.99	250.92	257.49	259.19	257.99	255.06	251.17	246.72	242.02	259.19
CONFL GUAPPERO_04	131.22	195.22	235.51	260.45	274.46	280.69	281.79	279.96	276.43	271.88	266.85	261.57	281.79
CONF GUAPPERINO_01	14.42	18.98	23.08	25.84	27.18	27.57	27.45	27.07	26.56	25.98	25.37	24.76	27.57
CONF GUAPPERINO_02	28.91	40.85	46.84	49.14	49.51	48.95	47.93	46.69	45.39	44.08	42.81	41.58	49.51

Tabella 3.13 - Risultati del sistema del Guappero (SISTEMA 6). Per tale sistema sono state ritenute attendibili le simulazioni costanti.

I risultati si possono controllare in termini di ordine di grandezza e in particolare di coefficiente udometrico duecentennale (portata per unità di superficie). Nella tabella sottostante sono riportati tutti i valori, si può notare come il

massimo sia pari a $53.95 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ e il minimo pari a $10.73 \text{ m}^3/\text{s km}^2$. Essi sono in linea con i valori che si ottengono per altri bacini aventi conformazione simile a quelli analizzati.

Bacino	Area [km^2]	Q [m^3/s]	Coefficiente udometrico [Q/A]	SISTEMA
Sesto	0.202	10.44	51.68	SISTEMA 1
Carraia	2.191	23.52	10.73	SISTEMA 2
Lama	0.41	22.12	53.95	
Lama sx	1.133	18	15.89	
Lama monte	0.254	5.47	21.54	
Gatto	0.684	17.41	25.45	
Topo	0.754	11.95	15.85	SISTEMA 3
Cerchia	5.289	71.05	13.43	SISTEMA 4
Canabbia nord	0.569	11.53	20.26	SISTEMA 5
Canabbia centro	0.681	34.55	50.73	
Canabbia	3.335	38.25	11.47	
Querceto	0.733	19.79	27.00	SISTEMA 6
Vaccoli	2.372	37.95	16.00	
Colle	0.244	10.12	41.48	
S. Pantaleone	4.492	73.8	16.43	
Guapperino	1.537	18.63	12.12	
Guappero	1.365	22.83	16.73	
Fрати	1.17	22.08	18.87	

Tabella 3.14 - Coefficienti udometrici dei bacini.

Gli idrogrammi determinati nell'ambito degli studi idrologici sono stati poi impiegati nelle elaborazioni idrauliche descritte ai paragrafi successivi. Fa eccezione il Canabbia, per il quale l'Autorità di Bacino aveva già determinato una portata nell'ambito di approfondimenti specifici svolti negli anni precedenti. Da questi è emerso che la portata dei bacini "Canabbia Centro" e "Canabbia Nord" calcolata dallo scrivente è superiore rispetto a quella calcolata dai tecnici dell'Autorità di Bacino, a differenza del bacino dell'asta principale: in questo caso si sono ritenute le portate ottenute dallo scrivente, nonostante inferiori, come maggiormente accurate; questa valutazione nasce a seguito dei sopralluoghi effettuati direttamente sul bacino, delle analisi svolte e della profonda conoscenza del territorio dello scrivente, con il fine ultimo di non andare a penalizzare in maniera eccessiva il territorio. Si sottolinea infine come i battenti riportati negli elaborati cartografici siano comunque più elevati rispetto a quelli risultanti dalle modellazioni bidimensionali dello scrivente, a causa della mosaicatura effettuata con i battenti forniti direttamente dall'Autorità di Bacino.

3.7 Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idrologica

Si riassumono le principali approssimazioni seguite a favore di sicurezza:

- valutazione prudenziale delle condizioni di umidità precedente (AMC in classe III);
- mancata depurazione delle curve di pioggia attraverso il coefficiente di deflusso;
- utilizzo della portata più alta tra quella determinata dallo scrivente e quella determinata dai tecnici dell'Autorità di Bacino laddove disponibili entrambe le valutazioni (ad esempio il Rio Canabbia).

4 STUDIO IDRAULICO

4.1 Generalità

Gli studi idraulici hanno la finalità di modellare il deflusso delle acque. Si distinguono due tipi di modelli:

- **I modelli idraulici monodimensionali** studiano il deflusso delle acque all'interno di un corso d'acqua. Tali modelli hanno la finalità di determinare i punti di esondazione che saranno gli ingressi nello studio delle dinamiche di esondazione vere e proprie.
- **I modelli idraulici bidimensionali** simulano il deflusso delle acque di esondazione sul piano di campagna rappresentato principalmente attraverso Modelli Digitali del Terreno (DTM) e l'uso del suolo. Questo tipo di modellazione restituisce le carte dei battenti e delle velocità della corrente di esondazione che sono propedeutiche per la valutazione della pericolosità idraulica del territorio.

Come detto nei paragrafi precedenti, gli studi idraulici riguardano solo una selezione dei corsi d'acqua della piana di Lucca, quelli per cui è stato ritenuto necessario condurre un approfondimento idraulico. Non tutti i sistemi sono stati trattati allo stesso modo, ma in generale sono stati definiti due tipi di approccio:

- Per quei corsi d'acqua con sezioni talmente critiche da far supporre possibili intasamenti d'alveo (ad esempio in corrispondenza dei tombamenti) o con sezioni di deflusso praticamente nulle, è stato omissa lo studio idraulico monodimensionale e si è realizzato direttamente il modello idraulico bidimensionale delle esondazioni.
- Per quei corsi d'acqua che, pur presentando criticità, manifestavano comunque una significativa capacità di deflusso e non palesavano le criticità di cui al punto precedente, è stato realizzato un modello idraulico monodimensionale per la determinazione dei punti di crisi che ha poi permesso l'individuazione della portata limite contenuta e, per differenza, degli idrogrammi di esondazione sul piano di campagna.

Di seguito si riporta una descrizione specifica per i singoli modelli realizzati, rimandando ai relativi allegati ed agli elaborati grafici specifici per la visualizzazione dei risultati e degli output dei codici di calcolo analizzati.

4.2 MODELLI IDRAULICI MONODIMENSIONALI

4.2.1 Generalità

Le simulazioni idrauliche monodimensionali hanno la finalità di individuare la presenza di punti di crisi sui corsi d'acqua analizzati e la portata limite contenuta; di conseguenza, per sottrazione, individuano gli idrogrammi di esondazione. La maggior parte dei modelli è stata costruita a partire da rilievi strumentali effettuati nel corso di una campagna di rilievo effettuata tra il dicembre 2019 e il febbraio 2020 dallo studio Sani Grossi di Lucca. Altri dati sono stati mutuati da studi idraulici precedenti o integrati con dati desunti dal rilievo LIDAR.

4.2.2 Descrizione del codice di calcolo e dei parametri della modellazione

La modellazione idraulica del corso d'acqua è stata svolta con il software HEC RAS fornito da

*U.S. Army Corps of Engineers. Institute
For Water Resources. Hydrologic Engineering Center
609 Second Street - Davis, CA 95616-4620*

La modellazione è avvenuta seguendo i seguenti passi:

- Definizione della morfologia dell'alveo,
- Inserimento delle portate e delle condizioni al contorno.

Una volta stabilita la geometria delle sezioni (come indicato al paragrafo precedente), la loro distanza e i coefficienti di scabrezza delle superfici dell'alveo si può riprodurre la morfologia del corso d'acqua. In generale sono stati utilizzati valori indicati da letteratura o, se disponibili, valori desunti da studi precedenti approvati dagli enti competenti.

Per quanto riguarda le portate, in accordo con le indicazioni dei paragrafi precedenti, si simula il deflusso del picco delle piene trentennali e duecentennali (per la cui quantificazione si rimanda ai capitoli precedenti) a partire dalle sezioni più a monte modellate nel sistema. Si ribadisce che tale valutazione sia estremamente prudenziale. Infatti, tale portata competerebbe alla sezione di chiusura, mentre nelle simulazioni svolte viene invece attribuito a tutto il tratto, a partire dalla sezione di monte.

In merito alle condizioni al contorno, per le situazioni di monte, non essendo generalmente presenti particolari singolarità idrauliche, si ritiene corretto adottare la condizione di moto uniforme (con la definizione della sola pendenza di monte). Tale condizione è stata in generale adottata anche per la situazione di valle, anche in considerazione del fatto che i fenomeni critici degli effluenti hanno tempi critici molto diversi da quelli dei corsi analizzati e pertanto non è prevedibile la sussistenza di livelli tali da generare rigurgiti. Fa eccezione il modello del sistema del Morianese-Saltocchio, per il quale sono stati adottati come altezze di riferimento le quote delle piene trentennali e duecentennali del Fiume Serchio indicate dal Distretto di Bacino dell'Appennino Settentrionale, su cui saranno comunque condotte considerazioni in seguito.

Infine, per quanto riguarda gli attraversamenti a sezione variabile, prudenzialmente, si è in generale ritenuto opportuno effettuare una modellazione a sezione uniforme, impiegando quella di sezione più piccola. I ponti il cui impalcato non interferisce con la corrente sono stati invece modellati come "lid".

4.2.3 Risultati dell'analisi idraulica sul corso d'acqua

4.2.3.1 Generalità

I risultati dello studio condotto si possono esaminare negli allegati idraulici da ALL: I2 a ALL: I7. In generale, sono da ritenersi insufficienti quelle sezioni per le quali i livelli liquidi sono tali da non permettere il deflusso all'interno degli argini (o del livello piano di campagna per i corsi di «acque basse»). Per la lettura del profilo longitudinale fornito dal Codice di Calcolo HEC-RAS si tenga presente che:

- La linea nera continua rappresenta il fondo del corso d'acqua;
- Le linee colorate continue rappresentano i profili liquidi al passaggio del colmo della piena simulata;
- Le linee a tratto indicano, in generale, le sommità dei rilevati arginali posti in destra e sinistra idrografica (che il codice di calcolo indica con "LOB" e "ROB", acronimi che stanno per le locuzioni anglosassoni Left Over Bank e Right Over Bank). Le quote di questi elementi sono state definite al momento dell'implementazione delle sezioni.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi svolte suddivise per i corsi d'acqua analizzati. In tutti i casi si rimanda alle planimetrie delle sezioni e all'allegato idraulico per l'individuazione cartografica delle sezioni di esondazione.

4.2.3.2 Sesto di Moriano

Per quanto riguarda il sistema di Sesto di Moriano non è stato realizzato un modello idraulico dell'asta in quanto si è riscontrata la presenza di una condotta potenzialmente intasabile in modo completo, avente diametro di 1 metro. Tale condotta è posta in corrispondenza del cambiamento di pendenza, nel tratto compreso tra la Chiesa di Sesto di Moriano e l'attraversamento della strada provinciale.



Figura 4.1 – Sbocco dell'attraversamento del tombamento.

Di conseguenza, nel modello bidimensionale si è ipotizzato, prudenzialmente, l'esondazione dell'intera portata idrologica (per effetto del potenziale intasamento del tombamento): ciò rende superflua l'analisi monodimensionale, in quanto il completo intasamento della condotta provocherebbe la fuoriuscita di tutta la portata. Peraltro, nei sopralluoghi è stato rilevato un leggero scostamento del tracciato dell'asta in questione rispetto a quello indicato all'interno della DCRT 20/2019. Inoltre, durante i sopralluoghi si è riscontrata la scarsa sussistenza del bacino a monte di questa condotta: non si trova una ben precisa linea di deflusso ed anzi si riscontrano scoline e canalette di bordo strada che inducono a considerare la scarsissima rete idraulica locale come una mera fognatura bianca piuttosto che come un reticolo idraulico. Tuttavia, viste le cartografie vigenti che attribuiscono questa asta al reticolo idrografico e le indicazioni ricevute dagli Enti di

controllo idraulico, è stato comunque necessario analizzare l'asta in questione nei termini sopra descritti per analizzare eventuali esondazioni che, a nostro giudizio, appaiono sovrastimate in relazione alle reali dinamiche idrauliche e comunque non da considerarsi come effettive fonti di pericolo. Anche qualora si verificassero ostruzioni per intasamenti dei tombamenti, si ritiene che le problematiche siano più di natura geomorfologica che idraulica. Le considerazioni precedenti sono corroborate dall'assenza di fenomeni esondativi negli anni precedenti segnalati dal comune o dai residenti o altro soggetto.

4.2.4 Sistema Rio di Carraia, Rio Lama, Rio del Gatto e zona di Saltocchio

Per quanto riguarda il sistema di Rii in argomento, tenuto conto che sono stati tutti oggetto di interventi di risagomatura delle sezioni, anche con interventi di adeguamento di attraversamenti e contenimento del trasporto solido, è stata condotta una verifica monodimensionale al fine di **evidenziare le criticità esistenti con le nuove opere** in relazione anche all'**incremento di portata derivante dai nuovi studi idrologici**. La modellazione ha individuato i vari punti critici per poter determinare le onde di piena che esondano dalle sezioni che sono gli input del modello 2D. **Si è ritenuto opportuno applicare nei modelli gli idrogrammi desunti dall'applicazione di ietogrammi costanti** in perfetta analogia (**e quindi COERENZA**) con la modellazione a supporto della progettazione degli interventi di sistemazione a suo tempo approvata dagli Enti competenti. L'impiego di ietogrammi triangolari avrebbe condotto a risultati differenti e in qualche modo anche non coerenti da un punto di vista razionale con le precedenti valutazioni. La relazione sul trasporto solido non ha indicato la presenza di incrementi di portata per effetto di questo fenomeno: tra l'altro, nel tratto montano del Rio di Carraia sono già presenti opere per il trattenimento del materiale solido, in gran parte progettate da chi scrive nell'ambito delle sistemazioni che hanno seguito gli eventi alluvionali del 2010 e 2014.

Nella zona di Saltocchio non sussiste un sistema di aste appartenenti al reticolo idrografico di cui alla LR79/2012, mentre al contrario l'area è interessata da una zona a pericolosità idraulica per cui peraltro, prima della presente relazione, **non si trovano documenti con definizione dei battenti**: le scoline ed i canaletti ivi presenti risultano meri rami spesso utilizzati a scopo irriguo, con regolazioni complesse e manuali difficilmente rappresentabili correttamente nell'ambito dei modelli e talvolta manomessi con facilità da parte di soggetti non autorizzati. A favore di sicurezza, è stata pertanto stimata la portata afferente a quell'area di basso morfologico, cioè senza attribuirle a un ramo o a un

gruppo di rami: tale aliquota sarà «spalmata» direttamente sul piano di campagna all'interno del modello 2D di tutta l'area ritenendo di fatto nulla la capacità di drenaggio della rete dei canali (ipotesi estremamente cautelativa).

Le scabrezze delle sezioni sono state adattate alle sezioni dei singoli Rii rispettando i valori impiegati nella modellazione a supporto della progettazione degli interventi: per il rio Carraia variano da $0.016 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ a $0.026 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$; per il Rio Lama variano da $0.016 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ a $0.0285 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$; per il Rio Gatto è stato utilizzato $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ costante.

Le condizioni al contorno alla confluenza nel fiume Serchio per i Rii Carraia e Lama sono state assunte in base alle quote delle piene aventi tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni fornite dall'Autorità di Distretto Settentrionale in sezioni prossime ai rii stessi e calcolate alla confluenza in funzione della pendenza del pelo libero nel Serchio. Le quote anzidette sono per il Rio Carraia $H_{30}= 35.32 \text{ m}$ e $H_{200}= 36.80 \text{ m}$, per il Rio Lama $H_{30}= 34.77 \text{ m}$ e $H_{200}= 36.31 \text{ m}$. Nella modellazione sono state incrociate le portate Tr_{200} del Rio con la Tr_{30} del Serchio e viceversa per tenere conto della scarsissima probabilità di sovrapposizione degli eventi che per i corsi d'acqua analizzati sono critici per durate ridotte mentre per il Serchio avvengono per eventi di durata decisamente maggiore. In accordo con Comune e Genio Civile non è stato tenuto conto nelle esondazioni dell'ultima condizione (Tr_{200} Serchio e Tr_{30} Rio) in quanto in realtà è la portata duecentennale del Serchio che rigurgita nell'affluente e quindi non si possono perimetrare con Tr_{30} quelle aree. Le condizioni al contorno a valle del Rio Gatto sono state inserite come livello di moto uniforme (in quanto il modello del Rio Gatto non risente del rigurgito del Fiume Serchio, poiché confluisce, ancorché impropriamente, nel Pubblico Condotto).

Di seguito si riportano i profili longitudinali delle simulazioni effettuate indicando le criticità che poi nel modello bidimensionale si declinano in esondazioni (indicate con una freccia ed un codice alfanumerico che inizia per Q).

