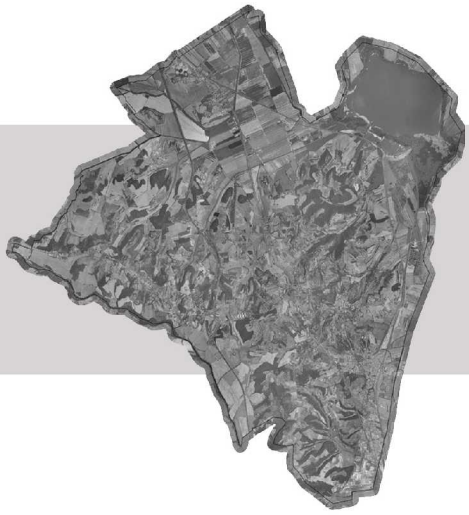
COMUNE DELLA CITTÀ DI CHIUSI

Provincia di Siena



Piano Strutturale

Adottato con Del.C.C. n. 118 del 21/12/2011
modificato in seguito ad osservazioni
Approvato con Del.C.C. n. ____ del _____

QUADRO CONOSCITIVO

Idraulica

Relazione Idrologico-Idraulica I01-1

Luglio 2012

GRUPPO DI LAVORO

Sindaco e Assessore all'Urbanistica: Stefano Scaramelli

Responsabile del procedimento: Luisa Viti

Garante della comunicazione: Leonardo Mazzini

Coordinamento generale: Andrea Filpa

Ufficio di Piano: Luisa Viti (coordinamento), Laura Fabiani,
Emiliano Fastelli, Gianfranco Gobbini, Luciano Scricciolo

Urbanistica: Paola Loglisci

Cartografie storiche: Claudio Greppi, Paola Jervis

Beni archeologici: Mario Iozzo

Ecologia vegetale e del paesaggio: Carlo Blasi, Vincenzo De Dominicis
collaboratori: Chiara Centi, Riccardo Copiz, Antonio Gabellini, Leopoldo Michetti, Laura Zavattero

Economia territoriale: Giuliano Bianchi
collaboratori: Mario De Pascale, Francesco Lapiana

Geologia: Stefania Mencacci, Andrea Massi, Elisa Giommarelli

Mobilità: Massimo Ferrini TAGES s.c.r.l.

SIT Sistema Informativo Geografico: Paola Loglisci, Emiliano Fastelli

Studio di incidenza sui siti Natura 2000: Silvia Arnofi, Serena Carloni

Valutazioni integrate: Silvia Arnofi

Verifiche idrauliche: Lorenzo Castellani

INDICE

INDICE 1
PREMESSA 3
1 AREALE ED IDROGRAFIA DI INDAGINE: PROBLEMATICHE SPECIFICHE ED APPROCCIO METODOLOGICO 5
1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E QUADRO CONOSCITIVO UFFICIALE 5
1.1.1 Legge Regionale 3 gennaio 2005, n. 1 [e s.m.i.] 5
1.1.2 Il Piano di Indirizzo Territoriale [P.I.T._05] 5
1.1.3 I Piani di Assetto Idrogeologico del F. Arno e F. Tevere [P.A.I._2005/2006] 5
1.1.4 Il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena 6
1.2 OBIETTIVI E METODOLOGIA 6
1.2.1 Domini di analisi 6
1.2.2 Modellistica idrologico-idraulica 7
2 SCENARI IDROLOGICI 8
3 MODELLAZIONI IDRAULICHE 14
3.1 SISTEMI IDROGRAFICI 14
3.1.1 Caratteristiche essenziali del modello idraulico 14
3.1.1.1 Struttura del software, equazioni ed algoritmi di base 15
3.1.2 Continuità e quantità di moto 15
3.1.2.1 Correnti miste 16
3.1.2.2 Equazioni di base 17
3.1.2.3 Sezioni ordinarie 18
3.1.2.4 Briglie e traverse 19
3.1.2.5 Ponti 19
3.1.2.6 Connessioni idrauliche tra diversi elementi funzionali 20
3.1.2.7 Settaggi principali 21
3.1.3 Definizione della geometria 21
3.1.3.1 Verifiche preliminari di coerenza e stima qualitativa delle accuratezze 23
3.1.3.1.1 Confronto tra rilievi 23
3.1.3.1.2 Confronto CTR_2k-DEM_Idra 29
3.1.3.2 T. Montelungo [TRMLG] 30
3.1.3.3 C.le Chianetta [CLCNT] 32
3.1.3.4 T. Parce [TRPRC] 43
3.1.3.5 C.le Circondariale 48
3.1.4 Condizioni iniziali ed al contorno 48
3.1.5 Calibrazioni 50
3.1.5.1 L'evento di agosto 2006 a Chiusi Scalo 50
3.1.5.2 L'evento di novembre 2000 a Montallese 67
3.1.6 Criticità 68
3.1.6.1 Il T. Montelungo 69
3.1.6.1.1 Gli affluenti 74

3.1.6.2 Il C.le Chianetta-F.so Fargnia....80
3.1.6.2.1 Gli affluenti....88
3.1.6.3 Il T. Parce....95
3.1.6.4 Altre non analizzate....99
3.2 TRACCIAMENTO E CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI....99
3.2.1 Gli eventi storici....101
3.2.2 La perimetrazione ai sensi P.A.I. 102
3.2.2.1 F. Arno....102
3.2.2.2 F. Tevere....102
3.3 SISTEMI FOGNARI....103
3.3.1 Caratteristiche essenziali del modello idraulico....103
3.3.2 Definizione della geometria....104
3.3.3 Condizioni iniziali ed al contorno....105
3.3.4 L'evento del 25 agosto 2006....105
3.3.5 Criticità e pericolosità....106
3.3.5.1 Chiusi Scalo....106
3.3.5.2 Le Biffe....107
3.3.5.3 Montallese....107
4 FATTIBILITÀ AI FINI IDRAULICI: CRITERI GENERALI E PRIME INDICAZIONI SUGLI INTERVENTI....108
4.1 CHIUSI SCALO....108
4.1.1 Sistemi idrografici....109
4.1.1.1 T. Montelungo....109
4.1.1.2 C.le Chianetta....110
4.1.1.3 T. Tresa....111
4.1.2 Sistemi fognari 1÷5 e 12....111
4.2 LE BIFFE....113
4.2.1 Sistemi idrografici....113
4.2.1.1 F.so Tarantello....113
4.2.1.2 F.so Cardete....114
4.2.1.3 F.so Tombarelle....114
4.2.2 Sistemi fognari 6÷11....114
4.3 MONTALLESE....115
4.3.1 Sistemi idrografici....115
4.3.1.1 T. Parce....115
4.3.1.2 C.le Circondariale....116
4.3.2 Sistema fognario 13....116

PREMESSA

La presente analisi idrologico-idraulica è redatta a supporto del nuovo **P**iano **S**trutturale del Comune della Città di Chiusi, in base a quanto disposto dal **D.P.G.R. 27 aprile 2007, n. 26/R** "***Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della Legge Regionale 3 gennaio 2005, n. 1*** **(Norme per il governo del territorio)** ***in materia di indagini geologiche***" e tenuto conto dell'*art*. 36 della *Disciplina del Piano*, *All*. A – *Elab*. 2 del **P***iano d'***I***ndirizzo* **T***erritoriale* 2005-2010 della Regione Toscana, approvato con D.C.R. n. 72 del 24/07/2007 e pubblicati sul B.U.R.T. n. 42 del 17 ottobre 2007.

Essendo il dominio idrografico oggetto di verifica parte ricadente nel bacino del F. Arno e parte in quello del F. Tevere, le medesime analisi si conformano -ai sensi del punto B.4 dell'*All*. A del D.P.G.R. n. 26/R/07- anche a quanto previsto dalle *Norme di Attuazione e Allegati* del Piano di Bacino del **Fiume Arno**, Stralcio "*Assetto Idrogeologico*", approvato con D.P.C.M. 06/05/2005 -con particolare riferimento agli *artt.* 27 e 32 ed all'Allegato 2 "*Indicazioni per l'adeguamento degli strumenti urbanistici al* PAI *e criteri per la redazione di proposte di integrazioni e modifiche*"- e dalle *Norme Tecniche di Attuazione* del Piano di Bacino del **Fiume Tevere**, Stralcio per l'*Assetto Idrogeologico* PS6, approvato con D.P.C.M. 10/11/2006 -con particolare riferimento agli *artt.* 27 e 43 ed all'Allegato "*Procedura per la definizione delle fasce fluviali e delle zone di rischio*".

Con Decr. S.G. n. 30/2010 l'**Autorità di Bacino del F. Arno** ha approvato l'aggiornamento del quadro conoscitivo del P.A.I. a livello di dettaglio, mentre l'**Autorità di Bacino del F. Tevere** ha [co-]approvato in linea tecnica il presente studio -quale approfondimento del precedente "*Studio per la redazione delle mappe di allagabilità nel reticolo idrografico minore del comprensorio di bonifica della Val di Chiana Romana*" [*C.B.C.R.*, 2004] con verbale di riunione del 20/06/2011 del *Gruppo di Lavoro* per l'esame e la verifica degli studi relativi alle *"Mappe di allagabilità finalizzate all'individuazione del rischio idraulico del reticolo idrografico minore del F. Tevere"*, istituito presso la Direzione Risorse Umbria-*Servizio Risorse Idriche e Rischio Idraulico* della *Regione Umbria*.

Nella stessa occasione è stato concordato tra *R. Toscana-R. Umbria-A.b.A.-A.b.T.* di dare seguito alla proposta di revisione dell'attuale limite amministrativo tra i due bacini -in quanto incongruenti fisiograficamente e tra loro[1], particolarmente nel territorio di Chiusi-, con relativa definizione della *c.d. Area di Intesa*. Ciononostante, le perimetrazioni di pericolosità idraulica -benché riportate nelle tavole grafiche allegate in maniera idraulicamente completa, in attesa di determinazioni definitive da parte degli *Enti* competenti- vanno applicate con riferimento ai limiti ufficiali vigenti al momento dell'inserimento delle stesse nei relativi P.A.I.

Gli elaborati di analisi, oltre alla presente *Relazione*, comprendono i seguenti allegati grafico-numerici e fotografici:

[1]Con sovrapposizioni e "zone bianche" non appartenenti a nessuno dei due bacini (*es.* area stazione FF.S. di Chiusi Scalo).

QUADRO CONOSCITIVO

I01-1: Relazione Idrologico-Idraulica
I01-2: Risultati Modellazione Idrologica
I01-3A: Risultati Modellazione Idraulica Corsi d'Acqua **- T. PARCE ed affluenti**
I01-3B: Risultati Modellazione Idraulica Corsi d'Acqua - **T. MONTELUNGO ed affluenti**
I01-3C: Risultati Modellazione Idraulica Corsi d'Acqua - **C.LE CHIANETTA ed affluenti**
I01-4A: Risultati Modellazione Idraulica Fognatura Meteorica - **CHIUSI STAZIONE-LE BIFFE**
I01-4B: Risultati Modellazione Idraulica Fognatura Meteorica – **MONTALLESE**
I01-5: Allegato Fotografico

I02-1: Bacini e Tratti Idrografici - **T. PARCE**, *scala 1: 10 000*
I02-2: Bacini e Tratti Idrografici - **T. MONTELUNGO**, *scala 1: 5 000*
I02-3: Bacini e Tratti Idrografici - **C.LE CHIANETTA**, *scala 1: 10 000*

I03: Quadro di Sintesi degli Elementi di Pericolosità Idraulica da Corsi d'Acqua, *scala 1: 10 000*
I03-1: Elementi di Pericolosità Idraulica da Corsi d'Acqua- **MONTALLESE**, *scala 1: 5 000*
I03-2: Elementi di Pericolosità Idraulica da Corsi d'Acqua - **CHIUSI STAZIONE-LE BIFFE**, *scala 1: 5 000*
I03-3: Elementi di Pericolosità Idraulica da Corsi d'Acqua- **CHIUSI STAZIONE**, *scala 1: 2 000*
I03-4: Elementi di Pericolosità Idraulica da Corsi d'Acqua - **BUTTERONE**, *scala 1: 5 000*

I04-1: Elementi di Pericolosità Idraulica da Fognatura - **MONTALLESE NORD**, *scala 1: 1 000*
I04-2: Elementi di Pericolosità Idraulica da Fognatura - **MONTALLESE SUD**, *scala 1: 1 000*
I04-3: Elementi di Pericolosità Idraulica da Fognatura - **CHIUSI STAZIONE NORD-EST**, *scala 1: 1 000*
I04-4: Elementi di Pericolosità Idraulica da Fognatura - **CHIUSI STAZIONE NORD-OVEST**, *scala 1: 1 000*
I04-5: Elementi di Pericolosità Idraulica da Fognatura - **CHIUSI STAZIONE SUD**, *scala 1: 1 000*
I04-6: Elementi di Pericolosità Idraulica da Fognatura - **CHIUSI LE BIFFE**, *scala 1: 1 000*

PROGETTO DI PIANO

PI01: Quadro di Sintesi della Pericolosità Idraulica da Corsi d'Acqua ex D.P.G.R. 27/04/07 n. 26/R - *scala 1: 10 000*
PI01-1: Pericolosità Idraulica da Corsi d'Acqua ex D.P.G.R. 27/04/07 n. 26/R - **MONTALLESE**, *scala 1: 5 000*
PI01-2: Pericolosità Idraulica da Corsi d'Acqua ex D.P.G.R. 27/04/07 n. 26/R - **CHIUSI STAZIONE-LE BIFFE**, *scala 1: 5 000*
PI02: Quadro di Sintesi della Pericolosità Idraulica Complementare - *scala 1: 10 000*
PI02-1: Pericolosità Idraulica Complementare - **MONTALLESE**, *scala 1: 5 000*
PI02-2: Pericolosità Idraulica Complementare - **CHIUSI STAZIONE-LE BIFFE**, *scala 1: 5 000*
PI03: Quadro di Sintesi della Pericolosità Idraulica ex P.A.I. A.b.A - *scala 1: 10 000*
PI03-1: Pericolosità Idraulica ex P.A.I. A.b.A - **MONTALLESE**, *scala 1: 5 000*
PI03-2: Pericolosità Idraulica ex P.A.I. A.b.A - **CHIUSI STAZIONE-LE BIFFE**, *scala 1: 5 000*
PI04: Quadro di Sintesi delle Fasce Fluviali ex P.A.I. A.b.T. - *scala 1: 10 000*
PI04-1: Fasce Fluviali ex P.A.I. A.b.T. - **CHIUSI STAZIONE-LE BIFFE**, *scala 1: 5 000*
PI04-2: Fasce Fluviali ex P.A.I. A.b.T. - **BUTTERONE**, *scala 1: 5 000*
PI05-1: Sintesi Preliminare dei Principali Interventi di Mitigazione - **MONTALLESE**,- *scala 1: 5 000*
PI05-2: Sintesi Preliminare dei Principali Interventi di Mitigazione - **CHIUSI STAZIONE-LE BIFFE**, *scala 1: 5 000*

1 AREALE ED IDROGRAFIA DI INDAGINE: PROBLEMATICHE SPECIFICHE ED APPROCCIO METODOLOGICO

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E QUADRO CONOSCITIVO UFFICIALE

Ai sensi della normativa vigente, sinteticamente richiamata di seguito, i principali quadri conoscitivi ufficiali di riferimento sono gli elaborati/strati informativi di supporto ai P.A.I. A.b.A. (2005) e A.b.T. (2006), gli strati informativi della Regione Toscana e la *Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana* [*PIN-R.T.*, 1996 e s.m.i.]. Altri documenti ufficiali minori verranno citati ove di pertinenza.

Per il dettaglio completo della normativa di riferimento si rimanda allo specifico articolato di N.T.A.

L'idrografia di riferimento è l'archivio del *Sistema Acque Superficiali* della Regione Toscana -ovvero il reticolo cartografato su CTR in scala 1:10.000- integrato su base CTR 1:2.000.

1.1.1 Legge Regionale 3 gennaio 2005, n. 1 [e s.m.i.]

L'***All. A* "*Direttive per le indagini geologico-tecniche***" al *D.P.G.R. 27 aprile 2007, n. 26/R* "*Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche*", costituisce il principale riferimento normativo per le finalità del presente studio.

Esso, limitatamente agli aspetti idraulici, si intende qui integralmente richiamato.

1.1.2 Il Piano di Indirizzo Territoriale [P.I.T._05]

I corsi d'acqua nel Comune di Chiusi riportati nell'elenco di *Allegato al Testo* n. 4 del 3. *Quadro Conoscitivo* e la relativa classificazione *ex* art. 36 della 2. *Disciplina* del Piano del PIT 2005-2010 sono:

- Torrente Parce – SI2742
- Fosso Tagliate o Monico – SI1810
- Fosso di Montelungo – SI1438
- Torrente Tresa – SI2911.

1.1.3 I Piani di Assetto Idrogeologico del F. Arno e F. Tevere [P.A.I._2005/2006]

Per il territorio di Chiusi facente parte del bacino del F. Arno le aree soggette a pericolosità idraulica sono perimetrate a livello di sintesi (1:25.000).

Per la parte rientrante nel bacino del F. Tevere non vi sono perimetrazioni vincolanti, sebbene sia stato acquisito al quadro conoscitivo lo studio *C.b.C.R.* (2004).

Le N.T.A. dei due P.A.I. fanno riferimento a fasce di pericolosità diverse, sia in termini di tempi di ritorno sia di elementi di pericolosità.

Non sussistono nell'areale di indagine aree già vincolate per interventi strutturali di prevenzione né previsioni di altro tipo.

1.1.4 Il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Siena

Visti quadro conoscitivo, progetto dipiano, normative e specifiche tecniche di settore idraulico del nuovo P.T.C.P. adottato dal *Consiglio Provinciale* di Siena il 17/03/2010, non si rileva nulla di significativo ai fini in oggetto.

1.2 OBIETTIVI E METODOLOGIA

Obiettivo del presente lavoro è la determinazione analitica, con dettaglio coerente alle normative di riferimento già citate, degli elementi di pericolosità idraulica eventualmenti sussistenti allo stato attuale nelle principali aree urbanizzate ed urbanizzabili del territorio comunale di Chiusi.

I soggetti di pericolosità presi in esame sono sia il sistema idrografico sia la rete fognaria meteorica.

La metodologia adottata si fonda su pre-requisiti di omogeneità e coerenza (idrologica), consistenza con gli eventi storici, con particolare riferimento a quello del 25 agosto 2006, e confronto critico con la principale documentazione tecnica ufficiale disponibile [*A.b.A.*, *A.b.T.*, *C.b.C.R.*, *A.C.*, ...].

1.2.1 Domini di analisi

I domini delle analisi di dettaglio sono essenzialmente centrati sulle frazioni di Chiusi Scalo-Le Biffe e Montallese e sono di tipo sia idrografico sia fognario meteorico. Essi coprono territori idraulicamente variegati, sia dal punto di vista tecnico che amministrativo (competenze).

Il dominio del sistema di drenaggio naturale riguarda i bacini di T. Montelungo e T. Parce (F. Arno) e del C.le Chianetta (F. Tevere). Dal punto di vista idrografico, dei bacini di T. Montelungo e C.le Chianetta sono oggetto di analisi anche tutti i principali affluenti, mentre del T. Parce la sola asta principale ed il tratto termianle del T. Monaco.

La fognatura analizzata è invece l'intera rete di Chiusi Scalo-Le Biffe e Montallese.

In particolare:

Sistemi idrografici[2]

T. Parce a Montallese

- *T. Parce* [Torrente Parce – SI2742]
- *F.so Monaco* [Fosso Tagliate o Monico – SI1810]
- *C.le Circondariale* [--] - [--]

T. Montelungo a Chiusi Scalo

- *T. Montelungo* a Chiusi Scalo [Fosso di Montelungo – SI1438]
- *F.so San Giovanni* [--] - [--]
- *F.so Montelungo* [--] - [--]
- *F.so Montelunghino* [--]
- *F.so Palazzuolo* [--] - [--]
- *F.so Santa Caterina* [--] - [--]

T. Tresa a Chiusi Scalo[3]

- T. Tresa [Torrente Tresa – SI2911]

[2]Tra parentesi [] la denominazione *ex Allegato al Testo* n. 4 del 3. *Quadro Conoscitivo* e la classificazione ex art. 36 della 2. *Disciplina* del Piano del PIT 2005-2010.

[3]Classificati di interesse primario per PS e RU, non trattati nel presente lavoro ma oggetto di specifico *Accordo di Programma* tra A.C. e *Consorzio per la Bonifica della Val di Chiana Romana e Val di Paglia* (Chiusi, 2008) (*vd.*).

– F.so Maranzano [--] - [Principale]

C.le Chianetta a Chiusi Scalo-Le Biffe

– *C.le Chianetta* [--] - [*Principale*]
– *F.so Fargnia* [--]
– *F.so Cardete* (o Tedesca)[--]
– *F.so Tarantello* [--] - [--]
– *F.so Tombarelle* [--] - [--]

Sistemi fognari meteorici

Montallese

Chiusi Scalo- Le Biffe

1.2.2 Modellistica idrologico-idraulica

L'insieme delle normative di riferimento delle presenti analisi -D.P.G.R. n. 26/R/07, P.A.I. F: arno e P.A.I. F. Tevere- richiede la individuazione, all'interno del perimetro allagabile per ciascun tempo di ritorno, di aree a pericolosità marginale definite su discriminanti -tiranti e velocità di inondazione, per il bacino del F. Tevere, solo tiranti per il bacino del F. Arno- a risoluzione dell'ordine di 10^{-1} *m* e 10^{-1} *m*/*s*, rispettivamente.

In termini di perimetrazione territoriale, mentre tale risoluzione non riveste particolare significatività nelle valli fluviali incise, nelle zone pianeggianti con acclività medie dell'ordine di 10^{-3}, un margine d'incertezza sulla perimetrazione di 10 *cm* può potenzialmente corrispondere ad ettari di territorio.

D'altra parte, una tale capacità risolutiva comporta oneri modellistici così rapidamente crescenti con la *flatness* morfologica da diventare, se non computazionalmente quasi improponibili su larga scala, almeno di dubbia efficienza in termini di costi-benefici, finanche in territori di alta valenza economica.

È noto che la raffinatezza modellistica propria ad esempio dell'idraulica bidimensionale, rapidamente si scontra con la sensibilità a grandezze non fisicamente determinabili e difficilmente "calibrabili", quale la scabrezza equivalente del territorio inondato. Inoltre, lo stesso modello digitale del terreno disponibile presenta accuratezze altimetriche assolute e relative al più non superiori a $2x10^{-1}$ *m* (solo parte del bacino C.le Chianetta), altrove dell'ordine di 10^{0} *m*.

In considerazione di quanto sopra, è apparso corretto e conveniente diversificare gli approcci secondo schemi di moto permanente o vario a scenari, vario *1-D* o "quasi *2-D*", senza per questo rilasciare i principi dell'omogeneità dei risultati e della massima oggettività possibile[4].

L'analisi idraulica adottata si fonda sui seguenti punti:

- definizione degli *N*x*M* $\{X(D_i)^j\}_{i=1,N;\ j=1:M}$ *scenari* idrologico-idraulici di riferimento in termini di *sets* di idrogrammmi di ingresso e condizioni al contorno per ciascuna durata critica (*N*) e tempo di ritorno (*M*)

quindi, per ciascun $X(D_i)^j$

- modellazione della propagazione della piena *in* ed *extra-alveo* in regime di moto *vario* a rete ("*quasi* 2-*D*") con gestione dei volumi di esondazione secondo lo schema misto a casse (concettuali o "reali") e propagazione in tratti esterni all'alveo

- *inviluppo* degli *N* scenari per la determinazione delle massime criticità di tratto e di area, in termini di livello di pelo libero e/o volumi di esondazione.

Gli scenari idrologici di riferimento $\{X(D_i)^j\}_{i=1,N;\ j=1:M}$ sono definiti dagli insiemi di idrogrammi di

[4]Conseguentemente, i tracciamenti delle aree allagabili di accumulo o scorrimento con procedure anche semplificate di moto uniforme (*vd.* avanti).

piena che, per ciascun tempo di ritorno e durata D_i assunta significativa, costituiscono le sollecitazioni del sistema idraulico, e dalle rispettive condizioni iniziali ed al contorno.

Le *durate* $\{D_i\}_{i=1,N}$ analizzate sono sette, *i.e.*: 1, 1.5, 2, 3, 4, 6 e 10 *ore*; i tempi di ritorno cardinali sono 20, 30, 50[5], **100[6], 200** e 500 ***anni*, per un totale di 35 simulazioni idrauliche in moto vario a rete *1-D*.**

Lo schema adottato rappresenta ovviamente un compromesso convenzionale tra teoria ed applicabilità pratica. Le principali ipotesi idrologiche alla base della modellazione per scenari sono la isoprobabilità, indipendenza ed isocronicità degli eventi e la distribuzione pluviometrica uniforme per sottobacini.

Anche altre approssimazioni concettuali sono tuttavia state, più o meno implicitamente, adottate. L'opzione delle durate fisse –adottata per semplicità- induce d'altra parte la non "esatta" riproduzione dei massimi colmi di piena, in quanto in generale legati a durate critiche di precipitazione non coincidenti con l'insieme finito prescelto. A tal proposito, pre-analisi di sensibilità hanno tuttavia qualificato come insignificanti tali differenziali nell'ambito idraulico studiato; essi sono infatti rapidamente decrescenti all'aumentare della durata critica e complessivamente trascurabili anche per le brevissime durate (<1 *h*), avendo adottato per D=1 *h* ietogrammi tipo *Chicago* centrato.

Altra ipotesi approssimativa riguarda il bilancio del volume idrico di afflusso in ingresso alle rete, ovvero il noto "problema" del ragguaglio areale di eventi sintetici a distribuzione spaziale uniforme. La modellazione ad unica rete idraulica di più corsi d'acqua drenanti bacini diversi, pone infatti di fronte al problema del bilancio di massa affluita, essendo la precipitazione diversamente ragguagliata da una sezione di chiusura all'altra.

Si prospetta l'alternativa teorica tra la moltiplicazione degli scenari di analisi –NxM per ciascuna "sezione" idrografica di riferimento, per i quali il fattore di ragguaglio areale K_a è assunto costante e pari a quello di pertinenza della specifica sezione di chiusura- e la posizione conservativa (sovrastima dei volumi complessivi) con K_a diversi pari a quelli propri di ciascuna sezione di ingresso idrologico.

Nel caso specifico, anche considerando la non elevata eteorogeneità dimensionale dei sottobacini analizzati, si è optato per la classica terza via di K_a [assunto secondo la classica formulazione del `U.S.W.B.`] unico -diverso per ciascuna durata di pioggia- e definito alla sezione di chiusura complessiva del bacino di studio.

Per la modellazione idrologica viene adottato un classico approccio ad evento sintetico, i cui idrogrammi di piena alle diverse sezioni di chiusura e per i diversi scenari pluoviometrici vengono ricavati con modellistica semi-distribuita di tipo deterministico concettuale.

2 SCENARI IDROLOGICI

Il territorio comunale di Chiusi ricade in parte nel bacino idrografico del F. Arno ed in parte in quello del F. Tevere. Sui due diversi bacini di interesse nazionale sono stati elaborati/approvati negli anni, da parte delle diverse Autorità idrauliche competenti, studi idrologici indipendenti che hanno assunto carattere di ufficialità a vario titolo. Alcuni con respiro regionale, altri a supporto di opere e/o verifiche locali. Nessuno comprendente valutazioni per tutti i bacini del territorio comunale.

Obiettivo del presente lavoro in ambito idrologico è quello di rielaborare una metodica idrologica

[5]Solo bacino del F. Tevere.
[6]Solo bacino del F. Arno.

unitaria per l'intero territorio comunale, ovviamente quanto più possibile coerente con il migliore quadro conoscitivo disponibile. Pur adottando due metodologie non esattamente identiche, tale coerenza ed omogeneità verrà perseguita anche tra l'idrologia dei sistemi idrografici e quella dei sistemi fognari. Si è dunque fatto riferimento ai seguenti lavori ufficiali (con primario riferimento ai primi due):

1. "*Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana*" (AlTo) [*PIN*, 1996 e s.m.i.]
2. "*Studio per la redazione delle mappe di allagabilità nel reticolo idrografico minore del comprensorio di Bonifica della Val di Chiana Romana*" [*Hydrosistem e C.b.C.R.*, 2004]
3. "Interventi *per la messa in sicurezza delle aree soggette ad esondazione del torrente* Parce*, Gragnano e* Montelungo *– I stralcio - Progetto definitivo*" [*Bavecchi*, 2007]
4. "*Piano particolareggiato per la realizzazione di* Scalo Merci *in Chiusi Scalo*" [*Cretella et al.*, 2002]
5. "*Studio per la redazione delle mappe di allagabilità del* Fosso dele Cardete" [*Hydrosistem e C.b.C.R.*, 2006]
6. "*Riduzione del rischio idraulico nel bacino idrografico del* torrente Tresa – *Studio idrologico-idraulico*" [*CsdIA*, 2003 e succ.]
7. "Variante P.R.G. *ai sensi dell'art. 39 – comma 2 – della L.R. 5/95 e s.m. - Valutazioni idrologiche e verifiche idrauliche*" [*Terrosi et al.*, 2003]
8. "P.R.G. - Variante di assestamento e salvaguardia - *Studio sulla valutazione della pericolosità e del rischio idraulico*" [*Terrosi et al.*, 1999, 2001].

per i cui dettagli metodologici si rimanda direttamente ai lavori originali.

Date la necessità di fare valutazioni anche su bacini molto piccoli(<50 *ha*), nessuna delle due metodiche afflussi-deflussi sopra evidenziate (validate per bacini di dimensione non inferiore a 1 km^2) può essere assunta *tout-court*. D'altra parte, gli esiti cui esse stesse giungono per aree similari sono in molti casi significativamente diversi.

A spiegazione di ciò un ruolo affatto non trascurabile giocano le diverse **linee segnalatrici di possibilità pluviometrica** [LSPP] assunte nei due diversi studi 1. e 2., facenti capo a due diverse regionalizzazioni delle precipitazioni estreme, l'una avente per dominio essenzialmente [i principali bacini della] la Toscana [AlTo] e, l'altro, l'intera Italia Centrale [Va.P.I._Calenda].

Rimandando per i dettagli ai lavori citati ed alla letteratura scientifica originaria, si riportano in Fig. 1 le LSPP per tempi di ritorno 20 e 200 *anni* derivate nei due casi per Chiusi Scalo (per AlTo, la stazione pluviometrica di Chianciano, per Va.P.I._Calenda la sottozona A18[7]).

[7]Di riferimento per i bacini di T. Montelungo, C.le Chianetta e T. Parce a valle del F.so Ribussolaie (compreso).

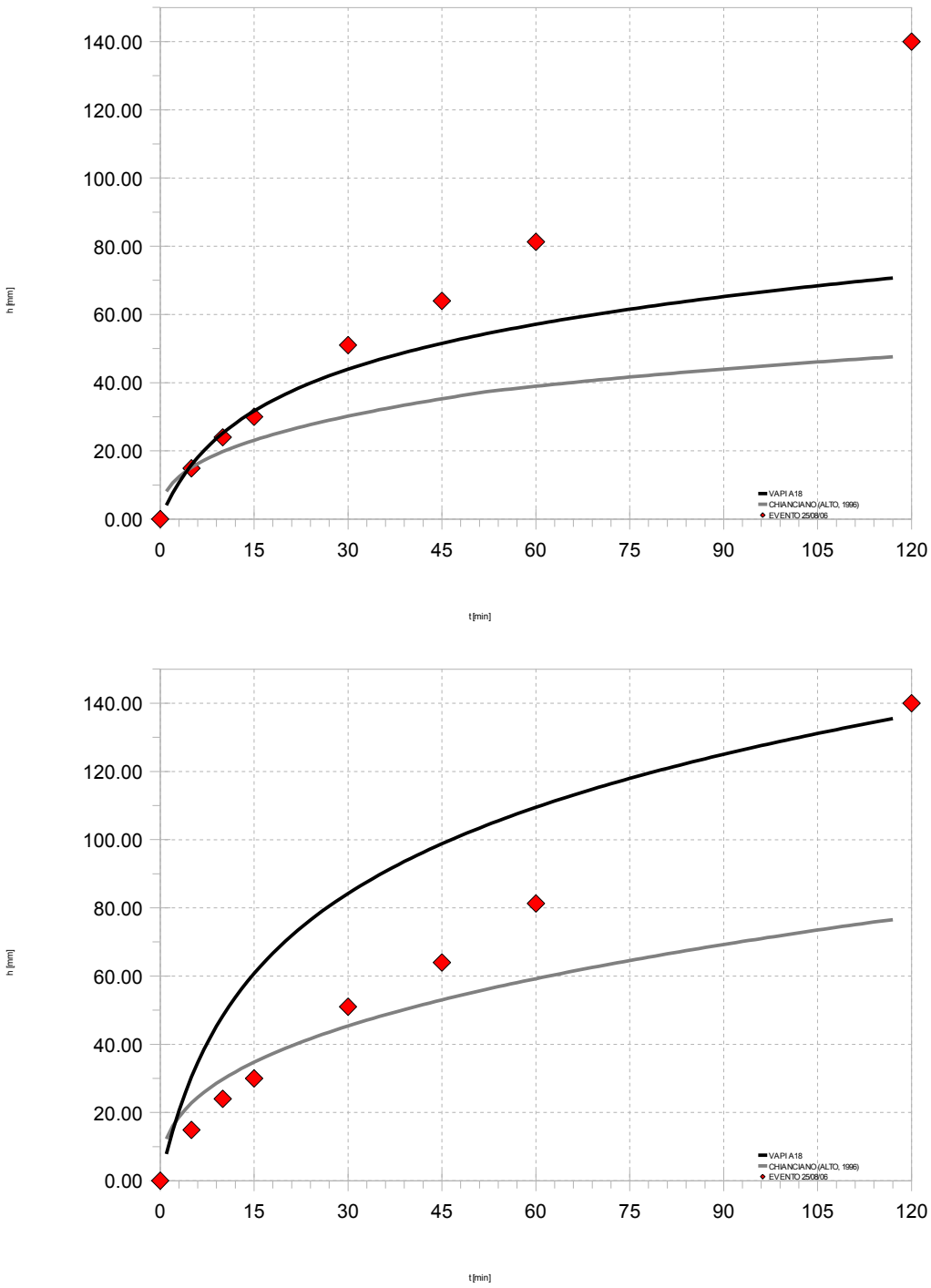


Fig. 1. `LSPP AlTo` *(stazione di Chianciano*[8]*),* `Va.P.I._Calenda` (sottozona `A18`) *per* T_r*=20 e 200 anni e massime cumulate stimate per l'evento del 25 agosto 2006.*

Ad ulteriore confronto nel medesimo grafico sono riportate anche le massime cumulate registrate a Chiusi Città in occasione del noto evento del 25 agosto 2006[9]. Come si può vedere le

[8]Villastrada Umbra simile.

[9]Dati amatoriali, non ufficiali e non validati, gentilmente forniti da *Meteo Chiusi* [*Donati* e *Corti*, 2008]. Per la discussione circa la affidabilità di tali dati si veda avanti.

differenze sono anche notevoli, con conseguenti assegnazioni del tempo di ritorno degli scrosci pluviometrici del 2006 variabili tra meno di 20 ed oltre 200 *anni*.

Data, da una parte, la propria maggiore generalità ed attualità e, dall'altra, l'analisi di riscostruzione idrologico-idraulica dell'evento dell'agosto 2006 (*vd.* avanti), si è assunta la **LSPP Va.P.I._*Calenda***.

CODICE	***Descrizione***	***CN II***			
		A	*B*	*C*	*D*
111	Tessuto urbano continuo	77	85	90	92
112	Tessuto urbano discontinuo	57	72	81	86
121	Aree industriali o commerciali	89	90	94	94
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98
123	Aree portuali	89	92	94	94
124	Aeroporti	81	88	91	93
131	Aree esrattive	46	69	79	84
132	Discariche	46	69	79	84
133	Cantieri	46	69	79	84
141	Aree verdi urbane	39	61	74	80
142	Aree sportive e ricreative	39	61	74	80
211	Seminitavi in aree non irrigue	70	80	86	90
212	Seminitavi in aree irrigue	85	90	92	94
213	Risaie	100	100	100	100
221	Vigneti	45	66	77	83
222	Frutteti e frutti minori	45	66	77	83
223	Uliveti	45	66	77	83
231	Prati stabili	30	58	71	78
241	Colture annuali associate e colture permanenti	58	73	82	87
242	Sistemi colturali e particellari permanenti	58	73	82	87
243	Aree prev. occup.da colture agrarie, con spazi nat.	52	70	80	84
244	Aree agroforestali	58	73	82	87
311	Boschi di latifoglie	36	60	73	79
312	Boschi di conifere	36	60	73	79
313	Boschi misti	36	60	73	79
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	49	69	79	84
322	Brughiere e cespuglieti	49	69	79	84
323	Aree a vegetazione sclerofilia	49	69	79	84
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	36	60	73	79
331	Spiagge, dune, sabbie	76	85	89	91
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	77	86	91	94
333	Aree con vegetazione rada	49	69	79	84
334	Aree percorse da incendi	77	86	91	94
335	Ghiacciai e nevi perenni	100	100	100	100
411	Paludi interne	100	100	100	100
412	Torbiere	100	100	100	100
421	Paludi salmastre	100	100	100	100
422	Saline	100	100	100	100
423	Zone intertidali	100	100	100	100
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	100	100	100	100
512	Bacini d'acqua	100	100	100	100
521	Lagune	100	100	100	100
522	Estuari	100	100	100	100

Tab. 1. *Tabella di associazione Corine Land Cover-Curve Number II in funzione delle classi di permeabilità del suolo (A, B, C e D).*

Per quanto invece riguarda il modello A-D, si è in generale adottato -nell'ambito di un approccio di tipo semi-distribuito- il metodo dell'idrogramma unitario nella nota forma del *Soil Conservation Service* (SCS-CN) [*S.C.S.*, 1972], normalmente utilizzato anche per bacini quasi-urbani (*cfr.* anche

"*Studio per la redazione delle mappe di allagabilità del Fosso delle Cardete*" di *Hydrosistem* e *C.b.C.R.*, 2006). Per la definizione dei parametri idrologici del metodo SCS-CN è stata assunta la classazione dei CN già adottata in 2., con condizione di suolo AMC II.

Per i bacini di bonifica, tipicamente agricoli caratterizzati da tempi di risposta più lunghi, in omogeneità con quanto adottato per il contermine bacino del T. Tresa da *CsdIA* (2004, op. cit.), si è invece assunto l'I.U.H. triangolare isoscele con tempo di corrivazione stimato con la formula di *Ventura* incrementata del 20%[10].

Di seguito si riportano gli elementi descrittivi essenziali del metodo afflussi-deflussi adottato per i bacini collinari, rimandando allo specifico allegato grafico-numerico per tutti i dettagli circa le caratteristiche idrologiche dei molteplici bacini analizzati.

S.C.S.-CN

L'idrogramma unitario assunto è quello *standard* U.S.-S.C.S. [*op. cit.*, *USACE*, 1998], predefinito nella forma e funzione del solo parametro cinematico tempo di ritardo t_l [*h*], per la cui stima si è adottata la seguente formula di *Rosso*[11] (2003):

$$t_l = 0.26 * L^{0.82} * i^{0.20} * (1+S)^{0.13}$$

con *L*=lunghezza dell'asta principale [k*m*], *i*=pendenza media del bacino [] e *S*=capacità di imbimento del bacino, secondo il metodo SCS-CN.

Tab. 2. *Legenda di codifica delle caratteristiche di Permeabilità* [*op. cit.*, R.T.].

Nome	***Lito***	***Perm***
Area non rilevabile o non classificabile	NRC	NRC
Calcari ad aptici	LS3	II
Diaspri	LC4	II
Argille e argille siltose grigio-azzurre localmente fossilifere (Argil	LP2	IM
Argille sabbiose e limi	LP1	1
Limi e sabbie con livelli di lignite	LS2	1
Calcare selcifero di Limano	LC4	IV
Calcare massiccio	LC2	V
Conglomerati marini poligenici (Conglomerati di Gambassi Terme)	LS1	C
Calcareniti e calciruditi bioclastiche (Calcareniti di S. Mariano)	LC4	II
Sabbie e arenarie gialle (Sabbie di S. Vivaldo)	LS2	3
Marne a Posidonomya	LS3	I
Calcari e marne a Rhaetavicula contorta	LC6	III
Rosso ammonitico	LC4	III
Frane in evoluzione (attiva s.s. riattivata sospesa quiescente)	LI1	2
Frane senza indizi di evoluzione (stabilizzate paleofrane relitte)	LI1	2
Depositi di versante (Olocene)	LI1	2
Depositi alluvionali attuali	LI4	3
Depositi eluvio-colluviali (Olocene)	LI5	2
Depositi colluviali (Olocene)	LI5	2
Depositi alluvionali (Olocene)	LI3	5
Depositi alluvionali (Olocene)	LI4	3
Depositi alluvionali (Olocene)	LI4	2
Travertini (Pleistocene)	LC2	D

Lo ietogramma di progetto è stato assunto di tipo *Chicago* centrato[12], per le durate ≤1 *h* ed uniforme per le durate superiori, mentre le perdite per infiltrazione sono state computate *step by step*

[10] Senza incremento per i bacini con non trascurabile (benché minoritaria) presenza di suolo urbanizzato (es. area artigianali, ..) [*CsdIA*, 2003].

[11] *Sul tempo di risposta dei bacini idrografici italiani*, L'Acqua, 1/2003. Valutazioni di orientamento sono state fatte anche con le altre formule di letteratura: *Kirpich* (A<10 km^2), ...

[12] Più cautelativa rispetto alla distribuzione uniforme e sperimentalmente fondata.

con il metodo del CN.

Per il calcolo del valore medio di CN per ciascun bacino sono stati utilizzati i tematismi *Corine Land Cover* e *Permeabilità* della *Regione Toscana* -integrata con tematismi analoghi forniti per la parte tiberina da *A.b.T.*- adottando le associazioni di suolo e CN cui in Tab. 1, Tab. 2 e Tab. 3 (*vd.* allegato idrologico).

La perdita di precipitazione iniziale è assunta pari a $\beta \cdot S$ (0.1-0.3 *range* dei valori di β). Per quanto riguarda la fondamentale scelta delle condizioni iniziali di suolo in eventi pluviometrici critici ($CN_{I/II/III}$), è noto come le indicazioni generali originarie del SCS non risultino offrire particolare affidabilità per la realtà italiana [ad es. *Borselli*, 1989; *Busoni et al.*, 1990; …]. In effetti, l'analisi comparativa con tutti gli studi citati -da una parte- e la ricostruzione dell'evento del 2006 hanno indotto ad assumere AMC II e β=0.2 per i bacini di T. Parce e T. Montelungo e 0.25 per il bacino del C.le Chianetta.

Tab. 3. *Tabella di associazione Permeabilità-tipologia Suoli secondo la catalogazione S.C.S.*

Cod	*Permeabili*	*Tipol_perm*	*Suolo_SCS*
1	Permeabilita' da bassa a molto bassa	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosita')	C
2	Permeabilita' medio-bassa	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosita')	C
3	Permeabilita' media	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosita')	B
4	Permeabilita' medio-alta	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosita')	B
5	Permeabilita' alta	PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosita')	A
A	Permeabilita' da bassa a molto bassa	PERMEABILITA' MISTA	C
B	Permeabilita' medio-bassa	PERMEABILITA' MISTA	C
C	Permeabilita' media	PERMEABILITA' MISTA	B
D	Permeabilita' medio-alta	PERMEABILITA' MISTA	B
E	Permeabilita' alta	PERMEABILITA' MISTA	A
I	Permeabilita' da bassa a molto bassa	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	C
II	Permeabilita' medio-bassa	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	C
III	Permeabilita' media	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	B
IV	Permeabilita' medio-alta	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	B
V	Permeabilita' alta	PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione e/o carsismo)	A
IM	Impermeabile	IMPERMEABILE	D
NRC	Aree non rilevate o non classificate	AREE NON RILEVATE o NON CLASSIFICATE	D

Per la modellazione idrologica si è utiliizzato il noto *software* **HEC-*HMS***[13] ***v.* 3.1.0** [www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms].

I **tempi di ritorno** analizzati sono 20, 30, 50, 100, 200 e 500 *anni*, per i sistemi idrografici, e 2, 5, 10 e 20 *anni* per i sistemi fognari.

Nella specifica monografia idrologica allegata sono riportati anche i confronti con le principali altre stime ufficiali, dai quali, sintetizzando, si evince che le portate al colmo di piena di progetto qui adottate sono:

- lievemente superiori (T_r=30, 200 *anni*) a quelle *Hydrosystem* (2004) per il bacino complessivo del C.le Chianetta
- significativamente inferiori (T_r=30, 200 *anni*) a quelle *Hydrosystem-C.b.C.R.* (2004) per il sottobacini più piccoli del C.le Chianetta[14]
- molto inferiori (T_r=30÷200 *anni*) a quelle *Hydrosystem-C.b.C.R.* (2006) per il bacino del F.so Cardete
- lievemente inferiori (T_r=30 *anni*) o superiori (T_r=200 *anni*) a quelle *Al.To.* (1997 e segg.) per i bacini di T. Montelungo e T. Parce[15]
- significativamente superiori (T_r=200 *anni*) a quelle *Cretella* (2002) e *Terrosi et al.* (1999

[13] *Hydrologic Engineering Center* del *U.S. Army Corps of Engineers*, 2006.

[14] Prevalentemente dovuto ai diversi tempi di risposta del bacino ed allo ietogramma *Chicago* per durate sino a 1 *h*.

[15] Variazione di segno prevalentemente dovuto alle diverse LSPP adottate ed alla diversa funzione di crescita dell'indice di piena (coefficiente di deflusso medio non costante). Confronto con valori *Al.To.* ragguagliati all'area di bacino secondo *iIDeA.*

e succ.) per i bacini di T. Montelungo, C.le Chianetta e T. Parce.

3 MODELLAZIONI IDRAULICHE

Le modellazioni idrauliche svolte riguardano sistemi idrografici (T. Montelungo, C.le Chianetta e T. Parce) e fognari (Chiusi Scalo e Montallese).

Le prime sono state effettuate tutte in regime di moto vario 1-D o *quasi* 2-D, analizzando molteplici scenari idrologici (durate di pioggia). Per il solo C.le Circondariale a Montallese, data la marginalità dello stesso ai fini preposti, l'analisi si è invece limitata a considerazioni più speditive. Il *software* di calcolo utilizzato è HEC-*Ras*.

Le seconde sono anch'esse in regime di [quasi] moto vario, utilizzando il *software* di calcolo SWMM.

Gli esiti della modellazione idraulica dei diversi corsi d'acqua sono stati assunti condizioni di valle dei sottosistemi fognari ivi recapitanti.

3.1 SISTEMI IDROGRAFICI

I sistemi idrografici analizzati sono 3, individuati tenendo conto della normativa vigente ai fini della predisposizione di PS e RU, ovvero della necessità di definire con idonea accuratezza le condizioni di pericolosità idraulica eventualmente sussistenti, *in primis*, per le aree già urbanizzate e urbanizzabili. Essi sono:

- *T. Montelungo* ed affluenti, a Chiusi Scalo (bacino F. Arno)
- *C.le Chianetta* ed affluenti, a Chiusi Scalo-Le Biffe-Butterone (bacino F. Tevere)
- *T. Parce* ed affluenti, a Montallese (bacino F. Arno).

L'ampiezza dei tratti idrografici oggetto di studio è stata commisurata alle suddette esigenze di pianificazione, pur con alcune ridondanze ove fossero disponibili adeguati rilievi celerimetrici.

Un quarto sistema idrografico, quello afferente il *T. Tresa* (bacino F. Arno), potenzialmente pericoloso per una limitata parte del territorio di Chiusi, è qui escluso dalle analisi in quanto oggetto di specifica convenzione tra *Comune di Chiusi* e *Consorzio di Bonifica per la Val di Chiana Romana e Val di Paglia* (2008).

3.1.1 Caratteristiche essenziali del modello idraulico

Il programma di calcolo impiegato per la determinazione dei profili della corrente a pelo libero è **HEC-*Ras*[16] *v.* 4.0.0**, *in regime di moto vario di corrente mista, a fondo fisso*.

Lo schema modellistico adottato risolve il problema della individuazione del livello del pelo libero della corrente in una assegnata sezione nelle seguenti ipotesi di base:

- *la corrente è stazionaria*
- *il moto è gradualmente variato*
- *il flusso è monodimensionale.*

risolvendo il problema della individuazione del livello del pelo libero della corrente in moto vario monodimensionale in una rete di canali aperti, in cui la bidimensionalità viene concettualizzata nella

[16] *Hydrologic Engineering Center* del U.S. *Army Corps of Engineers*, 2008.

separazione delle equazioni di continuità e del momento per l'alveo attivo e le aree golenali. Sezioni particolari in cui non risulti localmente valida l'ipotesi di graduale variazione del moto (ponti, traverse, …) vengono tuttavia modellate attraverso l'adozione di formulazioni empiriche o integrali.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche del programma di calcolo impiegato, le equazioni di base ed il metodo di implementazione numerica.

3.1.1.1 Struttura del software, equazioni ed algoritmi di base

Il programma di calcolo è composto da 3 moduli che permettono di eseguire l'analisi in moto vario: un *pre*-processore dei dati di geometria, il motore di calcolo in moto vario ed un *post*-processore per analizzare i dati di *output*.

