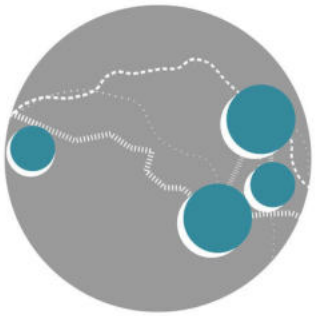
COMUNE DI ASCIANO
COMUNE DI RAPOLANO TERME

Provincia di Siena



PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE

Legge Regionale 65/2014

G.20

INDAGINI GEOLOGICO-IDRAULICHE-SISMICHE

Relazione idrologico-idraulica

Comune di Asciano
Fabrizio Nucci *Sindaco*

Comune di Rapolano Terme
Alessandro Starnini *Sindaco*

Responsabile Unico del Procedimento
Rolando Valentini

Garante dell'Informazione e della Partecipazione
Maria Alice Fiordiponti

Ufficio di Piano e Progettazione Urbanistica
Rolando Valentini *coordinamento*
Leonardo Carta
Laura Tavanti

Collaboratori
Gabriele Giardini
Caterina Machetti
Sauro Malentacchi

Silvia Bertocci
Manuela Fontanive
Alessia Neri
Patrizia Sodi

Valutazione Ambientale Strategica
Annalisa Pirrello
Lucia Ninno - *collaboratore*

Agricoltura, Foreste e Biodiversità
Elena Lanzi
Andrea Vatteroni - *collaboratore*

Indagini Geologico-Tecniche
Michele Sani - Terra & Opere srl
Andrea Caselli - *collaboratore*

Indagini Idrologico-Idrauliche
Alessio Gabbrielli

Archeologia
Cristina Felici - Archeo Tech and Survey srl
Francesco Brogi - collaboratore

Partecipazione e Comunicazione
Anna Lisa Pecoriello - MHC Progetto territorio
Adalgisa Rubino - MHC Progetto territorio

Collaudatore dei dati
Luca Gentili - LdP progetti gis

Premessa 4
1. INQUADRAMENTO GENERALE 6
1.1. Aspetti amministrativi 6
1.2. Aspetti idrografici 7
1.3. Corsi d'acqua oggetto di studio 7
1.4. Eventi alluvionali 8
1.5. Studi idraulici pregressi 9
2. VERIFICHE DEL SISTEMA IDROGRAFICO INTERFERENTE CON L'ABITATO DI ASCIANO 10
2.1. Premessa 10
2.2. Idrologia 11
2.2.1. I bacini idrografici 11
2.2.2. Il regime di precipitazione 12
2.2.3. La depurazione delle piogge 14
2.2.4. La trasformazione afflussi-deflussi 16
2.2.5. Gli idrogrammi di piena 17
2.3. Idraulica 20
2.3.1. Cenni preliminari 20
2.3.2. L'approccio modellistico 21
2.3.3. La geometria del modello 23
2.3.3.1 Il modello monodimensionale d'alveo 23
2.3.3.2 La costruzione della base bidimensionale 24
2.3.4. Ulteriori parametrizzazioni del modello e condizioni al contorno 26
2.3.5. Restituzione dei risultati della modellazione 27
2.3.6. Considerazioni finali 32
3. VERIFICHE DEL SISTEMA IDROGRAFICO INTERFERENTE CON L'ABITATO DI RAPOLANO 34
3.1. Premessa 34
3.2. Idrologia 35
3.2.1. I bacini idrografici 35
3.2.2. La calibrazione idrologica del modello 36
3.2.2.1 Definizione delle modalità di calibrazione ed attività preparatorie 36
3.2.2.2 Stima dell'idrogramma dell'evento del 21 Ottobre 2013 38
3.2.2.3 Calibrazione idraulica dell'evento del 21 Ottobre 2013 40
3.2.2.4 Risultati della calibrazione 41
3.2.3. Il regime di precipitazione 44
3.2.4. La depurazione delle piogge 44
3.2.5. La trasformazione afflussi-deflussi 45
3.2.6. Gli idrogrammi di piena 46

3.3. Idraulica 49
3.3.1. Cenni preliminari e approccio modellistico 49
3.3.2. La geometria del modello 50
3.3.2.1 Il modello monodimensionale d'alveo 50
3.3.2.2 La costruzione della base bidimensionale 51
3.3.3. Ulteriori parametrizzazioni del modello e condizioni al contorno 52
3.3.4. Restituzione dei risultati della modellazione 53
3.3.5. Considerazioni finali 57
4. VERIFICHE SUL FIUME ARBIA 58
5. ELABORATI GRAFICI DEL PIANO STRUTTURALE 59
6. ALLEGATI ALLA RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA 60

Premessa

La presente relazione ha la finalità di illustrare gli studi idrologico-idraulici svolti a supporto del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Asciano e Rapolano Terme.

Tali studi sono stati sviluppati ai sensi del D.P.G.R. 5R/2020, ed in particolare delle *Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche (Allegato A)*, della L.R. 41/2018 e s.m.i. nonché della Disciplina del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale (*Modalità per le proposte di revisione ed aggiornamento delle mappe del PGRA, Allegato 3*).

I Comuni di Asciano e Rapolano Terme abbracciano, nel loro insieme, un territorio molto esteso, prevalentemente di natura collinare ed interessato da un reticolo idrografico molto articolato. Su di essi ricadono sia corsi d'acqua principali (Fiume Ombrone, Torrente Arbia) che innumerevoli aste di reticolo secondario.

Ai sensi del D.P.G.R. 5R/2020, nel presente lavoro, sono stati studiati soltanto i principali casi di interferenza tra territorio urbanizzato e reticolo idrografico regionale, rimandando alcuni approfondimenti e/o aggiornamenti a fasi successive all'adozione e/o ai futuri Piani Operativi comunali, allorquando saranno definite con maggior precisione anche le nuove previsioni urbanistiche.

Il presente lavoro acquisisce, inoltre, i risultati dello studio idraulico sul Torrente Arbia redatto a supporto del Piano Operativo del Comune di Siena, sotto il coordinamento del Distretto Appennino Settentrionale (Progeo Engineering srl, 2020), integrandoli con quelli dei nuovi studi appositamente condotti.

Si segnala inoltre che il Comune di Rapolano Terme, con D.C.C. n. 58 del 29 Luglio 2021 ha revocato lo studio idraulico denominato *Studio idrologico-idraulico per l'aggiornamento del quadro conoscitivo in materia di indagini idrologiche-idrauliche nel Piano del Sentino* (Sorgente Ingegneria Studio Tecnico Associato, Ing. Leonardo Marini, 2019) elaborato nell'ambito della Variante Semplificata al Regolamento Urbanistico e contestuale Piano Attuativo Comparto CT07, le cui mappature non risultano mai state definitivamente approvate né aggiornate nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, pertanto, a differenza di quanto originariamente previsto, per l'area produttiva del Sentino gli studi saranno oggetto di futura revisione e conformazione all'approccio metodologico di cui alle altre verifiche a supporto del P.S.I.; al momento, nelle carte di pericolosità da alluvioni del P.S.I. sono state confermate le mappature del P.G.R.A. vigente.

In definitiva, il presente lavoro ha avuto ad oggetto la redazione delle seguenti nuove verifiche idrologico-idrauliche:

- Sistema idrografico afferente al Fiume Ombrone ed interferente con l'abitato di Asciano (Borro Bestina, Borro Bestinino, Borro La Copra e altri minori), di seguito denominato *Modello Asciano*.
- Sistema idrografico afferente al Borro Ripi ed interferente con l'abitato di Rapolano Terme (Borro delle Ripi e altri minori), di seguito denominato *Modello Rapolano*.

La presente relazione, dopo una breve introduzione sui territori comunali e sul reticolo idrografico in esame ed alcuni cenni su eventi alluvionali e studi pregressi, illustra le due verifiche compiute analizzandone, distintamente, gli aspetti idrologici ed idraulici.

A supporto di essa è prodotto un ulteriore documento (**Allegati alla Relazione idrologico-idraulica**) in cui è riportata una serie di elaborati grafici atti a documentare le trattazioni discorsive della presente relazione.

1. INQUADRAMENTO GENERALE

In questo capitolo introduttivo, come detto, sono fornite informazioni generali sul territorio in esame, di carattere amministrativo ed idrografico; per aspetti di carattere geologico e geomorfologico si rimanda alla consultazione della **Relazione Geologico Tecnica** del P.S.I. a firma del Geol. Michele Sani.

E' inoltre fatto cenno ai contenuti degli studi idrologico-idraulici pregressi, in particolare quelli che hanno interessato i corsi d'acqua oggetto di aggiornamento.

Per l'area dell'abitato di Asciano è fatto anche un richiamo agli eventi alluvionali che, in tempi abbastanza recenti, essa ha subito per esondazione dei corsi d'acqua interferenti.

1.1. Aspetti amministrativi

Il comune di **Asciano** presenta una superficie territoriale di circa **215 kmq**, secondo comune della Provincia di Siena per estensione (dopo Montalcino); esso confina a Nord con Castelnuovo Berardenga, a Nord-Ovest con il Comune di Siena (il confine è individuato dall'asta del Torrente Arbia), ad Ovest con Monteroni d'Arbia, a Sud-Ovest con Buonconvento, a Sud con Montalcino, a Sud-Est con Trequanda, e ad Est con Rapolano Terme-Ovest (con cui condivide un tratto del Fiume Ombrone).

Il Comune di Rapolano Terme, oltre al confine con Asciano, confina sempre con Castelnuovo Berardenga a Nord, mentre ad Est tocca i comuni di Sinalunga, di Lucignano e di Monte San Savino (questi ultimi già in Provincia di Arezzo); per pochi metri esso confina anche con Bucine (AR). La superficie territoriale del Comune di **Rapolano Terme** risulta pari a circa **85 kmq**.

Complessivamente il PSI Asciano-Rapolano Terme interessa, quindi, un territorio di superficie pari a circa 300 kmq.

La **Tav. A** presente negli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra i confini amministrativi dei due comuni e di quelli limitrofi.

Il capoluogo di Asciano è ubicato nella parte Est del territorio comunale, non lontano dal confine con Rapolano Terme; ad Ovest del capoluogo, in continuità con quest'ultimo, si sviluppa anche l'area produttiva di Asciano Scalo. Gli altri principali insediamenti urbanizzati sono rappresentati dall'abitato di Arbia, al confine con il Comune di Siena, a Nord-Ovest, e dalla frazione di Castelnuovo Berardenga Scalo (stazione ferroviaria).

Per il resto prevale il territorio aperto, con alcuni insediamenti urbani minori.

Il territorio di Rapolano Terme è caratterizzato da tre principali agglomerati urbani: il capoluogo, con la sua parte storica a Sud e quella più recente (intorno all'area termale) a Nord, la frazione di Serre di Rapolano e la non lontana area produttiva in Loc. Sentino (posta a ridosso del raccordo autostradale Siena-Bettolle); completano alcuni insediamenti urbani minori.

1.2. Aspetti idrografici

Come anticipato, i territori in esame sono caratterizzati dalla presenza di significative aste fluviali (Fiume Ombrone e Torrente Arbia) e da un fitto reticolo secondario, a carattere prevalentemente torrentizio.

Lo stesso Fiume Ombrone, nel tratto che interessa i Comuni di Asciano e Rapolano Terme, presenta ancora dimensioni contenute (questo tratto è generalmente denominato *Ombroncino*), ed acquisisce maggior rilevanza a partire dalla confluenza con il Torrente Arbia (in Comune di Buonconvento), dopo la quale ottiene lo *status* di reticolo principale.

Quasi tutto il reticolo idrografico ricadente su Asciano e Rapolano Terme converge verso il Fiume Ombrone ed il Torrente Arbia. Fa però eccezione una porzione di reticolo di Rapolano Terme, ed in particolare quella che interessa l'area produttiva del Sentino e la parte Est del territorio comunale, che invece afferisce al Torrente Foenna (affluente del Canale Maestro della Chiana, bacino del Fiume Arno).

La **Tav. A** presente negli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra anche il reticolo idrografico regionale di cui alla L.R. 79/2012 insistente sui Comuni di Asciano e Rapolano Terme, nella versione di cui alla D.C.R. 28/2020.

1.3. Corsi d'acqua oggetto di studio

Con il presente lavoro sono stati aggiornati, ed integrati, gli studi idrologico-idraulici per le due aree più strategiche dei Comuni di Asciano e Rapolano Terme, ovvero quelle corrispondenti ai rispettivi capoluoghi.

In questi studi è stato analizzato interamente il sistema idrografico interferente, costituito, in entrambi i casi, da una serie di aste fluviali che sono state studiate congiuntamente; soltanto l'asta di monte del Borro Ripi (Rapolano Terme) è stata oggetto di studio indipendente, per le motivazioni esposte nel relativo capitolo.

Per il Comune di Asciano è stato studiato il sistema idrografico afferente al Fiume Ombrone nel tratto in prossimità del capoluogo, costituito da:

- Borro Bestina
- Borro Bestinino
- Borro della Rabatta
- Borro La Copra
- Borro della Casaccia
- Fiume Ombrone.

Per il Comune di Rapolano Terme è stato studiato il sistema idrografico del Borro Ripi nel tratto che attraversa la parte Nord del capoluogo, costituito da:

- Borro Ripi

- Fosso Pallottolo
- Borro Colle Vecchio
- Borro Madonna a Colle.

Le **Tavv. B** ed **L** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica**, rispettivamente, evidenziano le aste fluviali oggetto del *Modello Asciano* e del *Modello Rapolano*; la seguente tabella riporta le lunghezze dei tratti modellati:

Corsi d'acqua studiati	Comune	Lunghezza asta studiata (m)
Borro Bestina	Asciano	4552
Borro Bestinino	Asciano	896
Borro della Rabatta	Asciano	868
Borro La Copra	Asciano	1130
Borro della Casaccia	Asciano	437
Fiume Ombrone	Asciano	1016
Borro Ripi	Rapolano Terme	2172
Fosso Pallottolo	Rapolano Terme	141
Borro Colle Vecchio	Rapolano Terme	252
Borro Madonna a Colle	Rapolano Terme	539

Tab. 1 – Aste studiate

1.4. Eventi alluvionali

I territori in esame sono stati oggetto, negli ultimi anni, di significativi eventi alluvionali che hanno interessato sia il reticolo principale (Ombrone ed Arbia) che il reticolo secondario.

Tra i due comuni, quello di Asciano è senza dubbio il più colpito.

Si segnalano gli eventi del 21 Ottobre 2013 e del 24 Agosto 2015, ma anche quello, seppur minore, del 26 Ottobre 2016.

I primi due eventi hanno colpito pesantemente anche tutti i territori comunali circostanti, soprattutto per effetto delle esondazioni del Fiume Ombrone e del Torrente Arbia.

Ad Asciano si sono sviluppati estesi allagamenti per esondazione di tutti i corsi d'acqua precedentemente elencati, che hanno coinvolto le aree più pianeggianti a partire da Loc. Asciano Scalo, la parte più recente dell'abitato (Via Martiri della Libertà, Via Morandi, Via Lauretana, Via Grandi etc), e tutte le restanti zone ai piedi del centro storico (zona magazzini comunali, Via Belvedere, zona Molini, Loc. Camparboli), fino al Fiume Ombrone.

Negli eventi del 2013 e 2015 si sono riscontrate, presso le stazioni pluviometriche più prossime ad Asciano, altezze cumulate di precipitazione variabili tra 150 mm e 250 mm nell'arco delle 24 ore; nell'evento del 2016, sempre molto intenso ma di durata assai inferiore, sono state registrate altezze di precipitazione decisamente minori, ma si sono comunque sviluppati allagamenti in alcune delle aree già colpite dagli eventi precedenti, a dimostrazione della vulnerabilità di questi territori.

Nell'ambito dello *Studio idrologico e idraulico dei Borri Copra, Bestina, Bestinino, Rabatta e Casaccia fino alla confluenza con il Fiume Ombrone* (Comune di Asciano, Ing. Claudio Lombardi, 2014 e successive revisioni) è stata prodotta un'ampia documentazione fotografica degli eventi alluvionali del 2013 e del 2015 nonché un dettagliato *Report* dell'evento del 2013 attraverso il quale è stata effettuata una calibrazione dei parametri idrologici ed idraulici del modello. Per maggiori informazioni circa gli eventi alluvionali di cui sopra, si rimanda alla consultazione di questo materiale, messo a disposizione anche di chi scrive per la redazione dei nuovi studi idraulici, e risultato molto utile allo scopo.

Per quanto riguarda il Comune di Rapolano Terme, invece, pur colpito dagli stessi eventi meteorici (probabilmente un po' più attenuati in quanto più distante dal centro di scroscio), si rilevano danni abbastanza lievi, fatta eccezione per un crollo in Loc. Serre di Rapolano nel 2013, e modesti allagamenti stradali in corrispondenza di sottopassi sottodimensionati.

Queste condizioni di apparente minor vulnerabilità dell'area urbana di Rapolano Terme hanno indotto ad effettuare appositi approfondimenti idrologici, come suggerito dallo stesso ufficio del Genio Civile Toscana Sud; di ciò è dato conto nel relativo capitolo.

1.5. Studi idraulici pregressi

Sia il sistema idrografico del Fiume Ombrone ed affluenti presso Asciano che quello del Borro Ripi presso Rapolano Terme sono stati, in passato, oggetto di verifiche idrologico-idrauliche nell'ambito della redazione di strumenti urbanistici comunali.

Gli studi di cui al presente P.S.I. costituiscono quindi una revisione degli studi precedenti, di cui è attualizzata sia l'analisi idrologica che quella idraulica, conformemente a quanto richiesto dalla nuova disciplina del settore.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua interferenti con l'abitato di Asciano gli studi più recenti sono quelli precedentemente citati, risalenti all'anno 2014 (e revisioni successive) e redatti dall'Ing. Claudio Lombardi a supporto del Regolamento Urbanistico comunale, ai sensi del D.P.G.R. 53R/2011 allora vigente.

Detti studi, previa l'anzidetta calibrazione dei parametri idrologici ed idraulici effettuata a seguito dell'evento alluvionale del 2013, hanno interessato tutti i corsi d'acqua interferenti con l'abitato di Asciano, restituendo una mappatura aggiornata molto fedele con quanto verificatosi negli stessi eventi alluvionali.

Dal punto di vista della modellazione idraulica, gli studi del R.U. prevedevano, per ragioni di stabilità delle elaborazioni numeriche, due modelli distinti della parte di monte (Borro Bestina, Borro Bestinino e Bordo della Rabatta) e della parte di valle (Borro Bestina, Borro La Copra, Borro della Casaccia e Fiume Ombrone), redatti rispettivamente in moto vario (con celle di accumulo) ed in moto permanente.

Questi modelli, col supporto anche dell'osservazione delle dinamiche di allagamento degli eventi

del 2013 e del 2015, restituivano pericolosità idrauliche molto dettagliate; tali mappature coincidono con quelle attualmente vigenti secondo il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

Per quanto riguarda, invece, il Comune di Rapolano Terme, ed in particolare il Borro Ripi e suoi affluenti, si segnala lo studio redatto a supporto del Piano Strutturale comunale (Geol. Silvano Becattelli, Ing. Michele Mancini e al., 2007-2009) denominato *Studio idrologico-idraulico per la valutazione del rischio idraulico del Borro delle Ripi, nel tratto che attraversa il centro urbano di Rapolano Terme*, e redatto ai sensi del D.P.G.R. 26R/2007 allora vigente.

Detto studio, redatto con modellistica in moto permanente e contenente anche proposte di intervento per la mitigazione del rischio idraulico, restituiva mappature di aree a pericolosità idraulica che, a tutt'oggi, corrispondono ancora a quelle vigenti del P.G.R.A.

Su Rapolano Terme si segnala inoltre anche lo studio redatto sull'area produttiva del Sentino, avente, anche in questo caso, ad oggetto vari corsi d'acqua con essa interferenti, da parte di Sorgente Ingegneria Studio Tecnico Associato (Ing. Leonardo Marini, 2019), a supporto di Variante al R.U. e contestuale Piano Attuativo.

Questo studio, come riportato in **Premessa**, è stato recentemente revocato da parte del Comune di Rapolano Terme (D.C.C. n. 58 del 29 Luglio 2021), con l'intenzione di procedere ad una nuova revisione dello stesso che abbracci interamente l'area del Sentino ed il suo reticolo e che sia redatto con metodologia affine a quella degli studi di cui al presente P.S.I. e alla presente relazione.

2. VERIFICHE DEL SISTEMA IDROGRAFICO INTERFERENTE CON L'ABITATO DI ASCIANO

2.1. Premessa

Nel presente capitolo sono illustrate le verifiche idrologiche ed idrauliche eseguite sul reticolo idraulico afferente al Fiume Ombrone ed interferente con l'abitato di Asciano, di seguito denominato *Modello Asciano*.

Esse riguardano, come detto, il medesimo reticolo già esaminato con gli studi idraulici di cui al precedente **Par. 1.5**. In questo lavoro, però, se ne propone la completa revisione, sia dal punto di vista dell'analisi idrologica che della modellazione idraulica.

E' importante sottolineare alcuni aspetti che motivano questa esigenza di revisione degli studi rispetto a quelli precedenti, pur affrontati con elevato grado di approfondimento.

Per quanto riguarda l'idrologia si osserva che gli studi precedenti fondavano la stima degli idrogrammi di piena per i corsi d'acqua in esame sulla calibrazione dei parametri effettuata a seguito dell'evento alluvionale del 2013. Tale calibrazione aggiornava i parametri delle L.S.P.P. per la stazione di *Monastero d'Ombrone* (TOS10002612), assunta come riferimento per tutti i bacini di studio, Ombrone compreso.

In questo caso, non potendo contare neanche sull'aggiornamento delle L.S.P.P. della Regione Toscana (pubblicato nel 2014 ma con elaborazione delle precipitazioni fino all'anno 2012, quindi antecedente agli eventi alluvionali su Asciano), l'idrologia è fondata sulle recenti valutazioni effettuate dall'Ing. Lorenzo Castellani nell'ambito degli studi di supporto alla Variante al Piano Strutturale del Comune di Buonconvento (2020). In questi studi è stata compiuta una ri-omogeneizzazione a livello idrologico di tutti gli studi pregressi sui bacini di Fiume Ombrone e Torrente Arbia, con calibrazione dei parametri rispetto ai rilievi sperimentali degli eventi alluvionali del 2013 e del 2015.

