

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL FIUME ELSA DA LOC.CASTIGLIONI (COMUNE DI POGGIBONSI) ALLO SCOLMATORE (COMUNE CASTELFIORENTINO)



Autorità di Bacino Distrettuale
dell'Appennino Settentrionale

PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI



COMUNE DI CERTALDO



COMUNE DI POGGIBONSI

RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

Progettisti

ING. GAZZINI GIACOMO
ING. GABBRIELLI ALESSIO
GEOL. PAGLIAZZI LUCA

Collaboratori

ING. LANINI VALENTINA
ING. CECCHINI CLAUDIO
PER-INF.BALDUCCI FRANCESCO
ING. BANDINI NICCOLO'

PROGETTO

L 5 7 0

LOTTO

0 1

FASE

S 0 6

DOC

T

ELABORATO

R I I

REV

A

REV.

A

DATA EMISSIONE

NOVEMBRE 2018

REDATTO

A.GABBRIELLI / G.GAZZINI

VERIFICATO

A.GABBRIELLI / G.GAZZINI

APPROVATO

A.GABBRIELLI / G.GAZZINI

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. SINTESI DEGLI STUDI PRECEDENTI.....	5
3. ARTICOLAZIONE DEL NUOVO STUDIO SUL FIUME ELSA	8
4. MODELLISTICA IDROLOGICA IDRAULICA.....	11
4.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO.....	11
4.2 ANALISI IDROLOGICA	11
4.2.1 <i>Modello idrologico.....</i>	<i>12</i>
4.2.2 <i>Sollecitazioni pluviometriche</i>	<i>14</i>
4.2.3 <i>Idrogrammi di piena</i>	<i>21</i>
4.3 VERIFICHE IDRAULICHE	25
4.3.1 <i>Caratterizzazione topografica dei corsi d'acqua e delle aree di interesse.....</i>	<i>25</i>
4.3.2 <i>Modello Idraulico</i>	<i>27</i>
4.3.3 <i>Verifiche Idrauliche implementate.....</i>	<i>27</i>
4.3.4 <i>Risultati</i>	<i>29</i>
4.4 AGGIORNAMENTO DELLA PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE DEL PGRA	29
APPENDICE 1 – MODELLISTICA IDROLOGICA IDRAULICA FONDAMENTI TEORICI.....	30

Indice delle figure

Figura 4-1: regionalizzazione LSPP Regione Toscana - Distribuzione dei parametri a e n $TR=200$ anni	14
--	----

Indice delle tabelle

Tabella 2-1: Studi idrologici-idraulici pregressi	7
Tabella 4-1: Parametri idrologici	13
Tabella 4-2: Altezze di Pioggia Lorda $TR=30$ anni	16
Tabella 4-3: Altezze di Pioggia Lorda $TR=200$ anni	17
Tabella 4-4: Coefficienti di ragguaglio – Modello Completo - Scenario di precipitazione b	18
Tabella 4-5: Coefficienti di ragguaglio – Modello Completo - Scenario di precipitazione D	18
Tabella 4-6: Coefficienti di ragguaglio – Modello Completo - Scenario di precipitazione E	19
Tabella 4-7: Coefficienti di ragguaglio – Modello Ridotto	20
Tabella 4-8: Portate al colmo - Modello Completo – Scenario B	21
Tabella 4-9: Portate al colmo - Modello Completo – Scenario D	21
Tabella 4-10: Portate al colmo - Modello Completo – Scenario E	22
Tabella 4-11: Portate al colmo - Modello Ridotto	23
Tabella 4-12: Portate al colmo - Modello Poggibonsi	24

1. PREMESSA

La presente relazione illustra i contenuti del nuovo studio idrologico idraulico sul Fiume Elsa nel tratto da Loc. Castiglioni, nel Comune di Poggibonsi, alla derivazione dello scolmatore, nel Comune di Castelfiorentino.

Ai sensi dell'Allegato 4 "Individuazione del reticolo di riferimento" della Disciplina del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale, il Fiume Elsa appartiene al *reticolo principale* per tutto il tratto a partire da Loc. Castiglioni, nel Comune di Poggibonsi, fino alla confluenza con il Fiume Arno.

Secondo la Disciplina di Piano (art. 14 "modifiche alle mappe delle aree con pericolosità da alluvione e del rischio") *l'Autorità di bacino procede a riesami intermedi ed eventualmente a modifiche cartografiche riguardanti il reticolo idraulico principale; inoltre, allo scopo di assicurare la coerenza della mappa delle aree con pericolosità da alluvione, le verifiche e i riesami sono svolti, sulla base dei criteri tecnici di cui all'Allegato 3, per il reticolo idraulico principale almeno alla scala di sottobacino e, per quel che riguarda l'asta principale, per tratti di asta idraulicamente significativi. Infine, le eventuali modifiche cartografiche (...) sono elaborate e approvate dall'Autorità di Bacino.*

Questo studio, redatto dai sottoscritti Ing. Alessio Gabrielli e Ing. Giacomo Gazzini con la supervisione dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale coerentemente con quanto previsto dall'art. 14 della Disciplina del P.G.R.A., muove da esigenze di aggiornamento emerse nell'anno 2017 nell'ambito degli incontri per il coordinamento delle indagini idrauliche che il Comune di Certaldo avrebbe dovuto eseguire sul *reticolo idraulico secondario* a supporto del redigendo Piano Operativo Comunale.

Infatti, sempre il suddetto art. 14 specifica che *i riesami e gli aggiornamenti (della mappa di pericolosità) che si rendessero eventualmente necessari (...), per ciò che riguarda il reticolo idraulico secondario (...), possono essere svolti direttamente dal Comune o dai Comuni interessati, anche in forma associata, in coordinamento con l'Autorità di Bacino e con la Regione. Ai fini di assicurare la coerenza della mappa delle aree con pericolosità da alluvione, le revisioni e gli aggiornamenti (...) dovranno interessare l'intero sottobacino o insieme di sottobacini di cui si ritiene necessaria la revisione e saranno compiute secondo i criteri tecnici di cui all'Allegato 3. Allo scopo di assicurare la coerenza idraulica con il reticolo principale l'Autorità di Bacino fornisce le condizioni al contorno necessarie.*

Durante i citati incontri di coordinamento, ed in particolare nell'attività tecnica di definizione delle *condizioni al contorno* per gli studi idrologico idraulici del *reticolo idraulico secondario* ricadente sul territorio comunale di Certaldo ed afferente al Fiume Elsa, si è constatata la scarsa adeguatezza dei dati a disposizione (livelli e portate), elaborati nelle precedenti verifiche idrauliche sul Fiume Elsa. I più recenti studi su questo corso d'acqua risalgono infatti agli anni 2009-2012, quindi antecedenti alla pubblicazione da parte della Regione Toscana dell' "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme" (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze – Regione Toscana, 2014), col quale sono stati aggiornati fino al 2012 il database dei dati pluviometrici estremi nonché le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, mediante analisi di frequenza regionale.

Elaborazioni idrologiche speditive condotte dall'Ing. Gazzini (tecnico incaricato della redazione degli studi di supporto al Piano Operativo del Comune di Certaldo) hanno evidenziato come le portate di piena del Fiume Elsa, adottando i nuovi dati delle linee segnalatrici e procedendo anche ad un aggiornamento degli ulteriori parametri geomorfologici e di infiltrazione del bacino, subissero un incremento indicativo del 15-20% rispetto a quelle implementate negli studi precedenti sul Fiume Elsa, studi che attualmente costituiscono la base del quadro conoscitivo di pericolosità idraulica dei comuni valdelsani e del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

Preso atto delle mutate condizioni pluviometriche, e quindi idrologiche, del bacino del Fiume Elsa, nel mese di novembre 2018 si è svolto presso la sede dell'Autorità Distrettuale un incontro con i rappresentanti dei Comuni attraversati dal Fiume Elsa nel tratto di competenza del Distretto, limitatamente alla porzione di

monte, ovvero i Comuni di Poggibonsi, Barberino Val d'Elsa, San Gimignano, Certaldo e Gambassi Terme; questi comuni erano e sono tutt'oggi impegnati nell'aggiornamento della propria strumentazione urbanistica.

Nell'occasione si è convenuto sulla necessità di procedere ad un aggiornamento delle verifiche idrologiche ed idrauliche sul Fiume Elsa, al fine di pervenire ad una più appropriata definizione dei livelli e delle portate di piena in alveo, necessari per le *condizioni al contorno* degli studi sul *reticolo idraulico secondario*, ed a nuove perimetrazioni delle aree a pericolosità da alluvione, uniformando così il quadro conoscitivo lungo tutta l'asta in esame del Fiume Elsa.

La redazione di questo aggiornamento si è resa inoltre necessaria anche per fornire idrogrammi di piena aggiornati ad Italferr SpA, impegnata nella redazione del progetto di raddoppio della linea ferroviaria Empoli-Siena-Chiusi nel tratto da Loc. Granaiole (Comune di Castelfiorentino) ad Empoli, ovvero a valle del tratto studiato nel presente lavoro.

Lo studio idrologico idraulico sul Fiume Elsa nel tratto da Loc. Castiglioni allo Scolmatore è stato realizzato, come stabilito nell'incontro di cui sopra, con la collaborazione dei Comuni di Poggibonsi e Certaldo che hanno contribuito alla sua stesura attraverso i sottoscritti Ing. Alessio Gabbrielli e Ing. Giacomo Gazzini, già incaricati della redazione delle indagini idrauliche di supporto ai rispettivi Piani Operativi comunali.

Il presente lavoro è stato svolto sotto il coordinamento dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, in particolare dei tecnici Geol. Marcello Brugioni e Ing. Serena Franceschini, con i quali è stata interamente condivisa la metodologia di indagine, nonché di elaborazione e restituzione dei risultati.

In linea generale tale metodologia, sinteticamente illustrata nella presente relazione, è stata adottata anche nella redazione degli studi idraulici di supporto agli strumenti urbanistici dei comuni ricadenti lungo il tratto fluviale in esame.

In particolare, sui territori dei comuni "capofila" (Comune di Poggibonsi e Comune di Certaldo) i risultati delle presenti verifiche sul Fiume Elsa sono stati integrati con i risultati degli studi sul *reticolo idraulico secondario* prodotti dai singoli comuni.

La trattazione che segue intende illustrare in modo essenziale i contenuti del presente lavoro, sia sotto il profilo idrologico che della modellazione idraulica.

Gli elaborati allegati mostrano sia la distribuzione delle principali parametrizzazioni idrologiche adottate che gli schemi della modellistica idraulica di riferimento.

I risultati finali delle simulazioni idrauliche sono rappresentati sia come perimetrazioni delle aree a pericolosità da alluvione che come carte dei battenti idraulici massimi e delle velocità massime; in tutti i casi le aree perimetrate sono frutto dell'involuppo dei valori massimi ottenuti nei numerosi scenari di studio.

Le modellistiche eseguite simulano eventi di piena con tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni.

2. SINTESI DEGLI STUDI PRECEDENTI

Prima di illustrare lo studio sotto il profilo più propriamente tecnico, appare opportuno richiamare i lavori che lo hanno preceduto.

Il Fiume Elsa è stato oggetto di numerosi studi nel corso degli ultimi 15 anni.

Questi studi, redatti nell'ambito della pianificazione di bacino, o a supporto di progetti infrastrutturali che hanno interessato questa porzione di territorio, o, in tempi più recenti, a supporto della pianificazione urbanistica dei comuni valdelsani, hanno progressivamente contribuito ad approfondire la conoscenza del rischio idraulico lungo l'asta del Fiume Elsa e ad aggiornare la mappatura di pericolosità idraulica sia al livello sovraordinato del bacino che a livello dei quadri conoscitivi comunali.

Probabilmente il primo significativo studio dell'asta del Fiume Elsa è rappresentato dallo "Studio di area vasta del bacino del Fiume Elsa" (Regione Toscana-Circondario Empolese Valdelsa-Provincia di Siena, 2004); questo lavoro è stato redatto in attuazione del Piano Stralcio Rischio Idraulico dell'allora Autorità di Bacino del Fiume Arno, ed ha avuto la finalità di pianificare, a livello di bacino, gli interventi necessari alla mitigazione del rischio lungo il Fiume Elsa ed alcuni suoi affluenti.

Le verifiche idrauliche, eseguite in moto vario monodimensionale lungo il tratto di Elsa a partire dall'area urbana di Poggibonsi fino alla confluenza con il Fiume Arno, hanno prodotto anche nuove perimetrazioni di aree inondabili che sono state acquisite come pericolosità idrauliche dal Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Allo "Studio di area vasta" si sono accavallati, o hanno fatto seguito, alcuni studi di maggior dettaglio redatti a supporto di importanti progetti infrastrutturali sul territorio, come il progetto di Rete Ferroviaria Italiana SpA eseguito per il raddoppio della linea ferroviaria Empoli-Siena-Chiusi nel tratto Castelfiorentino-Poggibonsi (2003) o come il progetto della variante alla S.R. n. 429 di Val d'Elsa (Regione Toscana-Circondario Empolese Valdelsa-Provincia di Siena, 2005 e anni successivi).