- il *pre*-processore *HTab* è utilizzato per definire una serie di tabelle e curve contenenti le caratteristiche idrauliche delle sezioni del corso d'acqua; in questo modo è possibile velocizzare i calcoli in moto vario, evitando di ricalcolare le caratteristiche di *conveyance* delle sezioni ad ogni iterazione di calcolo, ma ricavandole per interpolazione da quelle calcolate precedentemente
- i *calcoli* idraulici in moto vario vengono eseguiti con una versione modificata del *software UNET* (*Unsteady NETwork model*) sviluppata da *Barkau* (1992)
- il *post*-processore viene utilizzato per calcolare informazioni idrauliche più dettagliate in corrispondenza di determinati istanti temporali. In generale, infatti, il programma *UNET* calcola soltanto le quote del pelo libero e le portate defluenti nelle sezioni trasversali definite dall'utente; queste informazioni vengono trasmesse al programma di calcolo di moto permanente che calcola le corrispondenti caratteristiche idrauliche e le archivia in formato tabelle e grafici.

3.1.2 Continuità e quantità di moto

Le equazioni alla base del modello adottato sono le equazioni di De Saint Venant per il moto vario monodimensionale, espresse secondo le variabili dipendenti Q e Z:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_t = 0 \qquad \text{equazione di continuità}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial Z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \qquad \text{equazione della conservazione della quantità di moto}[17]$$

dove

Q: portata che all'istante t defluisce attraverso la sezione di ascissa x
A: area della sezione idrica corrispondente all'ascissa x
t: istante considerato
S_f: gradiente medio delle perdite di carico per attrito
V: velocità media della corrente
g: accelerazione di gravità
q_l: portata laterale in ingresso e/o in uscita
(x,Z): sistema di riferimento con ascissa x parallela al fondo alveo e ordinata Z verticale.

La pendenza S_f rappresentativa delle perdite di carico per attrito è calcolata secondo la formula di *Manning*:

$$S_f = \left(\frac{n^2 |Q| Q}{\mu^2 A^2 R^{4/3}}\right)$$

n: coefficiente di *Manning*
μ: coefficiente di viscosità (μ=1 nel S.I., μ=1.49 nel U.S.).

Il modello appartiene alla classe dei "quasi-bidimensionali" che schematizza il territorio come un insieme di canali per ciascuno dei quali il fenomeno di propagazione è strettamente monodimensionale. In particolare, individua nella sezione trasversale due ambiti (tubi di flusso) distinti: il canale principale e le golene, definendone separatamente le equazioni di *De Saint Venant* (Fig. 2).

Viene assunta orizzontale la superficie dell'acqua nella sezione ortogonale al flusso, così che la differenza del momento della quantità di moto calcolata nel canale principale e nell'area golenale/alveo di esondazione possa essere considerata trascurabile e la portata distribuita secondo la capacità di deflusso delle due porzioni di sezione, valutata secondo il coefficiente K.

[17] Equazioni ottenute ipotizzando i coefficienti β (di ragguaglio della quantità di moto) e α di ragguaglio della potenza cinetica della corrente) uguali a 1.

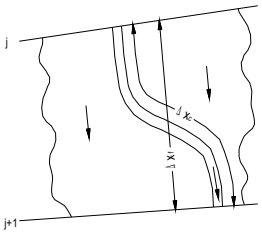


Fig. 2. *Schema della discretizzazione spaziale.*

In particolare:

$$Q_c = \phi \cdot Q$$

dove

Q_c: portata che defluisce attraverso il canale centrale

Q: portata totale

$$\phi = \frac{K_c}{K_c + K_f}$$

K_c: capacità di deflusso nel canale principale

K_f: capacità di deflusso golene/alveo di esondazione

Con tale assunzione, le equazioni per il moto monodimensionale possono essere scritte come segue:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial (\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial [(1-\phi) Q]}{\partial x_f} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\phi^2 \frac{Q^2}{A_c} \right)}{\partial x_c} + \frac{\partial \left[(1-\phi)^2 \frac{Q^2}{A_f} \right]}{\partial x_f} + gA_c \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right) + gA_f \left(\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right) = 0$$

dove i pedici *c* e *f* si riferiscono rispettivamente al canale principale e golene.

Le equazioni sono quindi approssimate utilizzando uno schema implicito alle differenze finite e risolte numericamente con il metodo di iterazione di *Newton-Raphson*. In particolare, *Barkau* (1992) combina i termini convettivi della velocità e, definendo un fattore di distribuzione della velocità $\beta = \beta (V_c, A_c, V_f, A_f, V, A)$, trasforma le equazioni alle differenze finite per il canale e le golene in un gruppo di equazioni più conveniente dal punto di vista computazionale.

3.1.2.1 Correnti miste

La transizione di stato della corrente da veloce a lenta determina note difficoltà matematiche legate alle condizioni di stabilità degli algoritmi di risoluzione delle equazioni di *De Saint-Venant* in moto vario. In *HEC-RAS*, viene adottato il metodo denominato della "*Local Partial Inertia*" (LPI), secondo il quale viene applicato un fattore di smorzamento σ riduttivo dei due termini inerziali dell'equazione della quantità di moto, via via crescente secondo l'esponente *m* all'aumentare del numero di *Froude* oltre un prescelto valore di soglia F_T (def=1.0)., *i.e.* (Fig. 3):

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

$$\sigma = F_T - F_r^{\,m} \qquad \text{se} \quad F_r \le F_T \;;\; m \ge 1$$

$$\sigma = 0 \qquad \text{se} \quad F_r \ge F_T$$

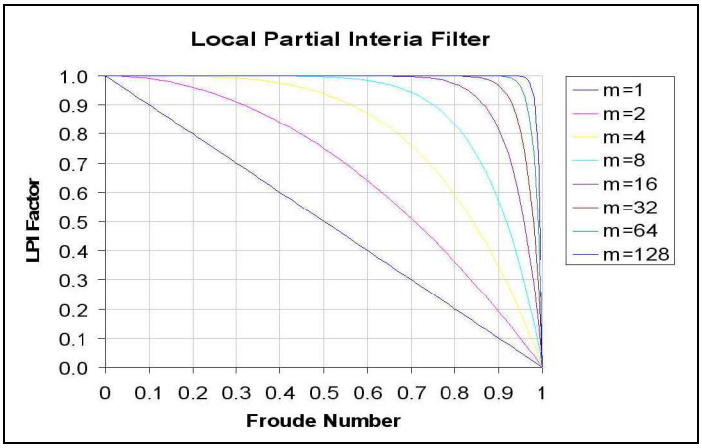


Fig. 3. *LPI Factor al variare di m e F_r.*

3.1.2.2 Equazioni di base

L'unità elementare del sistema fisico, composta da un volume idrico di controllo posto tra 2 generiche sezioni trasversali del corso d'acqua, schematicamente riportata in Fig. 4, è governata dal principio della *conservazione dell'energia*, assunto descrivibile tramite le seguenti due equazioni semplificate:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L\bar{S}_f + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right|$$

dove (i pedici 1 e 2 indicano le corrispondenti sezioni):

WS_2 , WS_1 livelli del pelo libero alle estremità del tratto [*m*]

V_2^2 , V_1^2 velocità quadratiche medie [m^2/s^2]

α_1, α_2 coefficienti ponderali dei termini cinetici []

g accelerazione di gravità [m/s^2]

h_e perdite di carico totali [*m*]

L distanza media pesata sulle portate tra le due sezioni [*m*], *i.e.*

$$L = \frac{L_{lo} \cdot \bar{Q}_{lo} + L_{mch} \cdot \bar{Q}_{mch} + L_{ro} \cdot \bar{Q}_{ro}}{\bar{Q}_{lo} + \bar{Q}_{mch} + \bar{Q}_{ro}}$$

$\bar{Q}_{ij}$ portata media nel tratto elementare defluente nei tratti golenali e di *thalweg* [m^3/s]

$\bar{S}_f$ gradiente medio delle perdite di carico per attrito [*m/m*];

C coefficiente di dissipazione energetica per espansione o contrazione [].

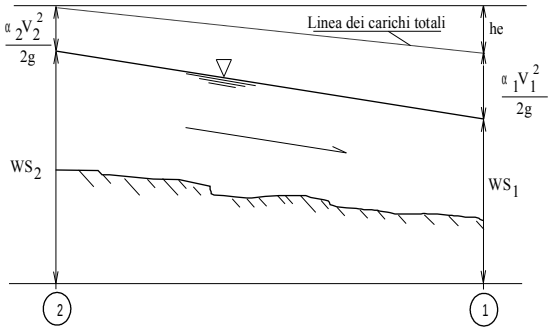


Fig. 4. *Rappresentazione in termini energetici dell'equilibrio di volume idrico elementare.*

La sezione di deflusso è supposta suddivisibile in 3 ambiti primari in cui sia applicabile l'ipotesi di distribuzione uniforme delle velocità, *i.e.* l'alveo principale o *thalweg* e 2 zone golenali.

I termini di perdita di carico media per ciascun tratto elementare, sia concentrata (α) sia distribuita (S_f), vengono

calcolati utilizzando la seguente definizione della capacità di deflusso (portata per unità di pendenza motrice$^{1/2}$) -indipendentemente per ciascun ambito della sezione- (si omettono per brevità i pedici):

$$K = \frac{A \cdot R^{\frac{2}{3}}}{n}$$

dove:

K =capacità di deflusso nell'ambito [m^3/s];
n =coefficiente di scabrezza di Manning [$s/m^{1/3}$]
R=raggio idraulico dell'ambito [m]
A=area della sezione bagnata dell'ambito [m^2].

Dipendentemente dal regime della corrente, vengono utilizzate diverse stime del gradiente di carico per attriti medio sul tratto (media aritmetica, geometrica, armonica, ..). In particolare, per i profili di corrente lenta è stato prevalentemente utilizzata la media semplice ponderata sulla capacità di deflusso, *i.e.*:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

Per i carichi cinetici vale invece la seguente espressione (il pedice t indica la totalità della sezione):

$$\alpha = \frac{A_t^2 \cdot \left[\frac{K_{lb}^3}{A_{lb}^2} + \frac{K_{mch}^3}{A_{mch}^2} + \frac{K_{rb}^3}{A_{rb}^2} \right]}{K_t^3}$$

I coefficienti di contrazione ***C*** sono stati assunti generalmente pari a **0.1-0.3** per le sezioni a variazioni ordinarie e **0.3-0.5** per le maggiori discontinuità geometriche, per le contrazioni e le espansioni, rispettivamente. Le scabrezze equivalenti sono computate per media ponderata su perimetro bagnato, sia per quelle di ambito che di intera sezione di deflusso.

Le transizioni attraverso lo stato critico della corrente, nel caso dei risalti idraulici e del passaggio attraverso ponti, vengono assunte governate dall'equazione semplificata della quantità di moto applicata al tratto elementare di canale, *i.e.* (X è la direzione di deflusso, 1 e 2 sono le sezioni di estremità):

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

dove:

P	forza idrostatica [N]
W_x	forza peso della massa idrica compresa nel tratto [N]
F_f	forza di attrito complessivamente agente sul tratto [N]
Q	portata in transito [m^3/s]
ρ	densità dell'acqua [Ns^2/m^4]
ΔV_x	variazione di velocità media tra le sezioni, in direzione X [m/s]

Gli sforzi tangenziali sul perimetro bagnato vengono calcolati secondo la formulazione di moto uniforme e la quantità di moto corretta con coefficienti empirici di letteratura.

3.1.2.3 Sezioni ordinarie

La geometria delle sezioni è descritta per punti ed è, quindi, non vincolata nella forma. Per sezioni ordinarie si intendono quelle in cui non è presente un manufatto che interferisca con la corrente alterandone "localmente" in maniera significativa lo stato energetico (*ad es.* ponti, traverse, salti di fondo, tombini, bruschi restringimenti, …).

I principali attributi delle sezioni sono: *a*) limiti del canale principale, *b*) scabrezza, *c*) argini, *d*) limiti delle aree "inefficaci". La sezione è suddivisa in 3 canalizzazioni ideali principali, cui corrispondono dissipazioni energetiche semi-indipendenti.

La scabrezza è variabile nella sezione, diversificata secondo la copertura prevalente del suolo e i livelli idrici raggiunti dalla corrente. Tipologie di alveo e valori dei coefficienti di *Manning* [$s/m^{1/3}$] riportati in Tab. 4 sono corrispondenti ad ipotesi di *buona efficienza manutentiva*.

In generale, sono state marcate tutte le sommità *"arginali"* anche se non corrispondenti a veri e propri manufatti arginali, significando con ciò semplicemente la funzione di barriera di contenimento della corrente (ad es. dovuti a rilevati stradali, strutture adiacenti al corso d'acqua, scarpate, ...).

Tab. 4. *Valori adottati del coefficiente di scabrezza secondo Manning.*

Caratteristiche del corso d'acqua		***n*** [$s/m^{1/3}$]
Assetto morfologico	*Assetto ambientale*	
Canale artificiale in calcestruzzo	ghiaia e ciottoli sul fondo	0.025-**0.030**[18]
Canale artificiale in muratura di pietra	ghiaia e ciottoli sul fondo	0.030

Canale artificiale in terra a sezione regolare	vegetazione assente	0.030
Canale artificiale in terra a sezione regolare	vegetazione bassa	0.035
Canale artificiale in terra a sezione regolare	erbacee e arbusti non tagliati	0.040
Canale artificiale in terra a sezione regolare	arbusti non tagliati e vegetazione arborea	0.045
Alveo semi-naturale in ghiaia a sezione irregolare per mobilità del fondo	ciottoli ed erbacee	0.040
Alveo largo naturale in ghiaia e sabbia a sezione irregolare per mobilità del fondo	arbusti non tagliati e vegetazione arborea	0.050
Alveo stretto semi-naturale in ghiaia e sabbia a sezione irregolare per mobilità del fondo	arbusti non tagliati e vegetazione arborea ad alta densità	0.080
Aree di inondazione extra alveo	vegetazione varia	0.080
Aree di inondazione extra alveo	ambito urbano	0.100

3.1.2.4 Briglie e traverse

L'equazione adottata per il deflusso sulle traverse utilizza il valore del carico totale e non del solo tirante idrico. Nel caso di sommergenza, il calcolo della portata totale defluente viene effettuato discretizzando l'area attiva sulla traversa e quindi sommando i contributi parziali. Sono computate correzioni riduttive per effetto sommergenza oltre il 75%. Oltre il 95% di sommergenza l'equazione di bilancio sulla traversa passa a quella ordinaria dell'energia.

3.1.2.5 Ponti

Le perdite di carico in prossimità dei ponti sono costituite da due componenti: quella costituita dalle perdite di carico immediatamente a valle [monte] della struttura per effetto dell'allargamento [restringimento] della sezione, e quella delle perdite di carico che si realizzano per effetto della struttura stessa. Quest'ultima comprende sia le normali perdite per attrito che quelle particolarmente dovute alle pile (assenti nel caso specifico).

Il deflusso attraverso il ponte può avvenire a pelo libero, in pressione, a stramazzo per sormonto dell'impalcato o in condizioni ibride tra le precedenti. Ciascun regime viene modellato adottando diverse specifiche equazioni di deflusso. Le transizioni attraverso le possibili condizioni di moto, in relazione alla portata e all'energia totale della corrente, sono schematicamente descritte in Errore: sorgente del riferimento non trovata. I metodi più frequentemente utilizzati sono quello dell'*Energia* e della *Quantità di Moto*, di seguito brevemente descritti.

Metodo dell'Energia.

L'equazione di bilancio dei carichi è la medesima già riportata, con le uniche differenze -rispetto alle sezioni fluviali ordinarie- che viene decurtata la superficie del ponte al di sotto del livello idrico e che il perimetro bagnato è incrementato tenendo conto dell'intera geometria del ponte a contatto con la corrente.

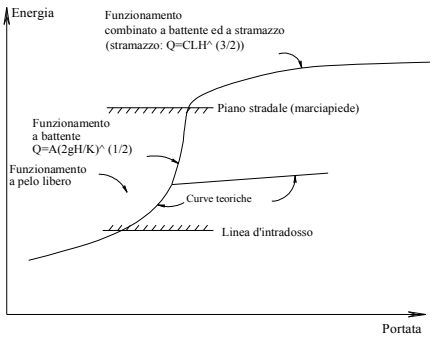


Fig. 5. *Andamento della portata in presenza di un ponte al crescere del carico di monte.*

Metodo della Quantità di Moto

Viene ricercato il bilancio della quantità di moto tra le sezioni di estremità di valle e monte tra le 4 che definiscono il ponte. Tale bilancio avviene attraverso tre successive applicazioni dell'equazione della quantità di moto:

1- tratto compreso tra le sezioni a valle *del* ponte e di valle *sul* ponte (sezz. 1-2)

$$A_2 \cdot \overline{Y}_2 + \beta_2 \cdot \frac{Q_2^2}{g \cdot A_2} = A_1 \cdot \overline{Y}_1 - A_{p1} \cdot \overline{Y}_{p1} + \beta_1 \cdot \frac{Q_1^2}{g \cdot A_1} + F_f - W_x$$

[18] Parzialmente rivestito e/o con presenza di depositi vegetati.

2- tratto compreso tra le sezioni di valle e di monte *sul* ponte (sezz. 2-3)

$$A_3 \cdot \bar{Y}_3 + \beta_3 \cdot \frac{Q_3^2}{g \cdot A_3} = A_2 \cdot \bar{Y}_2 + \beta_2 \cdot \frac{Q_2^2}{g \cdot A_2} + F_f - W_x$$

3- tratto compreso tra le sezioni di monte *sul* ponte e a monte *del* ponte (sezz. 3-4)

$$A_4 \cdot \bar{Y}_4 + \beta_4 \cdot \frac{Q_4^2}{g \cdot A_4} = A_3 \cdot \bar{Y}_3 + \beta_3 \cdot \frac{Q_3^2}{g \cdot A_3} + A_{p4} \cdot \bar{Y}_{p4} + \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \frac{A_{p4} \cdot Q_4^2}{g \cdot A_4^2} + F_f - W_x$$

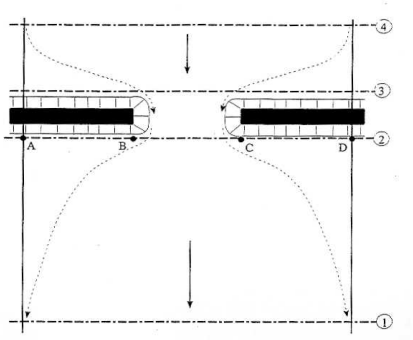


Fig. 6. *Schema della discretizzazione longitudinale nell'intorno di un ponte.*

dove (il pedice i indica la generica *i*-esima sezione):

A_i	superficie attiva [m^2]
A_{pi}	superficie di ostruzione delle pile [m^2]
Y_i	distanza verticale tra il pelo libero ed il baricentro della A_j [m]
Y_{pi}	distanza verticale tra il pelo libero ed il baricentro della A_{pi} [m]
β_i	coefficiente riduttore della quantità di moto (1.00÷1.05) []
Q_i	portata [m^3/s]
g	accelerazione di gravità [m/s^2]
F_f	termine dovuto alla forza di attrito sul perimetro bagnato [m^3]
W_x	termine dovuto al peso dell'acqua nella direzione del flusso [m^3]
C_D	coefficiente di resistenza al moto delle pile []

Le sezioni che complessivamente caratterizzano ciascun ponte sono 4 (Fig. 6). Le numero 2 e 3 definiscono le sezioni di monte e valle sul ponte, mentre le 1 e 4 individuano i limiti di perturbazione locale indotti dal ponte per effetto della riduzione della sezione di deflusso e/o delle perdite di carico concentrate. Quest'ultime sono state poste ad una distanza dal ponte non superiore, rispettivamente, a 1 e 2 volte la luce libera sotto l'impalcato.

3.1.2.6 Connessioni idrauliche tra diversi elementi funzionali

Il collegamento tra le diverse unità funzionali del modello idraulico (tratti idrografici, casse d'espansione, …) può essere modellato secondo diversi schemi concettuali: efflusso sotto paratoie, stramazzo su soglia libera, propagazione lineare, idrovore, .. Di seguito vengono brevemente descritti soltanto quelli utilizzati principalmente nella connessione *reach-storage area* e *storage area-storage area*, *i.e. stramazzo in parete grossa* ed il *linear routing*.

Di regola è stato adottato lo schema di soglia a stramazzo, a meno delle connessioni bidirezionali con casse d'espansione di notevole estensione. Per il calcolo idraulico degli sfioratori laterali secondo lo schema di stramazzo in parete grossa vengono definite due sezioni trasversali, l'una in corrispondenza dell'inizio dell'opera o a breve distanza da essa e l'altra a valle. Il deflusso avviene, in ogni sezione, in modo analogo ad una traversa, per cui, nell'ipotesi che la superficie libera e la soglia dello stramazzo laterale siano paralleli, la portata sfiorata viene calcolata come:

$$Q = CLY^{3/2}$$

dove

C:	coefficiente di stramazzo
L:	lunghezza dello sfioratore
Y:	tirante d'acqua medio sopra lo sfioratore laterale.

La superficie libera però, attraversando la soglia –in generale con profilo a spezzata-, risulta normalmente inclinata; per il calcolo della portata sfiorata viene quindi utilizzato lo schema in Fig. 7, in cui l'equazione generale è derivata dall'integrazione

dell'equazione classica di stramazzo libero, essendo a_{ws} e a_w, rispettivamente, la pendenza della superficie libera e della soglia dello stramazzo e C_{ws} e C_w le altezze idriche iniziali.

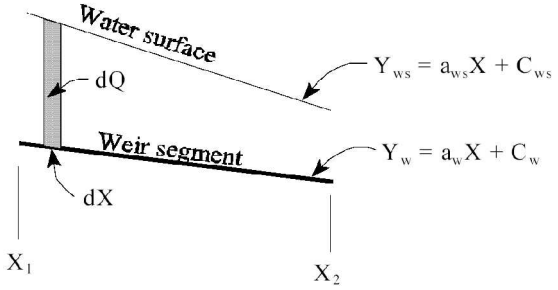


Fig. 7. Discretizzazione longitudinale dell'equazione di stramazzo.

Alternativamente, con il semplice schema concettuale di *linear routing* (metodo dell'invaso) può essere implicitamente tenuto conto dell'inerzia di propagazione della corrente all'interno degli elementi funzionali non modellati dinamicamente (*es.* grandi casse d'espansione con legge d'invaso) (Fig. 8). La costante d'invaso *k* (unico parametro) è ottenuta per calibrazione (*def*=0.05).

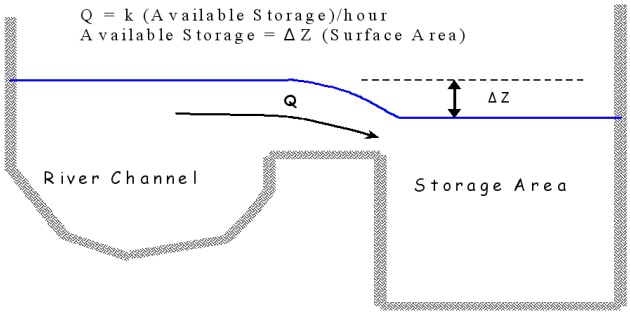


Fig. 8. Schematizzazione Linear Routing della connessione tra cassa d'espansione e tratto idrografico.

3.1.2.7 Settaggi principali

I principali parametri liberi del metodo di risoluzione delle equazioni di moto e continuità sono descritti di seguito, mentre i valori adottati sono riportati in Tab. 5.

– *θ, m* [0.6÷1.0], [1÷128]: pesi di smorzamento dei fattori inerziali nella risoluzione alle differenze finite delle equazioni del moto vario

- *water surface calculation tolerance* [10^{-3}÷10^{-1} *m*]: limite di convergenza del metodo iterativo di soluzione delle equazioni di moto vario, sul pelo libero

– *Δt* [10^{0}÷10^{3} *s*]: intervallo temporale di calcolo

- *weir flow submergence decay exponent* [1÷3]: utilizzato per stabilizzare la soluzione numerica in corrispondenza di stramazzi il cui deflusso avviene in condizioni rigurgitate, allorché si possono verificare delle oscillazioni divergenti. Il parametro è un fattore amplificatore della legge base di smorzamento.

Tab. 5. Valori adottati per i principali parametri di calcolo.

***F*r** [ ]	***m*** [ ]	***θ*** [ ]	***W.S. c.t.*** [*m*]	***Q c.t.*** [m^3/s]	***Δt*** [*s*]	***W.F. s.d.e.*** [*m*]
1.0	**16**	**1.0**	**0.01**	--	**10**	1

3.1.3 Definizione della geometria

Per l'analisi dell'intero sistema idrografico principalmente afferente le UTOE del PS di Chiusi, sono stati implementati tre diversi modelli idraulici dendritici:

- *T. Montelungo* ed affluenti, a Chiusi Scalo [**TRMLG**]

- *C.le Chianetta-F.so Fargnia* ed affluenti, a Chiusi Scalo-Le Biffe [**CLCNT**]
- *T. Parce* ed affluenti a Montallese [**TRPRC**]

le cui componenti principali sono: sezioni fluviali rilevate a terra, sezioni estese su DEM_*Idra*[19], ponti, traverse, sfioratori laterale e casse di laminazione. La modellazione dei principali filoni *extra*-alveo è effettuata contestualmente a quella in alveo, definendo ulteriori specifici pseudo tratti idrografici esterni agli alvei.

I rilievi delle sezioni idrografiche risalgono a:

- ✗ T. Montelungo nel tratto classificato di *III* categoria: 2007-2008 [BART_2007]
- ✗ T. Montelungo nel tratto classificato di *II* categoria: 2002 [USI_2002]
- ✗ Affluenti minori del T. Montelungo: 2007-2008 [BART_2007]
- ✗ Canale Chianetta: 200*X* [CBCR_200*X*]
- ✗ F.so Fargnia: 2008 [CBCR_2008]
- ✗ F.so Cardete: 2006 [CBCR_2006]
- ✗ F.so Tarantello: 2007-2008 [BART_2007]
- ✗ F.so Tombarelle: 2008 [AAVV_2008][20]
- ✗ T. Parce nel tratto classificato di *III* categoria: 2007-2008 [BART_2007]
- ✗ T. Parce nel tratto classificato di *II* Categoria: 2002 [USI_2002][21]
- ✗ F.so Monaco: 200*X*(?) [BAV_200*X*]
- ✗ C.le Circondariale: 2007-2008 [BART_2007]

Data la varietà e la diversa qualità documentata delle fonti, l'"assemblaggio" dei rilievi[22] -così come peraltro la conguenza[23] della successiva trasposizione sul territorio (DEM_*Idra*, CTR) degli elementi di pericolosità determinati via modellistica- è stato preceduto da speditive verifiche di coerenza a campione, sinteticamente descritte nel *§* 3.1.3.1 (*vd.*).

I *ponti* sono stati modellati in *high flow* secondo lo schema *pressure and weir* –se non aggirati-, altrimenti con il metodo dell'energia. Per le *traverse* sono stati adottati coefficienti di stramazzo variabili (di "taratura") tra 1.44 e 1.71 $m^{1/2}/s$ (μ=0.385÷0.325), con curva *standard* di riduzione dell'efficienza di deflusso per sommergenza.

Gli *sfioratori laterali* di connessione (per esondazione) di tratti idrografici ad aree di laminazione o ad altri tratti sono modellati come soglie di stramazzo. Il codice sfioratore è –al pari delle sezioni- costituito dalla progressiva in metri della estremità di monte, identificando con l'ultima cifra *pari* quelli in *dx* idrografica e con la *dispari* quelli in *sx* (*es.* SL 4003.9 di TRMLG_03 è lo sfioratore laterale posto sul tratto 03 del T. Montelungo, in *sx* idrografica a valle della sezione 4004.12).

Le *casse d'espansione* sono distinte in tre tipologie: reali [*Real*] -casse confinate, con chiare caratteristiche di accumulo e connessione-, concettuali [*Conc*] -con confinamento più labile e propagazione pseudo-monodirezionale concettualizzata (*routing*)- e virtuali [*Fitt*]. Le prime due costituiscono componenti modellistiche di accumulo e/o propagazione del modello idraulico *quasi-2D*, interconnessi sia a monte che a valle.

[19]Con la sigla **DEM_*Idra*** si intende il modello digitale del terreno utilizzato nelle modellazioni idrauliche, sia per la definizione della geometria non già derivabile da rilievi celerimetrici a terra (estensione sezioni, leggi di invaso di zone di accumulo, ..) sia per il successivo tracciamento delle aree allagabili. Nel caso di Chiusi esso essenzialmente coincide con il DEM_Lidar da volo aereo messo a disposizione dal C.B.C.R., eventualmente integrato -previa verifica di coerenza- da CTR

[20]Manufatti rilevati in maniera speditiva dall'*Ufficio Tecnico* del Comune di Chiusi e sezioni correnti derivate da DEM_*Idra*.

[21]Con modifiche, conseguenti ai lavori di parziale riprofilatura arginale realizzati dalla *Provincia di Arezzo* nel tratto compreso tra le due linee FF.S. [com. pers. *Boschi*, 2008].

[22]Non ottimale ma inevitabile per esigenze di economia. Tecnicamente accetabile, data la sostanziale stabilità (artificiale) di quasi tutti i corsi d'acqua oggetto di studio.

[23]E *confrontabilità* con gli i precedenti lavori di riferimento ufficiale.

Tali casse sono in generale quelle per le quali la mappatura delle aree allagabili è direttamente da ciò discendente e/o i cui idrogrammi d'invaso sono utilizzati come condizione di valle di eventuali modelli *extra*-alveo. Per esse la legge d'invaso $V(h)$ utilizzata è fisicamente fondata ed è stata derivata dal DEM_*Idra* (*step* 0.2 *m*).

Viceversa, le casse virtuali di tipo *Fitt* -territorio non confinato, con corrente idrica non evidentemente connettibile a valle ad altro elemento idrografico- hanno mera funzione di astrazione dal modello in alveo dei volumi esondati; le relative $V(h)$ non hanno alcun significato fisico. In tal caso, l'analisi di pericolosità viene poi fatta o per successiva modellazione idraulica *extra*-alveo di tipo esplicito (ingressi del sistema *extra*-alveo gli idrogrammi degli sfioratori laterali) o per via speditiva direttamente in fase di mappatura.

La *connessione* tra cassa e cassa è a stramazzo (coeff. 1.44 $m^{1/2}/s$) o -ove non possibile altrimenti- di tipo *linear routing* con soglia di sfioro concettuale, a seconda dell'esistenza o meno di un settore di significativo contenimento fisico. In tal caso, la connessione -data la mancanza di dati utili a calibrazioni- è euristicamente definita da una soglia virtuale di propagazione (battente idrico minimo sul suolo) assunto mediamente pari a +0.25÷0.50 *m* sul p.c. e da un coefficiente di propagazione a valle $k=k_{default}=0.05$, oppure da uno stramazzo con profilo terreno modificato in maniera analoga.

Ulteriori caratteristiche geometriche di casse e connessioni verranno riportate nei paragrafi successivi.

Le sezioni sono di solo rilievo celerimetrico a terra o estese per intersezione altimetrica con DEM_*Idra*, a risoluzione spaziale media di 2 *m*. I principali tratti con sezioni estese sono gli *extra*-alveo di F.so della Fargnia e C.le Chianetta. La traccia delle sezioni estese è in generale di tipo poligonale, al fine di meglio rappresentare la [eventuale] diversa direzionalità dei filoni di corrente di *thalweg* e golenali.

3.1.3.1 Verifiche preliminari di coerenza e stima qualitativa delle accuratezze

Le verifiche preliminari alla definizione del modello geometrico di base per l'analisi di pericolosità idraulica hanno riguardato essenzialmente la coerenza tra: *a*) i diversi rilievi celerimetrici disponibili, *b*) i medesimi rilievi ed il DEM_*Idra* e *c*) i rilievi-DEM_*Idra* e la cartografia di riferimento (CTR 1:2.000/10.000).

Ulteriori note esplicative circa i rilievi di provenienza e le eventuali correzioni apportate sono, per ciascuna sezione utilizzata, direttamente riportate nell'archivio digitale della modellazione idraulica[24].

3.1.3.1.1 Confronto tra rilievi

Le principali fonti sulle quali è stata impostata la geometria dei modelli idraulici e delle quali è stata speditivamente verificata la coerenza relativa, sono[25]:

1. rilievi celerimetrici realizzati -con metodica mista tradizionale e GPS[26]- negli anni 2007-2008 dal *geom*. S. Bartoletti [BART_2008] su specifico incarico del Comune di Chiusi, relativi a T. Montelungo (tratto non classificato di *II* cat.), F.so San Giovanni, F.so Palazzuolo, F.so Santa Caterina, F.so Montelungo, F.so Montelunghino, F.so Tarantello -a Chiusi Scalo-Le Biffe- e T. Parce (tratto non classificato di *II* cat.) e Canale Circondariale -a Montallese. Essi, per ovvie ragioni di economia, hanno *ab origine* avuto carattere integrativo di quanto "già disponibile"

[24] *Files* *gxx* di HEC-*Ras*.

[25] Altri ulteriori rilievi a supporto di P.R.G., Varianti o progettazioni, sono stati scartati in quanto limitati e/o ridondanti e/o non verificabili.

[26] Per le specifiche tecniche di rilievo ed ogni ulteriore dettaglio si rimanda direttamente al lavoro originario.

2. rilievi celerimetrici eseguiti -con metodica tradizionale- negli anni 2004-2008 dal *C.b.C.R.* [CBCR_200*X*], relativi al Canale Chianetta, al F.so delle Cardete ed al F.so Fargnia

3. rilievi celerimetrici eseguiti nel 2002 -con metodica mista tradizionale e GPS- dall'A.T.I. *Rossi-Rati-Geostaff* per l'U.S.I. di Firenze del *Provveditorato Regionale alle OO.PP.* [USI_2002] e forniti dalla *Provincia di Arezzo*, relativi ai tratti classificati di *II* cat. di T. Montelungo e T. Parce

4. rilievi celerimetrici eseguiti [presumibilmente] -con metodica tradizionale- negli anni 2000(?) da *Bavecchi et al.* [BAV_200*X*], relativi al T. Montelungo, al T. Parce ed al F.so Monaco.

Di nessuno dei rilievi disponibili (*sub* 2., 3. e 4.) è certificata accuratezza e precisione di collaudo, né sono rinvenibili pilastrini di materializzazione degli estremi di traccia. Del solo rilievo USI_2002 è noto il capitolato tecnico d'appalto. Il rilievo *sub* 4. è alla base della progettazione ufficiale degli interventi di mitigazione del rischio idraulico su T. Montelungo e T. Parce[27], mentre quello *sub.* 2 sottende lo studio generale circa il rischio idraulico nel Comprensorio di Bonifica della Val di Chiana Romana[28].

Nell'ambito di tale quadro conoscitivo [e delle disponibilità economiche], il rilievo integrativo commissionato dal Comune di Chiusi ha avuto chiara finalità *integrativa*, assumendo che i rilievi già disponibili fossero internamente coerenti e consistenti e che, dunque, ai fini in oggetto, potesse essere sufficiente la sola verifica speditiva della coerenza *tra* i diversi rilievi. Sono stati quindi individuati pochi punti stabili (nell'arco di tempo di realizzazione dei vari rilievi[29]) di confronto -impalcati dei ponti, opere d'arte, sponde rivestite, ...- sui cui [eventuali] differenziali di quota effettuare semplici traslazioni verticali dell'intero *set* di sezioni pertinenti.

Tale verifica è stata oggetto del **rilievo BART_2008**[30], che -**per il presente lavoro**- **costituisce la georeferenziazione di riferimento**.

3.1.3.1.1.1 T. Montelungo e T. Parce

Per il T. Montelungo erano stati esplicitamente previsti in fase di programmazione del rilievo BART_2008 alcune sezioni/punti di controllo per la verifica sia di BAV_200*X* sia di USI_2002.

Omettendo la discussione del primo caso -data la *totale sostituzione* di BAV_200*X* con BART_2007- si riportano in Fig. 9 e Tab. 6 i principali elementi di raffronto tra USI_2002 e BART_2007 alla *transizione* tra i due rilievi, ovvero al ponte su via Cassia Aurelia a Chiusi Scalo, inizio del tratto di *II* categoria.

Si può rilevare come lo scarto tra i due rilievi sia inferiore sia alla accuratezza nominale di BART_2007 sia alla incertezza complessiva di raffronto[31], a meno dell'impalcato di copertura di valle del T. Montelungo (Fig. 10). Tale affatto non trascurabile discrepanza appare dovuta alla non corrispondenza alla realtà attuale (Fig. 11) del rilievo USI_2002, accertata anche a seguito di ulteriori verifiche di ridondanza [*Bartoletti*, 2007 e 2008]. Data la coerenza di tutti gli altri punti, tale anomalia

[27] *Interventi per la messa in sicurezza delle aree soggette ad esondazione del Torrente Parce, Gragnano e Montelungo* – Progetto Definitivo – Agg. 2007 [*Bavecchi*, 2007 e succ.].

[28] *Studio per la redazione delle mappe di allagabilità nel reticolo idrografico minore del comprensorio di Bonifica della Val di Chiana Romana* [*Hydrosystem-C.b.C.R.*, 2004].

[29] Ultime opere significative di riprofilatura e/o attraversamento del T. Montelungo nel tratto urbano realizzate negli anni '80-primi '90 [*Uff. Tecnico* del Comune di Chiusi].

[30] Per i dettagli si rimanda al lavoro originario [*Bartoletti*, 2008].

[31] +10-15 *cm* in modalità GPS su punti certamente identici (caposaldi). Almeno 20-25 *cm* altrove.

viene derubricata a mero errore accidentale (non sistematico)[32].

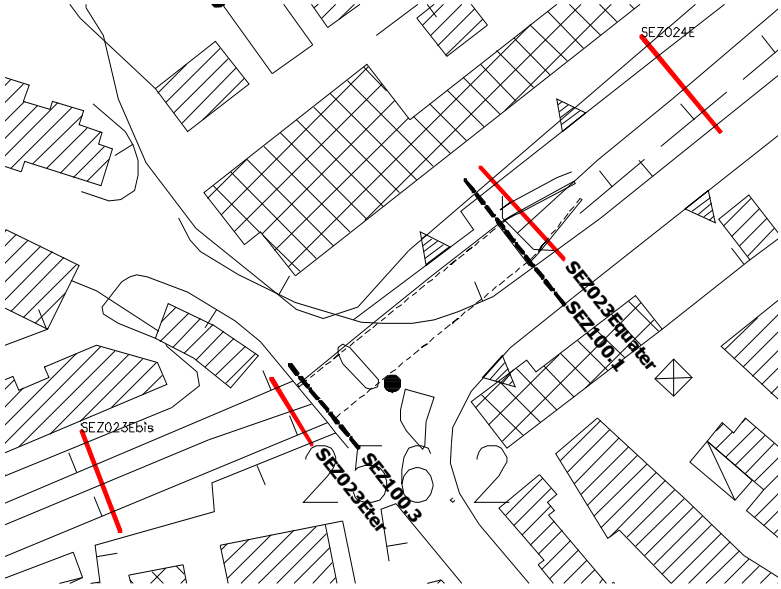


Fig. 9. *Attraversamento di via Cassia Aurelia a Chiusi Scalo sul T. Montelungo. Sezioni* `100.3` *e* `100.1 USI_2002` *e* `Sez023Eter/quater BART_2007`. *Planimetria schematica su CTR in scala 1:10.000* [*309.160*].

Tab. 6. *Attraversamento di via Cassia Aurelia a Chiusi Scalo sul T. Montelungo. Quote principali di raffronto* [*m* s.l.m.] *tra le sezioni* `100.3` *e* `100.1 USI_2002` *e le* `Sez023Eter/quater BART_2007`.

	Sez. 100.3	**Sez023E*ter***	**Sez. 100.1**	**Sez023E*quater***
Estradosso ponte	258.88	258.95[33]	257.79	258.63
Intradosso ponte	257.34	257.20	256.22	256.97
Fondo alveo[34]	254.09	254.10	253.81	253.77
Sommità sponda dx	non confrontabili	non confrontabili	258.31	258.28

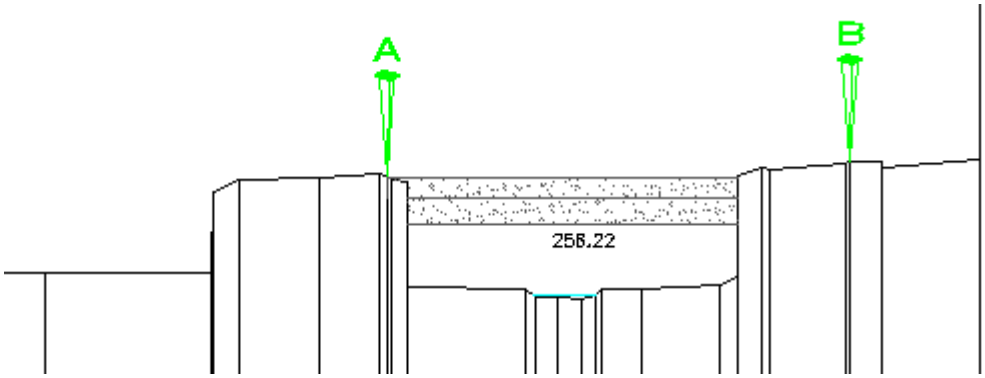


Fig. 10. *Attraversamento di via Cassia Aurelia a Chiusi Scalo sul T. Montelungo. Sezione* `100.1 USI_2002`.

[32]Verosimilmente confondendo sommità muretto di cordolo con estradosso soletta di copertura e/o per [non note] sopravvenute modifiche strutturali.

[33]Baulatura +5 *cm*.

[34]Rivestito in *cls*.



Fig. 11*. Attraversamento di via Cassia Aurelia a Chiusi Scalo sul T. Montelungo. Viste da valle* 002E *e* 007E [Bartoletti, 2007]*.*

In definitiva, per il T. Montelungo è stata assunta l'utilizzabilità contestuale -ovvero senza traslazioni relative- di BART_2007 (tratto classificato di *III* cat. a monte della via Cassia Aurelia) e USI_2002 (a valle dellla medesima, tratto di *II* cat.), con l'unica **correzione** di sostituire la geometria USI_2002 dell'impalcato di via Cassia Aurelia con quella di BART_2007.

Anche per quanto riguarda il T. Parce, la finalità di BART_2007 è l'integrazione a monte dell'autostrada A1 di USI_2002. Il raccordo tra i due è stato dunque verificato all'interfaccia A1 (Fig. 13). In particolare, sono state confrontate sia le due sezioni di filo monte/valle del ponte autostradale (Sez019A/020A) (Fig. 14), sia due ulteriori sezioni a monte dello stesso (Sez017A/014A)

Seppur con alcune incertezze (Tab. 7) -al solito (*sic*) relative più agli impalcati che alle sezioni

idrografiche- anche per il T. Parce è stato ritenuto accettabile (±20 *cm*) ai fini in oggetto[35] riassumere in un'unica geometria i rilievi BART_2007 (a monte della A1) e USI_2002 (ponte[36] e tratto a valle della A1), senza operare alcuna correzione in quota.



Fig. 12. *Attraversamento di via Cassia Aurelia a Chiusi Scalo sul T. Montelungo. Particolare filo di valle. Vista laterale* 010E [Bartoletti, 2007].

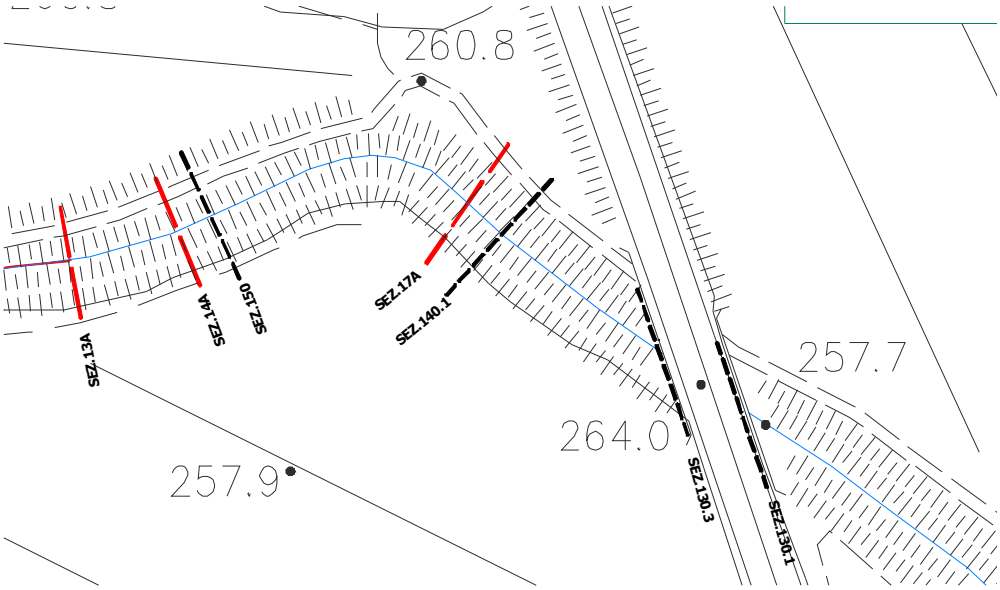


Fig. 13. *Attraversamento della* A1 *sul T. Parce a Montallese. Sezioni* 140.1 *e* 150 USI_2002 *e* Sez017A/014A BART_2007. *Tracce di* Sez019A/020A *praticamente coincidenti con quelle di sezz.* 130.3/1. *Planimetria schematica su* CTR *in scala 1:10.000* [309.120].

[35]Considerate le incertezze e cautele complessivamente assunte nella definizione delle aree allagabili.
[36]Cautelativamente.

Tab. 7. Attraversamento della A1 *sul T. Parce a Montallese. Quote principali di raffronto* [*m* s.l.m.] *tra le sezioni* 130.3/1 *e* 140.1/150 USI_2002 *e le* Sez019A/020A *e* Sez017A/014A BART_2007*.*

	Sez. 130.3	**Sez019A**	**Sez. 130.1**	**Sez020A**	**Sez. 150**	**Sez014A**	**Sez. 140.1**	**Sez017A**
Estradosso ponte	263.35	263.69	*idem*	*idem*	-	-	-	-
Intradosso ponte	261.07	261.79	*idem*	*idem*	-	-	-	-
Fondo alveo[37]	257.10	256.65	256.92	256.88	257.72	257.85	257.46	257.43
Argine dx	261.15	261.31	261.10	261.28	261.54	261.38	261.62	261.51
Argine sx	261.23	261.56	261.27	261.27	262.45	262.33	261.97	262.24





Fig. 14. *Attraversamento della* A1 *sul T. Parce a Montallese. Viste da monte e laterale dx* 108A *e* 116A [Bartoletti, 2007].

3.1.3.1.1.2 C.le Chianetta

Per il sistema idrografico afferente il C.le Chianetta, i rilievi celerimetrici disponibili sono in massima parte -C.le Chianetta, F.so Fargnia e F.so delle Cardete- provenienti dalla medesima fonte, il *C.b.C.R.* I rilievi BART_2007 coprono la sola asta idrografica del F.so Tarantello, senza sovrapposizioni con CBCR_200*X*. Data la intrinseca coerenza[38] tra i rilievi CBCR_200*X* ed il DEM_*Idra*, per la

[37] Stabilizzato solo localmente, non noto se su sezioni rilevate.

[38] In quanto già utilizzati per la mappatura delle aree allagabili di cui in *op. cit.* [*C.b.C.R.*, 2004].

integrabilità dei due rilievi si è ritenuto sufficiente verificare direttamente la coerenza tra BART_2007 e DEM_*Idra*.

A tal fine sono stati confrontati gli estradossi dei ponti per i quali non vi fossero coperture oscuranti il *Lidar*. Lo scarto risulta mediamente compreso entro 5 *cm*, con differenze massime di 15 *cm* (Tab. 8), ampiamente sufficiente agli scopi e compatibili con le metodiche di base (Tab. 9) e le incertezze complessive. Dunque, la geometria idraulica del sistema C.le Chianetta è stata definita dall'integrazione -senza correttivi relativi- di CBCR_200*X* e BART_2007.

Tab. 8. *Ponti sul C.le Chianetta a Chiusi Scalo-Le Biffe. Quote di estradosso di raffronto* [*m* s.l.m.] *tra rilievo* CBCR_200*X* *e* DEM_*Idra* [codice sezione riferito al modello HEC-*Ras*].

	Sez. 8755.0 [via Cassia Aurelia]	**Sez. 7960.0 [--]**	**Sez. 5265.0 [F.S. Lenta]**	**Sez. 3272.0 [--]**	**Sez. 2980.0 [F.S. Direttissima]**
CBCR_200*X*	249.82	249.37	251.48	248.45	249.65
DEM_*Idra*	249.85	249.32	251.36	248.30	249.60

Tab. 9. *Ponti sul F.so Tarantello a Le Biffe. Quote di estradosso di raffronto* [*m* s.l.m.] *tra rilievo* BART_2007 *e* DEM_*Idra*.