Nella riunione di coordinamento svoltasi in data 17 Giugno 2020 alla presenza di rappresentanti del Comune di Asciano e di Rapolano Terme e suoi tecnici incaricati nonché di funzionari del Distretto Appennino Settentrionale e del Genio Civile Toscana Sud è stato stabilito che, per gli aspetti idrologici inerenti i nuovi studi per il P.S.I., le metodologie adottate dovessero essere coerenti con le analisi a scala di bacino effettuate dall'Ing. Lorenzo Castellani per il Comune di Buonconvento; ciò è stato fatto in modo assai fedele, salvo l'apporto di alcuni correttivi.

Con riferimento all'idraulica, le presenti verifiche implementano nuove *modellazioni idrauliche bidimensionali* sul reticolo di Asciano capoluogo, indispensabili per poter produrre carte di battenti, velocità e magnitudo idraulica così come richiesto dal D.P.G.R. 5R/2020.

A differenza degli studi precedenti, in questo caso è sviluppato un unico modello idraulico che abbraccia tutta l'area di studio e riproduce congiuntamente le dinamiche di piena dei corsi d'acqua in esame.

Ancor più che per l'idrologia, l'approccio adottato per la modellazione idraulica rappresenta la maggiore differenza rispetto agli studi precedenti. Di tutto ciò è dato conto nei successivi paragrafi.

2.2. Idrologia

2.2.1. I bacini idrografici

L'analisi idrologica del reticolo in esame parte dalla definizione dei bacini idrografici dei corsi d'acqua studiati. Essi sono definiti già in modo funzionale alla distribuzione dei relativi idrogrammi di piena nel modello idraulico di cui al **Par. 2.3**, ovvero considerato bacini chiusi in testa alle aste modellate ed interbacini intermedi il cui contributo è assunto come distribuito lungo le aste modellate.

I perimetri dei bacini idrografici sono stati acquisiti da quelli degli studi precedenti (Ing. Lombardi), salvo alcune correzioni locali.

Complessivamente sono individuati n. 9 bacini:

Bacino	Corso d'acqua di riferimento	Superficie (mq)
Bestina	Bestina	7.53
Bestinino	Bestinino	2.22
Rabatta	Rabatta	2.77
Copra	Copra	24.00
Casaccia	Casaccia	0.74
Ombrone	Ombrone	130.58
Int_bac1	Copra	0.12
Int_bac2	Bestina	0.71
Int_bac3	Bestina	1.16

Tab. 2 – Bacini idrografici Modello Asciano

La **Tav. B** presente negli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra tutti i bacini idrografici oggetto di studio.

2.2.2. Il regime di precipitazione

Come anticipato, il regime di precipitazione da cui sono stati ricavati i dati relativi agli eventi meteorici con tempo di ritorno trentennale e duecentennale necessari per l'analisi idrologica non è quello determinato dallo studio *Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme* (Regione Toscana, 2014), bensì è fondato sull'aggiornamento delle L.S.P.P. regionali effettuato, sui bacini del Fiume Ombrone e del Torrente Arbia, dall'Ing. Lorenzo Castellani nell'ambito della Variante al P.S. del Comune di Buonconvento nel 2020.

Lo studio dell'Ing. Castellani, in estrema sintesi (per maggiori dettagli ed approfondimenti si rimanda alla relativa Relazione Idrologico-Idraulica), propone un aggiornamento dei parametri *a* ed *n* delle L.S.P.P. regionali attraverso una nuova analisi statistica che prende in considerazione anche le precipitazioni degli anni più recenti relativamente alle stazioni di rilevamento pluviometrico ricadenti sui bacini di Ombrone ed Arbia, di fatto pervenendo a nuovi valori di detti parametri (di seguito indicati come a^+ e n^+).

L'analisi idrologica dello studio dell'Ing. Castellani fornisce non soltanto dati aggiornati dei parametri delle L.S.P.P. per le stazioni di interesse, ma offre anche un confronto critico delle varie modalità di interpolazione spaziale per pervenire ad una distribuzione di tipo *grid* delle altezze di precipitazione per i tempi di ritorno trentennale e duecentennale, in analogia a quanto proposto dallo studio *Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme* della Regione Toscana.

Pur con alcune semplificazioni, detta analisi porta a suggerire la modalità di interpolazione *ID2W* (*Inverse Distance Weighting*, con esponente 2) quale più affidabile approssimazione di una corretta distribuzione spaziale delle precipitazioni a partire dai dati puntuali dei pluviometri con parametri aggiornati a^+ e n^+.

Alla luce di ciò, in coerenza con quanto indicato dallo studio dell'Ing. Castellani, sono state ricreate, in ambiente *Gis*, le griglie dei parametri a^+ e n^+ per TR30 e TR200 anni sul territorio in esame, comprendente i bacini idrografici oggetto di studio; tali griglie sono state predisposte con una maglia di 10x10 metri.

Un esempio di tali griglie è mostrato nella **Tav. C** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica**; vi sono riportate anche le stazioni pluviometriche più prossime ai bacini in esame.

Una volta ottenuti i *raster* aggiornati dei parametri a^+ e n^+ è stato possibile procedere come da prassi, calcolando le altezze di precipitazione per i due tempi di ritorno considerati (30 e 200 anni) ed una serie di durate di precipitazione (1, 2, 3, 4, 5 e 6 ore) e calcolarne la media su ciascuno dei n. 9 bacini anzidetti.

Di seguito è mostrata una tabella di confronto tra i valori delle altezze medie di precipitazione valutate secondo l'approccio metodologico appena descritto e quelle risultanti dall'applicazione *tout court* delle L.S.P.P. regionali sui vari bacini di studio, per i tempi di ritorno e le durate di progetto.

Bacino	metodo	30_1	30_2	30_3	30_4	30_5	30_6	200_1	200_2	200_3	200_4	200_5	200_6
Bestina	LSPP+	54.41	65.15	72.40	78.02	82.68	86.69	75.00	93.51	106.39	116.59	125.17	132.65
	LSPP	54.48	63.95	70.23	75.05	79.03	82.43	75.78	92.95	104.74	114.00	121.74	128.46
Bestinino	LSPP+	55.33	66.30	73.70	79.44	84.21	88.31	76.40	95.28	108.42	118.83	127.59	135.22
	LSPP	54.83	64.32	70.62	75.47	79.45	82.86	76.26	93.50	105.33	114.62	122.39	129.13
Casaccia	LSPP+	55.78	66.89	74.39	80.21	85.04	89.21	77.14	96.29	109.63	120.19	129.09	136.84
	LSPP	55.19	64.81	71.19	76.10	80.14	83.59	76.77	94.20	106.17	115.58	123.45	130.28
Copra	LSPP+	54.35	64.76	71.74	77.15	81.62	85.47	74.89	92.84	105.27	115.08	123.32	130.49
	LSPP	53.29	62.61	68.80	73.56	77.48	80.84	73.98	90.80	102.35	111.43	119.03	125.62
Int_bac1	LSPP+	55.80	67.15	74.70	80.56	85.42	89.61	77.51	96.79	110.23	120.87	129.84	137.65
	LSPP	54.57	64.41	70.96	76.01	80.18	83.75	75.91	93.62	105.83	115.45	123.52	130.52
Int_bac2	LSPP+	55.52	66.50	73.90	79.64	84.40	88.50	76.74	95.65	108.81	119.23	128.00	135.64
	LSPP	54.44	64.19	70.68	75.68	79.80	83.33	75.73	93.30	105.41	114.95	122.93	129.87
Int_bac3	LSPP+	54.90	65.67	72.92	78.54	83.20	87.21	75.67	94.16	107.01	117.17	125.72	133.16
	LSPP	54.15	63.63	69.93	74.77	78.76	82.17	75.33	92.49	104.29	113.56	121.32	128.05
Ombrone	LSPP+	58.55	70.81	79.14	85.64	91.04	95.71	81.31	102.55	117.45	129.33	139.36	148.13
	LSPP	57.63	68.36	75.54	81.09	85.68	89.62	80.15	99.36	112.67	123.17	131.99	139.66
Rabatta	LSPP+	53.88	64.32	71.34	76.78	81.28	85.16	73.97	91.83	104.22	114.00	122.23	129.38
	LSPP	53.81	62.98	69.05	73.71	77.54	80.82	74.85	91.54	102.98	111.96	119.46	125.95

Tab. 3 – Altezze di precipitazione Modello Asciano

Dal confronto si osserva come per durate di precipitazione brevi (fino ad 1 ora circa) le altezze di pioggia derivanti dall'applicazione dei dati regionalizzati siano di poco superiori, mentre per durate crescenti le altezze di precipitazione da $LSPP^+$ aumentano anche in modo significativo.

Del resto, questa analisi idrologica è stata redatta per il bacino del Fiume Ombrone e del Torrente Arbia, le cui durate di pioggia sono molto più lunghe di quelle dei corsi d'acqua come Borro Bestina

o Borro La Copra.

Inoltre è da segnalare che la revisione dei parametri delle L.S.P.P. ha inciso fortemente soprattutto sui pluviometri di *Monteroni d'Arbia* (TOS11000082), *Madonna a Brolio* (TOS03002643) e *Sovicille* (TOS03002761), ubicati tutti esternamente ai bacini adesso in esame, Ombrone compreso, meno sugli altri.

In ogni caso, per le durate di precipitazione che massimizzano gli idrogrammi di piena per i corsi d'acqua modellati, ovvero pari a 2 e 3 ore (Ombrone escluso), tali altezze di precipitazione risultano superiori a quelle proposte dalle L.S.P.P. regionali, pertanto tale è approccio è da considerarsi cautelativo.

Alle precipitazioni di cui sopra non è stato applicato alcun ragguaglio areale ($k_r=1$) ad eccezione che per il Fiume Ombrone, secondo quanto indicato sempre nello studio dell'Ing. Castellani.

In questo caso è stata adottata la formulazione di Eagleson (1970) nella versione del modello *ALTO* (ALluvioni in Toscana, PIN 1996):

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

in cui t è la durata di precipitazione [h], A la superficie del bacino [kmq], mentre il parametro $\alpha=0.036 \cdot a$, il parametro $\beta=0.25$ ed il parametro $\gamma=0.01$.

Per il calcolo di a nella formula $\alpha=0.036 \cdot a$ nello studio dell'Ing. Castellani si suggerisce l'utilizzo della seguente relazione:

$$a = h_{3,Tr} / (0.4634+0.488 \cdot ln\ (Tr)) \quad \textbf{(2)}$$

con $h_{3,Tr}$ altezza di precipitazione per durata di pioggia di 3 ore e tempo di ritorno variabile.

Per quanto riguarda gli ietogrammi di progetto lo studio dell'Ing. Castellani proponeva l'utilizzo di ietogrammi rettangolari per tutti i bacini, e ietogrammi di tipo Chicago solo per le durate di pioggia di 1 ora.

Nel presente studio, invece, **sono stati adottati sempre ietogrammi triangolari** (assunzione maggiormente cautelativa), mentre, solo per il bacino del **Fiume Ombrone**, è stato confermato lo **ietogramma rettangolare**.

Si specifica che questa differenziazione non risulta particolarmente rilevante in quanto lo studio in oggetto non ha l'obiettivo di aggiornare la mappatura di pericolosità da alluvione per il Fiume Ombrone; ne è infatti studiato solo un breve tratto, peraltro al di fuori del perimetro del territorio urbanizzato, al solo fine di collegare le altre aste studiate e ricongiungerle verso un'unica foce.

2.2.3. La depurazione delle piogge

Per il passaggio da piogge lorde (paragrafo precedente) a piogge efficaci si è fatto sempre

riferimento a quanto indicato nello studio dell'Ing. Castellani per il Comune di Buonconvento, salvo apportare, anche in questo caso, alcune modeste variazioni funzionali alla scala di modellazione.

Nello studio dell'Ing. Castellani è compiuta, sulla base dei dati idrometrici registrati ed appositi modelli idraulici di taratura, una calibrazione di alcuni parametri idrologici.

I risultati di questa calibrazione sono stati applicati anche all'idrologia dei bacini dei corsi d'acqua del *Modello Asciano*.

Per la depurazione delle piogge è stato fatto ricorso al modello del *Curve Number* (*Soil Conservation Service*) adottando i valori di *CN* riferiti a condizioni di suolo saturo *CN (III*).

I valori di *CN* sono stati calcolati incrociando, per ciascuno bacino, la classificazione *USDA* dei suoli di cui al *Database Geopedologico* della Regione Toscana (2017, campo *gi*, con assunzione di suolo di tipo *D* in assenza di dato) con la classificazione di uso del suolo del *Database Uso e copertura del suolo* della Regione Toscana (2016, codici *Corine*, campo *UCS16*).

Una volta ottenuto il valore medio di *CN (II)* su ciascun bacino è stata applicata la seguente formulazione ed ottenuto il valore medio di *CN (III)*:

$$CN(III) = \frac{23\,CN(II)}{10+0.13CN(II)} \quad \textbf{(3)}$$

Per l'assegnazione dei valori di *CN* alle coppie *suolo USDA/uso del suolo Corine* è stato fatto riferimento alla tabella indicata nello studio *Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC* (Accordo di collaborazione scientifica tra la R.T. e Università di Firenze, 2014).

La seguente tabella riporta i valori di *CN (III)* assegnati, come appena illustrato, ai n. 9 bacini in esame; per confronto sono riportati anche i valori utilizzati nel precedente studio a supporto del R.U. di Asciano (Ing. Lombardi, 2014 e s.m.i.). Da questo confronto emergono differenze, in aumento, soprattutto sul bacino del Borro Bestina, sul Borro della Rabatta e sugli interbacini.

Bacino	***CN (III)***	***CN (III) da studio R.U.***
Bestina	90.99	*86.56*
Bestinino	92.02	*90.51*
Rabatta	89.63	*84.43*
Copra	90.62	*91.31*
Casaccia	88.63	*88.89*
Ombrone	86.53	*85.17*
Int_bac1	89.98	*84.75*
Int_bac2	92.17	*88.73*
Int_bac3	93.32	*89.85*

Tab. 4 – Valori medi del CN (III) per i bacini del Modello Asciano

Le **Tavv. D-E-F** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** riportano, rispettivamente, la classificazione *USDA* dei suoli, l'uso e copertura del suolo e la distribuzione dei valori di *CN (III)* sui bacini del *Modello Asciano*.

La depurazione delle piogge secondo il metodo *SCS* si fonda sulla seguente formulazione:

$$P_n = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \textbf{(4)}$$

in cui la pioggia netta (P_n, mm) è fatta dipendere da quella lorda (P, mm) e dai parametri S (ritenzione potenziale, mm) ed I_a (perdita iniziale, mm).

Per la ritenzione potenziale vale la seguente relazione:

$S = 25.4 \cdot[(1000/CN) -10]$ **(5)**

in cui interviene il valore di *CN* precedentemente calcolato.

Invece la perdita iniziale è valutata come:

$I_a = \beta \cdot S$ **(6)**

dove al coefficiente β, come da indicazioni dello studio dell'Ing. Castellani, è stato assegnato il valore di 0.3.

2.2.4. La trasformazione afflussi-deflussi

Per la stima degli idrogrammi di piena dei bacini del Modello Asciano è stato predisposto un apposito modello idrologico mediante il software HEC HMS 4.6.1, col quale è stata effettuata la depurazione di cui al precedente paragrafo e la trasformazione afflussi-deflussi.

Quale metodo di trasformazione, in analogia allo studio dell'Ing. Castellani, è stato adottato quello dell'idrogramma unitario di *Clark*, con coefficiente di invaso $R = 2/3\ T_c$.

Per il tempo di concentrazione, o corrivazione, non si è però fatto riferimento alla formulazione proposta nello studio dell'Ing. Castellani (per maggiori dettagli vedasi relativa relazione), bensì ad altra formulazione empirica.

Tale "deviazione" dall'approccio suggerito si è resa necessaria perché, altrimenti, si sarebbero ottenuti idrogrammi con tempi di picco molto più lunghi rispetto a quanto atteso, e rispetto a quanto a suo tempo stimato dall'Ing. Lombardi nello studio per il R.U. di Asciano, laddove come *transform method* era stato adottato quello l'idrogramma unitario *SCS* (che generalmente "accorcia" un po' le durate degli idrogrammi rispetto al metodo di *Clark*).

Il tempo di corrivazione è stato quindi calcolato mediante la seguente (proposta da *SCS*):

$T_c = 0.095\ (L_{max}^{0.8} \cdot((1000/CN)-9)^{0.7})/I_{\%}^{0.5}$ **(7)**

in cui con L_{max} (km) si intende la lunghezza del massimo percorso compiuto dall'acqua all'interno del bacino e con $I_{\%}$ la pendenza media; quest'ultima è stata valutata mediante il *DTM_idrologico* della Regione Toscana, in scala 1:10.000.

La seguente tabella riporta il tempo di corrivazione ed il corrispondente coefficiente di invaso di *Clark* per tutti i bacini in esame.

Bacino	t_c (h)	R
Bestina	1.63	1.09
Bestinino	1.96	1.31
Rabatta	1.61	1.07
Copra	1.98	1.32
Casaccia	0.58	0.39
Ombrone	5.55	3.70
Int_bac1	0.20	0.13
Int_bac2	0.35	0.23
Int_bac3	1.11	0.74

Tab. 5 – Tempi di corrivazione e coefficiente di invaso di Clark per i bacini del Modello Asciano

2.2.5. Gli idrogrammi di piena

In questo paragrafo sono mostrati gli idrogrammi di piena stimati per i tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni ed un set di durate di precipitazione (da 1 a 6 ore, con passo orario) secondo lo schema metodologico appena illustrato.

Dapprima è riportata una tabella con indicazione delle portate al colmo.

Bacino	30_1	30_2	30_3	30_4	30_5	30_6	200_1	200_2	200_3	200_4	200_5	200_6
Bestina	31.0	37.6	**39.1**	38.4	36.8	35.1	49.9	61.9	**65.0**	64.1	61.9	59.3
Bestinino	8.5	10.4	**11.0**	10.9	10.6	10.2	13.3	16.7	18.0	**18.1**	17.7	17.1
Casaccia	**6.5**	6.3	5.7	5.1	4.6	4.2	**10.8**	10.7	9.7	8.7	8.0	7.3
Copra	80.7	99.9	106.6	**107.0**	104.4	100.6	130.3	165.2	178.1	**180.0**	176.5	171.0
Int_bac1	**1.8**	1.4	1.1	1.0	0.8	0.7	**3.0**	2.3	1.9	1.6	1.4	1.3
Int_bac2	**10.4**	8.4	7.0	6.0	5.3	4.7	**16.0**	13.4	11.3	9.8	8.7	7.8
Int_bac3	8.0	**8.7**	8.3	7.7	7.1	6.6	12.3	**13.7**	13.2	12.4	11.5	10.8
Ombrone	89.3	140.2	174.5	198.5	214.5	**225.6**	168.3	263.2	326.9	370.6	400.6	**419.4**
Rabatta	10.4	12.8	**13.4**	13.1	12.6	12.1	17.1	21.4	**22.5**	22.3	21.5	20.7

Tab. 6 – Portate al colmo degli idrogrammi di piena del Modello Asciano

Nella precedente **Tab. 6** sono evidenziati, in grassetto, i valori di picco degli idrogrammi. Le durate di picco sono variabili a seconda delle dimensioni del bacino.

Esse risultano comunque superiori a quelle stimate nello studio dell'Ing. Lombardi per il Regolamento Urbanistico del Comune di Asciano, in cui, come detto, come metodo di trasformazione era stato utilizzato quello dell'idrogramma unitario *SCS*, mentre, in questo caso, quello di *Clark*.

In ragione di ciò, anche per ridurre il numero di simulazioni idrauliche da effettuare (tenuto conto che ciascuno di esse ha comportato tempi di attesa superiori ai 7 giorni) sono stati modellati soltanto gli scenari con durata di precipitazione pari a 2 e 3 ore.

Di seguito è offerta una carrellata degli idrogrammi di piena, bacino per bacino, ad esclusione dei 3 interbacini.

