



COMUNE DI BUTI
(PROVINCIA DI PISA)

STUDIO IDRAULICO A SUPPORTO DI DUE VARIANTI
IN LOCALITA' LA TURA - CASCINE DI BUTI
COMUNE DI BUTI (PI)

STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO

REL
A

Relazione idrologico idraulica

Data emissione:
Maggio 2019

CODICE
ELABORATO

Anno	Commessa	Progetto	Tipologia	Elaborato n°
2019	005	S.I.	REL	A

LIVELLO	Numero	Data	Stesura	Controllo	Approvazione
Prima emissione	01	11/02/2019	FB	PB	PB
Seconda emissione	02	14/05/2019	FB	PB	PB

Analisi idrauliche

INGEO

Studio *INGEO*
Ingegneri e Geologi Associati
Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca
Telefono: 0583 - 48682
Telefax: 0583 - 464539
E-mail: ingegneri@ingeo.it

Il Progettista
dott. ing. Paolo Barsotti

1	PREMESSA	2
1.1	Generalità ed inquadramento.....	2
1.2	Quadro normativo.....	4
2	ANALISI IDROLOGICA DEI FOSSI RIO MAGNO E RIO SAN MARTINO.....	6
2.1	Generalità	6
2.2	Pluviometria.....	6
2.3	Parametrizzazione idrologica dei bacini.....	9
2.3.1	<i>Determinazione del bacino e suddivisione in sottobacini</i>	<i>9</i>
2.3.2	<i>Parametrizzazione geomorfologica del bacino</i>	<i>9</i>
2.3.2.1	<i>Parametri geo-morfologici</i>	<i>10</i>
2.3.2.2	<i>Parametro CN</i>	<i>10</i>
2.3.2.3	<i>Parametri tempo</i>	<i>12</i>
2.3.2.4	<i>Parametro perdite iniziali</i>	<i>13</i>
2.4	Modellazione idrologica del bacino	14
2.5	Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idrologica.....	15
3	STUDIO IDRAULICO MONODIMENSIONALE DEL RIO MAGNO E DEL VALLINO DI SAN MARTINO.....	16
3.1	Generalità	16
3.2	Descrizione del codice di calcolo e dei parametri della modellazione	16
3.3	Risultati dell’analisi idraulica sul corso d’acqua	16
3.4	Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idraulica monodimensionale.....	21
4	MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE	22
4.1	Generalità e descrizione del modello.....	22
4.1.1	<i>Descrizione del codice di calcolo e delle simulazioni effettuate</i>	<i>22</i>
4.1.2	<i>Basi matematiche del modello di calcolo.....</i>	<i>22</i>
4.2	Elementi di input della modellazione.....	23
4.2.1	<i>Morfologia del piano di campagna.....</i>	<i>23</i>
4.2.2	<i>Condizioni al contorno.....</i>	<i>25</i>
4.3	Descrizione delle simulazioni	26
4.4	Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idraulica bidimensionale	29
5	VALUTAZIONI RELATIVE AL RETICOLO IDRAULICO MINORE	30
6	VALUTAZIONI SUL CANALE EMISSARIO.....	34
7	ALTRE CONSIDERAZIONI GENERALI SULL’AREA IN ESAME	37
8	CARTE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA PROPOSTE	39
9	IPOTESI DI INTERVENTI PER LA SOLUZIONE DELLE CRITICITÀ IDRAULICHE	40

1 PREMESSA

1.1 Generalità ed inquadramento

Su incarico del Comune di Buti, lo scrivente dott. ing. Paolo Barsotti, iscritto all'ordine degli Ingegneri della Provincia di Lucca al numero A959, redige il presente "Studio idraulico a supporto di due varianti in località La Tura – Cascine di Buti".

La finalità dello studio idraulico è quella di caratterizzare la pericolosità idraulica in relazione alle varianti indicate approfondendo il quadro conoscitivo in essere per la zona in esame. Infatti, il mutato contesto normativo, con particolare riferimento alla Legge Regionale 41/2018 e la differenza di approcci modellistici (sia in termini di dati di base, sia in termini di software per le simulazioni) rendono possibile l'aggiornamento delle valutazioni idrauliche sull'area in esame. La carta di pericolosità vigente, inoltre, è evidentemente afflitta da anomalie significative soprattutto per quanto riguarda la pericolosità che origina dal Rio San Martino, che peraltro risulta l'unica fonte di pericolosità molto elevata. In primo luogo le fasce di pericolosità individuate hanno contorni spigolosi che mal si sposano con le dinamiche idrauliche verosimilmente riscontrabili. In secondo luogo, lo studio non è supportato da carte con indicazione del battente idraulico, almeno a livello di piano urbanistico. I risultati del presente studio, oltre ad aggiornare tali documenti, potranno essere utilizzati con finalità urbanistiche, determinando le aree a pericolosità idraulica e la "magnitudo idraulica", andando a colmare una lacuna estremamente penalizzante per gli stakeholders delle aree relative alle varianti. Si fa presente sin d'ora che l'area in questione sembrerebbe oltretutto in condizioni orografiche ed idrauliche migliori rispetto ad una zona adiacente recentemente urbanizzata (tra il 1990 e il 2010). Infine, lo studio ha caratteristiche tali da poter supportare le indagini geologiche per eventuali altri piani relativi ad aree poste in adiacenza a quella in esame. Le denominazioni delle varianti al RU supportate dal presente studio sono:

- Variante relativa all'area di espansione produttiva Db
- Variante relativa alla riconferma ed ampliamento dell'area sportiva di Cascine di Buti

Il contesto idraulico locale che interferisce con le aree oggetto di variante è caratterizzato da un impluvio principale, sul cui fondo valle fluisce, da ovest verso est, il Rio Magno; il fosso di San Martino si configura come un affluente sinistro estremamente meno significativo rispetto all'effluente. Il compluvio termina in una piana più estesa caratterizzata dalla presenza del cosiddetto "Canale Emissario", un corso d'acqua a supporto dei fenomeni di piena che interessano la zona del Padule del Bientina e confluisce a sua volta nel Fiume Arno con un ingresso regolato da organi idraulici. Come si vedrà nel seguito della presente relazione, le aree in esame si collocano in destra idraulica del Canale Emissario, occupando un comparto con limiti ben precisi: via della Tura a nord e la ss 438 a sud. Il contesto idraulico è completato da una serie di mere scoline che, nonostante l'irrelevanza idraulica rispetto ai succitati corsi d'acqua, sono tuttavia comprese all'interno del reticolo idraulico significativo dell'area in esame di cui alla Legge Regionale 79/2012. In sintesi, i corsi d'acqua significativi più prossimi alle aree in esame risultano il Rio San Martino, il Rio Magno e il Canale Emissario.

Il Rio Magno, a monte di via Bernardini, peraltro, è già stato oggetto di studi idraulici che hanno mostrato come tale corso d'acqua possa essere interessato da esondazioni non diffuse e comunque limitate dai rilevati dell'argine destro del Rio San Martino ("Studio idrologico ed idraulico del Rio Magno per variante semplificata al Regolamento Urbanistico del Comune di Buti" - ing. Taccini - Novembre 2016). In sostanza le esondazioni di monte si fermano a monte e non influiscono sull'area oggetto dell'approfondimento della presente relazione.

Nella presente relazione saranno approfonditi gli studi idraulici relativi al Rio Magno e al Vallino di San Martino, mentre per quanto riguarda il Canale Emissario saranno mutuati i dati desunti da altri studi realizzati ed approvati nell'ambito di altri studi urbanistici di altri comuni limitrofi. In aggiunta saranno forniti altri elementi estremamente significativi per la valutazione della pericolosità del sito oggetto della presente piano, sia in termini di valutazioni morfologiche, sia in termini di carattere storico inventariale.

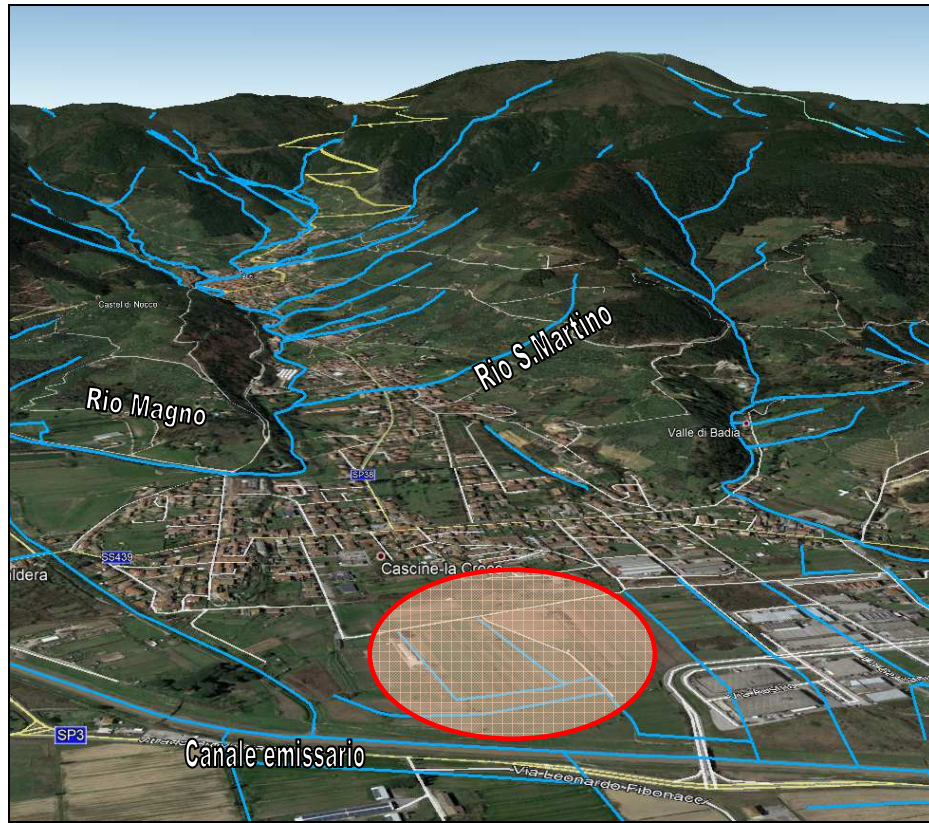


Figura 1.1 – Reticolo idrografico dell'area in esame

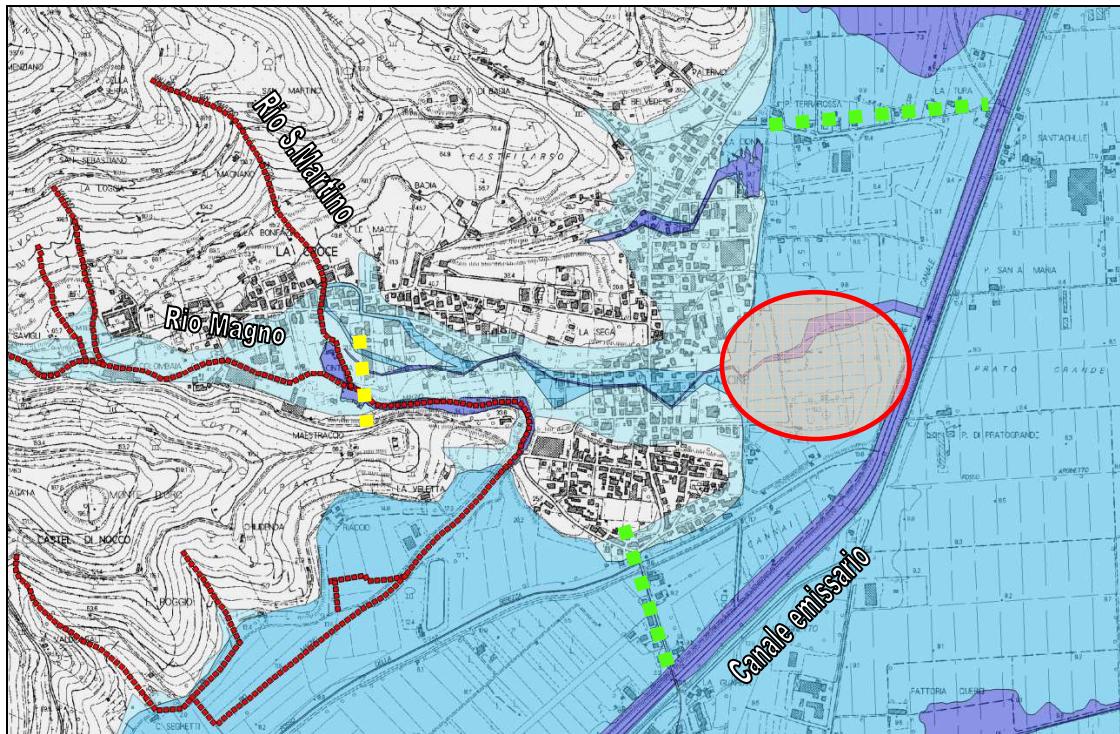


Figura 1.2 – Carte di pericolosità idraulica del Distretto di Bacino: si nota come il perimetro delle aree a pericolosità non corrisponda a verosimili andamenti di flussi esondativi. In giallo il limite dello studio dell'ing. Taccini che ha analizzato la parte a monte del Rio Magno. In verde i limiti del comparto idraulico di cui fa parte l'area in esame

Il presente studio si articola pertanto come segue:

- Analisi del Rio Magno e del Rio San Martino a valle di Via Bernardini, a sua volta suddiviso in analisi idrologica (paragrafo 2), analisi idraulica monodimensionale (paragrafo 3) e analisi idraulica bidimensionale (paragrafo 4);
- Valutazione della rilevanza idraulica dei corsi d'acqua minori presenti nella piana in cui scorre il Canale Emissario (paragrafo 5);
- Valutazione degli studi già realizzati sul Canale Emissario (paragrafo 6).

