



Città
di Lucca

il Piano Operativo

Quadro Geologico - Tecnico

**RELAZIONE
IDROLOGICO – IDRAULICA
INTEGRATIVA**

SINDACO DI LUCCA
Mario Pardini

APPROVAZIONE

QG.18.1

Sommario

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO	3
2.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
2.2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	3
2.3	RACCOLTA DEI DATI DISPONIBILI E DEFINIZIONE METODOLOGICA DEI LAVORI	3
2.4	CASI STORICI DEI SISTEMI MODELLATI	6
2.4.1	GENERALITÀ	6
2.4.2	Rii FREDDANELLA DI S. ALESSIO E PRINCIPALI AFFLUENTI	8
2.4.3	SISTEMA RIO DI CARRAIA	9
3	STUDIO IDROLOGICO	11
3.1	GENERALITÀ	11
3.2	PLUVIOMETRIA	11
3.3	PARAMETRIZZAZIONE IDROLOGICA DEL BACINO	13
3.3.1	DETERMINAZIONE DEL BACINO E SUDDIVISIONE IN SOTTOBACINI	13
3.3.2	PARAMETRIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA DEI BACINI	13
3.3.2.1	Parametri geo-morfologici	14
3.3.2.2	Parametro CN	14
3.3.2.3	Parametri tempo	16
3.3.2.4	Parametro perdite iniziali	17
3.4	TABELLE DEI PARAMETRI IDROLOGICI PER I SOTTOBACINI STUDIATI	18
3.5	MODELLAZIONE IDROLOGICA DEI BACINI	18
3.6	PARAMETRI CAUTELATIVI UTILIZZATI NELLA MODELLAZIONE IDROLOGICA	22
4	STUDIO IDRAULICO	23
4.1	GENERALITÀ	23
4.2	MODELLI IDRAULICI MONODIMENSIONALI	23
4.2.1	GENERALITÀ	23
4.2.2	CODICE DI CALCOLO	23
4.2.3	GEOMETRIA DEI MODELLI MONODIMENSIONALI	23
4.2.4	PORTATE	24
4.2.5	CONDIZIONI AL CONTORNO	24
4.2.5.1	Valutazioni generali	24
4.2.5.2	Valutazioni specifiche per il sistema dei Rii Freddanella di S. Alessio e Topo	24
4.2.6	RISULTATI DELLE ANALISI IDRAULICHE	25
4.2.6.1	Generalità	25
4.2.6.2	Rii Freddanella di S. Alessio e Topo	25
4.2.6.3	Sistema Rio di Carraia, Rio Lama, Rio del Gatto e zona di Saltocchio	29
4.2.6.4	Torrente Mulerna	30

4.2.7	PARAMETRI CAUTELATIVI UTILIZZATI NELLA MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE	31
4.3	MODELLI IDRAULICI BIDIMENSIONALI	31
4.3.1	GENERALITÀ E DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	31
4.3.1.1	Descrizione del codice di calcolo	31
4.3.1.2	Basi matematiche del modello di calcolo	32
4.3.2	ELEMENTI DI INPUT DELLA MODELLAZIONE	33
4.3.2.1	Morfologia del piano di campagna	33
4.3.2.2	Condizioni al contorno	34
4.3.2.3	Elementi particolari	34
4.3.3	RISULTATI DELL'ANALISI IDRAULICA	35
4.3.3.1	Rio Freddanella Sant'Alessio e fiume Serchio nella zona di Sant'Alessio	35
4.3.3.1.1	<i>Considerazioni generali</i>	35
4.3.3.1.2	<i>Simulazioni dell'esondazione per $Tr=30$ anni</i>	35
4.3.3.1.3	<i>Simulazioni dell'esondazione per $Tr=200$ anni</i>	38
4.3.3.1.4	<i>Determinazione delle esondazioni del Fiume Serchio area da Ponte San Quirico alla confluenza Freddanella vecchia</i>	40
4.3.3.1.5	<i>Elaborazione finale dei battenti</i>	41
4.3.3.2	Sistema Rio di Carraia, Rio Lama, Rio del Gatto e zona di Saltocchio	42
4.3.3.3	Rio Mulema	43
5	CARTA DEI BATTENTI, DELLE VELOCITÀ E DELLE MAGNITUDO	46
5.1	GENERALITÀ	46
5.2	CARTA DEI BATTENTI	46
5.3	CARTA DELLE VELOCITÀ	46
5.4	CARTA DELLA MAGNITUDO	46

1 PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dal Comune di Lucca «Servizio per integrazioni indagini idrauliche ai sensi del regolamento regionale 53/2011 e della legge regionale 41/2018, da effettuare su Rio Mulerna, sistema Rio Freddanella e simulazioni integrative Rio Carraia - CIG 8745683DE9», che completa gli 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, e nelle more del conferimento dell'ultimo incarico per una ulteriore integrazione, ha eseguito, per conto dello Studio INGEO – Ingegneri & Geologi Associati di Lucca, gli studi e le verifiche in stretto coordinamento con i tecnici del comune di Lucca e con gli incaricati esterni; in particolare si è interagito col dott. geol. Alessandro Paoli del comune di Lucca e col dott. geol. Paolo Sani, tecnico incaricato per le indagini geologiche a supporto della pianificazione. Ci si è altresì direttamente coordinati con l'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale riguardo alle verifiche sui sistemi direttamente interferenti con le aree esondabili dal fiume Serchio, in particolare per il sistema del rio Freddanella.

Il presente elaborato contiene tutte le informazioni per la definizione dei criteri che hanno portato alla integrazione del quadro conoscitivo in materia idraulica sulle aree oggetto dei nuovi studi ovvero degli approfondimenti, ai sensi della Legge Regionale Toscana 65/2014 e del Regolamento Regionale 5R/2020. Questa relazione è accompagnata dagli allegati idrologico idraulici con gli output delle modellazioni effettuate e dalle cartografie di piano in materia idraulica.

Le integrazioni richieste riguardano i sistemi idraulici del Rio Mulerna, del Rio Freddanella, non inseriti negli studi precedenti, e il sistema del Rio Carraia, dove è stato richiesto di estendere il dominio di studio per la caratterizzazione della magnitudo idraulica e dei parametri di velocità e battente a monte del dominio originario. In particolare, si è dato seguito alle operazioni descritte ai punti seguenti.

Sistema rio Freddanella

In questo caso, poiché le aree da studiare sono soggette ad esondazione *anche* da parte del fiume Serchio – per il quale l'Autorità di Distretto non ha mai definito i battenti “duecentennali” - le analisi richieste erano di due tipi:

- a. Analisi della esondazione duecentennale del fiume Serchio a partire dall'idrogramma di uscita fornito direttamente dall'Autorità di Distretto; questa analisi, con le approssimazioni che saranno evidenziate nel seguito, ha consentito la definizione dei battenti duecentennali ascrivibili a piene del fiume Serchio, che, certamente, sono di gran lunga dominanti rispetto a quelli del cosiddetto reticolo minore, di cui fa parte il sistema del rio Freddanella;
- b. Poiché la portata trentennale del fiume Serchio, come asserito dall'Autorità di Distretto, è contenuta all'interno dell'alveo, i battenti e le velocità dei fenomeni “trentennali” saranno invece da ascrivere esclusivamente al reticolo minore: quindi si è proceduto a:
 - Aggiornamento dello Studio idrologico (rispetto a quello effettuato dall'Autorità di Distretto e, successivamente, dal comune di Lucca, nella fase dei progetti per gli interventi effettuati sui finanziamenti post 2006);
 - Integrazione dei rilievi topografici disponibili – sia delle aste che dei terreni limitrofi al corso d'acqua (i dati Lidar non erano aggiornati con le modifiche introdotte sui corsi d'acqua dai lavori realizzati in tempi recenti quali il canale scolmatore di parte delle portate del rio Freddanella verso il fiume Serchio);
 - Modellazione monodimensionale per lo studio del contenimento delle piene sul rio Freddanella e tratti in prossimità delle confluenze degli affluenti in destra idraulica di interesse rilevante (fra cui il rio del Topo, già

in parte studiato nell'ambito degli studi originari; il rio del Bamboro; il rio dei Cotani; altri tratti del reticolo minore rilevanti per interesse di esondazione);

- Modellazione bidimensionale per la determinazione di battenti e velocità per $Tr = 30$ anni;
- c. Infine, a seguito dei risultati della modellazione di cui al punto a., in considerazione che le acque del fiume Serchio – come vedremo – non raggiungevano zone potenzialmente esondabili a 200 anni dal rio Freddanella - si è eseguita una ulteriore Modellazione bidimensionale per la determinazione di battenti e velocità per la definizione delle magnitudo nelle zone d'interesse per la Pianificazione per $Tr = 200$ anni;

Sistema del rio Mulerna

- a. Aggiornamento dello Studio idrologico (già redatto, dallo scrivente, nell'ambito delle indagini afferenti al Piano Strutturale relativamente all'asta principale del rio Mulerna);
- b. Modellazione monodimensionale per lo studio del contenimento delle piene;
- c. Modellazione bidimensionale per la determinazione di battenti e velocità per la definizione delle magnitudo nelle zone d'interesse per la pianificazione per $Tr = 30$ e 200 anni;

Sistema rio Carraia

In questo caso si è trattato di una rielaborazione delle simulazioni già svolte sul sistema del rio Carraia indagando le esondazioni che avvengono subito a valle della confluenza posta in prossimità dell'incrocio fra via delle Ville e via di Tramonte. In questo caso, quindi, non è stato necessario l'aggiornamento dello studio idrologico ma si è direttamente proceduto ad una nuova modellazione monodimensionale e bidimensionale. Non sono stati necessari rilievi topografici in quanto si dispone già di quelli effettuati per il progetto di sistemazione curato dal sottoscritto. In sintesi, quindi si è proceduto a:

- a. Aggiornamento della modellazione monodimensionale per lo studio del contenimento delle piene;
- b. Aggiornamento della Modellazione bidimensionale per la determinazione di battenti e velocità per la definizione delle magnitudo nelle zone d'interesse per la Pianificazione per $Tr = 30$ e 200 anni;

Gli elaborati di cui si compone lo studio idraulico, oltre alla presente relazione, sono i seguenti:

- ALL. I1.1 Idrologia – calcoli delle portate di massima piena
- ALL. I2.1 Idraulica – Simulazioni sul sistema del Rio Freddanella di S. Alessio e del Rio del Topo
- ALL. I3.1 Idraulica – Simulazioni sul sistema Rio Mulerna
- ALL. I4.1 Idraulica – Simulazioni sul sistema Rio Carraia
- ALL. I8.1 Carta delle sezioni (Rio Mulerna e Rio Carraia)
- ALL. I9.1 Carta delle sezioni (Area di studio Bacino Freddanella)

Vengono invece integrati, e sostituiranno la versione precedentemente consegnata, gli elaborati seguenti:

- 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

2 INQUADRAMENTO

2.1 Inquadramento territoriale

Riguardo all'inquadramento territoriale si rimanda a quanto riportato nell'omologo paragrafo dell'elaborato «QG 18 - Relazione idrologico – idraulica» – del «Quadro Geologico Tecnico» originariamente consegnato.

2.2 Inquadramento normativo

Non sono variati i riferimenti normativi rispetto all'elaborato «QG 18 - Relazione idrologico – idraulica» – del «Quadro Geologico Tecnico» originariamente consegnato che quindi, qui, si richiamano integralmente.

Giova ribadire anche che per quanto riguarda 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, gli obiettivi delle presenti integrazioni sono:

- la determinazione delle aree esondabili e relativi battenti per i tempi di ritorno 30 e 200 anni almeno nelle aree interferenti con il territorio urbanizzato o nelle aree comunque suscettibili di trasformazione provenienti dal canale denominato **Freddanella di S. Alessio**, nonché, quantomeno, dall'ultimo tratto dei relativi affluenti;
- la determinazione delle aree esondabili e relativi battenti, sempre nell'area della **Freddanella di S. Alessio**, in funzione delle portate esondate dal fiume Serchio con tempo di ritorno 200 anni; queste ultime portate sono state fornite direttamente dall'*Autorità di Distretto Appennino Settentrionale*.
- Aggiornamento dello studio idrologico-idraulico, in precedenza elaborato dallo scrivente, del sistema **rio Mulerna**, con analisi e simulazioni degli eventi caratterizzati da $Tr = 30$ e 200 anni;
- Aggiornamento dello studio idraulico, in precedenza elaborato dallo scrivente, del sistema **rio Carraia** con analisi e simulazioni degli eventi caratterizzati da $Tr = 30$ e 200 anni estese al dominio di interesse comunale ridefinito.

La fase di raccolta dati e il work-flow utilizzato sono riportati al paragrafo successivo, chiaramente, laddove disponibili, saranno utilizzati i dati di studi già realizzati.

2.3 Raccolta dei dati disponibili e definizione metodologica dei lavori

L'iter degli studi idraulici a supporto del Piano Operativo, oggetto della presente integrazione è cominciato 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 dall'Autorità di Distretto 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 del corso d'acqua Serchio con indicazione degli idrogrammi di livello tempo varianti ricostruiti, in corrispondenza del tratto di interesse, per eventi di piena con Tr 30 anni e con durate di pioggia variabili tra 3 e 24 ore;
- Idrogrammi di esondazione e loro ubicazione relativi al fiume Serchio nel tratto a valle di Monte San Quirico fino a valle della confluenza del vecchio corso d'acqua rio Freddanella di S. Alessio nel fiume Serchio.

È stata acquisita anche la seguente documentazione dal Comune di Lucca:

- Sezioni del corso d'acqua rio Freddanella di S. Alessio, unitamente agli affluenti fino alla S.P. 24,
- Sezioni del rio del Topo nel tratto dalla S.P. 24 fino alla confluenza con la Freddanella;
- Sezioni dell'adeguamento della Freddanella di S. Alessio e del canale deviatore il quale ha sbocco direttamente nel fiume Serchio nella zona a monte dell'argine traverso di Corte Pistelli.

Si specifica inoltre che, nell'ambito delle presenti integrazioni, si è eseguito un aggiornamento dei dati Lidar (maglia 1 m), ricavati dal geoportale della Regione Toscana (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>), di parte del tratto d'alveo adeguato del rio Freddanella di S. Alessio e del canale deviatore.

Per eseguire detta modifica ci si è avvalsi di rilievi eseguiti tramite l'utilizzo di drone, con tecnologia RTK ("Real Time Kinematic"); acquisizione che ci è servita per eseguire l'elaborazione in post-processing. Tale processo consiste in una modellazione "SfM" (Structure From Motion) con software specifico "3DF Zephyr" per poi determinare a passi successivi: la nuvola di punti densa, la relativa "mesh" associata, e in fine la superficie DSM (digital surface model) della zona d'interesse. Il passo seguente è stato quello di eseguire una mosaicatura dei dati morfologici forniti dalla Regione Toscana e quelli ricavati con drone, tramite software di Geographic information system, in specifico QGIS 3.18.

A seguito di sopralluoghi specifici, e come risulta da rilievo con drone, si sono evidenziate alcune incongruenze tra sezioni di progetto e lo stato attuale. Questo ci ha portato ad una fase di modifica parziale, in fase di creazione del modello idraulico 1D, delle sezioni fornite dal Comune di Lucca, nello specifico riducendo in alcuni casi le quote arginali del corso d'acqua.

Sulla base di queste indicazioni è stata aggiornata 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 aggiornare 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.

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

- **SISTEMA 1:** zona compresa fra il Rio Freddanella e l'argine destro del fiume Serchio in località Sant'Alessio e a monte della S. P. n. 24 (Monte San Quirico, Sant'Alessio ecc.): simulazioni sul rio Freddanella di S. Alessio, Rio del Topo e affluenti di destra in località San Alessio per $Tr=30$ anni (inizialmente) e $Tr=200$ anni dopo aver analizzato i risultati relativi alle esondazioni del f. Serchio in questa zona per lo stesso periodo di ritorno; simulazione dell'esondazione del Fiume Serchio per $Tr=200$ anni con idrogramma di efflusso e zone di esondazione fornite dall'Autorità di Bacino – Distretto Settentrionale;
- **SISTEMA 2:** in località Sesto di Moriano: simulazioni sul Rio Mulerna per $Tr=30$ e 200 anni;
- **SISTEMA 3:** in località Ponte a Moriano e Saltocchio: simulazioni sul Rio di Carraia per $Tr=30$ e 200 anni;

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 mirati a meglio definire i dati esistenti;
- 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 bidimensionale delle esondazioni sul piano di campagna a partire dai punti di criticità precedentemente definiti e dall'inserimento delle portate idrologiche dei principali affluenti con determinazione dei battenti, delle velocità e della **magnitudo ai sensi della LR 41/2018**, per i corsi d'acqua in cui si è eseguita la modellazione duecentennale (v. par 4.3)
- Aggiornamento 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.

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 (vedi, 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 nel 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 2.3).

Si ricordano, in seguito, per informazione i dati delle ultime piene del Fiume Serchio che, in alcuni casi hanno provocato allagamenti; al fine di dare una indicazione delle piene si specifica 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.

1419	(novembre): varie piene con gravissimi danni, testimoniate nelle "Cronache" di Giovanni Sercambi.	1896	(date imprecisate): danni gravissimi in Garfagnana, in rovina molte strade adiacenti al fiume
1486	(inverno) piene disastrose con gravi inondazioni nella campagna lucchese.	1898	
1572	(data imprecisata): violenta piena con crollo del ponte di San Quirico (Lucca).	1902	(11 ottobre): Nessuna informazione supplementare in merito ad esondazioni e/o danni.
1598	(12 novembre): piena che travolge di nuovo il ponte di San Quirico (Lucca) e l'argine sinistro, con danni alla città ed alla campagna.	1920	(15 agosto): Nessuna informazione supplementare in merito ad esondazioni e/o danni.
1623	(6 novembre): piena che rompe l'argine tra Saltocchio e Lucca e riporta il fiume verso Bientina e Vicopisano.	1922	(4 novembre): taglio dell'Argine a Sant'Alessio per salvare Lucca e i paesi a valle.
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.	1940	(17 novembre): inondazione in riva destra, da Sant'Alessio a Nozzano e Filetote. Rotto l'argine a Nodica con allagamento del bacino del Massaciucoli. Portata misurata alla sezione di Borgo a Mozzano pari a circa 1740 mc/s.
1696	(7 dicembre): piena di notevole portata. La più intensa di cui si abbia memoria al 1730.	1952	(19 novembre): inondazione in riva destra a valle di Pontasserchio e rotta presso Nodica.
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...".	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.
1721 e 1727	(date imprecisate): piene con allagamento della campagna lucchese.	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.
1728	(8 dicembre): rotta a Ponte San Pietro.	1987	(24-25 agosto): violentissimi nubifragi a danni in alta Garfagnana con elevata piena estiva del Serchio, fino all'altezza di Castelnuovo di Garfagnana.
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.	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.
1768	(data imprecisata): non si hanno rotte, ma le acque, attraverso l'Ozzeri, rigurgitano nel Bientina.	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.
1772	(data imprecisata): distrutto il ponte "di Orlando" sul Serchio (costruito ai tempi di Castruccio) tra poggio di Perpoli e poggio di Riana.	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.
1786	(20 novembre): travolto l'arco maggiore del ponte San Quirico.	2009	(20 gennaio): abbondanti e prolungate precipitazioni con allagamenti in Comune di Lucca (S. Alessio) e in Comune di Vecchiano (Filetote).
1798	(data imprecisata): rotta a Sant'Anna-Palazzaccio con allagamenti delle campagne.	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.
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, Filetote, 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 2.1 - Tabelle estratte dal "REPORT n. 1 Eventi alluvionali di impatto significativo avvenuti nel passato" dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio.