Tali studi, in particolare quelli redatti per la S.R. n. 429, sono stati eseguiti sempre in moto vario monodimensionale ma con una rappresentazione della morfologia del territorio più adeguata rispetto alla base topografica della C.T.R. in scala 1:10.000 adottata nello "Studio di area vasta"; su buona parte del territorio in esame sono stati infatti eseguiti rilievi di dettaglio, quali piani quotati e rilievi aerofotogrammetrici.

Negli anni successivi la Provincia di Siena ha avviato un nuovo studio sul Fiume Elsa denominato "Studio di fattibilità sul fiume Elsa finalizzato alla progettazione preliminare delle casse di espansione ricadenti nel territorio provinciale di Firenze e Siena, nel tratto Poggibonsi-Certaldo" (Ing. Gabbrielli, 2007), che rappresentava un approfondimento dello "Studio di area vasta" del 2004 con acquisizione dei dati topografici dello studio per la S.R. n. 429.

L'emanazione del D.P.G.R. 23R/2007, in attuazione della L.R. 1/2005, ha poi esteso le competenze di aggiornamento del quadro conoscitivo ed adeguamento alla pianificazione sovraordinata (P.A.I.) anche alle amministrazioni comunali, che da allora in poi, per la redazione di nuovi strumenti urbanistici, sono tenuti ad aggiornare le proprie carte di pericolosità idraulica e fondarle su una base modellistica e non più solo su criteri geomorfologici e/o storico-inventariali.

Tant'è che a partire dal 2007 numerosi comuni hanno provveduto ad aggiornare, o eseguire ex novo, gli studi idraulici su parte del reticolo idraulico ricadente sul proprio territorio. Per alcuni comuni valdelsani questi aggiornamenti hanno riguardato sia il Fiume Elsa sia i loro principali affluenti.

L'esito di questi studi si è tradotto non soltanto nella elaborazione di nuove carte di pericolosità idraulica dei relativi Piani Strutturali o Regolamenti Urbanistici, ma anche nella sistematica revisione delle carte di

pericolosità idraulica del P.A.I., previo parere favorevole del Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno e conseguente Decreto del Segretario Generale di modifica alle cartografie del P.A.I.

Tra questi lavori si segnalano gli studi idraulici redatti a supporto del Regolamento Urbanistico del Comune di San Gimignano (Geol. Raspollini-Ing. Gabbrielli, 2009), i quali rappresentano, per il Fiume Elsa, un aggiornamento dello studio della Provincia di Siena del 2007, e gli studi idraulici redatti a supporto del Regolamento Urbanistico del Comune di Certaldo (Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo, 2010); in particolare questi ultimi hanno rappresentato una ulteriore rielaborazione dello studio della Provincia di Siena, con estensione fino al Fiume Arno del tratto in esame e, soprattutto, l'introduzione dei dati topografici del rilievo LIDAR (Regione Toscana, 2008) nella rappresentazione della morfologia del territorio modellato.

Successivamente la Provincia di Siena ha nuovamente trattato la questione relativa agli interventi strutturali sul Fiume Elsa con una revisione dello studio del 2007, sviluppando un nuovo modello, sul solo tratto compreso tra Poggibonsi e Certaldo, di maggior dettaglio dei precedenti, ed acquisendo anche in questo caso i dati topografici del LIDAR.

Tale studio, redatto dall'Ing. Gabbrielli e conclusosi nell'anno 2012, ha portato alla ripermutazione di alcune casse di espansione previste dal Piano Stralcio Rischio Idraulico rispetto alla loro versione originale dello "Studio di area vasta" del 2005.

Allo stato attuale lo studio della Provincia di Siena del 2012 costituisce il più aggiornato strumento conoscitivo circa le dinamiche di esondazione del Fiume Elsa nel tratto Poggibonsi-Certaldo.

Con l'avvento del D.P.G.R. 53R/2011, regolamento che ha sostituito il precedente D.P.G.R. 23R/2007, alcuni comuni della Val d'Elsa impegnati nella revisione della propria strumentazione urbanistica, hanno acquisito nel corso degli anni i dati relativi al Fiume Elsa dello studio della Provincia di Siena del 2012; in particolare tale studio è confluito, con contestuale adeguamento del P.A.I., nelle carte di pericolosità idraulica della Variante al Regolamento Urbanistico del Comune di San Gimignano, valida solo per la zona di San Benedetto-Badia a Elmi (Ing. Gabbrielli, 2012), del Piano Strutturale del Comune di Poggibonsi (Ing. Gabbrielli, 2014) e del Regolamento Urbanistico del Comune di Barberino Val d'Elsa (Geol. Raspollini-Ing. Gabbrielli, 2015).

Anche lo studio idraulico redatto dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo per il Regolamento Urbanistico del Comune di Certaldo (2010) ha avuto un proprio sviluppo, indipendente da quello della Provincia di Siena (2012), nell'ambito del progetto definitivo della Variante alla S.R. n. 429 di Valdelsa nel tratto Castelfiorentino-Certaldo; questo nuovo studio (Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo, 2011) è stato acquisito dai Comuni di Gambassi Terme e Castelfiorentino per l'aggiornamento dei propri strumenti urbanistici, rispettivamente nel 2012 (adeguamento al P.A.I.) e nel 2015 (Osservazioni al P.G.R.A.).

Dal 2015 il Piano di Assetto Idrogeologico dell'ex Autorità di Bacino del Fiume Arno è stato sostituito, per quanto riguarda gli aspetti idraulici, dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Autorità Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Le mappature di pericolosità idraulica del P.A.I. sono state sostituite dalle nuove mappe di pericolosità da alluvione del P.G.R.A.

Al netto dei criteri di conversione tra le vecchie classi di pericolosità idraulica del P.A.I. e le nuove classi di pericolosità da alluvione del P.G.R.A., le perimetrazioni complessive sono state sostanzialmente confermate; pertanto, allo stato attuale la pericolosità da alluvione legata al Fiume Elsa deriva dagli studi precedentemente citati, e non risulta uniforme, in termini di modellazione idraulica di riferimento, per i diversi comuni interessati.

Per ciascuno di essi la relativa mappatura di pericolosità da alluvione deriva dagli studi indicati nella successiva tabella, in cui sono sintetizzate anche le principali caratteristiche di modellazione.

<i>Comune</i>	<i>Studio idraulico di riferimento</i>	<i>Modellazione idraulica</i>	<i>Base topografica</i>	<i>Modellazione idrologica</i>	<i>Dati pluviometrici</i>
Poggibonsi	Studio Piano Strutturale 2014 (tratto Loc. Castiglioni – confluenza T. Staggia)	Moto vario monodimensionale “a celle”	Lidar 2008	AIto Modificato Da studio PS 2014	2007
	Studio Provincia Siena 2012 (tratto confluenza T. Staggia – confl. B. Bacchereto)			AIto Modificato da studio RU Certaldo 2010	2007
Barberino Val d’Elsa	Studio Provincia Siena 2012 (intero tratto comunale)	Moto vario monodimensionale “a celle”	Lidar 2008	AIto Modificato da studio RU Certaldo 2010	2007
San Gimignano	Studio Regolamento Urbanistico 2009 (tratto confluenza B. Bacchereto – Loc. San Benedetto)	Moto vario monodimensionale “a celle”	Piani quotati e rilievo aerofotogrammetrico (2003-2005)	Idrologia da prog. def. S.R. 429 2005	2007
	Studio Provincia Siena 2012 (tratto Loc. San Benedetto – confl. T. Casciani)		Lidar 2008	AIto Modificato da studio RU Certaldo 2010	
Certaldo	Studio Regolamento Urbanistico 2010 (intero tratto comunale)	Moto vario monodimensionale “a celle”	Lidar 2008	AIto Modificato da studio RU Certaldo 2010	2007
Gambassi	Studio Genio Civile Firenze per S.R. n. 429 (intero tratto comunale)	Moto vario monodimensionale “a celle”	Lidar 2008	AIto Modificato da studio RU Certaldo 2010	2007
Castelfiorentino	Studio Genio Civile Firenze per S.R. n. 429 (intero tratto comunale)	Moto vario monodimensionale “a celle”	Lidar 2008	AIto Modificato da studio RU Certaldo 2010	2007

TABELLA 2-1: STUDI IDROLOGICI-IDRAULICI PREGRESSI

Per quanto detto, il presente lavoro si inserisce in un contesto di frammentazione e disuniformità dei livelli di conoscenza; esso si propone quindi di armonizzare sotto il profilo della metodologia e degli strati informativi adottati, implementandovi anche dati aggiornati, laddove disponibili.

3. ARTICOLAZIONE DEL NUOVO STUDIO SUL FIUME ELSA

Il nuovo studio idrologico idraulico sul Fiume Elsa ha ad oggetto il tratto di asta che va dal confine tra il Comune di Colle Val d'Elsa e il Comune di Poggibonsi (Loc. Castiglioni) e arriva fino alla diramazione tra Fiume Elsa e Scolmatore, posta a monte dell'abitato di Castelfiorentino.

Come anticipato, il tratto di competenza del Distretto Appennino Settentrionale (*reticolo principale*) prosegue fino alla confluenza dell'Elsa nel Fiume Arno (Comune di Empoli - Comune di San Miniato). In questo studio, però, si ci è limitati ad esaminare questo tratto di monte in quanto era maggiore l'impellenza di pervenire a dati aggiornati dei livelli idrometrici in alveo e dei battenti sul piano campagna in modo da consentire l'elaborazione degli studi idraulici di supporto agli strumenti urbanistici, in particolare dei comuni di Certaldo, San Gimignano e Poggibonsi.

Per uniformare il quadro conoscitivo lungo il Fiume Elsa dal punto di vista metodologico e di congruenza dei risultati del modello, sarà in futuro necessario sviluppare anche una modellazione integrativa del tratto di valle fino alla confluenza con il Fiume Arno, tratto lungo il quale sono presenti importanti opere idrauliche quali lo Scolmatore di Castelfiorentino e la cassa di espansione "Madonna della Tosse".

Per quanto accennato in premessa, all'interno del presente studio confluiscono, secondo le specifiche del Cap. 4, anche gli studi sul *reticolo idraulico secondario* dei Comuni di Certaldo e Poggibonsi redatti a supporto dei rispettivi Piano Operativi; inoltre i risultati delle verifiche sul Fiume Elsa sono stati messi a disposizione per l'elaborazione degli studi idraulici di supporto al Piano Operativo del Comune di San Gimignano (studi che comunque esulano dal presente lavoro).

Il nuovo studio sul Fiume Elsa ha permesso di modellare l'intera asta fluviale per un tratto di lunghezza pari a circa 32.5 km; all'interno del medesimo modello idraulico sono stati modellati anche i tratti terminali dei principali affluenti del Fiume Elsa, ovvero i Torrenti Staggia, Foci, Casciani ed Agliena.

Tutto il fondovalle dell'Elsa è stato ricostruito attraverso un apposito modello bidimensionale a partire dai dati altimetrici del LIDAR, localmente aggiornato laddove fossero intervenute modifiche più recenti alla morfologia del terreno (ad esempio per la realizzazione di nuove infrastrutture viarie o nuove opere idrauliche).

La modellazione idraulica del Fiume Elsa ha consentito di definire le nuove aree allagabili, e conseguentemente le nuove pericolosità da alluvione, sull'intero fondovalle.

Sul Comune di Certaldo la modellazione del Fiume Elsa è stata integrata con la modellazione del *reticolo idraulico secondario*, per la quale il *modello completo* è stato *ridotto*, ovvero privato del tratto a monte del territorio comunale, attraverso opportuni accorgimenti volti a garantire la continuità *in testa* e la coerenza con il *modello completo* stesso. In questa modellazione ridotta sono state implementate le verifiche dei corsi d'acqua minori.

Sul Comune di Poggibonsi le verifiche idrauliche dei corsi d'acqua minori e del tratto urbano del Fiume Elsa hanno parzialmente anticipato la redazione del presente studio. Esse sono state fondate sui medesimi dati di partenza ed eseguite con il medesimo approccio metodologico, quindi, seppur antecedenti di pochi mesi, presentano risultati coerenti, e in certi casi maggiormente cautelativi, del modello completo stesso sul Fiume Elsa; peraltro dette verifiche adottano un base topografica di maggior dettaglio rispetto a quella impostata nel modello completo dell'Elsa.

Per questo motivo, in accordo con l'Autorità di Distretto, è stato deciso di acquisire i risultati degli studi idraulici redatti per il Piano Operativo di Poggibonsi in luogo dei risultati relativi al nuovo studio sul Fiume Elsa. È stato quindi definito un dominio di applicabilità dei risultati dello studio del Comune di Poggibonsi, che interessa, oltre alla zona urbana di Poggibonsi anche una parte del Comune di Barberino Val d'Elsa.

Su tutto il resto del territorio mantengono la propria validità i risultati dello studio sul Fiume Elsa, nella sua versione completa o nella sua versione ridotta; queste ultime modellazioni, come anticipato, sono infatti pienamente sovrapponibili, con la sola differenza che la versione ridotta contiene anche le verifiche del reticolo secondario di Certaldo.

Negli elaborati grafici allegati al presente lavoro sono messi in evidenza i campi di validità (o domini) degli studi che determinano le nuove pericolosità da alluvione sul territorio in esame.