1.2 Quadro normativo

A livello normativo, i principali strumenti per la caratterizzazione della pericolosità idraulica del territorio sono le seguenti:

- **Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto dell'Appennino Settentrionale**, il quale ha raccolto i dati della pericolosità idraulica indicati all'interno del PAI del Bacino di Rilievo Regionale Toscana Costa e approvato con Consiglio Regionale n. 13 del 25 gennaio 2005;
- **Il Regolamento Regionale Toscano 53R/2011** - Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche

Le suddette normative citano i fenomeni trentennali e duecentennali come quelli di riferimento per la definizione della pericolosità idraulica. Si riportano gli estratti che riguardano tali aspetti:

- PGRA - Estratto dell'Art. 6

“- pericolosità da alluvione elevata (P3), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno

minore/uguale a 30 anni;

- pericolosità da alluvione media (P2), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore uguale a 200 anni;”

- Regolamento Regionale 53/R 2011 – Estratto dell’Allegato A

“Pericolosità idraulica molto elevata (I.4): aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$ anni.

Pericolosità idraulica elevata (I.3) aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < TR < 200$ anni.”

Si nota come in entrambi i casi siano da considerarsi come spartiacque tra un grado di pericolosità e l’altro gli eventi aventi tempo di ritorno 30 e 200 anni.

2 ANALISI IDROLOGICA DEI FOSSI RIO MAGNO E RIO SAN MARTINO

2.1 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 idraulico in esame è costituito dal Rio Magno e dal Rio di San Martino. I due bacini saranno studiati autonomamente, sebbene uno sia un sottobacino dell'altro.

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 2.2);
- **Caratterizzazione dei bacini attraverso i parametri idrologici** necessari alla modellazione idrologica vera e propria (paragrafo 2.3);
- **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 2.4);

2.2 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), che, 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 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.

Per la Regione Toscana, la valutazione dei parametri può essere fatta con riferimento all' "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme" (Enrica Caporali, Valentina Chiarello, Giuseppe Rossi) prodotta 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 è una carta a copertura regionale che individua un reticolo per ogni cella del quale si definiscono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno. Si analizzano dunque le celle intersecate dai bacini del sistema in esame e si mettono a valutare le curve di possibilità pluviometrica ad esse relative, per i tempi di ritorno di interesse tecnico: da questa analisi delle curve si assume la curva involuppo dei massimi di pioggia come riferimento per i successivi calcoli idraulici.

Di seguito si riportano i grafici delle CPP analizzate da cui si deduce la curva involuppo utilizzata per i tempi di ritorno analizzati.

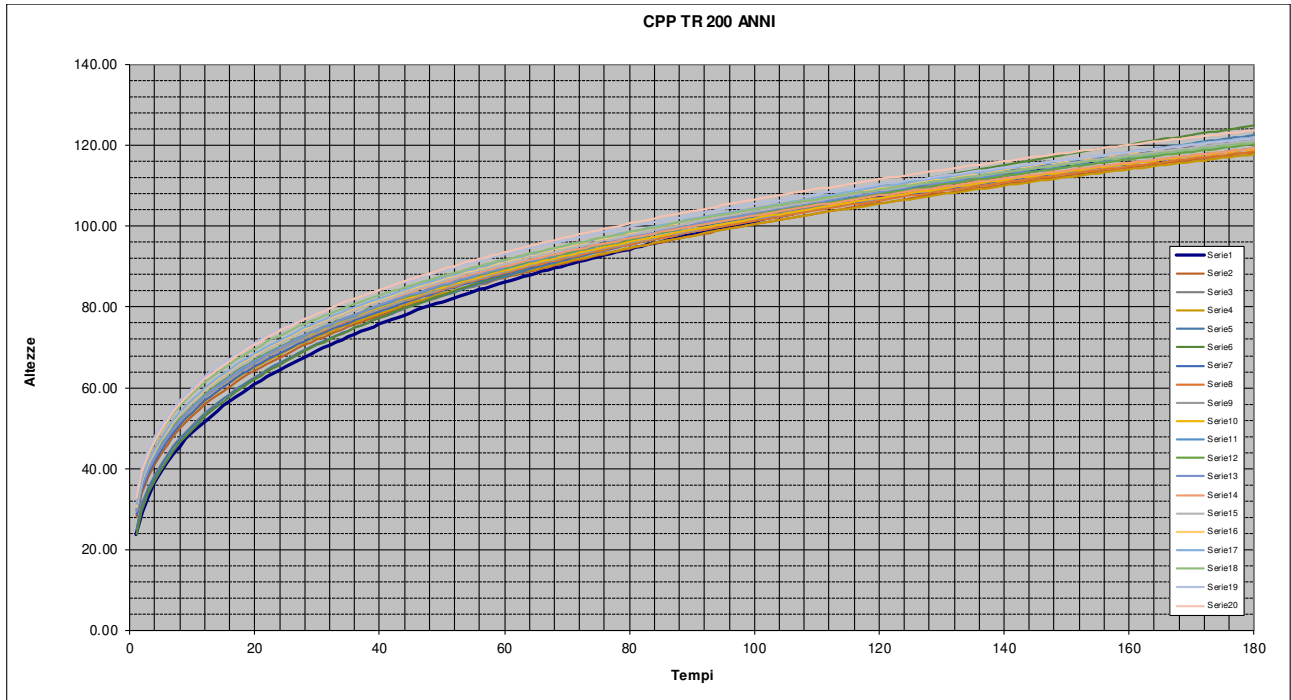


Figura 2.1 – Curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno 200 anni

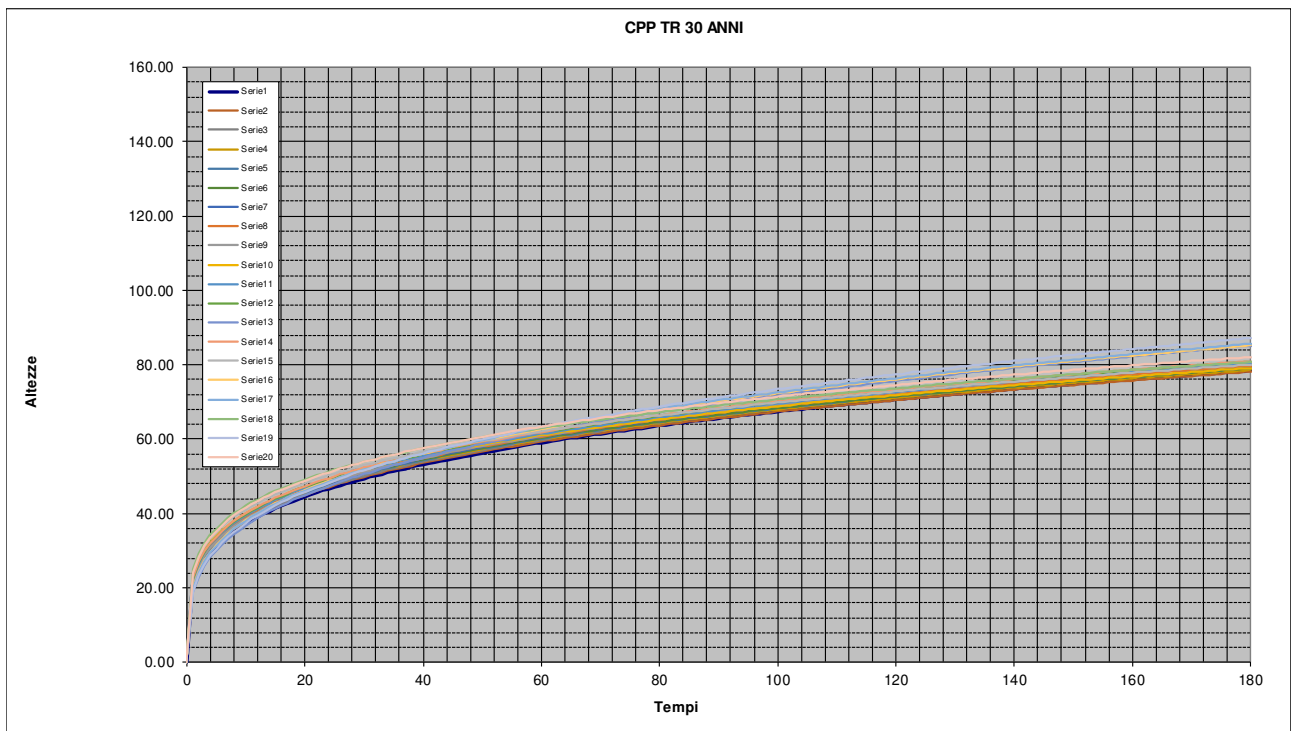


Figura 2.2 – Curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno 30 anni

Tempo di ritorno 200 anni			Tempo di ritorno 30 anni		
	a	n		a	n
Curva 1	86.123	0.31637	Curva 1	59.07	0.25815
Curva 2	87.175	0.27765	Curva 2	59.295	0.25054
Curva 3	87.411	0.30312	Curva 3	59.772	0.25444
Curva 4	87.509	0.27002	Curva 4	59.939	0.24634
Curva 5	87.546	0.3063	Curva 5	60.118	0.2496
Curva 6	87.994	0.31821	Curva 6	60.324	0.24538
Curva 7	88.214	0.27392	Curva 7	60.636	0.25097
Curva 8	88.459	0.26584	Curva 8	60.729	0.24785
Curva 9	88.724	0.26909	Curva 9	60.865	0.25322
Curva 10	89.029	0.26486	Curva 10	61.055	0.23548
Curva 11	89.489	0.27046	Curva 11	61.383	0.24569
Curva 12	89.625	0.26733	Curva 12	61.771	0.24495
Curva 13	89.826	0.27271	Curva 13	61.888	0.2907
Curva 14	90.105	0.25496	Curva 14	61.947	0.24344
Curva 15	90.589	0.26519	Curva 15	62.117	0.23057
Curva 16	91.163	0.26444	Curva 16	62.813	0.27745
Curva 17	91.423	0.26293	Curva 17	62.91	0.28064
Curva 18	91.674	0.25007	Curva 18	63.027	0.22547
Curva 19	93.017	0.24496	Curva 19	63.233	0.29252
Curva 20	93.518	0.25486	Curva 20	63.367	0.23538

Figura 2.3 - Coefficienti delle curve di pioggia analizzati

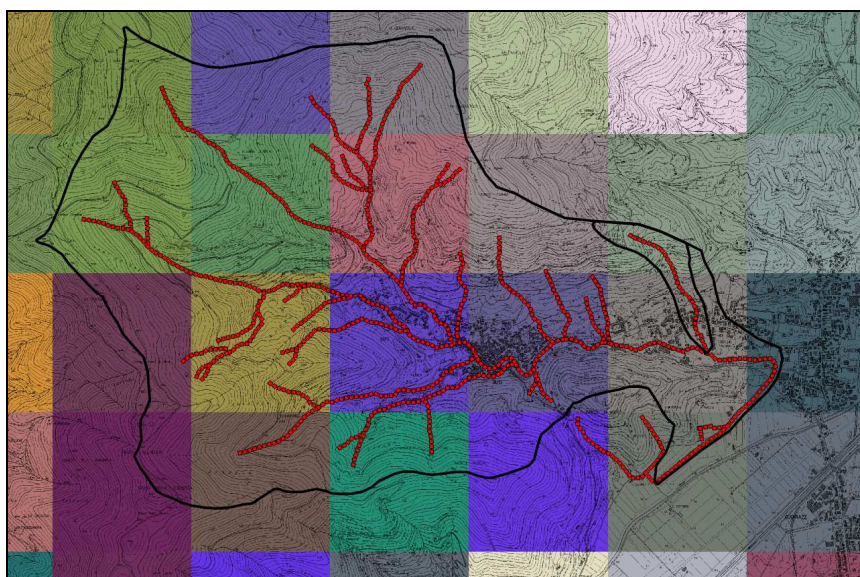


Figura 2.4 – Planimetria di bacino in riferimento alle celle dello studio delle piogge dell'Università di Firenze

Inoltre, per i problemi relativi alle costruzioni idrauliche occorre riferirsi a curve di possibilità pluviometrica valide per superfici di una certa estensione che sono desumibili da quelle sopra riportate mediante il coefficiente di ragguaglio all'area. Infatti, attraverso il prodotto del coefficiente di ragguaglio ψ , si ottiene una riduzione dei valori di pioggia, sopra stimati. Esistono varie metodologie per la valutazione del suddetto coefficiente: nel caso in esame il ragguaglio all'area produrrebbe una riduzione degli afflussi meteorici, rispetto alle CPP non depurate, di alcune unità percentuali. Tuttavia, a favore di sicurezza, nelle modellazioni idrologiche si utilizza la CPP non ragguagliata.

