



COMUNE DI
SAN GIULIANO TERME

**STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO A SUPPORTO DI UNA
VARIANTE URBANISTICA NELLA UTOE N.31 CARRAIA
DEL PIANO OPERATIVO DI SAN GIULIANO TERME**

CODICE:

R01

ELABORATO:

Relazione idrologica - idraulica

SCALA

-



Orisha s.r.l. ramo di azienda West Systems
Sede operativa Via Livorno, 8/37
- 50142 Firenze - FI

Sistema qualità certificato da:



Dasa-Rägister

UNI EN ISO 9001:2015
IQ-0524-08
UNI ISO 45001:2018
IS-0225-02

PROGETTISTA:

Ing. David Settesoldi

COLLABORATORI TECNICI:

Ing. Giulio Sommani
Ing. Filippo Cioni
Geom. Daniele Natali
Geom. Francesco Matteini

COMMITTENTE:

**COMUNE DI SAN GIULIANO
TERME**
Via Giovanni Battista Niccolini
56017 San Giuliano Terme (PI)
Tel. 0508 19111

05					
04					
03					
02					
01					
00	EMISSIONE	16/04/2025	Ing. Filippo Cioni	Ing. Giulio Sommani	Ing. David Settesoldi
NUM.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	4
1.1	Cronistoria	4
1.2	Contenuti dello studio.....	6
1.3	ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO	7
2	QUADRO CONOSCITIVO	8
2.1	GLI STUDI ESISTENTI.....	8
2.2	I DATI TERRITORIALI	9
2.3	I RILIEVI TOPOGRAFICI.....	9
2.4	Configurazioni di progetto	10
2.4.1	Configurazione 1 di progetto	10
2.4.2	Configurazione 2 di progetto	14
2.4.3	Configurazione 3 di progetto	18
3	ANALISI IDROLOGICA	21
3.1	LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA	21
3.2	CARATTERISTICHE DEL MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI	26
3.3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO	31
3.4	RISULTATI DEL MODELLO IDROLOGICO	31
4	ANALISI IDRAULICA	32
4.1	DEFINIZIONE DEI CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO	32
4.2	GLI ELEMENTI DEL MODELLO IDRAULICO	34
4.3	Configurazioni di Studio	35
4.4	AREE DI ESONDAZIONE BIDIMENSIONALI.....	35
4.5	PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO	39
4.5.1	CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE E CONTRIBUTI IDROLOGICI	39
4.5.2	CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE	39
4.5.3	SCABREZZE DEI CORSI D'ACQUA.....	39
4.5.4	DURATA DELLA MODELLAZIONE.....	40
5	ANALISI DEI RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA	41
5.1	PERIMETRAZIONE DELLA MAGNITUDO IDRAULICA	41
5.2	ANALISI DEI RISULTATI	42
5.2.1	Configurazione 1 TR 30	42
5.2.2	Configurazione 1 TR 200.....	42
5.2.3	Configurazione 2 TR 30	43
5.2.4	Configurazione 2 TR 200.....	43
5.2.5	Configurazione 3 Tr30.....	44
5.2.6	Configurazione 3 Tr200.....	44
6	CONCLUSIONI	46
6.1	L'INTERVENTO DELLA SCUOLA SANT'ANNA.....	48
A.	APPENDICE – IL MODELLO IDROLOGICO.....	49
B.	APPENDICE – TABULATI ANALISI IDROLOGICA.....	53

ELENCO FIGURE

Figura 1-1 – Area UTOE 31 comparto 4 Carraia	4
Figura 2-1 – Schema rete fognaria Acque S.p.a.....	9
Figura 2-2 – Schema configurazione 1.....	12
Figura 2-3 – Curva caratteristica pompa principale.	13
Figura 2-4 – Curva caratteristica pompa secondaria.....	14
Figura 2-5 – Planimetria progetto esecutivo parco Pungilupo.....	17
Figura 2-6 – Schema configurazione 2.....	18
Figura 2-7 – Schema configurazione 3.....	20
Figura 3-1 – Immissioni di studio e bacini idrografici sottesi	23
Figura 3-2 – Mappa coefficiente a.....	24
Figura 3-3 – Mappa coefficiente n.....	24
Figura 3-4 – Mappa coefficiente m.....	25
Figura 3-5 – Mappa CN II	30
Figura 4-1 – Corsi d’acqua oggetto di studio.....	33
Figura 4-2 – Estratto modello idraulico.....	34
Figura 4-3 – Planimetria scabrezze	38
Figura 5-1 – mappa aggravi benefici tra configurazione 1 e 2.	44
Figura 5-2 – mappa aggravi benefici tra configurazione 2 e 3.	45
Figura A-1 – Schema del modello afflussi-deflussi.	49

ELENCO TABELLE

Tabella 2-1 – Caratteristiche delle casse di espansione dello studio [1].....	14
Tabella 2-1 – Caratteristiche delle casse di espansione del progetto [2].....	15
Tabella 3-1 – Valori del CN	28
Tabella 3-1 – Tabella parametri del modello.....	31
Tabella 4.1 – Scabrezze aree bidimensionali.....	37
Tabella 6.1 – Volumi casse di laminazione configurazione 2 Tr 30 anni.	47
Tabella 6.2 – Volumi casse di laminazione configurazione 2 Tr 200 anni.	47
Tabella 6.3 – Volumi casse di laminazione configurazione 3 Tr 30 anni.	47
Tabella 6.4 – Volumi casse di laminazione configurazione 3 Tr 200 anni.	47
Tabella A-1 – Elenco delle variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi.....	52
Tabella B-1 – Tabulati analisi idrologica per Tr=30 anni bacini totali colmo.....	55
Tabella B-2 – Tabulati analisi idrologica per Tr=200 anni bacini totali colmo.....	58

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione idrologica e idraulica nell'ambito di uno studio a supporto di una variante urbanistica nella UTOE n. 31 comparto 4 Carraia del Piano Operativo del comune di San Giuliano Terme. Nella Figura 1-1 si riporta la planimetria del comparto.



Figura 1-1 – Area UTOE 31 comparto 4 Carraia

1.1 CRONISTORIA

Nel 2005 veniva sottoscritto un Accordo di programma per il trasferimento delle attività dell'azienda ospedaliero universitaria pisana e del polo universitario da S. Chiara a Cisanello (2005).

L'Accordo di programma, prevede, tra l'altro, che ai fini della messa in sicurezza idraulica dell'Ospedale e dei bacini di Pisa nord est, sia realizzato un progetto, articolato in due stralci, redatto da un nucleo di progettazione coordinato dall'ex Consorzio Ufficio Fiumi e Fossi.

Il progetto fu suddiviso in due stralci. Il primo stralcio di opere, costituito dalla realizzazione dell'impianto idrovoro e realizzazione/sistemazione del reticolo idraulico, era dimensionato per la messa in sicurezza rispetto a eventi con tempo di ritorno trentennale. Il secondo stralcio prevede

va la definitiva messa in sicurezza, a fronte di eventi con tempo di ritorno duecentennale, attraverso la realizzazione di casse di laminazione / parco urbano ubicate una nel Comune di Pisa e tre nel Comune di San Giuliano Terme per una superficie complessiva di quasi 40 ettari.

Il progetto preliminare generale del primo stralcio fu approvato in sede di Conferenza di servizi in data 14/12/2007.

Il progetto prevedeva di alleggerire la rete drenante facente capo al Fiume Morto con la realizzazione di un impianto idrovoro con scarico delle acque in Arno, di una rete di canali drenanti le aree in comune di San Giuliano e di un nuovo canale al servizio dell'area ove è prevista la realizzazione del nuovo ospedale dotato di un proprio scarico a gravità in Arno (tale scarico risulta ad oggi realizzato).

L'impianto idrovoro era dimensionato per tempi di ritorno di circa 30 anni. Al fine di garantire la messa in sicurezza delle aree oggetto delle future urbanizzazioni era necessario prevedere idonei volumi di compenso a monte dell'impianto con funzione di volano idraulico per il tempo di ritorno di 200 anni. Il progetto preliminare stimava in circa 120.000 mc il volume da invasare per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni.

Nel 2010 fu redatto uno studio a supporto della variante al PS e PU per la realizzazione del "Campus Sant'Anna – San Giuliano – Polo scienze della vita e dell'Ambiente". L'area in cui è prevista la realizzazione del Campus si collocava in una zona vincolata come area destinata alla realizzazione di una delle opere di laminazione previste nel suddetto progetto preliminare. Lo studio del 2010 rivalutava il volume da invasare per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni in circa 250.000 mc e assegnava all'area ove era prevista la realizzazione del Campus un volume di laminazione di circa 33.840 mc con quota di invaso di 2.0m s.l.m come riportato nella scheda norma del Comparto 4 della UTOE 31 – Carraia.

Il Comune di San Giuliano Terme e la Scuola, in data 31 luglio 2013, hanno sottoscritto un Accordo di programma per la progettazione, la realizzazione del nuovo Parco Scientifico Tecnologico nel Comune di San Giuliano Terme per la definizione delle procedure amministrative necessarie.

La Regione Toscana e la Scuola, nel 2020, hanno sottoscritto un Accordo di Programma per la realizzazione di un polo per il trasferimento tecnologico all'interno del Parco Scientifico Tecnologico in San Giuliano Terme.

Nell'Agosto 2024 veniva stipulato un accordo tra comune di San Giuliano Terme e la Scuola Sant'Anna ove si prevedeva tra l'altro di procedere ad una più puntuale definizione delle opere di salvaguardia idraulica ricadenti nell'area della Scuola in ragione del variato quadro conoscitivo alla base del dimensionamento del secondo stralcio del progetto per le opere di riassetto idraulico dei

bacini di Pisa Nord-Est nei Comuni di Pisa e S. Giuliano Terme previsto dall'Accordo per il trasferimento dell'Ospedale citato nelle premesse, a supporto dello strumento urbanistico con la finalità di ridurre, mantenendo il medesimo standard di sicurezza, il volume di invaso nell'area di prevista urbanizzazione della Scuola Sant'Anna.

1.2 CONTENUTI DELLO STUDIO

Il presente studio è pertanto finalizzato a una verifica delle prescrizioni contenute nella scheda norma della UTOE 31 valutando la possibilità di una loro modifica in ragione delle difficoltà di realizzazione e del variato quadro conoscitivo sia in termini di sollecitazioni pluviometriche che di studi successivi e di vincoli presenti sul territorio.

La modellistica idrologica è costituita da un modello a parametri distribuiti (software PIENE v.4.13) finalizzato alla stima degli idrogrammi di piena, che utilizza le mappe e le curve di possibilità pluviometrica prodotte dall'Università degli Studi di Firenze.

La modellistica idraulica è costituita da un modello idraulico in moto vario monodimensionale sull'asta fluviale (*software* HEC-RAS 6.2), per la stima dei livelli idrici nelle sezioni fluviali e delle eventuali insufficienze idrauliche, accoppiato ad un modello bidimensionale per la stima dei battenti di esondazione sul territorio adiacente al corso d'acqua.

Le verifiche idrauliche sono condotte per i tempi di ritorno di 30 e 200anni per tre scenari di attuazione degli interventi.

1.3 ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO

Nella presente relazione idrologica e idraulica si riportano la metodologia ed i risultati ottenuti, secondo la seguente articolazione:

- **FASE 1 – Definizione del quadro conoscitivo:** in tale fase sono acquisiti ed esaminati gli studi, la documentazione e i dati disponibili riguardanti il reticolo idrografico considerato. In particolare sono acquisiti i rilievi topografici delle sezioni fluviali più recenti. Si riporta infine un'ipotesi di tre scenari di progetti con diverse configurazioni delle aree di laminazione per la messa in sicurezza del Campus Sant'Anna.
- **FASE 2 – Analisi idrologica:** per il sistema idrografico considerato sono valutate gli idrogrammi di piena per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le durate di 1, 3 e 6 ore.
- **FASE 3 – Analisi idraulica:** la modellazione degli eventi di piena è eseguita attraverso un modello monodimensionale di moto vario, per la stima dei livelli idrici nelle sezioni fluviali e delle eventuali insufficienze idrauliche, accoppiato ad un modello bidimensionale per la stima dei battenti di esondazione. Le verifiche idrauliche sono condotte per i tempi di ritorno di 30 e 200 e per le durate di 1, 3 e 6 ore.
- **FASE 4 – Analisi dei risultati:** sulla base dei risultati ottenuti mediante modellazione idraulica si valutano i battenti idrici, le velocità e le magnitudo idrauliche per i tempi di ritorno analizzati.
- **FASE 5 – Conclusioni:** sulla base dei risultati delle verifiche idrauliche condotte si traggono le conclusioni e si valutano gli eventuali benefici nelle aree circostanti a seguito della realizzazione delle aree di laminazione.

2 QUADRO CONOSCITIVO

2.1 GLI STUDI ESISTENTI

Per la redazione del presente studio idrologico e idraulico sono stati acquisiti i seguenti studi:

- [1] *Studio idrologico e idraulico a supporto della variante al PS e al RU per la realizzazione del “Campus Sant’Anna San Giuliano – Polo Scienze della Vita e dell’Ambiente”,* redatto da Physis – Ingegneria per l’Ambiente (2010);
- [2] *Riassetto Idraulico dei bacini di Pisa Est nei comuni di Pisa e San Giuliano Terme – Progetto esecutivo,* redatto da Consorzio di Bonifica 4 Basso Valdarno (2020)
- [3] *Appalto integrato di progettazione esecutiva e esecuzione dei lavori – Riqualficazione dei parchi Pungilupo e Timpanaro,* redatto da Dp Ingegneria s.r.l (2024);

Per lo studio idrologico si è fatto riferimento, inoltre, ai seguenti studi:

- [4] *Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B1 - Regionalizzazione precipitazioni,* studio redatto nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana, finalizzata all’approfondimento dell’attuale quadro conoscitivo e alla definizione delle azioni di riduzione del rischio idraulico e idrogeologico (Caporali E., Chiarello V. e Rossi G., marzo 2014);¹
- [5] *Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC.. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota* redatto nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana, finalizzata all’approfondimento dell’attuale quadro conoscitivo e alla definizione delle azioni di riduzione del rischio idraulico e idrogeologico (Castelli F., novembre 2014)
- [6] *Caratterizzazione idrologica dei suoli della Toscana per il Modello MOBIDIC - Macroattività B - Modellazione idrologica - Attività B2* nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze (Lorenzo Gardin).

¹ I risultati dell’Analisi di Frequenza Regionale sono archiviati nello spazio ServiziOnline della Regione Toscana: http://www.regione.toscana.it/cittadini/ambiente/difesa-del-suolo/-/asset_publisher/eonjZadAbVH6/content/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni

2.2 I DATI TERRITORIALI

Per la redazione dello studio sono stati acquisiti i seguenti dati:

- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000 e in scala 1:2000 fornita dalla Regione Toscana;
- Modello digitale del terreno 10x10 m fornito dalla Regione Toscana;
- Modello digitale del terreno 1x1 m (Lidar) fornito dalla Regione Toscana;
- Uso del suolo e Database topografico in formato shapefile fornito dalla Regione Toscana.

2.3 I RILIEVI TOPOGRAFICI

Per la redazione del presente studio idrologico-idraulico sono state acquisite le sezioni relative a precedenti studi idrologici-idraulici in riferimento ai tratti di studio (vedi paragrafo 2.1).

In particolare sono state utilizzate le sezioni di progetto del reticolo idraulico riportate nel progetto esecutivo [2].

Inoltre sono stati acquisiti per l'analisi idrologica i dati della rete fognaria da Acque S.p.a.

Si riporta in Figura 2-1 uno schema della rete fognaria nell'area d'interesse.

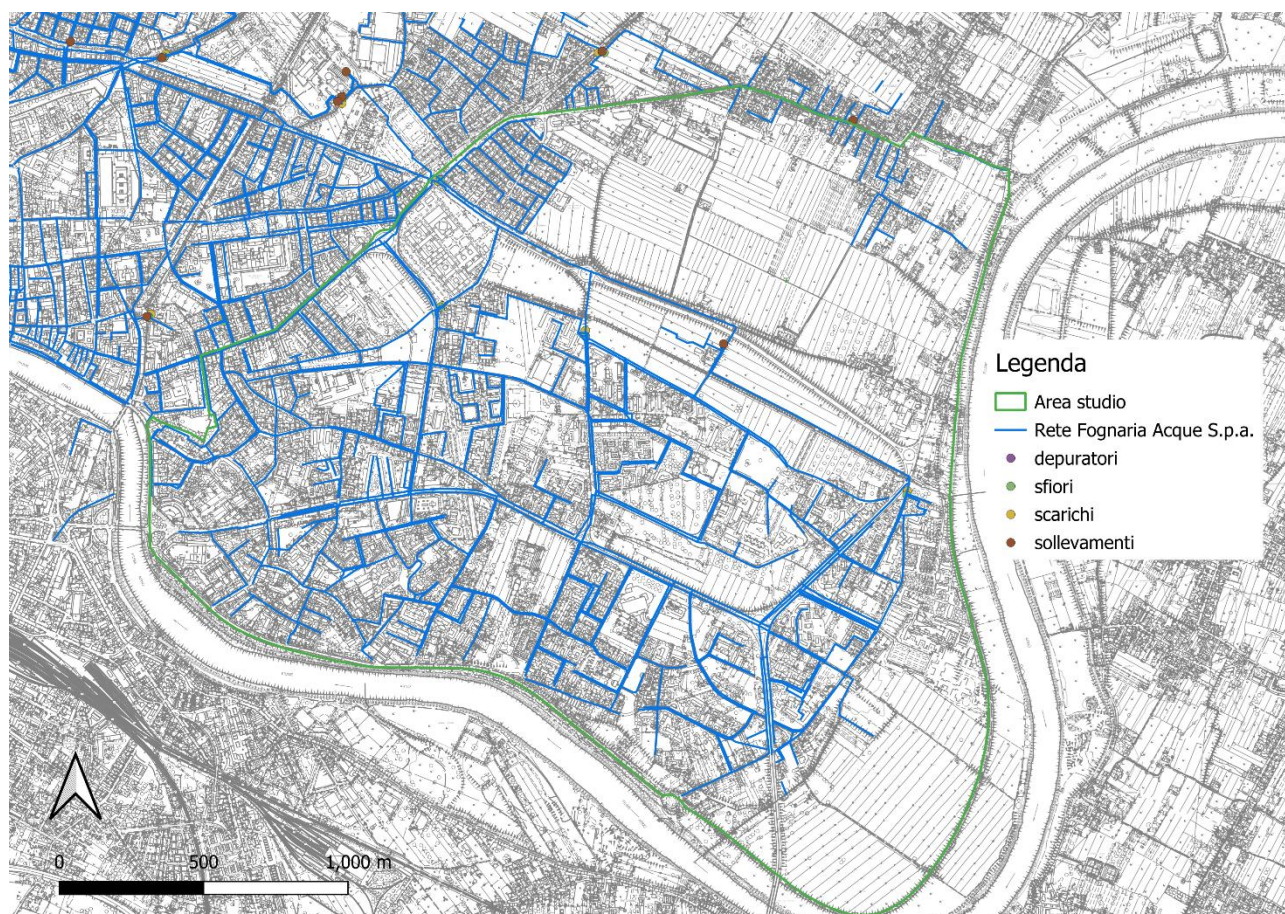


Figura 2-1 – Schema rete fognaria Acque S.p.a.