Figura 2.2 - Tabelle estratte dal "REPORT n. 1 Eventi alluvionali di impatto significativo avvenuti nel passato" dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio



Figura 2.3 - Cartografia aree allagate 1991, 1992, 1993 redatta dalla Regione Toscana.

2.4.2 Rii Freddanella di S. Alessio e principali affluenti

Sicuramente l'evento recente più significativo relativo al sistema della Freddanella è quello verificatosi il 9 giugno 1992 e descritto, anch'esso, 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 realizzato una cassa di espansione nella parte collinare del Rio del Topo e ha in progetto di realizzarne un'ulteriore, oltre ad essere intervenuto su parte delle sezioni idrauliche dell'asta principale a valle della S.P. 24 fino alla confluenza nel Rio Freddanella, eseguendo interventi di adeguamento delle sezioni ed un raddrizzamento del rio. Il Comune di Lucca, inoltre, è intervenuto sul Rio Freddanella di Sant'Alessio mediante l'adeguamento delle sezioni e con la realizzazione di un diversivo, a monte dell'argine traverso di Corte Pistelli; inoltre, la Provincia di Lucca ha realizzato un impianto idrovoro, in prossimità dell'argine destro del Fiume Serchio, per garantire il deflusso, nel caso di chiusura delle paratoie di sbocco del diversivo, in concomitanza di eventi di piena 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. In alcuni casi piccole porzioni sono state oggetto di interventi edilizi che hanno alzato la quota del piano di campagna successivamente all'evento del 1992 e quindi ora non risultano allagate. Inoltre la realizzazione del diversivo ha comportato una maggiore capacità di smaltimento delle portate della Freddanella direttamente nel Serchio rispetto alla sola paratoia posta all'interno dell'argine traverso di Corte Pistelli riducendo in modo sostanziale le aree allagate in quelle zone.

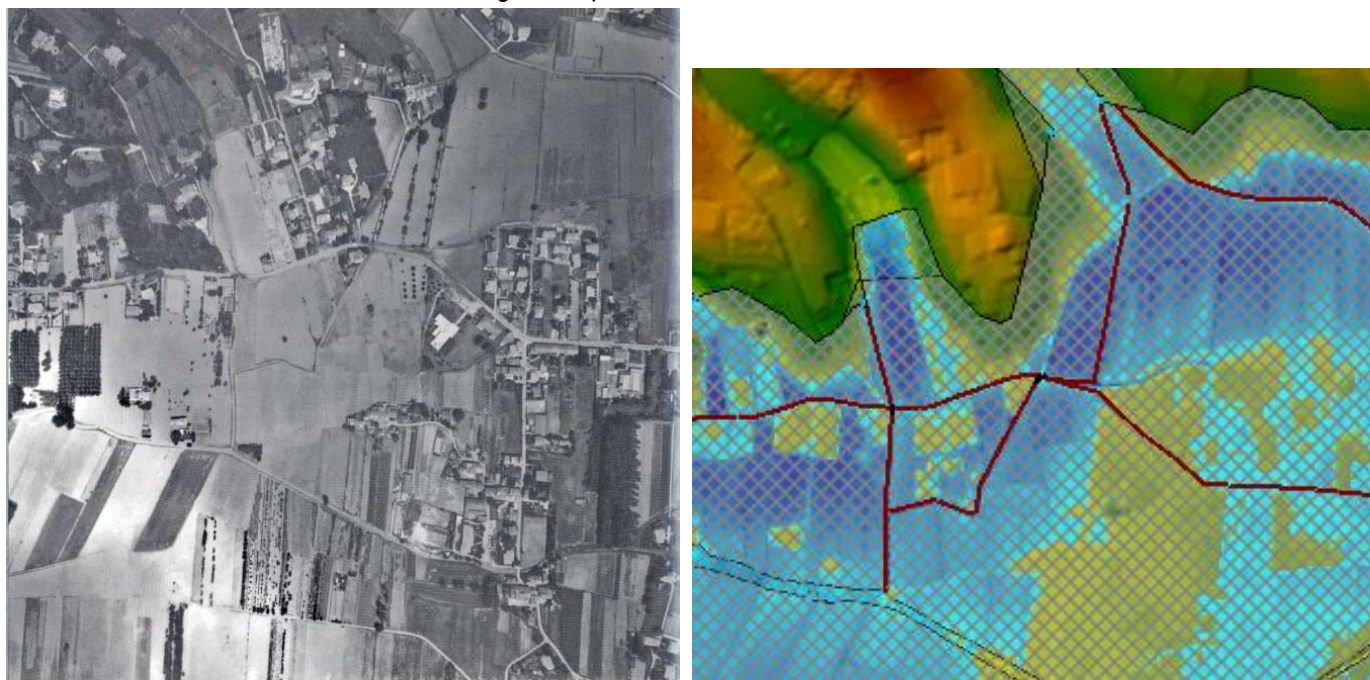


Figura 2.4 - Foto aerea evento del 1992 riguardante l'area di Sant'Alessio e le aree allagate nella zona rio Topo risultanti dal modello per $T_r = 200$ anni

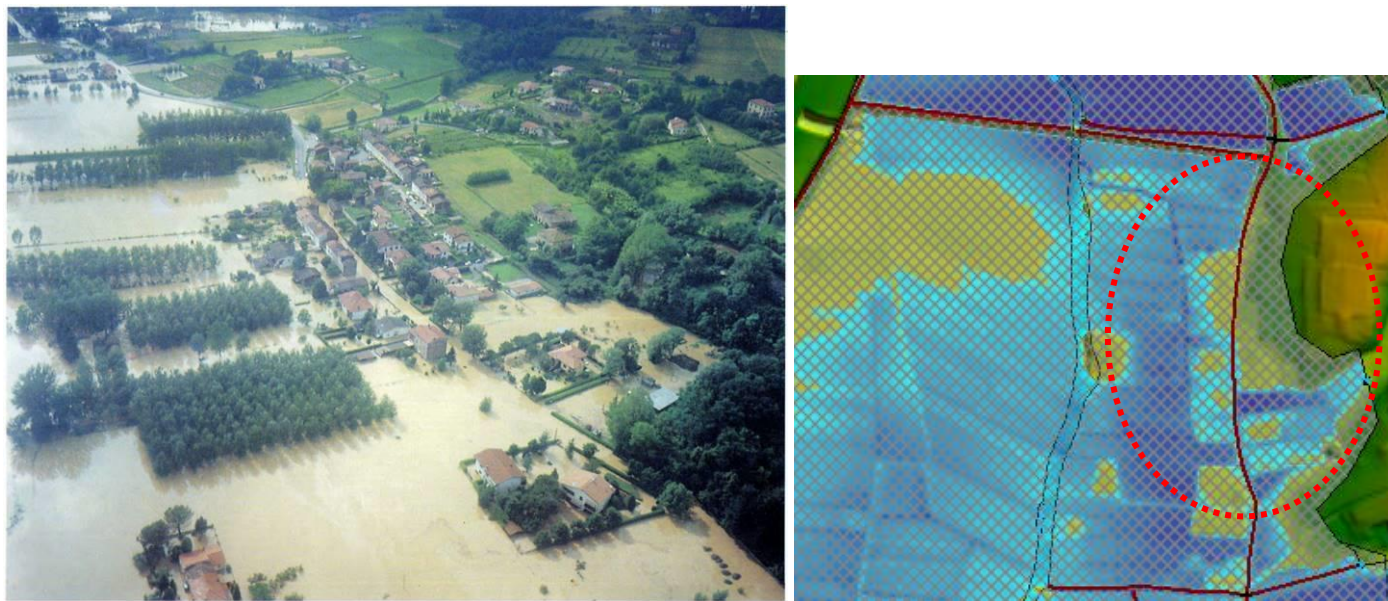


Figura 2.5 -- Foto aerea evento del 1992 riguardante l'area di Sant'Alessio e le aree allagate nella zona a monte di Corte Pistelli risultanti dal modello per $Tr = 200$ anni.

Si riporta, infine, in Figura 2.6, un estratto della cartografia degli eventi del 1991, 1992 e 1993 redatta dalla Regione con le aree allagate.

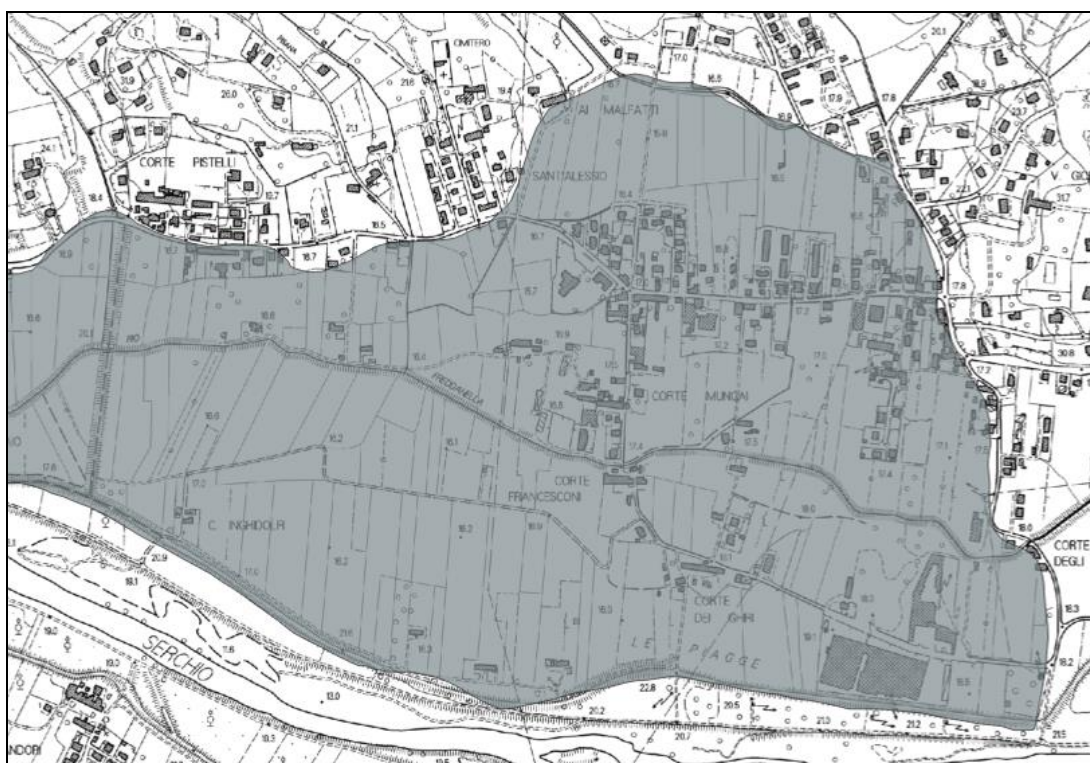


Figura 2.6 - Cartografia aree allagate 1991, 1992, 1993 redatta dalla Regione Toscana area Sant'Alessio.

2.4.3 Sistema Rio di Carraia

Uno degli eventi recenti più significativi relativi al sistema del rio Carraia è quello del 9 giugno 1992 descritto nel "Supplemento al n. 0" al Quaderno dell'Autorità di Bacino che ha documentato le aree allagate anche se non sono disponibili 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.

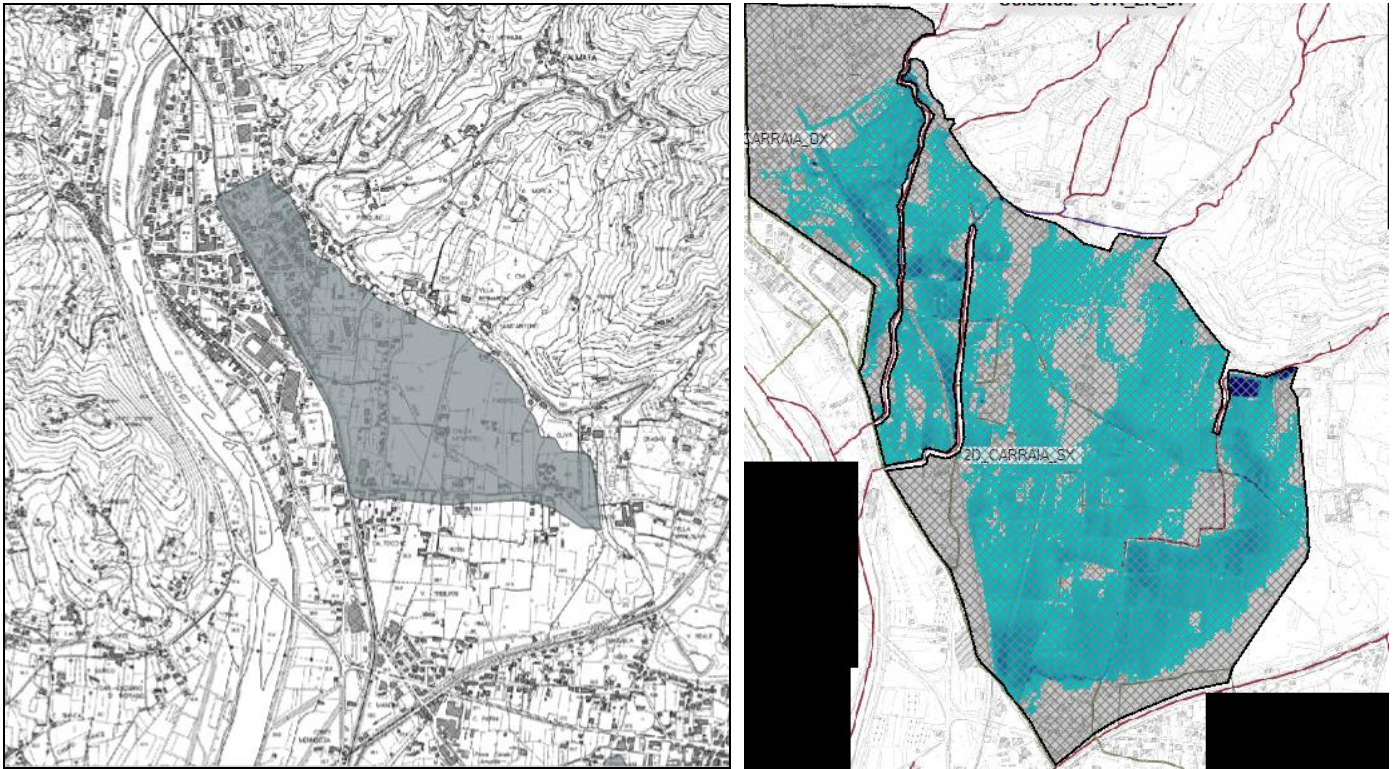


Figura 2.7 - Cartografia aree allagate 1991, 1992, 1993 redatta dalla Regione Toscana
Confronto fra l'Area allagata di Saltocchio e le aree allagate risultanti dal modello per $Tr = 200$ anni.

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 3.5).

Lo studio idrologico è stato effettuato solo per i sistemi del rio Freddanella e del rio Mulerna in quanto le integrazioni richieste per il rio Carraia non richiedono calcolazioni ulteriori rispetto a quelle contenute nella relazione originaria.

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" (E. Caporali, V. Chiarello, G. 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 i grafici e le equazioni delle CPP analizzate per il caso del sistema del rio Freddanella S. Alessio e successivamente quelle relative al rio Mulerna, per il tempo di ritorno analizzati sia in forma per ogni singola cella che come valore medio nel Bacino:

Tempo di ritorno 30 anni		
a	n	AREA
66.2	0.352	886319
66.37	0.335	108978
66.54	0.342	946042
67.48	0.334	107678
67.92	0.349	25626
65.49	0.347	1000000
66.16	0.348	1000000
67.49	0.352	141441
64.22	0.349	98258
65.09	0.349	867742
65.11	0.341	502566
64.73	0.354	9211
65.51	0.344	534307
67.1	0.347	958447
64.47	0.343	48578
67.35	0.341	182490
65.63	0.355	448498
66.04	0.339	260057

CPP mediata

a	n
66.02255	0.346551

Figura 3.1 – C. P. P. per $T_r = 30$ anni
(bacino del sistema Freddanella S. Alessio).

Tempo di ritorno 200 anni		
a	n	AREA
92.12	0.378	886319
92.36	0.361	108978
92.6	0.368	946042
93.9	0.36	107678
94.52	0.375	25626
91.14	0.372	1000000
92.06	0.374	1000000
93.92	0.378	141441
89.37	0.375	98258
90.58	0.374	867742
90.61	0.367	502566
90.08	0.38	9211
91.16	0.37	534307
93.38	0.372	958447
89.71	0.369	48578
93.72	0.367	182490
91.34	0.381	448498
91.9	0.365	260057

CPP mediata

a	n
91.87713	0.372203

Figura 3.2 - C. P. P. per $T_r = 200$ anni
(bacino del sistema Freddanella S. Alessio).

