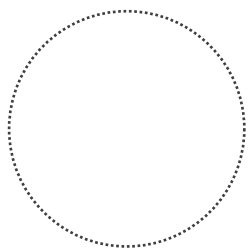


# Comune di San Casciano in Val di Pesa

## 2016

Provincia di Firenze



Sindaco  
**Massimiliano Pescini**  
Assessore Urbanistica ed Edilizia  
**Donatella Viviani**

Gruppo di Lavoro:

Progettazione  
**Architetto Silvia Viviani**

Collaboratori  
**Arch. Annalisa Pirrello**  
**Arch. Lucia Ninno**  
**Ing. Andrea Urbani**

Servizio Urbanistica ed Edilizia  
**Arch. Barbara Ronchi**  
**Arch. Sonia Ciapetti**  
**Arch. Costanza Cacciatori**  
**Arch. Sandra Anichini**

Aspetti Geologici, Idraulici e Idrogeologici  
**Dott. Geol. Simone Fiaschi**  
(Idrogeo Service Srl)  
**Dott. Geol. Alessandro Murratzu**  
(Idrogeo Service Srl)  
**Dott. Geol. Alessio Calvetti**  
(Idrogeo Service Srl)  
**Dott. Geol. Laila Taddei**  
(Idrogeo Service Srl)  
**Ing. Giacomo Gazzini**  
(Hydrogeo Ingegneria per  
l'ambiente e il territorio)

## Variante al Piano Strutturale

L.R. n.65 del 10 Novembre 2014

**INDAGINI IDROLOGICHE IDRAULICHE**

ai sensi del D.P.G.R. 53/R del 25/10/2011

Settembre 2016

**Relazione Idrologica - Idraulica**

## Indice generale

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO DELL'AMBITO D'INDAGINE E CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DEI CORSI D'ACQUA</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>RACCOLTA ED ANALISI DEI DATI DISPONIBILI</i> .....	5
2.1.1 Caratterizzazione topografica dei corsi d'acqua .....	5
2.1.2 Caratterizzazione delle aree di potenziale esondazione .....	6
<b>3. MODELLISTICA IDROLOGICA</b> .....	<b>7</b>
3.1 <i>REGIME PLUVIOMETRICO – STUDIO REGIONALE LSPP</i> .....	7
3.1.1 Calcolo della pioggia di progetto su un bacino idrografico .....	7
3.2 <i>CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO</i> .....	8
<b>4. MODELLISTICA IDRAULICA</b> .....	<b>13</b>
4.1 <i>MODELLISTICA MONODIMENSIONALE MIKE 11</i> .....	13
4.1.1 Modulo Idrodinamico (Hd) .....	13
4.1.2 Descrizione Delle Condizioni Di Moto Simulate.....	13
4.1.3 Equazioni Generali Di De Saint Venant.....	14
4.1.4 Simulazione Delle Correnti Veloci Con L'approccio Dell'onda Dinamica.....	14
4.1.5 Approssimazione Dell'onda Diffusiva.....	15
4.1.6 Descrizione In Corrispondenza Di Strutture .....	15
4.1.7 Resistenza D'attrito.....	16
4.1.8 Condizioni Iniziali .....	16
4.1.9 Metodo Di Soluzione.....	16
4.1.9.1 Condizioni Al Contorno.....	16
4.2 <i>MODELLISTICA BIDIMENSIONALE MIKE 21</i> .....	16
4.2.1 Modulo Idrodinamico (HD).....	17
4.3 <i>MODELLISTICA MIKE FLOOD</i> .....	19
4.4 <i>MODELLI IDRAULICI IMPLEMENTATI E CONDIZIONI AL CONTORNO</i> .....	19
<b>5. DETERMINAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA</b> .....	<b>20</b>
<b>6. STUDIO SUI RII MINORI</b> .....	<b>21</b>
<b>7. CONCLUSIONI DELLO STUDIO</b> .....	<b>23</b>

## Indice delle figure

Figura 3-1: Visualizzazione della risposta idrologica del bacino considerato.....	12
Figura 3-2: VParametri di calcolo della risposta idrologica del bacino considerato.....	12
Figura 6-1: Abitato di Cerbaia – Modello qualitativo .....	21
Figura 6-2: Abitato di Cerbaia – Modello di dettaglio.....	21

## Indice delle tabelle

Tabella 1: Valori Ks utilizzati nel presente studio .....	9
---	---

## 1. INTRODUZIONE

Lo Studio Hydrogeo Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio è stato incaricato dal Comune di San Casciano in Val di Pesa della "Redazione di studio idrogeologico idraulico di supporto alla variante al piano strutturale e di adeguamento del Piano di Bacino del Fiume Arno "Assetto Idrogeologico".

Con nota Prot. 101 del 13.01.2015 l'Autorità di Bacino del fiume Arno comunicava alle Amministrazioni interessate che il Comitato Istituzionale, in data 22.01.2014, ha preso atto del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGR), che dovrà essere approvato e pubblicato entro Dicembre 2015.

Rispetto ai rapporti tra PGR e atti di pianificazione l'Autorità di Bacino del Fiume Arno comunicava di sospendere fino a Dicembre 2015 tutti gli aggiornamenti cartografici del PAI, al fine di facilitare la confluenza univoca dello stesso nel PGR. I Comuni del Bacino potranno tuttavia attraverso il percorso di consultazione e partecipazione, proporre tutte le Osservazioni che riterranno necessarie.

Il Comune di San Casciano in val di Pesa provvedeva pertanto a convocare Conferenza dei Servizi per il giorno 26.02.2015, con la partecipazione dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, e dell'Ufficio del Genio Civile di Firenze, nella quale venivano definite le modalità di presentazione delle osservazioni al PGR da parte dell'Amministrazione comunale.

Ad Agosto 2015 è stato consegnato lo studio idrologico idraulico di supporto alla variante del Piano Strutturale e le osservazioni al Piano di Gestione Rischio Alluvioni per il Bacino del Fiume Arno, implementati nel territorio comunale, con l'individuazione delle condizioni di allagamento del territorio e le relative classi di pericolosità idraulica definite dal PGR stesso ed in particolare:

- Aree a pericolosità idraulica elevata (PI3), che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni.
- Aree a pericolosità idraulica media (PI2), con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni.
- Aree classificate a pericolosità bassa (PI1), caratterizzate da eventi alluvionali con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.

La presente relazione riporta e descrive gli studi idrologici idraulici implementati nell'ambito del territorio comunale, di supporto alla variante del Piano Strutturale, ai sensi del DPGR 53r/2011 che definisce le pericolosità idrauliche come segue:

- Aree a pericolosità idraulica molto elevata (I4), che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni.
- Aree a pericolosità idraulica elevata (I3), con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni.
- Aree a pericolosità media (I2), caratterizzate da eventi alluvionali con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.
- Aree a pericolosità bassa (I1), aree collinari o montane.

Lo studio analitico si propone di definire la pericolosità idraulica nelle zone di interesse, valutando gli input idrologici e modellando i corsi d'acqua costituenti la rete idraulica superficiale.

Lo schema metodologico scelto si basa essenzialmente su criteri analitici che, partendo dagli eventi di precipitazione, conducono 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 soggette a rischio, 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. Lo stesso ragionamento vale per i contributi di piena al corso d'acqua principale provenienti dagli affluenti.

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, tenendo conto che i contributi di piena degli interbacini sono valutati adottando la stessa durata di pioggia ed un coefficiente di ragguaglio areale tale da garantire una distribuzione spaziale uniforme dell'evento.

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.

Le simulazioni idrologiche-idrauliche sopra descritte sono eseguite per prefissati tempi di ritorno (TR=30-200-500 anni) assumendo, come durata dell'evento di pioggia, la durata critica che ragionevolmente crea le condizioni più gravose per i vari corsi d'acqua in termini di altezza d'acqua nelle sezioni fluviali.

Sono così definite le aree soggette ad inondazione, assumendo le condizioni più gravose che si verificano in ciascuna sezione. Si perviene quindi alla mappatura delle aree allagate per i diversi tempi di ritorno considerati.

Si riportano di seguito le fasi operative che consentono l'individuazione e la perimetrazione delle aree soggette a pericolosità idraulica su base analitica:

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

Di seguito si riporta l'elenco degli elaborati del presente studio.