2.3 Parametrizzazione idrologica dei bacini

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

2.3.1 Determinazione del bacino e suddivisione in sottobacini

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

Nel caso del Rio Magno e del Fosso di San Martino, l'individuazione delle aree scolanti del bacino, riportata all'interno dell'apposito elaborato grafico (TAV A), è stata dettata dalla definizione del reticolo idraulico così come individuato dalla Regione Toscana nell'ambito della Legge Regionale 79/2012 con cui è stato definito il reticolo idraulico ed il reticolo di gestione. Pur essendo il Rio San Martino un sottobacino del Rio Magno, i bacini sono stati studiati in modo del tutto indipendente, come se fossero autonomi. Inoltre, a favore di sicurezza, la portata calcolata per la sezione di chiusura dei bacini in esame è attribuita alla sezione più a monte dei corsi d'acqua analizzati, con notevole margine di sicurezza soprattutto per quanto riguarda il Rio Magno, visto che il tratto analizzato si estende per oltre 1 km.

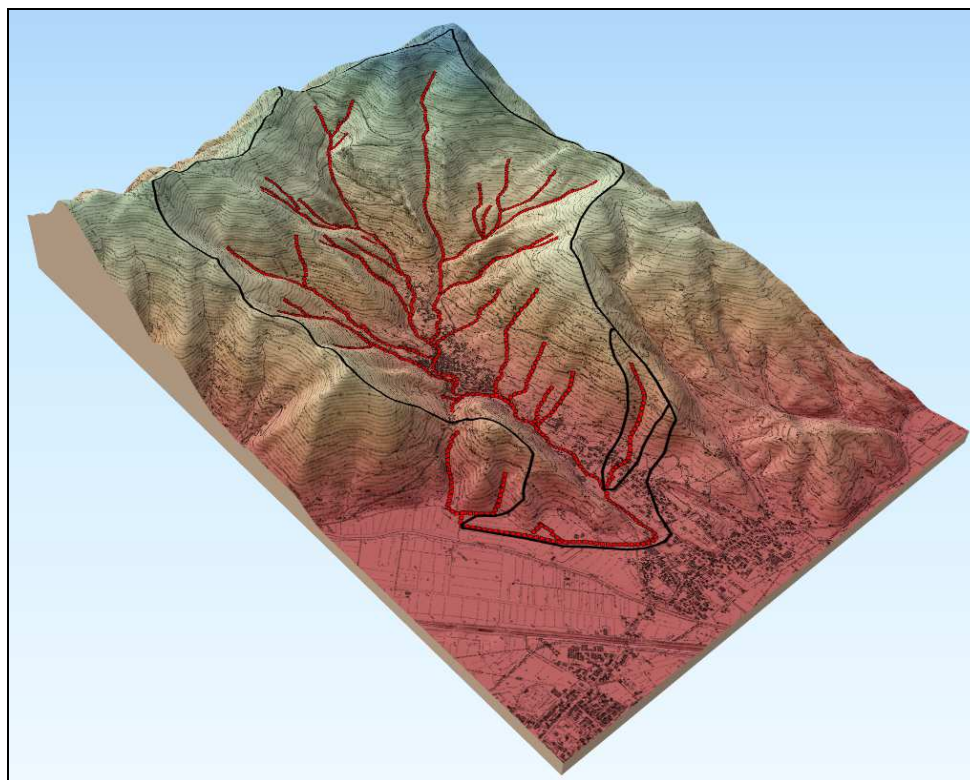


Figura 2.5 – Restituzione grafica del DTM ricavato dalle curve della carta tecnica regionale

2.3.2 Parametrizzazione geomorfologica del bacino

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

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

2.3.2.1 Parametri geo-morfologici

Le grandezze morfologiche dei bacini (area di bacino, lunghezza dei percorsi, quote e conseguentemente la curva ipsografica da cui si ricava H_{med} , pendenze) sono determinate sulla base della carta tecnica regionale e del modello digitale del terreno (DTM) da esso derivato. Si fa presente che per la determinazione della morfologia del bacino non è stato utilizzato il LIDAR in quanto le grandezze sopra indicate si configurano come “macro-parametri” di bacino mentre il LIDAR, in virtù della sua accuratezza, rilevando anche le micro strutture presenti sul bacino, fornirebbe un'indicazione ingannevole di tali valori: ad esempio, il riferirsi al LIDAR implicherebbe che nella valutazione della pendenza fossero valutati anche le scarpate dei manufatti stradali, che sicuramente non sono significativi al fine del calcolo dei sopra citati “macro-parametri”. Oltretutto il LIDAR non è presente su tutta l'area scolante dei bacini analizzati.

2.3.2.2 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 litologia, uso del suolo e condizioni di umidità del terreno al momento dell'evento simulato. In generale 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 rispetto a quella che non partecipa alla formazione della piena per le cosiddette perdite di bacino (infiltrazione, intercezione, ecc.). La determinazione del CN è stata valutata in riferimento ad una cartografia pubblicata dalla Regione Toscana (vedasi la pubblicazione “Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC Addendum: Parametrizzazione HMS” prodotto nell'ambito dell'accordo di

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”

collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria civile ambientale dell'Università degli studi di Firenze per attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana – Fabio Castelli – Novembre 2014).

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

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 2.1 - Classificazione litologica dei suoli secondo il Soil Conservtion Service)

La disposizione dei gruppi litologici presenti nei bacini è riportata nell'apposito elaborato grafico (TAV A - Carte idrologiche). Allo stesso modo, la carta dell'uso del suolo è stata desunta dai dati della Regione Toscana: anche in questo caso si rimanda all'elaborato grafico.

Il risultato dell'incrocio dei dati di uso del suolo e di permeabilità si concretizza nella carta del parametro CN, riportata nell'immagine seguente.

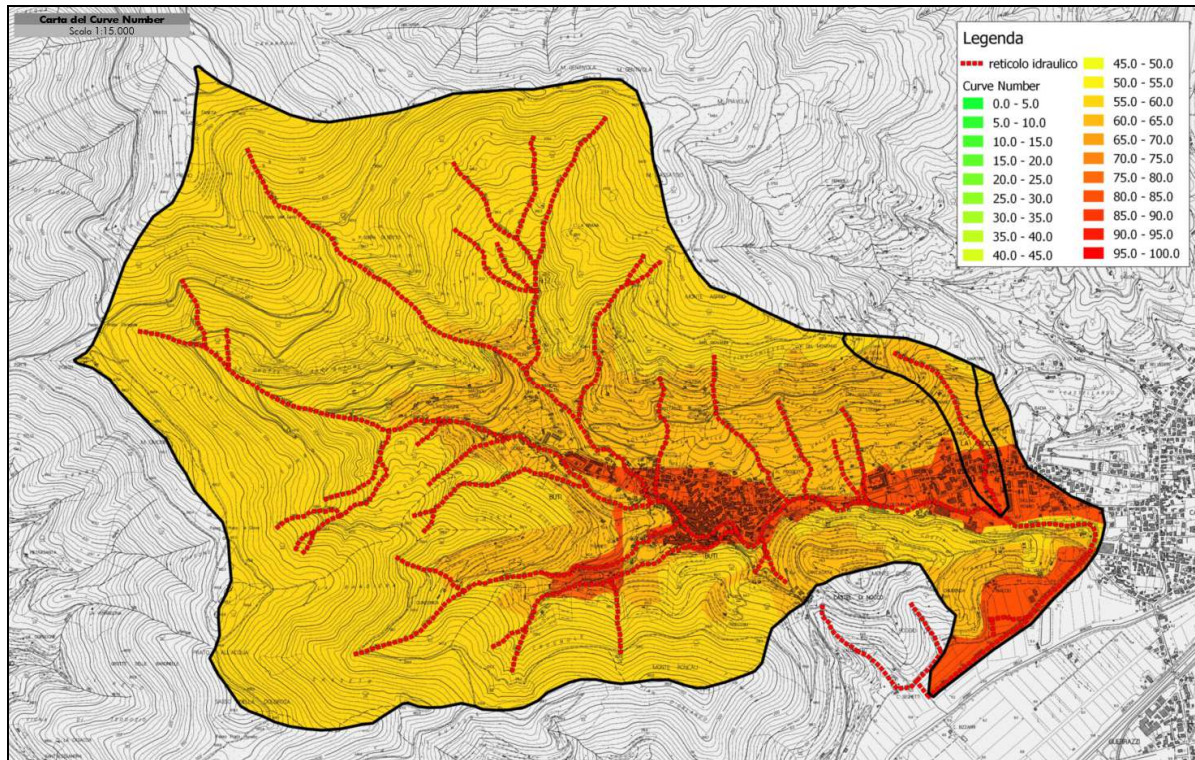


Figura 2.6 – Carta del CN. I colori rossi indicano un coefficiente CN più alto, i colori con tonalità verde sono associati a valori del CN più bassi

Il coefficiente CN dipende anche dalle condizioni di umidità del suolo ipotizzate, descritte dalla condizione AMC (Antecedent Moisture Condition): tale parametro considera la precipitazione caduta nei 5 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. La carta precedente si riferisce al valore del CN in classe AMC II. Tuttavia, per le simulazioni idrologiche si ritiene prudentiale la simulazione della condizione **AMC III**.

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 2.2– Coefficiente AMC in relazione all'altezza totale di pioggia (in mm) caduta nei 5 giorni precedenti

Il passaggio da un CN che si riferisce alla condizione AMC II (sinteticamente indicato con CN_{II}) a un parametro CN_{III} avviene secondo la formula

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

Poiché le caratteristiche di uso del suolo e di permeabilità dell'area sono disuniformi, le aree di ogni sottobacino sono state suddivise in modo da determinare zone del territorio con caratteristiche omogenee sia dal punto di vista dell'uso del suolo che per quanto riguarda la 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:

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

In allegato (ALL A) è riportata la tabella tramite cui si può risalire al calcolo della formula sopra riportata.

2.3.2.3 Parametri tempo

Per quanto riguarda infine i parametri "tempi" associati ai sottobacini analizzati, come riportato all'interno dell'allegato idrologico, sono stati valutati in diversi modi e in particolare con riferimento alle formule di Tournon e dell'SCS. Si è scelto di utilizzare i tempi di corrivazione (che corrispondono ai tempi di concentrazione) stimati con la formula di Tournon che fornisce valori medi rispetto a tutti i metodi impiegati (SCS, FAA, Giandotti, Kirpich, ecc). Le formule di Tournon e dell'SCS hanno le seguenti equazioni:

$$\bullet \quad t_c = 0.396 \cdot \frac{L}{\sqrt{S}} \left[\frac{A_b}{L^2} \cdot \sqrt{S / S_v} \right]^{0.72} \quad \text{Tempo di corrivazione secondo Tournon}$$

in cui

- L è la lunghezza dell'asta principale in km
- S è la pendenza media dell'alveo
- A_b è l'area del bacino in km²

d. S_v è la pendenza media dei versanti

$$\bullet \quad t_c = \frac{100 \cdot L^{0.8} \cdot [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot S^{0.5}} \quad \text{Tempo di concentrazione secondo l'SCS}$$

dove:

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

Si noti che il tempo di concentrazione coincide con il tempo di corrivazione. Nel caso di idrogramma unitario valutato con il metodo del CN, il tempo di ritardo ha valore pari a $0.6 T_c$.

Si fa infine presente che la formula di Kirpich per il caso in esame (sia per quanto riguarda il bacino del fosso San Martino che per quanto riguarda il Rio Magno) ha fornito risultati non realistici a giudizio dello scrivente, pur essendo le superfici compatibili con il range di applicazione della formula.

