

## SERVIZIO DI INDAGINI IDROLOGICHE - IDRAULICHE DI SUPPORTO AL VIGENTE REGOLAMENTO URBANISTICO COMUNALE E AL PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE

### RELAZIONE IDROLOGICA – IDRAULICA

**COMMITTENTE:**



Comune di Calcinaia  
Piazza Indipendenza, 7  
56012 Calcinaia (PI)

**PROGETTISTI:**

ING. GIACOMO GAZZINI

**CODICE ELABORATO:**

PROGETTO	LOTTO	FASE	DOC	ELABORATO	REV
L 6 6 7	0 1	S 0 2	T	R I I	C

REV.	DATA EMISSIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Luglio 2019	G.Gazzini	G.Gazzini	G.Gazzini
B	Novembre 2020	G.Gazzini	G.Gazzini	G.Gazzini
C	Gennaio 2021	G.Gazzini	G.Gazzini	G.Gazzini

Indice generale

<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>1 AREA DI INDAGINE E QUADRO CONOSCITIVO .....</b>	<b>5</b>
1.1 <i>CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO E LORO CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA.....</i>	5
1.1.1 <i>Verifiche dimensionali sul tratto tombato del Fosso Vecchio.....</i>	8
1.2 <i>DATI DEL QUADRO CONOSCITIVO.....</i>	9
<b>2 APPROCCIO METODOLOGICO.....</b>	<b>10</b>
<b>3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO .....</b>	<b>11</b>
3.1 <i>CODIFICA DEI BACINI.....</i>	11
3.2 <i>INPUT PLUVIOMETRICI.....</i>	12
3.3 <i>PARAMETRI IDROLOGICI.....</i>	14
3.4 <i>RISULTATI DELLA MODELLISTICA IDROLOGICA (QMAX).....</i>	14
3.5 <i>VALUTAZIONI IN MERITO ALL'UTILIZZO DI IETOGRAMMI SINTETICI NON COSTANTI E VALORI DI CN RELATIVI ALLA CLASSE AMC III .....</i>	15
3.6 <i>MODELLO IDROLOGICO SUL NUOVO FOSSE LUCAIA.....</i>	22
3.7 <i>VALUTAZIONI IN MERITO AGLI ASPETTI PLUVIOMETRICI SUL CANALE ALLACCIANTE D'USCIANA .....</i>	23
<b>4 IMPLEMENTAZIONE MODELLO IDRAULICO.....</b>	<b>25</b>
4.1 <i>CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DEI CORSI D'ACQUA E DELL'AREA DI STUDIO.....</i>	26
4.2 <i>CONDIZIONI AL CONTOURNO.....</i>	26
4.3 <i>PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO.....</i>	27
4.4 <i>SIMULAZIONI IDRAULICHE IMPLEMENTATE.....</i>	30
4.5 <i>MODELLO QUALITATIVO.....</i>	30
<b>5 DETERMINAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA.....</b>	<b>32</b>
<b>APPENDICE A: MODELLISTICA IDROLOGICO-IDRAULICA.....</b>	<b>33</b>
A.1 <i>MODELLISTICA IDROLOGICA.....</i>	33
A.1.1 <i>Regime pluviometrico – Studio Regionale LSPP.....</i>	33
A.1.2 <i>Calcolo della pioggia di progetto su un bacino idrografico .....</i>	33
A.1.3 <i>Modello di rifiuto del terreno SCS-Curve Number .....</i>	33
A.1.4 <i>Modello dell'idrogramma unitario SCS.....</i>	36
A.1.5 <i>Modello di stima del deflusso di base .....</i>	36
A.2 <i>MODELLISTICA IDRAULICA .....</i>	36
A.2.1 <i>Modellistica Monodimensionale Mike 11 .....</i>	37
A.2.1.1 <i>Modulo Idrodinamico (Hd) .....</i>	37
A.2.2 <i>Descrizione Delle Condizioni Di Moto Simulate.....</i>	37
A.2.3 <i>Equazioni Generali Di De Saint Venant.....</i>	37
A.2.4 <i>Simulazione Delle Correnti Veloci Con L'approccio Dell'onda Dinamica.....</i>	38
A.2.5 <i>Approssimazione Dell'onda Diffusiva.....</i>	38
A.2.6 <i>Descrizione In Corrispondenza Di Strutture .....</i>	39
A.2.7 <i>Resistenza D'attrito.....</i>	39
A.2.8 <i>Condizioni Iniziali .....</i>	40
A.2.9 <i>Metodo Di Soluzione.....</i>	40
A.2.10 <i>Condizioni Al Contorno .....</i>	40
A.2.11 <i>Modellistica bidimensionale Mike 21 .....</i>	40
A.2.12 <i>Modulo Idrodinamico (HD).....</i>	40
A.2.13 <i>Modellistica Mike Flood .....</i>	43
<b>ALLEGATO 1: CURVE NUMBER .....</b>	<b>44</b>
<b>ALLEGATO 2: CODIFICA SEZIONI.....</b>	<b>45</b>
<b>ALLEGATO 3: RISULTATI MODELLISTICA IDRAULICA.....</b>	<b>46</b>

ALLEGATO 4A: NOTA AUTORITA' DI BACINO DISTRETTUALE APPENNINO SETTENTRIONALE .....	47
ALLEGATO 4B: AREE ALLAGATE SCOLMATORE ARNO – STUDIO DHI.....	48
ALLEGATO 4C: RISULTATI STUDIO AREA VASTA SCOLMATORE USCIANA .....	49
ALLEGATO 5: ESITI ISTRUTTORIA PRELIMINARE GENIO CIVILE VALDARNO INFERIORE DEL 11/09/2019 .....	50
ALLEGATO 6: ESITI ISTRUTTORIA GENIO CIVILE VALDARNO INFERIORE DEL 28/01/2020 .....	51
ALLEGATO 7: PLANIMETRIA DI RILIEVO TRATTO TOMBATO F. VECCHIO.....	52

## Indice delle figure

Figura 1-1: Individuazione del reticolo idrografico afferente al territorio comunale .....	5
Figura 1-2: Studio sulla regionalizzazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica [sito web Regione Toscana] .....	9
Figura 3-1: Identificazione del bacino e sottobacini della Fossa Nuova .....	12
Figura 3-2: Idrogrammi Nuovo Cilecchio relativi a Tempo di Ritorno 30 anni e durata 4 [h] – Confronti .....	17
Figura 3-3: Idrogrammi Vecchio relativi a Tempo di Ritorno 30 anni e durata 4 [h] – Confronti .....	18
Figura 3-4: Idrogrammi Corso relativi a Tempo di Ritorno 30 anni e durata 4 [h] – Confronti .....	18
Figura 3-5: Idrogrammi Nuovo Cilecchio relativi a Tempo di Ritorno 200 anni e durata 4 [h] – Confronti .....	18
Figura 3-6: Idrogrammi Vecchio relativi a Tempo di Ritorno 200 anni e durata 4 [h] – Confronti .....	18
Figura 3-7: Idrogrammi Nuovo Cilecchio relativi a Tempo di Ritorno 200 anni e durata 4 [h] – Confronti .....	19
Figura 3-8: Individuazione delle stazioni pluviometriche prossime al Comune di Calcinaia .....	20
Figura 4-1: Vista satellitare dell'area di studio .....	25
Figura 4-2: Scala di deflusso Canale Emissario del Bientina a monte della Botte di san Giovanni alla Vena (PS Bientina) .....	27
Figura 4-3: Fonti bibliografiche per l'attribuzione dei coefficienti di scabrezza in funzione dell'uso del suolo .....	29
Figura 4-3: Carta delle Aree Allagate TR 30-200 anni sul bacino della Fossa Nuova .....	30

## Indice delle tabelle

Tabella 1-1: Corsi d'acqua oggetto di studio .....	7
Tabella 1-2: Sezioni fluviali .....	8
Tabella 1-3: Rilievi Lidar 1x1 utilizzati .....	9
Tabella 3-1: Codifiche dei bacini e sottobacini oggetto di analisi idrologica .....	11
Tabella 3-2: Altezze di pioggia lorda (mm) per eventi con tempo di ritorno TR=30-200 anni e durate di pioggia variabili [1-12h] .....	13
Tabella 3-3: Tabella di riepilogo dei parametri idrologici .....	14
Tabella 3-4: Portate massime (mc/s) per TR30 anni (durata 3-12 ore) .....	14
Tabella 3-5: Portate massime (mc/s) per TR200 anni (durata 3-12 ore) .....	15
Tabella 3-6: Confronto Portate Massime (mc/s) per TR200 anni .....	15
Tabella 3-7: Portate Massime per Tempo di Ritorno 30 anni e durate 4 [h] e 6 [h] – Confronti .....	16
Tabella 3-8: Portate Massime per Tempo di Ritorno 30 anni e durate 9 [h] e 12 [h] – Confronti .....	16
Tabella 3-9: Portate Massime per Tempo di Ritorno 200 anni e durate 4 [h] e 6 [h] – Confronti .....	16
Tabella 3-10: Portate Massime per Tempo di Ritorno 200 anni e durate 9 [h] e 12 [h] – Confronti .....	16
Tabella 3-11: Volumi per Tempo di Ritorno 30 anni e durate 4 [h] e 6 [h] – Confronti .....	17
Tabella 3-12: Volumi per Tempo di Ritorno 30 anni e durate 9 [h] e 12 [h] – Confronti .....	17
Tabella 3-13: Volumi per Tempo di Ritorno 200 anni e durate 4 [h] e 6 [h] – Confronti .....	17
Tabella 3-14: Volumi per Tempo di Ritorno 200 anni e durate 9 [h] e 12 [h] – Confronti .....	17
Tabella 3-15: Stazioni Pluviometriche prossime al Comune di Calcinaia .....	19
Tabella 3-16: Altezze di pioggia TR= 30 anni ricavate dall'Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estremi (LSPP 2012) .....	20
Tabella 3-17: Numero di eventi critici individuati per le 3 stazioni pluviometriche prossime a Calcinaia .....	20
Tabella 3-18: Media della pioggia cumulata nei 5 giorni precedenti agli eventi critici individuati per le 3 stazioni pluviometriche prossime a Calcinaia .....	20
Tabella 3-19: Soglie stagionali di pioggia per classi di Condizione di Umidità Antecedente (AMC - a seguito del SCS 1972). .....	21
Tabella 3-20: Scelta della classe AMC di condizione di umidità antecedente del suolo per le stazioni pluviometriche prossime a Calcinaia .....	21
Tabella 3-21: Stazioni Pluviometriche a diverso regime pluviometrico prese a confronto .....	21
Tabella 3-22: Altezze di pioggia TR= 30 anni fornite dall'Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme (LSPP 2012) .....	21
Tabella 3-23: Numero di eventi critici individuati per le tre stazioni pluviometriche prese a riprova .....	21
Tabella 3-24: Scelta della classe AMC di condizione di umidità antecedente del suolo per le stazioni pluviometriche scelte a riprova .....	21
Tabella 3-25: Scelta della classe AMC di condizione di umidità antecedente del suolo per le stazioni pluviometriche scelte a riprova .....	22
Tabella 3-26: Parametri pluviometrici Progetto Esecutivo Nuovo Fosso Lucaia .....	22
Tabella 3-27: Portate Massime (mc/s) per TR=20-100-200 anni Progetto Esecutivo Nuovo Fosso Lucaia .....	22
Tabella 3-28: Parametri idrologici Nuovo Fosso Lucaia .....	22
Tabella 3-29: Portate Massime (mc/s) per TR=30-200 anni (durata 3-12 ore) Nuovo Fosso Lucaia .....	23
Tabella 3-30: Confronto Portate Massime (mc/s) per TR=200 anni con studio idrologico Prof. Castelli - Nuovo Fosso Lucaia .....	23
Tabella 3-31: Confronto altezze di pioggia al pluviometro di San Giovanni alla Vena .....	23
Tabella 4-1: Condizioni al contorno del modello idraulico analitico .....	27
Tabella 4-2: Associazione del coefficiente di Manning in funzione dell'uso del suolo .....	28

## PREMESSA

La società Hydrogeo Ingegneria srl è stata incaricata dal Comune di Calcinaia di redigere le indagini idrologiche idrauliche di supporto al vigente Regolamento Urbanistico Comunale ed al Piano Strutturale Intercomunale, ai sensi dell'art.104 della L.R. n.65/2014 - *Norme per il governo del territorio*.

Ai fini dell'aggiornamento delle aree a pericolosità idraulica del territorio comunale, sono stati considerati gli elementi idrologico-idraulici necessari per caratterizzare la probabilità di esondazione dei corsi d'acqua in riferimento al reticolo di interesse.

Il lavoro si articola nelle seguenti fasi operative:

- individuazione e caratterizzazione dell'ambito fisico oggetto di studio: raccolta ed analisi dei dati disponibili, caratterizzazione topografica dei corsi d'acqua;
- modellazione idrologica;
- modellazione idraulica;
- analisi dei risultati e perimetrazione delle aree allagabili.

Il presente documento costituisce, unitamente agli elaborati grafici riemessi, la Revisione C dello studio che recepisce le richieste di integrazione formulate dal Genio Civile Valdarno Inferiore, in prima istanza con nota di esiti istruttoria preliminare n. AOOGR/0350327 del 20/09/2019, a seguito dell'illustrazione dello studio nell'ambito dell'incontro di coordinamento svoltosi a Firenze in data 11/09/2019 presso gli uffici dell'Autorità di Bacino Distrettuale (rif. Allegato 5), ed a seguire con comunicazione esiti istruttoria prot. n.0001186/2020 del 28/01/2020 (rif. Allegato 6).

In sintesi, i contenuti oggetto di approfondimento riguardano:

- Valutazioni in merito agli aspetti pluviometrici in relazione agli studi mutuati sul Canale Allacciante d'Usciana, un suo affluente e il Nuovo Fosso Lucaia, condotti precedentemente al 2012, rispetto ai dati di pioggia più aggiornati contenuti nell' "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme – LSPP" di cui alla DGRT 1133/2012;
- Valutazioni in merito alle analisi idrologiche svolte sul reticolo di studio, con particolare riferimento all'utilizzo di eventi meteorici sintetici caratterizzati da ietogrammi non costanti e di valori del CN relativi alla classe III di condizione di umidità antecedente (AMC);
- Considerazioni in merito alle condizioni al contorno assunte sul Canale Emissario del Bientina a valle della Botte di San Giovanni alla Vena, anche in riferimento agli studi sul corso d'acqua in corso di definizione da parte del Comune di Bientina;
- Approfondimenti in merito al modello idraulico bidimensionale di tipo "qualitativo" sviluppato per i corsi d'acqua minori non oggetto di studio analitico e ridefinizione delle perimetrazioni delle aree allagate sulla base anche delle risultanze di tale modellazione;
- Verifica dell'effettivo dimensionamento del tratto tombato esistente sul Fosso Vecchio lungo la S.R. Tosco-Romagnola ed aggiornamento delle verifiche idrauliche sulla base della geometria rilevata.

Inoltre:

- In accordo con quanto segnalato dal Genio Civile, è stata stralciata dallo studio la modellazione idraulica analitica svolta sul Fosso Arnaccio, in quanto il modello non risulta sviluppato a livello di intero sottobacino ma indaga solo il tratto iniziale del corso d'acqua ricompreso all'interno del territorio comunale, e quindi non risulterebbe coerente con le disposizioni contenute all'art. 14 della Disciplina di Piano del PGR per il riesame delle mappe a pericolosità idraulica da alluvione; per di più il bacino idrografico di riferimento risulta molto contenuto e per lo più tombato, per cui si ritiene sufficiente l'analisi svolta a livello qualitativo che ricomprende anche i territori su cui insiste il reticolo;
- Sono state stralciate dallo studio le risultanze ottenute dalle verifiche idrologiche idrauliche della Fossa Nuova, dato che il corso d'acqua scorre interamente al di fuori del territorio del Comune di Calcinaia e non ha dato risultati di allagabilità all'interno dei confini comunali. Per tenere traccia del lavoro svolto, sono state comunque mantenute in relazione le analisi idrologiche ed idrauliche svolte sul corso d'acqua. Per la definizione delle aree allagate dal corso d'acqua si fa invece riferimento agli studi idrologici idraulici di supporto al nuovo Piano Strutturale del Comune di Bientina;
- Si dà conto delle fonti bibliografiche utilizzate ai fini della definizione dei valori di scabrezza associati alle celle del modello idraulico bidimensionale in funzione dell'uso del suolo;
- Sono stati corretti/integrati i contenuti dell'Appendice A in merito al metodo di individuazione del valore CN e alla formula del calcolo del lag time, ed alle condizioni di moto simulate nella modellistica monodimensionale.

## 1 AREA DI INDAGINE E QUADRO CONOSCITIVO

Nel presente paragrafo si riporta una sintesi dei dati acquisiti, analizzati ed elaborati per l'implementazione delle analisi oggetto del presente studio.

### 1.1 CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO E LORO CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA

L'ambito di indagine comprende i principali corsi d'acqua che concorrono a definire il livello di pericolosità idraulica del territorio comunale. L'individuazione del reticolo oggetto di studio deriva da una attenta analisi dei dati esistenti, degli studi e dei progetti pregressi e del perimetro dei centri abitati.

A partire dal reticolo idrografico individuato dalla Regione Toscana ai sensi della L.R.79/2012, aggiornato con Delibera di Consiglio 20/2019 ed attualmente vigente, sono stati individuati ed analizzati i principali corsi d'acqua, che direttamente o indirettamente, concorrono potenzialmente a definire le condizioni di allagabilità del territorio urbanizzato all'interno del territorio comunale:

- FIUME ARNO
- SCOLMATORE DEL F. ARNO
- CANALE USCIANA
- SCOLMATORE USCIANA E AFFLUENTE
- EMISSARIO DEL BIENTINA
- FOSSA NUOVA E AFFLUENTI
- FOSSO NUOVO CILECCHIO E AFFLUENTI
- NUOVO FOSSO LUCAIA
- FOSSO VECCHIO
- FOSSO DEL CORSO
- ARNACCIO

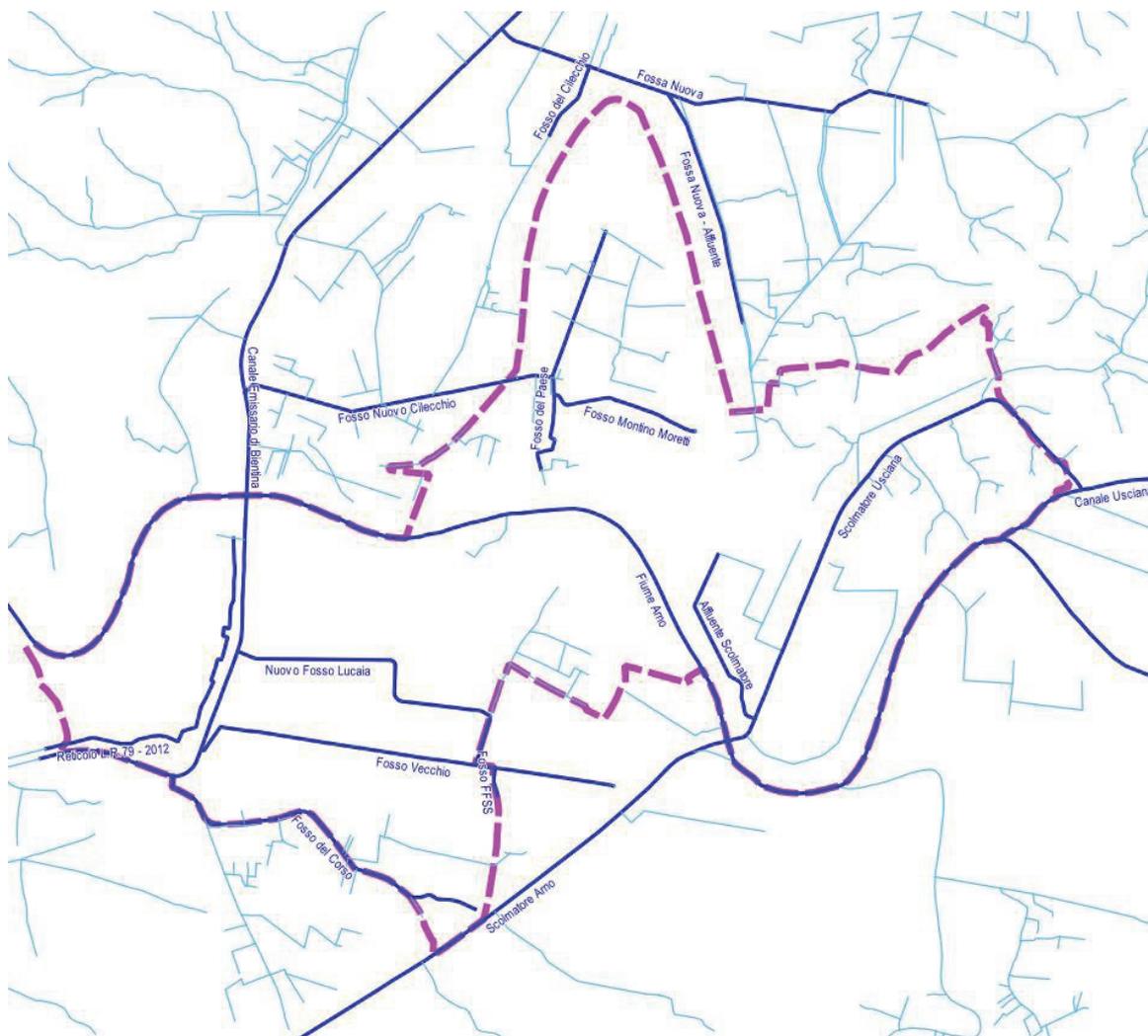


Figura 1-1: Individuazione del reticolo idrografico afferente al territorio comunale

Alcuni dei corsi d'acqua sopra elencati sono stati esclusi dalle analisi del presente studio, in virtù delle seguenti considerazioni:

- FIUME ARNO – costituisce reticolo principale ai sensi dell'art. 5 della Disciplina di Piano del PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, per cui la definizione delle aree a pericolosità da alluvione è di competenza dell'Autorità di Distretto ai sensi dell'art. 14 della succitata disciplina. A seguito di richiesta trasmessa dal Comune di Calcinaia, l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale ha evidenziato che nel territorio comunale di Calcinaia il Fiume Arno non determina allagamenti diretti (rif. Allegato 4A) ed ha fornito i dati disponibili relativi ai livelli idrici e portate in alveo lungo l'asta del Fiume Arno, specificando che:
  - Nel tratto a monte del Canale Scolmatore il modello idraulico di riferimento è il modello SIMI, redatto in fase di adozione del previgente Piano Stralcio Assetto Idrogeologico;
  - Nel tratto a valle del Canale Scolmatore è stato realizzato un aggiornamento del quadro conoscitivo dall'amministrazione comunale di Pisa che ha redatto, in coordinamento con l'Autorità di Distretto, uno studio idraulico nel tratto compreso tra lo Scolmatore e la foce del F. Arno [studio redatto da DHI srl su incarico del Comune di Pisa].
- SCOLMATORE DEL F. ARNO - costituisce reticolo principale ai sensi dell'art. 5 della Disciplina di Piano del PGRA, di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Anche il Canale Scolmatore è stato oggetto di analisi nell'ambito del già citato studio di approfondimento del quadro conoscitivo relativo alla pericolosità idraulica delle aree poste nel territorio comunale di Pisa redatto da DHI srl, che dà risultati di non allagabilità diretta nel territorio comunale di Calcinaia, come si evince dallo stralcio planimetrico riportato in Allegato 4B (dato fornito dalla Autorità di Bacino).
- CANALE USCIANA – interessa solo marginalmente il territorio comunale nel suo tratto terminale (confluenza nel F. Arno) e per morfologia del territorio si presume non sia causa di allagamenti in destra idraulica.
- SCOLMATORE USCIANA – è stato oggetto dello “Studio di Area Vasta per l'attuazione delle previsioni del piano di bacino del Fiume Arno Stralcio Rischio Idraulico (DPCM5/1/99) sul Bacino dell'Usciana e per interventi di salvaguardia del sistema idrico afferente al Padule di Fucecchio” redatto nel 2004, da cui si ricava assenza di allagamenti diretti sul territorio comunale (rif. Allegato 4C). I risultati del modello idraulico attestano franchi di sicurezza estremamente elevati anche rispetto ai battenti attesi in alveo per eventi con TR= 500 anni. Poiché lo studio si basa su input pluviometrici non aggiornati ai contenuti nell'“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme – LSPP” di cui alla DGRT 1133/2012, sono state fatte valutazioni in merito all'aggravio degli input pluviometrici, per i quali si rimanda al paragrafo 3.7. È stato inoltre acquisito lo “Studio idrologico idraulico per la definizione delle condizioni di pericolosità idraulica del comparto CR2.1 del Regolamento Urbanistico del Comune di Calcinaia (PI)” svolto da H.S. Ingegneria srl nel febbraio 2019, che contiene un modello idrologico aggiornato ai nuovi parametri delle LSPP 2012 e nuove verifiche idrauliche sul Canale di Usciana che attestano assenza di esondazioni per tempi di ritorno fino a 200 anni.
- AFFLUENTE SCOLMATORE USCIANA – Il corso d'acqua in esame rappresenta la canalizzazione a cielo aperto realizzata sul Progetto Esecutivo “Progetto del nuovo canale per lo scolo delle acque meteoriche dell'area tra Viale Giacomo Matteotti e l'argine maestro del Fiume Arno” redatto da H.S. Ingegneria srl nel 2008. Lo studio idraulico di supporto al progetto attesta che “per un evento alluvionale con tempo di ritorno stimato fino a 200 anni sul bacino oggetto di studio, il tratto a cielo aperto fino allo sbocco in Usciana garantirà il passaggio della massima portata al colmo duecentennale seppur con franchi minimi sui cigli di sponda”. L'assenza di esondazioni per eventi duecentennali risulta confermata nello “Studio idrologico idraulico per la definizione delle condizioni di pericolosità idraulica del comparto CR2.1 del Regolamento Urbanistico del Comune di Calcinaia (PI)” svolto da H.S. Ingegneria srl nel febbraio 2019, che contiene una analisi idrologica aggiornata agli input pluviometrici regionali del 2012.
- EMISSARIO DEL BIENTINA – TRATTO A MONTE DELLA BOTTE – Il corso d'acqua risulta fuori dal limite comunale ed è attualmente oggetto di studio da parte del Comune di Bientina nell'ambito delle indagini idrauliche di supporto al nuovo Piano Strutturale Comunale. Dallo studio idrologico idraulico di supporto al vigente Regolamento Urbanistico del Comune di Bientina, redatto nel 2009, emerge che non si hanno esondazioni dall'Emissario che coinvolgono il territorio Comunale di Calcinaia, risultato confermato anche dal nuovo studio di supporto al PS di Bientina. Dal vecchio studio sono stati mutuati i valori di livello idrometrico massimo atteso in alveo in corrispondenza delle confluenze dei corsi d'acqua Fossa Nuova e Nuovo Cilecchio, utilizzati quali condizioni al contorno di valle dei reticoli suddetti. Poiché i nuovi studi sul Canale Emissario del Bientina stimano livelli in alveo inferiori ai valori adottati, a titolo cautelativo, non sono state aggiornate le condizioni al contorno sui reticoli affluenti (rif. paragrafo 4.2).
- NUOVO FOSSO LUCAIA – Il Fosso Lucaia è stato oggetto di lavori di ricalibratura e modifica del tracciato da parte del Consorzio di Bonifica 4 Basso Valdarno. Il tratto di intervento è quello terminale, dalla via Maremmana fino allo sbocco nel Canale Emissario di Bientina. Le verifiche idrauliche svolte a supporto del Progetto Esecutivo di “Realizzazione Nuovo Fosso Lucaia nel Comune di Calcinaia” (dic. 2011) attestano che:

“- la nuova linea idraulica garantisce il deflusso di eventi di piena con tempo di ritorno fino a duecento anni, salvo locali punti all'origine in zona agricola, legati sia al minor dislivello esistente tra fondo del canale e p.c. sia alle modalità di coltivazione (tipica baulatura);

- in particolare, in corrispondenza del deflusso della portata duecentennale, si registrano franchi di sicurezza pari o superiori al 20 – 30 % dell'altezza del canale negli ultimi 1400 metri che si annullano localmente solo a monte;

- non è interessata da allagamenti per tracimazione l'area PIP ubicata in sinistra idraulica nel primo tratto né le aree soggette a previsione urbanistica poste più a valle, sempre in sinistra idraulica nel Comune di Calcinaia;

- le verifiche dei ponti e delle coperture sono ampiamente soddisfatte, sebbene mettano in evidenza un principio di rigurgito del profilo liquido nei tratti subito a monte.”