**COMUNE DI SAN CASCIANO VAL DI PESA.**  
**REDAZIONE DI STUDIO IDROGEOLOGICO IDRAULICO DI SUPPORTO ALLA VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE E DI ADEGUAMENTO DEL PIANO DI BACINO DEL FIUME ARNO "ASSETTO IDROGEOLOGICO"**

**STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO**

**ELENCO ELABORATI**

codice	scala	descrizione
<b>Elaborati testuali</b>		
L47201S02TRII_A		Relazione Idrologica - Idraulica
L47201S02TRII1A		Risultati della modellistica Idrologica - Idraulica
<b>Elaborati grafici</b>		
L47201S02D001AA	1:15.000	Tavola 1A - Gerarchizzazione Fiume Greve - Quadro 1
L47201S02D001BA	1:15.000	Tavola 1B - Gerarchizzazione Fiume Greve - Quadro 2
L47201S02D002AA	1:15.000	Tavola 2A - Gerarchizzazione Torrente Pesa - Quadro 1
L47201S02D002BA	1:15.000	Tavola 2B - Gerarchizzazione Torrente Pesa - Quadro 2
L47201S02D002CA	1:15.000	Tavola 2C - Gerarchizzazione Torrente Pesa - Quadro 3
L47201S02D003AA	1:15.000	Tavola 3A - Calcolo Ia - Aree boscate Fiume Greve - Quadro 1
L47201S02D003BA	1:15.000	Tavola 3B - Calcolo Ia - Aree boscate Fiume Greve - Quadro 2
L47201S02D004AA	1:15.000	Tavola 4A - Calcolo Ia - Aree boscate Torrente Pesa - Quadro 1
L47201S02D004BA	1:15.000	Tavola 4B - Calcolo Ia - Aree boscate Torrente Pesa - Quadro 2
L47201S02D004CA	1:15.000	Tavola 4C - Calcolo Ia - Aree boscate Torrente Pesa - Quadro 3
L47201S02D005AA	1:15.000	Tavola 5A - Calcolo Ks - Geologia Fiume Greve - Quadro 1
L47201S02D005BA	1:15.000	Tavola 5B - Calcolo Ks - Geologia Fiume Greve - Quadro 2
L47201S02D006AA	1:15.000	Tavola 6A - Calcolo Ks - Geologia Torrente Pesa - Quadro 1
L47201S02D006BA	1:15.000	Tavola 6B - Calcolo Ks - Geologia Torrente Pesa - Quadro 2
L47201S02D006CA	1:15.000	Tavola 6C - Calcolo Ks - Geologia Torrente Pesa - Quadro 3
L47201S02D007_A	1:10.000	Tavola 7 - Modello Idraulico Fiume Greve
L47201S02D008_A	1:10.000	Tavola 8 - Modello Idraulico Torrente Pesa
L47201S02D009AA	1:10.000	Tavola 9A - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr30 1h
L47201S02D009BA	1:10.000	Tavola 9B - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr30 4h
L47201S02D009CA	1:10.000	Tavola 9C - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr30 7h
L47201S02D010AA	1:10.000	Tavola 10A - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr200 1h
L47201S02D010BA	1:10.000	Tavola 10B - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr200 4h
L47201S02D010CA	1:10.000	Tavola 10C - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr200 7h
L47201S02D011AA	1:10.000	Tavola 11A - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr500 1h
L47201S02D011BA	1:10.000	Tavola 11B - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr500 4h
L47201S02D011CA	1:10.000	Tavola 11C - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr500 7h
L47201S02D012AA	1:10.000	Tavola 12A - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr30 0.75h
L47201S02D012BA	1:10.000	Tavola 12B - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr30 1.75h
L47201S02D012CA	1:10.000	Tavola 12C - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr30 6.5h
L47201S02D012DA	1:10.000	Tavola 12D - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr30 8.5h
L47201S02D013AA	1:10.000	Tavola 13A - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr200 0.75h
L47201S02D013BA	1:10.000	Tavola 13B - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr200 1.75h
L47201S02D013CA	1:10.000	Tavola 13C - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr200 6.5h
L47201S02D013DA	1:10.000	Tavola 13D - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr200 8.5h
L47201S02D014AA	1:10.000	Tavola 14A - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr500 0.75h
L47201S02D014BA	1:10.000	Tavola 14B - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr500 1.75h
L47201S02D014CA	1:10.000	Tavola 14C - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr500 6.5h
L47201S02D014DA	1:10.000	Tavola 14D - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr500 8.5h
L47201S02D015_A	1:5000	Tavola 15 - Battenti Idraulici Borro delle Felci - Tr30 0.75h
L47201S02D016_A	1:5000	Tavola 16 - Battenti Idraulici Borro delle Felci - Tr200 0.75h
L47201S02D017_A	1:5000	Tavola 17 - Battenti Idraulici Borro delle Felci - Tr500 0.75h
L47201S02D018_A	1:10.000	Tavola 18 - Pericolosità Idrauliche Fiume Greve ai sensi del D LGS 49/2010 (PGRA)
L47201S02D019_A	1:10.000	Tavola 19 - Pericolosità Idrauliche Torrente Pesa ai sensi del D LGS 49/2010 (PGRA)
L47201S02D020_A	1:10.000	Tavola 20 - Pericolosità Idrauliche Fiume Greve ai sensi del DPGR 53r/2011
L47201S02D021_A	1:10.000	Tavola 21 - Pericolosità Idrauliche Torrente Pesa ai sensi del DPGR 53r/2011
L47201S02D022_A	1:5000	Tavola 22 - Pericolosità Idrauliche Borro delle Felci ai sensi del DPGR 53r/2011
L47201S02D023_A	Varie	Tavola 23 - Libretto Sezioni con Livelli Idrometrici TR 30 - 200 - 500 Anni - Fiume Greve e Affluenti
L47201S02D024_A	Varie	Tavola 24 - Libretto Sezioni con Livelli Idrometrici TR 30 - 200 - 500 Anni - Torrente Pesa e Affluenti
L47201S02D025_A	1:200	Tavola 25 - Pericolosità Idraulica Borro delle Felci Stato di Progetto
L47201S02D026AA	1:10000	Tavola 26A - Carta delle aree allagabili dei Rii Minori - Quadro 1
L47201S02D026BA	1:10000	Tavola 26B - Carta delle aree allagabili dei Rii Minori - Quadro 2

## **2. INQUADRAMENTO DELL'AMBITO D'INDAGINE E CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DEI CORSI D'ACQUA**

L'ambito di studio analitico è rappresentato dal territorio del Comune di San Casciano caratterizzato dalla presenza dei due corsi d'acqua principali, Torrente Pesa e Fiume Greve, e dei relativi affluenti.

Si riporta di seguito l'elenco dei corsi d'acqua studiati analiticamente nell'ambito del presente studio:

- Torrente Pesa;
- Torrente Sugana affluente in destra idraulica del Torrente Pesa;
- Borro del Fossato affluente in sinistra idraulica del Torrente Pesa;
- Borro di Argiano affluente in destra idraulica del Torrente Pesa;
- Borro di Canciulle affluente in destra idraulica del Torrente Pesa;
- Torrente Terzona affluente in destra idraulica del Torrente Pesa;
- Borro delle Felci, affluente in sinistra idraulica del Torrente Pesa;
- Fiume Greve;
- Borro di Sant' Angelo affluente in sinistra idraulica del Fiume Greve;
- Fosso di Battaglio affluente in sinistra idraulica del Fiume Greve.

I corsi d'acqua studiati con i relativi affluenti sono riportati in Tavola 7 - Modello Idraulico Fiume Greve ed in Tavola 8 - Modello Idraulico Torrente Pesa.

Nel resto del territorio comunale è stato implementato uno studio qualitativo sui Rii Minori, come descritto nel relativo paragrafo.