2.4 CONFIGURAZIONI DI PROGETTO

Sono state definite e verificate tre configurazioni di progetto.

La prima configurazione di progetto non prevede aree di laminazione mentre la seconda e la terza prevedono due schemi di aree di laminazione differenti.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda all'elaborato *T02 – Planimetria degli Interventi*

2.4.1 CONFIGURAZIONE 1 DI PROGETTO

La configurazione 1 recepisce gli interventi del progetto esecutivo [2] sui canali e sull'impianto di sollevamento senza l'inserimento di alcuna area di laminazione.

La configurazione 1 è finalizzata a verificare l'efficacia degli interventi sui canali e la realizzazione dell'impianto idrovoro in riferimento a un evento con tempo di ritorno 30 anni. In questa configurazione la rete fognaria che drena l'abitato nel comune di Pisa è considerata nel suo stato attuale come riportato nel progetto [2].

La configurazione 1 è confrontabile con quanto ipotizzato nel progetto [2] con la sola realizzazione dei canali e dell'idrovora.

Gli interventi ricompresi in questo studio sono l'adeguamento e la realizzazione dei seguenti canali:

- Risagomatura Fosso Palude destro (300m): larghezza alla base 1m, altezza media 1.40-1.50m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 3/2;
- Risagomatura Fosso Palude sinistro (400m): larghezza alla base 1.50m, altezza media 1.40-1.50m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 3/2,
- Risagomatura Fosso Antenna destro (650m): larghezza alla base 1m, altezza media 1.50-1.60m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 3/2,
- Risagomatura Fosso Antenna sinistro (665m): larghezza alla base 1.50m, altezza media 1.60-1.70m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 3/2,
- Realizzazione Fosso di Via Volta (435m): larghezza alla base 1.50m, altezza media 1.70-1.80m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 3/2,
- Realizzazione Fosso della Libertà (435m): larghezza alla base 1.50m, altezza media 1.70-1.80m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 3/2,
- Realizzazione Nuovo Scolo di Ghezzano (1165m): larghezza alla base 2.00m, altezza media 2.00-2.50m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 3/2,
- Risagomatura Ramo trasversale ex 6 comuni (200m): larghezza alla base 1.50m, altezza media 1.00-1.20m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 3/2,
- Connessione idraulica Fosso San Marco: fosso completamente tombato che viene collegato idraulicamente attraverso una cataratta al collettore principale (canale rivestito);
- Connessione idraulica Fosso San Giusto: fosso completamente tombato tranne gli ultimi 250m, che viene collegato idraulicamente attraverso una soglia sfiorante al collettore principale (canale rivestito);

- Interventi Collettore principale della bonifica (1715m).

Gli interventi sul Collettore Principale si suddividono a sua volta:

- Risagomatura tratto dall'origine all'immissione del fosso San Giusto (380 m): larghezza alla base 6.00m, altezza media 1.40-1.60m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 1/1;
- Risagomatura tratto compreso tra fosso San Giusto e immissione N.S. Ghezzano (950 m): larghezza alla base 8.00m, altezza media 1.60-2.50m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 1/1;
- Risagomatura tratto compreso tra fosso San Giusto e immissione N.S. Ghezzano (950 m): larghezza alla base 8.00m, altezza media 1.60-2.50m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 1/1;
- Risagomatura tratto compreso tra immissione N.S. Ghezzano e ponte di Via Aristo Manghi (280 m): larghezza alla base 8.00m, altezza media 2.00-4.00m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 1/1;
- Risagomatura ultimo tratto canale esistente dal ponte di via Manghi fino all'inizio della rampa di raccordo alla vasca di carico (70 m): larghezza alla base 8.00m, altezza media 4.00m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 1/1;
- Realizzazione tratto di raccordo fino alla vasca di carico (35 m): larghezza alla base 8.00-10.00m, altezza media 4.00-4.30m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 1/1;

Per il bacino afferente al canale rivestito è previsto il solo sollevamento meccanico. Il canale Ospedale principale ha la possibilità di scarica a gravità finché i livelli in Arno lo consentono altrimenti le acque vengono convogliate all'impianto di sollevamento attraverso il canale Ospedale b. La derivazione avviene attraverso una paratoia di larghezza 3m e altezza 1.50m.

Si riporta in Figura 2-2 uno schema della configurazione 1.

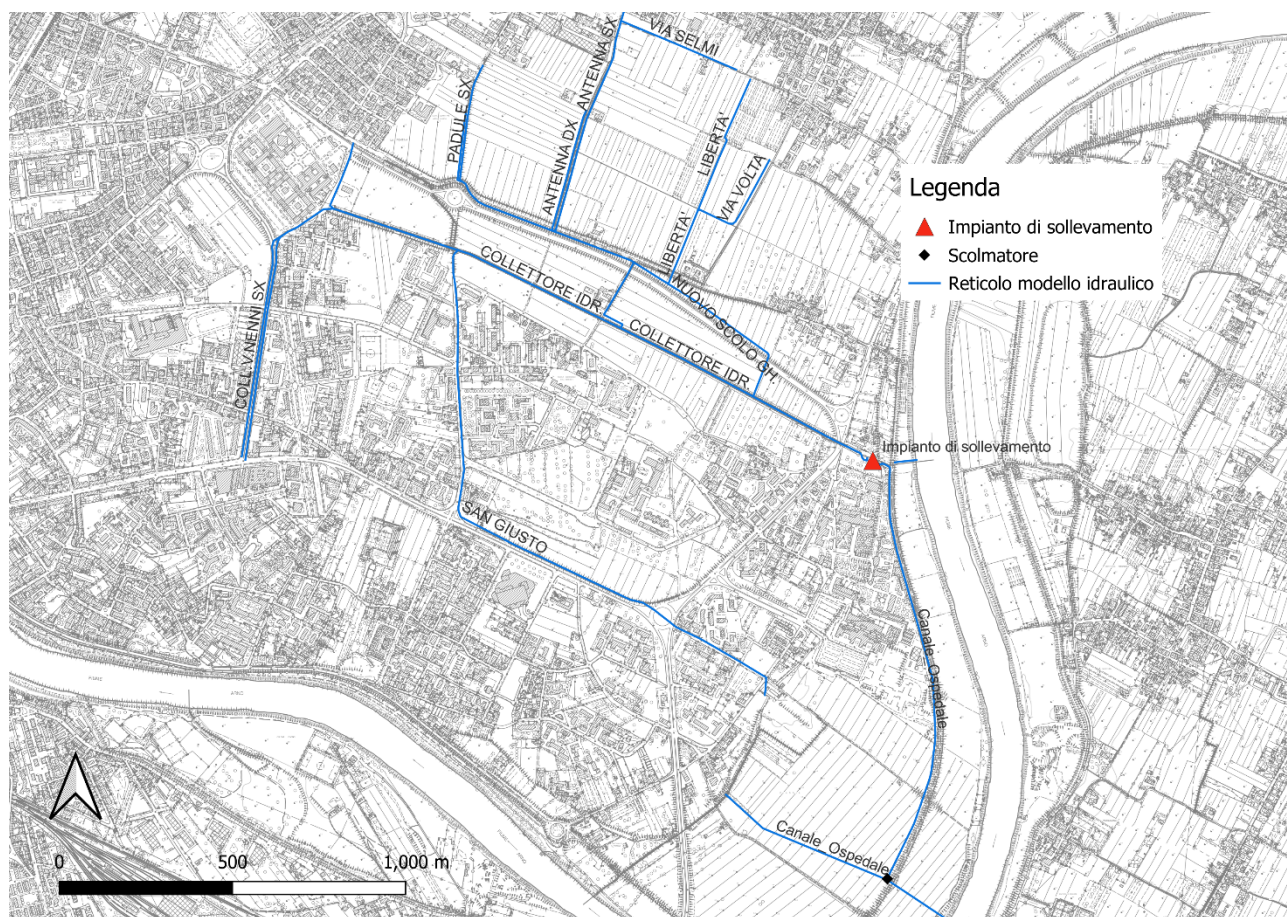


Figura 2-2 – Schema configurazione 1.

Il dimensionamento definitivo dell'impianto di sollevamento è ancora in corso da parte del Consorzio di Bonifica. In questa sede sulla base dei colloqui intercorsi è stato previsto un impianto idrovoro è dotato di 5 pompe principali e di 2 pompe secondarie. Le pompe della zona Nord al servizio delle acque del Collettore Principale sono 4 principali e una secondaria. Le pompe al servizio del canale di derivazione dell'Ospedale sono una principale ed una secondaria. Le pompe principali hanno una portata di circa 4.0 mc/s, quelle secondarie di 1.5 mc/s per una capacità di sollevamento complessiva di circa 23 mc/s.

Si riporta in Figura 2-3 e Figura 2-4 a titolo di esempio le curve caratteristiche delle pompe utilizzate.

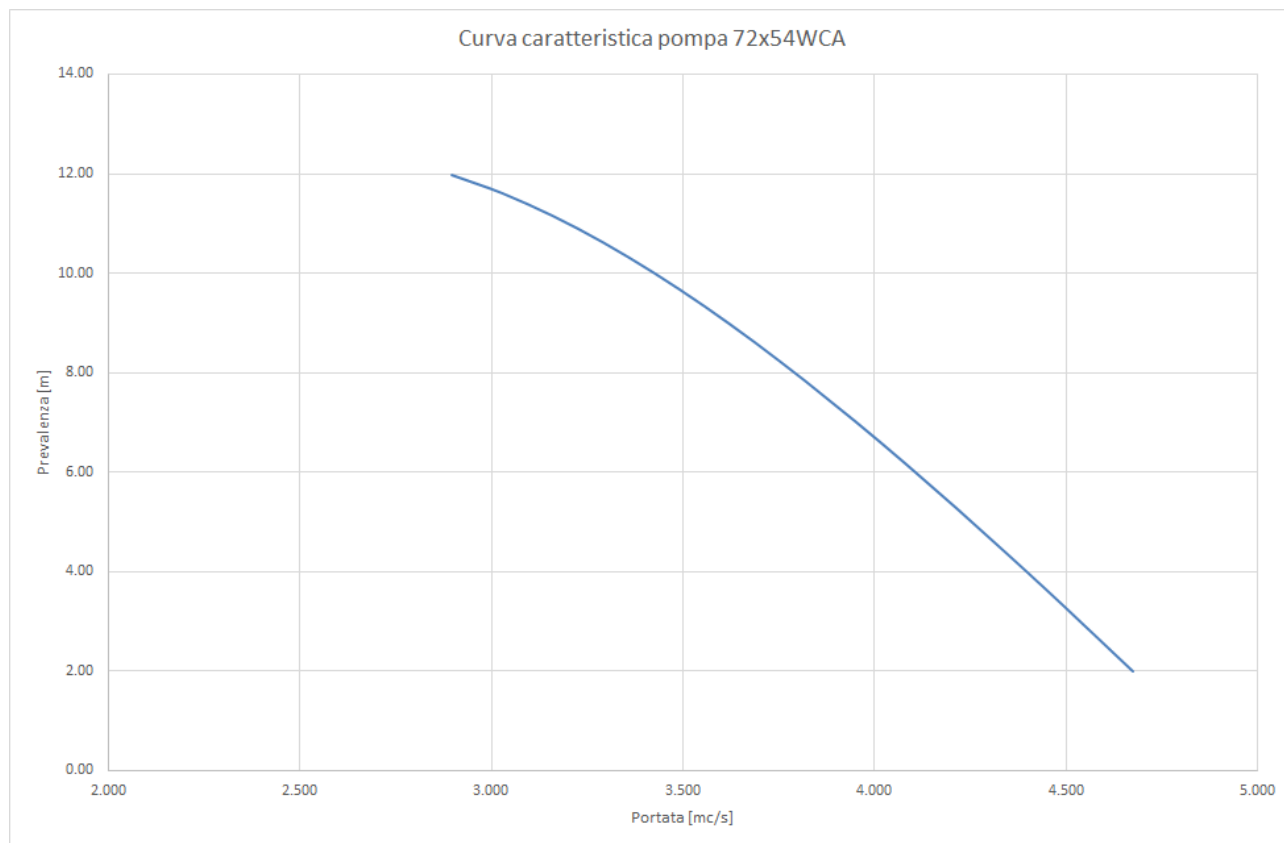


Figura 2-3 – Curva caratteristica pompa principale.

Il piccolo impianto di sollevamento attualmente al servizio dell'Ospedale non è stato considerato nelle presenti simulazioni.

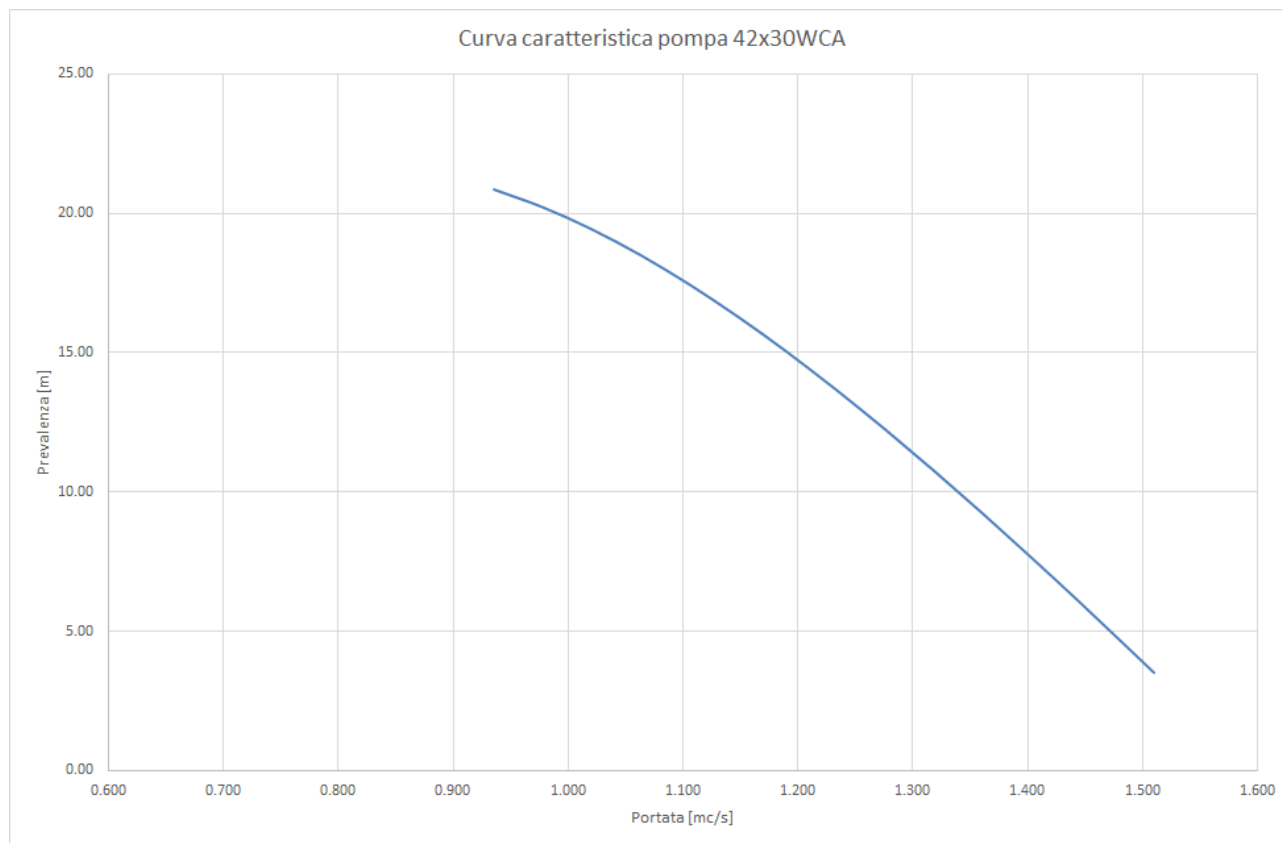


Figura 2-4 – Curva caratteristica pompa secondaria.

2.4.2 CONFIGURAZIONE 2 DI PROGETTO

La configurazione 2 riprende la configurazione 1 con l’inserimento di 3 aree di laminazione.

La configurazione 2 è finalizzata a verificare l’efficacia degli interventi sui canali, la realizzazione dell’impianto idrovoro e di 3 casse di laminazione in riferimento a un evento con tempo di ritorno 200 anni. In questa configurazione la rete fognaria che drena l’abitato nel comune di Pisa è ancora considerata nel suo stato attuale come riportato nel progetto [2].

La configurazione 2 è confrontabile con quanto ipotizzato nel progetto [2] con tutti gli interventi realizzati.

Lo studio [1] prevedeva anch’esso la realizzazione di 3 casse di espansione con le caratteristiche riportate nella Tabella 2-1 per una superficie complessiva di 284500mq.

	Quota fondo [m s.l.m.]	Scavo [m]	Area [mq]
CS001__	1.20	0.76	106800
CS002__	1.10	1.00	86200
CS003__	1.00	1.46	91500

Tabella 2-1 – Caratteristiche delle casse di espansione dello studio [1]

Il progetto esecutivo [2] prevede anch'esso la realizzazione di 3 casse di laminazione con le caratteristiche riportate nella Tabella 2-2 per una superficie complessiva di circa 284500 mq pari a quella dello studio [1].

Cassa di espansione	Superficie [mq]	Quota fondo [m s.l.m.]	Quota sfioratore [m s.l.m.]	Lunghezza sfioratore [m]
A	91.500	1,20	1,60	20
B	106.800	1,30	1,70	20
C	86.200	1,30	Nuovo Scolo GH: 1,70	Nuovo Scolo GH: 20
			Libertà: 1,70	Libertà: 20

Tabella 2-2 – Caratteristiche delle casse di espansione del progetto [2]

Le aree individuate nel presente studio per la laminazione assommano a circa 242500 mq così ripartite:

- Cassa CS001 (Cassa B del progetto [2])– tra fosso Padule sinistro e fosso Antenna destro – 68290 mq;
- Cassa CS002 (Cassa C del progetto [2])– tra fosso Antenna sinistro e fosso della Libertà – 122820 mq;
- Cassa CS003 (Cassa A del progetto [2]) – in destra del canale rivestito – 51390 mq.

Per le casse di laminazione previste nel presente studio hanno le seguenti quote di fondo:

- Cassa CS001 – 1.2 m s.l.m.;
- Cassa CS002 – 1.1 m s.l.m.;
- Cassa CS003 – 0.6 m s.l.m.