Di seguito è fornito l'elenco completo dei corsi d'acqua studiati, tenuto conto anche del reticolo idraulico secondario analizzato sul territorio di Certaldo (C) e Poggibonsi (P):

1. Fiume Elsa

- C Borro della Corniola
- C Borro di Casanuova
- C Borro del Vicariato
- C Torrente dei Casciani
- C Torrente Agliena
- C Borro della Zufola
- C Borro dell'Inferno
- C Fosso senza nome (loc. Ponte Montepietrini)
- C Botro della Giuncaia
- C Borro dell'Avanella
- C Fosso del Piano
- C Fosso delle Avane
- P Torrente Staggia
- P Torrente Foci
- P Torrente Drove (Drove di Cinciano e Drove di Tattera)
- P Torrente Carfini
- P Torrente Bozzone
- P Fosso di Vallina
- P Fosso della Valle e Borro di Orneto

Per quanto riguarda i principali affluenti del Fiume Elsa studiati anche nel *modello completo* (solo per brevi tratti terminali) sono adottate le pericolosità derivanti dai modelli di dettaglio (*modello ridotto* del Fiume Elsa per il Torrente Agliena, modello per il P.O. di Poggibonsi per i Torrenti Staggia e Foci); per il Torrente Casciani acquisiranno validità le pericolosità idrauliche derivanti dallo studio per il P.O. del Comune di San Gimignano (i cui risultati non fanno però parte del presente lavoro).

Come anticipato, la metodologia con cui è stato condotto il presente studio idrologico idraulico, nonché lo studio idrologico idraulico di supporto al Piano Operativo del Comune di Poggibonsi, si basa su scelte condivise con il Distretto e coerenti con i metodi adottati negli studi precedenti.

Essa si fonda, dal punto di vista idrologico, sulla stima degli idrogrammi di piena con il metodo dell'idrogramma istantaneo unitario di Nash, per l'applicazione del quale la "depurazione" delle piogge è preliminarmente compiuta mediante il metodo di infiltrazione asintotico a soglia.

Dal punto di vista idraulico la nuova modellazione è stata redatta in moto bidimensionale (monodimensionale in alveo e bidimensionale sul piano campagna) mediante l'ausilio del codice di calcolo Mike Flood del Danish Hydraulic Institute.

L'aggiornamento del modello idrologico idraulico del Fiume Elsa rispetto alle numerose precedenti versioni ha ad oggetto sia gli aspetti idrologici che quelli idraulici.

Se per la parte idraulica la predisposizione di un modello bidimensionale di tutta l'asta del Fiume Elsa nel tratto di interesse rappresenta una modifica integrale a quanto sviluppato in passato (ad eccezione dell'implementazione delle medesime sezioni idrauliche), per la parte idrologica la novità è rappresentata dall'introduzione all'interno dello schema di calcolo idrologico precedente di dati totalmente aggiornati, sia per quanto riguarda la pluviometria, che la geomorfologia, che le parametrizzazioni di infiltrazione dei terreni.

In particolare in questo lavoro sono stati utilizzati i nuovi parametri delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica forniti dall' "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme" (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze – Regione Toscana, 2014), i valori di velocità di infiltrazione a saturazione forniti dal "Database geopedologico della Regione Toscana" (Regione Toscana, 2015), i dati di uso del suolo forniti dal database "Uso e copertura del suolo della Regione Toscana" (Regione Toscana, 2013), il "Reticolo idrografico e di gestione" della Regione Toscana di cui alla L.R. 79/2012 (versione di cui alla D.C.R.T. 101/2016), gli "Ambiti amministrativi" della Regione Toscana (2012), il rilievo "LIDAR" (Regione Toscana – M.A.T.T.M., 2008).

Nel successivo capitolo la modellistica idrologica ed idraulica è illustrata con maggior dettaglio.

Per gli aspetti puramente teorici e metodologici si rimanda fin d'ora all'*Appendice 1 – Modellistica Idrologica Idraulica – Fondamenti Teorici*, in calce alla presente relazione.

4. MODELLISTICA IDROLOGICA IDRAULICA

Il presente capitolo illustra i contenuti ed i risultati della modellazione idrologica e idraulica del nuovo studio sul Fiume Elsa, finalizzato all'aggiornamento del quadro di pericolosità da alluvione nel tratto da Loc. Castiglioni (Comune di Poggibonsi) alla derivazione dello scolmatore (Comune di Castelfiorentino).

La descrizione della modellistica si incentra principalmente sulle specifiche del *modello completo* del Fiume Elsa, ovvero il modello che copre interamente l'asta fluviale; come anticipato, però, il medesimo approccio metodologico è adottato nel *modello ridotto*, in cui sono presenti anche le elaborazioni del *reticolo idraulico minore* per il Piano Operativo del Comune di Certaldo, nonché è adottato per lo studio di supporto al Piano Operativo del Comune di Poggibonsi (con il relativo reticolo minore).

Per semplicità di trattazione, in questo capitolo l'illustrazione si limita alle caratteristiche qualitative e quantitative del *modello completo* del Fiume Elsa e del *modello ridotto* che comprende il reticolo idraulico minore del Comune di Certaldo, sia per la parte idrologica che per quella idraulica, rimandando, per i dettagli circa la modellazione del *reticolo idraulico secondario* del Comune di Poggibonsi, alla consultazione del relativo studio comunale.

4.1 RETICOLO IDRAULICO DI RIFERIMENTO

Nelle Tavole 4A, 4B e 4C sono rappresentate le Planimetrie del Modello Idraulico del *modello completo* e del *modello ridotto* in cui è mostrato il reticolo studiato, schematizzato come:

Modello Completo:

- Reticolo principale: Fiume Elsa (da loc. Castiglioni allo Scolmatore);
- Affluenti: Torrenti Staggia, Foci, Agliena e Casciani.

L'inserimento dei 4 affluenti suddetti all'interno del *modello completo* si è reso necessario al solo scopo di affinare i risultati in prossimità di tali confluenze, che, se rappresentate esclusivamente su base bidimensionale, avevano determinato, durante alcune simulazioni preliminari, problemi di stabilità computazionale ed alterazioni di dinamica.

Modello Ridotto:

- Reticolo principale: Fiume Elsa (da Vico d'Elsa allo Scolmatore);
- Affluenti: Agliena, Casciani, Corniola, Casanuova, Vicariato, Zufola, Inferno, Fosso loc. Ponte Montepietrini, Giuncaia, Avanelle, Piano, Avane.
-

Nella Tavola 5 è rappresentata la Planimetria del Modello Idraulico del reticolo secondario del Comune di Poggibonsi.

Modello Poggibonsi:

- Reticolo principale: Fiume Elsa (tratto urbano fino a confluenza con Torrente Foci);
- Affluenti: Staggia, Foci, Carfini, Drove (Drove di Cinciano e Drove di Tattera), Bozzone, Vallina, Fosso della Valle e Borro di Orneto.

4.2 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica ha permesso di stimare gli idrogrammi di piena insistenti su tutte le aste fluviali studiate; tali idrogrammi sono stati implementati sia come input *in testa* alle aste effettivamente modellate (Fiume Elsa e

reticolo minore), sia come contributi laterali all'asta principale (Fiume Elsa) assegnati nelle sezioni di confluenza con affluenti minori, sia come contributi diffusi relativi ad interbacini intermedi.

Per limitare l'inserimento di contributi idrologici anche in corrispondenza di fossi di ridottissime dimensioni, si è assunto di stimare specifici idrogrammi, e quindi inserire singolarmente nel modello come contributi puntuali, soltanto per i corsi d'acqua di ordine gerarchico (secondo Horton-Strahler) superiore o uguale al terzo ordine; tutti i restanti contributi sono stati assimilati a contributi diffusi, accorpando i bacini dei relativi corsi d'acqua ad interbacini più estesi, di cui sono stati stimati idrogrammi "compositi".

In definitiva sono stati stimati:

Modello Completo:

- n. 5 idrogrammi puntuali per le n. 5 aste modellate idraulicamente (Fiume Elsa ed i 4 affluenti principali suddetti), implementati nelle rispettive sezioni di apertura del modello idraulico;
- n. 15 idrogrammi puntuali relativi agli altri affluenti significativi del Fiume Elsa nel tratto studiato, implementati nelle rispettive sezioni di confluenza del modello idraulico;
- n. 3 idrogrammi diffusi relativi ad interbacini "compositi", come precedentemente indicato, implementati uniformemente tra la sezione di monte e quella di valle, secondo la propria reale estensione.

Modello Ridotto:

- n. 15 idrogrammi puntuali per le n. 15 aste modellate idraulicamente (Fiume Elsa ed i affluenti principali del Comune di Certaldo), implementati nelle rispettive sezioni di apertura del modello idraulico;
- n.8 idrogrammi puntuali relativi agli altri affluenti significativi del Fiume Elsa nel tratto studiato, implementati nelle rispettive sezioni di confluenza del modello idraulico;
- n. 6 idrogrammi diffusi relativi ad interbacini "compositi", come precedentemente indicato, implementati uniformemente tra la sezione di monte e quella di valle, secondo la propria reale estensione.

Per modello di Poggibonsi si rimanda, come detto, allo studio comunale.

4.2.1 Modello idrologico

Il bacino idrografico in esame, valutato alla sezione di chiusura del modello idraulico, possiede una superficie complessiva pari a circa 774 kmq.

Il confine del bacino è stato tracciato a partire dal Modello Digitale del Terreno a maglia 10x10 mt ricostruito sulla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

Un volta definito il confine del bacino, è stato acquisito il reticolo idraulico all'interno del bacino stesso utilizzando principalmente il reticolo idraulico regionale, localmente integrato o modificato con tratti prelevati dalla C.T.R. 1:2.000. Il reticolo è stato poi oggetto di classificazione geomorfologica secondo il criterio di Horton-Strahler ("gerarchizzazione").

Analogamente, sulla medesima base topografica di cui sopra, sono state gerarchizzate le aree di alimentazione afferenti a ciascun tratto del reticolo precedentemente gerarchizzato.

Questa analisi geomorfologica preliminare (definizione del bacino e "gerarchizzazione") è stata eseguita mediante appositi *plug-in* in ambiente *GIS*, direttamente dal personale del Distretto.

Attraverso questi primi passaggi sono stati stimati, per ciascun bacino o interbacino di interesse, i parametri di Nash n e k .

Per la stima delle perdite (o "depurazione" delle piogge) è stato adottato, come anticipato, il metodo di infiltrazione asintotico a soglia, che richiede la stima dei parametri la e Ks .

I parametri la e Ks , che rappresentano rispettivamente l'intercettazione iniziale ed il coefficiente di infiltrazione a saturazione per la depurazione idrologica, sono stati ricavati rispettivamente dall'analisi del Database di Uso del Suolo e Geopedologico della Regione Toscana, calcolando per ciascun bacino i propri valori di riferimento.

Una sintesi dei parametri idrologici utilizzati è riportata nella tabella seguente.

Sottobacini		A	Modello di infiltrazione		Trasformazione afflussi-deflussi	
			la	Ks	n	k
Denominazione	Codice	[kmq]	[mm]	[mm]	[-]	[h]
ElsaMonte	0001	167.7	12.835	0.853	3.125	1.483
Lisoia	0002	3.6	9.067	0.844	2.569	0.271
MonteCuccheri	0003	1.6	7.845	2.407	1.940	0.184
Staggia	0004	224.7	11.315	1.311	3.101	1.740
Foci	0005	131.6	13.439	1.011	3.083	1.504
Abese	0006	2.3	9.479	0.529	3.145	0.183
Bacchereto	0007	4.9	12.632	0.985	3.128	0.347
Zambria	0008	6.6	9.504	1.843	2.785	0.353
NoNome1	0009	1.5	12.050	0.494	2.507	0.222
NoNome2	0010	1.7	10.726	1.507	2.375	0.241
Avane	0011	7.8	11.138	1.187	2.774	0.412
Forciano	0012	8.5	8.734	0.739	3.000	0.418
Avanella	0013	9.8	8.869	0.588	2.843	0.430
Giuncaia	0014	1.2	8.996	0.449	1.793	0.173
SanBenedetto	0015	1.0	3.593	0.289	2.549	0.161
Inferno	0016	2.0	7.218	0.979	2.644	0.256
Zufola	0017	0.9	7.978	1.346	1.046	0.196
DelleRote	0018	12.7	7.498	0.721	2.894	0.486
Agliena	0019	35.8	9.087	1.108	3.075	0.801
Casciani	0020	40.5	14.939	1.443	3.033	0.896
Vicariato	0021	2.8	5.672	0.112	2.377	0.367
Casanuova	0022	1.9	3.474	0.219	2.333	0.135
Renaccio	0023	5.3	10.121	0.355	2.690	0.269
Corniola	0024	2.9	3.623	0.150	2.097	0.284
ValleBuia	0025	1.6	7.098	0.610	2.803	0.224
CampoAlTesoro	0026	0.8	6.603	0.713	2.397	0.208
NoNome3	0027	2.0	4.752	0.105	1.983	0.217
Pesciola	0028	61.1	9.677	0.607	3.074	0.934
Interbacino1	0029	6.0	7.798	1.283	3.135	0.497
Interbacino2	0030	9.1	6.925	0.620	3.151	0.687
Interbacino3	0031	5.4	4.829	0.465	3.157	0.589
Interbacino4	0032	7.9	6.244	0.275	3.165	0.777

TABELLA 4-1: PARAMETRI IDROLOGICI

Nelle Tavole 1A e 1B è rappresentata la distribuzione delle aree boscate sul bacino del Fiume Elsa (per la stima del parametro la).