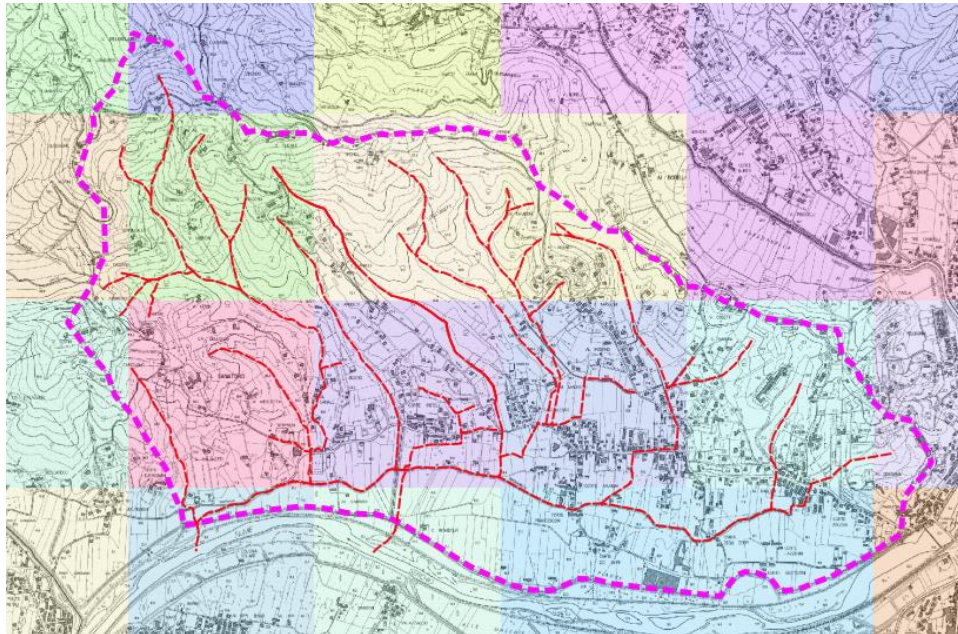


Figura 3.3 - Planimetria dei bacini del sistema Rio Freddanella con indicazione delle celle del modello pluviometrico.

Tempo di ritorno 30 anni		
a	n	AREA
65.377	0.36001	32234.7
68.637	0.31035	43306.69
67.992	0.29614	304628.5
68.668	0.30243	730916
66.501	0.31481	382219
66.189	0.30153	65863.52
67.274	0.30799	1000000
65.285	0.30768	855636
65.041	0.30528	981411.2
63.362	0.30976	387615.8
64.324	0.30074	634719.2
67.321	0.30116	34646.57

CPP mediata

a	n
66.09819	0.306011

Figura 3.4 - Curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno 30 anni (bacino del rio Mulerma).

Tempo di ritorno 200 anni		
a	n	AREA
90.979	0.38569	32234.7007
101.3	0.32984	43306.6904
100.34	0.31563	304628.542
101.34	0.32192	730915.984
98.142	0.3343	382219.018
97.683	0.32102	65863.52
99.283	0.32748	1000000
96.348	0.32717	855635.951
95.989	0.32477	981411.205
93.51	0.32926	387615.801
94.932	0.32023	634719.189
99.355	0.32065	34646.5732

CPP mediata

a	n
97.51573	0.325539

Figura 3.5 - Curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno 200 anni (bacino del rio Mulerma).

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. *Per questo motivo, a favore di sicurezza, nelle modellazioni idrologiche si utilizzano le CPP non ragguagliate.*

Per le verifiche sul rio Carraia le analisi idrologiche erano già state condotte e sono riportate sulla Relazione QG.18 cui si rimanda per la consultazione.

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 le acque 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 superficiale 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 nei bacini analizzati non ha ripercussioni così significative rispetto a quello che è l'andamento naturale delle linee spartiacque.

L'individuazione delle aree scolanti dei bacini è riportata nell'allegato idrologico ALL. 11

3.3.2 Parametrizzazione geomorfologica dei bacini

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),

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".

- 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,
- 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 dei bacini (area, lunghezza dei percorsi, pendenze, quote e conseguentemente la curva ipsografica da cui si ricava H_{med}) sono determinate sulla base della carta tecnica regionale e del modello digitale del terreno (DTM).

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 causa delle *perdite* di bacino (infiltrazione, intercettazione vegetazione, depressioni, ecc.). Per quanto riguarda la permeabilità il metodo SCS distingue 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).

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.

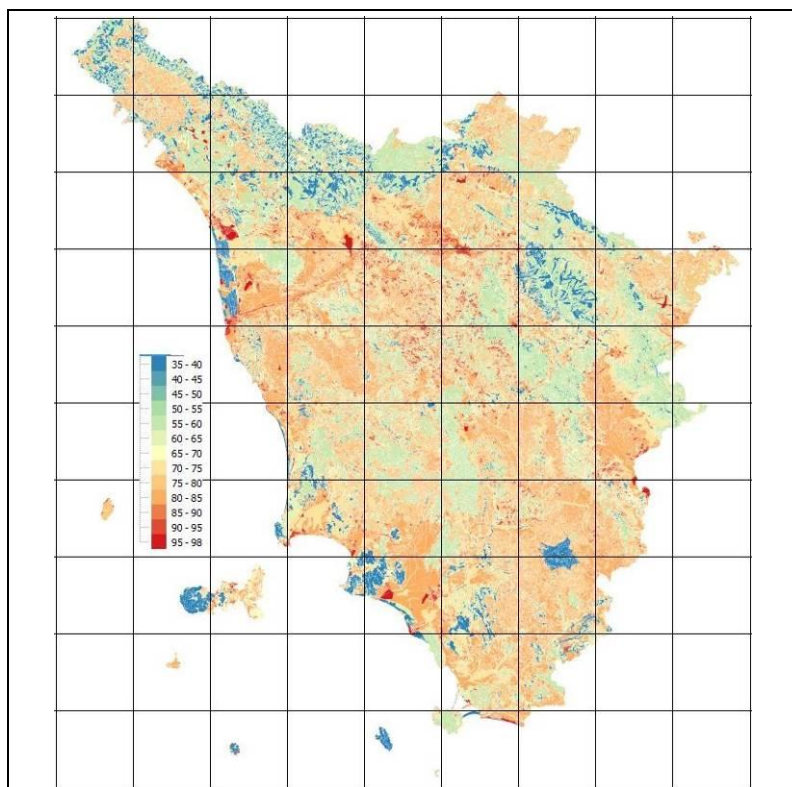


Figura 3.6 – Valori di Curve-Number (CN II) per la Toscana.

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.

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 rio Moro. Nell'allegato idrologico sono presenti tutte le tabelle dei fogli elettronici per la determinazione del coefficiente CN dei bacini analizzati.

Codice CLC	Descrizione	Classe permeabilità	CN	Area
313	Territori boscati e ambienti semi naturali-Zone boscate-Boschi misti	B	60	3.093936
313	Territori boscati e ambienti semi naturali-Zone boscate-Boschi misti	B	60	26539.92
313	Territori boscati e ambienti semi naturali-Zone boscate-Boschi misti	B	60	99330.94
313	Territori boscati e ambienti semi naturali-Zone boscate-Boschi misti	B	60	50036.86
312	Territori boscati e ambienti semi naturali-Zone boscate-Boschi di conifere	B	60	31783.44
312	Territori boscati e ambienti semi naturali-Zone boscate-Boschi di conifere	B	60	14352.33
242	Territori agricoli-Zone agricole eterogenee-Sistemi colturali e particellari permanenti	B	73	5910.11
243	tori agricoli-Zone agricole eterogenee-Aree prev. occup.da colture agrarie, con spazi	B	73	21676.13
243	tori agricoli-Zone agricole eterogenee-Aree prev. occup.da colture agrarie, con spazi	B	73	5443.489
243	tori agricoli-Zone agricole eterogenee-Aree prev. occup.da colture agrarie, con spazi	B	73	103757.4
242	Territori agricoli-Zone agricole eterogenee-Sistemi colturali e particellari permanenti	B	73	2312.702
242	Territori agricoli-Zone agricole eterogenee-Sistemi colturali e particellari permanenti	B	73	42938.44
242	Territori agricoli-Zone agricole eterogenee-Sistemi colturali e particellari permanenti	B	73	3032.306
242	Territori agricoli-Zone agricole eterogenee-Sistemi colturali e particellari permanenti	B	73	13348.37
313	Territori boscati e ambienti semi naturali-Zone boscate-Boschi misti	D	79	29285.92
242	Territori agricoli-Zone agricole eterogenee-Sistemi colturali e particellari permanenti	D	84	146494.1
112	Territori modellati artificialmente-Zone urbanizzate-Tessuto urbano discontinuo	B	85	32380.24
112	Territori modellati artificialmente-Zone urbanizzate-Tessuto urbano discontinuo	B	85	1524.529
112	Territori modellati artificialmente-Zone urbanizzate-Tessuto urbano discontinuo	D	92	18407.31

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

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.

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.

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 Pasini:

- Tempo di corrivazione secondo Tournon:

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

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 versanti.

- Tempo di concentrazione dell'SCS:

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

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").

- Tempo di corrivazione secondo Pasini:

dove:

$$t_c = 0.108 \cdot \frac{(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{i_a^{0.5}}$$

t_c è il tempo di concentrazione in giorni;

A è l'area del bacino in Km²;

L è la lunghezza del bacino in Km;

i_a è la pendenza media dell'asta principale.

Si noti che il tempo di concentrazione, utilizzando l'idrogramma dell'SCS, viene a coincidere con il tempo di corrivazione. Si osserva che i bacini afferenti alla Freddanella S. Alessio per tener conto dei bacini di pianura è stata fatta una media tra le tre formule sopra riportate, mentre per l'aggiornamento relativo al rio Mulerna si è eseguita una media delle sole formule SCS e Tournon.

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 e riempiano i cosiddetti piccoli invasi.
- *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 , dipende dalle condizioni del suolo, dall'intercettazione, dall'infiltrazione, dall'immagazzinamento nelle depressioni superficiali e dall'umidità iniziale del suolo. Da analisi empiriche si può dedurre comunque, che tale parametro risulta proporzionale al parametro "S" e può essere assunto pari a $0.2 \cdot S$.

3.4 Tabelle dei parametri idrologici per i sottobacini studiati

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

Bacino	Area (Km ²)	I _a (mm)	CN III	T _{lag} (min)	Sistema
Buchignani	0.32	10.6	82.7	43.2	SISTEMA 1
Caporale_01	0.42	10.2	83.3	104.3	
Caporale_02	0.59	10.6	82.7	27.8	
Caporale_03	0.20	5.8	89.8	102.9	
Caporale_04	0.07	6.7	88.3	37.9	
Cotani_01	0.50	12.6	80.2	14.1	
Cotani_02	0.32	12.3	80.5	11.4	
Cotani_03	0.22	12.9	79.7	9.9	
Cotani_04	0.50	9.8	83.8	88.8	
Cotani_05	0.33	9.0	85.0	16.3	
Cotani_07	0.04	6.7	88.4	8.8	
Int_dx01	0.24	5.7	90.0	16.0	
Int_dx02	0.13	4.9	91.2	24.2	
Int_dx03	0.04	8.2	86.1	14.7	
Int_dx04	0.05	6.5	88.7	13.9	
Int_dx05	0.17	6.1	89.2	12.6	
Int_sx01	0.19	8.2	86.2	36.0	
Int_sx02	0.24	8.4	85.9	32.1	
Int_sx03	0.30	8.4	85.9	39.8	
Int_sx04	0.19	10.3	83.1	32.0	
Int_sx05	0.05	9.8	83.8	10.0	
Int_sx06	0.07	12.1	80.8	11.6	
Int_01	0.50	4.1	92.6	53.5	
Moro	0.65	8.4	85.8	78.8	
Pistelli	0.37	5.9	89.6	80.1	
Rio_del_Bamboro	0.33	4.1	92.6	14.1	
Rio_del_Topo_03	0.14	5.0	91.1	37.0	
TN37520	0.21	4.3	92.2	26.9	
TOPO	0.75	5.7	89.9	38.6	
Bacino	Area (Km ²)	I _a (mm)	CN III	T _{lag} (min)	Sistema
Mulerna	5.45	12.4	80.4	72.4	SISTEMA 2

Tabella 3.4 - Parametri idrologici risultanti dall'analisi idrologica dei bacini Freddanella S. Alessio e Mulerna.

3.5 Modellazione idrologica dei bacini

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

Di seguito di riporta a titolo di esempio lo schema utilizzato per il sistema Fredanella S. Alessio:

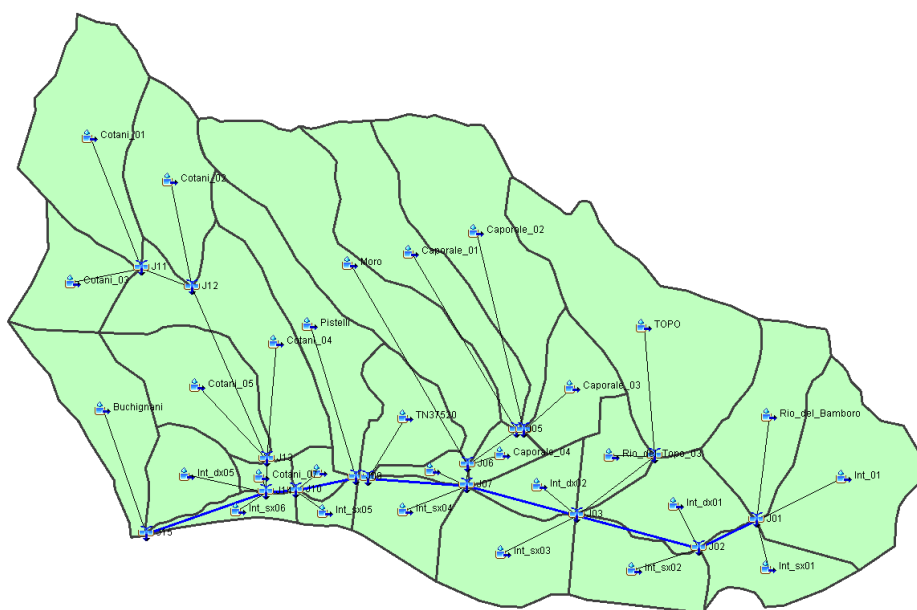


Figura 3.7 - Schema del sistema del rio Freddanella.

Sono stati simulati gli eventi di pioggia di durata variabile in funzione dei bacini analizzati (considerando tempi di ritorno di 30 e 200 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.

Nel seguente studio si specifica che si sono utilizzate le elaborazioni eseguite dallo scrivente dove già disponibili e comunque aggiornati alle CPP ricavata dallo studio della Regione Toscana (aggiornamento 2012), vedi studio relativo

al rio Carraia. Dove invece non erano disponibili dati di studi pregressi o comunque non erano aggiornati alle CPP citate precedentemente, vedi sistema rio Freddanella S. Alessio e rio Mulerna, si è eseguito un nuovo studio.

Per il rio Mulerna è stato utilizzato il vecchio studio idrologico inserendo le piogge ricavate dalle CPP aggiornate dallo studio della Regione Toscana (aggiornamento 2012). La portata complessiva alla confluenza nel Serchio così determinata è stata ripartita nelle portate tra il sottobacino del rio Mulerna e del rio Bolognana eseguendo semplicemente una ripartizione in funzione delle aree dei singoli sottobacini.

Si riportano di seguito i risultati delle modellazioni idrologiche eseguite, in particolare quelle relative al bacino di rio Freddanella S. Alessio e quella relative al rio Mulerna.

Bacini	Simulazione con ietogramma costante - Tr 30 anni								
	1	1:15	1:30	1:45	2:00	2:30	3:00	4:00	MAX
Buchignani	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	2.4
Caporale_01	1.4	1.6	1.7	1.9	2	2.1	2.2	2.1	2.2
Caporale_02	5.4	5.4	5.3	5.1	5	4.5	4.3	3.6	5.4
Caporale_03	0.9	1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.2
Caporale_04	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7
Cotani_01	5.3	5.1	4.7	4.5	4.3	3.8	3.6	3	5.3
Cotani_02	3.6	3.3	3.1	2.9	2.8	2.5	2.3	1.9	3.6
Cotani_03	2.5	2.3	2.1	2	1.9	1.7	1.6	1.3	2.5
Cotani_04	2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.7	2.8	2.6	2.8
Cotani_05	4.1	3.8	3.6	3.3	3.2	2.8	2.6	2.1	4.1
Cotani_07	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.7
Int_dx01	3.5	3.2	2.9	2.7	2.5	2.2	2	1.7	3.5
Int_dx02	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	0.9	1.7
Int_dx03	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.6
Int_dx04	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.8
Int_dx05	2.6	2.3	2.1	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	2.6
Int_sx01	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.2	1.8
Int_sx02	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2	1.9	1.6	2.4
Int_sx03	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.4	2.3	1.9	2.7
Int_sx04	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1	1.6
Int_sx05	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.7
Int_sx06	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.8
Int_01	4.7	4.9	4.8	4.7	4.7	4.3	4.1	3.4	4.9
Moro	3.2	3.6	3.8	3.9	4	4	4.1	3.7	4.1
Pistelli	2.2	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.5	2.3	2.6
Rio_del_Bamboro	5.3	4.8	4.3	3.9	3.6	3.1	2.8	2.3	5.3
Rio_del_Topo_03	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	0.9	1.5
TN37520	2.9	2.7	2.6	2.4	2.3	2	1.8	1.5	2.9
TOPO	7.9	7.9	7.7	7.5	7.2	6.6	6.1	5.1	7.9
J01	9.7	10	10	9.9	9.7	8.9	8.3	7	10
J02	14.8	15	14.9	14.6	14.2	13	12.1	10.2	15
J03	26.7	27.5	27.3	26.8	26.2	24	22.6	19	27.5
J04	5.7	5.8	5.8	5.7	5.7	5.4	5.3	4.7	5.8
J05	6.1	6.4	6.5	6.6	6.8	6.9	7	6.6	7
J06	8.4	9.2	9.8	10.3	10.8	11.1	11.4	10.7	11.4
J07	35.4	37.3	38	38.2	38.2	36.5	35.4	31.1	38.2
J08	36.2	38.3	39.2	39.5	39.6	37.9	36.8	32.4	39.6
J09	2.2	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.5	2.3	2.6
J10	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	3	3.1	2.9	3.1
J11	7.8	7.4	6.9	6.5	6.2	5.5	5.1	4.3	7.8
J12	11.3	10.7	10	9.4	8.9	8	7.4	6.2	11.3
J13	15.8	15.2	14.5	13.9	13.6	12.7	12.3	10.9	15.8
J14	21.3	20.4	19.6	19.1	18.9	18	17.6	15.6	21.3
J15	20.5	20.8	20.6	20.5	20.4	19.7	19.3	17.3	20.8
J16	9.5	9.4	9.2	8.9	8.6	7.8	7.2	6.1	9.5

Tabella 3.5 - Risultati del Rio Freddanella, Tr = 30 anni.

