

**HydroGeo**  
 Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio  
 Studio Tecnico Associato Ingg. G. Gazzini, T. Staiano



Via Cardinal Latino, 20  
 50126 Firenze  
 Tel/Fax 055 65 87 050  
 e-mail info@studiohydrogeo.it

# STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO DI SUPPORTO AL PIANO ATTUATIVO PER LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO VILLAGGIO TURISTICO - CAMPING "LE QUERCE" NEL COMUNE DI SCANDICCI

## STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO

## RELAZIONE TECNICA + INTEGRAZIONI

**PROGETTISTI:**

ING. GIACOMO GAZZINI

**CONSULENTI:**

ING. FILIPPO BARBINI

ING. CLAUDIO CECCHINI

PROGETTO

L 5 0 6

LOTTO

0 1

FASE

S 0 6

DOC

T

ELABORATO

R T C

REV

A

REV.

A

DATA EMISSIONE

Novembre 2015

REDATTO

G.Gazzini

VERIFICATO

G.Gazzini

APPROVATO

G.Gazzini

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>APPROCCIO METODOLOGICO</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>DEFINIZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO</b> .....	<b>7</b>
4.1	L'AREA DI STUDIO .....	7
4.2	RACCOLTA ED ANALISI DEI DATI DISPONIBILI .....	7
4.3	CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA DEL CORSO D'ACQUA E DEI TERRENI .....	7
<b>5</b>	<b>ANALISI NORMATIVA</b> .....	<b>8</b>
5.1	STRUMENTI DI SALVAGUARDIA DELL'AUTORITÀ DI BACINO .....	8
5.1.1	<i>Piano Stralcio Rischio Idraulico</i> .....	8
5.1.2	<i>Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI)</i> .....	8
5.2	R.D. 523/1904 .....	11
5.3	STRUMENTI PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO .....	11
5.3.1	<i>Legge Regionale n. 1/ 2005</i> .....	11
5.3.2	<i>Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico del Comune di Scandicci</i> .....	16
<b>6</b>	<b>MODELLISTICA IDROLOGICA</b> .....	<b>17</b>
6.1	REGIME PLUVIOMETRICO – STUDIO REGIONALE LSPP .....	17
6.1.1	<i>Calcolo della pioggia di progetto su un bacino idrografico</i> .....	18
6.2	CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO .....	18
6.2.1	<i>Fosso Masseto</i> .....	18
6.2.2	<i>Fosso Massetino</i> .....	24
<b>7</b>	<b>MODELLISTICA IDRAULICA</b> .....	<b>27</b>
7.1	MODELLISTICA MONODIMENSIONALE MIKE 11 .....	27
7.1.1	<i>Modulo Idrodinamico (Hd)</i> .....	27
7.1.2	<i>Descrizione Delle Condizioni Di Moto Simulate</i> .....	28
7.1.3	<i>Equazioni Generali Di De Saint Venant</i> .....	28
7.1.4	<i>Simulazione Delle Correnti Veloci Con L'approccio Dell'onda Dinamica</i> .....	29
7.1.5	<i>Approssimazione Dell'onda Diffusiva</i> .....	29
7.1.6	<i>Descrizione In Corrispondenza Di Strutture</i> .....	29
7.1.7	<i>Resistenza D'attrito</i> .....	30
7.1.8	<i>Condizioni Iniziali</i> .....	31
7.1.9	<i>Metodo Di Soluzione</i> .....	31
7.1.10	<i>Condizioni Al Contorno</i> .....	31
7.2	MODELLISTICA BIDIMENSIONALE MIKE 21 .....	31

7.2.1	<i>Modulo Idrodinamico (HD)</i> .....	32
7.3	MODELLISTICA MIKE FLOOD .....	35
8	ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA ALLO STATO ATTUALE .....	36
8.1	VERIFICHE IDRAULICHE .....	36
8.1.1	<i>Caratterizzazione geometrica</i> .....	36
8.1.2	<i>Parametri della modellistica idraulica</i> .....	36
8.1.3	<i>Modellistiche idrauliche</i> .....	36
8.2	ANALISI DEI RISULTATI E DEFINIZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA .....	37
8.2.1	<i>Fosso Masseto</i> .....	37
8.2.2	<i>Fosso Massetino</i> .....	38
8.2.3	<i>Fosso Ghindossoli</i> .....	38
9	ANALISI DI FATTIBILITÀ IDRAULICA .....	39
9.1	INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA .....	39
9.1.1	<i>Fosso Masseto</i> .....	39
9.1.2	<i>Fosso Massetino</i> .....	39
10	CONCLUSIONI .....	41
11	INTEGRAZIONI .....	43

## 1 Premessa

Lo scrivente, studio tecnico associato *Hydrogeo - Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio*, è stato incaricato di eseguire un'indagine idrologico-idraulica di supporto al Piano Attuativo per la realizzazione del nuovo villaggio turistico Camping "Le Querce" nel Comune di Scandicci.

A tal fine è stato sviluppato uno **studio idrologico idraulico di dettaglio sui Fossi Masseto e Massetino** afferenti alla zona, diretto alla definizione della rischio idraulico ingenerato dai due corsi d'acqua nelle aree di interesse, e propedeutico ad una classificazione delle aree a pericolosità idraulica su base analitica.

Lo studio è stato sviluppato sulla base di un nuovo rilievo topografico di dettaglio, che comprende sezioni fluviali dei due corsi d'acqua ed un piano quotato dell'area oggetto di Piano Attuativo.

La definizione del livello di pericolosità idraulica è stata effettuata seguendo le indicazioni contenute nel Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 ottobre 2011, n. 53/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.

Ai sensi dell'Art.1, il succitato Regolamento disciplina:

- a) *le direttive tecniche per le indagini atte a verificare la pericolosità del territorio sotto il profilo geologico, idraulico, la fattibilità delle previsioni e per la valutazione degli effetti locali e di sito in relazione all'obiettivo della riduzione del rischio sismico, di seguito indicate "indagini geologiche";*
- b) *il procedimento per il deposito delle indagini geologiche presso le strutture regionali competenti;*
- c) *le modalità del controllo delle indagini geologiche da parte della struttura regionale competente."*

Le disposizioni del regolamento (Art.2) "si applicano alle indagini geologico-tecniche da effettuare in sede di formazione:

- a) dei piani strutturali e relative varianti;
- b) dei regolamenti urbanistici e relative varianti;
- c) dei piani complessi d'intervento e relative varianti;
- d) dei piani attuativi e relative varianti;
- e) delle varianti ai piani regolatori generali vigenti.

Le direttive tecniche da seguire sono contenute nell'ALLEGATO del Regolamento.

Al paragrafo C. 2 di tale Allegato vengono definite le seguenti aree a pericolosità idraulica:

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

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda

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

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

**Pericolosità idraulica media (I.2):** Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $200 < TR < 500$  anni.

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

- non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

**Pericolosità idraulica bassa (I.1):** Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda

Sulla base di tali definizioni e dei risultati ottenuti dallo studio dello stato attuale di seguito descritto, è stata individuata pertanto la pericolosità idraulica per le zone d'interesse, e sulla base di questa, calibrati gli interventi di messa in sicurezza idraulica.

## 2 Inquadramento

L'area d'interesse si trova nel Comune di Scandicci, individuata nella CTR 1:10.000 al Foglio 275070 (Tavola 1). L'area risulta in prossimità dell'Autostrada A1 e del Torrente Vingone, e compresa tra i due corsi d'acqua oggetto di studio, il Fosso Masseto ed il Fosso Massetino. Più ad est dell'area è presente anche il Fosso Ghindossoli.

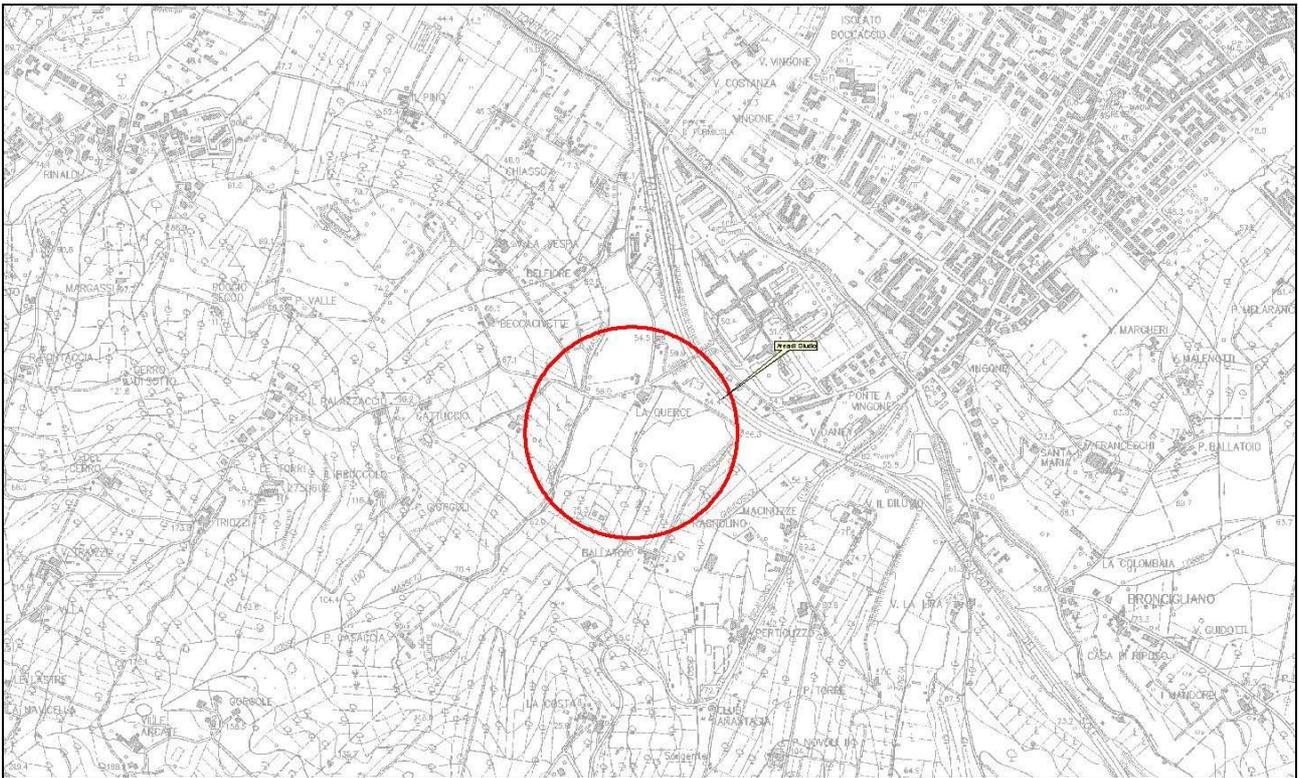


Figura 2-1: Inquadramento

### 3 Approccio Metodologico

Il presente studio idrologico idraulico è finalizzato alla verifica della pericolosità idraulica indotta dal Fosso Masseto e Fosso Massetino sulle aree poste a monte di Via di Triozzi nel Comune di Scandicci, ed in particolare delle aree individuate nel Piano Urbanistico Attuativo per la realizzazione del nuovo villaggio turistico Camping "Le Querce".

Lo studio si propone di definire a livello di dettaglio la pericolosità idraulica nella zona di interesse, modellando l'asta fluviale dei succitati corsi d'acqua costituenti la rete idraulica superficiale dell'area in esame.

A livello qualitativo sarà verificato anche il rischio indotto dal Fosso Ghindossoli nell'area di intervento.