2.3.2.4 Parametro perdite iniziali

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

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

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

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

dove:

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

L'assorbimento iniziale I_L , stanti le caratteristiche geologiche e la presenza di diversi terreni agricoli, è stato assunto pari a $0.2 S$ per tutti i sottobacini, come suggerito da diversi autori²; S è l'assorbimento potenziale massimo sopra menzionato.

Le tabelle con i parametri idrologici di bacino sono riportate nell'allegato ALL A.

² cfr. V.T. Chaw - D.R. Maidment - L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Edition, 1988. In letteratura si consiglia di limitare le perdite iniziali tra 0.1 e 0.4S.

2.4 Modellazione idrologica del bacino

La modellazione idrologica vera e propria consiste nella trasformazione degli afflussi meteorici, quantificati secondo le indicazioni precedenti, in deflussi, ovvero in portate defluenti attraverso le sezioni di chiusura. Il processo descritto avviene attraverso modelli matematici, per l'appunto chiamati "trasformazione afflussi- deflussi", basati su algoritmi di calcolo che utilizzano i parametri geo-morfologici dei bacini in precedenza definiti. 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, il sistema è stato modellato secondo l'idrogramma unitario dell'SCS., ampiamente descritto in letteratura: trattasi di un idrogramma unitario standard basato sui seguenti parametri geomorfologici:

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

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

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

La modellazione avviene secondo lo schema di seguito riportato:

- Determinazione dello idrogramma delle piogge totali per diverse durate di pioggia con tempo di ritorno a partire dalle curve di possibilità pluviometrica. Immissione in HMS dei valori ottenuti per le precipitazioni (precipitation gage); è stata presa in considerazione, in termini cautelativi, una distribuzione triangolare della precipitazione;
- 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 (come estensione, CN, Lag time e I_L , ecc ecc), la cui determinazione è descritta ampiamente nei paragrafi precedenti. Nel caso in esame sono implementati due modelli: uno che si riferisce al metodo dell'SCS, l'altro all'idrogramma unitario aree – tempi.
- Immissione dei dati relativi al componente Meteorologic Model (interazione fra modello di bacino e modello meteorologico definito in funzione delle diverse durate degli eventi);
- Immissione dei dati relativi al 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.

Sono stati simulati gli eventi di pioggia di durata variabile da 15' a 3 ore per i tempi di ritorno analizzati. 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 l'elemento in questione.

I risultati dei modelli idrologici sono di seguito riportati

SIMULAZIONI CON TR 200 ANNI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
Sottobacino 1 RIO MAGNO	53.70	72.78	85.53	94.80	101.66	106.43	109.64	111.50	112.30	112.34	112.39	112.21	112.39
Sottobacino 2 RIO SAN MARTINO	5.42	6.44	6.38	6.02	5.63	5.26	4.94	4.64	4.39	4.16	4.20	3.82	6.44
SIMULAZIONI CON TR 30 ANNI													
	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	MAX
Sottobacino 1 RIO MAGNO	26.65	36.90	43.79	48.97	53.77	57.63	60.61	62.72	64.10	65.00	65.50	65.51	65.51
Sottobacino 2 RIO SAN MARTINO	2.76	3.39	3.43	3.27	3.13	2.98	2.85	2.72	2.59	2.49	2.39	2.30	3.43

Figura 2.7 – Risultati delle simulazioni idrologiche

2.5 Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idrologica

Si sottolineano le principali approssimazioni seguite a favore di sicurezza:

- Valutazione delle piogge sulla base dell'involuppo delle possibili CPP per il bacino in esame;
- Valutazione del coefficiente di ragguaglio pari all'unità;
- Valutazione prudenziale delle condizioni di umidità precedente (AMC in classe III);
- Uso di ietogrammi di forma triangolare.

3 STUDIO IDRAULICO MONODIMENSIONALE DEL RIO MAGNO E DEL VALLINO DI SAN MARTINO

3.1 Generalità

Le simulazioni idrauliche monodimensionali hanno la finalità di determinare l'eventuale presenza di punti di crisi sui corsi d'acqua analizzati, ovvero la portata limite contenuta e di conseguenza, per sottrazione, gli idrogrammi di esondazione.

Le simulazioni idrauliche sono svolte a moto permanente, in modo tale da tenere conto delle singolarità presenti lungo il tracciato del corso d'acqua (in particolare gli attraversamenti). Pur potendo utilizzare come dato di base il rilievo LIDAR della Regione Toscana anche in considerazione della corrispondenza con le sezioni rilevate con strumenti topografici mostrata nello studio dell'ing. Taccini, si è ritenuto opportuno disporre un rilievo topografico di dettaglio, svolto dallo studio Cardini Bettarini di Buti nel mese di Aprile 2019.

3.2 Descrizione del codice di calcolo e dei parametri della modellazione

La modellazione idraulica del corso d'acqua è stata svolta con il software HEC RAS 5.0.3 fornito da *U.S. Army Corps of Engineers. Institute For Water Resources. Hydrologic Engineering Center*
609 Second Street - Davis, CA 95616-4620

La modellazione è avvenuta seguendo i seguenti passi:

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

Una volta stabilita la geometria delle sezioni (come indicato al paragrafo precedente), la loro distanza e i coefficienti di scabrezza delle superfici dell'alveo si può riprodurre la morfologia del corso d'acqua. In particolare pur potendo impiegare, sulla base delle indicazioni presenti in letteratura, coefficienti di Manning variabili tra $0.03 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (per i tratti ove è presente erba, terreno naturale) e $0.015 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (dove sono presenti pareti particolarmente scabre, per esempio in cemento o in muratura in buono stato di manutenzione), si è ritenuto opportuno e cautelativo adottare ovunque il valore $0.03 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$.

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

In merito alle condizioni al contorno, per la situazione di monte, non essendo presenti particolari singolarità idrauliche, si ritiene corretto adottare la condizione di moto uniforme (con la definizione della sola pendenza di monte), mentre per ciò che concerne valle si è adottata un'altezza pari alla quota di moto uniforme, in considerazione della prismaticità del Rio Magno a valle dell'abitato di Cascine di Buti.

Infine, per quanto riguarda gli attraversamenti a sezione variabile, prudenzialmente, si è ritenuto opportuno modellarli a sezione uniforme, impiegando quella di sezione più piccola.

3.3 Risultati dell'analisi idraulica sul corso d'acqua

I risultati dello studio condotto si possono esaminare nell'allegato idraulico ALL B. In generale, sono da ritenersi insufficienti quelle sezioni per le quali i livelli liquidi sono tali da non permettere il deflusso

all'interno degli argini o del livello piano di campagna per le sezioni incassate. Per la lettura del profilo longitudinale fornito da HEC-RAS si tenga presente che:

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

Si fa presente che il sistema di corsi d'acqua è stato modellato a valle del tratto studiato dall'ing. Taccini, fino alla sezione di chiusura, in cui confluisce nel reticolo idraulico principale.

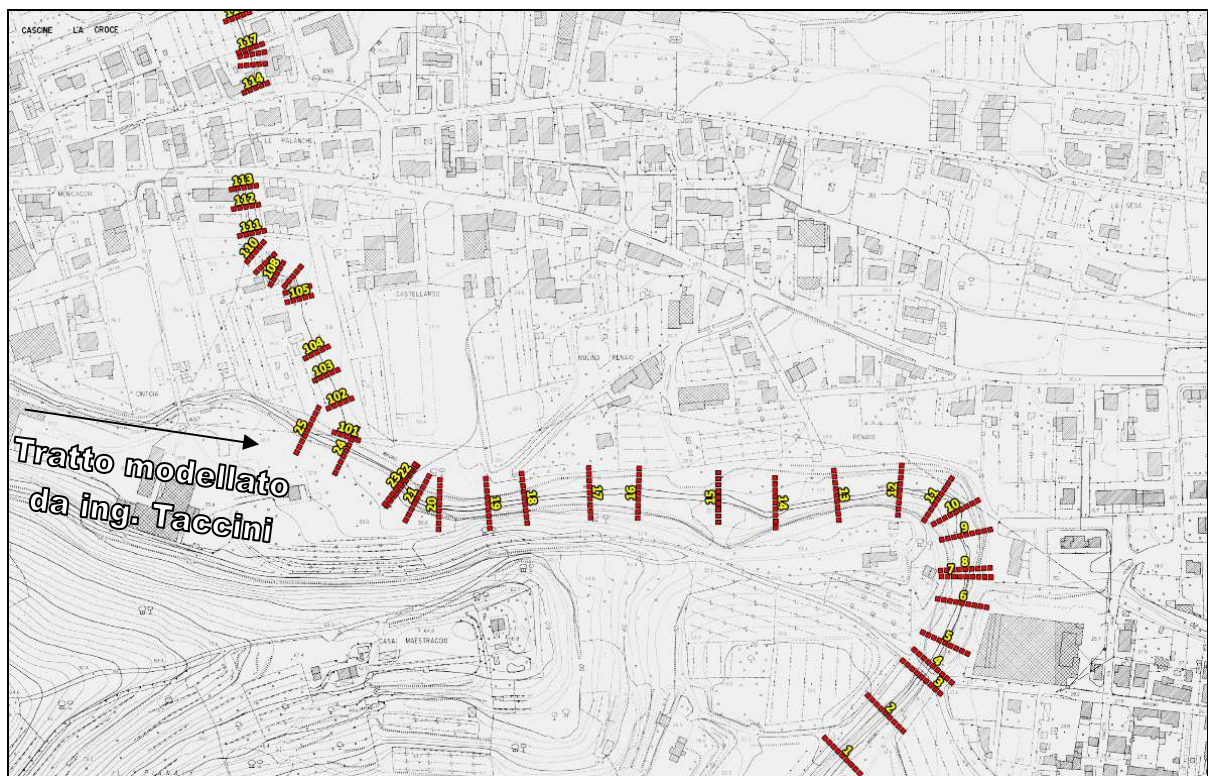


Figura 3.1 – Tratto modellato del Rio Magno e del Vallino di San Martino

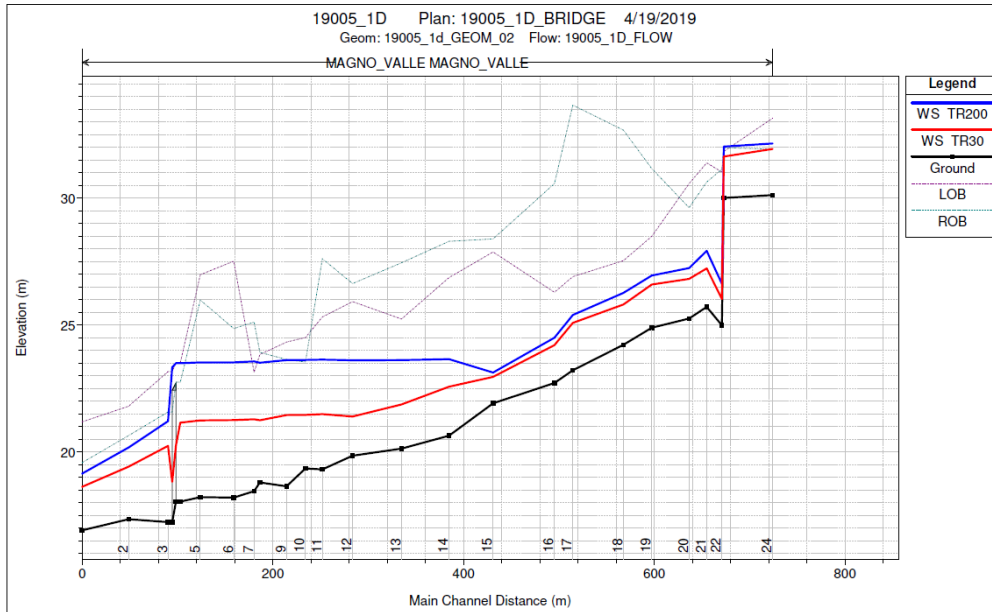


Figura 3.2 – Profili longitudinali delle simulazioni sul Rio Magno (in rosso la trentennale, in blu la duecentennale)