Nelle Tavole 3A e 3B è rappresentata la distribuzione del parametro Ks sul bacino del Fiume Elsa (di riferimento al parametro Ks_{150} del Database geopedologico regionale).

Nelle Tavole 2A e 2B è rappresentata la gerarchizzazione del reticolo idrografico secondo Horton-Strahler.

Come anticipato, per approfondimenti sui fondamenti teorici della modellistica idrologica utilizzata si rimanda all'Appendice 1 – Modellistica Idrologica Idraulica – Fondamenti Teorici.

4.2.2 Sollecitazioni pluviometriche

Per la stima degli idrogrammi sintetici la sollecitazione pluviometrica è stata stimata sulla base delle griglie delle Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica a ed n di cui alla pubblicazione "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme" (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze – Regione Toscana, 2014).

Seguendo la procedura indicata nella "Guida all'Uso" fornita dalla Regione Toscana, sono state stimate le altezze di pioggia per le durate (1-2-3-4-5-7-9-12-15 ore) ed i tempi di ritorno (30 e 200 anni) di progetto.

Di seguito è mostrato un esempio della distribuzione dei parametri a ed n delle nuove L.S.P.P. fornite in file *.adf su tutto il territorio regionale; le immagini si riferiscono ai parametri a ed n per il tempo di ritorno duecentennale. È riportato anche il perimetro della porzione di interesse del bacino del Fiume Elsa.

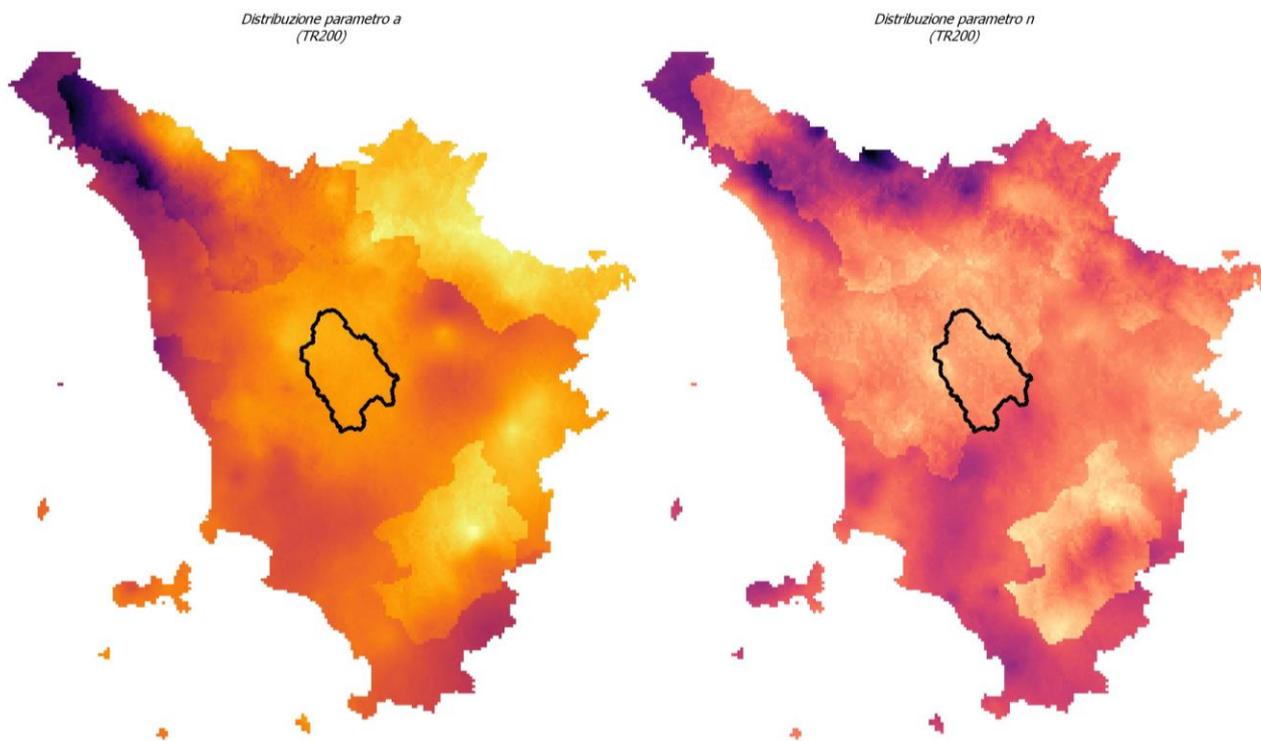


FIGURA 4-1: REGIONALIZZAZIONE LSP REGIONE TOSCANA - DISTRIBUZIONE DEI PARAMETRI a e n $TR=200$ ANNI

La pioggia lorda così calcolata, riportata in sintesi per ciascun sottobacino in esame in Tabella 4-2 e Tabella 4-3 seguenti, è stata raggugliata in funzione dell'area del bacino e della durata dell'evento meteorico.

Si precisa che per il calcolo del coefficiente di ragguglio areale, K_r , è stata utilizzata la formulazione suggerita nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana:

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

dove t è la durata dell'evento, A è l'area del bacino sotteso e α , β , γ sono parametri dipendenti dal bacino considerato ed assunti pari a:

$$\alpha = 0.036a' \text{ con } a' = \text{parametro delle cpp nella forma trinomia } h = a' T^{m'} D^{n'}$$

$$\beta = 0.25$$

$\gamma=0.01$

Pertanto, per il calcolo del Kr è stata eseguita la scomposizione dei due fattori a e n delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica dello Studio di Regionalizzazione in tre fattori a' n' m' mediante regressione logaritmica multipla.

Per lo studio in esame, il calcolo del coefficiente di ragguaglio areale è stato eseguito definendo 3 distinti scenari critici di precipitazione, che massimizzassero gli idrogrammi e gli effetti attesi sul bacino del F. Elsa in 3 sottozone del modello completo, poste in corrispondenza dei principali centri abitati presenti lungo l'asta.

In termini areali, sono stati pertanto definiti i seguenti 3 scenari:

Scenario B: chiusura del bacino a Poggibonsi;

Scenario D: chiusura del bacino a Certaldo;

Scenario E: chiusura del bacino a Castelfiorentino.

Le durate di pioggia esaminate sono quelle più prossime alle durate critiche dei bacini in esame, ovvero 7-9-12-15 ore.

Per il modello ridotto, i coefficienti di ragguaglio areale sono stati calcolati sulle aree dei singoli bacini del reticolo minore di Certaldo, al fine di massimizzare le piogge e gli effetti attesi sugli stessi. Tale stima è stata eseguita per le durate di pioggia inferiori, comprese tra 1 e 5 ore.

I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle a seguire.

Per la stima del coefficiente di ragguaglio nelle modellazioni dello studio a supporto del Piano Operativo di Poggibonsi è stato adottato un procedimento analogo a quello utilizzato nel modello ridotto per il Piano Operativo di Certaldo.

Anche in questo caso, per maggiori dettagli, si rimanda alla consultazione della relazione tecnica di detto studio.

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL FIUME ELSA
DA LOC. CASTIGLIONI (COMUNE DI POGGIBONSI) ALLO SCOLMATORE (COMUNE DI CASTELFIORENTINO)

Sottobacini		Altezze di pioggia lorda TR= 30 anni								
Denominazione	Codice	d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h
ElsaMonte	0001	51.1	61.8	69.0	74.6	79.3	87.0	93.1	100.7	107.1
Lisoia	0002	50.2	60.5	67.5	72.9	77.4	84.8	90.7	98.0	104.0
MonteCuccheri	0003	50.4	60.8	67.8	73.3	77.9	85.3	91.3	98.7	104.8
Staggia	0004	50.2	60.4	67.2	72.5	77.0	84.1	90.0	97.1	103.0
Foci	0005	50.5	60.1	66.6	71.6	75.8	82.5	87.9	94.5	100.0
Abese	0006	49.1	58.6	64.9	69.8	73.9	80.5	85.8	92.3	97.6
Bacchereto	0007	49.3	59.2	65.9	71.1	75.5	82.5	88.1	95.1	100.9
Zambria	0008	48.7	57.8	63.9	68.6	72.6	78.9	84.0	90.2	95.3
NoNome1	0009	49.0	58.8	65.5	70.6	74.9	81.9	87.5	94.4	100.1
NoNome2	0010	48.7	58.3	64.7	69.7	73.9	80.6	86.0	92.6	98.1
Avane	0011	48.6	57.8	64.0	68.9	72.8	79.3	84.4	90.8	96.0
Forciano	0012	48.7	58.1	64.3	69.2	73.2	79.8	85.0	91.4	96.8
Avanella	0013	48.2	57.3	63.4	68.1	71.9	78.2	83.3	89.4	94.5
Giuncaia	0014	48.3	57.5	63.7	68.5	72.5	78.9	84.1	90.4	95.7
SanBenedetto	0015	48.9	58.6	65.1	70.1	74.3	81.1	86.6	93.3	98.9
Inferno	0016	48.3	57.5	63.7	68.5	72.4	78.8	84.0	90.3	95.5
Zufola	0017	48.4	57.4	63.5	68.1	72.0	78.2	83.2	89.3	94.3
DelleRote	0018	48.4	57.7	63.8	68.6	72.6	79.0	84.1	90.4	95.6
Agliena	0019	48.5	57.5	63.4	68.0	71.8	78.0	82.9	88.9	93.9
Casciani	0020	48.6	57.5	63.4	68.0	71.8	77.9	82.8	88.8	93.7
Vicariato	0021	47.9	56.9	63.0	67.6	71.5	77.7	82.7	88.9	93.9
Casanuova	0022	47.8	57.0	63.1	67.9	71.9	78.3	83.4	89.8	95.0
Renaccio	0023	47.9	57.3	63.7	68.6	72.7	79.4	84.7	91.3	96.7
Corniola	0024	47.7	57.0	63.3	68.2	72.2	78.8	84.0	90.5	95.9
ValleBuia	0025	47.8	57.3	63.8	68.8	73.0	79.8	85.2	91.9	97.5
CampoAlTesoro	0026	47.8	57.5	64.0	69.1	73.4	80.2	85.8	92.6	98.3
NoNome3	0027	47.6	57.0	63.2	68.1	72.2	78.7	84.0	90.4	95.8
Pesciola	0028	48.4	57.5	63.6	68.3	72.2	78.5	83.6	89.8	94.9
Interbacino1	0029	50.2	60.6	67.7	73.2	77.7	85.1	91.1	98.5	104.7
Interbacino2	0030	49.0	58.5	65.0	70.0	74.2	80.9	86.4	93.0	98.5
Interbacino3	0031	48.4	57.7	64.0	68.8	72.9	79.4	84.6	91.1	96.4
Interbacino4	0032	48.0	57.5	63.9	68.8	72.9	79.6	85.0	91.6	97.1

TABELLA 4-2: ALTEZZE DI PIOGGIA LORDA TR=30 ANNI

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL FIUME ELSA
DA LOC. CASTIGLIONI (COMUNE DI POGGIBONSI) ALLO SCOLMATORE (COMUNE DI CASTELFIORENTINO)