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 esondazione verificatasi nelle sezioni precedenti. Lo stesso ragionamento vale per i contributi di piena al corso d'acqua principale provenienti dagli affluenti.

E' pertanto necessario da un lato stimare gli idrogrammi di piena in arrivo al corso d'acqua, e dall'altro analizzarne la loro propagazione e laminazione per effetto di opere, esondazioni, 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 fisiche 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 varie sezioni d'interesse del corso d'acqua considerato, tenendo conto che i contributi di piena degli interbacini sono valutati adottando la stessa durata di pioggia e un coefficiente di ragguaglio areale tale da garantire una distribuzione spaziale coerente 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 state eseguite per tempi di ritorno prefissati (TR= 30, 200 e 500 anni), assumendo come durata dell'evento di pioggia la durata critica che ragionevolmente crea le condizioni più gravose per il corso d'acqua in termini d'altezza d'acqua nelle sezioni fluviali.

La propagazione dei deflussi di piena così generati e la valutazione dei fenomeni esondativi lungo il tratto fluviale considerato, avviene tramite il modello idraulico, più avanti descritto, in grado di fornire in ogni sezione dell'asta fluviale l'idrogramma di piena in transito e i volumi eventualmente trascinati dalle strutture di contenimento.

Si perviene quindi alla mappatura delle aree allagate per il tempo di ritorno considerato.

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

- ⇒ Individuazione e caratterizzazione dell'ambito fisico oggetto di studio;
- ⇒ Analisi della normativa;
- ⇒ Analisi idrologica;
- ⇒ Modellazione idraulica;
- ⇒ Analisi dei risultati e perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica;
- ⇒ Analisi di fattibilità idraulica degli interventi.

## 4 Definizione del Quadro Conoscitivo

### 4.1 L'area di studio

L'ambito fisico studiato comprende i territori posti a monte di Via di Triozzi, nel Comune di Scandicci, posti tra il Fosso Masseto ed il Fosso Masetino.

Il Fosso Masseto alla sezione di chiusura dell'intervento, in corrispondenza della viabilità esistente, sottende un bacino di 1.291 Km<sup>2</sup> ed è stato studiato per un tratto di circa 270 metri (Tavola 2), da monte della proprietà fino a valle di Via di Triozzi.

L'asta fluviale del Fosso Masetino presa in analisi ha una lunghezza complessiva di circa 340 m, da monte della proprietà fino a valle della Via di Triozzi, sottendendo un bacino idrografico di circa 0.24 Km<sup>2</sup> (Tavola 2).

### 4.2 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. Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000 e 1:2000;
2. Rilievo Laser Scanner della Regione Toscana
3. Elaborati grafici e relativi strati informativi numerici del Piano Stralcio Rischio Idraulico dell'Autorità di Bacino dell'Arno;
4. Elaborati grafici e relativi strati informativi numerici del Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino dell'Arno;
5. Elaborati grafici e relativi strati informativi numerici del Piano Strutturale e del Regolamento Urbanistico del Comune di Scandicci;
6. Rilievo topografico di dettaglio delle sezioni fluviali e delle aree afferenti al Piano Urbanistico Attuativo.

Al fine di individuare i parametri fisici necessari alla corretta definizione della modellistica idraulica e per l'individuazione planimetrica delle sezioni longitudinali oggetto di rilievo, si è proceduto inoltre a sopralluoghi in situ.

### 4.3 Caratterizzazione topografica del corso d'acqua e dei terreni

Nell'area di interesse è stato eseguito un rilievo topografico riguardante n. **12 sezioni fluviali del Fosso Masseto e 17 sezioni fluviali del Fosso Masetino**, nonché un piano quotato dei terreni adiacenti al tratto fluviale e ricadenti nell'area oggetto di analisi.

Sono state inoltre rilevate le principali strutture antropiche presenti nell'area, ed in particolare la viabilità principale, gli attraversamenti ed i manufatti di contenimento presenti lungo i 2 corsi d'acqua oggetto di studio.

Per la caratterizzazione dei terreni potenzialmente soggetti a fenomeni esondativi si è proceduto con l'analisi del piano quotato fornito, che è stato integrato e confrontato con i dati numerici riportati nella cartografia tecnica regionale in scala 1:10.000 e 1:2000 e con il rilievo Laser Scanner della Regione Toscana. Nella Tavola 2 si restituisce una planimetria dell'area di interesse, in cui si riporta la base cartografica, il rilievo topografico e la disposizione planimetrica delle sezioni fluviali secondo il codice attribuito.

## 5 Analisi Normativa

### 5.1 Strumenti di salvaguardia dell'Autorità di Bacino

#### 5.1.1 Piano Stralcio Rischio Idraulico

Con il D.P.C.M. 05/11/1999 è stato approvato il Piano di Bacino del Fiume Arno previsto dalla L. 183/89, limitatamente allo Stralcio Rischio Idraulico.

La "Carta guida delle aree allagate", elaborata sulla base degli eventi alluvionali significativi, posteriori e comprendenti quello del novembre 1966, rappresenta una carta che fornisce indicazioni di pericolosità.

In Figura 5-1 si riporta la cartografia di Piano relativamente alle aree allagate redatta sulla base di eventi alluvionali significativi (1966-1999), dalla quale si evince che l'area d'interesse ricade parzialmente all'interno delle aree interessate da inondazioni durante gli eventi alluvionali degli anni 1991-1993.

Dall'analisi della cartografia di Piano relativamente alle aree allagate redatta sulla base di eventi alluvionali significativi (1966-1999), si evince che l'area d'interesse ricade al di fuori delle aree interessate da inondazioni.

#### 5.1.2 Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI)

L'Autorità di Bacino del Fiume Arno ha approvato in via definitiva il Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico con D.P.C.M. 6 maggio 2005.

Negli elaborati del PAI vengono definite le seguenti classi di pericolosità a livello di sintesi, in scala 1:25000:

- pericolosità idraulica molto elevata (P.I. 4), così come definita nel Piano Straordinario approvato con delibera del Comitato Istituzionale n. 137/1999;
- pericolosità idraulica elevata (P.I. 3), corrispondente alla classe B.I. così come definita nel Piano Straordinario di cui sopra;
- pericolosità idraulica media (P.I. 2) relativa alle aree inondate durante l'evento del 1966 come da "Carta guida delle aree inondate" di cui al Piano di bacino, stralcio relativo alla riduzione del "Rischio Idraulico";
- pericolosità idraulica moderata (P.I. 1) rappresentata dall'involuppo delle alluvioni storiche sulla base di criteri geologici e morfologici.

Come si evince dalla Figura 5-2, l'area d'interesse ricade parzialmente in classe di pericolosità media, P.I.2. Le salvaguardie previste negli ambiti a pericolosità idraulica media sono quelle previste dall' art. 8 delle NTA:

*"Nelle aree P.I.2 e P.I.1 e nelle aree di ristagno sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio.*

*Nelle aree P.I.2 e P.I.1 e nelle aree di ristagno il PAI, nel rispetto delle condizioni fissate dagli strumenti di governo del territorio, persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni mediante la predisposizione prioritaria da parte degli enti competenti ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225 di programmi di previsione e prevenzione."*

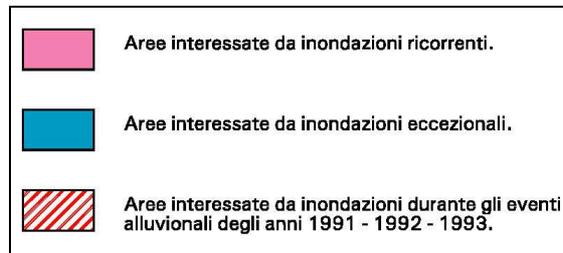
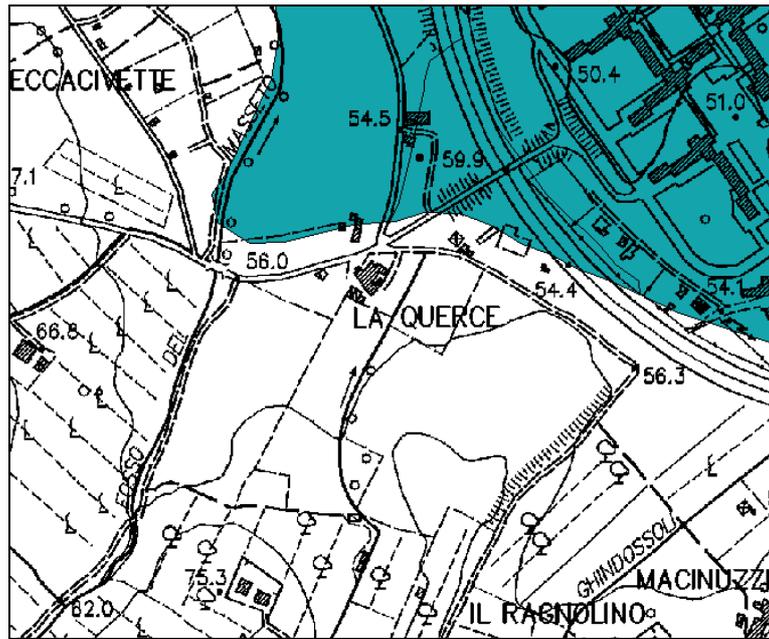


Figura 5-1: Rischio Idraulico Carta guida delle aree Allagate

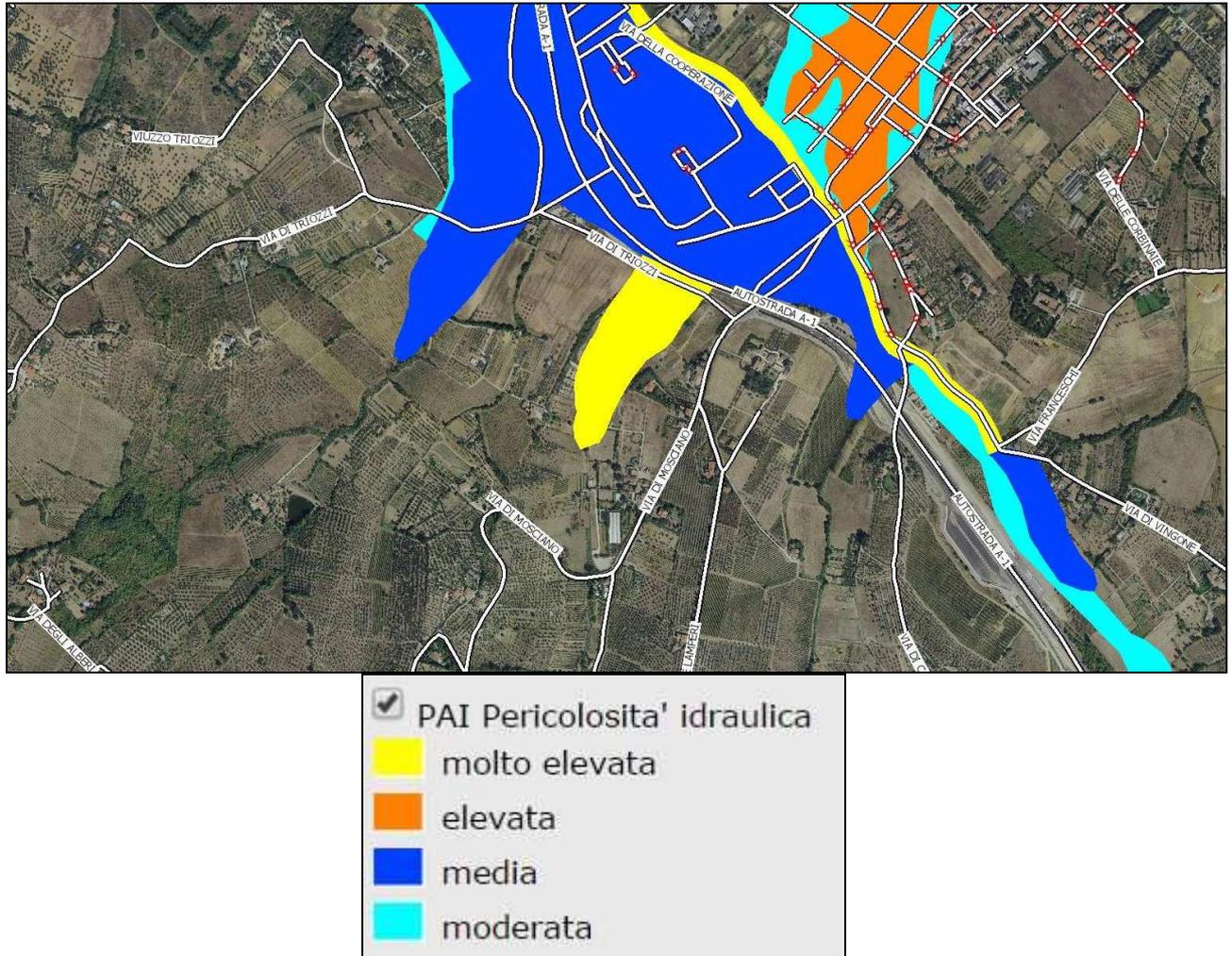


Figura 5-2: PAI - Carta della pericolosità idraulica

## 5.2 R.D. 523/1904

Il Testo Unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie, approvato con R.D. n°523/1904, impone una serie di vincoli di carattere idraulico.