### **2.1 RACCOLTA ED ANALISI DEI DATI DISPONIBILI**

La base dati necessaria per lo svolgimento delle elaborazioni previste è stata acquisita dai vari enti territoriali. In particolare sono stati acquisiti:

1. Shape files della Regione Toscana di Uso del Suolo e Geolitologia
2. Nuove Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica della regione Toscana;
3. Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000 e 1:2000 ove presente;
4. Elaborati grafici e testuali del Piano per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Arno;
5. Rilievi Lidar lungo tutte le aste del Torrente Pesa e Fiume Greve, celle 1 x 1 metri, fornito dalla Regione Toscana;
6. Rilievi topografici di dettaglio eseguiti dallo scrivente tramite Gps e Stazione Totale serie Leica 1200, in coordinate WGS84 e convertiti in coordinate Gauss Boaga tramite le griglie di conversione fornite dall'Istituto Geografico Militare;
7. Sezioni trasversali del Fiume Greve e del Torrente Pesa fornite dal Consorzio di Bonifica della Toscana centrale;
8. Rilievo topografico di dettaglio fornito dallo Studio di Ingegneria Ing. Alessio Gabbrielli ed inerente allo Studio idrologico-idraulico del Torrente Greve nell'ambito del progetto di ampliamento dello stabilimento dell'Azienda "Castelli del GrevePesa".
9. Studio idraulico sul Borro delle Felci redatto dalla Val di Chienti Carburanti

Per quanto attiene allo Studio sul Borro delle Felci, questo è stato presentato dalla Val di Chienti Carburanti con Protocollo 5121/2016 del 22.03.2016. Lo studio è stato ritenuto congruo e coerente con lo studio implementato a livello comunale, e pertanto recepito all'interno della variante al Piano Strutturale.

Lo studio per altro riporta la pericolosità allo stato attuale del Borro delle Felci, e la pericolosità allo stato di progetto, a seguito della realizzazione degli interventi sul Borro stesso. Tali interventi risultano ad oggi realizzati, ma in attesa di collaudo. A fronte del collaudo con esito positivo la pericolosità da considerare sul Borro delle Felci sarà quella dello stato di progetto.

Dall'analisi dei dati sopra forniti, di carattere topografico, è emersa una buona conformità tra i rilievi eseguiti in campo dal Consorzio di Bonifica, dagli scriventi tramite strumentazione GPS e Smart Station, e il rilievo Lidar della Regione Toscana di seguito utilizzato per la modellazione delle aree esondabili.

#### **2.1.1 CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA DEI CORSI D'ACQUA**

Nel 2006 era stato eseguito dallo scrivente un rilievo topografico del Fiume Greve in corrispondenza dei Castelli del Greve Pesa.

Nel mese di Luglio - settembre 2011 e successivamente nell'anno 2013 è stato eseguito dallo scrivente un ulteriore rilievo topografico riguardante tutti i corsi d'acqua riportati di seguito, che integra le sezioni fluviali fornite dal Consorzio di Bonifica della Toscana Centrale sulle aste principali del Fiume Greve e del Torrente Pesa.

I corsi d'acqua studiati con i relativi affluenti sono riportati in Tavola 7 - Modello Idraulico Fiume Greve ed in Tavola 8 - Modello Idraulico Torrente Pesa, ed in particolare

- Torrente Pesa per un tratto di circa 14.5 Km, rappresentato da circa 180 sezioni di cui 6 ponti;
- Torrente Sugana affluente in destra idraulica del Torrente Pesa, per un tratto di circa 860 metri, rappresentato da circa 23 sezioni di cui 2 ponti ;
- Borro del Fossato affluente in sinistra idraulica del Torrente Pesa, per un tratto di circa 560 metri, rappresentato da circa 18 sezioni di cui 2 ponti;
- Borro di Argiano affluente in destra idraulica del Torrente Pesa, per un tratto di circa 260 metri, rappresentato da circa 10 sezioni di cui 3 ponti;
- Borro di Canciulle affluente in destra idraulica del Torrente Pesa, per un tratto di circa 400 metri, rappresentato da circa 6 sezioni di cui 1 ponti;
- Torrente Terzona affluente in destra idraulica del Torrente Pesa, per un tratto di circa 340 metri, rappresentato da circa 13 sezioni di cui 1 ponti;
- Borro delle Felci affluente in sinistra idraulica del Torrente Pesa, per un tratto di circa 400 metri, rappresentato da 12 sezioni di cui 1 sottoattraversamento della Firenze-Siena
- Fiume Greve per un tratto di circa 18.8 Km, rappresentato da circa 332 sezioni di cui 21 ponti;
- Borro di Sant' Angelo affluente in sinistra idraulica del Fiume Greve, per un tratto di circa 340, rappresentato da circa 9 sezioni di cui 3 ponti;
- Fosso di Battaglio affluente in sinistra idraulica del Fiume Greve, per un tratto di circa 250 metri, rappresentato da circa 6 sezioni di cui 1 ponti.

Dove necessario per la modellazione idraulica le sezioni sono state interpolate e/o duplicate.

Sono state inoltre rilevate le principali strutture antropiche presenti nell'area e, in particolare: la viabilità principale, gli attraversamenti, le opere ed i manufatti di contenimento, le casse di espansione già realizzate e che contribuiscono alla laminazione delle piene, presenti lungo ogni corso d'acqua oggetto di studio.

### 2.1.2 CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE DI POTENZIALE ESONDAZIONE

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, al fine di non gravare sulla simulazione stessa, il Digital Terrain Model è stato ricampionato a cella 10 x 10 metri. Ove tale ricampionamento ha provocato perdite delle peculiarità rilevanti del terreno, le stesse sono state reinserte sulla Bathimetry della modellistica idraulica. A titolo di esempio in alcune zone il ricampionamento delle celle ha causato la perdita di rilevati, argini trasversi etc, che influiscono in maniera determinante sulla dinamica di propagazione delle acque esondate. Tali opere puntuali sono state reinserte direttamente sul modello 2D utilizzato nella modellazione idraulica.

Lo stesso procedimento è stato utilizzato anche per la simulazione delle casse di espansione esistenti, le cui opere di sfioro sono state inserite direttamente nella modellistica idraulica, in termini di lunghezza e quota, nei casi in cui il ricampionamento della cella avesse perso l'informazione geometrica originaria. Le quote e lunghezze di sfioro sono state valutate anche con sopralluoghi specifici sul campo.

La simulazione del fenomeno esondativo si basa inoltre sulle seguenti ipotesi.

- I volumi idrici d'inondazione si generano esclusivamente per tracimazione sulle sommità arginali del corso d'acqua. Non sono considerati altri fenomeni quali, ad esempio, il collasso delle strutture arginali o fenomeni di rigurgito diversi da quelli già considerati nel presente studio; anche gli elementi infrastrutturali delimitanti le aree di inondazione, quali rilevati stradali, ferroviari, ecc., si considerano, al pari degli argini fluviali, tracimabili senza collasso.

In Tavola 7 - Modello Idraulico Fiume Greve ed in Tavola 8 - Modello Idraulico Torrente Pesa è riportato il DTM (Digital Terrain Model) utilizzato per l'implementazione della modellistica idraulica.

### 3. 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).

#### 3.1 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.

##### 3.1.1 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 utilizzare due metodologie per la valutazione delle altezze di pioggia.

**A. 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 (v. punti AB1-AB2).

Per tutti i bacini, sottobacini, ed interbacini considerati, e riportati ad esempio nelle Tavole 3A-3B per quanto concerne il Fiume Greve, e 4A-4B, per quanto riguarda il Torrente Pesa, si è proceduto per ogni Tempo di ritorno considerato, e per ogni durata, alla stima su ogni Grid delle LSPP del valore di altezza di pioggia, e successivamente alla determinazione del valor medio delle stesse.

I risultati del calcolo dell'input idrologico sono riportati nell'allegato Risultati Idrologici e idraulici, suddivisi per bacino e sottobacino di calcolo.



### 3.2 CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO

La determinazione degli idrogrammi di piena è stata effettuata secondo lo schema e la procedura che comunemente veniva utilizzata dalla *Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana*. **Nel caso specifico del presente studio, tutti i parametri necessari alla determinazione e formazione dell'onda di piena sono stati ricalcolati.**

Tale procedura parte dalla teoria dell'*Idrogramma Istantaneo Unitario (Instantaneous Unit Hydrograph, IUH)* dove i parametri in gioco sono ricavati dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, ottenendo così un *Idrogramma Istantaneo Unitario Geomorfologico* di cui vengono riportate di seguito le linee principali. Il modello di formazione dell'onda di piena adottato è quello proposto da Nash.