Poiché lo studio si basa su input pluviometrici non aggiornati ai contenuti nell'“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme – LSPP” di cui alla DGRT 1133/2012, sul bacino è stata svolta un'analisi idrologica aggiornata, contenuta al paragrafo 3.6

- ARNACCIO – dato che la porzione di bacino idrografico ricompresa nel territorio comunale risulta molto contenuta ed il reticolo del Fosso dell'Arnaccio si presenta per lo più tombato nel suo tratto iniziale, si è ritenuta sufficiente una analisi idraulica di tipo qualitativo finalizzata ad indagare l'allagabilità dei territori del bacino, escludendo il reticolo dallo studio analitico.
- FOSSA NUOVA E AFFLUENTI – pur scorrendo interamente al di fuori del Comune di Calcinaia, sul reticolo è stata condotta una analisi idrologica idraulica, che per completezza riportiamo nei paragrafi seguenti, finalizzata a verificare che i fenomeni di allagabilità non interessassero i territori comunali. Alla luce dei risultati ottenuti e del fatto che nel frattempo sono stati effettuati studi idraulici relativi alla Fossa Nuova anche a supporto del nuovo Piano Strutturale del Comune di Bientina a firma dell'Ing. Alessio Gabbrielli, la definizione delle aree allagate dal corso d'acqua è demandata al succitato studio.

Si precisa inoltre che, a seguito di segnalazioni su alcuni piani attuativi in corso, sono stati eseguiti sopralluoghi in situ per verificare la presenza del reticolo, che talvolta non è risultato presente in campagna. Per tali tratti di corso d'acqua, inseriti nel reticolo della Regione Toscana ma non riscontrati a seguito di sopralluogo sul posto, dei quali si dà evidenza in *Tavola 1A – Planimetria del reticolo idrografico*, si propone la cancellazione dallo strato informativo regionale. Nell'occasione si propone altresì la rettifica del tracciato del Nuovo Fosso Lucaia, oggetto dei succitati lavori di spostamento d'alveo.

In definitiva, si riporta di seguito l'elenco dei corsi d'acqua studiati analiticamente nel presente studio:

Corsi d'acqua oggetto di studio analitico	
Fossa Nuova	Fosso Vecchio
Affluente Fossa Nuova	Fosso FFSS
Fosso del Cilecchio	Fosso del Corso
Fosso Nuovo Cilecchio	Emissario del Bientina (a valle della botte)
Fosso del Paese	Arnaccio
Fosso Montino-Moretti	

Tabella 1-1: Corsi d'acqua oggetto di studio

I corsi d'acqua studiati con i relativi affluenti sono riportati nelle Tavole:

- 1A - *Planimetria del Reticolo Idrografico*
- 1B – *Planimetria dei Bacini Idrografici*
- 2A – *Planimetria del Modello Idraulico*

La caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua deriva da una serie di rilievi topografici, in parte esistenti e forniti dall'Amministrazione Comunale, in parte eseguiti dallo scrivente con strumentazione GPS a supporto del presente studio. Ove non presenti rilievi topografici, si è provveduto all'estrapolazione delle sezioni fluviali dai rilievi LIDAR disponibili, valutando l'affidabilità dei dati così ricavati attraverso verifiche con strumentazione GPS e confronti diretti con i rilievi disponibili.

Nella seguente tabella sono riportati, per ogni corso d'acqua, la lunghezza del tratto ed il numero di sezioni fluviali utilizzate, nonché la provenienza del dato topografico (lidar/rilievo topografico fornito dal Comune/rilievo topografico ex novo).

Nome corso d'acqua	Lunghezza [m]	N° sezioni	Provenienza dato topografico
Fossa Nuova	2900	32	Amm. Comunale
Affluente Fossa Nuova	1400	37	Hydrogeo

Fosso del Cilecchio	500	9	Amm. Comunale/Hydrogeo
Fosso Nuovo Cilecchio	3000	20	Amm. Comunale/Hydrogeo
Fosso del Paese	700	11	Amm. Comunale/Hydrogeo
Fosso Montino-Moretti	1000	19	Amm. Comunale
Fosso Vecchio	2800	7	Amm. Comunale/Hydrogeo
Fosso FFSS	120	6	Amm. Comunale/Hydrogeo
Fosso del Corso	2400	33	Amm. Comunale
Amaccio (tratto aperto)	600	8	Amm. Comunale
Emissario del Bientina (valle botte)	2660	10	Lidar/Hydrogeo (solo strutture ponti)

Tabella 1-2: Sezioni fluviali

### 1.1.1 VERIFICHE DIMENSIONALI SUL TRATTO TOMBATO DEL FOSSO VECCHIO

Il reticolo del Fosso Vecchio ha uno sviluppo di circa 2.8 km e si presenta tombato per la gran parte del suo tracciato (circa 2 km, dalla confluenza del Fosso FFSS fino allo sbocco nel Canale Emissario del Bientina).

Per la modellazione idraulica del corso d'acqua sono state utilizzate le sezioni di rilievo fornite dal Comune di Calcinaia rilevate nell'ambito del Piano Strutturale del 2012, in cui il tombamento del fosso Vecchio risulta realizzato con una condotta circolare DN900.

Con nota di nota di esiti istruttoria preliminare del 20/09/2019, è stato richiesto dal Genio Civile di rivalutare l'effettivo dimensionamento dell'intero tratto del tombamento, a fronte del significativo sviluppo dello stesso.

Il Comune di Calcinaia ha quindi provveduto a fornire agli scriventi anche i documenti di cui al "Rilievo del Fosso Vecchio di Pontedera nel tratto percorso nel Comune di Calcinaia - Località Fornacette", eseguito nel 1995, da cui si evidenzia che il tombamento è rappresentato per il tratto iniziale da una tubazione circolare DN1200, a cui segue un cambio di sezione, diventando una condotta DN1500.

Alla luce della discrepanza riscontrata sui dati geometrici, nel giugno 2020 è stato effettuato un sopralluogo congiunto con i tecnici comunali al fine di verificare l'effettivo dimensionamento della condotta interrata. In tale occasione sono stati rintracciati il punto di imbocco del tombamento ed alcuni pozzetti ispezionabili presenti lungo la viabilità S.R. Tosco-Romagnola ed eseguite misurazioni del diametro della condotta in ingresso ed in uscita.

I risultati di tale campagna di misura evidenziano quanto segue:

- L'imbocco del tratto tombato lungo SS67 Via Tosco Romagnola Ovest presenta un diametro della condotta DN1200;
- Dopo circa 20 m (pozzetto 1), si rileva un cambio di sezione, che diventa DN1500;
- Dopo ulteriori 370 m (pozzetto 2), la condotta si presenta di nuovo con diametro DN1200 e mantiene la stessa geometria ai pozzetti successivi (pozzetti 3,4 e 5).
- In corrispondenza del pozzetto 6 (in prossimità dell'incrocio con la SP23 Via di Gello), la condotta ripresenta un diametro DN1500 sia in ingresso che in uscita, mentre al pozzetto successivo (incrocio Via Gagarin) in ingresso arriva una condotta DN1200 ed in uscita DN1500;
- In prossimità dello sbocco (Via Magni) è presente un pozzetto di salto molto profondo, da cui diparte lo scarico del tratto tombato, con recapito nel Canale Emissario del Bientina, rappresentato da una condotta di diametro DN680.

Per l'individuazione planimetrica dei punti di ispezione si rimanda all'Allegato 7.

Sulla base delle dimensioni della condotta interrata desunte dal sopralluogo del giugno 2020 e delle quote della livelletta in corrispondenza dei pozzetti ispezionati mutuata dal rilievo del 1995, è stata aggiornata la geometria del corso d'acqua ed eseguite nuove verifiche idrauliche, così come riportato negli elaborati dello studio.

In particolare, il tombamento è stato schematizzato attraverso la geometrizzazione di due tratti di condotta a diametro costante: un primo tratto con DN1200 dalla sezione di imbocco fino al pozzetto di salto di Via Magni (L=2000 m circa) ed un secondo tratto con DN680 dal pozzetto di salto allo sbocco nel Canale Emissario del Bientina (L=30 m circa).

È stato infine inserito nelle modellazioni idrauliche il nuovo manufatto scatolare di attraversamento della nuova pista ciclabile sul fosso FFSS in prossimità della confluenza nel F. Vecchio (rif. sezioni 00001PB19-00001PC19).

## 1.2 DATI DEL QUADRO CONOSCITIVO

Oltre ai dati necessari alla caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua, nell'ambito del presente lavoro sono stati consultati, utilizzati ed elaborati una serie di dati geografici, resi disponibili dalle Amministrazioni sovracomunali che li hanno realizzati ed in particolare:

- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000 e 1:2000. Fonte: Regione Toscana - Carta Tecnica Regionale;
- LIDAR (1x1 m) del Ministero dell'Ambiente, Fonte dei dati: Regione Toscana – “Rilievi LIDAR”

17g03_1x1_dtm_006_2008_3003.asc	17g14_1x1_dtm_006_2008_3003.asc
17g04_1x1_dtm_006_2008_3003.asc	17g19_1x1_dtm_006_2008_3003.asc
17g05_1x1_dtm_006_2008_3003.asc	17g20_1x1_dtm_006_2008_3003.asc
17g06_1x1_dtm_006_2008_3003.asc	18g52_1x1_dtm_006_2008_3003.asc
17g07_1x1_dtm_006_2008_3003.asc	18g53_1x1_dtm_006_2008_3003.asc
17g10_1x1_dtm_006_2008_3003.asc	18g60_1x1_dtm_006_2008_3003.asc
17g11_1x1_dtm_006_2008_3003.asc	18g61_1x1_dtm_006_2008_3003.asc
17g12_1x1_dtm_006_2008_3003.asc	18g62_1x1_dtm_006_2008_3003.asc
17g13_1x1_dtm_006_2008_3003.asc	18g63_1x1_dtm_006_2008_3003.asc

Tabella 1-3: Rilievi Lidar 1x1 utilizzati

- Shape file del Reticolo Idrografico, individuato dalla Regione Toscana ai sensi dei disposti della Legge Regionale 79/2012; reticolo aggiornato ed attualmente vigente, approvato con Delibera di Consiglio 20/2019; Fonte dei dati: Regione Toscana <http://www.regione.toscana.it/-/consorzi-di-bonifica-reticolo-idrografico-e-di-gestione>;
- Shape file della Carta Geologica Regionale. Fonte: Regione Toscana – DG Governo del Territorio - Sistema Informativo Territoriale ed Ambientale. Il dataset “Continuum Geologico – aggiornamento del 15/11/2013” è rilasciato con licenza CC BY 3.0 IT Il dataset è rilasciato in formato esri-shapefiles e dbf. I dati sono espressi nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Fuso Ovest (EPSG:3003).
- Shape file dell'Uso e copertura del suolo. Fonte: Regione Toscana - Il dataset “Uso e copertura del suolo 2007-2013” è rilasciato con licenza CC BY 3.0 IT Il dataset è rilasciato in formato esri-shapefiles e dbf. I dati sono espressi nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Fuso Ovest (EPSG:3003);
- Shape file dei valori di Curve Number a partire dalla pedologia e dall'uso del suolo. Fonte: Regione Toscana - Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 <http://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>.
- Griglie dei parametri caratteristici delle LSPP, a ed n, pubblicate dalla Regione Toscana nell'ambito dello Studio di Regionalizzazione delle Precipitazioni. Fonte: Regione Toscana <http://www.regione.toscana.it/-/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni>.

Figura 1-2: Studio sulla regionalizzazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica [sito web Regione Toscana]

### Difesa del suolo

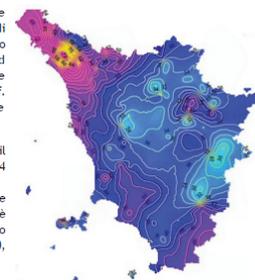
#### Nuovi dati sulla regionalizzazione delle precipitazioni

Nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano si è proceduto ad effettuare un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso (Referente: Prof. Enrica Caporali- dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale Università degli Studi di Firenze).

Attraverso l'analisi di frequenza regionale sono state stimate su tutto il territorio regionale le altezze di pioggia per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500. Attraverso una regressione lineare sono stati calcolati i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n, grazie ai quali è possibile calcolare, per qualsiasi durata, in qualsiasi punto del territorio regionale l'altezza di pioggia per i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500. I parametri a ed n forniti sono in formato raster, risoluzione 1kmx1km.

Consulta la [relazione finale dell'attività](#) e la [presentazione](#)  
Scarica i [parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n](#) da utilizzarsi previa consultazione della [Guida all'uso](#).

Per elaborazioni a scala di bacino/stazione pluviometrica/comune/aree di allerta è possibile consultare l'applicativo disponibile al seguente [indirizzo](#)



## 2 APPROCCIO METODOLOGICO

Lo schema metodologico adottato si basa essenzialmente su criteri analitici che, partendo dagli eventi di precipitazione, conduce alla definizione delle aree soggette ad inondazione attraverso la simulazione dei fenomeni di formazione e propagazione dell'onda di piena.

Ai fini dell'individuazione delle aree allagabili, l'approccio deve necessariamente considerare un corso d'acqua nella sua più completa caratterizzazione spaziale, sia in termini d'estensione, sia in termini di contributi laterali provenienti dagli affluenti considerati. La determinazione delle aree soggette ad inondazione dipende, in sostanza, dalla distribuzione spazio-temporale dei volumi di piena; pertanto, in ogni sezione del corso d'acqua, i volumi d'esondazione dipendono, a parità d'evento che li genera, dalla dinamica di propagazione e di laminazione verificatasi nelle sezioni precedenti.

È pertanto necessario, da un lato, stimare gli idrogrammi di piena in arrivo al corso d'acqua e, dall'altro, analizzarne la propagazione e laminazione per effetto di esondazioni, opere, diversivi ed immissioni laterali. Di qui la necessità di un approccio integrato di tipo idrologico-idraulico che consideri l'asta fluviale d'interesse, il relativo bacino afferente e le eventuali connessioni idrauliche laterali.

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, costituite in generale da eventi caratterizzati da intensità di pioggia variabili nel tempo e nello spazio e dalle "condizioni iniziali" del bacino idrografico, vengono rappresentate da ietogrammi sintetici definiti in base alle Curve di Possibilità Pluviometrica per preassegnata durata di pioggia e tempo di ritorno. Attraverso la modellistica idrologica, vengono definiti gli idrogrammi di piena nelle sezioni prescelte del corso d'acqua considerato.

La propagazione dei deflussi di piena così generati e la valutazione dei fenomeni esondativi lungo l'asta fluviale considerata avviene tramite modelli idraulici, in grado di fornire in ogni sezione dell'asta fluviale l'idrogramma di piena in transito ed il massimo battente idraulico atteso, in modo tale da poter verificare l'efficienza delle strutture di contenimento o, in caso contrario, la sussistenza di fenomeni esondativi.

In questo studio è stato implementato un modello idraulico integrato che permette di combinare l'approccio monodimensionale, per la modellazione idraulica in alveo, a quello bidimensionale per la modellazione idraulica delle aree inondabili. L'integrazione tra i modelli avviene in modo dinamico, garantendo quindi la conservazione di massa e quantità di moto tra i vari sistemi. Gli alvei dei corsi d'acqua vengono modellati attraverso l'inserimento di sezioni trasversali, ricostruite a partire dai rilievi topografici e comprensive di tutte quelle strutture che interferiscono con il deflusso di piena, mentre le aree inondabili sono caratterizzate da un modello digitale del terreno che deriva dal rilievo Lidar. L'accoppiamento dei due modelli avviene attraverso degli appositi elementi che definiscono in ogni sezione fluviale la quota di sfioro in destra e sinistra idraulica e che quindi collegano il modello monodimensionale a quello bidimensionale.

I bacini idrografici oggetto di studio afferenti all'area di indagine presentano caratteristiche idrologiche e morfologiche analoghe tra loro; si tratta essenzialmente di corsi d'acqua che interessano un territorio a vocazione prevalentemente agricola caratterizzata da basse pendenze, con bacini idrografici modesti (superfici inferiori a 10 kmq).

L'impostazione del presente studio prevede pertanto un solo scenario idrologico:

**"Scenario Singolo Bacino"**: scenario in cui si massimizzano i contributi dei singoli bacini, considerando delle piogge ragguagliate sull'area di ogni singolo bacino.

Data la disposizione planaltimetrica dei corsi d'acqua oggetto di analisi, infatti, appare non significativo prendere in considerazione uno "Scenario di Reciproca Interazione" tra bacini, finalizzato a massimizzare le interazioni fra corsi d'acqua vicini con input pluviometrici ragguagliati sull'intera estensione dei bacini idrografici oggetto di studio, in quanto non si riscontrano situazioni in cui più di uno dei corsi d'acqua oggetto di studio contribuisca ad allagare le stesse porzioni di territorio.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua minori non oggetto di studio analitico di dettaglio, è stato sviluppato un modello idraulico bidimensionale di tipo "qualitativo" sollecitato da input pluviometrici diffusi, che permetta l'individuazione delle aree potenzialmente più soggette a ristagno e dia indicazioni dei battenti attesi sull'orizzonte trentennale e duecentennale sulle aree morfologicamente più vulnerabili.

### 3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

Di seguito viene illustrata la modellistica idrologica implementata per la determinazione degli input pluviometrici e degli idrogrammi di piena.

I contributi idrologici, utilizzati quali input del modello idraulico, sono stati calcolati con metodologia omogenea su tutto il territorio oggetto di indagine. Il modello numerico utilizzato per la determinazione dei contributi idrologici al reticolo idraulico oggetto di studio è composto da un modello di infiltrazione (il calcolo delle perdite di pioggia), e da un modello afflussi-deflussi per la trasformazione degli input pluviometrici netti, in idrogrammi sollecitanti il reticolo idraulico.

La definizione dei bacini contribuenti a ciascuna asta fluviale oggetto di studio è avvenuta attraverso una analisi morfologica del territorio ricavata dalla base Lidar.

Per la determinazione degli idrogrammi di piena si è utilizzato il codice di calcolo HEC-HMS v. 4.3.

Le perdite di bacino sono state stimate mediante il metodo CN del Soil Conservation Service (SCS) americano. In questo metodo l'effetto combinato dei seguenti fattori:

- 1) caratteristiche idrologiche del suolo
- 2) uso del suolo
- 3) grado di umidità precedente l'evento piovoso

è rappresentato globalmente dal parametro CN che permette di stimare le perdite per infiltrazione.

I valori di CN, stimati a partire dalla pedologia e dall'uso del suolo, sono stati mutuati dallo shapefile pubblicato della Regione Toscana nell'ambito dell'aggiornamento del Modello Idrologico distribuito sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale (Prof. Castelli), nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato è il metodo dell'IUH sviluppato dal Soil Conservation Service.

L'idrogramma unitario S.C.S. è di tipo parametrico e si basa su una serie di dati raccolti su bacini agricoli degli USA.

Le equazioni parametriche così ottenute vengono utilizzate per calcolare la portata di picco e la durata dell'idrogramma dei deflussi a partire dalla definizione del tempo di ritardo del bacino idrografico considerato.

L'unico parametro richiesto dal metodo è il tempo di ritardo,  $t_{lag}$ , del bacino idrografico considerato.

Per i dettagli sulla modellistica idrologica si rimanda all'*Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica*.

#### 3.1 CODIFICA DEI BACINI

I bacini afferenti all'area di studio sono stati suddivisi in sottobacini e studiati dal punto di vista idrologico tenendo conto dei tratti fluviali simulati idraulicamente e della presenza di contributi laterali al reticolo di interesse. Sulla base di questo sono stati individuati bacini e sottobacini identificati da un codice di 4 caratteri, con progressione numerica nord-sud e da monte verso valle, nel modo seguente:

- le prime due cifre rappresentano il codice del bacino di appartenenza;
- le ultime due cifre rappresentano l'eventuale presenza di sottobacini.

Nella tabella sottostante si riporta l'elenco dei bacini oggetto di analisi idrologica (riportati in *Tavola 1B - Planimetria dei Bacini Idrografici*).

Nome Corso d'Acqua	Codice	Area bacino [kmq]
<b>FOSSA NUOVA TOTALE</b>	<b>0100</b>	<b>6.726</b>
Fossa Nuova Monte	0101	4.262
Affluente Fossa Nuova	0102	0.851
Fossa Nuova Interbacino 1	0103	0.270
Fosso del Cilecchio	0104	0.985
Fossa Nuova Interbacino 2	0105	0.359
<b>FOSSO NUOVO CILECCHIO TOTALE</b>	<b>0200</b>	<b>3.727</b>
Fosso Nuovo Cilecchio Monte	0201	1.832
Fosso del Paese	0202	0.388
Fosso Montino Moretti	0203	0.505
Fosso Nuovo Cilecchio Interbacino	0204	1.001
<b>FOSSO VECCHIO</b>	<b>0300</b>	<b>0.971</b>
<b>FOSSO DEL CORSO</b>	<b>0400</b>	<b>2.878</b>

*Tabella 3-1: Codifiche dei bacini e sottobacini oggetto di analisi idrologica*

Per l'identificazione planimetrica dei bacini e sottobacini si rimanda alla *Tavola 1B - Planimetria dei Bacini Idrografici*, ad eccezione della Fossa Nuova, riportata in figura seguente.

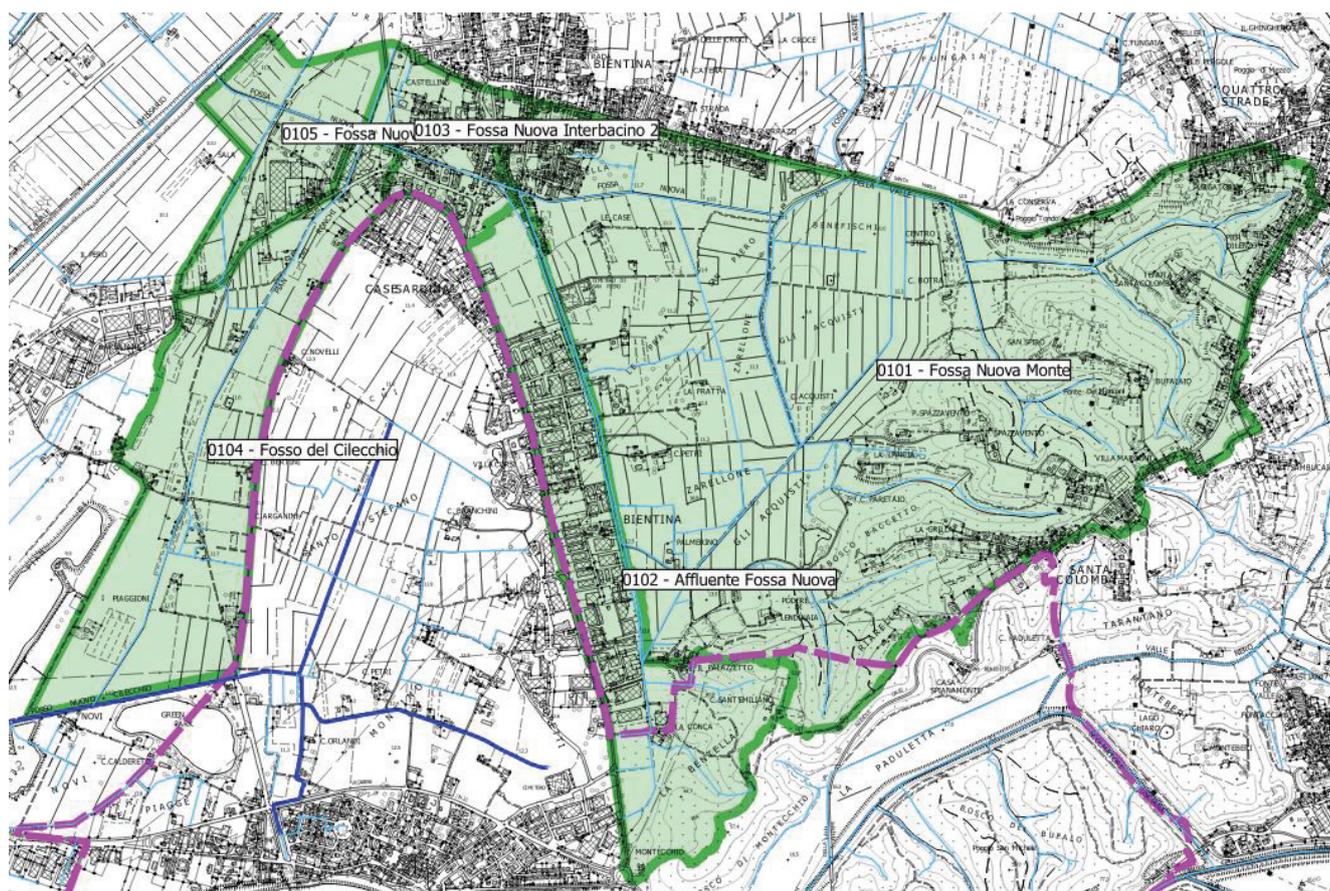


Figura 3-1: Identificazione del bacino e sottobacini della Fossa Nuova

### 3.2 INPUT PLUVIOMETRICI

Gli eventi meteorici studiati fanno riferimento a tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

Si è scelto di studiare un set di durate dell'evento meteorico sintetico a cavallo della "durata critica" (durata che massimizza la portata al colmo). Questa scelta ci consente di studiare anche gli eventi che possono avere maggiori esondazioni in termini di volumi, anche se caratterizzati da picchi dell'onda di piena minori. Le durate scelte variano tra 1 e 12 ore.