Sottobacini		Altezze di pioggia lorda TR= 200 anni								
Denominazione	Codice	d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h
ElsaMonte	0001	71.2	87.5	98.8	107.7	115.1	127.3	137.3	149.6	159.9
Lisoia	0002	69.9	85.8	96.6	105.2	112.3	124.0	133.5	145.3	155.2
MonteCuccheri	0003	70.1	86.1	97.1	105.7	113.0	124.8	134.4	146.4	156.4
Staggia	0004	69.9	85.5	96.2	104.7	111.7	123.2	132.5	144.1	153.8
Foci	0005	70.3	85.2	95.4	103.3	109.9	120.7	129.4	140.2	149.1
Abese	0006	68.4	83.0	92.9	100.7	107.2	117.7	126.3	136.9	145.7
Bacchereto	0007	68.6	83.9	94.4	102.6	109.4	120.6	129.8	141.0	150.5
Zambria	0008	67.7	81.9	91.5	99.0	105.2	115.4	123.6	133.7	142.2
NoNome1	0009	68.2	83.4	93.7	101.9	108.7	119.8	128.8	140.0	149.3
NoNome2	0010	67.8	82.5	92.6	100.5	107.1	117.9	126.6	137.4	146.4
Avane	0011	67.6	81.9	91.7	99.3	105.6	116.0	124.3	134.6	143.2
Forciano	0012	67.8	82.2	92.1	99.8	106.2	116.7	125.1	135.6	144.3
Avanella	0013	67.1	81.1	90.7	98.1	104.3	114.4	122.6	132.7	141.0
Giuncaia	0014	67.2	81.4	91.2	98.8	105.1	115.4	123.8	134.1	142.7
SanBenedetto	0015	68.1	83.0	93.2	101.1	107.8	118.7	127.5	138.4	147.5
Inferno	0016	67.2	81.4	91.1	98.7	105.0	115.3	123.6	133.9	142.5
Zufola	0017	67.4	81.4	90.8	98.2	104.4	114.4	122.5	132.4	140.7
DelleRote	0018	67.4	81.7	91.4	98.9	105.2	115.5	123.8	134.1	142.6
Agliena	0019	67.6	81.4	90.8	98.1	104.2	114.1	122.1	131.9	140.1
Casciani	0020	67.6	81.4	90.8	98.0	104.1	113.9	121.9	131.7	139.8
Vicariato	0021	66.7	80.6	90.1	97.5	103.7	113.7	121.8	131.8	140.1
Casanuova	0022	66.5	80.7	90.4	98.0	104.3	114.5	122.9	133.2	141.7
Renaccio	0023	66.7	81.2	91.2	99.0	105.5	116.1	124.7	135.4	144.3
Corniola	0024	66.4	80.8	90.6	98.3	104.8	115.2	123.7	134.2	143.0
ValleBuia	0025	66.5	81.2	91.3	99.3	105.9	116.7	125.5	136.4	145.4
CampoAlTesoro	0026	66.5	81.4	91.7	99.7	106.4	117.4	126.3	137.4	146.7
NoNome3	0027	66.3	80.7	90.5	98.2	104.6	115.1	123.6	134.1	142.9
Pesciola	0028	67.3	81.4	91.0	98.5	104.7	114.9	123.1	133.2	141.6
Interbacino1	0029	69.9	85.9	96.9	105.5	112.7	124.5	134.2	146.1	156.1
Interbacino2	0030	68.1	82.9	93.1	101.0	107.6	118.4	127.1	138.0	147.0
Interbacino3	0031	67.3	81.7	91.6	99.3	105.7	116.1	124.6	135.1	143.8
Interbacino4	0032	66.8	81.4	91.4	99.2	105.8	116.5	125.1	135.9	144.8

TABELLA 4-3: ALTEZZE DI PIOGGIA LORDA TR=200 ANNI

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL FIUME ELSA
DA LOC. CASTIGLIONI (COMUNE DI POGGIBONSI) ALLO SCOLMATORE (COMUNE DI CASTELFIORENTINO)

Sottobacini		Coefficienti di ragguglio - Modello Completo - Scenario B								
Denominazione	Codice	d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h
ElsaMonte	0001	0.521	0.583	0.620	0.647	0.667	0.698	0.720	0.745	0.764
Lisoia	0002	0.516	0.578	0.615	0.641	0.661	0.692	0.714	0.740	0.759
MonteCuccheri	0003	0.517	0.579	0.616	0.642	0.662	0.693	0.716	0.741	0.760
Staggia	0004	0.515	0.577	0.614	0.640	0.661	0.691	0.714	0.739	0.759
Foci	0005	0.518	0.579	0.616	0.643	0.663	0.694	0.716	0.742	0.761
Interbacino1	0029	0.516	0.578	0.615	0.641	0.661	0.692	0.714	0.740	0.759

TABELLA 4-4: COEFFICIENTI DI RAGGUGLIO – MODELLO COMPLETO - SCENARIO DI PRECIPITAZIONE B

Sottobacini		Coefficienti di ragguglio - Modello Completo - Scenario D								
Denominazione	Codice	d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h
ElsaMonte	0001	0.520	0.582	0.619	0.645	0.666	0.696	0.719	0.744	0.764
Lisoia	0002	0.514	0.576	0.613	0.640	0.660	0.691	0.713	0.739	0.758
MonteCuccheri	0003	0.515	0.577	0.614	0.641	0.661	0.692	0.714	0.740	0.759
Staggia	0004	0.514	0.576	0.613	0.639	0.660	0.690	0.713	0.738	0.758
Foci	0005	0.516	0.578	0.615	0.641	0.662	0.693	0.715	0.741	0.760
Abese	0006	0.506	0.568	0.605	0.631	0.652	0.683	0.705	0.731	0.751
Bacchereto	0007	0.508	0.569	0.606	0.633	0.653	0.684	0.707	0.732	0.752
Zambria	0008	0.503	0.565	0.601	0.628	0.648	0.679	0.702	0.728	0.747
NoNome1	0009	0.506	0.567	0.604	0.630	0.651	0.682	0.704	0.730	0.750
NoNome2	0010	0.503	0.565	0.602	0.628	0.649	0.679	0.702	0.728	0.747
Avane	0011	0.502	0.564	0.601	0.627	0.648	0.678	0.701	0.727	0.747
Forciano	0012	0.503	0.565	0.602	0.628	0.649	0.679	0.702	0.728	0.747
Avanella	0013	0.500	0.561	0.598	0.624	0.645	0.676	0.699	0.724	0.744
Giuncaia	0014	0.500	0.561	0.598	0.625	0.645	0.676	0.699	0.725	0.744
SanBenedetto	0015	0.505	0.566	0.603	0.630	0.650	0.681	0.704	0.729	0.749
Inferno	0016	0.500	0.562	0.598	0.625	0.645	0.676	0.699	0.725	0.744
Zufola	0017	0.501	0.563	0.600	0.626	0.647	0.677	0.700	0.726	0.745
DelleRote	0018	0.501	0.563	0.600	0.626	0.647	0.677	0.700	0.726	0.746
Agliena	0019	0.502	0.564	0.601	0.627	0.647	0.678	0.701	0.727	0.746
Casciani	0020	0.502	0.564	0.601	0.627	0.648	0.678	0.701	0.727	0.746
Interbacino1	0029	0.514	0.576	0.613	0.640	0.660	0.691	0.713	0.739	0.758
Interbacino2	0030	0.505	0.567	0.604	0.630	0.650	0.681	0.704	0.730	0.749
Interbacino3	0031	0.501	0.562	0.599	0.626	0.646	0.677	0.700	0.725	0.745

TABELLA 4-5: COEFFICIENTI DI RAGGUGLIO – MODELLO COMPLETO - SCENARIO DI PRECIPITAZIONE D

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL FIUME ELSA
DA LOC. CASTIGLIONI (COMUNE DI POGGIBONSI) ALLO SCOLMATORE (COMUNE DI CASTELFIORENTINO)

Sottobacini		Coefficienti di ragguglio - Modello Completo - Scenario E								
Denominazione	Codice	d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h
ElsaMonte	0001	0.519	0.582	0.619	0.645	0.666	0.696	0.719	0.744	0.763
Lisoia	0002	0.514	0.576	0.613	0.639	0.660	0.691	0.713	0.739	0.758
MonteCuccheri	0003	0.515	0.577	0.614	0.641	0.661	0.692	0.714	0.740	0.759
Staggia	0004	0.513	0.575	0.612	0.639	0.659	0.690	0.713	0.738	0.758
Foci	0005	0.516	0.578	0.615	0.641	0.662	0.692	0.715	0.740	0.760
Abese	0006	0.506	0.568	0.605	0.631	0.652	0.683	0.705	0.731	0.750
Bacchereto	0007	0.507	0.569	0.606	0.633	0.653	0.684	0.707	0.732	0.752
Zambria	0008	0.503	0.564	0.601	0.628	0.648	0.679	0.702	0.727	0.747
NoNome1	0009	0.505	0.567	0.604	0.630	0.651	0.682	0.704	0.730	0.750
NoNome2	0010	0.503	0.565	0.602	0.628	0.648	0.679	0.702	0.728	0.747
Avane	0011	0.502	0.564	0.601	0.627	0.647	0.678	0.701	0.727	0.746
Forciano	0012	0.503	0.565	0.601	0.628	0.648	0.679	0.702	0.728	0.747
Avanella	0013	0.500	0.561	0.598	0.624	0.645	0.676	0.698	0.724	0.744
Giuncaia	0014	0.500	0.561	0.598	0.625	0.645	0.676	0.699	0.724	0.744
SanBenedetto	0015	0.504	0.566	0.603	0.629	0.650	0.681	0.704	0.729	0.749
Inferno	0016	0.500	0.561	0.598	0.625	0.645	0.676	0.699	0.725	0.744
Zufola	0017	0.501	0.563	0.599	0.626	0.646	0.677	0.700	0.726	0.745
DelleRote	0018	0.501	0.563	0.600	0.626	0.646	0.677	0.700	0.726	0.745
Agliena	0019	0.502	0.563	0.600	0.627	0.647	0.678	0.701	0.727	0.746
Casciani	0020	0.502	0.564	0.600	0.627	0.647	0.678	0.701	0.727	0.746
Vicariato	0021	0.497	0.559	0.595	0.622	0.642	0.673	0.696	0.722	0.742
Casanuova	0022	0.496	0.558	0.594	0.621	0.641	0.672	0.695	0.721	0.741
Renaccio	0023	0.497	0.559	0.595	0.622	0.642	0.673	0.696	0.722	0.742
Corniola	0024	0.496	0.557	0.594	0.620	0.641	0.672	0.695	0.720	0.740
ValleBuia	0025	0.496	0.558	0.594	0.621	0.641	0.672	0.695	0.721	0.741
CampoAlTesoro	0026	0.496	0.558	0.594	0.621	0.641	0.672	0.695	0.721	0.741
NoNome3	0027	0.495	0.557	0.593	0.620	0.640	0.671	0.694	0.720	0.740
Pesciola	0028	0.501	0.562	0.599	0.625	0.646	0.677	0.699	0.725	0.745
Interbacino1	0029	0.514	0.576	0.613	0.639	0.660	0.691	0.713	0.739	0.758
Interbacino2	0030	0.505	0.566	0.603	0.630	0.650	0.681	0.704	0.729	0.749
Interbacino3	0031	0.501	0.562	0.599	0.625	0.646	0.677	0.700	0.725	0.745
Interbacino4	0032	0.498	0.559	0.596	0.622	0.643	0.674	0.697	0.722	0.742

TABELLA 4-6: COEFFICIENTI DI RAGGUGLIO – MODELLO COMPLETO - SCENARIO DI PRECIPITAZIONE E

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL FIUME ELSA
DA LOC. CASTIGLIONI (COMUNE DI POGGIBONSI) ALLO SCOLMATORE (COMUNE DI CASTELFIORENTINO)

Sottobacini		Coefficienti di ragguglio - Modello Ridotto				
Denominazione	Codice	d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h
Avane	0011	0.963	0.967	0.970	0.972	0.974
Forciano	0012	0.960	0.965	0.968	0.970	0.971
Avanella	0013	0.953	0.959	0.963	0.965	0.967
Giuncaia	0014	0.994	0.995	0.995	0.996	0.996
SanBenedetto	0015	0.995	0.995	0.996	0.996	0.996
Inferno	0016	0.990	0.991	0.992	0.993	0.993
Zufola	0017	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997
DelleRote	0018	0.940	0.948	0.952	0.955	0.958
Agliena	0019	0.850	0.868	0.880	0.888	0.894
Casciani	0020	0.834	0.855	0.867	0.876	0.882
Vicariato_LaValle	2101	0.986	0.988	0.989	0.990	0.990
Vicariato_Monte_Cassa	2102	0.986	0.988	0.989	0.990	0.990
Forche_Monte_Cassa	2103	0.986	0.988	0.989	0.990	0.990
Vicariato_interb_1	2104	0.986	0.988	0.989	0.990	0.990
Forche_Interb_1	2105	0.986	0.988	0.989	0.990	0.990
Vicariato_interb_2	2106	0.986	0.988	0.989	0.990	0.990
Casanuova	0022	0.990	0.992	0.992	0.993	0.993
Renaccio	0023	0.974	0.977	0.979	0.980	0.981
Corniola	0024	0.986	0.987	0.988	0.989	0.990
ValleBuia	0025	0.992	0.993	0.993	0.994	0.994
CampoAlTesoro	0026	0.996	0.997	0.997	0.997	0.997
NoNome3	0027	0.990	0.991	0.992	0.993	0.993
Pesciola	0028	0.772	0.800	0.817	0.829	0.838
Interbacino3	0031	0.974	0.977	0.979	0.980	0.981
Interbacino4	0032	0.962	0.966	0.969	0.971	0.973

TABELLA 4-7: COEFFICIENTI DI RAGGUAGLIO – MODELLO RIDOTTO

4.2.3 Idrogrammi di piena

Alla luce di quanto argomentato nei paragrafi precedenti, si riportano di seguito in forma tabellare le portate massime attese degli idrogrammi di piena risultanti dai vari scenari idrologici implementati.