L'input meteorico è rappresentato da uno "*ietogramma sintetico ad intensità costante*" con il quale si assume che l'intensità di precipitazione sia costante durante l'intera evoluzione del fenomeno. Tale ietogramma consente la determinazione della portata al colmo di assegnato tempo di ritorno e durata dell'evento.

Il valore della pioggia lorda deve essere depurato delle perdite. La trasformazione afflussi-deflussi adottata prevede l'adozione di un "approccio asintotico a soglia" che richiede la stima di due parametri: la *perdita iniziale*, schematizzata introducendo un *volume unitario di perdita iniziale* (indicato con  $I_a$ ) che il terreno assorbe completamente durante i primi istanti di precipitazione (dall'inizio dell'evento  $t=0$  all'istante  $t=t_a$ ) e la perdita per infiltrazione nel suolo durante l'evento, schematizzata con una *infiltrazione cumulata costante a saturazione* (indicata con  $K_s$ ).

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau \\ P_n(t) = 0 \end{cases} \quad \text{per } t < t_a$$

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a \\ P_n(t) = P(t) - K_s \end{cases} \quad \text{per } t \geq t_a$$

dove:

$P(t)$  intensità di precipitazione lorda sul bacino [mm/h];

$P_n(t)$  intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];

$I_a(t)$  volume unitario di perdita iniziale all'istante  $t$  dell'evento [mm];

$I_a = I_a(t_a)$  volume di perdita iniziale per unità di area [mm];

$K_s$  velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h].

I valori di  $I_a$  e  $K_s$ , per ogni bacino e sottobacino studiato sono stati dedotti dagli Shape files dell'uso del suolo e della geologia forniti dalla Regione Toscana.

Nelle Tavole

Tavola 3A - Calcolo  $I_a$  - Aree boscate Fiume Greve - Quadro 1

Tavola 3B - Calcolo  $I_a$  - Aree boscate Fiume Greve - Quadro 2

Tavola 4A - Calcolo  $I_a$  - Aree boscate Torrente Pesa - Quadro 1

Tavola 4B - Calcolo  $I_a$  - Aree boscate Torrente Pesa - Quadro 2

Tavola 4C - Calcolo  $I_a$  - Aree boscate Torrente Pesa - Quadro 3

Tavola 5A - Calcolo  $K_s$  - Geologia Fiume Greve - Quadro 1

Tavola 5B - Calcolo  $K_s$  - Geologia Fiume Greve - Quadro 2

Tavola 6A - Calcolo  $K_s$  - Geologia Torrente Pesa - Quadro 1

Tavola 6B - Calcolo  $K_s$  - Geologia Torrente Pesa - Quadro 2

Tavola 6C - Calcolo  $K_s$  - Geologia Torrente Pesa - Quadro 3

Sono riportate rispettivamente le Aree Boscate e i coefficienti  $K_s$  adottati nel presente studio.

In particolare per la stima del coefficiente  $I_a$  si è utilizzata la formula  $I_a = 3.3 + 22S_b$

In cui  $S_b$  rappresenta la percentuale di superficie boscata presente sul bacino considerato.

Per quanto riguarda invece il valore del coefficiente  $K_s$  adottato, nella tabella seguente si riportano i valori dello stesso in funzione della classe geolitologica.

Etichette di riga	NOME ULF	DESCRIZ	KS [mm/h]
APA	Argille a Palombini	Argilliti grigie e calcilutiti	0
APAc	Litofacies delle filladi nere	filladi grigio scuro o nerastro con intercalazioni marmoree calcescitose e quarzitiche	1,55
AVR	Argille varicolori	Argille varicolori con calcari	0
b	Depositi alluvionali attuali	Depositi alluvionali attuali	0
bm	Basalti	Basalti	0,775
bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati	Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluvial	0
bnb	Depositi alluvionali terrazzati	Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali	0
BRG	Basalti con strutture a pillow-lava	Basalti con strutture a pillow-lava	0,775
BROi	Breccie ofiolitiche monogeniche e poligeniche	Breccie ofiolitiche monogeniche e poligeniche	4,65
CCL	Calcarei a calpionelle	Calcilutiti grigio chiare con intercalazioni di argilliti e marne.	4,65
DSD	Diaspri	Radiolariti rosso-scure o verdi, sottilmente stratificate, localmente con interstrati argillitici. Talvolta, nella	0
GBB	Gabbri con filoni basici	Gabbri con filoni basici	0,775
MAC	Macigno	Arenarie quarzoso-feldspatico-micacee gradate, in strati di potenza variabile, con livelli pi <sup>2</sup> sottili di siltiti	1,55
MACa	Olistostromi di materiale ligure e subligure	Olistostromi di materiale ligure e subligure	1,55
MACc	Marne di S. Polo	Marne e marne silteose, con intercalazioni di calcareniti	0
MLL	Formazione di M. Morello	Flysch carbonatici, calcari marnosi e marne	4,65
PRN	Peridotiti serpentizzate con filoni gabbri e basaltici	Peridotiti serpentizzate con filoni gabbri e basaltici	0,775
PTF	Pietraforte	Arenarie e siltiti quarzoso-feldspatiche e carbonatiche	1,55
PTFa	Ruditi	Ruditi	4,65
SIL	Formazione di Sillano	Argilliti grigio-brune e calcilutiti	4,65
STO	Scaglia Toscana	Argilliti e argilliti silteose e marnose rossastre, verdastre o grigie, talvolta con sottili intercalazioni di calcilutiti	0
STO2	Membro delle Marne del Sugame	Membro delle Marne del Sugame	1,55
STO4	Membro delle Calcareniti di Dudda	Membro delle Calcareniti di Dudda	4,65
STO7	Membro delle Argilliti di Cintoia	Membro delle Argilliti di Cintoia	0
VILa	Conglomerati e ciottolami poligenici	Conglomerati e ciottolami poligenici	1,55
VILb	Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie silteose-argillose e limi sabbiosi	Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie silteose-argillose e limi sabbiosi	2,325

Tabella 1: Valori Ks utilizzati nel presente studio

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, è stato applicato 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:

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

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

Il parametro  $\alpha$  della formula sopra riportata dipende dal coefficiente  $a'$  della curva di possibilità pluviometrica a tre parametri.

Poiché le curve delle nuove LSPP sono rappresentate con la formula a due parametri nella formulazione  $h(t) = a t^n$ , al fine di determinare il corrispettivo valore di  $a'$  da utilizzare nella stima del coefficiente di ragguaglio, si è operato come segue:

Dalle nuove LSPP sono stati calcolati per ogni "Tr" e per ogni durata "D" l'altezza di pioggia "h".

Dalle altezze di pioggia, tramite regressione lineare nel piano  $\log(h)-\log(t)$ , sono stati determinati i coefficienti "a" e "n" per ciascun Tr della formula  $\log(h)=\log(a)+n\log(t)$  (CPP a 2 parametri).

Dalla formula a 3 parametri  $h=a't^n*Tr^m$  in campo logaritmico si ottiene  $\log(h)=\log(a')+n*\log(t)+m*\log(Tr)$ . Poiché  $n'=n$ , per sostituzione si ottiene  $\log(a)=\log(a')+m*\log(Tr)$  che tramite regressione lineare permette di determinare "a'" e "m'" della CPP a 3 parametri.

Il coefficiente "a'" così calcolato è stato utilizzato per la determinazione del "Kr".

Determinato il coefficiente di ragguaglio della sezione di monte e della sezioni di valle, si assume per l'interbacino un coefficiente di ragguaglio  $K_a$ , che mantenga inalterato il valore del coefficiente di ragguaglio  $K_v$  pertinente al bacino di valle assumendo come peso l'area dei bacini stessi, secondo la formulazione:

$$\frac{K_v A_v - K_m A_m}{A_v - A_m}$$

Nell'Allegato dei risultati idrologici e idraulici, per ogni bacino e sottobacino sono riportati i valori del coefficiente di ragguaglio areale al variare della durata dell'evento.