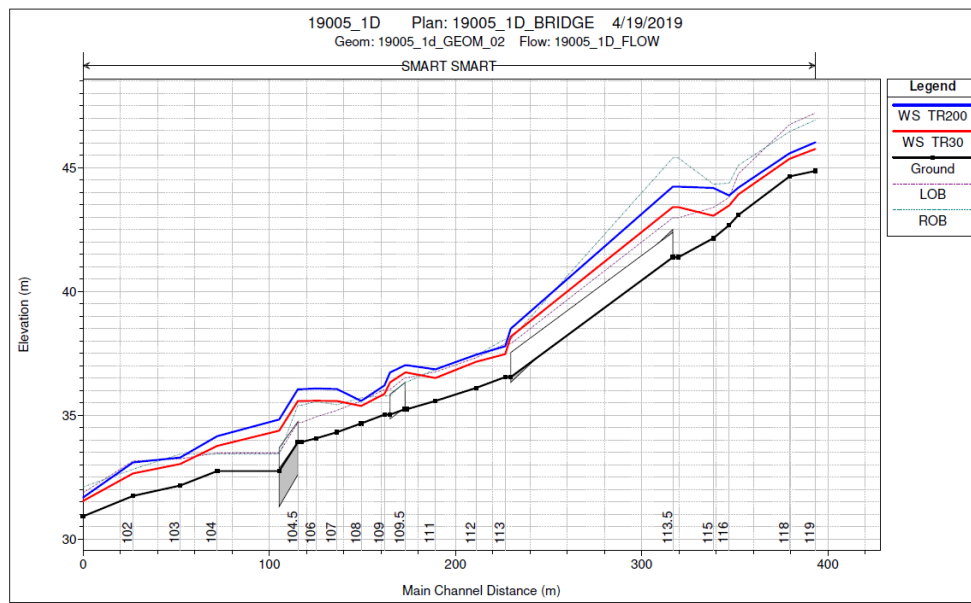


Figura 3.3 – Profili longitudinali delle simulazioni sul Vallino S.Martino (in rosso la trentennale, in blu la duecentennale)

Per quanto riguarda il Rio Magno, la simulazione mostra quanto segue:

- Il corso d'acqua presenta pendenze abbastanza regolari procedendo da monte verso valle, pendenze che vanno via via riducendosi, con un evidente salto di fondo nella zona di monte;
- Il profilo della piena trentennale, nel tratto a monte dell'attraversamento, è interamente contenuto all'interno delle sommità spondali. Un innalzamento del pelo libero si riscontra a monte dell'attraversamento presente nel tratto analizzato, ma non è tale da provocare fuoriuscite liquide sul piano di campagna;

- Il profilo della piena duecentennale, in relazione alla sinistra idraulica, presenta invece due punti di crisi: uno nelle sezioni iniziali del modello e il secondo nella zona interessata dal rigurgito del ponte. Le esondazioni in destra idraulica non saranno analizzate, in quanto l'attenzione si concentrerà sulla sinistra idraulica in modo da valutare e in modo prudenziale, l'entità dei battenti. Si fa presente come tale valutazione, per la sinistra idraulica, vada a favore di sicurezza. Oltretutto le esondazioni in destra idraulica risultano particolarmente confinate per effetto della vicinanza dei rilievi e non interessano aree urbanizzate o oggetto di previsioni. Infine, si fa notare come la portata limite per tali sezioni, valutata simulando il deflusso di varie portate in alveo, sia simile per entrambi i punti di crisi riscontrati.



Figura 3.4 - Ponte sul Rio Magno modellato nelle simulazioni idrauliche

Per quanto riguarda invece il Vallino di San Martino, si possono svolgere le seguenti considerazioni:

- Sia il profilo della piena trentennale che quella duecentennale risultano inadeguati in corrispondenza degli attraversamenti, i quali provocano rigurgiti che non sono contenuti all'interno delle sezioni. La portata limite contenuta è pari a 1 mc/s per quanto riguarda i ponti in corrispondenza delle sezioni 9 e 5, mentre per il tombamento a monte (sezione 15) la portata limite è 2.5 mc/s. Il tracciato del lungo tombamento tra la sezione 15 e la sezione 14 è stato verificato sul posto e corroborato dall'accoppiamento con un'analisi storica (è stata infatti verificata la corrispondenza con il catasto leopoldino)



Figura 3.5 – Catasto leopoldino con indicazione del tracciato del Vallino di San Martino. Si evidenzia il tracciato con curve spigolose riscontrato durante le operazioni di rilievo topografico

- Non si registrano altre criticità legate, ad esempio, alla zona di imbocco nel Rio Magno;

In sostanza, i risultati dell'analisi idraulica indicano che il reticolo è afflitto dalle seguenti criticità (che si traducono in potenziali punti di esondazione):

- Sul Rio di San Martino, cautelativamente, si applica la portata limite minore nel punto più alto dell'asta, sebbene tale sezione (sezione 15) consenta il deflusso di una portata superiore; ciò comporta la valutazione di esondazioni superiori a quelle effettivamente verificabili. In tale sezione si registrano fuoriuscite sia trentennali che duecentennali
- Sul Rio Magno, nella sezione subito a valle della confluenza, solo per quanto riguarda la piena duecentennale. La fuoriuscita in tale punto risulta cautelativa rispetto all'ipotesi di simularla nel punto più in basso, anche in considerazione che le portate limite sono le medesime. L'entità dell'esondazione viene valutata, cautelativamente, senza tener conto né delle fuoriuscite a monte (stimate nello studio dell'ing. Taccini), né delle fuoriuscite in destra idraulica (la cui possibilità è evidenziata dal modello idraulico monodimensionale).

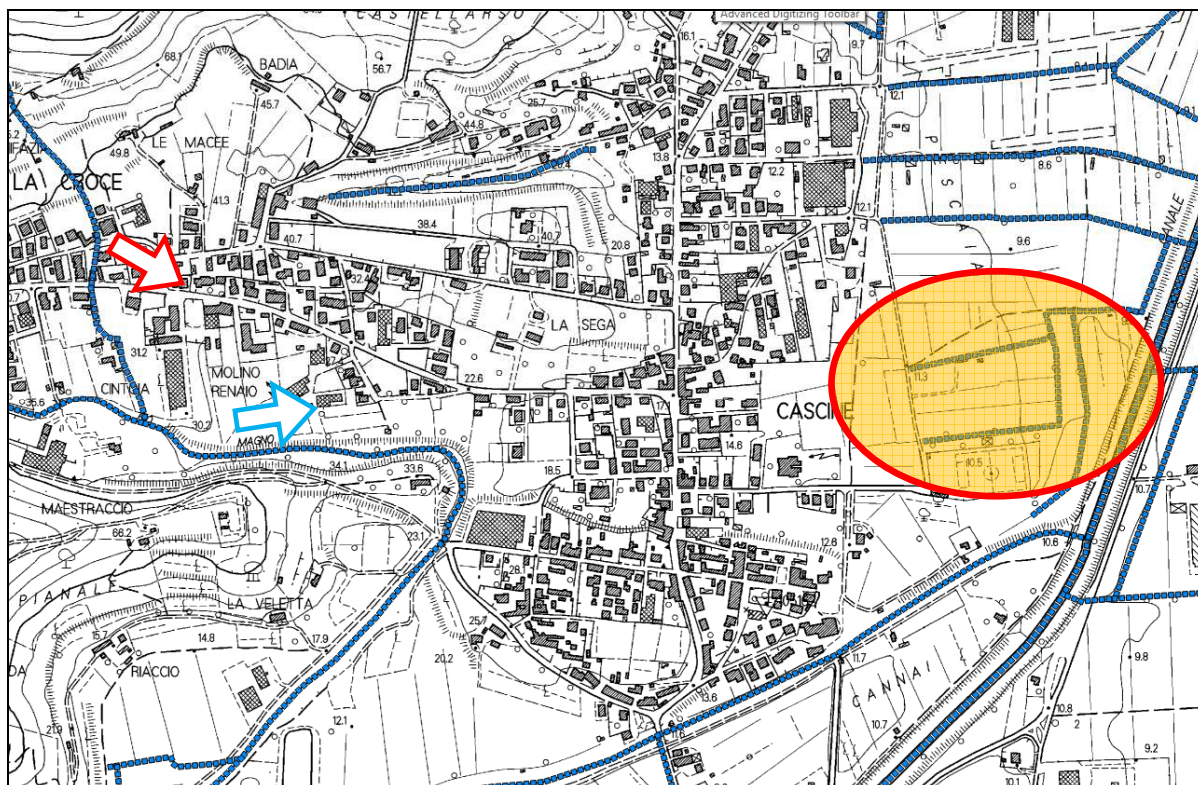


Figura 3.6 – Punti di esondazione del reticolo idraulico. In rosso le esondazioni del Rio San Martino (verificabili sia per TR 30 che TR 200 anni), in celeste le esondazioni del Rio Magno (solo per il TR 200 anni). In evidenza l'area oggetto del piano attuativo.

Si fa presente che le valutazioni ottenute dal presente studio corrispondono a situazioni effettivamente riscontrate sul posto in concomitanza dei fenomeni meteorici più significativi. Infatti, alcune criticità si sono verificate sul Vallino di San Martino, mentre sul Rio Magno non si sono riscontrate particolari problematiche, sebbene i punti in cui il pelo libero si avvicina di più alle sponde sono proprio quello a monte del salto di fondo e quello a monte del ponte sito nell'abitato di Cascine di Buti (e pertanto, in caso di evento catastrofico, possibili punti di esondazione). Le maggiori problematiche idrauliche, peraltro, riguardano la rete di scarico di fognatura bianca, oggetto di interventi di adeguamento negli anni passati. Sul reticolo principale (intendendo con esso il Canale Emissario e il Rio Magno), non è stato osservato alcun sormonto arginale.

3.4 Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idraulica monodimensionale

Si sottolineano le principali approssimazioni seguite a favore di sicurezza:

- Impiego di un coefficiente di scabrezza superiore a quelli indicati dalla letteratura tecnica;
- Attribuzione della portata idrologica fin 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 MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE

4.1 Generalità e descrizione del modello

4.1.1 Descrizione del codice di calcolo e delle simulazioni effettuate

I modelli idraulici delle esondazioni hanno l'obiettivo di modellare la dinamica esondativa 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 e di altri parametri di esondazione come ad esempio la velocità e l'energia della corrente.

Il modello costruito è a moto vario e bidimensionale, tramite il software Hec-Ras 5.0.3 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 certificate 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 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>.

Per quanto riguarda il sistema analizzato, i punti di esondazione sono stati individuati nel corso dei precedenti paragrafi. Si ribadisce come le valutazioni di questi che sono gli input del modello bidimensionali sono frutto di valutazioni estremamente prudenziali che partono dalla modellazione idrologica per poi estendersi alle simulazioni ed alle valutazioni sul reticolo idraulico. Tra tutte si sottolinea quella di aver adottato una serie di ipotesi cautelative sia per quanto riguarda lo studio idrologico, sia per quanto riguarda lo studio idraulico monodimensionale.

Tale scelta condurrà quindi a valutazioni estremamente cautelative anche in riferimento alla lama d'acqua che si può verificare sul lotto, anche perché, per quanto riguarda il Vallino di San Martino, si è ipotizzato che tutta l'acqua esuberante rispetto a quella contenuta nell'alveo interessi la sinistra idraulica, trascurando il fatto che parte della portata esondi sul lato opposto.

Inoltre, sempre a favore di sicurezza, si costruisce il modello ipotizzando l'impossibilità di rientri liquidi all'interno della rete dei canali durante la dinamica esondativa.

4.1.2 Basi matematiche del modello di calcolo

Il codice di calcolo utilizzato si basa sull'algoritmo "Implicite 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

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

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.

4.2 Elementi di input della modellazione

4.2.1 Morfologia del piano di campagna

Il dato principale di 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. All'interno dell'area di esondazione modellata, il territorio è stato poi discretizzato in celle aventi dimensione media 3 m. 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, come detto in precedenza il LIDAR. 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, il quale è correlabile all'uso del suolo. Nell'ambito del presente studio è stata utilizzata la corrispondenza tra uso del suolo e coefficiente di Manning riportata all'interno dell'articolo scientifico "Calibration of 2d Hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus River" (Pestana, Matias, Canelas, Araújo, Roque, Van Zeller, Trigo-Teixeira, Ferreira, Oliveira, Heleno – Anno 2013). Di seguito sono riportate la tabella 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.