Tali quote sono state fissate in modo che il fondo della cassa risultasse circa almeno 50 cm più alto rispetto al fondo del canale ove recapita lo scarico.

Lo scavo medio per ciascuna cassa è il seguente:

- Cassa 1 – 0.76 m;
- Cassa 2 – 1.00 m;
- Cassa 3 – 1.86 m.

Le principali variazioni in termini areali rispetto a quanto previsto negli studi e progetti precedenti sono le seguenti:

- riduzione della superficie della cassa 1 (Cassa B del progetto [2]) in quanto l'area ove è prevista la realizzazione della Scuola Sant'Anna è stata esclusa da perimetro della cassa viste le difficoltà incontrate nel collocare nell'area i volume previsti dallo studio [1] quantificati nella Scheda Norma in 33.840 mc con una quota di invaso di 2.0 m s.l.m. Tale soluzione consente inoltre una migliore gestione e manutenzione dell'opera idraulica;

- ampliamento della cassa di laminazione 2 di circa 33620 mq al fine di compensare la riduzione della cassa 1;
- riduzione della cassa 3 in ragione degli interventi previsti e in parte realizzati dal progetto *“Appalto integrato di progettazione esecutiva e esecuzione dei lavori – Riqualificazione dei parchi Pungilupo e Timpanaro”*.

Il riferimento all'ultimo punto si osserva che il progetto di riqualificazione dei parchi Pungilupo e Timpano prevede uno sbassamento del piano campagna con una quota finale a intervento realizzato di poco superiore a 2.0m s.l.m.. Tale quota non risulta idonea a garantire il volume di invaso previsto nel progetto [2] nello scenario 1 per il tempo di ritorno di 200 anni pari a circa 34.510 mc. Il progetto [2] prevedeva infatti una quota di progetto in tale area di 1.20 m s.l.m.. Inoltre all'interno dell'area della cassa sono state previste delle collinette che riducono la superficie utile ai fini della laminazione. In questa sede, al fine di recuperare in parte le volumetrie previste nello studio [1], si è comunque ipotizzato un futuro, seppur complesso, ulteriore sbassamento della cassa fino a una quota di 0.6 m s.l.m.

La cassa CS001 riceve le acque da uno sfioratore posto in destra idraulica del Fosso Antenna destro le restituisce attraverso uno scarico di fondo sempre nel fosso Antenna destro più a valle.

La cassa CS002 riceve le acque ancora dal fosso Antenna sinistro e dal Fosso Libertà e le restituisce attraverso uno scarico di fondo sempre nel fosso Antenna sinistro più a valle.

La cassa CS003 riceve le acque dal canale Rivestito e le restituisce nello stesso canale a valle della confluenza del fosso di Ghezzano.

La cassa CS003 riprende il perimetro del settore c del progetto del parco Pungilupo redatto nell'elaborato [3].

Si riporta a titolo di esempio in Figura 2-5 la planimetria di progetto del parco Pungilupo.



Figura 2-5 – Planimetria progetto esecutivo parco Pungilupo.

Le soglie sfioranti delle casse CS001 e CS002 hanno quota sfiorante pari a 1.70 m s.l.m. mentre la soglia della cassa CS003 ha una quota pari a 1.60 m s.l.m.

Le soglie sfioranti verso le casse hanno tutte la larghezza di 20 m.

Si riporta in Figura 2-6 uno schema della configurazione 2.

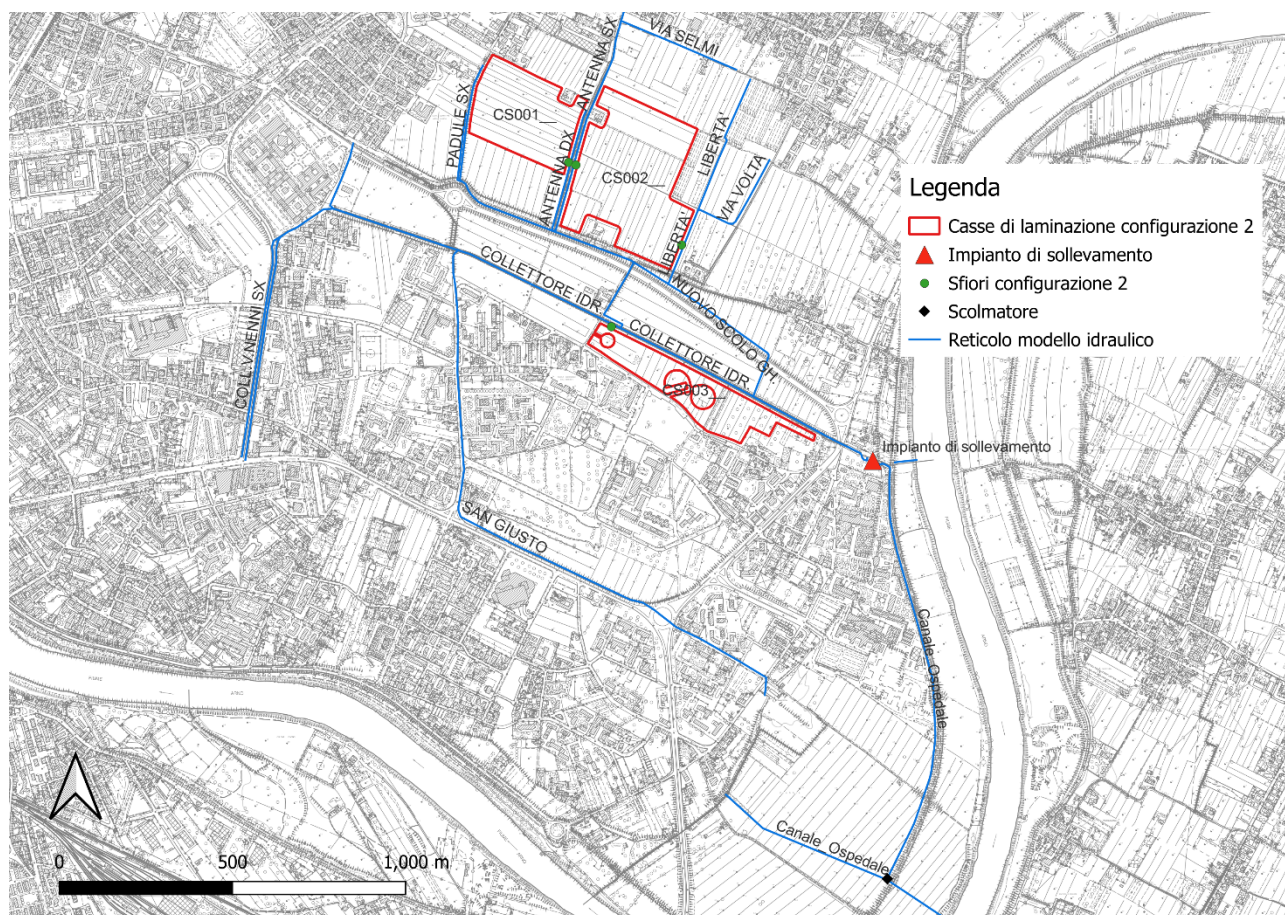


Figura 2-6 – Schema configurazione 2.

2.4.3 CONFIGURAZIONE 3 DI PROGETTO

La configurazione 3 riparte dalla configurazione 2 del presente studio e prevede l'ampliamento di alcuni tratti del reticolo dei canali, l'ampliamento di due casse di espansione e l'inserimento di ulteriori 2 casse.

La configurazione 3 è finalizzata a verificare l'efficacia degli interventi sui canali, la realizzazione dell'impianto idrovoro e di 5 casse di laminazione in riferimento a un evento con tempo di ritorno 200 anni. In questa configurazione si assume che la rete fognaria che drena l'abitato nel comune di Pisa sia adeguata e in grado di conferire alla rete dei canali la propria portata idrologica. Si tratta pertanto di uno scenario di lungo periodo.

La configurazione 3 è confrontabile con quanto ipotizzato nello studio [1].

Le aree individuate per la laminazione assommano a circa 310296 mq così ripartite:

- Cassa CS001 – tra fosso Padule sinistro e fosso Antenna destro – 68291 mq;
- Cassa CS002 (Ampliata) – tra fosso Antenna sinistro e fosso della Libertà – 140261 mq;
- Cassa CS003 (Ampliata) – in destra del canale rivestito – 68268 mq;
- Cassa CS004 – in destra del canale rivestito – 20918 mq;
- Cassa CS005 – in destra del canale rivestito – 12557 mq.

Per le casse di laminazione sono state previste le seguenti quote di fondo:

- Cassa CS001 – 1.2 m s.l.m.;
- Cassa CS002 – 1.1 m s.l.m.;
- Cassa CS003 – 0.6 m s.l.m.;
- Cassa CS004 – 1.2 m s.l.m.;
- Cassa CS005 – 1.2 m s.l.m.

Tali quote sono state fissate in modo che il fondo della cassa risultasse circa almeno 50 cm più alto rispetto al fondo del canale ove recapita lo scarico.

Lo scavo medio per ciascuna cassa è il seguente:

- Cassa 1 – 0.76 m;
- Cassa 2 – 1.00 m;
- Cassa 3 – 1.86 m;
- Cassa 4 – 1.20 m;
- Cassa 5 – 1.20 m;

La cassa CS001 riceve le acque da uno sfioratore posto in destra idraulica del Fosso Antenna destro le restituisce attraverso uno scarico di fondo sempre nel fosso Antenna destro più a valle.

La cassa CS002 riceve le acque ancora dal fosso Antenna sinistro e dal Fosso Libertà e le restituisce attraverso uno scarico di fondo sempre nel fosso Antenna sinistro più a valle.

La cassa CS003 riceve le acque dal canale Rivestito attraverso due sfioratori: uno posto a valle della confluenza del Fosso San Giusto ed uno posto a valle della confluenza del Nuovo Scolo di Ghezzano. Restituisce le acque attraverso uno scarico di fondo subito a valle del secondo sfioratore.

La cassa CS003 riprende l'intero perimetro del parco Pungiluppo redatto nell'elaborato [3].

Le soglie sfioranti delle casse CS001, CS004 hanno quota sfiorante pari a 1.70 m s.l.m. mentre le due soglie della cassa CS003, CS005 hanno una quota pari a 1.60 m s.l.m. La cassa CS002 ha lo sfioro sul fosso Antenna sinistro a quota 1.70 m s.l.m. mentre lo sfioro sul fosso Libertà è a quota 1.60 m s.l.m.

Le soglie delle casse CS001, CS002, CS004, CS005 hanno una lunghezza di sfioro pari a 20m mentre le due soglie della cassa CS003 hanno una lunghezza sfiorante di 30m.

Nella configurazione 3 si è ipotizzato un adeguamento idraulico del reticolo esistente, in particolare del reticolo fognario comprendente, i Fossi San Giusto, San Marco e i Collettori di Via Nenni destro e sinistro, e del fosso di Via Selmi.

La configurazione 3 riporta ulteriori modifiche al reticolo di studio:

- Allargamento Collettore principale tratto dall'origine all'immissione del fosso San Giusto (380 m): larghezza alla base 8.00m, altezza media 1.70m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 1/1;
- Allargamento Collettore principale tratto compreso tra fosso San Giusto e inizio cassa di laminazione (90 m): larghezza alla base 16.00m, altezza media 1.70m, scarpa delle sponde ($1/\tan(\alpha)$): 1/1.

Si riporta in Figura 2-7 uno schema della configurazione 3.

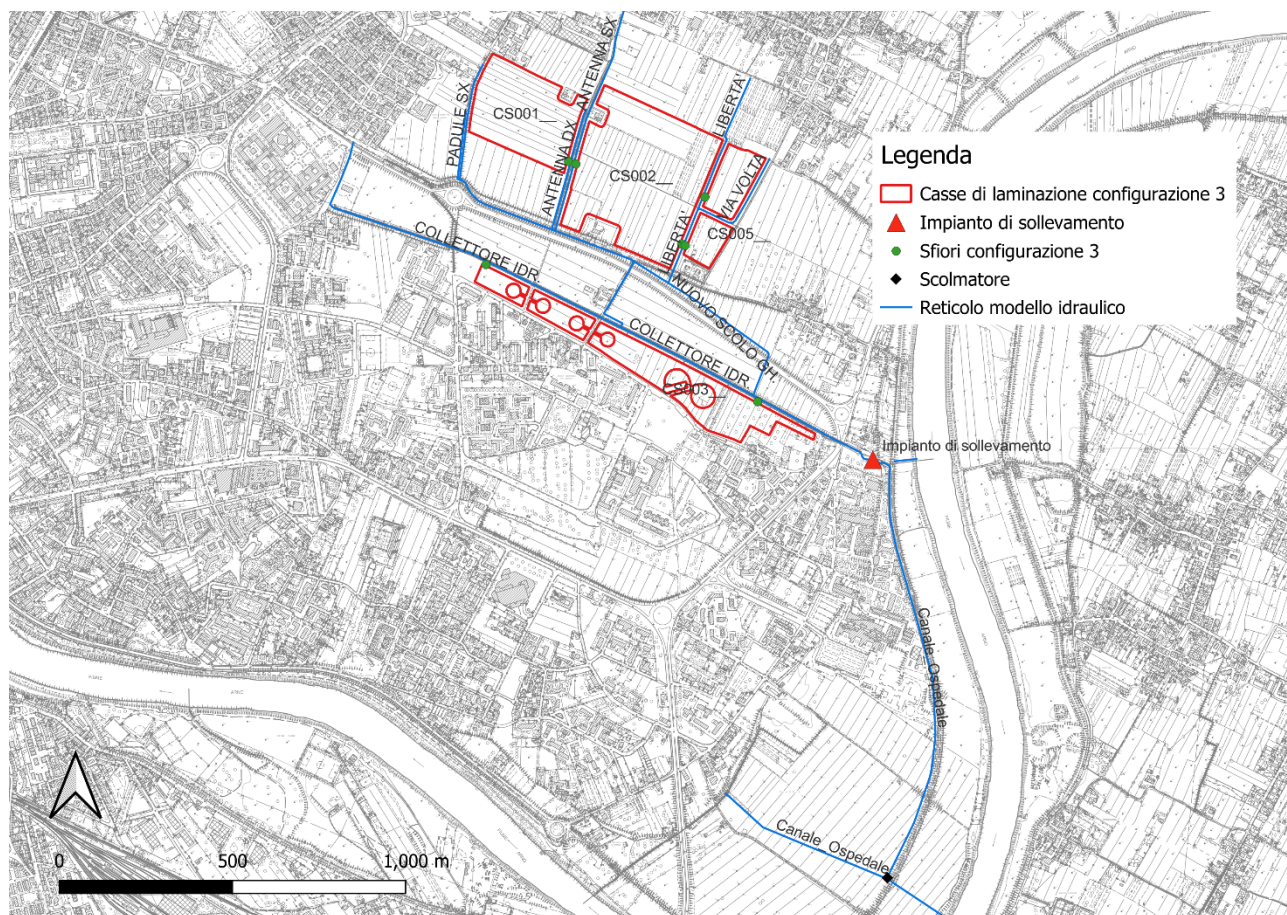


Figura 2-7 – Schema configurazione 3.

3 ANALISI IDROLOGICA

Obiettivo dell'analisi idrologica è fornire gli idrogrammi di piena per i bacini oggetto del presente studio.

Le condizioni di portata sono state determinate con riferimento ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le durate 1, 3, 6 ore.

Le immissioni e i bacini idrografici sottesi sono riportati nella Figura 3-1.

L'analisi idrologica è stata condotta mediante l'applicazione di un modello idrologico a parametri distribuiti, denominato PIENE, che prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica.

Il suddetto modello a parametri distribuiti è in grado di simulare sia il fenomeno della formazione dell'onda di piena che quello del suo trasferimento a scala di bacino.

La parametrizzazione utilizzata nel modello PIENE deriva dalla taratura condotta in studi recenti nel territorio toscano.

3.1 LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Le curve di possibilità pluviometrica sono quelle dello studio di approfondimento condotto dalla Università di Firenze che utilizza i dati pluviometrici al 2012.

La curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma generica:

$$h = a \times t^n$$

dove:

- h altezza di pioggia in [mm/h];
- a coefficiente dipendente dal tempo di ritorno [mm/hⁿ];
- n esponente della curva di possibilità pluviometrica.

Lo studio fornisce i valori di a e n su una maglia di 1x1 km su tutto il territorio regionale per vari tempi di ritorno. Approssimando la curva di crescita, che dipende dal modello probabilistico utilizzato per la stima delle altezze di pioggia per le varie durate e per i vari tempi di ritorno, con una legge di potenza la curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma:

$$h = a' \times t^n \times T^m$$

dove:

- a' coefficiente [mm/hⁿ y^m];

- T tempo di ritorno in anni [y].

Si riportano i valori dei coefficienti a, n e m per il bacino in esame (Figura 3-2, Figura 3-3 e Figura 3-4). Tali coefficienti sono stati utilizzati in via cautelativa sia per durate superiori che inferiori all'ora.

Tali coefficienti sono stati utilizzati sia per durate superiori che inferiori all'ora.

L'input di precipitazione è stato definito sulla base delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) adottando uno **ietogramma di tipo rettangolare**.

La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un coefficiente di riduzione, K_r , del tipo:

$$K_r = \frac{h_A(A, t)}{h(t)}$$

dove:

- $h_A(A, t)$ = l'altezza di pioggia di durata t ragguagliata all'area A;
- $h(t)$ = l'altezza di pioggia di durata t nel centro di scroscio.

Il valore di K_r dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;
- l'altezza di pioggia.

Per la quantificazione di K_r si è fatto riferimento alla formula dell'USWB opportunamente modificata per tenere in conto delle caratteristiche peculiari della Regione Toscana:

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A)$$

dove:

- α , β e γ = parametri della formula;
- t [h] = durata della precipitazione;
- A [km²] = area del bacino.