Bacini	Simulazione con ietogramma costante - Tr 200 anni								
	1	1:15	1:30	1:45	2:00	2:30	3:00	4:00	MAX
Buchignani	3.8	4	4	4	3.9	3.7	3.4	3	4
Caporale_01	2.5	2.8	3	3.2	3.3	3.4	3.5	3.4	3.5
Caporale_02	9.1	8.9	8.7	8.3	7.9	7.2	6.6	5.7	9.1
Caporale_03	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	1.8	1.9
Caporale_04	1.1	1.1	1.1	1	1	0.9	0.8	0.7	1.1
Cotani_01	8.9	8.3	7.8	7.3	6.8	6.1	5.6	4.8	8.9
Cotani_02	5.9	5.4	5	4.7	4.4	3.9	3.6	3	5.9
Cotani_03	4.1	3.8	3.5	3.3	3	2.7	2.5	2.1	4.1
Cotani_04	3.4	3.8	4.1	4.3	4.4	4.5	4.5	4.3	4.5
Cotani_05	6.5	6	5.6	5.2	4.8	4.3	3.9	3.3	6.5
Cotani_07	1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	1
Int_dx01	5.3	4.8	4.4	4	3.7	3.3	3	2.5	5.3
Int_dx02	2.6	2.4	2.3	2.1	2	1.7	1.6	1.3	2.6
Int_dx03	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.9
Int_dx04	1.2	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	1.2
Int_dx05	3.9	3.5	3.2	2.9	2.7	2.4	2.1	1.8	3.9
Int_sx01	2.9	2.9	2.8	2.8	2.6	2.4	2.2	1.9	2.9
Int_sx02	3.9	3.8	3.7	3.6	3.4	3.1	2.8	2.4	3.9
Int_sx03	4.3	4.4	4.3	4.2	4.1	3.8	3.5	3	4.4
Int_sx04	2.7	2.7	2.6	2.6	2.4	2.2	2.1	1.8	2.7
Int_sx05	1.1	1	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	1.1
Int_sx06	1.3	1.2	1.1	1.1	1	0.9	0.8	0.7	1.3
Int_01	7.2	7.3	7.3	7.2	6.9	6.4	6	5.1	7.3
Moro	5.4	5.9	6.2	6.4	6.5	6.5	6.4	5.9	6.5
Pistelli	3.4	3.7	3.9	4	4	4	3.9	3.5	4
Rio_del_Bamboro	7.8	6.9	6.3	5.7	5.3	4.6	4.1	3.5	7.8
Rio_del_Topo_03	2.3	2.3	2.2	2.1	2	1.8	1.7	1.4	2.3
TN37520	4.3	4.1	3.8	3.6	3.3	2.9	2.6	2.2	4.3
TOPO	12.3	12.2	11.9	11.4	10.9	9.9	9.1	7.7	12.3
J01	14.8	15.3	15.4	15	14.5	13.3	12.3	10.5	15.4
J02	22.9	23.1	22.9	22.3	21.4	19.6	18.1	15.4	23.1
J03	41.7	42.6	42.4	41.3	39.7	36.6	33.7	28.8	42.6
J04	9.5	9.6	9.5	9.3	9.1	8.7	8.3	7.4	9.6
J05	10.2	10.5	10.8	11	11.1	11.2	11.2	10.5	11.2
J06	14	15.3	16.3	17.1	17.6	18.1	18.1	17.1	18.1
J07	56.7	59.3	60.5	60.4	59.4	56.9	54.2	48	60.5
J08	58.1	61.1	62.6	62.6	61.7	59.2	56.4	50	62.6
J09	3.4	3.7	3.9	4	4	4	3.9	3.5	4
J10	3.4	3.7	3.9	4.1	4.4	4.7	4.8	4.5	4.8
J11	12.9	12	11.3	10.5	9.8	8.8	8.1	6.9	12.9
J12	18.8	17.4	16.3	15.2	14.2	12.7	11.6	9.9	18.8
J13	26	24.6	23.6	22.6	21.8	20.5	19.4	17.3	26
J14	34.6	32.9	31.8	30.9	30	28.8	27.5	24.6	34.6
J15	34.4	34.4	34.1	33.5	32.9	31.7	30.5	27.4	34.4
J16	14.6	14.5	14.1	13.6	12.9	11.7	10.8	9.1	14.6

Tabella 3.6 - Risultati del Rio Freddanella Tr = 200 anni.

Bacini	Simulazione con ietogramma triangolare - Tr 30 anni												
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	03:15	MAX
Mulerna	9,58	15,25	19,46	22,78	25,45	29,29	30,60	31,57	32,24	32,68	32,96	31,74	32,96
	Simulazione con ietogramma triangolare - Tr 200 anni												
	20,66	31,28	38,95	44,85	49,49	55,91	57,95	59,36	60,26	60,75	60,92	58,67	60,92

Tabella 3.7 – Risultati idrologici del rio Mulerna Tr = 30 anni e Tr = 200 anni.

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

Bacini	Area (Km ²)	Tr = 030		Tr = 200		ID
		Q [m³/s]	Coeff. udometrico [Q/A]	Q [m³/s]	Coeff. udometrico [Q/A]	
Buchignani	0.32	2.40	7.54	4.00	0.60	Sistema_1
Caporale_01	0.42	2.20	5.20	3.50	8.27	
Caporale_02	0.59	5.40	9.16	9.10	5.94	
Caporale_03	0.20	1.20	6.10	1.90	17.80	
Caporale_04	0.07	0.70	10.08	1.10	50.41	
Cotani_01	0.50	5.30	10.61	8.90	7.01	
Cotani_02	0.32	3.60	11.40	5.90	11.08	
Cotani_03	0.22	2.50	11.27	4.10	15.78	
Cotani_04	0.50	2.80	5.60	4.50	7.01	
Cotani_05	0.33	4.10	12.40	6.50	10.58	
Cotani_07	0.04	0.70	15.77	1.00	78.87	
Int_dx01	0.24	3.50	14.56	5.30	14.56	
Int_dx02	0.13	1.70	13.39	2.60	27.57	
Int_dx03	0.04	0.60	13.82	0.90	80.61	
Int_dx04	0.05	0.80	14.89	1.20	65.14	
Int_dx05	0.17	2.60	15.07	3.90	20.28	
Int_sx01	0.19	1.80	9.37	2.90	18.22	
Int_sx02	0.24	2.40	9.86	3.90	14.37	
Int_sx03	0.30	2.70	8.85	4.40	11.48	
Int_sx04	0.19	1.60	8.64	2.70	18.90	
Int_sx05	0.05	0.70	13.62	1.10	68.11	
Int_sx06	0.07	0.80	11.19	1.30	48.96	
Int_01	0.50	4.90	9.83	7.30	7.02	
Moro	0.65	4.10	6.32	6.50	5.40	
Pistelli	0.37	2.60	7.07	4.00	9.51	
Rio_del_Bamboro	0.33	5.30	16.08	7.80	10.62	
Rio_del_Topo_03	0.14	1.50	11.07	2.30	25.82	
TN37520	0.21	2.90	13.70	4.30	16.53	
TOPO	0.75	7.90	10.47	12.30	16.30	
Bacini	Area (Km ²)	Q [m³/s]	Coefficiente udometrico [Q/A]	Tr (anni)	ID	
Mulerma	5.45	32.96	6.04	30	Sistema_2	
	5.45	60.92	11.17	200		

Tabella 3.8 - Coefficienti udometrici dei bacini del sistema rio Freddanella e rio Mulerma Tr =30 e Tr =200 anni.

Gli idrogrammi determinati nell'ambito degli studi idrologici sono stati poi impiegati nelle elaborazioni idrauliche descritte ai paragrafi successivi. Fanno eccezione gli idrogrammi in uscita derivanti dalle esondazioni del fiume Serchio nei pressi della località S. Alessio, i quali sono stati direttamente forniti dall'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale.

3.6 Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idrologica

Per la 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 riduzione areale.

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 "Digital Terrain Model" (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 di 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), con sezioni di deflusso praticamente nulle o comunque per tutte quelle aste di cui non si disponeva delle sezioni di rilievo complete, si è realizzato direttamente un 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 grazie alle quali è possibile individuare, per sottrazione, gli idrogrammi di esondazione.

4.2.2 Codice di calcolo

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.

4.2.3 Geometria dei modelli monodimensionali

Per la ricostruzione dei modelli monodimensionali analizzati si sono utilizzati i dati, in particolare le sezioni, ricavati grazie a rilievi di campagna disponibili da parte del Comune di Lucca integrati con quelli effettuati dagli scriventi per il rio Mulerna sia per il rio Carraia; per quanto concerne invece la morfologia del sistema rio Freddanella sono stati

utilizzati sia dati forniti dal Comune di Lucca sia da rilievi di campagna mirati ad analizzare specifiche porzioni dei corsi. Altri dati sono stati mutuati da studi idraulici precedenti o integrati con dati desunti dal rilievo LIDAR. Una volta stabilita la **geometria delle sezioni**, la loro distanza e i coefficienti di scabrezza delle superfici dell'alveo si può riprodurre la morfologia del corso d'acqua. In generale, per quando concerne i valori di scabrezza, sono stati utilizzati valori indicati da letteratura o, se disponibili, valori desunti da studi precedenti approvati dagli enti competenti.

4.2.4 Portate

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 è estremamente prudenziale. Infatti, questa portata competerebbe alla sezione di chiusura, mentre nelle simulazioni svolte viene invece attribuita a tutto il tratto che si trova a monte della sezione di chiusura ovvero della confluenza (nei codici identificata come "junction").

4.2.5 Condizioni al contorno

4.2.5.1 Valutazioni generali

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**. Valutazioni particolari sono state effettuate per il sistema del rio Freddanella caratterizzato da singolarità specifiche nelle sezioni di sbocco nel fiume Serchio, dove sono installate paratoie. Inoltre, nel modello del sistema del Morianese-Saltocchio, che viene qui aggiornato in funzione delle nuove simulazioni sul rio Carraia, sono stati adottati come altezze di riferimento le quote delle piene trentennali e duecentennali del Fiume Serchio indicate dall'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale, su cui saranno comunque esposte 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, a favore di sicurezza, la sezione più piccola.

4.2.5.2 Valutazioni specifiche per il sistema dei Rii Freddanella di S. Alessio e Topo

La particolarità del comportamento del sistema del rio Freddanella è dovuta ai suoi sbocchi (due, a motivo della recente realizzazione di un diversivo), nel fiume Serchio e alla differenza delle dinamiche esondative relative ai tempi di ritorno trentennale e duecentennale. Sono state condotte, quindi, valutazioni specifiche per la determinazione delle condizioni al contorno di questo sistema, sia per i modelli monodimensionali che bidimensionali.

Per le **condizioni al contorno del fenomeno trentennale** del rio Freddanella S. Alessio, per l'ordine di grandezza del parametro "*tempo di corrivazione*" e per l'andamento del profilo longitudinale, si può presupporre che il rio possa sfociare in Serchio in assenza di rigurgito tale da modificare il livello idrometrico sull'asta (i tempi di corrivazione del fiume Serchio sono decisamente maggiori di quelli relativi al sistema del rio Freddanella). L'ipotesi è verosimile anche in considerazione dei livelli idrici del fiume Serchio nelle due sezioni di sbocco del rio Freddanella (vecchio e nuovo), forniti direttamente dall'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale. A conferma di queste considerazioni nell'evento alluvionale relativo all'anno 1992, il corso d'acqua rio Freddanella S. Alessio è defluito in Serchio senza problematiche di rigurgito, pur avendo fatto registrare esondazioni diffuse lungo l'asta. Sono state quindi eseguite due analisi: nella prima, per quanto concerne la modellazione del tratto di sbocco della Freddanella Nuova, nei pressi dell'opera arginale di Corte Pistelli, si evidenzia che, utilizzando l'altezza di moto uniforme (*normal depth*) e

considerando la portata interamente contenuta nell'alveo di monte, la quota di scarico in Serchio risulta pari a $H = 15,30$ m s.l.m.; nella seconda analisi tenendo conto delle esondazioni, che nella conformazione attuale si verificano, tale quota si riduce a valori prossimi a $H = 15,00$ m s.l.m.. In entrambi i casi, partendo dal presupposto che la modellazione è stata eseguita con tempi di pioggia pari a 2h e che il picco dell'evento si verifica, dalle modellazioni idrologiche in corrispondenza della sezione di sbocco, con tempi di poco inferiori alle 3h, i livelli idrometrici attesi in Serchio, risultano inferiori ai valori sopraindicati per piogge di durata da 3h fino a 24h su tutto il bacino del Serchio, con una durata dell'evento inferiore alle 4:75 h. Ciò esclude, di fatto, situazioni di rigurgito. Analogamente si possono utilizzare le medesime conclusioni per quanto concerne il vecchio sbocco della Freddanella, in quanto il livello idrometrico di monte è condizionato dal restringimento geometrico dovuto alle paratoie.

Per le **condizioni al contorno del fenomeno duecentennale**, l'analisi dei livelli idrometrici del fiume Serchio forniti dall'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale per tempo di ritorno pari a 30 anni e durata della pioggia pari a 3 ore, ha consentito, come nel caso precedente, di stabilire che fino ad una durata dell'evento (pari a 4.75) ore il nuovo sbocco della Freddanella avverrebbe, sostanzialmente senza subire influenze dovute a rigurgito. Per quanto riguarda invece lo sbocco originario della Freddanella, la medesima analisi effettuata ha consentito di stabilire che fino ad una durata dell'evento pari a 6.25 ore avverrebbe, sostanzialmente, ancora una volta, senza subire influenze dovute a rigurgito. Quindi le condizioni al contorno del modello monodimensionale per $Tr=200$ anni sono le medesime inserite per $Tr=30$ anni. Invece, per la determinazione delle criticità dovute alla eventuale chiusura delle paratoie, che principalmente influenzano l'entità dei volumi che esondano, la condizione verrà introdotta nei modelli bidimensionali.

4.2.6 Risultati delle analisi idrauliche

4.2.6.1 Generalità

I risultati dello studio condotto si possono esaminare negli allegati idraulici da ALL. I2.1, I3.1 e I4.1. In generale, sono da ritenersi insufficienti le sezioni per le quali i livelli liquidi sono tali da non permettere il deflusso all'interno degli argini (o del livello del 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 tratteggiate indicano, in generale, le sommità dei rilevati arginali in destra e sinistra idraulica ("LOB" e "ROB", acronimi 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.

4.2.6.2 Rii Freddanella di S. Alessio e Topo

Sono state condotte verifiche al fine di evidenziare le criticità esistenti allo stato attuale. La modellazione è stata condotta considerando, cautelativamente, **che l'intera portata idrologica degli affluenti possa affluire nell'asta principale**. Si sono individuati i possibili punti critici, così da poter determinare le onde di piena esondanti che costituiranno gli *input* della successiva modellazione 2D. Le sezioni e le relative portate di esondazione della Freddanella evidenziate nel modello 1D dalla 157 alla 152 non sono state inserite nel modello 2D, in quanto le intere onde di piena, trentennale e duecentennale, del bacino alto Freddanella (codice Int_01 nel modello HMS) sono state inserite direttamente nel modello 2D in corrispondenza del rio Freddanella subito a monte della SP 24.

Le **scabrezze** delle sezioni sono state adattate alle sezioni del rio Topo, rispettando i valori utilizzati nei precedenti studi a supporto del P.O, in particolare per il tratto a monte della strada provinciale SP24. Per questo tratto si è assunto un valore di scabrezza della sezione d'alveo di $0.0285 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, mentre per il tratto a valle della SP24, tratto adeguato dal Comune di Lucca, una scabrezza pari a $0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$. Per quanto concerne il rio Freddanella S. Alessio si è ritenuto opportuno, per tener conto della presenza di piante erbacee, utilizzare una scabrezza costante pari a $0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

Nella Figura 4.1 sono riportati i profili longitudinali nell'asta "Freddanella di S. Alessio" fino a Corte Pistelli indicando le criticità che poi nel modello bidimensionale sono introdotte come "input" di esondazione. I punti di crisi individuati attraverso le scale di deflusso sono sintetizzati nella Tabella 4.1 (in rosso le portate non smaltibili, in nero quelle smaltibili).

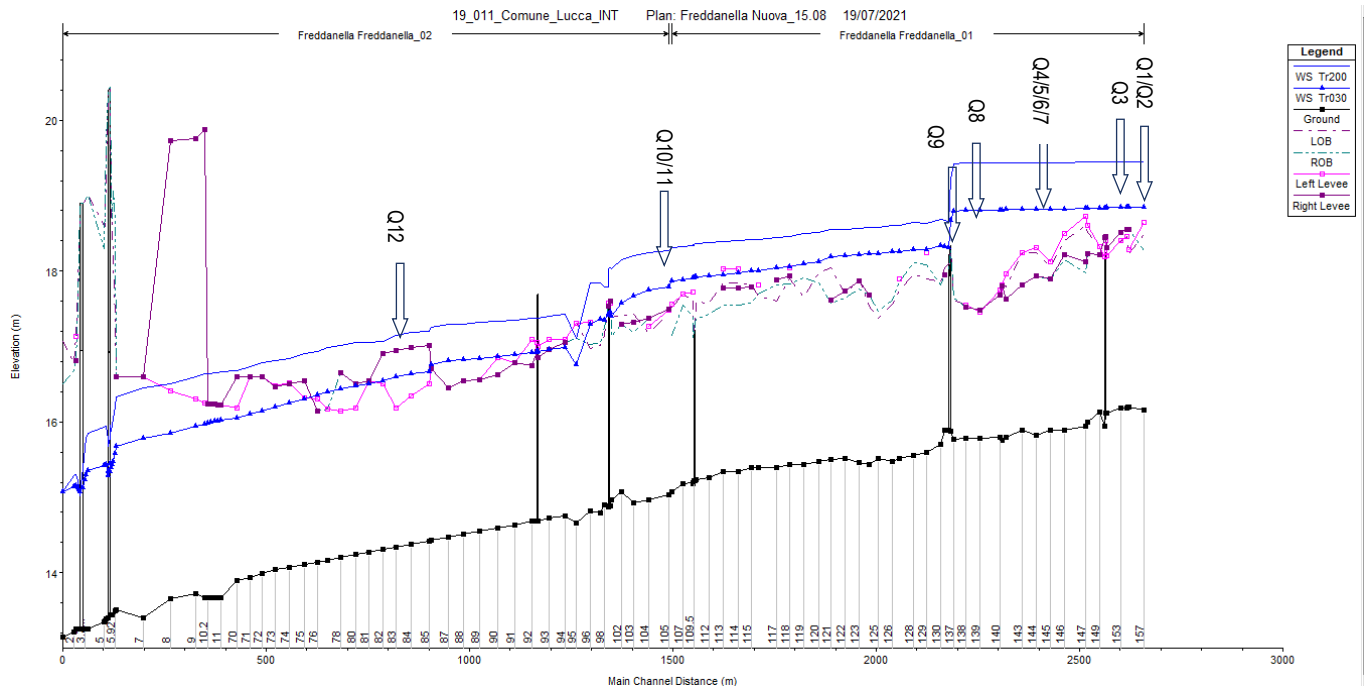


Figura 4.1 Profili longitudinali idrologici (per $Tr = 30$ e $Tr = 200$ anni) della Freddanella S. Alessio a monte dell'opera arginale di Corte Pistelli compreso il Diversivo.