	Sez. 859.2 [--]	**Sez. 770.0 [--]**	**Sez. 685.0 [--]**	**Sez. 160.0 [--]**
CBCR_200*X*	252.78	252.26	251.99	250.73
DEM_*Idra*	252.68	252.36	252.10	250.86

3.1.3.1.2 Confronto CTR_2k-DEM_*Idra*

Il confronto effettuato tra CTR_2k -base di stampa delle aree a pericolosità idraulica e delle estensioni di sezione in assenza di copertura del DEM- e DEM_*Idra* ha anch'esso mero carattere speditivo di verifica di accettabilità ai fini in oggetto della utilizzazione contestuale dei due strati informativi. A tal fine sono quindi stati estratte poche decine di "nuvole" di punti DEM_*Idra* intorno a punti di quota nota e ben riconoscibile di CTR_2k, determinandone gli scarti quadratici medi.

In estrema sintesi, possono distinguersi -relativamente al solo areale qui di interesse- 3 zone a diverso differenziale medio:

1. zona in destra T. Montelungo a Chiusi Scalo fino a Via N. Sauro compresa (esclusa piazza VIII Aprile 1948), ove le quote DEM risultano mediamente +0.30 *m* rispetto a quelle CTR_2k
2. zona compresa tra piazza VIII Aprile 1948 e via S. Pellico compresa, ove gli scarti medi tra le quote dei due strati risultano trascurabili (≤0.1 *m*)
3. zona compresa tra via S. Pellico e la zona industriale Le Biffe (inclusa), ove le quote DEM risultano mediamente -0.20 *m* rispetto a quelle CTR_2k .

Altre singolarità con scostamenti maggiori (>0.5 *m*) sono rilevabili a *spot*, soprattutto nell'intorno di via di Fondovalle.

In definitiva, gli ordini di grandezza degli scostamenti medi -seppur speditivamente riscontrati- paiono coerenti con le accuratezze nominali dei diversi prodotti e compatibili con le finalità del lavoro.

3.1.3.2 T. Montelungo [TRMLG]

Il modello TRMLG comprende i seguenti corsi d'acqua:

- *T. Montelungo* per *ca.* 5 *km* dall'immissione nell'area di colmata a *ca.* 650 *m* a monte della linea F.S. Direttissima
- *F.so San Giovanni* per *ca.* 0.40 k*m* dalla confluenza nel T. Montelungo
- *F.so Montelungo* per *ca.* 0.45 k*m* dalla confluenza nel T. Montelungo
- *F.so Montelunghino* per *ca.* 1.15 k*m* dalla confluenza nel T. Montelungo
- *F.so Palazzuolo* per *ca.* 0.55 k*m* dalla confluenza nel T. Montelungo
- *F.so S.ta Caterina* per *ca.* 0.60 k*m* dalla confluenza nel T. Montelungo

Nel complesso, lo schema geometrico adottato per il sistema idraulico di moto vario TRMLG ha comportato la determinazione di ca. 1.700 sezioni, tra rilevate a terra (ca. 140), ricostruite da TIN ed interpolate, per ca. 8 km di reticolo idrografico (Fig. 15)**.**

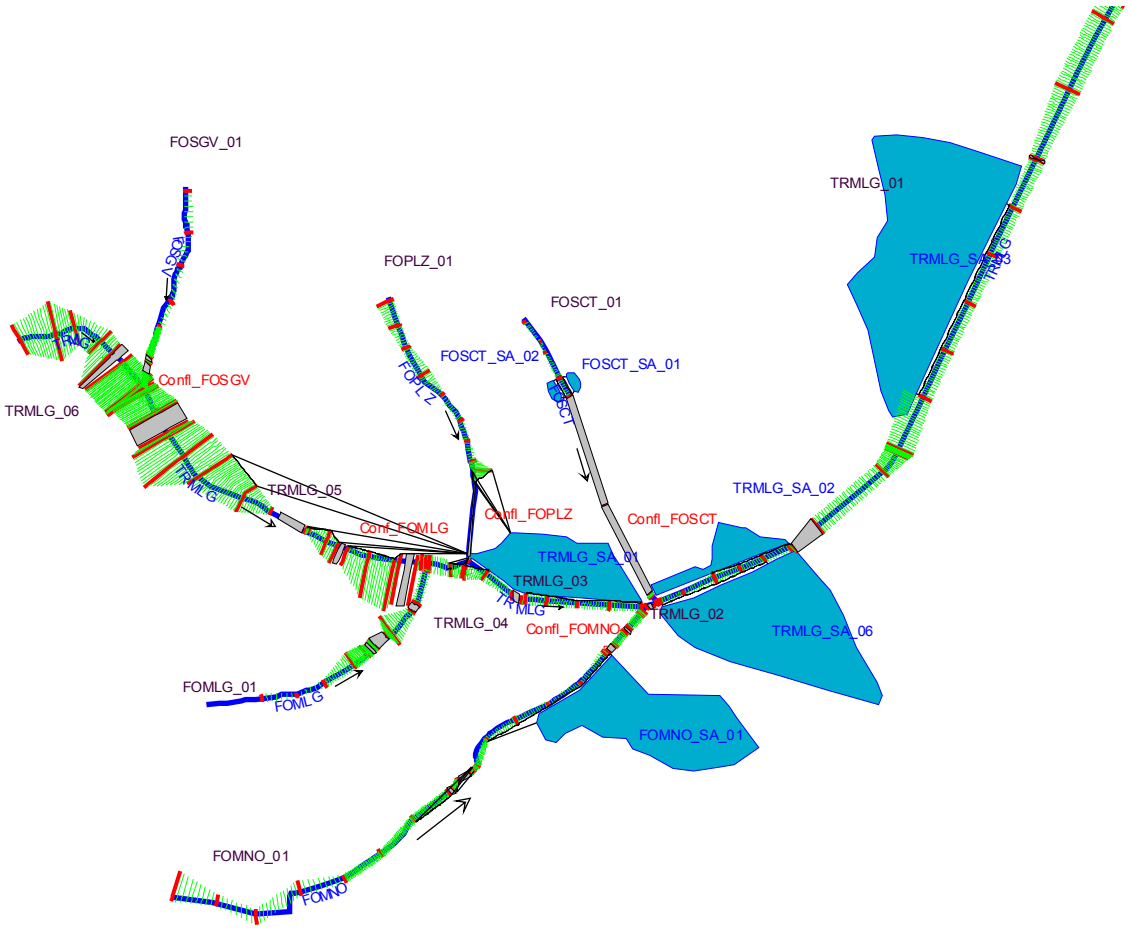


Fig. 15*. Schema planimetrico complessivo del sistema idraulico* TRMLG *analizzato in moto vario* [tratto terminale del T. Montelungo fuori figura]*.*

Il modello geometrico comprende *ca.* 25 fra ponti e tombini, 20 sfioratori laterali e 10 casse d'espansione. In Fig. 16÷Fig. 17 sono riportati alcune planimetrie di esempio del modello geometrico complessivo ed in Tab. 10 le codifiche di tratto e le relative progressive (sezioni) limite. Per i dettagli si rimanda direttamente agli elaborati digitali, alle tavole grafiche ed agli allegati numerici.

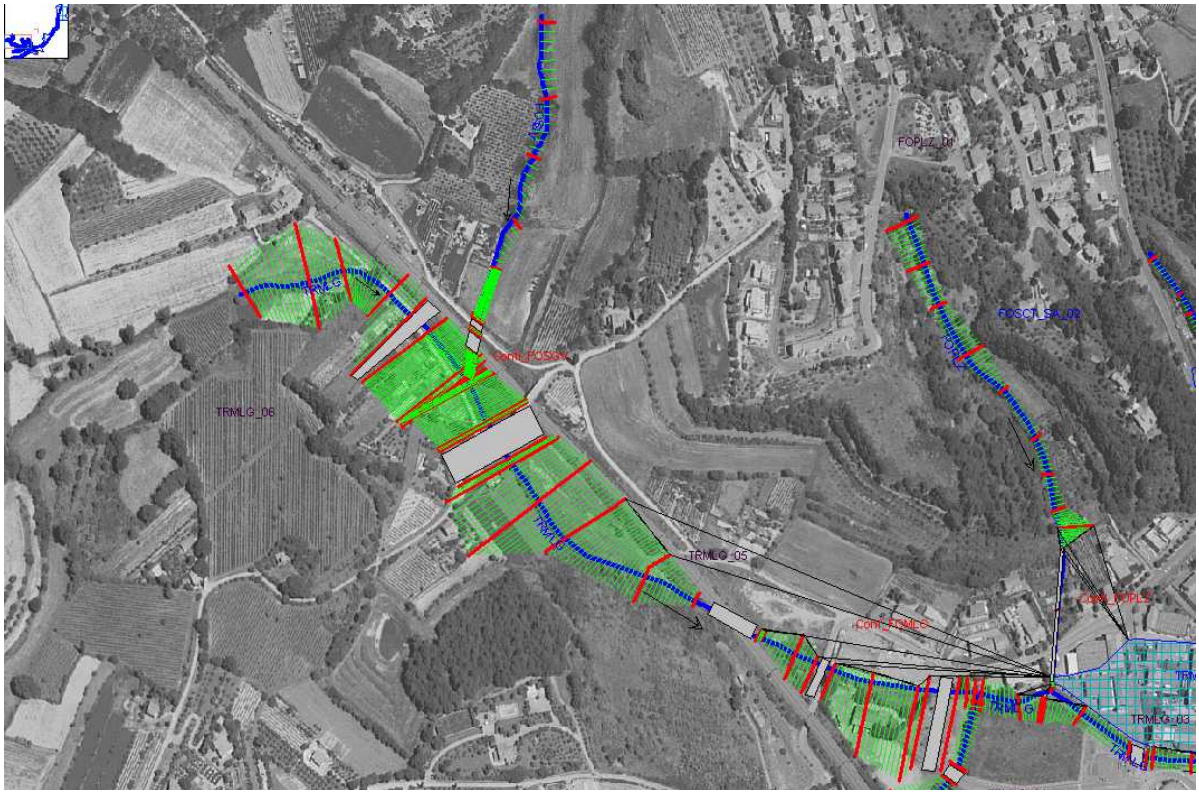


Fig. 16. *Schema planimetrico del sistema idraulico* TRMLG*: T. Montelungo a monte del F.so Montelunghino* [da sx a dx le confluenze dei F.si S. Giacomo [FOSGV], Montelungo [FOMLG] e Palazzuolo [FOPLZ]].

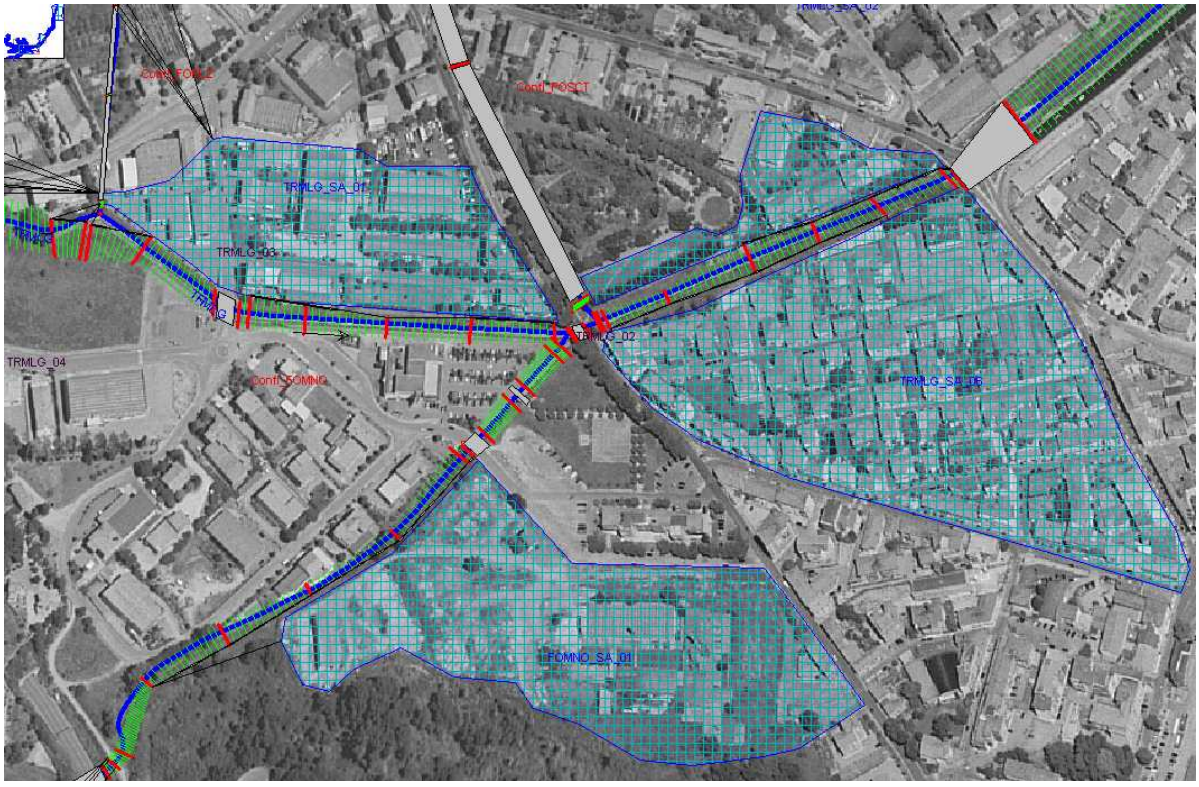


Fig. 17. *Schema planimetrico del sistema idraulico TRMLG: zona compresa tra via della Fontina e la stazione F.S. a Chiusi Scalo* [da sx a dx le confluenze dei F.si Palazzuolo [*FOPLZ*], Montelunghino [*FOMNO*] e S.ta Caterina [*FOSCT*]].

Tab. 10*. Codifica tratti dei corsi d'acqua modellati in moto vario* TRMLG [*Sez_M/V*=sezione/progressiva HEC di monte/valle]

DESCRIZIONE TRATTO	COD_TRATTO	*SEZ_M*	*SEZ_V*
T. Montelungo dall'inizio tratto di studio al F.so S. Giovanni	**TRMLG_06**	5012.6	4740.3
T. Montelungo dal F.so S. Giovanni al F.so Montelungo	**TRMLG_05**	4736.9	4081.9
T. Montelungo dal F.so Montelungo al F.so Palazzuolo	**TRMLG_04**	4075.0	4007.0
T. Montelungo dal F.so Palazzuolo al F.so Montelunghino	**TRMLG_03**	4005.12	3655.4
T. Montelungo dal F.so Montelunghino al F.so S.ta Caterina	**TRMLG_02**	3644.0	3623.9
T. Montelungo dal F.so S.ta Caterina all'area di colmata	**TRMLG_01**	3621.9	268.0
F.so S. Giovanni	**FOSGV_01**	387.1	1.0
F.so Montelungo	**FOMLG_01**	430.1	8.8
F.so Palazzuolo	**FOPLZ_01**	553.6	0.0
F.so Montelunghino	**FOMNO_01**	1144.1	9.2
F.so S.ta Caterina	**FOSCT_01**	582.3	1.0

Tutte le casse d'espansione introdotte nel modello geometrico hanno carattere fittizio.

3.1.3.3 C.le Chianetta [CLCNT]

Il modello CLCNT comprende i seguenti corsi d'acqua:

- *F.so Fargnia* per *ca.* 1.2 k*m* dalla confluenza nel C.le Chianetta
- *C.le Chianetta* per *ca.* 9.25 k*m* dalla confluenza del F.so Fargnia al T. Astrone
- *F.so Cardete* per *ca.* 2.00 k*m* dalla confluenza nel C.le Chianetta
- *F.so Tarantello* per *ca.* 1.20 k*m* dalla confluenza nel F.so Cardete
- *F.so Tombarelle* per *ca.* 1.40 k*m* dalla confluenza nel F.so Cardete

ed i seguenti tratti *extra*-alveo

- *F.so Fargnia_Dx* per *ca.* 2.00 k*m* a monte della confluenza F.so Fargnia-C.le Chianetta
- *C.le Chianetta_Dx* per *ca.* 3.80 k*m* a valle della confluenza F.so Fargnia-C.le Chianetta

Nel complesso, lo schema geometrico adottato per il sistema idraulico di moto vario* CLCNT *ha comportato la determinazione di ca. 2.250 sezioni, tra rilevate a terra, ricostruite da TIN ed interpolate, per ca. 19 km di reticolo idrografico ed extra-alveo (Fig. 18)**.**

Il modello geometrico comprende *ca*. 40 fra ponti e tombini, 100 sfioratori laterali, 20 casse d'espansione e 10 connessioni tra casse. In Fig. 19÷Fig. 20 sono riportati alcune planimetrie di esempio del modello geometrico complessivo, ed in Tab. 11 le codifiche di tratto e le relative progressive (sezioni) limite. Per i dettagli si rimanda direttamente agli elaborati digitali, alle tavole grafiche ed agli allegati numerici.

Tab. 11*. Codifica tratti dei corsi d'acqua* ed extra-alveo *modellati in moto vario* CLCNT [*Sez_M/V*=sezione/progressiva HEC di monte/valle]

DESCRIZIONE TRATTO	COD_TRATTO	*SEZ_M*	*SEZ_V*
F.so Fargnia dall'inizio tratto di studio al C.le Chianetta	**CLCNT_03**	11167.7	9288.6
C.le Chianetta dal F.so Fargnia al F.so Cardete	**CLCNT_02**	9234.2	5549.4
C.le Chianetta dall F.so Cardete al T. Astrone	**CLCNT_01**	5529.8	125.0
F.so Cardete dall'inizio tratto di studio al F.so Tarantello	**FOCDT_03**	2007.9	1168.9
F.so Cardete dal F.so Tarantello al F.so Tombarelle	**FOCDT_02**	1156.9	451.9
F.so Cardete dal F.so Tombarelle al C.le Chianetta	**FOCDT_01**	446.9	1.3
F.so Tarantello	**FOTRT_01**	387.1	1.0
F.so Tombarelle	**FOTBL_01**	1374.8	8.0
F.so Fargnia_Dx	**FOFGN_DX_01**	1992.1	10.0
C.le Chianetta_Dx	**CLCNT_DX__01**	3824.74	1539.0

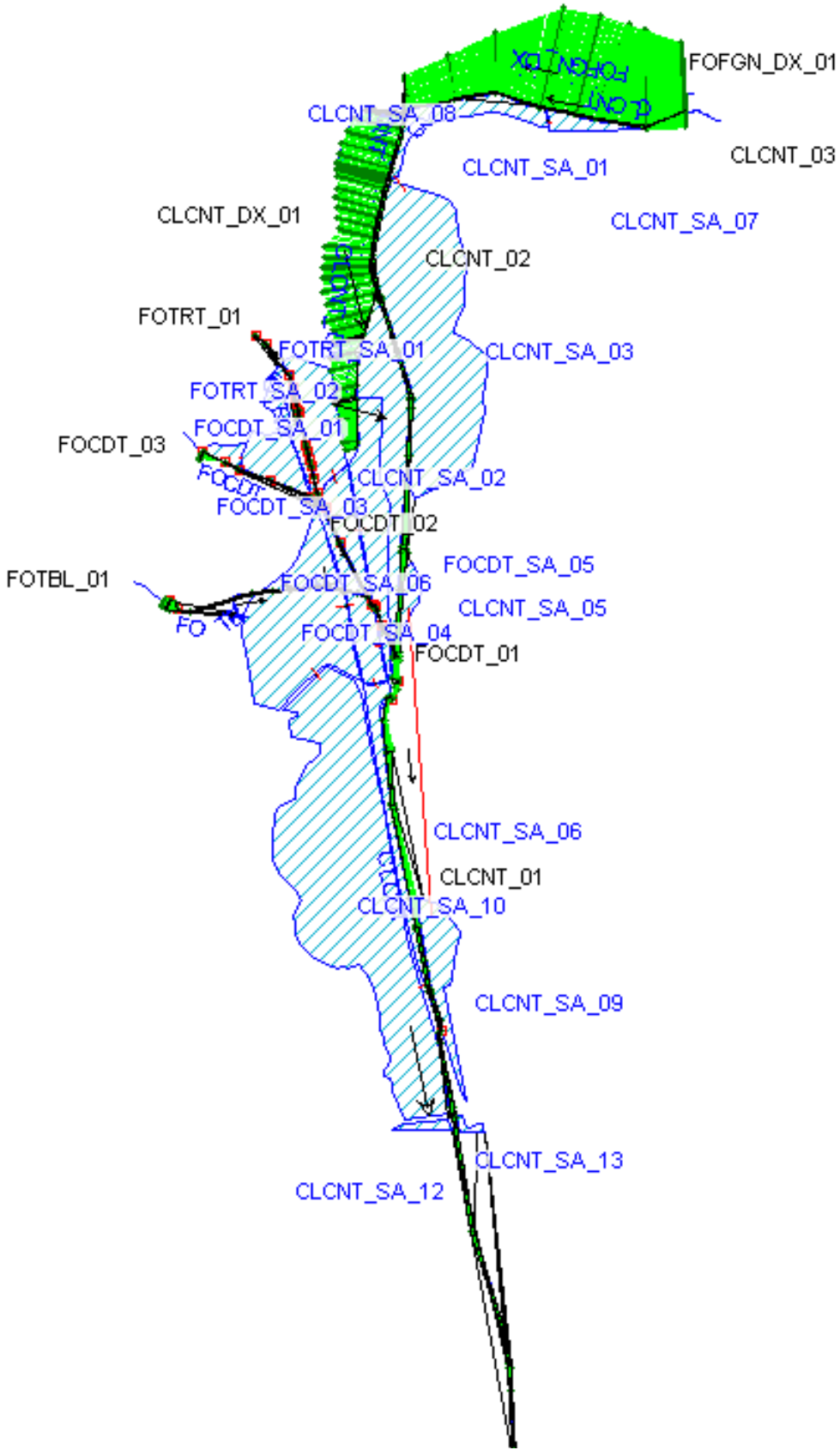


Fig. 18. *Schema planimetrico complessivo del sistema idraulico* CLCNT *analizzato in moto vario.*

La geometria di modellazione *extra*-alveo (casse e *reaches*) è definita essenzialmente su DEM_*Idra*, con due principali aggiornamenti relativi a:

a) *Nuovo Scalo Merci* a Chiusi Scalo, per il quale sono state acquisite dagli elaborati progettuali[39] le quote delle nuove urbanizzazioni stradali (in rilevato)

b) *Bretella di collegamento S.R. Umbro Casentinese-S.P. n. 146 a Po' Bandino* [*Prov. Perugia*, 2005-2008], per la quale sono state assunte le quote all'epoca dei rilievi CBCR_2008[40].

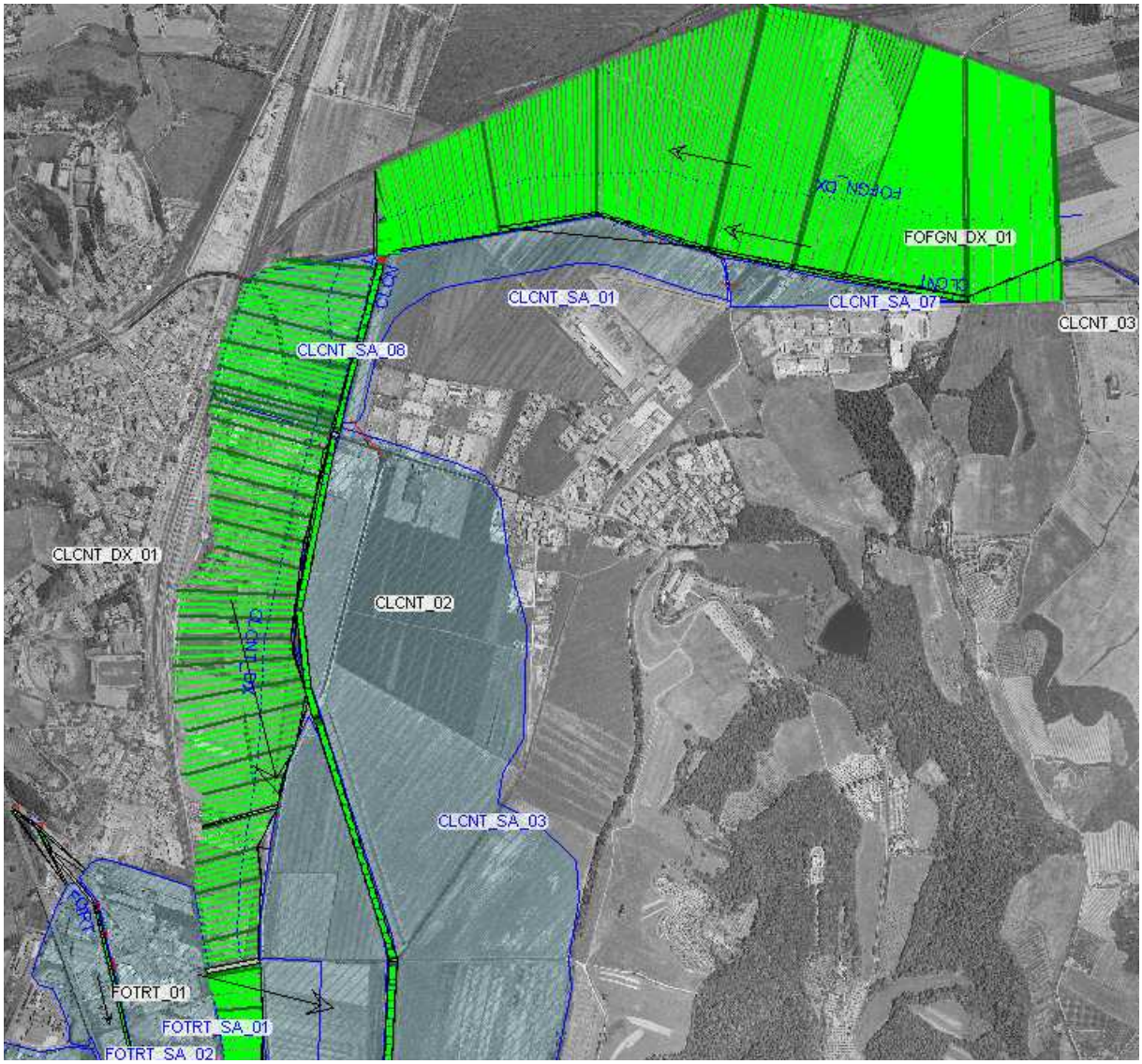


Fig. 19*. Schema planimetrico del sistema idraulico* CLCNT*: F.so Fargnia e C.le Chianetta in alveo* [CLCNT_03/02] *ed extra alveo* [FOFGN_DX_01 e CLCNT_DX_01] *tra Po' Bandino*[41] *e Le Biffe.*

[39] *Riqualificazione dell'Area dello Scalo Ferroviario di Chiusi* – progetto esecutivo – scalo merci - 1° e 2° stralcio funzionale [*Cretella*, 2005]. **N.B.** Quote di progetto non coerenti con DEM_*Idra*. Corrette di **+1.20 *m*** ($H_{cretella}=H_{DEM_Idra}+1.20$ *m*).

[40] Leggermente inferiori a quelle di stato definitivo ad opera finita. Rilievo effettuato in corso d'opera, con rilevato stradale mancanti dei soli strati di finitura superficiale. Rilevato stradale assunto impermeabile ai fini modellistici; permeabilità di tipo indiretto introdotta in fase di mappatura di *rev.* settembre 2011 alla luce di specifici sopralluoghi di verifica dello stato di fatto (tombini senza *clapet*).

[41] Casse di laminazione in *sx* F.so Fargnia limitate al nuovo rilevato stradale della c.d. bretella di Po' Bandino. *Cfr.* nota 40.

In Tab. 12 e Tab. 13 sono riportate le principali caratteristiche delle casse di laminazione e delle relative connessioni introdotte nel modello geometrico del sistema Chianetta.

Tab. 12*. Quadro riassuntivo delle principali caratteristiche delle casse di laminazione introdotte nel modello* CLCNT [*ID_HEC*=identificativo cassa nel modello idraulico; *Tipo*=funzione (*H*,*V*) Reale, concettuale o virtuale; $H_{min/max}$=quote min/max[42].

ID_HEC	TIPO	HMIN [*m* s.l.m.]	HMAX [*m* s.l.m.]
CLCNT_SA_01	Real	**248.20**	**251.40**
CLCNT_SA_02	Real	**247.35**	**250.00**
CLCNT_SA_03	Real	**247.50**	**250.40**
CLCNT_SA_05	Real	**247.20**	**250.50**
CLCNT_SA_06	Real	**246.50**	**250.50**
CLCNT_SA_07	Real	**251.80**	**254.00**
CLCNT_SA_08	Real	**247.50**	**251.50**
CLCNT_SA_09	Real	**245.00**	**250.00**
CLCNT_SA_10	Real	**245.30**	**252.00**
CLCNT_SA_12	*Fitt*	*-999*	*-999*
CLCNT_SA_13	*Fitt*	*-999*	*-999*
FOCDT_SA_01	Real	**252.55**	**260.35**
FOCDT_SA_03	Real	**251.00**	**255.60**
FOCDT_SA_04	Real	**248.40**	**253.40**
FOCDT_SA_05	Real	**247.30**	**252.70**
FOCDT_SA_06	Real	**247.80**	**255.40**
FOTRT_SA_01	Real	**249.00**	**253.80**
FOTRT_SA_02	Real	**250.30**	**254.70**

Tab. 13*. Quadro riassuntivo delle principali caratteristiche delle connessioni tra casse di laminazione iintrodotte nel modello* CLCNT [*ID_HEC*=identificativo connessione nel modello idraulico; *SA_M/V*=cassa di monte/valle; *Tipo*=reale con sfioratore o concettuale di *routing*; H_{Sfioro}=quota minima di sfioro; $K_{LinRout}$=valore del *k* di *routing*].

ID_HEC	SA_M	SA_V	TIPO	H_SFIORO	K_LINROUT
CLCNT_CONN_01	CLCNT_SA_01	CLCNT_SA_03	Real	**249.35**	*-999*
CLCNT_CONN_02	CLCNT_SA_06	CLCNT_SA_10	Real	**249.30**	*-999*
CLCNT_CONN_03	CLCNT_SA_05	CLCNT_SA_09	Real	**248.00**	*-999*
CLCNT_CONN_04	CLCNT_SA_07	CLCNT_SA_01	Real	**252.20**	*-999*
FOCDT_CONN_01	FOCDT_SA_01	FOCDT_SA_03	Real	**254.75**	*-999*
FOCDT_CONN_02	FOCDT_SA_04	FOCDT_SA_06	Real	**251.30**	*-999*
FOCDT_CONN_03	FOCDT_SA_06	CLCNT_SA_06	Real	**250.25**	*-999*
FOCDT_CONN_04	FOCDT_SA_04	CLCNT_SA_10	Real	**250.90**	*-999*
FOCDT_CONN_05	FOCDT_SA_05	CLCNT_SA_02	Real	**250.50**[43]	*-999*
FOCDT_CONN_06	FOCDT_SA_06	CLCNT_SA_02	Real	**250.60**	*-999*
FOTRT_CONN_01	FOTRT_SA_01	FOCDT_SA_05	Real	**249.40**	*-999*

[42]Massimi introdotti quali valori limite in HEC, talvolta superiori a quelli fisicamente significativi.

[43]247.35 *m* s.l.m. quota minima fondo tombini.

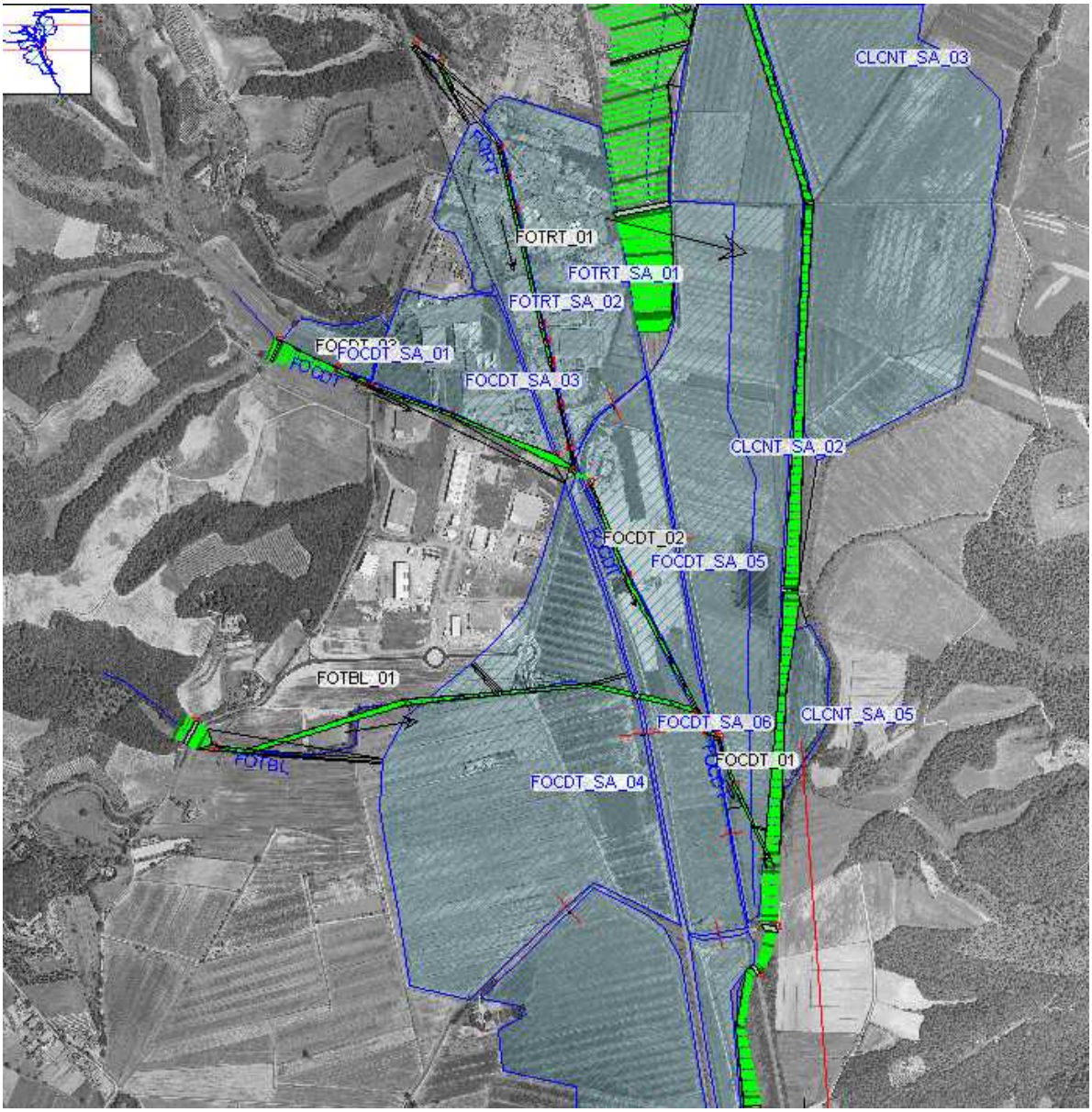
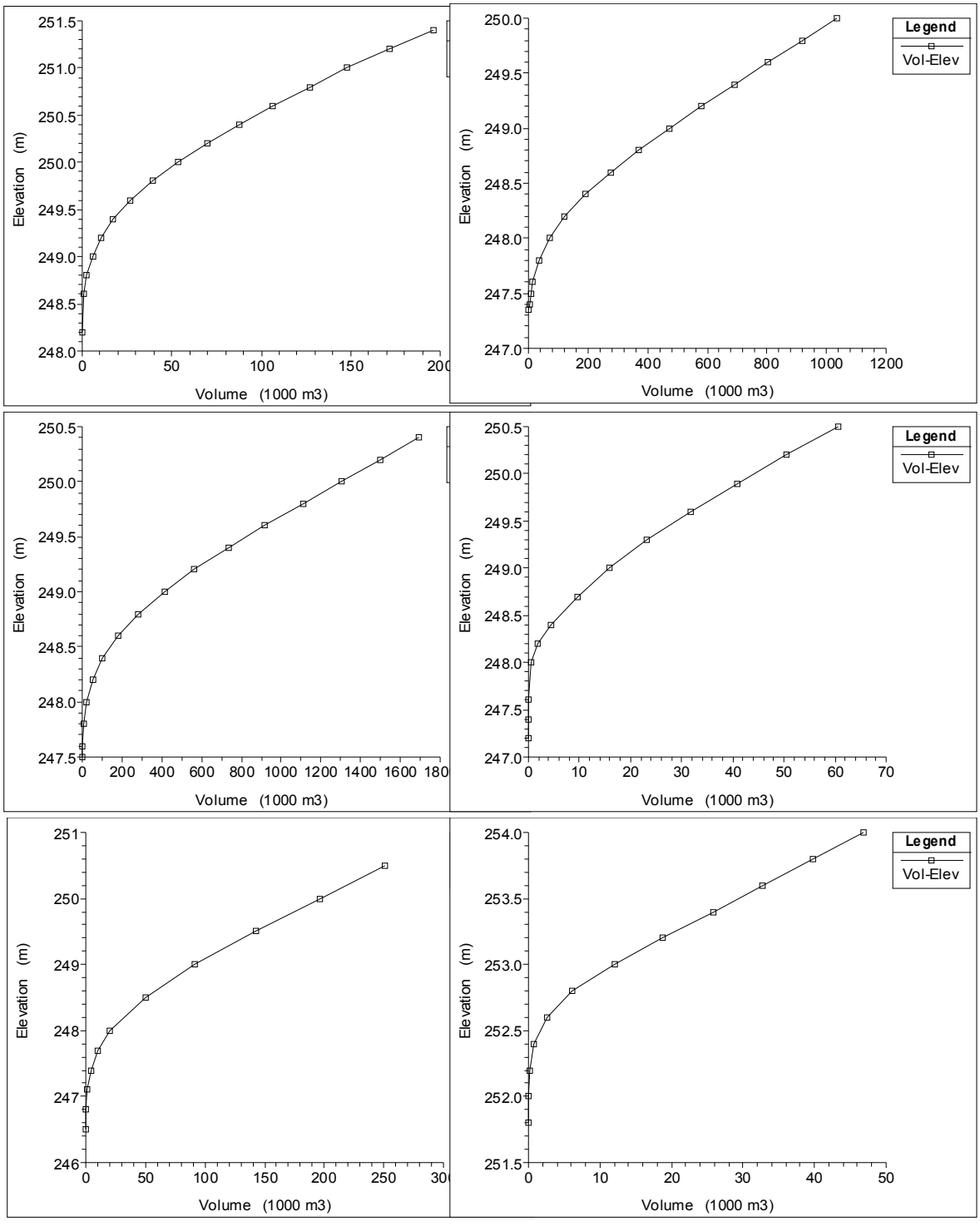


Fig. 20. *Schema planimetrico del sistema idraulico* CLCNT*: F.so Cardete* [FOCDT_03/02/01] *e C.le Chianetta* [CLCNT_02/01] *a Le Biffe* [dall'alto a sx F.so Tarantello [FOTRT_01] e F.so Tombarelle [FOTBL_01]].

Si riportano nelle figure seguenti le leggi di invaso ed i profili di connessione a stramazzo tra casse.


Elevation (m)
Volume (1000 m3)
Legend
Vol-Elev

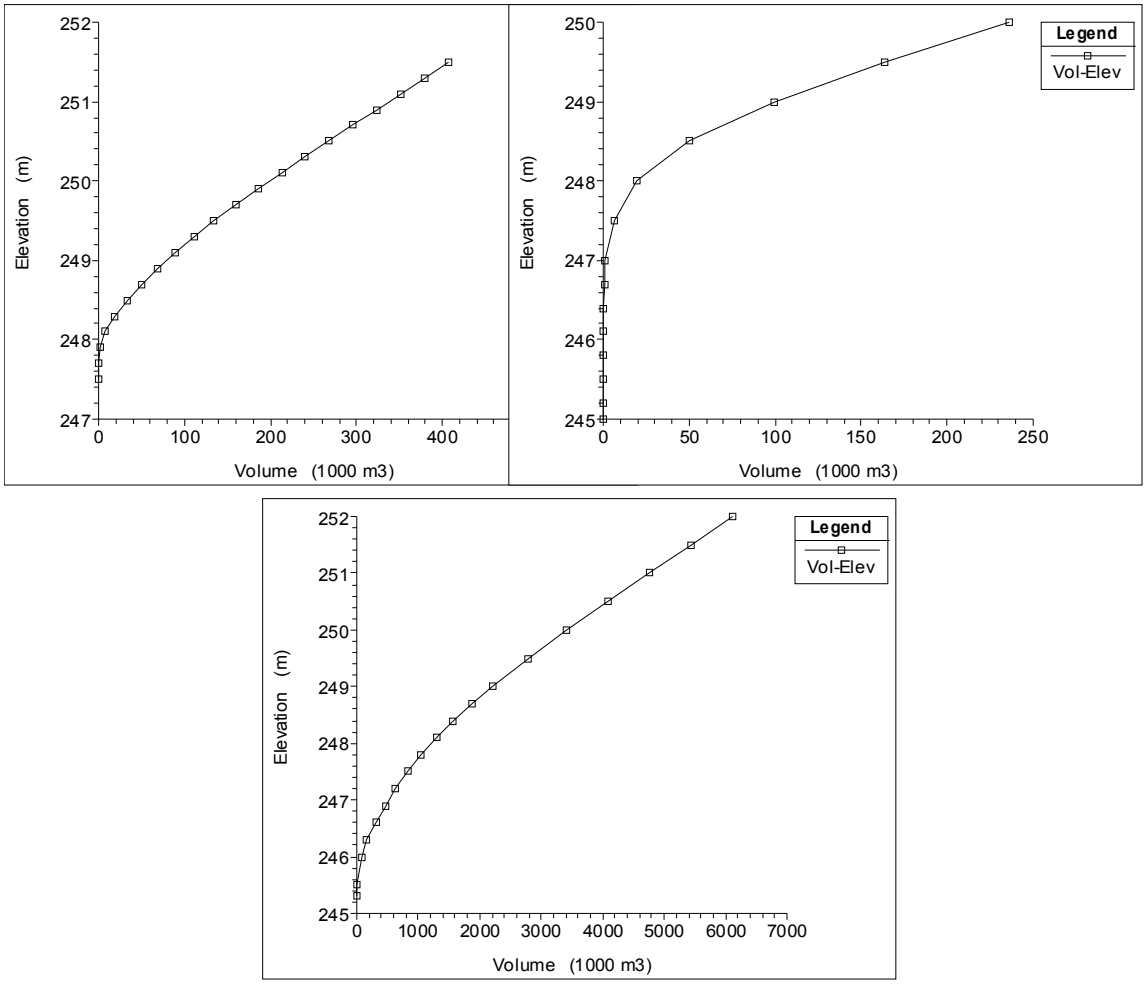
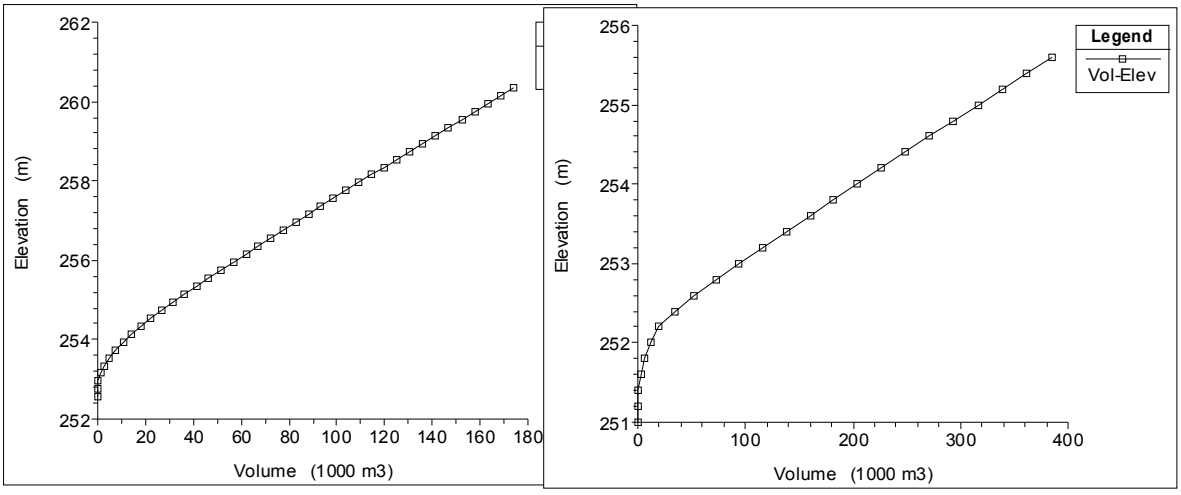


Fig. 21. *Funzione di invaso delle casse (da sx a dx, dall'alto al basso)* SA_01, 02, 03, 05, 06, 07, 08, 09 e 10 *sul C.le Chianetta.*



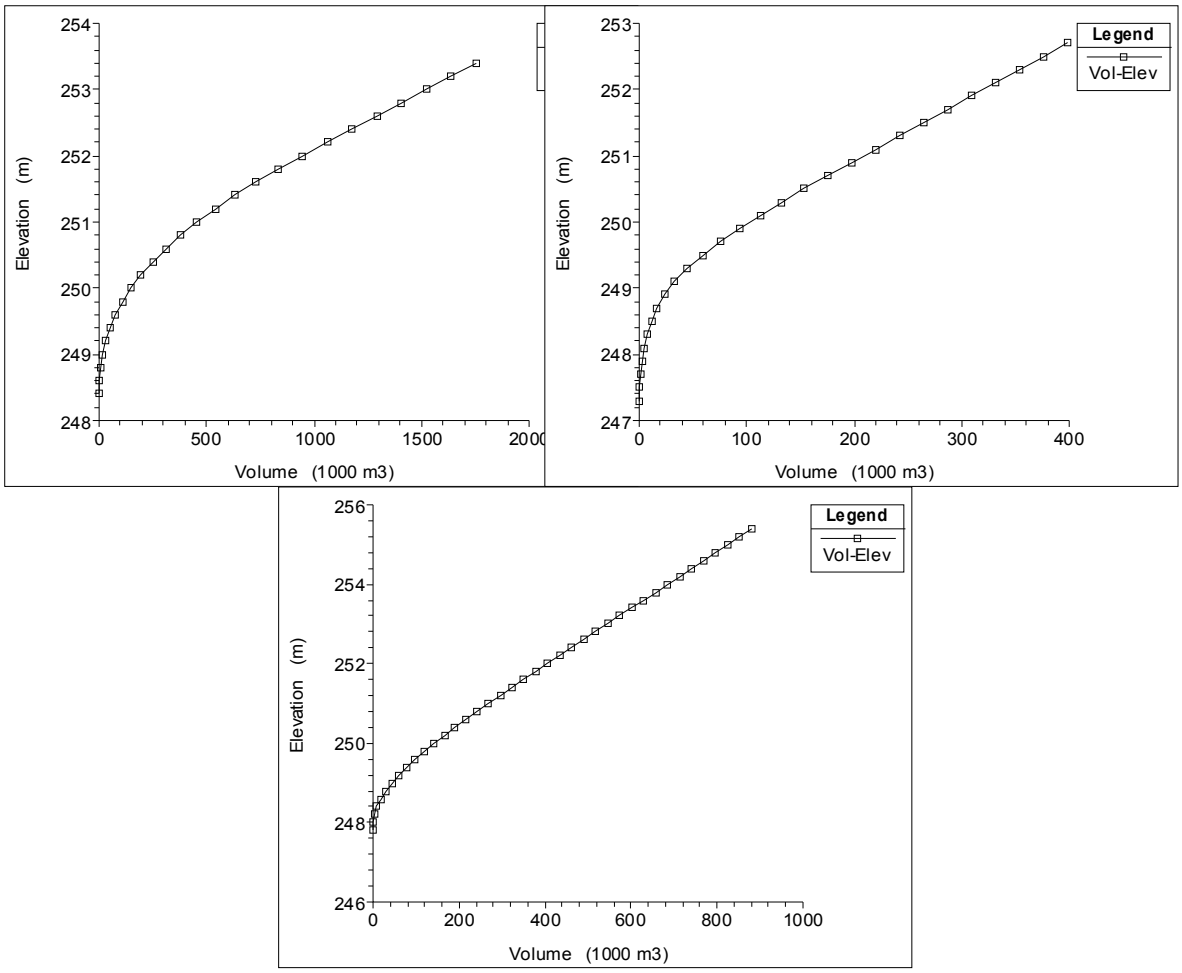


Fig. 22*. Funzione di invaso delle casse (da sx a dx, dall'alto al basso)* SA_01, 03, 04, 05 e 06 *sul F.so Cardete.*

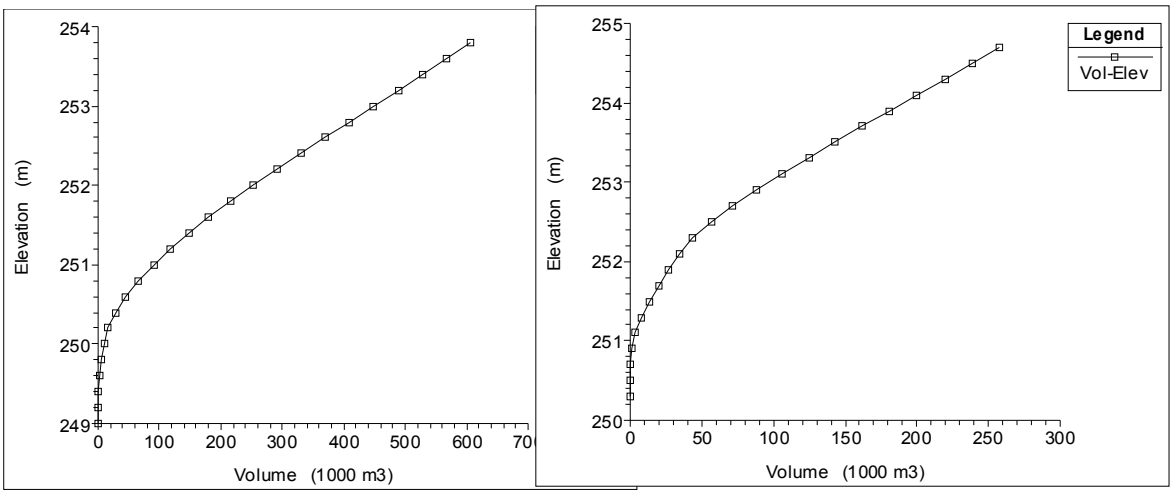


Fig. 23*. Funzione di invaso delle casse (da sx a dx, dall'alto al basso)* SA_01 e 02 *sul F.so Tarantello.*