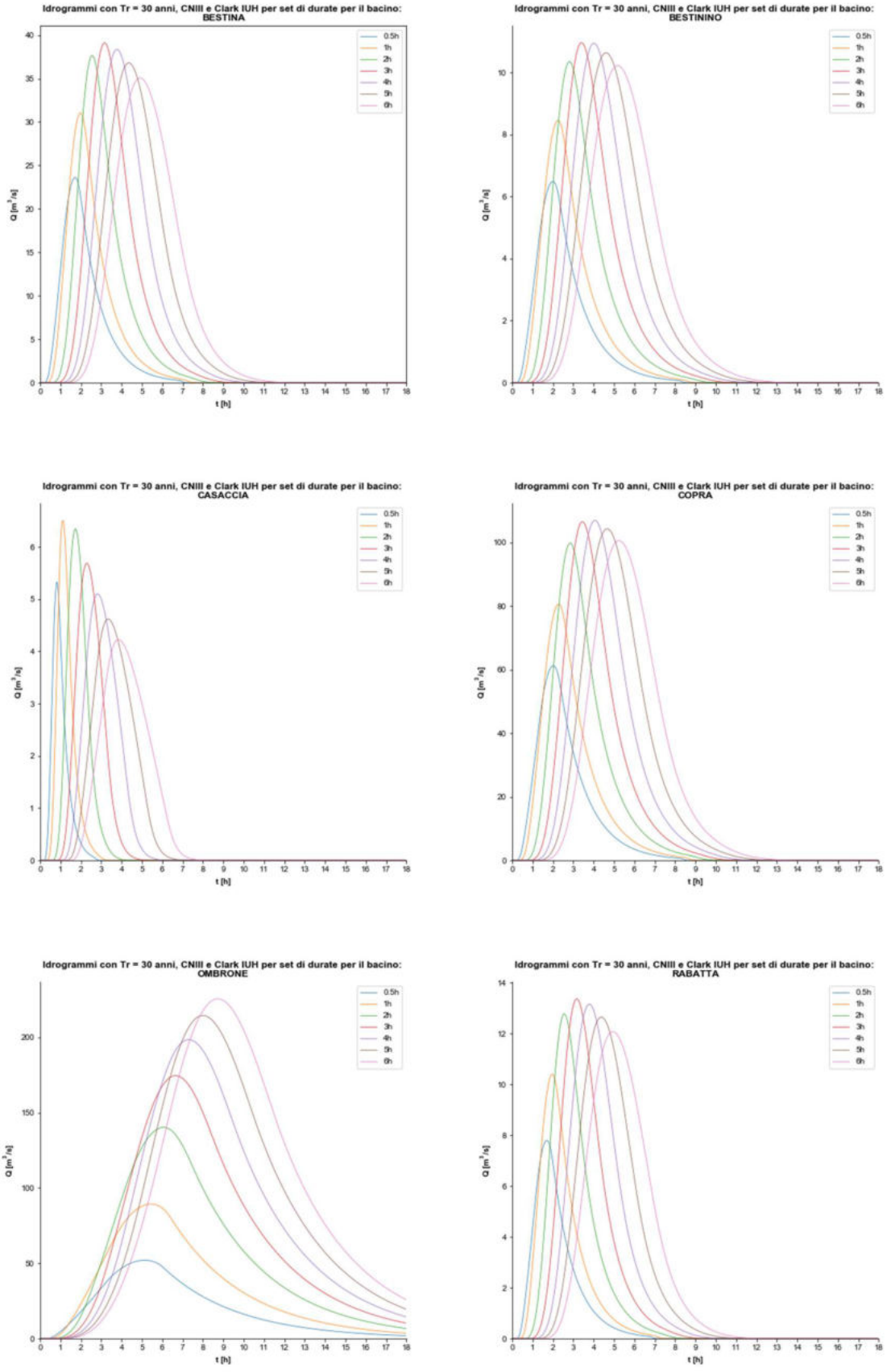


Fig. 1 – Idrogrammi di piena TR30 Modello Asciano

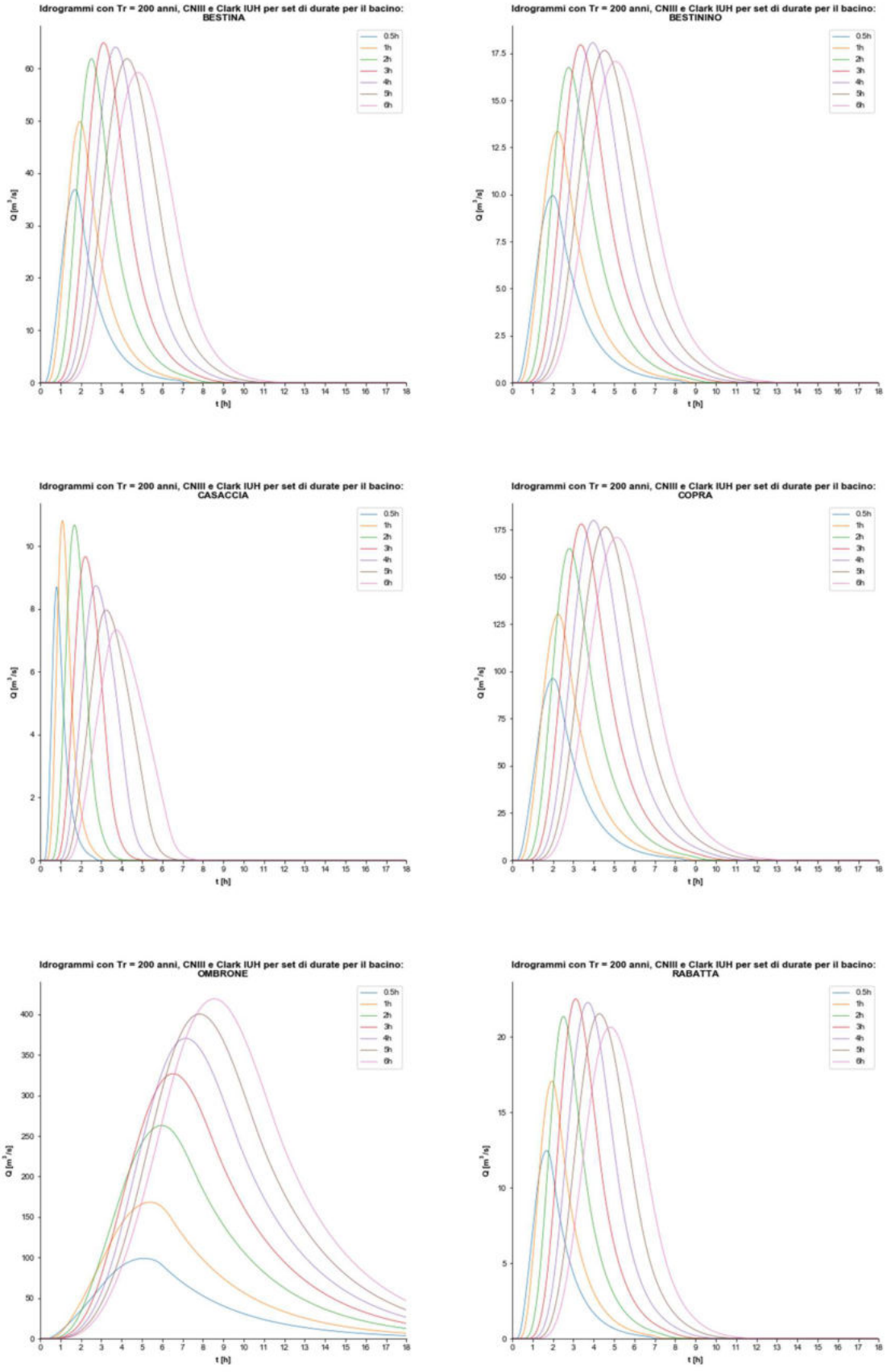


Fig. 2 – Idrogrammi di piena TR200 Modello Asciano

2.3. Idraulica

2.3.1. Cenni preliminari

La parte idraulica del presente lavoro, sia per quanto riguarda il *Modello Asciano* che per il modello del Borro Ripi a Rapolano Terme di cui al successivo capitolo, rappresenta senza dubbio quella che ha riservato le maggiori difficoltà. Si è rivelato, infatti, assai complicato riuscire a riprodurre con modelli idraulici bidimensionali le dinamiche di piena di sistemi idrografici così articolati in carenza di dati topografici di dettaglio.

Il territorio in esame, fatta eccezione per i fondivalle del Torrente Arbia e del Fiume Ombrone, risulta totalmente sprovvisto di copertura LIDAR, quindi, per quanto si possa tentare di utilizzare al meglio i dati a disposizione (rilievi topografici dei corsi d'acqua, piani quotati locali, punti quotati o curve di livello della cartografia ufficiale), non sarà mai possibile predisporre modelli bidimensionali con copertura omogenea delle aree di studio.

Nel presente lavoro è stato fatto uno sforzo massimale nell'assemblare al meglio i dati disponibili, a creare una base bidimensionale comunque affidabile, su cui fondare le modellazioni e restituire battenti, velocità e magnitudo idraulica sul territorio in esame.

La creazione del Modello Digitale del Terreno di riferimento per lo studio dei corsi d'acqua di Asciano rappresenta il fulcro dell'intero lavoro, come di seguito illustrato.

Ad accrescere la complessità modellistica degli studi per il P.S.I. intervengono le geometrie degli stessi corsi d'acqua. Infatti essi presentano morfologie assai variabili, alternando tratti incassati a tratti con modesta incisione, salti idraulici importanti (cascate anche di diversi metri), numerosi attraversamenti, collegamenti idraulici su rilevati stradali o ferroviari, che rendono piuttosto difficoltosa ed assai poco stabile anche la modellazione monodimensionale d'alveo in moto vario.

Non a caso, anche gli studi precedenti hanno limitato i tratti studiati in moto vario, privilegiando verifiche in moto permanente, assai più rapide e stabili, affidando la ricostruzione delle aree allagabili ad interpretazione, conoscenza del territorio, evidenze e testimonianze di eventi alluvionali occorsi.

Adesso però, con l'avvento della L.R. 41/2018, prima, e del D.P.G.R. 5R/2020 poi, studi idraulici solo monodimensionali, in moto permanente o in moto vario, non risultano più rispondenti alle esigenze normative, pertanto si rende necessario forzare la redazione di verifiche bidimensionali anche su territori che mal si prestano.

Per di più il territorio di Asciano ha recentemente subito importanti eventi alluvionali che restano vivi nella memoria. Se prima si poteva mappare la pericolosità idraulica non solo su base modellistica ma anche attraverso ricostruzione delle aree risultate effettivamente allagate in occasione di questi eventi, adesso ci si attende che sia la modellistica idraulica bidimensionale stessa a riprodurre fedelmente quanto accaduto.

Fatta questa doverosa premessa, con il *Modello Asciano* di seguito illustrato si è riusciti a raggiungere un buon grado di riproduzione delle dinamiche di esondazione reali, sottolineando che questo modello non è finalizzato alla calibrazione degli eventi di piena del 2013 o del 2015 ma riproduce soltanto eventi sintetici eccezionali per la mappatura aggiornata delle aree a pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti, ai sensi del D.P.G.R. 5R/2020.

2.3.2. L'approccio modellistico

Il modello idraulico dei corsi d'acqua afferenti al Fiume Ombrone ed interferenti con l'abitato di Asciano è stato predisposto mediante il software Mike di DHI (licenza MZ-28831), che garantisce una buona stabilità delle elaborazioni numeriche su sistemi anche particolarmente complessi e articolati e permette di riprodurre geometrie d'alveo particolari (ad esempio confluenze tra tratti tombati di dimensioni diverse, come nel caso in esame alla confluenza tra Borro Bestina e Borro Bestinino).

Come detto, il modello idraulico riproduce congiuntamente la geometria di tutte le aste di interesse, compresa quella di alcuni sottopassi stradali e ferroviari di fossi minori e/o carrabili.

Per non appesantire la trattazione è omessa la descrizione dei fondamenti teorici alla base della modellistica idraulica con il software Mike, ma se ne forniscono solo brevi cenni.

Il software Mike si compone dei moduli Mike Hydro (modellazione monodimensionale), Mike 21 (modellazione bidimensionale) e Mike Flood (accoppiamento di modellazione monodimensionale e bidimensionale).

Per quanto riguarda la componente monodimensionale, ciò che maggiormente lo differenzia da altri software di modellazione numerica è la possibilità di introdurre sezioni idrauliche di tipo chiuso (sezioni circolari, rettangolari o di forma irregolare) in alternanza con tradizionali sezioni a cielo aperto, consentendo così la rappresentazione di un'ampia gamma di geometrie, soprattutto su aree densamente urbanizzate.

Altra caratteristica peculiare è la possibilità di creare un numero considerevole di nodi idraulici (confluenze, derivazioni) senza che il modello perda di stabilità, potendo racchiudere quindi in un'unica modellazione sistemi anche altamente ramificati.

Per quanto riguarda la componente bidimensionale del software Mike 21 si specifica che i trasferimenti tra cella e cella avvengono risolvendo le equazioni di continuità secondo uno schema alle differenze finite (sono quantificati i livelli ed i volumi su ogni singola cella del dominio bidimensionale, e scambiati con le celle adiacenti in funzione delle quote dell'una e delle altre); altri software di modellazione idraulica (es. HEC RAS 5.0) risolvono invece le equazioni di continuità con uno schema ai volumi finiti, consentendo una buona riproduzione dei trasferimenti a campagna anche con celle del dominio bidimensionale di maggiori dimensioni, riducendo così i tempi computazionali.

Nel presente caso il modello è stato però redatto su una base 2D avente celle di dimensioni 1x1 mt, ovvero il massimo grado di risoluzione possibile; a parità di risoluzione della base bidimensionale i tempi di elaborazione numerica del software Mike risultano decisamente più lunghi.

Per quanto riguarda la modellazione accoppiata 1D-2D con il modulo Mike Flood sono consentite molteplici tipologie di connessione tra alveo e base bidimensionale, attraverso le quali, ad ogni passo della simulazione, è compiuto lo scambio di dati tra i moduli propriamente mono o bidimensionale e trasmessi gli eventuali volumi idrici; possono essere previste connessioni distribuite (*lateral link*) o connessioni di tipo frontale (*standard link*) in testa o in coda ad un'asta modellata. E' mediante quest'ultima modalità che sono stati inseriti nel modello i vari sottopassi stradali e ferroviari (ovvero attraverso un'asta fittizia costituita da due sezioni chiuse alle due estremità, collegando queste ultime con la base 2D mediante *standard link*).

Per ulteriori dettagli si rimanda alla consultazione della pagina *https://www.mikepoweredbydhi.com/* .

2.3.3. La geometria del modello

Come anticipato, un'adeguata predisposizione del modello idraulico rappresenta la componente centrale dell'intera modellazione, soprattutto per quanto concerne la base bidimensionale.

In questo paragrafo sono descritte le varie componenti geometriche del modello idraulico.

2.3.3.1 Il modello monodimensionale d'alveo

Il modello idraulico dei corsi d'acqua insistenti sull'area di Asciano si compone di **n. 188 sezioni** idrauliche d'alveo, oltre alcune sezioni interpolate.

Tali sezioni sono le medesime utilizzate negli studi precedenti, ricavate con appositi rilievi topografici redatti negli anni dal 2013 al 2016; ad esse sono state aggiunte solo n. 4 sezioni estratte da LIDAR sul Borro della Casaccia e sul Borro La Copra in prossimità della confluenza con il Fiume Ombrone, ed aggiornate alcune in corrispondenza dello scolmatore del Borro Bestinino e guado sul Borro Bestina recentemente realizzati.

La seguente tabella riporta le sezioni utilizzate per la rappresentazione dei vari corsi d'acqua studiati; sono riportate anche le aste fittizie con cui sono stati rappresentati alcuni sottopassi stradali e ferroviari (*coll1 – coll7*):

Corso d'acqua	***N° sezioni***
Bestina	102
Bestinino	15
Rabatta	5
Copra	21
Casaccia	9
Ombrone	12
Coll1	4
Coll2	4
Coll3	4
Coll4	4
Coll5	4
Coll6	2
Coll7	2

Tab. 7 – Sezioni idrauliche del Modello Asciano

La **Tav. G** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra tutte le aste modellate con le tracce delle sezioni identificate secondo la distanza progressiva da monte (0.00) alla sezione di chiusura.

2.3.3.2 La costruzione della base bidimensionale

In assenza di copertura LIDAR, salvo che per una porzione a cavallo dell'asta del Fiume Ombrone, si è reso necessario ricostruire una base bidimensionale adeguata ottimizzando e combinando i dati altimetrici a disposizione.

Per fare ciò non ci si è limitati alla creazione di un DTM interpolando punti e linee quotate, ma è stato predisposto anche un gran numero di *breakline* quotate (polilinee 3D) unendo punti noti ed effettuando un ridisegno degli elementi caratterizzanti il territorio (strade, rilevati, corsi d'acqua, isolati e lotti edificati etc).

I dati topografici di base su cui si è fondata la costruzione del DTM (a celle quadrate, maglia 1x1 mt) sono i seguenti, elencati in ordine di priorità (nel senso che, se sovrapposti o divergenti in termini di quota, sono stati fatti prevalere i primi):

- Rilievi eseguiti a supporto degli studi precedenti per il R.U. (rilievi di sezioni d'alveo e punti a campagna), Geom. Baldo anni 2013-2016
- Rilievi per progetti scolmatore Bestina e scolmatore Bestinino (quest'ultimo realizzato), Consorzio di Bonifica Toscana Sud
- Rilievo per progetto passerella sul Borro Bestina in Loc. Camparboli, Consorzio di Bonifica Toscana Sud
- Piano quotato presso stabilimento industriale Loc. Asciano Scalo, Geom. Crosti 2021
- Punti quotati C.T.R. in scala 1:2.000
- Punti quotati C.T.R. in scala 1:10.000
- Curve di livello C.T.R. in scala 1:2.000
- Curve di livello C.T.R. in scala 1:10.000.

Lavorando su questi dati, è stata implementata una serie innumerevole di *breakline* quotate e ricostruite le aste fluviali (linee di sponda e linee di fondo alveo) nei tratti di maggiore interesse (Bestina, Bestinino e Rabatta).

In aggiunta a ciò, si è osservato come la quasi totalità degli edifici più recenti, in genere residenziali, siano dotati di spazi di pertinenza, giardini o parcheggi, circondati da muretti di varie dimensioni (da 30 cm di altezza fino ad oltre 100 cm). Pur essendo presenti i cancelli di accesso, pedonali o carrabili, la presenza dei muretti sul perimetro condiziona la propagazione delle acque a campagna. Pertanto è stato compiuto lo sforzo di inserire sulla base 2D anche tutti i muretti interferenti con le aree potenzialmente allagabili, schematizzandoli come una striscia di celle di larghezza pari ad 1 mt, ed assegnando loro altezze variabili (+30 cm, +50 cm o +100 cm rispetto al piano campagna sottostante) a seconda delle effettive dimensioni, riscontrabili da sopralluoghi e anche attraverso navigazione su *Google Street View*.

Le seguenti fotografie, risalenti all'evento alluvionale del 2015, mostrano due casi contrapposti; nel primo caso la presenza di muretti perimetrali non previene l'allagamento, nel secondo caso invece il muretto risulta determinante. E' per questo motivo che si è reso necessario introdurli nel modello.

Fig. 3 – Esempi della funzione dei muretti perimetrali

Nella base bidimensionale, vista l'intensa antropizzazione delle aree soggette ad allagamento, sono stati inseriti anche gli edifici quali *volumi chiusi*, impermeabili all'acqua; in situazioni di questo tipo, cioè in assenza di dati LIDAR, tale assunzione è da considerarsi preferibile in quanto consente di rappresentare le dinamiche di propagazione intorno ai fabbricati, pur trascurando la quota parte di volumetria che si accumulerebbe al loro interno (anche se generalmente il piano di posa risulta rialzato almeno di qualche centimetro rispetto al piano campagna circostante).

Si segnala che soprattutto nella parte residenziale più recente di Asciano (ad Est dell'abitato storico) sono presenti moltissimi edifici dotati di piani interrati (autorimesse, taverne etc); nel modello tali vani sono stati necessariamente trascurati.

Il D.T.M. di Asciano è stato creato col software *QGis* attraverso il comando *TIN interpolation* assegnandovi, come detto, una maglia di 1x1 mt.

La **Tav. G** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra lo schema del modello idraulico con aste, sezioni e base bidimensionale finale.

La **Tav. H** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra invece tutti gli elementi quotati (punti e linee) attraverso i quali è stato ricostruito il D.T.M. di Asciano, poi integrato con i fogli LIDAR disponibili nel tratto terminale di Bestina e Copra, e sul Fiume Ombrone.

2.3.4. Ulteriori parametrizzazioni del modello e condizioni al contorno

Alle sezioni d'alveo dei corsi d'acqua studiati è stata assegnata una scabrezza variabile, in funzione delle effettive condizioni locali. In linea generale è stata confermata la scabrezza già adottata negli studi precedenti (Ing. Lombardi, Regolamento Urbanistico di Asciano), con valori di *n* di Manning variabili tra 0.035 s/m$^{1/3}$ (solo brevi tratti) e addirittura 0.08 s/m$^{1/3}$ (in corrispondenza dei salti idraulici).

Invece, per la scabrezza della base bidimensionale si è fatto riferimento ai dati proposti dalla seguente tabella (Pestana e al., 2014), che abbina un valore del coefficiente *n* di Manning ai codici *Corine* di uso e copertura del suolo.

Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230
112	Discontinuous urban fabric	0.115
121	Industrial or commercial units	0.230
122	Roads and rail networks and associated land	0.038
124	Airports	0.230
131	Mineral extraction sites	0.104
132	Dump sites	0.115
133	Construction sites	0.115
142	Sport and leisure facilities	0.023
211	Non-irrigated arable land	0.043
212	Permanently irrigated land	0.043
213	Rice fields	0.023
221	Vineyards	0.043
222	Fruit trees and berry plantations	0.043
223	Olive groves	0.043
231	Pastures	0.298
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043
242	Complex cultivation patterns	0.023
243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
244	Agro-forestry areas	0.058
311	Broad-leaved forest	0.230
312	Coniferous forest	0.127
313	Mixed forest	0.230
321	Natural grasslands	0.039
322	Moors and heathland	0.058
323	Sclerophyllous vegetation	0.058
324	Transitional woodland-shrub	0.058
331	Beaches, dunes, sands	0.138
332	Bare rocks	0.104
333	Sparsely vegetated areas	0.104
334	Burnt areas	0.104
411	Inland marshes	0.115
511	Water courses	0.035
512	Water bodies	0.035

Tab. 8 – Coefficienti di scabrezza della base bidimensionale del Modello Asciano

Il software Mike richiede che il coefficiente di scabrezza per la base 2D sia espresso nella versione di Gauckler-Strickler (*k=1/n*).

La **Tav. I** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra la distribuzione del coefficiente di scabrezza *k* di Gauckler-Strickler sulla base bidimensionale del *Modello Asciano*.

Tra le altre parametrizzazioni del modello di segnala l'adozione di un passo temporale assai breve, ovvero pari a 0.05 secondi, indispensabile per garantire stabilità alla modellazione ma allo stesso

tempo causa dei lunghissimi tempi di calcolo (oltre 7 giorni per simulare un evento di durata complessiva pari a 6 ore).

Il software Mike 21 (componente bidimensionale) richiede anche l'assegnazione di due fattori che incidono sulle modalità di propagazione tra celle sulla base 2D, ovvero il *drying depth* e il *flooding depth*; essi indicano rispettivamente le altezze d'acqua di "attivazione" di ogni cella (la cella è considerata "bagnata" ma l'acqua è "ferma") e di inizio trasferimento (la cella inizia a trasferire volume alle celle adiacenti, se più basse e "asciutte").