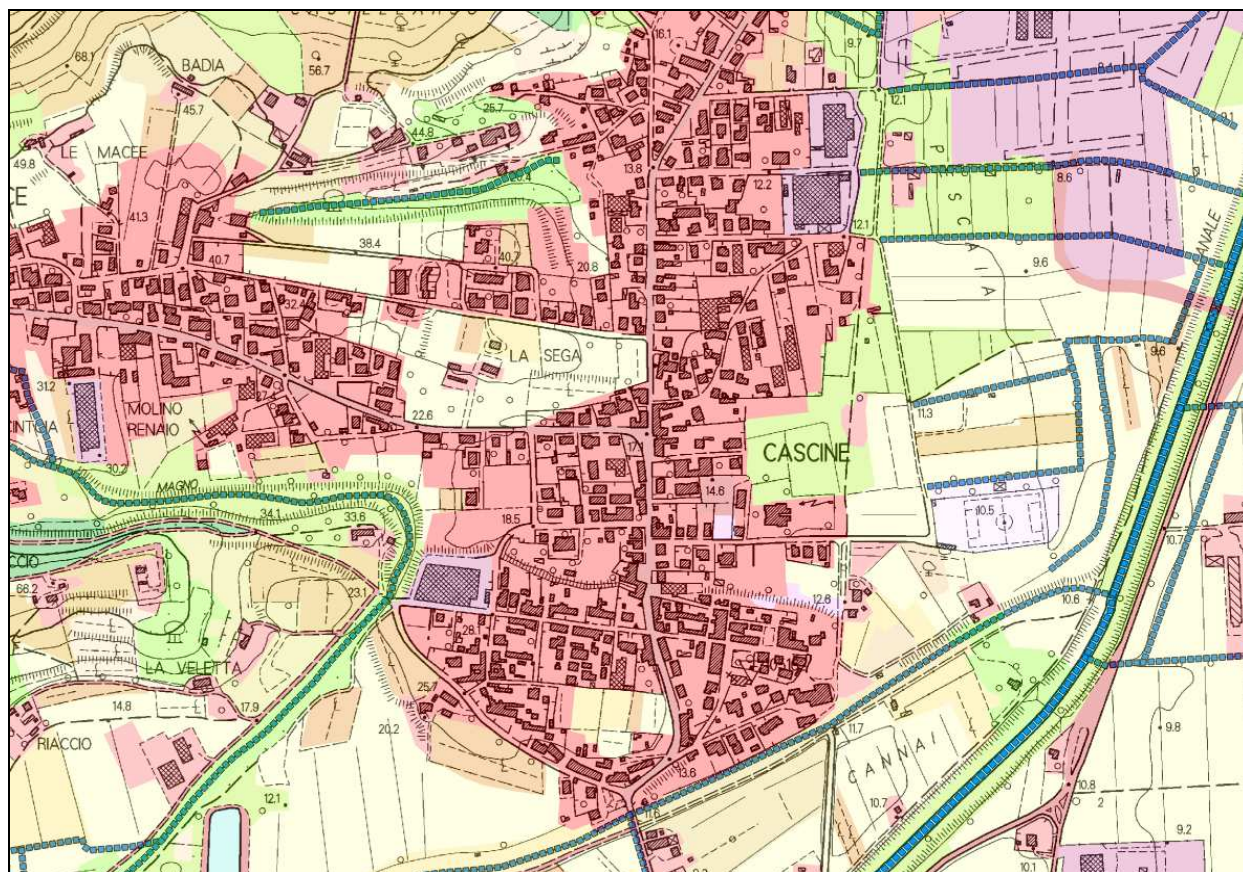


Figura 4.1 – Carta di uso del suolo dettagliata

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

4.2.2 Condizioni al contorno

Sono state inserite due condizioni al contorno:

- La prima riguarda gli ingressi nel sistema. Le portate in ingresso nel sistema sono quelle che danno luogo alle esondazioni, ovvero quelle generate in corrispondenza delle criticità del reticolo per differenza con le portate limite contenute.
- La seconda riguarda invece le uscite delle masse d'acqua esondata dal sistema. In questo caso le uscite sono state poste a valle in corrispondenza del reticolo idraulico maggiore, cui (come si vedrà nel seguito) saranno recapitate principalmente dalle scoline presenti nel territorio analizzato.

4.3 Descrizione delle simulazioni

Il software fornisce risultati per ogni timestep della modellazione e per ogni punto del dominio di calcolo. I principali output del sistema sono l'altezza del battente liquido, la velocità e la direzione del flusso della corrente. Da essi scaturiscono poi tutti i risultati derivati (altezza assoluta del pelo libero, numero di Froude, ecc ecc). Si possono poi estrapolare gli involucri dei battenti e delle velocità.

Le restituzioni possibili dei risultati sono quindi estremamente variegata. Si va da un'estrazione tabellare dei dati, alla possibilità di ricavare un'informazione di tipo raster, per ogni pixel del quale si ricava la grandezza ricercata, con la conseguente opportunità di ricavarne una restituzione planimetrica. Il software permette anche il tracciamento di sezioni trasversali per cui è indicato, per ogni timestep, l'altezza liquida, in modo del tutto analogo con i software tradizionali. E' infine disponibile una restituzione dell'evento alluvionale lungo tutto il suo corso attraverso la produzione di video in cui si può evidenziare una certa variabile.

Tra le visualizzazioni possibili, lo scrivente produce, nell'ambito del presente lavoro, le seguenti:

- Nel seguito della presente relazione saranno riportati alcuni estratti planimetrici relativi a battenti e velocità (con indicazione del flusso della corrente);
- Nelle tavole grafiche saranno riportati gli involucri di battenti e velocità della corrente di esondazione.

Di seguito si riportano gli estratti più significativi dei modelli analizzati e pertanto sia per la piena trentennale che per la piena duecentennale. I risultati mostrano la progressione temporale del fenomeno modellato. I battenti sono riportati secondo una scala cromatica ad intensità crescente (in blu), mentre le velocità sono visualizzate attraverso la rappresentazione del flusso delle particelle liquide (maggiore è la scia, maggiore è la velocità).

Le simulazioni svolte hanno mostrato più o meno la seguente dinamica ovvero:

- Per quanto riguarda il fosso di San Martino, le acque defluiscono dal punto di esondazione più alto (il ponticello all'imbocco dell'abitato) dapprima in direzione del Rio Magno; poi da qua lungo la direttrice del compluvio principale, tra il Rio Magno stesso e la SP 38 (la strada di collegamento tra Cascine di Buti e Buti Capoluogo), con battenti, velocità ed estensione delle aree esondate variabile in funzione del tempo di ritorno analizzato, ma sempre estremamente modeste. Si fa presente che tali quantitativi sono così modesti che i flussi non riescono a giungere al canale Emissario ma interessano i bassi morfologici incontrati lungo il percorso per poi confondersi con le scoline presenti nella fascia pianeggiante tra Cascine di Buti e il canale Emissario.
- Per quanto riguarda invece il Rio Magno, ribadendo il fatto che per tempo di ritorno trentennale non si rilevano criticità, per il tempo di ritorno duecentennale si ravvisa un flusso in direzione ovest-est, verso la piana in cui scorre il Canale Emissario. Le vie principali di deflusso sono rappresentate dalle piccole depressioni in cui si trovano le scoline campestri, di cui si parlerà più diffusamente nei successivi paragrafi della relazione. Peraltro, le acque dell'esondazione duecentennale vanno verso la parte più bassa del comparto presente tra Cascine di Buti e il Canale Emissario, che, come si evidenzia, non è quella oggetto delle varianti in esame, ma quella ove è stata realizzata un'urbanizzazione tra il 1990 e il 2015. Trattasi comunque altezze e velocità contenute. Ciò conferma l'impressione ricevuta durante i sopralluoghi secondo cui le varianti in esame interessano

un'area morfologicamente più elevata rispetto a quella oggetto dell'urbanizzazione esistente di recente realizzazione.

Si fa presente che i tempi di esondazione dei corsi d'acqua sono differenti, in funzione della differenza dell'estensione dei bacini e dei tempi caratteristici ad essi corrispondenti. In sostanza il fenomeno critico per il Rio San Martino è di mezz'ora, mentre per il Rio Magno i fenomeni più rilevanti si aggirano intorno alle 3 ore. Ciò nonostante, nei modelli sono stati fatti coincidere i picchi di esondazione, sempre in favore della sicurezza.

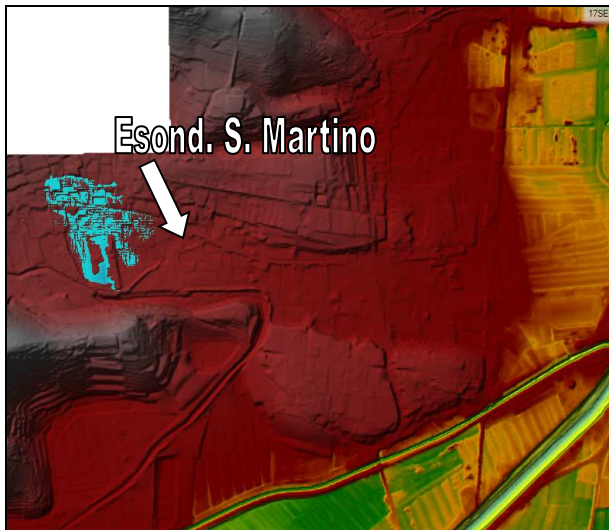


Figura 4.3 – Fase iniziale esondazione (S.Martino TR 30)



Figura 4.4 – Fase centrale esondazione (S.Martino TR 30)

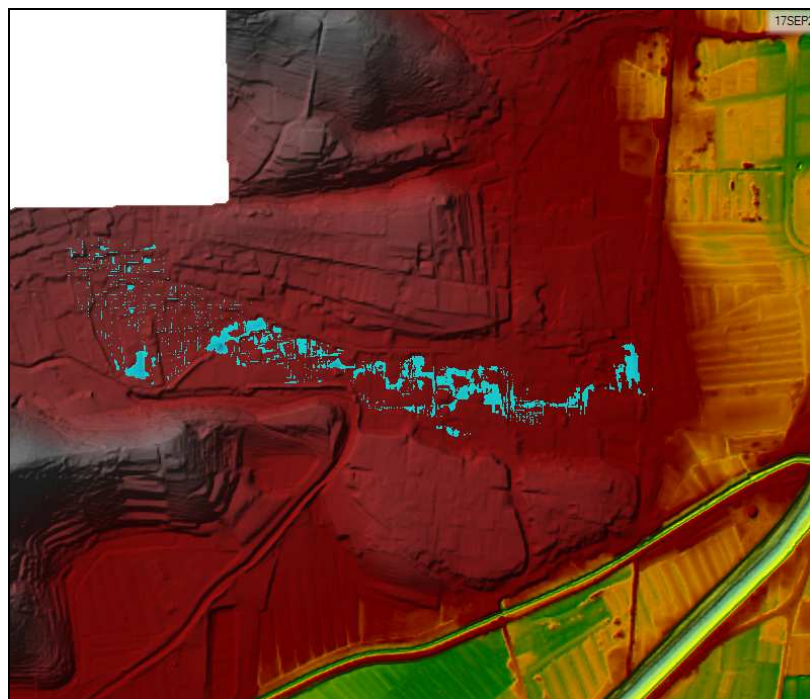


Figura 4.5 – Fase finale dell'esondazione (S.Martino TR 30)

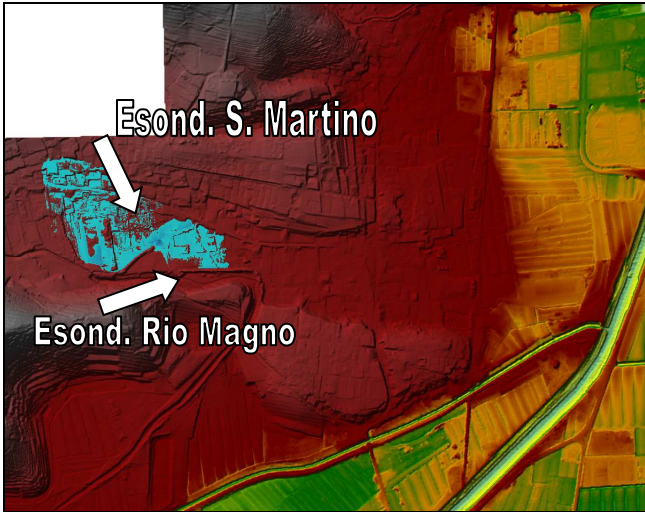


Figura 4.6 – Fase iniziale esondazione (S.Martino TR 200)

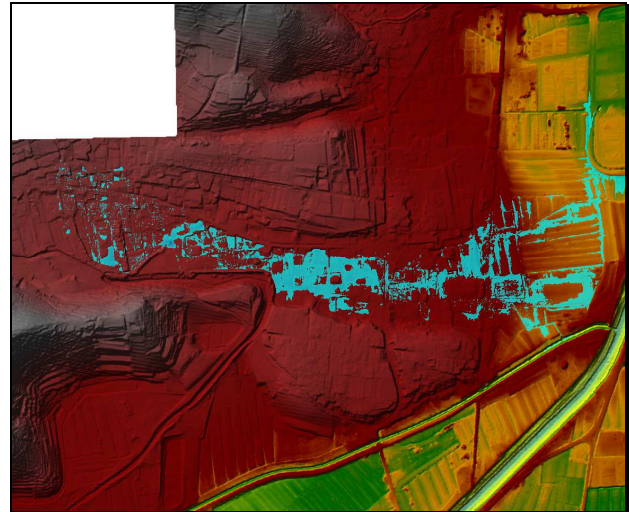


Figura 4.7 – Fase centrale esondazione (S.Martino e Rio Magno TR 200)