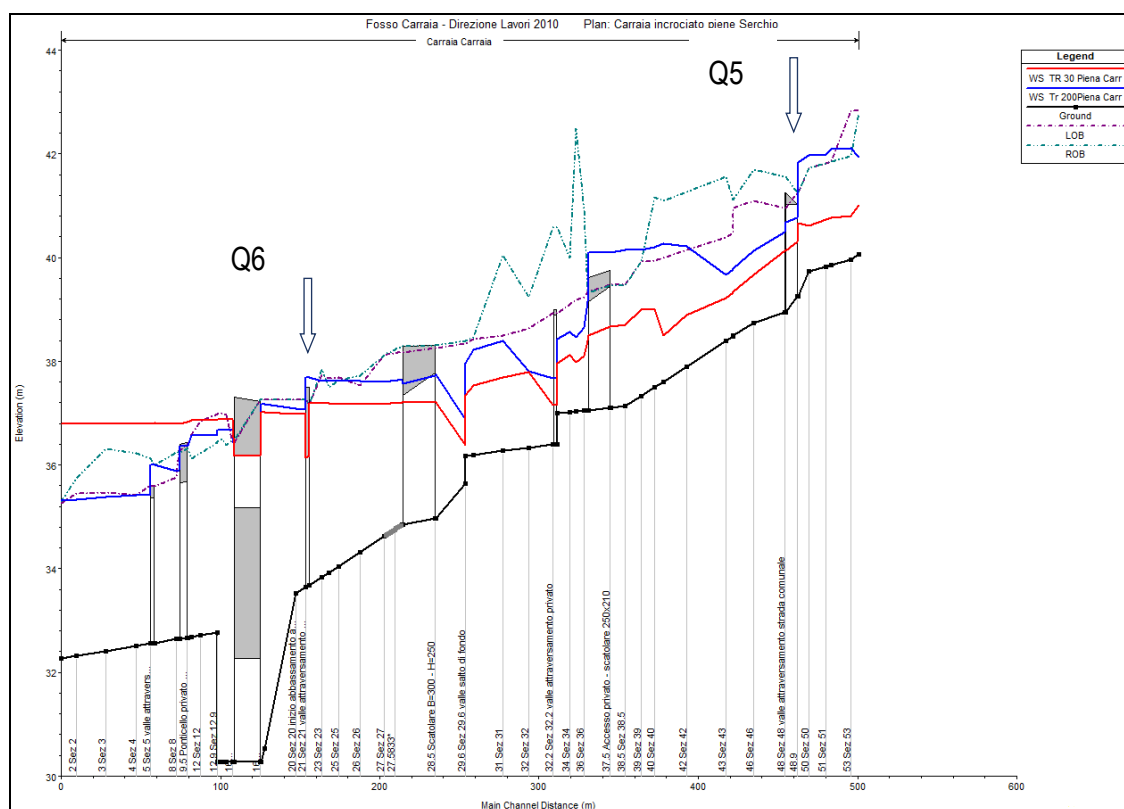


Figura 4.2 - Profilo longitudinale del Rio Carraia alla confluenza nel Serchio.

Sono state individuate le seguenti sezioni di esondazione:

- sezione 49, in corrispondenza del ponte di Via della Grotta per i tempi di ritorno 200 anni;
- sezione 21, in corrispondenza del ponte privato posto a valle dello stadio per i tempi di ritorno 200 anni.

La modellazione mostra che la piena trentennale è comunque quasi sempre contenuta all'interno dell'alveo (salvo un piccolo tratto nella parte bassa dell'asta che tuttavia è la golenia del Serchio), mentre la piena duecentennale presenta criticità più diffuse. Nei modelli realizzati per il dimensionamento degli interventi di sicurezza idraulica, invece, le piene erano sempre contenute all'interno del canale. Questa differenza è legata all'incremento della portata per effetto della diversa modellazione delle piogge a seguito dell'aggiornamento delle curve di possibilità pluviometrica. Ad ogni modo, l'entità degli idrogrammi di esondazione è estremamente limitata.

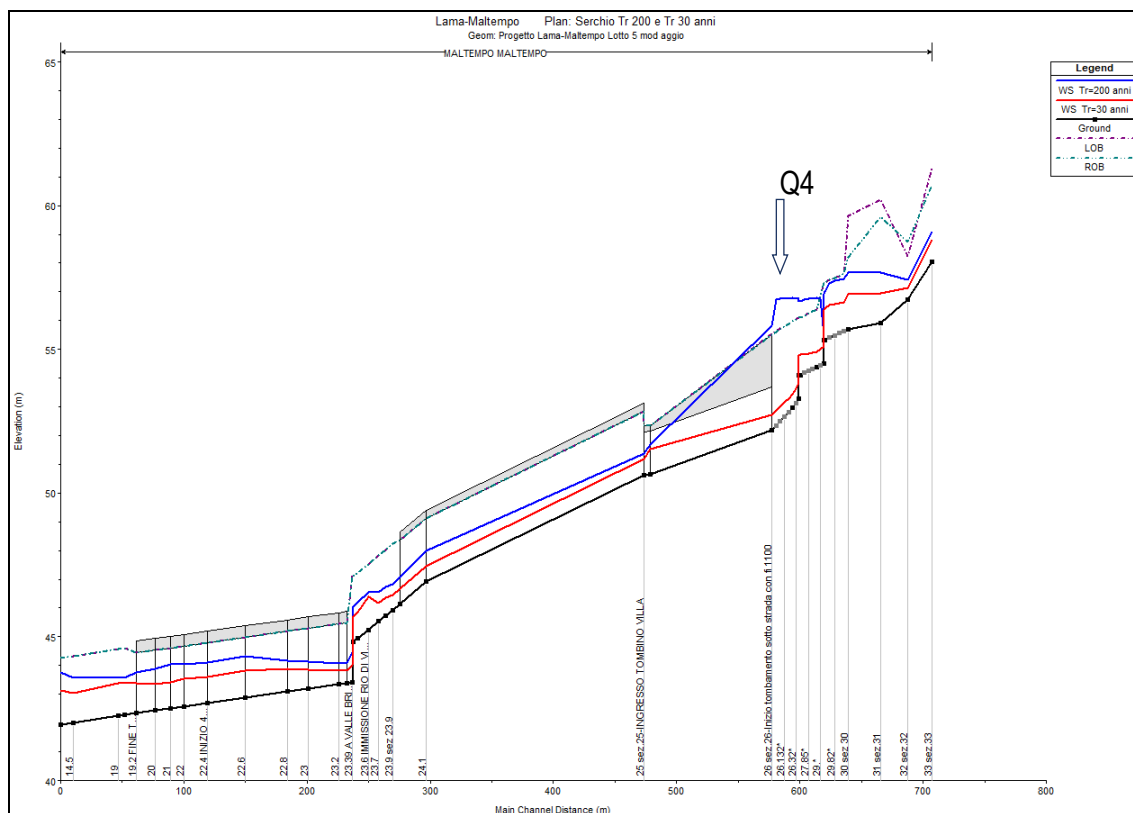


Figura 4.3 - Profilo longitudinale del Rio Maltempo.

La modellazione del Rio Maltempo mostra come la portata con tempo di ritorno 30 anni è sempre contenuta all'interno dell'alveo, mentre la portata duecentennale esonda a monte del tratto tombato che attraversa la proprietà di Villa Bernardini (che nel modello inizia alla sezione 26).

Per quanto riguarda il tratto di monte del Rio Lama (Figura 4.4) la modellazione mostra che la piena trentennale è sempre contenuta all'interno dell'alveo, mentre la piena duecentennale presenta una criticità (sezione 23) in corrispondenza dell'attraversamento privato sito in Via delle Ville.

Nel tratto finale, invece, sia la piena trentennale sia la piena duecentennale risultano praticamente sempre contenute all'interno del canale modellato, in analogia con il modello realizzato a supporto del progetto di messa in sicurezza (Figura 4.5).

Nel caso del Rio Gatto (Figura 4.6), i profili risultano diffusamente superiori alla capacità di contenimento del corso d'acqua (sia per lo scenario trentennale sia per quello duecentennale). Ciò è dovuto al fatto che gli interventi di messa in sicurezza sul Rio non sono mai stati terminati. In sostanza le sezioni del corso d'acqua risultano inadeguate.

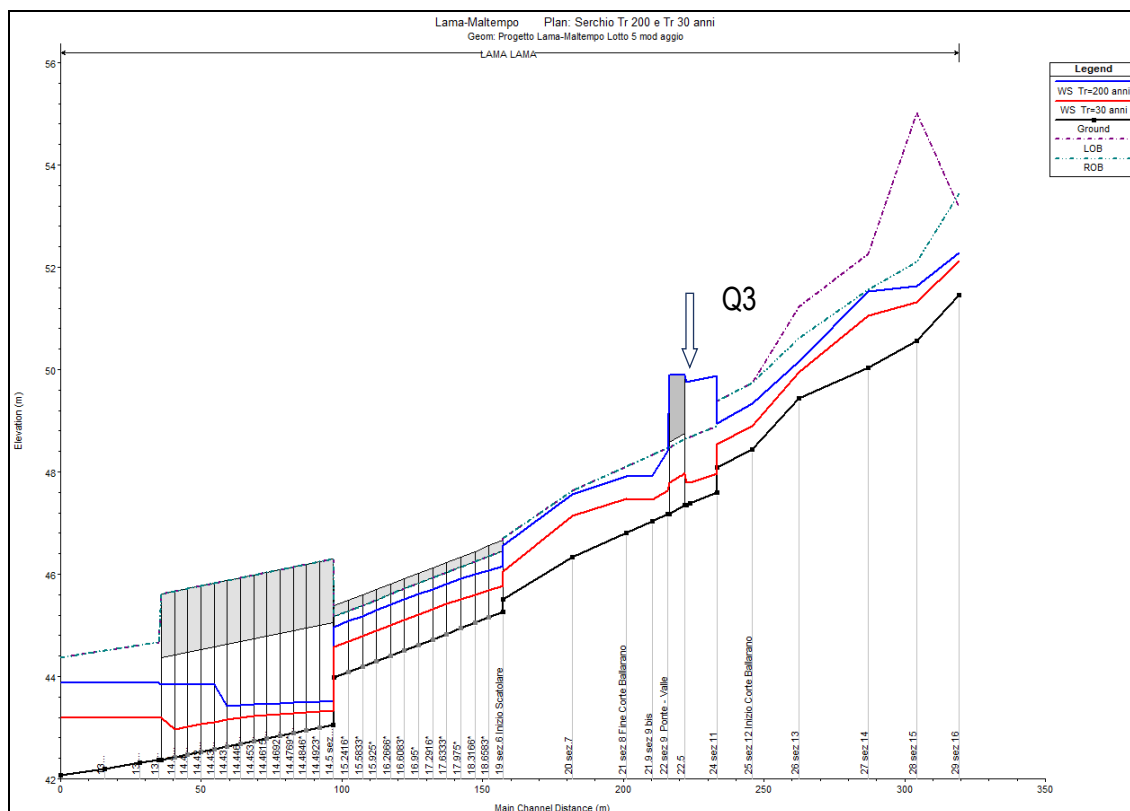


Figura 4.4 - Profilo longitudinale del tratto di monte del Rio Lama.

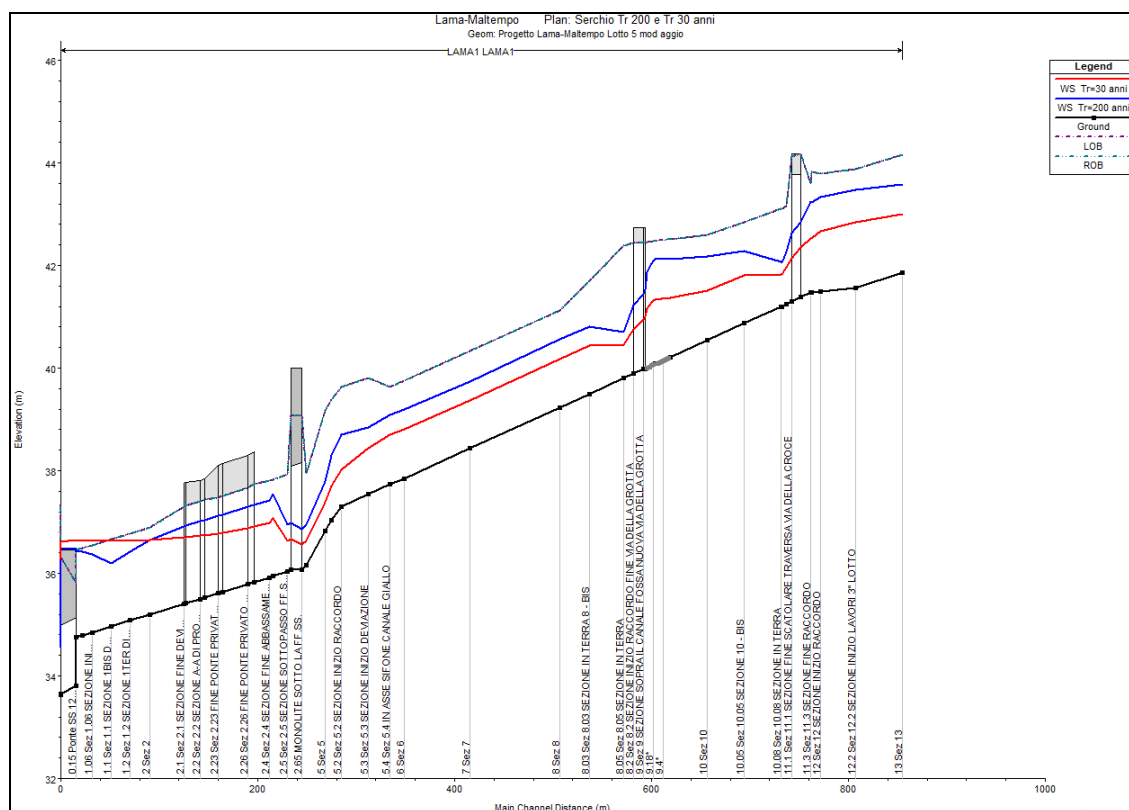


Figura 4.5 – Profilo longitudinale del Rio Lama alla confluenza nel Serchio nelle due condizioni incrociate.

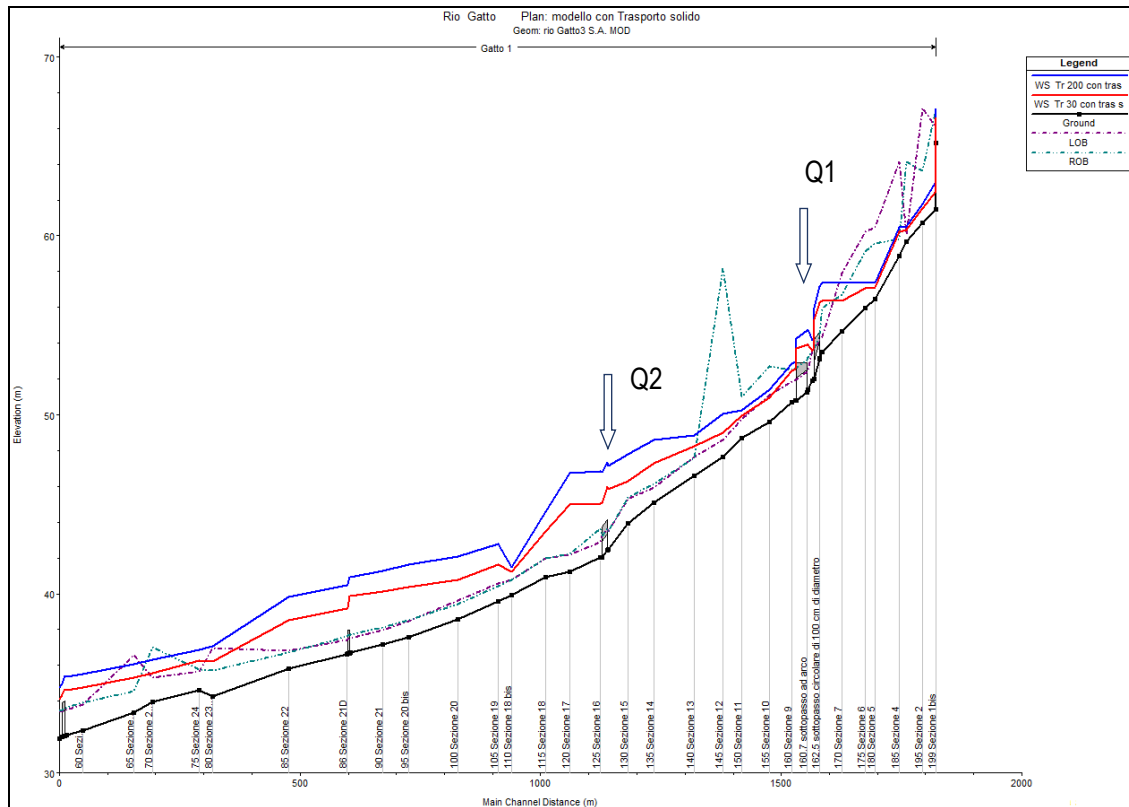


Figura 4.6 – Profilo longitudinale del Rio Gatto.



Figura 4.7 - Attraversamento di Via della Chiesa di Saltocchio del Rio Gatto.

I punti di crisi individuati attraverso le scale di deflusso sono sintetizzati nella seguente tabella (in rosso le portate non smaltibili, in verde quelle smaltibili):

Tratto modellato	Sez	ID	Q_{lim} [m^3/s]	Q_{max} Tr 200 [m^3/s]	Q_{max} Tr 30 [m^3/s]
Rio Gatto	163 dx	Q1	3	24.38	14.09
	89	Q2	1.5		
Rio Lama monte	23 dx	Q3	4	5.47	2.82
Rio Lama sx	26 sx	Q4	17.5	18	9.72
Rio Carraia	49	Q5	18	23.52	12.12
	21	Q6	13		

Tabella 4.1 - Punti di crisi per $Tr=200$ e $Tr=30$.

4.2.4.1 Rio del Topo

Per quanto riguarda il Rio in argomento (che è stato oggetto di un **nuovo rilievo delle sezioni**), tenuto conto che è stato oggetto di interventi di adeguamento (sia nel tratto collinare sia nel tratto vallivo) con la realizzazione di una cassa di espansione nel tratto di monte, è stata condotta una verifica monodimensionale nel tratto a valle della cassa di espansione in un tratto che peraltro è spesso fonte di criticità, in quanto gli interventi di sistemazione non sono stati realizzati nella loro globalità. A favore di sicurezza, la portata immessa nel modello è quella che risulta dalla modellazione di un bacino che comprende sia la cassa di espansione suddetta, senza quindi considerarne l'effetto di laminazione, sia il sottobacino limitrofo.

Le onde di piena sono quelle derivanti dal modello idrologico senza incrementi del trasporto solido come indicato dal geologo. Dalla modellazione sono stati individuati i vari punti critici per poter determinare le onde di piena che esondano dalle sezioni che sono gli input del modello 2D.