Ai sensi dell'art. 57 del succitato R.D. "i progetti per modificazione di argini e per costruzione e modificazione di altre opere di qualsiasi genere, che possano direttamente o indirettamente influire sul regime dei corsi d'acqua, quantunque di interesse puramente consorziale o privato, non potranno eseguirsi senza la previa omologazione del prefetto". Tale prerogativa è oggi delle Province e degli URTT, ai sensi della L.R. 91/98, secondo quanto ribadito nella Circolare interpretativa approvata con D.G. 822/2001.

Ai sensi dell'art. 93 "nessuno può fare opere nell'alveo dei fiumi, torrenti, rivi, scolatoi pubblici e canali di proprietà demaniale, cioè nello spazio compreso fra le sponde fisse dei medesimi, senza il permesso dell'autorità amministrativa. Formano parte degli alvei i rami o canali, o diversivi dei fiumi, torrenti, rivi e scolatoi pubblici, ancorché in alcuni tempi dell'anno rimangono asciutti."

Ai sensi e per gli effetti dell'art.95 "il diritto dei proprietari frontisti di munire le loro sponde nei casi previsti dall'art. 58, è subordinato alla condizione che le opere o le piantagioni non arrechino né alterazione al corso ordinario delle acque, né impedimento alla sua libertà, né danno alle proprietà altrui, pubbliche o private, alla navigazione, alle derivazioni ed agli opifici legittimamente stabiliti, ed in generale ai diritti dei terzi."

L'art. 96 vieta in modo assoluto sulle acque pubbliche, loro alvei, sponde e difese "le piantagioni di alberi e siepi, le fabbriche, gli scavi e lo smovimento del terreno a distanza dal piede degli argini e loro accessori come sopra, minore di quella stabilita dalle discipline vigenti nelle diverse località, ed in mancanza di tali discipline, a distanza minore di metri quattro per le piantagioni e smovimento del terreno e di metri dieci per le fabbriche e per gli scavi".

Pertanto nella fascia compresa all'interno dei 10 metri, misurati a partire dal piede esterno dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda, non è possibile procedere ad alcun tipo di edificazione.

## 5.3 Strumenti per il Governo del Territorio

### 5.3.1 Legge Regionale n. 1/2005

La definizione del livello di pericolosità idraulica è stata effettuata seguendo le indicazioni contenute nel Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 ottobre 2011, n. 53/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.

Ai sensi dell'Art.1, il succitato Regolamento disciplina:

- a) *le direttive tecniche per le indagini atte a verificare la pericolosità del territorio sotto il profilo geologico, idraulico, la fattibilità delle previsioni e per la valutazione degli effetti locali e di sito in relazione all'obiettivo della riduzione del rischio sismico, di seguito indicate "indagini geologiche";*
- b) *il procedimento per il deposito delle indagini geologiche presso le strutture regionali competenti;*
- c) *le modalità del controllo delle indagini geologiche da parte della struttura regionale competente."*

Le disposizioni del regolamento (Art.2) "si applicano alle indagini geologico-tecniche da effettuare in sede di formazione:

- a) dei piani strutturali e relative varianti;
- b) dei regolamenti urbanistici e relative varianti;
- c) dei piani complessi d'intervento e relative varianti;
- d) dei piani attuativi e relative varianti;
- e) delle varianti ai piani regolatori generali vigenti.

Le direttive tecniche da seguire sono contenute nell'ALLEGATO del Regolamento.

Al paragrafo C. 2 di tale Allegato vengono definite le seguenti aree a pericolosità idraulica:

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

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda

**Pericolosità idraulica elevata (I.3):** Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $30 < TR < 200$

anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

**Pericolosità idraulica media (I.2):** Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $200 < TR < 500$

anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

- non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

**Pericolosità idraulica bassa (I.1):** Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda

Il Regolamento Urbanistico, nel disciplinare l'attività urbanistica ed edilizia del territorio comunale, definisce le condizioni per la gestione degli insediamenti esistenti e per le trasformazioni degli assetti insediativi, infrastrutturali ed edilizi, in coerenza con il quadro conoscitivo e con i contenuti strategici definiti nel Piano Strutturale, traducendo altresì in regole operative anche le prescrizioni dettate dai Piani di Bacino.

Le condizioni di attuazione sono riferite alla fattibilità delle trasformazioni e delle funzioni territoriali ammesse, fattibilità che fornisce indicazioni in merito alle limitazioni delle destinazioni d'uso del territorio in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate, nonché in merito agli studi e alle indagini da effettuare a livello attuativo ed edilizio ed alle opere da realizzare per la mitigazione del rischio, opere che andranno definite sulla base di studi e verifiche che permettano di acquisire gli elementi utili alla predisposizione della relativa progettazione.

Le condizioni di attuazione delle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali possono essere differenziate secondo le seguenti categorie di fattibilità:

- **Fattibilità senza particolari limitazioni (F1):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
- **Fattibilità con normali vincoli (F2):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
- **Fattibilità condizionata (F3):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.
- **Fattibilità limitata (F4):** si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi, dati da attività di monitoraggio e verifiche atte a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

In relazione agli aspetti idraulici, i criteri generali di fattibilità sono indicati al paragrafo 3.2.2 dell'Allegato A e riportati di seguito.

*“Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata è necessario rispettare i seguenti criteri:*

*a) sono da consentire nuove edificazioni o nuove infrastrutture per le quali sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi strutturali per la riduzione del rischio sui corsi d'acqua o sulle cause dell'insufficiente drenaggio finalizzati alla messa in sicurezza idraulica per eventi con tempi di ritorno di 200 anni;*

*b) è comunque da consentire la realizzazione di brevi tratti viari di collegamento tra viabilità esistenti, con sviluppo comunque non superiore a 200 ml, assicurandone comunque la trasparenza idraulica ed il non aumento del rischio nelle aree contermini;*

*c) gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle;*

*d) relativamente agli interventi di nuova edificazione, di sostituzione edilizia, di ristrutturazione urbanistica e/o di addizione volumetrica che siano previsti all'interno delle aree edificate, la messa in sicurezza rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni può essere conseguita anche tramite adeguati sistemi di autosicurezza (porte o finestre a tenuta stagna, parti a comune, locali accessori e/o vani tecnici isolati.” idraulicamente, ecc), nel rispetto delle seguenti condizioni:*

- *sia dimostrata l'assenza o l'eliminazione di pericolo per le persone e i beni, fatto salvo quanto specificato alla lettera l);*
- *sia dimostrato che gli interventi non determinano aumento delle pericolosità in altre aree;*

- e) della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto anche nel titolo abilitativo all'attività edilizia;
- f) fino alla certificazione dell'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere idrauliche, accompagnata dalla delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, non può essere certificata l'abitabilità o l'agibilità;
- g) fuori dalle aree edificate sono da consentire gli aumenti di superficie coperta inferiori a 50 metri quadri per edificio, previa messa in sicurezza rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni conseguita tramite sistemi di auto sicurezza;
- h) deve essere garantita la gestione del patrimonio edilizio e infrastrutturale esistente e di tutte le funzioni connesse, tenendo conto della necessità di raggiungimento anche graduale di condizioni di sicurezza idraulica fino a tempi di ritorno di 200 anni;
- i) devono essere comunque vietati i tombamenti dei corsi d'acqua, fatta esclusione per la realizzazione di attraversamenti per ragioni di tutela igienico-sanitaria e comunque a seguito di parere favorevole dell'autorità idraulica competente;
- l) sono da consentire i parcheggi a raso, ivi compresi quelli collocati nelle aree di pertinenza degli edifici privati, purché sia assicurata la contestuale messa in sicurezza rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 30 anni, assicurando comunque che non si determini aumento della pericolosità in altre aree. Fanno eccezione i parcheggi a raso con dimensioni superiori a 500 metri quadri e/o i parcheggi a raso in fregio ai corsi d'acqua, per i quali è necessaria la messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni;
- m) possono essere previsti ulteriori interventi, diversi da quelli indicati nelle lettere dalla a) alla l) di cui al presente paragrafo, per i quali sia dimostrato che la loro natura è tale da non determinare pericolo per persone e beni, da non aumentare la pericolosità in altre aree e purché siano adottate, ove necessario, idonee misure atte a ridurre la vulnerabilità.

Nelle situazioni caratterizzate **da pericolosità idraulica elevata** sono da rispettare i criteri di cui alle lettere b), d), e) f), g), h), i) ed m) del paragrafo 3.2.2.1. Sono inoltre da rispettare i seguenti criteri:

- a) all'interno del perimetro dei centri abitati (come individuato ai sensi dell'articolo 55 della l.r. 1/2005) non sono necessari interventi di messa in sicurezza per le infrastrutture a rete (quali sedi viarie, fognature e sotto servizi in genere) purché sia assicurata la trasparenza idraulica ed il non aumento del rischio nelle aree contermini;
- b) non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture, compresi i parcheggi con dimensioni superiori a 500 metri quadri e/o i parcheggi in fregio ai corsi d'acqua, per i quali non sia dimostrabile il rispetto di condizioni di sicurezza o non sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni. Fanno eccezione i parcheggi a raso con dimensioni inferiori a 500 mq e/o i parcheggi a raso per i quali non sono necessari interventi di messa in sicurezza e i parcheggi pertinenziali privati non eccedenti le dotazioni minime obbligatorie di legge;
- c) gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle. Ai fini dell'incremento del livello di rischio, laddove non siano attuabili interventi strutturali di messa in sicurezza, possono non essere considerati gli interventi urbanistico-edilizi comportanti volumetrie totali sottratte all'esondazione o al ristagno inferiori a 200 metri cubi in caso di bacino sotteso dalla previsione di dimensioni fino ad 1 chilometro quadrato, volumetrie totali sottratte all'esondazione o al ristagno inferiori a 500 metri cubi in caso di bacino sotteso di dimensioni comprese tra 1 e 10 kmq, o volumetrie totali sottratte all'esondazione o al ristagno inferiori a 1000 metri cubi in caso di bacino sotteso di dimensioni superiori a 10 kmq;
- d) in caso di nuove previsioni che, singolarmente o complessivamente comportino la sottrazione di estese aree alla dinamica delle acque di esondazione o ristagno non possono essere realizzati interventi di semplice compensazione volumetrica ma, in relazione anche a quanto contenuto nella lettera g) del paragrafo 3.2.2.1, sono realizzati interventi strutturali sui corsi d'acqua o sulle cause dell'insufficiente drenaggio. In presenza di