A questi fattori sono stati assegnati rispettivamente i valori di 0.5 cm e 1 cm.

Da punto di vista delle condizioni al contorno del modello si rileva la presenza di un'unica foce, che corrisponde alla sezione terminale dell'asta modellata del Fiume Ombrone, verso cui convergono tutte le altre aste.

Analogamente a quanto fatto negli studi precedenti, alla sezione di chiusura dell'Ombrone è stata assegnata una condizione di deflusso libero (coincidente con la condizione (*normal depth* di HEC RAS).

2.3.5. Restituzione dei risultati della modellazione

Il software Mike restituisce i risultati delle modellazioni in molteplici forme, anche se da questo punto di vista risulta assai meno maneggevole, o *user friendly*, rispetto ad HEC RAS. In questo caso, per la componente 2D sono stati impostati, in *output*, soltanto battenti e velocità di allagamento, con passo di avanzamento temporale di 5 minuti.

Sono stati poi estratti i massimi dei battenti e delle velocità e ricavati i rispettivi *raster*, per tutti gli scenari modellati (TR30 e TR200 per eventi di durata pari a 2 e 3 ore).

In ambiente *Gis* sono stati poi inviluppati i massimi di battenti e velocità, ancora come file "grezzi".

Successivamente si è passati al tracciamento delle aree allagate (o pericolosità) per TR30 e TR200; tale tracciamento è stato eseguito manualmente percorrendo i limiti esterni delle aree bagnate ma tenendo anche conto di tutti gli elementi cartografici presenti (strade, edifici, muretti, altri elementi antropici). Questa operazione è stata compiuta alla scala di massimo dettaglio, ovvero sulla C.T.R. 1:2.000; così facendo, nelle perimetrazioni non sono presenti casi di edifici tagliati per metà ed altre incongruenze con la base cartografica (salvo sviste).

La restituzione di pericolosità da alluvione con questa modalità può determinare invece lievi incongruenze rispetto alla C.T.R. 1:10.000, che rappresenta la base di riferimento delle cartografie del Piano Strutturale. Ciò non può rappresentare un problema in quanto gli studi sono stati condotti, e i relativi risultati restituiti, ad una scala di maggior dettaglio. Il vantaggio di questo approccio si rivelerà nell'ambito della redazione dei futuri Piani Operativi, laddove cartografie e fattibilità saranno definite alla scala 1:2.000.

La **Tav. J** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra un estratto della carta della pericolosità da alluvione per l'area di Asciano limitatamente a quelle frutto di modellazione (nelle

tavole ufficiali di Piano l'area di Asciano ricade purtroppo su due fogli distinti quindi le perimetrazioni aggiornate non possono essere apprezzate nel loro insieme).

Una volta completato il tracciamento delle aree a pericolosità si è operato un *clip* sui *raster* "grezzi" in uscita dal software di modellazione, eliminando così celle isolate o aree di margine non perimetrate, ed ottenendo quindi i *raster* finali di battenti e velocità della corrente, attraverso i quali, successivamente, è stata poi ricostruita la magnitudo idraulica secondo i criteri di cui alla L.R. 41/2018.

La **Tav. K** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra, a titolo di esempio, un estratto della carta dei battenti per l'area di Asciano, in analogia alla **Tav. J**.

Nella restituzione delle carte di pericolosità da alluvione del P.S.I. per l'area di Asciano sono state confermate le perimetrazioni precedenti soltanto in corrispondenza del tratto di valle della Via Lauretana verso il centro storico ed altre strade, nonché lungo la ferrovia; queste arterie sono risultate allagate durante gli eventi alluvionali del 2013 e del 2015 ma col nuovo modello idraulico non si è riusciti a riprodurre questo fenomeno. Trattandosi di aree allagate per transito, si è comunque ritenuto appropriato includerle nelle nuove perimetrazioni, pur sprovviste di battenti e velocità.

Nella restituzione delle carte di pericolosità da alluvione del P.S.I. per l'area di Asciano, inoltre, sono state confermate le perimetrazioni del P.G.R.A. lungo il Fiume Ombrone e nel tratto terminale del Borro della Casaccia e del Borro La Copra, ove gli scenari indagati (2 e 3 ore di durata di pioggia) non tengono conto delle condizioni critiche del Fiume Ombrone (durate più lunghe), sicuramente predominanti in termini estensione degli allagamenti e di battenti.

Di seguito sono mostrati i tabulati delle modellazioni effettuate (sezioni con livelli idrometrici per ciascuno scenario modellato). Il software Mike non consente la sovrapposizione grafica ed automatica di più livelli idrometrici (riferiti a modellazioni distinte) su una stessa sezione, pertanto i livelli della tabella successiva devono essere letti in sovrapposizione con la geometria delle sezioni riportate in calce agli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica**; l'ubicazione delle sezioni è desumibile dalla **Tav. G**.

Water level	200_2	200_3	30_2	30_3
ombrone 0	172.398	173.006	170.509	171.085
ombrone 109.8	172.194	172.787	170.327	170.891
ombrone 249.17	171.909	172.463	170.084	170.624
ombrone 253.954	171.909	172.465	170.076	170.617
ombrone 253.954	171.909	172.465	170.076	170.617
ombrone 276.96	171.909	172.478	170.038	170.593
ombrone 350.02	171.768	172.33	169.87	170.432
ombrone 362.95	171.698	172.22	169.851	170.403
ombrone 363.45	171.688	172.202	169.856	170.404
ombrone 509.06	171.546	172.044	169.709	170.253
ombrone 668.37	171.18	171.615	169.408	169.916
ombrone 765.6	170.991	171.365	169.243	169.729

ombrone 767.516	170.987	171.36	169.24	169.726
ombrone 767.516	170.987	171.36	169.24	169.726
ombrone 851.67	170.208	170.567	168.584	169.034
ombrone 1014.34	168.665	168.969	167.267	167.651
ombrone 1016.2	168.617	168.921	167.216	167.6
copra 0	176.748	176.868	176.012	176.112
copra 140.42	176.427	176.538	175.707	175.81
copra 250.91	176.321	176.43	175.585	175.694
copra 337.69	176.256	176.364	175.505	175.62
copra 430.84	176.037	176.139	175.279	175.405
copra 483.86	175.84	175.937	175.075	175.209
copra 535.43	175.407	175.497	174.643	174.787
copra 544.1	174.915	174.974	174.354	174.447
copra 544.6	174.943	175.003	174.379	174.473
copra 583.43	174.692	174.726	174.057	174.155
copra 621.7	174.578	174.606	173.843	173.958
copra 650	174.473	174.505	173.725	173.847
copra 673.395	174.38	174.413	173.642	173.766
copra 673.395	174.38	174.413	173.642	173.766
copra 680	174.25	174.281	173.574	173.698
copra 739.75	173.931	173.973	173.121	173.276
copra 789.47	173.455	173.508	172.688	172.831
copra 798.77	173.328	173.401	172.192	172.415
copra 799.27	173.302	173.376	172.167	172.39
copra 829.53	172.762	172.844	171.643	171.866
copra 911.64	171.968	172.152	170.419	170.776
copra 1030.99	171.267	171.551	169.665	170.063
copra 1112.96	171.026	171.391	169.291	169.766
copra 1130.41	170.987	171.36	169.24	169.726
casaccia 0	179.255	179.209	179.021	178.975
casaccia 69	177.549	177.47	177.228	177.162
casaccia 111.11	177.208	177.002	176.35	176.227
casaccia 116.51	175.909	175.871	175.707	175.668
casaccia 117.01	175.875	175.839	175.679	175.64
casaccia 150.4	174.713	174.688	174.583	174.557
casaccia 218.32	173.854	173.831	173.722	173.699
casaccia 324.01	173.056	173.056	172.944	172.933
casaccia 411.9	171.909	172.465	170.076	170.618
casaccia 437.25	171.909	172.465	170.076	170.617
rabatta 0	260.683	260.697	260.556	260.566
rabatta 205	258.4	258.411	258.31	258.317
rabatta 320.85	256.41	256.41	256.41	256.41
rabatta 597.08	254.08	254.096	253.927	253.939
rabatta 771.88	253.345	253.361	253.185	253.198
rabatta 867.89	252.888	252.9	252.76	252.775
bestina 0	260.644	260.663	260.457	260.471
bestina 270.66	258.314	258.329	258.147	258.162
bestina 344.61	257.432	257.453	257.172	257.196
bestina 418.56	256.782	256.821	256.318	256.354
bestina 492.51	255.998	256.033	255.558	255.594
bestina 500.82	255.954	255.986	255.535	255.57
bestina 501.48	255.947	255.98	255.529	255.564

bestina 588.38	254.792	254.803	254.653	254.666
bestina 794.43	253.695	253.707	253.53	253.548
bestina 884.811	252.888	252.9	252.76	252.775
bestina 884.811	252.888	252.9	252.76	252.775
bestina 912.77	252.544	252.552	252.463	252.473
bestina 1065.7	251.6	251.617	251.475	251.487
bestina 1145.04	251.169	251.193	250.975	250.996
bestina 1248.16	250.267	250.293	250.053	250.076
bestina 1369.5	249.054	249.086	248.81	248.835
bestina 1438.69	248.45	248.51	248.019	248.06
bestina 1500.1	248.201	248.272	247.641	247.703
bestina 1505.74	248.177	248.248	247.61	247.673
bestina 1506.36	248.206	248.277	247.64	247.703
bestina 1572.35	247.84	247.906	247.329	247.386
bestina 1652.68	247.066	247.141	246.511	246.571
bestina 1711.72	246.848	246.927	246.251	246.321
bestina 1791.48	246.144	246.224	245.67	245.72
bestina 1799.65	245.973	246.019	245.609	245.652
bestina 1800.25	245.943	245.989	245.583	245.625
bestina 1880.81	244.979	245.005	244.798	244.817
bestina 1944.7	244.275	244.302	244.087	244.108
bestina 2036.58	242.902	242.922	242.775	242.788
bestina 2125	241.94	241.977	241.681	241.704
bestina 2185.32	241.309	241.351	240.913	240.983
bestina 2228.24	240.834	240.868	240.42	240.519
bestina 2228.75	240.828	240.861	240.418	240.518
bestina 2323.14	240.11	240.112	239.642	239.818
bestina 2326.14	240.071	240.068	239.61	239.791
bestina 2326.14	240.071	240.068	239.61	239.791
bestina 2329.14	240.01	240.004	239.56	239.74
bestina 2369.34	239.247	239.239	238.842	239.007
bestina 2371.91	239.178	239.168	238.759	238.926
bestina 2384.65	239.009	238.995	238.527	238.71
bestina 2420.23	238.62	238.603	238.092	238.285
bestina 2439.91	238.465	238.448	237.949	238.142
bestina 2459.23	238.305	238.29	237.841	238.019
bestina 2483.04	237.183	237.154	236.878	236.981
bestina 2490.36	236.838	236.82	236.554	236.65
bestina 2499.9	235.657	235.617	235.129	235.28
bestina 2529.5	235.451	235.375	234.84	235.02
bestina 2604.41	233.179	233.173	232.62	232.818
bestina 2679.73	232.123	232.094	231.636	231.806
bestina 2741.17	231.487	231.459	231.008	231.176
bestina 2775.43	230.484	230.46	230.09	230.229
bestina 2848.01	226.574	226.536	225.979	226.205
bestina 2885.76	225.801	225.758	225.177	225.396
bestina 2978.26	223.362	223.31	222.851	223.029
bestina 3049.18	222.278	222.174	221.309	221.614
bestina 3051.18	221.274	221.203	220.691	220.883
bestina 3090.73	219.281	219.225	218.753	218.935
bestina 3252.83	211.43	211.372	210.87	211.09
bestina 3312.58	210.588	210.536	210.08	210.283

bestina 3314.58	210.022	209.973	209.564	209.757
bestina 3326	209.721	209.661	209.144	209.399
bestina 3330	209.682	209.605	208.995	209.28
bestina 3360	209.184	209.109	208.567	208.819
bestina 3430.54	208.222	208.146	207.604	207.863
bestina 3438.81	208.095	208.021	207.542	207.77
bestina 3439.36	208.16	208.078	207.576	207.811
bestina 3468.17	207.598	207.507	206.97	207.211
bestina 3499.76	206.611	206.513	206.137	206.296
bestina 3539.78	205.651	205.324	203.971	204.648
bestina 3575.14	205.509	205.186	203.833	204.524
bestina 3580.7	205.291	204.951	203.693	204.309
bestina 3581.23	205.272	204.931	203.673	204.288
bestina 3627.32	205.021	204.683	203.433	204.071
bestina 3631.32	204.514	204.325	203.344	203.903
bestina 3631.5	204.6	204.401	203.398	203.963
bestina 3700.21	204.068	203.91	202.816	203.495
bestina 3709.92	201.221	201.175	200.915	201.078
bestina 3710.42	200.983	200.938	200.689	200.845
bestina 3716	199.576	199.53	199.284	199.437
bestina 3719	198.86	198.807	198.545	198.705
bestina 3722	198.201	198.13	197.819	198.006
bestina 3725	197.679	197.578	197.157	197.409
bestina 3728	197.37	197.242	196.678	197.024
bestina 3733.59	197.186	197.015	196.272	196.718
bestina 3737.36	196.476	196.335	195.862	196.135
bestina 3737.87	196.45	196.311	195.846	196.114
bestina 3786.89	194.939	194.887	194.722	194.817
bestina 3795	189.366	189.275	189.035	189.168
bestina 3797	187.322	187.25	186.953	187.103
bestina 3799	185.785	185.692	185.369	185.554
bestina 3845	180.004	179.914	179.633	179.791
bestina 3890.14	177.037	176.758	176.003	176.371
bestina 3950.46	176.42	176.182	175.531	175.854
bestina 3992.06	176.013	175.805	175.213	175.504
bestina 4054.01	175.812	175.609	174.992	175.296
bestina 4104.08	175.464	175.304	174.718	174.991
bestina 4156.26	175.332	175.188	174.579	174.852
bestina 4209.48	175.184	175.066	174.453	174.709
bestina 4251.48	175.026	174.942	174.313	174.547
bestina 4289.89	174.91	174.853	174.156	174.383
bestina 4359.75	174.867	174.82	174.086	174.319
bestina 4418.5	174.786	174.766	173.972	174.174
bestina 4425.07	174.702	174.712	173.921	174.078
bestina 4425.57	174.704	174.714	173.928	174.086
bestina 4447.58	174.599	174.631	173.775	173.913
bestina 4517.74	174.437	174.47	173.671	173.801
bestina 4533.13	174.38	174.413	173.642	173.766
bestinino 0	246.75	246.772	246.545	246.611
bestinino 165.47	246.704	246.72	246.502	246.579
bestinino 257	246.691	246.706	246.485	246.564
bestinino 257.5	246.69	246.706	246.485	246.564

bestinino 363.96	244.886	244.888	244.5	244.715
bestinino 364.46	244.812	244.813	244.419	244.64
bestinino 434.57	244.428	244.421	243.903	244.23
bestinino 512.97	244.055	244.041	243.388	243.813
bestinino 517.23	243.671	243.648	243.001	243.421
bestinino 517.73	243.679	243.658	242.989	243.437
bestinino 623.19	242.661	242.618	241.881	242.317
bestinino 718.12	241.818	241.774	241.056	241.502
bestinino 819.53	241.092	241.064	240.355	240.728
bestinino 918.96	240.136	240.137	239.676	239.856
bestinino 920	240.1	240.088	239.634	239.845
bestinino 923.73	240.071	240.068	239.61	239.791
coll1 0	254.957	254.982	254.763	254.776
coll1 0.5	254.957	254.982	254.763	254.776
coll1 8.21	254.955	254.979	254.763	254.775
coll1 8.70922	254.955	254.979	254.763	254.775
coll2 0	254.569	254.587	254.466	254.471
coll2 0.53	254.573	254.591	254.472	254.477
coll2 7.67	254.858	254.883	254.671	254.683
coll2 8.17184	254.914	254.94	254.718	254.732
coll3 0	252.227	252.259	251.951	251.987
coll3 0.41	252.226	252.258	251.951	251.987
coll3 18.59	252.022	252.04	251.824	251.849
coll3 19	252.024	252.043	251.826	251.851
coll4 0	251.192	251.209	251.052	251.072
coll4 0.5	251.192	251.209	251.052	251.072
coll4 38.78	251.182	251.202	251.017	251.037
coll4 39.3088	251.182	251.202	251.015	251.035
coll5 0	246.529	246.587	246.24	246.24
coll5 0.5	246.55	246.606	246.267	246.293
coll5 52.35	246.851	246.929	246.296	246.338
coll5 52.8532	246.854	246.932	246.3	246.342
coll6 0	241.58	241.58	241.58	241.58
coll6 8.85296	241.58	241.58	241.58	241.58
coll7 0	241.58	241.58	241.58	241.58
coll7 9.72403	241.58	241.58	241.58	241.58

Tab. 9 – Livelli idrometrici su sezioni del Modello Asciano

2.3.6. Considerazioni finali

I risultati del *Modello Asciano* propongono una mappatura di pericolosità assai affine a quella definita con gli studi precedenti, in cui ai limiti modellistici (studi non bidimensionali) si era ovviato con un'accurata ricostruzione planimetrica delle aree allagate in occasione degli eventi del 2013 e del 2015 (riconducibili, in linea generale, ad eventi con tempo di ritorno duecentennale).

Ovviamente si osservano alcune differenze, dovute proprio al fatto che, in questo caso, non è stato tenuto conto delle aree effettivamente allagate nel 2013 o nel 2015 ma sono stati acquisiti direttamente gli *output* della modellazione. Per pervenire allo scenario finale di pericolosità sono state effettuate numerose simulazioni intermedie e di prova (al fine di perfezionare progressivamente la base 2D) che, tenuto conto dei tempi computazionali anzidetti, offrono la

misura della complessità del lavoro svolto.

Le principali differenze con le mappature precedenti sono sostanzialmente due:

- Maggiori allagamenti in direzione Nord-Sud in corrispondenza dell'intersezione tra la Via Lauretana Antica e via Martiri della Libertà per effetto di maggiori esondazioni del Borro Bestina in sinistra idraulica a monte del tratto tombato. Ciò determina un forte interessamento delle aree posto lungo l'asse di Via Achille Grandi e sue traverse, fino alla ferrovia, attraverso i cui due sottopassi le acque tendono in parte a riversarsi nella campagna sottostante (aree non mappate). In occasione dell'evento del 2013 il flusso prevalente delle acque esondate dal Borro Bestina e/o provenienti da Via Martiri della Libertà era invece quello lungo la Via Lauretana. E' opportuno però sottolineare che, in questo caso, il Borro Bestina (bacino di monte) presenta un picco di portata duecentennale, per durata di pioggia di 3 ore, pari a 65 mc/s contro i circa 33 mc/s degli studi precedenti, mentre il Borro Bestinino passa da 13 mc/s a circa 18 mc/s, ed il Borro della Rabatta da 11 mc/s a 22 mc/s. Sono proprio questi considerevoli aumenti di portata del Borro Bestina e del Borro della Rabatta (frutto anche di un valore di *CN* molto maggiore, vedasi **Tab. 4**) a determinare queste maggiori fuoriuscite ed anche questa differenza della dinamica di esondazione. Per le maggiori portate in transito, probabilmente, ci aspetteremmo, in prossimità del nodo Via Lauretana-Via Martiri della Libertà-Via Grandi, battenti addirittura superiori a quelle risultanti da modellazione; è però opportuno ricordare che, rispetto al passato, è oggi presente lo scolmatore (o bypass) del Bestinino che consente a parte delle acque in arrivo verso la confluenza tombata col Bestina di riversarsi direttamente in quest'ultimo a valle del tombamento, alleggerendo leggermente il carico esondativo sul nodo anzidetto.
- Assenza di allagamenti lungo la Via Lauretana Antica a valle dell'intersezione con Via Grandi (zona "Tranquilla"); in questo punto le acque in transito lungo la Lauretana trovano sfogo sul lato stradale destro (assenza di muretto, presenza di discesa di accesso ad edificio residenziale) e tendono a rientrare in alveo, mentre in occasione dell'evento del 2013 la Via Lauretana ha continuato a trasferire acqua verso il centro storico. La motivazione di questa differenza è di tipo prevalentemente modellistico. Infatti nel modello bidimensionale la componente velocità lungo l'asse stradale tende ad attenuarsi trovando celle a quota più bassa sul lato fiume, verso il quale la componente velocità invece prevale. Inoltre i battenti su strada risultano probabilmente inferiori a quelli registrati perché a monte le acque hanno trovato altre vie di sfogo, come indicato al punto precedente.

Indipendentemente da queste differenze, anche per le parametrizzazioni adottate, i risultati di questo studio sono da ritenersi ampiamente cautelativi.

Essi confermano la vulnerabilità del territorio e l'esigenza di prevedere interventi di mitigazione del rischio, in particolare sul Borro della Bestina e sul Borro Bestinino.

3. VERIFICHE DEL SISTEMA IDROGRAFICO INTERFERENTE CON L'ABITATO DI RAPOLANO

3.1. Premessa

Nel presente capitolo sono illustrate le verifiche idrologiche ed idrauliche eseguite sul reticolo afferente al Borro Ripi ed interferente con la parte Nord dell'abitato di Rapolano Terme, di seguito denominato *Modello Rapolano*.

Esse riguardano, come detto, il medesimo reticolo già esaminato con gli studi idraulici di cui al precedente **Par. 1.5**. In questo lavoro, però, se ne propone la completa revisione, sia dal punto di vista dell'analisi idrologica che della modellazione idraulica.

La trattazione che segue ripercorre lo schema adottato nel **Cap. 2** per il *Modello Asciano*, pertanto per alcuni aspetti metodologici si rimanda a quanto precedentemente riportato.

Sono però presenti aspetti peculiari che differenziano il *Modello Rapolano* dal precedente, sia per quanto riguarda la parte idrologica che per quella idraulica. Di seguito ne è fatto cenno, nei paragrafi successivi sono poi affrontati con maggior dettaglio.