L'aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012, pubblicate dalla Regione Toscana costituisce la nuova base dati su cui implementare le analisi idrologiche. (elaborati nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano).

I risultati di tale studio hanno portato alla determinazione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla durata dell'evento meteorico che l'ha generata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Nella Tabella 3-2 seguente sono riportate le altezze di pioggia (in mm) calcolate secondo la metodologia individuata dalla Regione Toscana. Per ogni tempo di ritorno considerato sono riportate le altezze di pioggia al variare della durata dell'evento meteorico considerato. Data la modesta estensione areale dei bacini oggetto di studio e la modesta variabilità dei valori di pioggia attesi sul territorio comunale, si è assunto un unico valore di pioggia per l'intero areale di studio, ricavato come media pesata dei valori di pioggia attesi nelle celle di discretizzazione dello studio di regionalizzazione.

Si rimanda all'Appendice A: Modellistica idrologico-idraulica per maggiori dettagli sulla procedura di regionalizzazione.

Osservando sperimentalmente le piogge intense è possibile affermare che, all'interno di una certa area, l'intensità di precipitazione durante l'evento piovoso varia da punto a punto, anche in maniera sensibile, e questa variazione è tanto maggiore quanto maggiore è l'estensione dell'area considerata. Per questo alla precipitazione lorda, calcolata rispetto alla sezione di calcolo, si applica un coefficiente di ragguaglio dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento, in linea con la trattazione riportata nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana, secondo la seguente formulazione:

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

dove t è la durata dell'evento, A è l'area del bacino sotteso e  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  sono parametri dipendenti dalle caratteristiche del bacino considerato.

Il coefficiente di ragguaglio dipende quindi dallo scenario idrologico considerato.

Nel caso in esame, trattandosi di bacini di estensione areale modesta e trattando solo lo Scenario Singolo Bacino, il  $K_r$  è stato assunto, a favore di sicurezza, pari a 1.

d [h]	h30[mm]	h200[mm]
1	58.2	81.1
2	69.7	98.7
3	77.3	110.8
4	83.3	120.2
5	88.3	128.1
6	92.5	134.9
7	96.3	140.9
8	99.6	146.3
9	102.7	151.3
12	110.7	164.2

Tabella 3-2: Altezze di pioggia lorda (mm) per eventi con tempo di ritorno TR=30-200 anni e durate di pioggia variabili [1-12h].

### 3.3 PARAMETRI IDROLOGICI

Per i bacini riportati in Tabella 3-1 è stato definito il bacino idrografico contribuente sulla base della morfologia del territorio ricavata dal Lidar.

Per la stima delle perdite è stato adottato il metodo del Curve Number del S.C.S. I valori del parametro CN per ogni bacino è stato determinato come media pesata della distribuzione dei valori CNII ricavati dallo shape regionale (studio Prof. Castelli).

Il parametro tempo di ritardo,  $t_{lag}$ , necessario per la trasformazione afflussi-deflussi del metodo dell'IUH sviluppato del S.C.S. è stato stimato mediante la formulazione suggerita dal S.C.S.:

$$t_{lag} = 0.342 \frac{L^{0.8}}{i^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

I risultati completi della parametrizzazione idrologica appena descritta sono riportati in Tabella 3-3.

Nome Corso d'Acqua	Codice	A [kmq]	CN	$t_{lag}$ [h]
<b>FOSSA NUOVA TOTALE</b>	<b>0100</b>	<b>6.726</b>	<b>84</b>	<b>4.18</b>
Fossa Nuova Monte	0101	4.262	82	2.73
Affluente Fossa Nuova	0102	0.851	83	2.34
Fossa Nuova Interbacino 1	0103	0.270	86	4.18
Fosso del Cilecchio	0104	0.985	84	2.86
Fossa Nuova Interbacino 2	0105	0.359	85	4.18
<b>FOSSO NUOVO CILECCHIO TOTALE</b>	<b>0200</b>	<b>3.727</b>	<b>82</b>	<b>2.39</b>
Fosso Nuovo Cilecchio Monte	0201	1.832	85	2.22
Fosso del Paese	0202	0.388	82	1.76
Fosso Montino Moretti	0203	0.505	79	1.24
Fosso Nuovo Cilecchio Interbacino	0204	1.001	80	2.39
<b>FOSSO VECCHIO</b>	<b>0300</b>	<b>0.971</b>	<b>85</b>	<b>3.23</b>
<b>FOSSO DEL CORSO</b>	<b>0400</b>	<b>2.878</b>	<b>82</b>	<b>2.51</b>

Tabella 3-3: Tabella di riepilogo dei parametri idrologici

### 3.4 RISULTATI DELLA MODELLISTICA IDROLOGICA (QMAX)

Per ognuno delle altezze di pioggia calcolate (caratterizzate da un tempo di ritorno e una durata dell'evento meteorico considerato) si sono determinati gli idrogrammi di piena su ciascuno bacino/interbacino di interesse, utilizzando il codice di calcolo HEC-HMS v. 4.3.

Gli input pluviometrici al modello sono costituiti da ietogrammi sintetici ad intensità costante.

A sintesi della analisi idrologica implementata, si riportano di seguito i risultati ottenuti in termini di valori della portata al colmo al variare del tempo di ritorno e della durata dell'evento meteorico.

Bacino	Codice	Q30 [mc/s]							
		d=3h	d=4h	d=5h	d=6h	d=7h	d=8h	d=9h	d=12h
FOSSA NUOVA TOTALE	0100	16.4	17.3	17.4	17.2	16.7	16.1	15.5	13.7
Fossa Nuova Monte	0101	10.5	11.0	11.1	10.9	10.6	10.2	9.8	8.6
Affluente Fossa Nuova	0102	2.5	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	1.8
Fossa Nuova Interbacino 1	0103	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
Fosso del Cilecchio	0104	2.6	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.1
Fossa Nuova Interbacino 2	0105	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
<b>FOSSO NUOVO CILECCHIO TOTALE</b>	<b>0200</b>	<b>11.0</b>	<b>11.3</b>	<b>11.0</b>	<b>10.6</b>	<b>10.1</b>	<b>9.6</b>	<b>9.1</b>	<b>7.8</b>
Fosso Nuovo Cilecchio Monte	0201	6.0	6.0	5.8	5.6	5.3	5.0	4.7	4.0
Fosso del Paese	0202	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	0.8
Fosso Montino Moretti	0203	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0
Fosso Nuovo Cilecchio Interbacino	0204	2.5	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.0
<b>FOSSO VECCHIO</b>	<b>0300</b>	<b>2.4</b>	<b>2.5</b>	<b>2.6</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>2.4</b>	<b>2.3</b>	<b>2.0</b>
<b>FOSSO DEL CORSO</b>	<b>0400</b>	<b>7.6</b>	<b>7.9</b>	<b>7.8</b>	<b>7.6</b>	<b>7.4</b>	<b>7.1</b>	<b>6.7</b>	<b>5.9</b>

Tabella 3-4: Portate massime (mc/s) per TR30 anni (durata 3-12 ore).

Bacino	Codice	Q200 [mc/s]							
		d=3h	d=4h	d=5h	d=6h	d=7h	d=8h	d=9h	d=12h
0100_FOSSA_NUOVA_TOT	0100	28.5	29.7	29.6	28.9	27.9	26.8	25.6	22.3
0101_FOSSA_NUOVA_monte	0101	18.4	19.1	19.0	18.5	17.8	17.0	16.2	14.1
0102_Fossa_Nuova_Affl	0102	4.3	4.3	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	2.9
0103_FOSSA_NUOVA_INT1	0103	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
0104_CILECCHIO	0104	4.4	4.5	4.5	4.4	4.2	4.0	3.8	3.3
0105_FOSSA_NUOVA_INT2	0105	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2
0200_NUOVO_CILECCHIO_TOT	0200	19.0	19.2	18.6	17.7	16.8	15.8	14.9	12.7
0201_NUOVO_CILECCHIO_monte	0201	10.1	10.0	9.6	9.1	8.6	8.0	7.6	6.4
0202_PAESE	0202	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.3
0203_MONTINO-MORETTI	0203	3.2	3.0	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0	1.7
0204_NUOVO_CILECCHIO_INT	0204	4.5	4.6	4.5	4.4	4.2	4.0	3.8	3.3
0302_VECCHIO	0300	4.0	4.2	4.2	4.2	4.0	3.9	3.7	3.3
0303_CORSO	0400	13.3	13.6	13.4	12.9	12.3	11.7	11.2	9.6

Tabella 3-5: Portate massime (mc/s) per TR200 anni (durata 3-12 ore).

I risultati ottenuti dalla modellazione idrologica fin qui descritta sono stati confrontati con il redigendo studio idrologico idraulico di supporto al Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione Valdera, a cura del Prof. Castelli, nell'ambito della Convenzione di Ricerca tra Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (UNIFI) e l'Unione Valdera. In particolare, l'analisi idrologica svolta, basata essenzialmente sull'utilizzo del modello idrologico distribuito MOBIDIC, individua per i piccoli bacini di pianura, la seguente formulazione dei contributi specifici di piena (portata massima di piena per unità di area contribuyente) per eventi con TR=200 anni:

$$\frac{Q_{max}}{A} = 4.3 mc/s/kmq$$

In tabella seguente si riporta il confronto tra i valori di portata massima risultanti dall'analisi idrologica svolta a supporto del presente studio e la formulazione dello studio idrologico del Prof. Castelli, evidenziando una sostanziale congruenza nei risultati.

Bacino	Codice	Q200 max [mc/s]	
		studio Hydrogeo	studio Castelli
FOSSA NUOVA TOTALE	0100	29.7	28.9
Fossa Nuova Monte	0101	19.1	18.3
Affluente Fossa Nuova	0102	4.3	3.7
Fossa Nuova Interbacino 1	0103	1.0	1.2
Fosso del Cilecchio	0104	4.5	4.2
Fossa Nuova Interbacino 2	0105	1.3	1.5
FOSSO NUOVO CILECCHIO TOTALE	0200	19.2	16.0
Fosso Nuovo Cilecchio Monte	0201	10.1	7.9
Fosso del Paese	0202	2.3	1.7
Fosso Montino Moretti	0203	3.2	2.2
Fosso Nuovo Cilecchio Interbacino	0204	4.6	4.3
FOSSO VECCHIO	0300	4.2	4.2
FOSSO DEL CORSO	0400	13.6	12.4

Tabella 3-6: Confronto Portate Massime (mc/s) per TR200 anni

### 3.5 VALUTAZIONI IN MERITO ALL'UTILIZZO DI IETOGRAMMI SINTETICI NON COSTANTI E VALORI DI CN RELATIVI ALLA CLASSE AMC III

Come già argomentato nei paragrafi precedenti, il modello idrologico sviluppato a supporto delle indagini in oggetto è stato implementato mediante il software HEC-HMS, e riguarda la stima degli idrogrammi di piena attesi sui bacini di interesse per eventi sintetici caratterizzati da tempi di ritorno di 30 e 200 anni e durata compresa tra 1 e 12 ore, nelle ipotesi di input pluviometrici ad intensità costante e stima delle perdite idrologiche mediante il metodo CN del Soil Conservation Service, utilizzando i valori di CN relativi alla classe di umidità antecedente AMC II mutuati dallo shapefile pubblicato della Regione Toscana.

Tuttavia, al fine di ottemperare alle richieste del Genio Civile (rif. comunicazione esiti istruttoria prot. n.0001186/2020 del 28/01/2020 di cui all'Allegato 6) sono state svolte valutazioni in merito all'utilizzo di eventi meteorici sintetici caratterizzati da ietogrammi non costanti e di valori del CN relativi alla classe III di condizione di umidità antecedente (AMC).

Sul modello idrologico sono stati allo scopo simulati 4 diversi scenari idrologici:

- CN II – Ietogramma Costante (scenario idrologico utilizzato nello studio);
- CN II – Ietogramma Triangolare;

- CN III – letogramma Costante;
- CN III - letogramma Triangolare.

Per il confronto dei risultati, riportato di seguito, sono stati presi a riferimento i tre bacini principali che interessano il territorio comunale (Fosso Nuovo Cilecchio, Fosso Vecchio e Fosso del Corso), omettendo in questa trattazione la Fossa Nuova, dato che il corso d'acqua, che scorre interamente al di fuori del territorio del Comune di Calcina, non ha dato risultati di allagabilità all'interno dei confini comunali, per cui non concorre alla definizione delle aree a pericolosità idraulica del Comune. Si fa altresì presente che gli studi idraulici relativi alla Fossa Nuova sono stati effettuati anche nell'ambito dello studio idrologico idraulico di supporto al nuovo Piano Strutturale del Comune di Bientina svolto dall'Ing. Alessio Gabbrielli, a cui si rimanda per la definizione delle aree allagate.

Nelle seguenti tabelle vengono quindi riportati i risultati dei confronti, in termini di portate massime e volumi di piena, degli idrogrammi stimati per i tempi di ritorno 30 e 200 anni e per le durate pari a 4, 6, 9 e 12 ore (durate utilizzate nella modellazione idraulica).

Bacino	PORTATA MASSIMA [m <sup>3</sup> /s] - Tr 30 anni							
	d = 4 [h]				d = 6 [h]			
	CN II		CN III		CN II		CN III	
	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare
0300 VECCHIO	2.50	2.70	2.90	3.10	2.50	2.90	2.80	3.30
0400 CORSO	7.90	8.60	11.50	13.20	7.60	9.00	10.30	13.00
0200 NUOVO CILECCHIO	11.30	12.50	15.30	17.70	10.60	12.70	13.50	17.10

Tabella 3-7: Portate Massime per Tempo di Ritorno 30 anni e durate 4 [h] e 6 [h] – Confronti

Bacino	PORTATA MASSIMA [m <sup>3</sup> /s] - Tr 30 anni							
	d = 9 [h]				d = 12 [h]			
	CN II		CN III		CN II		CN III	
	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare
0300 VECCHIO	2.30	2.80	2.50	3.20	2.00	2.70	2.20	3.00
0400 CORSO	6.70	8.50	8.40	11.70	5.90	7.90	7.00	10.50
0200 NUOVO CILECCHIO	9.10	11.80	10.90	15.30	7.80	10.80	9.00	13.70

Tabella 3-8: Portate Massime per Tempo di Ritorno 30 anni e durate 9 [h] e 12 [h] – Confronti

Bacino	PORTATA MASSIMA [m <sup>3</sup> /s] - Tr 200 anni							
	d = 4 [h]				d = 6 [h]			
	CN II		CN III		CN II		CN III	
	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare
0300 VECCHIO	4.20	4.60	4.70	5.10	4.20	4.90	4.50	5.30
0400 CORSO	13.60	15.10	17.70	20.40	12.90	15.60	15.70	20.00
0200 NUOVO CILECCHIO	19.20	21.70	23.70	27.70	17.70	21.80	20.70	26.80

Tabella 3-9: Portate Massime per Tempo di Ritorno 200 anni e durate 4 [h] e 6 [h] – Confronti

Bacino	PORTATA MASSIMA [m <sup>3</sup> /s] - Tr 200 anni							
	d = 9 [h]				d = 12 [h]			
	CN II		CN III		CN II		CN III	
	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare	letogramma Costante	letogramma Triangolare
0300 VECCHIO	3.70	4.80	4.00	5.20	3.30	4.50	3.40	4.80
0400 CORSO	11.10	14.70	12.80	18.20	9.60	13.50	10.70	16.30
0200 NUOVO CILECCHIO	14.90	20.10	16.60	23.90	12.70	18.30	13.80	21.40

Tabella 3-10: Portate Massime per Tempo di Ritorno 200 anni e durate 9 [h] e 12 [h] – Confronti

Bacino	VOLUME [1000 m <sup>3</sup> ] - Tr 30 anni							
	d = 4 [h]				d = 6 [h]			
	CN II		CN III		CN II		CN III	
	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare
0300 VECCHIO	44.88	44.91	52.92	52.80	52.62	52.65	61.05	61.32
0400 CORSO	117.30	117.15	184.26	184.32	138.84	138.93	209.73	209.76
0200 NUOVO CILECCHIO	155.79	155.82	227.01	226.86	184.11	184.29	259.65	259.53

Tabella 3-11: Volumi per Tempo di Ritorno 30 anni e durate 4 [h] e 6 [h] – Confronti

Bacino	VOLUME [1000 m <sup>3</sup> ] - Tr 30 anni							
	d = 9 [h]				d = 12 [h]			
	CN II		CN III		CN II		CN III	
	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare
0300 VECCHIO	61.41	61.29	70.41	70.50	68.19	68.34	77.85	77.88
0400 CORSO	163.56	163.50	238.20	238.17	183.36	183.75	260.52	260.79
0200 NUOVO CILECCHIO	216.54	216.42	296.16	295.92	242.34	242.49	324.42	324.87

Tabella 3-12: Volumi per Tempo di Ritorno 30 anni e durate 9 [h] e 12 [h] – Confronti

Bacino	VOLUME [1000 m <sup>3</sup> ] - Tr 200 anni							
	d = 4 [h]				d = 6 [h]			
	CN II		CN III		CN II		CN III	
	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare
0300 VECCHIO	76.92	76.86	86.49	86.61	90.00	89.94	100.17	100.08
0400 CORSO	207.18	207.36	287.58	287.67	245.25	245.34	329.13	329.01
0200 NUOVO CILECCHIO	273.93	273.87	359.10	359.16	323.01	322.98	412.44	412.50

Tabella 3-13: Volumi per Tempo di Ritorno 200 anni e durate 4 [h] e 6 [h] – Confronti

Bacino	VOLUME [1000 m <sup>3</sup> ] - Tr 200 anni							
	d = 9 [h]				d = 12 [h]			
	CN II		CN III		CN II		CN III	
	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare	Ietogramma Costante	Ietogramma Triangolare
0300 VECCHIO	104.85	104.94	115.50	115.50	116.73	116.79	127.59	127.74
0400 CORSO	288.63	288.57	375.51	375.60	322.50	322.80	412.23	412.62
0200 NUOVO CILECCHIO	379.17	379.02	472.41	472.20	423.57	423.84	519.54	520.05

Tabella 3-14: Volumi per Tempo di Ritorno 200 anni e durate 9 [h] e 12 [h] – Confronti

A titolo di esempio si riportano gli idrogrammi relativi al Tempo di Ritorno  $Tr = 30$  anni e  $Tr = 200$  anni per una durata pari a 4 [h] per i tre bacini presi in esame.

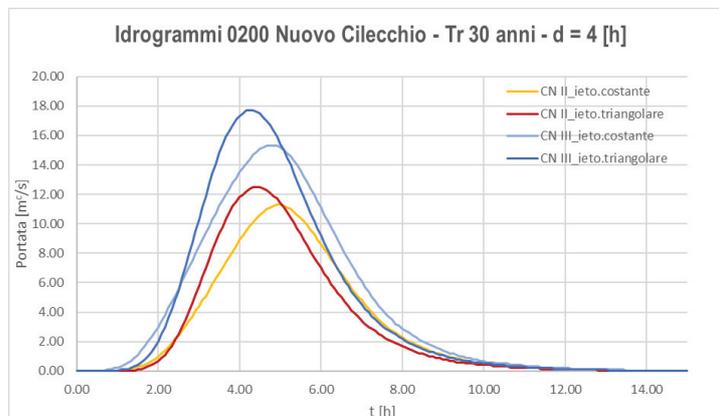


Figura 3-2: Idrogrammi Nuovo Cilecchio relativi a Tempo di Ritorno 30 anni e durata 4 [h] – Confronti

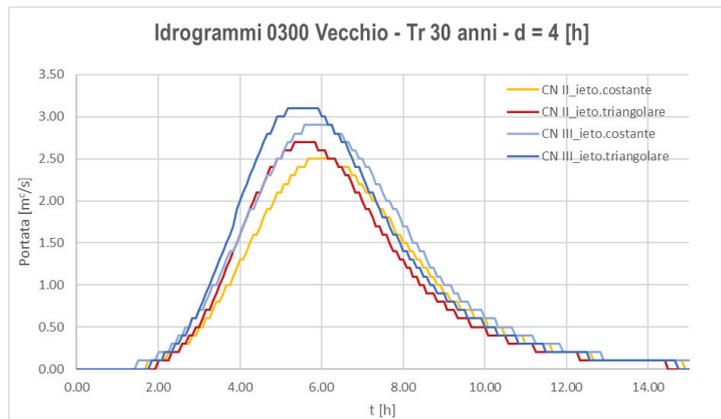


Figura 3-3: Idrogrammi Vecchio relativi a Tempo di Ritorno 30 anni e durata 4 [h] – Confronti

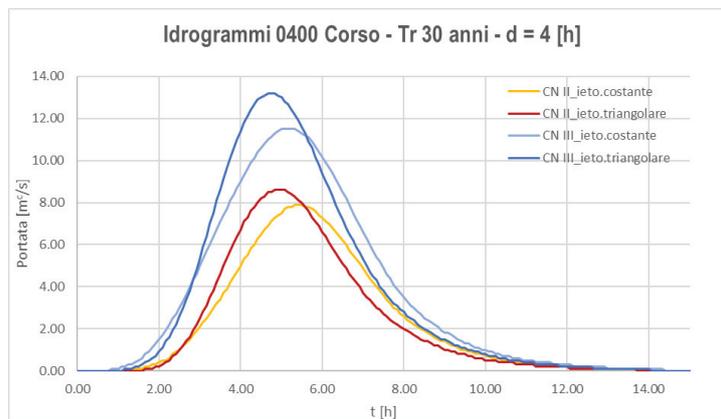


Figura 3-4: Idrogrammi Corso relativi a Tempo di Ritorno 30 anni e durata 4 [h] – Confronti

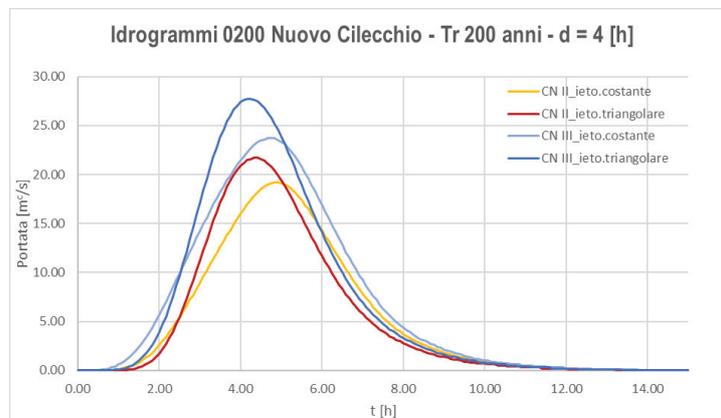


Figura 3-5: Idrogrammi Nuovo Cilecchio relativi a Tempo di Ritorno 200 anni e durata 4 [h] – Confronti

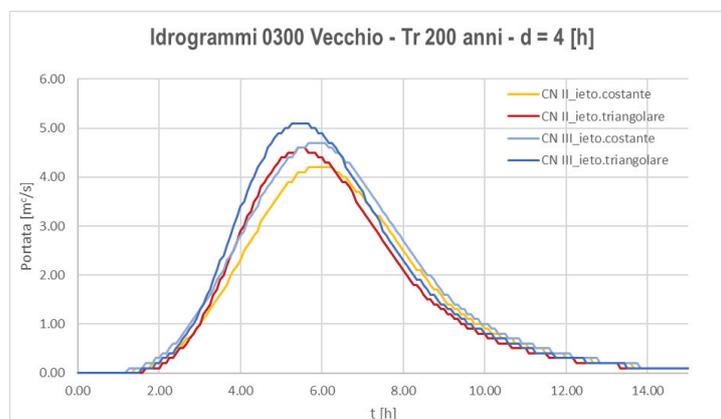


Figura 3-6: Idrogrammi Vecchio relativi a Tempo di Ritorno 200 anni e durata 4 [h] – Confronti

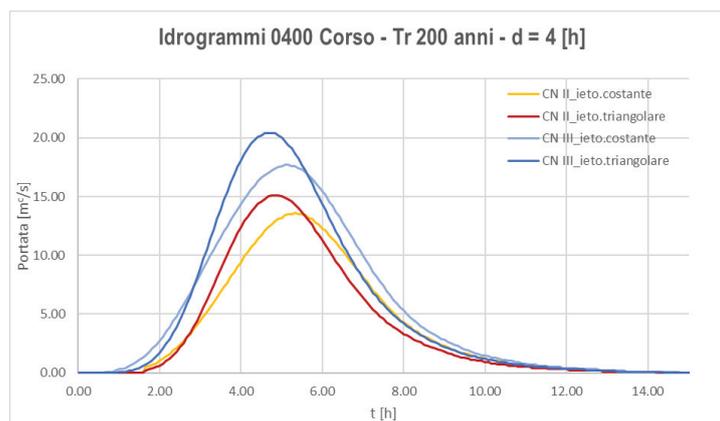


Figura 3-7: Idrogrammi Nuovo Cilecchio relativi a Tempo di Ritorno 200 anni e durata 4 [h] – Confronti

I risultati ottenuti evidenziano che, a parità di classe AMC, l'utilizzo di ietogrammi di tipo non costante (triangolari) comporta aumenti delle portate di picco, che risultano modesti in caso di eventi di breve durata (incrementi dell'ordine del 10% per durata d'evento 4 ore, intorno al 20% sulle 6 ore) mentre per le durate superiori si hanno incrementi più marcati che raggiungono anche il 40% sulle 12 ore. Non si registrano invece variazioni in termini di volumi di piena degli idrogrammi per nessuna durata d'evento.