*progetti definitivi, approvati e finanziati, delle opere di messa in sicurezza strutturali possono essere attivate forme di gestione del rischio residuo, ad esempio mediante la predisposizione di piani di protezione civile comunali;*

*e) per gli ampliamenti di superficie coperta per volumi tecnici di estensione inferiore a 50 mq per edificio non sono necessari interventi di messa in sicurezza.*

*Nelle situazioni caratterizzate **da pericolosità idraulica media** per gli interventi di nuova edificazione e per le nuove infrastrutture possono non essere dettate condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico. Qualora si voglia perseguire un maggiore livello di sicurezza idraulica, possono essere indicati i necessari accorgimenti costruttivi per la riduzione della vulnerabilità delle opere previste o individuati gli interventi da realizzare per la messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni, tenendo conto comunque della necessità di non determinare aggravii di pericolosità in altre aree.*

*Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica bassa non è necessario indicare specifiche condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico.*

### 5.3.2 Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico del Comune di Scandicci

Il Consiglio Comunale, con Deliberazione n. 57 dell'8 luglio 2013, ha approvato la variante di aggiornamento del vigente Piano Strutturale (approvato nel 2004, con deliberazione C.C. n. 74 del 31 maggio). La variante al Piano Strutturale è divenuta efficace dal 14 agosto 2013, data di pubblicazione del relativo di avviso di approvazione sul BURT n. 33.

Il Consiglio Comunale, con Deliberazione n. 58 dell'8 luglio 2013, ha approvato la revisione quinquennale del Regolamento Urbanistico. Il nuovo Regolamento Urbanistico, riferito al quinquennio 2013-2018, è divenuto efficace dal 14 agosto 2013, data di pubblicazione del relativo avviso di approvazione sul BURT n.

Nella figura seguente sono riportate le pericolosità idrauliche dell'area riportate negli strumenti urbanistici comunali.

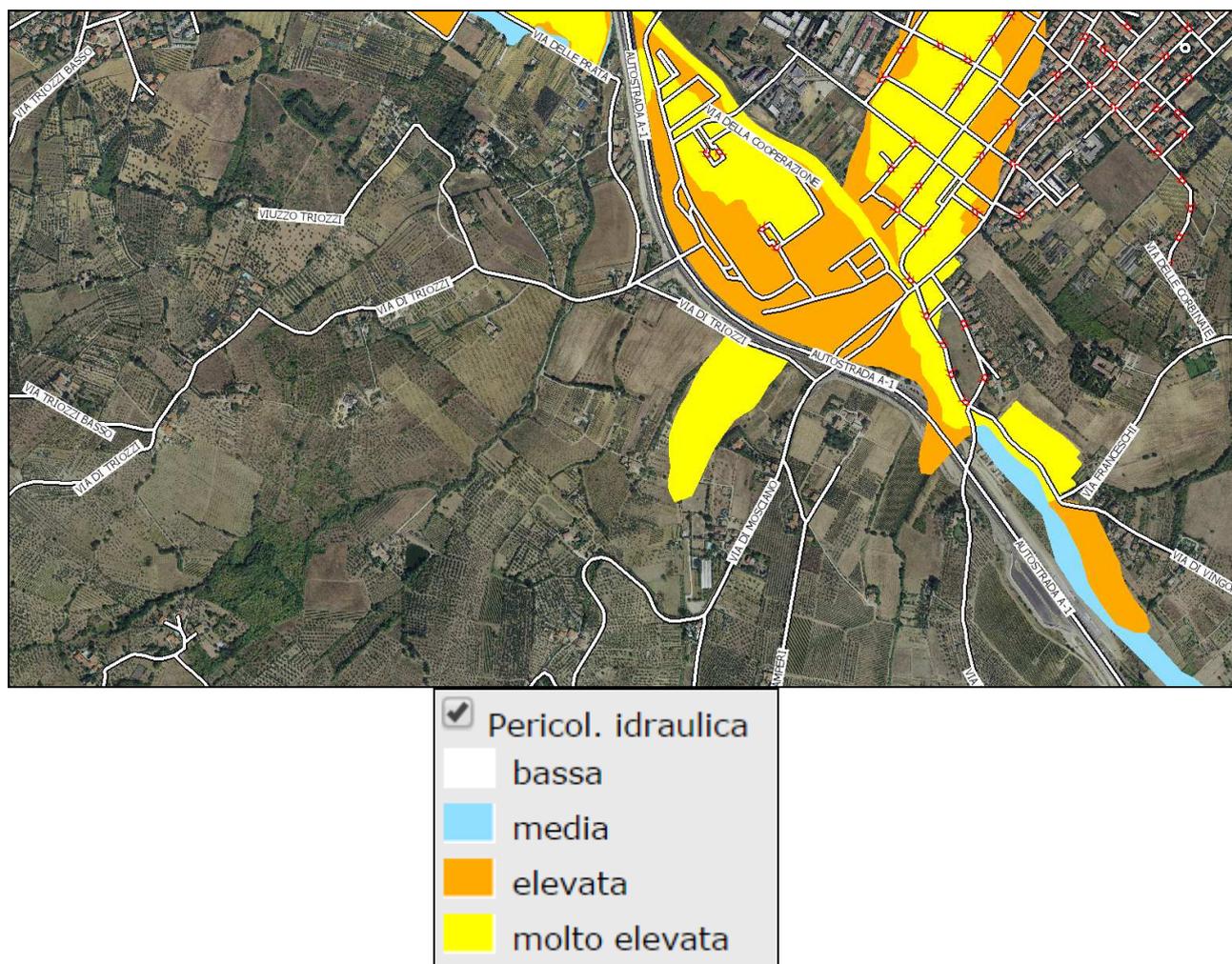


Figura 5-3: Pericolosità Idraulica Strumenti Urbanistici

## 6 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).

### 6.1 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.

### 6.1.1 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.

Noti i parametri  $a$  e  $n$  della LSPP per assegnato  $Tr$ , 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, 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.

## 6.2 Calcolo degli idrogrammi di progetto

### 6.2.1 Fosso Masseto

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.

In particolare per la stima del coefficiente  $I_a$  si è utilizzata la formula  $I_a = 3.3 + 2i$

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 ù 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	Calcari 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" 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 siltose, con intercalazioni di calcareniti	0
MLL	Formazione di M. Morello	Flysch carbonatici, calcari marnosi e marne	4,65
PRN	Peridotiti serpentinizzate con filoni gabbrici e basaltici	Peridotiti serpentinizzate con filoni gabbrici 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 siltose e marnose rossastre, verdastre o grigie, talvolta con sottili intercalazioni di calcilu	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 siltoso-argillose e limi sabbiosi	Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi	2,325

**Tabella 6-1: Valori  $K_s$  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:

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

dove  $t$  è la durata dell'evento,  $A$  è l'area del bacino sotteso e  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  sono parametri dipendenti 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 ragguglio, 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  $h=a't^nTr^m$  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".

Valutata l'esiguità dell'estensione del bacino si è cautelativamente posto "**Kr**" pari a 1.

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 ietogramma 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 raggugliata sul bacino;

$U(t)$  è l'idrogramma unitario

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

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:

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

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:

$$n = 3.29(Rb/Ra)^{0.78} Rl^{0.07}$$

$$k = 0.7(Ra/(Rb \cdot Rl))^{0.48} Lc/v$$

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  $u=1, 2, 3, \dots$

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 la [mm]
  - o Ks [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.