Si evidenzia come tale metodologia mantenga inalterato il coefficiente di ragguaglio areale di valle sull'asta principale.

Al fine di massimizzare le precipitazioni sui corsi d'acqua minori, studiati idraulicamente, il coefficiente di ragguaglio areale dello stesso è stato imposto pari ad 1, esclusivamente per la durata critica del corso d'acqua minore.

L'Idrogramma Istantaneo Unitario rappresenta l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Ipotizzando un comportamento del sistema bacino idrografico lineare e stazionario, la risposta  $Q(t)$  ad una sollecitazione meteorica di intensità  $p(t)$ , supposta costante su tutti i punti del bacino (approccio di tipo integrato), è data dall'integrale di convoluzione fra idrogramma di pioggia efficace e IUH:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau) p(t - \tau) d\tau$$

dove:

$Q(t)$  è la portata defluente;

$p(t) = A i(t)$ , con  $A$  area del bacino e  $i(t)$  intensità di pioggia netta ragguagliata sul bacino;

$U(t)$  è l'idrogramma unitario

$$\begin{cases} U(0) = 1 \\ U(t > 0) = 0 \end{cases} \int_0^{\infty} U(t) dt = 1$$

La caratterizzazione di un modello di formazione della piena basato su tale principio consiste quindi essenzialmente nella determinazione della forma della funzione  $U(t)$ , che può essere stimata fissandone la struttura sulla base di considerazioni teoriche, e stimandone i parametri o per taratura, utilizzando dati sperimentali contemporanei di afflussi sul bacino e deflussi nella sezione di chiusura, o sulla base di caratteristiche geomorfologiche del bacino. Uno dei più diffusi modelli concettuali utilizzati per determinare la forma della funzione  $U(t)$  è quello basato sull'ipotesi che il bacino idrografico si comporti come un insieme di  $n$  serbatoi lineari disposti in serie. L'espressione dell'idrogramma istantaneo unitario che ne deriva per un singolo serbatoio lineare è:

$$U(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-\frac{t}{k}}$$

dove  $k$  è la costante del serbatoio che rappresenta il tempo caratteristico di svuotamento del serbatoio.

Supponendo che il bacino si comporti come una serie di  $n$  serbatoi, ciascuno con uguale tempo caratteristico  $k$ , la portata in uscita dall'intero bacino come risposta ad un input impulsivo distribuito sul bacino rappresenterà l'idrogramma istantaneo unitario del bacino alla sua chiusura, nota come *Idrogramma Istantaneo Unitario di Nash*:

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} e^{-\left(\frac{t}{k}\right)}$$

dove la funzione  $\Gamma(n) = (n-1)!$ .

Il momento di primo ordine dell'IUH rispetto all'origine viene detto *tempo di ritardo (lag) Tl* ed è dato da:

$$Tl = \int_0^{\infty} U(t) t dt$$

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto  $nk$  (pari proprio alla media dell'idrogramma unitario). I parametri  $n$ ,  $k$  dell'IUH di Nash sono stati ricavati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, mediante le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} n &= 3.29(Rb/Ra)^{0.78} Rl^{0.07} \\ k &= 0.7(Ra/(Rb \cdot Rl))^{0.48} Lc/v \end{aligned}$$

in unità congruenti, dove:

$R_b$  = rapporto di biforcazione;

$R_l$  = rapporto di lunghezza;

$R_a$  = rapporto di area;

$L_c$  = lunghezza del canale principale (dalla sorgente alla sezione di interesse);

$v$  = fattore cinematico legato alla velocità della piena ("media spazio-temporale di scorrimento dell'acqua o di propagazione dell'onda di piena").

I parametri geomorfologici sopra elencati permettono di rappresentare lo sviluppo della rete idrografica mediante una descrizione gerarchica e possono quindi essere calcolati, una volta ordinato il reticolo idrografico secondo il metodo di gerarchizzazione e classificazione geomorfologica di Horton e Strahler.

La gerarchizzazione di una rete idrografica si esegue attribuendo un ordine a ciascun segmento fluviale; un'asta che non nasce dalla confluenza di altre due è di primo ordine; un'asta di ordine  $n$  e un'asta di ordine  $n-1$  congiungendosi danno origine a un'asta di ordine  $n$ ; due aste di ordine  $n$  congiungendosi danno origine a un'asta di ordine  $n+1$ . Per ogni bacino idrografico esiste una relazione fra il numero dei rami fluviali aventi un certo ordine e l'ordine stesso: in genere, il valore del primo diminuisce all'aumentare del secondo.

L'organizzazione della rete idrografica e quindi il suo grado di gerarchizzazione possono essere espressi mediante parametri quantitativi che definiscono la geometria del reticolo idrografico e il suo grado di organizzazione gerarchica. Il parametro di base è il rapporto di biforcazione  $R_b$ , che esprime il rapporto fra il numero di segmenti fluviali di un certo ordine ed il numero dei segmenti dell'ordine immediatamente successivo. Considerando invece la lunghezza media delle aste di un certo ordine si ottiene il rapporto fra le lunghezze,  $R_l$ . Analogamente, si definisce anche il rapporto fra le aree,  $R_a$ .

I tre parametri appena descritti vengono determinati sulla base delle seguenti relazioni:

$$N_u = R_b^{\omega-u}$$
$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 R_l^{u-1}$$
$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 R_a^{u-1}$$

dove

$\omega$  è l'ordine massimo del reticolo;

$N_u$  il numero delle aste di ordine  $u$ , con  $u=1, 2, 3, \dots$ ;

$\bar{L}_u$  la lunghezza media delle aste di ordine  $u$ , con  $u=1, 2, 3, \dots$ ;

$\bar{A}_u$  l'area media sottesa da aste di ordine  $u$ , con  $u=1, 2, 3, \dots$

Nelle Tavole

Tavola 1A - Gerarchizzazione Fiume Greve - Quadro 1

Tavola 1B - Gerarchizzazione Fiume Greve - Quadro 2

Tavola 2A - Gerarchizzazione Torrente Pesa - Quadro 1

Tavola 2B - Gerarchizzazione Torrente Pesa - Quadro 2

Tavola 2C - Gerarchizzazione Torrente Pesa - Quadro 3

Sono riportate le gerarchizzazioni del reticolo, che hanno portato alla determinazione dei parametri  $n$ ,  $k$  per la stima delle portate di piena secondo la formulazione proposta da Nash. Nell'allegato risultati della modellistica idrologica e idraulica sono evidenziati i parametri  $n$  e  $k$  utilizzati per ciascun bacino.

Dall'analisi delle durate degli eventi meteorici, critici per le aste principali, e per gli affluenti, sono pertanto state implementate le modellistiche idrologiche, secondo il seguente schema:

- Fiume Greve ed affluenti: Tr 30 – 200 – 500 Durate dell'evento 1h – 4h – 7h
- Torrente Pesa ed affluenti: Tr30 – 200 – 500 Durate dell'evento 0.75h – 1.75h – 6.5h – 8.5h

Al fine del calcolo degli idrogrammi di progetto si è utilizzato il Software M.I.P. (Modelli Idropluviometrici) implementato dagli scriventi.

L'applicativo automaticamente calcola la risposta idrologica del bacino leggendo i seguenti file:

- \*.bac : File di tipo ascii dove sono descritte le caratteristiche del bacino sotteso alla sezione considerata. Il file è obbligatorio per le funzionalità dell'applicativo e contiene i seguenti dati:
  - o Area [kmq]
  - o  $l_a$  [mm]
  - o  $K_s$  [mm/h]
  - o  $n$  []
  - o  $k$  [h]:
- \*.daf : File delle piogge ragguagliata al bacino considerato. Il file può derivare sia dall'elaborazione dei dati di pioggia registrata che dalle piogge sintetiche. Il file è obbligatorio per le funzionalità dell'applicativo e contiene i seguenti dati:
  - o Aggregazione dei dati
  - o Data\_inizio
  - o Data\_fine
  - o Altezza di pioggia [mm]
- \*.dqu : File della portata misurata all'idrometro considerato nel caso di evento reale. Il file non è indispensabile per il corretto funzionamento dell'applicativo, ma risulta necessario per la taratura di eventi reali.