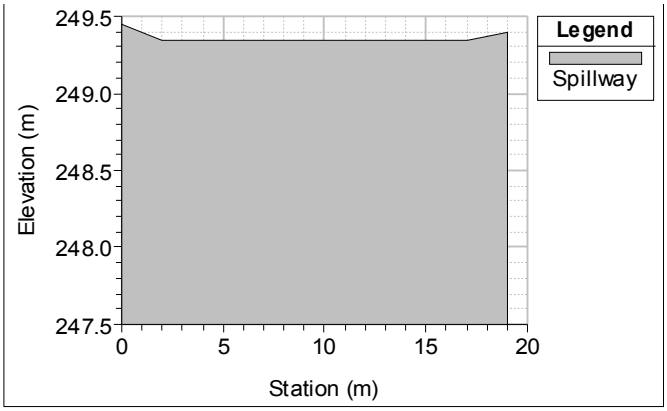


Fig. 24*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* CLCNT_CONN_01 *(S.P. n. 146) tra le casse* SA_01 *e* SA_03 *del C.le Chianetta.*

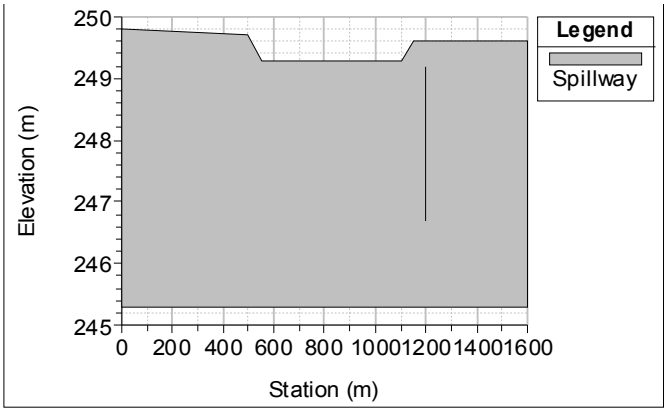


Fig. 25*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* CLCNT_CONN_02 *(S.P. n. 146) tra le casse* SA_06 *e* SA_10 *del C.le Chianetta.*

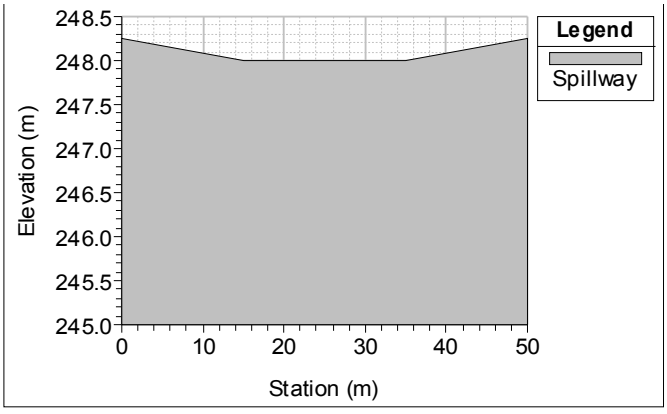


Fig. 26*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* CLCNT_CONN_03 *(F.so Paterno) tra le casse* SA_05 *e* SA_09 *del C.le Chianetta.*

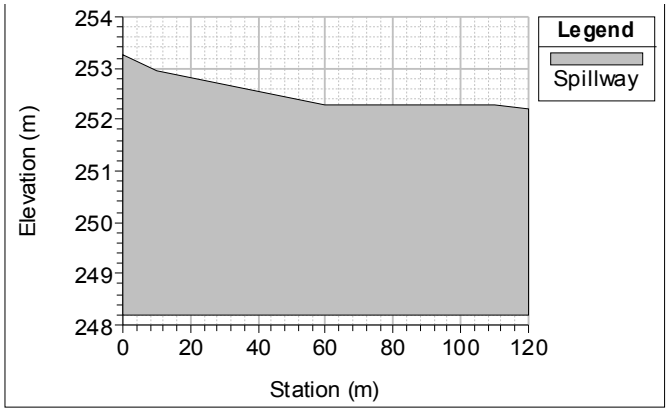


Fig. 27*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* CLCNT_CONN_04 *(strada campestre) tra le casse* SA_07 *e* SA_01 *del C.le Chianetta.*

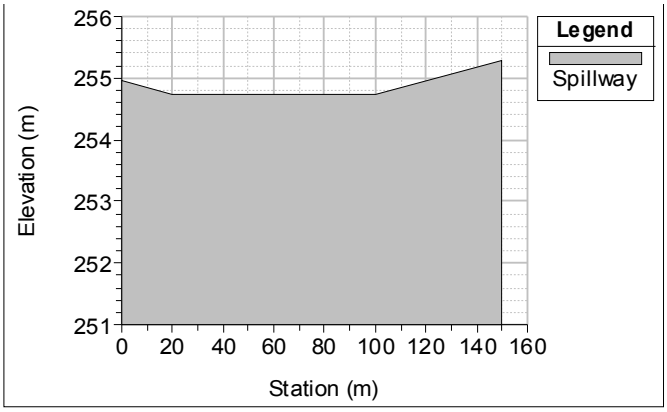


Fig. 28*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* FOCDT_CONN_01 *(S.P. n. 321) tra le casse* SA_01 *e* SA_03 *del F.so Cardete.*

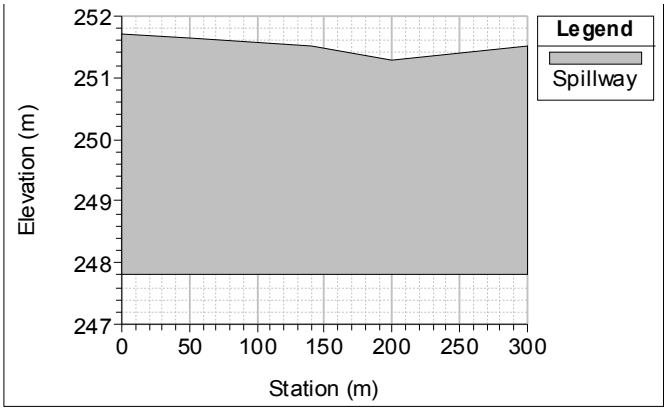


Fig. 29*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* FOCDT_CONN_02 *(FF.S. Direttiissima) tra le casse* SA_04 *e* SA_06 *del F.so Cardete.*

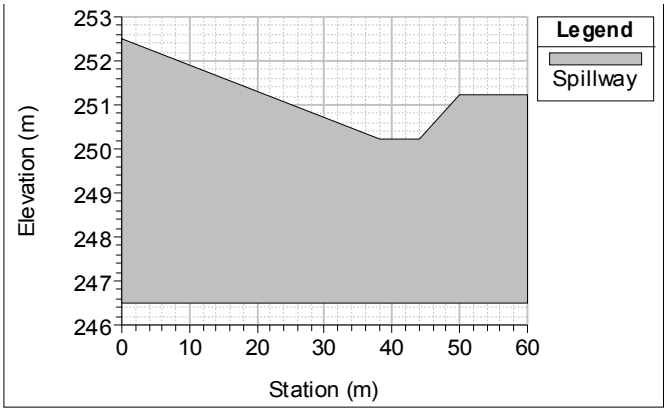


Fig. 30*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* FOCDT_CONN_03 *(Argine alla Volta) tra le casse* SA_04 *del F.so Cardete e* SA_06 *del C.le Chianetta.*

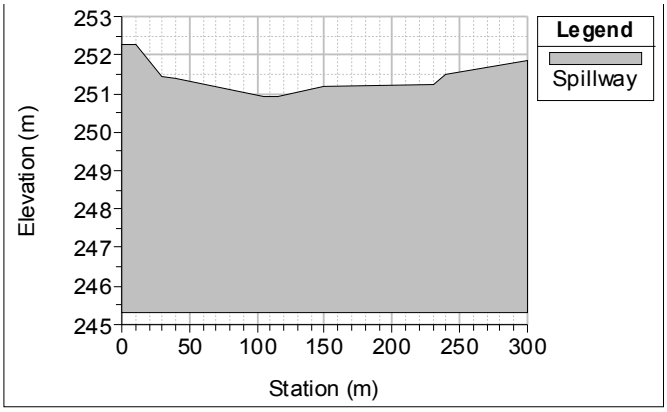


Fig. 31*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* FOCDT_CONN_04 *(Argine alla Volta-C. Bastione) tra le casse* SA_04 *del F.so Cardete e* SA_10 *del C.le Chianetta.*

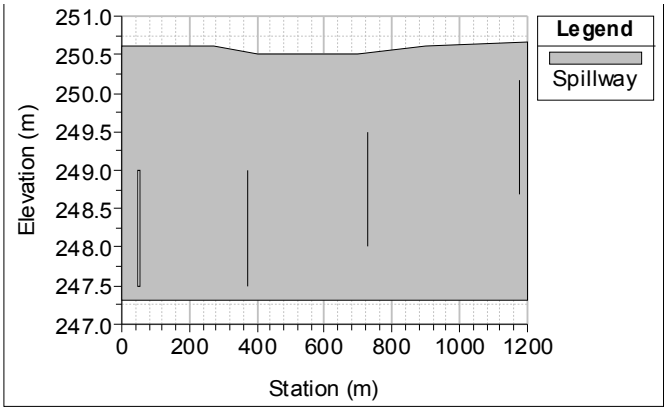


Fig. 32*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* FOCDT_CONN_05 *(FF.S. Lenta) tra le casse* SA_05 *del F.so Cardete e* SA_02 *del C.le Chianetta.*

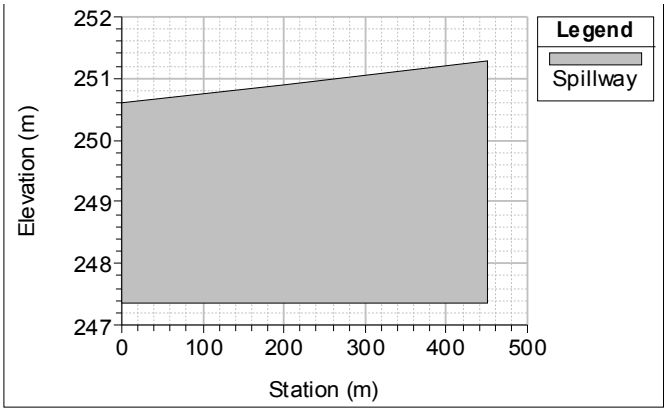


Fig. 33*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* FOCDT_CONN_06 *(FF.S. Lenta) tra le casse* SA_06 *del F.so Cardete e* SA_02 *del C.le Chianetta.*

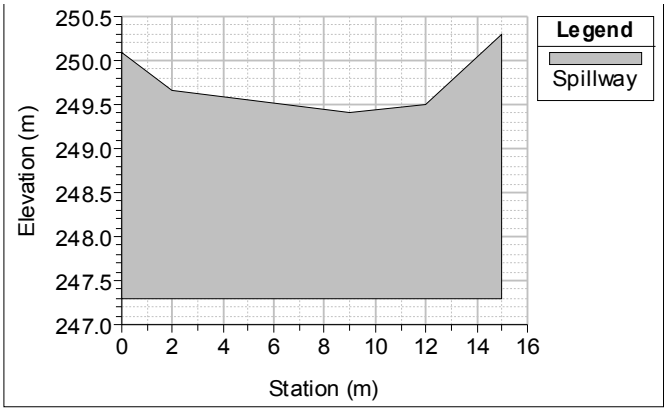


Fig. 34*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* FOTRT_CONN_01 *(S.P. n. 49C) tra le casse* SA_01 *del F.so Tarantello e* SA_05 *del F.so Cardete.*

Per la descrizione dei principali manufatti (ponti e tombini) si rimanda all'*Elab*. I01-3.

3.1.3.4 T. Parce [TRPRC]

Il modello TRPRC comprende i seguenti corsi d'acqua:

- *T. Parce* per *ca.* 5.0 k*m* a monte dell'argine di riparo
- T. Monaco per ca. 0.75 km dalla confluenza nel T. Parce

Nel complesso, lo schema geometrico adottato per il sistema idraulico di moto vario **TRPRC** ***ha comportato la determinazione di ca. 1.100 sezioni, tra rilevate a terra, ricostruite da*** **TIN**[44] ***ed interpolate, per ca. 6 km di reticolo idrografico*** (Fig. 35)**.**

Il modello geometrico comprende *ca.* 5 ponti, 30 sfioratori laterali, 10 casse d'espansione e 2 connessioni tra casse. In Fig. 36÷Fig. 37 sono riportati alcune planimetrie di esempio del modello geometrico complessivo, ed in Tab. 14 le codifiche di tratto e le relative progressive (sezioni) limite. Per i dettagli si rimanda direttamente agli elaborati digitali, alle tavole grafiche ed agli allegati numerici di calcolo.

[44]Essenzialmente fondato su CTR in scala 1:10.000.

Tab. 14. *Codifica tratti dei corsi d'acqua modellati in moto vario* TRPRC [*Sez_M/V*=sezione/progressiva HEC di monte/valle]

DESCRIZIONE TRATTO	COD_TRATTO	*SEZ_M*	*SEZ_V*
T. Parce dall'inizio del tratto di studio al T. Monaco	**TRPRC_03**	5067.6	2864.9
T. Parce dal T. Monaco all'argine di riparo	**TRPRC_01**	2845.8	88.7
T. Monaco dall'inizio del tratto di studio al T. Parce	**TRMNC_01**	757.0	14.0

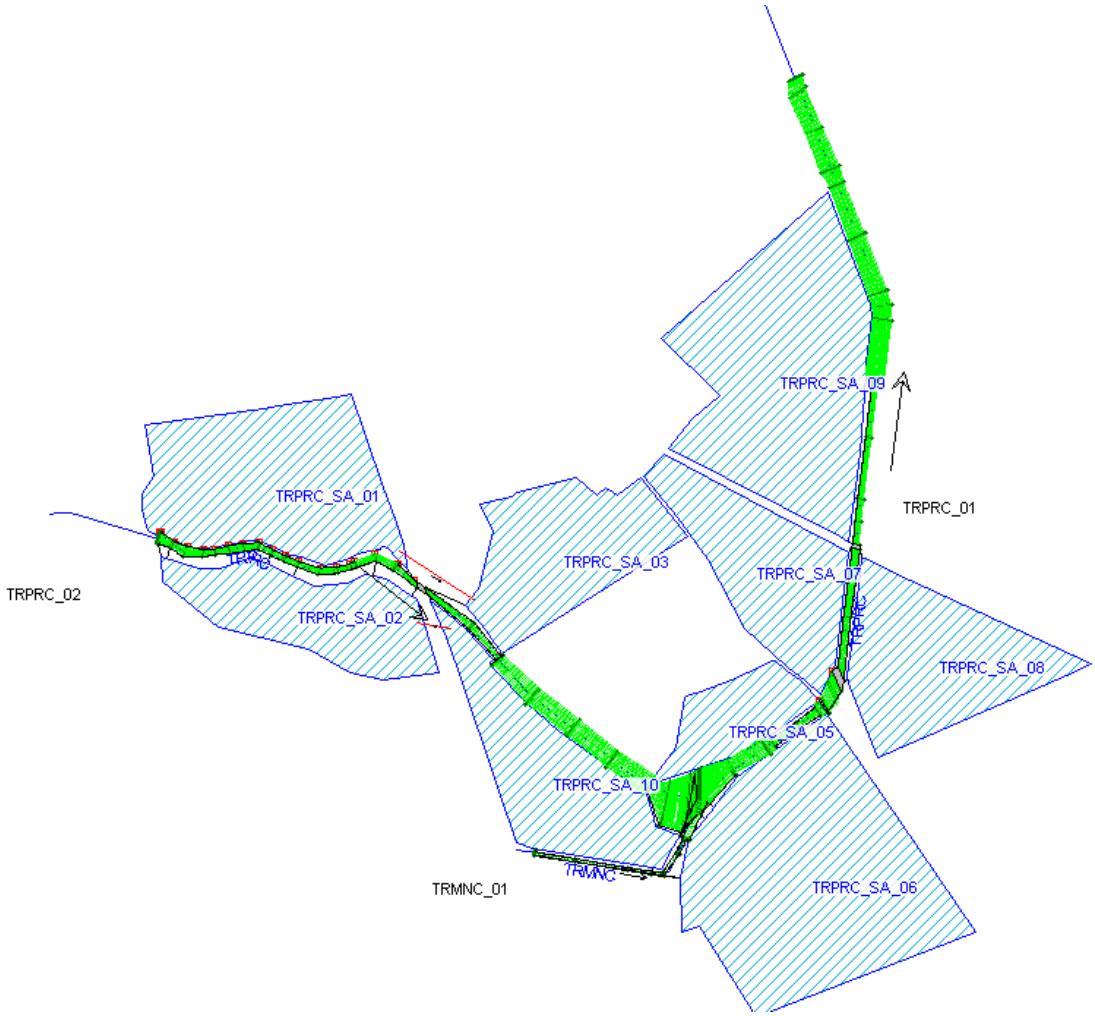


Fig. 35. *Schema planimetrico complessivo del sistema idraulico* TRPRC *analizzato in moto vario.*

La geometria di modellazione in alveo è definita sui rilievi celerimetrici già citati, fatta salva la modifica del profilo arginale di *sx* nel tratto di *II* categoria compreso tra le due linee FF.S. a valle della S.R. n. 326 a Montallese, conseguente a specifico intervento operato in tale tratto dalla Provincia di Arezzo, successivamente al 2002 [com pers. *Boschi*, 2008]. La caratterizzazione delle casse è basata su DEM derivato da CTR in scala 1:[2.000/]10.000.

In Tab. 15 e Tab. 16 sono riportate le principali caratteristiche delle casse di laminazione e delle relative connessioni introdotte nel modello geometrico del sistema Parce.



Fig. 36. *Schema planimetrico del sistema idraulico* TRPRC*: T. Parce a monte della S.R. n. 326* [TRPRC_02/01] *e T. Monaco* [TRMNC_01] *a Montallese.*



Fig. 37. *Schema planimetrico del sistema idraulico* TRPRC*: T. Parce a Montallese* [TRPRC_02/01].

Tab. 15*. Quadro riassuntivo delle principali caratteristiche delle casse di laminazione introdotte nel modello TRPRC* [*ID_HEC*=identificativo cassa nel modello idraulico; *Tipo*=funzione (*H,V*) Reale, concettuale o virtuale; *Hmin/max*=quote min/max[45]].

ID_HEC	TIPO	HMIN [*m* s.l.m.]	HMAX [*m* s.l.m.]
TRPRC_SA_01	Real	**258.50**	**263.90**
TRPRC_SA_02	Real	**255.80**	**265.40**
TRPRC_SA_03	*Fitt*	*-999*	*-999*
TRPRC_SA_05	Real	**252.80**	**261.10**
TRPRC_SA_06	"Real"[46]	252.60	259.60
TRPRC_SA_07	*Fitt*	*-999*	*-999*
TRPRC_SA_08	Real	**251.40**	**260.00**
TRPRC_SA_09	*Fitt*	*-999*	*-999*
TRPRC_SA_10	Real	**253.20**	**262.00**

Si riportano nelle figure seguenti le leggi di invaso ed i profili di connessione a stramazzo tra casse.

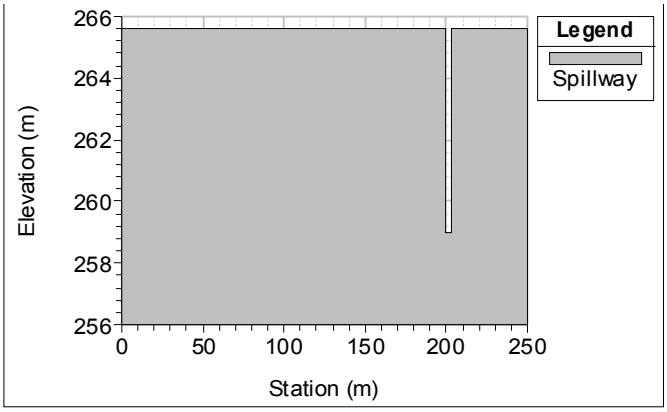


Fig. 38*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* TRPRC_CONN_01 *(A1 sx) tra le casse* SA_01 *e* SA_03 *del T. Parce.*

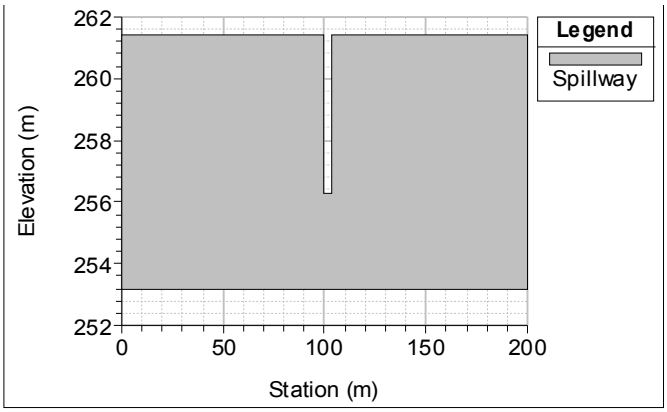


Fig. 39*. Profilo di connessione a soglia sfiorante* TRPRC_CONN_02 *(A1 dx) tra le casse* SA_02 *e* SA_10 *del T. Parce.*

[45]Massimi introdotti quali valori limite in HEC, talvolta superiori a quelli fisicamente significativi.

[46]Perimetro a posteriori rivelatosi insufficiente a definire compiutamente l'area allagabile. Quote di riferimento per la perimetrazione variate conseguentemente in fase di mappatura.

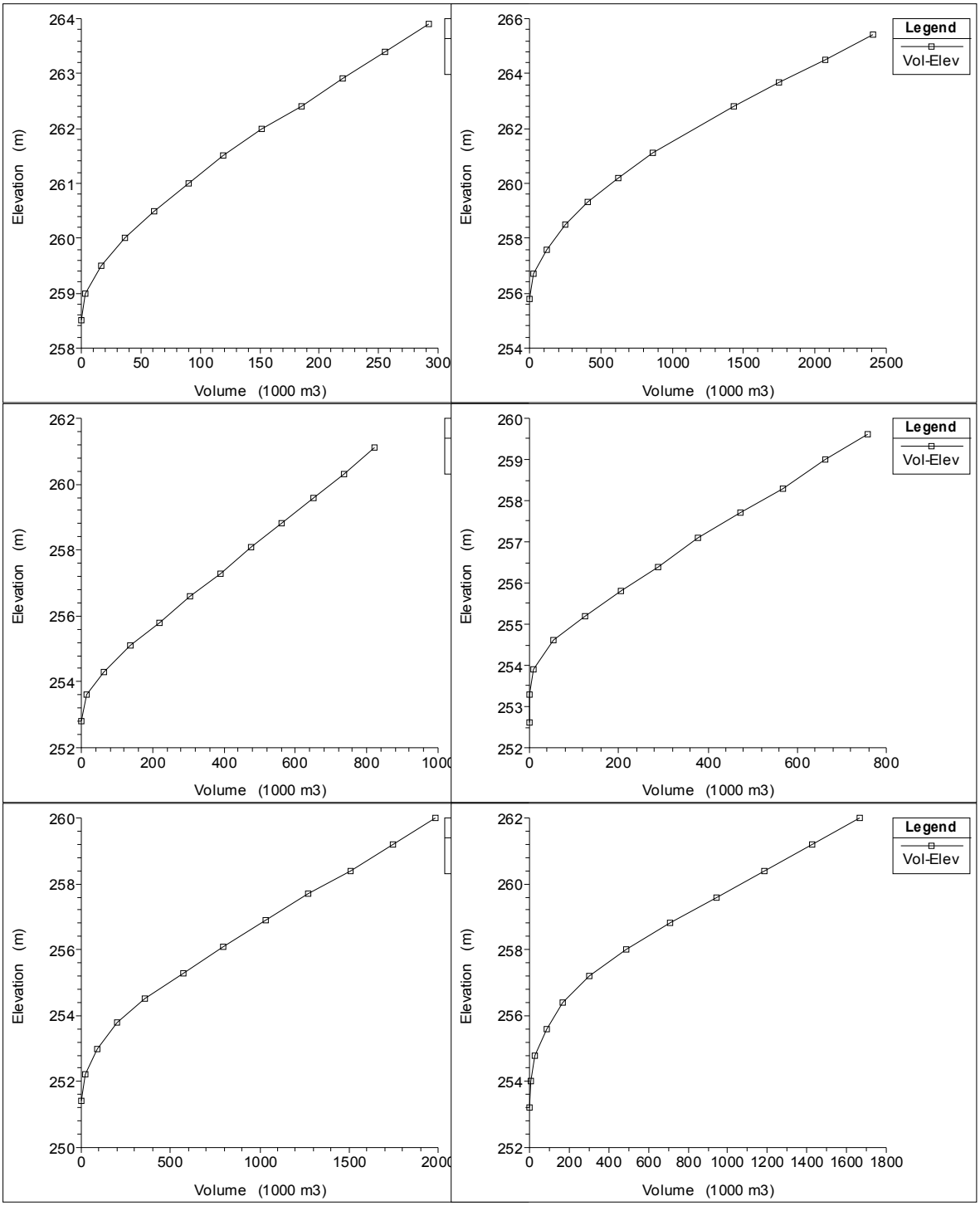


Fig. 40. *Funzione di invaso delle casse (da sx a dx, dall'alto al basso)* SA_01, 02, 05, 06, 08 e 10 *sul T. Parce.*

Tab. 16. *Quadro riassuntivo delle principali caratteristiche delle connessioni tra casse di laminazione introdotte nel modello* TRPRC [*ID_HEC*=identificativo connessione nel modello idraulico; *SA_M/V*=cassa di monte/valle; *Tipo*=reale con sfioratore o concettuale di *routing*; H_{Sfioro}=quota minima di sfioro; $K_{LinRout}$=valore del *k* di *routing*].

ID_HEC	SA_M	SA_V	TIPO	H_SFIORO	K_LINROUT
TRPRC_CONN_01	TRPRC_SA_01	TRPRC_SA_03	Real	**265.60**[47]	*-999*
TRPRC_CONN_02	TRPRC_SA_02	TRPRC_SA_10	Real	**261.40**[48]	*-999*

[47] 259.00 *m* s.l.m. quota minima fondo tombino.

Per la descrizione dei principali manufatti (ponti e tombini) si rimanda all'*Elab*. I01-3.

3.1.3.5 C.le Circondariale

Data la non significatività ai fini in oggetto -potendo bastare considerazioni speditive cautelative per la determinazione della pericolosità idraulica per le aree urbanizzate ed urbanizzabili di cui al PS-, di tale corso d'acqua viene omessa la verifica idraulica esplicita. Il differenziale di quota tra sponda *dx* e contenimento *sx* (ferrovia) (Fig. 41) e l'ampio volume d'invaso disponibile, rendono infatti tale verifica pleonastica.

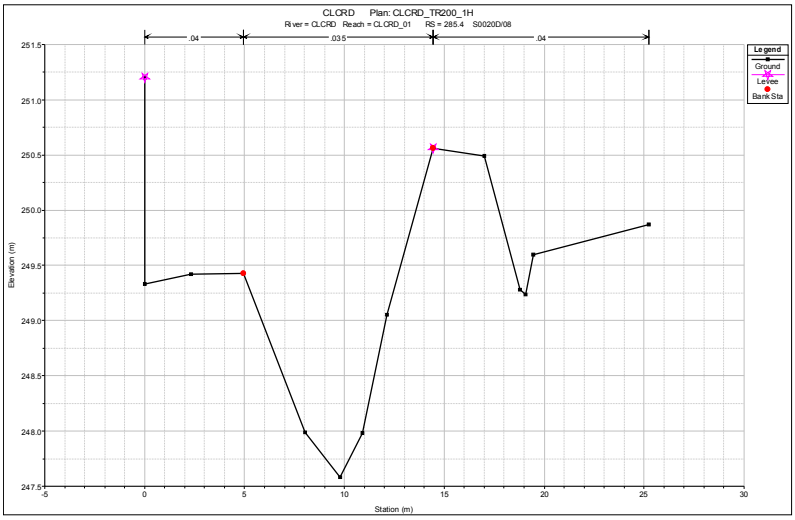


Fig. 41. *Sezione trasversale tipo del C.le Circondariale* (*CLCRD) lungo il rilevato FF.S. Siena-Chiusi.*

3.1.4 Condizioni iniziali ed al contorno

Le condizioni iniziali per le simulazioni di moto vario sono:

- *in alveo*: profili di livelli idrici corrispondenti alla portata minima ($10^{-1} \div 10^{0}$ m^3/s) di stabilità numerica dell'algoritmo
- *casse di laminazione*: livelli idrici nulli.

Quali condizioni al contorno -per ciascuna durata di precipitazione (1÷10 *h*)- sono state imposti, a monte, gli idrogrammi di portata di piena, isoprobabili ed isocroni e, a valle, idrogrammi di livelli[49]. Quest'ultimi sono derivati in via speditiva e cautelativa[50] in ipotesi di pienerive (T. Montelungo e T. Parce) e/o desunti da studi precedenti (C.le Chianetta). In particolare:

- *T. Montelungo* all'argine di riparo (T. Tresa): 252.20 e 252.40 *m* s.l.m., rispettivamente per T_r=20/30/50 e 100/200/500 *anni*, corrispondenti a *ca.* +0.30 e +0.50 *m* sull'argine *sx* della sezione di confluenza
- *C.le Chianetta* alla confluenza nel T. Astrone: 248.14 e 248.58 *m* s.l.m., rispettivamente per T_r=20/30/50/100/200 e 500 *anni*, corrispondenti alla maggiore quota di sommità arginale del T. Astrone immediatamente a valle del ponte di Ponticelli[51]
- T. Parce all'argine di riparo: 252.62 *m* s.l.m. per tutti i T_r, corrispondente alla sommità

[48] 256.30 *m* s.l.m. quota minima fondo tombino.

[49] Cadente di moto uniforme per gli eventi storici di T. Montelungo e T. Parce.

[50] L'influenza per i tratti qui di interesse è infatti limitata e/o nulla.

[51] Quote per le quali si hanno già esondazioni diffuse sia dal C.le Chianetta sia dal T. Astrone. Non sono state assunte *tout court* le quote riportate in *C.b.C.R.* (2004) in quanto ritenute eccessivamente cautelative, data l'ipotesi di corrente in regime di moto permanente adottata nel citato studio.

arginale *sx* (*ca.* +0.35 *m* rispetto a quella *dx*) della sezione terminale.

In Tab. 17 sono riassunte le caratteristiche idrologiche e topologiche essenziali degli afflussi in ingresso ai sistemi idraulici modellati, mentre in Tab. 18 i livelli iniziali nelle casse "virtuali" (utilizzate per dedurre esclusivamente i volumi di esondazione, senza interesse per i livelli) e "reali".

Tab. 17*. Anagrafica delle sezioni di afflusso ai sistemi idraulici modellati in moto vario* [Sezione di afflusso=codifica HEC-*Hms*; Tipo=inflow (I)/uniform (U)/lateral flow (L)].

Sezione di afflusso	Cod_*River*	Cod_*Tratto*	*Tipo*	*Sez.*
TRMLG_03	**TRMLG**	TRMLG_06	I	5012.6
TRMLG_02[52]	TRMLG	TRMLG_05	L	4637.4
TRMLG_02[53]	TRMLG	TRMLG_05	L	4311.7
FOSGV_00	FOSGV	FOSGV_01	I	387.1
FOMLG_00	FOMLG	FOMLG_01	I	430.1
FOPLZ_00	FOPLZ	FOPLZ_01	I	553.6
FOMNO_00	FOMNO	FOMNO_01	I	1144.1
FOSCT_00	FOSCT	FOSCT_01	I	582.3
FOFRG_00	**CLCNT**	CLCNT_03	I	11167.7
CLCNT_J06	CLCNT	CLCNT_02	L	9233.2
CLCNT_D03	CLCNT	CLCNT_02	U	9057.4
CLCNT_D02	CLCNT	CLCNT_02	L	7257.8
FOVBT_D01	CLCNT	CLCNT_02	L	7202.5
FOPTR_00	CLCNT	CLCNT_02	L	5578.8
CLCNT_01	CLCNT	CLCNT_01	U	5415.5
FOCDT_03	FOCDT	FOCDT_03	I	2007.9
FOCDT_D01	FOCDT	FOCDT_01	L	32.7
FOTBL_00[54]	FOTBL	FOTBL_01	I	1374.8
FOTBL_00[55]	FOTBL	FOTBL_01	L	452.0
–[56]	FOTBL	FOTBL_01	L	288.0
FOTRT_00[57]	FOTRT	FOTRT_01	I	1213.0
FOTRT_00[58]	FOTRT	FOTRT_01	L	858.2
TRPRC_J01	**TRPRC**	TRPRC_02	I	5067.6
FOSSV_00	TRPRC	TRPRC_02	L	4276.1
FOMNC_00	TRMNC	TRMNC_01	I	757.0
FOMCN_00	TRMNC	TRMNC_01	L	312.0
FOSAN_00	TRMNC	TRMNC_01	L	224.0

Tab. 18*. Condizioni iniziali nelle casse di laminazione dei modelli di moto vario* **CLCNT** e **TRPRC** [in corsivo quelle con legge d'invaso fittizia e planimetria schematica][59]*.*

Cod_Cassa	*Livello iniziale* [*m* s.l.m.]	Cod_Cassa	*Livello iniziale* [*m* s.l.m.]
CLCNT_SA_01	248.20	**TRPRC**_SA_01	258.50
CLCNT_SA_02	247.35	TRPRC_SA_03	255.80
CLCNT_SA_03	247.50	TRPRC_SA_04	*256.00*
CLCNT_SA_05	247.20	TRPRC_SA_05	252.80
CLCNT_SA_06	246.50	TRPRC_SA_06	252.60
CLCNT_SA_07	251.80	TRPRC_SA_07	*254.00*
CLCNT_SA_08	247.50	TRPRC_SA_08	251.40
CLCNT_SA_09	245.00	TRPRC_SA_09	*253.00*
CLCNT_SA_10	245.30	TRPRC_SA_10	253.20
CLCNT_SA_12	*245.00*		
CLCNT_SA_13	*245.00*		
FOCDT_SA_01	252.55		

[52] Aliquota 0.7.
[53] Aliquota 0.3.
[54] Aliquota 0.6.
[55] Aliquota 0.4.
[56] 0.2 m^3/s costante.
[57] Aliquota 0.5.
[58] Aliquota 0.5.
[59] **TRMLG** omesso in quanto tutte casse di carattere fittizio.

FOCDT_SA_03	251.00		
FOCDT_SA_04	248.40		
FOCDT_SA_05	247.30		
FOCDT_SA_06	247.80		
FOTRT_SA_01	249.00		
FOTRT_SA_02	250.30		

3.1.5 Calibrazioni

Come di norma accade, la calibrazione di modelli idrologico-idraulici specificatamente implementati per finalità locali è di difficile se non impossibile realizzazione, dato il noto squilibrio tra gradi di libertà (incertezze) e vincoli (dati) ed il forte carattere di non linearità e non stazionarietà dei processi idrologici.

Nel caso specifico -assumendo gli esiti di ben più generali di lavori ufficiali circa l'idrologia regionale [Al.To., 1998 e succ.; Va.P.I., 1994 e succ.]- si è verificata/ricercata la compatibilità del quadro modellistico implementato (sia idrografico -T. Montelungo e C.le Chianetta- sia fognario) con le testimonianze storiche relative al recente evento alluvionale verificatosi a Chiusi Scalo il 25 agosto 2006 [*Prov. di Arezzo*, *C.b.C.R.* e *Comune di Chiusi*, 2006 e succ.].

Più limitatamente, per il T. Parce a Montallese vengono svolte alcune considerazioni speditive circa l'evento di piena del 20 novembre 2000 [*Prov. di Arezzo*, 2008].

3.1.5.1 L'evento di agosto 2006 a Chiusi Scalo

L'evento meteorologico dell'agosto 2006 ha interessato, quasi chirurgicamente, il [solo] abitato di Chiusi Scalo, causa precipitazioni particolarmente concentrate entro un raggio di pochi k*m*. In tale occasione è andato in crisi l'intero sistema fognario e si è altresì determinata una eccezionale piena nel T. Montelungo ed in quasi tutti i corsi d'acqua minori afferenti il torrente medesimo ed anche il C.le Chianetta (Le Biffe-Po' Bandino). Viceversa, il C.le Chianetta stesso ed i propri affluenti maggiori non hanno fatto registrare livelli di piena analoghi. Ancora meno significativo l'evento lo è complessivamente stato per le aste principali dei pur vicini bacini di T. Astrone, T. Tresa e T. Parce.

I dati di riscontro derivano da rapporti di evento ufficiali e da testimonianze verbali e fotografiche amatoriali. Non sussistono serie storiche di evento pluviometriche e/o idrometriche ufficiali. In definitiva, gli elementi fondamentali oggetto di verifica di compatibilità del quadro modellistico ricostruito per Chiusi Scalo [*plan* EV_250806] -ovvero TRMLG, CLCNT e sistema fognario Chiusi Scalo-Le Biffe- sono:

Precipitazioni

- in base a dati e valutazioni dell'*Uff. Difesa del Suolo* della Prov. di Arezzo, cumulata (*h*. 14:30-17:00) stimata di 100 *mm* [DU#3]; *b*) cumulata (*h*. 14:30-17:00) stimata maggiore dei 57 *mm* registrati ai pluviometri di Moiano e Villastrada [DU#2]; *c*) cumulata (*h*. 14:30-17:00) [amatorialmente] misurata di 143 *mm* [DA#1/2]

T. Montelungo

- *a*) prima [lieve] tracimazione alle *h*. 17.00÷17.30 in *sx ca.* 100 *m* a monte del ponte della S.P. n. 146 (via Cassia Aurelia), al limite del tratto classificato di *III* categoria, su via Giacosa e vic. [DU#1]; *b*) sezione di deflusso nel tratto tra il ponte di via Oslavia e quello della S.P. n. 146 completamente impegnata con inizio di tracimazione appena a monte della S.P. n. 146 in *sx* [DU#2]
- *a*) seconda tracimazione (*ca.* 0.30 *m*) alle *h*. 17.30 in *sx* per *ca.* 150 *m* tra il ponte della

S.P. n. 146 (via Cassia Aurelia) e quello di Bagnolo, nel tratto classificato di *II* categoria, su zona di campagna, con deflusso verso il C.le Chianetta attraverso botte [DU#1]; *b*) allagamento (AA09) [DU#3]

- *a*) terza tracimazione (*ca.* 0.30 *m*) alle *h*. 18.00 in *dx* per *ca.* 180 *m* tra il ponte Brignoli e quello della S.P. delle Torri, nel tratto classificato di *II* categoria, su zona di campagna e vivaio F.lli Margheriti [DU#1]; *b*) allagamento (AA16) [DU#3]

F.so Tarantello e F.so Cardete

- *a*) F.so Tarantello: tracimazione in più punti nel tratto parallelo a via di Fondovalle (Le Biffe), allagando la sede stradale ed alcuni degli insediamenti contermini [DU#2]; *b*) F.so Cardete: sezione di deflusso completamente impegnata nel tratto tra la S.R. n. 321 (del Polacco) e la confluenza del F.so Tarantello, senza tracimazione [DU#2]; *c*) F.so Tarantello: allagamenti lungo via di Fondovalle (AA14) [DU#3] [DA#3]

C.le Chianetta, F.so Fargnia-F.so Scarniceta e F.so Paterno

- *a*) F.so Scarniceta: al sottopasso del F.so Tresaccio (Vuotabotte) ha tracimato in quest'ultimo [DU#2]; *b*) F.so Paterno: ha rotto gli argini in diversi punti a valle della S.R. n. 71 [DU#2]

Fognatura di Chiusi Scalo-Le Biffe

- *a*) allagamenti diffusi con accumuli particolari in zona P.za Dante-stazione FF.S.-via Mameli-via Leonardo da Vinci-via Mazzini-via Buonarroti-via Manzoni (AA07[60]), via Giacosa-via Pico della Mirandola (AA04), via Poggio Gallina (AA05), via della Fontina (AA02), Fornace di Montorio-via Oslavia (AA06), via Gonzarelli-via Mazzini (S.P. n. 49) (AA12), via Mazzini (S.P. n. 49)-via Pellico-via Saffi-via delle Piogge (AA14) [DU#3] [DA#3]; *b*) allagamenti delle zone più depresse del centro abitato di Chiusi Scalo già avvenuti alle *h*. 18.00 [DU#1]

Allagamenti altri

- *a*) zone: via Montelunghino (AA01), via Montelunghino-via della Fontina (AA02), via Pozzarelli (AA03), via S.ta Caterina (AA05), Fornace di Montorio (AA06), Lodovichi s.r.l. (AA08), via della Chianetta-C.e Chianetta-linea FF.S. lenta (AA10/11), via del Fondino (AA14) [DU#3] [DA#3]

e derivano primariamente dalle seguenti fonti documentali ufficiali [**DU**]:

1. *Rapporto straordinario del Servizio di piena del 25-26 agosto sul T. Montelungo* – Tronco di Guardia n. 17 – OO.II. di 2° Categoria, dell'U.I.T. della *Provincia di Arezzo* [*Boschi*, 27 agosto 2006] [DU#1]
2. *Nota Tecnica - Evento alluvionale del giorno 25 agosto 2006*, dell'Area Tecnico-Agraria del *C.b.C.R.* di Chiusi [*Banella et al.*, 29 agosto 2006] [DU#2]
3. *Carta delle aree allagate riferita all'evento meteorico del 25.08.2006* – Note prot. n. 11725/07 del Comune di Chiusi [*Serv. Edilizia/Urbanistica*, 2007] e succ. prot. n. 4195/07 dell'A.b.A. [*I Sett. Tecnico*, 2007] [DU#3]
4. *Verbale di Deliberazione del Consiglio Provinciale di Siena 94/06* [*Prov. di Siena*, 2006] [DU#4]

e amatoriali [**DA**]:

i. *L'alluvione a Chiusi Scalo del 25/8* – Rapporto di MeteoToscana.it [*Baglioni*, 2006] [DA#1]
ii. *Dati pluviometrici registrati a Chiusi Città* – Meteo Chiusi [*Donati* e *Corti*, 2008] [DA#2]
iii. *Raccolta Immagini dell'Alluvione a Chiusi* [www.*bottegatoscana.com*] [DA#3]

[60] Codice identificativo delle aree allagate di cui in DU#3 (Fig. 42).

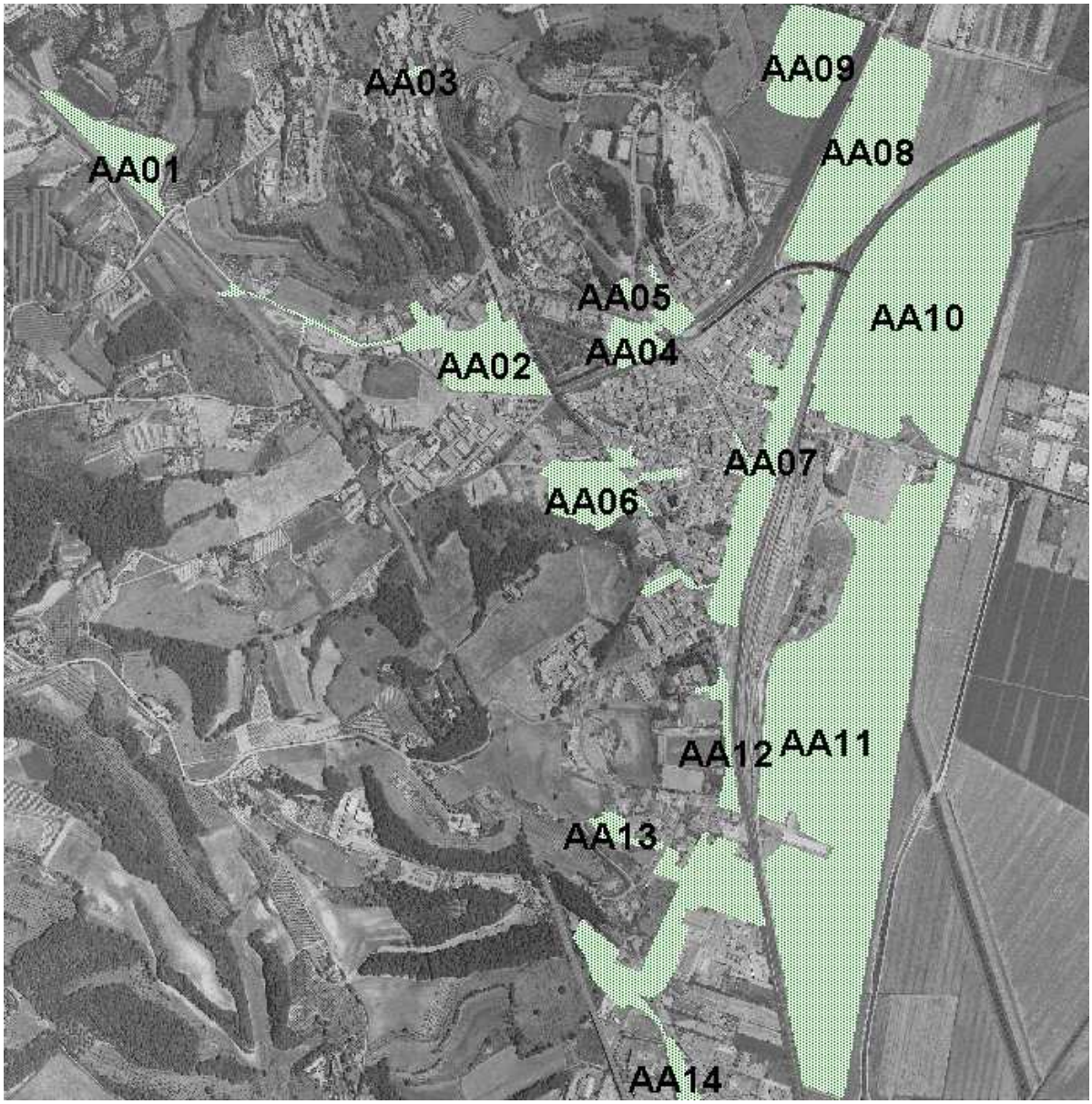


Fig. 42*. Planimetria delle aree allagate durante l'evento del 25/08/06 a Chiusi Scalo (stralcio)* [DU#03]*.*

Ricapitolando:

- ✔ *T. Montelungo*: certamente esondato nel tratto terminale di *III* categoria ed in quello di *II* (Fig. 43); poche informazioni circa il tratto a monte di via Oslavia, ma verosimili esondazioni a monte FF.S. Direttissima con scorrimento lungo via Montelunghino fino via della Fontina
- ✔ *F.so Montelungo*: nessuna segnalazione
- ✔ *F.so Palazzuolo*: esondazione all'ingresso in tombino
- ✔ *F.so Montelunghino*: probabile alimentazione dell'allagamento zona Fornace di Montorio
- ✔ *F.so S.ta Caterina*: nessuna segnalazione esplicita, ma verosimile [lieve] alimentazione degli allagamenti di accumulo di via Giacosa (e via della Fontina?)
- ✔ *F.so Fargnia-F.so Scarniceta*: esondazione del secondo in prossimità della confluenza
- ✔ *C.le Chianetta*: nessuna esplicita notizia di esondazione, verosimili esondazioni nel tratto a monte della confluenza del F.so Fargnia

- ✔ *F.so Tarantello*: certamente esondato lungo via di Fondovalle (Fig. 44)
- ✔ *F.so Cardete*: non esondato, almeno nel tratto a valle della S.P. n. 321
- ✔ *F.so Tombarelle*: nessuna segnalazione
- ✔ *Fognatura*: criticità diffusa su tutta Chiusi Scalo-Le Biffe, con esondazioni sia agli ingressi dei deflussi collinari -anche per parziale ostruzioni detritiche-, sia internamente alla rete, sia in uscita nelle canalette a cielo aperto a valle della linea FF.S. e della zona produttiva delle Biffe
- ✔ *Aree agricole di bonifica*: allagamenti diffusi essenzialmente per ristagno.



Fig. 43. *Tracimazione dell'argine sx del T. Montelungo a valle del ponte della S.P. n. 146 a Chiusi Scalo durante l'evento del 25 agosto 2006. Sullo sfondo in dx idrografica Lodovichi s.r.l.* [DA#03].



Fig. 44. *Tracimazione della sponda sx del F.so Tarantello lungo via di Fondovalle a Le Biffe durante l'evento del 25 agosto 2006* [DA#03].