Le scabrezze delle sezioni sono state adattate alle sezioni del Rio e variano da $0.0167 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ a $0.0285 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

Di seguito si riporta il profilo longitudinale del Rio con l'indicazione del livello liquido per i vari tempi di ritorno con indicate anche le sommità delle opere. Risulta evidente dalle simulazioni effettuate raffrontate a quelle effettuate nella progettazione della cassa e delle sezioni a valle che queste ultime risultano fortemente modificate per l'interrimento delle stesse che quindi non contengono più neanche la loro portata di progetto. Risulta necessario effettuare una manutenzione per il ripristino della loro efficienza iniziale in attesa delle ulteriori opere previste.

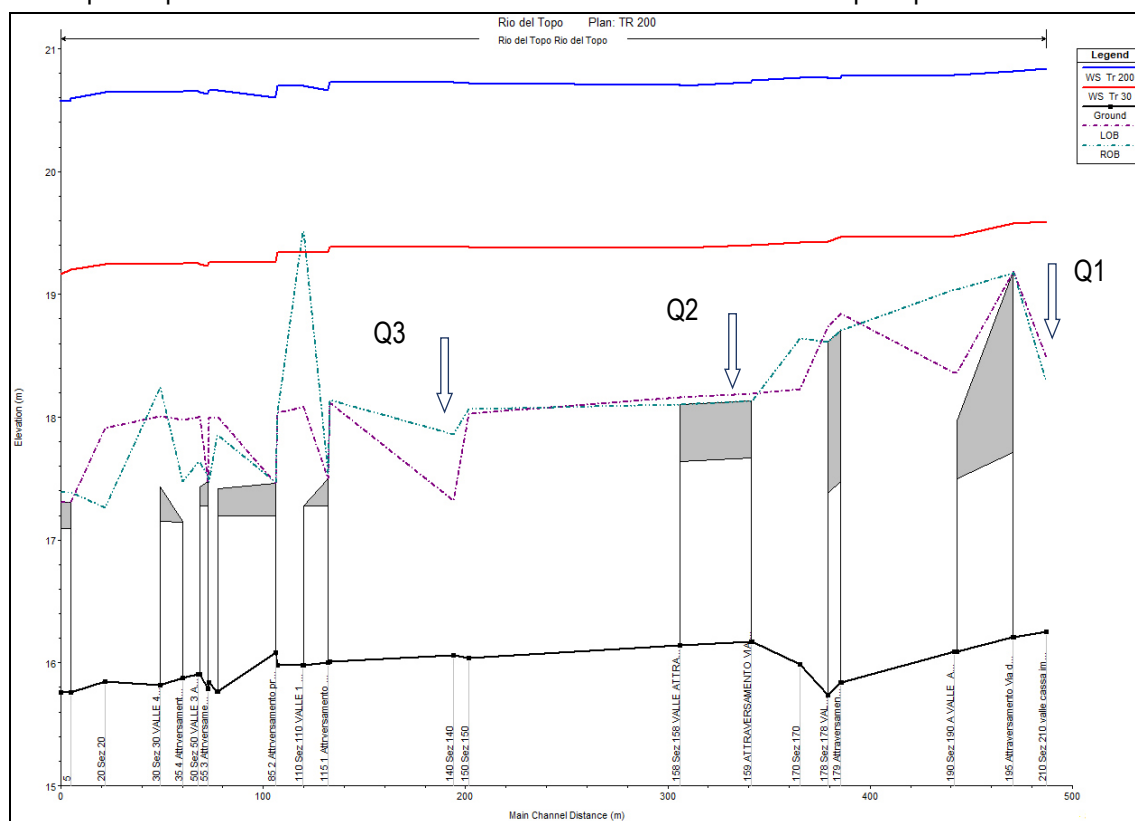


Figura 5.6 – Profilo longitudinale del Rio del Topo.

In sostanza, sia la portata trentennale sia la duecentennale non risultano praticamente mai contenute all'interno del tratto modellato. Ciò è coerente con le ricorrenti segnalazioni di criticità da parte della popolazione residente e con l'incompletezza dei lavori di messa in sicurezza. Peraltro, il tratto da risistemare è quello a valle della cassa di laminazione che, a causa del tracciato costretto tra le edificazioni presenti, presenta strizioni della sezione di deflusso.

Nei sopralluoghi effettuati si segnalano opere provvisorie poste in essere dai frontisti in contiguità con le opere di difesa spondale: tali manufatti testimoniano la criticità della situazione.



Figura 4.8 - «Opere di sponda» provvisorie poste nel tratto non sistemato del corso d'acqua.

Nella tabella sottostante si riporta una sintesi delle sezioni critiche individuate con il modello monodimensionale (in rosso le portate non smaltibili, in verde quelle smaltibili):

Rio del Topo				
Sez	ID	Q_{lim} [m ³ /s]	Q_{max} Tr 200 [m ³ /s]	Q_{max} Tr 30 [m ³ /s]
210	Q1	4	11.95	7.76
160	Q2	3.5		
140 sx	Q3	2		

Tabella 4.2 - Punti di crisi per Tr=200 e Tr=30.

4.2.4.2 Torrente Cerchia

Il torrente in argomento è stato modellato a partire da monte fino alla zona di Ponte Staccini, opera d'arte recentemente realizzata sulla base di specifici calcoli idraulici e anche visivamente idonea al contenimento delle piene più rilevanti. Vista la prismaticità e l'ampiezza dell'alveo, le sezioni del corso d'acqua sono state desunte dal rilievo LIDAR, mentre le sezioni più significative, quali l'attraversamento di via delle Nubache (Ponte Staccini) e l'attraversamento privato che si trova più a monte, sono state rilevate strumentalmente dallo studio Sani Grossi di Lucca. È stato modellato un tratto subito a monte di uno spezzone modellato da parte dell'Autorità di Bacino soprattutto in ragione del fatto che si registrava la presenza di un'area a pericolosità idraulica senza determinazione del battente, peraltro con presenza di un'ampia zona di recente edificazione seppur esternamente al perimetro del territorio urbanizzato.



Figura 4.9 – Ponte ristrutturato su Via delle Nubache.

Le scabrezze delle sezioni sono state considerate costanti e pari a $0.03 \text{ m}^{-1/3}$ s per l'alveo e $0.02 \text{ m}^{-1/3}$ s per le sponde. Le condizioni al contorno di monte e di valle sono state inserite come livello di moto uniforme. Anche in questo caso la modellazione ha avuto lo scopo di determinare i punti di crisi e le portate limite contenute.

Le onde di piena in ingresso al modello sono quelle derivanti dal modello idrologico senza incremento del trasporto solido come indicato del geologo. Di seguito si riporta il profilo longitudinale fornito dal Codice di Calcolo HEC-RAS in cui sono indicati il fondo del corso d'acqua, la sommità delle sponde e il profilo liquido al passaggio del colmo di piena per i due tempi di ritorno.

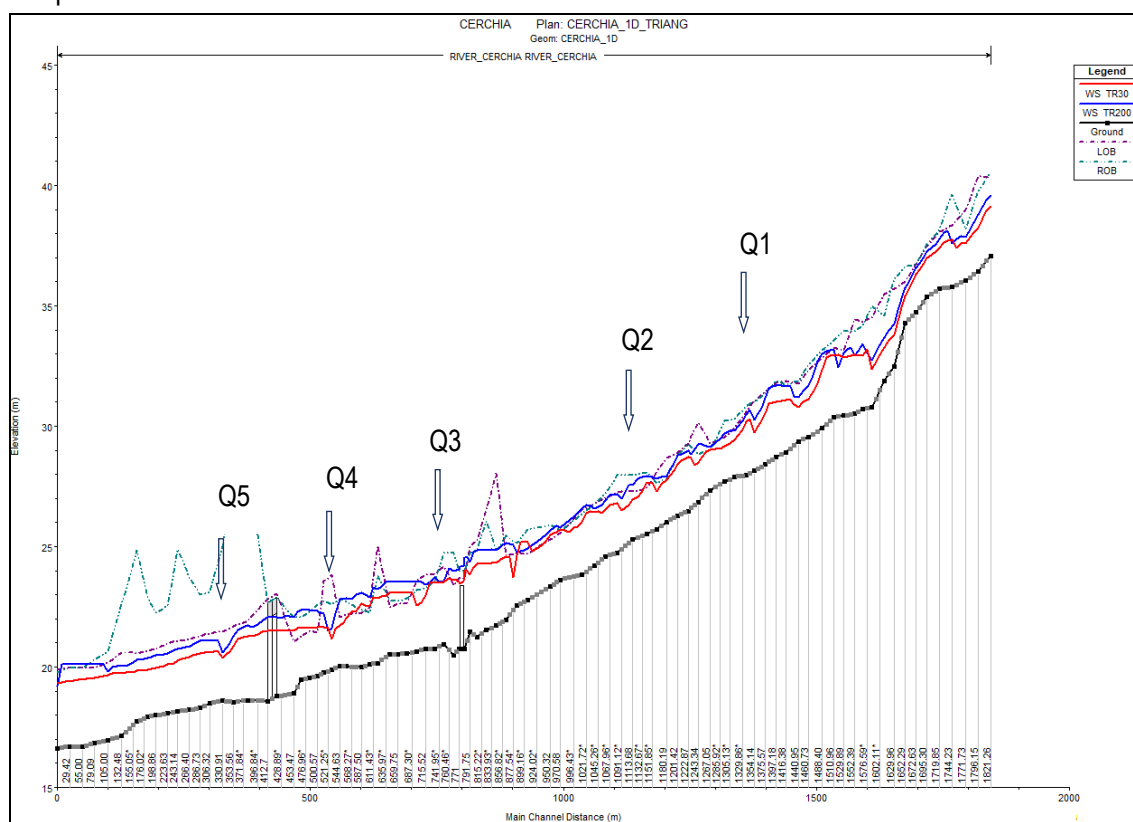


Figura 4.10 - Profilo longitudinale del Rio Cerchia.

Avendo definito la scala di deflusso per ogni sezione è stato possibile individuare i punti di esondazione, ovvero quelle sezioni che risultano insufficienti al contenimento del livello liquido al loro interno. Si osservano alcuni punti di esondazione a partire dalla sezione 1500, ma il tratto più critico risulta essere quello compreso tra i due attraversamenti.

Nella Tabella 4.3 - Punti di crisi per $Tr=200$ e $Tr=30$, si riportano i punti di crisi individuati per i due tempi di ritorno che sono stati utilizzati come punti di ingresso nel modello bidimensionale (in rosso le portate non smaltibili, in verde quelle smaltibili). Si tratta di una scelta cautelativa in quanto nel caso di punti di esondazione ravvicinati si sono scelte le sezioni più a monte e il loro diagramma di esondazione è stato ricostruito a partire dal valore di portata limite più basso tra le sezioni di quel tratto.

Rio Cerchia				
Sez	ID	Q_{lim} [m ³ /s]	Q_{max} Tr 200 [m ³ /s]	Q_{max} Tr 30 [m ³ /s]
1503 sx	Q1	47.5	71.05	43.45
1276 dx	Q2	45		43.45
899 sx	Q3	32.5		
687	Q4	27.5		
500 sx	Q5	32.5		

Tabella 4.3 - Punti di crisi per $Tr=200$ e $Tr=30$.

4.2.4.3 Torrente Canabbia

In questo caso, il modello è stato realizzato perché il corso d'acqua passa attraverso alcune aree interne al perimetro del territorio urbanizzato. In questa fascia si trovano tre aste che intersecano queste zone urbanizzate: una è il Rio Canabbia, gli altri sono due rami minori che nella modellazione idrologica abbiamo denominato "Canabbia centro" e "Canabbia Nord". Ora, le due aste minori hanno sezioni estremamente esigue, corredate peraltro di attraversamenti con luci tali da poter essere facilmente occlusi soprattutto per l'assenza di dispositivi di ritenuta del trasporto solido a monte. Pertanto si è ritenuto cautelativo evitarne la modellazione monodimensionale e supporre che tutto l'idrogramma idrologico si trasformi in idrogramma di esondazione. Oltretutto, specie per il Rio denominato "Canabbia Centro" si è verificato che l'alveo del corso d'acqua, che risulta inciso e ampio nella parte collinare, si restringe fino ad assumere le sembianze di una scolina di bordo strada nella parte valliva. Viceversa, il Rio Canabbia e i relativi attraversamenti manifestano una qual certa ampiezza che induce a pensare che difficilmente tutta la portata possa fuoriuscire dal corso d'acqua e pertanto la modellazione monodimensionale è stata ritenuta opportuna.



Figura 4.11 – Planimetria area oggetto della simulazione monodimensionale del Canabbia.



Figura 4.12 – Foto del tombamento riscontrato sul Canabbia Centro.

Le scabrezze delle sezioni sono state adattate alle sezioni del torrente e variano da $0.0167 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ a $0.0285 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$. Il modello idraulico inizia a valle dell'attraversamento dell'Autostrada A11 ramo verso la Versilia e a monte si conclude a monte del cimitero lungo la S.R. 439 Sarzanese Valdera.

Di conseguenza, nel modello bidimensionale si è prudenzialmente ipotizzato, in analogia ad eventi realmente accaduti, l'esondazione dell'intera portata idrologica (per effetto del potenziale intasamento del tombamento). Le onde di piena inserite nel modello sono quelle costanti, anche per allineare le portate a quelle già individuate dai

tecnici del Distretto di Bacino per la modellazione del tratto di corso d'acqua posto a valle. Le onde di piena sono quelle derivanti dal modello idrologico senza incrementi del trasposto solido come indicato dal geologo per la simulazione monodimensionale del bacino Canabbia e del bacino Canabbia Nord, mentre per il bacino Canabbia Centro è stato inserito l'incremento dell'onda di piena indicata dal geologo con le modalità già descritte in precedenza. Le condizioni al contorno di valle sono state inserite come livello di moto uniforme.

Di seguito si riporta il profilo longitudinale del torrente con l'indicazione del livello liquido per i vari tempi di ritorno con indicate anche le sommità delle opere.

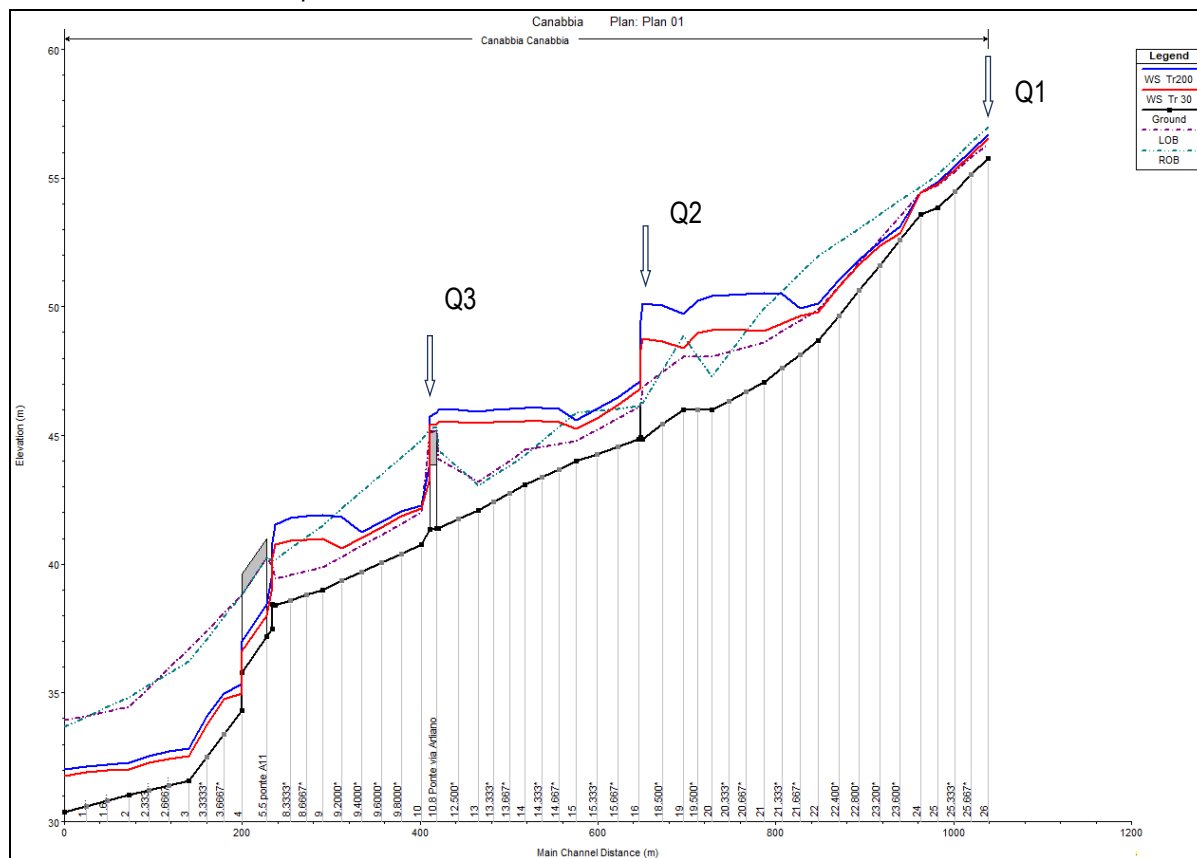


Figura 4.13 – Profilo longitudinale del Torrente Canabbia.



Figura 4.14 – Tratto del Rio Canabbia caratterizzata dalle maggiori criticità.

I tratti critici sono quelli a cavallo delle sezioni 26, 16 e 10, in sostanza a monte dei ponti riscontrati sul modello. Tuttavia, mentre per l'ultimo ponte si tratta principalmente degli effetti del rigurgito, per quelli più a monte si hanno problematiche perlopiù legate a insufficienza delle sezioni di deflusso. In tutti i casi, la portata limite contenuta è pari a 3 m³/s. Cautelativamente, tra queste criticità sarà impostata come uscita, nel modello 2D, quella della sezione più alta tra quelle ritenute critiche.