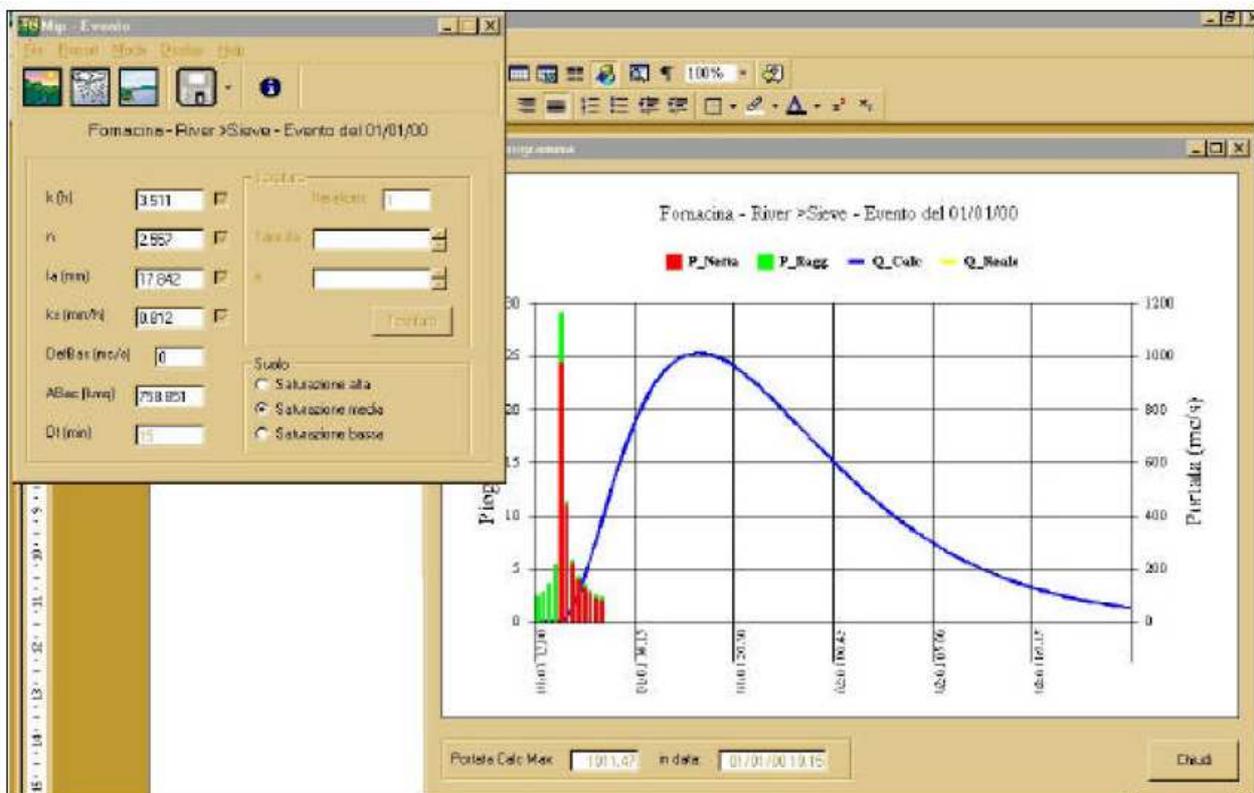


Figura 6-1: Visualizzazione della risposta idrologica del bacino considerato

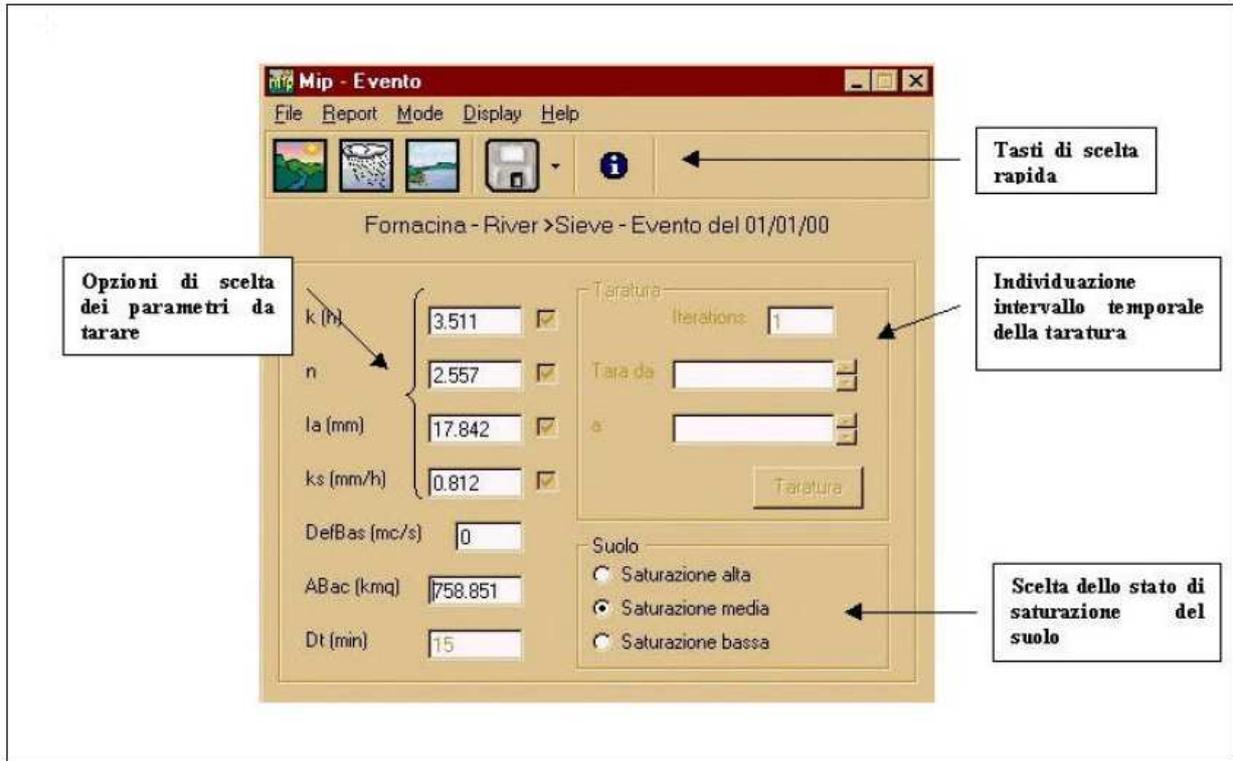


Figura 6-2: Parametri di calcolo della risposta idrologica del bacino considerato

<b>A [kmq]</b>	1.29
<b>la [mm]</b>	5.132
<b>Ks [mm/h]</b>	1.830
<b>n [-]</b>	3.029
<b>k [h]</b>	0.133

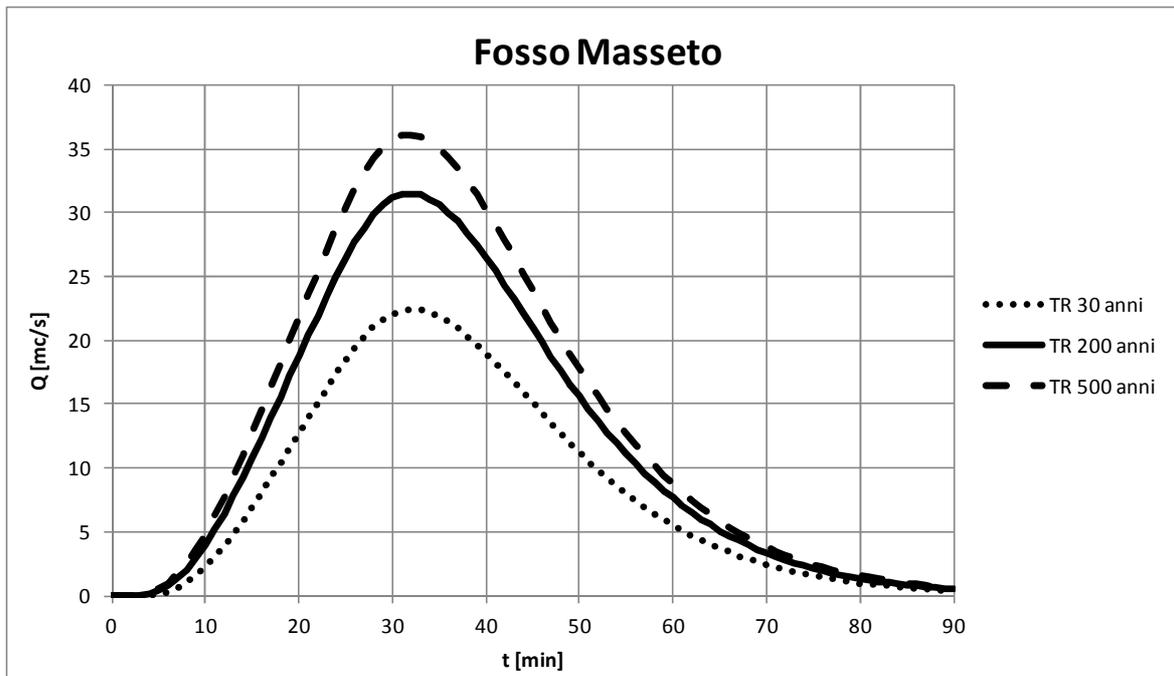


Figura 6-3: Dati del bacino ed Idrogrammi di progetto - Fosso di Masseto

## 6.2.2 Fosso Massetino

Per il Fosso Massetino è stato scelto un approccio diverso a causa delle dimensioni ridottissime della superficie del bacino, che mal si adattano all'impiego delle metodologie adottate per il Fosso Masseto.

Si è quindi proceduto al calcolo degli idrogrammi di progetto mediante il Metodo razionale di seguito descritto.

Il Metodo Razionale è un procedimento semplice ed efficace per il calcolo della portata al colmo  $Q$  con tempo di ritorno  $T_R$  assegnato, basato sull'uso della curva di possibilità pluviometrica.

La portata al colmo,  $Q$ , risulta causata da un evento di precipitazione rappresentato da uno ietogramma ad intensità costante,  $i$ , di durata pari al tempo di corrivazione,  $t_C$ , ed è proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia e dell'area del bacino, attraverso un coefficiente di deflusso,  $C$ , che stima l'effetto delle perdite.

In definitiva, la formula utilizzata è la seguente:

$$Q = \frac{CiA}{3.6}$$

dove:

$Q$  = portata al colmo con tempo di ritorno  $T_R$  [m<sup>3</sup>/s]

$C$  = coeff. di deflusso

$i$  = intensità di pioggia ricavata dalla curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno  $T_R$  e durata pari al tempo di corrivazione  $t_C$  [mm/h]

$A$  = area del bacino [km<sup>2</sup>]

Per stimare il tempo di corrivazione  $t_C$  si possono utilizzare varie formule empiriche, con campi di applicazione diversi. Di seguito se ne riportano alcune fra le più comuni.

Formula di Giandotti:

$$t_C = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

dove:

$t_C$  = tempo di corrivazione del bacino [h]

$A$  = area del bacino [Km<sup>2</sup>]

$L$  = lunghezza dell'asta principale [Km]

$H$  = altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura [m s.l.m.]

Formula di Kirpich:

$$t_C = L^{0.77} \left( \frac{L}{(H_{MAX} - H_{MIN})} \right)^{0.385}$$

dove:

$L$  = lunghezza dell'asta principale [Km]

$H_{MAX}$  = altezza massima del bacino [m s.l.m.]

$H_{MIN}$  = altezza minima del bacino [m s.l.m.]

Formula di Ventura:

$$t_C = 0.1272 \left( \frac{A}{i} \right)^{0.5}$$

dove:

$A$  = area del bacino [Km<sup>2</sup>]

$i$  = pendenza media del bacino

Formula di Pasini:

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

dove:

A = area del bacino [Km<sup>2</sup>]

i = pendenza media del bacino

L = lunghezza dell'asta principale [Km]

La stima dell'intensità di pioggia, *i*, richiede la determinazione dell'altezza di pioggia critica, ovvero l'altezza di precipitazione che, per un assegnato tempo di ritorno  $T_R$ , mi individua l'evento critico in termini di portata al colmo. Tale altezza di pioggia, *h*, si determina a partire dai parametri della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica, che fornisce una relazione tra la durata della pioggia, il tempo di ritorno e la relativa altezza di precipitazione.

La formula per ricavare l'altezza di pioggia è la seguente:

$$h = at_C^n T_R^m$$

dove:

*h* = altezza di pioggia [mm]

$t_C$  = tempo di corrivazione del bacino [h]

$T_R$  = tempo di ritorno [anni]

*a, n, m* = parametri della curva di possibilità pluviometrica.

L'intensità di pioggia si ricava semplicemente a partire dall'altezza di pioggia critica divisa per la durata critica, assunta, in tale modellazione, pari al tempo di corrivazione,  $t_C$ :

$$i = \frac{h}{t_C}$$

Il Coefficiente di Deflusso *C* si ricava normalmente dall'uso della copertura del suolo, che può essere ricavata dalla letteratura, da opportune cartografie o da sopralluoghi.

Dallo studio dell'uso del suolo si è stimato un **Coefficiente di Deflusso** *C* pari a 0.5.

Per quanto riguarda la convoluzione, questa è stata eseguita mediante il software Urbis (2003) v.2 sviluppato dal Politecnico di Milano e dalla Etatec Srl, al quale è stata fornita direttamente la pioggia lorda calcolata seguendo le linee guida della Regione Toscana, come già descritto nel paragrafo 6.1.

Il **Tempo di Corrivazione** è stato stimato pari a 15 minuti, come media tra i valori calcolati mediante le formule di Kirpich, Pasini e Ventura. I parametri del bacino del Fosso Massetino utilizzati e gli Idrogrammi di progetto ricavati dallo studio idrologico sono di seguito riassunti.