Sottobacini		Portate Massime - Modello Completo - Scenario B							
		TR=30 anni				TR=200 anni			
Denominazione	Codice	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h
ElsaMonte	0001	275.9	268.0	241.1	211.9	442.2	426.1	382.0	337.6
Lisoia	0002	7.5	6.3	5.2	4.4	11.3	9.7	8.1	7.0
MonteCuccheri	0003	2.6	2.1	1.6	1.2	4.3	3.5	2.8	2.4
Staggia	0004	300.7	294.8	268.2	235.9	498.4	488.2	445.6	396.0
Foci	0005	192.5	186.7	167.2	145.9	315.7	303.3	270.4	237.4
Interbacino1	0029	11.8	9.9	7.9	6.6	18.2	15.5	12.8	11.0

TABELLA 4-8: PORTATE AL COLMO - MODELLO COMPLETO – SCENARIO B

Sottobacini		Portate Massime - Modello Completo - Scenario D							
		TR=30 anni				TR=200 anni			
Denominazione	Codice	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h
ElsaMonte	0001	275.3	267.5	240.7	211.6	441.4	425.4	381.4	337.2
Lisoia	0002	7.5	6.3	5.2	4.4	11.3	9.7	8.0	6.9
MonteCuccheri	0003	2.6	2.1	1.6	1.2	4.3	3.5	2.8	2.4
Staggia	0004	300.0	294.2	267.7	235.5	497.3	487.3	444.9	395.4
Foci	0005	192.1	186.3	167.0	145.7	315.1	302.7	270.0	237.1
Abese	0006	4.6	3.9	3.2	2.7	6.9	5.9	4.9	4.2
Bacchereto	0007	9.6	8.0	6.5	5.5	14.6	12.5	10.3	8.9
Zambria	0008	10.7	8.6	6.7	5.3	17.2	14.3	11.5	9.6
NoNome1	0009	3.2	2.7	2.2	1.9	4.8	4.1	3.4	3.0
NoNome2	0010	2.9	2.4	1.9	1.6	4.6	3.8	3.1	2.7
Avane	0011	14.0	11.6	9.3	7.7	21.6	18.3	15.0	12.8
Forciano	0012	16.5	13.9	11.3	9.6	24.9	21.3	17.6	15.2
Avanella	0013	18.9	15.9	13.0	11.1	28.3	24.2	20.1	17.4
Giuncaia	0014	2.3	2.0	1.6	1.4	3.5	3.0	2.5	2.1
SanBenedetto	0015	2.20	1.87	1.56	1.34	3.25	2.80	2.35	2.05
Inferno	0016	3.7	3.1	2.5	2.1	5.7	4.8	4.0	3.4
Zufola	0017	1.3	1.0	0.8	0.7	2.0	1.6	1.3	1.1
DelleRote	0018	24.4	20.6	16.8	14.2	36.9	31.5	26.1	22.5
Agliena	0019	62.3	52.9	42.6	35.5	97.2	83.4	68.5	58.4
Casciani	0020	61.9	54.4	44.0	36.2	102.4	89.4	73.4	62.0
Interbacino1	0029	11.8	9.8	7.9	6.6	18.2	15.5	12.8	10.9
Interbacino2	0030	18.1	15.4	12.7	10.8	27.3	23.5	19.6	16.9
Interbacino3	0031	10.9	9.3	7.6	6.5	16.3	14.0	11.7	10.1

TABELLA 4-9: PORTATE AL COLMO - MODELLO COMPLETO – SCENARIO D

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL FIUME ELSA
DA LOC. CASTIGLIONI (COMUNE DI POGGIBONSI) ALLO SCOLMATORE (COMUNE DI CASTELFIORENTINO)

Sottobacini		Portate Massime - Modello Completo - Scenario E							
		TR=30 anni				TR=200 anni			
Denominazione	Codice	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h	d=7h	d=9h	d=12h	d=15h
ElsaMonte	0001	275.2	267.5	240.6	211.5	441.3	425.3	381.3	337.1
Lisoia	0002	7.5	6.3	5.1	4.4	11.3	9.7	8.0	6.9
MonteCuccheri	0003	2.6	2.1	1.6	1.2	4.3	3.5	2.8	2.4
Staggia	0004	299.9	294.1	267.6	235.5	497.2	487.2	444.8	395.3
Foci	0005	192.0	186.3	166.9	145.7	315.0	302.6	270.0	237.0
Abese	0006	4.6	3.9	3.2	2.7	6.9	5.9	4.9	4.2
Bacchereto	0007	9.6	8.0	6.5	5.5	14.6	12.5	10.3	8.9
Zambria	0008	10.7	8.6	6.7	5.3	17.2	14.3	11.5	9.6
NoNome1	0009	3.2	2.7	2.2	1.9	4.8	4.1	3.4	3.0
NoNome2	0010	2.9	2.4	1.9	1.6	4.6	3.8	3.1	2.7
Avane	0011	14.0	11.6	9.3	7.7	21.6	18.3	15.0	12.8
Forciano	0012	16.5	13.9	11.3	9.6	24.9	21.3	17.6	15.2
Avanella	0013	18.9	15.9	13.0	11.1	28.3	24.2	20.1	17.4
Giuncaia	0014	2.3	2.0	1.6	1.4	3.5	3.0	2.5	2.1
SanBenedetto	0015	2.20	1.87	1.56	1.34	3.25	2.80	2.35	2.04
Inferno	0016	3.7	3.1	2.5	2.1	5.7	4.8	4.0	3.4
Zufola	0017	1.3	1.0	0.8	0.7	2.0	1.6	1.3	1.1
DelleRote	0018	24.4	20.6	16.8	14.2	36.9	31.5	26.1	22.5
Agliena	0019	62.3	52.9	42.6	35.5	97.1	83.3	68.5	58.3
Casciani	0020	61.8	54.4	44.0	36.2	102.3	89.4	73.4	62.0
Vicariato	0021	5.7	4.9	4.0	3.5	8.4	7.2	6.0	5.3
Casanuova	0022	3.9	3.3	2.7	2.4	5.7	4.9	4.1	3.6
Renaccio	0023	5.9	5.0	4.2	3.6	8.7	7.5	6.3	5.5
Corniola	0024	5.9	5.0	4.2	3.6	8.7	7.5	6.3	5.5
ValleBuia	0025	3.2	2.7	2.2	1.9	4.8	4.1	3.4	3.0
CampoAlTesoro	0026	1.5	1.3	1.0	0.9	2.2	1.9	1.6	1.4
NoNome3	0027	4.0	3.4	2.9	2.5	5.9	5.1	4.3	3.7
Pesciola	0028	111.8	98.4	81.7	69.7	171.0	150.6	126.2	109.0
Interbacino1	0029	11.8	9.8	7.9	6.6	18.2	15.5	12.8	10.9
Interbacino2	0030	18.1	15.4	12.7	10.8	27.3	23.5	19.6	16.9
Interbacino3	0031	10.9	9.3	7.6	6.5	16.3	14.0	11.7	10.1
Interbacino4	0032	16.0	13.8	11.5	10.0	23.7	20.7	17.4	15.1

TABELLA 4-10: PORTATE AL COLMO - MODELLO COMPLETO – SCENARIO E

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL FIUME ELSA
DA LOC. CASTIGLIONI (COMUNE DI POGGIBONSI) ALLO SCOLMATORE (COMUNE DI CASTELFIORENTINO)

Sottobacini		Portate Massime - Modello Ridotto - Scenario D									
		TR=30 anni					TR=200 anni				
Denominazione	Codice	d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h	d=1h	d=2h	d=3h	d=4h	d=5h
Avane	0011	47.6	47.3	40.0	33.2	27.9	72.0	70.3	59.1	49.1	41.7
Forciano	0012	52.6	52.4	44.9	37.4	31.7	77.8	76.9	65.6	54.9	46.8
Avanella	0013	59.9	59.5	50.9	42.4	36.0	88.4	87.2	74.2	62.1	53.0
Giuncaia	0014	14.8	9.1	6.7	5.4	4.5	20.9	12.9	9.6	7.8	6.6
SanBenedetto	0015	13.5	8.3	6.2	5.0	4.2	18.8	11.9	8.9	7.2	6.1
Inferno	0016	20.2	15.1	11.2	9.0	7.5	29.0	21.7	16.3	13.2	11.1
Zufola	0017	9.2	5.5	4.0	3.1	2.6	13.0	7.9	5.8	4.6	3.9
DelleRote	0018	70.8	72.5	63.9	54.2	46.3	103.9	106.3	93.6	79.6	68.4
Agliena	0019	100.9	118.0	120.4	115.1	106.2	152.9	179.6	183.2	175.0	161.5
Casciani	0020	80.7	100.8	108.1	108.1	103.7	133.2	164.4	174.9	173.3	165.0
Vicariato_LaValle	2101	6.9	4.2	3.1	2.5	2.1	9.6	5.9	4.4	3.6	3.1
Vicariato_Monte_Cassa	2102	7.1	4.4	3.2	2.6	2.2	10.0	6.2	4.6	3.8	3.2
Forche_Monte_Cassa	2103	6.8	4.1	3.0	2.4	2.0	9.5	5.7	4.3	3.5	3.0
Vicariato_interb_1	2104	3.7	2.6	1.9	1.6	1.3	5.2	3.7	2.8	2.2	1.9
Forche_Interb_1	2105	2.68	2.02	1.53	1.23	1.04	3.78	2.88	2.19	1.78	1.51
Vicariato_interb_2	2106	4.0	3.5	2.8	2.3	1.9	5.6	5.0	4.1	3.3	2.8
Casanuova	0022	24.6	14.8	10.9	8.8	7.4	34.4	21.0	15.7	12.7	10.8
Renaccio	0023	47.9	39.3	30.1	24.3	20.6	70.4	56.5	43.3	35.3	30.0
Corniola	0024	31.1	22.0	16.4	13.3	11.2	43.8	31.3	23.6	19.2	16.3
ValleBuia	0025	17.3	12.5	9.3	7.5	6.3	24.7	17.9	13.5	10.9	9.3
CampoAlTesoro	0026	8.8	5.9	4.4	3.5	2.9	12.5	8.4	6.3	5.1	4.3
NoNome3	0027	23.5	15.1	11.2	9.0	7.6	32.9	21.3	16.0	13.0	11.1
Pesciola	0028	26.9	28.7	26.7	23.6	20.6	38.6	41.6	38.9	34.5	30.3
Interbacino3	0031	26.9	28.7	26.7	23.6	20.6	38.6	41.6	38.9	34.5	30.3
Interbacino4	0032	28.6	32.7	32.9	31.1	28.6	41.5	47.9	48.3	45.7	42.0

TABELLA 4-11: PORTATE AL COLMO - MODELLO RIDOTTO

In Tabella 4-12, estratta dalla relazione tecnica dello studio idrologico idraulico di supporto al Piano Operativo del Comune di Poggibonsi, riporta, per completezza, anche i valori massimi degli idrogrammi di piena per TR30 e TR200 anni dei corsi d'acqua studiati in ambito comunale.

Tali valori si riferiscono sia agli idrogrammi puntuali (*in testa* o *lateral*) che agli idrogrammi diffusi inseriti nel modello. Solo per i corsi d'acqua idraulicamente modellati (vedasi elenco del paragrafo 4.1 – Modello Poggibonsi) tali valori si riferiscono allo scenario critico (la relativa durata di precipitazione è infatti riportata a fianco); per i restanti contributi i valori riportati si riferiscono invece al picco dell'idrogramma inserito nel modello, non necessariamente coincidente con quello critico.

Si osserva inoltre che i valori della Tabella 4-12 non sono confrontabili con quelli né del *modello completo* né del *modello ridotto* di cui sopra, in quanto la suddivisione in sottobacini (e quindi in contributi idrologici al modello) dello studio di Poggibonsi è maggiormente discreta rispetto allo studio dell'Elsa.

L'unico idrogramma in qualche modo confrontabile è l'idrogramma *in testa* ai modelli per il Fiume Elsa. Nello studio di Poggibonsi tale idrogramma è calcolato sull'intero bacino del corso d'acqua a monte del tratto urbano modellato, nello studio Elsa è invece calcolato sul bacino a monte della sezione di apertura del modello in Loc. Castiglioni, al quale sono aggiunti, prima del tratto urbano di Poggibonsi, due soli contributi idrologici relativi a modesti interbacini, il cui picco, comunque, non si sovrappone temporalmente a quello dell'Elsa.

Confrontando quindi, ad esempio, i valori di picco relativi alla portata duecentennale con durata di precipitazione di 7 ore, per il *modello completo* del Fiume Elsa risulta una portata pari a circa 442 mc/s, per il modello di Poggibonsi una portata pari a 437 mc/s, pertanto solo una differenza dell'1-2%.

STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO SUL FIUME ELSA
DA LOC. CASTIGLIONI (COMUNE DI POGGIBONSI) ALLO SCOLMATORE (COMUNE DI CASTELFIORENTINO)

BACINO	Q30 _{max} (mc/s)	D30 (h)	Q200 _{max} (mc/s)	D200 (h)
ELSA MONTE	263.15	7	437.82	7
STAGGIA MONTE	214.94	6	345.00	6
CARFINI	140.78	3.5	219.05	3.5
STAGGIA 1	3.83	1	5.42	1
PAPAIANO	12.25	1.5	18.88	1
STAGGIA 2	8.83	1	12.40	1
MELACHECCA	6.94	1	10.07	1
STAGGIA 3	2.74	1	3.81	1
PANCOLE	11.91	1	17.88	1
STAGGIA 4	1.35	1	1.89	1
DROVE DI TATTERA	85.12	3	141.52	2.5
DROVE DI CINCIANO	83.34	3	127.40	2.5
BOZZONE	30.91	3	54.38	2
DROVE 1	5.08	3	9.67	2
STAGGIA 5	8.86	1	12.39	1
ELSA 1	2.09	1	2.94	1
FOCI MONTE	183.05	5	313.11	5
VALLINA	10.47	1	15.38	0.75
FOCI 1	2.75	1	3.84	1
RIO	42.90	4	65.57	4
FOCI 2	3.06	1	4.31	1
OSOLE	9.05	1	13.35	1
FOCI 3	0.98	1	1.38	1
VALLE	16.04	0.5	23.23	0.5
ORNETO	9.61	0.5	13.54	0.5
FOCI 4	17.70	1	25.77	1

TABELLA 4-12: PORTATE AL COLMO - MODELLO POGGIBONSI

4.3 VERIFICHE IDRAULICHE

4.3.1 Caratterizzazione topografica dei corsi d'acqua e delle aree di interesse

Come anticipato, i modelli idraulici sono stati redatti mediante una modellistica accoppiata monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree contermini.

I tratti di alveo modellati si basano sull'acquisizione delle sezioni idrauliche disponibili e già utilizzate nei modelli idraulici che hanno preceduto (vedasi Capitolo 2).

Non sono stati pertanto eseguiti nuovi rilievi topografici.

Per le aste analizzate, sia nei modelli di maggior dettaglio (*modello ridotto* per il P.O. di Certaldo e modello per il P.O. di Poggibonsi) che nel *modello completo* del Fiume Elsa, risultava infatti una buona copertura di sezioni idrauliche già disponibili, per quanto alcune di esse (in particolare quelle relative al Fiume Elsa) risalenti a campagne di rilievo non particolarmente recenti.

Le principali fonti delle sezioni idrauliche utilizzate nelle modellazioni d'alveo risultano le seguenti:

1. Rilievo delle sezioni del Fiume Elsa nel tratto da Poggibonsi a Castelfiorentino eseguito da R.F.I. S.p.A. nel 2003;
2. Rilievo delle sezioni dei principali affluenti del Fiume Elsa sul Comune di Certaldo eseguito da R.F.I. S.p.A. nella campagna di rilievo di cui al punto 1.;
3. Rilievo di parte delle sezioni del Torrente Staggia eseguito R.F.I. S.p.A. nella campagna di rilievo di cui al punto 1.;
4. Rilievo delle sezioni del Fiume Elsa a monte dell'abitato di Poggibonsi e del Torrente Drove eseguito dalla Provincia di Siena nel 2003;
5. Rilievo delle sezioni del Fiume Elsa all'interno del tratto urbano di Poggibonsi eseguito dal Comune di Poggibonsi nel 2007;
6. Rilievo delle sezioni del Torrente Foci sull'intero tratto di studio eseguito da privato, e acquisito negli studi del Comune di Poggibonsi a supporto della 13^a Variante al R.U., nel 2016;
7. Ulteriori rilievi integrativi sul Fiume Elsa e sul reticolo secondario del Comune di Certaldo eseguito dal Comune di Certaldo per il Regolamento Urbanistico nel 2009;
8. Ulteriori rilievi integrativi sul Torrente Staggia, sul Torrente Carfini e su altri corsi d'acqua minori eseguiti dal Comune di Poggibonsi per il Piano Strutturale e/o per successive Varianti al R.U., anni 2012-2016.

Nonostante le numerose fonti, l'affidabilità e la coerenza dei rilievi di cui sopra è stata già confermata negli studi idraulici precedenti. Il presente studio si limita quindi a richiamarli sommariamente, e ad acquisirne i dati, come concordato in sede di avvio dei lavori con l'Autorità Distrettuale.

Come anticipato, l'asta *principale* del Fiume Elsa studiata nel *modello completo* ha una lunghezza pari a circa 32.5 km (32.466,38 m per la precisione).

Le lunghezze delle aste modellate del *reticolo idraulico secondario* nel modello per il P.O. di Certaldo (C) e nel modello per il P.O. di Poggibonsi (P) sono di seguito riportate:

- C Borro della Corniola 1.152,90 m
- C Borro di Casanuova 1.584,79 m
- C Borro del Vicariato 835,60 + 431,5 + 2.484,67 m
- C Torrente dei Casciani 1.276,41 m
- C Torrente Agliena 3.377,23 m
- C Borro della Zufola 384,3 m
- C Borro dell'Inferno 960,84 m

C	Fosso senza nome (loc. Ponte Montepietrini) 688,35 m
C	Botro della Giuncaia 568,75 m
C	Borro dell'Avanella 615,90 m
C	Fosso del Piano 398,30 m
C	Fosso delle Avane 829,90 m
P	Fiume Elsa 5.643,51 m
P	Torrente Staggia 5.212,70 m
P	Torrente Foci 5.679,67 m
P	Torrente Drove di Tattera 3.062,13 m
P	Torrente Drove di Cinciano 565,82 m
P	Torrente Carfini 1.229,64 m
P	Torrente Bozzone 406,59 m
P	Fosso di Vallina 439,55 m
P	Fosso della Valle 984,28 m
P	Borro di Orneto 180,83 m.

Per quanto attiene la caratterizzazione geometrica del modello bidimensionale, lo studio del Fiume Elsa (sia nel *modello completo* che *ridotto*) nonché lo studio del Comune di Poggibonsi si fondano sulla medesima base topografica di partenza.

Il territorio in esame è infatti rappresentato mediante i dati del rilievo LIDAR (Regione Toscana – M.A.T.T.M., 2008), localmente aggiornato con acquisizione di dati topografici più recenti.

Per quanto riguarda il *modello completo* del Fiume Elsa, il territorio complessivamente riprodotto attraverso un modello digitale del terreno a partire dai dati LIDAR presenta una superficie complessiva pari a circa 36 kmq (26 kmq nel *modello ridotto*), sulla quale ricadono interamente le aste fluviali analizzate.

Nel modello di Poggibonsi è stata invece studiata un'area complessivamente pari a circa 17 kmq di superficie, in parte sovrapposta a quella dello studio del Fiume Elsa, in parte esterna ad essa in quanto riguardante zone attraversate dal solo *reticolo idraulico secondario*.

Per i modelli del Fiume Elsa (*completo e ridotto*) la base topografica, o *bathymetry*, è stata ricostruita mediante il metodo *flexible mesh*, ovvero con triangoli di superficie variabile (sup. massima 400 mq).

A partire dalla base topografica a maglia quadrata 1x1 mt del LIDAR è stato eseguito il ricampionamento con interpolazione triangolare secondo la procedura applicata dal software MIKE FM, impostando anche una serie di *breaklines*, ovvero linee di interruzione, per guidare la costruzione delle *mesh* in corrispondenza di elementi morfologici specifici (ad esempio rilevati stradali o arginali) e rappresentarli con triangoli di dimensioni più piccole (acquisendone quindi le esatte quote di sommità).

La rappresentazione della *bathymetry* mediante il metodo *flexible mesh* si è resa necessaria al fine di rendere più “maneggevole” e gestire con maggiore praticità la base topografica all'interno del modello. Infatti densificando i triangoli nelle aree di maggior interesse, ad esempio quelle urbanizzate, e al contrario semplificando, ovvero creandone di più estesi, nelle aree agricole del fondovalle, si è potuto contenere in modo accettabile la “pesantezza” del modello e garantire la sua sostenibilità computazionale, compiendo approssimazioni del tutto accettabili.

Per il modello bidimensionale dello studio del Comune di Poggibonsi, invece, essendo esso un po' meno esteso dei precedenti e, soprattutto, ricadendo quasi interamente su area urbanizzata, è stata ricostruita una base topografica di maggior dettaglio, e con metodo “tradizionale”, ovvero a maglia quadrata.

I dati del LIDAR a maglia 1x1 mt sono stati oggetto di ricampionamento a maglia 3x3 mt; per aree di studio di questa estensione non appare possibile adottare un livello di discretizzazione maggiore. Al di là delle prestazioni computazionali dei calcolatori utilizzati, un modello come quello dello studio per Poggibonsi

comporta tempi di elaborazione numerica decisamente superiori a quello dello stesso *modello completo* del Fiume Elsa, ben più esteso ma realizzato con il metodo *flexible mesh*.

Per quanto riguarda la restituzione dei risultati dei modelli appena descritti, si anticipa che per il modello del Fiume Elsa (*completo* o *ridotto*) i risultati, in termini di battenti e velocità, sono stati poi convertiti in *raster* (file *.asc) a maglia quadrata 5x5 mt, mentre per il modello di Poggibonsi hanno mantenuto il campionamento della propria *bathymetry* originale (3x3 mt).

Nelle Tavole 4A, 4B e 4C sono rappresentate le Planimetrie del Modello Idraulico del *modello completo* e del *modello ridotto* in cui sono riportate tutte le sezioni idrauliche delle aste fluviali modellate nonché la base topografica adottata (LIDAR).

Nella Tavola 5 è invece rappresentata la Planimetria del Modello Idraulico dello studio di Poggibonsi.

4.3.2 **Modello Idraulico**

L'implementazione della modellistica idraulica, sia nei modelli dello studio Elsa che nel modello dello studio Poggibonsi, è stata effettuata, come detto, attraverso il software MIKE del Danish Hydraulic Institute di DHI, certificato dalla F.E.M.A. (Federal Emergency Management Agency).

Per il caso in esame sono state implementate modellistiche accoppiate con il modulo MIKE FLOOD, monodimensionali in alveo e bidimensionali nelle aree contermini, determinando le aree allagate in termini di battenti, livelli e velocità di propagazione.

Il comportamento idraulico in alveo del reticolo idrografico in esame è stato simulato attraverso un modello monodimensionale (MIKE 11) con la schematizzazione geometrica delle sezioni fluviali ricavata dall'acquisizione dei dati dei rilievi topografici elencati nel precedente paragrafo. Le dinamiche di esondazione (tracimazione delle acque e conseguente propagazione sul piano campagna) sono state simulate con un modello bidimensionale (MIKE21), a partire dal modello digitale del terreno mutuato dal LIDAR secondo i criteri precedentemente illustrati.

MIKE FLOOD permette l'accoppiamento dei due modelli in modo totalmente dinamico, garantendo la conservazione di massa e quantità di moto tra i diversi sistemi.

Per ulteriori dettagli si rimanda all'*Appendice 1 – Modellistica Idrologica Idraulica – Fondamenti Teorici*.

4.3.3 **Verifiche Idrauliche implementate**

Gli scenari di verifica implementati sono il risultato della combinazione fra scenari idrologici e scenari geometrici.

I primi consentono di individuare le sollecitazioni al reticolo idrografico schematizzato in funzione della probabilità di accadimento dell'evento meteorico simulato e della durata dello stesso; i secondi rappresentano le configurazioni territoriali che sono cimentate alle sollecitazioni calcolate.

Gli scenari geometrici di riferimento sono i seguenti:

- a) **Modello Completo**: rappresenta l'attuale configurazione del territorio lungo tutta l'asta in esame del Fiume Elsa. Costituisce il modello di base rispetto ai cui risultati sono definite le pericolosità da alluvione del Fiume Elsa, al netto della sola zona urbana del Comune di Poggibonsi (tratto di lunghezza pari a circa 2.8 km) entro la quale subentrano e acquisiscono efficacia i risultati dello studio di Poggibonsi;
- b) **Modello Ridotto**: estrapolato dal *modello completo*, si differenzia da esso solo per la lunghezza ridotta dell'asta analizzata del Fiume Elsa (il modello inizia infatti appena a monte del territorio comunale di Certaldo, con input idrologici ed idraulici congruenti con il *modello completo*) e per l'inserimento di tutti i tratti modellati del *reticolo idraulico secondario* di Certaldo; di fatto questo

modello costituisce la base conoscitiva sulla quale sono determinate le pericolosità da alluvione, e di conseguenza le pericolosità idrauliche, sul territorio comunale di Certaldo;

- c) **Modello Poggibonsi:** il modello idrologico idraulico redatto a supporto del Piano Operativo del Comune di Poggibonsi svolge, in un certo senso, il medesimo ruolo del *modello ridotto* per il Comune di Certaldo; esso infatti fornisce le nuove perimetrazioni della pericolosità da alluvione del Fiume Elsa e del *reticolo idraulico secondario* sul territorio comunale, limitatamente ad un'area di competenza, o dominio di validità, che indicativamente corrisponde alla zona urbana del capoluogo. Rispetto ai due precedenti, tale modello si differenzia per un livello di discretizzazione maggiore dal punto di vista geometrico e per un'analisi idrologica leggermente diversa, in quanto antecedente, a quella dei modelli dell'Elsa, ma del tutto comparabile. Il modello Poggibonsi conduce anche alla perimetrazione delle nuove pericolosità da alluvione sul Comune di Barberino Val d'Elsa nella zona di Drove-Le Lame, e di San Gimignano nella zona i Foci.