I punti di crisi individuati attraverso le scale di deflusso sono sintetizzati nella seguente tabella (in rosso le portate non smaltibili, in verde quelle smaltibili):

Rio Canabbia				
Sez	ID	Q _{lim} [m ³ /s]	Q _{max} Tr 200 [m ³ /s]	Q _{max} Tr 30 [m ³ /s]
26	Q1	3	38.25	22.95
16	Q2			

Tabella 4.4 - Punti di crisi per Tr=200 e Tr=30.

La criticità di cui al punto Q3 non è fonte di esondazione in quanto la portata in arrivo a tale sezione è già laminata in modo tale da non indurre ulteriori esondazioni.

4.2.4.4 Sistema del Rio Guappero e affluenti

Il sistema del Rio Guappero è stato modellato prevalentemente da sezioni fornite da una campagna di rilievo realizzata nell'ambito di stesura del Piano Strutturale. Tali sezioni sono state poi integrate con rilievi condotti dallo studio Sani Grossi nel gennaio 2020 e, soprattutto per le parti montane, con sezioni desunte dal rilievo LIDAR della Regione Toscana. Ad ogni modo, tutte le opere d'arte sono state rilevate nel dettaglio. Chiaramente per quanto riguarda il sistema del Rio in argomento, preso atto della complessità del reticolo e della presenza di numerosi tratti tombati è stata condotta una verifica monodimensionale dalla quale individuare i vari punti critici per poter determinare le onde di piena che esondano dalle sezioni che si declinano poi in input del modello bidimensionale.

Le scabrezze delle sezioni sono state adattate alle sezioni dei Rii e variano da 0.0167 m^{-1/3}s a 0.03 m^{-1/3}s. Il modello idraulico inizia a monte del territorio urbanizzato, per quanto riguarda gli affluenti, e finisce a monte della cassa di espansione del Sistema Bottacci.

Le onde di piena sono quelle derivanti dal modello idrologico con incrementi del trasposto solido, come indicato nella relazione del geol. Sani. In particolare, sono stati utilizzati i risultati delle simulazioni con ietogrammi costanti in considerazione del fatto che l'utilizzo di ietogrammi triangolari avrebbe fornito incrementi di portata quasi pari al 100% rispetto agli studi del piano strutturale, rappresentando scenari non coerenti con l'esperienza reale come già indicato ai paragrafi precedenti. Le condizioni al contorno di valle e di monte sono state inserite come livello di moto uniforme.

In questa modellazione in alcuni casi i LOB e ROB rappresentano la delimitazione dell'alveo inciso. Non sono stati modellati il Rio di Colle e il Rio dei Frati in quanto vi si sono riscontrati tombamenti con luci ridotte che rendevano superflua la modellazione per l'individuazione dei punti di crisi poi inseriti proprio in loro corrispondenza.

Di seguito si riportano i profili longitudinali dei vari corsi d'acqua del sistema.

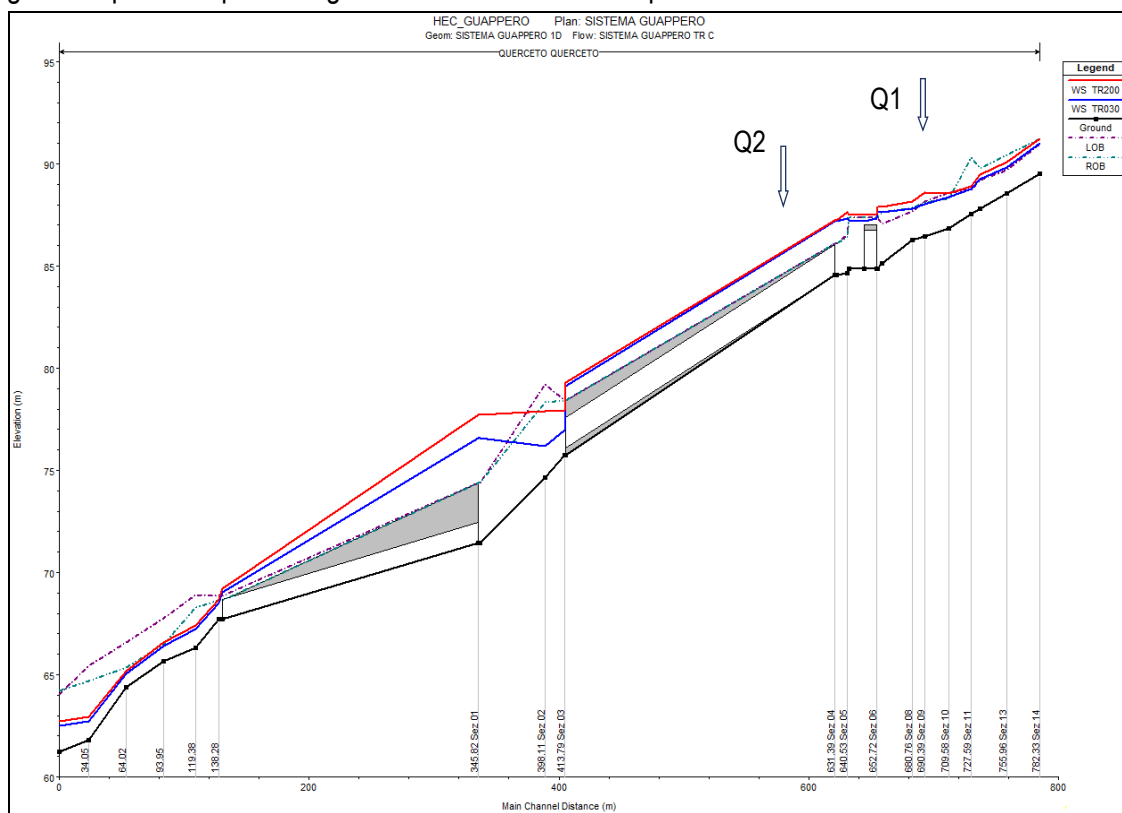


Figura 4.15 – Profilo longitudinale del Rio Querceto.

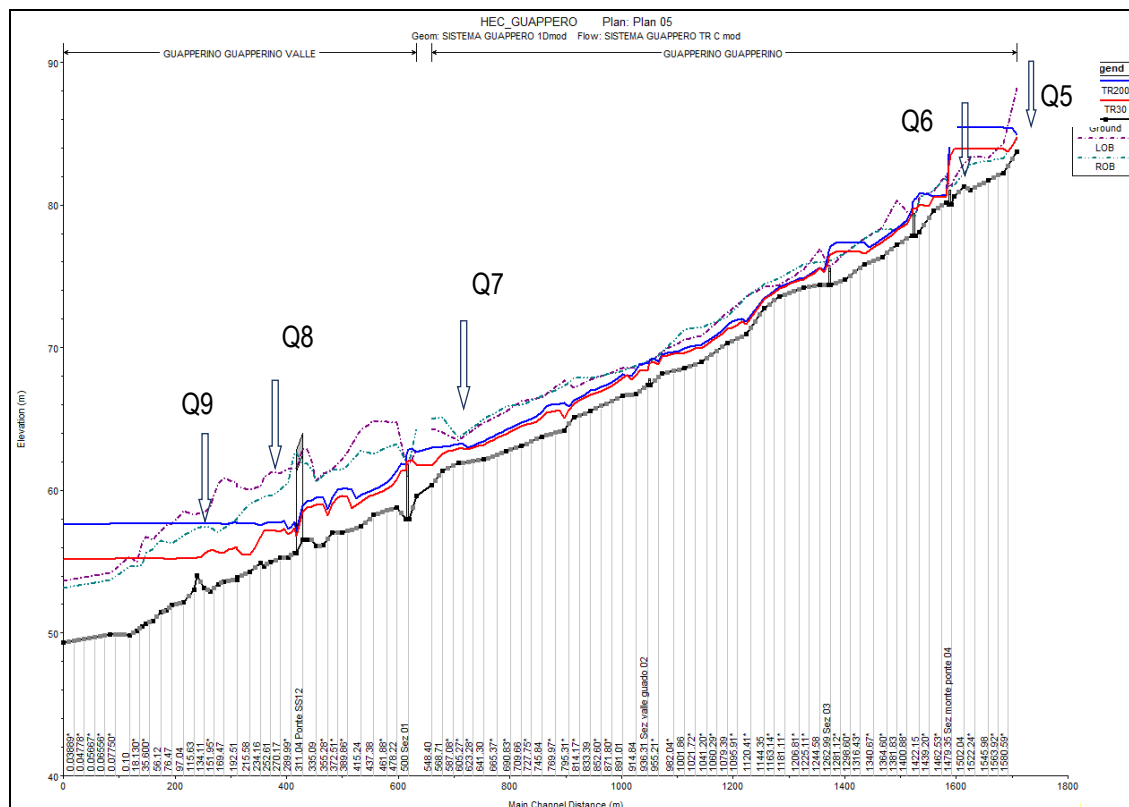


Figura 4.16 – Profilo longitudinale del Rio Guapperino.

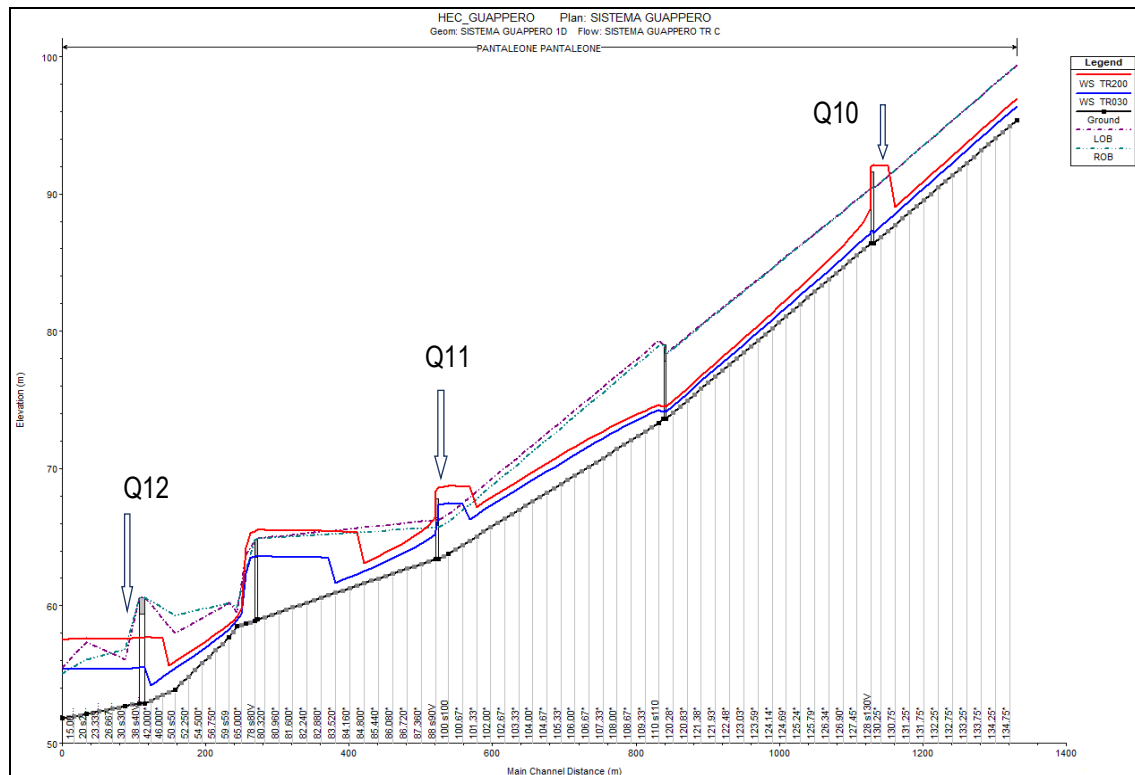


Figura 4.17 – Profilo longitudinale del Rio San Pantaleone.

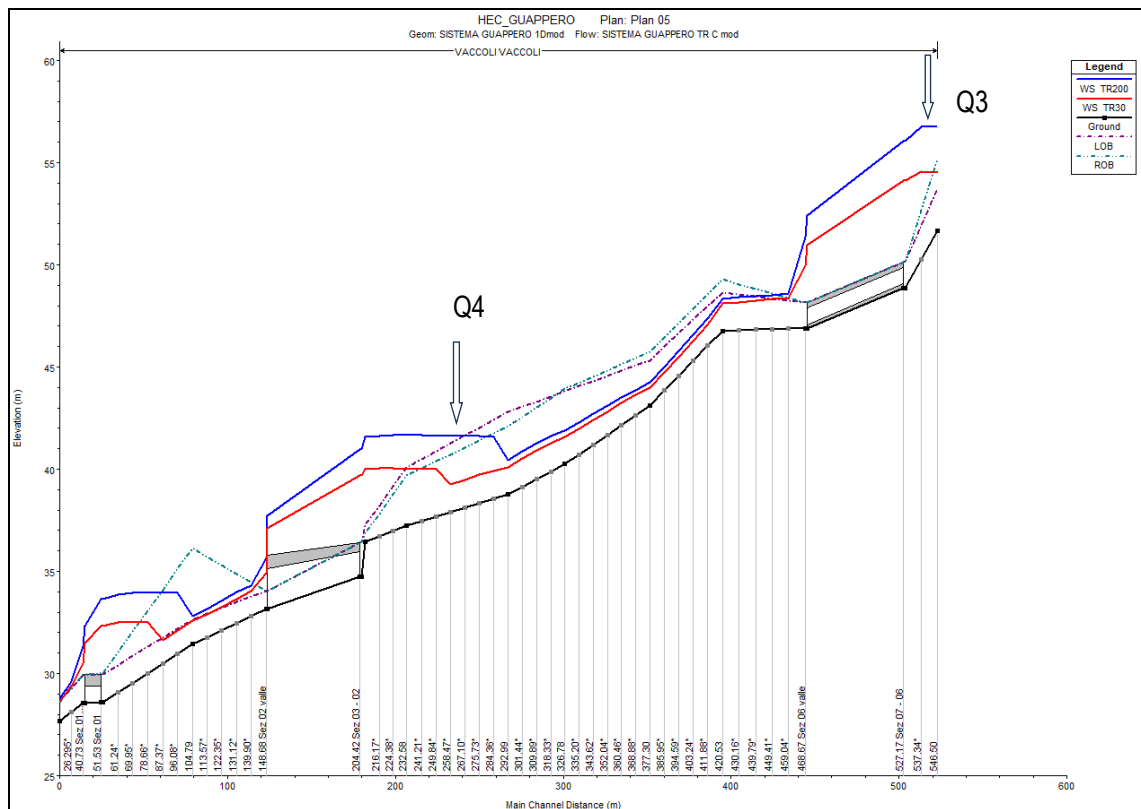


Figura 4.18 – Profilo longitudinale del Rio di Vaccoli.

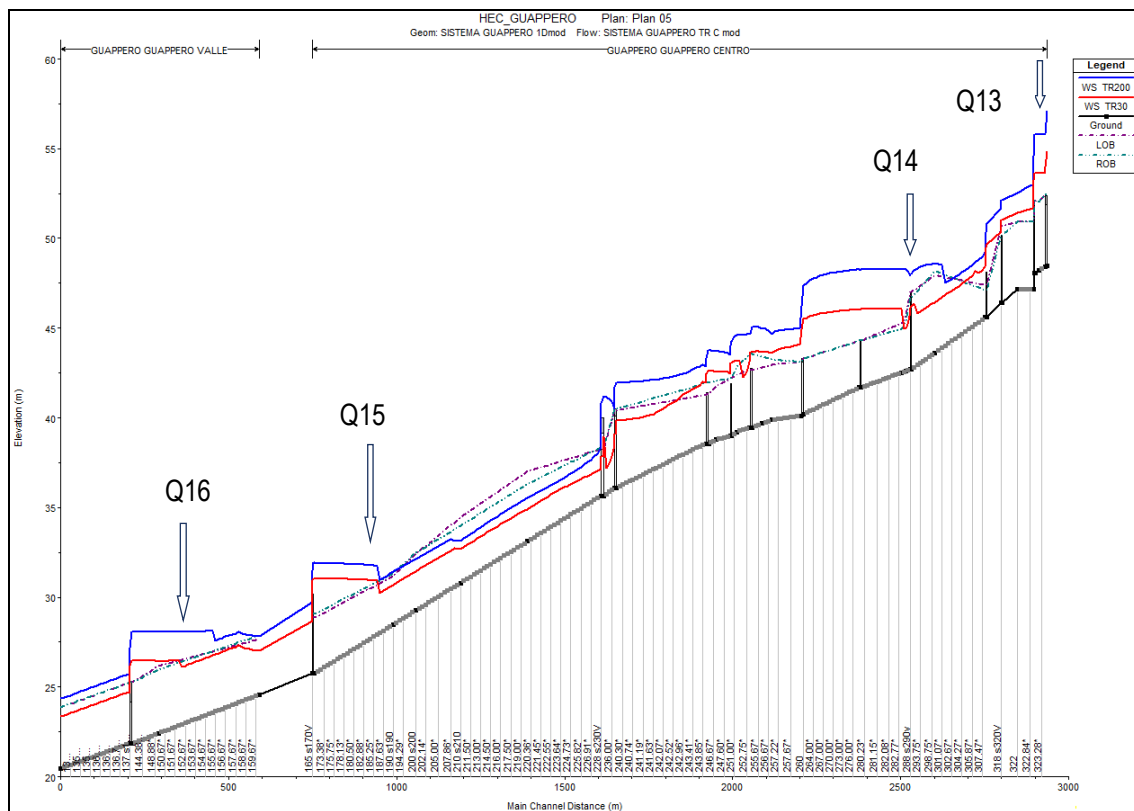


Figura 4.19 – Profilo longitudinale del Rio Guappero.