In ogni caso si ritiene che l'utilizzo di ietogrammi di pioggia ad intensità non costante sia maggiormente rappresentativo di eventi di precipitazione reali di breve durata, spesso caratterizzati da picchi isolati di elevata intensità, mentre ietogrammi ad intensità costante caratterizzano meglio i fenomeni di precipitazione intensi di durate maggiori.

Per il caso in esame, pertanto, la distribuzione triangolare delle piogge appare appropriata per l'analisi degli eventi di durata più breve (4-6 ore), mentre per le durate maggiori (9-12 ore) l'approccio utilizzato nello studio (intensità costante) si ritiene adeguato.

Tutto ciò premesso, ai fini della determinazione delle aree allagate, il surplus di portata registrato al picco per gli eventi di durata 4 e 6 ore, non si ritiene significativo in termini di variazione dei battenti massimi attesi nel territorio allagato, in quanto lo stesso si verifica per tempi brevi ed i volumi di piena degli idrogrammi in gioco sono gli stessi. Per di più, l'involuppo dei battenti massimi risultante dall'analisi idraulica è principalmente dovuta agli eventi di durata maggiore (9-12 ore) in quanto la marcata insufficienza idraulica dei corsi d'acqua oggetto di studio fa sì che i fenomeni di allagabilità sul territorio siano massimizzati per gli eventi in cui sono massimizzati i volumi di piena piuttosto che le portate di picco.

La scelta della classe di umidità antecedente (AMC) per la stima delle perdite idrologiche (CNII o CNIII), comporta invece un netto aumento delle portate di picco e dei volumi di piena. Tali incrementi sono considerevoli, soprattutto in termini percentuali, trattandosi di piccoli bacini caratterizzati da portate di picco modeste in valore assoluto anche per eventi a bassa probabilità di accadimento.

Tutto ciò premesso, si ritiene che la scelta del CN relativo alla classe di condizione di umidità precedente AMC II utilizzato per la stima delle perdite idrologiche sia la più opportuna per i bacini dei corsi d'acqua oggetto di studio, data la loro modesta estensione areale e loro prossimità al mare che comporta un regime pluviometrico caratterizzato da eventi sporadici e ad alta intensità.

A supporto di quanto appena affermato, abbiamo analizzato le serie storiche relative alle precipitazioni giornaliere consultabili dal sito della Regione Toscana (*Settore Idrologico e Geologico Regionale*) per le 3 stazioni pluviometriche più vicine al Comune di Calcinaia (rif. Tabella 3-15 e Figura 3-8).

Per queste stazioni è stato preso in considerazione il periodo di registrazioni comune, dal 01/01/2004 al 31/12/2019.

A partire dai dati giornalieri registrati, sono stati individuati gli eventi di pioggia significativi e si è proceduto a calcolare la pioggia cumulata registrata nei 5 giorni antecedenti.

Per individuare gli eventi di pioggia significativi è stato assunto un valore di soglia pari all'altezza di pioggia relativa ad eventi con TR=30 anni e durata 1 [h] e presi in esame solo eventi di pioggia con cumulate giornaliere superiori a tale valore di riferimento.

Stazione	Codice	Luogo	Quota slm [m]	E - GB [m]	N - GB [m]
S. Giovanni alla Vena valle	TOS01005191	Vicopisano (PI)	7.63	1627805	4838078
Pontedera	TOS01005181	Pontedera (PI)	10.53	1631547	4836012
Gello	TOS01005262	Pontedera (PI)	5	1628087	4834421

Tabella 3-15: Stazioni Pluviometriche prossime al Comune di Calcinaia

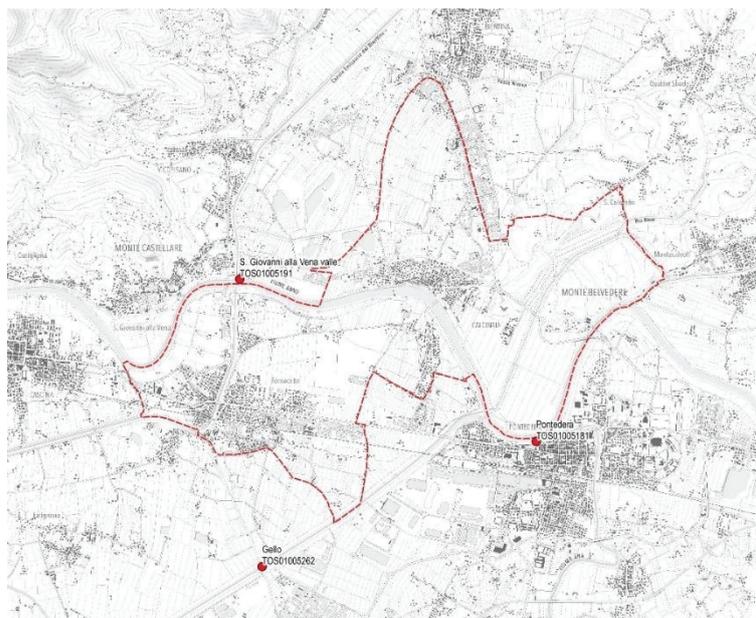


Figura 3-8: Individuazione delle stazioni pluviometriche prossime al Comune di Calcinaia

L'Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme (L.S.P.P. aggiornate al 2012) fornisce sulle 3 stazioni i seguenti valori di altezza di pioggia:

Tr [anni]	d [h]	TOS01005191	TOS01005181	TOS01005262
		h [mm]	h [mm]	h [mm]
30	1	59.69	58.10	59.79
	3	79.50	76.68	79.10
	6	95.25	91.36	94.38
	12	114.12	108.84	112.61
	24	136.74	129.67	134.35

Tabella 3-16: Altezze di pioggia TR= 30 anni ricavate dall'Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estremi (LSPP 2012)

che risultano essere conformi con i valori utilizzati nello studio e riportati in Tabella 3-2.

Considerando pertanto una soglia pari a 58 [mm], si sono quindi individuati il numero di eventi significativi registrati nella serie storica (Tabella 3-17) e la media della pioggia cumulata nei 5 giorni antecedenti a tali eventi (Tabella 3-18).

Soglia [mm]	PERIODO	NUMERO EVENTI		
		TOS01005191	TOS01005181	TOS01005262
58	ANNO	8	12	9
	CRESCITA	2	4	2
	DORMIENZA	6	8	7

Tabella 3-17: Numero di eventi critici individuati per le 3 stazioni pluviometriche prossime a Calcinaia

Soglia [mm]	PERIODO	MEDIA - PIOGGIA 5 GIORNI ANTECEDENTI [mm]		
		TOS01005191	TOS01005181	TOS01005262
58	ANNO	17.6	16.7	11.1
	CRESCITA	12.4	19.3	1.4
	DORMIENZA	19.3	15.4	13.9

Tabella 3-18: Media della pioggia cumulata nei 5 giorni precedenti agli eventi critici individuati per le 3 stazioni pluviometriche prossime a Calcinaia

I valori così ottenuti sono quindi stati confrontati con la seguente Tabella 3-19 che rappresenta l'individuazione delle classi di condizione di umidità antecedente in funzione della pioggia cumulata nei 5 giorni precedenti in base al periodo vegetativo:

Classe AMC	MEDIA ANNUALE	P. CRESCITA	P. DORMIENZA
AMC I	< 23 [mm]	< 13 [mm]	< 36 [mm]
AMC II	23 - 40 [mm]	13 - 28 [mm]	36 - 53 [mm]
AMC III	> 40 [mm]	> 28 [mm]	> 53 [mm]

Tabella 3-19: Soglie stagionali di pioggia per classi di Condizione di Umidità Antecedente (AMC - a seguito del SCS 1972).

Si fa presente che in questa analisi si è considerato come *Periodo di Crescita* il semestre Marzo–Agosto e come *Periodo di Dormienza* il semestre *Settembre –Febbraio*.

Dal confronto tra le piogge medie riportate in Tabella 3-18 e le classi di Tabella 3-19, si desume che per 2 delle 3 stazioni pluviometriche prese in analisi, sarebbe stato sufficiente l'utilizzo della classe di condizione di umidità antecedente AMC I, mentre per la terza sembra più opportuna la scelta della classe AMC II per un superamento del limite di modesta entità.

TOS01005191	TOS01005181	TOS01005262
CN_I	CN_II	CN_I

Tabella 3-20: Scelta della classe AMC di condizione di umidità antecedente del suolo per le stazioni pluviometriche prossime a Calcinai

A riprova delle ipotesi formulate, sono state acquisite le registrazioni pluviometriche giornaliere relative allo stesso periodo temporale (2004-2019) di altre 3 stazioni con diverso regime pluviometrico (rif. Tabella 3-21).

Stazione	Codice	Luogo	Quota [m s.l.m.]	E - GB [m]	N - GB [m]
Azzano	TOS02000083	Seravezza (LU)	430	1598480	4875243
Campocecina	TOS11000029	Carrara (MS)	960	1588362	4885412
Canevara	TOS02004011	Massa (MS)	105	1593591	4879026

Tabella 3-21: Stazioni Pluviometriche a diverso regime pluviometrico prese a confronto

Per queste tre stazioni, ubicate in contesti ambientali diversi e con regime pluviometrico più intenso e frequente, l'Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme (LSPG Aggiornate al 2012) individua le altezze di pioggia per TR=30 anni riportate nella seguente tabella.

Tr [anni]	d [h]	TOS02000083	TOS11000029	TOS02004011
		h [mm]	h [mm]	h [mm]
30	1	77.8	79.0	76.4
	3	123.0	121.1	119.9
	6	164.3	158.6	159.3
	12	219.4	207.7	211.7
	24	293.1	271.9	281.4

Tabella 3-22: Altezze di pioggia TR= 30 anni fornite dall'Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme (LSPG 2012)

Assumendo le stesse ipotesi e considerando una soglia di 78 mm ai fini della individuazione degli eventi di pioggia significativi, si sono ricavati il numero di eventi di cui alla seguente tabella.

Soglia [mm]	PERIODO	NUMERO EVENTI		
		TOS02000083	TOS11000029	TOS02004011
58	ANNO	74	32	48
	CRESCITA	17	7	14
	DORMIENZA	57	25	34

Tabella 3-23: Numero di eventi critici individuati per le tre stazioni pluviometriche prese a riprova

A cui corrispondono i seguenti valori medi di pioggia cumulata nei 5 giorni precedenti:

Soglia [mm]	PERIODO	MEDIA - PIOGGIA 5 GIORNI ANTECEDENTI [mm]		
		TOS02000083	TOS11000029	TOS02004011
78	ANNO	42.6	35.6	34.1
	CRESCITA	36.3	49.9	23.7
	DORMIENZA	44.3	31.6	40.1

Tabella 3-24: Scelta della classe AMC di condizione di umidità antecedente del suolo per le stazioni pluviometriche scelte a riprova

Per due di queste stazioni appare quindi più idonea la scelta della classe AMC III.

<b>TOS02000083</b>	<b>TOS11000029</b>	<b>TOS02004011</b>
CN_III	CN_III	CN_II

Tabella 3-25: Scelta della classe AMC di condizione di umidità antecedente del suolo per le stazioni pluviometriche scelte a riprova

### 3.6 MODELLO IDROLOGICO SUL NUOVO FOSSO LUCAIA

Il Fosso Nuovo Lucaia è stato oggetto di lavori di ricalibratura e modifica del tracciato da parte del Consorzio di Bonifica 4 Basso Valdarno in tempi recenti. Per tale motivo si è scelto di non procedere a nuove verifiche idrauliche nel presente studio, ma di mutuare i risultati delle verifiche idrauliche svolte a supporto del Progetto Esecutivo di “Realizzazione Nuovo Fosso Lucaia nel Comune di Calcinaia” (dic. 2011) che attestavano l’adeguamento della sezione idraulica allo smaltimento di portate di piena per eventi fino a 200 anni.

D’altra parte, poiché lo studio è stato svolto antecedentemente alla pubblicazione dei dati pluviometrici più aggiornati relativi all’ “Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme – LSPP” di cui alla DGRT 1133/2012, si ritiene opportuno un approfondimento in merito alle sollecitazioni pluviometriche ed idrologiche attese sul bacino.

Dalla relazione idrologica redatta a supporto del Progetto Esecutivo si evince che i parametri pluviometrici utilizzati per la stima degli idrogrammi di piena sono riferiti alla stazione pluviometrica di San Giovanni alla Vena, riportati in tabella seguente.

PARAMETRI PIN REGIONE TOSCANA	PARAMETRI PER DURATE SUPERIORI AD 1 h		
Stazione di misura:	a	n	m
S. Giovanni alla Vena	27,278	0,269	0,190

Tabella 3-26: Parametri pluviometrici Progetto Esecutivo Nuovo Fosso Lucaia

I valori di picco delle portate risultanti dalla modellistica idrologica svolta a supporto del progetto ed utilizzati nelle verifiche idrauliche sono sintetizzati in Tabella 3-27. Per il bacino totale, di superficie pari a circa 1.9 kmq, la portata duecentennale attesa è di poco inferiore ai 15 mc/s.

BACINO	VALORI DI PORTATA (mc/s)		
	T <sub>R</sub> 20	T <sub>R</sub> 100	T <sub>R</sub> 200
A) LUCAIA est	1,79	2,84	3,40
B) LUCAIA nord	2,30	3,77	4,59
C) LUCAIA sud (PIP)	1,40	1,97	2,27
D) LUCAIA ovest	2,83	4,42	5,28
SEZ. DI SBOCCO LUCAIA IN EMISSARIO	7,82	12,37	14,86

Tabella 3-27: Portate Massime (mc/s) per TR=20-100-200 anni Progetto Esecutivo Nuovo Fosso Lucaia

In analogia a quanto implementato sugli altri bacini oggetto del presente studio, è stata svolta un’analisi idrologica anche sul Nuovo Fosso Lucaia, stimando per il bacino del corso d’acqua i seguenti parametri idrologici.

Nome Corso d’Acqua	Codice	A [kmq]	CN	t <sub>lag</sub> [h]
NUOVO FOSSO LUCAIA	0500	2.321	77	2.79

Tabella 3-28: Parametri idrologici Nuovo Fosso Lucaia

Quali input pluviometrici sono stati utilizzati quelli già riportati in Tabella 3-2, derivati dall’Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme – LSPP aggiornata al 2012.

Per ognuna delle altezze di pioggia calcolate (caratterizzate da un tempo di ritorno e una durata dell’evento meteorico considerato) si sono determinati gli idrogrammi di piena sul bacino di interesse, utilizzando il codice di calcolo HEC-HMS v. 4.3. Gli input pluviometrici al modello sono costituiti da ietogrammi sintetici ad intensità costante.

A sintesi della analisi idrologica implementata, si riportano di seguito i risultati ottenuti in termini di valori della portata al colmo al variare del tempo di ritorno e della durata dell’evento meteorico per il bacino del Nuovo Fosso Lucaia.

Bacino	Q30 [mc/s]							
	d=3h	d=4h	d=5h	d=6h	d=7h	d=8h	d=9h	d=12h
NUOVO FOSSO LUCAIA	4.4	4.8	4.9	4.9	4.9	4.8	4.6	4.2
	Q200 [mc/s]							
	d=3h	d=4h	d=5h	d=6h	d=7h	d=8h	d=9h	d=12h
	8.3	8.8	8.9	8.8	8.6	8.3	8.0	7.1

Tabella 3-29: Portate Massime (mc/s) per TR=30-200 anni (durata 3-12 ore) Nuovo Fosso Lucaia

I risultati ottenuti sono stati confrontati con il redigendo studio idrologico idraulico di supporto al Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione Valdera, a cura del Prof.Castelli, nell'ambito della Convenzione di Ricerca tra Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (UNIFI) e l'Unione Valdera, evidenziando una sostanziale congruenza nei risultati.

Bacino	Q200 max [mc/s]	
	studio Hydrogeo	studio Castelli
NUOVO FOSSO LUCAIA	8.9	10.0

Tabella 3-30: Confronto Portate Massime (mc/s) per TR=200 anni con studio idrologico Prof. Castelli - Nuovo Fosso Lucaia

Alla luce di quanto sopra, si evince che le analisi idrologiche implementate a supporto del Progetto Esecutivo del Nuovo Fosso Lucaia, pur utilizzando in input valori di pioggia lorda non aggiornati, di poco inferiori alle nuove LSPP del 2012 (dell'ordine del -10%), comportano dei valori di portata di picco superiori rispetto alle indagini idrologiche svolte a supporto del presente studio (peraltro confermate anche dallo studio idrologico del prof. Castelli) per cui le verifiche idrauliche di supporto al progetto esecutivo si considerano confermate e validate, in termini di non allagabilità del territorio per eventi inferiori o uguali a 200 anni.

### 3.7 VALUTAZIONI IN MERITO AGLI ASPETTI PLUVIOMETRICI SUL CANALE ALLACCIANTE D'USCIANA

Il Canale Scolmatore d'Usciana è stato oggetto dello "Studio di Area Vasta per l'attuazione delle previsioni del piano di bacino del Fiume Arno Stralcio Rischio Idraulico (DPCM5/1/99) sul Bacino dell'Usciana e per interventi di salvaguardia del sistema idrico afferente al Padule di Fucecchio" redatto nel 2004, da cui si ricava assenza di allagamenti diretti sul territorio comunale (rif. Allegato 4C). I risultati del modello idraulico attestano infatti franchi di sicurezza estremamente elevati anche rispetto ai battenti attesi in alveo per eventi con TR= 500 anni.

Poiché le portate utilizzate nelle verifiche idrauliche derivano da analisi pluviometriche non aggiornate (precedenti allo studio di regionalizzazione del 2012), si è proceduto ad un approfondimento in merito alle sollecitazioni pluviometriche attese sul bacino.

In particolare, prendendo a riferimento la stazione pluviometrica di San Giovanni alla Vena, codice TOS01005191, si sono confrontate le altezze di pioggia attese per eventi con TR=200 e 500 anni ricavate rispettivamente utilizzando i parametri pluviometrici delle LSPP aggiornate al 2012 ed i vecchi parametri antecedenti all'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme di cui alla DGRT 1133/2012. Per questi ultimi si è fatto riferimento ai valori riportati in Tabella 3-26.

Dal confronto dei risultati di tale analisi, riportato in Tabella 3-31, emerge che i valori di pioggia attesi per TR=200 anni derivanti dall'analisi di frequenza delle piogge aggiornata al 2012 presenta incrementi medi dell'ordine del 15% rispetto ai valori precedenti al 2012, ma che rimangono comunque inferiori ai valori stimati per eventi con TR=500 anni.

LSPP ante 2012						
SAN GIOVANNI DELLA VENA	TOS01005191	200	500		200	
			1	3	1	3
			74.6	100.3	88.8	119.4
			120.9	145.6	143.9	173.3
			175.5		208.9	

LSPP 2012						
SAN GIOVANNI DELLA VENA	TOS01005191	200	500		200	
			1	3	1	3
			83.1	113.8	94.7	130.7
			138.8	169.3	160.2	196.3
			206.5		240.5	

Tabella 3-31: Confronto altezze di pioggia al pluviometro di San Giovanni alla Vena

Per tali motivi i risultati dell'analisi idraulica svolta nello Studio di Area Vasta, che attestano l'assenza di esondazioni per eventi con TR<=500 anni, sembrano escludere fenomeni di allagabilità dovuti al Canale Scolmatore di Usciana per eventi con TR<=200 anni, anche a fronte dell'aggiornamento degli input pluviometrici.

Tali conclusioni trovano conferma nello “Studio idrologico idraulico per la definizione delle condizioni di pericolosità idraulica del comparto CR2.1 del Regolamento Urbanistico del Comune di Calcinaia (PI)” svolto da H.S. Ingegneria srl nel febbraio 2019. Nello studio è riportato un aggiornamento del modello idrologico del Canale di Usciana, che conferma incrementi dei valori di pioggia attesi per  $Tr=200$  anni di circa 12.4% utilizzando i nuovi parametri delle LSPP 2012. Il modello idraulico implementato su un tratto significativo dello scolmatore d’Usciana cimentato con valori di portata duecentennali incrementati del 23% (valore cautelativo ben superiore all’incremento percentuale delle precipitazioni, pari a 260 mc/s contro 212 mc/s) attesta assenza di esondazioni per tempi di ritorno pari a 200 anni.

## 4 IMPLEMENTAZIONE MODELLO IDRAULICO

Per la definizione della allagabilità del territorio comunale, sono stati utilizzati due approcci modellistici idraulici distinti: un approccio di tipo “analitico”, che prevede una modellazione idraulica accoppiata 1D-2D di dettaglio con input idrologici derivanti dall’analisi idrologica, finalizzata alla determinazione delle aree a pericolosità idraulica ai sensi del DPGR 53R/2011; ed un approccio “qualitativo” che prevede una modellazione solo 2D sulla porzione del territorio comunale su cui insiste il reticolo minore non oggetto di studio analitico di dettaglio, in cui gli input idrologici impiegati sono i dati di pioggia, per l’individuazione delle aree soggette a ristagno.

Nei paragrafi seguenti viene descritto nel dettaglio l’implementazione del modello idraulico analitico. Il modello idraulico qualitativo è descritto al paragrafo dedicato 4.5.

La modellazione idraulica nel suo complesso ricomprende tutto il territorio comunale di Calcinaia e le porzioni limitrofe interessate da corsi d’acqua che, pur scorrendo al di fuori del limite comunale, sono potenzialmente causa della allagabilità per il territorio comunale (es: Fossa Nuova e affluenti). In totale sono stati implementati circa 18 km di corsi d’acqua ed un areale di circa 50 kmq.

L’implementazione della modellistica idraulica è stata effettuata attraverso il Software MIKE del Danish Hydraulic Institute – DHI, certificato dalla F.E.M.A. (Federal Emergency Management Agency).

Il software consente di implementare modelli accoppiati, attraverso il modulo Mike Flood, monodimensionali in alveo (MIKE 11) e bidimensionali nelle aree contermini (MIKE21).

MIKE FLOOD permette l’accoppiamento dei due modelli in modo totalmente dinamico, garantendo la conservazione di massa e quantità di moto tra i diversi sistemi. Per ulteriori dettagli si rimanda all’Appendice A.2 .



Figura 4-1: Vista satellitare dell’area di studio

Per maggiori dettagli in merito all’estensione del modello idraulico analitico si rimanda alla Tavola 2A - Modello Idraulico – Planimetria.

#### 4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DEI CORSI D'ACQUA E DELL'AREA DI STUDIO

Nella Tavola 2A - Modello Idraulico – Planimetria è riportato il dominio spaziale del modello idraulico analitico e le tracce delle sezioni fluviali.

All'interno del dominio di calcolo, la morfologia del territorio è rappresentata da un modello digitale del terreno (DEM) a celle di dimensioni 5x5 m. Il DEM è stato ricavato ricampionando il LIDAR del Ministero dell'Ambiente, fornito con celle di dimensioni 1x1 m. La discretizzazione spaziale a 5 metri consente di mantenere inalterate le informazioni spaziali principali; sono infatti leggibili, cambi morfologici, rilevati stradali e ferroviari, nonché le arginature presenti nel reticolo idrografico.

La caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua studiati è stata ricavata a partire da (rif. Tabella 1-2):

- Rilievi disponibili a supporto di studi pregressi, previa valutazione della loro qualità, consistenza e rappresentatività della configurazione attuale dei luoghi (fonte: Comune di Calcinaia);
- Rilievi di nuova realizzazione a supporto del presente studio, svolti dallo scrivente nell'anno 2019;
- Sezioni fluviali ricavate da Lidar, e rilievo strumentale delle opere interferenti con gli stessi (attraversamenti Canale Emissario del Bientina in località Fornacette).

In Allegato 2, sono riportate per ogni corso d'acqua studiato le sezioni fluviali utilizzate nel modello numerico, con relativa codifica.

Su ciascuna sezione è stata individuata la quota di "sfioro" (quote del massimo contenimento delle acque in alveo), in destra e sinistra idraulica, che rappresenta l'informazione necessaria al software MIKE FLOOD per l'accoppiamento del modello monodimensionale a quello bidimensionale.

La caratterizzazione delle aree limitrofe al corso d'acqua, potenzialmente allagabili, è schematizzata attraverso un modello bidimensionale, per la cui caratterizzazione geometrica è stato utilizzato il rilievo Lidar della Regione Toscana.

Il rilievo Lidar originale ha dimensione della cella 1 x 1 metri. Nell'ambito della simulazione idraulica si è proceduto al ricampionamento dei dati Lidar con celle di dimensioni 5 x 5 metri.