Come anticipato, lo studio del reticolo interferente con l'abitato di Rapolano Terme (zona termale, parte Nord) riguarda principalmente il Borro Ripi, corso d'acqua che nasce a Nord-Est di Rapolano e che, una volta attraversato il raccordo autostradale Siena-Bettolle, entra nell'area urbana costeggiando il centro termale "Antica Querciolaia" e il "Parco dell'Acqua", per poi attraversare nuovamente il raccordo, passare dall'agglomerato zona Via Masaccio e successivamente tornare sul lato opposto del raccordo ed abbandonare l'area urbana in direzione Nord-Ovest, verso il Fiume Ombrone.

Il Borro Ripi presenta numerosi punti di interferenza con l'area urbana, in particolare molti attraversamenti. Esso riceve inoltre l'apporto di alcuni corsi d'acqua minori, tutti provenienti dai versanti collinari in destra idraulica, ovvero il Fosso Pallottolo, il Borro Colle Vecchio e il Borro Madonna a Colle. Tutti questi corsi d'acqua sono stati modellati, congiuntamente al Borro Ripi, come già fatto in precedenza negli studi di supporto al Piano Strutturale comunale del 2009.

Se per i corsi d'acqua di Asciano si è reso necessario tener conto degli eventi alluvionali degli ultimi anni, per il Borro Ripi ciò risulta parimenti necessario, ma in senso diametralmente opposto. Infatti, come anticipato, in occasione degli eventi meteorici del 2013 o del 2015 non si è registrato, su Rapolano, alcun problema significativo lungo il Borro Ripi, ma soltanto criticità minori in corrispondenza di attraversamenti sottodimensionati di alcuni dei suddetti affluenti.

Ovviamente gli studi precedenti (antecedenti l'evento del 21 Ottobre 2013) non hanno potuto indagare questa singolarità, e sono stati quindi condotti implementando analisi idrologiche ed idrauliche "tradizionali" sul Borro Ripi e suoi affluenti; il risultato di queste analisi ha portato a perimetrazioni di aree a pericolosità idraulica piuttosto estese, pur in assenza di evidenze rispetto ad eventi meteorici che hanno invece causato danni ingenti a distanza di pochi chilometri.

In una prima fase del lavoro la modellazione (idrologica ed idraulica) del Borro Ripi è stata compiuta in modo del tutto analogo a quanto fatto per il *Modello Asciano*. Adottando l'approccio idrologico

di cui al precedente capitolo e predisponendo un modello idraulico concettualmente similare a quello di Asciano, non solo venivano confermate le perimetrazioni degli studi precedenti, ma addirittura le aree potenzialmente allagabili risultavano assai più estese ed i battenti assolutamente importanti.

Queste condizioni di pericolosità e rischio idraulico, addirittura accresciute rispetto a quanto ipotizzato negli studi pregressi, e totalmente discordanti con le testimonianze ricevute e le conoscenze trasmesse, hanno indotto, anche su indicazione del Genio Civile Toscana Sud, ad avviare un approfondimento del modello idrologico del bacino di monte del Borro Ripi finalizzato ad un tentativo di calibrazione degli idrogrammi di piena, pur sulla base di elementi quali-quantitativi.

Questo passaggio è risultato fondamentale ed ha consentito di sviluppare poi una modellazione idraulica comunque più affidabile e realistica, definendo quindi nuove perimetrazioni di pericolosità da alluvione più pertinenti.

Anche dal punto di vista della modellazione idraulica lo studio del Borro Ripi e affluenti si differenzia un po' da quello di Asciano; in questo caso, per ragioni di stabilità modellistica, si è reso necessario "spezzare" il modello in due sub-modelli, sfruttando un appropriato punto di disconnessione idraulica. Del resto, come accennato nel capitolo precedente per il reticolo di Asciano, anche il Borro Ripi presenta una morfologia assai complessa (sezioni di dimensioni molto variabili, presenza di numerosi attraversamenti e salti idraulici importanti, elevata pendenza nel tratto terminale etc) che rende difficoltosa anche soltanto la modellazione monodimensionale in moto vario.

Di tutti questi aspetti è dato conto nel prosieguo del presente capitolo.

3.2. Idrologia

3.2.1. I bacini idrografici

L'analisi idrologica del reticolo in esame parte dalla definizione dei bacini idrografici dei corsi d'acqua studiati. Essi sono definiti già in modo funzionale alla distribuzione dei relativi idrogrammi di piena nei modelli idraulici di cui ai paragrafi successivi, ovvero considerando bacini chiusi in testa alle aste modellate ed interbacini intermedi il cui contributo è assunto come distribuito lungo le aste modellate.

I perimetri dei bacini idrografici sono stati ritracciati manualmente sulle altimetrie della C.T.R. in scala 1:10.000 e scala 1:2.000 laddove presente .

Complessivamente sono individuati n. 10 bacini (5 interbacini):

Bacino	Corso d'acqua di riferimento	Superficie (mq)
Ripi monte 1	Ripi	2.95
Ripi monte 2	Ripi	0.68
Pallottolo	Pallottolo	0.12
Colle Vecchio	Colle Vecchio	0.72
Madonna a Colle	Madonna a Colle	1.50
Int1	Ripi	0.29
Int2	Ripi	0.14
Int3	Ripi	0.16
Int4	Ripi	0.11
Int5	Ripi	0.25

Tab. 10 – Bacini idrografici Modello Rapolano

Nonostante il bacino *Ripi monte 1* faccia riferimento direttamente al Borro Ripi mentre il bacino *Ripi monte 2* insista su un affluente del Borro Ripi (privo di toponimo), ai fini della modellazione idrologica ed idraulica essi sono stati accorpati in un unico bacino di monte, dal momento che entrambi si chiudono a monte del raccordo autostradale Siena-Bettolle e, pur possedendo sottopassi distinti, di fatto confondono le proprie acque.

Questa semplificazione si è resa necessaria anche ai fini della calibrazione di cui al **Par. 3.2.2**; di seguito è quindi considerato un **unico bacino di monte del Borro Ripi**, di dimensioni pari a **3.63 kmq**.

La **Tav. L** presente negli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra tutti i bacini idrografici oggetto di studio per l'area di Rapolano Terme.

3.2.2. La calibrazione idrologica del modello

3.2.2.1 Definizione delle modalità di calibrazione ed attività preparatorie

Per quanto detto in premessa (**Par. 3.1**), il *Modello Rapolano* ha avuto l'esigenza di una preliminare calibrazione dei parametri idrologici al fine di pervenire ad idrogrammi più realistici rispetto a quelli puramente teorici ottenibili applicando lo schema metodologico di cui al precedente **Par. 2.2**.

Tale calibrazione è stata condotta su basi quali-quantitative rispetto all'evento alluvionale del 21 Ottobre 2013, il medesimo che ha colpito violentemente l'abitato di Asciano.

In occasione di quell'evento si ha testimonianza del fatto che non si siano verificate esondazioni nell'area urbana di Rapolano Terme, né sormonti della strada comunale e del rilevato ferroviario a monte del centro termale (effetto che invece emergeva in modo evidente negli studi precedenti e nelle modellazioni preliminari con idrogrammi di piena puramente teorici). Rispetto all'evento del

2013 non è invece noto quali condizioni di allagamento si possano essere sviluppate nella pianura a monte del raccordo autostradale, ma si ricorda bene il crollo di un'ampia porzione di muro di sostegno in Loc. Serre di Rapolano, a conferma che tale evento sia risultato di notevole intensità anche sul territorio comunale di Rapolano Terme (anzi, la Loc. Serre di Rapolano è più vicina al pluviometro di *Rigomagno* -TOS03000715- presso il quale sono state registrate precipitazioni molto inferiori rispetto agli altri pluviometri di zona).

Alla luce di ciò si è inteso acquisire i dati di precipitazione registrati per l'evento del 2013 sul pluviometro di riferimento per il bacino di monte del Borro Ripi (*Monastero d'Ombrone*, TOS03002613) e ricostruire una serie di idrogrammi da precipitazione reale, con approccio metodologico analogo a quelli di cui al **Par. 2.2**, al variare di un unico parametro caratteristico del bacino, ovvero il *CN*, mantenendo inalterati tutti gli altri parametri morfologici.

Ciascuno di questi idrogrammi, con picco via via decrescente a partire dal valore teorico del *CN (III)*, valutato come in precedenza, è stato poi inserito quale *input* idrologico in un apposito modello idraulico bidimensionale di calibrazione chiuso a valle del secondo attraversamento del raccordo Siena-Bettolle (all'altezza del "Parco dell'Acqua"). Di fatto questo modello di taratura, indicato anche come modello di monte, rappresenta il primo tronco di modellazione del Borro Ripi, al quale, in uscita dal sottopasso autostradale, si allaccia il modello di valle con gli affluenti.

L'obiettivo è stato quello di individuare il primo valore utile di *CN* il cui relativo idrogramma non determinasse, nel modello idraulico, alcun sormonto della strada comunale e del rilevato ferroviario, come effettivamente accaduto nel 2013.

Però, per poter approntare un modello idraulico soddisfacente si è reso necessario disporre di una geometria più dettagliata del corso d'acqua e del piano campagna circostante nel tratto a monte dell'area urbana, quello posto a cavallo del raccordo autostradale Siena-Bettolle.

Per fare ciò, nell'ambito di un incarico parallelo affidato al sottoscritto da parte del Comune di Rapolano Terme e finalizzato anche alla definizione di possibili interventi di mitigazione del rischio idraulico lungo il Borro Ripi, è stato eseguito un nuovo rilievo topografico a terra, con strumentazione GPS, ed aereo, con drone, grazie al quale si sono potuti integrare i dati topografici preesistenti (assai scarsi) e predisporre una base bidimensionale più solida, e quindi procedere come stabilito.

Durante le operazioni di rilevamento e nei sopralluoghi effettuati si sono riscontrati ulteriori elementi che rafforzano la tesi secondo la quale le effettive portate del bacino di monte del Borro Ripi possano essere inferiori a quanto teoricamente stimato.

Innanzitutto la presenza di **inghiottitoi** nella porzione semipianeggiante compresa tra il raccordo autostradale Siena-Bettolle e la strada comunale a monte dell'area termale, alcuni dei quali posti proprio sul fondo dell'alveo del Borro Ripi, documentati dagli stessi rilievi topografici, anche aerei.

In una giornata in cui il Borro Ripi presentava una portata di magra si è osservato visivamente che tutta l'acqua veniva intercettata da queste voragini, lasciando il tratto a valle di esse completamente asciutto.

Le successive fotografie non riescono efficacemente a rappresentare quanto osservato *in situ*.

Fig. 4 – Inghiottitoi lungo il Borro Ripi a monte dell'abitato di Rapolano

Non si ha riscontro circa la presenza di ulteriori voragini nel bacino di monte, ma già quelle rinvenute sono di dimensioni tali da poter smaltire una quota consistente della portata in transito lungo il corso d'acqua, o intercettarne parte di quella fuoriuscita a campagna.

Dai sopralluoghi effettuati si è inoltre rilevato che il Borro Ripi, nel tratto a monte del raccordo autostradale, in territorio aperto, presenta uno spartiacque assai *labile* rispetto al bacino idrografico adiacente, talvolta coincidente con la stessa sponda sinistra del corso d'acqua. Eventuali esondazioni in sinistra idraulica andrebbero a riversare volumi idrici (al momento non quantificabili in quanto il modello è predisposto su un tratto più a valle) verso il bacino del Torrente Foenna (bacino Arno), con ulteriore dispersione ed alleggerimento della portata in transito.

3.2.2.2 Stima dell'idrogramma dell'evento del 21 Ottobre 2013

L'evento del 21 Ottobre 2013, per quanto registrato dal pluviometro di Monastero d'Ombrone, mette in evidenza due scrosci successivi, il più significativo dei quali è sicuramente il secondo.

La seguente figura mostra il pluviogramma registrato.

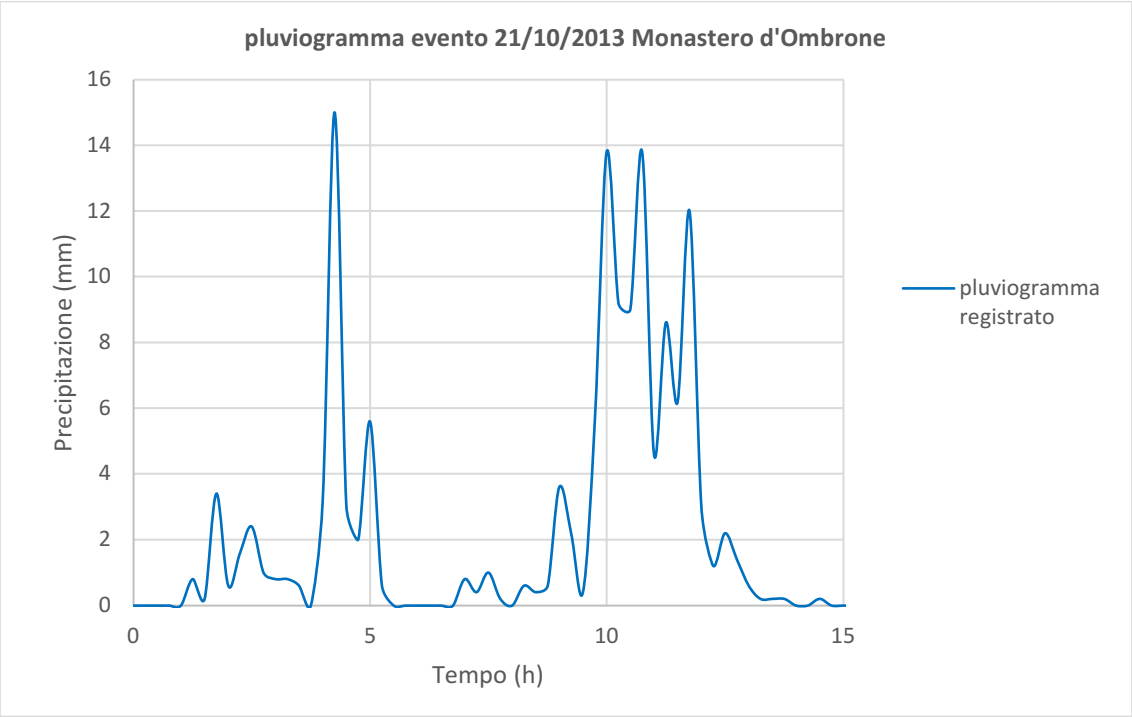


Fig. 5 – Pluviogramma stazione di Monastero d'Ombrone, 21/10/2013

Il secondo scroscio presenta una durata di circa 6 ore (8:00-14:00) ed una cumulata di circa 100 mm; nelle ore precedenti (primo scroscio) la cumulata ammonta a circa 44 mm.

Dal momento che nella notte del 21 Ottobre 2013, con il primo scroscio, non è stata riscontrata alcuna criticità da allagamento (anche in altre zone) mentre è il secondo scroscio ad aver causato i danni maggiori (non a Rapolano), la calibrazione è compiuta rispetto a quest'ultimo, ipotizzando che la precipitazione precedente abbia contribuito soltanto a saturare il terreno, il che giustifica l'adozione di un *CN (III)*.

Il bacino di monte del Borro Ripi presenta, in linea teorica, un valore di *CN (III)* pari a 81.88, determinato in modo del tutto analogo a quanto fatto per i bacini di Asciano (vedasi successivo **Par. 3.2.4**).

Assumendo la superficie del bacino di 3.63 kmq, un tempo di corrivazione valutato con la precedente **(7)** ed attuando la trasformazione afflussi-deflussi mediante il metodo dell'idrogramma unitario *SCS* (per bacini di così piccole dimensioni e per di più posti ai margini dall'area studiata dall'Ing. Castellani si è ritenuto più appropriato, e cautelativo, applicare questo metodo in luogo del metodo di *Clark*) sono stati ricostruiti una serie di idrogrammi reali al variare di *CN*, i cui valori al colmo sono riportati nella seguente tabella.

CN	Portata al colmo (mc/s)
81.88	22.7
80	21.2
76	18
72	14.8

68	11.9
66	10.5
65	9.8
64	9.2
62	8
60	6.9

Tab. 11 – Valori al colmo degli idrogrammi ricostruiti sull'evento 2013 (secondo scroscio) al variare di CN

La seguente figura mostra, a titolo di esempio, l'idrogramma stimato sul secondo scroscio dell'evento 2013 sul bacino di monte del Borro Ripi con *CN* assegnato pari a 64.

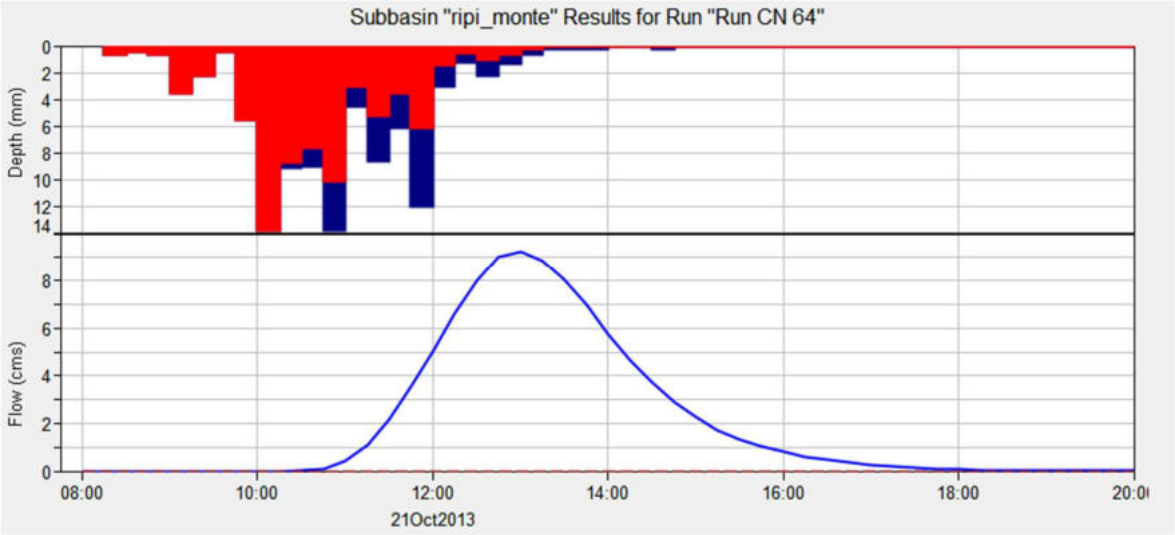


Fig. 6 – Idrogramma per evento 2013 (secondo scroscio) relativo al bacino Ripi monte con CN 64

Tutti gli idrogrammi così calcolati sono stati progressivamente implementati nel modello idraulico di calibrazione, come di seguito descritto.

3.2.2.3 Calibrazione idraulica dell'evento del 21 Ottobre 2013

Per poter calibrare in modo soddisfacente l'idrologia del bacino di monte si è reso necessario approntare un apposito modello idraulico su questo tratto di corso d'acqua al fine di verificare, rispetto ai vari idrogrammi reali ricostruiti come precedentemente indicato, gli effetti di allagamento sul territorio e determinare quale scenario potesse meglio approssimare quanto accaduto in occasione dell'evento 2013 (assenza di sormonto della strada comunale e del rilevato ferroviario, assenza di ulteriori problematiche nel tratto urbano).

Per fare ciò è stato eseguito un apposito rilievo topografico (a terra ed aereo) per garantire maggiore solidità al modello geometrico di calibrazione del bacino di monte del Borro Ripi.

Grazie a questo rilievo sono state ricavate nuove sezioni idrauliche del Borro Ripi nel tratto di monte, e rilevati anche i vari sottopassi stradali presenti.

I punti battuti a campagna sono stati integrati con quelli disponibili (rilievi eseguiti per studi

precedenti), ed eventualmente con dati provenienti dalla C.T.R. in scala 1:2.000 e in scala 1:10.000, in modo del tutto analogo a quanto fatto per il *Modello Asciano*.

Anche in questo caso, sono state tracciate numerose *breakline* 3D e ricostruiti, sempre con linee 3D, cigli di sponda e fondo alveo del tratto studiato del Borro Ripi, a favorire una migliore interpolazione e creazione del D.T.M.

La **Tav. M** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra tutti gli elementi puntuali e lineari con cui è stato predisposto il Modello Digitale del Terreno.

La successiva **Tav. N** mostra invece il D.T.M. finale, assunto come base bidimensionale del modello idraulico di calibrazione ma anche per quello *ufficiale* di verifica idraulica del tratto di monte, compresa asta e sezioni idrualiche.

A differenza dello studio di Asciano, il modello idraulico del tratto di monte del Borro Ripi (utilizzato sia per la calibrazione che per le successive verifiche di scenari *sintetici*) è stato predisposto mediante il software HEC RAS 5.0.7. La motivazione di questa scelta è frutto di accordo con il Consorzio di Bonifica Toscana Sud al quale, una volta terminate le verifiche idrologico-idrauliche sul Borro Ripi e suoi affluenti, comprese le valutazioni progettuali a cui accennato in precedenza, il modello sarebbe stato messo a disposizione per proseguire dette attività progettuali.

Impegno, questo, parzialmente disatteso, in quanto, problematiche legate alla stabilità del modello soprattutto nel tratto di valle del Borro Ripi (ove vi sono anche gli affluenti) hanno richiesto nuovamente di optare per una modellazione col software Mike che anche in questo caso si è dimostrato più solido ed affidabile, di fatto parzializzando la modellazione del Borro Ripi in due sub-modelli.

E' comunque opportuno fino d'ora sottolineare come, ai fini del presente lavoro (aggiornamento delle mappe di pericolosità da alluvione ai sensi del D.P.G.R. 5R/2020) questa suddivisione non condiziona in alcun modo la coerenza del lavoro nel suo complesso, ma rappresenta solo un espediente tecnico atto a superare problematiche di carattere modellistico, come già accaduto in molte altre situazioni.