Si può notare come i punti di crisi siano concentrati o nella parte alta del sistema o, sovente, a ridosso degli attraversamenti a causa del rigurgito da essi causati.



Figura 4.20 – Tombamenti ravvicinati sul Rio dei Frati.
L'immagine mostra che eventuali intasamenti provocano la fuoriuscita di tutta la portata idrologica.



Figura 4.21 – Tombamento del Rio di Querceto. Si palesa che le dimensioni non sono tali da far immaginare la completa ostruzione dell'attraversamento e di conseguenza indurre alla valutazione delle reali capacità di deflusso mediante realizzazione di modello idraulico.

I punti di crisi individuati attraverso le scale di deflusso sono sintetizzati nella seguente tabella (in rosso le portate non smaltibili, in verde quelle smaltibili):

	Tempo di ritorno 30 anni		
	Q_{max} [m ³ /s]	Q_{lim} [m ³ /s]	Sez
Rio Querceto	12.15	9.4	782 sx
		3.3	632
		3	345
Rio di Vaccoli	21.75	2	546
		4	284
Rio Guapperino	14.33	3	1572 dx
		8.14	1415
	25.66	25.24	501 sx
		17	29
Rio San Pantaleone	36.03	30	89 dx
Rio Guappero	97.81	55	323
		52.1	288
		80.24	186
	139.66	74.5	152

Tabella 4.5 - Punti di crisi per $Tr=30$.

	Tempo di ritorno 200 anni			
	Q_{max} [m ³ /s]	Q_{lim} [m ³ /s]	Sez	ID
Rio Querceto	19.8	9.4	782 sx	Q1
		3.3	632	Q2
Rio di Vaccoli	37.95	2	546	Q3
		4	232	Q4
Rio Guapperino	24.03	3	1572	Q5
		8.14	1415	Q6
	42.6	25.24	501	Q7
		31.75	184 dx	Q8
		14.6	76 sx	Q9
Rio San Pantaleone	73.8	67	130	Q10
		30	89	Q11
		55	30	Q12
Rio Guappero	169.2	55	323	Q13
		52.1	288	Q14
		80.24	186	Q15
	239.05	74.5	152	Q16

Tabella 4.6 - Punti di crisi per $Tr=200$.

Le sezioni critiche sono state individuate secondo criteri cautelativi, ciò vuol dire che nel caso di punti di crisi ravvicinati l'ingresso utilizzato nel modello 2D corrisponderà alla sezione più a monte e come portata limite sarà considerata la minore fra quelle (maggiore portata di esondazione).

4.2.5 Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idraulica monodimensionale

Si sottolineano le principali approssimazioni seguite a favore di sicurezza:

- Attribuzione della portata idrologica a partire dalla sezione più a monte del modello realizzato;
- Simulazione degli attraversamenti a sezione variabile come attraversamenti prismatici a sezione uniforme e con luce pari a quella minore misurata nell'ambito dei rilievi topografici.

4.3 MODELLI IDRAULICI BIDIMENSIONALI

4.3.1 Generalità e descrizione del modello di calcolo

4.3.1.1 Descrizione del codice di calcolo

I modelli idraulici delle esondazioni hanno l'obiettivo di simulare la dinamica di esondazione per il sistema analizzato a partire dagli idrogrammi di esondazione sul piano di campagna opportunamente schematizzato. Il risultato di questa analisi consiste principalmente nella definizione delle aree allagabili, con la determinazione, per ogni parte del territorio del battente massimo previsto.

Il modello è costruito a moto vario tramite il software Hec-Ras fornito da:

*U.S. Army Corps of Engineers. Institute
For Water Resources. Hydrologic Engineering Center
609 Second Street - Davis, CA 95616-4620*

Al momento della stesura del presente documento, in Italia non esiste una lista di modelli di calcolo la cui validità sia certificata a livello nazionale. Tuttavia, negli Stati Uniti d'America è stata stilata una lista di codici di calcolo certificati per la stesura di carte di pericolosità idraulica da utilizzare per la stima dei parametri assicurativi del territorio statunitense in relazione al rischio di esondazioni (valida per gli Stati Uniti d'America). Il software utilizzato appartiene alla lista citata "Hydraulic Numerical Models Meeting the Minimum Requirement of National Flood Insurance Program", consultabile al sito:

<https://www.fema.gov/hydraulic-numerical-models-meeting-minimum-requirement-national-flood-insurance-program>

4.3.1.2 Basi matematiche del modello di calcolo

Il codice di calcolo utilizzato si basa sull'algoritmo "Implicit Finite Volume", un metodo di calcolo sviluppato secondo un calcolo iterativo su un sistema discretizzato di celle che tiene conto delle seguenti equazioni:

- Equazione di conservazione della massa

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0$$

- Equazione di conservazione del momento approssimata secondo il modello della "diffusion wave"

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \cdot \nabla V = -g \nabla H + \nu_t \nabla^2 V - c_f V + f k \times V$$

Per ogni step temporale in cui è suddivisa la modellazione, il software cerca iterativamente la soluzione alle due equazioni sopra riportate, stabilendo per ogni cella di calcolo un certo battente: se la soluzione ipotizzata verifica le

suddette equazioni, con uno scarto minimo fissato dall'utente, si passa all'intervallo successivo, fino a giungere al termine della simulazione. Un pregio del modello, descritto di seguito, è che la morfologia con cui viene costruito il modello non viene discretizzata nello sviluppo dei calcoli, ma mantiene la definizione del dato di partenza.

4.3.2 Elementi di input della modellazione

4.3.2.1 Morfologia del piano di campagna

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

Figura 4.22 – Correlazione tra l'uso del suolo e il coefficiente di Manning

quanto, per lo studio dell'esondazione, è stata utilizzata una mappa con una definizione maggiore, sempre pubblicata dalla Regione Toscana, in modo tale da tener presente delle singolarità presenti sul territorio.

Uno dei principali input della modellazione svolta riguarda la definizione della morfologia del territorio. Questo dato è stato inserito attraverso l'implementazione del rilievo LIDAR della Regione Toscana all'interno del codice di calcolo. Nelle aree di esondazione modellate, il territorio è stato poi discretizzato in celle aventi dimensione variabile a seconda del modello (in generale sono state impiegate celle di dimensione 5 m o inferiore). Tuttavia, a differenza di altri sistemi di calcolo, il piano di campagna di ogni cella non è schematizzato piano, ma mantiene il dettaglio del dato originale in ingresso, che in questo caso è il LIDAR (risoluzione pari a 1m). Lo stesso dicasi per i confini tra le celle che sono definiti sulla base del dato morfologico inserito senza perdita di risoluzione. La maglia di calcolo è stata infittita in corrispondenza di particolari zone del modello (ad esempio nelle zone di maggior pendenza o in corrispondenza di rilevati stradali o arginali). Per quanto riguarda la scabrezza del piano di campagna, essa è stata definita mediante il coefficiente di Manning, desumendolo, secondo indicazioni di letteratura, dall'uso del suolo. Nell'ambito del presente studio è stata utilizzata la corrispondenza tra uso del suolo e coefficiente di Manning riportata all'interno dell'articolo scientifico "Calibration of 2d Hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus River" (Pestana, Matias, Canelas, Araújo, Roque, Van Zeller, Trigo-Teixeira, Ferreira, Oliveira, Heleno – Anno 2013). Di seguito è riportata una tabella di esempio della corrispondenza fra codice di uso del suolo – Coefficiente di Manning e la carta dell'uso del suolo. La carta dell'uso del suolo differisce da quella del CN, in

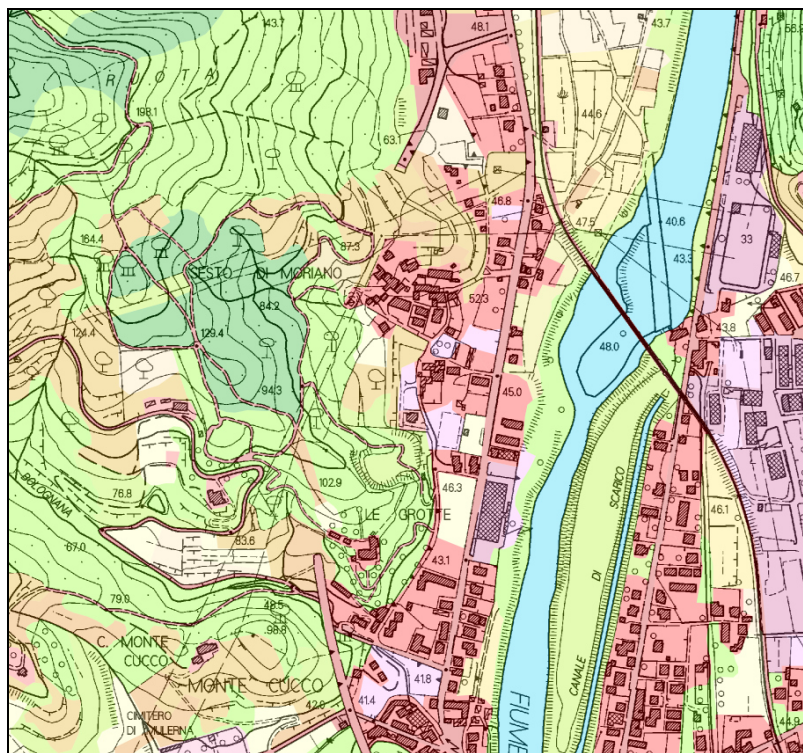


Figura 4.23 – Carta di uso del suolo dettagliata (estratto dal sistema di Sesto di Moriano).

4.3.2.2 Condizioni al contorno

Come detto ai paragrafi precedenti, le condizioni al contorno, per quanto riguarda gli ingressi di portata, sono state posizionate o in corrispondenza dei punti di crisi evidenziate all'interno dei modelli idraulici monodimensionali o laddove i sopralluoghi hanno evidenziato sezioni potenzialmente intasabili o palesemente inadeguate al contenimento della piena. Eventuali rientri all'interno del corso d'acqua sono stati ipotizzati laddove ricorrevano entrambe le seguenti condizioni:

- il tratto di corso d'acqua in oggetto era idoneo al contenimento della piena simulata;
- il tratto di corso d'acqua in oggetto era incassato.

In ogni caso tutte le semplificazioni necessariamente riportate nella modellazione sono state effettuate a favore di sicurezza. Ad esempio, l'eventuale definizione di zone di rientro non sempre comporta l'effettivo reintegro di tutti i flussi fuoriusciti. Ciò nonostante, nei punti di crisi a valle dei rientri modellati è stata ipotizzata la presenza in alveo di tutta la portata idrologica.

Infine, le uscite dal sistema sono state poste o in corrispondenza di elementi fisici che rappresentavano un evidente punto di uscita dal modello (es: in corrispondenza di un vaso non arginato) o laddove si trovavano zone con battenti del reticolo principali significativi e già individuati. Per queste condizioni di uscita dal sistema è stato impostato, in corrispondenza del fondo valle, uno "stage hydrogram" con altezze inferiori rispetto al piano di campagna.

4.3.2.3 Elementi particolari

Nella modellazione idraulica bidimensionale, se da una parte è vero che il codice di calcolo tiene conto della definizione originaria del piano di campagna, dall'altra il passaggio da una cella all'altra avviene sulla base del reale andamento del terreno riscontrato al confine tra una cella e l'altra. Dunque, è opportuno organizzare la maglia di calcolo facendo in modo che i confini delle celle passino per gli alti morfologici rilevati dal LIDAR. Nella maggior parte dei casi, la maglia regolare generata imponendo l'interasse base scelto per un certo modello è tale da verificare questa

impostazione; laddove ciò non avveniva è stato inserito un elemento denominato “break line” in corrispondenza dei rilevati individuati nel territorio analizzato.



Figura 4.24 – Esempio di una break line impiegata nella modellazione idraulica per simulare il rilevato stradale.

4.3.3 Risultati dell'analisi idraulica

4.3.3.1 Generalità

Di seguito si riportano le descrizioni dei risultati delle analisi svolte suddivise per sistema.

4.3.3.2 Sesto di Moriano

Per quanto riguarda il sistema di Sesto di Moriano gli ingressi sono stati ubicati in corrispondenza dell'inizio dell'area a pericolosità idraulica indicata all'interno del PGRA, sebbene l'inizio del tratto tombato che si può intasare sia ubicato più a valle. Si ribadisce come questa supposizione sia abbastanza arbitraria, frutto di accordi a tutela della sicurezza con gli uffici tecnici del Genio Civile realizzati nell'ambito della stesura del presente studio. Ad ogni modo, supponendo il completo intasamento delle condotte, che in realtà sembrano assimilabili più a fognature bianche piuttosto che a tombamenti di linee geografiche di drenaggio, è stata modellata la completa fuoriuscita dell'idrogramma idrologico.

Chiaramente le direttrici di flusso seguono le linee di pendenza principali. In prima battuta, nella parte alta dell'esondazione, vista la sussistenza di una pendenza nell'ordine di qualche punto percentuale, si registrano bassi battenti ed elevate velocità: la direzione del deflusso è verso il fondo valle, ove scorre il Serchio. Raggiunto il fondovalle, i deflussi seguono la pendenza dell'asta principale: al diminuire della pendenza, calano le velocità ed aumentano i battenti. Per la visualizzazione delle aree interessate, si rimanda agli appositi elaborati. Di seguito si riporta un'immagine dell'esondazione duecentennale: le frecce viola rappresentano i punti di esondazione, mentre quelle gialle sono le uscite dal sistema.

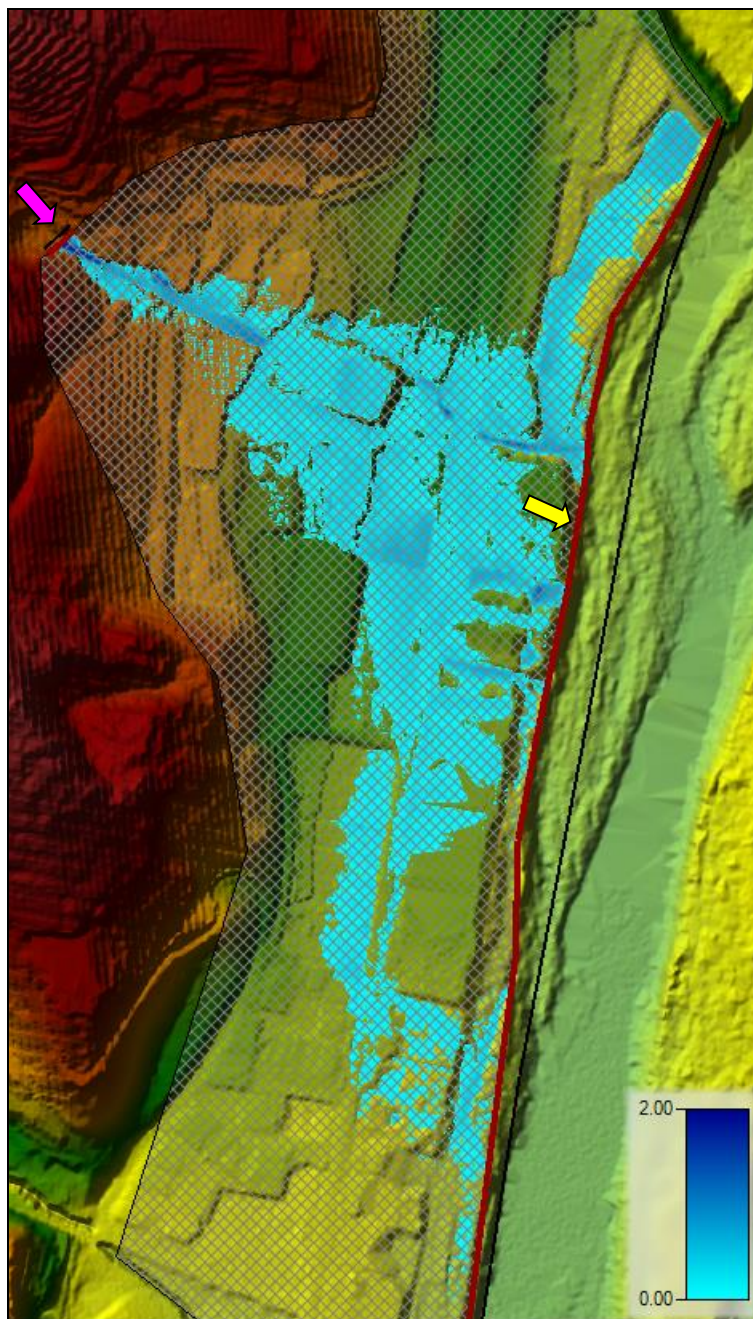


Figura 4.25 - Esondazione Sesto di Moriano con $Tr=200$.

Ad ogni modo, pur avendo simulato la fuoriuscita di tutto l'idrogramma idrologico, le aree soggette ad esondazione sono molto limitate e interessate da battenti esigui. In generale, le situazioni critiche riscontrate (se di criticità si può parlare) sono modeste e sicuramente non si può attribuire al Rio analizzato tutta la pericolosità in destra idraulica del Serchio compresa tra Vinciana e Sesto di Moriano, dove sussiste una grossa fascia a pericolosità idraulica del PGRA che investe zone a quote ben più alte rispetto al fondo alveo del Serchio. La pericolosità idraulica di queste zone sembrerebbe derivare dalla classe P2g del Serchio in cui tali criticità non erano associate a battenti esondativi di corsi d'acqua, ma piuttosto a dinamiche evolutive da approfondire sul piano geomorfologico, dinamiche che però mal si conciliano con la classificazione di pericolosità tratteggiata nella LR 41/2018.