#### 4.2 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno di monte del modello idraulico analitico sono essenzialmente rappresentate dalle sollecitazioni idrologiche su ogni tratto di corso d'acqua simulato idraulicamente, derivate dall'analisi idrologica descritta al capitolo precedente. Fanno eccezione il Canale Emissario del Bientina, per il quale la sollecitazione idraulica attribuita è un valore di portata costante pari a  $Q=85.7$  mc/s (valore di portata massima smaltibile mutuato dallo studio relativo al raddoppio della Botte, Ente Maremma, 1973). ~~e l'Arnaccio, simulato nel modello analitico solo nel tratto a cielo aperto in uscita dal centro abitato di Fornacette, al quale è stata attribuita un valore di portata costante, assunto pari a  $Q=1.3$  mc/s, desunta quale portata massima smaltibile dal tratto tombato (ricavata assumendo per il tratto tombato una sezione idraulica rettangolare chiusa di dimensioni 1.2x1.2 m, pendenza del fondo pari a  $i=0.0025$  m/m e scabrezza della condotta pari a  $n=0.03$  di Manning, sulla base delle informazioni desumibili dai rilievi/sopralluoghi effettuati).~~

Non avendo informazioni sufficienti per la modellazione idraulica del tratto tombato dell'Arnaccio, l'allagabilità delle aree a monte del tratto a cielo aperto sono state valutate nel modello idraulico qualitativo.

Quali condizioni al contorno di valle del reticolo simulato nel modello monodimensionale sono state assunte:

- per la Fossa Nuova ed il Nuovo Cilecchio, entrambi confluenti nel Canale Emissario del Bientina a monte della Botte, sono stati assunti i livelli idrometrici massimi attesi nel corso d'acqua recettore mutuati dallo studio idraulico di supporto al Regolamento Urbanistico del Comune di Bientina, assunti pari a 9.44 m slm per gli scenari con TR030 anni e 9.75 m slm per gli scenari con TR=200 anni.
- per il canale Emissario del Bientina a valle della Botte e l'Arnaccio sono state definite delle scale di deflusso in corrispondenza della sezione di valle ricavate con la formula di Manning, assumendo una scabrezza pari a  $n=0.033$  per entrambi i corsi d'acqua ed una pendenza pari a  $i=0.0003$  m/m per l'Emissario e  $i=0.001$  m/m per l'Arnaccio.

In merito alle condizioni al contorno assunte sul Canale Emissario del Bientina e sui suoi affluenti a monte della Botte (Fossa Nuova e Nuovo Cilecchio), si precisa quanto segue.

Il valore di portata costante assunto per il Canale Emissario del Bientina a valle della Botte di San Giovanni alla Vena,  $Q=85.7$  mc/s, è stato confrontato con i risultati dello studio di supporto al nuovo PS di Bientina in corso di definizione, che ne stima il funzionamento idraulico con la scala di deflusso riportata nella Figura 4-2 seguente.

Mutuando dallo stesso studio i livelli massimi idrometrici attesi sull'evento duecentennale a monte dell'opera, pari a 7.46 m slm, se ne desume una portata attesa alla Botte inferiore a 40 mc/s.

Dall'analisi dei risultati dello studio di supporto al nuovo PS di Bientina emergono inoltre i seguenti livelli idrometrici massimi attesi a monte della Botte, in corrispondenza delle confluenze della Fossa Nuova e del Fosso Nuovo Cilecchio, pari rispettivamente a 7.52 m slm e 7.47 m slm.

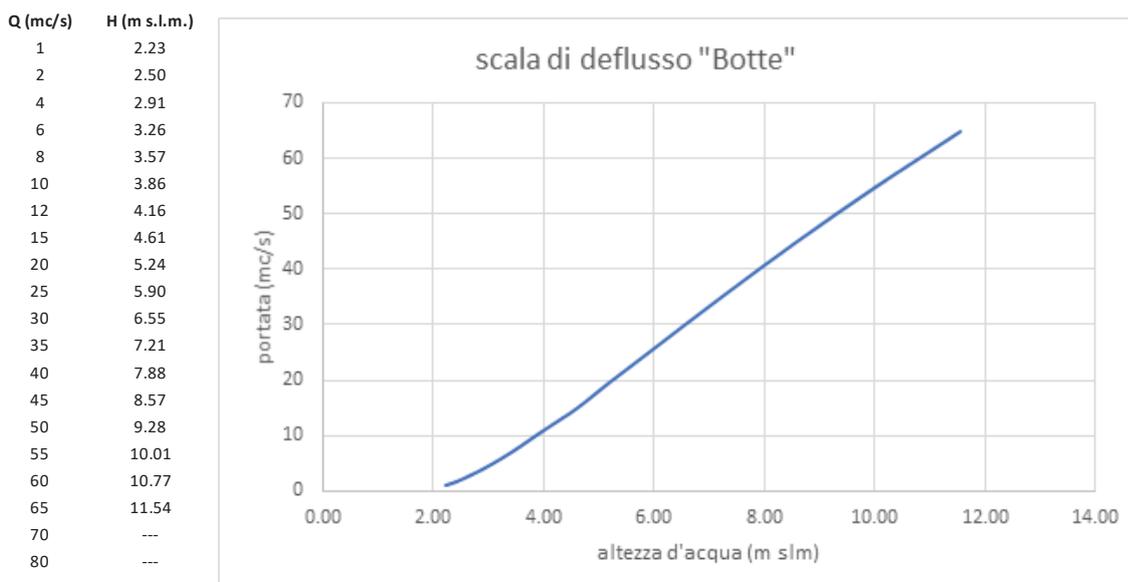


Figura 4-2: Scala di deflusso Canale Emissario del Bientina a monte della Botte di san Giovanni alla Vena (PS Bientina)

Per tali motivi, a titolo cautelativo, si mantengono valide le verifiche idrauliche svolte utilizzando il valore di portata costante pari a  $Q=85.7$  mc/s sul tratto del Canale Emissario a valle della Botte, nonché i livelli idrometrici massimi adottati come condizione al contorno di valle per la Fossa Nuova e per il Nuovo Cilecchio mutuati dal vigente RU di Bientina, anche in ragione del fatto che:

- il Canale Emissario del Bientina non causa esondazioni a valle della Botte anche per tali valori di portata;
- la Fossa Nuova non dà risultati di allagabilità all'interno dei confini comunali, per cui non concorre alla definizione delle aree a pericolosità idraulica del Comune di Calcinaia, per cui si rimanda alle risultanze dello studio idrologico idraulico a supporto del PS del Comune di Bientina svolto dall'Ing. Alessio Gabbrielli, per la definizione delle aree allagate e dei battenti di esondazione attesi;
- Il Fosso Nuovo Cilecchio, pur utilizzando condizioni al contorno più severe di quanto atteso dallo studio più recente, non dà problemi di esondazione nel tratto di valle influenzato dai livelli del Canale Emissario.

Di seguito si riporta la tabella di sintesi con l'indicazione delle condizioni al contorno utilizzate nella modellazione idraulica del reticolo di studio.

La codifica delle immissioni e delle sollecitazioni idrologiche riprende la codifica dei bacini che le generano. Agli idrogrammi utilizzati in input è stato associato un peso %, qualora il bacino di riferimento ricomprendesse più aste fluviali modellate idraulicamente.

Codice Immissione	Tipologia Immissione	Corso d'acqua	Da sezione	A sezione	%
0101	distribuita	Fossa Nuova	0	1700	100
0102	distribuita	Affluente Fossa Nuova	0	1423	100
0103	distribuita	Fossa Nuova	1952	2318	100
0104	distribuita	Cilecchio	0	513	100
0105	distribuita	Fossa Nuova	2319	2906	100
FN_valle	livello costante	Fossa Nuova	2908.21	---	---
0201	distribuita	Nuovo Cilecchio	0	1038	100
0202	distribuita	Paese	0	598	100
0203	distribuita	Montino Moretti	0	1001	100
0204	distribuita	Nuovo Cilecchio	1039	3050	100
NC_valle	livello costante	Nuovo Cilecchio	3052.98	---	---
0300	distribuita	Vecchio	0	782	90
0300	distribuita	FFSS	0	117	10
0400	distribuita	Corso	0	2360	100
EM_monte	portata costante	Emissario del Bientina	0	---	100
EM_valle	Q/h	Emissario del Bientina	2661.96	---	---

Tabella 4-1: Condizioni al contorno del modello idraulico analitico

### 4.3 PARAMETRI DEL MODELLO IDRAULICO

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati, è stato possibile associare ad ogni corso d'acqua, il coefficiente di scabrezza, secondo Manning, più appropriato, risultato per tutti i corsi d'acqua pari a  $n=0.033$  s/m<sup>1/3</sup>.

Per quanto riguarda la scabrezza delle aree allagabili simulate nel modello bidimensionale, si è scelto di adottare un coefficiente di Manning variabile spazialmente, determinato associando ad ogni classe di uso del suolo un coefficiente, sulla base di una analisi della

letteratura in materia. In Tabella 4-2 è riportata la tabella utilizzata per l'associazione dei coefficienti di Manning per ogni classe di uso del suolo, rielaborata a partire dalla tabella riepilogativa di pubblicazioni e manuali di modellistica di cui alla Figura 4-3 nella quale per ogni tipologia di copertura del suolo viene indicato un intervallo del coefficiente di Manning.

In merito alle perdite di carico nelle strutture, i coefficienti utilizzati sono stati ricavati dalla letteratura disponibile. In particolare, si è utilizzato un coefficiente di contrazione di 0.5 e un coefficiente di espansione di 1.

CODICE	DESCRIZIONE	MANNING N
111	Zone residenziali a tessuto continuo	0.100
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	0.040
121	Aree industriali e commerciali	0.040
122	Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	0.020
123	Aree portuali	0.020
131	Aree estrattive	0.020
132	Discariche, depositi di rottami	0.020
133	Cantieri, edifici in costruzione	0.020
141	Aree verdi urbane	0.035
142	Aree ricreative e sportive	0.035
210	Seminativi irrigui e non irrigui	0.050
221	Vigneti	0.050
222	Frutteti e frutti minori	0.050
223	Oliveti	0.050
231	Prati stabili	0.035
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	0.050
242	Sistemi colturali e particellari complessi	0.050
243	Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.050
244	Aree agroforestali	0.050
311	Boschi di latifoglie	0.100
312	Boschi di conifere	0.100
313	Boschi misti di conifere e latifoglie	0.100
321	Aree a pascolo naturale e praterie	0.100
323	Aree a vegetazione sclerofilla	0.100
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	0.100
331	Spiagge, dune e sabbie	0.020
332	Rocce nude, falesie, rupi e affioramenti	0.020
333	Aree con vegetazione rada	0.050
411	Paludi interne	0.020
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	0.020
512	Specchi d'acqua	0.020
523	Mare	0.020

Tabella 4-2: Associazione del coefficiente di Manning in funzione dell'uso del suolo

NLCD <sup>1</sup> Value	Normal Manning's n Value	Allowable Range of n values	Land Cover Definition	Reference
11	0.040	0.025–0.05	Open Water - All areas of open water, generally with less than 25% cover or vegetation or soil	<sup>12</sup> Table 5-6 D-1.a.3
21	0.040	0.03–0.05	Developed, Open Space - Includes areas with a mixture of some constructed materials, but mostly vegetation in the form of lawn grasses. Impervious surfaces account for less than 20 percent of total cover. These areas most commonly include large-lot single-family housing units, parks, golf courses, and vegetation planted in developed settings for recreation, erosion control, or aesthetic purposes.	<sup>13</sup> Figure 3-19
22	0.100	0.08–0.12	Developed, Low intensity - Includes areas with a mixture of constructed materials and vegetation. Impervious surfaces account for 20-49 percent of total cover. These areas most commonly include single-family housing units.	<sup>13</sup> Figure 3-19
23	0.080	0.06–0.14	Developed, Medium intensity - Includes areas with a mixture of constructed materials and vegetation. Impervious surfaces account for 50-79 percent of the total cover. These areas most commonly include single-family housing units.	<sup>13</sup> Figure 3-19
24	0.150	0.12-0.20	Developed, High Intensity - Includes highly developed areas where people reside or work in high numbers. Examples include apartment complexes, row houses and commercial/industrial. Impervious surfaces account for 80 to 100 percent of the total cover.	<sup>13</sup> Figure 3-19
31	0.025	0.023–0.030	Barren Land (Rock/Sand/Clay) - Barren areas of bedrock, desert pavement, scarps, talus, slides, volcanic material, glacial debris, sand dunes, strip mines, gravel pits and other accumulations of earthen material. Generally, vegetation accounts for less than 15% of total cover.	<sup>12</sup> Table 5-6 c.b.1
41	0.160	0.10–0.16	Deciduous Forest - Areas dominated by trees generally greater than 5 meters tall, and greater than 20% of total vegetation cover. More than 75 percent of the tree species shed foliage simultaneously in response to seasonal change.	<sup>12</sup> Table 5-6 D-2.d.5 Max. Debris
42	0.160	0.10–0.16	Evergreen Forest - Areas dominated by trees generally greater than 5 meters tall, and greater than 20% of total vegetation cover. More than 75 percent of the tree species maintain their leaves all year. Canopy is never without green foliage.	<sup>12</sup> Table 5-6 D-2.d.5 Max. Debris
43	0.160	0.10–0.16	Mixed Forest - Areas dominated by trees generally greater than 5 meters tall, and greater than 20% of total vegetation cover. Neither deciduous nor evergreen species are greater than 75 percent of total tree cover.	<sup>12</sup> Table 5-6 D-2.d.5 Max. Debris
52	0.100	0.07–0.16	Shrub/Scrub - Areas dominated by shrubs; less than 5 meters tall with shrub canopy typically greater than 20% of total vegetation. This class includes true shrubs, young trees in an early successional stage or trees stunted from environmental conditions.	<sup>12</sup> Table 5-6 D-2.c.5
71	0.035	0.025–0.050	Grassland/Herbaceous - Areas dominated by graminoid or herbaceous vegetation, generally greater than 80% of total vegetation. These areas are not subject to intensive management such as tilling, but can be utilized for grazing.	<sup>12</sup> Table 5-6 D-2.a.2
81	0.030	0.025–0.050	Pasture/Hay - Areas of grasses, legumes, or grass-legume mixtures planted for livestock grazing or the production of seed or hay crops, typically on a perennial cycle. Pasture/hay vegetation accounts for greater than 20 percent of total vegetation.	<sup>12</sup> Table 5-6 D-2.a.1
82	0.035	0.025–0.050	Cultivated Crops - Areas used for the production of annual crops, such as corn, soybeans, vegetables, tobacco, and cotton, and also perennial woody crops such as orchards and vineyards. Crop vegetation accounts for greater than 20 percent of total vegetation. This class also includes all land being actively tilled.	<sup>12</sup> Table 5-6 D-2.b.2
90	0.120	0.045–0.15	Woody Wetlands - Areas Where forest or shrub land vegetation accounts for greater than 20 percent of r substrate is periodically saturated with or covered with water.	<sup>12</sup> Table 5-6 D-1.a.8
95	0.070	0.05–0.085	Emergent Herbaceous Wetlands - Areas where perennial herbaceous vegetation accounts for greater than 80 percent of vegetative cover and the soil or substrate is periodically saturated with or covered with water.	<sup>12</sup> Table 5-6 D-1.a.7

<sup>1</sup> 2011 National Land Cover Data Set (NLCD)

<sup>2</sup> Open-Channel Hydraulics, by Chow, Ven Te, 1959

<sup>3</sup> HEC-RAS River Analysis System 2D Modeling User's Manual, Version 5.0, February 2016, Figure 3-19

Figura 4-3: Fonti bibliografiche per l'attribuzione dei coefficienti di scabrezza in funzione dell'uso del suolo

#### 4.4 SIMULAZIONI IDRAULICHE IMPLEMENTATE

La schematizzazione geometrica che rappresenta lo stato attuale dei luoghi è stata cimentata sugli scenari idrologici descritti al Capitolo 3. In particolare, le simulazioni idrauliche effettuate hanno riguardato eventi sintetici con **TR=30-200** anni di durata pari a **d=4-6-9-12** ore, che rappresentano secondo l'analisi idrologica svolta le durate che massimizzano i valori di picco di portata ed i volumi di piena attesi sul reticolo oggetto di studio.

Si riportano in figura seguente i risultati delle simulazioni svolte su Fossa Nuova e affluenti, che dà indicazioni di non allagabilità sul territorio comunale di Calcinai. Tali risultati, come già specificato ai paragrafi precedenti, non sono stati utilizzati per la definizione delle aree allagate, per le quali si rimanda agli studi di supporto del nuovo Piano Strutturale del Comune di Bientina a firma dell'Ing. Alessio Gabrielli.

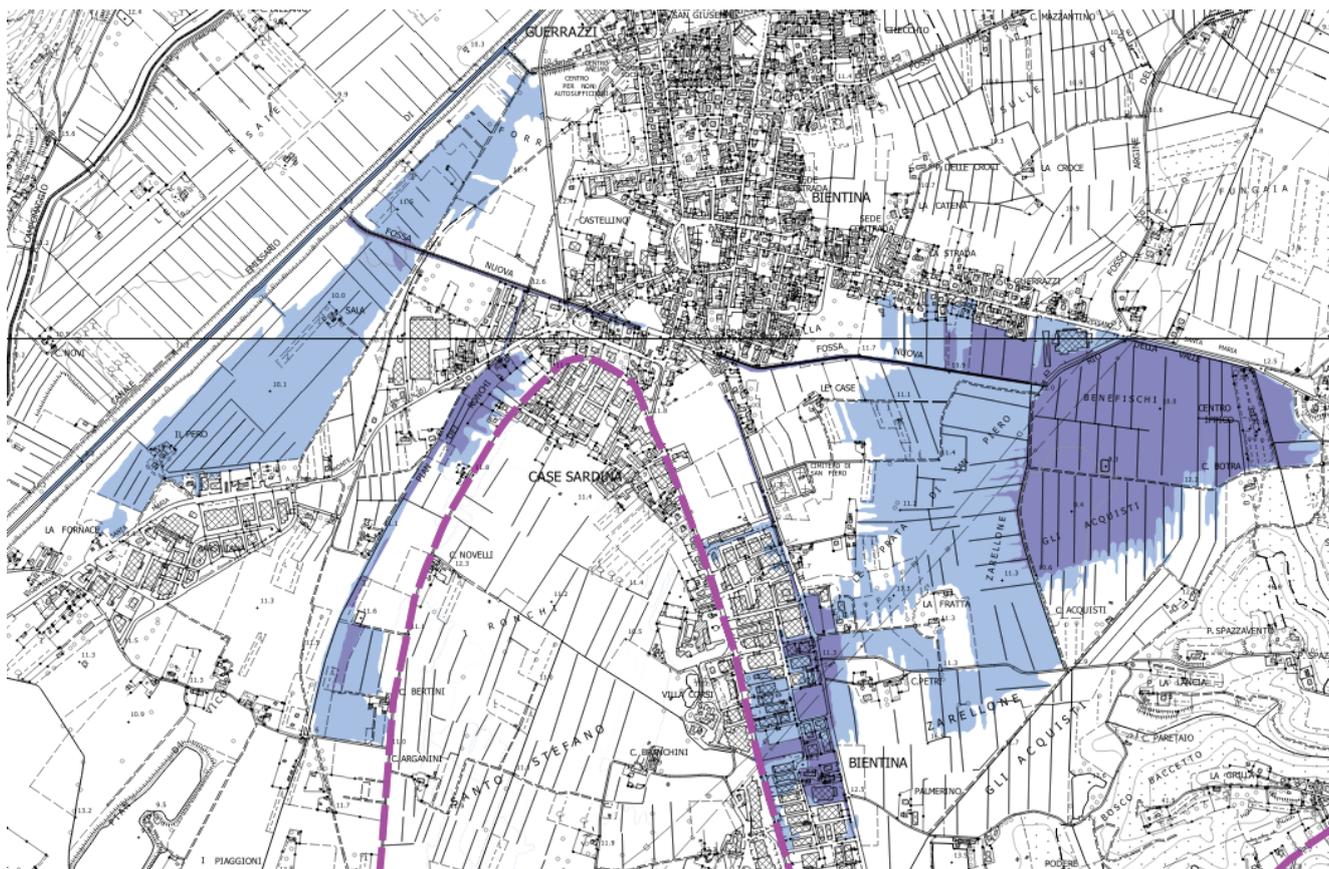


Figura 4-4: Carta delle Aree Allagate TR 30-200 anni sul bacino della Fossa Nuova

#### 4.5 MODELLO QUALITATIVO

Al fine di completare l'analisi delle aree allagate su tutta l'estensione del territorio comunale, è stato implementato un modello idraulico bidimensionale a carattere diffuso. Quali input idrologici al modello sono stati utilizzati i dati di pioggia lorda.

Le aree allagabili risultanti da tale approccio modellistico serviranno a dare indicazioni sulla pericolosità idraulica in tutte quelle zone in cui non è stato effettuato lo studio analitico di dettaglio. Tale approccio non prevede uno studio dettagliato della propagazione della piena lungo il reticolo fluviale ed è definito "Modellazione Qualitativa".

Lo scenario di riferimento per l'implementazione del modello qualitativo è il tempo di ritorno TR=30-200 anni. Al fine di massimizzare gli effetti su tutto il territorio studiato sono stati simulati eventi meteorici di durata pari a **d=4-6-9-12** ore in analogia col modello analitico.

Lo studio qualitativo prevede la simulazione 2D dell'area di interesse, considerando come input idrologico l'evento pluviometrico rappresentato dalle griglie di pioggia della Regione Toscana. Tramite il modulo di calcolo MIKE21 è infatti possibile simulare l'effetto della pioggia su di un DTM tramite un'immissione puntuale di massa su ciascuna cella di calcolo del dominio con un tasso pari all'intensità di pioggia lorda.

Il DTM impiegato per tale simulazione, è lo stesso modello digitale del terreno a maglia 5x5 m utilizzato nella modellazione idraulica analitica.

In merito alla modellazione qualitativa, si precisa inoltre quanto segue:

- Le aree 2D oggetto di modellazione ricomprendono tutto il territorio rappresentato come Modello Digitale del Terreno in Tavola 1B

- *Planimetria dei bacini idrografici*, i cui dati altimetrici sono mutuati dal rilievo Lidar (rif. Tabella 1-3) ricampionato a celle di dimensioni 5x5 m;
- L'input pluviometrico al modello è costituito da isogrammi di pioggia lorda ad intensità costante (ricavati a partire dai valori di Tabella 3-2) distribuiti sul dominio spaziale rappresentato in colore giallo in *Tavola 1B – Planimetria dei bacini idrografici*, che ricomprende anche il bacino dell'affluente del Canale Scolmatore di Usciana per i motivi già anticipati al paragrafo 1.1;
- Non sono state applicate condizioni al contorno sui confini del dominio di calcolo, ovvero l'area di studio è stata modellata come bacino chiuso con deflusso nullo da e verso l'esterno. Tale scelta appare ben giustificata, data la morfologia del territorio e l'estensione del dominio di calcolo rispetto alle aree sollecitate dagli input di pioggia.

## 5 DETERMINAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA

I risultati del modello integrato idrologico-idraulico di tipo analitico e qualitativo hanno permesso di definire le aree a pericolosità idraulica.

A partire dai risultati delle simulazioni idrauliche del modello analitico, per ogni tempo di ritorno e durata dell'evento meteorico, sono stati ricavati:

- Livelli e portate massime in alveo su ciascuna sezione fluviale (riportati in Allegato 3);
- Battenti e velocità massime per le aree allagabili.

A partire dai risultati delle singole simulazioni, si sono ottenuti gli inviluppi su ciascun tempo di ritorno e su ciascun scenario idrologico. I risultati finali della modellazione idraulica analitica sono stati ottenuti involupando i risultati precedentemente descritti.

Si restituiscono quindi, come inviluppo per ciascun tempo di ritorno:

- Sezioni fluviali con i livelli idrometrici;
- Profili longitudinali con livelli idrometrici;
- Tavole dei battenti idraulici massimi;
- Tavole delle velocità massime.

*Tavola 2B - Modello Idraulico - Sezioni con Livelli Idrometrici TR 30 - 200 anni*

*Tavola 2C - Modello Idraulico - Profili Longitudinali con Livelli Idrometrici TR 30 - 200 anni*

*Tavola 3A - Planimetria delle Aree Allagate TR 30 anni Battenti Idrometrici Massimi*

*Tavola 3B - Planimetria delle Aree Allagate TR 200 anni Battenti Idrometrici Massimi*

*Tavola 4A - Planimetria delle Aree Allagate TR 30 anni Velocità Massime*

*Tavola 4B - Planimetria delle Aree Allagate TR 200 anni Velocità Massime*

L'implementazione della modellistica idraulica di tipo qualitativo ha fornito, per le aree afferenti ai corsi d'acqua non oggetto di studio analitico, un'indicazione di allagabilità del territorio laddove non è stato sviluppato un modello di maggior dettaglio.

L'output di tale modellazione individua aree potenzialmente soggette ad allagamento per eventi con TR 30 e 200 anni e stima i battenti attesi in tali aree.

A partire dai risultati delle simulazioni idrauliche del modello qualitativo, per il tempo di ritorno TR=30 e 200 anni per ogni durata dell'evento meteorico, sono stati ricavati i battenti e le velocità massime raggiunte per le aree allagabili.

I risultati finali della modellazione idraulica qualitativa sono stati ottenuti involupando i risultati precedentemente descritti, restituiti, come inviluppo nelle:

*Tavola 6A - Planimetria delle Aree Allagate Modello Qualitativo – Battenti idrometrici Massimi TR 30 anni*

*Tavola 6B - Planimetria delle Aree Allagate Modello Qualitativo – Battenti idrometrici Massimi TR 200 anni*

*Tavola 6C - Planimetria delle Aree Allagate Modello Qualitativo – Velocità Massime TR 30 anni*

*Tavola 6D - Planimetria delle Aree Allagate Modello Qualitativo – Velocità Massime TR 200 anni*

Si precisa che, poiché gli input pluviometrici utilizzati riguardano le piogge lorde, non depurate quindi delle perdite idrologiche, non sono stati rappresentati nelle tavole succitate, valori di battente massimo inferiori a 10 cm.

L'inviluppo dei battenti su ciascun tempo di ritorno ha quindi permesso la definizione delle pericolosità idrauliche di carattere analitico. In maniera analoga sono state definite le aree a pericolosità idraulica derivanti dai risultati del modello di tipo qualitativo.