Nell'ambito della taratura condotta in studi recenti nel territorio toscano sono stati definiti i seguenti valori per i parametri:

- $\alpha = F_a \times a = 0.036 \times a$, dove a è il parametro della curva di possibilità
- $\beta = F_b = 0.25$
- $\gamma = F_c = 0.01$

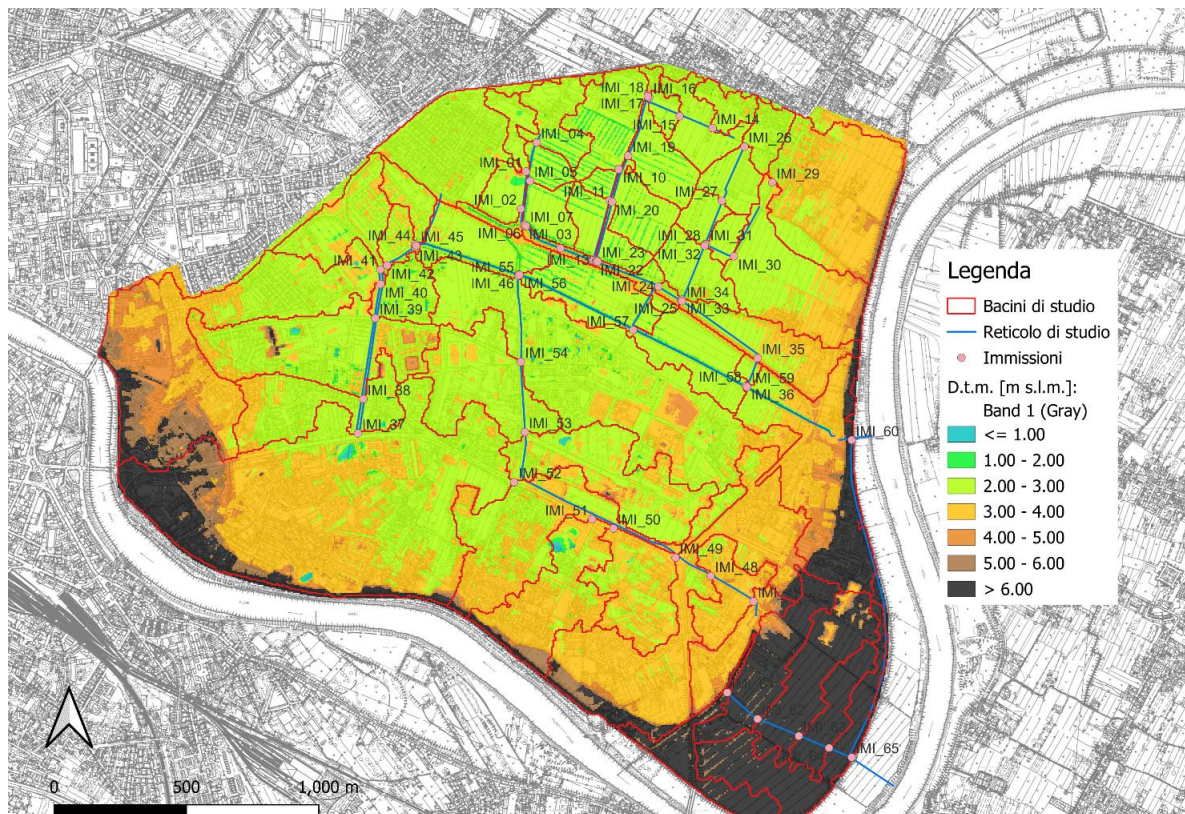


Figura 3-1 – Immissioni di studio e bacini idrografici sottesi

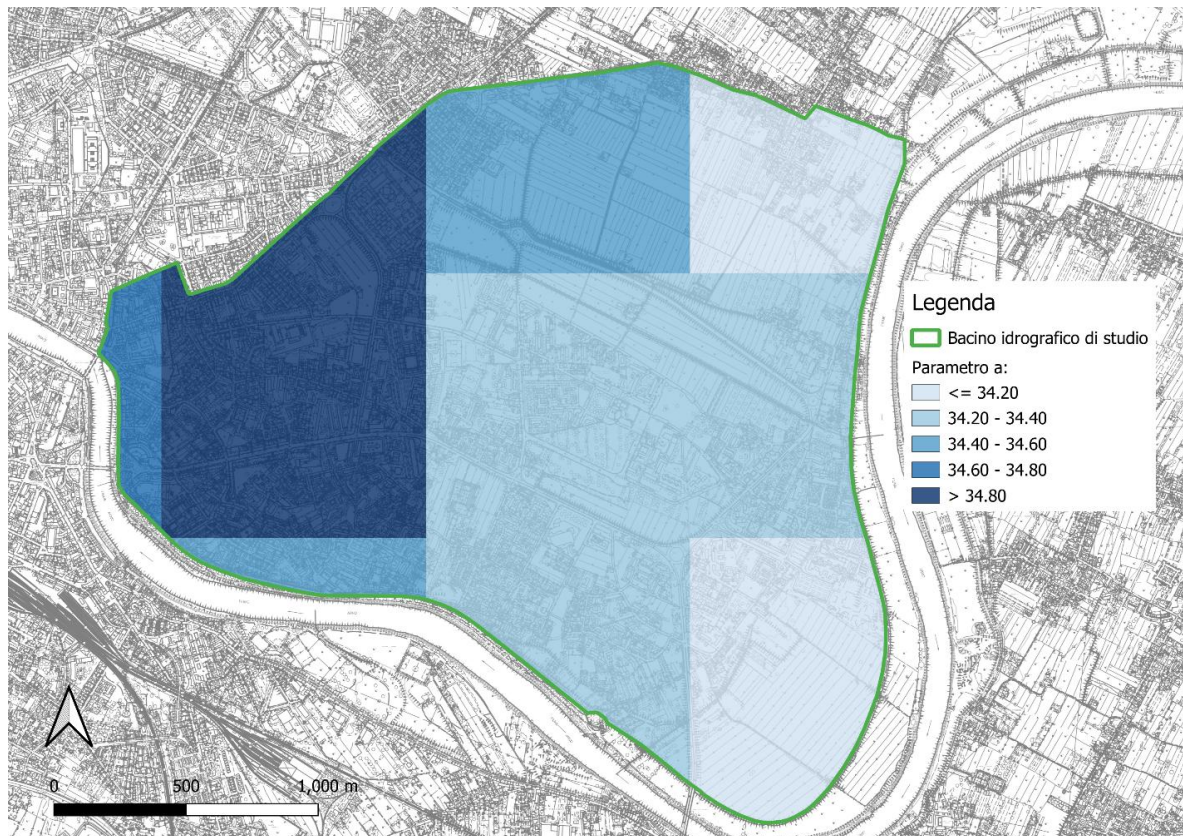


Figura 3-2 – Mappa coefficiente a

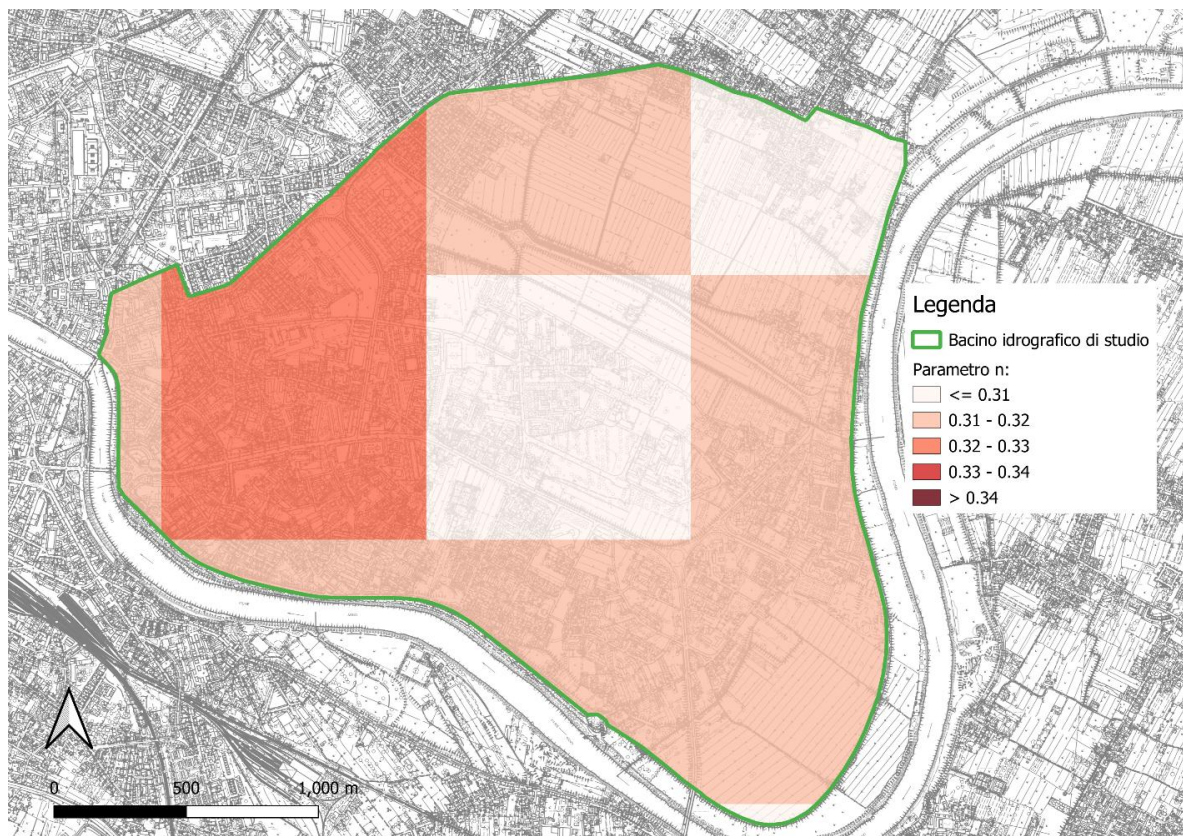


Figura 3-3 – Mappa coefficiente n

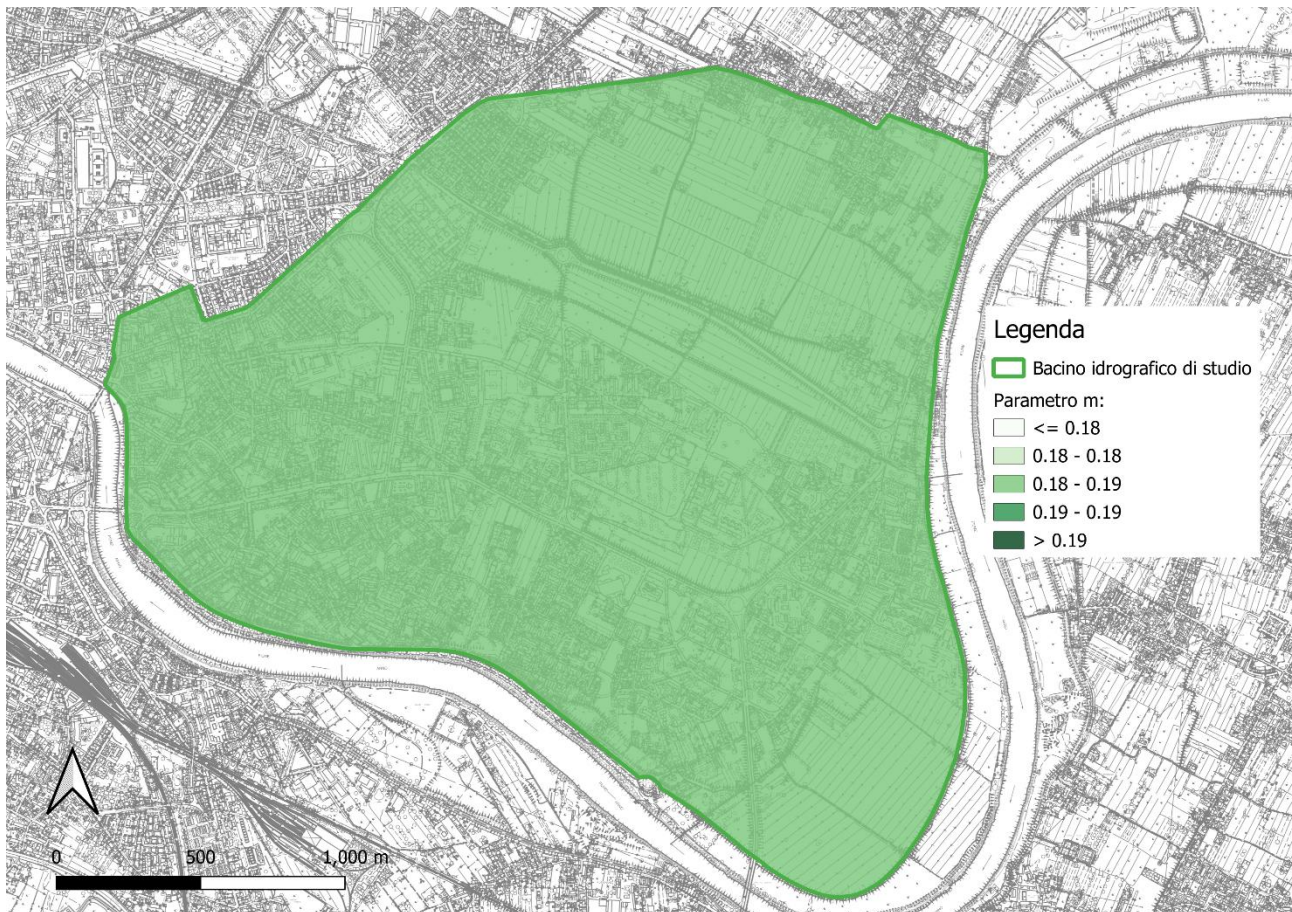


Figura 3-4 – Mappa coefficiente m

3.2 CARATTERISTICHE DEL MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI

Il modello idrologico utilizzato può essere classificato come distribuito in quanto i parametri sono definiti per ognuna delle singole celle. Dal punto di vista concettuale il modello valuta dapprima la formazione del deflusso superficiale mediante la simulazione del fenomeno dell'intercettazione e, successivamente, il trasferimento di tale deflusso sino alla sezione di chiusura.

Il modello che simula il fenomeno dell'intercettazione calcola il deflusso superficiale di ciascuna cella, considerando sia la capacità di ritenuta del suolo che la velocità di infiltrazione a saturazione (percolazione). Il modello mette in conto anche la componente di deflusso ipodermico che raggiunge il reticolo con tempi maggiori rispetto al deflusso superficiale.

La capacità di ritenuta e la velocità di filtrazione a saturazione sono state ricavate dal DB idrologico realizzato nell'ambito dello studio condotti dalla Regione Toscana *Macroattività B – Modellazione idrologica – Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota e Implementazione modello distribuito Mobidic* (studio [5]).

La simulazione delle modalità di trasferimento del deflusso superficiale si basa sulla schematizzazione del fenomeno mediante una componente di tipo cinematico e una di tipo "serbatoio lineare" (modello tipo Clark).

L'applicazione di un modello a parametri distribuiti prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica.

Il modello necessita, quindi, di una serie di mappe relative alle grandezze idrologiche e geografiche.

Le mappe che forniscono la parametrizzazione dei processi di formazione e trasferimento dei deflussi sul bacino in esame sono:

- mappa dei puntatori;
- mappa degli ordini di calcolo;
- mappa dei bacini;
- mappa delle velocità;
- mappa dei tempi di trasferimento;
- mappa del Curve Number.

Le basi di dati cartografici, in formato digitale (raster), sono costituite da:

- modello digitale del terreno con maglia 10×10 m adeguata a consentire l'individuazione delle linee di impluvio ed una corretta individuazione dei bacini imbriferi (Figura 3-1);
- mappa CN (Figura 3-5).

Il raster dei “puntatori idrologici e dei tempi di trasferimento” sono stati elaborati a partire dal DTM 10×10 m. Il raster dei puntatori indica la direzione del deflusso superficiale e viene ricavato assumendo che ogni cella versi nella cella vicina a quota minore.

Il fenomeno dell’intercettazione è stato simulato con il metodo SCS Curve Number, che utilizza una semplice equazione di bilancio tra la pioggia, il deflusso superficiale e le perdite per infiltrazione. La stima delle perdite avviene mediante la definizione del Curve Number CN e la perdita iniziale I_a , dove:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

$$S = 25.4 \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right]$$

Tali grandezze sono state ricavate per ciascun bacino a partire dalle informazioni riportate nel Data Base Idrologico della Regione Toscana ricavate nell’ambito della “Macroattività B - Modellazione idrologica - Attività B2: Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC - Addendum: Parametrizzazione HMS”.

Nell’area di interesse le proprietà idrologiche dei suoli (HSG) ricadono nella classe B così descritta:

“HSG Group B Soils with moderate infiltration rates when thoroughly wetted. These consist chiefly of soils that are moderately deep to deep, moderately well drained to well drained with moderately fine to moderately coarse textures. These soils have a moderate rate of water transmission (final infiltration rate of 0.15 to 0.30 in./h)”.

L’uso del suolo è stato calcolato a partire dall’uso del suolo della Regione Toscana del 2016 e dal Data Base Topografico integrato con le più recenti modifiche dedotte dalle ortofoto del 2023. A ciascuna classe sono stati attribuiti i valori di CN riportati nella Tabella 3-1.

In questo modo è stato ricavato il valore del *Curve Number* CN nelle condizioni di media saturazione (CN_{II}), riportato in (Figura 3-5). Si specifica che per quanto riguarda il CN è stato assunto che la condizione di umidità iniziale del suolo all’inizio della pioggia appartenga alla classe AMCIII.

CODICE	CNI	CNII	CNIII	DESCRIZIONE
DBT010104	95	98	99	Strade
DBT010105	95	98	99	Strade secondarie
DBT020101	95	98	99	Edifici
DBT020107	95	98	99	Annessi
DBT020201	95	98	99	Manufatti industriali
DBT020202	95	98	99	Manufatti civili
DBT020204	95	98	99	Aree attrezzate
DBT020205	95	98	99	Manufatti stradali
UCS111	83	92	96	Zone residenziali a tessuto continuo
UCS112	70	85	93	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
UCS1121	95	98	99	Pertinenza abitativa, edificato sparso
UCS121	75	88	94	Aree industriali e commerciali
UCS122	95	98	99	Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche
UCS133	72	86	93	Cantieri, edifici in costruzione
UCS141	48	69	84	Aree verdi urbane
UCS1411	70	85	93	Cimiteri
UCS142	61	79	90	Aree ricreative e sportive
UCS210	53	73	86	Seminativi irrigui e non irrigui
UCS221	70	85	93	Vigneti
UCS223	44	65	81	Oliveti
UCS231	48	69	84	Prati stabili
UCS241	53	73	86	Colture temporanee associate a colture permanenti
UCS242	53	73	86	Sistemi colturali e particellari complessi
UCS243	53	73	86	Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
UCS324	35	56	75	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione
UCS511	95	98	99	Corsi di acqua, canali e idrovie

Tabella 3-1 – Valori del CN

Il deflusso superficiale all'interno del bacino è differenziato nel deflusso superficiale e nel deflusso nei canali. Si assume che il deflusso avvenga nel canale quando l'area sottesa è superiore a un valore soglia.

La velocità di trasferimento è valutata in funzione dell'area del bacino sotteso e della pendenza locale con una formula del tipo:

$$v = C A^n J^m;$$

dove:

- C fattore di scala [m/ s kmqⁿ];
- A area sottesa [kmq];
- n esponente area sottesa;
- J pendenza locale [-];
- m esponente pendenza locale.

Per i parametri n e m è stato assunto lo stesso valore sia per il versante che per il reticolo. Il parametro di scala varia invece da versante a reticolo, di norma sul versante è pari a una frazione di quello assunto per il reticolo.