4.3.3.3 Sistema Rio di Carraia, Rio Lama, Rio del Gatto e zona di Saltocchio

Il modello costruito riguarda tutta la fascia compresa tra la parte Sud del centro di Ponte a Moriano e il Pubblico Condotto. In sostanza la gran parte dell'area simulata interessa la località Saltocchio, che, come detto in precedenza, è caratterizzata da un basso morfologico solcato da canali irrigui e da un numero esiguo di aste che provengono dalle vicine colline. Questi corsi d'acqua sono stati modellati nell'ambito delle simulazioni monodimensionali e sono il Rio di Carraia, il Rio del Gatto e il Rio Lama. Le criticità di questi sono state inserite nel modello bidimensionale come punti di ingresso; ad essi è stato anche aggiunto l'idrogramma del bacino delle acque basse (relativo alle scoline), che, a favore di sicurezza, è stato modellato come ingresso distribuito di tutta la portata idrologica in corrispondenza del passaggio dal contesto collinare a quello di pianura.

Il modello bidimensionale è stato rappresentato attraverso due aree di esondazione schematizzate nell'immagine successiva (in rosso si rappresentano i punti di esondazione ed in verde le uscite dal modello).

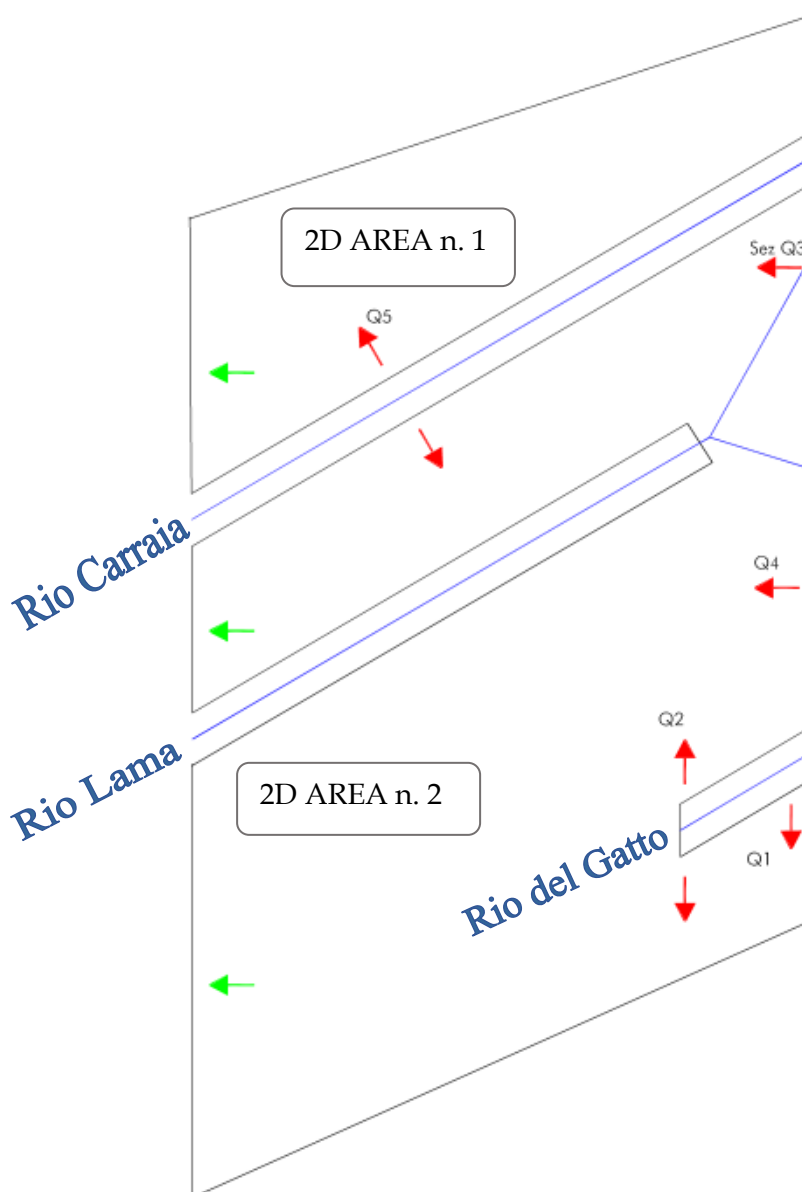


Figura 4.26 - Schema del modello bidimensionale di Moriano.

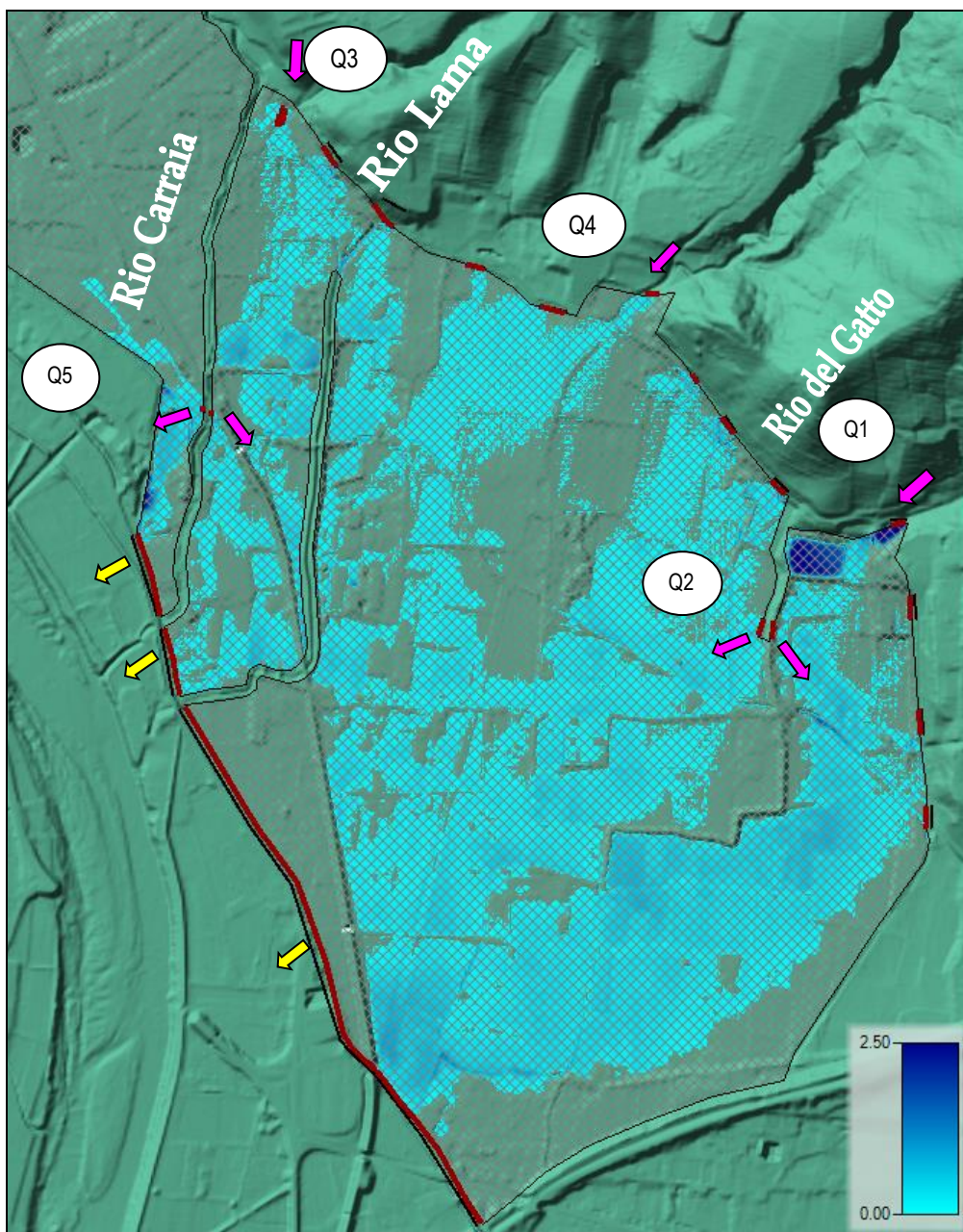


Figura 4.27 - Esondazione del sistema di Ponte a Moriano con $Tr = 200$.

L'immagine precedente mostra invece il progredire dell'esondazione a partire dai punti di esondazione (freccie viola) fino alle uscite (freccie gialle) poste in corrispondenza del Condotto Pubblico. La denominazione delle uscite è coerente con le criticità individuate nell'ambito del modello monodimensionale.

La dinamica mostra come le acque esondate fluiscano nell'ampia zona pianeggiante spandendosi in tutte le direzioni e non soltanto lungo la direttrice principale della pendenza. In generale, si tratta di esondazioni con velocità limitate (in considerazione della ridotta pendenza) e con battenti di solito inferiori al metro. Si registra solo una zona con battenti più elevati, in prossimità del Rio del Gatto, dove si trova la cassa di espansione che tuttavia, durante i sopralluoghi svolti, ha palesato la necessità di interventi di manutenzione soprattutto in relazione agli organi di regolazione e di scarico. La maggior parte delle esondazioni si fermano in corrispondenza del rilevato della SS1 del Brennero. Si registrano anche zone senza battente, ma prudenzialmente, per quanto riguarda la stesura delle norme relative alla fattibilità, si suggerisce il mantenimento della pericolosità idraulica con applicazione di un franco di sicurezza al riscontrato battente nullo. La cautela è legata al fatto che la zona è effettivamente svantaggiata in termini orografici ed è già stata teatro di allagamenti diffusi che hanno coinvolto l'urbanizzazione ivi presente.

Non si riporta la piena trentennale in quanto le dinamiche risultano in tutto e per tutto simili a quelle delineate per il fenomeno duecentennale.

4.3.3.4 Rio del Topo

La modellazione monodimensionale descritta ai paragrafi precedenti ha permesso di individuare i punti di crisi del Rio che diventano i punti di ingresso della modellazione bidimensionale dell'esondazione. In sostanza, come già indicato in questi paragrafi, i punti maggiormente critici sono quelli in prossimità della restrizione della sezione dell'alveo in corrispondenza del passaggio all'interno di un agglomerato di case poco più a valle della cassa di espansione. Peraltro, come già indicato, i punti di esondazione del modello corrispondono alle zone critiche effettivamente riscontrate durante le piene del corso d'acqua degli ultimi anni. È altresì da registrare che le esondazioni del Rio interessano un'area per cui è prevista anche la possibilità di allagamenti per effetto delle fuoriuscite del fiume Serchio e di conseguenza già interessate da pericolosità idraulica. Ad ogni modo i limiti dell'area 2d oggetto di modellazione sono stati posizionati in una zona così a valle da garantire comunque la simulazione delle aree per le quali il reticolo minore induce battenti di esondazione superiori rispetto a quelli già modellati nell'ambito degli studi sul Fiume Serchio.

La Figura 4.28 mostra lo schema delle uscite analogamente agli altri sistemi precedentemente descritti. La Figura 4.29 riproduce un estratto della simulazione duecentennale con l'inviluppo dei battenti di esondazione. Anche in questo caso, la differenza tra le esondazioni trentennali e le esondazioni duecentennali consiste principalmente nell'entità dei battenti e delle velocità, mentre le aree allagate e le dinamiche dei fenomeni risultano piuttosto simili.

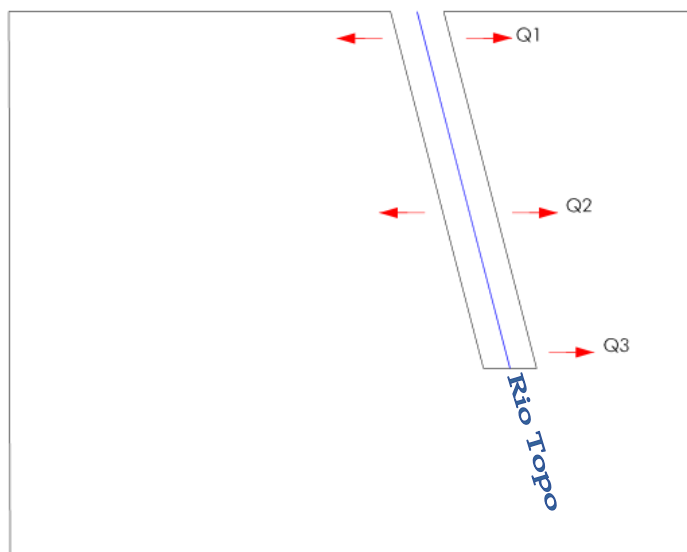


Figura 4.28 - Schema modello bidimensionale Rio Topo.

A differenza dei sistemi precedenti, il fatto che l'esondazione interessi un contesto spiccatamente pianeggiante induce una diffusione dell'onda di esondazione quasi completamente bidimensionale (Figura 4.29). Si possono individuare comunque due direttrici principali: una Nord-Sud, in direzione dell'asta principale (fiume Serchio), e l'altra Est-Ovest. Si nota come non vengano interessati dall'esondazione alcuni comparti del piano di campagna palesemente rialzati rispetto alle zone circostanti. In ogni caso, i flussi di esondazione, andando ad interessare zone più vicine al fiume Serchio, tendono a smorzarsi in termine di battente e a perdere rilevanza in quanto in queste aree risulta più critico l'evento relativo all'asta principale (il fiume Serchio).

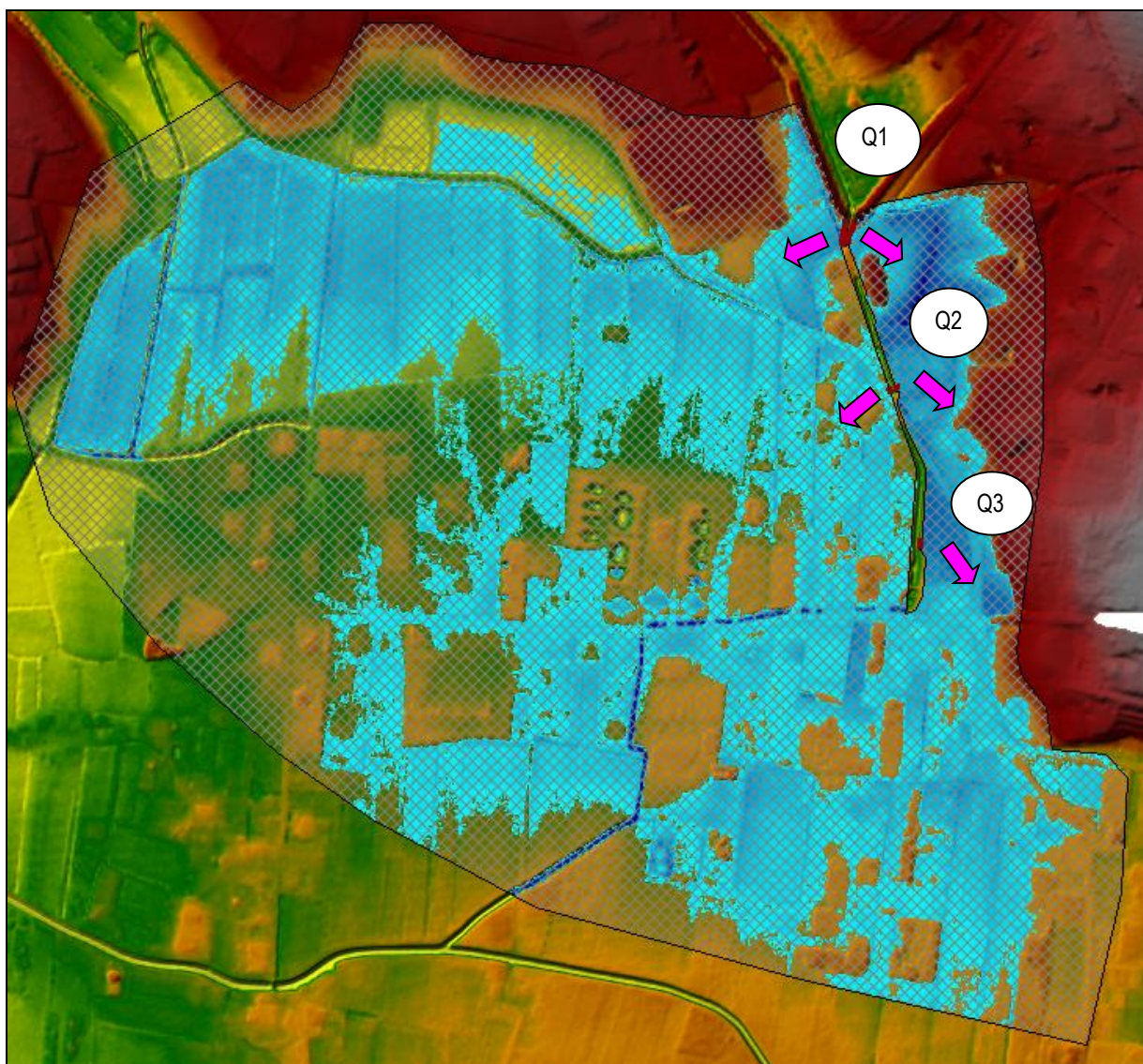


Figura 4.29 - Esondazione del Rio del Topo con $Tr=200$.

4.3.3.5 Torrente Cerchia

Il torrente Cerchia è stato modellato nella parte a monte di un'altra già analizzata dai tecnici del Distretto di Bacino, in modo tale da chiarire la situazione in un'area per la quale c'era pericolosità idraulica, ma non indicazione dei battenti. Tale area risulta per la maggior parte esterna al perimetro del territorio urbanizzato, ma interessata da complessi residenziali. Si tratta di un tratto di corso d'acqua compreso tra le pendici collinari in sinistra (i versanti iniziano a distanza estremamente limitata rispetto al corso d'acqua) e una zona maggiormente pianeggiante sul lato opposto, ove si trova l'urbanizzazione in questione.