Rio Freddanella S. Alessio (monte argine Corte Pistelli)				
Sez	ID	$Q_{lim} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{max} Tr 30 [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{max} Tr 200 [\text{m}^3/\text{s}]$
157 dx	Q1	3.1		
156 sx	Q2	3		
152 sx	Q3	2.8	4.7	6.9
147 dx	Q4	5.6		
145 dx	Q5	4.9		
143 dx	Q6	4.6		
142 dx	Q7	3.9		
139 sx	Q8	3.2	9.7	14.5
137 sx/dx	Q9	6	14.2	21.4
105 sx/dx	Q10	18.3		
104 sx	Q11	16.5	26.2	39.7
83 sx	Q12	25.8	38.2	59.4

Tabella 4.1 – Sezioni di esondazione e relative portate limite e massime del rio Freddanella S. Alessio a monte dell'argine di Corte Pistelli ($Tr = 30$ e $Tr = 200$ anni).

Come si osserva dalla tabella sopra riportata gran parte delle sezioni di monte del rio Freddanella S. Alessio, risultano inadeguate al deflusso della portata trentennale (e quindi anche duecentennale) causando, di conseguenza, cospicui volumi di esondazione.

In Figura 4.2 si riporta il profilo longitudinale nell'asta Freddanella di S. Alessio a valle dell'argine di Corte Pistelli indicando le criticità che poi nel modello bidimensionale sono introdotte come "input" di esondazione. I punti di crisi individuati attraverso le scale di deflusso sono sintetizzati nella Tabella 4.2 (in rosso le portate non smaltibili, in nero quelle smaltibili):

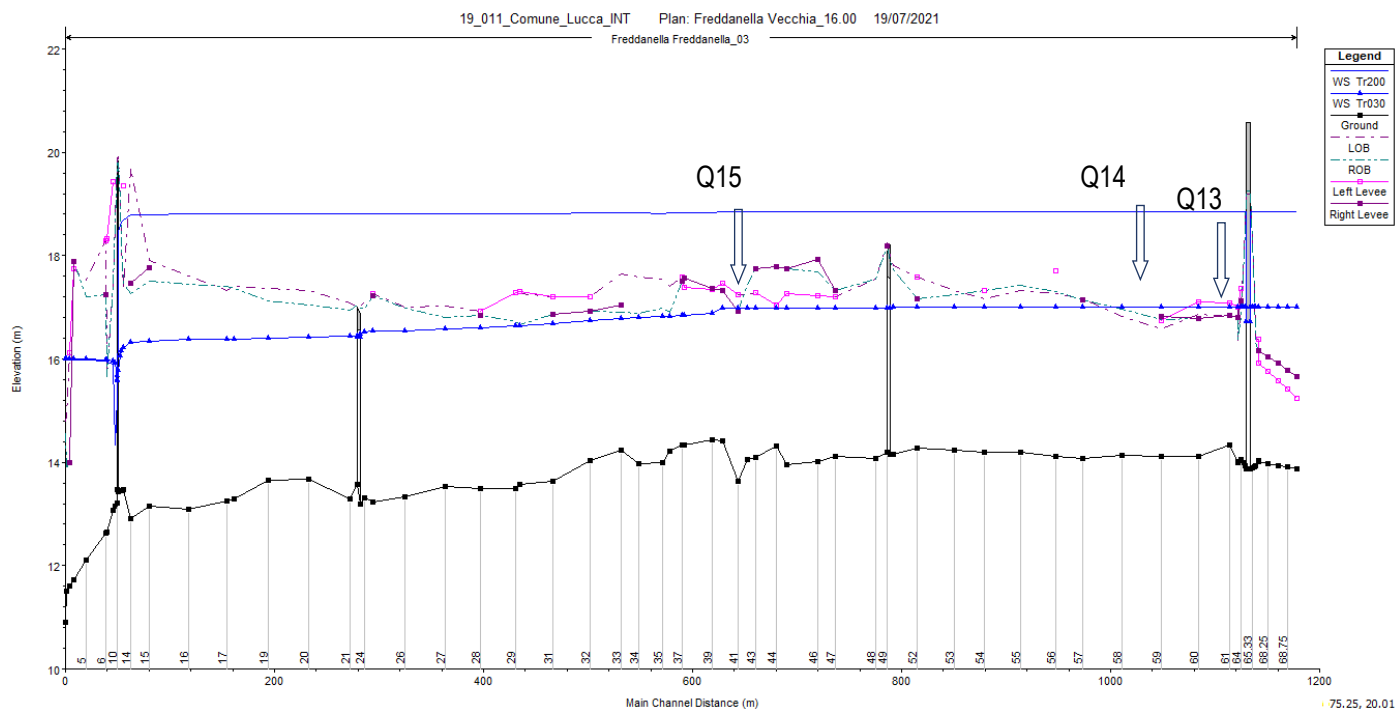


Figura 4.2 – Profilo longitudinale idrologico del tratto di rio Freddanella S. Alessio a valle dell'opera arginale di Corte Pistelli per $Tr = 30$ e $Tr = 200$ anni.

Rio Freddanella S. Alessio (valle argine Corte Pistelli)				
Sez	ID	Q_{lim} [m^3/s]	Q_{max} Tr 30 [m^3/s]	Q_{max} Tr 200 [m^3/s]
61 dx	Q13	2.3		
59 sx	Q14	2.2	2.6	4
41 sx	Q15	2.6	2.7	4.4

Tabella 4.2 – Sezioni di esondazione e relative portate limite e massime del rio Freddanella S. Alessio a valle dell'argine di Corte Pistelli ($Tr = 30$ e $Tr = 200$ anni).

Nel caso del ramo del rio Freddanella, denominate Vecchia, situato a valle dell'argine di Corte Pistelli, le esondazioni si verificano principalmente a monte (rio del Topo). In Figura 4.3 si riporta il profilo longitudinale del Rio del Topo indicando le criticità che poi nel modello bidimensionale sono introdotte come "input" di esondazione.

In sostanza, si evidenzia, per questo tratto, che la portata trentennale non risulta praticamente mai contenuta all'interno del tratto modellato del rio del Topo. Ciò è coerente con le ricorrenti segnalazioni di criticità da parte della popolazione residente. Peraltro, il tratto che sarebbe da risistemare è quello a valle della cassa di laminazione che, a causa del tracciato costretto tra le edificazioni, presenta restringimenti della sezione di deflusso. Nei sopralluoghi effettuati sono evidenziate opere provvisorie poste in essere dai frontisti in contiguità con le opere di difesa sponale (un esempio è mostrato in Figura 4.4): questi manufatti testimoniano la criticità della situazione.

Le portate inserite nel modello sono conseguenti ad un tempo di pioggia di 2 ore, in modo da rendere il modello concorde con gli altri realizzati per il medesimo sistema.

Nella Tabella 4.3 si riporta una sintesi delle sezioni critiche individuate con il modello monodimensionale:

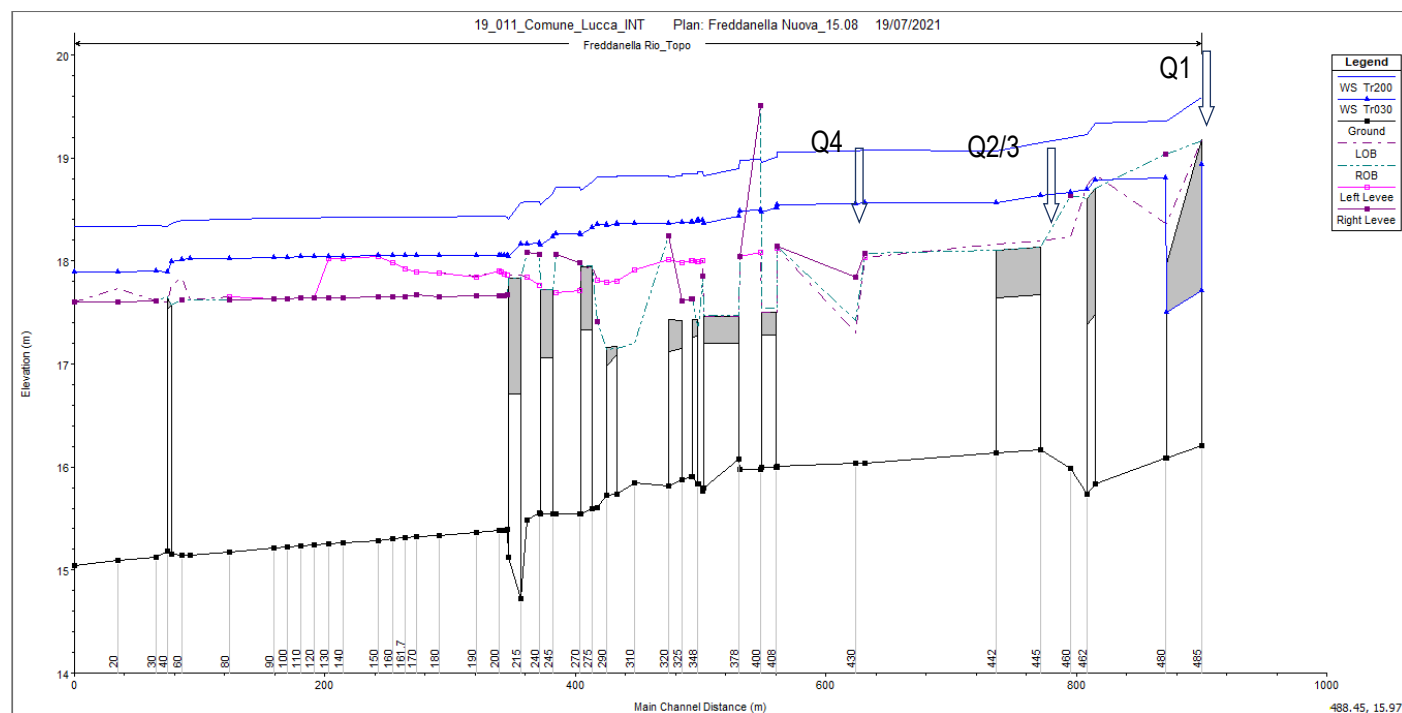


Figura 4.3 – Profilo longitudinale del tratto di rio del Topo per $Tr = 30$ e $Tr = 200$ anni



Figura 4.4 – «Opere di sponda» provvisionali poste nel tratto non sistemato del corso d'acqua.

Rio del Topo				
Sez	ID	Q _{lim} [m³/s]	Q _{max} Tr 30 [m³/s]	Q _{max} Tr 200 [m³/s]
490 dx	Q1	4	7.2	10.9
445 dx/sx	Q2/3	3.5		
430 /sx	Q4	2.4		

Tabella 4.3 - Punti di crisi del rio del Topo per Tr = 30 e Tr = 200 anni

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

Per quanto riguarda il sistema 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 dagli studi idrologici**. In questa integrazione, si aggiornano le analisi già effettuate precedentemente dal sottoscritto, a seguito della **richiesta di estensione dell'analisi del torrente Carraia**. Detto tratto estende lo studio del corso d'acqua dalla linea ferroviaria, nei pressi della confluenza tra Via Lorenzo Viani e Traversa I Via della Croce fino a monte di Via delle Ville. 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.

Nella zona di Saltocchio non sussiste un sistema di aste appartenenti al reticolo idrografico di cui alla LR79/2012, fatta eccezione dei corsi principali rii Carraia, Lama e Gatto, oltre alle 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).

La **scabrezza** delle sezioni per il rio Carraia oggetto della presente estensione delle elaborazioni è stata posta pari a $0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 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 Appennino 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.

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

Le onde di piena sono quelle derivanti dal modello idrologico. Dalla modellazione è stato individuato il punto critico per poter determinare l'onda di piena che esonda dalla sezione e che è l'input del modello 2D.

Le scabrezze delle sezioni sono state adattate alle sezioni del Rio e variano da $0.015 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ a $0.025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

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 la carenza sulla sezione 90

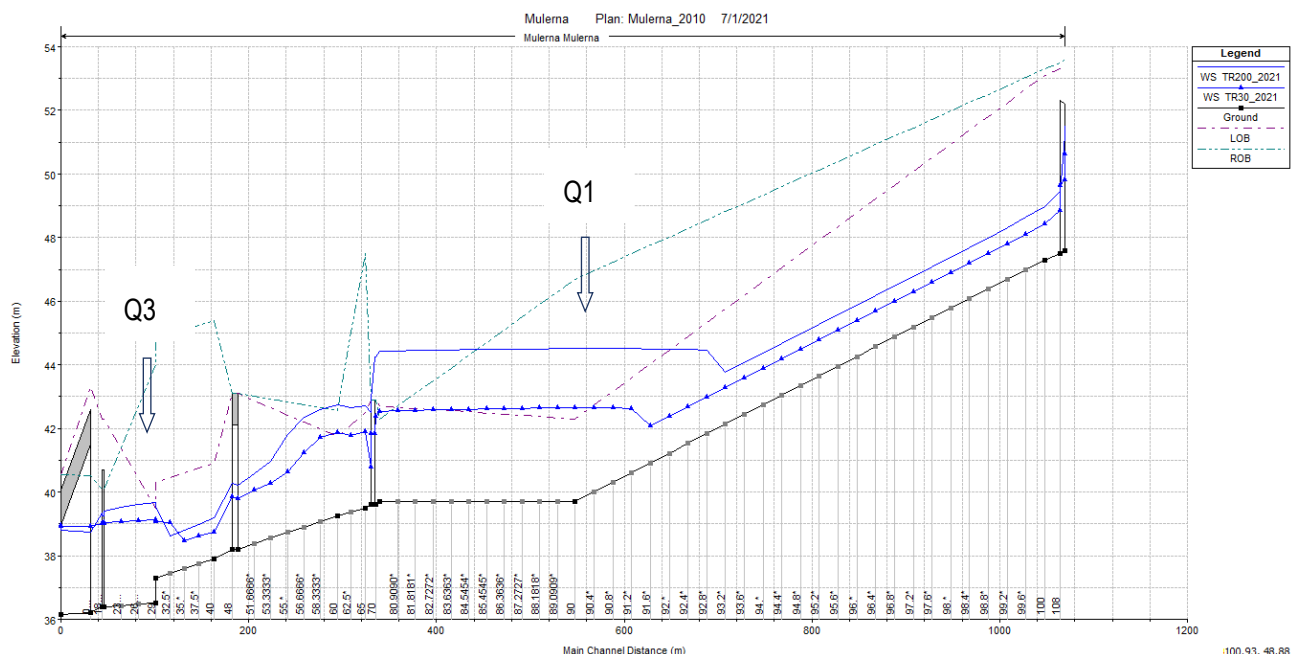


Figura 4.6 - Profilo longitudinale del Rio Mulerma.

Nella tabella sottostante si riporta una sintesi delle sezioni critiche individuate con il modello monodimensionale:

Rio Mulerma				
Sez	ID	$Q_{lim} \text{ [m}^3\text{/s]}$	$Q_{max} \text{ Tr 30 [m}^3\text{/s]}$	$Q_{max} \text{ Tr 200 [m}^3\text{/s]}$
90 sx	Q1	25		
29	Q3	46	32.96	60.92

Tabella 4.5 - Punti di crisi per $Tr=30$ e 200 .

4.2.7 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"

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

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 4.7 – Correlazione tra uso del suolo e coefficiente di Manning

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 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,

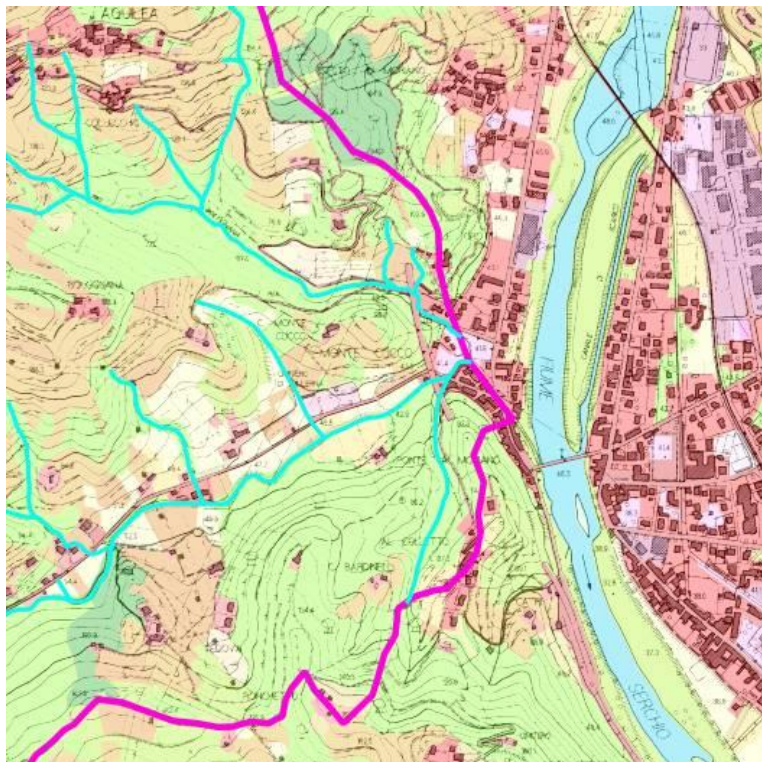


Figura 4.8 – Carta di uso del suolo dettagliata (estratto dal sistema Mulema).

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 evidenziati all'interno dei modelli idraulici monodimensionali o laddove i sopralluoghi hanno evidenziato sezioni potenzialmente intasabili (come attraversamenti caratterizzati da dimensioni minime) o palesemente inadeguate al contenimento della piena. Eventuali rientri all'interno del corso d'acqua sono stati ipotizzati laddove ricorrevano entrambe le seguenti condizioni seguenti:

- il tratto di corso d'acqua in oggetto è idoneo al contenimento delle portate complessive (comprese, quindi, quelle “di rientro”);
- il tratto di corso d'acqua in oggetto è incassato ovvero non arginato;

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 dell'intera 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 invaso 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 hydrograph” 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 di base scelto per un certo modello è tale da verificare questa impostazione; laddove ciò non avveniva è stato inserito un elemento denominato “breaklines” in corrispondenza di elementi di discontinuità morfologica significativi, come strade, arginature e, in alcuni casi, alvei, individuati nel territorio analizzato, permettendo una migliore definizione del calcolo.