3.2.2.4 Risultati della calibrazione

Nel processo iterativo di calibrazione (verifica progressiva degli allagamenti con idrogrammi a picco decrescente e durata crescente per effetto di un valore di *CN* anch'esso gradualmente decrescente) si è riscontrata una dinamica non altrimenti registrata; in tutte le verifiche effettuate le aree allagate a monte del rilevato autostradale (pur collegato all'area a valle di esso da numerosi sottopassi) raggiungevano un livello tale da interessare anche la linea ferroviaria che, in prossimità della cosiddetta "Casina della Polvere", sottopassa il raccordo, e quindi, secondo il modello, si sarebbe dovuta verificare una trasmissione di volumi anche attraverso il sottopasso ferroviario.

La linea ferroviaria, prima dell'imbocco del sottopasso, è protetta da una fila di gabbioni, di altezza pari a circa un metro rispetto al piano del ferro; anche questo elemento è stato introdotto nel modello idraulico, ma l'interessamento del sottopasso ferroviario comunque ha continuato a

persistere.

Nella realtà, né nel 2013 né in altre occasioni, si hanno testimonianze di un sottopasso ferroviario allagato.

Ma nella modellazione, anche adottando l'idrogramma reale ricostruito di **Fig. 6** (con *CN=64*), tale dinamica viene confermata.

Questa singolarità ha indotto a:

- Creare un doppio modello geometrico, con e senza sottopasso ferroviario (*SI_ATTR* e *NO_ATTR*)
- Interrompere le iterazioni di calibrazione fermandosi allo scenario idrologico con *CN=64*, il primo, tra tutti quelli presi in esame, che escludeva la possibilità di un qualche sormonto della linea ferroviaria e/o della strada comunale a valle.

Per la verità, anche nel caso di *CN=64*, la strada comunale (nella versione *NO_ATTR*) continua ad essere sormontata, ma in misura del tutto trascurabile.

Le seguenti due figure mostrano, in serie, lo scenario di allagamento per l'evento del 2013 con idrogramma ricostruito mediante un valore di *CN=64*, contro un valore teorico del *CN (III)* del bacino di monte del Borro delle Ripi pari a 81.88, con geometria priva di sottopasso ferroviario (*NO_ATTR*) e geometria provvista di sottopasso ferroviario (*SI_ATTR*).

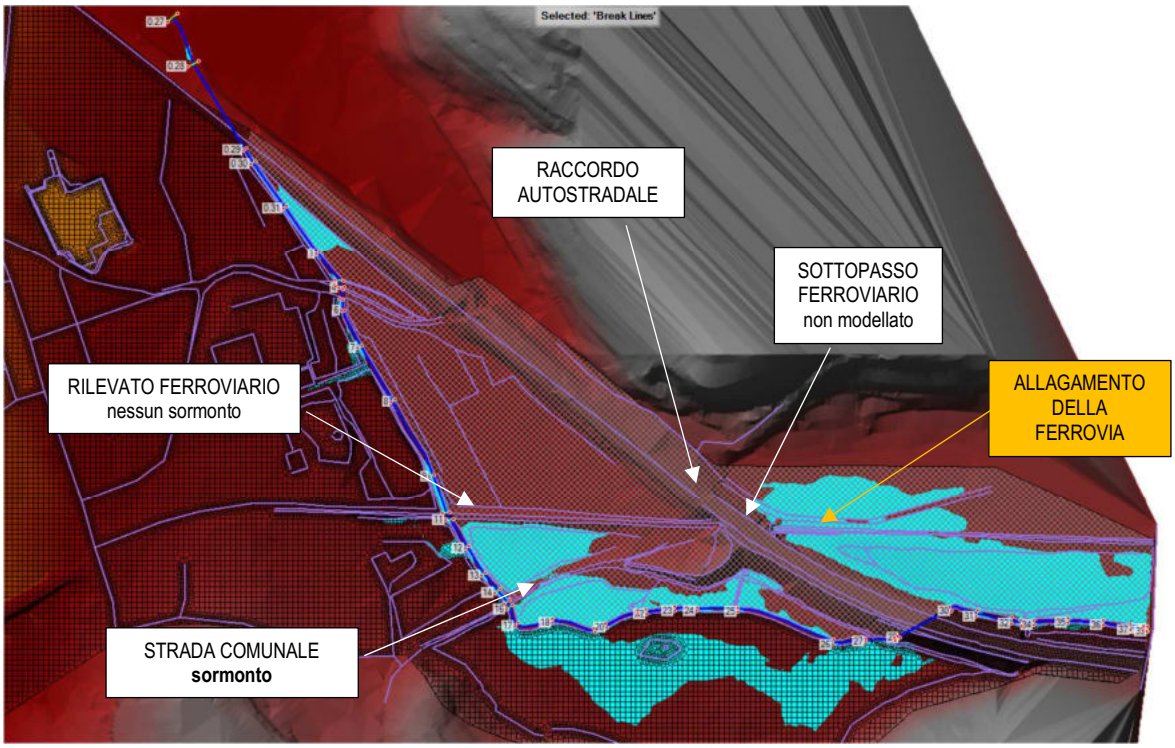


Fig. 7– Aree allagate modello di calibrazione evento 2013 senza sottopasso ferroviario e CN=60

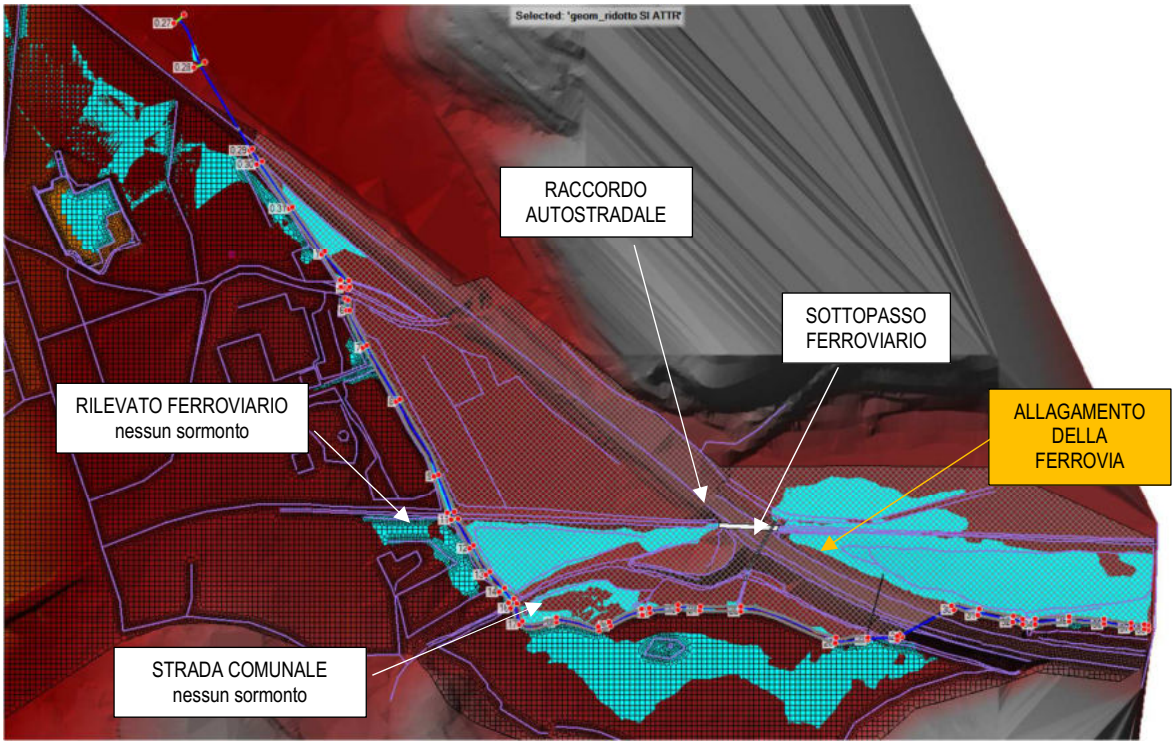


Fig. 8– Aree allagate modello di calibrazione evento 2013 con sottopasso ferroviario e CN=60

Al netto di ulteriori contributi idrologici nel tratto di valle dell'asta modellata (non considerati per questa calibrazione), la versione senza sottopasso ferroviario (**Fig. 7**) trasmette minori volumi a valle, trattenendoli a monte del rilevato autostradale, ma continua a presentare una modesta possibilità di sormonto della strada comunale. Invece, la versione con sottopasso ferroviario (**Fig. 8**) trasmette maggiori volumi verso valle ma non presenta sormonti né sulla strada comunale né sul rilevato ferroviario successivo.

Nessuna di queste versioni, in definita, rappresenta quanto effettivamente accaduto in occasione dell'evento del 21 Ottobre 2013, durante il quale, per quanto noto, non si è verificato nessuno degli effetti risultanti dalle modellazioni effettuate (né allagamento della ferrovia, né sormonti dei rilevati, né allagamenti in area urbana).

Ciò lascerebbe intendere che l'abbattimento effettivo della portata del bacino di monte del Borro Ripi per effetto di inghiottitoi o altre forme di infiltrazione, esondazioni fuori bacino, laminazione di invasi collinari etc possa essere considerato anche superiore rispetto all'*abbattimento equivalente* stimato con l'adozione di un valore di *CN* pari a 64.

Però, stanti le residue incertezze e volendo comunque procedere con approccio cautelativo, per il bacino di monte del Borro Ripi sono fissate queste condizioni idrologiche (**CN=64**) e nei modelli idraulici *ufficiali* sono sviluppate entrambe le versioni geometriche (*SI_ATTR* e *NO_ATTR*), e poi inviluppati i relativi risultati.

3.2.3. Il regime di precipitazione

Una volta sviluppata la calibrazione di cui ai paragrafi precedenti sul bacino di monte del Borro Ripi, la trattazione è ripresa in modo speculare a quanto fatto per il Modello Asciano, con la stessa articolazione di contenuti.

L'analisi idrologica dei restanti bacini in esame (Fosso Pallottolo, Borro Colle Vecchio, Borro Madonna a Colle e 5 ulteriori interbacini) nonché del Borro Ripi rispetto ad eventi meteorici *sintetici* (con ietogrammi di progetto triangolari) è eseguita in modo del tutto analogo a quanto fatto per i corsi d'acqua di Asciano, dal momento che non vi è alcun elemento per estendere la calibrazione dei parametri idrologici anche a questi bacini di valle.

Pertanto, con riferimento all'aggiornamento della distribuzione delle piogge di cui alla **Tav. C** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica**, sono ricavati i valori medi delle altezze di precipitazione sul bacino di monte del Borro Ripi e sugli altri bacini in esame per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni ed il medesimo *set* di durate. Viste le modeste dimensioni degli altri bacini, su di essi è stata valutata un'unica altezza di precipitazione per ciascuna combinazione *TR/d*.

Bacino	30_1	30_2	30_3	30_4	30_5	30_6	200_1	200_2	200_3	200_4	200_5	200_6
Ripi monte	55.50	66.76	74.38	80.31	85.23	89.47	76.84	96.38	110.04	120.884	130.03	138.01
Altri bacini	56.69	68.34	76.23	82.38	87.49	91.90	78.56	98.75	112.88	124.12	133.60	141.89

Tab. 12 – Altezze di precipitazione Modello Rapolano

Alle precipitazioni di cui sopra non è stato applicato alcun ragguaglio areale ($k_r=1$).

3.2.4. La depurazione delle piogge

Per il passaggio da piogge lorde (paragrafo precedente) a piogge efficaci si è operato analogamente a quanto fatto per il *Modello Asciano*.

Ovviamente, per il bacino di monte del Borro Ripi è stato adottato il valore di *CN* frutto di calibrazione, ovvero pari 64.

La seguente tabella riporta i valori di *CN (III)* assegnati, come appena illustrato, ai n. 9 bacini in esame.

Bacino	*CN (III)*
Ripi monte	*64 **
Colle Vecchio	79.89
Int1	85.12
Int2	88.44
Int3	85.22
Int4	90.07

Int5	91.57
Madonna a Colle	78.09
Pallottolo	84.69

Tab. 13 – Valori medi del CN (III) per i bacini del Modello Rapolano (da calibrazione)*

Le **Tavv. O-P-Q** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** riportano, rispettivamente, la classificazione *USDA* dei suoli, l'uso e copertura del suolo e la distribuzione dei valori di *CN (III)* sui bacini del *Modello Rapolano*, anche per il bacino *Ripi monte*, benché oggetto di successiva calibrazione.

In questo caso, a differenza di quanto fatto per il Modello Asciano in cui erano presenti bacini di dimensioni decisamente superiori, per la stima della perdita iniziale di cui alla **(6)** è stato adottato un valore del coefficiente β pari a 0.2 (assunzione maggiormente cautelativa).

3.2.5. La trasformazione afflussi-deflussi

Per la stima degli idrogrammi di piena dei bacini del *Modello Rapolano* è stato predisposto un apposito modello idrologico mediante il software HEC HMS 4.6.1, col quale è stata effettuata la depurazione di cui al precedente paragrafo e la trasformazione afflussi-deflussi.

In questo caso, come anticipato, si è preferito deviare dalle indicazioni dello studio dell'Ing. Castellani ed attuare la trasformazione con il metodo dell'idrogramma unitario *SCS* piuttosto che con quello di *Clark*, ritenuto più affidabile e cautelativo per bacini di piccole dimensioni.

L'idrogramma unitario adimensionale *SCS* determina il tempo di picco in funzione del tempo di ritardo T_l, che a sua volta è legato al tempo di corrivazione T_c del bacino, secondo la seguente relazione:

$$T_l = 0.6 \cdot T_c \quad \textbf{(8)}$$

In cui il tempo di corrivazione è valutato secondo **(7)** (vedi **Par. 2.2.4**).

La seguente tabella riporta il tempo di corrivazione per tutti i bacini in esame.

Bacino	***t_c (h)***
Ripi monte	1.30
Colle Vecchio	0.82
Int1	0.25
Int2	0.28
Int3	0.37
Int4	0.20
Int5	0.84
Madonna a Colle	1.44
Pallottolo	0.34

Tab. 14 – Tempi di corrivazione per i bacini del Modello Rapolano

3.2.6. Gli idrogrammi di piena

In questo paragrafo sono mostrati gli idrogrammi di piena *sintetici* stimati per i tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni ed un *set* di durate di precipitazione (da 1 a 6 ore, con passo orario) secondo lo schema metodologico appena illustrato.

Dapprima è riportata una tabella con indicazione delle portate al colmo.

Bacino	30_1	30_2	30_3	30_4	30_5	30_6	200_1	200_2	200_3	200_4	200_5	200_6
Ripi monte	2.43	4.36	5.53	6.10	6.31	**6.33**	6.91	11.64	14.25	15.35	**15.66**	15.60
Colle Vecchio	4.63	**4.78**	4.35	4.35	3.60	3.31	8.51	**8.84**	8.14	7.43	6.83	6.33
Int1	**4.09**	3.10	2.52	3.94	1.90	1.70	**6.83**	5.33	4.41	3.81	3.38	3.06
Int2	**2.29**	1.71	1.38	2.15	1.02	0.92	**3.65**	2.81	2.30	1.98	1.75	1.58
Int3	**2.06**	1.64	1.36	1.17	1.04	0.93	**3.45**	2.82	2.38	2.07	1.84	1.67
Int4	**2.09**	1.48	1.17	1.17	0.86	0.76	**3.25**	2.38	1.92	1.63	1.43	1.29
Int5	**3.02**	2.75	2.37	0.98	1.86	1.68	**4.68**	4.36	3.83	3.39	3.05	2.78
Madonna a Colle	5.37	6.83	**6.94**	2.08	6.28	5.93	10.28	13.14	**13.37**	12.87	12.22	11.58
Pallottolo	**1.54**	1.22	1.01	6.65	0.77	0.69	**2.59**	2.11	1.77	1.54	1.37	1.25

Tab. 15 – Portate al colmo degli idrogrammi di piena del Modello Rapolano

Nella precedente **Tab. 15** sono evidenziati, in grassetto, i valori di picco degli idrogrammi. Le durate di picco sono variabili a seconda delle dimensioni del bacino.

Per quanto riguarda il modello idraulico del tratto di monte del Borro Ripi (quello già utilizzato per la calibrazione) sono stati simulati tutti gli scenari idrologici di cui alla precedente tabella, sia nella versione geometrica *SI_ATTR* (con sottopasso ferroviario) che in quella *NO_ATTR* (senza sottopasso ferroviario). Si sottolinea che in questo modello gli unici *input* idrologici sono rappresentati dall'idrogramma in testa (*Ripi monte*) e dai contributi distribuiti degli interbacini *Int1* e *Int2*.

Per quanto riguarda il modello idraulico del tratto di valle del Borro Ripi, compresi affluenti, sono stati simulati solo gli scenari idrologici da 1 a 3 ore, che risultano maggiormente critici per questo tratto, sia per gli affluenti, che per il Borro Ripi; infatti, nonostante quest'ultimo presenti portate leggermente superiori per eventi di 5 o 6 ore (in testa al modello di monte), per eventi di maggior durata si riducono i contributi degli affluenti e quindi anche la portata complessiva del Borro Ripi.

Si specifica fin d'ora che, nel modello idraulico, di valle, è stato posto come idrogramma in testa quello in uscita (*output*) dal modello di monte.

Di seguito è offerta una carrellata degli idrogrammi di piena, bacino per bacino. Gli idrogrammi del bacino di monte del Borro Ripi sono mostrati separatamente da quello degli altri bacini; nel primo caso sono accorpati per tempo di ritorno, nel secondo caso per scenario idrologico.