Fosso Massetino		
$H_{max}$	[m s.l.m.]	177.00
$H_{min}$	[m s.l.m.]	54.80
$H_{media}$	[m s.l.m.]	115.90
H	[m s.l.m.]	61.10
A	[km <sup>2</sup> ]	0.238
L	[km]	1.58
C	[ - ]	0.50
i	[ - ]	0.0773

Tabella 6-2: Dati bacino Fosso Massetino

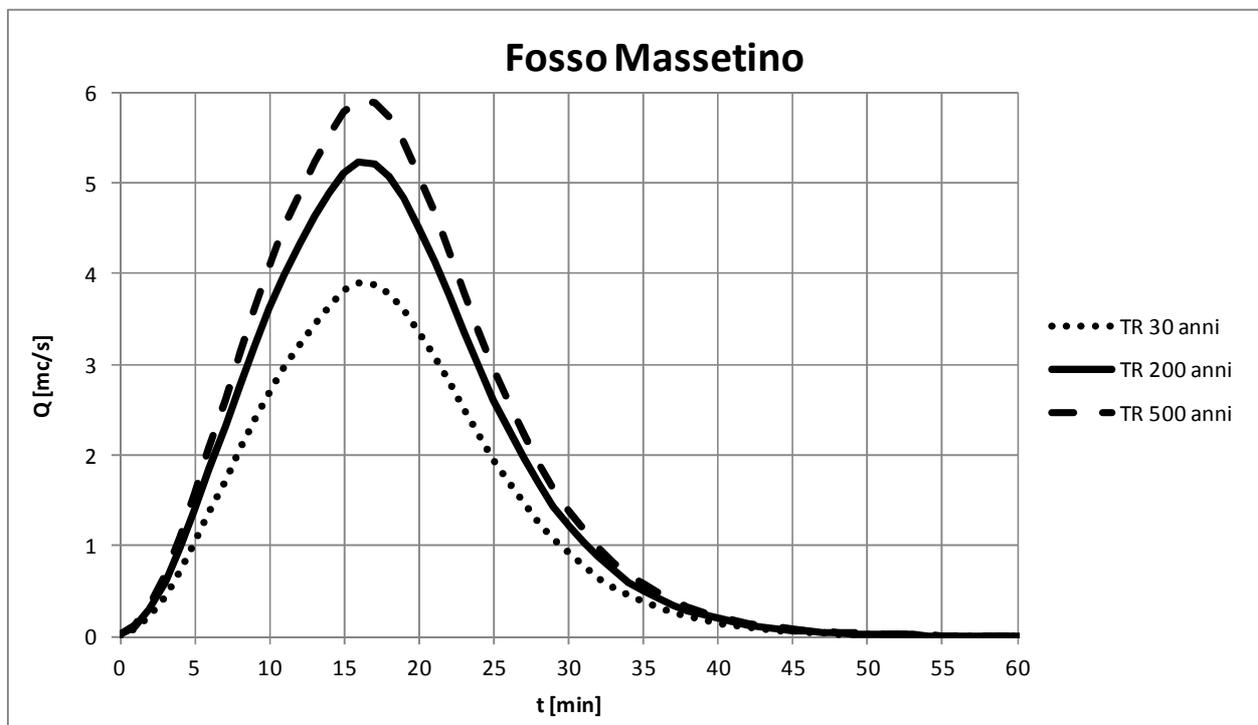


Figura 6-4: Idrogrammi di progetto - Fosso di Massetino

## 7 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.

### 7.1 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).

#### 7.1.1 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.

### 7.1.2 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.

### 7.1.3 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:

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

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

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>).

#### 7.1.4 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:

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

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.

#### 7.1.5 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:

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

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).

#### 7.1.6 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 $Q = A(Z_j1) \cdot Z_j2$

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).

##### 7.1.7 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:

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

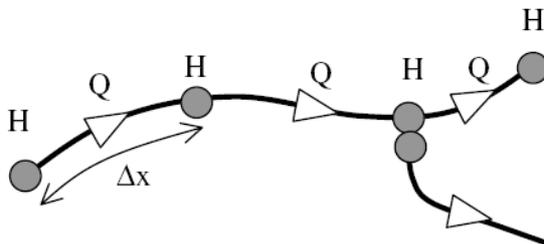
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a  $1/n$ , essendo n il coefficiente di Manning.

### 7.1.8 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.

### 7.1.9 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.

### 7.1.10 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).

## 7.2 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.

### 7.2.1 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:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

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

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 plano-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.

### 7.3 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.

## 8 Analisi della pericolosità idraulica allo stato attuale

### 8.1 Verifiche idrauliche

#### 8.1.1 Caratterizzazione geometrica

I corsi d'acqua in studio sono stati caratterizzati geometricamente attraverso le sezioni fluviali di rilievo, i manufatti di attraversamento e il rilievo Laser Scanner Lidar della Regione Toscana. Lo schema della modellistica idraulica implementata è riportato in Tavola 2, in cui oltre al rilievo topografico effettuato, sono evidenziate le tracce delle sezioni secondo il codice attribuito e il Dtm del terreno utilizzato.

#### 8.1.2 Parametri della modellistica idraulica

Per il tronco del Fosso Masseto e Massetino studiato è stato sviluppato un modello idraulico di moto vario attraverso il software Mike Flood, unico per entrambi i corsi d'acqua.

Quali 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 scelto un valore di Manning pari a  $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$ , corrispondente a tratti di corso d'acqua naturali con presenza di vegetazione. Per quanto riguarda il coefficiente di scabrezza delle aree circostanti i corsi d'acqua per la modellazione 2D è stato impiegato un valore di Manning pari a  $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Per quanto attiene, invece, la condizione al contorno di valle, è stata utilizzata una scala di deflusso calcolata mediante il software Hec-Ras 4.1.0.

#### 8.1.3 Modellistiche idrauliche

Definiti i parametri idraulici per ciascun tronco fluviale e la schematizzazione degli input idrologici, si è passati all'implementazione delle procedure necessarie alla verifica della pericolosità idraulica dell'area di studio indotta dal Fosso Masseto e Fosso Massetino per TR = 30, 200 e 500 anni.

Quale ipotesi cautelativa, è stato assunto che tutta la portata idrologica potesse transitare in alveo fino alla sezione posta in testa al modello idraulico, ovvero non sono state valutate eventuali esondazioni a monte del tratto analizzato.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche idrauliche dei due corsi d'acqua allo Stato Attuale. Per i dettagli si rimanda inoltre alle Tavole 3 e 4.

##### 8.1.3.1 Fosso Masseto

TR30					TR200					TR500				
MIKE 11 - Risultati FOSSO DEL MASSETO - WATER LEVEL - DISCHARGE					MIKE 11 - Risultati FOSSO DEL MASSETO - WATER LEVEL - DISCHARGE					MIKE 11 - Risultati FOSSO DEL MASSETO - WATER LEVEL - DISCHARGE				
Sezione	Hec	Chainage	Water Level Maximum [m slm]	Discharge Maximum [m <sup>3</sup> /s]	Sezione	Hec	Chainage	Water Level Maximum [m slm]	Discharge Maximum [m <sup>3</sup> /s]	Sezione	Hec	Chainage	Water Level Maximum [m slm]	Discharge Maximum [m <sup>3</sup> /s]
00102PB09	12	3.00	60.70	22.40	00102PB09	12	3.00	61.31	29.48	00102PB09	12	3.00	61.47	33.01
00102PC09	11	6.55	59.59	22.40	00102PC09	11	6.55	59.76	27.69	00102PC09	11	6.55	59.84	30.39
00100_09	10	30.66	59.05	22.40	00100_09	10	30.66	59.24	28.32	00100_09	10	30.66	59.33	31.46
00096_09	9	63.92	58.48	22.40	00096_09	9	63.92	58.68	29.21	00096_09	9	63.92	58.78	32.90
00094_09	8	92.51	57.94	22.40	00094_09	8	92.51	58.15	29.20	00094_09	8	92.51	58.25	32.89
00090_09	7	123.90	57.48	22.40	00090_09	7	123.90	57.68	29.19	00090_09	7	123.90	57.78	32.88
00088_09	6	146.56	57.11	22.40	00088_09	6	146.56	57.30	29.19	00088_09	6	146.56	57.39	32.87
00085_09	5	175.80	56.85	22.40	00085_09	5	175.80	57.01	29.19	00085_09	5	175.80	57.09	32.87
00081_09	4	214.12	56.79	22.39	00081_09	4	214.12	56.87	29.30	00081_09	4	214.12	56.91	33.02
00079_09	3	237.30	56.88	19.98	00079_09	3	237.30	57.01	25.19	00079_09	3	237.30	57.06	28.31
00077PB09	2	255.80	56.92	18.06	00077PB09	2	255.80	57.11	20.14	00077PB09	2	255.80	57.19	21.31
00077PC09	1	262.22	55.83	18.06	00077PC09	1	262.22	55.89	19.55	00077PC09	1	262.22	55.92	20.22

Tavola 8-1: Risultati modellistica idraulica Fosso Masseto - Stato Attuale

### 8.1.3.2 Fosso Massetino

TR30					TR200					TR500				
MIKE 11 - Risultati FOSSO MASSETINO - WATER LEVEL - DISCHARGE					MIKE 11 - Risultati FOSSO MASSETINO - WATER LEVEL - DISCHARGE					MIKE 11 - Risultati FOSSO MASSETINO - WATER LEVEL - DISCHARGE				
Sezione	Hec	Chainage	Water Level Maximum [m slm]	Discharge Maximum [m <sup>3</sup> /s]	Sezione	Hec	Chainage	Water Level Maximum [m slm]	Discharge Maximum [m <sup>3</sup> /s]	Sezione	Hec	Chainage	Water Level Maximum [m slm]	Discharge Maximum [m <sup>3</sup> /s]
00035_09	14	0.00	64.97	3.90	00035_09	14	0.00	65.06	5.20	00035_09	14	0.00	65.11	5.90
00033PB09	13	21.52	64.66	1.57	00033PB09	13	21.52	64.66	1.82	00033PB09	13	21.52	64.66	1.95
00033PC09	12.5	26.52	64.08	1.37	00033PC09	12.5	26.52	64.07	1.35	00033PC09	12.5	26.52	64.08	1.37
00032_09	12	28.26	63.91	1.46	00032_09	12	28.26	63.91	1.43	00032_09	12	28.26	63.91	1.47
00029_09	11	65.51	62.75	1.88	00029_09	11	65.51	62.80	2.29	00029_09	11	65.51	62.82	2.52
00025_09	10	97.26	61.53	2.50	00025_09	10	97.26	61.60	3.19	00025_09	10	97.26	61.63	3.55
00022_09	9	126.37	60.61	2.63	00022_09	9	126.37	60.67	3.25	00022_09	9	126.37	60.68	3.48
00019_09	8	157.14	59.46	2.64	00019_09	8	157.14	59.53	3.17	00019_09	8	157.14	59.55	3.29
00017_09	7	179.76	58.77	2.64	00017_09	7	179.76	58.84	3.17	00017_09	7	179.76	58.86	3.29
00014_09	6	215.79	57.82	2.63	00014_09	6	215.79	57.90	3.17	00014_09	6	215.79	57.92	3.29
00011_09	5	240.20	57.45	3.10	00011_09	5	240.20	57.52	3.71	00011_09	5	240.20	57.55	3.92
00010PB09	4	251.41	57.43	2.54	00010PB09	4	251.41	57.50	2.79	00010PB09	4	251.41	57.52	2.92
00010PC09	3.5	254.41	56.90	2.39	00010PC09	3.5	254.41	56.96	2.69	00010PC09	3.5	254.41	57.00	2.73
00008_09	3	270.25	56.56	2.71	00008_09	3	270.25	56.63	3.24	00008_09	3	270.25	56.67	3.53
00006_09	2	295.90	56.26	2.99	00006_09	2	295.90	56.33	3.65	00006_09	2	295.90	56.36	4.01
00003PB09	1	321.02	56.30	3.10	00003PB09	1	321.02	56.35	3.81	00003PB09	1	321.02	56.38	4.19
00003PC09	0.5	333.52	55.58	3.01	00003PC09	0.5	333.52	55.65	3.68	00003PC09	0.5	333.52	55.69	4.02

Tabella 8-2: Risultati modellistica idraulica Fosso Massetino - Stato Attuale

## 8.2 Analisi dei risultati e definizione delle aree a pericolosità idraulica

Sulla base dei risultati della modellistica idraulica, in termini di livelli idrometrici nelle sezioni fluviali e di aree allagate, si è pervenuti alle perimetrazioni delle aree allagate su ciascun orizzonte temporale analizzato, e da queste sono state mutuare le pericolosità ai sensi del D.P.G.R. 53/R.

In Tavola 3 sono riportate le sezioni fluviali con i livelli idrometrici, mentre in Tavola 4 sono riportate le perimetrazioni delle aree allagate per Tr 30, 200 e 500 anni, con le pericolosità idrauliche sopra definite.