La sintesi delle aree a pericolosità idraulica determinate come sopra indicato è riportata nella seguente tavola:

*Tavola 7- Perimetrazioni delle Aree Allagate*

## APPENDICE A: MODELLISTICA IDROLOGICO-IDRAULICA

### A.1 MODELLISTICA IDROLOGICA

La modellistica idrologica per la determinazione dell'idrogramma di piena in una o più sezioni fluviali di un bacino idrografico deve significativamente rappresentare tutte le fasi che si hanno a partire dalla distribuzione delle piogge insistenti sul bacino, fino alla valutazione dell'onda di piena.

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi. L'ingresso principale al modello è costituito da una serie di misurazioni di pioggia. La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale, detta anche precipitazione efficace (netta), viene valutata con un opportuno *modello di trasformazione afflussi-deflussi*, per la stima della produzione di deflusso idealmente in ciascun punto del bacino, avente la dimensione di una portata per unità di area. Infine, il processo di concentrazione dei deflussi nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo fino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno *modello di formazione dell'onda di piena*.

La metodologia alla base degli studi effettuati mira ad un'agevole caratterizzazione degli eventi in termini di tempi di ritorno e durata dell'evento meteorico; conseguenza diretta, la possibilità di definire i livelli di rischio in funzione della probabilità di accadimento. Ciò si ottiene facilmente attraverso una procedura semplificata di generazione di eventi sintetici, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo ( $T_r$  evento di pioggia =  $T_r$  idrogramma di piena).

#### A.1.1 REGIME PLUVIOMETRICO – STUDIO REGIONALE LSPP

Il regime pluviometrico è stato caratterizzato sulla base dei risultati prodotti dal gruppo di lavoro dell'attività "Modellazione idrologica", nell'ambito dell'Accordo stipulato tra la Regione Toscana e il 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.

Nell'ambito di tale lavoro è stata fornita la stima dell'altezza di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore e giornaliera) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni). Per le durate caratteristiche, sono state elaborate le griglie di risoluzione 1 km dei valori estremi delle altezze di pioggia, per i tempi di ritorno.

La previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP è comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

con:  $h$  = altezza di pioggia [mm];  $t$  = durata [ore],  $a$  e  $n$  parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno fissati, attraverso una regressione logaritmica è possibile determinare le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri  $a$  e  $n$ .

Una volta noti i parametri  $a$  e  $n$  della LSPP per i tempi di ritorno fissati è possibile calcolare l'altezza di pioggia di durata desiderata in punto della Regione Toscana.

#### A.1.2 CALCOLO DELLA PIOGGIA DI PROGETTO SU UN BACINO IDROGRAFICO

Dalle linee guida della Regione Toscana è possibile definire la metodologia di calcolo delle altezze di pioggia su un bacino idrografico.

Per calcolare l'altezza di pioggia su un bacino idrografico è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero e, una volta scelto il tempo di ritorno, è possibile la valutazione delle altezze di pioggia mediante l'utilizzo dei parametri  $a$  e  $n$  della LSPP. Noti i parametri  $a$  e  $n$  della LSPP per assegnato  $T_r$ , viene definita la durata  $t$  dell'evento. Per un bacino idrografico si usa  $t = t_{cr}$  (tempo critico), solitamente assunto pari al tempo di corrivazione  $t_c$ . È possibile quindi trovare l'altezza di pioggia in ogni cella tramite la relazione:

$$h(t) = a t_c^n \quad (4)$$

con:  $h$  = altezza di pioggia [mm];  $t_c$  = tempo di corrivazione [ore],  $a$  e  $n$  parametri caratteristici.

La stima dell'altezza di pioggia con l'equazione (4) può essere effettuata tramite software GIS con un tool tipo Raster Calculator. Una volta trovata l'altezza di pioggia  $h$  in ogni cella, per la durata e il tempo di ritorno stabilito, è sufficiente calcolare il valore medio sul bacino idrografico.

#### A.1.3 MODELLO DI RIFIUTO DEL TERRENO SCS-CURVE NUMBER

Per il calcolo delle perdite di bacino è stato adottato il metodo del Curve Number, modello di rifiuto del terreno sviluppato dal Soil Conservation Service degli Stati Uniti.

Si tratta di un modello empirico che stima la predisposizione dei suoli a contribuire ai deflussi di piena mediante l'analisi di tre fattori: le caratteristiche di permeabilità dei terreni superficiali e degli strati geologici immediatamente sottostanti, l'uso del suolo e la copertura vegetale, lo stato di imbibimento del terreno all'inizio della sollecitazione meteorica.

La relazione fondamentale per la stima della precipitazione efficace è la seguente:

$$\begin{cases} P_{eff} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} & P \geq I_a \\ P_{eff} = 0 & P < I_a \end{cases}$$

dove  $P_{eff}$  è la precipitazione efficace cumulata al tempo  $t$ ,  $P$  è la precipitazione totale cumulata allo stesso istante,  $I_a$  è la perdita iniziale ed  $S$  è il fattore di ritenzione potenziale, ovvero il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione.

Con l'introduzione di  $I_a$  si vuol tenere conto di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale.

I due parametri  $I_a$  ed  $S$  si dovranno determinare mediante operazioni di taratura del modello. Dall'analisi di risultati ottenuti dall' SCS in numerosi piccoli bacini sperimentali americani, è stata proposta una relazione empirica che lega i 2 parametri:

$$I_a = cS$$

con  $c$  posto pari a 0.2.

In questo modo è possibile definire il deflusso netto in funzione dell'afflusso meteorico, una volta fissato il valore di  $S$ .

Il parametro  $S$  dipende dalla possibilità di infiltrazione dell'acqua in condizioni di terreno già saturato, dall'insieme delle condizioni del suolo (uso, trattamento della superficie, drenaggio) e dal contenuto di umidità iniziale dello stesso (AMC, Antecedent Moisture Condition).

L'effetto di tutti questi fenomeni viene rappresentato globalmente introducendo un parametro adimensionale, il Curve Number (CN), legato ad  $S$  tramite la relazione:

$$S = S_0 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

dove  $S_0$  è una costante di scala dimensionale, che riflette l'unità di misura adottata.

Nel sistema metrico,  $S_0 = 254$  mm.

Il parametro  $CN$  è un numero adimensionale che varia da 100, per corpi idrici, a circa 30, per suoli permeabili con elevati tassi di infiltrazione, che dipende, innanzitutto, dalle caratteristiche idrologiche del suolo (struttura, tessitura e permeabilità).

Per identificare il tipo idrologico di suolo bisogna analizzare le caratteristiche geopedologiche del bacino. L'SCS ha classificato il suolo in quattro gruppi:

- Gruppo A: suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, ghiaie profonde molto permeabili. Capacità di infiltrazione molto elevata.
- Gruppo B: suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A e con maggiore aliquota di argilla e limo. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- Gruppo C: suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid. Scarsa capacità di infiltrazione.
- Gruppo D: suoli con potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Una volta individuato il tipo idrologico di suolo, per determinare il  $CN$  occorre analizzare la tipologia di uso del suolo stesso.

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori caratteristici del parametro  $CN$ , che si ottengono per combinazione delle caratteristiche idrologiche del suolo, secondo i 4 tipi idrologici A-B-C-D a permeabilità decrescente, e delle caratteristiche di uso prevalente del suolo stesso.

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di imbibimento del suolo all'inizio dell'evento meteorico, l'SCS individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC, Antecedent Moisture Condition) a seconda del valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei cinque giorni precedenti l'evento meteorico:

AMC I: potenziale di scorrimento superficiale minimo. Suolo asciutto.

AMC II: potenziale di scorrimento medio. Suolo mediamente umido.

AMC III: potenziale di scorrimento massimo. Suolo saturo.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello dell'evento meteorico ed in base alla stagione, vegetativa o non vegetativa.

I valori di  $CN$  ricavati dalle tabelle seguenti si riferiscono a condizioni di saturazione del terreno medie (AMC II).

I parametri richiesti dal modello distribuito SCS Curve Number sono un valore dell'indice CN per ogni interbacino in cui è stato discretizzato il bacino, e le condizioni iniziali, ovvero le perdite iniziali espresse come rapporto con la ritenzione potenziale ( $I_a/S$ , *initial abstraction ratio*, in genere posto pari a 0.2), da specificare per ogni sottobacino.

TIPO DI COPERTURA			TIPO DI SUOLO			
Usò del suolo	Trattamento o pratica	Condizione idrologica	A	B	C	D
Maggesi	a solchi diritti	-	77	86	91	94
Colture a solchi	a solchi diritti	cattiva	72	81	88	91
	a solchi diritti	buona	67	78	85	89
	a reggipoggio	cattiva	70	79	84	88
	a reggipoggio	buona	65	75	82	86
	a re. e terrazze	cattiva	66	74	80	82
	a re. e terrazze	buona	62	71	78	81
Grani piccoli	a solchi diritti	cattiva	65	76	84	88
	a solchi diritti	buona	63	75	83	87
	a reggipoggio	cattiva	63	74	82	85
	a reggipoggio	buona	61	73	81	84
	a re. e terrazze	cattiva	61	72	79	82
	a re. e terrazze	buona	59	70	78	81
Legumi seminati folti o prati in rotazione	a solchi diritti	cattiva	66	77	85	89
	a solchi diritti	buona	58	72	81	85
	a reggipoggio	cattiva	64	75	83	85
	a reggipoggio	buona	55	69	78	83
	a re. e terrazze	cattiva	63	73	80	83
	a re. e terrazze	buona	51	67	76	80
Pascoli	-	cattiva	68	79	86	89
	-	discreta	49	69	79	84
	-	buona	39	61	74	80
	a reggipoggio	cattiva	47	67	81	88
	a reggipoggio	discreta	25	59	75	83
	a reggipoggio	buona	6	35	70	79
Prati	-	buona	30	58	71	78
Boschi	-	cattiva	45	66	77	83
	-	discreta	36	60	73	79
	-	buona	25	55	70	77
Aziende agricole	-	-	59	74	82	86
Strade sterrate	-	-	72	82	87	89
Strade pavimentate	-	-	74	84	90	92

Tabella A.1- 1: Valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e copertura (SCS,1986)

TIPO DI COPERTURA		TIPO DI SUOLO			
		A	B	C	D
Aree residenziali					
Area media dei lotti:	Area impermeabile (%)				
1/8 acro o meno	65	77	85	90	92
1/4 acro	38	61	75	83	87
1/3 acro	30	57	72	81	86
1/2 acro	25	54	70	80	85
1 acro	20	51	68	79	84
Parcheggi pavimentati, tetti, viali d'accesso		98	98	98	98
Strade urbane ed extraurbane					
Pavimentate, a dorso di mulo e con fognatura		98	98	98	98
in ghiaia		76	85	89	91
sterrate		72	82	87	89
Aree commerciali e professionali (impermeabili per l'85%)		89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabili per il 72%)		81	88	91	93
Spazi aperti, prati, parchi, campi da golf, cimiteri					
in buone condizioni: copertura erbosa sul 75% o più		39	61	74	80
in discrete condizioni: copertura erbosa sul 50-75%		49	69	79	84

Tabella A.1- 2: Valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e copertura (SCS,1986)

Si precisa che nel presente studio i valori del CN utilizzati per la stima delle perdite idrologiche sono stati mutuati dallo Shapefile dei valori di Curve Number a partire dalla pedologia e dall'uso del suolo. Fonte: Regione Toscana - Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 pubblicato sul sito regionale.

#### A.1.4 MODELLO DELL'IDROGRAMMA UNITARIO SCS

Per la modellazione della trasformazione afflussi-deflussi, è stato utilizzato il metodo dell'idrogramma unitario dell'SCS. L'idrogramma Unitario SCS è un idrogramma adimensionale a picco singolo, che esprime la portata  $Q_t$  come porzione della portata di picco  $Q_p$ , per ogni istante  $t$ , frazione del tempo di picco  $T_p$ . L'SCS mette in relazione il picco ed il tempo di picco attraverso la formula:

$$Q_p = C \frac{A}{T_p}$$

in cui  $A$  rappresenta la superficie del Bacino e  $C$  il fattore di conversione (2.08). Il tempo di picco è in relazione con la durata della precipitazione netta

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

dove  $\Delta t$  è la durata della precipitazione netta e  $t_{lag}$  il tempo di ritardo del bacino, definito come l'intervallo temporale che separa il baricentro della distribuzione delle piogge dal baricentro dell'idrogramma unitario.

Per la stima del tempo di ritardo si è utilizzata la seguente formulazione suggerita dal S.C.S:

$$t_{lag} = 0.342 \frac{L^{0.8}}{i^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

Il software HEC-HMS 4.1 permette inoltre di simulare in modo semplificato la propagazione monodimensionale dell'onda di piena attraverso il reticolo fluviale. Il modello impiegato è quello Muskingum-Cunge (Miller & Cunge, 1975), il quale si basa sulla combinazione dell'equazione di continuità con la formulazione diffusiva dell'equazione della quantità di moto per ottenere l'equazione seguente:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + cq_L$$

dove  $Q$  è la portata,  $c$  è la celerità di propagazione dell'onda di piena,  $\mu$  è la diffusività idraulica e  $q_L$  rappresenta le immissioni laterali. L'equazione è quindi risolta con uno schema alle differenze finite.

#### A.1.5 MODELLO DI STIMA DEL DEFLUSSO DI BASE

Nella scelta del modello idrologico da adottare per la stima delle portate di piena, non è stato contemplato nessun tipo di modellazione dei deflussi di base.

Il motivo di tale scelta risiede nel fatto che il modello è finalizzato alla determinazione dei deflussi di piena a scala di evento e pertanto sono stati ritenuti trascurabili i contributi provenienti dai deflussi sotterranei, che, come noto, diventano una rilevante fonte di alimentazione del corso d'acqua soltanto durante i periodi di magra privi di precipitazioni.

## A.2 MODELLISTICA IDRAULICA

L'implementazione della modellistica idraulica, è stata effettuata attraverso il Software MIKE del DANISH HYDRAULIC INSTITUTE – DHI, certificato dalla F.E.M.A. (Federal Emergency Management Agency).

Gli scriventi sono in possesso infatti della licenza MIKE FLOOD Chiave MZ 26392 che comprende i software MIKE 11 – MIKE 21 – MIKE FLOOD.

Il software Mike permette la modellazione monodimensionale dell'alveo (Mike 11), completamente bidimensionale dell'alveo e delle aree contermini (Mike 21), ma soprattutto permette di accoppiare con "link" bidirezionali le due simulazioni.

L'implementazione di una modellistica esclusivamente bidimensionale necessita di informazioni topografiche di elevato dettaglio. Mentre nelle aree contermini ai corsi d'acqua è possibile l'utilizzo del Lidar, questo non lo è in alveo, in quanto il rilievo Laser Scanner non è in grado di rilevare quanto sotto al pelo libero.

Per quanto sopra, saranno implementate modellistiche accoppiate tramite Mike Flood, monodimensionali in alveo e bidimensionali nelle aree contermini, determinando di fatto le aree allagate in termini di battenti e velocità di propagazione.

Nei paragrafi successivi si riportano invece le caratteristiche tecnico scientifiche della modellistica mono e bidimensionale.

### A.2.1 MODELLISTICA MONODIMENSIONALE MIKE 11

MIKE 11 è un software in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Sviluppato a partire dagli anni '70 dal DHI (Danish Hydraulic Institute), rappresenta lo stato dell'arte nella modellistica matematica in ambito fluviale e riferimento nell'ambito della modellistica idrodinamica monodimensionale.

Caratteristiche del codice sono la velocità di calcolo e l'efficienza del robusto motore di simulazione idrodinamica (risolve le equazioni complete del De St.Venant), la struttura logica e sequenziale per l'inserimento e gestione dei dati di input (geometrie, serie storiche ecc.) ed i molteplici strumenti di interpretazione e visualizzazione dei risultati, in grado di garantire un'ottima rappresentazione degli studi condotti (rappresentazione di sezioni, profili, piani quotati, anche in ambiente GIS).

#### A.2.1.1 Modulo Idrodinamico (Hd)

Il modulo idrodinamico HD rappresenta il "cuore" del codice di calcolo MIKE 11 ed è in grado di simulare il flusso idrico monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Attraverso l'utilizzo di HD è possibile simulare:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso quasi - bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e confluenze).

L'adozione del programma di simulazione MIKE 11 consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente, che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

### A.2.2 DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle e quindi simulare i fenomeni di rigurgito.
- Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

La modellazione idraulica implementata nel presente studio utilizza l'approccio dell'Onda Dinamica, ovvero la formulazione più completa che ben rappresenta la dinamica dei sistemi fluviali con modesta pendenza del fondo alveo e della corrente.

### A.2.3 EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 11, risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è piccola;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m<sup>2</sup>);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m<sup>1/2</sup> s<sup>-1</sup>);

g = accelerazione di gravità (m s<sup>-2</sup>);

h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);

Q = portata (m<sup>3</sup>/s);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta (m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>).

#### A.2.4 SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

#### A.2.5 APPROSSIMAZIONE DELL'ONDA DIFFUSIVA

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare, nelle equazioni generali di De Saint Venant, tutti i termini legati alla quantità di moto:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine  $\frac{\partial h}{\partial x}$ . Per ragioni di stabilità questo termine viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

### A.2.6 DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. Sono diversi i tipi di strutture che possono essere simulate:

#### Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

#### Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

#### Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". Il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso: il codice calcola in automatico una relazione Q-h che contempla tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

#### Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

#### Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_1) \cdot Z_2$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

#### Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

#### Tipo 7. Ponti

In MIKE 11 possono essere utilizzate diverse formulazioni da letteratura per il calcolo del deflusso attraverso i ponti e del conseguente effetto di rigurgito. In particolare sono implementati i modelli della FHWA (Federal Highway Administration USA, WSPRO method) e della USBPR (US Bureau of Public Roads), modelli per la simulazione della presenza delle pile (Nagler e Yarnell), modelli per il libero deflusso attraverso ponti ad arco (Biery & Delour, HR method). Tutti i precedenti metodi di calcolo possono essere integrati con il calcolo del moto in pressione e con il calcolo del sormonto della struttura (tombini e stramazzi).

### A.2.7 RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler. Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{g Q^2}{C^2 A R}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{g Q^2}{M^2 A R^{4/3}}$$

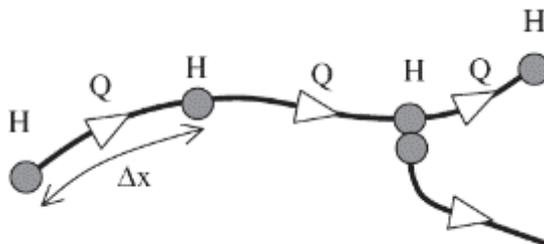
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a  $1/n$ , essendo n il coefficiente di Manning.

### A.2.8 CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

### A.2.9 METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).



La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

### A.2.10 CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

### A.2.11 MODELLISTICA BIDIMENSIONALE MIKE 21

Il MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Infatti, il numero "21" che contraddistingue il codice indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per la simulazione delle correnti a pelo libero e dei fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi, così come in ambito costiero e offshore.

### A.2.12 MODULO IDRODINAMICO (HD)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili. In particolare, il modulo HD di MIKE 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

- flooding and drying;
- perdite di carico;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;

- precipitazioni/Evaporazioni;
- radiation stresses;
- pozzi e sorgenti.

Il modulo idrodinamico HD del Mike 21 risolve le equazioni complete del moto di De St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema delle equazioni di De St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) \right] - \Omega q - fVV_x \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial \mathcal{S}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned}$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fVV_y \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial \mathcal{S}_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned}$$

nelle quali:

$h(x,y,t)$  = profondità dell'acqua;

$\zeta(x,y,t)$  = quota del pelo libero;

$p,q(x,y,t)$  = portate unitarie nelle direzioni x e y;

$C(x,y)$  = coefficiente di scabrezza di Chezy;

$G$  = accelerazione di gravità;

$f(V)$  = fattore d'attrito del vento;

$V,V_x,V_y(x,y,t)$  = velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;

$\Omega(x,y)$  = parametro di Coriolis;

$p_a(x,y,t)$  = pressione atmosferica;

$\rho_w$  = densità dell'acqua;

$x,y$  = coordinate spaziali;

$t$  = tempo;

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$  = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;

$S_{xx}, S_{xy}, S_{yy}$  = componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio  $\tau$  che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y. La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione x});$$

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( hE \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione x});$$

Le due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_s^2 \Delta^2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale,  $\Delta$  è la dimensione spaziale della griglia e  $c_s$  è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{2} hE \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria (m<sup>3</sup>/s/m) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m<sup>3</sup>/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

La condizione iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" la situazione ottenuta è di effettiva stazionarietà.

Le equazioni di continuità del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme su tutto il dominio di calcolo, costituita da celle di dimensioni tali da poter descrivere in maniera sufficientemente corretta le variazioni planometriche della batimetria.

Le equazioni della conservazione della massa e della quantità di moto sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).

Il modello MIKE 21 HD necessita di una serie di dati di input che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri temporali e del dominio (risoluzione della griglia di calcolo, time step, durata simulazione);
- fattori di calibrazione (bed resistance, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (livelli, portate);
- altre forzanti (campi di vento, radiation stresses, sorgenti o pozzi).

I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale, permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Ad esempio per ognuno degli elementi della griglia, sono rappresentati le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- velocità di corrente e direzione.

#### A.2.13 MODELLISTICA MIKE FLOOD

Come già specificato **Mike Flood** permette l'accoppiamento tra modello monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree contermini.

L'Accoppiamento dei modelli è dinamico:

- I modelli "girano" simultaneamente
- Ad ogni istante di simulazione avviene uno scambio di dati
- La mutua interazione è bidirezionale

L'integrazione tra i diversi modelli avviene in modo totalmente dinamico, garantendo quindi la conservazione di massa e quantità di moto tra i diversi sistemi ed è impostata attraverso un'interfaccia grafica comune.

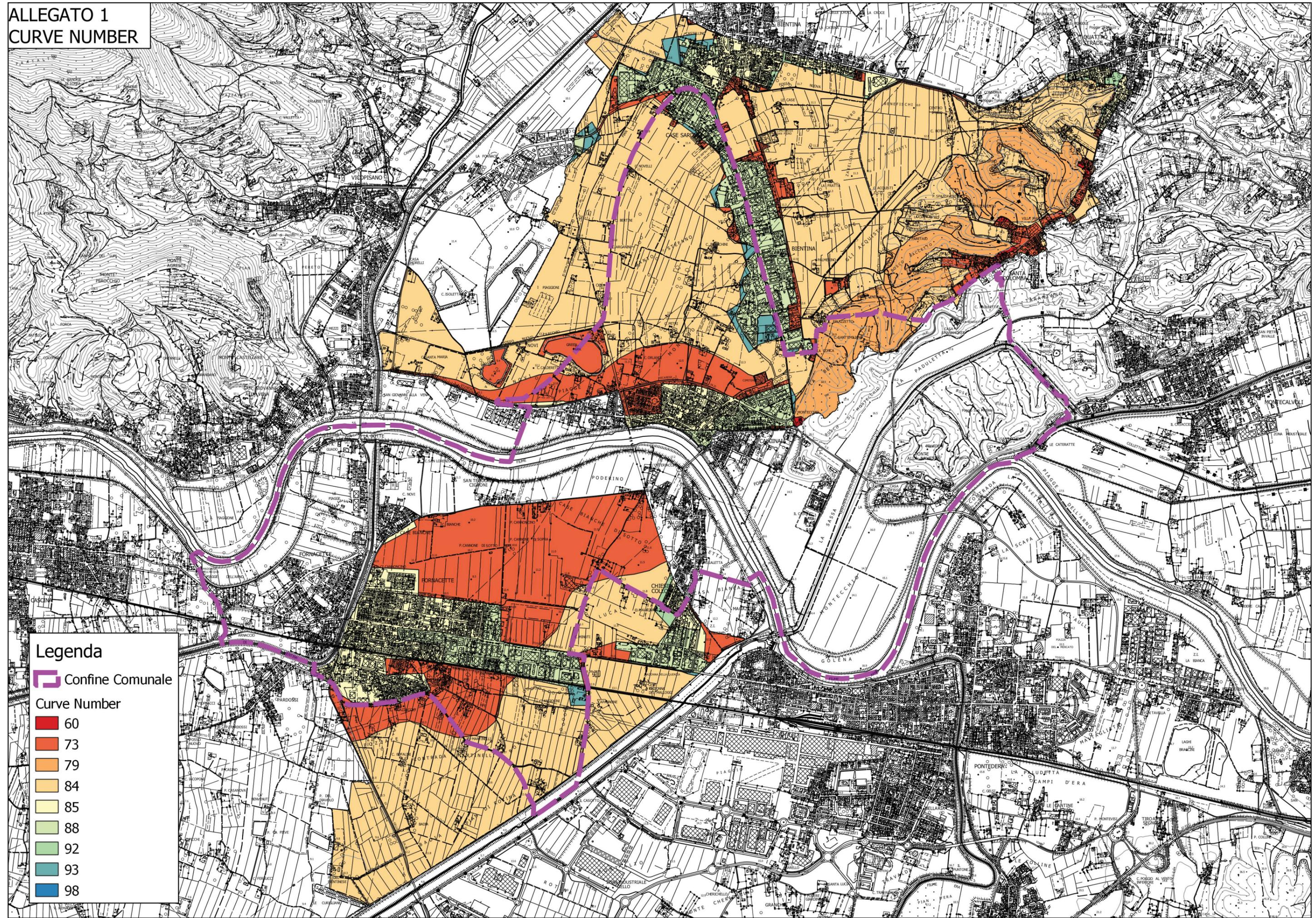
L'accoppiamento tra mono e bidimensionale può avvenire in maniera puntuale, Oppure l'accoppiamento può avvenire in maniera distribuita.

Il corso d'acqua viene simulato attraverso sezioni fluviali, esistenti o di rilievo. Le acque esondate e la loro propagazione viene effettuata con un modello bidimensionale.

I risultati sono espressi in battenti e livelli nelle aree allagate.