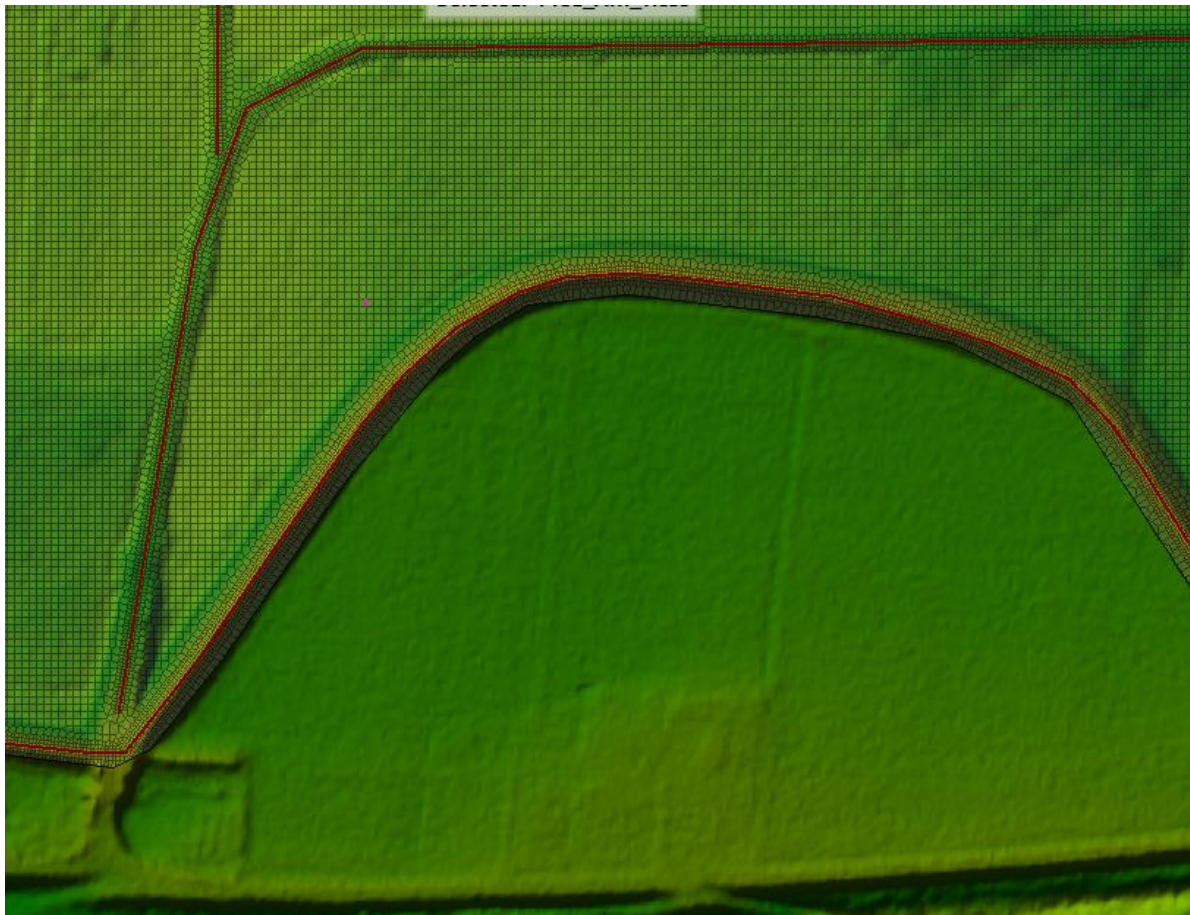


Figura 4.9 – Esempio di una breaklines impiegata nella modellazione idraulica per simulare il rilevato stradale.

4.3.3 Risultati dell'analisi idraulica

4.3.3.1 Rio Freddanella Sant'Alessio e fiume Serchio nella zona di Sant'Alessio

4.3.3.1.1 Considerazioni generali

Inizialmente era prevista la modellazione per il solo $Tr=30$ anni, in considerazione del fatto che l'area in sinistra idraulica del rio, rimanendo compresa fra il rio stesso e l'argine destro del fiume Serchio, è esposta alle esondazioni di questo ultimo che, per l'entità dei fenomeni, risultano sicuramente preponderanti rispetto a quelle del rio Freddanella. Tuttavia la modellazione del fenomeno di esondazione del f. Serchio, come vedremo, ha mostrato che le acque fuoriuscite interessano solo parte delle aree potenzialmente esondabili anche dal rio Freddanella: per questo motivo, in un secondo momento, si è deciso di simulare anche l'evento duecentennale sul rio Freddanella.

4.3.3.1.2 Simulazioni dell'esondazione per $Tr=30$ anni

Per l'individuazione delle aree allagate dal reticolo di riferimento sono stati individuati due modelli 2D strutturati come segue:

1. Nel primo modello per simulare le aree allagate dall'asta principale della Freddanella e dal Rio del Topo, si sono individuate due “flow area”, una a valle dell'argine di Corte Pistelli in sinistra e l'altra con tutto il resto

dell'area indagata che copre di fatto tutti gli affluenti. In questo modello del terreno, come già riportato nei capitoli precedenti, sono state apportate modifiche per tenere conto, per quanto possibile, dei lavori effettuati, principalmente per gli allargamenti e il diversivo sulla Freddanella (con un nuovo sbocco nel fiume Serchio) e in parte per i lavori a valle della SP 24 sul Rio del Topo. In particolare, a seguito dei sopralluoghi è stato verificato che tramite gli attraversamenti del Rio del Topo sulla SP 24 l'acqua di esondazione può trasferirsi dalla sinistra idraulica alla destra proprio per gli attraversamenti, in quanto in gran parte del tratto in argomento sia in sinistra sia in destra sono presenti muretti di circa 0.5 m che impedirebbero alle acque, per l'altezza anzidetta, di rientrare nel rio permettendo quindi il passaggio da una sponda all'altra. Analoga situazione si presenta nel tratto a valle della SP 24 dove il tratto adeguato dal Comune presenta arginature. Per simulare queste condizioni sono state inserite delle aree individuate come regioni nel DTM elevandone la quota all'interno di tutti i tratti compresi tra gli attraversamenti del rio del Topo; invece il tratto arginato a valle fino alla confluenza nella Freddanella non è stato "modificato" visti i modesti battenti che raggiungono le arginature/muretti non considerando di fatto alcun rientro nel rio. Per meglio rappresentare l'andamento morfologico della zona, come citato precedentemente, si è proceduto all'inserimento di elementi "breaklines"

L'immagine successiva mostra l'estensione dell'esondazione del Rio Freddanella e del Rio del Topo per $T_r=30$ anni a partire dai punti di esondazione (freccette viola).

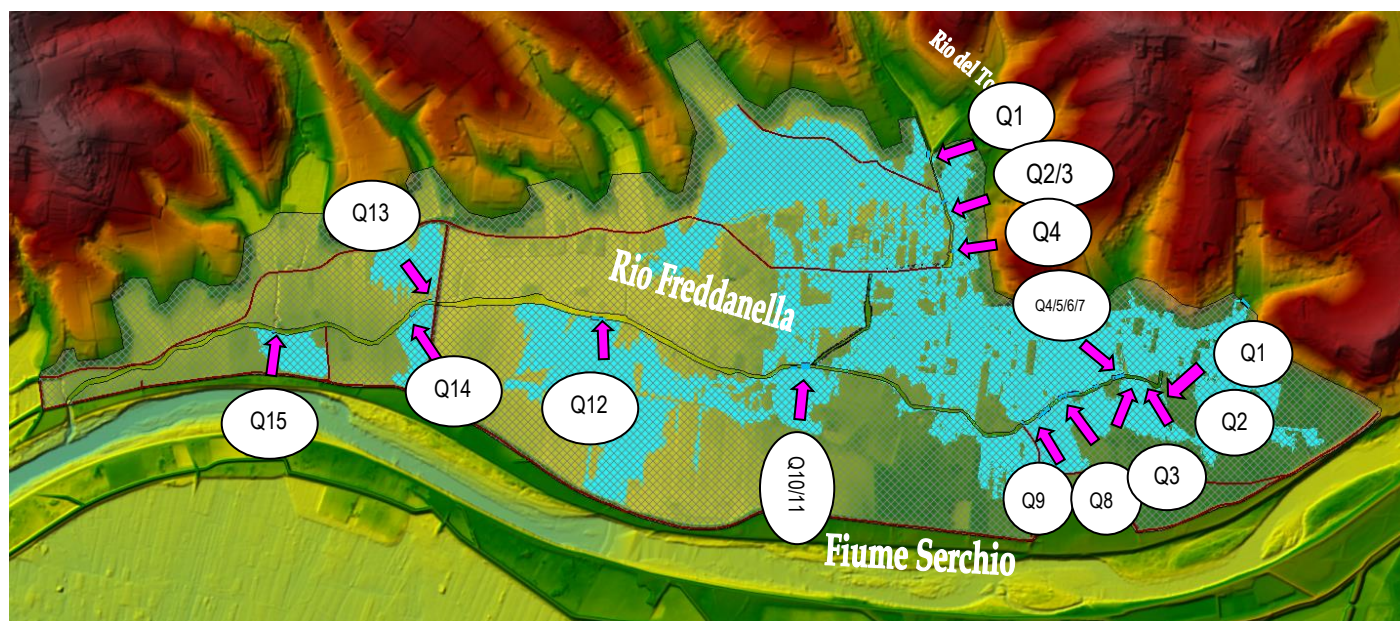


Figura 4.10 - Esondazione della Freddanella asta principale e Rio del Topo per T_r 30 anni

La dinamica mostra come le acque esondate fluiscano nell'ampia zona pianeggiante espandendosi in tutte le direzioni, andando ad interessare anche aree depresse a monte della SP 24, e non soltanto lungo la direttrice principale della pendenza globale. In particolare, per il Rio del Topo il fatto che l'esondazione possa interessare un contesto spiccatamente pianeggiante induce una diffusione dell'onda di esondazione quasi completamente bidimensionale (Figura 4.13). Si possono individuare comunque due direttrici principali: una Nord-Sud, in direzione dell'asta principale (fiume Serchio), e l'altra Est-Ovest. Si tratta di esondazioni con velocità limitate (in considerazione della ridotta pendenza) e con battenti di solito inferiori al metro.

2. Il secondo modello è stato costruito per simulare le aree allagate dagli affluenti individuate costruendo una unica "flow area". In questa elaborazione al modello del terreno, come già riportato nei capitoli precedenti, sono state apportate modifiche funzionali alla affidabilità del modello. In particolare, come nel caso

precedente, a seguito dei sopralluoghi è stato verificato che tramite gli attraversamenti del Rio del Topo sulla SP 24 l'acqua di esondazione può trasferirsi dalla sinistra idraulica alla destra proprio per gli attraversamenti, in quanto in gran parte del tratto in argomento sia in sinistra sia in destra sono presenti muretti di circa 0.5 m che impedirebbero alle acque, per l'altezza anzidetta, di rientrare nel rio e di passare da una sponda all'altra. Analoga situazione si presenta nel tratto a valle della SP 24 dove il tratto adeguato dal Comune presenta arginature. Per simulare queste condizioni sono state inserite delle aree individuate come regioni nel DTM elevandone la quota all'interno di tutti i tratti compresi tra gli attraversamenti del rio del Topo invece per il tratto arginato a valle fino alla confluenza nella Freddanella. Invece, rispetto al modello precedente, tutto il tracciato della Freddanella sia a monte che a valle di Corte Pistelli è stato "coperto" per consentire il passaggio delle eventuali esondazioni da una sponda all'altra. Questa considerazione è fondata sul fatto che in questa situazione l'alveo del corso Freddanella è sostanzialmente pieno. Ai fini di rappresentare al meglio il deflusso delle parti collinari verso la pianura sono stati inseriti elementi "culvert" così da rappresentare la connessione del reticolo a monte della SP 24 con i tratti di valle. Detti "culvert" sono stati inseriti per il rio Caporale, il rio Moro, il rio Pistelli, il rio Buchignani e due per il rio dei Cotani. Per gli altri corsi d'acqua le sezioni degli attraversamenti erano talmente esigue che cautelativamente si sono considerate ostruite (vedasi attraversamento SP24 del corso rio Bamboro). Per meglio rappresentare l'andamento morfologico della zona, come citato precedentemente, si è proceduto all'inserimento di elementi "breaklines".

Di seguito si riporta un'immagine dell'esondazione trentennale generata dagli affluenti; le frecce viola rappresentano i punti di esondazione.

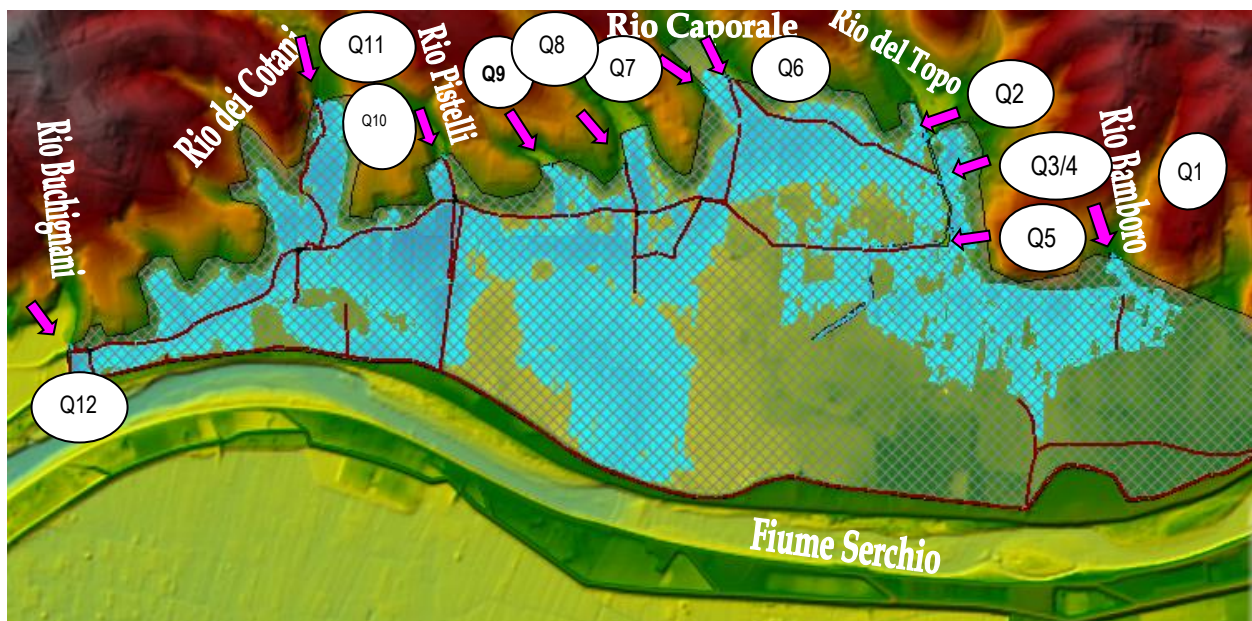


Figura 4.11 - Esondazione Affluenti Freddanella con $T_r=30$ anni

La dinamica mostra come le acque esondate fluiscano dalle parti collinari verso l'ampia zona pianeggiante spandendosi in tutte le direzioni superando anche l'alveo della Freddanella, andando ad interessare anche e aree depresse a monte della SP 24, e non soltanto lungo la direttrice principale della pendenza. Si tratta di esondazioni con velocità limitate (in considerazione della ridotta pendenza) e con battenti di solito inferiori al metro.

Per individuare le aree allagate complessivamente nelle due simulazioni è stato eseguito, tramite l'utilizzo di software specifici per la gestione di dati geospaziali, una mosaicatura dei due "raster" con l'opzione che il "raster

risultante” ottenuto assumesse come valori in uscita il massimo valore di altezza in ogni cella dagli originari. Nella figura seguente si riporta il risultato di detta elaborazione.

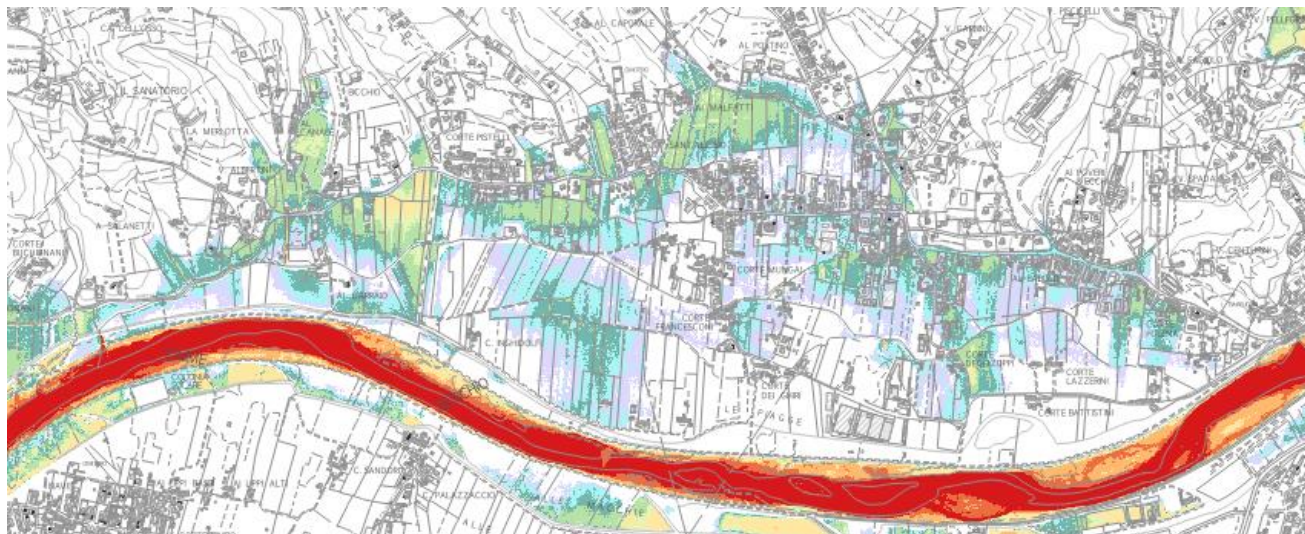


Figura 4.12 - Esondazione complessiva della Freddanella e affluenti con $Tr=30$.