Nel caso specifico si è assunto che:

- il deflusso avvenga nel canale per aree sottese maggiori di 0.5 ha;
- la pendenza locale è stata calcolata lungo il reticolo come il seno della pendenza media su un tratto di 100 m della curva ipsografica opportunamente regolarizzata con una media mobile;
- le mappe di velocità e tempi di trasferimento del versante sono state calcolate con la seguente espressione:

- $v = 0.05 C A^{0.15} J^{0.3}$ per il deflusso superficiale

- le mappe di velocità e tempi di trasferimento del canale sono state calcolate con la seguente espressione:

- $v = C A^{0.15} J^{0.3}$ per il deflusso nei canali

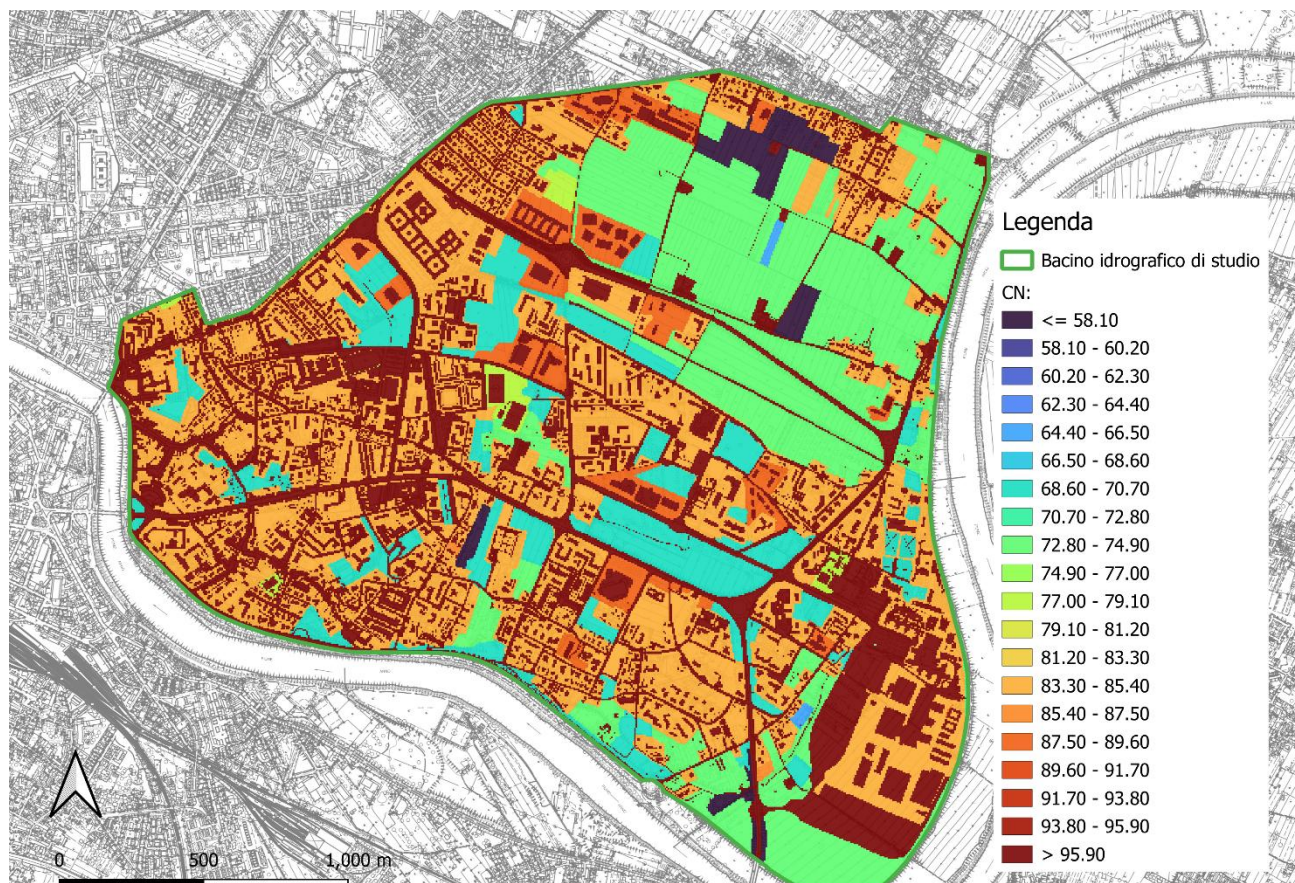


Figura 3-5 – Mappa CN II

3.3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

Il modello idrologico prima descritto è stato implementato per ricavare le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno dei bacini di studio.

I parametri del modello idrologico sono riportati nella Tabella 3-2.

Parametri		
α_o	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]	1.00
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]	4.10
Cl	coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]	0.35

Tabella 3-2 – Tabella parametri del modello

3.4 RISULTATI DEL MODELLO IDROLOGICO

Nell'Appendice B si riportano i risultati della modellazione idrologica con il software PIENE per i bacini idrografici totali al colmo.

4 ANALISI IDRAULICA

Le verifiche idrauliche sono state condotte con un modello idraulico di moto vario con modellazione bidimensionale delle aree di esondazione. Nello specifico è stato utilizzato il modello HEC-RAS 6.2.

Il modello di moto vario monodimensionale consente la simulazione del fenomeno di propagazione dell'onda di piena lungo i corsi d'acqua, mentre il modello bidimensionale permette la simulazione dei fenomeni propagazione delle esondazioni nelle aree circostanti.

Le verifiche idrauliche sono state condotte per tempi di ritorno di 30 e 200 anni e durate pari a 1, 3, 6 ore.

La modellazione idraulica è stata effettuata nell'ipotesi di sormonto delle strutture arginali in assenza di collasso.

4.1 DEFINIZIONE DEI CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO

L'estensione del modello è stabilita al fine di modellare correttamente dal punto di vista idraulico l'area in cui ricade il plesso del Sant'Anna, tenuto conto del quadro conoscitivo a disposizione.

Il modello idraulico è composto dai seguenti corsi d'acqua:

- Fosso Palude dx
- Fosso Plaude sx;
- Fosso Antenna sx;
- Fosso Antenna dx;
- Fosso Libertà;
- Fosso di Via Volta;
- Fosso di Via Selmi;
- Fosso Nuovo Scolo di Ghezzano;
- Collettore Nenni dx;
- Collettore Nenni sx;
- Fosso San Giusto;
- Fosso San Marco;
- Canale Ospedale a;
- Canale Ospedale b;
- Collettore principale (canale rivestito).

Si riporta in Figura 4-1 i tratti di corsi d'acqua oggetto di modellazione idraulica.

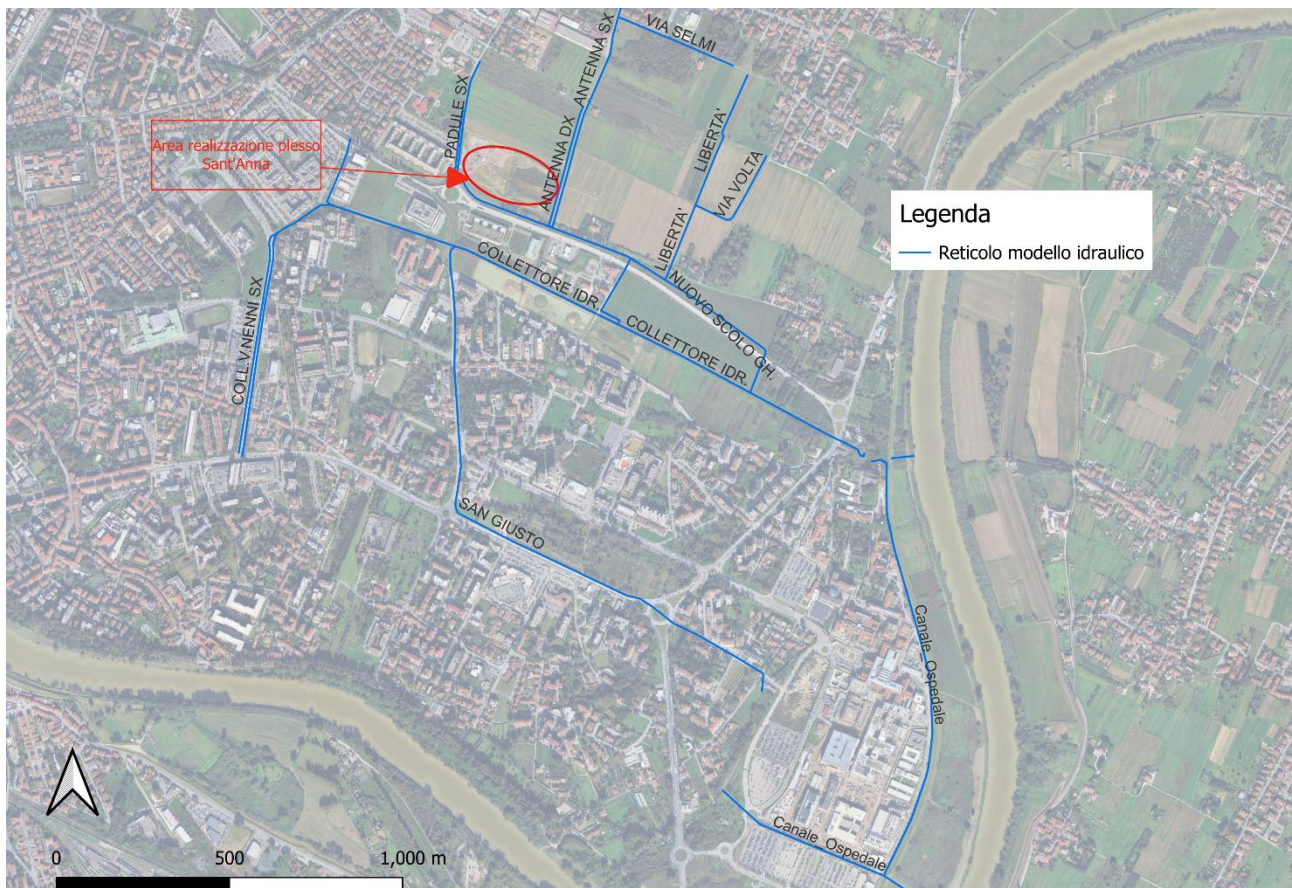


Figura 4-1 – Corsi d'acqua oggetto di studio

4.2 GLI ELEMENTI DEL MODELLO IDRAULICO

Il sistema idraulico del modello implementato è descritto da:

- n.24 tronchi fluviali;
- n.17 aree bidimensionali;
- n.2 aree quasi-bidimensionali;
- n.65 immissioni di portata liquida.

Si riporta in Figura 4-2 un estratto della geometria del modello idraulico.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato *T03.a, T03.b, T03.c – Planimetria modello idraulico*.

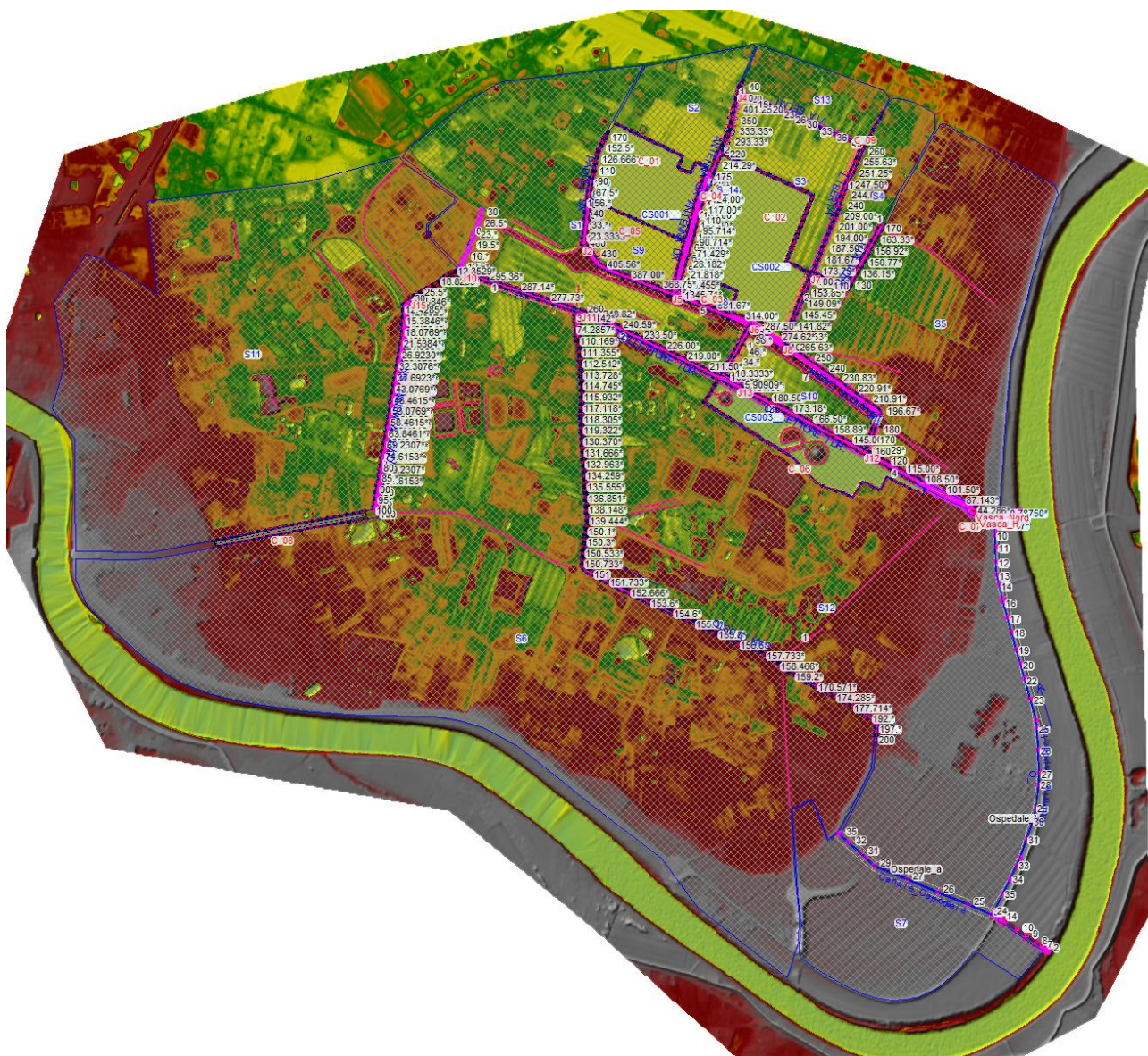


Figura 4-2 – Estratto modello idraulico

4.3 CONFIGURAZIONI DI STUDIO

Le configurazioni oggetto di modellazione idraulica sono le seguenti:

- **Configurazione 1:** stato di progetto con le modifiche descritte al capitolo 2.4.1 secondo le disposizioni del progetto esecutivo di “Riassetto idraulico dei bacini di Pisa Nord Est nei comuni di Pisa e San Giuliano Terme” [2];
- **Configurazione 2:** stato di progetto con le modifiche descritte al capitolo 2.4.2, si compone delle modifiche della configurazione 1 con l’aggiunta di 3 aree di laminazione;
- **Configurazione 3:** stato di progetto con le modifiche descritte al capitolo 2.4.3, sono presenti 5 aree di laminazione e viene fatta un’ipotesi di assenza di esondazioni nella parte di reticolo esistente. In particolare nella configurazione 3 non sono presenti la modellazione dei seguenti tronchi fluviali: Collettore Via Nenni destro e sinistro, Fosso San Marco, Fosso San Giusto, Fosso di Via Selmi.

Per maggiori dettagli si rimanda all’elaborato *T03.a, T03.b, T03.c – Planimetria modello idraulico*.

4.4 AREE DI ESONDAZIONE BIDIMENSIONALI

Il modello digitale del terreno, utilizzato come base per la modellazione bidimensionale, è ottenuto a partire dal modello digitale con passo 1×1 m (messo a punto nell’ambito del progetto Lidar) fornito dalla Regione Toscana.

Le maglie di calcolo per la modellazione bidimensionale sono costituite da maglie non strutturate realizzate tramite il software HEC-RAS v.6.2. Le dimensioni degli elementi della maglia sono state definite in funzione del grado di dettaglio che si desidera ottenere dalle simulazioni compatibilmente con i tempi di calcolo e in funzione della complessità della morfologia del territorio.

In particolare è stato definito un valore limite di 100 m² per le superfici degli elementi della maglia in tutta l’estensione del dominio di calcolo dei sottosistemi.

Nelle aree bidimensionali sono state introdotte delle break-lines per rappresentare le principali discontinuità.

Per ciascuna maglia di calcolo il software calcola la legge di invaso e le scale di deflusso su ciascuna faccia di bordo della cella a partire dal modello digitale del terreno.

Il coefficiente di scabrezza di Manning per le aree a deflusso bidimensionale è attribuito in funzione dell’uso e della copertura del suolo e del database topografico fornito dalla Regione Toscana. Le classi con cui è suddiviso il territorio con il relativo valore di scabrezza sono riportate

nella Tabella 4.1 La mappa delle scabrezze del suolo utilizzata ai fini della modellazione idraulica è riportata in Figura 4-3.

In generale i valori di scabrezza sono stati assegnati sulla base di quanto riportato nella pubblicazione *“Calibration of 2D hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus River (Pestana et al., 2013)”*. È stato invece fatto riferimento alla pubblicazione *“Tsunami inundation modelling based on detailed roughness maps of densely populated areas (Gayer et al., 2010)”* per quanto riguarda gli areali relativi agli edifici, agli annessi e ai manufatti industriali acquisiti dal Database Topografico della Regione Toscana e inseriti nella modellazione in modo da simulare la diversa velocità di propagazione in corrispondenza degli stessi; ad essi è stato assegnato una scabrezza pari a $0.4 \text{ s/m}^{1/3}$.