Una volta caricati i dati sia in modo automatico che tramite i comandi manuali, il programma calcola la risposta idrologica del bacino in base alla sollecitazione pluviometrica impostata (file "\*.daf") e ai parametri caratteristici del bacino stesso (file "\*.bac"); se viene caricato anche il file "\*.dqu" verrà visualizzato anche l'idrogramma misurato.

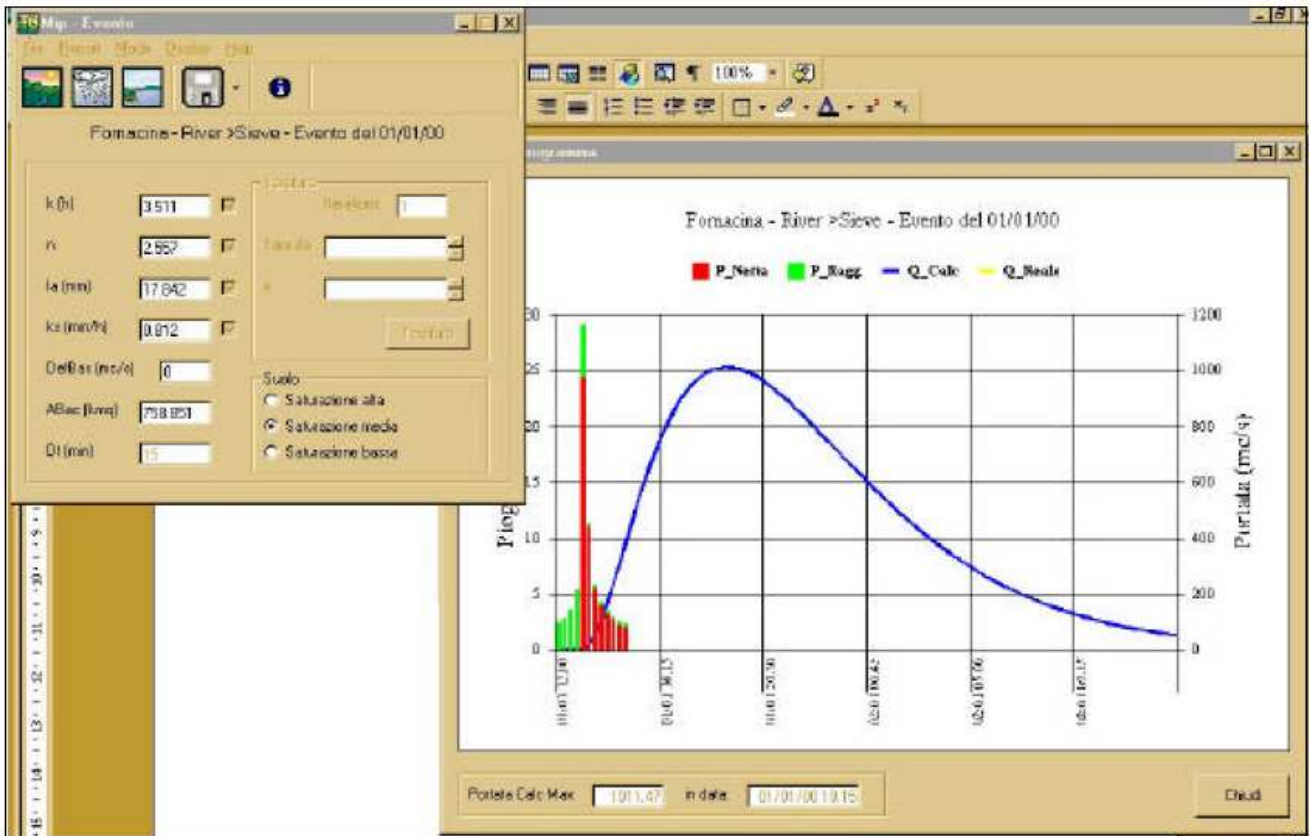


Figura 3-1: Visualizzazione della risposta idrologica del bacino considerato

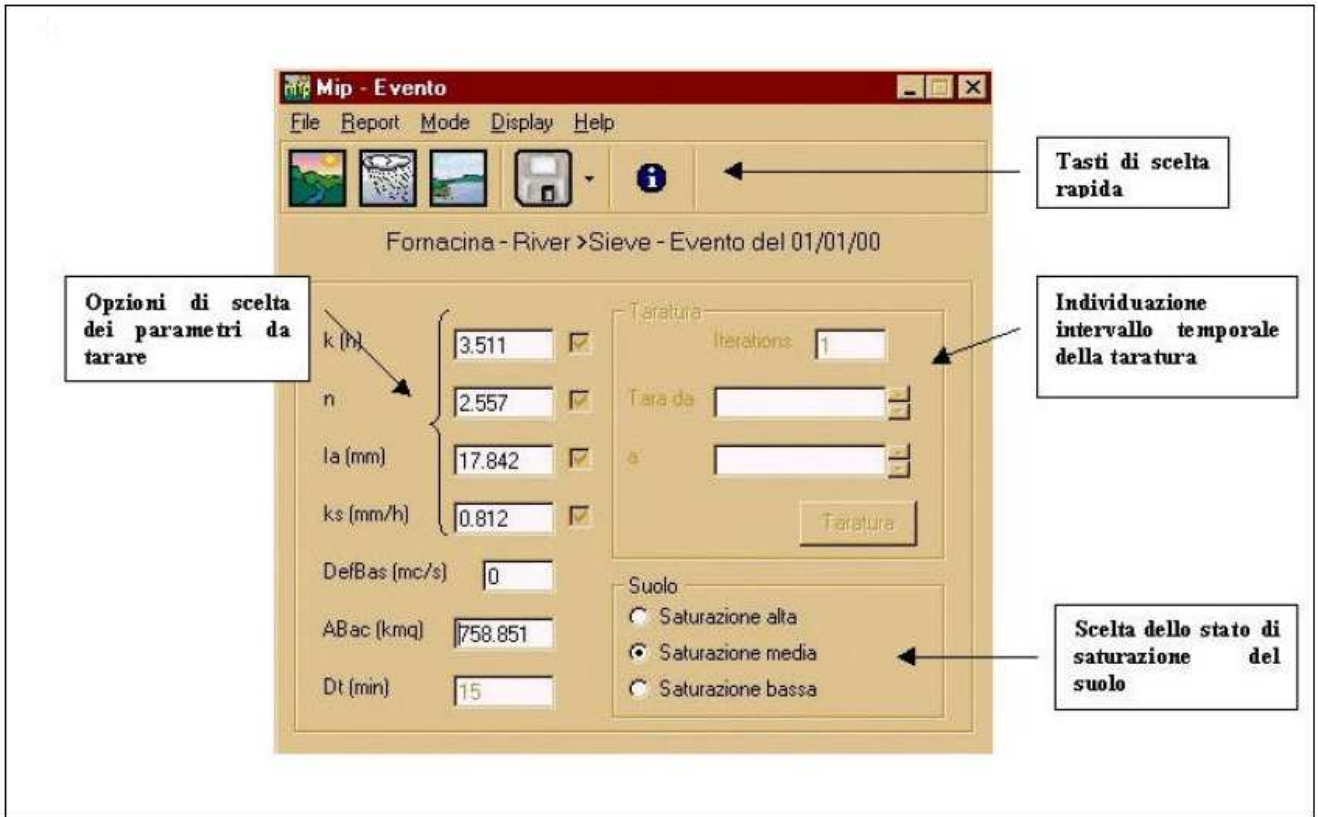


Figura 3-2: VParametri di calcolo della risposta idrologica del bacino considerato

## 4. 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.

### 4.1 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).

#### 4.1.1 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.

#### 4.1.2 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.

#### 4.1.3 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>).

#### 4.1.4 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.

#### 4.1.5 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:

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

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).

#### 4.1.6 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 vaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'vaso (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).



#### 4.1.7 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:

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

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

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

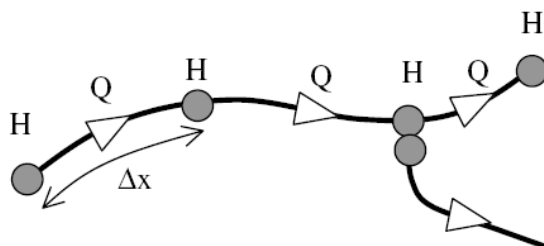
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a  $1/n$ , essendo n il coefficiente di Manning.