4.3.3.1.3 Simulazioni dell'esondazione per $Tr=200$ anni

Anche per il fenomeno duecentennale, simulato per determinare i battenti e le velocità nelle zone non interessate dagli allagamenti dovuti all'esondazione del fiume Serchio in questa zona (V. par. 4.3.3.1.4), per l'individuazione delle aree allagate del reticolo afferente al rio Freddanella due modelli 2D strutturati in modo del tutto analogo a quelli utilizzati per l'evento trentennale con le modifiche seguenti:

1. Nel primo modello, Riguardo alle condizioni al contorno è stato considerato che le paratoie, posizionate nei due sbocchi in fiume denominati "Freddanella Nuova" e "Freddanella Vecchia", oltre a quella nell'argine di Corte Pistelli, risultino completamente chiuse, fatto verosimilmente congruente con la dinamica dell'evento in quanto è del tutto probabile che i livelli del fiume Serchio determinino rigurgiti e quindi le paratoie vengano effettivamente chiuse (le paratoie vengono chiuse con portata nel fiume Serchio pari a circa 750 mc/s, che corrisponde ad una piena ordinaria dello stesso);

L'immagine in Figura 4.13 mostra l'estensione dell'esondazione del Rio Freddanella e del Rio del Topo a partire dai punti di esondazione (freccie viola) nello scenario descritto.

La dinamica mostra, analogamente al fenomeno per $Tr=30$ anni, come le acque esondate fluiscano nell'ampia zona pianeggiante espandendosi in tutte le direzioni, andando anche in questo caso ad interessare anche aree depresse a monte della SP 24, e non soltanto lungo la direttrice principale della pendenza globale. In particolare, per il Rio del Topo il fatto che l'esondazione possa interessare un contesto spiccatamente pianeggiante induce una diffusione dell'onda quasi completamente bidimensionale (Figura 4.13). Come nel caso precedente si possono individuare comunque due direttrici principali: una Nord-Sud, in direzione dell'asta principale (fiume Serchio), e l'altra Est-Ovest. Si tratta di esondazioni con velocità limitate (in considerazione della ridotta pendenza con l'eccezione di piccole porzioni concentrate in punti singolari) e con battenti di solito inferiori al metro.

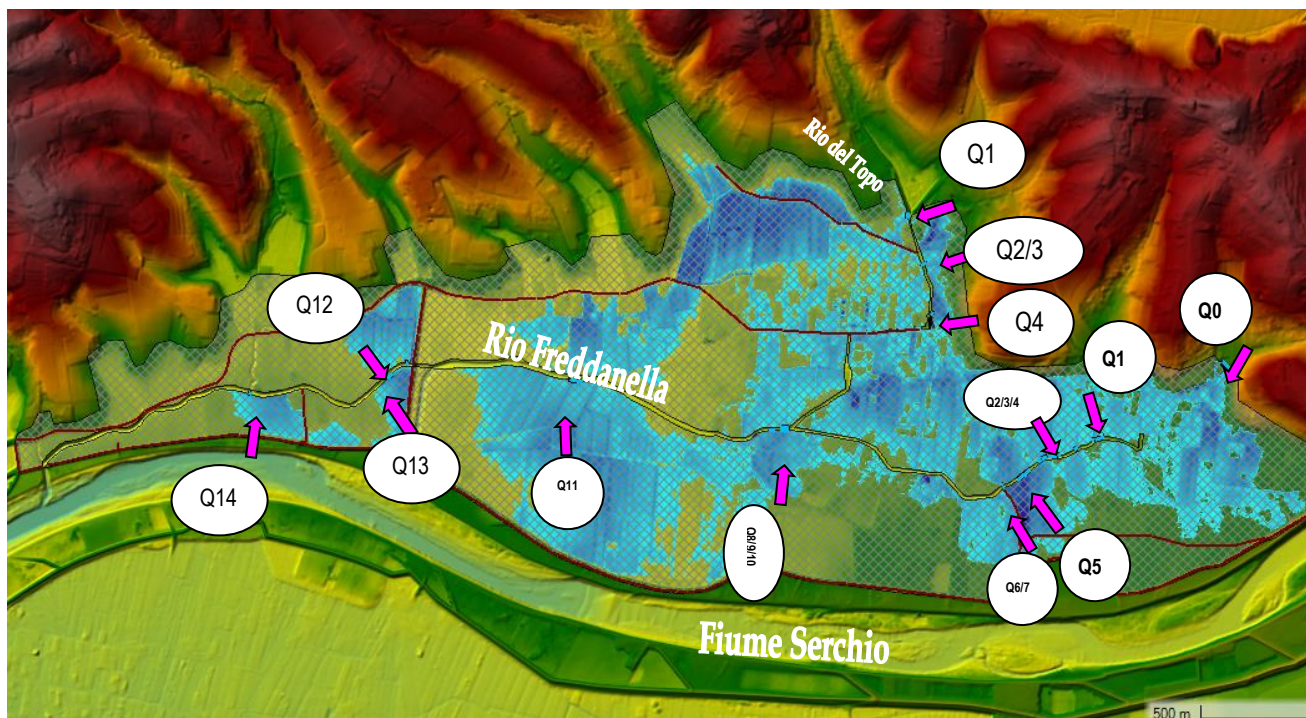


Figura 4.13 - Esondazione della Freddanella asta principale e Rio del Topo per $Tr = 200$ anni

2. Il secondo modello (con esondazione delle portate degli affluenti) è analogo al precedente con l'aggiunta, anche in questo caso, delle condizioni di chiusura delle paratoie sul fiume Serchio e di quella all'interno dell'argine di Corte Pistelli.

Di seguito si riporta un'immagine dell'esondazione trentennale generata dalle portate provenienti dagli affluenti; le frecce viola rappresentano i punti di esondazione.

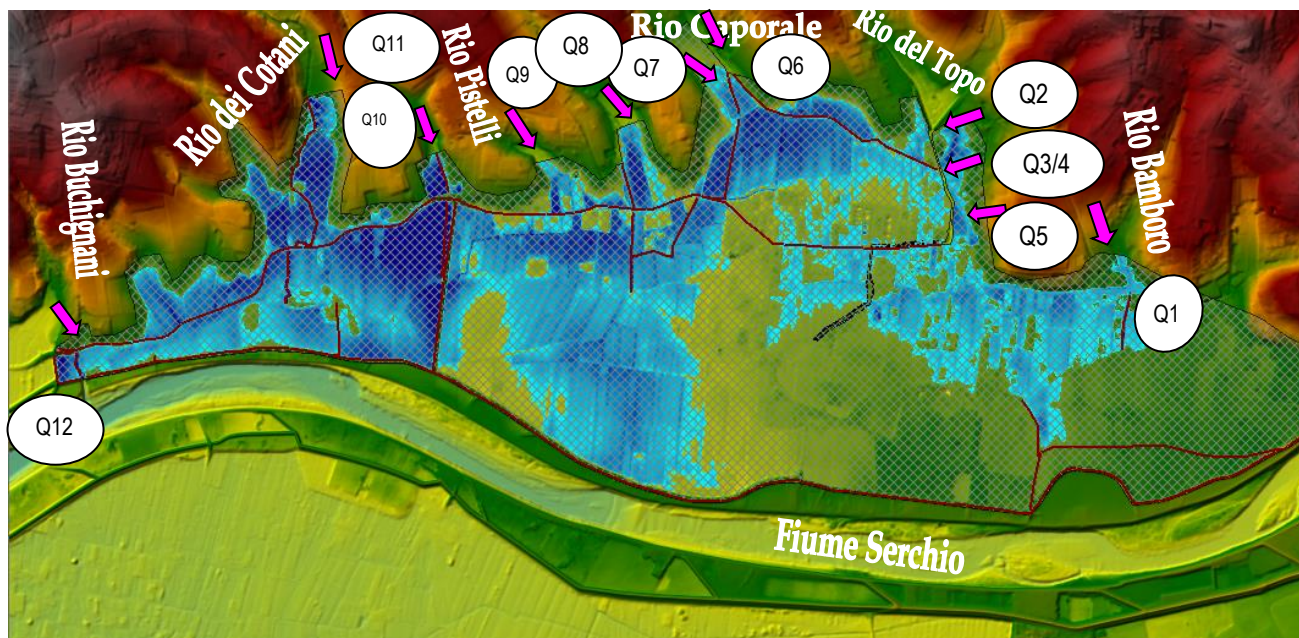


Figura 4.14 - Esondazione Affluenti Freddanella per $Tr = 200$ anni

I risultati ottenuti sono simili, qualitativamente, al fenomeno trentennale, con entità di battenti e velocità maggiore, con interessamento di superfici leggermente più ampie.

4.3.3.1.4 Determinazione delle esondazioni del Fiume Serchio area da Ponte San Quirico alla confluenza Freddanella vecchia

A partire dai dati delle onde di piena di esondazione dal Serchio e la loro ubicazione forniti dall'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale, è stato implementato il modello bidimensionale in cui il terreno, derivato dal rilievo lidar, scaricato direttamente dal sito della Regione Toscana (<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>), è stato integrato in parte con il rilievo Drone eseguito dallo scrivente, così da aggiornare il modello digitale del terreno tenendo conto dei lavori di adeguamento eseguiti dal Comune di Lucca sul rio Freddanella e della realizzazione del diversivo a monte dell'argine di Corte Pistelli con nuovo sbocco nel fiume Serchio. Le due confluenze nel fiume Serchio sono state ovviamente considerate chiuse per impedire il rigurgito dello stesso. Analogamente è stata considerata chiusa la paratoia presente nell'argine di Corte Pistelli.

Visti i volumi di esondazione e considerato che dalle prime elaborazioni il rilevato posto a valle della vecchia confluenza della Freddanella (limite dell'area di indagine) veniva ampiamente superato, per ridurre l'effetto della condizione al contorno il modello del terreno è stato esteso fino all'argine sinistro del torrente Cerchia. In questa estensione dell'area, che risulta interessata da battenti superiori al metro nella simulazione, è da far presente che i battenti sono sicuramente molto sottostimati in quanto le esondazioni del Serchio nel tratto compreso tra il vecchio sbocco della Freddanella e ponte San Pietro risultano cospicue; ciò risulta dalle analisi effettuate dal Distretto Appennino Settentrionale, che danno luogo a battenti notevolmente superiori, che peraltro porterebbero un aggravio anche nell'area compresa fra l'argine di Corte Pistelli e lo sbocco della Freddanella vecchio. Pertanto, in quest'ultima area di modellazione (che è comunque marginale rispetto all'area d'interesse del comune di Lucca per la quale è stato deciso di estendere gli studi) si ritiene sia più corretto utilizzare i battenti derivanti dalle analisi del Distretto Appennino Settentrionale. Per la porzione di area di indagine a monte dell'argine di Corte Pistelli le aree derivanti dalla presente modellazione danno sostanzialmente conferma alle perimetrazioni già individuate dal Distretto Appennino Settentrionale e riportate nel PGRA con modeste differenze così come pure i battenti, e quindi la modellazione eseguita va solamente ad affinare la dinamica di esondazione, definendo, però, la velocità in modo da poter determinare la *magnitudo*.

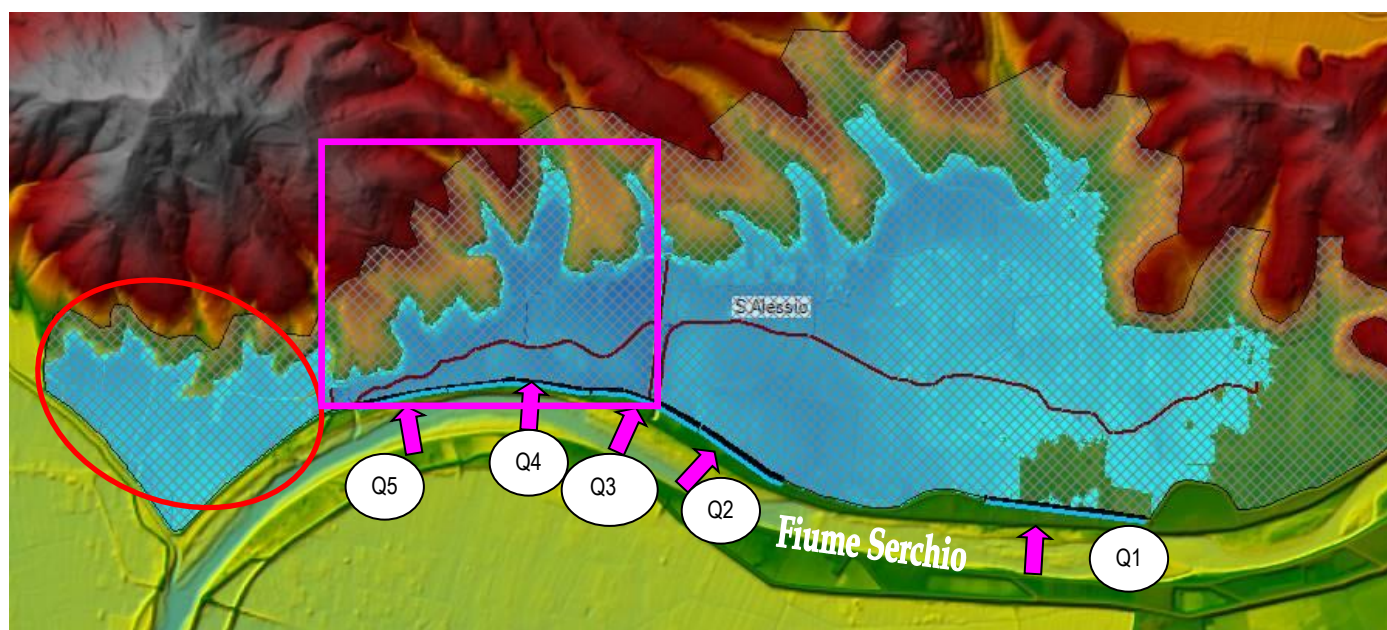


Figura 4.15 - Esondazione fiume Serchio con $Tr = 200$.

Nell'immagine di Figura 4.15 si riporta la rappresentazione dell'esondazione duecentennale del fiume Serchio nell'area considerata: le frecce viola rappresentano i punti di esondazione.

La dinamica di esondazione, a monte dell'argine di Corte Pistelli, evidenzia che tutta la pianura, sostanzialmente, comprese le parti più depresse dei conoidi degli affluenti della Freddanella sono interessate da allagamento; si possono individuare alcune aree depresse in cui si superano anche i 2 metri di battente. L'area interna al quadrato fucsia, invece, è quella influenzata dalle condizioni di esondazione di valle non inserite nel modello: è in questa zona che il modello sottostima i battenti reali. L'area cerchiata di rosso, infine, rappresenta l'area esterna all'area di studio che sarebbe interessata dagli allagamenti derivanti dalle tracimazioni nell'area di studio anche in assenza di tracimazioni del Serchio a valle della confluenza della Freddanella vecchia (che è stata inserita, come detto, per avere una migliore modellazione nell'area di studio).

Si rappresenta comunque che, per l'area interna al quadrato fucsia, anche confermando i battenti dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale senza i valori di velocità, l'entità dei battenti determina, ai sensi della LR 41/2018, una magnitudo "molto severa".

Si rappresenta che la zona dove sono situati gli sbocchi del sistema del rio Freddanella è ampiamente "sommersa" dalle portate provenienti dal fiume Serchio, ciò che rende le precedenti modellazioni del rio Freddanella (per $Tr=200$) in questa zona, praticamente ininfluenti ai fini della determinazione di battenti e velocità che sono, ovviamente, quelli derivanti dal F. Serchio.

4.3.3.1.5 Elaborazione finale dei battenti

Per individuare le aree allagate complessivamente nelle due simulazioni per $Tr=200$ è stato eseguito, tramite l'utilizzo di software specifici per la gestione di dati geospaziali, una mosaicatura dei due "raster" con l'opzione che il "raster risultante" ottenuto assumesse come valori in uscita il massimo valore di altezza in ogni cella dagli originari. Nella figura seguente si riporta il risultato di detta elaborazione.

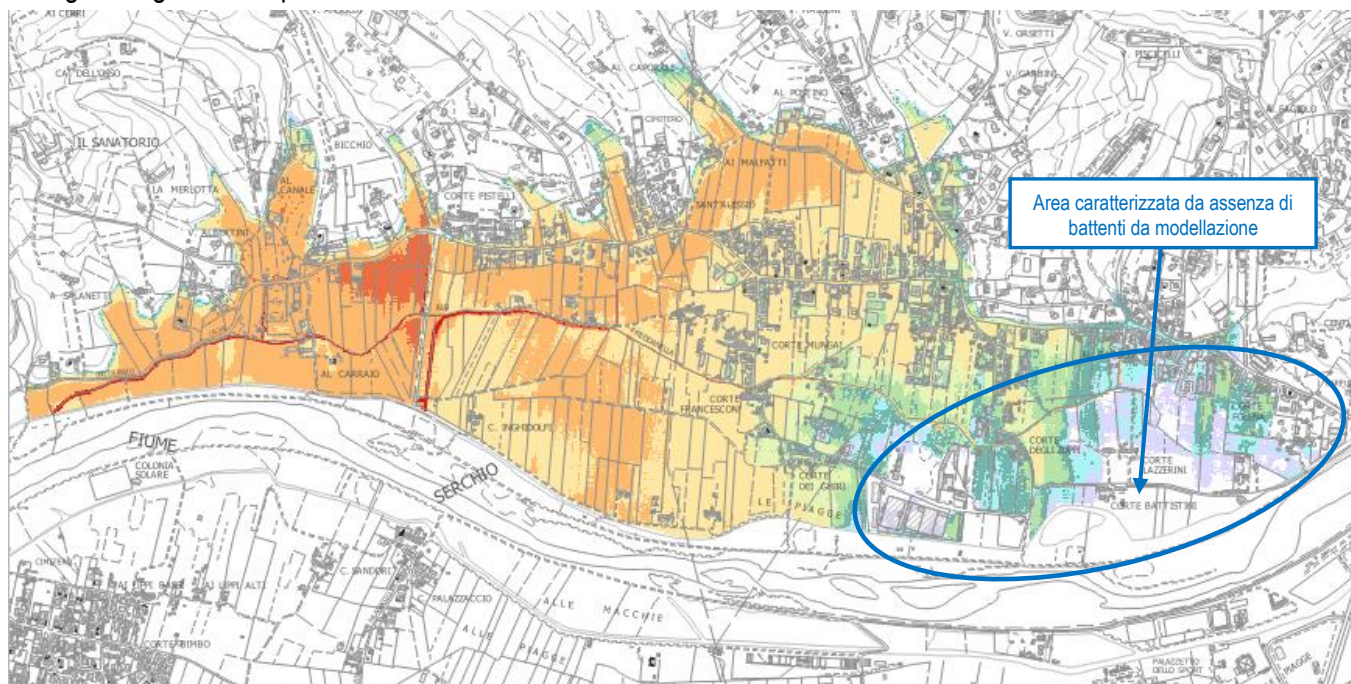


Figura 4.16 - Mapa battenti da modellazione idraulica complessiva del Sistema Freddanella e Serchio per $Tr = 200$ anni.