In base a tale quadro, si sono assunte le seguenti **ipotesi di lavoro**:

a) caratterizzazione dei suoli omogenea su tutti i bacini di analisi (T. Montelungo, C.le Chianetta e T. Parce[61])

b) ietogramma lordo di evento quello, non ufficiale, di cui in DA#03

c) stato dei suoli antecedente l'evento, coerentemente con il metodo SCS-CN, di classe AMC I

d) geometria idrografica di rilievo BART_07 e USI_2002

e) assenza di fenomeni ostruttivi a ponti e tombini.

Quali "parametri" liberi sono stati lasciati l'aliquota (β) determinante la capacità di accumulo (S) dei suoli nel metodo SCS-CN (def=0.2) e la associazione litologia-suoli (A/B/C/D) per la classe litologica delle *Sabbie Arenarie Gialle*, idrologicamente eterogenea (B/C).

In definitiva, assumendo β=0.20/0.25 per i bacini di T. Montelungo/Chianetta (Chiusi Scalo) (β=0.10 per il bacino del T. Parce) ed associando le suddette sabbie alla classe di suolo C, pur dovendo tenere conto di tutte le consuete incertezze del caso, si ottiene un quadro ricostruttivo della piena nell'intero sistema T. Montelungo soddisfacente in termini di coerenza complessiva[62] ed anche di verifica puntuale.

Nelle figure seguenti sono riportati i profili di rigurgito corrispondenti al massimo livello idrico raggiunto in corso di piena sul T. Montelungo (Fig. 45÷Fig. 46), F.so Montelungo (Fig. 47), F.so Palazzuolo (Fig. 48), F.so Montelunghino (Fig. 49) e F.so S.ta Caterina (Fig. 50), dai quali si rileva che:

T. Montelungo

- topologia e tempistica delle criticità sono coerenti con i resoconti ufficiali. Esondazioni si verificano in prossimità del vivaio F.lli Margheriti, e l'argine *sx* dei tratti immediatamente a valle e monte del ponte della S.P. n. 146, pur non venendo teoricamente tracimato, risulta avere franchi pressoché nulli (<5 *cm*). È possibile una sottostima delle perdite di carico al ponte-tombamento della S.P. per difetto di definizione della geometria
- nel tratto urbano di monte, ove manca un rapporto di piena, si riscontra similare riduzione di franco per l'argine *sx* adiacente via della Fontina, compatibile con le testimonianze locali, gli elevati volumi invasati in AA02 e le relative difese provvisionali supplementari (Fig. 51)
- nel tratto non urbanizzato a monte dell'attraversamento della linea FF.S. Direttissima, i livelli idrici a monte e valle dei tombini campestri non risultano sufficienti ad invadere via Montelunghino attraverso il sottopasso e quindi riversarsi su AA02 (*vd.* avanti)

[61] *Vd.* anche EV_151100 a Montallese.

[62] *Vd.* anche analisi fognatura.

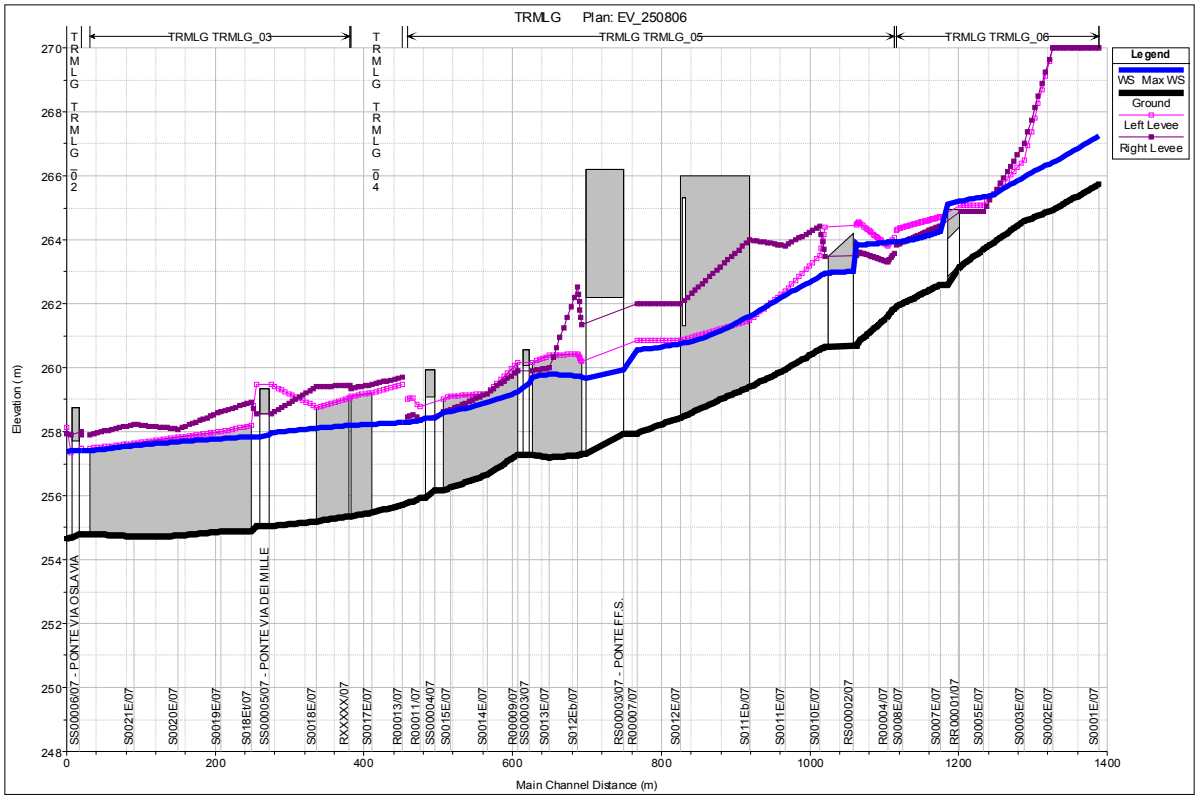


Fig. 45. *Profilo di rigurgito del* maxWS *del T. Montelungo da inizio tratto di studio alla confluenza del F.so S.ta Caterina. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*

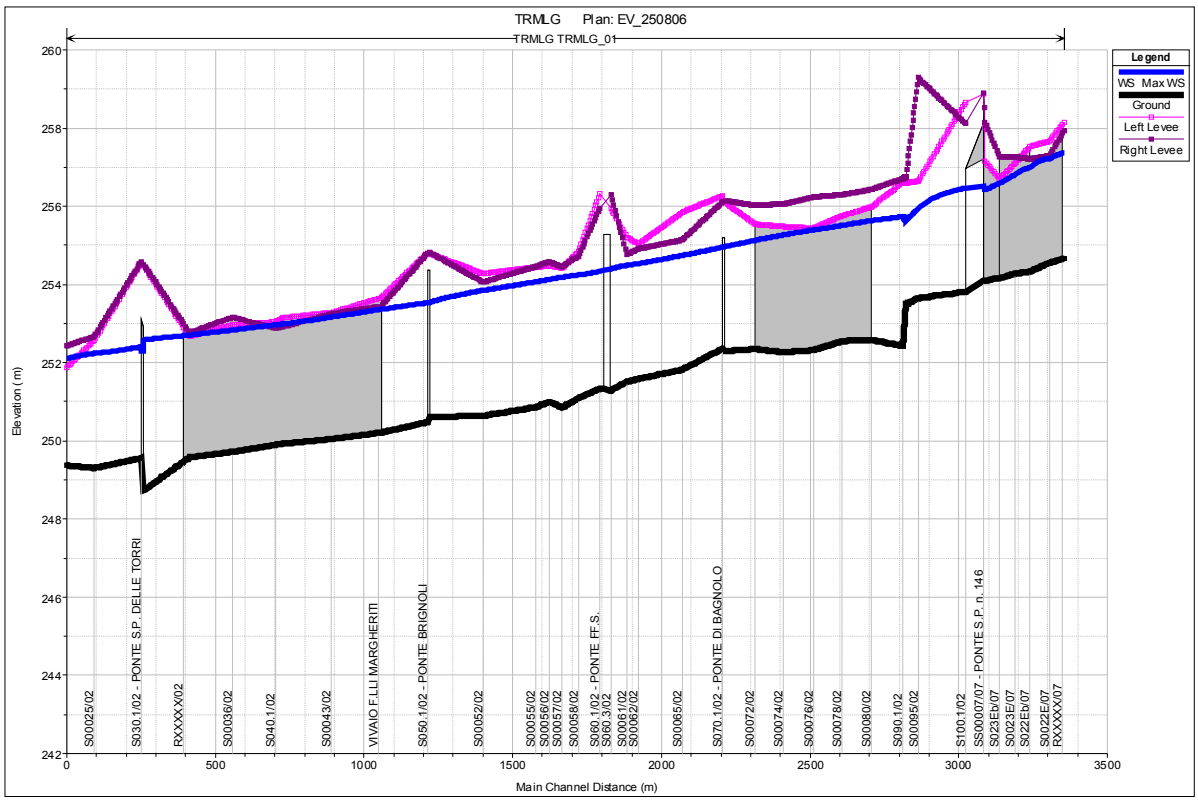


Fig. 46. *Profilo di rigurgito del* maxWS *del T. Montelungo dalla confluenza del F.so S.ta Caterina a fine tratto di studio. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*

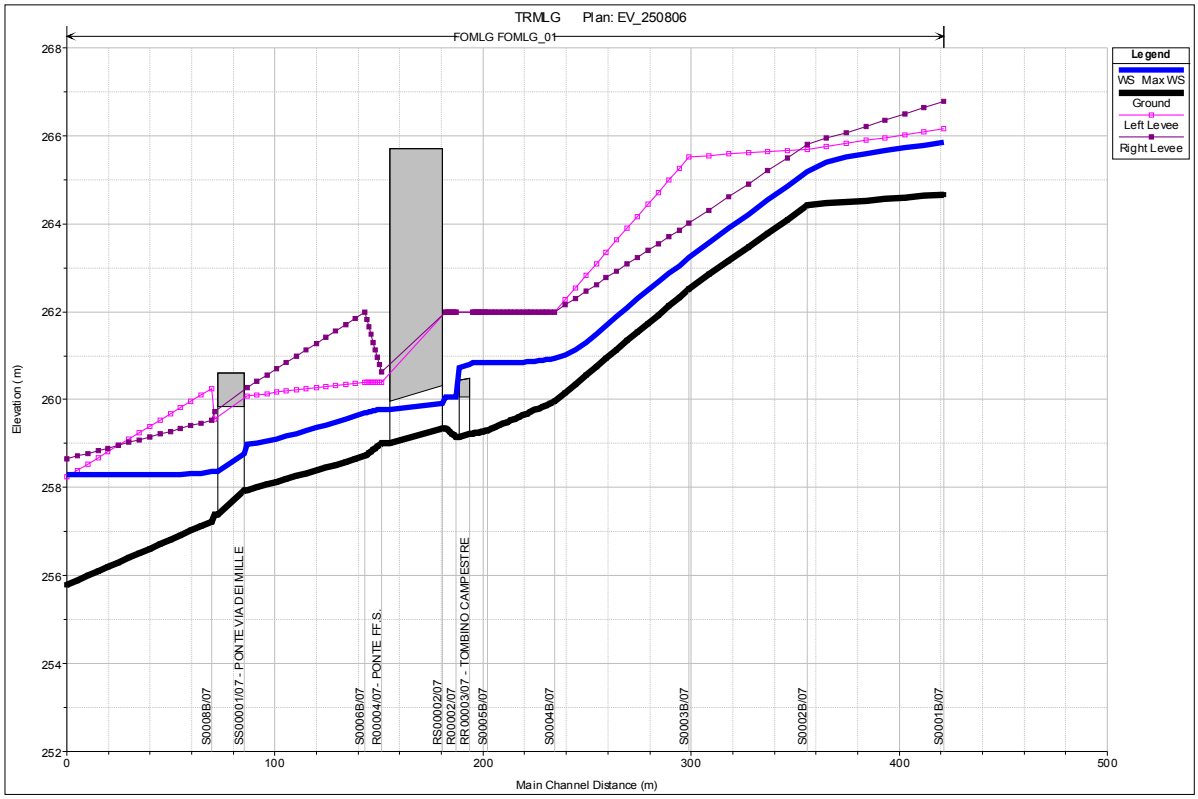


Fig. 47. *Profilo di rigurgito del* `maxWS` *del F.so Montelungo. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*

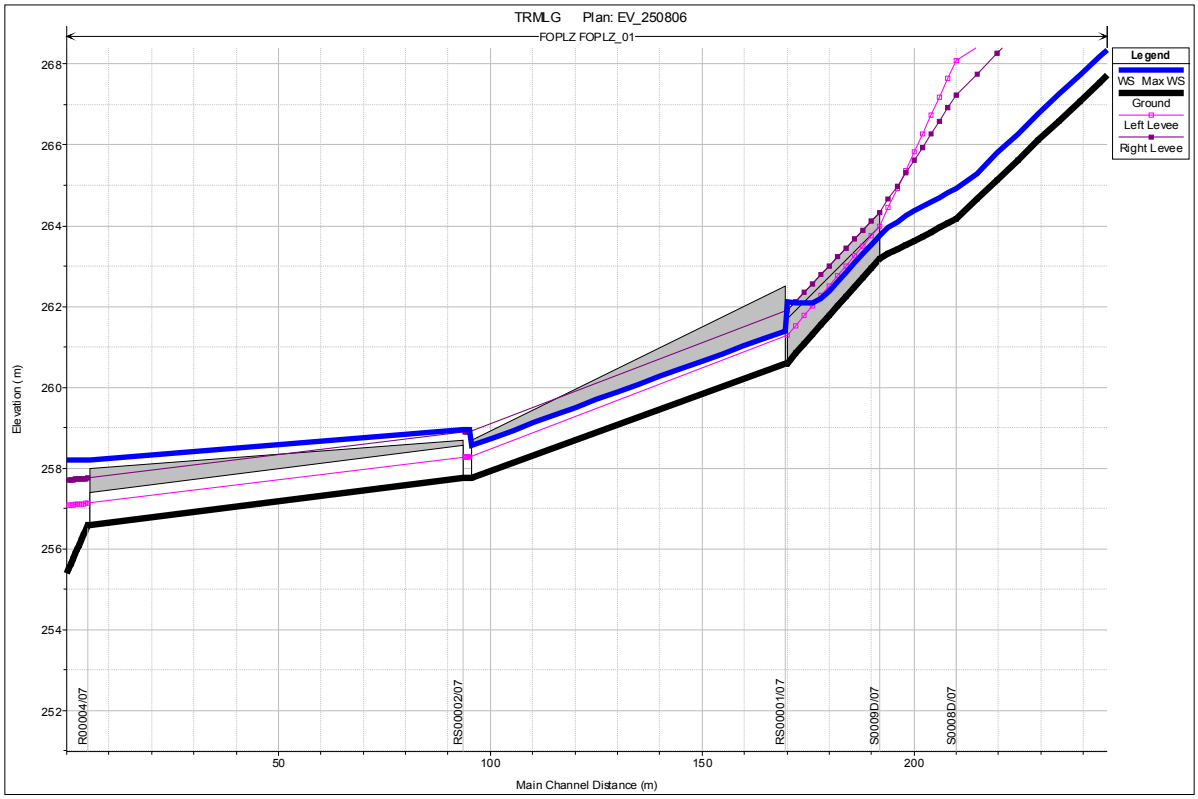


Fig. 48. *Profilo di rigurgito del* `maxWS` *del F.so Palazzuolo nell'intono del tombino di recapito nel T. Montelungo. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*

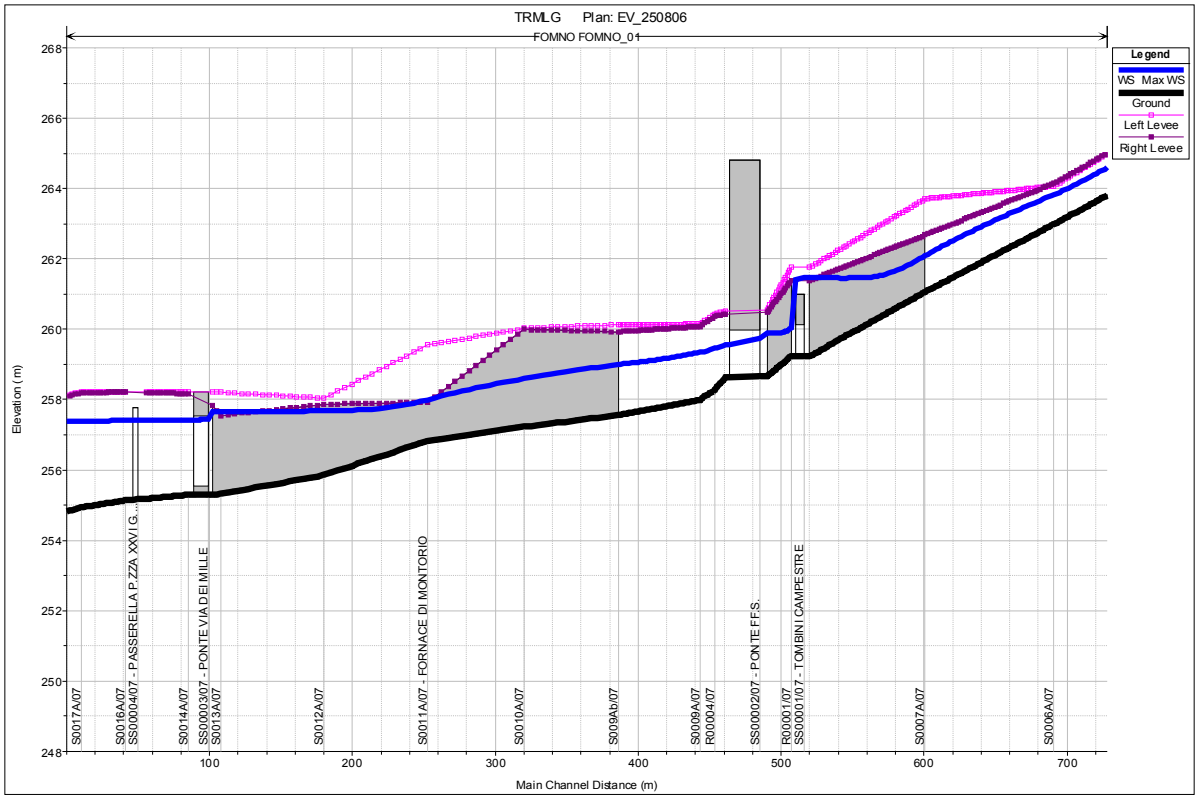


Fig. 49*. Profilo di rigurgito del* `maxWS` *del F.so Montelunghino nel tratto terminale. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*

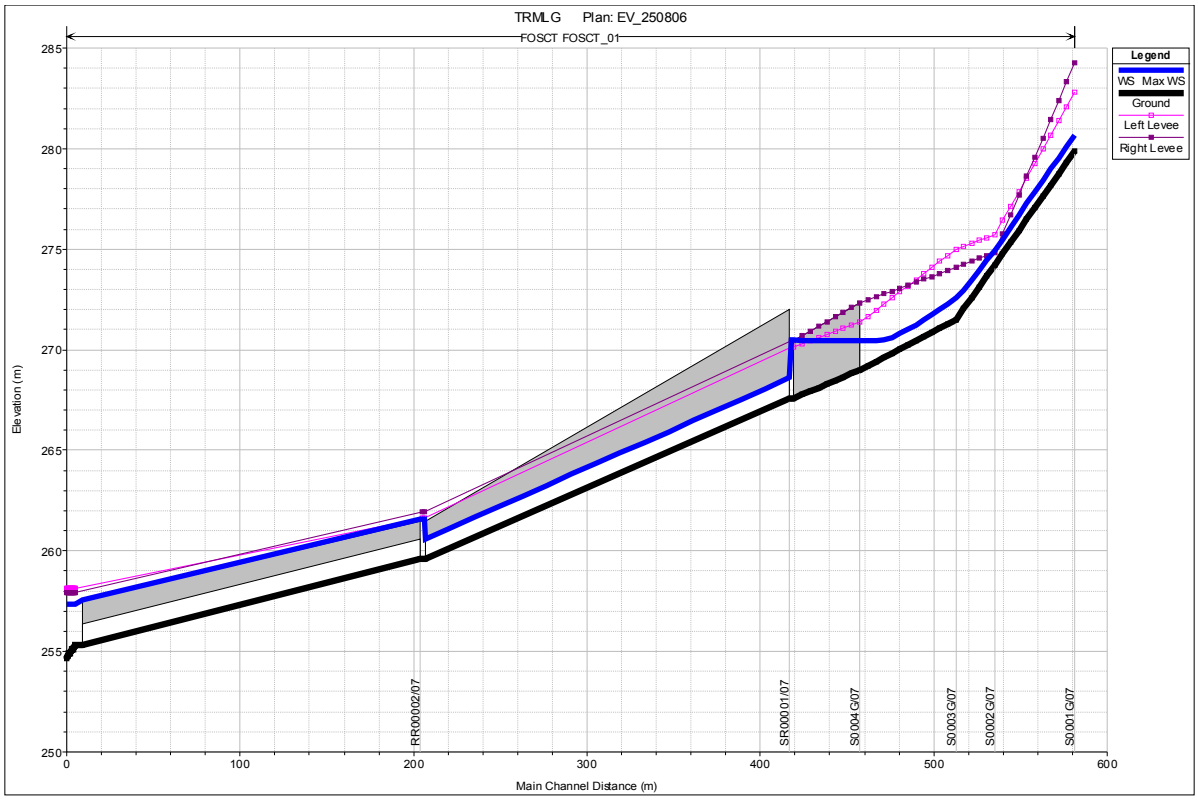


Fig. 50*. Profilo di rigurgito del* `maxWS` *del F.so S.ta Caterina. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*



Fig. 51*. T. Montelungo tra il ponte di via dei Mille e quello di via Oslavia a Chiusi Scalo durante l'evento del 25 agosto 2006* [DA#03]*. Sull'argine sx (sopra via della Fontina) la "difesa" supplementare.*



Fig. 52*. Via della Fontina a Chiusi Scalo durante l'evento del 25 agosto 2006. Sulla dx il T. Montelungo (fuori immagine)* [DA#03]*.*

F.so. Montelungo

- ✗ i livelli di piena risultano ovunque contenuti entro le aree di pertinenza fluviale, senza interessare significativamente aree già urbanizzate

F.so. Palazzuolo

- ✗ il tombino di recapito nel T. Montelungo risulta insufficiente (anche senza considerare

probabili ostruzioni parziali), corroborando l'ipotesi di parziale alimentazione della AA02. Il volume totale esondato ammonterebbe *ca.* 2.000 m^3 (Fig. 53)

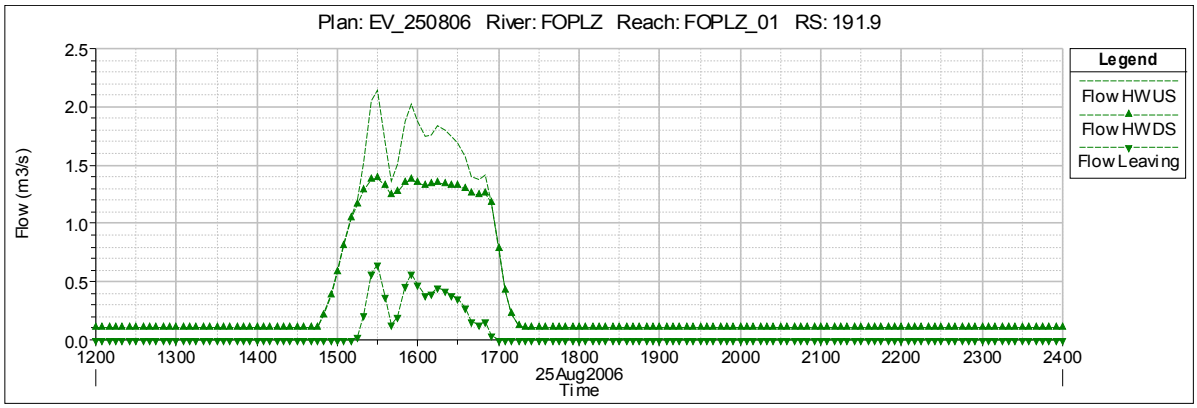


Fig. 53. *Idrogrammi di modellazione dell'evento del 25 agosto 2006 all'imbocco del tombino del F.so Palazzuolo.*

F.so. Montelunghino

- il profilo di rigurgito (Fig. 54) conferma il sormonto del tombino campestre a monte della linea FF.S. Direttissima e l'incerto contenimento in *dx* a monte del tombino (Fig. 55) di via dei Mille (Fig. 56), con esondazioni stimate di *ca.* 1.000 m^3, a conferma della almeno parziale alimentazione della AA06 (Fornace di Montorio)

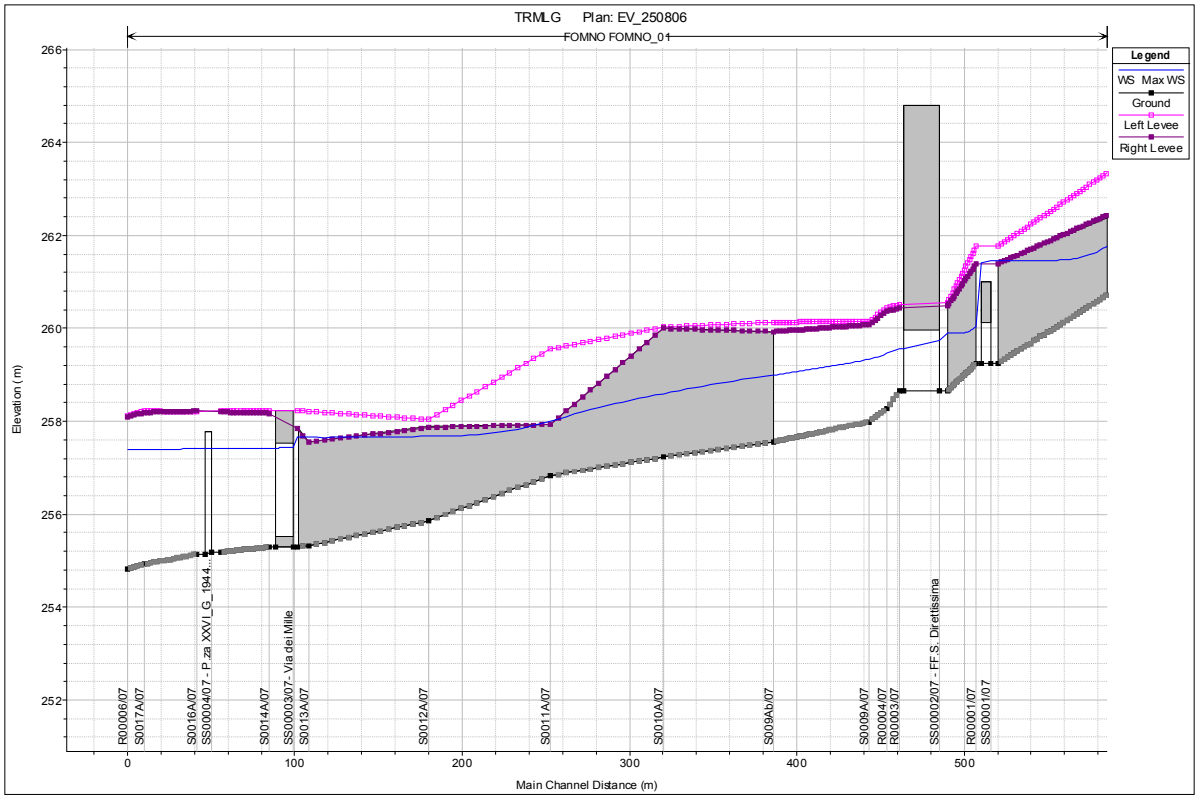


Fig. 54. *Profilo di rigurgito del* maxWS *del F.so Montelunghino. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*





Fig. 55. *F.so Montelunghino in prossimità della Fornace di Montorio. Viste verso monte da via dei Mille e da monte del relativo tombino.*

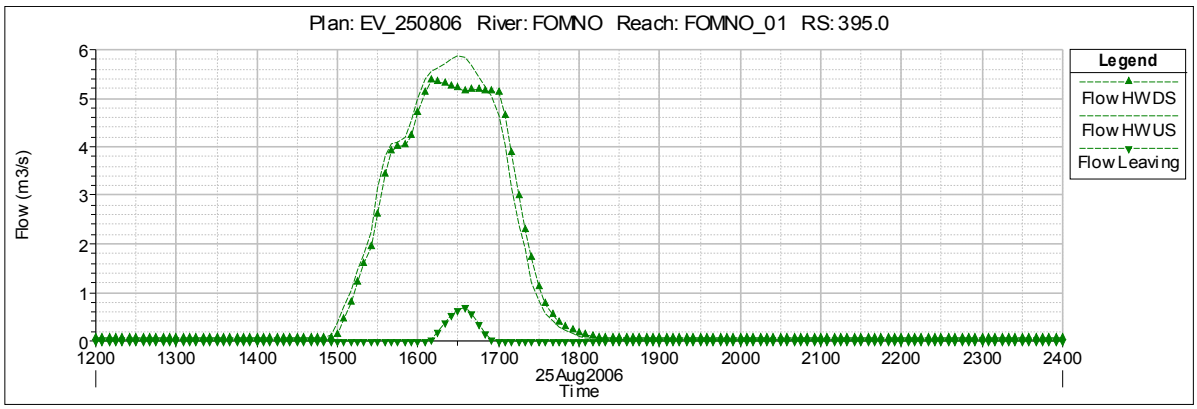


Fig. 56. *Idrogrammi di modellazione dell'evento del 25 agosto 2006 nel F.so Montelunghino all'altezza della Fornace di Montorio. Sfioratore laterale su sponda dx.*

F.so. S.ta Caterina

- il tombino di recapito nel T. Montelungo risulta insufficiente, corroborando l'ipotesi di parziale alimentazione della AA02. Il volume totale esondato è stimato in *ca.* 2.000 m^3 (Fig. 57)

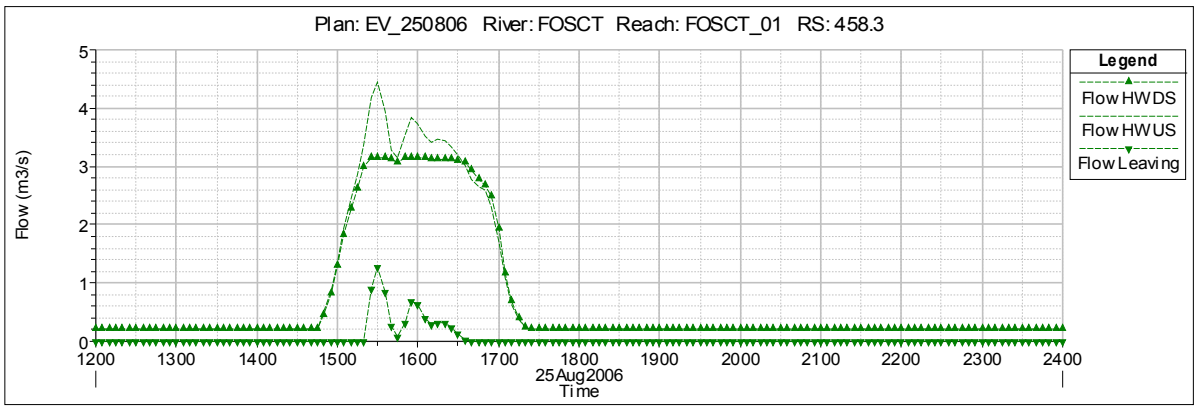


Fig. 57*. Idrogrammi di modellazione dell'evento del 25 agosto 2006 all'imbocco del tombino del F.so S.ta Caterina.*

C.le Chianetta-F.so Fargnia

- gli allagamenti riscostruiti in *dx* e *sx* F.so Fargnia, sono complessivamente compatibili con i riscontri di qualche decimetro d'acqua in campagna (dovuti anche a ristagni), sebbene la principale esondazione per tale area sia avvenuta nel F.so Scarniceta, a monte del tratto analizzato (Fig. 58). In continuità con questi, viene invece confermato l'allagamento di AA10



Fig. 58*. Planimetria "non elaborata" dell'area allagata di modellazione dell'evento del 25 agosto 2006 in dx F.so Fargnia in Loc. Po' Bandino, Comune di Città della Pieve (livelli non visibili nelle casse in sx)*[63]*.*

[63]Ristagni ed allagamenti indiretti in *sx* variante stradale di Po' Bandino non riportati, non essendo modellati i tombini di *by-*

- per l'area del *Nuovo Scalo Merci* viene confermata la allagabilità storica anche se, con il compimento delle nuove urbanizzazioni ad esso correlate -le quali impediscono l'allagamento diretto da acqua di esondazione del C.le Chianetta- essa risulta dovuta a soli ristagni e fognature meteoriche di Chiusi Scalo

- per l'intero tratto di C.le Chianetta compreso tra le confluenze di F.so Fargnia e F.so Cardete, si riscontra la sostanziale non esondazione, fatte salve (come documentato) quelle a monte del S.P. n. 146 ed altri lievi episodi (peraltro in *sx*) in prossimità del ponte successivo e della confluenza del Vuotabotte (Fig. 59)

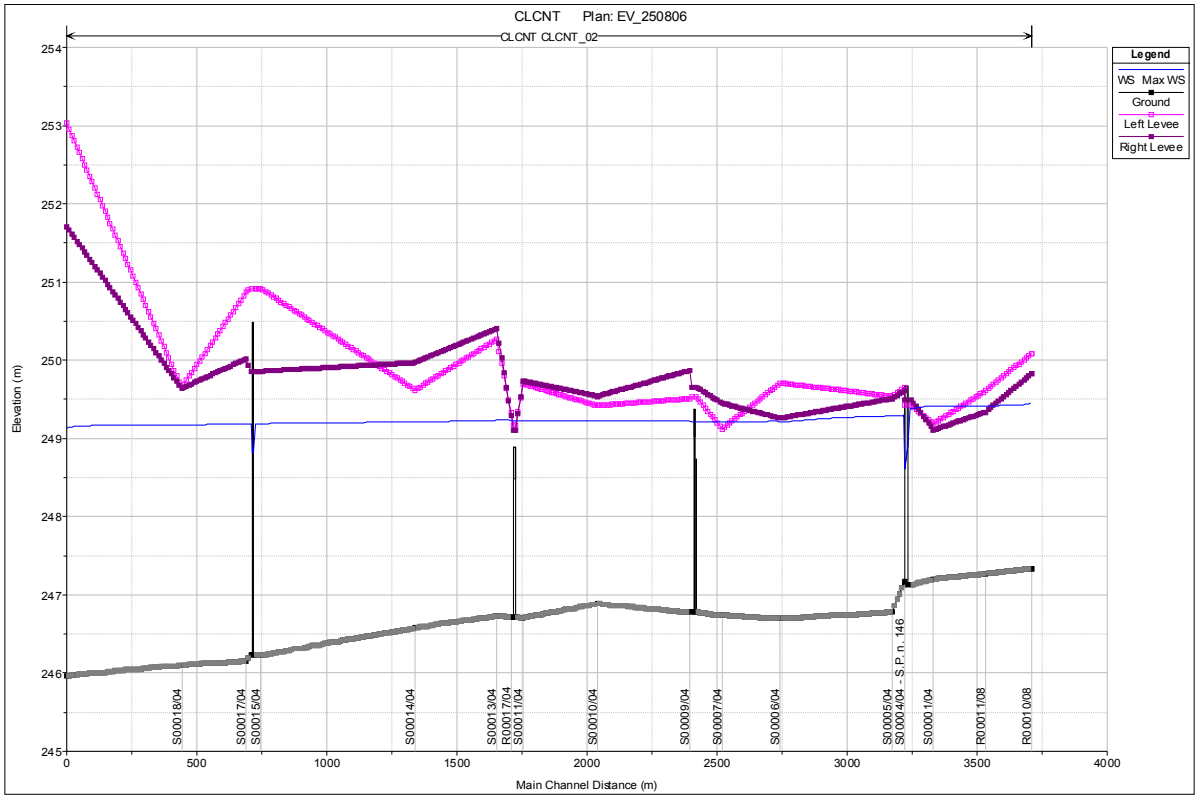


Fig. 59. *Profilo di rigurgito del maxWS del C.le Chianetta a monte del la confluenza del F.so Cardete. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*

F.so. Tarantello

- la modellazione evidenzia la insufficienza di contenimento diffusa del tratto lungo via di Fondovalle (Fig. 60), soprattutto negli ultimi 400 *m* prima della confluenza nel F.so Cardete (in *sx* e *dx*) ed in prossimità del primo attraversamento (in *sx*) . Si riscontrano anche i sormonti (aggiramenti) dei due tombini in approccio a via di Fondovalle (Fig. 61). Il quadro è coerente con l'intera fisionomia di `AA14`. Per quanto riguarda le esondazioni teoriche in *dx* (di pochi *cm*) -non mappate in `DU#03`-, esse possono in effetti essere state limitate da ulteriori manufatti di recinzione non rilevati (Fig. 62)

pass.

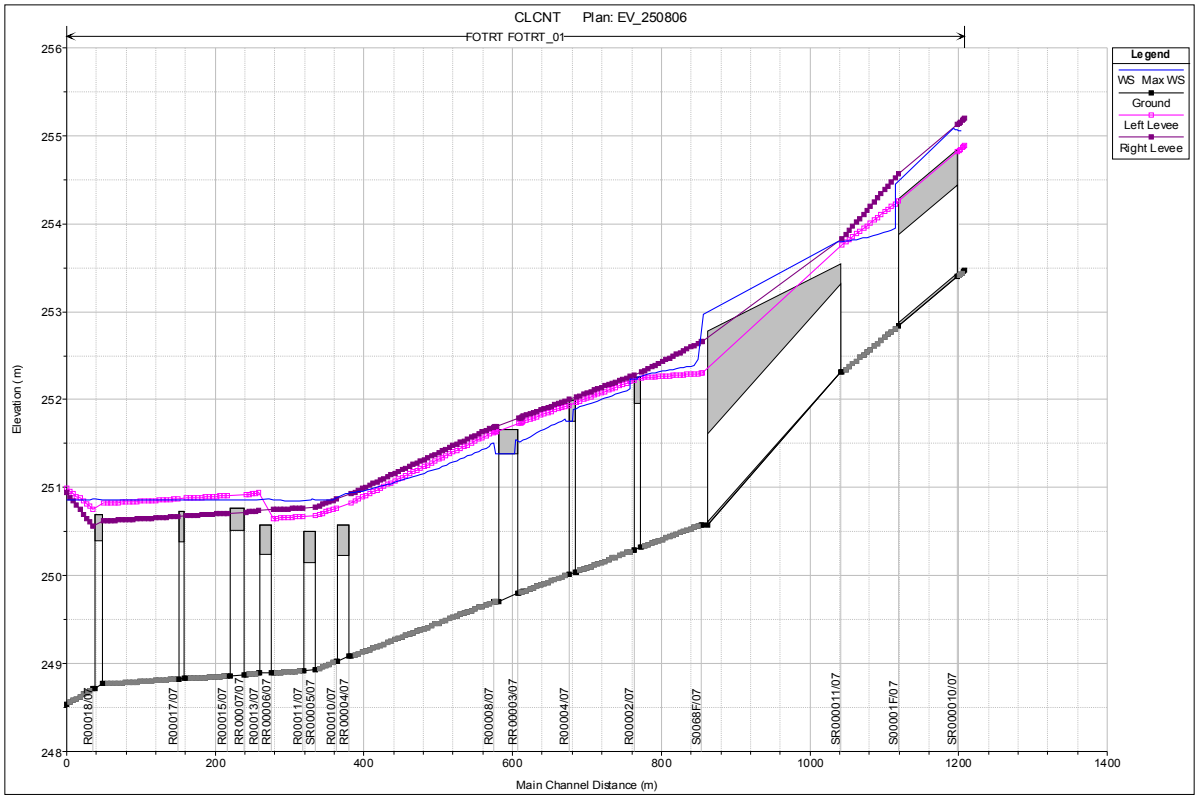


Fig. 60. *Profilo di rigurgito del* maxWS *del F.so Tarantello. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*



Fig. 61. *Evento del 25 agosto 2006. Via di Fondovalle con a fianco (dx) il F.so Tarantello. Attraversamento sullo sfondo* RS 770.0 [DA#03].



Fig. 62. *F.so Tarantello lungo via di Fondovalle all'altezza dell'attraversamento di* `RS 160.0` [*Bartoletti*, 2008].

F.so Cardete

- la modellazione evidenzierebbe alcune deboli esondazioni a monte della S.P. n. 321 e, in *sx*, *ca.* 200 a monte della confluenza del F.so Tarantello (Fig. 63). Esse, pur lievi e confinate[64], non risultano documentate né in `DU#02`[65] né in `DU#03`, lasciando supporre un qualche eccesso di stima dell'afflusso
- ulteriore criticità di deflusso risulta all'attraversamento della linea `FF.S`. Lenta, peraltro in zona prettamente agricola ed esterna al territorio comunale di Chiusi[66] (Fig. 64)

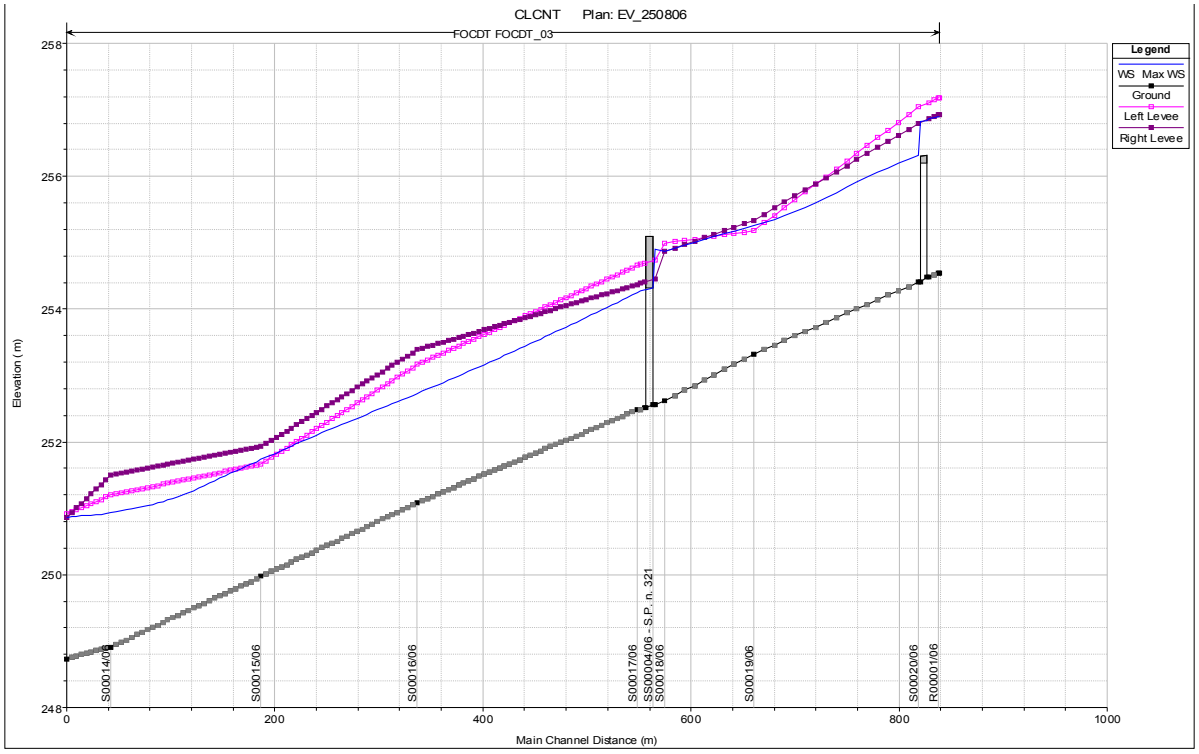


Fig. 63. *Profilo di rigurgito del* maxWS *del F.so Cardete a monte della confluenza del F.so Tarantello. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*

[64]Anche per i rilevati relativi al *Nuovo Stadio Comunale* ed alla connessa nuova viabilità, il cui *I* stralcio è in fase di realizzazione [*Comune di Chiusi*, 2009].

[65]Per il solo tratto a valle della S.P. n. 321, nulla citando per il tratto a monte.

[66]La cui non segnalazione appare dunque non pienamente probatoria.

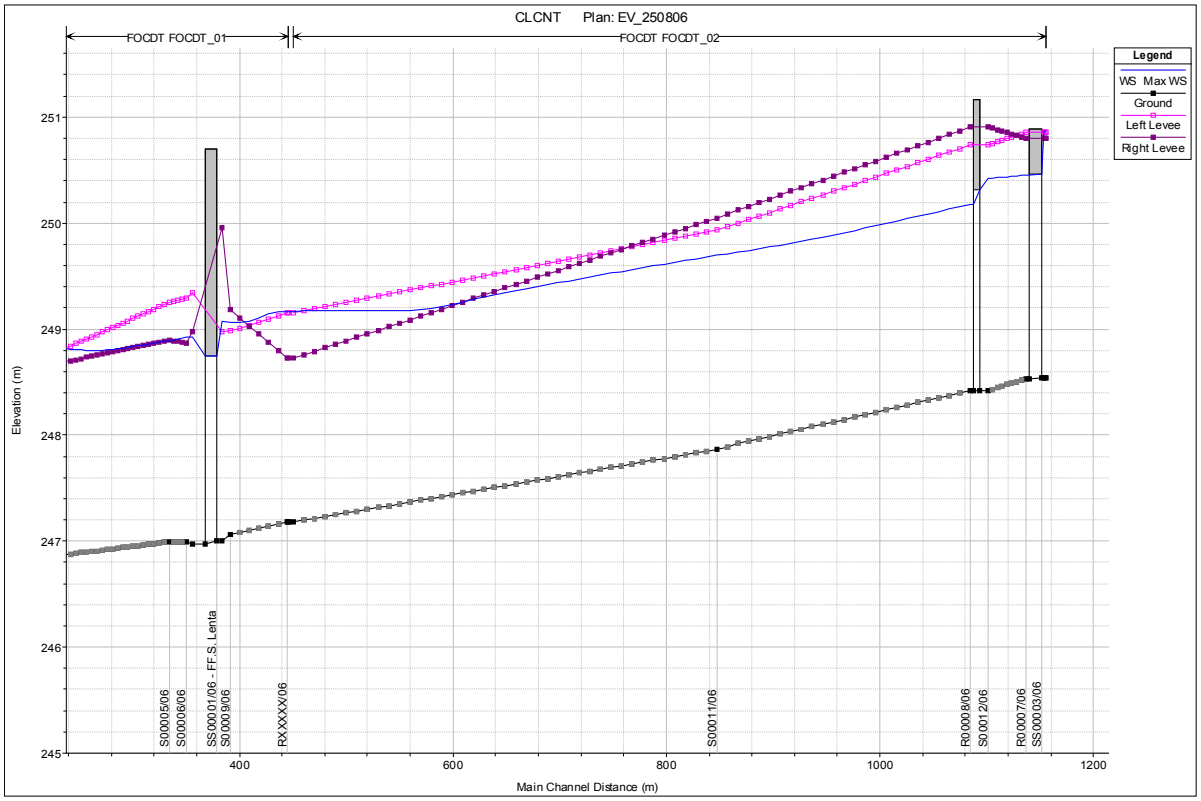


Fig. 64*. Profilo di rigurgito del* maxWS *del F.so Cardete dalla confluenza del F.so Tarantello a quella del F.so Tombarelle. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*

F.so. Tombarelle

- la modellazione evidenzia tracimazioni in *sx* (territorio di Chiusi) soltanto in approccio al tombino di attraversamento della strada locale posta poco a monte della linea FF.S. lenta (Fig. 65). Tali allagamenti, seppur non precisamente segnalati, appaiono plausibili vista la natura, lo scarso grado di manutenzione del fosso e la bassa sensibilità del territorio circostante, interamente agricolo. Non allagabile la S.P. n. 326

In definitiva, alla luce anche di sopralluoghi specifici e degli esiti modellistici della rete fognaria meteorica (*vd.*), per il censimento delle aree allagate nell'agosto 2006 di cui in DU#03 si può concludere:

AA01: estensione parzialmente confermabile (incongruenza di censimento[67]); origine: F.so S. Giovanni

AA02: estensione confermabile; origine: versante (non canalizzato), F.so Palazzuolo e fognatura

AA03: non modellata; origine: fognatura

AA04: estensione confermabile; origine: versante su via Talamone, F.so S.ta Caterina e fognatura

AA05: non modellata; origine: versante e fognatura

AA06: estensione confermabile (con estensione di connessione al F.so Montelunghino);

[67] Quote corrispondenti irrealistiche.

origine: versante Montorio, F.so Montelunghino e fognatura

`AA07`: estensione confermabile; origine: versante Montorio su via Gorizia e fognatura

`AA08`: estensione confermabile; origine: ristagni

`AA09`: estensione confermabile; origine: T. Montelungo e ristagni

`AA10`: estensione confermabile; origine: C.le Chianetta-F.so Fargnia e ristagni

`AA11`: estensione confermabile; origine: C.le Chianetta-F.so Fargnia, ristagni e fognatura

`AA12`: estensione confermabile; origine: versante Porto di Mezzo su via Gonzarelli e fognatura

`AA13`: estensione confermabile; origine: versante Porto di Mezzo e fognatura

`AA14`: estensione confermabile; origine: F.so Tarantello, versante e fognatura

`AA15`: estensione confermabile; origine: T. Montelungo [*et al.*?] e ristagni

`AA16`: estensione confermabile; origine: T. Montelungo[68] [*et al.*?] e ristagni

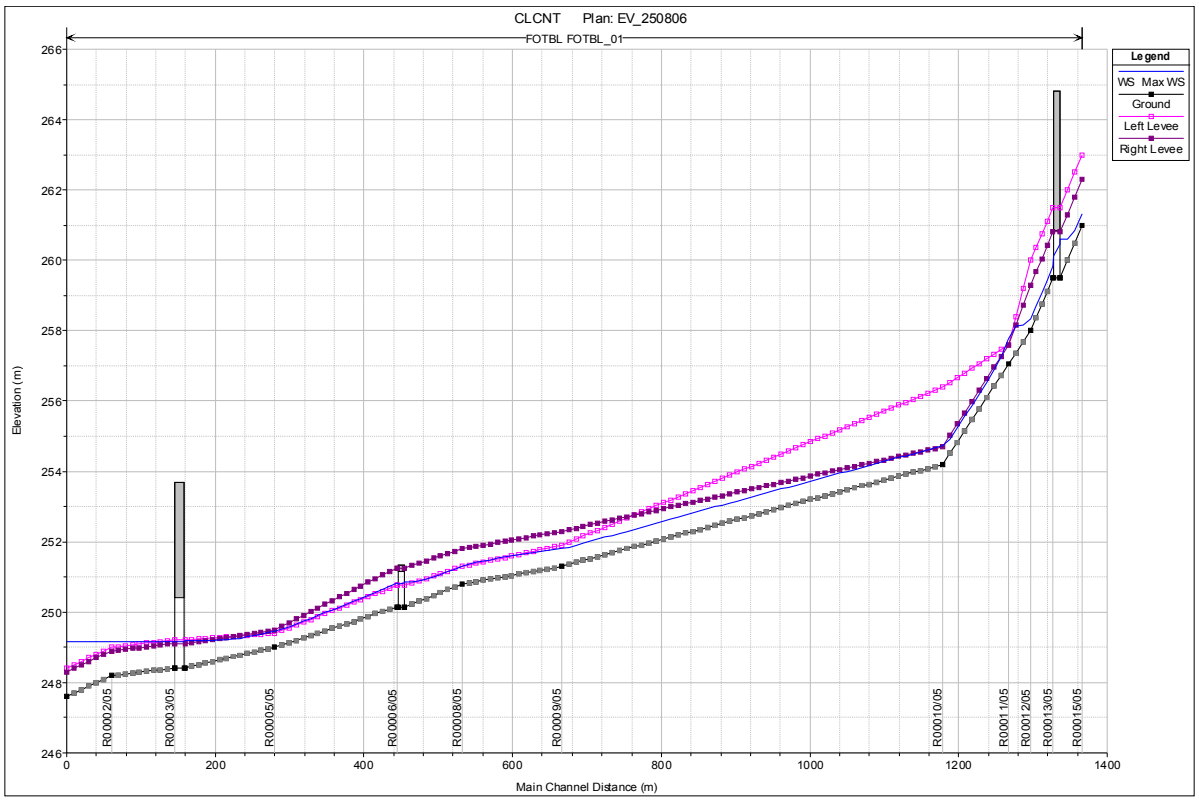


Fig. 65. *Profilo di rigurgito del* maxWS *del F.so Tombarelle. Modellazione evento del 25 agosto 2006.*

Dunque, la ricostruzione matematica della cinematica di evento 2006 appare complessivamente consistente.