### 8.2.1 Fosso Masseto

Per quanto concerne la portata con Tr 30 anni, si segnalano modeste esondazioni in sinistra e soprattutto in destra idraulica nel tratto terminale a partire dalla sezione 00081\_09 fino all'attraversamento di Via di Triozzi. Quest'ultimo risulta essere la causa principale del rigurgito che si genera a monte di esso, provocando la conseguente esondazione. Via di Triozzi risulta essere sormontata dall'acqua. L'area del comparto è solo marginalmente interessata da Pericolosità Idraulica Molto Elevata I.4 dovuta all'esondazione del Fosso Masseto e la maggior parte di tale pericolosità riguarda la fascia a verde a Nord del campeggio.

La portata con Tr 200 anni, oltre che nel tratto di valle analogamente alla portata trentennale, esonda anche a monte della sezione 00102PB09 a causa della presenza di un ponte ad arco in pietra. L'acqua che fuoriesce in destra idraulica, va ad interessare l'estremità Ovest del campeggio che risulta quindi essere perimetrata in Pericolosità Idraulica Elevata I.3.

La portata con Tr 500 anni ha un andamento molto simile a quello della portata con Tr 200 anni.

In definitiva la pericolosità idraulica dell'area del comparto indotta dal Fosso di Masseto riguarda solamente la parte Ovest del campeggio, che risulta prevalentemente in Pericolosità Idraulica Elevata I.3 e solo in maniera marginale in Pericolosità Idraulica Molto Elevata I.4. Si vedano le Tavole 3 e 4.

### 8.2.2 Fosso Massetino

Per quanto riguarda il Fosso Massetino, sia le sezioni idrauliche sia gli attraversamenti esistenti non risultano sufficienti neppure per il transito della portata con Tr 30 anni. Si manifestano esondazioni già nel tratto a monte del comparto (sezioni 00035\_09 e 00033PB09) a causa di un piccolo attraversamento campestre. La sezione risulta fortemente insufficiente anche in tutto il tratto più a valle e la capacità di smaltimento del corso d'acqua è ulteriormente ridotta dal sottopasso di Via di Triozzi, realizzato con una tubazione DN1000, che risulta inadeguato al passaggio anche di piccole portate.

Le portate con Tr 200 e 500 anni hanno dinamiche di esondazione molto simili a quella con Tr 30 anni. In conclusione, quindi, l'area nell'intorno del Fosso Massetino risulta tutta interessata da Pericolosità Idraulica Molto Elevata I.4, specialmente in sinistra idraulica. Si vedano le Tavole 3 e 4.

### 8.2.3 Fosso Ghindossoli

Al fine di verificare la sicurezza idraulica della zona destinata a campeggio, nell'ambito del rilievo topografico è stata rilevata anche una sezione del Fosso Ghindossoli, situato ad est dell'area di intervento. In tale sezione la sponda sinistra del fosso risulta avere una quota di 56.0 m s.l.m. La zona più orientale del campeggio è impostata ad una quota variabile tra 58.6 m s.l.m. e 68.9 m. s.l.m., e pertanto, in base ad un'analisi qualitativa, può ritenersi in sicurezza idraulica per quanto concerne il Fosso Ghindossoli.

## 9 Analisi di fattibilità idraulica

Dall'analisi della Tavola 4, in cui sono riportate le perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica, si evince che alcune zone del Piano Attuativo destinate alla realizzazione della struttura ricettiva risultano parzialmente ricomprese in aree allagabili per  $TR \leq 200$  anni, per cui l'attuazione delle stesse risulta subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza idraulica.

### 9.1 Interventi di messa in sicurezza idraulica

In Tavola 5 sono riportati gli interventi di messa in sicurezza idraulica di seguito descritti.

Al fine, inoltre, di ottemperare ai disposti di cui al R.D. 523/04, le nuove previsioni edificatorie non dovranno interessare la fascia di rispetto di 10 metri, calcolata rispetto al ciglio di sponda del corso d'acqua.

#### 9.1.1 Fosso Masseto

Per quanto concerne il Fosso Masseto sono previsti i seguenti interventi di messa in sicurezza idraulica:

- **Realizzazione di canale scolmatore** in destra idraulica sul confine Ovest del campeggio, risagomando il fossetto campestre esistente che corre parallelo al Fosso Masseto.
- **Riprofilatura del terreno** dell'area a verde al confine Nord del campeggio, in adiacenza a Via di Triozzi, per ottenere una quota di fondo dell'area di circa **55.00 m s.l.m.** per una superficie di circa **850 mq**, con uno scavo medio del piano campagna attuale di circa **50 cm**, per un totale di circa **450 mc**. Tale area scaricherà direttamente nella chiavica esistente del fossetto campestre adiacente al Fosso Masseto.
- **Realizzazione di arginatura** di altezza pari a circa **1 m** per la protezione del lato Ovest del campeggio, dall'esondazione del Fosso Masseto.

Tutti i 3 interventi sopra descritti hanno la funzione di intercettare le acque del Fosso Masseto che allo Stato Attuale, per portata con  $Tr$  200 anni, esondano in destra idraulica nell'area del campeggio e di convogliarle nell'area oggetto di riprofilatura, sempre all'interno dei confini del campeggio.

Gli interventi sopra descritti sono in grado di garantire una sicurezza idraulica per le aree destinate a campeggio, senza provocare aggravio nelle aree contermini, come rappresentato in Tavola 6.

E' evidente, che seppur realizzando uno stoccaggio provvisorio di volumi nelle aree di proprietà, persisteranno, come nello stato attuale, volumi di esondazione che andranno ad interessare la viabilità di Via di Triozzi.

#### 9.1.2 Fosso Massetino

Per la messa in sicurezza idraulica del Fosso Massetino, sono previsti i seguenti interventi di progetto:

- **Ricalibratura del corso d'acqua** dalla sezione 00009\_09 alla sezione 00011\_\_09, con larghezza del fondo alveo pari a **2.5 m** e pendenza delle sponde **3:2**;

- **Riprofilatura del tratto terminale** del corso d'acqua con le caratteristiche sopracitate, e **arginatura** dello stesso in destra e sinistra idraulica a quota di **57.00 m s.l.m.**;
- Realizzazione nel tratto terminale in destra idraulica di **area golenale** di larghezza media di **5 m**;
- **Realizzazione di arginatura** di altezza pari a circa **1 m** in destra e sinistra idraulica del Fosso Massetino sul confine Sud del campeggio per impedire alle acque esondate a monte di confluire nelle aree del campeggio;
- **Eliminazione dei sottopassi esistenti** nell'area di interesse e rifacimento di alcuni passaggi pedonali. La quota di tali attraversamenti, calcolata sull'evento con Tr 200 anni, con adeguato franco di sicurezza, sarà individuata in fase di richiesta di nulla osta ai sensi del R.D. 523/04.

Nel tratto terminale, a causa della marcata insufficienza del sottopasso, persisteranno esondazioni, seppur ridotte rispetto allo stato attuale, che sormontano la viabilità esistente di via di Triozzi, andando ad interessare la zona a valle della strada.

In fase di richiesta di nulla osta ai sensi del R.D. 523/04 saranno definite le quote di intradosso dei nuovi attraversamenti carrabili e pedonali che verranno realizzati sul Fosso Massetino all'interno del campeggio, per garantire idonei franchi di sicurezza. La *Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 relativa alle NTC 2008* prescrive un franco minimo di 1.5 m rispetto al livello della portata con Tr 200 anni. In alcuni casi in cui i corsi d'acqua siano di piccole dimensioni possono venir concesse delle deroghe a tale prescrizione. In assenza di tale deroga, le quote di intradosso minime dovranno essere indicativamente le seguenti:

- Ponte carrabile di valle: quota minima intradosso circa **58.50 m s.l.m.**;
- Ponte carrabile di monte: quota minima intradosso circa **63.50 m s.l.m.**;
- Passerella pedonale di valle: quota minima intradosso circa **60.30 m s.l.m.**;
- Passerella pedonale di monte: quota minima intradosso circa **62.20 m s.l.m.**;

Gli interventi sopra descritti pertanto sono in grado di garantire una sicurezza idraulica per le aree destinate a campeggio, senza provocare aggravio nelle aree contermini, come rappresentato in Tavola 6.

## 10 Conclusioni

Lo scrivente, studio tecnico associato *Hydrogeo - Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio*, è stato incaricato di eseguire un'indagine idrologico-idraulica di supporto al Piano Attuativo per la realizzazione del nuovo villaggio turistico – Camping “Le Querce” nel Comune di Scandicci.

Come si ricava dalle pericolosità idrauliche (Tavola 4) le aree destinate alla realizzazione del nuovo campeggio sono caratterizzate da Pericolosità Idraulica Molto Elevata I.4 e Pericolosità Idraulica Elevata I.3 per le quali è pertanto necessario rispettare i criteri di cui al punto 3.2.2.1 e 3.2.2.2 del D.P.G.R. 53/r del 2011.

Nel paragrafo 9.1 e nella Tavola 5 sono descritti e rappresentati nel dettaglio gli interventi di messa in sicurezza idraulica dell'area del nuovo campeggio.

Per quanto riguarda l'area nell'intorno del **Fosso Massetino**, ci troviamo prevalentemente in Pericolosità Idraulica Molto Elevata I.4, quindi devono essere rispettati i criteri di cui al punto 3.2.2.1 del D.P.G.R. 53/r del 2011 di cui si riporta un'estratto:

***Nelle aree a pericolosità idraulica molto elevata è necessario rispettare i seguenti criteri:***

- a) *sono da consentire nuove edificazioni o nuove infrastrutture per le quali sia prevista la **preventiva o contestuale realizzazione di interventi strutturali** per la riduzione del rischio sui corsi d'acqua o sulle cause dell'insufficiente drenaggio finalizzati alla messa in sicurezza idraulica per eventi con tempi di ritorno di 200 anni;*
- c) *gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, **non devono aumentare il livello di rischio in altre aree** con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle;*

Gli interventi strutturali previsti sul Fosso Massetino consentono la messa in sicurezza idraulica del corso d'acqua per la portata con Tr 200 anni. Tali interventi, descritti al paragrafo 9.1.2, sono riassumibili nella completa risagomatura del corso d'acqua nel tratto interno al campeggio, nella realizzazione di arginature al confine Sud e di un'area golenale parzialmente arginata nel tratto di valle.

Gli interventi sopra descritti pertanto sono in grado di garantire una sicurezza idraulica per le aree destinate a campeggio, senza provocare aggravio nelle aree contermini, come rappresentato in Tavola 6.

Per quanto riguarda l'area nell'intorno del **Fosso Masseto**, ci troviamo prevalentemente in Pericolosità Idraulica Elevata I.3, quindi devono essere rispettati i criteri di cui al punto 3.2.2.2 del D.P.G.R. 53/r del 2011 di cui si riporta un estratto:

***Nelle aree a pericolosità idraulica elevata è necessario rispettare i seguenti criteri:***

- b) ***non sono da prevedersi** interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture, compresi i parcheggi con dimensioni superiori a 500 metri quadri e/o i parcheggi in fregio ai corsi d'acqua, **per i quali non sia dimostrabile il rispetto di condizioni di sicurezza o non sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni.** Fanno eccezione i parcheggi a raso con dimensioni inferiori a 500 mq e/o i parcheggi a raso per i quali non sono necessari interventi di messa in sicurezza e i parcheggi pertinenziali privati non eccedenti le dotazioni minime obbligatorie di legge;*
- c) ***gli interventi di messa in sicurezza**, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, **non devono aumentare il livello di rischio in altre aree** con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle. Ai fini dell'incremento del livello di rischio, **laddove non siano attuabili interventi***

**strutturali di messa in sicurezza**, possono non essere considerati gli interventi urbanistico-edilizi comportanti volumetrie totali sottratte all'esondazione o al ristagno inferiori a 200 metri cubi in caso di bacino sotteso dalla previsione di dimensioni fino ad 1 chilometro quadrato, volumetrie totali sottratte all'esondazione o al ristagno inferiori a 500 metri cubi in caso di bacino sotteso di dimensioni comprese tra 1 e 10 kmq, o volumetrie totali sottratte all'esondazione o al ristagno inferiori a 1000 metri cubi in caso di bacino sotteso di dimensioni superiori a 10 kmq;

Gli interventi previsti sul Fosso Masseto sono tali da garantire la messa in sicurezza idraulica del corso d'acqua per la portata con Tr 200 anni. Tali interventi, descritti nel paragrafo 9.1.1, sono riassumibili nella realizzazione di un canale scolmatore e di un'arginatura di protezione sul lato Ovest del campeggio e nella riprofilatura del terreno dell'area a verde al confine Nord del campeggio, in adiacenza a Via di Triozzi.