Infine, esaminate le aree allagate nel modello e confrontate con quelle riportate nel PGRA sono stati individuate alcune aree in prossimità degli argini del fiume Serchio che risultano, dai modelli, non interessate da allagamenti ma che nel PGRA sono caratterizzate da pericolosità (zona interna all'ellisse blu di Figura 4.16). A seguito di contatti con l'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale e con il Comune è stata individuata una soluzione che mantiene queste aree con un battente idraulico fittizio di 0.15 m in considerazione dei ridotti franchi delle arginature sulla piena

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

L'immagine della Figura 4.18 mostra l'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; si tratta di esondazioni con velocità limitate (in considerazione della ridotta pendenza) e con battenti di solito inferiori al metro. Fa eccezione la dinamica di esondazione oggetto della presente integrazione, che mostra che il contributo dell'esondazione in sinistra del rio Carraia, nel tratto a monte del rilevato ferroviario, si somma al contributo delle esondazioni dal rio Lama concentrandosi poi tra il rilevato ferroviario e l'argine sinistro del rio Lama stesso poco prima della chiesa di Saltocchio. Per questo nel modello 2D è stato inserito un rientro nel rio Lama che comunque non risulta significativo in termini di portata (di fatto si è verificato che rimane contenuto nelle sezioni di valle del rio Lama). Analogamente le acque di esondazione in destra

del rio Carraia si concentrano in corrispondenza del rilevato ferroviario superandolo in diversi punti. Anche in questo caso è stato inserito un rientro in destra del rio Carraia. Rimangono invariate le considerazioni già espresse per le aree del Rio Gatto nello studio precedente. 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.

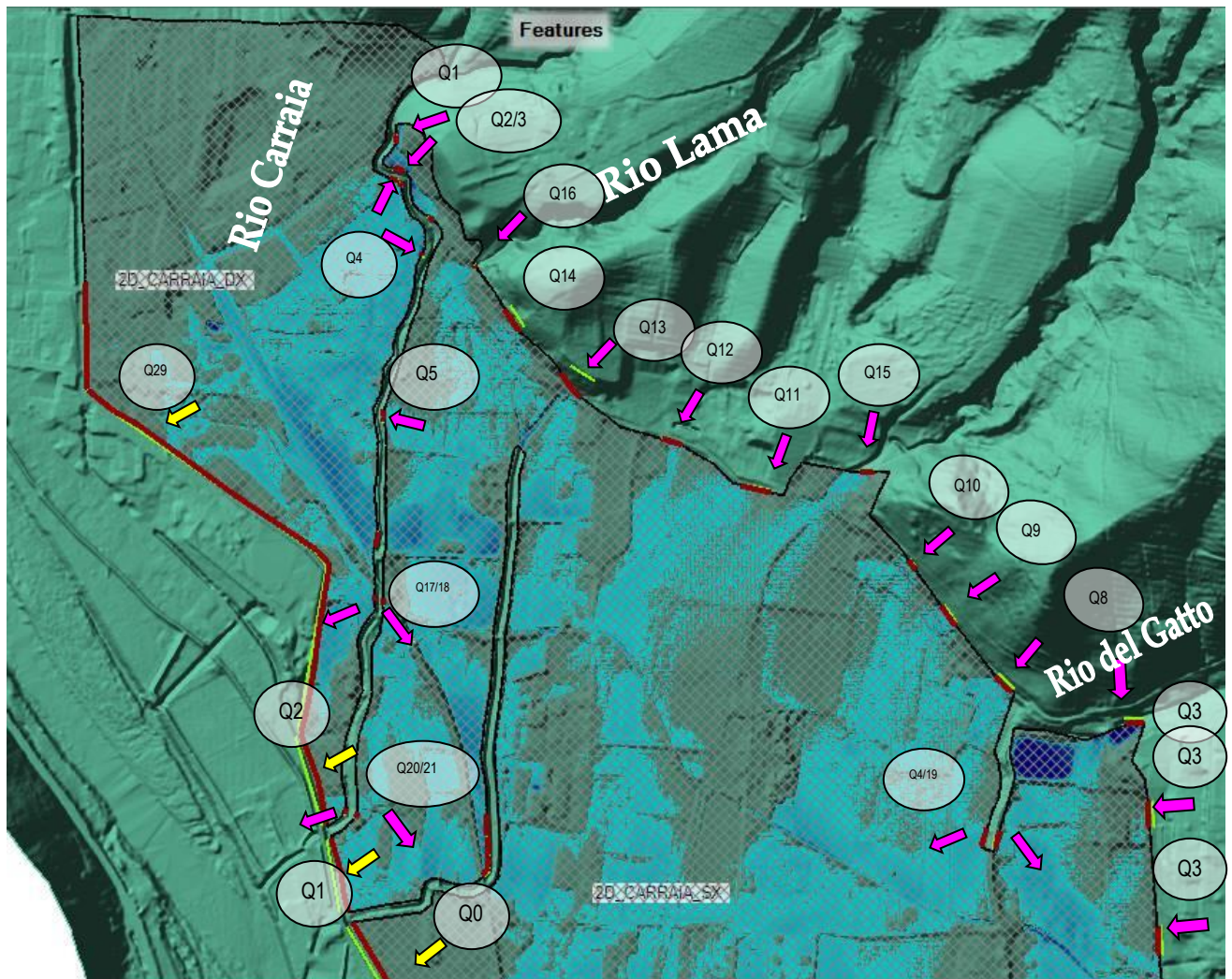
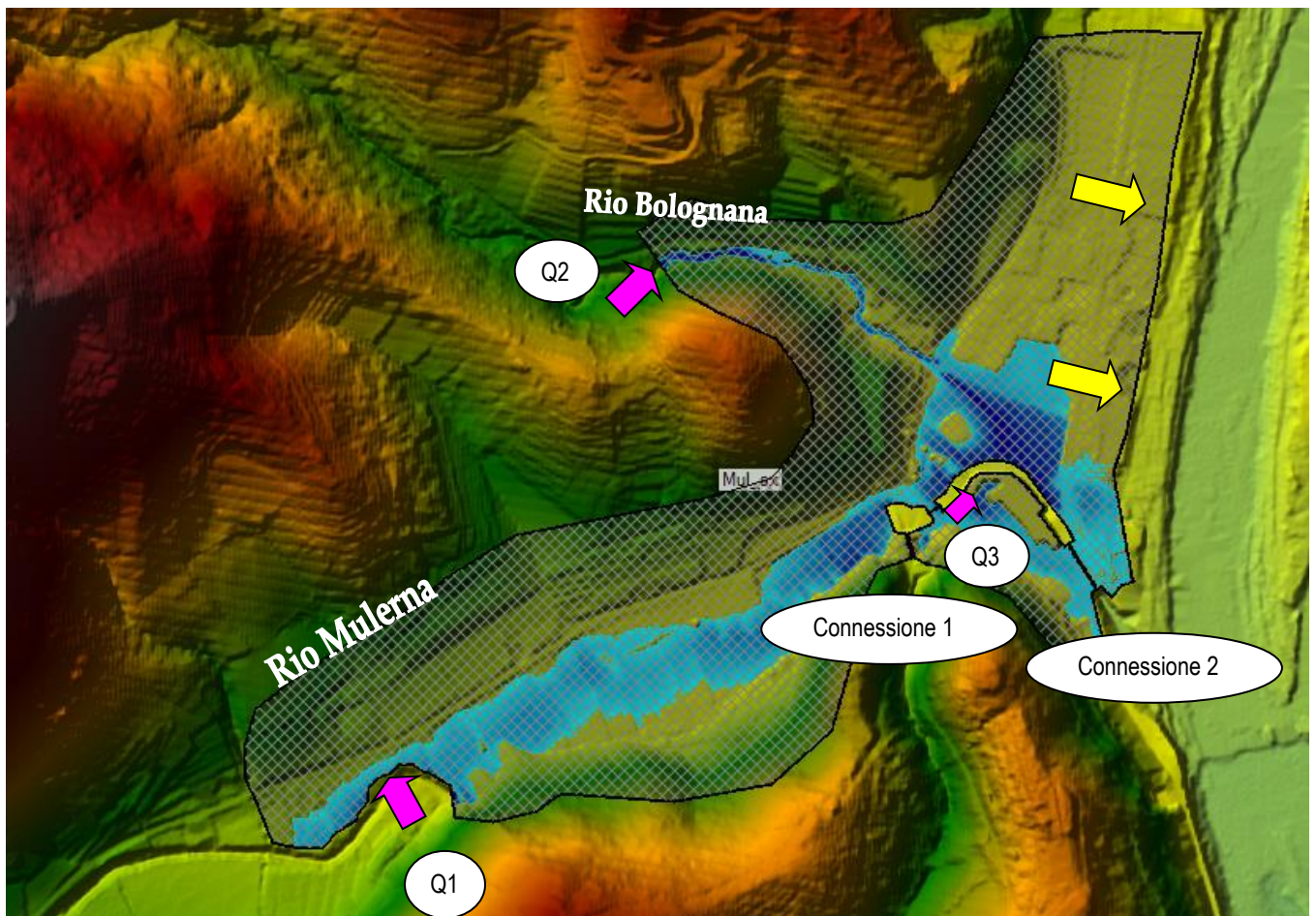


Figura 4.18 - Esondazione del sistema di Ponte a Moriano con $Tr = 200$.

4.3.3.3 Rio Mulerna

Il rio Mulerna è stato modellato nella parte a monte già oggetto di analisi da parte dello scrivente con modellazione 2D eseguita con altro codice di calcolo. Nella presente modellazione sono stati eseguiti approfondimenti al fine di tenere conto in modo esplicito delle aree di possibile inondazione oltre che del rio Mulerna anche del suo affluente in sinistra (il rio Bolognana) nel tratto terminale; inoltre, rispetto alle precedenti modellazioni, si è migliorato il dato lidar del terreno estrudendo i corpi dei fabbricati che si trovano in destra idraulica, e che costituiscono di fatto la sponda del corso d'acqua a valle della strada comunale nel tratto finale del rio Mulerna. Per la modellazione degli allagamenti sono stati utilizzati due modelli diversi.

I punti di esondazione del rio Mulerna sono stati indicati nei paragrafi precedenti della relazione, mentre per il rio Bolognana è stata inserita l'onda direttamente nel modello 2D. Più in dettaglio, i punti di esondazione, in analogia con quanto detto per i sistemi descritti in precedenza, sono riportati nello schema successivo, valido per Tr 200 anni 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); si evince, come descritto sopra, la presenza di due aree bidimensionali, delle due connessioni tra le aree e la presenza di due uscite in sinistra idraulica e un rientro sempre in sinistra idraulica.



Le dinamiche per tempo di ritorno duecentennale, qui riportate a livello esemplificativo, mostrano un'esondazione nella parte alta del tratto analizzato. Da qui si ha un allagamento pressoché generalizzato delle aree in sinistra e destra lungo la valle con battenti sostanzialmente sempre inferiori al metro. Da circa 60 m a monte del viadotto (che passa molto alto e non dà nessuna influenza), ma anche a valle della variante di Ponte a Moriano principalmente in sinistra, si

hanno aree allagate con battenti fino a circa 1,5 m a monte del viadotto e prossimi a 2 m nel tratto a valle e più prossimo al corso d'acqua, nonostante la presenza dei rientri e delle connessioni tra l'area in sinistra e destra. In particolare, in conseguenza delle connessioni dietro al fabbricato estruso in destra idraulica si riscontrano battenti fino a circa 1,5 m.

2. Il secondo modello per la simulazione della portata con Tr 30 anni è stato individuato costruendo una “flow area” in sinistra. Per considerare che nell'evento di piena le aree allagate passano dalla sinistra alla destra in più zone lungo il percorso, a monte del viadotto della variante di Ponte a Moriano, è stato modificato il lidar, anche in questo caso “coprendo” l'alveo del rio Mulerna in modo da consentire alle aree allagate da un lato di poter passare sulla sponda opposta. Questa considerazione è fondata sul fatto che in tale situazione l'alveo del rio Mulerna è sostanzialmente pieno di acqua. Sono inoltre stati inseriti un rientro nel rio Mulerna in sinistra a monte della strada comunale e altro rientro è stato inserito a valle della confluenza del Bolognana in sinistra.

Di seguito si riporta l'estratto della carta di esondazione trentennale per la cui consultazione si rimanda agli appositi elaborati. Nella mappa sono indicati anche i punti di ingresso (freccette viola) e i punti di uscita dal modello (freccette gialle).

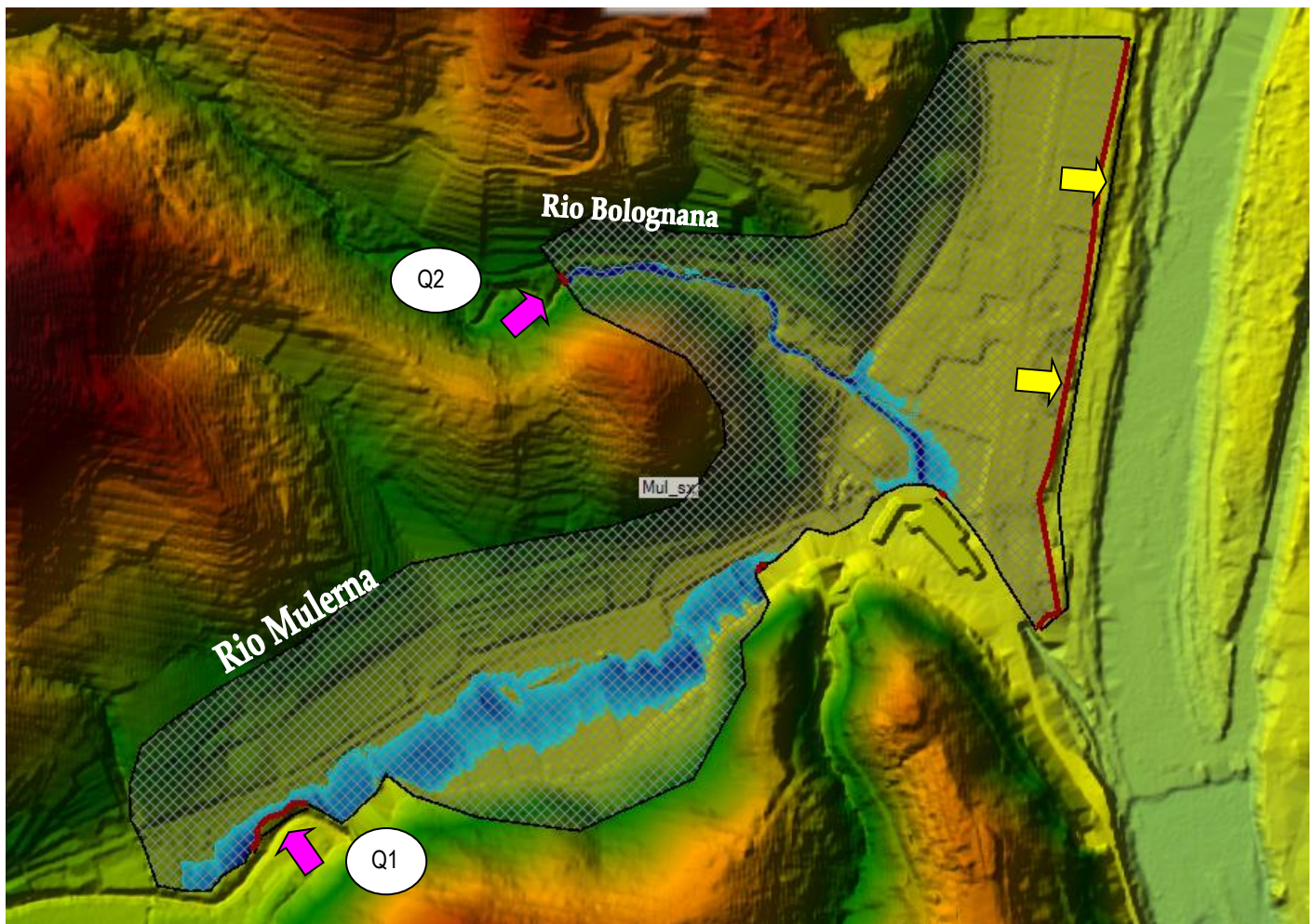


Figura 4.20 - Esondazione rio Mulerna con Tr = 30.

Le dinamiche trentennali mostrano un'esondazione nella parte alta del tratto analizzato. Da qui si ha un allagamento pressoché generalizzato delle aree in sinistra e destra lungo la valle con battenti sostanzialmente sempre inferiori al metro. Anche a valle del viadotto della variante di Ponte a Moriano in sinistra si hanno aree allagate con battenti sempre inferiori al metro ovviamente con l'esclusione dell'alveo inciso.

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 aggiornate le seguenti carte:

- carta dei battenti (elaborato QG12, per Tr 30 anni; elaborato QG 13 per Tr 200 anni);
- carta delle velocità (elaborato QG12a, per Tr 30 anni; elaborato QG 13a per Tr 200 anni);
- carta della magnitudo (elaborato QG 15a).

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:

$$1 * ((v200@1=0) * (h_200@1 < 0.3) + (v200@1 < 1) * (v200@1 > 0) * (h_200@1 < 0.5)) +$$

$$+ 2 * ((v200@1=0) * (h_200@1 > 0.3) * (h_200@1 <= 0.5) + (v200@1 > 1) * (h_200@1 < 0.5) + (v200@1 <= 1) *$$

$$(v200@1 > 0) * (h_200@1 > 0.5) * (h_200@1 <= 1)) +$$

$$+ 3 * ((v200@1=0) * (h_200@1 > 0.5) + (v200@1 > 1) * (h_200@1 <= 1) * (h_200@1 > 0.5) + (v200@1 <= 1) *$$

$$(v200@1 > 0) * (h_200@1 > 1) + (v200@1 > 1) * (h_200@1 > 1))$$

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