**ALLEGATO 1: CURVE NUMBER**

ALLEGATO 1  
CURVE NUMBER



**Legenda**

 Confine Comunale

**Curve Number**

-  60
-  73
-  79
-  84
-  85
-  88
-  92
-  98

**ALLEGATO 2: CODIFICA SEZIONI**

**FOSSO NUOVO CILECCHIO**

SEZIONE	FIUME	SISTEMA DI COORDINATE	DISTANZA PROGRESSIVA [m]	COORDINATA EST PILASTRINO SX	COORDINATA NORD PILASTRINO SX	COORDINATA EST PILASTRINO DX	COORDINATA NORD PILASTRINO DX
00311_19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	3108.58	1630126.29	4839760.43	1630092.4	4839772.63
00267PB19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2677.31	1629980.28	4839354.63	1629949.7	4839365.64
00267PC19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2674.31	1629979.26	4839351.81	1629948.68	4839362.81
00231_19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2312.98	1629854.89	4839012.54	1629827.48	4839022.59
00219PB19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2194.65	1629813.79	4838901.59	1629786.93	4838911.37
00219PC19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2190.65	1629812.43	4838897.83	1629785.56	4838907.61
00210_19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2095.52	1629780.41	4838808.36	1629753.97	4838817.47
00207_19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2069.89	1629754.66	4838794.74	1629756.09	4838804.63
00198PB19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	1975.85	1629661.04	4838789.99	1629662.4	4838823.18
00198PC19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	1970.84	1629656.05	4838790.19	1629657.4	4838823.39
00184PB19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	1849.96	1629539.24	4838783.02	1629532.27	4838817.45
00184PC19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	1839.96	1629529.44	4838781.03	1629522.46	4838815.47
00130PB19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	1306.76	1629005.69	4838676.95	1629005.23	4838685.46
00130PC19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	1303.04	1629002.01	4838676.74	1629001.35	4838688.94
00076_19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	767.31	1628477.26	4838572.76	1628474.89	4838584.21
00074PB19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	747.09	1628456.5	4838567.98	1628457.08	4838578.19
00074PC19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	743.19	1628452.72	4838568.2	1628453.3	4838578.4
00019PB19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	195.14	1627925.43	4838718.94	1627926.66	4838731.47
00019PC19	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	184.77	1627915.26	4838719.94	1627916.49	4838732.47
00005_08	Fosso Nuovo Cilecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	55.6	1627796.2	4838734.91	1627774.36	4838759.18

FOSSO DEL PAESE							
SEZIONE	FIUME	SISTEMA DI COORDINATE	DISTANZA PROGRESSIVA [m]	COORDINATA EST PILASTRINO SX	COORDINATA NORD PILASTRINO SX	COORDINATA EST PILASTRINO DX	COORDINATA NORD PILASTRINO DX
00072_19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	720.26	1629693.53	4838188.41	1629698.73	4838189.77
00062PB19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	624.16	1629667.8	4838281.1	1629677.09	4838283.42
00062PC19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	609.46	1629670.48	4838296.41	1629679.78	4838298.73
00050_19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	503	1629768.29	4838325.14	1629776.6	4838325.14
00024PB19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	244.26	1629777.8	4838560.17	1629799.65	4838557.86
00024PC19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	238.24	1629778.43	4838566.14	1629800.28	4838563.83
00023_19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	227.89	1629779.5	4838576.2	1629801.44	4838575.1
00012PB19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	121.03	1629778.96	4838682.67	1629797.93	4838683.38
00012PC19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	116.98	1629778.81	4838686.67	1629797.78	4838687.38
00002_19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	18.87	1629765.72	4838784.18	1629785.16	4838784.91
00001_19	Fosso del Paese	Gauss-Boaga > Roma 40	8.29	1629771.33	4838785.9	1629776.58	4838799.21

**FOSSO MONTINO MORETTI**

SEZIONE	FIUME	SISTEMA DI COORDINATE	DISTANZA PROGRESSIVA [m]	COORDINATA EST PILASTRINO SX	COORDINATA NORD PILASTRINO SX	COORDINATA EST PILASTRINO DX	COORDINATA NORD PILASTRINO DX
00100_19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	1004.28	1630705.92	4838431.62	1630708.63	4838453.89
00066PB19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	671.12	1630397.14	4838559.5	1630407.08	4838581.62
00066PC19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	663.68	1630390.76	4838562.37	1630400.69	4838584.49
00063_19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	630.21	1630360.32	4838574.73	1630369.28	4838596.99
00061PB19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	609.99	1630341.93	4838581.85	1630350.2	4838604.68
00061PC19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	591.99	1630325	4838587.98	1630333.27	4838610.81
00056PB19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	581.81	1630316.22	4838593.88	1630325.98	4838620.19
00056PC19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	555.81	1630291.85	4838602.92	1630301.61	4838629.24
00054PB19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	549.41	1630286.18	4838605.2	1630295.17	4838631.67
00054PC19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	543.41	1630280.5	4838607.13	1630289.49	4838633.6
00051PB19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	522.16	1630260.26	4838613.88	1630269.06	4838639.05
00051PC19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	510.16	1630248.93	4838617.84	1630257.74	4838643.01
00046PB19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	462.14	1630205.49	4838639.1	1630214.14	4838663.84
00046PC19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	358.06	1630107.82	4838646.32	1630107.49	4838666.38
00016PB19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	155.66	1629909.52	4838617.22	1629904.29	4838645.52
00016PC19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	151.66	1629905.59	4838616.5	1629900.36	4838644.8
00008PB19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	96.47	1629862.31	4838630.66	1629839.5	4838614.44
00008PC19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	84.25	1629855.36	4838640.44	1629832.55	4838624.22
00000_19	Fosso Montino Moretti	Gauss-Boaga > Roma 40	2.77	1629785.16	4838676.62	1629788.95	4838685.87

CANALE EMISSARIO DI BIENTINA							
SEZIONE	FIUME	SISTEMA DI COORDINATE	DISTANZA PROGRESSIVA [m]	COORDINATA EST PILASTRINO SX	COORDINATA NORD PILASTRINO SX	COORDINATA EST PILASTRINO DX	COORDINATA NORD PILASTRINO DX
02623_08	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	26237.67	1627813.25	4837768.18	1627671.01	4837774.47
02566_08	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	25659.36	1627785.55	4837191.04	1627686.74	4837194.82
02517_08	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	25170.89	1627663.45	4836708.94	1627559.4	4836741.67
02495PB19	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	24952.63	1627555.44	4836515.18	1627512.9	4836527.3
02495PC19	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	24938.43	1627550.43	4836501.89	1627507.9	4836514.01
02471PB19	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	24720.92	1627477.71	4836299.52	1627434.11	4836306.88
02471PC19	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	24708.93	1627474.72	4836288.14	1627431.12	4836295.49
02443_08	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	24438.08	1627235.06	4836143.34	1627258.98	4836209.64
02415_08	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	24151.39	1626961.07	4836231.25	1626992.54	4836312.64
02357_08	Canale Emissario di Bientina	Gauss-Boaga > Roma 40	23575.72	1626424.43	4836240.06	1626402.61	4836321.88

FOSSO VECCHIO							
SEZIONE	FIUME	SISTEMA DI COORDINATE	DISTANZA PROGRESSIVA [m]	COORDINATA EST PILASTRINO SX	COORDINATA NORD PILASTRINO SX	COORDINATA EST PILASTRINO DX	COORDINATA NORD PILASTRINO DX
00282_19	Fosso Vecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2824.28	1630167.88	4836068.03	1630174.12	4836105.97
00252PB19	Fosso Vecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2527.04	1629875.98	4836122.80	1629881.24	4836156.19
00252PC19	Fosso Vecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2522.04	1629871.04	4836123.57	1629876.30	4836156.96
00203PB19	Fosso Vecchio	Gauss-Boaga > Roma 40	2041.38	1629397.82	4836207.83	1629399.80	4836220.77
00004PP19	Fosso Vecchio	Gauss-Boaga > Roma 54	32.96	1627499.41	4836323.56	1627499.41	4836328.56
00003PP19	Fosso Vecchio	Gauss-Boaga > Roma 55	31.93	1627498.41	4836323.56	1627498.41	4836328.56
00001PC19	Fosso Vecchio	Gauss-Boaga > Roma 56	9.10	1627474.85	4836321.21	1627477.78	4836343.43

FFSS							
SEZIONE	FIUME	SISTEMA DI COORDINATE	DISTANZA PROGRESSIVA [m]	COORDINATA EST PILASTRINO SX	COORDINATA NORD PILASTRINO SX	COORDINATA EST PILASTRINO DX	COORDINATA NORD PILASTRINO DX
00019_19	FFSS	Gauss-Boaga > Roma 40	190.47	1629399.29	4836028.7	1629425.55	4836037.33
00012PB19	FFSS	Gauss-Boaga > Roma 40	119.11	1629379.46	4836098.17	1629403.98	4836104.44
00012PC19	FFSS	Gauss-Boaga > Roma 40	104.59	1629376.5	4836112.33	1629401.02	4836118.6
00007_19	FFSS	Gauss-Boaga > Roma 40	72.71	1629378.26	4836147.63	1629393.93	4836147.11
00001PB19	FFSS	Gauss-Boaga > Roma 40	9.99	1629389.99	4836212.83	1629398.19	4836203.65
00001PC19	FFSS	Gauss-Boaga > Roma 40	3.27	1629394.84	4836217.16	1629403.04	4836207.98

**FOSSO DEL CORSO**

SEZIONE	FIUME	SISTEMA DI COORDINATE	DISTANZA PROGRESSIVA [m]	COORDINATA EST PILASTRINO SX	COORDINATA NORD PILASTRINO SX	COORDINATA EST PILASTRINO DX	COORDINATA NORD PILASTRINO DX
00244_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2437.05	1629258.73	4835265.95	1629270.81	4835293.13
00235_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2345.52	1629177.38	4835308.23	1629186.8	4835329.41
00233PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2331.12	1629159.49	4835307.98	1629179.68	4835343.98
00233PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2328.1	1629156.87	4835309.44	1629177.06	4835345.45
00229PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2289.88	1629125.58	4835321.27	1629135.64	4835359
00229PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2287.37	1629123.17	4835321.91	1629133.22	4835359.64
00227_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2268.5	1629107.91	4835325.49	1629109.9	4835360.54
00221PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2213.58	1629053.41	4835329.96	1629054.6	4835358.98
00221PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2208.58	1629048.41	4835330.17	1629049.61	4835359.19
00211_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	2109.69	1628958.1	4835360.17	1628957.4	4835386.69
00200_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1996.46	1628847.1	4835353.88	1628846.52	4835367.87
00199_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1988.91	1628831.22	4835351.33	1628848.09	4835370.7
00185PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1850.8	1628724.11	4835437.98	1628742.72	4835460.44
00185PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1846.31	1628720.65	4835440.85	1628739.26	4835463.31
00165_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1654.2	1628551.05	4835515.2	1628558.15	4835537.34
00155PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1553.32	1628452.35	4835556.37	1628473.13	4835571.4
00155PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1548.27	1628449.42	4835560.42	1628470.2	4835575.45
00119_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1187.63	1628231.45	4835845.98	1628251.93	4835863.75
00111PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1107.71	1628183.87	4835906.36	1628196.17	4835929.73
00111PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1103.64	1628176.54	4835900.83	1628188.57	4835924.28
00102_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	1023.94	1628109.36	4835911.21	1628103.82	4835933.78
00097PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	966.18	1628054.04	4835895.33	1628048.55	4835916.2
00097PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	813.1	1627904.95	4835856.73	1627902.11	4835879.46
00074PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	749.16	1627840.58	4835849.65	1627839.42	4835871.45
00074PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	743.06	1627834.59	4835849.33	1627833.43	4835871.13
00051_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	514.28	1627606.27	4835824.29	1627606.38	4835852.52
00042_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	415.59	1627508.04	4835852.99	1627515.93	4835869.89
00038_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	382.21	1627481.14	4835882.03	1627495.74	4835888.78
00023PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	234.39	1627415.77	4836009.89	1627426.68	4836030.35
00023PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	222.83	1627401.8	4836007.51	1627412.89	4836029.5
00008_19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	80.64	1627270.61	4836071.97	1627287.4	4836091.75
00007PB19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	74.31	1627269.93	4836087.56	1627287.84	4836092.29
00007PC19	Fosso del Corso	Gauss-Boaga > Roma 40	26.03	1627280.34	4836136.85	1627296.36	4836138.13

**ALLEGATO 3: RISULTATI MODELLISTICA IDRAULICA**

**RISULTATI MODELLO IDRAULICO  
TR 30 ANNI**

FOSSO NUOVO CILECCHIO								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h
00311__19	10.63	10.62	10.62	10.61	0.64	0.73	0.84	0.89
00267PB19	10.68	10.68	10.67	10.66	0.71	0.79	0.89	0.93
00267PC19	10.70	10.69	10.68	10.66	0.87	0.92	0.98	1.01
00231__19	10.75	10.74	10.71	10.68	1.07	1.10	1.13	1.16
00219PB19	10.75	10.74	10.71	10.68	1.24	1.26	1.28	1.29
00219PC19	10.75	10.74	10.71	10.68	1.31	1.32	1.33	1.34
00210__19	10.74	10.73	10.71	10.67	1.38	1.39	1.40	1.40
00207__19	10.74	10.73	10.71	10.67	1.42	1.43	1.43	1.44
00198PB19	10.72	10.72	10.69	10.65	2.55	2.49	2.41	2.37
00198PC19	10.70	10.69	10.67	10.63	2.58	2.52	2.46	2.42
00184PB19	10.65	10.65	10.62	10.58	2.63	2.59	2.53	2.48
00184PC19	10.63	10.62	10.59	10.56	2.81	2.77	2.72	2.65
00130PB19	10.30	10.29	10.26	10.22	3.13	3.10	3.01	2.91
00130PC19	10.25	10.24	10.21	10.18	3.47	3.44	3.31	3.17
00076__19	9.88	9.88	9.85	9.82	3.82	3.78	3.62	3.44
00074PB19	9.85	9.85	9.82	9.79	4.01	3.96	3.78	3.58
00074PC19	9.85	9.84	9.81	9.78	4.19	4.14	3.94	3.72
00019PB19	9.48	9.48	9.48	9.48	4.55	4.49	4.25	4.00
00019PC19	9.48	9.48	9.48	9.48	4.78	4.71	4.45	4.17
00005__08	9.44	9.44	9.44	9.44	4.82	4.76	4.49	4.20

FOSSO DEL PAESE								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h
00072__19	11.64	11.63	11.62	11.62	0.06	0.06	0.06	0.05
00062PB19	11.16	11.11	11.04	10.96	0.12	0.11	0.10	0.09
00062PC19	10.94	10.93	10.89	10.85	0.24	0.23	0.20	0.17
00050__19	10.89	10.88	10.84	10.80	0.34	0.32	0.31	0.28
00040PB19	10.88	10.87	10.84	10.79	0.47	0.45	0.41	0.39
00040PC19	10.86	10.85	10.81	10.77	0.57	0.55	0.52	0.48
00024PB19	10.85	10.84	10.81	10.76	0.71	0.69	0.65	0.59
00024PC19	10.78	10.77	10.74	10.70	0.79	0.76	0.72	0.65
00023__19	10.77	10.76	10.74	10.70	0.85	0.82	0.77	0.70
00012PB19	10.77	10.76	10.73	10.70	0.90	0.87	0.82	0.74
00012PC19	10.75	10.74	10.72	10.68	1.72	1.66	1.57	1.46
00002__19	10.74	10.73	10.70	10.67	1.71	1.66	1.57	1.46
00001__19	10.74	10.73	10.71	10.67	1.71	1.66	1.57	1.46

FOSSO MONTINO MORETTI								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h
00100_19	11.27	11.24	11.20	11.17	0.29	0.25	0.20	0.17
00066PB19	11.19	11.17	11.14	11.12	0.43	0.37	0.31	0.26
00066PC19	11.12	11.11	11.10	11.09	0.60	0.52	0.42	0.36
00063_19	11.12	11.11	11.10	11.09	0.37	0.33	0.28	0.25
00061PB19	11.12	11.11	11.10	11.09	0.16	0.15	0.14	0.14
00061PC19	11.05	11.04	11.00	10.97	0.16	0.16	0.15	0.15
00056PB19	11.05	11.04	11.00	10.97	0.17	0.17	0.16	0.15
00056PC19	11.03	11.03	10.99	10.96	0.19	0.18	0.17	0.17
00054PB19	11.03	11.03	10.99	10.96	0.20	0.19	0.18	0.18
00054PC19	11.02	11.02	10.98	10.95	0.20	0.20	0.19	0.20
00051PB19	11.02	11.02	10.98	10.95	0.22	0.21	0.23	0.24
00051PC19	11.00	10.99	10.95	10.92	0.25	0.24	0.25	0.26
00046PB19	11.00	10.99	10.95	10.92	0.32	0.31	0.30	0.31
00046PC19	10.86	10.85	10.82	10.80	0.49	0.47	0.44	0.42
00016PB19	10.84	10.83	10.80	10.78	0.65	0.62	0.56	0.52
00016PC19	10.79	10.78	10.75	10.72	0.73	0.69	0.62	0.58
00008PB19	10.78	10.77	10.75	10.71	0.72	0.68	0.61	0.57
00008PC19	10.77	10.76	10.73	10.70	0.68	0.65	0.60	0.57
00000_19	10.77	10.76	10.73	10.70	0.72	0.68	0.65	0.62

CANALE EMISSARIO DI BIENTINA								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h
02623_08	6.42	6.42	6.42	6.42	85.76	85.76	85.76	85.75
02566_08	6.26	6.26	6.26	6.26	85.82	85.82	85.82	85.81
02517_08	6.14	6.14	6.14	6.13	85.94	85.93	85.93	85.92
02495PB19	6.05	6.05	6.05	6.05	86.00	85.99	85.99	85.97
02495PC19	6.04	6.04	6.04	6.03	86.03	86.02	86.02	86.00
02471PB19	5.91	5.91	5.91	5.90	86.05	86.04	86.04	86.01
02471PC19	5.89	5.89	5.89	5.89	86.58	86.57	86.57	86.54
02443_08	5.79	5.79	5.78	5.78	86.60	86.59	86.59	86.56
02415_08	5.72	5.72	5.72	5.72	92.04	92.11	92.02	91.75
02357_08	5.56	5.56	5.56	5.56	92.04	92.11	92.02	91.75

FOSSO VECCHIO								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h
00282_19	10.71	10.78	10.83	10.85	0.37	0.40	0.39	0.34
00252PB19	10.70	10.78	10.83	10.85	0.55	0.60	0.58	0.52
00252PC19	10.70	10.78	10.83	10.85	0.77	0.83	0.82	0.73
00203PB19	10.70	10.78	10.83	10.84	1.83	2.01	1.98	1.76
00004PP19	7.25	7.29	7.32	7.34	0.67	0.68	0.69	0.69
00003PP19	7.26	7.30	7.33	7.35	0.67	0.68	0.69	0.69
00001PC19	5.91	5.91	5.91	5.90	0.67	0.68	0.69	0.69

FFSS								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h
00019_19	10.69	10.78	10.83	10.84	0.06	0.07	0.06	0.05
00012PB19	10.69	10.78	10.83	10.84	0.09	0.10	0.09	0.08
00012PC19	10.69	10.78	10.83	10.84	0.14	0.14	0.12	0.10
00007_19	10.69	10.78	10.83	10.84	0.16	0.20	0.21	0.21
00001PB19	10.69	10.78	10.83	10.84	0.28	0.39	0.41	0.41
00001PC19	10.70	10.78	10.83	10.84	0.28	0.39	0.41	0.41

FOSSO DEL CORSO								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h	tr30 4h	tr30 6h	tr30 9h	tr30 12h
00244__19	11.37	11.36	11.34	11.32	0.15	0.15	0.13	0.11
00235__19	10.93	10.93	10.91	10.88	0.22	0.22	0.20	0.17
00233PB19	10.92	10.91	10.89	10.87	0.31	0.30	0.27	0.24
00233PC19	10.72	10.71	10.67	10.62	0.38	0.36	0.32	0.28
00229PB19	10.68	10.67	10.63	10.59	0.43	0.42	0.38	0.33
00229PC19	10.12	10.12	10.08	10.05	0.48	0.47	0.42	0.37
00227__19	10.04	10.03	9.99	9.95	0.59	0.57	0.51	0.44
00221PB19	9.96	9.96	9.91	9.84	0.70	0.68	0.60	0.53
00221PC19	9.94	9.94	9.89	9.83	0.84	0.81	0.72	0.63
00211__19	9.86	9.86	9.82	9.75	1.08	1.06	0.93	0.82
00200__19	9.75	9.75	9.71	9.61	1.28	1.27	1.14	1.03
00199__19	9.75	9.75	9.71	9.61	1.44	1.43	1.31	1.19
00185PB19	9.71	9.71	9.67	9.56	1.67	1.66	1.51	1.36
00185PC19	9.70	9.70	9.66	9.55	1.94	1.92	1.74	1.57
00165__19	9.62	9.62	9.59	9.47	2.33	2.31	2.09	1.86
00155PB19	9.60	9.60	9.57	9.45	2.65	2.62	2.36	2.10
00155PC19	9.58	9.59	9.56	9.44	2.83	2.75	2.65	2.39
00119__19	9.55	9.55	9.52	9.40	3.33	3.24	3.17	2.87
00111PB19	9.54	9.55	9.52	9.40	3.66	3.62	3.52	3.18
00111PC19	9.53	9.53	9.51	9.39	3.79	3.74	3.63	3.28
00102__19	9.52	9.52	9.49	9.38	3.69	3.69	3.59	3.38
00097PB19	9.52	9.52	9.49	9.37	3.72	3.69	3.62	3.56
00097PC19	8.99	9.01	8.97	8.88	3.98	3.94	3.88	3.82
00074PB19	8.99	9.00	8.96	8.87	4.17	4.14	4.07	3.99
00074PC19	8.80	8.82	8.76	8.65	4.36	4.34	4.27	4.17
00051__19	8.76	8.77	8.71	8.59	4.72	4.69	4.63	4.50
00042__19	8.73	8.75	8.68	8.56	5.00	4.99	4.94	4.77
00038__19	8.73	8.75	8.68	8.56	5.20	5.20	5.14	4.96
00023PB19	8.72	8.74	8.67	8.54	5.43	5.45	5.37	5.16
00023PC19	8.71	8.73	8.66	8.53	5.65	5.69	5.58	5.35
00008__19	8.71	8.72	8.65	8.52	5.87	5.92	5.79	5.53
00007PB19	8.65	8.67	8.60	8.48	5.98	6.02	5.89	5.61
00007PC19	5.83	5.84	5.83	5.80	5.98	6.01	5.89	5.61

**RISULTATI MODELLO IDRAULICO  
TR 200 ANNI**

FOSSO NUOVO CILECCHIO								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h
00311__19	10.64	10.64	10.65	10.66	1.07	1.09	1.13	1.14
00267PB19	10.71	10.71	10.70	10.70	1.07	1.19	1.30	1.33
00267PC19	10.74	10.73	10.72	10.71	1.16	1.36	1.58	1.67
00231__19	10.82	10.81	10.80	10.78	1.24	1.42	1.62	1.72
00219PB19	10.82	10.82	10.81	10.78	1.30	1.47	1.66	1.75
00219PC19	10.82	10.82	10.81	10.78	1.33	1.50	1.67	1.76
00210__19	10.82	10.82	10.81	10.78	1.37	1.52	1.69	1.78
00207__19	10.82	10.82	10.81	10.78	1.39	1.53	1.70	1.79
00198PB19	10.81	10.81	10.79	10.77	2.59	2.52	2.43	2.37
00198PC19	10.79	10.79	10.77	10.75	2.55	2.51	2.46	2.42
00184PB19	10.76	10.75	10.74	10.71	2.60	2.56	2.51	2.48
00184PC19	10.74	10.73	10.71	10.68	2.76	2.75	2.73	2.69
00130PB19	10.49	10.48	10.45	10.41	3.19	3.21	3.18	3.12
00130PC19	10.42	10.42	10.39	10.35	3.79	3.78	3.69	3.56
00076__19	10.14	10.13	10.10	10.07	4.41	4.37	4.20	4.00
00074PB19	10.11	10.10	10.07	10.05	4.74	4.68	4.47	4.24
00074PC19	10.10	10.09	10.07	10.04	5.07	4.99	4.74	4.47
00019PB19	9.78	9.78	9.78	9.78	5.70	5.59	5.26	4.92
00019PC19	9.78	9.78	9.78	9.78	6.09	5.97	5.59	5.20
00005__08	9.75	9.75	9.75	9.75	6.17	6.05	5.65	5.26

FOSSO DEL PAESE								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h
00072__19	11.67	11.67	11.66	11.65	0.07	0.07	0.07	0.07
00062PB19	11.49	11.42	11.31	11.21	0.16	0.15	0.14	0.13
00062PC19	11.04	11.03	11.00	10.97	0.36	0.34	0.29	0.26
00050__19	10.98	10.97	10.95	10.93	0.50	0.46	0.40	0.36
00040PB19	10.97	10.96	10.94	10.92	0.52	0.49	0.45	0.44
00040PC19	10.95	10.94	10.92	10.90	0.54	0.53	0.54	0.55
00024PB19	10.94	10.93	10.92	10.90	0.69	0.70	0.71	0.71
00024PC19	10.85	10.85	10.83	10.81	0.82	0.82	0.81	0.81
00023__19	10.85	10.85	10.83	10.81	0.94	0.92	0.90	0.88
00012PB19	10.84	10.84	10.83	10.80	1.05	1.01	0.97	0.94
00012PC19	10.83	10.83	10.82	10.79	1.86	1.78	1.74	1.73
00002__19	10.82	10.82	10.81	10.78	1.85	1.78	1.74	1.73
00001__19	10.82	10.82	10.81	10.78	1.85	1.78	1.74	1.73