Si noti, infine, che il **tempo di ritorno dell'evento idrometrico 2006** -*i.e.* valutato sulle portate al colmo- risulta[69], per il sistema idrografico del T. Montelungo compreso **tra 20 e 50 *anni*** (mentre quello pluviometrico -D_{cr}=1.0÷2.0- 100÷200 *anni* per `VaPI_Calenda` ed oltre 500 *anni* per `AlTo`).

[68]Probabilmente anche in via indiretta all'immissione locale fossetto in *sx.*

[69]In ragione della [usuale] ipotesi di `AMC II` negli scenari di progetto, anziché `AMC I` come per l'evento 2006.

3.1.5.2 L'evento di novembre 2000 a Montallese

Sul T. Parce è stato analizzato l'evento del 15 novembre 2000, i cui dati erano già disponibili in *Terrosi et al.* (2001)[70], non essendo stato possibile reperire idonei dati pluviometrici per l'evento del 21 ottobre 2005 (in cui avvenne la tracimazione dell'argine *sx*).

Seppur meno significativo e qualificante (l'analisi progettuale) di quello dell'agosto 2006, l'utilizzo contestuale di quest'ultimo ha tuttavia permesso di irrobustire il quadro indiziario idrologico[71], più che idraulico[72]. L'evento 2000 non determinò esondazioni del T. Parce nel tratto di analisi, facendo registrare un livello idrico massimo all'idrometro regolatore al ponte della linea `FF.S.` Siena-Chiusi di 4.12 *m* (*ca.* 255.60 *m* s.l.m.).

Assumendo una distribuzione di pioggia uniforme nello spazio pari a quella registrata al pluviometro di Chianciano Terme (*op. cit.*) è infatti risultata evidente -al di là di ogni ragionevole incertezza di ordine idraulico- una insufficiente rappresentatività di tale ietogramma del campo di pioggia sollecitante l'intero bacino. In Fig. 66 è riportato il profilo di `maxWS`, da cui si evince come il livello all'idrometro regolatore raggiunga solo 255.10 *m* s.l.m.

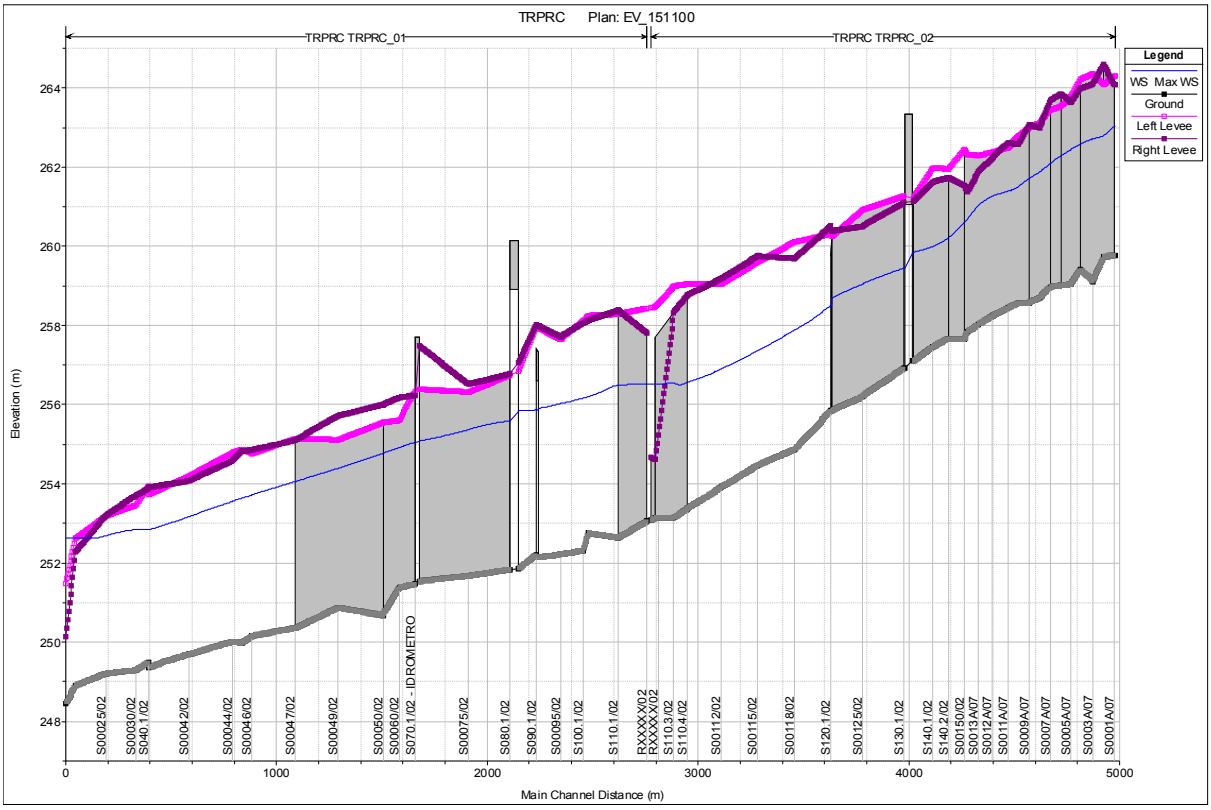


Fig. 66*. Profilo di rigurgito del* maxWS *del T. Parce. Modellazione evento del 15-16 novembre 2000.*

Tale insufficienza *parrebbe* legata non solo alla caratterizzazone spazio-temporale, ma (pur assumendo `AMC III`) anche al volume complessivo di afflusso meteorico. Tale fatto, confermerebbe alcune indicazioni circa sistematiche sottostime, per tale bacino, anche di `AlTo` (per il quale il

[70] *INTEGRAZIONI alla relazione idrologica e di rischio idraulico a seguito nota prot. 4141 del 20.04.01 dell'Ufficio del Genio Civile di Siena* (2001).

[71] Associazioni litologia-suolo, parametrizzazione formula tempi caratteristici, `LSPP`.

[72] Peraltro piuttosto semplice.

principale pluviometro di riferimento `LSPP` è appunto Chianciano Terme). In definitiva, anche in base a tale pur speditiva analisi, viene adottata anche per il bacino del T. Parce la regionalizzazione delle piogge `VaPI_Calenda`.

3.1.6 Criticità

Le *performances* di ciascun sistema idrografico sono state determinate analizzando in `HEC-Ras` tutti gli scenari già descritti (*plan*), la cui codifica è riportata in Tab. 19.

Tab. 19*. Quadro riassuntivo delle codifiche di configurazione* `HEC-Ras`[73]*.*

NOME	*Plan*	*Unsteady flow*	*Starting Time*	*Ending Time*
SA_20Y_1H	.p1	.u01	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_20Y_1.5H	.p2	.u02	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_20Y_2H	.p3	.u03	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_20Y_3H	.p4	.u04	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_20Y_4H	.p5	.u05	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_20Y_6H	.p6	.u06	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 0600
SA_20Y_10H	.p7	.u07	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 1200
SA_30Y_1H	.p8	.u08	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_30Y_1.5H	.p9	.u09	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_30Y_2H	.p10	.u10	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_30Y_3H	.p11	.u11	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_30Y_4H	.p12	.u12	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_30Y_6H	.p13	.u13	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 0600
SA_30Y_10H	.p14	.u14	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 1200
SA_50Y_1H	.p15	.u15	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_50Y_1.5H	.p16	.u16	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_50Y_2H	.p17	.u17	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_50Y_3H	.p18	.u18	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_50Y_4H	.p19	.u19	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_50Y_6H	.p20	.u20	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 0600
SA_50Y_10H	.p21	.u21	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 1200
SA_200Y_1H	.p22	.u22	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_200Y_1.5H	.p23	.u23	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_200Y_2H	.p24	.u24	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_200Y_3H	.p25	.u25	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_200Y_4H	.p26	.u26	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_200Y_6H	.p27	.u27	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 0600
SA_200Y_10H	.p28	.u28	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 1200
SA_500Y_1H	.p29	.u29	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_500Y_1.5H	.p30	.u30	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_500Y_2H	.p31	.u31	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_500Y_3H	.p32	.u32	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_500Y_4H	.p33	.u33	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_500Y_6H	.p34	.u34	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 0600
SA_500Y_10H	.p35	.u35	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 1200
SA_100Y_1H	.p36	.u36	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_100Y_1.5H	.p37	.u37	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_100Y_2H	.p38	.u38	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 1800
SA_100Y_3H	.p39	.u39	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_100Y_4H	.p40	,u40	01APR2010 - 1200	01APR2010 – 2400
SA_100Y_6H	.p41	.u41	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 0600
SA_100Y_10H	.p42	.u42	01APR2010 - 1200	02APR2010 – 1200
EV_250806	.p91	.u91	25AUG2006 - 1200	25AUG2006 – 2400

Rimandando sin d'ora per i dettagli numerici agli elaborati di calcolo ed alle tavole allegati, si

[73]Per il T. Parce il *plan* `EV_250806` è sostituito da `EV_151100`.

riassumono di seguito le principali criticità di sistema e sottosistema.

3.1.6.1 Il T. Montelungo

Il livello di pericolosità del T. Montelungo per il nucleo urbano di Chiusi Scalo è fondamentalmente legato alla generale insufficienza dei franchi ed alla soggiacenza arginale di aree ad elevata vulnerabilità (ad uso residenziale-commerciale-terziario). Esondazioni più diffuse sono temibili con T_r>30 *anni* (Fig. 68), essendo più i tributari minori a determinare criticità di maggiore frequenza.

Le durate critiche in termini di livelli sono D_{cr}=1÷2 *h*, mentre in termini di volumi esondati l'ampiezza si estende sino alle 3 *h* (Fig. 67).

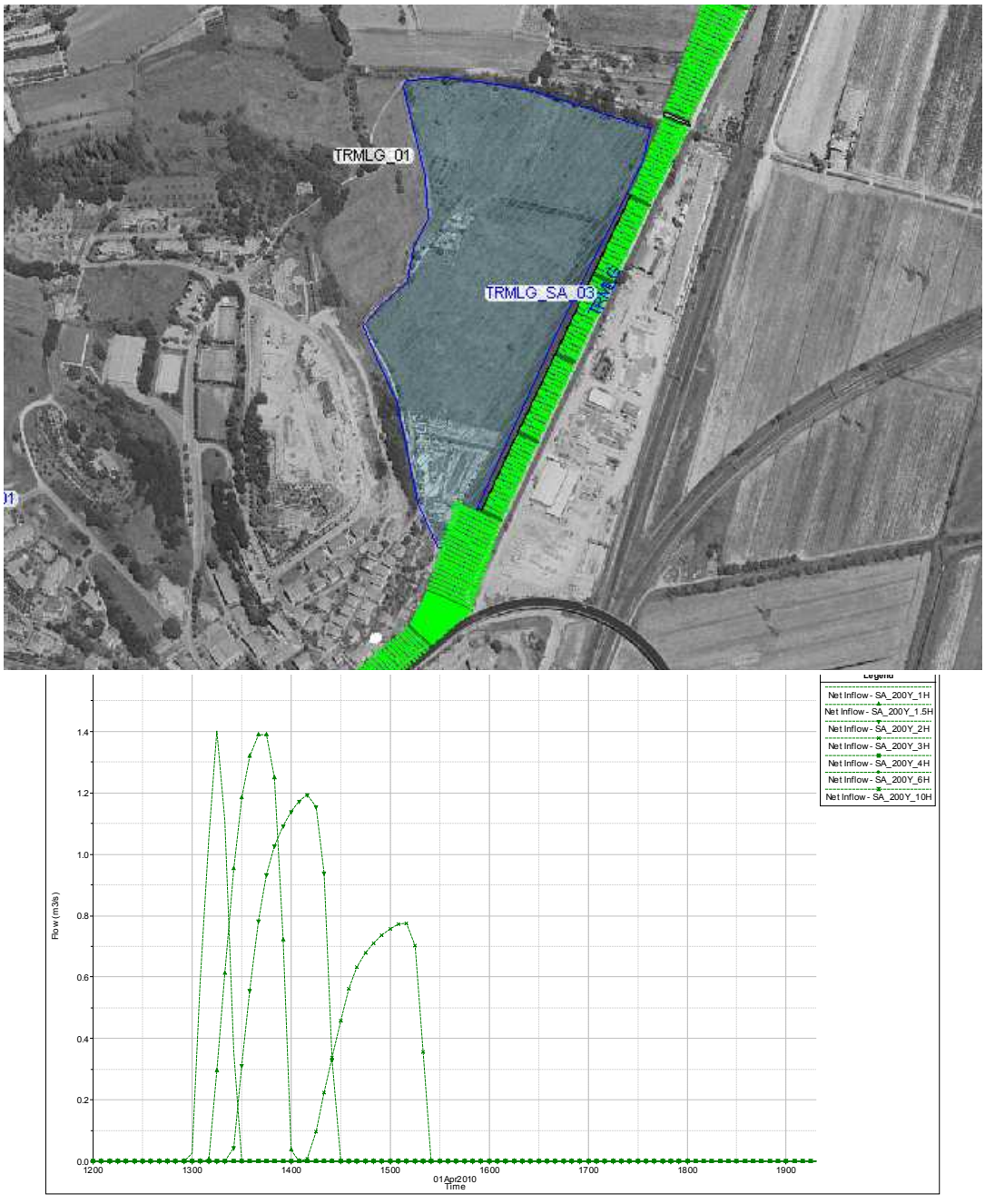


Fig. 67*. Idrogrammi di portata di* TRMLG_SA_03 *del T. Montelungo. D*=tutte e T_r=200 *anni* (V_{max}=V_{3h}=3200 m^3).

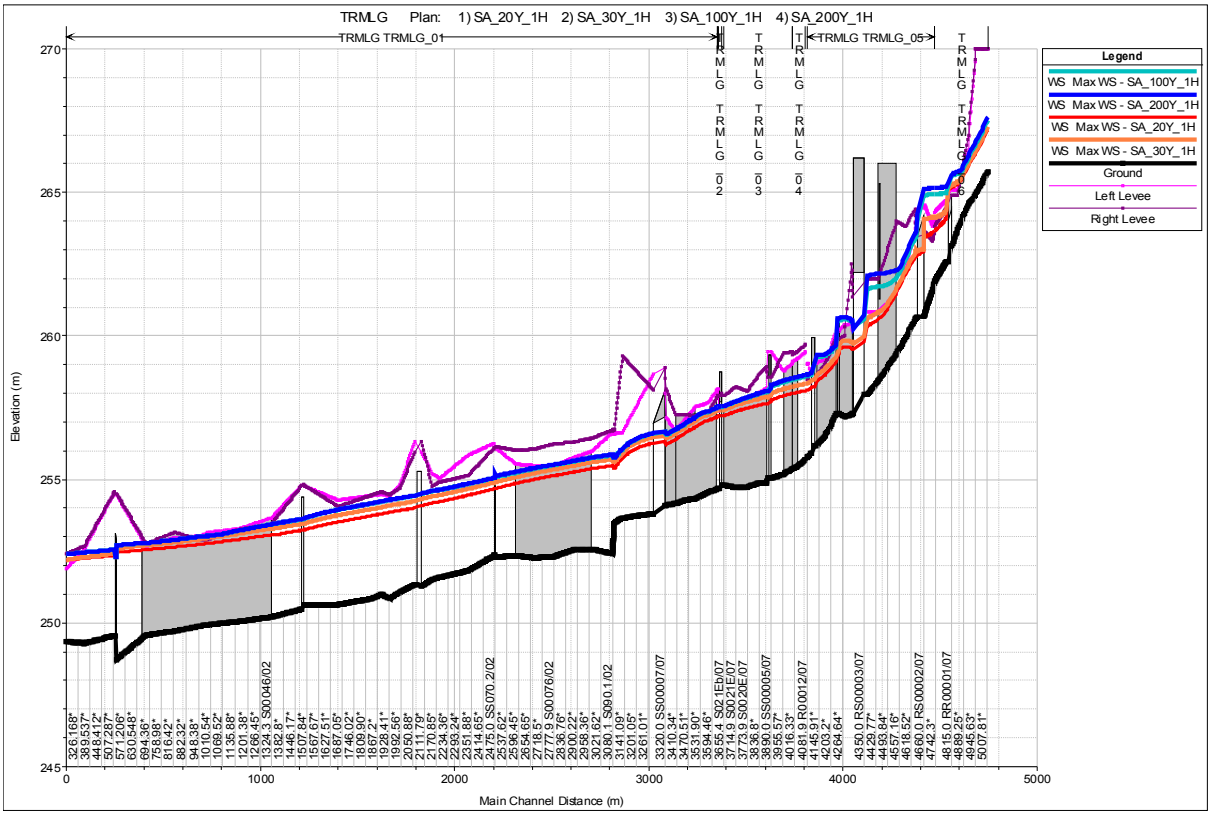
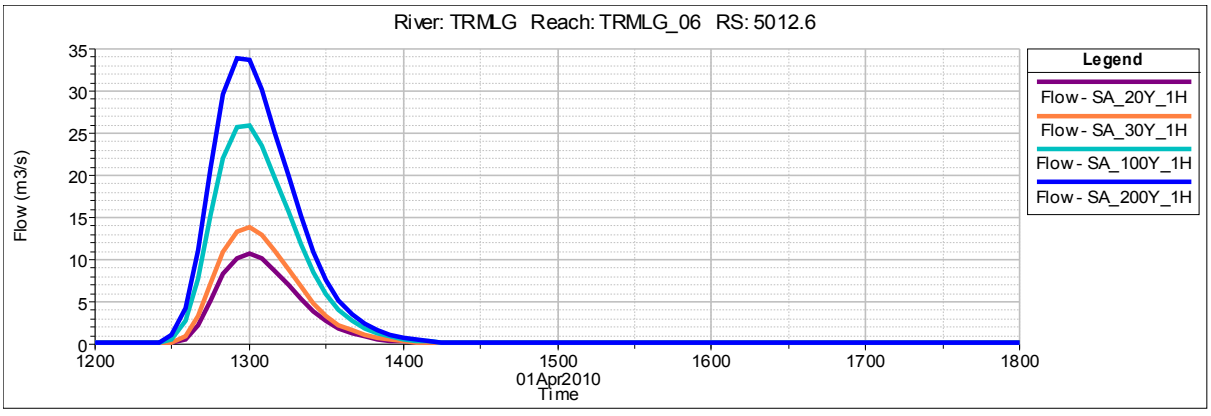
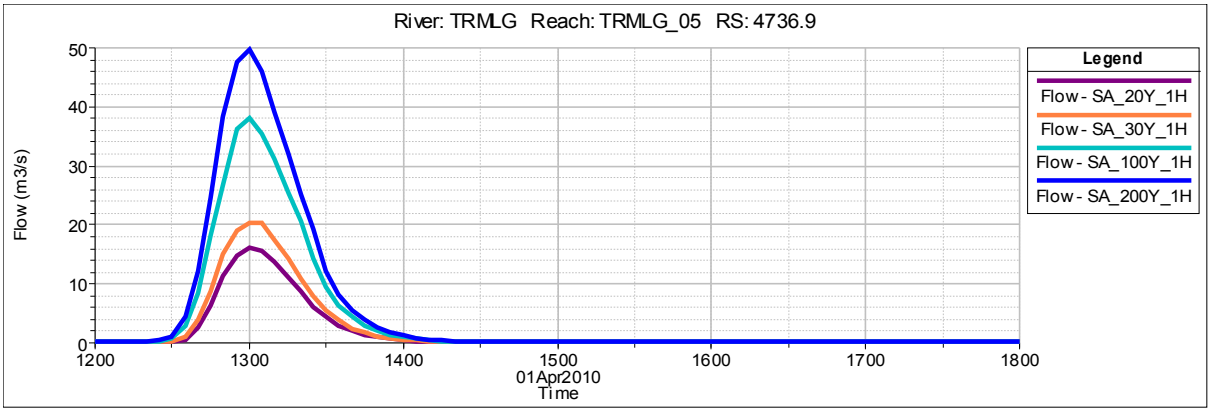


Fig. 68. *Profili di rigurgito del* maxWS *del T. Montelungo.* D=1 h e T_r=20, 30, 100 e 200 anni.





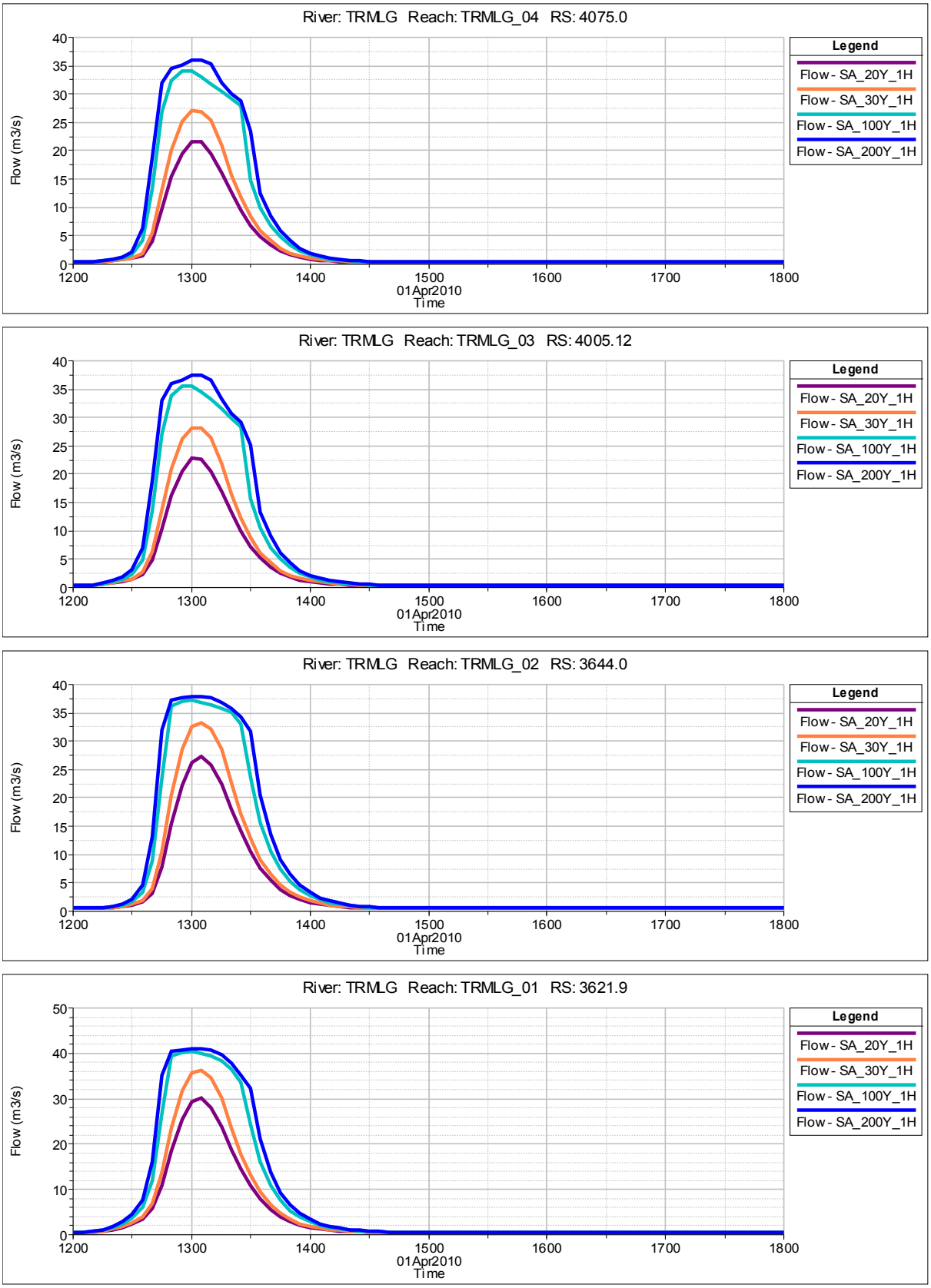


Fig. 69. *Idrogrammi di portata alla sezione iniziale di ciascun tratto del T. Montelungo.* D=1 h e T_r=20, 30, 100 e 200 anni.

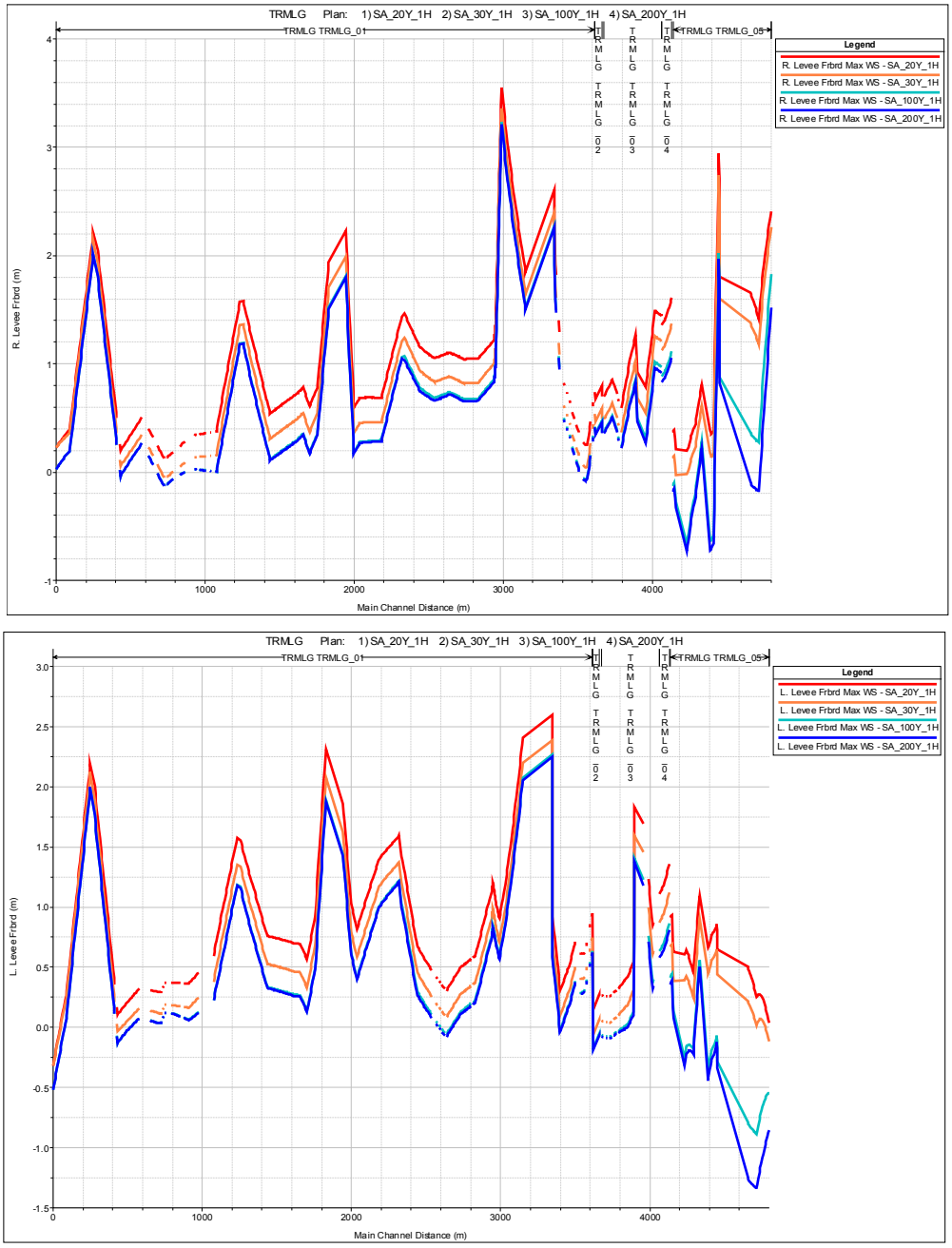


Fig. 70. *Profili dei minimi franchi dx e sx sui livelli arginali*[74] *del T. Montelungo a valle della confluenza del F.so S. Giovanni.* D=1 h e T_r= 20, 30, 100 e 200 anni.

In Fig. 69 e Fig. 70 sono riportati gli idrogrammi di portata alla sezione iniziale di ciascun tratto (*i.e.* a valle di ciascuna confluenza) ed i profili dei minimi franchi per *D*=1 *h*. Quest'ultimi risultano in ampi tratti inferiori a 1.0 *m* già per T_r=30 *anni* (tra via dei Mille e S.P. n. 321, a valle della stessa, ..) ed inferiori a 0.50 *m* per T_r=200 *anni.*

Le esondazioni del T. Montelungo (e non solo) in *sx* tendono ad accumularsi su via della Fontina (con transito lungo via Montelunghino) e via Giacosa, mentre quelle in *dx* -complessivamente ben

[74]Valori elevati ai ponti, essendo l'argine modellistico comprensivo di impalcato e [eventuale] spalletta. In mancanza di argine vero e proprio è marcato tale nel modello il limite di sponda dell'alveo inciso (*vd.* valori negativi elevati).

inferiori e per $T_r \geq 100$ *anni*, ma determinanti maggiori scorrimenti in ambito urbano- confluiscono tutte su p.za Dante, fatta eccezione per quella a monte di via dei Mille (Fig. 71).



Fig. 71*. T. Montelungo a monte del ponte di via dei Mille, tracimabile per $T_r \geq 100$ anni (vista da valle).*

I battenti di scorrimento (così come quelli di tracimazione) sono mediamente bassi (0.30 *m*), mentre quelli nelle zone di accumulo possono raggiungere (compresi afflussi dai fossi tributari) valori elevati, *i.e. ca.* 0.5/1.0/2.0 *m* per T_r=200 *anni*, rispettivamente in p.zza Dante, via Giacosa e della Fontina. Il volume complessivamente esondato (e distolto dalla dinamica d'alveo) per T_r=200 *anni* nel tratto a monte della S.P. n. 146 è stimato[75] in *ca.* 50.000 m^3, in massima parte (48.000 m^3) in *sx* e nei tratti tra F.so S. Giovanni e F.so Montelungo e tra F.so Palazzuolo e F.so Montelunghino. Ulteriori 3.500 m^3 sono temibili immediatamente a valle della S.P., in *sx*.

In termini di pericolosità complessiva (tiranti e frequenza), va poi tenuto conto che nelle medesime zone si accumulano anche le acque di pioggia non smaltibili dall'attuale sistema fognario (*vd.* evento agosto 2006). Non si hanno notizie di cedimenti arginali nel tratto di studio *post* interventi di consolidamento, rivestimento e stabilizzazione degli anni '80-'90.

Nel tratto più vallivo, esterno al centro abitato, si conferma la cinematica dell'evento 2006, con esondazioni temibili già per T_r=30-50 *anni*, all'altezza del vivaio Margheriti. Sebbene vada qui particolarmente tenuto conto dell'alea relativa al deflusso al nodo di confluenza con il T. Tresa (non esplicitamente modellato), si stimano, in *dx* idrografica, volumi complessivi di esondazione pari a *ca.* 300-4.100 m^3 (`RS 995.8` e `970.4→TRMLG_SA_04`), per le succitate frequenze. Significativo *comunque* il rigurgito indotto dal ponte della S.P. delle Torri. Di un ordine di grandezza inferiore -10-900 m^3- il volume temibile in *sx* (`RS 680.0→TRMLG_SA_05`), purtuttavia non nullo, a significare un deflusso almeno a tratti al limite di tracimazione[76]. Per T_r=200 *anni*, i volumi in esondazione ammontano a 32.150 e 17.450 m^3, rispettivamente in *dx* e *sx* idrografica (*ca.* 3.300 e 250 m^3, rispettivamente, nell'evento dell'agosto 2006).

[75]Verosimilmente sottostimato quello su via Giacosa. Mappatura di pericolosità cautelativamente corretta (*vd.*).
[76]E dunque una pericolosità più strutturale che singolare. Profili arginali disomogenei (*vd.* modello idraulico).

Data, *da una parte*, la significativa dipendenza[77] dei profili di rigurgito dall'idraulica del nodo di confluenza con il T. Tresa e dell'area di colmata-Lago di Chiusi e, *dall'altra* -soprattutto-, la potenziale sovrapposizione di pericolosità ulteriori indotte da corsi d'acqua minori e dal T. Tresa stesso, **la** presente **mappatura delle aree allagabili cessa la propria significatività *esaustiva* al ponte stradale di Bagnolo in loc. Colmatore** (RS 2475.0), ovvero all'antico argine di separazione Arno-Tevere[78].

3.1.6.1.1 Gli affluenti

Il **F.so S. Giovanni** ha preminenti caratteristiche di fosso collinare con basso grado di artificiosità, fatto salvo il tratto di confluenza a valle della linea FF.S. (Fig. 72). In ipotesi di acque chiare, la propria pericolosità risulta limitata all'intorno del fosso, senza interessare il nucleo urbano vero e proprio. I tiranti 200-*ennali* possono raggiungere valori superiori a 0.50 *m* nella zona di accumulo a ridosso del rilevato ferroviario. Tombino a monte insufficiente per $T_r \geq 30$ *anni* (Fig. 73).



Fig. 72. *Confluenza F.so S. Giovanni-T. Montelungo (vista da valle. T. Montelungo a sx).*

La massima portata recapitata nel T. Montelungo per T_r=200 *anni* è pressochè pari a quella idrologica, *i.e.* poco meno di 16 m^3/s.

Anche il **F.so Montelungo** ha caratteristiche simili, con confinamenti morfologici a monte della ferrovia (Fig. 74) e tombino di attraversamento allo stato attuale inadeguato anche per difetto di

[77] Tenendo tuttavia presente che le condizioni di valle assunte per il T. Montelungo (*§* 3.1.4) e, conseguentemente, le relative perimetrazioni, sono da ritenersi *cautelative*.

[78] Da ciò deriveranno le diverse norme d'uso del territorio (*vd. Tavv.* di Progetto di P.S e N.T.A.).

manutenzione (Fig. 75). D'altra parte, il poco volume invasabile a monte non determina significative laminazioni dei valori al colmo (<10%).

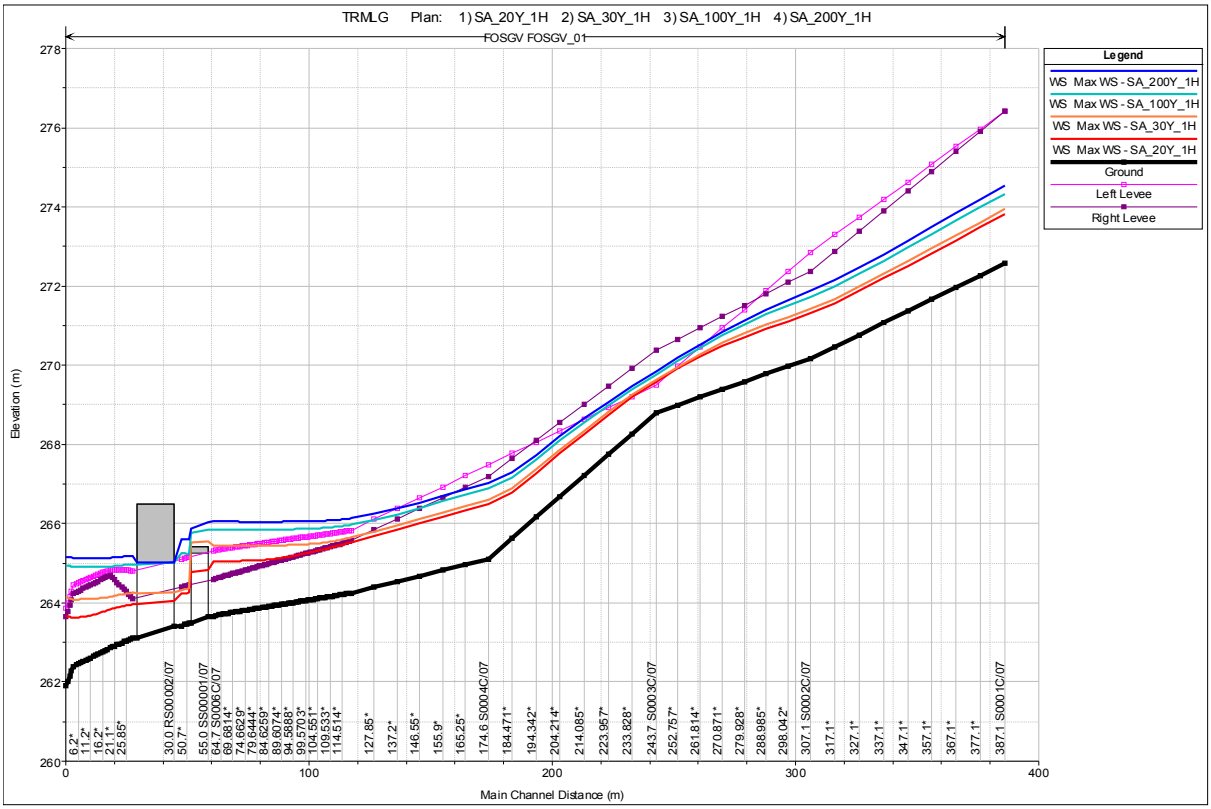


Fig. 73. *Profili di rigurgito del* maxWS *del F.so S. Giovanni.* D=1 h e T_r=20, 30, 100 e 200 anni.



Fig. 74. *F.so Montelungo a monte della linea* FF.S. Direttissima *(vista da monte).*



Fig. 75. *F.so Montelungo al tombino di attraversamento della linea* FF.S. Direttissima *(vista da monte).*

La maggiore pericolosità (Fig. 76) è a valle della linea FF.S. ove, seppur per T_r=200 *anni*, si verificano esondazioni in *sx* che, insieme e quelle del T. Montelungo, è temibile determinino anche il sormonto di via dei Mille (Fig. 77). Più contenuti gli allagamenti in *dx* (Fig. 78).

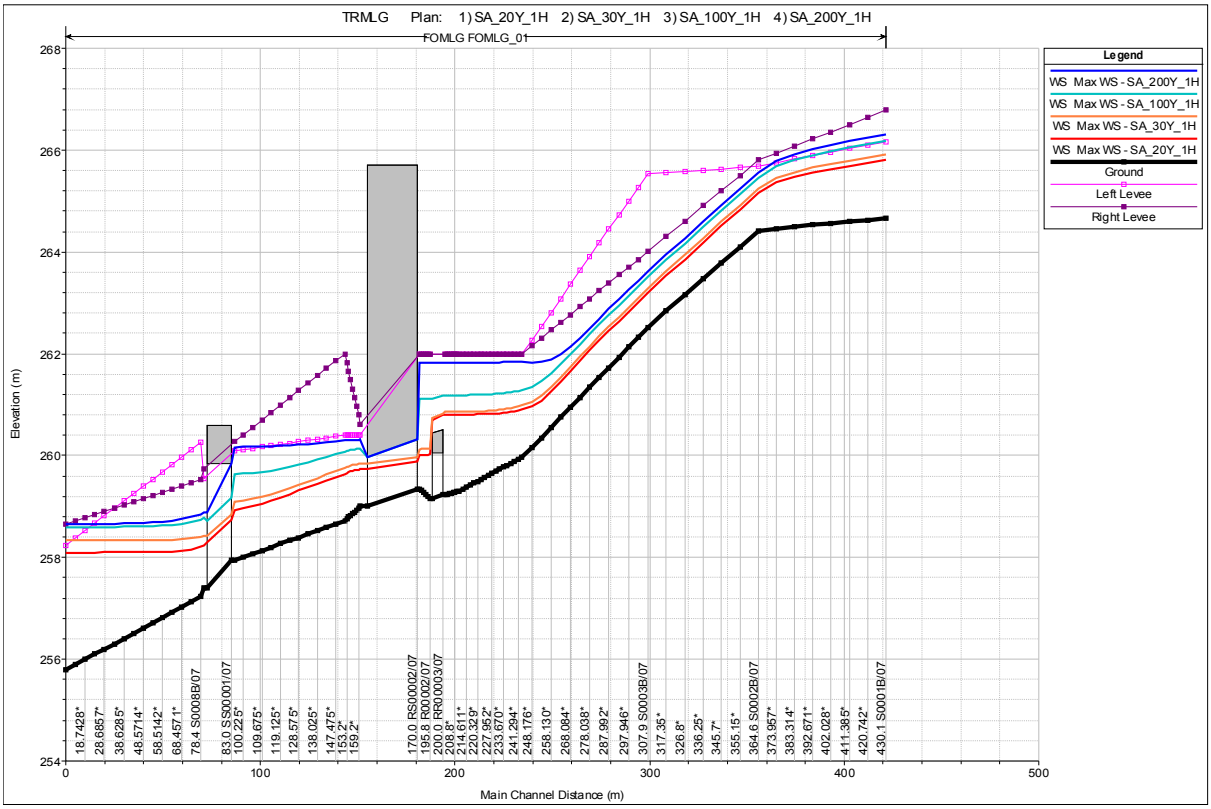


Fig. 76. *Profili di rigurgito del* maxWS *del F.so Montelungo.* D=1 h e T_r=20, 30, 100 e 200 anni.



Fig. 77. Via dei Mille nel tratto passibile di sormonto (vista dal ponte sul F.so Montelungo verso il T. Montelungo).

Per il **F.so Palazzuolo** (affluente di *sx*) la problematica principale riguarda il lungo ed insufficiente (già per T_r=20 *anni*) tombino terminale di recapito nel T. Montelungo (Fig. 79), associato peraltro ad un incerto manufatto di imbocco e controllo del trasporto solido. Anche la struttura del fosso stesso appare labile.





Fig. 78. F.so Montelungo al monte di via dei Mille (viste da monte e valle, in epoche diverse).



Fig. 79. *F.so Palazzuolo (tombino) alla confluenza nel T. Montelungo (vista da valle).*

La quasi totalià dei volumi non recapitabili nel tombino (*ca.* 5.500 m^3 per T_r=200 *anni*) defluisce verso la zona depressa di via della Fontina, recapitando nel T. Montelungo circa 1/4 della propria portata idrologica 200-*ennale* (Fig. 80).

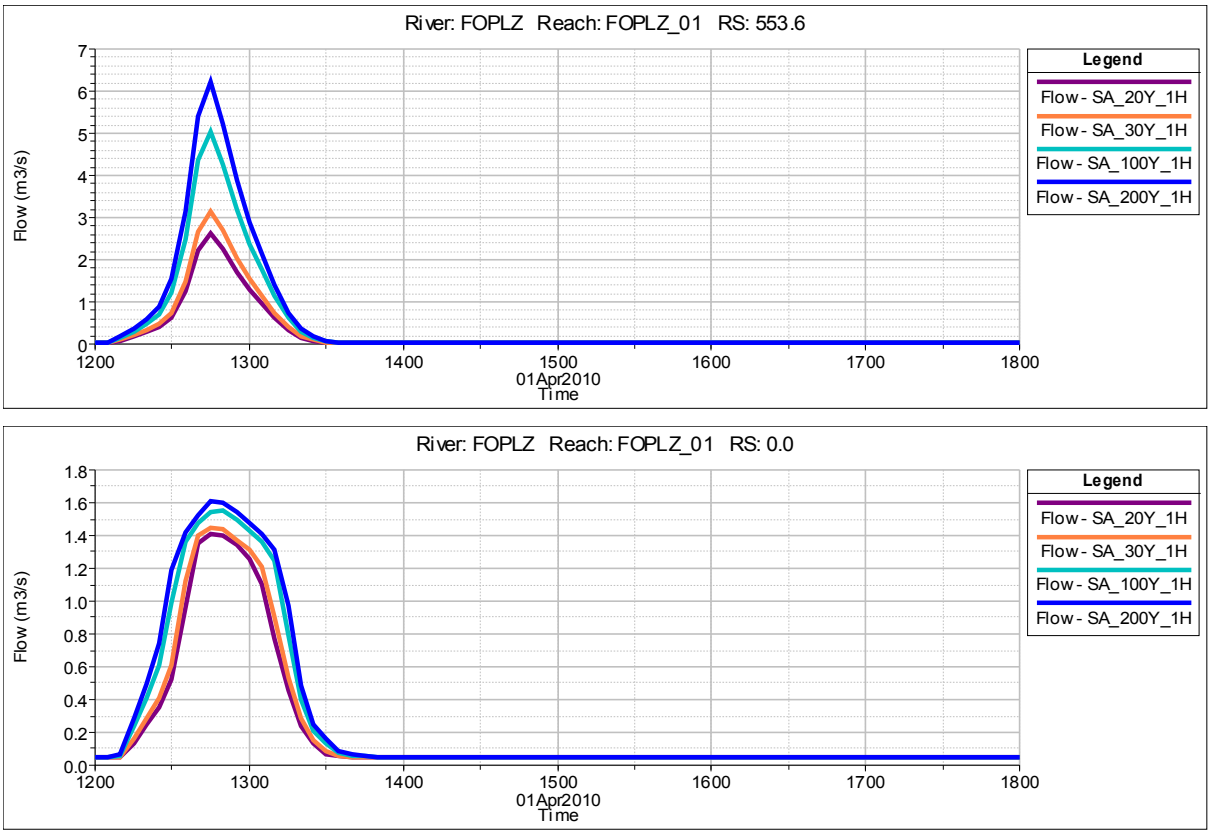


Fig. 80. *Idrogrammi di portata alle sezz. iniziale e finale del F.so Palazzuolo.* D=1 h e T_r=20, 30, 100 e 200 anni.

Il **F.so Montelunghino** è il principale affluente del T. Montelungo e, anche per esso, è di maggiore pericolosità la parte a valle del poggio di Montorio, laddove il confinamento morfologico cessa e l'uso del suolo passa da agricolo ad urbano. Il tombino di attraversamento della ferrovia risulta complessivamente insufficiente ma, data la presenza di un ulteriore sottopasso stradale, gran parte dei volumi esondati a monte riconfluiranno comunque nel fosso a valle.



Fig. 81. *F.so Montelunghino tra il tombino di via dei Mille e la passerella pedonale di p.za XXVI Giugno 1944 (vista da valle).*

Il profilo di rigurgito (Fig. 82) è principalmente condizionato dai livelli nel T. Montelungo e dal tombino di via dei Mille (Fig. 81).