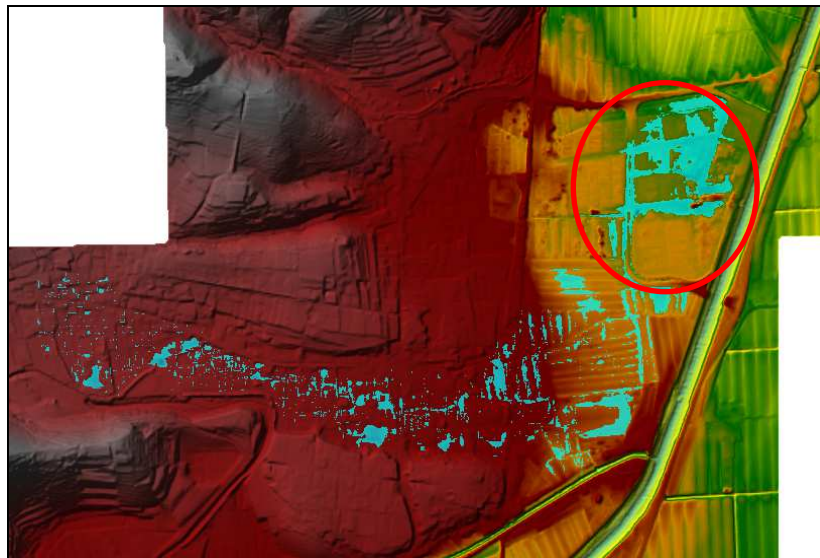


Figura 4.8 – Fase finale dell'esondazione (S.Martino e Rio Magno TR 200). In rosso viene indicata l'area di recente urbanizzazione

Si fa presente che i risultati sono estremamente più cautelativi rispetto a quelle che sono state le problematiche che storicamente si sono manifestate nell'area in esame. Infatti, le segnalazioni ricevute dall'ufficio tecnico del Comune indicano che i fenomeni meteorici più intensi hanno effettivamente prodotto esondazioni sul Rio San Martino, con problematiche che tuttavia hanno coinvolto perlopiù il tratto compreso tra il ponticello segnalato nella presente relazione e il Rio Magno. Viceversa, per il tratto a valle non si è registrato un flusso di esondazione dell'intensità di quello registrato nelle simulazioni: sono stati invece segnalati allagamenti in riferimento alla fognatura bianca dell'abitato che infatti è stata oggetto di interventi di sistemazione idraulica con la realizzazione di un ramo ausiliario alla rete esistente. Durante i sopralluoghi è stato rilevato tale elemento anche se l'assenza di grate o comunque di sistemi di raccolta ha indotto lo scrivente a non simularne la presenza nella modellazione effettuata, attribuendo un ulteriore margine di sicurezza alle valutazioni idrauliche qui riportate.

4.4 Parametri cautelativi utilizzati nella modellazione idraulica bidimensionale

Si sottolineano le principali approssimazioni seguite a favore di sicurezza:

- Ubicazione delle fuoriuscite nei punti più alti del reticolo;
- Mancata depurazione degli idrogrammi di esondazione dei volumi potenzialmente esondabili relativi alla destra idraulica del Rio Magno;
- Mancata depurazione degli idrogrammi di esondazione dei volumi potenzialmente esondabili relativi alla destra idraulica del Vallino di San Martino;
- Mancata depurazione degli idrogrammi di esondazione dei volumi potenzialmente esondabili relativi alla parte di monte del Rio Magno rispetto a quella modellata (sulla base delle valutazioni dell'ing. Taccini);
- Ipotesi della corrispondenza dei picchi di piena degli idrogrammi esondativi del Rio Magno e del Vallino di San Martino.

5 VALUTAZIONI RELATIVE AL RETICOLO IDRAULICO MINORE

Per quanto riguarda la rete idraulica compresa nella fascia di pianura compresa tra il nucleo principale dell'abitato di Cascine di Buti e il Fosso Emissario, è stata condotta sia un'analisi storico-cartografica, sia una valutazione di tipo idraulico basata su sopralluoghi mirati.

Il principale affluente del Canale Emissario è il fosso della Serezza (in celeste nella foto sottostante), un mero canale di gronda nel suo tratto terminale, scorre lungo Via Serezza (indicato in celeste nell'immagine successiva) e sfocia nel "Canale emissario" (in blu) attraversando una piana piuttosto estesa caratterizzata da una serie di prati, alcuni dei quali coltivati con filari di viti, e separati l'uno dall'altro da un reticolo di scoline di dimensioni limitate. Oltre a tali prati è inoltre presente il campo sportivo di Cascine di Buti. La rete di scoline ivi presente non è collegata in modo evidente né al Fosso della Serezza, corso d'acqua che peraltro raccoglie le acque del Rio Magno.



Figura 5.1: vista dell'area pianeggiante dove il Rio Magno (in celeste) sfocia all'interno del Canale Scolmatore (punto arancione)

Il primo aspetto che si rileva è la scarsa consistenza dei rami ivi presenti: trattasi di mere scoline campestri, di profondità e larghezza ampiamente inferiore al metro, perlopiù sovente non caratterizzate da ristagni di acqua (si vedano le immagini successive). Le scoline che separano i diversi appezzamenti di terreno hanno dimensioni estremamente limitate, indicativamente intorno a 0,5 x 0,5 metri, circostanza confermata dal fatto che, a causa della presenza della semplice vegetazione da prato, risultino quasi non percepibili a occhio nudo come si può notare da alcune foto riportate di seguito. Oltretutto non è individuabile con chiarezza il loro punto di recapito finale delle acque, lasciando ritenere influente il loro contributo alla piena del sistema dei corsi di acque alte.



Figura 5.2 - Vista del Canale scolmatore e dell'area pianeggiante alla sua destra idraulica



Figura 5.3 - Ulteriore vista dell'area pianeggiante circostante l'innesto del Rio Magno nel Canale scolmatore

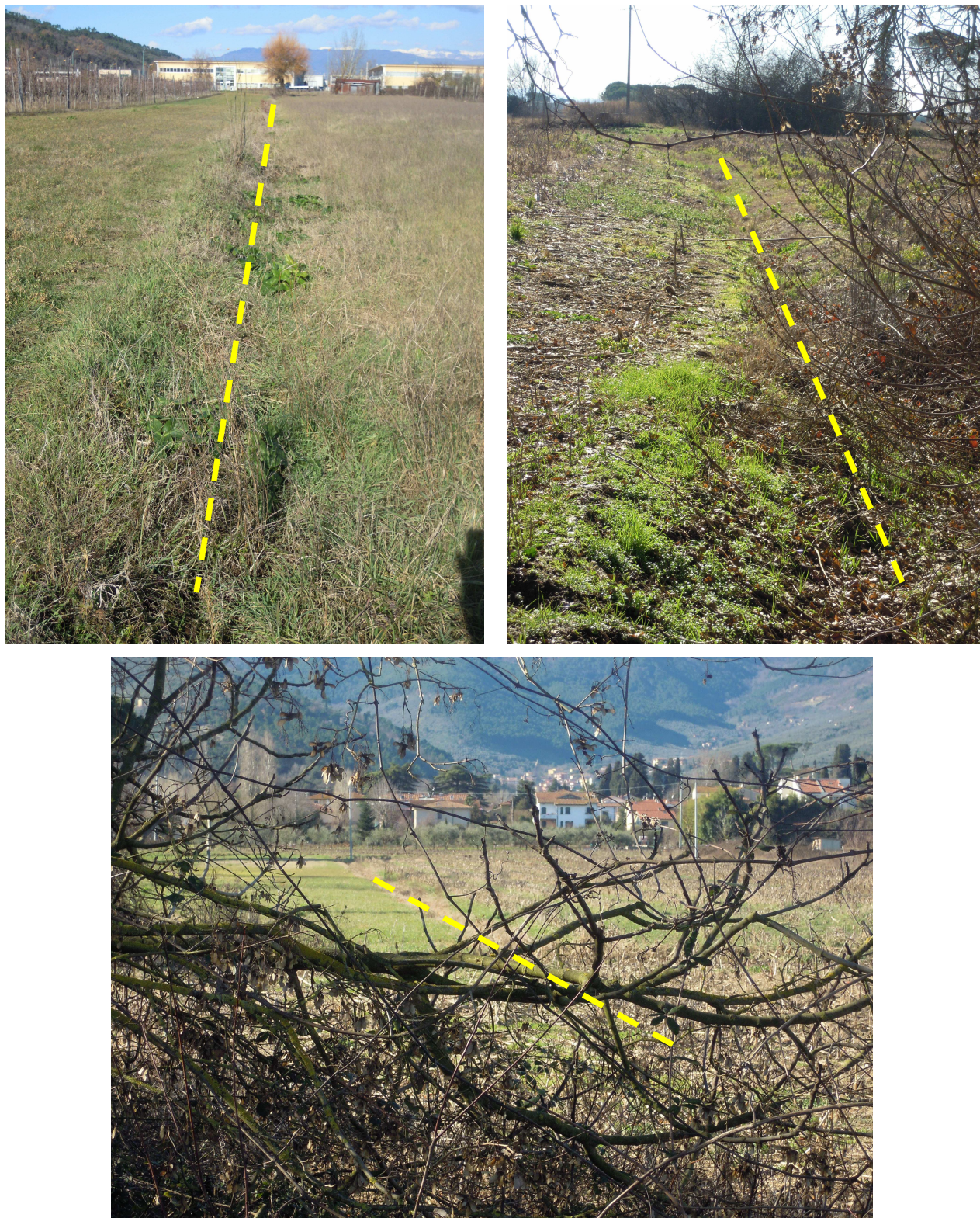


Figura 5.4 - Vista di alcune scoline dell'area in oggetto appena percepibili

In secondo luogo, idraulicamente si rileva la scarsa estensione della superficie drenata dalle scoline in esame. Questo discende dall'analisi della carta dei bacini, dalla quale si legge che l'area compresa tra il confine di bacino dei corsi di acque alte (in questo caso il Rio Magno) e il Canale Emissario è estremamente limitata. Tale evidenza si coniuga con le ridotte ampiezze delle sezioni di deflusso, entrambi indizi di portate

liquide non significative. In sostanza, le aste rilevate si configurano più come segmenti terminali della fognatura bianca che come elementi del reticolo idrografico di cui alla LR 79/2012.

Estendendo tale analisi ad un livello catastale, si rileva come le scoline attribuite al reticolo secondario non occupino superfici demaniali, ma si collochino perlopiù al confine tra particelle contraddistinte da uno specifico mappale. Ciò è un ulteriore segnale della scarsa rilevanza idraulica degli elementi in esame.



Figura 5.5 - Estratto della mappa catastale. Non si rilevano superfici demaniali indicate come “acque”, ma soltanto particelle mappate e “strade” (campite in rosa)

La sensazione è che l’attribuzione di tali rami al reticolo idrografico sia avvenuta semplicemente mutuando gli elementi della cartografia tecnica regionale in scala 1:2.000 appartenenti al tematismo idraulico. Tale procedura è sicuramente afflitta da un grado di approssimazione eccessivo per quello che comporta l’individuazione del reticolo idrografico significativo e la vincolistica che ne discende.

In conclusione si può affermare come i rami del reticolo idrografico minore a valle dell’abitato di Cascine di Buti siano mere scoline campestri, non significative da un punto di vista idraulico e di conseguenza stralciabili dal reticolo stesso.

Si fa presente che un’eventuale rimozione delle scoline dal reticolo idrografico principale non esime eventuali trasformazioni del territorio dal garantire il buon regime delle acque.

6 VALUTAZIONI SUL CANALE EMISSARIO

Le valutazioni idrauliche sul canale Emissario possono essere svolte autonomamente rispetto agli altri corsi d'acqua anche in considerazione del fatto che i tempi di corrivazione dei bacini analizzati sono molto differenti. Ciò discende dalla differenza dei bacini stessi sia in termini di estensione, sia in termini di pendenza ed è certificato dall'ultima versione degli studi su tale corso d'acqua commissionata dal Comune di Bientina di supporto al Regolamento Urbanistico.