Gli interventi sopra descritti pertanto sono in grado di garantire una sicurezza idraulica per le aree destinate a campeggio, senza provocare aggravio nelle aree contermini, come rappresentato in Tavola 6.

Un'area molto limitata del campeggio lato Fosso Masseto, a Nord-Ovest, è interessata da Pericolosità Idraulica Molto Elevata I.4, quindi devono essere rispettati anche i criteri di cui al punto 3.2.2.1 del D.P.G.R. 53/r del 2011. Tali criteri sono rispettati, poiché gli interventi proposti sul Fosso Masseto sono anche configurabili come interventi strutturali per la messa in sicurezza idraulica dell'area del campeggio per una portata con Tr 200 anni, che contemporaneamente non aggravano il rischio nelle aree contermini.

Per quanto riguarda il **Fosso Ghindossoli** infine, un'analisi qualitativa garantisce la sicurezza idraulica dell'area destinata a campeggio.

## 11 Integrazioni

In data 03/12/2015 sono stati consegnati tutti gli elaborati relativi alle integrazioni al piano urbanistico attuativo per la realizzazione del nuovo villaggio turistico "Camping Le Querce", come da richiesta del Comune di Scandicci del 30/09/2015, compreso lo studio idrologico-idraulico redatto dallo scrivente.

Successivamente alla presentazione di tali elaborati, sono state richieste delle integrazioni da parte del Comune di Scandicci e degli enti preposti, riguardanti approfondimenti sulle pericolosità idrauliche dell'area dove sorgerà il campeggio.

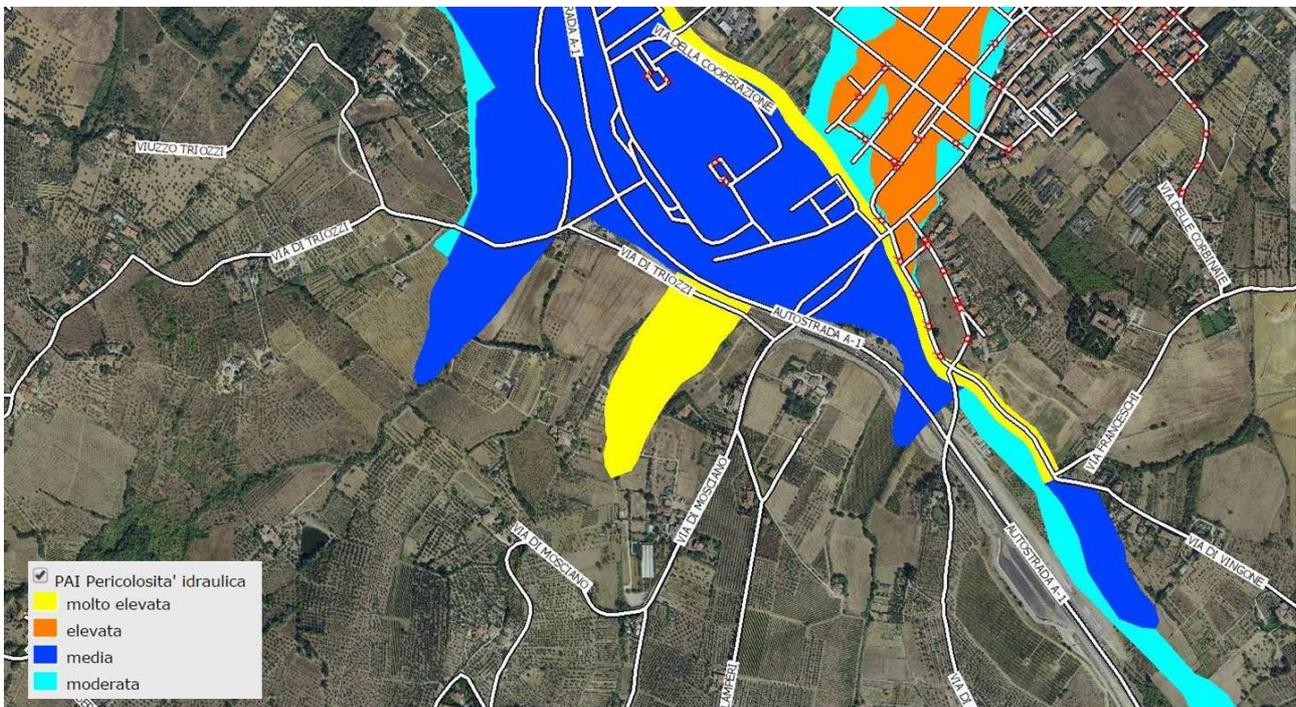
### **Il presente paragrafo fornisce le risposte alle integrazioni richieste riguardanti gli aspetti idraulici.**

In particolare sono stati aggiunti 2 elaborati grafici:

- L50601S06D007\_A - Perimetrazioni Stato Attuale sovrapposte allo schema di progetto del campeggio
- L50601S06D008\_A - Perimetrazioni Stato di Progetto sovrapposte allo schema di progetto del campeggio

La Tavola 7 (L50601S06D007\_A) rappresenta le perimetrazioni allo Stato Attuale ai sensi del D.P.G.R. 53/R del 25/10/11 sovrapposte allo schema del campeggio. Quest'ultimo è solamente indicativo della futura sistemazione di progetto, ma non è in alcun modo correlato con le pericolosità idrauliche rappresentate, che si riferiscono allo Stato Attuale, quindi in assenza del campeggio e degli interventi di sistemazione idraulica di progetto.

La Tavola 8 (L50601S06D008\_A) rappresenta le perimetrazioni allo Stato di Progetto ai sensi del D.P.G.R. 53/R del 25/10/11 sovrapposte allo schema del campeggio. Per ottenere tali perimetrazioni sono state implementate modellazioni idrauliche dello Stato di Progetto anche per le portate con Tr 30 e 500 anni, in aggiunta a quella con Tr 200 anni già implementata in precedenza. Per tutti i dettagli sulla modellazione idrologica ed idraulica effettuata si rimanda ai paragrafi precedenti.



**Figura 11-1: Carta delle Pericolosità Idrauliche del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico - PAI**

Si fa presente inoltre che nella Carta delle Pericolosità Idrauliche del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico - PAI era presente una zona a **Pericolosità Idraulica Molto Elevata - P.I.4** che lambiva l'estremità Est del campeggio, come riportato nella Figura precedente.

Tale perimetrazione però, era affetta da un errore cartografico dovuto alla scala di studio e rappresentazione delle pericolosità. La perimetrazione P.I.4 in questione infatti deriva dalla cartografia a livello di sintesi in scala 1:25000.

La morfologia dei luoghi in realtà rende non raggiungibile da tale pericolosità l'estremità Est del campeggio. Tale evidenza viene confermata dalle nuove perimetrazioni presenti nella Perimetrazione delle aree con classe di pericolosità idraulica del Piano di Gestione Rischio Alluvioni - PGRA, come riportato nella Figura seguente.

Dalle nuove perimetrazioni del PGRA l'estremità Est del campeggio risulta quindi ricadere parzialmente in **Aree a Pericolosità Idraulica Bassa - P1**.

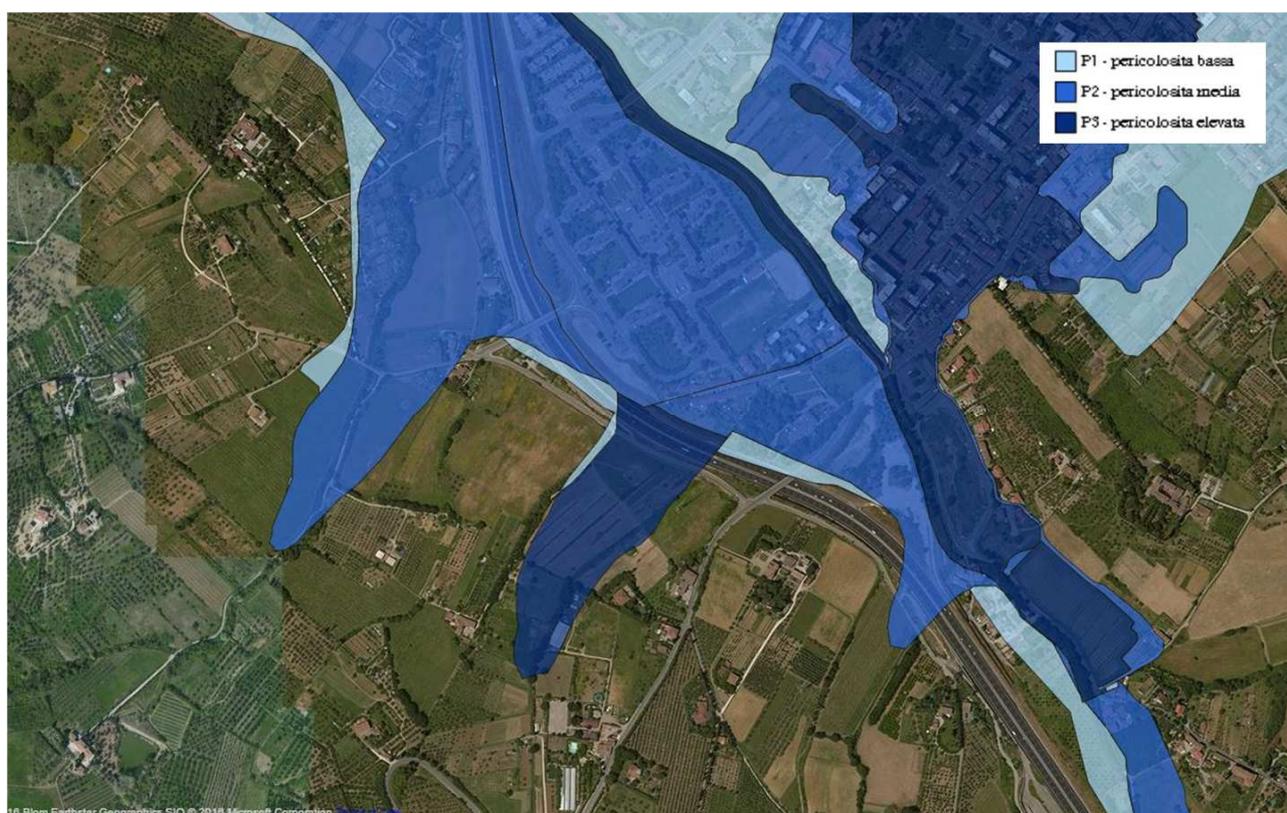


Figura 11-2: Perimetrazione delle aree con classe di pericolosità idraulica del Piano di Gestione Rischio Alluvioni - PGRA