Fonte	Codice	Descrizione	Manning [s/m ^{1/3}]
Database Topografico	DBT010104	Strade	0.038
Database Topografico	DBT010105	Strade secondarie	0.038
Database Topografico	DBT010201	Ferrovie	0.038
Database Topografico	DBT020101	Edifici	0.400
Database Topografico	DBT020107	Annessi	0.400
Database Topografico	DBT020201	Manufatti industriali	0.400
Database Topografico	DBT020202	Manufatti civili	0.230
Database Topografico	DBT020204	Aree attrezzate	0.023
Database Topografico	DBT020205	Manufatti stradali	0.038
Uso del suolo	UCS111	Zone residenziali a tessuto continuo	0.230
Uso del suolo	UCS112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	0.115
Uso del suolo	UCS1121	Pertinenza abitativa, edificato sparso	0.115
Uso del suolo	UCS121	Aree industriali e commerciali	0.23
Uso del suolo	UCS1211	Depuratori	0.23
Uso del suolo	UCS122	Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	0.038
Uso del suolo	UCS1221	Strade in aree boscate	0.038
Uso del suolo	UCS131	Aree estrattive	0.104
Uso del suolo	UCS132	Discariche, depositi di rottami	0.115
Uso del suolo	UCS133	Cantieri, edifici in costruzione	0.115
Uso del suolo	UCS141	Aree verdi urbane	0.023
Uso del suolo	UCS1411	Cimiteri	0.230
Uso del suolo	UCS142	Aree ricreative e sportive	0.023
Uso del suolo	UCS210	Seminativi irrigui e non irrigui	0.043
Uso del suolo	UCS2101	Serre stabili	0.230
Uso del suolo	UCS2102	Vivai	0.043

Fonte	Codice	Descrizione	Manning [s/m ^{1/3}]
Uso del suolo	UCS221	Vigneti	0.043
Uso del suolo	UCS222	Frutteti e frutti minori	0.043
Uso del suolo	UCS2221	Arboricoltura	0.043
Uso del suolo	UCS223	Oliveti	0.043
Uso del suolo	UCS231	Prati stabili	0.298
Uso del suolo	UCS241	Colture temporanee associate a colture permanenti	0.043
Uso del suolo	UCS242	Sistemi colturali e particellari complessi	0.023
Uso del suolo	UCS243	Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.058
Uso del suolo	UCS311	Boschi di latifoglie	0.230
Uso del suolo	UCS312	Boschi di conifere	0.127
Uso del suolo	UCS313	Boschi di conifere e latifoglie	0.230
Uso del suolo	UCS321	Aree a pascolo naturale e praterie	0.039
Uso del suolo	UCS322	Brughiere e cespuglieti	0.058
Uso del suolo	UCS324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	0.058
Uso del suolo	UCS331	Spiagge, dune e sabbie	0.138
Uso del suolo	UCS332	Rocce nude, falesie, rupi e affioramenti	0.104
Uso del suolo	UCS333	Aree con vegetazione rada	0.104
Uso del suolo	UCS511	Corsi di acqua, canali e idrovie	0.035
Uso del suolo	UCS512	Specchi di acqua	0.035
Uso del suolo	UCS523	Mare	0.035

Tabella 4.1 – Scabrezze aree bidimensionali

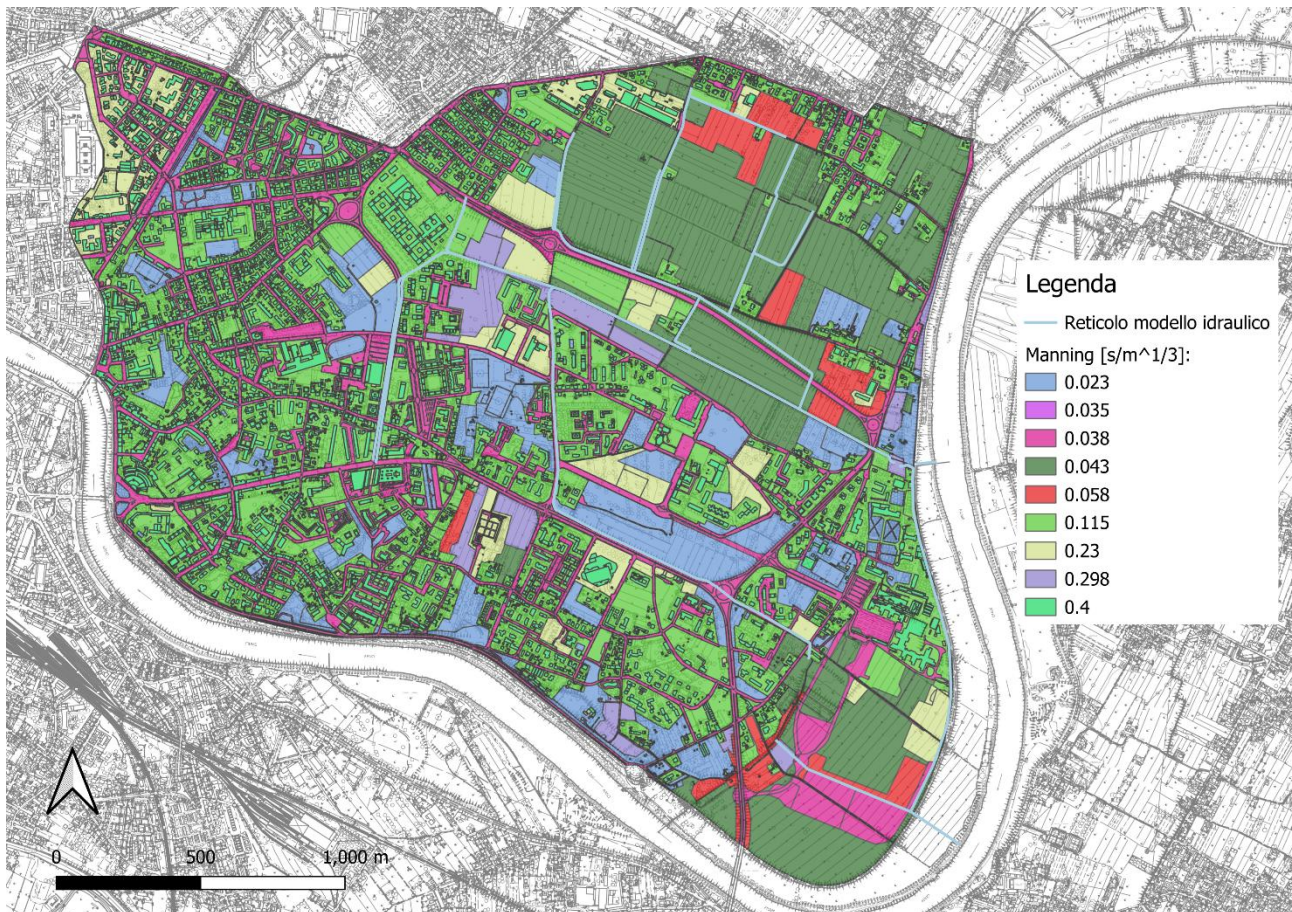


Figura 4-3 – Planimetria scabrezze

4.5 PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

4.5.1 CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE E CONTRIBUTI IDROLOGICI

La condizione al contorno di monte, in termini di idrogrammi di portate, è assegnata nella prima sezione di monte del corso d'acqua.

Gli idrogrammi di piena sono ricavati dai risultati dell'analisi idrologica per ogni tempo di ritorno e per ogni durata dell'evento di pioggia.

Le immissioni idrologiche dei sottobacini sono state applicate senza tenere conto delle possibili esondazioni a monte delle immissioni stesse.

4.5.2 CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE

La condizione al contorno di valle, in termini di idrogramma di livelli idrici, è assegnata alla sezione di valle del Collettore idraulico e del canale Ospedale a, in corrispondenza della confluenza nel fiume Arno.

I relativi idrogrammi dei livelli idrometrici, assegnati all'ultima sezione del tratto verificato, sono stati dedotti per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 3, 6 ore dal modello SIMI dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

4.5.3 SCABREZZE DEI CORSI D'ACQUA

Il valore del parametro di scabrezza (espressa come coefficiente di Manning) è stato assunto in via cautelativa per ogni corso d'acqua con i seguenti valori:

- Fosso Palude dx = $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- Fosso Plaude = $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$
- Fosso Antenna = $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Fosso Antenna = $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Fosso Libertà = $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Fosso di Via Volta = $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Fosso di Via Selmi = $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Fosso Nuovo Scolo di Ghezzano = $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Collettore Nenni dx = $0.0167 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Collettore Nenni sx = $0.0167 \text{ s/m}^{1/3}$
- Fosso San Giusto = $0.0167 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Fosso San Marco = $0.0167 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Canale Ospedale a = $0.0167 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Canale Ospedale b = $0.0167 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Collettore principale (canale rivestito) = $0.0167 \text{ s/m}^{1/3}$

4.5.4 DURATA DELLA MODELLAZIONE

La durata complessiva degli eventi simulati varia al variare della durata analizzata.

Per le durate di 1 ora la durata delle simulazioni è pari a 6 ore, per quelle di 3 ore la durata della simulazione è di 9 ore, mentre per quelle di 6 ore la durata della simulazione è pari a 18 ore.

Il passo temporale adottato nelle simulazioni degli eventi di piena è stato generalmente di 1 secondo.

5 ANALISI DEI RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Le verifiche idrauliche sono condotte utilizzando la modellistica descritta nei paragrafi precedenti ed applicata ai tempi di ritorno di 30e 200 anni.

Le verifiche idrauliche hanno fornito, per ogni tempo di ritorno e durata considerati, i valori temporali e quelli massimi (inviluppi) di:

- portate e livelli idrometrici per ogni sezione del reticolo idrografico (modello mono-dimensionale);
- battenti di esondazione e velocità di propagazione nelle maglie di calcolo (modello bidimensionale);
- portate transitate attraverso gli elementi di connessione tra l'alveo e le aree e tra le aree stesse.

Obiettivo delle suddette verifiche è quello di valutare l'efficacia degli interventi proposti per la riduzione della pericolosità idraulica e la compatibilità delle modifiche introdotte alle precedenti previsioni relative alla realizzazione delle casse di espansione.

Nell'elaborato *A01, A02, A03 – Allegati verifica idraulica* sono riportati i risultati dell'analisi idraulica.

Nell'elaborato *T04.a, T04.b T04.c – Battenti idrometrici di esondazione $T_r=30$ anni Configurazione 1,2,3* è riportato l'inviluppo dei battenti per le durate di 1,3 e 6 ore al tempo di ritorno di 30 anni per le 3 configurazioni analizzate.

Nell'elaborato *T05.a, T05.b T05.c – Battenti idrometrici di esondazione $T_r=200$ anni Configurazione 1,2,3* è riportato l'inviluppo dei battenti per le durate di 1,3 e 6 ore al tempo di ritorno di 200 anni per le 3 configurazioni analizzate.

Nell'elaborato *T06.a, T06.b T06.c – Magnitudo idraulica Configurazione 1,2,3* è riportato la magnitudo idraulica definita ai sensi della L.R. 41/2018 per le 3 configurazioni analizzate.

5.1 PERIMETRAZIONE DELLA MAGNITUDO IDRAULICA

Nell'elaborato *T06.a, T06.b T06.c* sono rappresentate la magnitudo idraulica definita ai sensi della L.R. 41/2018, come il risultato della combinazione tra i valori dei battenti idrometrici e delle velocità di propagazione delle alluvioni poco frequenti.

Le aree inondate sono suddivise in tre classi di magnitudo:

- moderata: in cui i battenti idrici sono inferiori o uguali a 0.5 m e le velocità sono inferiori o uguali a 1.0 m/s. Nel caso in cui la velocità non sia determinata, area inondata in cui i battenti sono uguali o inferiori a 0.3 m;
- severa: area con battenti inferiori o uguali a 0.5 m e velocità superiori a 1.0 m/s, oppure area con battenti compresi tra 0.5 m e 1.0 m e velocità inferiori o uguali a 1.0 m/s. Nel caso in cui la velocità non sia determinata, area inondata in cui i battenti sono compresi tra 0.3 m e 0.5 m;
- molto severa: dove i battenti sono compresi tra 0.5 m e 1.0 m e velocità superiori a 1.0 m/s, oppure area con battenti superiori a 1.0 m. Nel caso in cui la velocità non sia determinata, area inondata in cui i battenti superiori a 0.5 m.

5.2 ANALISI DEI RISULTATI

5.2.1 CONFIGURAZIONE 1 TR 30

Nella simulazione della configurazione 1 a tempo di ritorno 30 anni si verificano le seguenti esondazioni:

- in ambito urbano, nei quartieri di San Michele e Cisanello, si evidenziano locali allagamenti di parcheggi e viabilità, legati all'insufficiente capacità di smaltimento del sistema di captazione superficiale e del sistema fognario (usualmente dimensionato per tempi di ritorno dell'ordine dei 10-20 anni);
- nel comune di San Giuliano si verificano allagamenti sparsi nelle aree agricole dovute ad insufficienze idrauliche dei corsi d'acqua Fosso Palude sinistra, fosso di Via Selmi, Fosso Antenna sinistra, Fosso Libertà;
- è presente un'insufficienza idraulica del collettore idraulico principale nella parte a monte della confluenza del fosso San Giusto con conseguenti allagamenti sia in destra che in sinistra idraulica.

5.2.2 CONFIGURAZIONE 1 TR 200

Nella simulazione della configurazione 1 a tempo di ritorno 200 anni si verificano le seguenti esondazioni:

- in ambito urbano, nei quartieri di San Michele e Cisanello, si evidenziano ingenti allagamenti di parcheggi e viabilità, legati all'insufficiente capacità di smaltimento del sistema di captazione superficiale e del sistema fognario (usualmente dimensionato per tempi di ritorno dell'ordine dei 10-20 anni);
- nel comune di San Giuliano si verificano numerosi allagamenti nelle aree agricole dovute ad insufficienze idrauliche di tutti i corsi d'acqua del reticolo;
- Il collettore idraulico principale presenta insufficienze idrauliche fino alla confluenza del Nuovo Scolo di Ghezzano con conseguenti allagamenti sia in destra che in sinistra idraulica.

5.2.3 CONFIGURAZIONE 2 TR 30

Nella simulazione della configurazione 2 a tempo di ritorno 30 anni si verificano le seguenti esondazioni:

- in ambito urbano, nei quartieri di San Michele e Cisanello, si evidenziano locali allagamenti di parcheggi e viabilità, legati all'insufficiente capacità di smaltimento del sistema di captazione superficiale e del sistema fognario (usualmente dimensionato per tempi di ritorno dell'ordine dei 10-20 anni);
- nel comune di San Giuliano si verificano allagamenti solo in destra idraulica del fosso di Via Selmi, le casse di laminazione attenuano l'onda di piena con battenti massimi all'interno nell'ordine di 25cm
- è presente un'insufficienza idraulica del collettore idraulico principale nella parte a monte della confluenza del fosso San Giusto con leggeri allagamenti sia in destra che in sinistra idraulica.

5.2.4 CONFIGURAZIONE 2 TR 200

Nella simulazione della configurazione 2 a tempo di ritorno 200 anni si verificano le seguenti esondazioni:

- in ambito urbano, nei quartieri di San Michele e Cisanello, si evidenziano ingenti allagamenti di parcheggi e viabilità, legati all'insufficiente capacità di smaltimento del sistema di captazione superficiale e del sistema fognario (usualmente dimensionato per tempi di ritorno dell'ordine dei 10-20 anni);
- nel comune di San Giuliano si verificano allagamenti solo in destra idraulica del fosso di Via Selmi, le casse di laminazione attenuano l'onda di piena con battenti massimi all'interno nell'ordine di 70cm;
- è presente un'insufficienza idraulica del collettore idraulico principale nella parte a monte della confluenza del fosso San Giusto con conseguenti allagamenti sia in destra che in sinistra idraulica.

Si riporta in Figura 5-1 una mappa degli aggravi benefici tra configurazione 1 e 2 per tempo di ritorno di 200 anni.

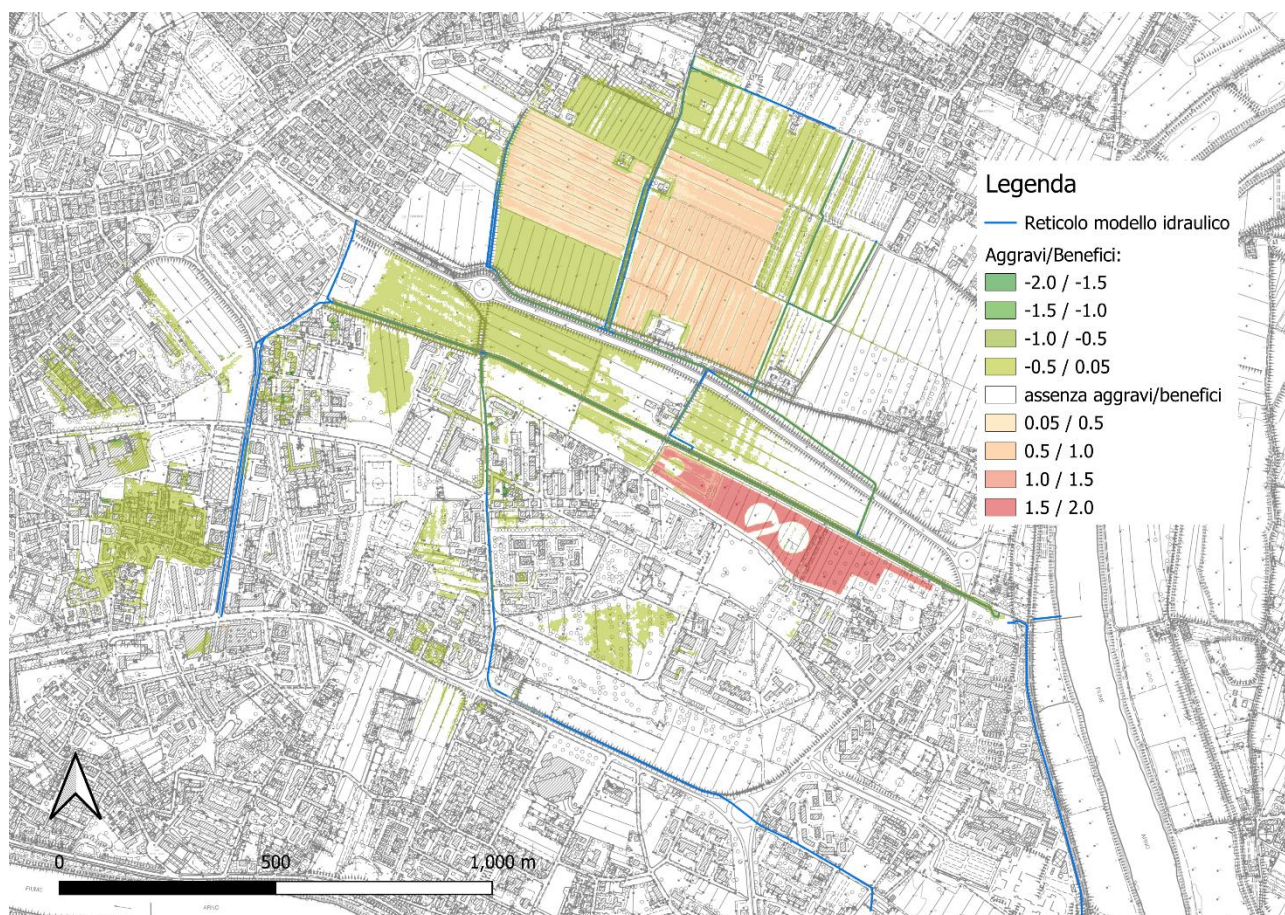


Figura 5-1 – mappa aggravi benefici tra configurazione 1 e 2.

5.2.5 CONFIGURAZIONE 3 TR30

Nella simulazione della configurazione 3 a tempo di ritorno 30 anni non si verificano esondazioni in tutto il dominio del modello.

Si hanno battenti massimi dell'ordine di 0.15m nella casse CS001 e CS002, battenti di circa 0.55m nelle casse CS004 e CS005 e battenti di circa 1m nella cassa CS003.