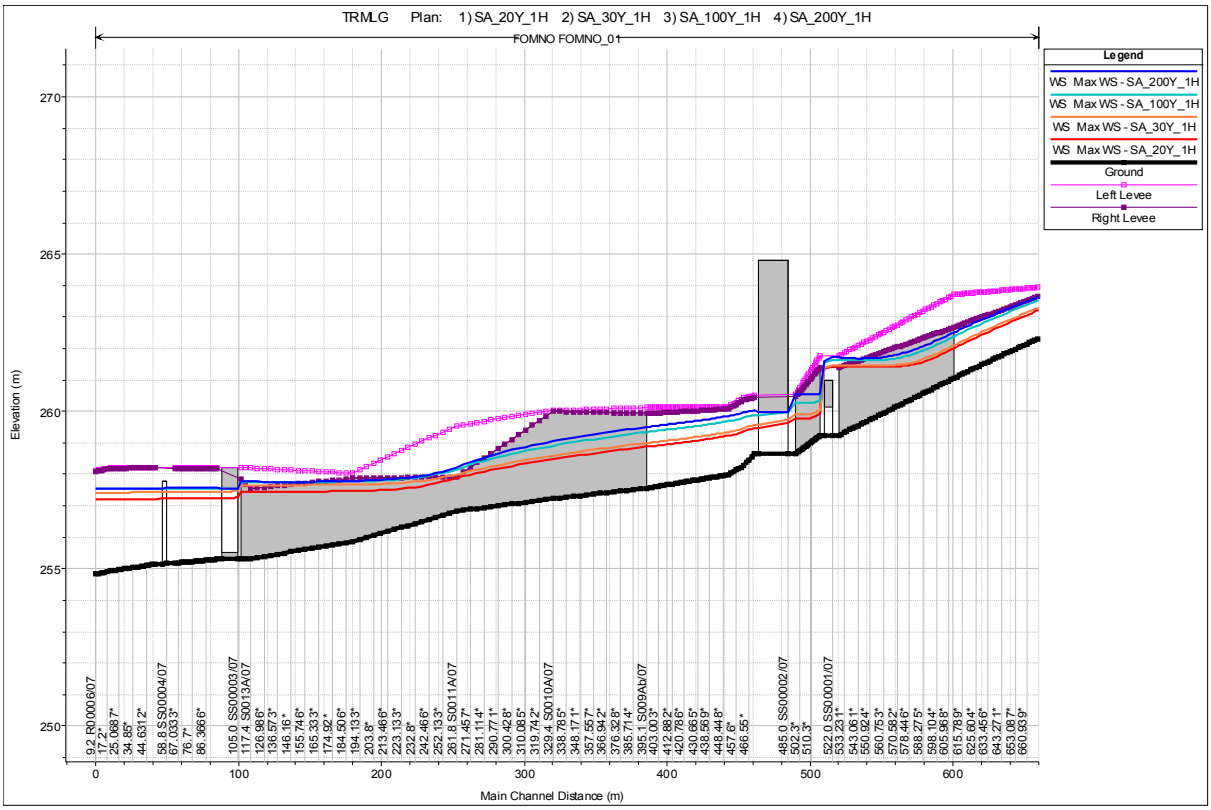


Fig. 82. *Profili di rigurgito del* maxWS *del F.so Montelunghino dalla linea* FF.S. Direttissima *alla confluenza nel T. Montelungo.* D=1 h e T_r=20, 30, 100 e 200 anni.

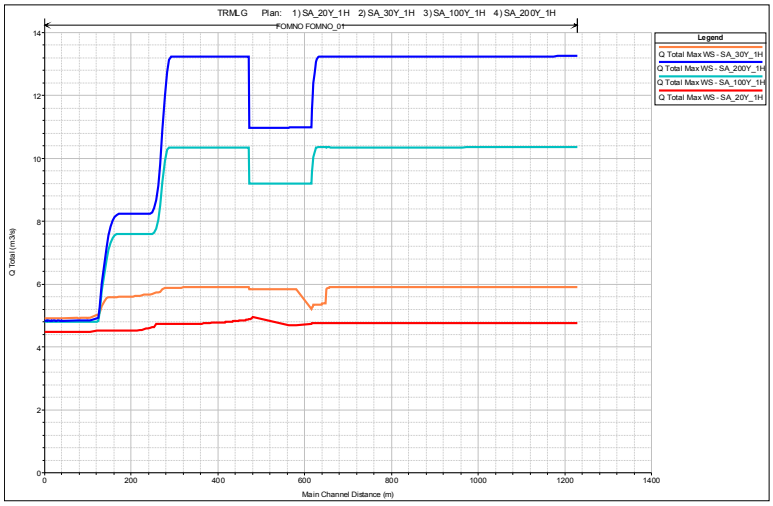


Fig. 83. *Profili di portata corrispondenti al* maxWS *del F.so Montelunghino.* D=1 h e T_r=20, 30, 100 e 200 anni.

Allo stato attuale, date le esondazioni temibili in *dx* all'altezza della Fornace di Montorio, le massime portate recapitate nel T. Montelungo si attestano su poco meno di 5 m^3/s, indipendentemente dal T_r (Fig. 83). I battenti *extra*-alveo sono limitati (*ca.* 30 *cm*), essendo dominante lo scorrimento (fino p.za Dante per $T_r \geq 100$ *anni*) piuttosto che l'accumulo. Il volume di esondazione è stimato in *ca.* 11.500 m^3 per T_r=200 anni. Franchi ridotti soprattutto in *dx* ed agli attraversamenti.

3.1.6.2 Il C.le Chianetta-F.so Fargnia

La parte di asta idrografica del F.so Fargnia analizzata [CLCNT_03] risulta insufficiente a contenere entro l'alveo inciso le portate di piena con $T_r \geq 20$ *anni.* Tale insufficenza è essenzialmente strutturale e solo in parte dovuta anche al rigurgito dell'attraversamento stradale di RS 10895.0 (Fig. 84). Si verifica dunque una immediata esondazione iniziale che da' origine (in realtà già presente a monte) ad un fronte *extra*-alveo principale in *dx* [FOFGN_DX_01] ed un altro secondario, in *sx.* Entrambi sono confinati[79] da rilevati arginali (T. Tresa), ferroviari e/o stradali, con direzione di flusso S.P. n. 146 a Chiusi Scalo ed interessano territori ad attuale uso agricolo. La durata critica è 2÷3 *h*.

Il fronte *dx* in parte rientra in C.le Chianetta all'altezza della confluenza dell'emissario di scolo dell'area interclusa tra T. Montelungo e F.so Maranzano a monte del vecchio argine di separazione, in parte va ad accumularsi verso la S.P. e via Cassia Aurelia I, tracimandola via via più estesamente all'aumentare del T_r.

Quest'ultimo filone non rientra più direttamente in alveo, causa arginatura del C.le Chianetta ma, almeno per i T_r maggiori, interagisce con travasi sovrarginali *in*/*out* con la corrente di piena del Canale. La massima portata in alveo al ponte della S.P. n. 146 non raggiunge i 10 m^3/s, con poca variabilità sul T_r (Fig. 85), comunque sufficienti a determinare deflusso in pressione e tracimazioni a monte (Fig. 86).

Le portate in transito in CLCNT_DX_01 raggiungono valori di picco leggermente inferiori a 1÷20 m^3/s per T_r=20÷200 *anni*. I massimi battenti sul p.c. si riscontrano nell'area maggiormente depressa (e normalmente umida) compresa tra variante Cassia Aurelia-S.P. n. 146 e C.le Chianetta (oltre 1.50 *m* per T_r=200 *anni*). I livelli nelle zone di accumulo poste in *dx* e confinate dalle opere correlate al *Nuovo Scalo Merci*, dalla nuova S.P. e dal rilevato ferroviario, raggiungono livelli superiori a quelli arginali -maggiori all'aumentare delle durate (dei volumi esondati) (Fig. 86÷Fig. 88)-, determinando anche

[79] A meno di *by-passes* di allagamento indiretto, quali i tombini senza *clapet* sulla nuova bretella stradale di Po' Bandino.

qualche travaso in *sx* C.le Chianetta (Fig. 89).

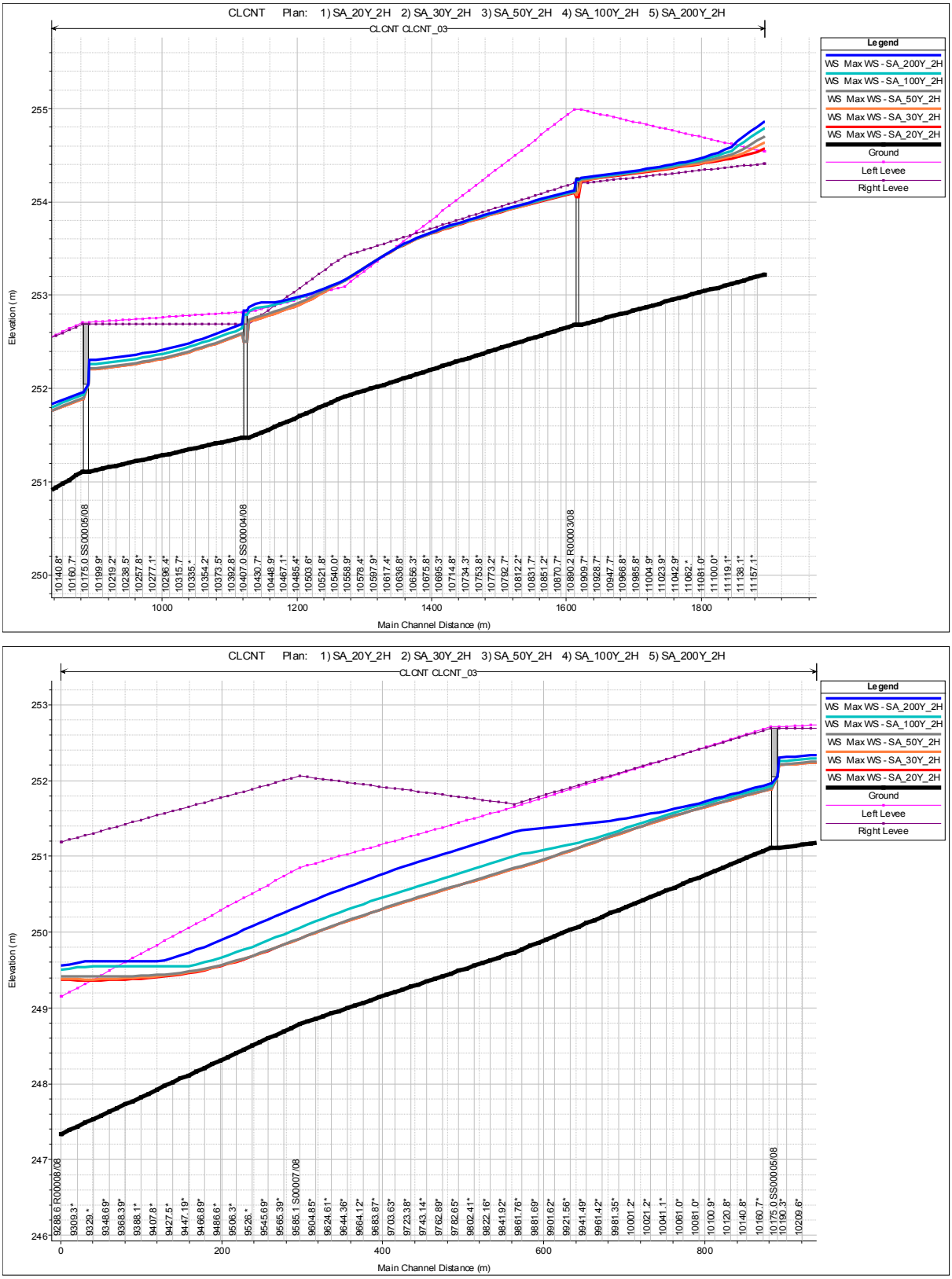


Fig. 84. *Profili di rigurgito del* maxWS *del F.so Fargnia* [CLCNT_03]. D=2 e 3 h e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 anni.

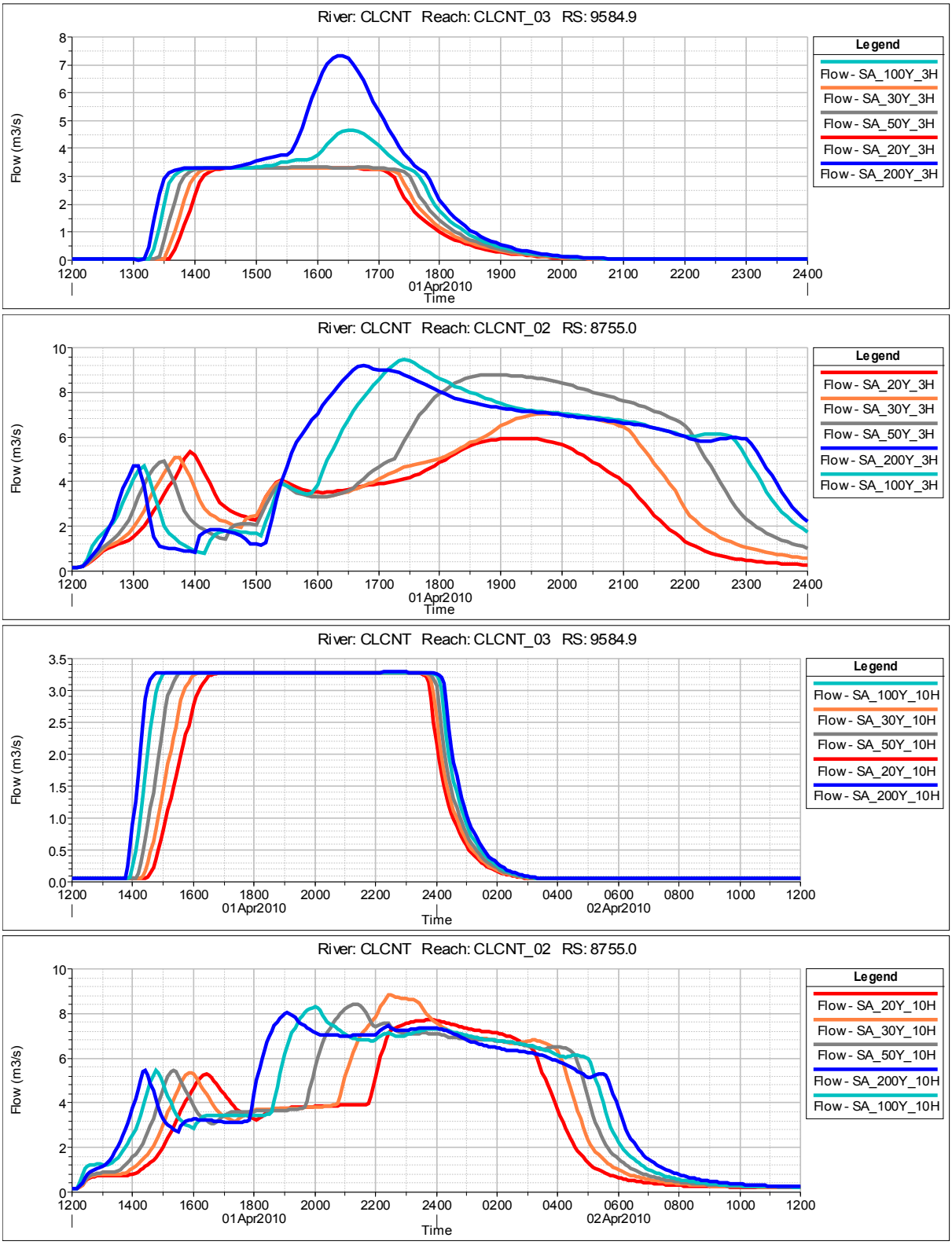


Fig. 85. *Idrogrammi di portata del F.so Fargnia* [CLCNT_03] *alla confluenza nel C.le Chianetta* [CLCNT_02] *a valle del parziale*[80] *rientro in alveo di* FOFGN_DX_01*, in approccio al ponte della S.P. n. 146. D*=3 e 10 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

[80] In altra parte alimentante il successivo ramo *extra*-alveo CLCNT_DX_01. Per impossibilità di connessione diretta, modellazione matematica con cassa di raccordo CLCNT_SA_08.

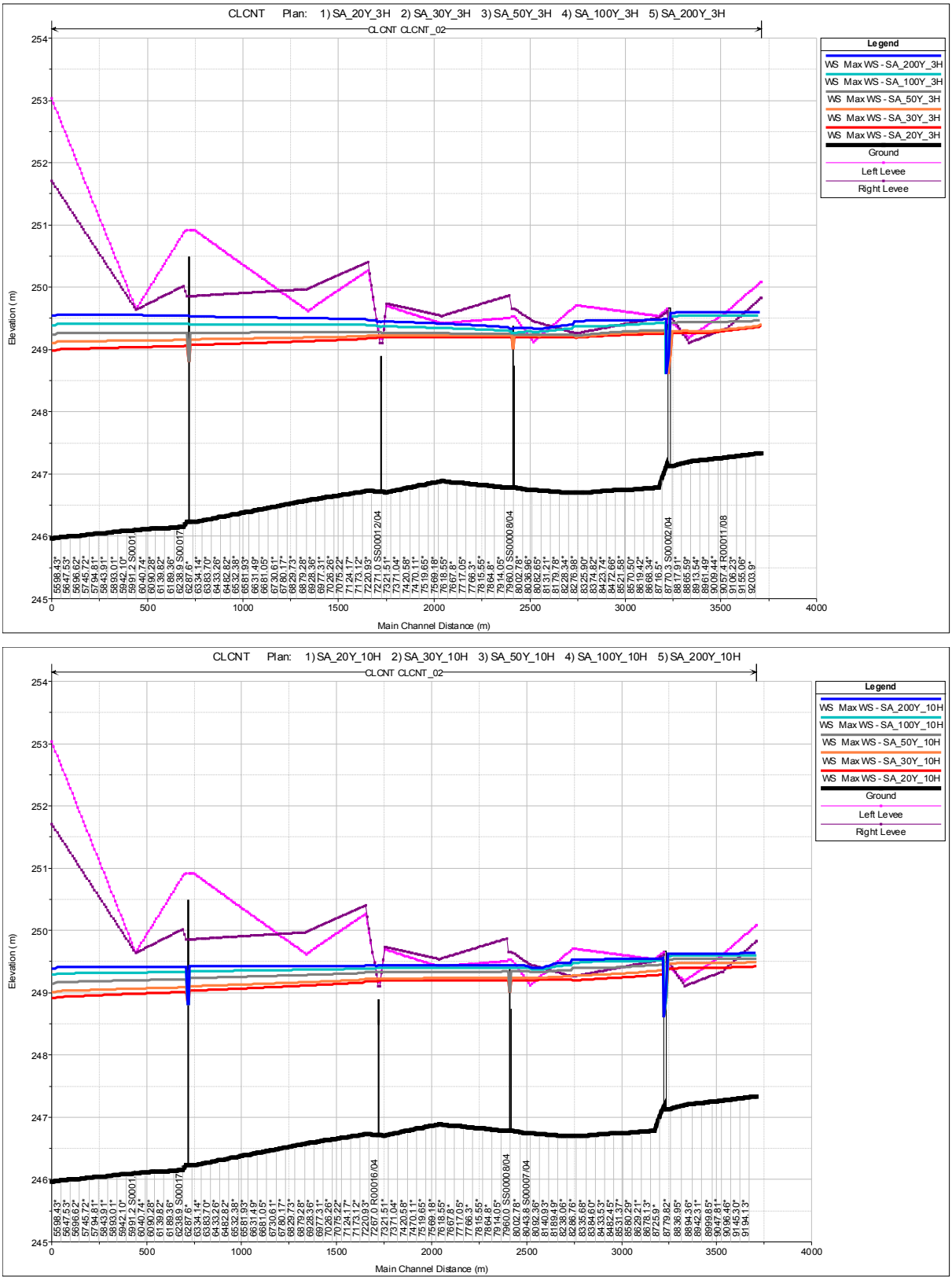


Fig. 86. *Profili di rigurgito del* maxWS *del C.le Chianetta tra le confluenze del F.so Fargnia e del F.so Cardete* [CLCNT_02]. *D*=3 e 10 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

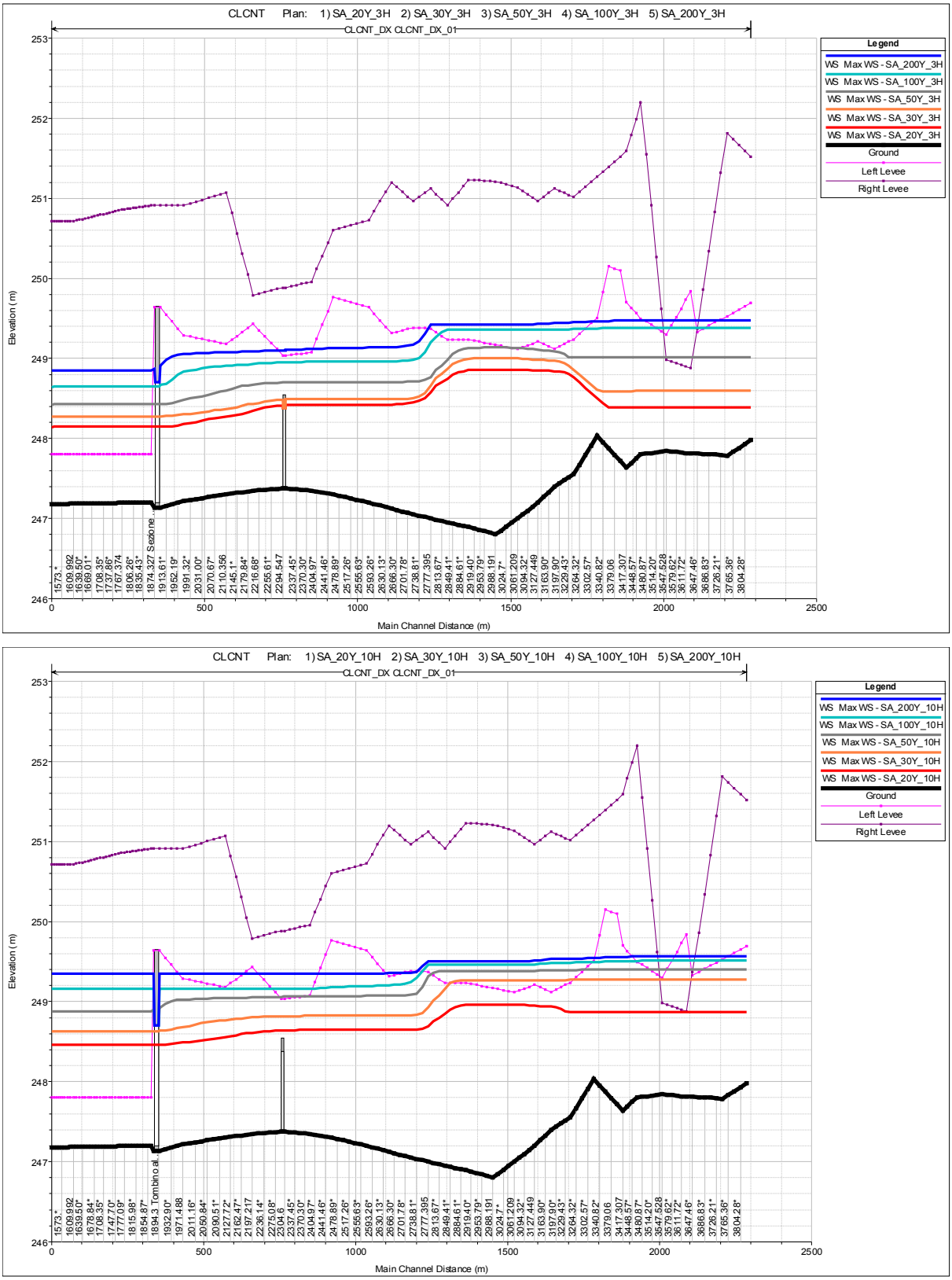


Fig. 87. *Profili di rigurgito del* maxWS *del ramo extra-alveo* `CLCNT_DX_01`. *D*=3 e 10 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

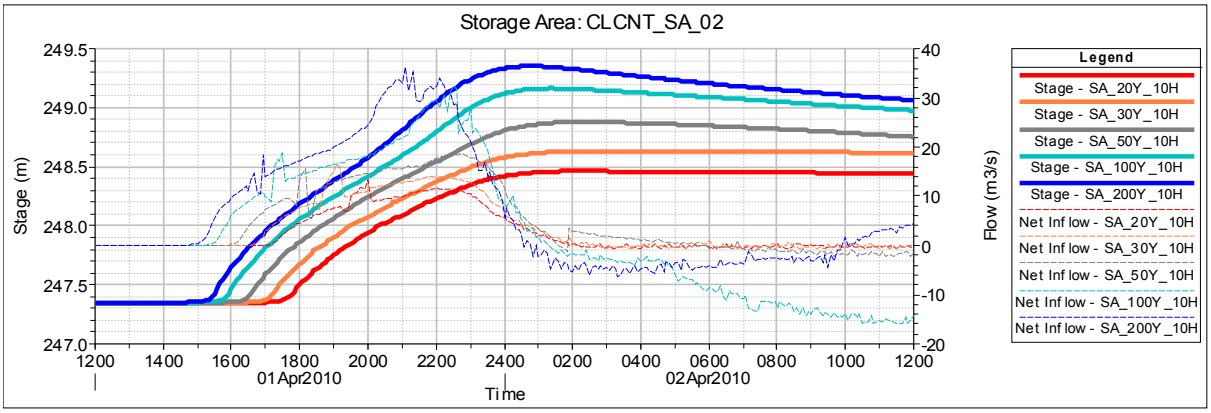


Fig. 88. *Idrogrammi di liivello e portata in cassa* `CLCNT_SA_02`[81]. D=10 h e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 anni.

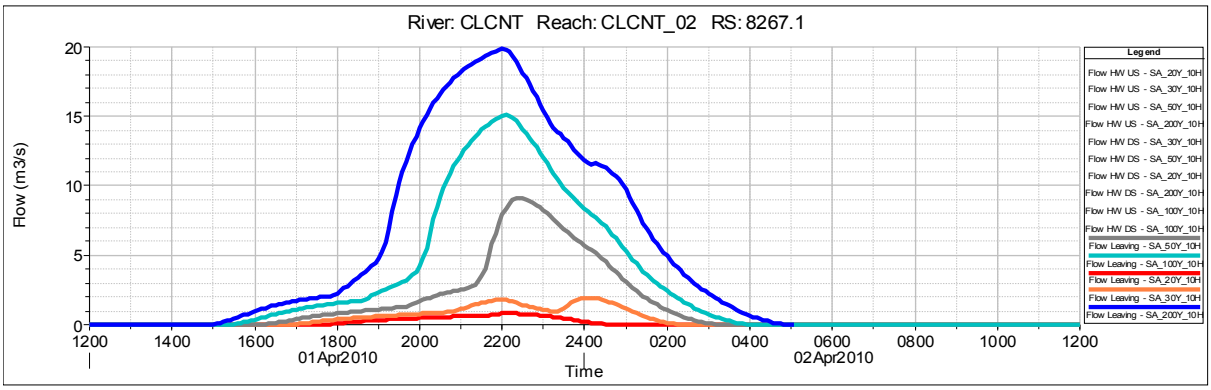


Fig. 89. *Idrogrammi di portata sullo sfioratore lat. sx* `SL 8267.1.1`. *D*=10 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

Il massimo volume invasato in `CLCNT_SA_02` ammonta a *ca.* 215.000/660.000 m^3, per T_r=20/200 *anni* e *D*=10 *h*, corrispondenti a battenti medi sul p.c. ≤1.0 e *ca.* 2.0 *m*.

I `maxWS` di riferimento per il *Nuovo Scalo Merci* sono 249.00/249.55 *m* s.l.m.[82], per T_r=20/200 *anni*, corrispondenti ad un franco teorico sui livelli 200-*ennali* di *ca.* 0.65 *m*. Per T_r=20 *anni* l'argine *dx* del C.le Chianetta nel tratto frontistante non risulta tracimato e l'alllagabilità è dovuta ad acqua proveniente da monte. Per T_r=200 *anni*, invece, si satura il volume d'invaso disponibile (complice la strozzatura idraulica di valle, all'innesto sulla S.P. della nuova strada di lottizzazione) e si hanno contemporanee tracimazioni da/in C.le Chianetta, con conseguente maggiore pericolosità anche da crollo d'argine.

Inoltre, la non allagabilità dell'area di sedime del nuovo impianto logistico è dovuta alla barriera rappresentata dai nuovi rilevati stradali di lottizzazione che sono stati ipotizzati senza soluzione di continuità e/o *by-pass* idraulici.

In *sx* C.le Chianetta, il fronte di allagamento originato dalle esondazioni del F.so Fargnia è, fino alla S.P. n. 146, essenzialmente confinato dalla nuova bretella di raccordo tra le due S.P. che, pur impedendone l'allagamento diretto, non protegge completamente la zona produttivo-commerciale più depressa di Po' Bandino (allagamento *indiretto*, via tombini non presidiati da valvole di non ritorno). A valle della S.P., l'allagamento non è più confinato -se non lontanamente dal F.so Paterno e dai rilievi

[81] Cassa di recapito anche di `CLCNT_DX_01`.

[82] **N.B.** La quota **249.00** *m* s.l.m. di cui nel progetto citato equivale nel presente lavoro a 249.00+1.20=**250.20** *m* s.l.m.

collinari- e gli ampi volumi disponibili non determinano ulteriori interferenze con i livelli in alveo del C.le Chianetta (Fig. 90), se non localmente alle confluenze dei tributari di *sx* (F.so Vuotabotte/Tresaccio, F.so Paterno, ...). Il volume massimo invasato in `CLCNT_SA_03` è *ca.* 13.000/505.000 m^3, per T_r=20/200 *anni* e *D*=10 *h*.

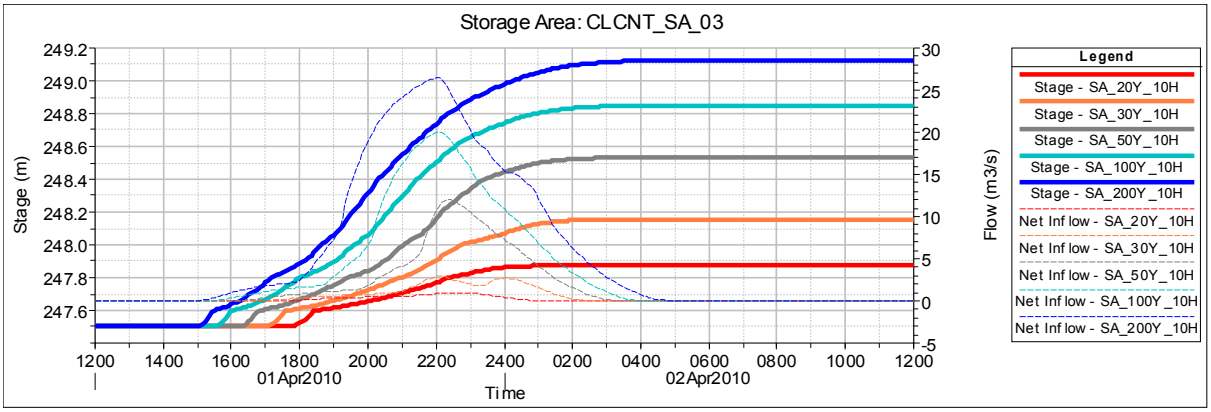


Fig. 90. *Idrogrammi di livello*[83] *e portata in cassa* `CLCNT_SA_03`. *D*=10 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

Gli allagamenti riguardano dunque in massima parte territori ancora ad uso agricolo ed a scolo intermittente. Associato a basse velocità di scorrimento (≤0.5 *m*/*s*), il rischio medio di evento è generalmente basso, complessivamente più elevato per la alta frequenza delle esondazioni, così come è tipico di territori di bonifica.

Tuttavia, locali situazioni di maggiore pericolosità si riscontrano in taluni passaggi confinati e/o di maggiore prossimità a zone urbanizzate. Ciò vale per l'intorno della S.P. n. 146, sia a monte sia a valle, con particolare riferimento al non ampio corridoio residuo tra *Nuovo Scalo Merci* di Chiusi Scalo ed argine *dx* di C.le Chianetta, in cui le massime velocità medie risultano *ca.* 0.5 *m*/*s* ed i battenti sul p.c. *ca.* 1.0 *m* (T_r=200 *anni*).

In ragione delle massicce esondazioni a monte, i ponti[84] -ad eccezione di quello di `RS 3698.0` su strada locale- non risultano particolarmente influenti sul massimo profilo di rigurgito (Fig. 91), benché quasi tutti in pressione e/o con franco di contenimento insufficiente per T_r=200 *anni.*

La condizione di valle imposta alla confluenza del T. Astrone condiziona il profilo di rigurgito del C.le Chianetta sino a Chiusi Scalo e, tramite esso, anche quello della parte terminale del F.so Cardete.

Data la decisiva interferenza con la dinamica di piena del T. Astrone, **la** presente **mappatura delle aree allagabili cessa la propria significatività al ponte in loc. Molinella** (`RS 2422.0`), ovvero all'antico contenimento arginale di chiusura di `CLCNT_SA_10`. In Fig. 92 sono riportati gli idrogrammi di piena all'ultimo attraversamento della linea `FF.S`. Direttissima, massime portate stimate dopo gli ultimi afflussi laterali a valle del F.so Paterno.

Per tutti gli ulteriori dettagli numerici e la puntuale descrizione dei principali elementi di pericolosità si rimanda agli allegati di calcolo ed alle specifiche tavole grafiche.

[83] Livelli stabili non decrescenti per assenza di modellazione tombini di scolo (connessioni solo superficiali con `SL` C.le Chianetta).

[84] In particolare, il rilascio delle ipotesi di moto permanente ha significativamente modificato il profilo di rigurgito a monte del Callone Pontificio (La Fabbrica) di `RS 5384.0` (*cfr. C.b.C.R.*, 2004).

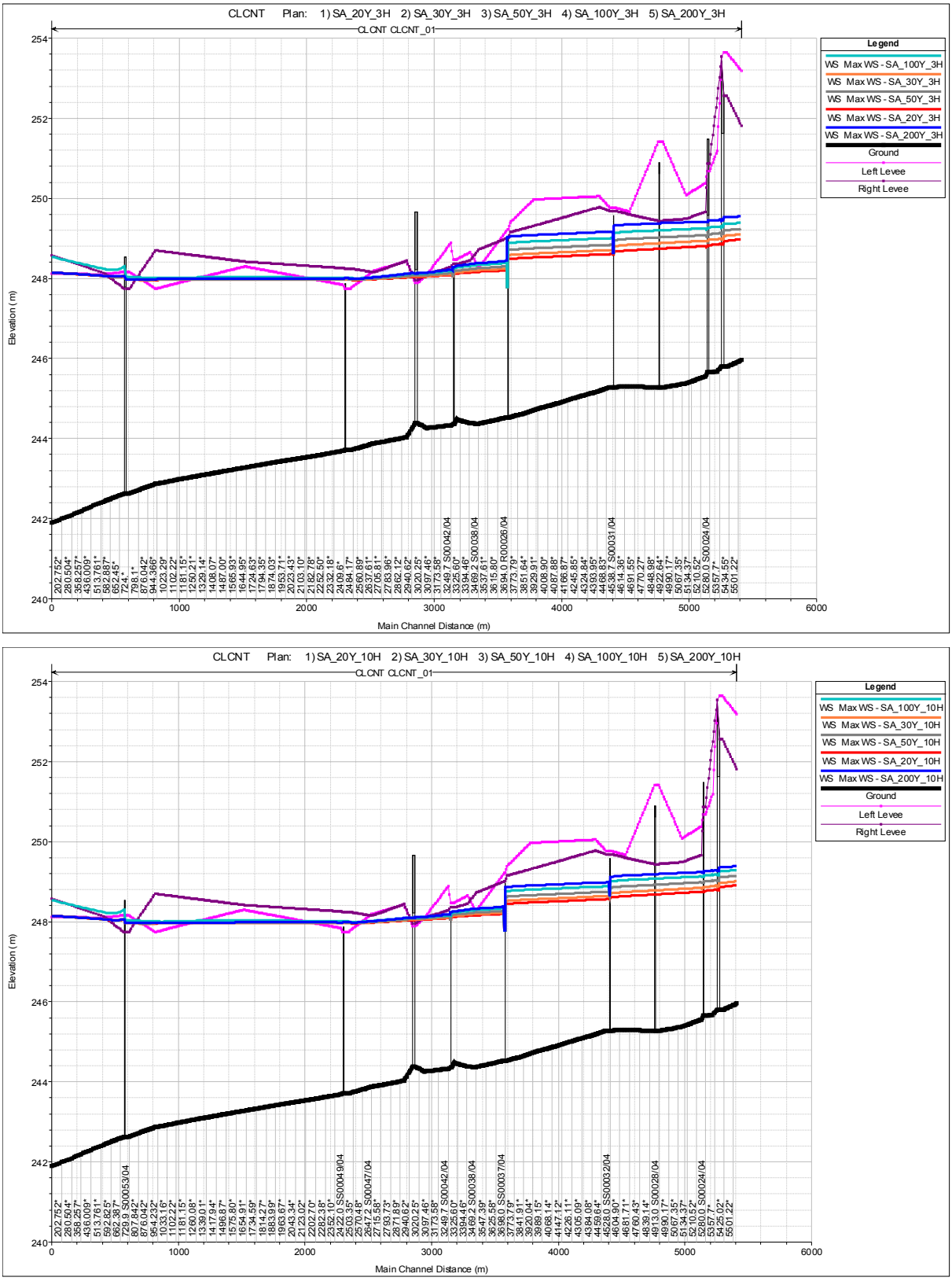


Fig. 91. *Profili di rigurgito del* maxWS *del C.le Chianetta tra le confluenze del F.so Cardete e nel T. Astrone* [CLCNT_01]. *D*=3 e 10 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

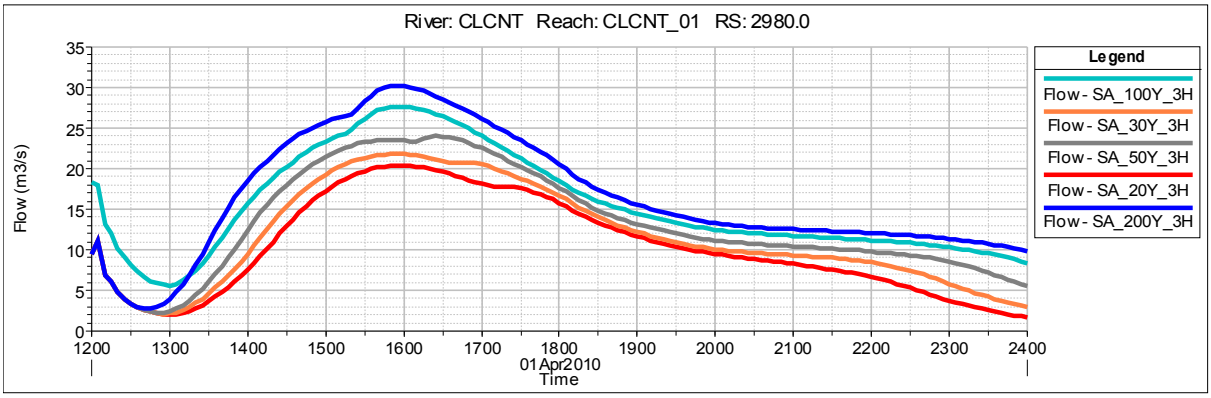
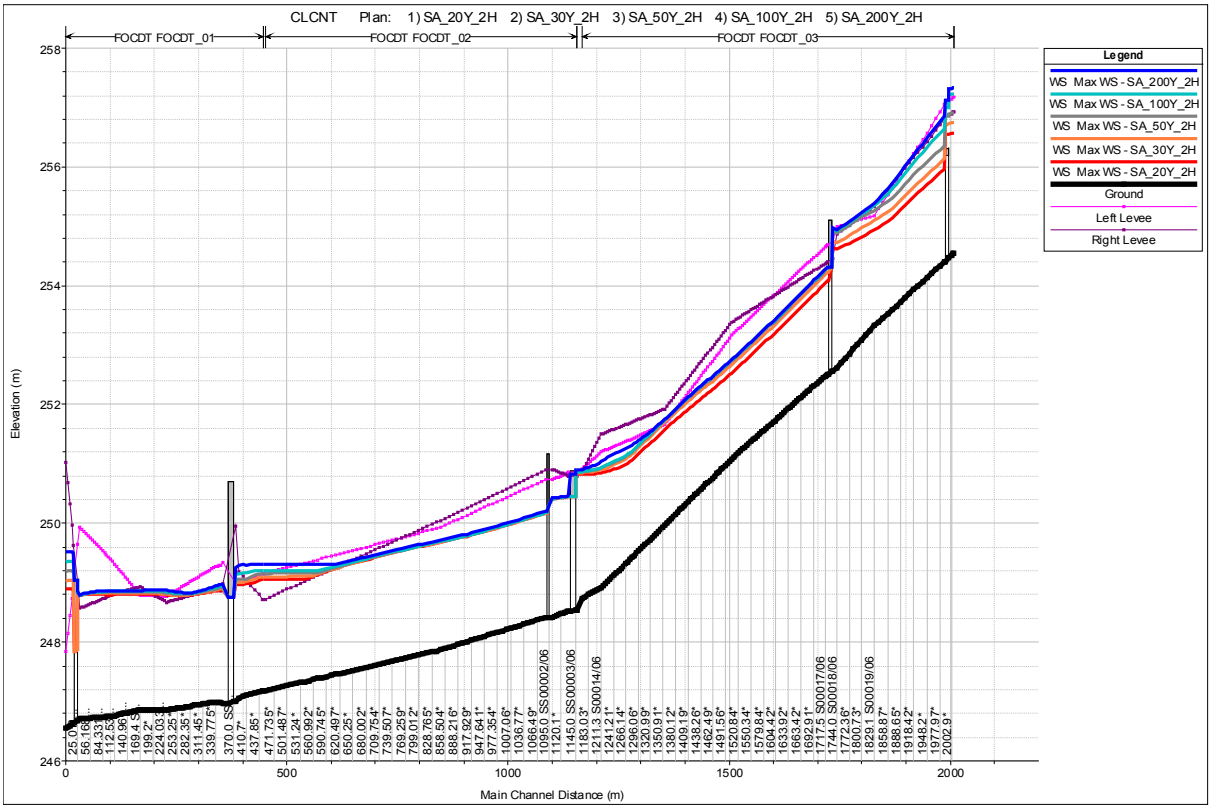


Fig. 92. *Idrogrammi di portata alla* `RS 2980.0`. *D*=3 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

3.1.6.2.1 Gli affluenti

Il **F.so Cardete** deve la propria pericolosità per il territorio di Chiusi essenzialmente alla parziale insufficienza di contenimento degli afflussi propri. Gli ultimi 600 *m* prima della confluenza nel C.le Chianetta sono invece condizionati dalle dinamiche di propagazione *extra*-alveo (`FOCDT_SA_04/05/06` e `CLCNT_SA_02`) e dai livelli nel ricettore (Fig. 93). In tale tratto le durate critiche si spostano verso i valori più alti, mentre a monte è stabilmente *D*=2 *h*.

Il primo tratto a monte della S.P. n. 321 denuncia insufficienze di contenimento[85] per T_r>20 *anni*. Solo per le frequenze inferiori tuttavia la S.P. viene sormontata con trasferimento a valle dei volumi esondati, mentre per i tempi di ritorno più bassi il volume disponibile a monte è sufficiente ad evitare l'allagamento della strada (ivi i massimi tiranti 200-*ennali* sono stimati in 1.1÷1.8 *m*).



[85] In *dx* idraulica la corrente in esondazione è tuttavia confinata dal rilevato a servizio del *Nuovo Stadio Comunale* (2009).

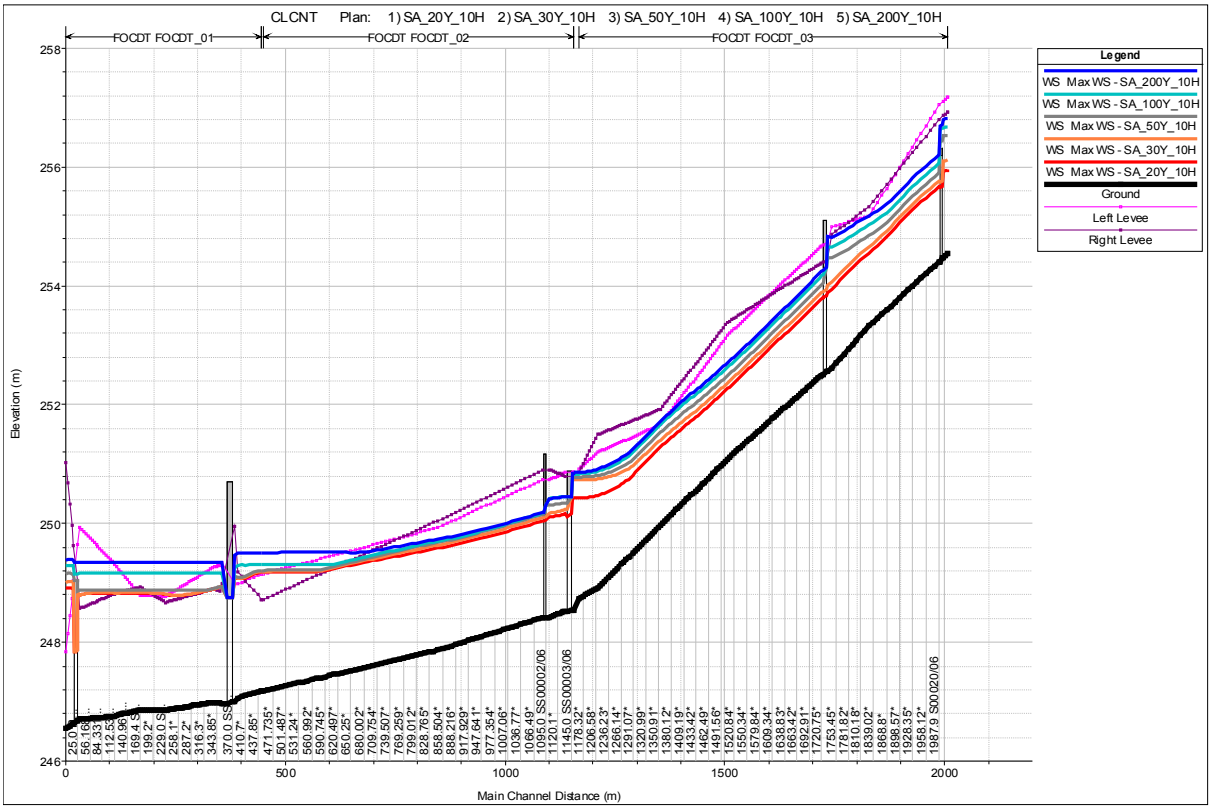


Fig. 93. *Profili di rigurgito del* maxWS *del F.so Cardete* [FOCDT_03/02/01]. *D*=2 e 10 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

La massima portata transitante in alveo a valle della S.P. è compresa tra 8 e 12 m^3/s, più o meno la massima transitabile di intero tratto non rigurgitato dal C.le Chianetta (Fig. 94).

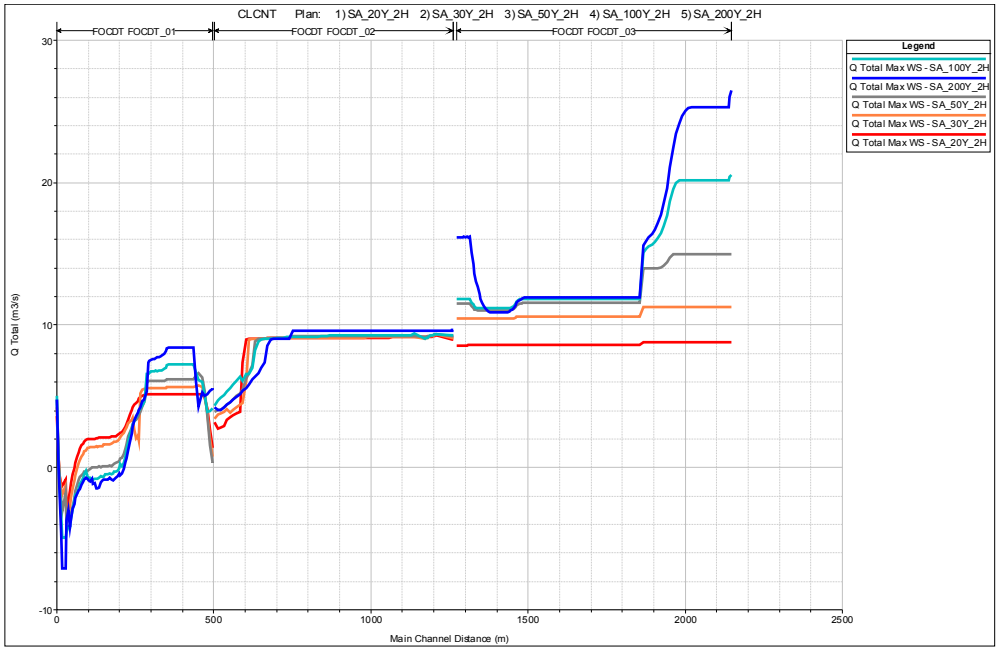


Fig. 94. *Profili longitudinali di portata corrispondenti al* maxWS *del F.so Cardete* [FOCDT_03/02/01]. *D*=2 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

A valle della S.P. le poche esondazioni residue si verificano in *dx*, in prossimità della confluenza del F.so Tarantello ma, soprattutto, all'inizio del tratto rigurgitato, ovvero tra le due confluenze di F.so Tarantello e Tombarelle. I franchi di sicurezza sono tuttavia generalmente ridotti, soprattutto in *sx* (Fig. 95).