Nell'ambito di tale studio è stato preso in esame il Canale Emissario nella globalità del suo sviluppo, approfondendo le dinamiche esondative nel territorio comunale del Comune di Bientina. Analizzando la destra idraulica del Canale Emissario, le aree oggetto di variante riguardano un comparto idraulicamente separato da quello di monte per effetto del rilevato stradale di Via della Tura, posto a quote superiori (nell'ordine di 1 m) rispetto al piano di campagna circostante. Inoltre gli studi mostrano che:

- Le sezioni 11, 12 e 13, che si trovano di fronte al lotto in esame e una cui inadeguatezza comporterebbe la possibilità di esondazione del lotto in esame, risultano idonee al contenimento delle portate di piena;

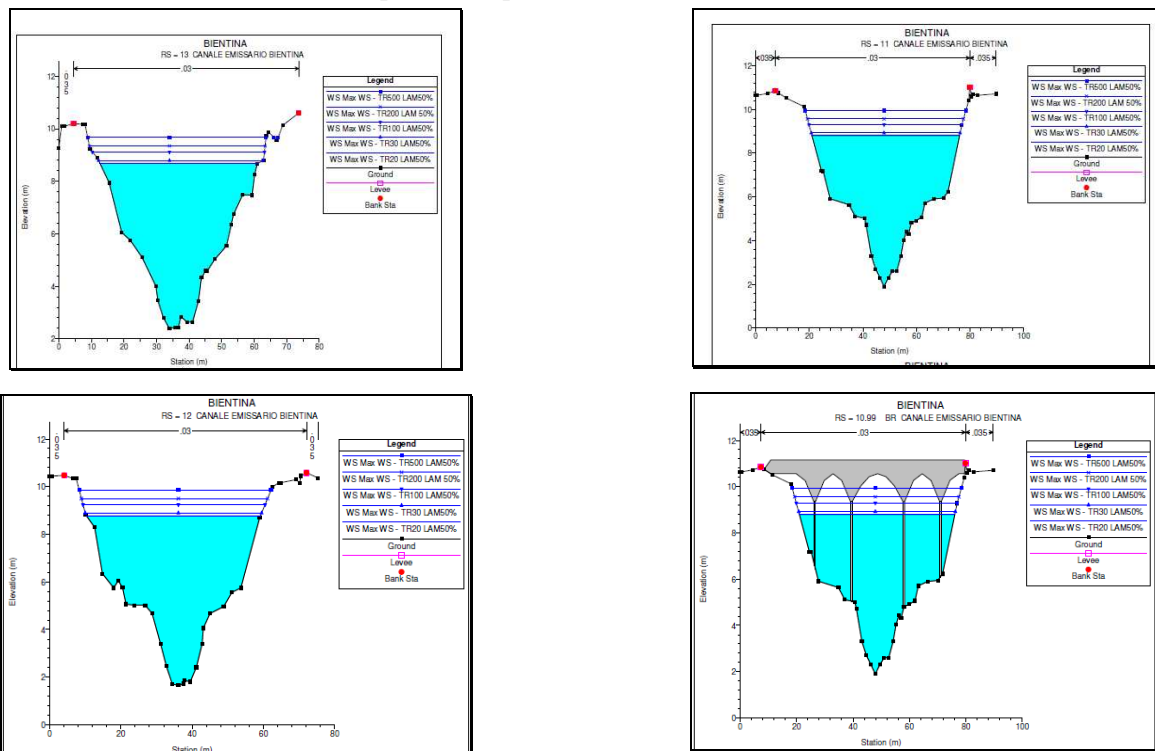


Figura 6.1 – Sezioni del modello idraulico nella zona oggetto dell'intervento

- Le esondazioni delle sezioni a monte rispetto alla zona in esame provocano l'allagamento dei settori a monte rispetto a quello in esame. Tuttavia, i livelli raggiunti nel comparto a monte non sono in grado di trasferirsi al comparto in esame. Nel caso delle esondazioni trentennali il livello liquido non è neanche tale da raggiungere la base del rilevato su cui si erge Via della Tura; nel caso della piena duecentennale e cinquecentennale, il rilevato funge da contenimento delle acque ma in modo estremamente limitato, facendo da argine a battenti, che, oltre ad essere inferiori al metro, lo interessano per un tratto estremamente ridotto.

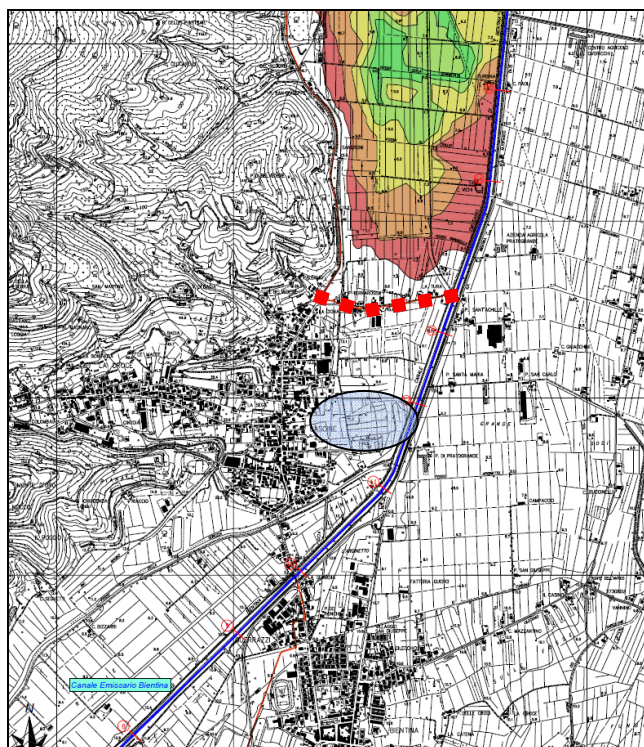


Figura 6.2 – Esondazione trentennale. In rosso, a tratteggio, il rilevato di Via della Tura. In celeste l'area in esame

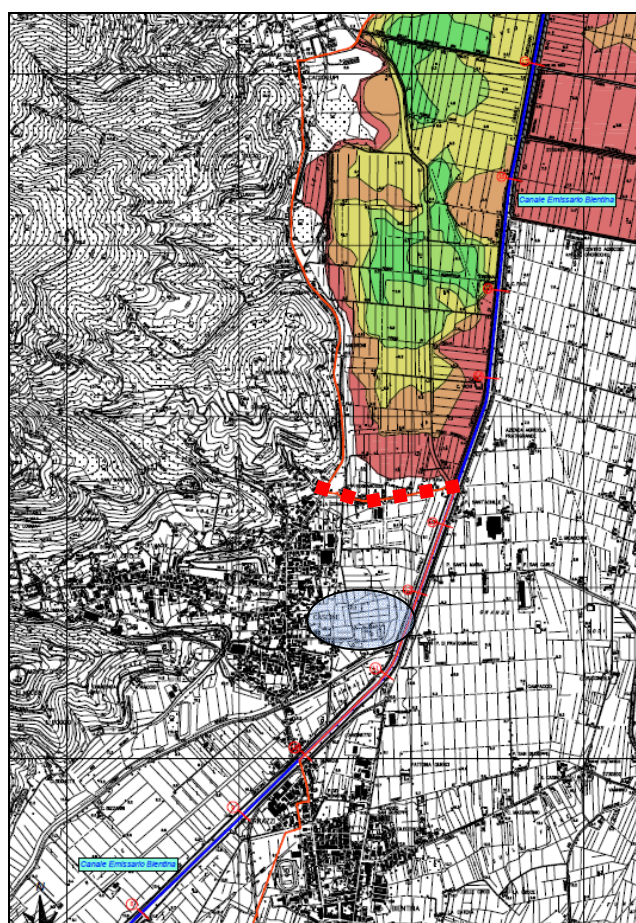


Figura 6.3 – Esondazione duecentennale. In rosso, a tratteggio, il rilevato di Via della Tura. In celeste l'area in esame

In sostanza, per il comparto ove si trova l'area oggetto della variante in esame, non si ritengono possibili esondazioni del Canale Emissario, in pieno accordo con quelli che sono i dati storico inventariali, che non hanno mai registrato esondazioni di tale corso d'acqua nel segmento in esame.

7 ALTRE CONSIDERAZIONI GENERALI SULL'AREA IN ESAME

Sempre ragionando in termini di comparto idraulico relativo al Canale Emissario, la fascia di territorio compresa fra il nucleo principale di Cascine di Buti e il Canale Emissario ha subito mutamenti considerevoli tra il 1990 e il 2016. Di seguito si riportano due ortofoto, la prima del 1990 e la seconda del 2016. Si nota come la parte di monte del comparto stesso sia stata interessata da un'urbanizzazione piuttosto significativa a carattere industriale.



Figura 7.1 – Confronto tra ortofoto anno 1990 (a sinistra) e 2016 (a destra). Si nota, nel cerchio giallo, l'urbanizzazione realizzata. In rosso, invece, l'ubicazione dell'area oggetto del presente lavoro

Dal confronto emerge chiaramente la trasformazione del territorio nei termini indicati. L'area di cui all'oggetto interesserebbe parzialmente, invece, la parte più a valle del comparto. Ora realizzando una sezione longitudinale nel comparto in esame, all'altezza della strada centrale che attraversa il nuovo comparto, si nota come i terreni oggetto di variante si trovino a quote superiori rispetto all'urbanizzazione già realizzata (il dislivello medio è di poco inferiore al metro).



Figura 7.2 – Sezione trasversale nell'area in esame. In giallo l'urbanizzazione già realizzata, in rosso la zona in esame

Peraltro, non si registrano notizie storiche di allagamenti in relazione all'area industrializzata di nuova costruzione. Queste notizie, di carattere storico-morfologico costituiscono un ulteriore ma significativo elemento del quadro conoscitivo in materia idraulica.

8 CARTE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA PROPOSTE

Oltre alla carta dei battenti e delle velocità, è stata tracciata una carta delle pericolosità idrauliche da proporre come revisione di quella vigente. I criteri seguiti per la proposta della nuova perimetrazione sono i seguenti:

1. In generale, i criteri base sono quelli normativi vigenti e dunque in generale alle aree interessate da battenti trentennali si assegnerà una pericolosità idraulica elevata, mentre a quelle interessate da esondazioni per tempi di ritorno compresi tra 30 e 200 anni si assegnerà una pericolosità idraulica media;
2. Il battente e la velocità di esondazione sono indicati nelle apposite carte: quindi, per gli interventi di sicurezza o autosicurezza dovrà tenersi conto di quelle indicazioni. Tali valutazioni dovranno essere approvate secondo le indicazioni della LR 41/2018 da Genio Civile e Distretto di Bacino;
3. Sono state escluse dalle aree a pericolosità idraulica e dalle carte dei battenti gli accumuli e le zone oggetto di battenti non attribuibili a vere e proprie esondazioni, ad esempio in corrispondenza delle scoline campestri.

Per quanto sopra esposto, si evince come il tracciamento della nuova perimetrazione della pericolosità idraulica, in associazione al battente esondativo sia stata effettuata secondo un procedimento di estrema cautela, a partire dalle valutazioni idrologico-idrauliche e infine in relazione alla normativa di settore vigente, addirittura con una prospettiva che abbraccia anche le proposte di legge in essere. Si fa presente che, al di là dei margini di cautela adottati dallo scrivente e dall'affinamento della modellazione, i risultati prodotti risultano assolutamente più in linea sia con gli eventi effettivamente avvenuti in loco, sia con la morfologia dei luoghi rispetto alla carta di pericolosità vigente, evidentemente afflitta da significative anomalie per quanto riguarda gli aspetti sopra riportati.

A margine di quanto sopra riportato, è opportuno far presente quanto segue:

- Lo studio idraulico è stato condotto sulla base di parametri desunti da studi approvati dalla Regione Toscana. Laddove non sono stati forniti indicazioni o dati precisi, lo scrivente ha adottato margini di sicurezza estremamente cautelativi a partire dallo studio idrologico per poi continuare con lo studio idraulico mono e bidimensionale.
- Le conclusioni dello studio idraulico conducono a valutazione della pericolosità che in generale sono più cautelative rispetto alle carte vigenti
- La magnitudo idraulica per la zona oggetto di variante è prevalentemente moderata

9 IPOTESI DI INTERVENTI PER LA SOLUZIONE DELLE CRITICITÀ IDRAULICHE

La caratterizzazione delle criticità sopra riportate contiene in sé gli elementi per la pianificazione degli interventi di messa in sicurezza. Scendendo nel dettaglio:

- Visto che le criticità del Rio San Martino dipendono in particolare dagli attraversamenti in corrispondenza del nucleo abitato, la soluzione di tali problematiche si può realizzando un braccio ausiliario in parallelo rispetto a quello esistente sempre con recapito nel Rio Magno, in considerazione dell'impossibilità di ampliare la luce del tombamento presente a monte della SP 38; oltre a ciò dovranno essere adeguati gli altri attraversamenti sul Vallino.
- Per quanto riguarda invece il Rio Magno, la soluzione delle problematiche si può conseguire con un mero innalzamento delle sponde in corrispondenza dei tratti per i quali è stata verificata l'inadeguatezza.

La realizzazione di una parte degli interventi permette la mitigazione del rischio, mentre la globalità delle opere consente l'eliminazione degli stessi.