5.2.6 CONFIGURAZIONE 3 TR200

Nella simulazione della configurazione 3 a tempo di ritorno 200 anni non si verificano esondazioni in tutto il dominio del modello.

Si hanno battenti massimi dell'ordine di 0.60m nella casse CS001 e CS002, battenti di circa 0.80m nelle casse CS004 e CS005 e battenti di circa 1.55m nella cassa CS003.

Si riporta in Figura 5-2 una mappa degli aggravi benefici tra configurazione 2 e 3 per tempo di ritorno di 200 anni.

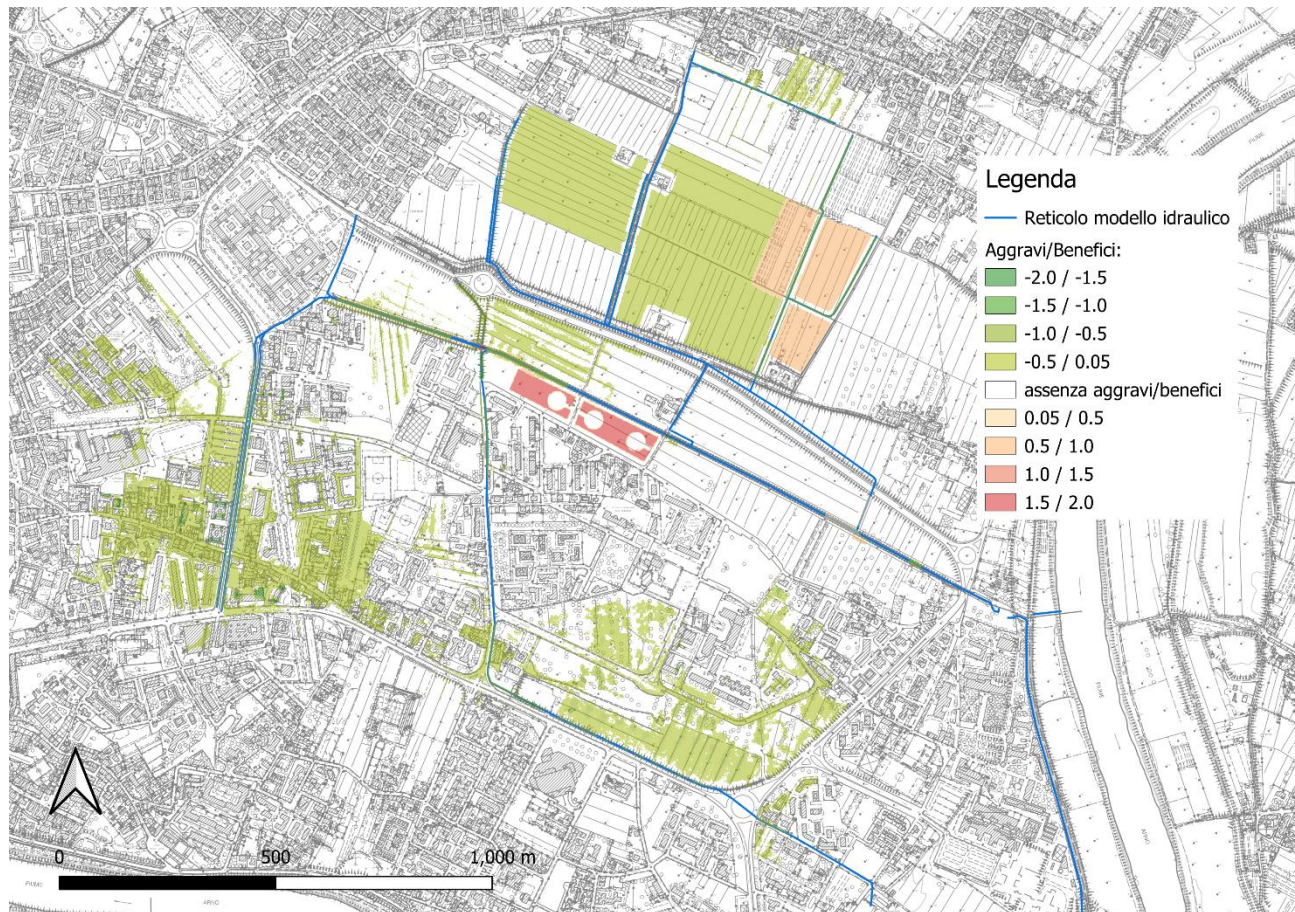


Figura 5-2 – mappa aggravi benefici tra configurazione 2 e 3.

6 CONCLUSIONI

Sulla base delle verifiche idrauliche condotte utilizzando la modellistica descritta nei paragrafi precedenti per i tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni si rileva quanto segue:

- La verifica in configurazione 1 presenta allagamenti sparsi in tutto il dominio del modello dovuto ad insufficienze idrauliche dei canali.
- La verifica in configurazione 2 presenta una notevole riduzione dei battenti grazie all’inserimento delle 3 casse di laminazione. Si riporta in Tabella 6.1 e Tabella 6.2 i battenti e volumi invasati nelle casse per la configurazione per tempi di ritorno rispettivamente di 30 e 200 anni.
- La verifica in configurazione 3 non presenta allagamenti nel dominio del modello grazie all’inserimento delle casse di nuove casse di laminazione e all’adeguamento del Collettore Idraulico principale nel tratto a monte della confluenza del fosso San Giusto. Si riporta in Tabella 6.3 e Tabella 6.4 i battenti e volumi invasati nelle casse per la configurazione per tempi di ritorno rispettivamente di 30 e 200 anni.

Si osserva quanto segue:

- Nello scenario 2 i volumi complessivamente invasati per il tempo di ritorno di 200 anni sono di circa 217.000 mc contro i circa 75.000 mc previsti nel progetto [2]. Tale differenza è sostanzialmente dovuta alla diversa durata degli eventi utilizzati nella verifica. Nel progetto [2] si faceva riferimento a un evento di durata 1 ora mentre nel presente studio sono stati verificati eventi fino a 6 ore di durata. I volumi invasati nel presente studio e nel progetto [2] sono invece confrontabili se riferiti alla stessa durata di 1 ora.
- Nello scenario 3 i volumi complessivamente invasati per il tempo di ritorno di 200 anni sono circa di 261.000 mc contro i circa 240.000 mc previsti nello studio [1]. I due valori risultano del tutto coerenti, le differenze sono dovute sia alle modifiche introdotte nella schematizzazione del sistema che alla variazione del quadro conoscitivo sul regime pluviometrico che risulta più gravoso oggi rispetto al 2010.
- Per quanto riguarda la Cassa 3 ricadente nel comune di Pisa per il tempo di ritorno di 200 anni nello scenario 2 si prevede un invaso di circa 79.000 mc e nello scenario 3 un invaso di circa 107.000 mc a fronte di un volume invasato previsto nel progetto [2] di circa 24.000 mc e nello studio [1] di 90.000 mc. Si ricorda che, sulla base della documentazione acquisita, gli interventi del progetto [3] non consentono ad oggi di invasare quanto previsto essendo le quote del piano campagna di progetto superiori o pari ai previsti livelli di invaso.
- Per quanto riguarda le casse ricadenti nel comune di San Giuliano Terme per il tempo di ritorno di 200 anni nello scenario 2 si prevede un invaso complessivo di circa 138.000 mc e nello scenario 3 un invaso di circa 154.000 mc a fronte di un volume invasato previsto nel progetto [2] di circa 45.000 mc e nello studio [1] di 150.000 mc.

Si ritiene pertanto che le modifiche alle previsioni di casse di laminazione nel comune di San Giuliano Terme non alterino quanto previsto nel progetto [1] e siano funzionali alle finalità dell'accordo di programma del 2005.

Codice Cassa	Area [mq]	Quota fondo [m s.l.m.]	Battenti idrometrici [m s.l.m.]	Volume invasato [mc]
CS001	68291	1.20	1.49	19804
CS002	122821	1.10	1.33	28249
CS003	51390	0.60	1.42	42140
TOTALE	242502			90193

Tabella 6.1 – Volumi casse di laminazione configurazione 2 Tr 30 anni.

Codice Cassa	Area [mq]	Quota fondo [m s.l.m.]	Battenti idrometrici [m s.l.m.]	Volume invasato [mc]
CS001	68291	1.20	1.93	49853
CS002	122821	1.10	1.82	88431
CS003	51390	0.60	2.13	78626
TOTALE	242502			216910

Tabella 6.2 – Volumi casse di laminazione configurazione 2 Tr 200 anni.

Codice Cassa	Area [mq]	Quota fondo [m s.l.m.]	Battenti idrometrici [m s.l.m.]	Volume invasato [mc]
CS001	68291	1.20	1.35	10244
CS002	140261	1.10	1.26	22442
CS003	68269	0.60	1.60	68269
CS004	20918	1.20	1.76	11714
CS005	12557	1.20	1.78	7283
TOTALE	310296			119952

Tabella 6.3 – Volumi casse di laminazione configurazione 3 Tr 30 anni.

Codice Cassa	Area [mq]	Quota fondo [m s.l.m.]	Battenti idrometrici [m s.l.m.]	Volume invasato [mc]
CS001	68291	1.20	1.81	41658
CS002	140261	1.10	1.71	85559
CS003	68269	0.60	2.17	107182
CS004	20918	1.20	2.02	17153
CS005	12557	1.20	1.98	9795
TOTALE	310296			261346

Tabella 6.4 – Volumi casse di laminazione configurazione 3 Tr 200 anni.

6.1 L'INTERVENTO DELLA SCUOLA SANT'ANNA

Il presente studio propone una modifica del sistema delle casse di laminazione che esclude l'area della Scuola Sant'Anna dal perimetro della Cassa 1, pertanto una volta approvato non sarà più necessario da parte del proponente prevedere l'invaso dei volumi di laminazione previsti nella Scheda Norma nella propria area.

Si osserva peraltro che nelle more della realizzazione degli interventi di messa in sicurezza restano validi gli studi a supporto dello strumento urbanistico del comune di San Giuliano Terme.

Si osserva che sulla base degli studi a supporto del POC del comune di San Giuliano Terme gli interventi ricadono in area inondabile per il tempo di ritorno di 30 anni, quindi in aree soggette a inondazioni frequenti ai sensi della L.R. 41/2018, con magnitudo idraulica moderata.

La fattibilità degli interventi di nuova edificazione sulla base della L.R. 41/2018 è regolata dall'art.11 comma 1 che riporta:

"1. Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti possono essere realizzati interventi di nuova costruzione alle seguenti condizioni:

a) se ricadenti in aree caratterizzate da magnitudo severa o molto severa è realizzata almeno una delle opere idrauliche di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a) o b);

b) se ricadenti in aree caratterizzate da magnitudo moderata è realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c)."

Gli interventi possono pertanto essere realizzati con opere di sopraelevazione di tipo c) come definite all'art.8 della L.R. 41/2018:

"1. La gestione del rischio di alluvioni è assicurata mediante la realizzazione delle seguenti opere finalizzate al raggiungimento almeno di un livello di rischio medio R2:

a) opere idrauliche che assicurano l'assenza di allagamenti rispetto ad eventi poco frequenti;

b) opere idrauliche che riducono gli allagamenti per eventi poco frequenti, conseguendo almeno una classe di magnitudo idraulica moderata, unitamente ad opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;

c) opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;

d) interventi di difesa locale."

La verifica della quota di messa in sicurezza, del non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree e la definizione degli interventi di mitigazione sono comunque da prevedersi nel progetto dell'intervento della Scuola Sant'Anna e sue varianti oltre alle valutazioni sulla aumentata impermeabilizzazione dell'area di intervento.

A. APPENDICE – IL MODELLO IDROLOGICO

Il modello idrologico simula il processo di generazione e trasferimento dei deflussi attraverso la successione, per ciascuna cella e per tutti i passi temporali, delle seguenti fasi:

- intercettazione: in questa fase si effettua una stima della quantità di acqua che viene comunque sottratta al deflusso superficiale. La stima è riferita ad una componente iniziale che comprende le varie perdite per intercettazione (vegetazione, assorbimento del suolo) e ad una componente a regime riferita alla capacità di infiltrazione a saturazione.
- suolo: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo e la componente del deflusso ipodermico.
- canale: in questa fase si simula il trasferimento del deflusso superficiale e di quello ipodermico dalla singola cella alla sezione di chiusura.

Nella figura seguente si riporta uno schema del modello idrologico adottato.

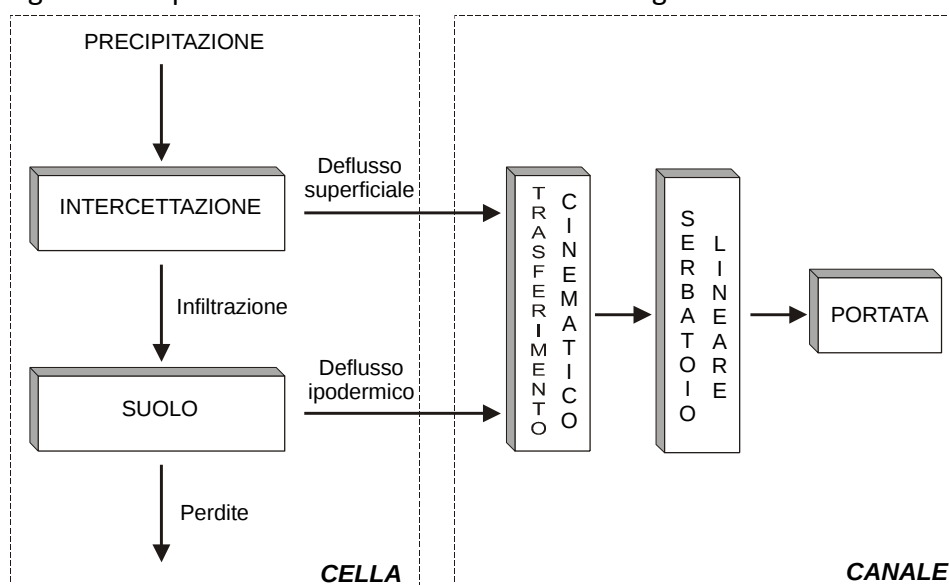


Figura A-1 – Schema del modello afflussi-deflussi.

All'inizio dell'evento di precipitazione una parte della pioggia si infiltra nel suolo, fino a saturare la capacità di ritenuta del suolo. Saturato tale volume, l'acqua continua a infiltrare nel suolo con un tasso definito dalla velocità di infiltrazione. Se l'afflusso eccede la velocità di infiltrazione si ha deflusso superficiale verso il canale. Tale deflusso contribuisce alla portata con un ritardo dettato dal modello di trasferimento.

Il bilancio del serbatoio "suolo" tiene pertanto conto da una parte dell'afflusso per infiltrazione, dall'altra delle perdite. Le perdite sono tali che per suolo saturo la quantità di acqua che si infiltra nel suolo sia pari alla velocità di infiltrazione.

La capacità di ritenuta in [mm], ovvero la quantità di acqua che può essere immagazzinata nella parte gravitazionale del suolo (corrisponde al grado di saturazione uguale a 1) e la velocità di

infiltrazione a saturazione [mm/h] che rappresenta la velocità di infiltrazione nel suolo in condizioni di saturazione (grado di saturazione uguale a 1) sono definite dalle mappe *raster* relative. Per quanto riguarda il deflusso ipodermico si assume che esso sia funzione della velocità di filtrazione a saturazione moltiplicata per un fattore 1000.

Passando all'algoritmo di calcolo, con riferimento alle variabili elencate nella tabella 9 si riportano di seguito i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino:

1. l'afflusso sulla singola cella, Pi_k [mm/h];
2. il suolo è assimilato a un serbatoio lineare che si riempie in ragione della precipitazione (di intensità costante sul passo di bilancio) e si svuota in ragione della percolazione, K_s [mm/h], e del deflusso ipodermico regolato dal parametro K [1/h].
3. l'equazione di continuità, da cui si ricava il contenuto di acqua nel suolo da un passo a quello successivo, è esprimibile in forma differenziale nel seguente modo:

$$\Delta\theta = \theta_{k+1} - \theta_k = \left(P_i - K_s - K \cdot \frac{\theta_{k+1} + \theta_k}{2} \right) dt$$

$$\frac{\theta_{k+1}}{dt} + \frac{K}{2} \cdot \theta_{k+1} = \frac{\theta_k}{dt} - \frac{K}{2} \cdot \theta_k + P_i - K_s$$

$$\theta_{k+1} = \left(\frac{\left(\frac{1}{dt} - \frac{K}{2} \right) \theta_k + P_i - K_s}{\frac{1}{dt} + \frac{K}{2}} \right)$$

Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio θ_0 [mm] è uguale a $\alpha_0 \theta_{\max}$, dove α_0 è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e $\theta_{\max}$, pertanto si possono distinguere tre casi:

- 1) essiccamento del suolo:

se $\theta_k/dt + Pi_k > K_s$ allora

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = \theta_k/dt + Pi_k - K_s$$

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

altrimenti

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = 0$$

$$I_{\text{eff}} = \theta_k/dt + Pi_k$$

- 2) saturazione del suolo:

$$\theta_{k+1} = \theta_{\max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{\max})/dt + Pi_k - K_s$$

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

- 3) caso intermedio:

$$0 < \theta_{k+1} < \theta_{\max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{k+1})/dt + P_{ik} - K_s$$

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

4. il modello di trasferimento nel reticolo è costituito da una componente di invaso e da una componente cinematica poste in serie. La componente di invaso è caratterizzata dalla seguente espressione:

$$\varphi_{k+1} = \left(\frac{\left(\frac{1}{dt} - \frac{C_s}{2} \right) \varphi_k + Q_{1k}}{\frac{1}{dt} + \frac{C_s}{2}} \right)$$

dove C_s [1/h] è il parametro del serbatoio calcolato come $1/\tau_i$ e φ_k il volume d'acqua nel reticolo (assunto inizialmente nullo). Il contributo verso la componente cinematica risulta:

$$Q_k = C_s \frac{\varphi_{k+1} + \varphi_k}{2}$$

5. la componente cinematica trasla nel tempo il contributo Q_k di un fattore pari a τ_c .

Il contributo complessivo alla sezione di chiusura avviene attraverso la convoluzione dei contributi delle singole celle.

Sulla base di quanto esposto, il modello necessita della definizione dei seguenti parametri:

- α_0 = frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/];
- RI = coefficiente moltiplicativo del raster della capacità di ritenuta del suolo [/];
- IN = coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/];
- IP = coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/];
- MT = coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/];
- CI = coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/>].