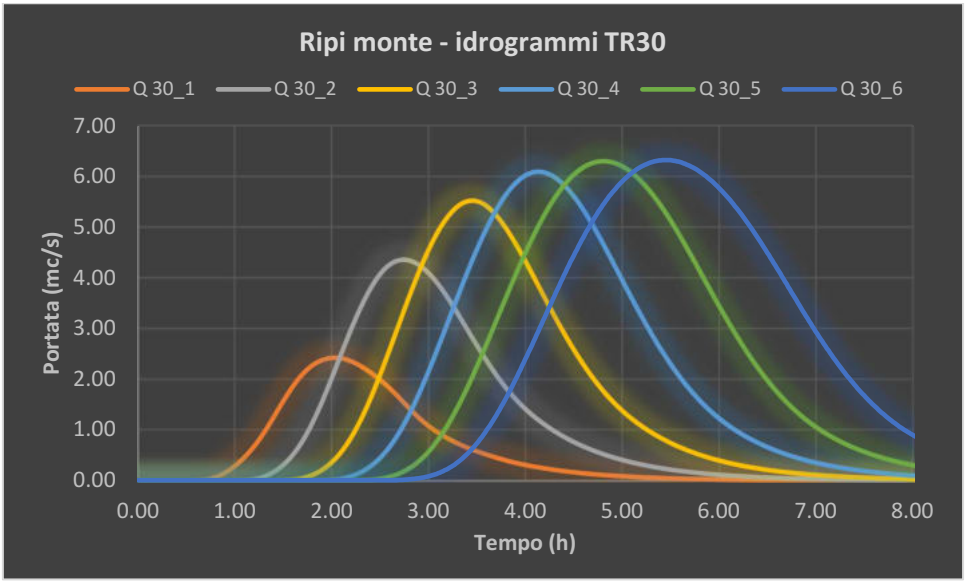


Fig. 9 – Idrogrammi di piena Ripi monte per TR30

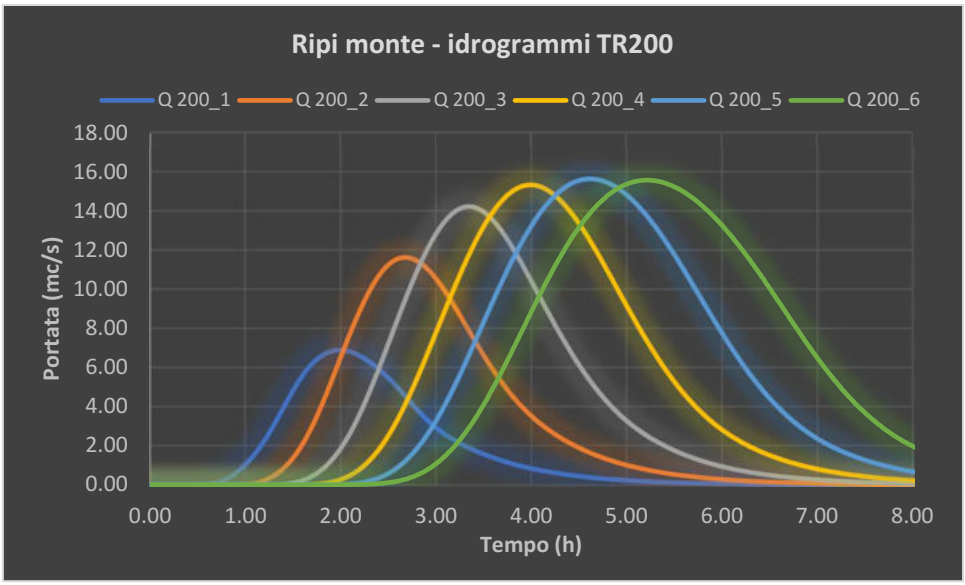


Fig. 10 – Idrogrammi di piena Ripi monte per TR200

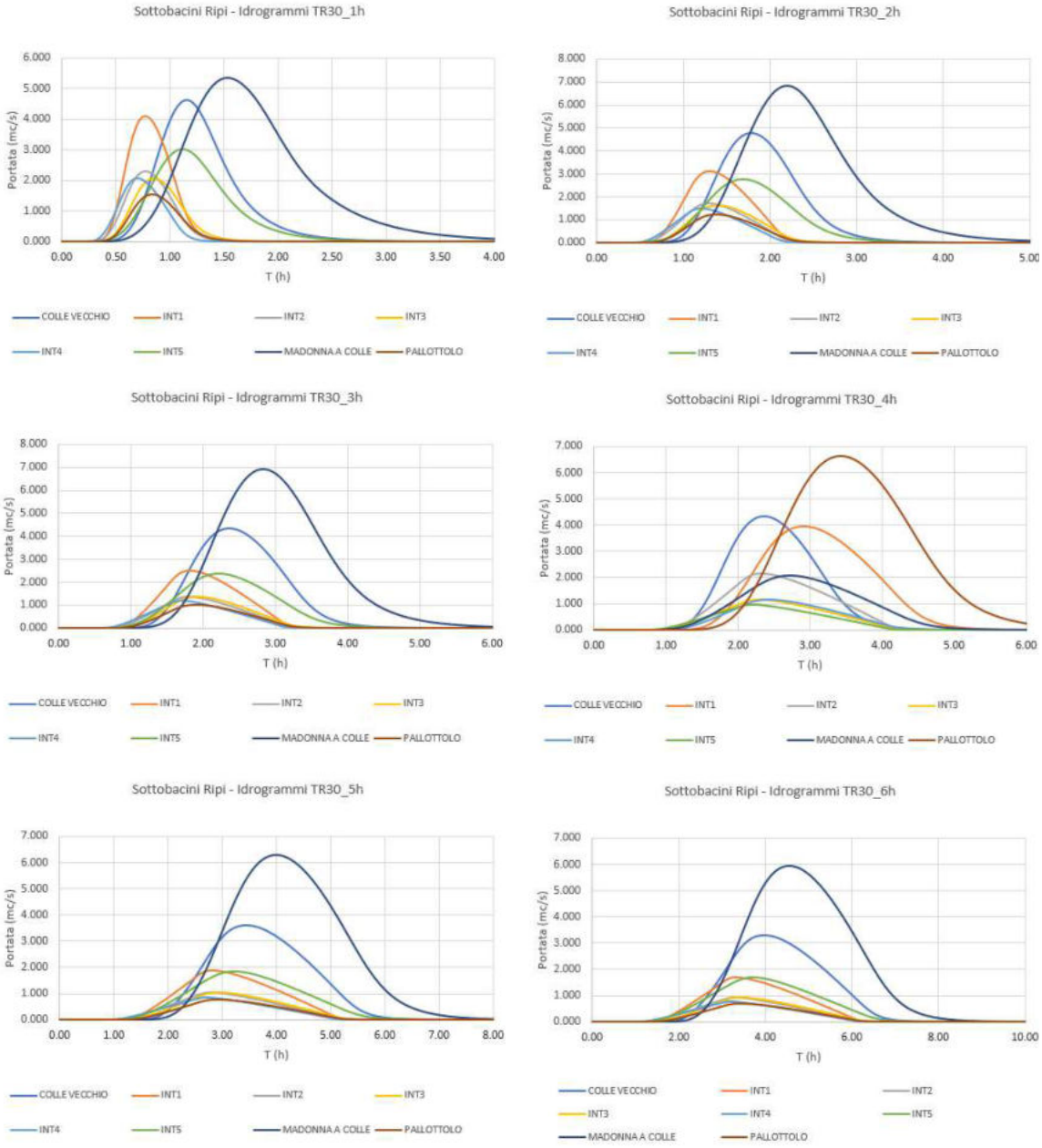


Fig. 11 – Idrogrammi di piena altri bacini Modello Rapolano per TR30

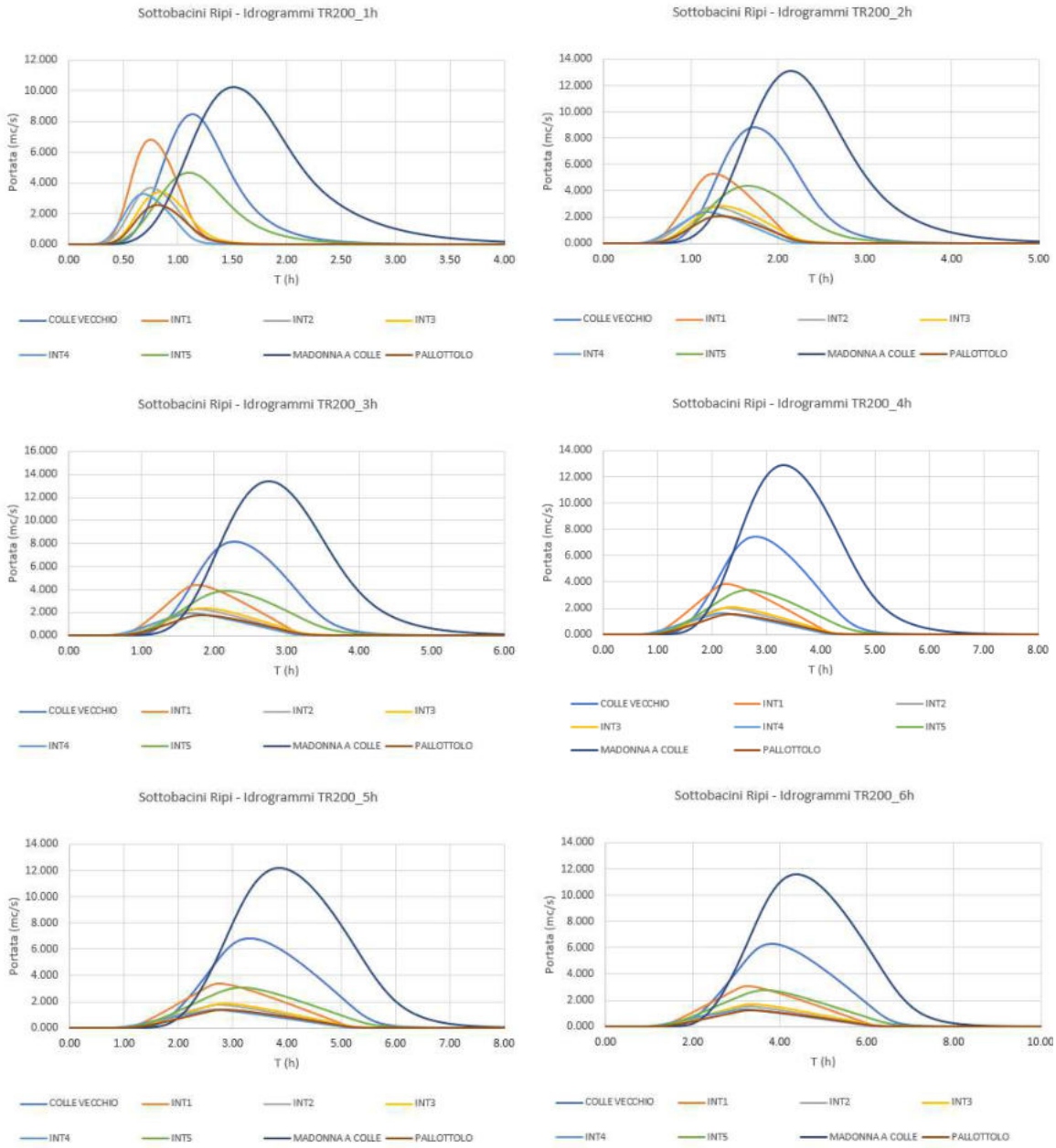


Fig. 12 – Idrogrammi di piena altri bacini Modello Rapolano per TR200

3.3. Idraulica

3.3.1. Cenni preliminari e approccio modellistico

Le verifiche idrauliche del Borro Ripi e suoi affluenti presso l'abitato di Rapolano Terme sono state condotte suddividendo l'asta principale di studio (il Borro Ripi, appunto) in due distinti modelli.

Le ragioni di questa scelta sono legate alle difficoltà di stabilizzare il modello nel tratto di valle, ovvero quello ove, oltre al corso d'acqua principale, sono state inserite anche le geometrie dei 3 affluenti destri.

Se in prima battuta l'intenzione era quella di sviluppare un unico modello mediante software non proprietario (HEC RAS 5.0.7), sia per la calibrazione di cui ai paragrafi precedenti che per le verifiche idrauliche *ufficiali*, si sono presto riscontrate complicazioni nel legare le aste degli affluenti a quella del Borro Ripi (in particolare quella del Borro Colle Vecchio, che presenta un salto proprio in corrispondenza della confluenza, a valle della quale è anche presente un attraversamento); inoltre il Borro Ripi presenta una sorta di cascata tra la confluenza con il Colle Vecchio ed il Madonna a Colle, di difficile modellazione; infine l'ultimo tratto di asta, a cavallo dell'attraversamento sulla Via Provinciale Nord, mostra una pendenza assai pronunciata, ed anche questo rappresenta una complicazione in termini di modellazione in moto vario ed assegnazione della condizione di valle.

Del resto gli studi precedenti sul Borro Ripi sono stati tutti condotti in moto permanente con sezioni estese, ma in questo caso, per le medesime ragioni di cui al *Modello Asciano*, si rendeva necessario predisporre una modellazione accoppiata mono-bidimensionale delle aste in esame.

Rilevato tutto ciò, si è stati costretti a ridurre l'estensione del modello del tratto di monte (redatto col software HEC RAS 5.0.7) e terminarlo appena a valle del secondo sottopasso del raccordo Siena-Bettolle (buon punto di disconnessione idraulica), e approntare un nuovo modello del tratto di valle compresi affluenti ricorrendo nuovamente all'ausilio del software Mike, mediante il quale si è riusciti a combinare le geometrie dei vari corsi d'acqua in un modello stabile.

In questo **Par. 3.3** sono pertanto illustrati gli elementi salienti dei due modelli che, nel loro legame funzionale (*Modello Rapolano*), hanno consentito di aggiornare le pericolosità da alluvione sulla porzione di area urbana interferente.

La trattazione dei due modelli è svolta in parallelo. L'articolazione del paragrafo segue, in linea generale, quella del **Par 2.3** per lo studio di Asciano.

Si ricorda nuovamente che il modello adottato per la calibrazione dell'idrologia del bacino del Borro Ripi è sostanzialmente il medesimo qui proposto come modello di riferimento del tratto di monte.

3.3.2. La geometria del modello

Nonostante la modellazione del Borro Ripi sia stata suddivisa in due distinti sub-modelli, e per giunta con l'ausilio di software differenti, la descrizione degli aspetti geometrici è comunque affrontata in modo unitario.

3.3.2.1 Il modello monodimensionale d'alveo

Il modello idraulico del **Borro Ripi** si compone di **n. 78 sezioni** idrauliche d'alveo, suddivise in n. 45 sezioni per il modello di monte e n. 23 sezioni per quello di valle; le ultime due sezioni del Borro Ripi nel modello di monte coincidono con le prime due sezioni del modello di valle (es. sez. 0.28 modello di monte = sez. 28 modello di valle). Oltre a queste sezioni, nel modello di valle, sono da aggiungersi anche quelle relative ai 3 affluenti (in totale si tratta di ulteriori n. 24 sezioni).

Tutte queste sezioni sono le medesime utilizzate negli studi precedenti (2009), ricavate con appositi rilievi topografici allora redatti, e dimostratesi, da sopralluoghi effettuati, ancora abbastanza rappresentative (anche perché molte di essi si riferiscono ad attraversamenti stradali rimasti tali).

Ad esse si aggiungono, solo per il tratto di monte del Borro Ripi, nuove sezioni ricavate con il rilievo eseguito a supporto del presente lavoro, che in parte sostituiscono quelle più vecchie.

La seguente tabella riporta le sezioni utilizzate per la rappresentazione dei vari corsi d'acqua studiati, differenziate per modello di monte e modello di valle.

Corso d'acqua	Modello	N° sezioni
Ripi	monte	45
Ripi	valle	23
Pallottolo	valle	7
Colle Vecchio	valle	6
Madonna a Colle	valle	11

Tab. 16 – Sezioni idrauliche del Modello Rapolano

La già citata **Tav. N** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra l'asta del Borro Ripi nel modello di monte con le relative sezioni e la base bidimensionale (*terrain model* secondo la dicitura di HEC RAS).

La **Tav. R** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra invece l'asta del Borro Ripi nel modello di valle, sempre con relative sezioni e base bidimensionale (*bathymetry* secondo la dicitura di Mike).

3.3.2.2 La costruzione della base bidimensionale

Anche nel caso del *Modello Rapolano* la costruzione della base bidimensionale del modello (in questo caso, dei modelli) ha rappresentato un punto determinante del lavoro. A differenza dello studio di Asciano, dove era attesa un'ampia estensione delle aree allagate, per lo studio del Borro Ripi, soprattutto a seguito di calibrazione dell'idrologia, ci si attendevano aree allagate più ridotte, e quindi con minor interferenza con le zone urbanizzate.

Per questo motivo, nella costruzione della base 2D dei modelli si sono potute semplificare le attività di preparazione del D.T.M.

Sono stati tuttavia implementati, attraverso l'apposito comando di interpolazione in ambiente *Gis*, tutti i dati utili per una corretta costruzione del modello digitale (punti e linee quotati), integrati con ulteriori *breakline* 3D appositamente disegnate a riprodurre i principali elementi caratterizzanti la morfologia del territorio, come rilevati stradali e ferroviari.

Come nel caso del Modello Asciano, è stata riprodotta anche la morfologia delle aste fluviali modellate (cigli di sponda e/o argini, e fondi alveo); invece, a differenza del modello precedente, non si è reso necessario fare ricorso alla ricostruzione sulla base 2D di muretti di recinzione, né rappresentare gli edifici come volumi chiusi.

Per i due modelli del Borro Ripi (modello di monte e modello di valle) sono state predisposte due distinte basi bidimensionali.

I dati topografici su cui si è fondata la costruzione dei due DTM (entrambi a celle quadrate con

maglia 1x1 mt) sono i seguenti:

- Rilievo GPS e con drone eseguito a supporto del presente lavoro sul tratto di monte del Borro Ripi (Overdrone di Giulio Pacella, 2021)
- Rilievi eseguiti a supporto degli studi precedenti per il P.S. (rilievi di sezioni d'alveo e punti a campagna), Geom. Carboncini anni 2007-2009
- Punti quotati C.T.R. in scala 1:2.000
- Punti quotati C.T.R. in scala 1:10.000
- Curve di livello C.T.R. in scala 1:2.000
- Curve di livello C.T.R. in scala 1:10.000.

La **Tav. N** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra lo schema del modello idraulico di monte del Borro Ripi con asta, sezioni e base bidimensionale finale.

La **Tav. R** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra lo schema del modello idraulico di valle del Borro Ripi e affluenti con aste, sezioni e base bidimensionale finale.

La **Tav. S** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra invece tutti gli elementi quotati (punti e linee) attraverso i quali sono stati ricostruiti i due distinti D.T.M. per i modelli summenzionati.

3.3.3. Ulteriori parametrizzazioni del modello e condizioni al contorno

Alle sezioni d'alveo dei corsi d'acqua studiati è stata assegnata una scabrezza variabile, in funzione delle effettive condizioni locali, con valori di *n* di Manning tra 0.03 $s/m^{1/3}$ (nei tratti con muri di sponda o con vegetazione assente, per presenza di accumuli calcarei) fino a 0.045 $s/m^{1/3}$ (nei tratti a monte dell'abitato).

Invece, per la scabrezza della base bidimensionale, a differenza di quanto fatto nello studio sul Comune di Asciano, è stata adottata una scabrezza costante con *n* pari a 0.05 $s/m^{1/3}$. Le basi bidimensionali del modello del Borro Ripi (sia quella di monte che quella di valle) presentano estensioni areali abbastanza ridotte, ed al loro interno si ha una modesta variazione di uso del suolo, secondo UCS2016. Le aree risultate poi allagabili interessano una porzione ancor più modesta di territorio, pertanto l'assegnazione di una scabrezza costante pari 0.05 risulta mediamente ancor più cautelativa che non applicando i valori differenziati per codice *Corine* di cui alla **Tab. 8**.

Da punto di vista delle condizioni al contorno dei due modelli, chiudendo essi in corrispondenza di sezioni in cui la portata risulta contenuta in alveo anche per eventi con tempo di ritorno duecentennale, sono state assegnate condizioni di deflusso libero.

In ingresso al modello di valle, come anticipato, sono stati introdotti gli idrogrammi *idraulici* risultanti dalla modellazione di monte, con riferimento alla sezione in uscita dal sottopasso autostradale (sez. 0.28 del modello di monte = sez. 28 del modello di valle).

3.3.4. Restituzione dei risultati della modellazione

La restituzione dei risultati delle modellazioni effettuate, sia quelle redatte col software HEC RAS che con il software Mike, è stata eseguita in modo del tutto analogo a quanto indicato nel precedente capitolo.

La **Tav. T** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra un estratto della carta della pericolosità da alluvione per l'area di Rapolano ad una scala più facilmente leggibile rispetto a quelle delle tavole ufficiali del P.S.I.

La **Tav. U** degli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** mostra, a titolo di esempio, un estratto della carta dei battenti per l'area di Rapolano, in analogia alla **Tav. T**.

Nella restituzione delle carte di pericolosità da alluvione del P.S.I. per l'area di Rapolano sono state confermate le perimetrazioni di P.G.R.A. alle estremità dei tratti modellati, previo raccordo dei contorni.

Di seguito sono mostrati i tabulati delle modellazioni effettuate (sezioni con livelli idrometrici per ciascuno scenario modellato), in analogia al *Modello Asciano*. Per quanto riguarda il modello del tratto di valle (Mike) questi livelli devono essere letti in sovrapposizione con la geometria delle sezioni riportate in calce agli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica**. Per quanto riguarda invece il modello del tratto di monte (HEC RAS) negli **Allegati alla Relazione idrologico-idraulica** sono riportate anche le sezioni di *output* del software.

Per entrambi i modelli, l'ubicazione delle sezioni è desumibile dalle **Tavv. N** ed **R**.

River Sta	200_1	200_1	200_2	200_2	200_3	200_3	200_4	200_4	200_5	200_5	200_6	200_6
scenario	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr
39	314.74	314.74	314.99	314.99	315.06	315.06	315.07	315.07	315.06	315.06	315.05	315.05
38.99	314.74	314.74	314.99	314.99	315.06	315.06	315.07	315.07	315.06	315.06	315.05	315.05
38.9												
38.8												
38	314.69	314.69	314.91	314.91	314.97	314.97	314.98	314.98	314.97	314.97	314.96	314.96
37	314.53	314.53	314.68	314.68	314.72	314.72	314.73	314.73	314.73	314.73	314.72	314.72
36	314.23	314.23	314.36	314.35	314.43	314.39	314.5	314.4	314.47	314.39	314.47	314.38
35	314.11	314.09	314.26	314.24	314.35	314.28	314.44	314.28	314.42	314.28	314.41	314.27
34	314.08	314.06	314.28	314.26	314.39	314.32	314.47	314.32	314.45	314.32	314.44	314.31
33.5												
33	313.79	313.76	314.17	314.11	314.35	314.21	314.45	314.23	314.42	314.23	314.41	314.21
32.9												
32.8												
32	313.74	313.71	314.16	314.09	314.35	314.2	314.45	314.22	314.42	314.21	314.41	314.19
31	313.67	313.63	314.13	314.05	314.33	314.17	314.45	314.19	314.41	314.18	314.4	314.16
30	313.64	313.6	314.03	313.97	314.21	314.07	314.32	314.09	314.27	314.08	314.26	314.06
29.5												
29	313.53	313.5	313.71	313.69	313.77	313.73	313.94	313.73	313.8	313.73	313.79	313.72
28.9												
28.8												
28	313.58	313.54	313.84	313.8	313.95	313.87	314.08	313.88	313.99	313.88	313.99	313.86
27.5												
27	312.31	312.29	312.52	312.51	312.57	312.55	312.61	312.55	312.6	312.55	312.6	312.53
26.9												
26.8												

26	312.04	311.99	312.22	312.21	312.25	312.23	312.26	312.22	312.26	312.23	312.26	312.22
25	311.52	311.33	311.78	311.58	311.82	311.63	311.84	311.65	311.83	311.65	311.83	311.62
24	311.25	311.01	311.43	311.27	311.46	311.31	311.48	311.33	311.47	311.33	311.47	311.3
23	310.99	310.76	311.19	311.04	311.22	311.09	311.23	311.12	311.23	311.11	311.23	311.09
22	310.91	310.67	311.08	310.97	311.13	311.03	311.13	311.05	311.12	311.05	311.12	311.04
21	310.93	310.67	311.11	310.99	311.16	311.05	311.15	311.07	311.15	311.07	311.15	311.05
20	310.77	310.55	310.98	310.85	311.04	310.96	311.08	310.98	311.05	310.98	311.04	310.95
19	310.72	310.48	310.99	310.8	311.06	310.96	311.07	310.97	311.06	310.97	311.06	310.92
18	310.6	310.35	310.89	310.74	310.95	310.86	310.96	310.88	310.96	310.88	310.95	310.83
17	310.52	310.19	310.95	310.72	311.02	310.91	311.03	310.93	311.02	310.93	311.02	310.88
16	310.41	310.13	310.75	310.56	310.82	310.71	310.83	310.75	310.82	310.75	310.82	310.69
15.5												
15	310.08	309.93	310.26	310.25	310.35	310.35	310.36	310.36	310.35	310.36	310.35	310.33
14.9												
14.8												
14	309.98	309.89	310.15	310.21	310.28	310.32	310.3	310.34	310.28	310.34	310.28	310.3
13	309.84	309.82	310.07	310.16	310.2	310.24	310.22	310.26	310.2	310.26	310.2	310.23
12	309.66	309.67	310.08	310.18	310.23	310.28	310.26	310.3	310.24	310.3	310.24	310.27
11	309.54	309.54	309.92	310	310.06	310.1	310.09	310.12	310.07	310.12	310.07	310.09
10.5												
10	309.26	309.25	309.49	309.52	309.57	309.58	309.57	309.59	309.57	309.59	309.56	309.57
9.9												
9.8												
9	308.9	308.89	309.09	309.12	309.16	309.16	309.16	309.16	309.15	309.16	309.14	309.13
8	307.54	307.52	307.79	307.84	308	308.06	308.06	308.07	308.04	308.07	308.04	308.06
7	306.87	306.84	307.19	307.33	307.67	307.77	307.76	307.79	307.75	307.79	307.75	307.77
6	306.61	306.59	306.92	307.05	307.36	307.52	307.57	307.71	307.46	307.74	307.55	307.65
5	306.56	306.53	306.85	306.98	307.35	307.38	307.31	307.37	307.37	307.37	307.38	307.38
4.5												
4	306.35	306.33	306.66	306.77	306.97	306.98	306.94	306.98	306.98	306.98	306.98	306.98
3	306.37	306.35	306.7	306.82	307.02	307.03	307	307.04	307.04	307.05	307.04	307.04
2.5												
2	306.31	306.29	306.62	306.69	306.81	306.81	306.8	306.82	306.82	306.84	306.82	306.83
1.9												
1.8												
1	306.18	306.17	306.48	306.54	306.63	306.63	306.63	306.65	306.63	306.66	306.64	306.64
0.31	306.04	306.01	306.48	306.56	306.66	306.66	306.66	306.68	306.67	306.7	306.68	306.68
0.3	305.85	305.82	306.26	306.35	306.44	306.45	306.45	306.46	306.45	306.47	306.45	306.45
0.29	305.76	305.73	306.13	306.21	306.3	306.3	306.3	306.31	306.3	306.33	306.31	306.31
0.285												
0.28	304.17	304.15	304.3	304.33	304.36	304.37	304.36	304.37	304.37	304.38	304.37	304.37
0.27	303.43	303.41	303.57	303.61	303.64	303.64	303.64	303.65	303.64	303.65	303.65	303.65