FOSSO MONTINO MORETTI								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h
00100_19	11.36	11.34	11.30	11.27	0.45	0.40	0.33	0.28
00066PB19	11.25	11.24	11.22	11.20	0.62	0.57	0.49	0.42
00066PC19	11.16	11.15	11.15	11.14	0.84	0.78	0.67	0.58
00063_19	11.14	11.14	11.14	11.13	0.51	0.47	0.41	0.36
00061PB19	11.14	11.14	11.14	11.13	0.16	0.15	0.15	0.14
00061PC19	11.08	11.08	11.08	11.07	0.17	0.16	0.15	0.15
00056PB19	11.08	11.08	11.08	11.07	0.19	0.18	0.17	0.16
00056PC19	11.06	11.06	11.06	11.05	0.24	0.22	0.20	0.19
00054PB19	11.06	11.06	11.06	11.05	0.25	0.23	0.20	0.19
00054PC19	11.05	11.05	11.05	11.04	0.21	0.21	0.21	0.20
00051PB19	11.05	11.05	11.05	11.04	0.24	0.25	0.26	0.27
00051PC19	11.04	11.03	11.03	11.02	0.26	0.26	0.27	0.28
00046PB19	11.03	11.03	11.03	11.02	0.33	0.32	0.31	0.32
00046PC19	10.92	10.92	10.90	10.88	0.52	0.50	0.49	0.48
00016PB19	10.90	10.89	10.88	10.86	0.73	0.70	0.66	0.64
00016PC19	10.86	10.86	10.84	10.82	0.84	0.79	0.74	0.72
00008PB19	10.85	10.85	10.84	10.82	0.82	0.77	0.73	0.71
00008PC19	10.84	10.84	10.83	10.81	0.75	0.70	0.67	0.66
00000_19	10.84	10.84	10.83	10.80	0.76	0.72	0.68	0.67

CANALE EMISSARIO DI BIENTINA								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h
02623_08	6.42	6.42	6.42	6.42	85.76	85.76	85.76	85.76
02566_08	6.26	6.26	6.26	6.26	85.83	85.82	85.82	85.82
02517_08	6.14	6.14	6.14	6.14	85.95	85.93	85.93	85.93
02495PB19	6.06	6.06	6.06	6.06	86.02	85.99	86.00	85.99
02495PC19	6.04	6.04	6.04	6.04	86.05	86.02	86.03	86.02
02471PB19	5.91	5.91	5.91	5.91	86.07	86.03	86.04	86.03
02471PC19	5.90	5.90	5.90	5.90	86.61	86.56	86.57	86.56
02443_08	5.79	5.79	5.79	5.79	86.63	86.58	86.60	86.58
02415_08	5.73	5.73	5.73	5.73	92.43	92.46	92.43	92.36
02357_08	5.57	5.57	5.57	5.57	92.43	92.46	92.43	92.36

FOSSO VECCHIO								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h
00282_19	10.93	10.96	10.96	10.95	0.70	0.69	0.64	0.56
00252PB19	10.93	10.96	10.96	10.95	1.06	1.03	0.96	0.85
00252PC19	10.93	10.95	10.96	10.95	1.48	1.44	1.34	1.19
00203PB19	10.91	10.93	10.94	10.93	3.60	3.49	3.27	2.89
00004PP19	7.36	7.38	7.40	7.40	0.69	0.69	0.69	0.70
00003PP19	7.37	7.39	7.41	7.41	0.69	0.70	0.70	0.70
00001PC19	5.91	5.91	5.91	5.91	0.69	0.70	0.70	0.70

FFSS								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h
00019_19	10.89	10.91	10.92	10.92	0.10	0.08	0.08	0.07
00012PB19	10.89	10.91	10.92	10.92	0.15	0.12	0.11	0.10
00012PC19	10.90	10.92	10.92	10.92	0.19	0.18	0.15	0.13
00007_19	10.90	10.92	10.92	10.92	0.22	0.20	0.23	0.22
00001PB19	10.90	10.92	10.92	10.93	0.43	0.40	0.44	0.44
00001PC19	10.91	10.93	10.94	10.93	0.43	0.40	0.45	0.45

FOSSO DEL CORSO								
Sezione	LIVELLI MASSIMI [m slm]				PORTATE MASSIME [mc/s]			
	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h	tr200 4h	tr200 6h	tr200 9h	tr200 12h
00244__19	11.43	11.43	11.41	11.40	0.19	0.19	0.19	0.18
00235__19	11.06	11.05	11.01	10.98	0.35	0.34	0.30	0.27
00233PB19	11.05	11.03	10.99	10.96	0.52	0.50	0.43	0.37
00233PC19	10.85	10.84	10.81	10.78	0.63	0.61	0.53	0.46
00229PB19	10.77	10.77	10.75	10.72	0.64	0.62	0.56	0.50
00229PC19	10.27	10.26	10.22	10.18	0.64	0.63	0.59	0.54
00227__19	10.22	10.21	10.16	10.11	0.84	0.82	0.75	0.68
00221PB19	10.18	10.16	10.12	10.06	1.03	1.00	0.92	0.82
00221PC19	10.14	10.13	10.08	10.03	1.27	1.22	1.11	0.98
00211__19	10.06	10.05	10.01	9.96	1.69	1.64	1.47	1.30
00200__19	9.96	9.95	9.92	9.86	2.05	2.02	1.85	1.64
00199__19	9.96	9.95	9.91	9.86	2.36	2.33	2.16	1.91
00185PB19	9.89	9.88	9.85	9.80	2.75	2.72	2.50	2.20
00185PC19	9.87	9.87	9.83	9.79	3.23	3.18	2.90	2.54
00165__19	9.73	9.73	9.71	9.69	3.75	3.69	3.38	2.99
00155PB19	9.70	9.69	9.68	9.67	4.15	4.08	3.75	3.35
00155PC19	9.66	9.66	9.66	9.64	3.64	3.61	3.44	3.21
00119__19	9.62	9.62	9.61	9.60	3.48	3.46	3.43	3.40
00111PB19	9.62	9.62	9.61	9.60	3.87	3.90	3.88	3.86
00111PC19	9.60	9.60	9.60	9.59	4.02	4.05	4.03	4.01
00102__19	9.59	9.59	9.58	9.57	3.78	3.83	3.73	3.72
00097PB19	9.59	9.59	9.58	9.57	3.76	3.77	3.70	3.66
00097PC19	9.15	9.15	9.13	9.09	4.02	4.02	3.95	3.92
00074PB19	9.14	9.14	9.12	9.08	4.28	4.24	4.16	4.11
00074PC19	8.97	8.98	8.96	8.92	4.52	4.46	4.37	4.30
00051__19	8.93	8.94	8.92	8.88	5.13	5.03	4.90	4.81
00042__19	8.91	8.92	8.90	8.86	5.56	5.45	5.30	5.21
00038__19	8.91	8.92	8.90	8.86	5.48	5.43	5.37	5.33
00023PB19	8.90	8.91	8.89	8.85	5.64	5.69	5.66	5.58
00023PC19	8.89	8.90	8.88	8.84	5.96	6.01	5.98	5.86
00008__19	8.88	8.89	8.87	8.83	6.33	6.37	6.31	6.14
00007PB19	8.83	8.84	8.82	8.78	6.40	6.43	6.37	6.24
00007PC19	5.86	5.86	5.86	5.85	6.29	6.31	6.27	6.20

**ALLEGATO 4A: NOTA AUTORITY DI BACINO DISTRETTUALE APPENNINO SETTENTRIONALE**



## Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

Prot. n.                      del

ARCH. ANNA GUERRIERO

URBANISTICA EDILIZIA PRIVATA

Trasmesso per PEC: [comune.calcinaia@postacert.toscana.it](mailto:comune.calcinaia@postacert.toscana.it)

**Oggetto:** Informazioni rischio idraulico

In riferimento alla vostra mail, con la quale sono stati richiesti i dati idraulici disponibili per il tratto del F. Arno nel territorio comunale di Calcinaia, si comunica quanto segue.

Si rileva che nel territorio comunale di Calcinaia il Fiume Arno non determina allagamenti diretti e pertanto il battente idraulico extra alveo non risulta disponibile. La perimetrazione della pericolosità da alluvione del PGRA deriva da informazioni di tipo storico-inventariale (derivate dal previgente PAI), con possibili allagamenti derivanti dal reticolo secondario sia per effetto di allagamento diretto che di rigurgito rispetto ai livelli del F.Arno.

Si forniscono pertanto i dati disponibili relative ai livelli idrici in alveo lungo l'asta del Fiume Arno. Nel dettaglio:

- Nel tratto a monte del Canale Scolmatore il modello idraulico di riferimento è il modello SIMI, redatto in fase di adozione del previgente Piano Stralcio Assetto Idrogeologico, pertanto si allega lo shape delle sezioni idrauliche con associata la tabella delle grandezze idrauliche disponibili (livello idrico e portata per tempo di ritorno 30 e 200 anni).
- Nel tratto a valle del Canale Scolmatore è stato realizzato un aggiornamento del quadro conoscitivo dall'amministrazione comunale di Pisa che ha redatto, in coordinamento con questa Autorità di Distretto, uno studio idraulico nel tratto compreso tra lo Scolmatore e la foce del F. Arno, di cui si allega un estratto (relazione di sintesi, tecnica e Allegato A e B con tabelle delle grandezze idrauliche e tavole con raster della distribuzione dei volumi esondati).

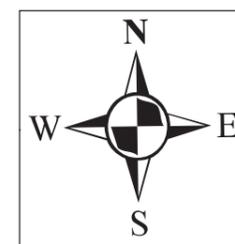
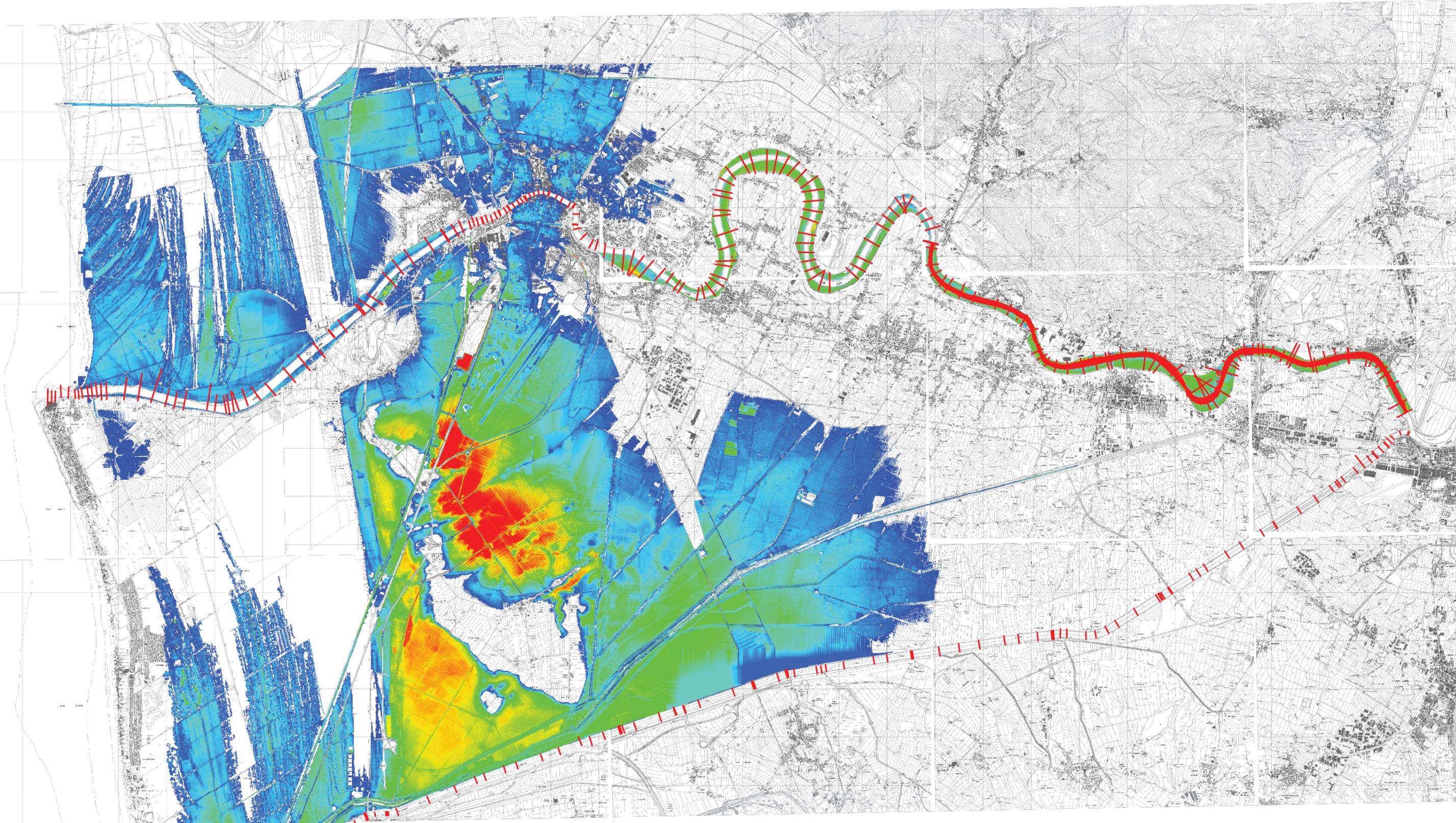
Si rappresenta infine che le velocità in alveo, derivabili dalle tabelle delle grandezze idrauliche, non possono trovare applicazione nel contesto extra-alveo, in quanto determinate per condizioni di moto in alcun modo comparabili.

Rimanendo a disposizione per ogni eventuale chiarimento si porgono cordiali saluti.

Il Segretario Generale  
Ing. Massimo Lucchesi

MB\vf

**ALLEGATO 4B: AREE ALLAGATE SCOLMATORE ARNO – STUDIO DHI**



**LEGENDA**

- SEZIONI
- TR 200 Max Tiranti
- High : 5
- Low : 0



**ELABORATO 22801252-01-00200**  
**ALLEGATO B – Massimi tiranti TR 200 anni**

**ALLEGATO 4C: RISULTATI STUDIO AREA VASTA SCOLMATORE USCIANA**



Consorzio Bonifica  
Padule di Fucecchio



**STUDIO DI AREA VASTA PER L'ATTUAZIONE DELLE PREVISIONI DEL PIANO DI BACINO DEL FIUME ARNO - STRALCIO RISCHIO IDRAULICO (D.P.C.M. 5/1/99) - SUL BACINO DELL'USCIANA E PER INTERVENTI DI SALVAGUARDIA DEL SISTEMA IDRICO AFFERENTE AL PADULE DI FUCECCHIO**



<b>Progetto di Area Vasta</b>		<b>DATA</b> 15-11-04	<b>1/2</b>
<b>Rel. 1</b>	<b>Relazione Tecnica</b>  VERIFICA DEL SISTEMA IDRAULICO DEL PADULE DI FUCECCHIO		<b>NOME FILE</b> Relazione_Tecnica.pdf
			<b>TAVOLA</b> -----
<b>GRUPPO DI LAVORO</b> Ing. David Settesoldi (Coordinatore) Ing. Pietro Nardi Ing. Luca Bracall Geom. Roberto Battaglini		<b>EMESSO</b> Ing. Pietro Nardi Ing. Luca Bracall Geom. Roberto Battaglini	
		<b>APPROVATO</b> Ing. David Settesoldi	

Progetto di Area Vasta - Allegato 3  
Risultati della modellazione Tr=30 anni

(pag. 290)

Cassa	H [m]	V [mc]	s[mc/s]
ape2022	15,10838	0	0
ape2024	13,48953	0	0
ape2026	15,64251	0	0
ape2028	18,54304	0	0
ape2030	17,60525	0	0
ape2032	14,06417	0	0
ape2034	13,18875	0	0
ape2036	13,63119	0	0
ape2038	14,66467	0	0

Progetto di Area Vasta - Allegato 3  
Risultati della modellazione Tr=500 anni

(pag. 376)

Cassa	H [m]	V [mc]	s[mc/s]
ape2022	15,10838	0	0
ape2024	13,48953	0	0
ape2026	15,64251	0	0
ape2028	18,54304	0	0
ape2030	17,60525	0	0
ape2032	14,06417	0	0
ape2034	13,18875	0	0
ape2036	13,63119	0	0
ape2038	14,66467	0	0





**ALLEGATO 5: ESITI ISTRUTTORIA PRELIMINARE GENIO CIVILE VALDARNO INFERIORE DEL 11/09/2019**



**OGGETTO:** Indagini idrologico-idrauliche di supporto al vigente Regolamento Urbanistico comunale ed al Piano Strutturale Intercomunale Unione Valdera ai sensi della L.R. 41/2018

Comunicazione esiti istruttoria preliminare

Comune di Calcinaia  
Sezione Pianificazione e Governo del Territorio  
c.a. Arch. Anna Guerriero

Con nota del 19/08/2019, pervenuta al protocollo regionale n. AOOGR/315384 del 19/08/2019, codesto Comune ha inoltrato a questo Settore gli studi idraulici in oggetto, ai sensi di quanto previsto dall'art. 20, comma 1, della L.R. 41/2018. Tali studi comportano la modifica delle mappe di pericolosità di alluvione fluviale del Piano di Gestione Rischio Alluvioni, UOM Arno - Reticolo minore. In tale fattispecie si da atto a codesto Comune di aver intrapreso le necessarie azioni di coordinamento tra questo Settore e l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, così come previsto dall'art. 14, comma 5, della Disciplina del suddetto Piano.

Nell'ambito dell'incontro di coordinamento svoltosi a Firenze in data 11/09/2019 presso gli uffici della sopra citata Autorità di Bacino sono state dunque rappresentate le metodologie, i criteri e la modellistica utilizzati per la redazione dei suddetti studi, nonché i risultati acquisiti. In tale contesto si ricordano gli aspetti più salienti emersi dall'incontro:

- nello studio del corso d'acqua denominato Fosso Vecchio dovrà essere rivalutato l'effettivo dimensionamento dell'intero tratto del tombamento esistente nel tratto adiacente la S.R. Tosco-Romagnola, a fronte del significativo sviluppo dello stesso. Tale verifica è necessaria per valutare eventuali variazioni della sezione utile al deflusso;
- lo studio idrologico-idraulico del corso d'acqua denominato Fossa Nuova dovrà essere condiviso con il Comune di Bientina, al fine di assicurare coerenza e raccordo delle perimetrazioni con l'adiacente territorio del medesimo Comune, nonché per garantire omogeneità metodologica nella richiesta di modifica delle perimetrazioni del PGRA a scala di bacino.

Si comunica inoltre che nel corso delle prime analisi istruttorie eseguite è emersa la necessità di verificare gli aspetti pluviometrici contenuti nello studio idraulico del progetto "*Realizzazione Nuovo Fosso Lucaia nel Comune di Calcinaia*", datato dicembre 2011, rispetto ai dati più aggiornati contenuti nell' "*Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme - LSPP*" (Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze) di cui alla DGRT 1133/2012.

Infine si comunica che la necessità di procedere alla modifica del reticolo idrografico di cui all'art. 22, comma 2, lett. e) della L.R. 79/2012, illustrata nella Tav. 1A, conseguente alle verifiche di dettaglio effettuate nell'ambito degli studi in oggetto, dovrà essere formalizzata a questo Settore, con specifica nota di codesto Comune, al fine dell'attivazione dell'istruttoria di competenza.

Distinti saluti

Il Dirigente  
Ing. Francesco Pistone

Referenti istruttoria:

G. Ceravolo  
S. Dell'aiuto

**ALLEGATO 6: ESITI ISTRUTTORIA GENIO CIVILE VALDARNO INFERIORE DEL 28/01/2020**



**OGGETTO:** Indagini idrologico-idrauliche di supporto al vigente Regolamento Urbanistico comunale ed al Piano Strutturale Intercomunale Unione Valdera ai sensi dell'art. 20 della L.R. 41/2018

Comunicazione esiti istruttoria

Comune di Calcinaia  
Sezione Pianificazione e Governo del Territorio  
c.a. Arch. Anna Guerriero

p.c. Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale  
c.a. Ing. Serena Franceschini

Con nota del 19/08/2019, pervenuta al protocollo regionale n. AOOGR/315384 del 19/08/2019, codesto Comune ha inoltrato a questo Settore gli studi idraulici in oggetto, ai sensi di quanto previsto dall'art. 20, comma 1, della L.R. 41/2018, che comportano la modifica delle mappe di pericolosità di alluvione fluviale del Piano di Gestione Rischio Alluvioni, UOM Arno - Reticolo minore.

Con nota n. AOOGR/0350327 del 20/09/2019 questo Settore, a seguito dell'illustrazione dei suddetti studi nell'ambito dell'incontro di coordinamento svoltosi a Firenze in data 11/09/2019 presso gli uffici dell'Autorità di Bacino Distrettuale, ha comunicato a codesto Comune gli esiti di una prima istruttoria preliminare condotta sulla documentazione trasmessa. Successivamente ha fatto seguito la comunicazione istruttoria mail del 03/12/2019 relativamente alle "controdeduzioni" trasmesse da codesto Comune con mail del 22/11/2019 (tali comunicazioni ad ogni buon conto vengono allegare in copia alla presente).

Fermo restando quanto sopra, di seguito si riportano gli esiti dell'istruttoria condotta sulla documentazione trasmessa.

1. In relazione agli studi citati nella relazione idrologico-idraulica inerenti il Canale Allacciante d'Usciana, un suo affluente e il nuovo Fosso Lucaia, condotti precedentemente all'anno 2012, si conferma la necessità di rivalutare gli aspetti pluviometrici rispetto ai dati più aggiornati contenuti nell'"Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme - LSPP" (Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze) di cui alla DGRT 1133/2012, così come richiamato nello stesso Allegato 3 alla Disciplina di Piano del PGRA.

2. In merito alle elaborazioni idrologiche condotte a supporto degli studi idraulici della Fossa Nuova, del Fosso Cilecchio, del Fosso Vecchio e del Fosso del Corso si rappresenta la necessità di analizzare anche eventi meteorici sintetici caratterizzati da ietogrammi non costanti. Ciò al fine di individuare gli eventi pluviometrici che massimizzano l'entità della portata di picco e dei volumi dell'onda di piena. Per la stessa finalità si rende inoltre necessario adottare per i bacini oggetto di studio valori del CN relativi alla classe III di condizione di umidità antecedente (AMC).

3. Lo studio condotto sul Fosso Arnaccio, non risulta sviluppato a livello di intero sottobacino ma indaga solo il tratto iniziale del corso d'acqua ricompreso all'interno del territorio comunale. Stante quanto sopra gli stessi studi non risultano coerenti con le disposizioni contenute all'art. 14 della Disciplina di Piano del PGRA per il riesame delle mappe a pericolosità idraulica da alluvione. In relazione a ciò, al fatto che il bacino idrografico di riferimento risulta molto contenuto, avendo origine tale canale in località "La Botte" subito a monte dell'abitato di Fornacette, e alla condizione che vede tale tratto di reticolo per lo più tombato, si propone di rivalutare la necessità di un suo effettivo studio anche acquisendo la condivisione della Autorità di Bacino Distrettuale che legge per conoscenza.

4. In merito allo studio del Canale Emissario del Bientina a valle della Botte di San Giovanni alla Vena si rappresenta che sono in corso di definizione da parte del Comune di Bientina analoghi studi idrologico-idraulici sullo stesso corso d'acqua nel tratto a monte della Botte. Le condizioni al contorno di mon-

E  
Comune di Calcinaia  
Comune di Calcinaia  
COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE DIGITALE  
Protocollo N. 0001186/2020 del 28/01/2020  
Firmatario: Federico Cioni



te assunte nelle modellazioni idrauliche dovranno pertanto risultare coerenti a quelle adottate nel suddetto studio condotto dal Comune di Bientina.

5. Occorre esplicitare la fonte scientifica (pubblicazioni, testi universitari e/o studi in adeguate sedi scientifiche e tecniche) dalla quale è stata assunta la tabella 4-2 presente nella relazione idrologica idraulica, avente ad oggetto l'assegnazione della scabrezza alle celle del modello idraulico bidimensionale in funzione dell'uso del suolo.

6. Si prende atto che per "quanto riguarda i corsi d'acqua minori non oggetto di studio analitico di dettaglio, è stato sviluppato un modello idraulico bidimensionale di tipo "qualitativo" sollecitato da input pluviometrici diffusi". In relazione a ciò si rende necessario acquisire maggiori informazioni sull'implementazione del modello idraulico (perimetro delle aree 2D indagate, condizioni al contorno e iniziali assegnate, caratteristiche dell'input pluviometrico, ecc.). Inoltre in relazione a tali approfondimenti non si riscontra negli elaborati trasmessi lo scenario Tr 30 anni. Le condizioni di pericolosità idraulica ricavate da tali studi dovranno confluire nella tavole delle planimetrie delle aree allagate e della pericolosità idrauliche ai sensi del DPGR n.53/R/2011 e del PGRA.

7. In relazione ai contenuti dell'Appendice A si rilevano alcune incoerenze rispetto alle informazioni contenute nel corpo della stessa relazione in merito al metodo di individuazione del valore CN e alla formula del calcolo del *lag time*. Si richiede inoltre di esplicitare le condizioni di moto simulate nella modellistica monodimensionale (approccio dell'onda cinematica, dell'onda diffusiva o dell'onda dinamica) nonché le formulazioni adottate per la simulazione dei tombini e dei ponti.

In merito alla necessità per il Fosso Vecchio di rivalutare l'effettivo dimensionamento dell'intero tombamento esistente nel tratto adiacente la S.R. Tosco-Romagnola, a fronte del significativo sviluppo dello stesso (nota n. AOOGR/0350327 del 20/09/2019), si resta in attesa della comunicazione degli esiti degli approfondimenti condotti da codesto Comune, già concordati nel corso dell'incontro del 10 dicembre u.s..

Restando disponibile per eventuali chiarimenti, porgo distinti saluti.

Il Responsabile P.O.  
Ing. Federico Cioni

E  
Comune di Calcinaia  
Comune di Calcinaia  
COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE DIGITALE  
Protocollo N.0001186/2020 del 28/01/2020  
Firmatario: Federico Cioni

**ALLEGATO 7: PLANIMETRIA DI RILIEVO TRATTO TOMBATO F. VECCHIO**