Simbolo	Descrizione	U.I.
P_{ik}	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
Δt	passo temporale	[h]
Dx	passo spaziale	[m]
SC	valore della capacità di ritenuta del suolo (storage capacity)	[mm]
KL	valore della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
RI	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo	[/]
IN	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione	[/]
IP	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
T	valore dei tempi di trasferimento	[h]
$T_{c=CI \cdot T}$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]
$T_{i=(1-CI) \cdot T/MT}$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di invaso	[h]
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]

Simbolo	Descrizione	U.I.
CI	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
$\theta_{\max}=RI\ SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile del suolo)	[mm]
$K_s=IN\ KL$	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]
$\tau_c= T_c/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo cinematico	[h]
$\tau_i= T_i/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo dell'invaso	[h]
$C_{s=1}/\tau_i$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
α_o	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
θ_o	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]
$K=IP(KL/SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
θ_k	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]
I_{eff}	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
Q_{1k}	contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]
φ_k	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
Q_k	contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]

Tabella A-1 – Elenco delle variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi.

B. APPENDICE – TABULATI ANALISI IDROLOGICA

Si riportano nelle seguenti tabelle i risultati della modellazione idrologica per i bacini idrografici totali al colmo.

Immissione	Area [km²]	T ritardo [h]	Portata [m³/s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	Durata critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m³/s km²]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
IMI_01	0.03	1.18	0.25	63.44	49.78	0.94	1.00	9.37	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_02	0.06	1.42	0.47	70.96	59.18	1.35	1.00	8.25	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_03	0.07	1.41	0.57	70.77	60.60	1.34	1.00	8.48	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_04	0.05	1.41	0.42	71.89	57.84	1.41	1.00	7.84	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_05	0.08	1.55	0.53	76.35	58.38	1.71	1.00	6.96	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_06	0.11	1.66	0.78	77.87	61.72	1.82	1.00	6.90	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_07	0.18	1.57	1.32	75.47	61.54	1.65	1.00	7.33	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_08	0.19	1.62	1.35	76.27	62.65	1.70	1.00	7.24	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_09	0.19	1.68	1.35	77.11	63.72	1.77	1.00	7.08	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_10	0.08	1.66	0.52	77.88	58.33	1.83	1.00	6.49	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_11	0.09	1.75	0.57	79.15	58.48	1.93	1.00	6.29	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_12	0.12	1.81	0.72	81.13	58.86	2.08	1.00	6.08	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_13	0.31	1.74	2.07	77.91	61.13	1.82	1.00	6.68	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_14	0.03	1.09	0.19	71.08	45.40	1.41	1.00	7.20	34.16	0.31	0.18	34.16	0.31	0.18
IMI_15	0.08	1.58	0.44	80.95	48.67	2.14	1.00	5.32	34.24	0.31	0.18	34.24	0.31	0.18
IMI_16	0.10	1.59	0.53	79.39	47.86	1.99	1.00	5.45	34.28	0.31	0.18	34.28	0.31	0.18
IMI_17	0.01	1.15	0.05	72.27	64.99	1.44	1.00	9.43	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_18	0.10	1.57	0.58	79.03	49.02	1.96	1.00	5.64	34.29	0.31	0.18	34.29	0.31	0.18
IMI_19	0.16	1.71	0.86	82.30	51.52	2.22	1.00	5.40	34.36	0.31	0.18	34.36	0.31	0.18
IMI_20	0.21	1.88	1.09	84.90	54.62	2.45	1.00	5.16	34.40	0.31	0.18	34.40	0.31	0.18
IMI_21	0.24	1.98	1.20	85.22	55.81	2.48	1.00	5.11	34.41	0.31	0.18	34.41	0.31	0.18
IMI_22	0.31	1.74	2.06	77.92	61.18	1.82	1.00	6.66	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18

Immissione	Area [km ²]	T ritardo [h]	Portata [m ³ /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	Durata critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m ³ /s km ²]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
IMI_23	0.54	1.85	3.21	81.51	58.95	2.12	1.00	5.89	34.46	0.31	0.18	34.46	0.31	0.18
IMI_24	0.56	1.96	3.25	81.83	59.42	2.15	1.00	5.76	34.46	0.31	0.18	34.46	0.31	0.18
IMI_25	0.57	2.00	3.24	82.35	60.02	2.20	1.00	5.70	34.46	0.31	0.18	34.46	0.31	0.18
IMI_26	0.03	1.32	0.23	72.74	54.31	1.52	1.00	7.28	34.16	0.31	0.18	34.16	0.31	0.18
IMI_27	0.07	1.61	0.44	77.14	54.92	1.85	1.00	6.22	34.16	0.31	0.18	34.16	0.31	0.18
IMI_28	0.10	1.70	0.56	80.58	56.12	2.12	1.00	5.87	34.17	0.31	0.18	34.17	0.31	0.18
IMI_29	0.23	1.50	1.59	74.52	54.95	1.65	1.00	6.93	34.16	0.31	0.18	34.16	0.31	0.18
IMI_30	0.39	1.63	2.55	77.55	55.66	1.87	1.00	6.50	34.19	0.31	0.18	34.19	0.31	0.18
IMI_31	0.41	1.70	2.60	77.62	55.45	1.87	1.00	6.35	34.19	0.31	0.18	34.19	0.31	0.18
IMI_32	0.51	1.71	3.15	78.65	56.00	1.96	1.00	6.22	34.18	0.31	0.18	34.18	0.31	0.18
IMI_33	0.56	1.81	3.37	79.18	55.70	1.99	1.00	6.00	34.20	0.31	0.18	34.20	0.31	0.18
IMI_34	1.13	1.91	6.64	80.82	57.70	2.10	1.00	5.88	34.32	0.31	0.18	34.32	0.31	0.18
IMI_35	1.22	2.05	6.96	81.41	58.35	2.15	1.00	5.69	34.32	0.31	0.18	34.32	0.31	0.18
IMI_36	1.23	2.07	6.97	81.77	58.66	2.18	1.00	5.67	34.32	0.31	0.18	34.32	0.31	0.18
IMI_37	0.73	1.43	6.23	70.47	59.40	1.29	1.00	8.51	34.71	0.32	0.18	34.71	0.32	0.18
IMI_38	0.85	1.47	7.17	71.19	60.33	1.32	1.00	8.42	34.74	0.32	0.18	34.74	0.32	0.18
IMI_39	1.06	1.59	8.37	74.30	64.11	1.51	1.00	7.93	34.76	0.32	0.18	34.76	0.32	0.18
IMI_40	1.10	1.64	8.62	73.66	63.41	1.47	1.00	7.81	34.76	0.32	0.18	34.76	0.32	0.18
IMI_41	1.49	1.64	11.75	73.70	62.53	1.47	1.00	7.90	34.77	0.32	0.18	34.77	0.32	0.18
IMI_42	1.58	1.64	12.34	73.83	62.62	1.48	1.00	7.83	34.78	0.32	0.18	34.78	0.32	0.18
IMI_43	1.60	1.70	12.34	74.67	63.49	1.53	1.00	7.71	34.78	0.32	0.18	34.78	0.32	0.18
IMI_44	0.03	1.68	0.24	80.56	71.24	1.93	1.00	7.50	34.85	0.32	0.18	34.85	0.32	0.18
IMI_45	1.63	1.71	12.53	74.80	63.57	1.54	1.00	7.68	34.79	0.32	0.18	34.79	0.32	0.18
IMI_46	1.71	1.87	12.89	75.42	65.10	1.59	1.00	7.53	34.78	0.32	0.18	34.78	0.32	0.18
IMI_47	0.06	1.42	0.45	72.25	56.36	1.49	1.00	7.43	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18
IMI_48	0.13	1.45	1.01	71.82	58.51	1.45	1.00	7.78	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18

Immissione	Area [km ²]	T ritardo [h]	Portata [m ³ /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	Durata critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m ³ /s km ²]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
IMI_49	0.44	1.46	3.40	71.02	57.00	1.39	1.00	7.73	34.24	0.31	0.18	34.24	0.31	0.18
IMI_50	0.55	1.57	4.18	72.59	59.41	1.49	1.00	7.64	34.25	0.31	0.18	34.25	0.31	0.18
IMI_51	0.69	1.54	5.39	72.20	59.20	1.46	1.00	7.80	34.26	0.31	0.18	34.26	0.31	0.18
IMI_52	0.90	1.63	6.87	70.98	57.28	1.38	1.00	7.64	34.28	0.31	0.18	34.28	0.31	0.18
IMI_53	1.06	1.68	7.79	72.99	58.36	1.51	1.00	7.34	34.29	0.31	0.18	34.29	0.31	0.18
IMI_54	1.21	1.78	8.54	74.35	60.10	1.60	1.00	7.09	34.30	0.31	0.18	34.30	0.31	0.18
IMI_55	1.62	1.82	11.26	74.89	61.15	1.64	1.00	6.97	34.32	0.31	0.18	34.32	0.31	0.18
IMI_56	3.33	1.84	24.08	74.60	62.26	1.57	0.99	7.24	34.59	0.31	0.18	34.59	0.31	0.18
IMI_57	3.41	2.04	23.06	78.32	65.41	1.84	0.99	6.75	34.59	0.31	0.18	34.59	0.31	0.18
IMI_58	3.50	2.23	22.39	79.10	65.77	1.89	0.99	6.40	34.58	0.31	0.18	34.58	0.31	0.18
IMI_59	4.73	2.19	29.30	79.85	63.67	1.97	0.99	6.20	34.51	0.31	0.18	34.51	0.31	0.18
IMI_60	4.97	2.34	29.80	80.07	64.00	1.99	0.99	6.00	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_61	0.07	1.52	0.45	79.84	51.81	2.05	1.00	6.05	34.17	0.31	0.18	34.17	0.31	0.18
IMI_62	0.18	1.46	1.35	72.99	57.57	1.53	1.00	7.31	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18
IMI_63	0.30	1.53	2.32	71.91	59.94	1.46	1.00	7.72	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18
IMI_64	0.36	1.59	2.77	72.68	61.63	1.51	1.00	7.69	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18
IMI_65	0.49	1.61	3.65	72.81	60.13	1.53	1.00	7.46	34.14	0.31	0.18	34.14	0.31	0.18

Tabella B-1 – Tabulati analisi idrologica per Tr=30 anni bacini totali colmo

Immissione	Area [km ²]	T ritardo [h]	Portata [m ³ /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	Durata critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m ³ /s km ²]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
IMI_01	0.03	1.18	0.38	86.40	72.26	0.83	1.00	14.20	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_02	0.06	1.42	0.70	99.09	86.95	1.28	1.00	12.29	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_03	0.07	1.41	0.84	98.78	88.32	1.27	1.00	12.56	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_04	0.05	1.41	0.63	100.40	85.56	1.34	1.00	11.69	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_05	0.08	1.55	0.80	106.66	87.57	1.63	1.00	10.49	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_06	0.11	1.66	1.17	108.92	91.82	1.74	1.00	10.32	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_07	0.18	1.57	1.97	105.47	90.81	1.57	1.00	10.91	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_08	0.19	1.62	2.00	106.46	92.21	1.62	1.00	10.77	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_09	0.19	1.68	2.00	106.12	92.02	1.60	1.00	10.53	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_10	0.08	1.66	0.79	107.35	86.45	1.66	1.00	9.86	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_11	0.09	1.75	0.87	109.14	86.96	1.75	1.00	9.58	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_12	0.12	1.81	1.11	111.79	88.00	1.90	1.00	9.31	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_13	0.31	1.74	3.10	108.77	90.96	1.74	1.00	10.04	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_14	0.03	1.09	0.30	98.41	69.23	1.30	1.00	11.35	34.16	0.31	0.18	34.16	0.31	0.18
IMI_15	0.08	1.58	0.70	112.14	75.62	1.98	1.00	8.46	34.24	0.31	0.18	34.24	0.31	0.18
IMI_16	0.10	1.59	0.84	109.59	74.14	1.83	1.00	8.65	34.28	0.31	0.18	34.28	0.31	0.18
IMI_17	0.01	1.15	0.08	101.25	93.94	1.38	1.00	13.79	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_18	0.10	1.57	0.91	109.35	75.44	1.81	1.00	8.88	34.29	0.31	0.18	34.29	0.31	0.18
IMI_19	0.16	1.71	1.35	113.75	79.57	2.05	1.00	8.50	34.36	0.31	0.18	34.36	0.31	0.18
IMI_20	0.21	1.88	1.72	116.06	82.74	2.17	1.00	8.10	34.40	0.31	0.18	34.40	0.31	0.18
IMI_21	0.24	1.98	1.88	118.01	85.50	2.28	1.00	7.99	34.41	0.31	0.18	34.41	0.31	0.18
IMI_22	0.31	1.74	3.10	108.78	91.02	1.74	1.00	10.01	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_23	0.54	1.85	4.90	112.25	87.97	1.94	1.00	8.99	34.46	0.31	0.18	34.46	0.31	0.18
IMI_24	0.56	1.96	4.96	114.44	90.07	2.05	1.00	8.79	34.46	0.31	0.18	34.46	0.31	0.18
IMI_25	0.57	2.00	4.95	113.61	89.24	2.00	1.00	8.70	34.46	0.31	0.18	34.46	0.31	0.18

Immissione	Area [km ²]	T ritardo [h]	Portata [m ³ /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	Durata critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m ³ /s km ²]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
IMI_26	0.03	1.32	0.35	101.81	81.47	1.46	1.00	11.04	34.16	0.31	0.18	34.16	0.31	0.18
IMI_27	0.07	1.61	0.68	107.89	83.84	1.77	1.00	9.52	34.16	0.31	0.18	34.16	0.31	0.18
IMI_28	0.10	1.70	0.87	111.47	84.99	1.95	1.00	9.05	34.17	0.31	0.18	34.17	0.31	0.18
IMI_29	0.23	1.50	2.43	104.20	83.33	1.58	1.00	10.59	34.16	0.31	0.18	34.16	0.31	0.18
IMI_30	0.39	1.63	3.91	106.95	83.52	1.71	1.00	9.99	34.19	0.31	0.18	34.19	0.31	0.18
IMI_31	0.41	1.70	4.00	108.57	84.73	1.79	1.00	9.76	34.19	0.31	0.18	34.19	0.31	0.18
IMI_32	0.51	1.71	4.84	108.54	84.18	1.79	1.00	9.57	34.18	0.31	0.18	34.18	0.31	0.18
IMI_33	0.56	1.81	5.19	110.48	85.35	1.90	1.00	9.24	34.20	0.31	0.18	34.20	0.31	0.18
IMI_34	1.13	1.91	10.19	111.23	86.31	1.91	1.00	9.01	34.32	0.31	0.18	34.32	0.31	0.18
IMI_35	1.22	2.05	10.66	113.76	88.75	2.05	1.00	8.72	34.32	0.31	0.18	34.32	0.31	0.18
IMI_36	1.23	2.07	10.67	114.16	89.23	2.07	1.00	8.68	34.32	0.31	0.18	34.32	0.31	0.18
IMI_37	0.73	1.43	9.21	98.18	86.51	1.22	1.00	12.58	34.71	0.32	0.18	34.71	0.32	0.18
IMI_38	0.85	1.47	10.58	99.04	87.80	1.25	1.00	12.43	34.74	0.32	0.18	34.74	0.32	0.18
IMI_39	1.06	1.59	12.33	103.55	92.96	1.43	1.00	11.69	34.76	0.32	0.18	34.76	0.32	0.18
IMI_40	1.10	1.64	12.69	104.42	93.74	1.47	1.00	11.51	34.76	0.32	0.18	34.76	0.32	0.18
IMI_41	1.49	1.64	17.36	102.65	90.96	1.39	1.00	11.67	34.77	0.32	0.18	34.77	0.32	0.18
IMI_42	1.58	1.64	18.23	102.90	91.09	1.40	1.00	11.56	34.78	0.32	0.18	34.78	0.32	0.18
IMI_43	1.60	1.70	18.21	103.98	92.32	1.45	1.00	11.38	34.78	0.32	0.18	34.78	0.32	0.18
IMI_44	0.03	1.68	0.35	112.68	103.40	1.85	1.00	11.00	34.85	0.32	0.18	34.85	0.32	0.18
IMI_45	1.63	1.71	18.50	104.16	92.42	1.45	1.00	11.34	34.79	0.32	0.18	34.79	0.32	0.18
IMI_46	1.71	1.87	18.95	105.08	94.06	1.49	1.00	11.08	34.78	0.32	0.18	34.78	0.32	0.18
IMI_47	0.06	1.42	0.67	100.98	84.00	1.42	1.00	11.19	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18
IMI_48	0.13	1.45	1.50	100.21	86.23	1.38	1.00	11.60	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18
IMI_49	0.44	1.46	5.10	98.96	84.10	1.31	1.00	11.58	34.24	0.31	0.18	34.24	0.31	0.18
IMI_50	0.55	1.57	6.24	101.14	87.31	1.41	1.00	11.38	34.25	0.31	0.18	34.25	0.31	0.18
IMI_51	0.69	1.54	8.03	100.68	87.00	1.38	1.00	11.62	34.26	0.31	0.18	34.26	0.31	0.18

Immissione	Area [km ²]	T ritardo [h]	Portata [m ³ /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	Durata critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m ³ /s km ²]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
IMI_52	0.90	1.63	10.25	100.76	86.12	1.38	1.00	11.41	34.28	0.31	0.18	34.28	0.31	0.18
IMI_53	1.06	1.68	11.65	101.57	86.17	1.42	1.00	10.99	34.29	0.31	0.18	34.29	0.31	0.18
IMI_54	1.21	1.78	12.75	103.54	88.42	1.51	1.00	10.58	34.30	0.31	0.18	34.30	0.31	0.18
IMI_55	1.62	1.82	16.79	104.26	89.78	1.54	1.00	10.39	34.32	0.31	0.18	34.32	0.31	0.18
IMI_56	3.33	1.84	35.62	105.82	92.56	1.57	0.99	10.71	34.59	0.31	0.18	34.59	0.31	0.18
IMI_57	3.41	2.04	34.13	109.22	95.42	1.74	0.99	10.00	34.59	0.31	0.18	34.59	0.31	0.18
IMI_58	3.50	2.23	33.12	110.17	95.85	1.78	0.99	9.46	34.58	0.31	0.18	34.58	0.31	0.18
IMI_59	4.73	2.19	43.74	111.27	93.84	1.86	0.99	9.25	34.51	0.31	0.18	34.51	0.31	0.18
IMI_60	4.97	2.34	44.42	111.41	94.00	1.87	0.99	8.95	34.50	0.31	0.18	34.50	0.31	0.18
IMI_61	0.07	1.52	0.71	109.32	78.80	1.82	1.00	9.53	34.17	0.31	0.18	34.17	0.31	0.18
IMI_62	0.18	1.46	2.02	101.84	85.21	1.46	1.00	10.99	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18
IMI_63	0.30	1.53	3.44	100.32	87.52	1.38	1.00	11.43	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18
IMI_64	0.36	1.59	4.08	101.27	89.70	1.43	1.00	11.34	34.15	0.31	0.18	34.15	0.31	0.18
IMI_65	0.49	1.61	5.42	101.79	88.02	1.45	1.00	11.09	34.14	0.31	0.18	34.14	0.31	0.18

Tabella B-2 – Tabulati analisi idrologica per Tr=200 anni bacini totali colmo