#### 4.1.8 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.

#### 4.1.9 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.

##### 4.1.9.1 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).

## 4.2 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.

#### 4.2.1 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:

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

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 ( $m^3/s/m$ ) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva ( $m^3/s$ ) 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 plani-altimetriche 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.

#### 4.3 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 velocità nelle aree allagate.

#### 4.4 MODELLI IDRAULICI IMPLEMENTATI E CONDIZIONI AL CONTORNO

Sono state implementate tre modellazioni idrauliche distinte, per quanto riguarda il Torrente Pesa ed i relativi affluenti, per il Borro delle Felci (affluente in sinistra idraulica del Torrente Pesa) e per il Fiume Greve ed i relativi affluenti. In particolare i modelli implementati, consegnati in formato digitale, risultano i seguenti:

- Eventi con Tr 30 – 200 – 500 anni e durate pari a 0.75 h – 1.75 h – 6.5 h – 8.5 h per il modello comprendente il Torrente Pesa, Torrente Sugana, Borro del Fossato, Borro di Argiano, Borro di Canciulle, Torrente Terzona;
- Eventi con Tr 30 – 200 – 500 anni e durate pari a 1 h – 4 h – 7 h per il modello comprendente Fiume Greve, Borro di Sant' Angelo, Fosso di Battaglio;
- Eventi con Tr 30 – 200 – 500 anni e durata 0.75 h per il modello Borro delle Felci;

Le condizioni di valle dei modelli Pesa e affluenti e Greve e affluenti sono rappresentate dalle scale di deflusso mentre per il modello Borro delle Felci sono rappresentate dai livelli del Torrente Pesa in corrispondenza della confluenza. Per quanto riguarda i coefficienti di scabrezza questi sono stati posti pari a 0.035 per la parte di alveo modellata in maniera monodimensionale e 0.050 per la parte modellata bidimensionalmente.

## 5. DETERMINAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA

L'implementazione della modellistica idraulica, per i vari tempi di ritorno e durate considerate, fornisce valori di massimo livello e portata (oltre ad altre grandezze idrauliche significative) in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, e di battenti idraulici nelle aree soggette ad allagamenti.

In particolare dalla modellazione monodimensionale dell'alveo sono derivati i valori di portata e livello, per ciascun tempo di ritorno e durata implementata, riportati nell'allegato Risultati della modellistica Idrologica – Idraulica.

Attraverso l'inviluppo dei valori massimi per ciascun tempo di ritorno, è stato calcolato il valore del livello in alveo.

Nelle Tavole

Tavola 23 - Libretto Sezioni con Livelli Idrometrici TR 30 - 200 - 500 Anni - Fiume Greve e Affluenti

Tavola 24 - Libretto Sezioni con Livelli Idrometrici TR 30 - 200 - 500 Anni - Torrente Pesa e Affluenti

Sono pertanto rappresentati i massimi livelli raggiunti in alveo, per ciascun tempo di ritorno e per ciascuna sezione modellata idraulicamente.

Nelle Tavole

Tavola 9A - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr30 1h

Tavola 9B - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr30 4h

Tavola 9C - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr30 7h

Tavola 10A - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr200 1h

Tavola 10B - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr200 4h

Tavola 10C - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr200 7h

Tavola 11A - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr500 1h

Tavola 11B - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr500 4h

Tavola 11C - Battenti Idraulici Fiume Greve - Tr500 7h

Tavola 12A - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr30 0.75h

Tavola 12B - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr30 1.75h

Tavola 12C - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr30 6.5h

Tavola 12D - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr30 8.5h

Tavola 13A - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr200 0.75h

Tavola 13B - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr200 1.75h

Tavola 13C - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr200 6.5h

Tavola 13D - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr200 8.5h

Tavola 14A - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr500 0.75h

Tavola 14B - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr500 1.75h

Tavola 14C - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr500 6.5h

Tavola 14D - Battenti Idraulici Torrente Pesa - Tr500 8.5h

Tavola 15 - Battenti Idraulici Borro delle Felci - Tr30 0.75h

Tavola 16 - Battenti Idraulici Borro delle Felci - Tr200 0.75h

Tavola 17 - Battenti Idraulici Borro delle Felci - Tr500 0.75h

Sono riportati i battenti idraulici derivanti dalla modellazione bidimensionale, per ciascun tempo di ritorno e per ciascuna durata degli eventi implementata.

L'inviluppo dei battenti su ciascun tempo di ritorno ha quindi permesso la definizione delle pericolosità idrauliche, così definite, ai sensi del DPGR 53r/2011:

- Aree a pericolosità idraulica molto elevata (I4), che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni.
- Aree a pericolosità idraulica elevata (I3), con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni.
- Aree a pericolosità media (I2), caratterizzate da eventi alluvionali con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.
- Aree a pericolosità bassa (I1), aree collinari o montane.

Nelle Tavole

Tavola 20 - Pericolosità Idrauliche Fiume Greve

Tavola 21 - Pericolosità Idrauliche Torrente Pesa

Tavola 22 - Pericolosità Idrauliche Borro delle Felci

Sono riportate le pericolosità idrauliche come sopra definite.

## 6. STUDIO SUI RII MINORI

Per quanto riguarda i Rii Minori è stato implementato uno studio a livello qualitativo. In assenza del rilievo Lidar che coprisse tutto il comune, è stato utilizzato il Digital Terrain Model (DTM) a maglia 10x10 metri.

L'informazione topografica così ricostruita, e rappresentativa di tutto il territorio comunale, è stata quindi sollecitata da un evento pluviometrico rappresentato dalle Griglie di pioggia della Regione Toscana.

A seguito di tarature, e varie implementazioni della modellistica sopra descritta, è stato optato per l'uso della griglia di pioggia con Tr 200 anni e durata di 1 ora, al fine di massimizzare gli effetti sui Rii minori.

E' stato quindi costruito un modello bidimensionale di tutto il territorio comunale che tramite il Mike 21 ha simulato l'evoluzione delle aree allagate per l'evento distribuito succitato.

Al fine di verificare la taratura e bontà del modello implementato, sono stati confrontati i risultati derivanti dallo studio qualitativo a livello di comune, e lo studio di dettaglio effettuato sui corsi d'acqua principali.