I punti di esondazione sono stati indicati nei paragrafi precedenti della relazione. Si registrano tuttavia dei tratti non arginati in cui le acque possono rientrare anche in considerazione del fatto che sussistono, a valle di essi, dei tratti in cui i profili liquidi sono contenuti. Scendendo nel dettaglio, i punti di esondazione, in analogia con quanto riportato per i sistemi descritti in precedenza, sono riportati nello schema successivo, dal quale si evince la presenza di 3 aree bidimensionali e la presenza di un rientro intermedio in sinistra idraulica in corrispondenza dell'immissione di un rio minore.

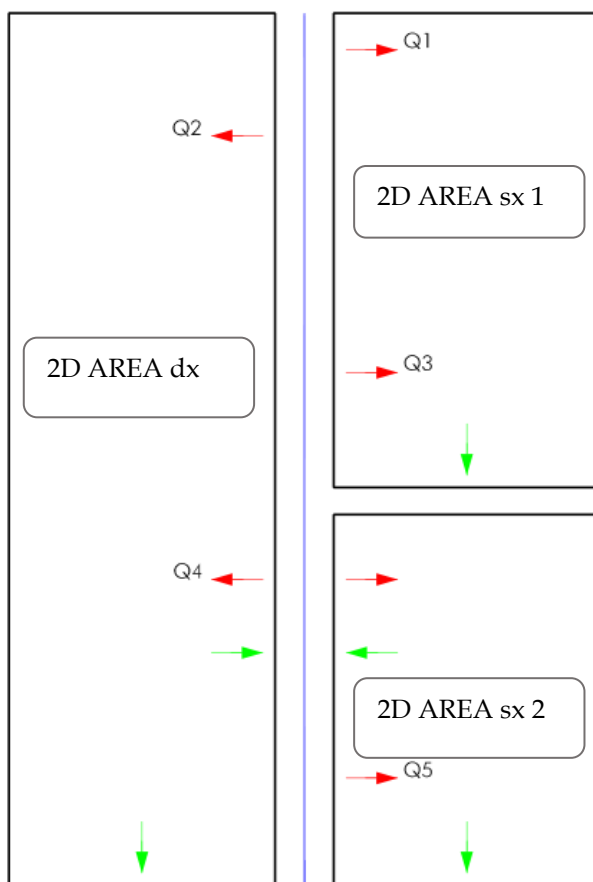


Figura 4.30 - Schema modello bidimensionale del torrente Cerchia.

Le dinamiche duecentennali mostrano un'esondazione nella parte alta del tratto analizzato. Da qui si ha un allagamento pressoché generalizzato di quelle aree già indicate a pericolosità idraulica nel PGRA: si riscontra una notevole coerenza dei risultati del modello con la mappa di pericolosità vigente. In sinistra idraulica si ha un rientro di portata in prossimità di un affluente minore per poi registrare un nuovo punto di fuoriuscita più a valle. Le uscite dal modello sono riportate in corrispondenza dei tratti dove iniziano ad essere registrati i battenti delle simulazioni del Fiume Serchio. Le dinamiche di esondazione trentennali sono simili, ma con un minore interessamento delle campagne circostanti, con battenti e velocità minori.

Di seguito si riporta l'estratto della carta di esondazione duecentennale per la cui consultazione si rimanda agli appositi elaborati. Nella mappa sono indicati anche i punti di ingresso (freccie viola) e i punti di uscita dal modello (freccie gialle) che sono stati riportati laddove inizia la pericolosità già delineata dall'Ufficio Tecnico dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio.

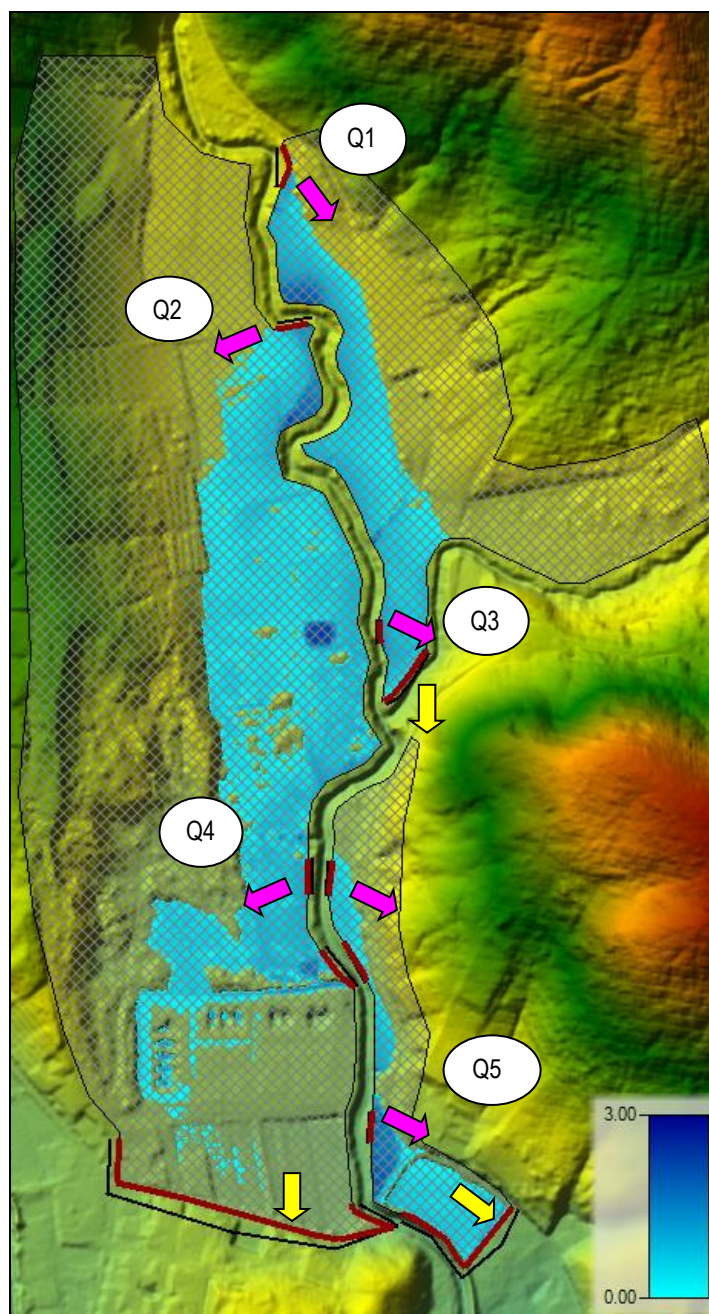


Figura 4.31 - Esondazione torrente Cerchia con $Tr = 200$.

4.3.3.6 Torrente Canabbia

Il sistema del Rio Canabbia modella le esondazioni di tre rii: il Rio Canabbia ed i rii provenienti dai bacini precedentemente denominati Canabbia Centro e Canabbia Nord. Il primo è stato oggetto di modellazione idraulica per determinare la portata limite contenuta, mentre gli altri, avendo sezioni con restrizioni piuttosto significative, sono stati prudenzialmente simulati ipotizzando la completa ostruzione di queste sezioni e la conseguente diffusione sul piano di campagna. In realtà anche il Rio Canabbia stesso presenta delle portate limite così ridotte che in pratica è come se la portata idrologica esondasse interamente. Peraltro, tutti i punti di crisi del Rio Canabbia avevano la stessa portata limite (circa $4 \text{ m}^3/\text{s}$).

Supponendo che i flussi di esondazione potessero dirigersi verso i tratti di valle del corso d'acqua anch'essi inadeguati al contenimento della piena duecentennale, lo scrivente ha impostato un modello ove i rientri di portata non fossero consentiti. Anzi, ipotizzando che il rio fosse già al limite delle sue capacità di deflusso, è stato modellato come completamente interrato (interpolando le quote delle sommità spondali) in modo tale da permettere, cautelativamente, il

passaggio di corrente dalla destra alla sinistra idraulica. Comunque, è stato visto che tali dinamiche interesserebbero solo una ristretta aliquota dei flussi di esondazione (circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$ come picco). Infatti, l'entità degli idrogrammi esondativi risulta estremamente elevata anche per l'amplificazione dovuta a trasporto solido (nell'ordine delle decine di m^3/s). A giudizio dello scrivente, tali valori di portata risultano significativamente superiori rispetto a quelli che è ragionevole attendersi anche in caso di fenomeni estremi. Infine, in considerazione del fatto che la portata limite del Rio Canabbia è la solita per tutti i punti di crisi, si è cautelativamente ipotizzato che quel potenziale rientro di portata misurato nel tratto vallivo del sistema, inducesse un'altra esondazione in corrispondenza di un attraversamento pari all'entità del rientro stesso (ingresso indicato come "Q4" nello schema successivo). Si ribadisce come questo rientro sia solo teorico in quanto il corso d'acqua risulta diffusamente incapace di contenere le piene di progetto e pertanto anche di sostenere eventuali rientri.

Anche in questo caso le uscite del modello sono state impostate in una zona in cui erano già presenti i battenti di esondazione di altri studi approvati sulle parti vallive dei corsi d'acqua analizzati. La direttrice principale dell'esondazione è ovest-est, segue cioè la linea di massima pendenza del piano di campagna che in quest'area è comunque di qualche unità percentuale (andando via via verso valle questa diminuisce progressivamente). Un limite ben preciso dell'esondazione è rappresentato dal rilevato autostradale. Viceversa, la strada "Sarzanese" si configura come una delle principali arterie di flusso della corrente sia per la sua scarsa scabrezza, sia perché nel tratto di monte è significativamente incassata tra due rilevati di bordo strada.

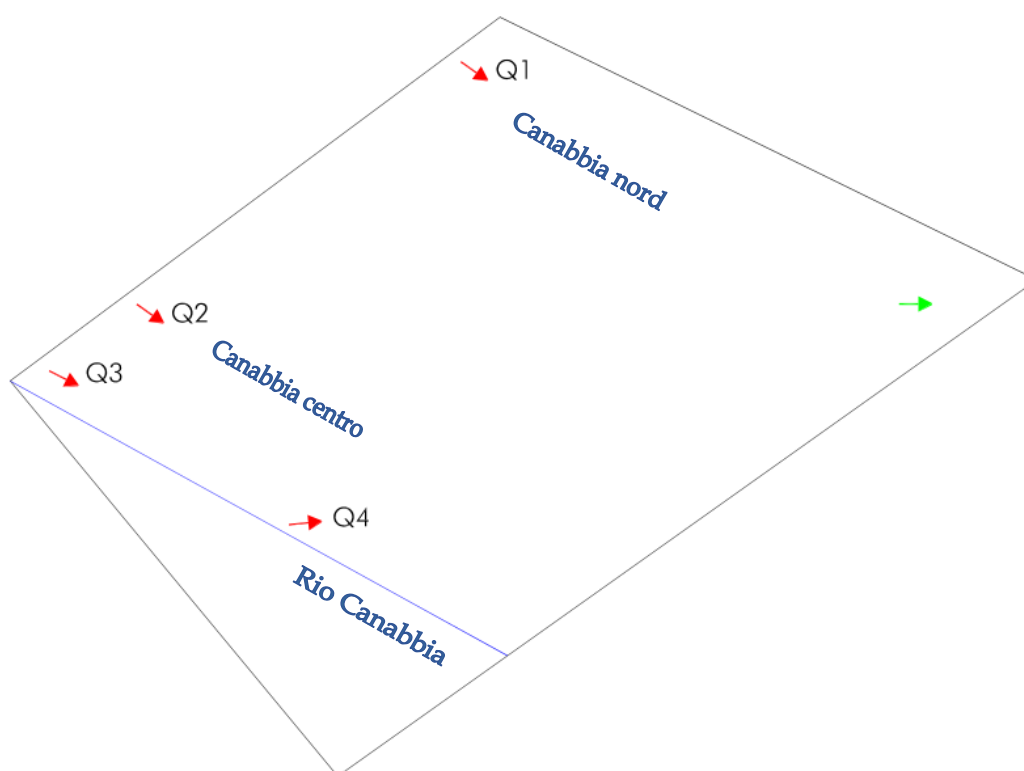


Figura 4.32 - Schema del modello bidimensionale del Rio Canabbia.

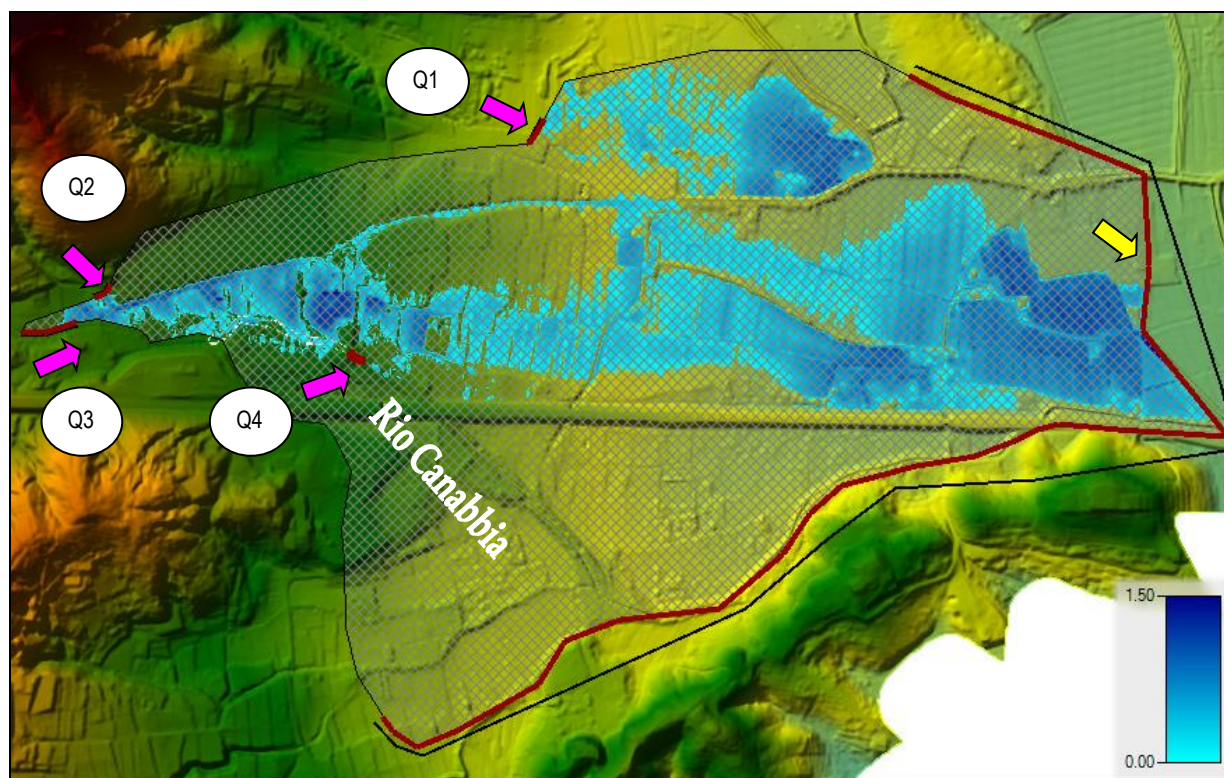


Figura 4.33 - Esondazione del torrente Canabbia con $Tr=200$.

4.3.3.7 Sistema del Rio Guappero e affluenti

Il sistema del Rio Guappero è sicuramente il sistema più articolato modellato all'interno della presente relazione, sia per il numero di corsi d'acqua sia per la loro mutua relazione. Anche in questo caso il dato di partenza è rappresentato dai modelli idraulici monodimensionali, con determinazione dei punti di crisi. Per il Rio di Colle e il Rio dei Frati, ritenendo trascurabile la capacità di deflusso, è stata ipotizzata la fuoriuscita dell'intero idrogramma idrologico.

Per completare la descrizione di come sono stati impostati gli ingressi di portata nel sistema, vista la presenza di ampi tratti in cui gli alvei risultano idonei al contenimento delle piene di riferimento, sono state inserite delle zone di possibile rientro all'interno della rete di canali. In questo caso, nelle uscite di valle l'idrogramma di esondazione è stato determinato per differenza tra l'idrogramma idrologico e la portata limite. Ciò rappresenta un'assunzione notevolmente a favore di sicurezza in quanto si è verificato che non tutta la portata fuoriuscita rientra effettivamente all'interno del corso d'acqua. Peraltro, questa situazione è piuttosto comune per il fatto che la modellazione monodimensionale ha mostrato che i corsi d'acqua di questo sistema presentano criticità usualmente in corrispondenza degli attraversamenti a fronte di lunghi tratti (oltretutto non arginati) in cui gli alvei risultano assolutamente idonei al contenimento delle piene di riferimento. Nei casi in cui una zona critica si trovi a valle di un'altra e non sono possibili rientri, ad esempio per la presenza di argini, l'idrogramma di esondazione è stato determinato per differenza tra la portata laminata e la portata limite contenuta.