A partire dall'analisi idrologica implementata e descritta al paragrafo precedente, è stato scelto di sollecitare i modelli con i seguenti scenari idrologici:

Modello Completo

- Scenario B: Eventi TR=30-200 anni critici per l'asta principale (F. Elsa) nel suo tratto di monte, da Loc. Castiglioni a Poggibonsi, ovvero con durate dell'evento di pioggia pari a 7-9-12-15 ore e utilizzando un coefficiente di ragguglio areale ricavato dal bacino chiuso a Poggibonsi;
- Scenario D: Eventi TR=30-200 anni critici per l'asta principale (F. Elsa) da Poggibonsi a Certaldo, ovvero con durate dell'evento di pioggia pari a 7-9-12-15 ore e utilizzando un coefficiente di ragguglio areale ricavato dal bacino chiuso a Certaldo;
- Scenario E: Eventi TR=30-200 anni critici per l'asta principale (F. Elsa) da Certaldo allo Scolmatore, ovvero con durate dell'evento di pioggia pari a 7-9-12-15 ore e utilizzando un coefficiente di ragguglio areale ricavato dal bacino chiuso a Castelfiorentino.

Modello Ridotto

- Scenario Singoli Bacini: Eventi TR=30-200 anni critici per il reticolo minore del Comune di Certaldo, ovvero con durate dell'evento di pioggia pari a 1-2-3-4-5 ore e utilizzando un coefficiente di ragguglio areale ricavato dai singoli bacini del reticolo.

Modello Poggibonsi

- Scenario Poggibonsi: Eventi TR=30-200 anni critici per il reticolo minore del Comune di Poggibonsi e per il Fiume Elsa nel tratto urbano, ovvero con durate dell'evento di pioggia pari a 1-1.5-2-2.5-3-3.5-4-4.5-5-6-7 ore e utilizzando un coefficiente di ragguglio areale ricavato applicando specifici criteri di rilevanza reciproca sui singoli bacini del reticolo.

Dalla combinazione tra scenari geometrici ed idrologici deriva la definizione dell'ambito di validità dei modelli implementati per la determinazione delle nuove pericolosità da alluvione sul territorio in esame.

In particolare, come anticipato:

- Nel tratto del Fiume Elsa tra Loc. Castiglioni e l'abitato di Poggibonsi ha validità il *modello completo* cimentato sullo scenario B;
- Nell'area urbana di Poggibonsi (compreso area industriale i Foci), su parte del territorio comunale di Barberino Val d'Elsa (zona Drove-Le Lame) e su una piccola porzione del territorio comunale di San Gimignano (zona i Foci) ha validità il modello Poggibonsi (sia per il Fiume Elsa che per il *reticolo idraulico secondario*);
- Nel tratto del Fiume Elsa tra Poggibonsi (indicativamente a valle della confluenza con il Torrente Foci) e Certaldo ha validità il *modello completo* cimentato sullo scenario B;
- Nel tratto del Fiume Elsa a cavallo del territorio comunale di Certaldo hanno validità il *modello completo* cimentato sullo scenario D sul Fiume Elsa, ed il *modello ridotto* cimentato sullo scenario singoli bacini per il *reticolo idraulico secondario* ricadente sul territorio comunale;

- Per il tratto del Fiume Elsa valle del territorio comunale di Certaldo fino allo Scolmatore di Castelfiorentino ha validità il *modello completo* cimentato sullo scenario E.

Nelle tavole dei risultati (carte dei battenti e delle velocità elencate al paragrafo seguente), si individuano i limiti di validità dei vari modelli che compongono lo studio idrologico idraulico complessivo sul fondovalle del Fiume Elsa nel tratto in esame.

4.3.4 Risultati

I risultati delle varie elaborazioni eseguite con i 3 modelli di riferimento si traducono in restituzione di nuove carte della pericolosità da alluvione ai sensi del P.G.R.A., carte dei battenti idraulici massimi e carte delle velocità massime.

In particolare, sono prodotte le seguenti tavole grafiche:

- Tavole 6A-6B-6C-6D e Tavole 7A-7B-7C-7D, che rappresentano rispettivamente le *Carte dei battenti idraulici massimi per TR30 e TR200 anni*;
- Tavole 8A-8B-8C-8D e Tavole 9A-9B-9C-9D, che rappresentano rispettivamente le *Carte delle velocità massime per TR30 e TR200 anni*;
- Tavole 10A-10B-10C-10D, che rappresentano le *Planimetrie della pericolosità idraulica da alluvione ai sensi del PGRA D.Lgs. 49/2010*.

Le carte dei battenti idraulici massimi e le carte delle velocità massime fanno riferimento all'inviluppo complessivo dei massimi valori risultanti da tutte le simulazioni effettuate negli scenari precedentemente indicati e descritti, su tutto il territorio in esame.

In particolare, è stata effettuata un'operazione "congiunta" di inviluppo sui risultati del *modello completo* e del *modello ridotto*; sul dominio di validità dello studio di Poggibonsi l'inviluppo ha riguardato i soli scenari ivi studiati.

Le carte di cui sopra costituiscono la ricomposizione in un unico quadro dei due inviluppi "separati".

Sul dominio di validità dello studio di Poggibonsi i risultati puntuali sono espressi mediante celle a maglia quadrata di 3x3 mt; sulla restante parte del territorio (quella su cui hanno validità i modelli dell'Elsa *completo* o *ridotto*) i risultati puntuali sono espressi mediante celle a maglia quadrata di 5x5 mt.

La perimetrazione delle aree con pericolosità da alluvione è frutto del tracciamento, eseguito manualmente o implementato con *tool* appositi in ambiente Gis, della massima estensione degli allagamenti per TR30 e TR200 anni desunto dalla carta dell'inviluppo dei battenti idraulici massimi.

4.4 AGGIORNAMENTO DELLA PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE DEL PGRA

Ai sensi dell'art. 6 della Disciplina del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale, le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni corrispondono ad aree a pericolosità da alluvione elevata P3, mentre le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore o uguale a 200 anni corrispondono ad aree a pericolosità da alluvione media P2.

Con il presente studio, sia per il *reticolo idraulico principale* (Fiume Elsa) che per una parte del *reticolo idraulico secondario* ricadente sui Comuni di Certaldo e Poggibonsi (in misura minore anche su San Gimignano e Barberino Val d'Elsa), sono aggiornate le perimetrazioni di pericolosità da alluvione ai sensi del P.G.R.A. limitatamente alla pericolosità elevata P3 e media P2.

APPENDICE 1 – MODELLISTICA IDROLOGICA IDRAULICA Fondamenti Teorici

MODELLISTICA IDROLOGICA

MODELLO DI INFILTRAZIONE - METODO DELL'INFILTRAZIONE A SOGLIA

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, di tipo puntuale (registrazioni pluviometriche) sull'area d'interesse, che dovranno essere, in generale, interpolate per ottenere l'andamento delle precipitazioni lorde al suolo nello spazio e nel tempo, in termini di afflussi per unità di area. 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 le dimensioni 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; 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:

- eventi meteorici sintetici uniformemente distribuiti sul bacino;
- isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo (Tr evento di pioggia = Tr idrogramma di piena).

La determinazione degli idrogrammi di piena non può prescindere dai parametri, ormai generalmente utilizzati e condivisi, della procedura di *Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana*. Tale procedura parte dalla teoria dell'*Idrogramma Istantaneo Unitario (Instantaneous Unit Hydrograph, IUH)*, dove i parametri in gioco sono stati 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 e pari al valor medio fornito dalle curve di possibilità climatica (o pluviometrica, di seguito *CPP*) illustrate in seguito. Tale ietogramma consente la determinazione della portata al colmo di assegnato tempo di ritorno sulla base del metodo dell'*evento critico*, individuando la durata di pioggia efficace che massimizza il valore al colmo dell'onda di piena fornita dal modello di trasformazione afflussi - deflussi.

Le *CPP* consentono di rappresentare il regime delle piogge di breve durata e forte intensità in una certa zona. Per la loro determinazione è necessaria un'analisi delle serie pluviometriche disponibili dalla rete di telemisura presente sul territorio a partire dall'esame dei topoi, o poligoni di Thiessen. Dall'analisi statistica delle precipitazioni estreme, in adattamento alla distribuzione TCEV, si perviene appunto alla determinazione delle *CPP*, che stabiliscono un legame tra le altezze di pioggia e la durata dell'evento piovoso, in funzione della probabilità di accadimento dell'evento stesso.

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 , nel lavoro di regionalizzazione, sono calcolati in funzione dell'uso del suolo e dalla geologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico.

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 α , β , γ sono parametri dipendenti dal bacino considerato.

MODELLO DI FORMAZIONE DELL'ONDA DI PIENA - MODELLO DI NASH E GIUH

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

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

dove:

$Q(t)$ è la portata defluente;

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

$U(t)$ è l'idrogramma unitario

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

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

ω 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 $u=1, 2, 3\dots$;

A_u l'area media sottesa da aste di ordine u , con $u=1, 2, 3\dots$

Lo studio di Regionalizzazione delle Portate di Piena, attraverso la taratura sistematica dei dati relativi ad eventi registrati nei 42 bacini strumentati dal Servizio Idrografico, ha fornito una relazione fra i valori di Tl ed i parametri geomorfologici:

$$Tl = 0.42 \left(\frac{Rb}{Ra} \right)^{0.3} Rl^{-0.41} \frac{Lmc}{A^{0.075}} \quad [h]$$

dove A è l'area del bacino espressa in $[kmq]$ e L_{mc} la lunghezza del reticolo in $[km]$, calcolata come cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici.

MODELLISTICA IDRAULICA

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).

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.

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.

Equazioni generali di De Saint Venant

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

- A = area della sezione bagnata (m²);
- C = coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2} s⁻¹);
- g = accelerazione di gravità (m s⁻²);
- h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q = portata (m³/s);
- R = raggio idraulico (m);
- α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta ($m^2 s^{-1}$).

Simulazione delle correnti veloci con l'approccio dell'onda dinamica

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

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

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

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

Approssimazione dell'onda diffusiva

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

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

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine $\partial h / \partial x$. 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).

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 soglia larga

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 $Q = A(Zj1) \cdot Zj2$

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).

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:

$$\tau_r = \frac{gQQ}{C^2AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQQ}{M^2AR^{4/3}}$$

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

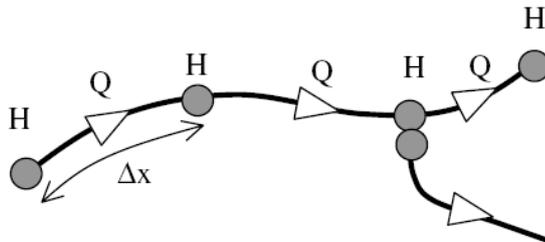
Condizioni Iniziali

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.

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.

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).

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. 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. I principali campi di applicazione sono:

- modellazione idrodinamica del trasporto solido e della qualità delle acque in fiumi;
- laghi ed aree golenali;
- studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore;
- analisi idrodinamica del trasporto solido e morfologica in aree costiere;
- analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere di difesa fluviale;
- supporto all'ottimizzazione di layout portuali;

- analisi impatto ambientale;
- previsione degli stati di mare a supporto della navigazione;
- analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di storm surge.

Il pacchetto MIKE 21 è disponibile in 4 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata.

- CLASSIC GRID (Griglia classica singola): le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo;
- MULTIPLE GRID (Griglia multipla): questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio;
- FLEXIBLE MESH (Griglia flessibile): questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile;
- CURVILINEAR (Griglia curvilinea): è la griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

In campo fluviale MIKE 21 può essere utilizzato in modo integrato con altri codici di calcolo del DHI, in particolare:

- MIKE 11, grazie al modulo MIKE FLOOD, che consente di condurre simulazioni idrodinamiche accoppiando gli approcci 1d e 2d in modo totalmente integrato;
- MIKE URBAN CS per la simulazione di allagamenti in ambito urbano dalla rete di drenaggio.

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.

Per quanto riguarda le analisi dei fenomeni di esondazione, MIKE 21 può essere accoppiato in modo dinamico attraverso l'interfaccia MIKE FLOOD al codice monodimensionale MIKE 11, per la simulazione degli alvei e dei canali, ed al codice MIKE URBAN, per la simulazione delle reti di drenaggio e collettamento urbano, schematizzando il dominio di calcolo in modo integrato 1D/2D.

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

Equazione di conservazione della massa:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

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

nelle quali $h(x,y,t)$ è la profondità dell'acqua, $\zeta(x,y,t)$ è la quota del pelo libero, $p, q(x,y,t)$ sono le portate unitarie nelle direzioni x e y , $C(x,y)$ è il coefficiente di scabrezza di Chezy, g l'accelerazione di gravità, $f(V)$ il fattore d'attrito del vento, $V, V_x, V_y(x,y,t)$ le velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y , $\Omega(x,y)$ il parametro di Coriolis, $p_a(x,y,t)$ la pressione atmosferica, ρ_w la densità dell'acqua, $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ le componenti degli sforzi tangenziali che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità, S_{xx}, S_{xy}, S_{yy} le 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 tangenziali τ 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 tangenziale 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, Δ è la dimensione spaziale della griglia e c_s è una costante compresa tra 0,25 e 1.

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

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

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

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

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 (si veda la):

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

MODELLISTICA MIKE FLOOD

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 in maniera distribuita.

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

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