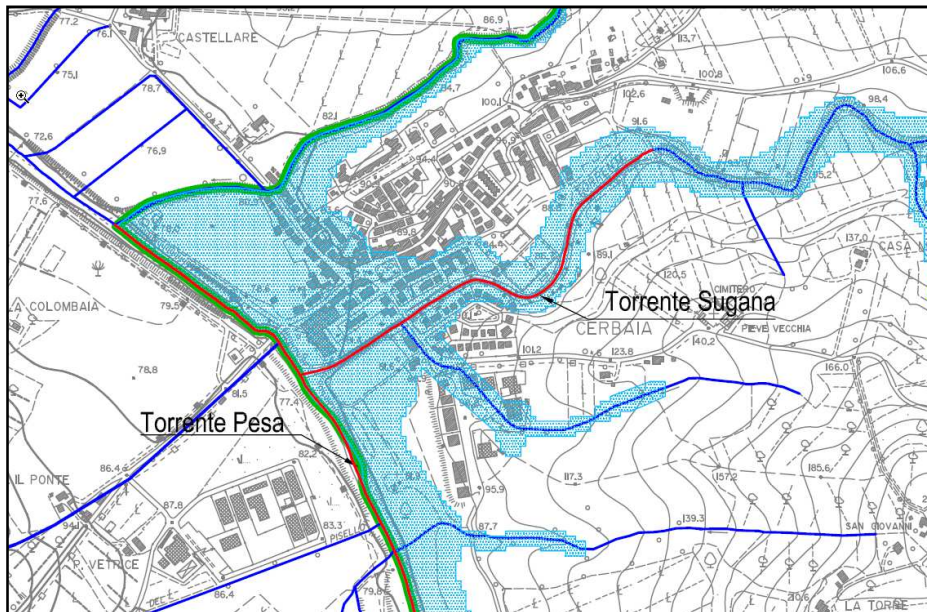


Figura 6-1: Abitato di Cerbaia – Modello qualitativo

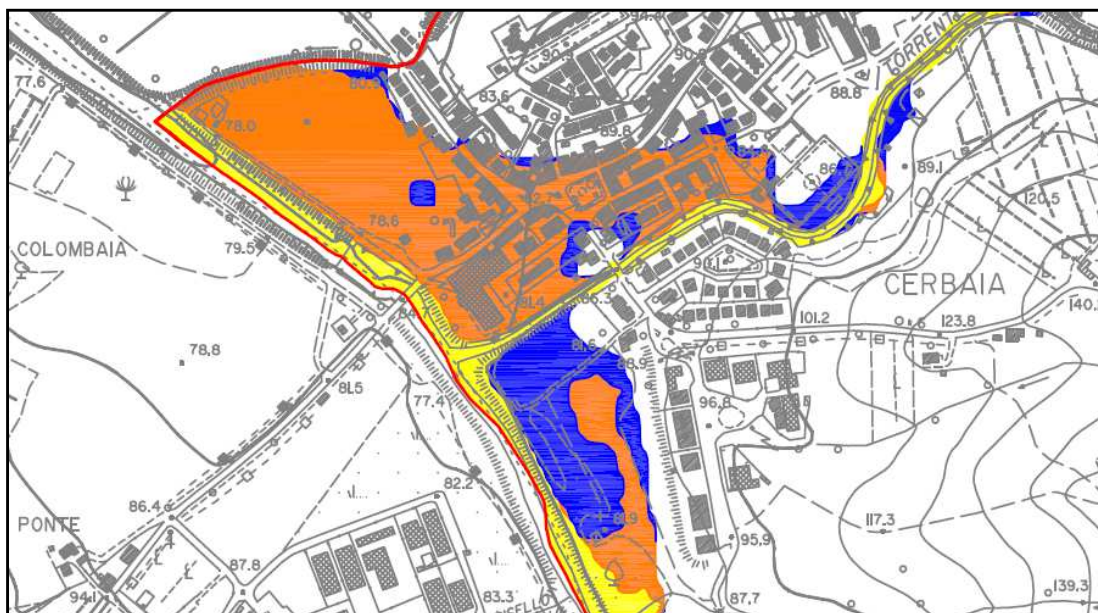


Figura 6-2: Abitato di Cerbaia – Modello di dettaglio

Come si ricava dalle immagini sopra riportate il modello qualitativo risulta comunque coerente con il modello di dettaglio.

Nella carta delle aree allagabili dei Rii Minori, Tavola 26, sono riportate le aree allagabili derivanti dallo studio qualitativo. La carta riporta inoltre i tratti di studio a livello di dettaglio, per i quali non valgono le aree allagabili, ma bensì hanno priorità le pericolosità a livello di dettaglio delle Tavole 20 - 21 - 22.

Per gli interventi riguardanti le aree allagabili dei Rii minori, le disposizioni risultano le seguenti:

- a) Nel caso in cui si ricada all'esterno delle aree allagabili ne deriva l'assenza di pericolosità idraulica
- b) Nel caso in cui si ricada all'interno delle aree allagabili dovrà essere previsto uno studio di dettaglio del corso d'acqua di riferimento, che definisca i livelli di pericolosità e le eventuali necessità di interventi

## 7. CONCLUSIONI DELLO STUDIO

Lo Studio Hydrogeo Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio è stato incaricato dal Comune di San Casciano in Val di Pesa della "Redazione di studio idrogeologico idraulico di supporto alla variante al piano strutturale e di adeguamento del Piano di Bacino del Fiume Arno "Assetto Idrogeologico".

Con nota Prot. 101 del 13.01.2015 l'Autorità di Bacino del fiume Arno comunicava alle Amministrazioni interessate che il Comitato Istituzionale, in data 22.01.2014, ha preso atto del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), che dovrà essere approvato e pubblicato entro Dicembre 2015.

Rispetto ai rapporti tra PGRA e atti di pianificazione l'Autorità di Bacino del Fiume Arno comunicava di sospendere fino a Dicembre 2015 tutti gli aggiornamenti cartografici del PAI, al fine di facilitare la confluenza univoca dello stesso nel PGRA. I Comuni del Bacino potranno tuttavia attraverso il percorso di consultazione e partecipazione, proporre tutte le Osservazioni che riterranno necessarie.

Il Comune di San Casciano in val di Pesa provvedeva pertanto a convocare Conferenza dei Servizi per il giorno 26.02.2015, con la partecipazione dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, e dell'Ufficio del Genio Civile di Firenze, nella quale venivano definite le modalità di presentazione delle osservazioni al PGRA da parte dell'Amministrazione comunale.

Ad Agosto 2015 è stato consegnato lo studio idrologico idraulico di supporto alla variante del Piano Strutturale e le osservazioni al Piano di Gestione Rischio Alluvioni per il Bacino del Fiume Arno, implementati nel territorio comunale, con l'individuazione delle condizioni di allagamento del territorio e le relative classi di pericolosità idraulica definite dal PGRA stesso ed in particolare:

- Aree a pericolosità idraulica elevata (PI3), che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni.
- Aree a pericolosità idraulica media (PI2), con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni.
- Aree classificate a pericolosità bassa (PI1), caratterizzate da eventi alluvionali con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.

La presente relazione riporta e descrive gli studi idrologici idraulici implementati nell'ambito del territorio comunale, di supporto alla variante del Piano Strutturale e di adeguamento del Piano di Bacino del Fiume Arno "Assetto Idrogeologico", ai sensi del DPGR 53r/2011 che definisce le pericolosità idrauliche come segue:

- Aree a pericolosità idraulica molto elevata (I4), che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni.
- Aree a pericolosità idraulica elevata (I3), con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni.
- Aree a pericolosità media (I2), caratterizzate da eventi alluvionali con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.
- Aree a pericolosità bassa (I1), aree collinari o montane.

Le fasi operative che consentono l'individuazione e la perimetrazione delle aree soggette a pericolosità idraulica su base analitica sono pertanto:

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

L'ambito di studio analitico è rappresentato dal territorio del Comune di San Casciano caratterizzato dalla presenza dei due corsi d'acqua principali, Torrente Pesa e Fiume Greve, e dei relativi affluenti.

Si riporta di seguito l'elenco dei corsi d'acqua studiati analiticamente nell'ambito del presente studio:

- Torrente Pesa;
- Torrente Sugana affluente in destra idraulica del Torrente Pesa;
- Borro del Fossato affluente in sinistra idraulica del Torrente Pesa;
- Borro di Argiano affluente in destra idraulica del Torrente Pesa;
- Borro di Canciulle affluente in destra idraulica del Torrente Pesa;
- Torrente Terzona affluente in destra idraulica del Torrente Pesa;
- Borro delle Felci affluente in sinistra idraulica del Torrente Pesa;
- Fiume Greve;
- Borro di Sant' Angelo affluente in sinistra idraulica del Fiume Greve;
- Fosso di Battaglio affluente in sinistra idraulica del Fiume Greve.



La modellistica idrologica è stata valutata con un opportuno *modello di trasformazione afflussi-deflussi*. 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.

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.

L'implementazione della modellistica idraulica, per i vari tempi di ritorno e durate considerate, ha fornito valori di massimo livello e portata (oltre ad altre grandezze idrauliche significative) in alveo per ciascuna sezione dei corsi d'acqua analizzati, e di battenti idraulici nelle aree soggette ad allagamenti.

Attraverso l'involuppo dei valori massimi per ciascun tempo di ritorno, è stato calcolato il valore del livello in alveo.

Attraverso la modellazione bidimensionale, per ciascun tempo di ritorno e per ciascuna durata degli eventi implementata, è stato possibile definire l'involuppo dei battenti, e da questa la definizione delle pericolosità idrauliche, così definite:

- Aree a pericolosità idraulica molto elevata (I4), che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni.
- Aree a pericolosità idraulica elevata (I3), con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni.
- Aree a pericolosità media (I2), caratterizzate da eventi alluvionali con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.
- Aree a pericolosità bassa (I1), aree collinari o montane.