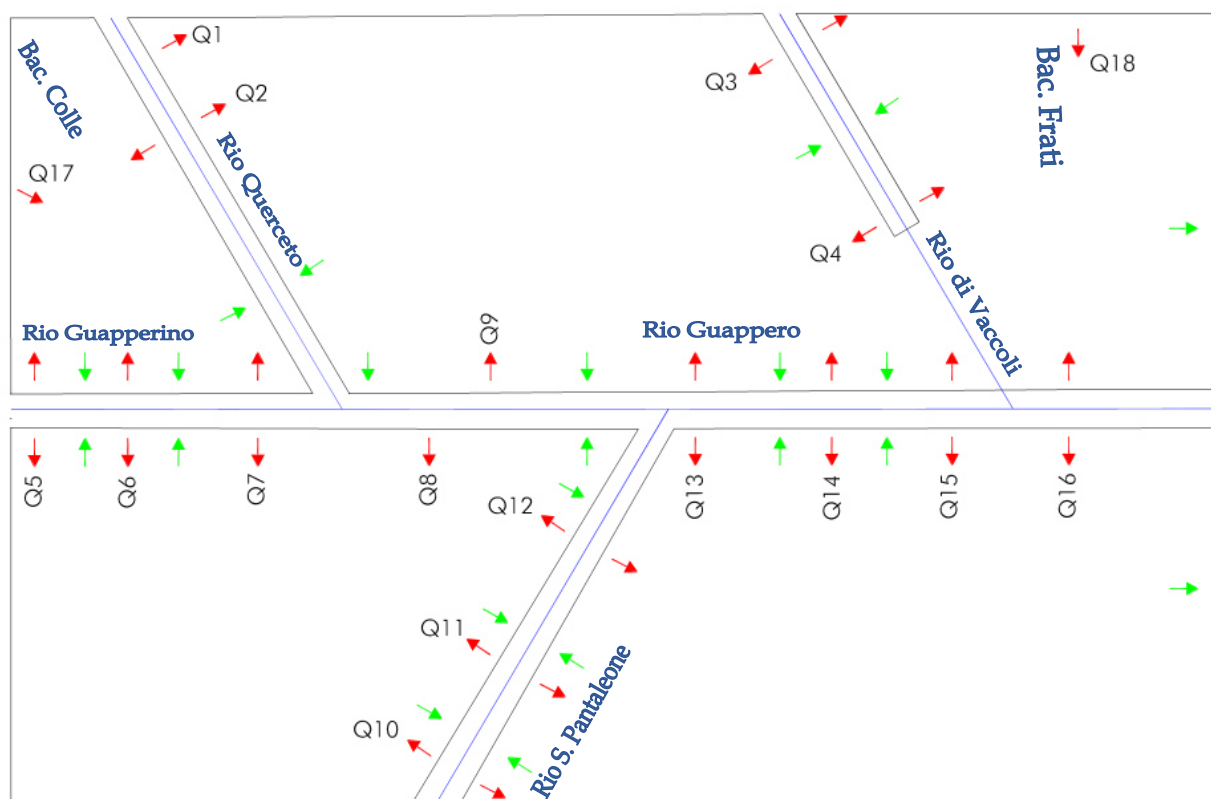


Figura 4.34 - Schema bidimensionale del sistema del Rio Guappero. Le frecce rosse rappresentano le fuoriuscite e le frecce verdi i rientri nella rete dei canali (ad eccezione di quelli posti nella parte terminale del modello che rappresentano le uscite dal modello).

Le dinamiche di esondazione mostrano sostanzialmente che le esondazioni seguono le linee di massima pendenza, ben riconoscibili data la sussistenza di pendenze sicuramente molto considerevoli nella valutazione dei fenomeni esondativi. In generale i battenti esondativi risultano limitati, con velocità della corrente non trascurabile. Risulta scarsa la presenza di ostacoli che limitano e confinano il progredire della corrente. In corrispondenza dei ponti di monte, le esondazioni sono circoscritte a tali aree in quanto la presenza di contesti incassati, nonché la mancanza di argini favorisce l'immediato rientro di portata. Viceversa, a valle si registrano maggiori spandimenti dei flussi liquidi dovuti principalmente alla diminuzione della pendenza e all'impossibilità di rientri all'interno del reticolo per la presenza di argini.

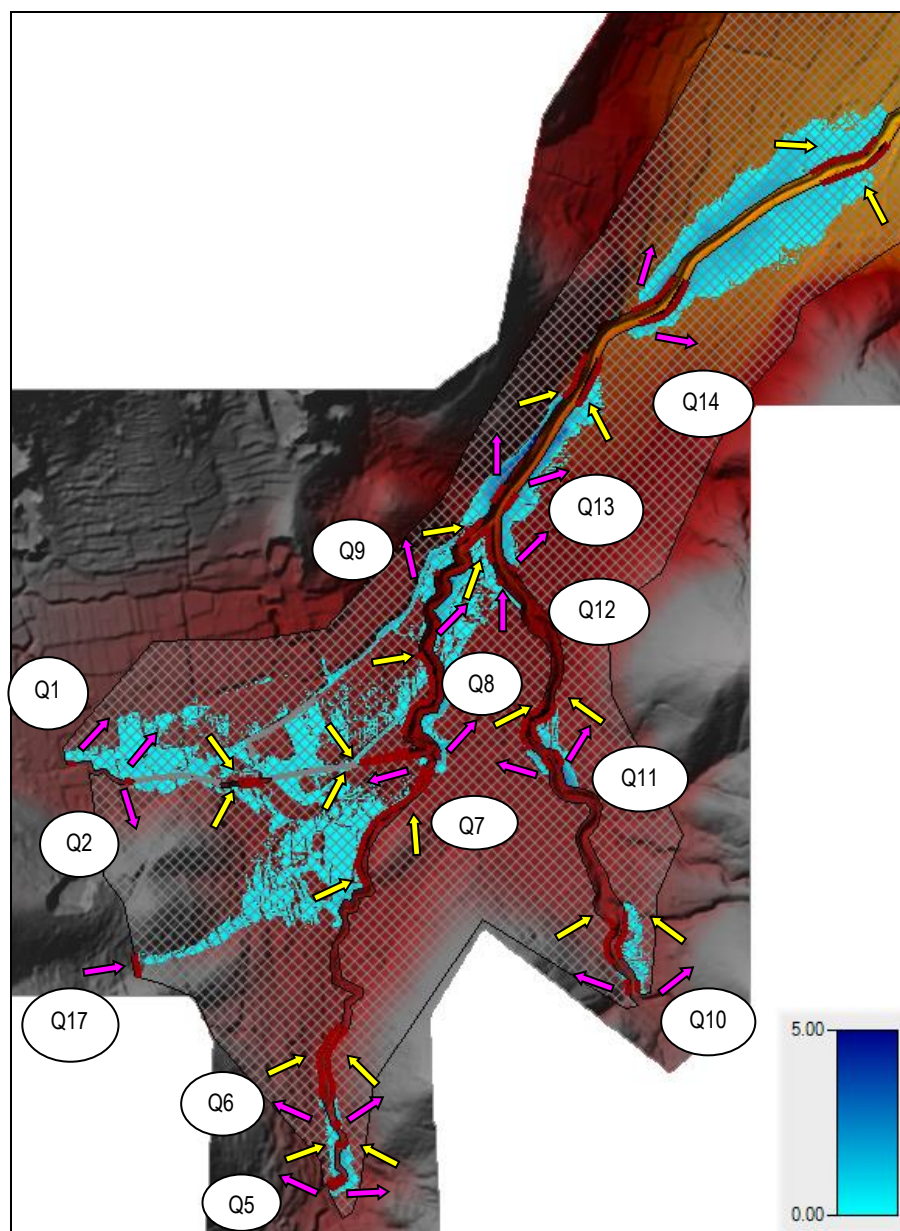


Figura 4.35 - Esondazione del Sistema del Rio Guappero (tratto di monte) con $T_r=200$. Le frecce viola rappresentano i punti di esondazione, quelle gialli i potenziali rientri.

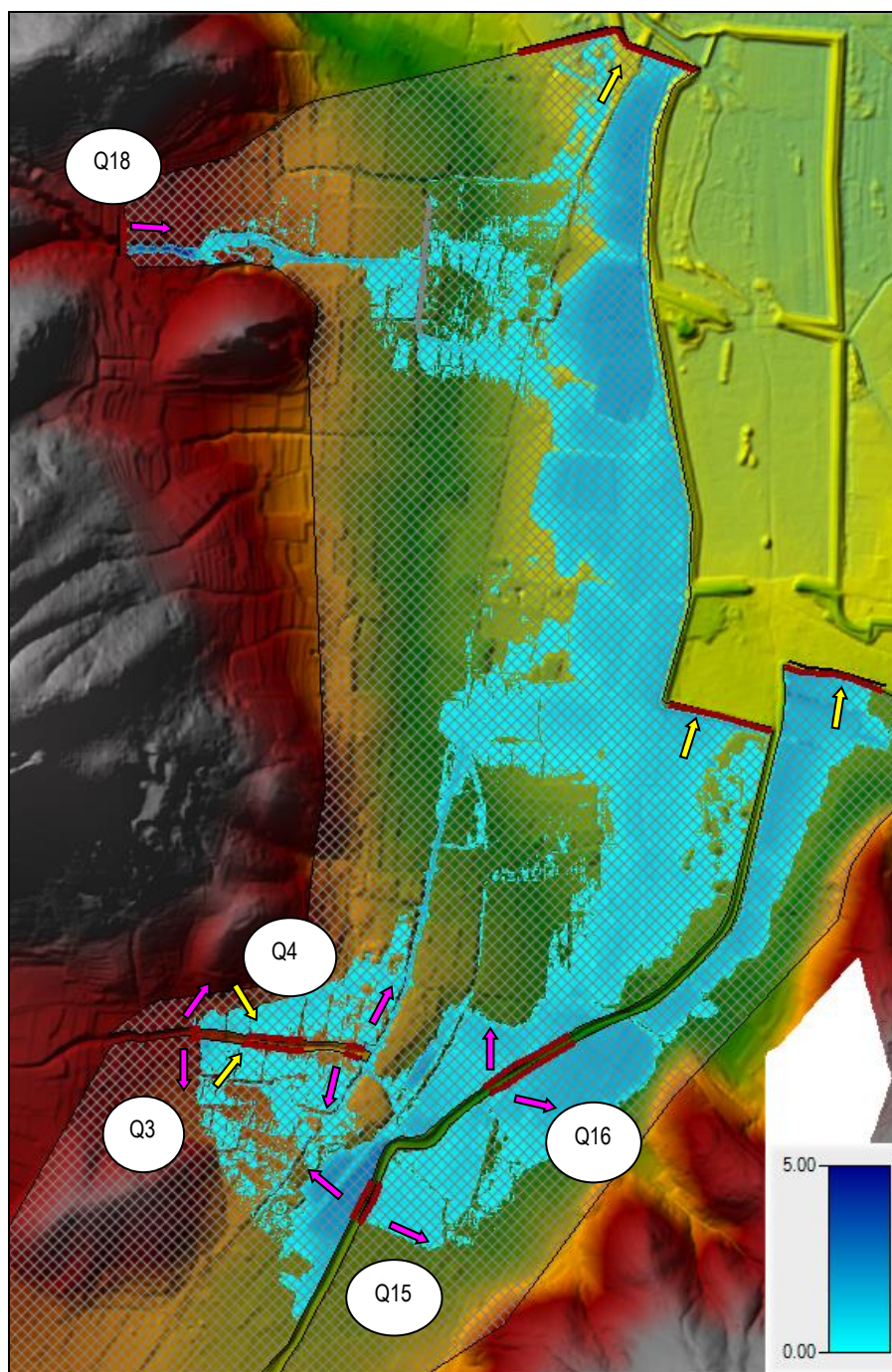


Figura 4.36 - Esondazione del Sistema del Rio Guappero (tratto di valle) con $Tr=200$.

5 CARTA DEI BATTENTI, DELLE VELOCITÀ E DELLE MAGNITUDO

5.1 Generalità

I battenti e le velocità dei flussi esondativi determinati per i sistemi analizzati sono stati riportati contestualmente agli altri dati omologhi provenienti da studi approvati dagli Enti competenti ad oggi, facenti parti del quadro conoscitivo esistente nelle cartografie di Piano indicate dal regolamento 5R/2020. Il quadro conoscitivo pregresso è stato ricostruito nelle fasi preliminari del presente lavoro.

Scendendo nel dettaglio sono state prodotte le seguenti carte:

- carta dei battenti;
- carta delle velocità;
- carta della magnitudo.

5.2 Carta dei battenti

La carta dei battenti è stata determinata sovrapponendo i risultati degli studi idraulici con tutti quei dati raccolti nella fase preliminare, con particolare riferimento agli studi sul fiume Serchio e alle Aree di Potenziale Esondazione (APE). Dal momento che quest'ultimo dato fornisce il battente idraulico in quota assoluta è stato necessario ricavarne il valore in relazione alla quota del piano campagna. È stato poi osservato che da questa operazione in alcune zone si otteneva una differenza negativa (quota del terreno maggiore della quota assoluta del battente), **in questi casi si è convenuto, in accordo con il gruppo di lavoro e di concerto con l'amministrazione comunale, sentiti anche gli enti competenti, di associare a queste zone un battente minimo di 15 cm.**

Tecnicamente, la carta è stata prodotta attraverso una operazione GIS tra raster, sovrapponendo gli strati relativi ai diversi dati di battente disponibili (sia quelli desunti dagli studi idraulici del presente studio sia quelli già disponibili) prendendo, per ogni pixel della mappa per cui sussisteva sovrapposizione, il battente di esondazione maggiore. Laddove non c'era sovrapposizione è stato utilizzato il dato singolo disponibile.

5.3 Carta delle velocità

La carta delle velocità è stata determinata in modo del tutto analogo al caso precedente, attraverso un'operazione GIS di sovrapposizione. In questo caso, tuttavia, alle APE del Fiume Serchio e alle altre zone per cui, pur in presenza di battente, non era nota la velocità, è stata attribuita l'etichetta "dato non disponibile". Per completezza, si fa presente che il valore numerico della velocità attribuito ai pixel aventi questa caratteristica è stato imposto pari a zero. Anche in questo caso le carte si riferiscono sia allo scenario trentennale sia allo scenario duecentennale.

5.4 Carta della magnitudo

La magnitudo rappresenta l'entità dell'esondazione, ed è il risultato della combinazione fra i dati di altezza e velocità della corrente (**in questo caso solo sui parametri dell'esondazione duecentennale**). La carta della magnitudo è stata costruita sulla base delle indicazioni riportate all'interno della LR 41/2018 (art. 2) che per comodità di lettura si riportano di seguito:

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

uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0,3 metri e inferiore o uguale a 0,5 metri;

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

Per determinare il dato raster di esondazione è stata condotta un'elaborazione GIS secondo l'algoritmo "calcolatore raster" i cui input sono i raster dei battenti e velocità determinati ai precedenti paragrafi. Nell'ottica di fornire il codice sorgente della mappa, si riporta di seguito l'operazione impostata nel calcolatore raster:

$$1 * ((v_{200@1}=0) * (h_{200@1} < 0.3) + (v_{200@1} < 1) * (v_{200@1} > 0) * (h_{200@1} < 0.5)) +$$

$$+ 2 * ((v_{200@1}=0) * (h_{200@1} > 0.3) * (h_{200@1} \leq 0.5) + (v_{200@1} > 1) * (h_{200@1} < 0.5) + (v_{200@1} \leq 1) * (v_{200@1} > 0) * (h_{200@1} > 0.5) * (h_{200@1} \leq 1)) +$$

$$+ 3 * ((v_{200@1}=0) * (h_{200@1} > 0.5) + (v_{200@1} > 1) * (h_{200@1} \leq 1) * (h_{200@1} > 0.5) + (v_{200@1} \leq 1) * (v_{200@1} > 0) * (h_{200@1} > 1))$$

Il valore di magnitudo 1 corrisponde alla magnitudo moderata, il valore 2 alla magnitudo severa e il valore 3 alla magnitudo molto severa.

6 CARTA DELLE AREE PRESIDATE DA RILEVATRI ARGINALI

Le aree presidiate da rilievi arginali sono definite nell'articolo 2, comma 1, lettera s della LR 41/2018, che per comodità si riporta di seguito:

“aree situate a quote altimetriche inferiori alla quota posta a 2 metri sopra il piede esterno dell'argine. Il limite esterno di tali aree è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica sopra individuata pari a 2 metri, comunque non superiore alla distanza di 300 metri dal piede esterno dell'argine.”

Per l'individuazione di queste aree è stato eseguito un algoritmo geospaziale tramite software QGIS a partire dai seguenti dati di input:

- **Tracciato dei rilevati arginali:** è stato utilizzato il layer vettoriale fornito dalla Regione Toscana - Difesa del suolo e protezione civile - Genio Civile Toscana Nord. Durante i vari step di costruzione della carta, questo dato è stato sottoposto a dei controlli effettuati sia mediante Google Earth sia mediante sopralluoghi;
- **Modello digitale del terreno della Regione Toscana:** in questo caso è stato utilizzato il modello digitale realizzato a partire dalla carta tecnica regionale della Regione Toscana 1:10000 e fornito dall'Ufficio Cartografico Regionale.

L'algoritmo è riassunto nei seguenti punti:

- Tracciamento delle sezioni perpendicolari al corso d'acqua ad interasse variabile, con estensione di 300 m esternamente allo sviluppo dell'argine (Layer 1);
- Estrazione dei punti di intersezione tra i rilevati arginali e le sezioni trasversali, con importazione, nella tabella degli attributi, della quota del modello digitale del terreno della Regione Toscana in corrispondenza di tale punto (Layer 2);
- Importazione del campo di quota del Layer 2, aumentato di 2 metri, nel Layer 1;
- Interpolazione delle sezioni trasversali, in relazione alle quote altimetriche aumentate del Layer 1, in modo tale da ottenere un raster rappresentativo di una superficie avente quota pari a quella del terreno nei punti esterni all'argine, aumentata di 2 metri (Layer 3);
- Utilizzo del calcolatore raster per determinare i punti laddove il Layer 3 risulta maggiore del DTM: ciò permette di individuare la fascia di 300 metri esterna da un certo rilevato arginale e, all'interno di questa, quelle aree poste al di sopra e al di sotto della quota posta a 2 metri sopra il piede esterno all'argine. Queste ultime corrispondono alle ricercate aree presidiate da rilevati arginali.

Nelle carte coi risultati di questa elaborazione sono rappresentate sia le fasce di 300 metri esterne ai rilevati arginali, sia le fasce presidiate dai rilevati arginali così come delineate dalla LR 41/2018.