Tab. 17 – Livelli idrometrici su sezioni del Modello Rapolano (Ripi monte) scenari TR200

River Sta	**30_1**	**30_1**	**30_2**	**30_2**	**30_3**	**30_3**	**30_4**	**30_4**	**30_5**	**30_5**	**30_6**	**30_6**
scenario	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr	no_attr	si_attr
39	314.24	314.24	314.51	314.51	314.57	314.57	314.59	314.59	314.59	314.59	314.59	314.59
38.99	314.24	314.24	314.5	314.5	314.57	314.57	314.59	314.59	314.59	314.59	314.59	314.59
38.9												
38.8												
38	314.21	314.21	314.47	314.47	314.54	314.54	314.55	314.55	314.55	314.55	314.55	314.55
37	314.13	314.13	314.37	314.37	314.42	314.42	314.43	314.43	314.43	314.43	314.43	314.43
36	313.92	313.92	314.12	314.12	314.16	314.16	314.18	314.18	314.19	314.18	314.19	314.18
35	313.76	313.76	313.89	313.89	313.97	313.95	314.04	314	314.05	314.02	314.06	314.03
34	313.71	313.71	313.87	313.87	313.94	313.92	314.01	313.98	314.03	314	314.03	314.01
33.5												
33	313.53	313.53	313.6	313.6	313.65	313.64	313.7	313.68	313.72	313.7	313.72	313.7

32.9												
32.8												
32	313.48	313.48	313.55	313.55	313.6	313.59	313.65	313.63	313.67	313.64	313.67	313.64
31	313.39	313.39	313.46	313.46	313.5	313.49	313.55	313.53	313.58	313.54	313.58	313.55
30	313.37	313.37	313.44	313.44	313.49	313.48	313.54	313.51	313.56	313.53	313.56	313.53
29.5												
29	313.33	313.33	313.38	313.38	313.42	313.41	313.45	313.44	313.46	313.45	313.46	313.45
28.9												
28.8												
28	313.35	313.35	313.41	313.41	313.44	313.43	313.48	313.46	313.5	313.48	313.5	313.48
27.5												
27	312.01	312.01	312.13	312.13	312.18	312.17	312.23	312.2	312.23	312.21	312.24	312.21
26.9												
26.8												
26	311.73	311.72	311.86	311.87	311.89	311.88	311.96	311.93	311.97	311.93	311.96	311.92
25	311.08	311.08	311.19	311.19	311.31	311.23	311.39	311.26	311.42	311.27	311.43	311.28
24	310.74	310.74	310.88	310.88	311.01	310.89	311.12	310.96	311.13	310.94	311.13	310.95
23	310.49	310.48	310.62	310.61	310.76	310.64	310.87	310.68	310.89	310.68	310.9	310.69
22	310.31	310.31	310.46	310.46	310.65	310.48	310.81	310.53	310.81	310.54	310.82	310.54
21	310.33	310.32	310.46	310.46	310.66	310.48	310.81	310.54	310.83	310.54	310.84	310.54
20	310.23	310.23	310.35	310.36	310.54	310.39	310.67	310.45	310.68	310.45	310.69	310.45
19	310.15	310.15	310.28	310.28	310.49	310.31	310.61	310.4	310.62	310.38	310.62	310.38
18	309.96	309.96	310.12	310.11	310.34	310.18	310.47	310.24	310.47	310.24	310.47	310.24
17	309.82	309.82	309.96	309.96	310.22	310.03	310.36	310.09	310.36	310.09	310.36	310.09
16	309.74	309.74	309.87	309.86	310.12	309.96	310.27	309.99	310.27	310	310.27	310.01
15.5												
15	309.55	309.55	309.66	309.66	309.84	309.72	309.97	309.8	309.99	309.82	310	309.83
14.9												
14.8												
14	309.4	309.4	309.53	309.53	309.73	309.61	309.87	309.73	309.88	309.77	309.9	309.78
13	309.28	309.28	309.41	309.41	309.6	309.52	309.74	309.66	309.75	309.7	309.76	309.71
12	309.06	309.06	309.2	309.2	309.38	309.33	309.55	309.5	309.57	309.54	309.58	309.56
11	308.92	308.92	309.08	309.08	309.25	309.21	309.47	309.39	309.49	309.44	309.5	309.45
10.5												
10	308.81	308.81	308.9	308.91	309.05	309.02	309.17	309.12	309.18	309.15	309.19	309.16
9.9												
9.8												
9	308.54	308.54	308.62	308.62	308.73	308.71	308.82	308.78	308.83	308.8	308.84	308.81
8	307.12	307.12	307.2	307.2	307.33	307.3	307.44	307.4	307.46	307.43	307.46	307.43
7	306.28	306.28	306.41	306.41	306.58	306.55	306.74	306.68	306.76	306.73	306.77	306.74
6	306.06	306.06	306.18	306.18	306.34	306.31	306.49	306.44	306.51	306.48	306.52	306.49
5	306.02	306.02	306.15	306.15	306.28	306.26	306.44	306.39	306.45	306.43	306.46	306.44
4.5												
4	305.87	305.87	305.95	305.95	306.1	306.07	306.24	306.19	306.27	306.23	306.28	306.25
3	305.87	305.87	305.94	305.94	306.11	306.07	306.26	306.22	306.29	306.25	306.3	306.27
2.5												
2	305.77	305.77	305.88	305.88	306.06	306.03	306.22	306.17	306.24	306.21	306.25	306.23
1.9												
1.8												
1	305.7	305.7	305.76	305.76	305.96	305.93	306.12	306.08	306.13	306.11	306.14	306.12
0.31	305.5	305.5	305.51	305.51	305.7	305.67	305.91	305.84	305.94	305.89	305.96	305.92
0.3	305.31	305.31	305.31	305.31	305.52	305.48	305.71	305.64	305.75	305.7	305.77	305.73
0.29	305.26	305.26	305.27	305.27	305.46	305.42	305.63	305.56	305.66	305.62	305.68	305.64
0.285												
0.28	303.99	303.99	303.99	303.99	304.06	304.04	304.12	304.1	304.13	304.12	304.14	304.13
0.27	303.22	303.22	303.22	303.22	303.3	303.29	303.38	303.35	303.39	303.37	303.4	303.38

Tab. 18 – Livelli idrometrici su sezioni del Modello Rapolano (Ripi monte) scenari TR30

Water level		200_1	200_2	200_3	30_1	30_2	30_3
ripi 0	28	304.237	304.475	304.506	304.042	304.037	304.114
ripi 49.11	27	303.937	304.281	304.325	303.676	303.588	303.668
ripi 49.8506	confl	303.936	304.275	304.319	303.675	303.588	303.666
ripi 51.11	26.99	303.929	304.26	304.304	303.67	303.583	303.66
ripi 82.92	26	303.8	304.135	304.176	303.547	303.463	303.541
ripi 89.12	25	303.422	303.629	303.663	303.252	303.199	303.231
ripi 121.34	24	302.735	303.061	303.118	302.429	302.33	302.372
ripi 128.94	23	302.311	302.425	302.45	302.149	302.093	302.098
ripi 174.92	22	300.919	300.966	300.986	300.8	300.755	300.737
ripi 239.45	21	297.898	297.922	297.968	297.767	297.725	297.704
ripi 271.34	20	297.007	297.03	297.245	296.646	296.546	296.502
ripi 272.635	confl	297.01	297.029	297.283	296.598	296.502	296.462
ripi 274.23	19	296.948	296.967	297.176	296.576	296.48	296.44
ripi 292.93	18	296.627	296.625	296.735	296.369	296.301	296.269
ripi 374.04	17	295.15	295.168	295.219	295.007	294.971	294.959
ripi 388.48	16	294.78	294.787	294.807	294.722	294.709	294.704
ripi 395.24	15	291.544	291.577	291.647	291.297	291.256	291.235
ripi 448.51	14	290.601	290.643	290.686	290.274	290.318	290.29
ripi 457.96	13	289.338	289.362	289.379	289.149	289.184	289.17
ripi 472.15	12	288.512	288.542	288.557	288.249	288.291	288.274
ripi 619.02	11	285.185	285.225	285.249	284.983	285.014	285.001
ripi 674.26	10	283.258	283.389	283.515	282.928	283.007	283.013
ripi 675.26	9.9	283.245	283.382	283.517	282.91	282.991	282.998
ripi 725.94	9.1	283.052	283.211	283.349	282.671	282.781	282.796
ripi 726.94	9	283.019	283.181	283.32	282.638	282.749	282.764
ripi 749.67	8	282.921	283.091	283.231	282.526	282.651	282.668
ripi 792.32	confl	282.186	282.418	282.549	281.821	281.963	282.009
ripi 912.44	7	279.96	280.192	280.319	279.582	279.753	279.815
pallottolo 0	4	305.692	305.648	305.615	305.59	305.552	305.526
pallottolo 33.49	3.6	305.582	305.544	305.513	305.49	305.453	305.427
pallottolo 44.87	3.4	304.804	304.75	304.711	304.682	304.635	304.597
pallottolo 62.99	3	304.673	304.631	304.598	304.571	304.525	304.484
pallottolo 96.55	2.1	304.608	304.574	304.544	304.52	304.476	304.438
pallottolo 107.95	1.9	304.03	304.275	304.319	303.876	303.838	303.81
pallottolo 137.31	1	303.937	304.275	304.319	303.676	303.589	303.666
pallottolo 140.643	confl	303.936	304.275	304.319	303.675	303.588	303.666
collevecchio 0	4	303.595	303.609	303.578	303.373	303.384	303.35
collevecchio 16.852	interp*	303.223	303.234	303.21	303.032	303.043	303.01
collevecchio 33.704	interp*	302.835	302.842	302.826	302.689	302.698	302.67
collevecchio 50.556	interp*	302.429	302.434	302.423	302.329	302.335	302.315
collevecchio 67.408	interp*	301.992	301.995	301.989	301.934	301.938	301.926
collevecchio 84.26	3	301.498	301.499	301.496	301.468	301.47	301.464
collevecchio 101.769	interp*	300.822	300.823	300.822	300.806	300.808	300.804
collevecchio 119.277	interp*	300.216	300.217	300.215	300.2	300.201	300.198
collevecchio 136.786	interp*	299.639	299.642	299.635	299.605	299.607	299.603
collevecchio 154.294	interp*	299.107	299.112	299.099	299.037	299.04	299.032
collevecchio 171.803	interp*	298.603	298.612	298.59	298.497	298.5	298.491
collevecchio 189.311	interp*	298.306	298.319	298.283	298.122	298.127	298.11
collevecchio 206.82	2.1	298.296	298.31	298.271	298.086	298.093	298.073
collevecchio 228.62	1.9	297.574	297.574	297.552	297.461	297.464	297.454

collevecchio 237.8	1.1	297.509	297.509	297.482	297.384	297.388	297.378
collevecchio 243.7	0.9	297.082	297.066	297.219	296.979	296.98	296.977
collevecchio 246.2	0.8	296.975	297.001	297.223	296.653	296.616	296.611
collevecchio 252.419	confl	297.01	297.029	297.283	296.598	296.55	296.545
madonnaacolle 0	5	299.776	299.866	299.873	299.539	299.635	299.64
madonnaacolle 18.452	interp*	299.309	299.392	299.397	299.062	299.161	299.167
madonnaacolle 36.904	interp*	298.873	298.963	298.969	298.599	298.708	298.715
madonnaacolle 55.356	interp*	298.516	298.618	298.625	298.193	298.326	298.334
madonnaacolle 73.808	interp*	298.278	298.39	298.398	297.915	298.073	298.082
madonnaacolle 92.26	4.1	298.184	298.277	298.284	297.84	297.999	298.008
madonnaacolle 95.95	3.9	297.58	297.689	297.696	297.244	297.373	297.382
madonnaacolle 122.087	interp*	297.138	297.242	297.249	296.796	296.927	296.936
madonnaacolle 148.224	interp*	296.65	296.736	296.742	296.346	296.468	296.476
madonnaacolle 174.361	interp*	296.147	296.214	296.218	295.895	296.002	296.009
madonnaacolle 200.499	interp*	295.635	295.687	295.691	295.443	295.525	295.531
madonnaacolle 226.636	interp*	295.139	295.192	295.196	295	295.053	295.056
madonnaacolle 252.773	interp*	294.859	294.921	294.926	294.716	294.766	294.769
madonnaacolle 278.91	3.2	294.815	294.868	294.871	294.696	294.739	294.742
madonnaacolle 281.48	3.1	294.826	294.88	294.884	294.702	294.747	294.75
madonnaacolle 293.01	2.9	293.466	293.521	293.524	293.327	293.376	293.379
madonnaacolle 318.543	interp*	292.417	292.469	292.472	292.298	292.341	292.343
madonnaacolle 344.077	interp*	291.403	291.453	291.457	291.289	291.329	291.332
madonnaacolle 369.61	interp*	290.394	290.442	290.445	290.284	290.323	290.325
madonnaacolle 395.143	interp*	289.386	289.434	289.437	289.279	289.316	289.319
madonnaacolle 420.677	interp*	288.368	288.412	288.415	288.268	288.304	288.306
madonnaacolle 446.21	2	287.231	287.264	287.266	287.141	287.185	287.187
madonnaacolle 448.21	1.2	286.906	286.946	286.949	286.826	286.853	286.855
madonnaacolle 458.59	1.1	284.731	284.889	284.901	284.393	284.508	284.516
madonnaacolle 492.29	0.9	282.663	282.747	282.777	282.481	282.542	282.548
madonnaacolle 494.3	0.8	282.645	282.73	282.771	282.457	282.521	282.528
madonnaacolle 538.921	confl	282.411	282.484	282.549	282.253	282.306	282.312

Tab. 18 – Livelli idrometrici su sezioni del Modello Rapolano (Ripi valle e affluenti) scenari TR30 e TR200

3.3.5. Considerazioni finali

I risultati del *Modello Rapolano* propongono una mappatura di pericolosità molto più contenuta, in termini di estensione areale, rispetto alle precedenti versioni dello studio.

Ciò è legato agli approfondimenti idrologici effettuati sul bacino di monte del Borro Ripi, in base ai quali si stima una forte attenuazione delle portate di piena rispetto ai valori precedentemente ipotizzati, per effetto delle ingenti perdite dovute alla presenza di inghiottitoi, alle possibili esondazioni fuori bacino ed altre cause probabilmente non ancora note. Ma le analisi compiute appaiono fondate in relazione ai dati ed alle testimonianze a disposizione.

L'area urbana di Rapolano risulta quindi interessata solo da allagamenti per eventi poco frequenti (gli allagamenti per eventi frequenti sono circoscritti alle zone a monte dell'abitato e nella campagna oltre il raccordo autostradale Siena-Bettolle), e limitati ad un'area piuttosto ridotta, ovvero quella in prossimità delle terme "Antica Querciolaia" e del "Parco dell'Acqua".

Il potenziale sormonto della linea ferroviaria a monte dell'area termale e della strada comunale è in ogni caso confermato, come anche l'interessamento del rilevato ferroviario a monte del raccordo autostradale.

Permane incertezza circa il grado di protezione del sottopasso della linea ferroviaria; dalle modellazioni esso risulterebbe allagabile, e quindi una potenziale via di sfogo delle acque verso l'area urbana. Le perimetrazioni tengono quindi conto di questa eventualità.

Gli studi confermano anche le criticità in corrispondenza degli attraversamenti stradali dei 3 affluenti modellati, tutti sottodimensionati.

Il fenomeno di sormonto della sede stradale è noto, e frequente, per il Borro Madonna a Colle (dei 3, il corso d'acqua più significativo), ma le modellazioni evidenziano problematiche anche per il Fosso Pallottolo ed il Borro Colle Vecchio, ed in particolare per quest'ultimo, caratterizzato da una sezione d'alveo a tratti quasi inesistente.

Si ricorda, per quanto esterno al tratto analizzato, che anche l'attraversamento della Via Provinciale Nord del Borro Ripi abbia in passato creato alcuni problemi di tracimazione sulla sede stradale per parziale occlusione della luce. In questo punto sono state confermate le perimetrazioni di P.G.R.A. che già tenevano conto di questa eventualità.

In generale, tutto il tratto fluviale del Borro Ripi a valle degli impianti termali è soggetto a costanti depositi calcarei che impongono una regolare manutenzione e pulizia degli alvei.

4. VERIFICHE SUL FIUME ARBIA

Come anticipato in **Premessa**, nell'ambito del presente lavoro sono stati acquisiti i risultati dello studio idraulico sul Torrente Arbia, da valle della confluenza con il Torrente Bornia a valle della confluenza con il Torrente Tressa, redatto a supporto del Piano Operativo del Comune di Siena sotto il coordinamento del Distretto Appennino Settentrionale (Progeo Engineering srl, 2020), come indicato dal Distretto Appennino Settentrionale stesso in occasione della riunione di coordinamento del 17/06/2020 già citata in precedenza, così come trasmessi da parte del Comune di Siena in data 28/05/2021.

Analogamente a quanto prodotto nelle verifiche idrologico-idrauliche di cui ai capitoli precedenti, anche lo studio sul Torrente Arbia ha prodotto mappe della pericolosità da alluvione (disponibili in formato *shp*), mappe dei battenti e mappe della velocità della corrente (disponibili in formato *raster*).

Questi dati sono stati integralmente importati nelle nuove carte di quadro conoscitivo del Piano Strutturale Intercomunale, senza alcuna modifica.

Come nei casi precedenti, è stato eseguito il raccordo tra le nuove perimetrazioni del Torrente Arbia e le aree a pericolosità da alluvione del P.G.R.A. non modificate.

Del materiale fornito non facevano parte le mappature della magnitudo idraulica, che sono state quindi ricostruite secondo i criteri della L.R. 41/2018.

Grazie al nuovo studio sul Torrente Arbia è stato aggiornato il quadro di pericolosità da alluvione per l'abitato di Arbia.

5. ELABORATI GRAFICI DEL PIANO STRUTTURALE

Le cartografie di quadro conoscitivo e di progetto del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Asciano e Rapolano Terme rappresentano il territorio complessivo mediante 7 quadranti alla scala 1:10.000.

Gli elaborati grafici prodotti nell'ambito dello studio idrologico-idraulico di supporto al P.S.I. sono quelli previsti dal D.P.G.R. 5R/2020, ed in particolare:

- **G.14** – Carta della pericolosità da alluvioni (redatta su tutto il territorio intercomunale)
- **G.15** – Carta dei battenti (redatta solo sui quadranti I-III-IV-V, ove disponibili i battenti all'esito dei nuovi studi)
- **G.16** – Carta della velocità della corrente (solo quadranti I-III-IV-V)
- **G.17** – Carta della magnitudo idraulica (solo quadranti I-III-IV-V)
- **G.18** – Carta delle aree presidiate da sistemi arginali, comprensiva delle aree di fondovalle fluviale (solo quadrante I).

Per quanto riguarda quest'ultimo elaborato di specifica che, sul territorio in esame, non sono presenti sistemi arginali riconoscibili e/o censiti, se non due tratti non particolarmente estesi di arginatura in sinistra idraulica del Torrente Arbia a valle dell'abitato di Arbia (da censimento Regione Toscana 2015).

Percorrendo il territorio, soprattutto nelle aree oggetto di studio, sono forse individuabili altre strutture arginali o simil-arginali con funzione di contenimento e difesa, ma lunghezza estremamente ridotto, per protezione strettamente locale.

Per questo motivo la Carta delle aree presidiate da sistemi arginali, richiesta dal D.P.G.R. 5R/2020, risulta, per i territori di Asciano e Rapolano Terme, quasi priva di contenuti.

Ci si è dunque limitati a definire tali aree solo nel Quadrante I, all'interno del quale ricadono le arginature di cui sopra, delimitandole secondo le modalità stabilite sempre dal D.P.G.R. 5R/2020 (300 mt dal piede dell'argine – in questo caso, 300 mt dalla traccia dell'argine disponibile nel Database (*GC_Bacino_Toscana_Sud_e Opere_Marittime.rar*).

Tale elaborato è stato integrato anche con l'individuazione delle aree di fondovalle fluviale, che sono state fatte corrispondere alle attuali perimetrazioni di pericolosità da alluvione bassa (P1) del P.G.R.A.

Vista la corrispondenza tra mappatura delle aree di fondovalle fluviale e quella delle aree a pericolosità da alluvione di cui alle **Tavv. G.14**, (P1+P2+P3) e l'assenza di sistemi arginali, nell'elaborato **G.18** è stata omessa la rappresentazione degli altri quadranti.

6. ALLEGATI ALLA RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

Come più volte richiamato nella presente relazione, sono forniti, in un unico elaborato, alcuni Allegati grafici di supporto alla trattazione.

Tale elaborato consta di 21 tavole grafiche (tutte in formato A3, a varie scale) e della graficizzazione di tutte le sezioni idrauliche utilizzate nelle modellazioni, secondo il formato del software utilizzato. Le sezioni riportano anche i valori di scabrezza assegnati; quelle relative al modello idraulico del Borro Ripi tratto di monte (elaborato con il software HEC RAS) riportano anche i livelli idrometrici risultanti dalle modellazioni effettuate, per le altre invece i livelli idrometrici sono disponibili nei tabulati mostrati in precedenza.