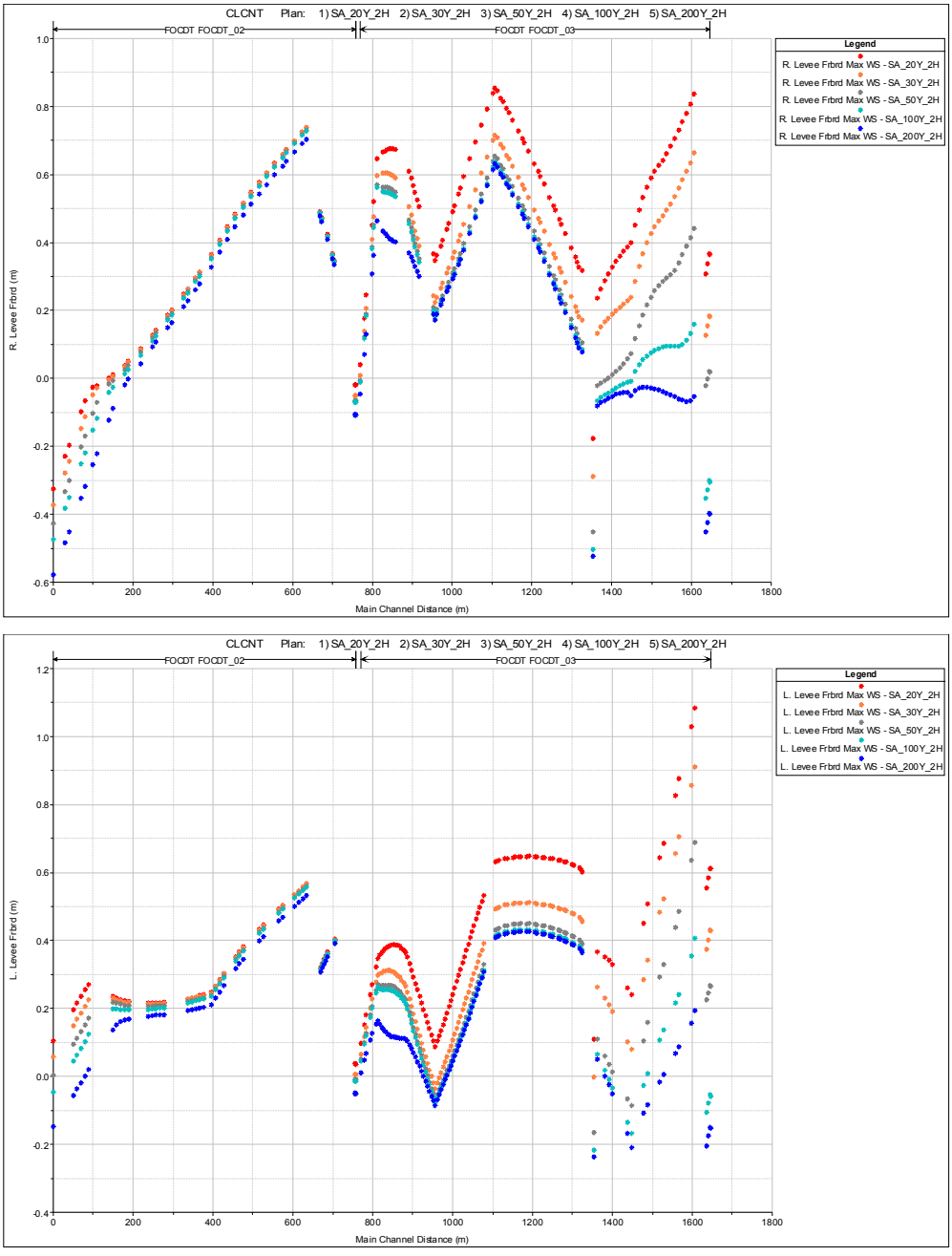


Fig. 95. *Profili longitudinali dei franchi di contenimento dx e sx del F.so Cardete* [FOCDT_03/02]. *D*=2 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

Gli allagamenti della zona produttiva avvengono con tiranti e frequenze medio-bassi (<0.50 *m* e $T_r \geq 50$ *anni*). Il volume complessivamente esondato dal F.so Cardete a monte della zona di rigurgito, per T_r=200 *anni*, ammonta *ca.* 22.000/34.000 m^3, rispettivamente in *dx*/*sx*.

Il tratto terminale è tutto *al limite di* o *in* esondazione, con scambi idrici *in*/*out* con le contigue zone agricole di accumulo (esterne al perimetro comunale di Chiusi). I tiranti attesi qui sono significativamente maggiori (>1.0 *m*), causa la confluenza di acque esondate anche dal C.le Chianetta. Il ramo *dx* fuori alveo alimenta direttamente l'accumulo tra F.so Tombarelle e `FF.S`. Direttissima, determinando anche il sormonto della S.P. n. 49 (T_r≥50 *anni*).

Il **F.so Tarantello** è suddivisibile in tre tratti con diversa problematica specifica (Fig. 96). Il *primo tratto* è essenzialmente caratterizzato dai tombini a valle del rilevato ferroviario i quali, con geometria incerta e non omogenea, riescono ad addurre a valle della S.P. n. 321 solo una parte -meno che 20-*ennale*- della portata idrologica. La criticità principale è la labilità idrografica -peraltro riscontrabile anche a monte della linea `FF.S.`, nel tratto non modellato- e la insufficiente dimensione dei tombini. La massima portata a valle della S.P. è dunque limitata[86] a non oltre 3.5 m^3/s (-50%) (Fig. 97), con durata critica di *ca.* 1 *h*.

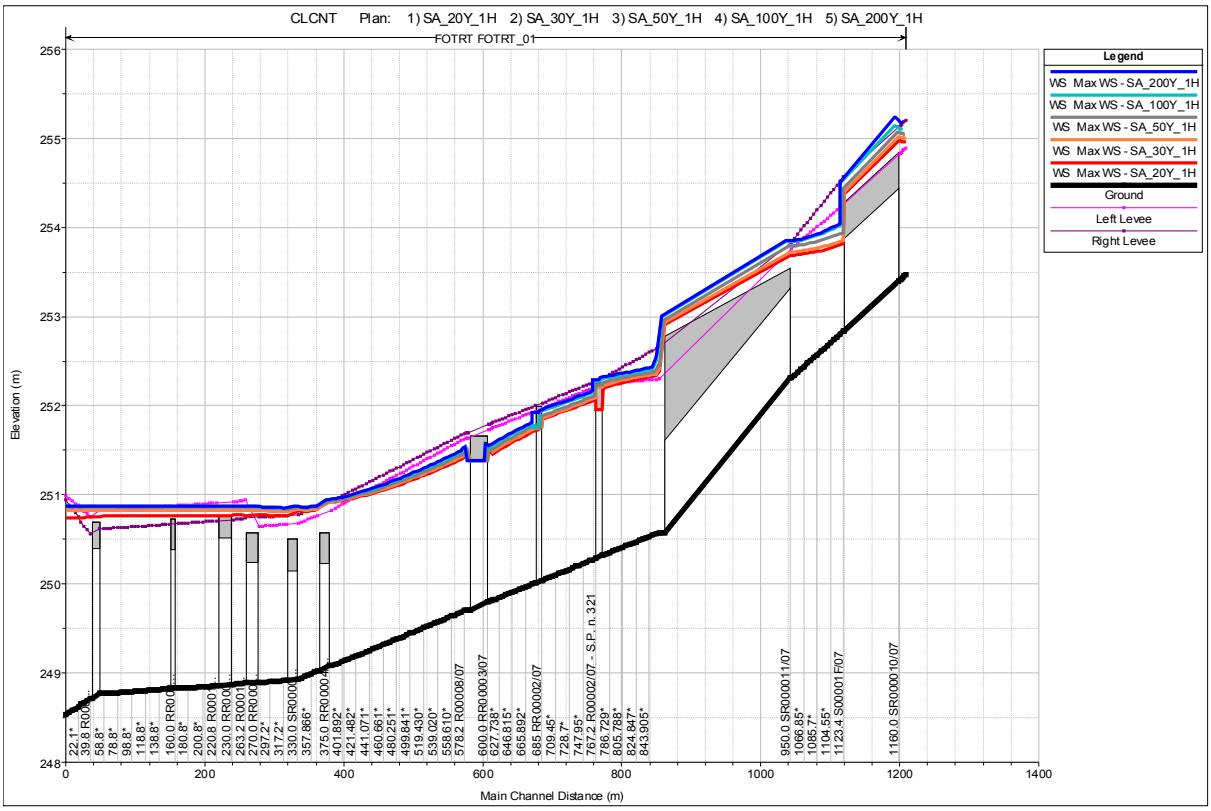


Fig. 96. *Profili di rigurgito del* maxWS *del F.so Tarantello* [`FOTRT_01`]. D=1 h e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 anni.

Dato il limitato volume (*ca.* 1.000/9.000 m^3 per T_r=20/200 *anni*) e la morfologia dei luoghi tali esondazioni danno origine a fronti di modesti velocità e battente medio (<0.50 *m* per T_r=200 *anni*), tendenti a terminare a ridosso del rilevato ferroviario in *sx* via di Fondovalle.

Il *secondo tratto*, a cielo aperto (fino al ponte della `RS 375.0` incluso) è, invece, caratterizzato dai numerosi attraversamenti a raso determinanti quasi tutti rigurgiti da modesti ad importanti (es. `RS 770.0` e `375.0`), recanti immediate esondazioni su via di Fondovalle e/o lotti produttivi.

[86]Nella modellazione idraulica, le esondazioni ai tombini non rientrano in alveo, ma divergono a *dx* e/o *sx* nella zona produttiva de Le Biffe, lungo via di Fondovalle.

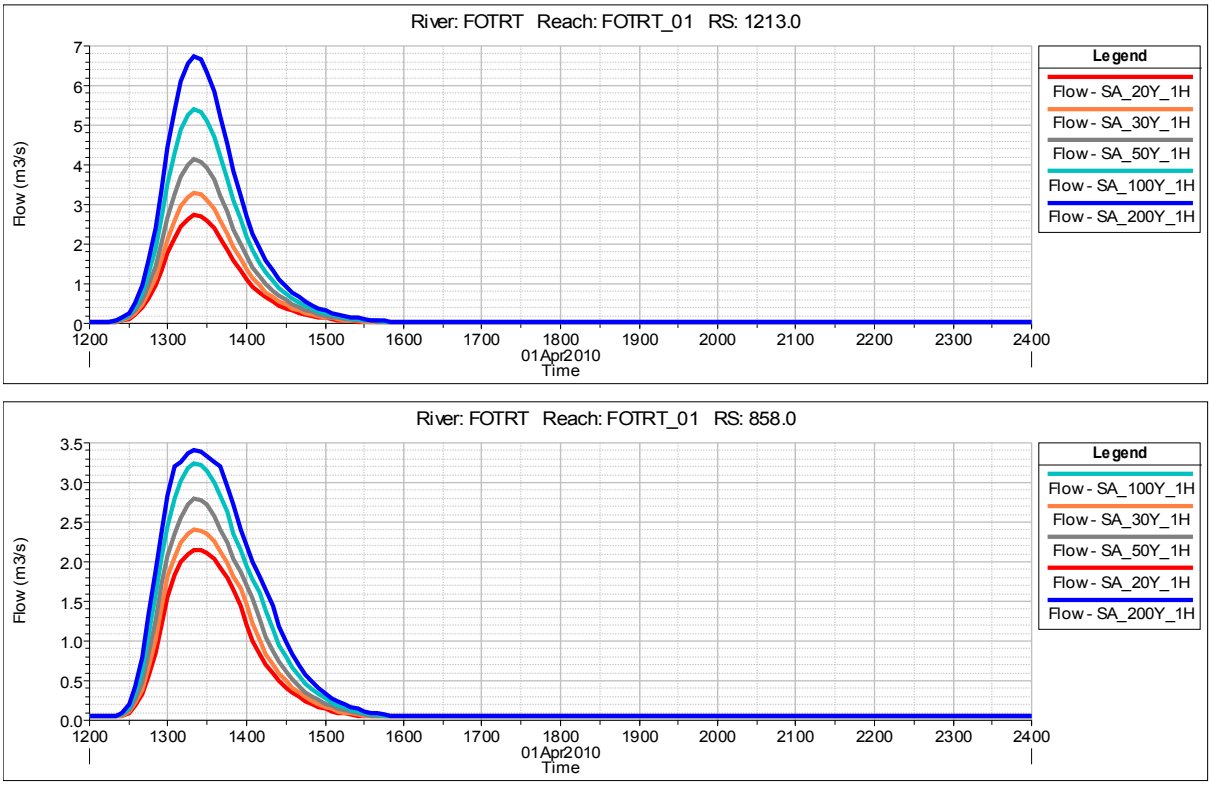


Fig. 97. *Idrogrammi di portata del F.so Tarantello a monte e valle dei tombini a monte della S.P. n. 321* [FOTRT_01]. *D*=1 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

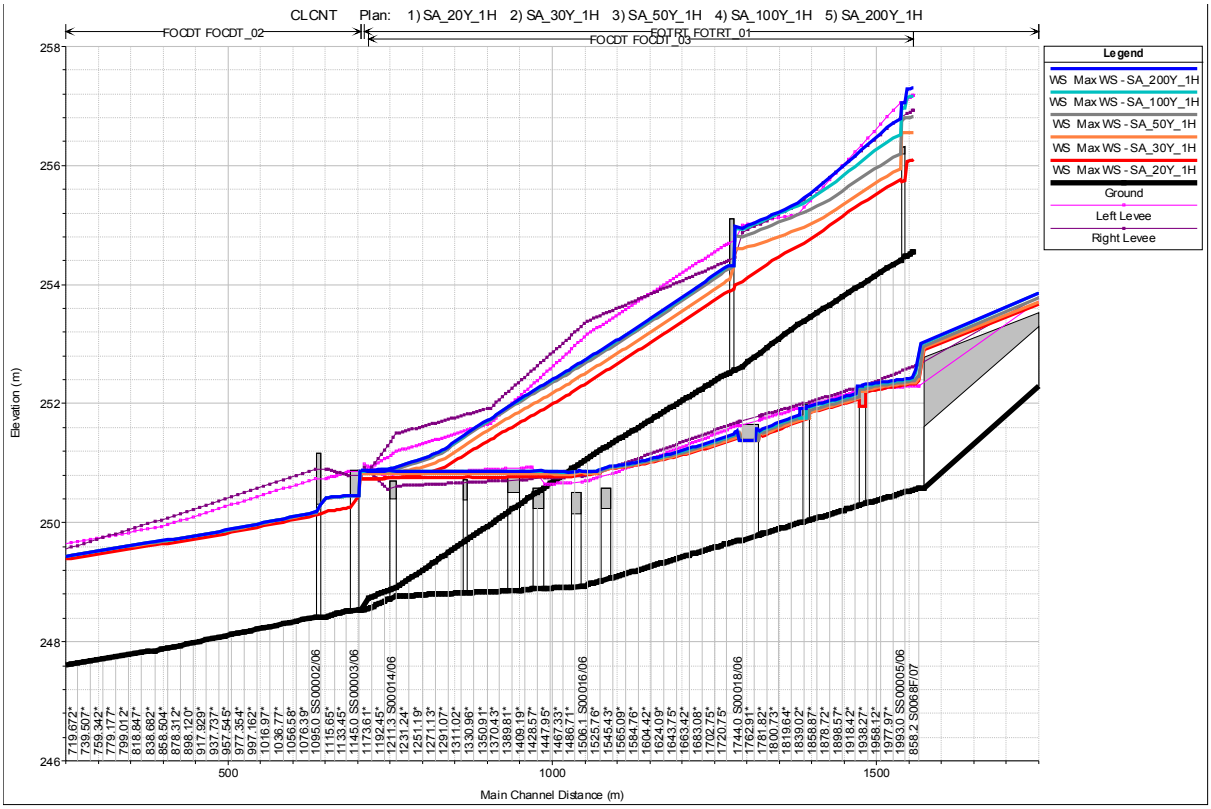


Fig. 98. *Profili di rigurgito del* maxWS *nell'intorno della confluenza del F.so Tarantello* [FOTRT_01] *nel F.so Cardete* [FOCDT__03/02]. *D*=1 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

Le esondazioni complessive in questo tratto -prevalentemente in *sx*- ammontano a complessivi *ca.* 600/14.500 m^3 per T_r=20/200 *anni*, prevalentemente dovuti alle tracimazioni in prossimità dell'immissione di *dx* all'inizio di via di Fondovalle. La dinamica di allagamento è ancora a bassa pericolosità, le velocità ed i battenti temibili sono modesti, fatte salve le zone di accumulo (ove comunque si rimane sotto 1.0 *m* per T_r=200 *anni*).

Il *terzo tratto*, infine, è più specificatamente condizionato dal rigurgito del F.so Cardete o, meglio, del tombino della S.P. n. 49 alla `RS 1145.0` (del F.so Cardete) (Fig. 98 e Fig. 99). Inoltre, persistendo la medesima dimensione di sezione con ancora molti attraversamenti interferenti, anche in assenza di rigurgito la capacità di deflusso è ridotta dalla diminuzione di pendenza.



Fig. 99*. Tombino di attraversamento della S.P. n. 49 alla confluenza del F.so Tarantello nel F.so Cardete* [`RS 1145.0`] *(vista da monte).*

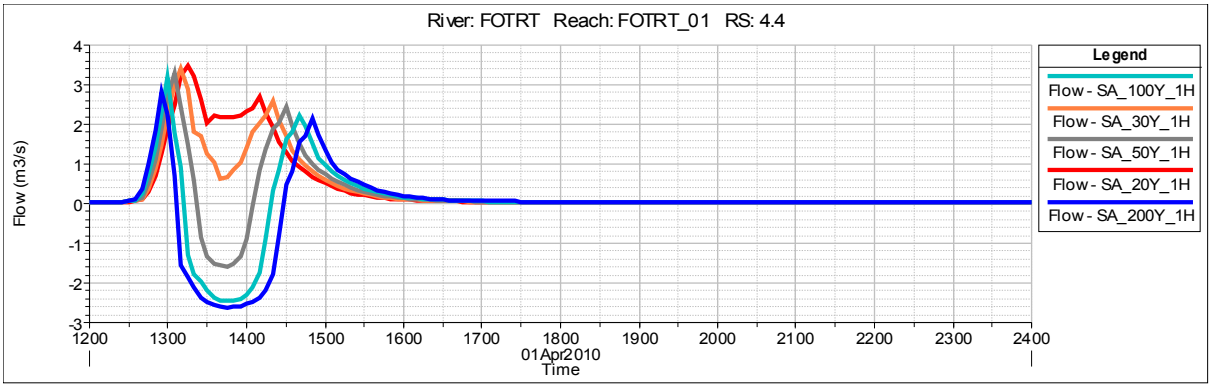
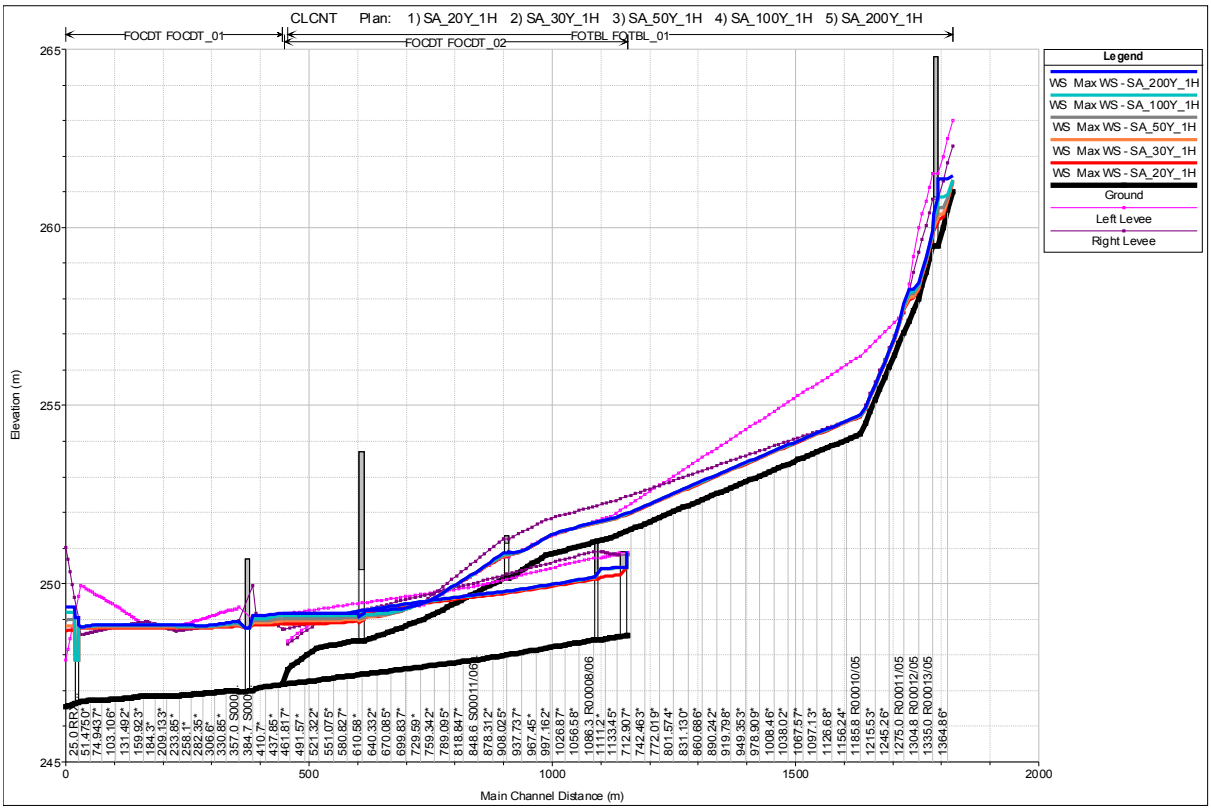


Fig. 100*. Idrogrammi di portata del F.so Tarantello alla confluenza nel F.so Cardete. D*=1 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

I volumi esondati in *dx* parzialmente rientrano causa contenimenti di FF.S. e F.so Cardete, mentre quelli di *sx* scorrono verso valle, con parziale allagamento della bretella di collegamento tra S.P. n. 49 e S.P. n. 146 per i tempi di ritorno più elevati. Le massime portate recapitate nel F.so Cardete si aggirano sui 3.5 m^3/s, indipendentemente dal T_r (Fig. 100).



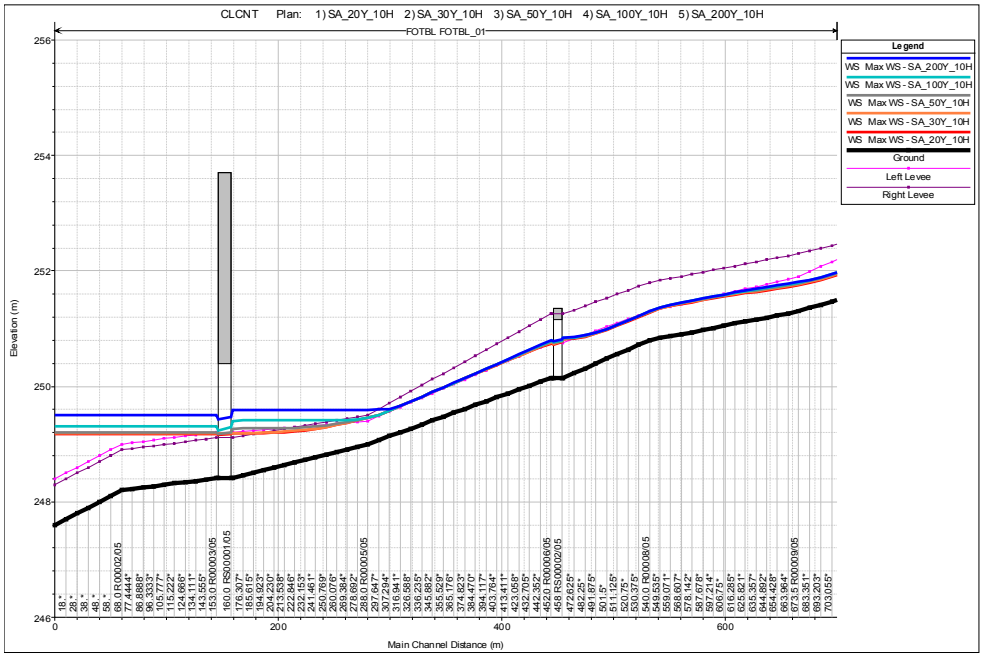


Fig. 101. *Profili di rigurgito del* maxWS *del F.so Tombarelle* [FOTBL_01]. *D*=1 e 10 *h* e T_r=20, 30, 50, 100 e 200 *anni.*

Il **F.so Tombarelle** deve la propria (non elevata) pericolosità in maniera particolare alla labilità geometrica dovuta alla incerta manutenzione, motivabile con il proprio carattere prettamente campestre (e di confine). Le capacità di deflusso di tratto risultano[87] inferiori alla Q_{20}, ma con elementi di bassa pericolosità sia in termini di tiranti che di velocità. La conformazione dei luoghi -attualmente a prevalente uso agricolo- lascia temere l'allagabilità di una vasta area anche in territorio di Chiusi -con qualche accumulo a ridosso dei rilevati stradali-, sebbene lo scolo principale si mantenga in *dx* (comune di Cetona). Il tombino di attraversamento della S.P. n. 321 non risulta determinare l'allagabilità della strada.

La durata critica è 1 *h*, a meno del tratto terminale (*ca.* 350 *m*, *i.e.* 150 *m* a monte della linea `FF.S.`) soggetto a rigurgito del F.so Cardete e delle aree di accumulo, ove dominano le durate maggiori (Fig. 101).

3.1.6.3 Il T. Parce

La durata critica del tratto di T. Parce analizzato è D=4 *h*, mentre quella del T. Monaco è D=3 *h*. Deficit di contenimento si riscontra soltanto per $T_r \geq 100$ *anni*, fatta salva l'area di confluenza del T. Monaco, peraltro da considerarsi alveo a tutti gli effetti (Fig. 102).

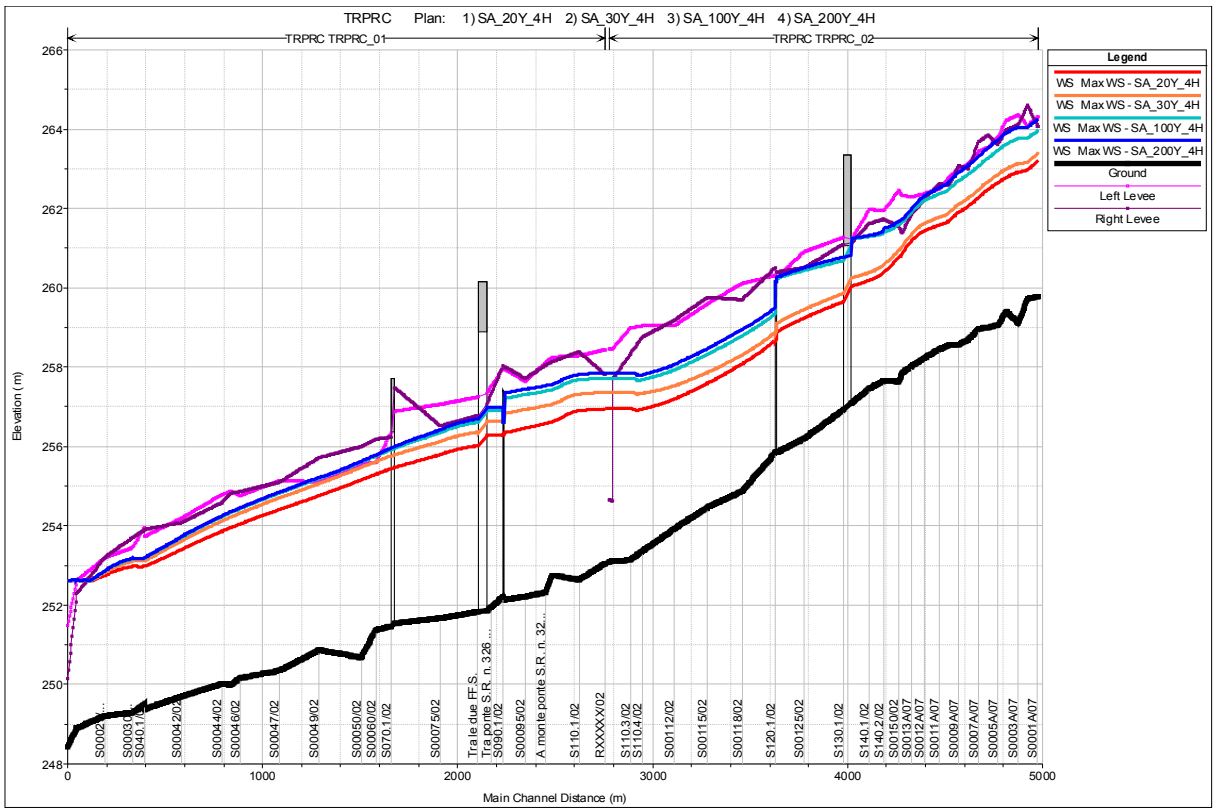


Fig. 102. *Profili di rigurgito del* maxWS *del T. Parce* [`TRPRC_02/01`]. D=4 *h* e T_r=20, 30, 100 e 200 *anni.*

I franchi sono localmente ridotti, soprattutto per i tempi di ritorno maggiori e nei tratti di rigurgito del ponte della S.C. di S. Polo (`RS 3719.4`), nell'intorno della confluenza del T. Monaco e dal

[87] Come già descritto la definizione della geometria d'alveo del F.so Tombarelle è soggetta a maggiore alea (con assunzioni conservative).

ponte della S.P. n. 326 per *ca.* 1.000 *m* a valle. Nel tratto di maggiore pericolosità per Montallese essi sono tuttavia mediamente maggiori in *sx* (Fig. 103).

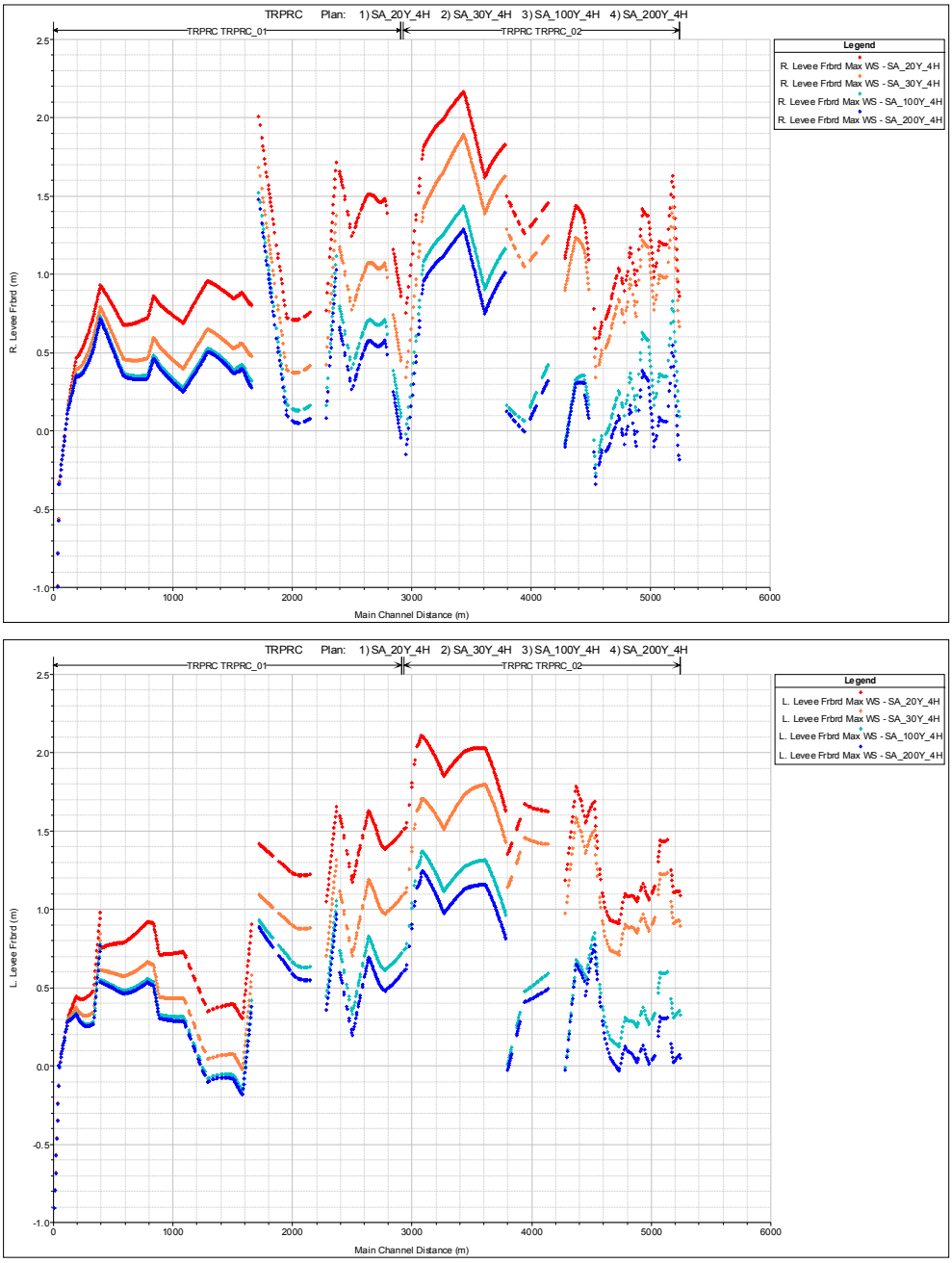


Fig. 103. *Profili longitudinali dei franchi di contenimento dx e sx del T. Parce* [TRPRC_02/01]. *D*=4 *h* e T_r=20, 30, 100 e 200 *anni.*

Le prime esondazioni si verificano nel tratto a monte della A1. Esse -causa rilevato A1 e tracimazioni prevalentemente in *dx*- non determinano pericolosità particolare per l'abitato di Montallese, se non per eventi 500-*ennali.* Il volume ivi complessivamente esondato è *ca.* 102.000 m^3 per T_r=200 *anni* (<500 m^3 in *sx*). Le portate al colmo risultano solo debolmente laminate (<15% per T_r=200 *anni*), con valore massimo a valle della A1 intorno a 120 m^3/s. (Fig. 104).

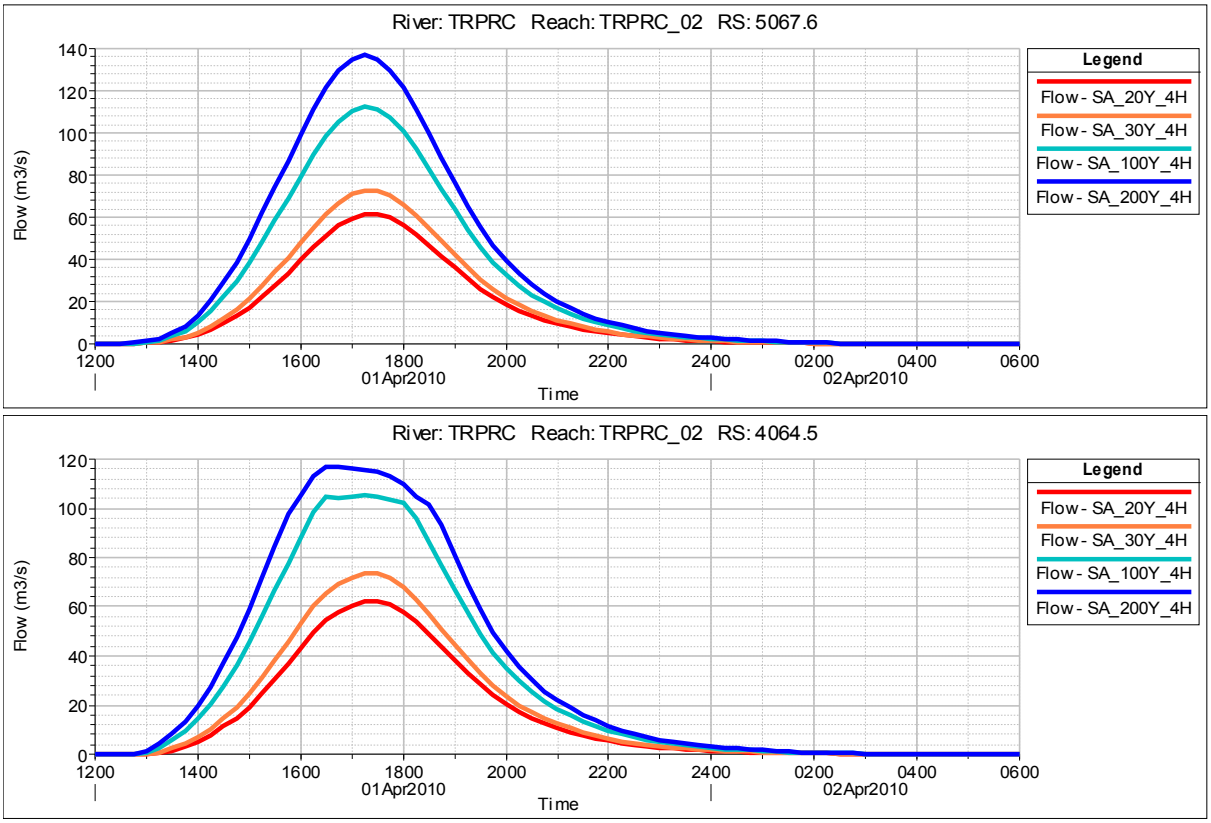
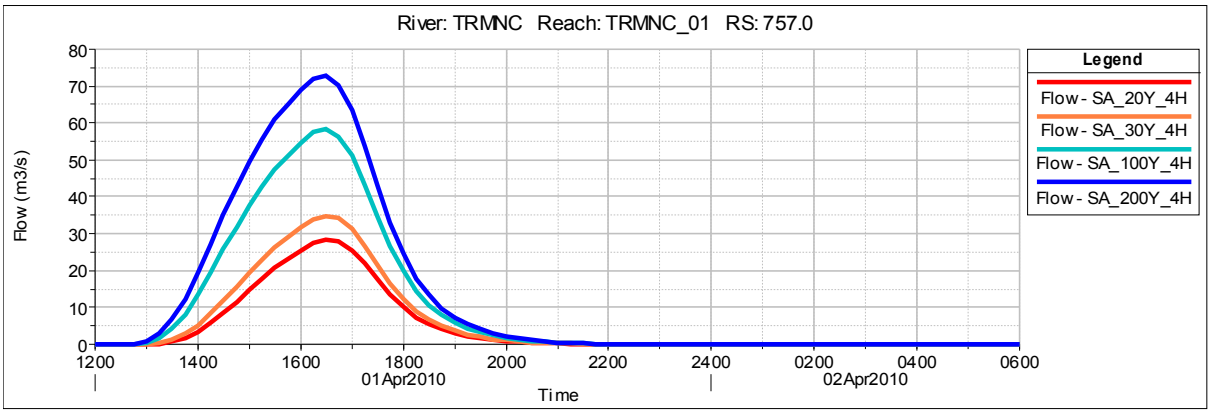


Fig. 104*. Idrogrammi di portata del T. Parce all'inizio del tratto di studio e valle della* `A1`*. D*=4 *h* e T_r=20, 30, 100 e 200 *anni.*

L'acqua esondata in *dx* dal T. Parce a monte della `A1` tende ad accumularsi nell'area compresa tra T. Parce-`A1`-T. Monaco, con maggiori tiranti temibili vicino a quest'ultimo[88].

A valle della `A1` non si verificano esondazioni dal T. Parce sino al ponte della linea `FF.S.` Direttissima. La attuale confluenza T. Monaco-T. Parce è completamente impegnata, con già attuali effetti non trascurabili di laminazione (Fig. 105), pur considerando l'ulteriore volume esondato (*ca.* 60.000 m^3 per T_r=200 *anni*) in *dx* (Fig. 106). La massima portata 200-*ennale* al ponte della S.P. n. 326 risulta poco meno di 140 m^3/s.



[88]Date le finalità in oggetto (centro urbano ed urbanizzabile di Montallese), la mappatura in *dx* T. Parce riveste importanza secondaria. Per tale motivo non è stato ritenuto necessaria l'estensione dell'analisi idraulica a tratti più estesi di T. Monaco e dei importanti fossi tributari di *dx.*

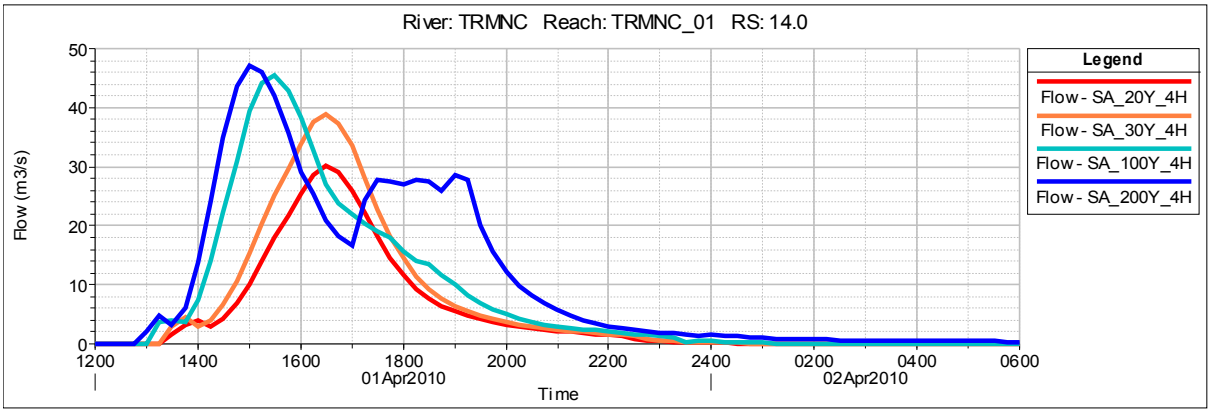


Fig. 105. *Idrogrammi di portata del T. Monaco all'inizio del tratto di studio ed alla confluenza nel T. Parce*[89]. *D*=4 *h* e T_r=20, 30, 100 e 200 *anni.*

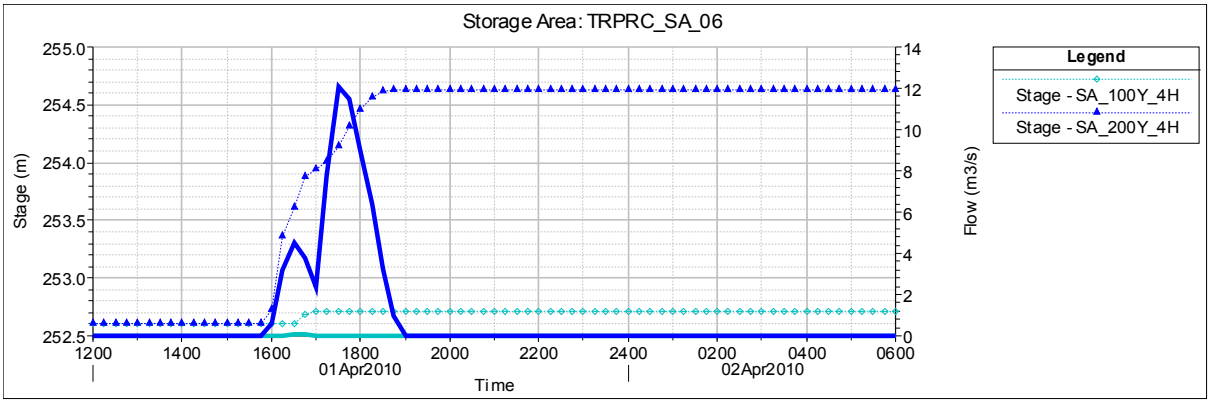


Fig. 106. *Idrogrammi di livello*[90] *e portata della cassa* `TRPRC_SA_06` *(esondazioni dx dal T. Monaco alla confluenza nel T. Parce). D*=4 *h* e T_r=100 e 200 *anni.*

Ultime esondazioni dal T. Parce risultano a valle della linea `FF.S.` Siena-Chiusi, causa evidente differenziale di quota arginale *dx*/*sx*. Anche qui esse si verificano solo per $T_r \geq 100$ *anni* (30-*ennale* al limite di esondazione), interessando la fascia di territorio agricolo a valle della ferrovia, con battenti dell'ordine di 0.60 *m*. Il volume scolmato è *ca.* 80.000/190.000 m^3, per T_r=100/200 *anni* (Fig. 107).

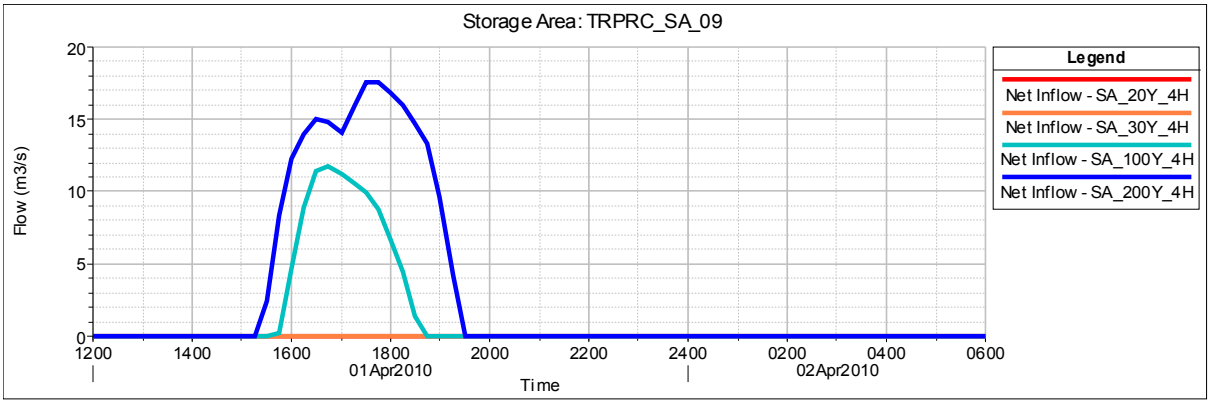


Fig. 107. *Idrogrammi di livello e portata della cassa* `TRPRC_SA_09` *(esondazioni sx dal T. Parce a valle della linea* `FF.S.` *Siena-Chiusi). D*=4 *h* e T_r=20, 30, 100 e 200 *anni.*

[89]Ingresso nel T. Parce al netto anche degli ulteriori afflussi, non plottati, di `FOMCN` e `FOSAN`.

[90]Livelli stimati in eccesso per difetto di ampiezza della zona di accumulo modellata in `Hec-RAS`. Ne è stato tenuto conto in fase di perimetrazione delle aree allagabi. Per T_r=500 *anni* ciò ha determinato anche rientri in alveo "spuri", tuttavia trascurabili.

Dunque, più che la tracimazione ad argine integro per eventi sino a 200-*ennali* il principale elemento di pericolosità per [una parte di] Montallese -data la soggiacenza, la tipologia arginale e le sollecitazioni attese- appare il crollo dell'argine *sx* in corso d'evento.

3.1.6.4 Altre non analizzate

Tra gli elementi di ulteriore potenziale criticità complementare non trattati analiticamente, in quanto esulanti dagli obiettivo del presente lavoro, si annoverano principalmente:

i. crolli arginali
ii. dinamiche fluviali erosive e/o deposizionali -locali e non-, instabilità spondali e dinamica sedimentologica
iii. fossi ed opere d'arte minori.

Di essi viene tuttavia tenuto conto in via sintetico-speditiva definendo l'ulteriore specifico tematismo (*vd. Tavv.* relative) -con relative N.T.A.[91]- delle c.d. ***Pericolosità Complementari***, così definite:

– SA: pericolosità per soggiacenza arginale. Le aree soggette sono speditivamente individuate in base a criterio morfologico, con eventuale suddivisione di fasce a diversa pericolosità in base alla distanza dall'argine

– VO: pericolosità per dinamica sedimentologica all'interfaccia versanti-sistema fognario meteorico. Le aree soggette sono speditivamente individuate in base a criterio morfologico (aree allagabili in caso di mancato recapito in condotta) e/o per evidenza storica

– RI: pericolosità per ristagno. Le aree soggette sono speditivamente individuate su base morfologica e/o storica

– FO: pericolosità per insufficienza del sistema fognario (*vd*. avanti). Le aree soggette sono speditivamente individuate su base morfologica e/o storica.

3.2 TRACCIAMENTO E CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI

Il tracciamento delle aree allagabili e la stima dei tiranti medi è stato effettuato per quanto più possibile su base "fisica" (comunque 1-D), prefigurando le zone di scorrimento e di accumulo ed utilizzando al massimo le informazioni disponibili circa la morfologia del territorio (Dem_*Idra* e C.T.R. 1:2.000/10.000).

Tale schematizzazione è di norma già inglobata nella modellazione idraulica di MV, purtuttavia con diversi livelli di approssimazione nei sistemi T. Montelungo, C.le Chianetta e T. Parce. In particolare, mentre nel sistema *C.le Chianetta* la disponibilità di un DEM ad alta risoluzione con copertura quasi totale dell'area di interesse, ha permesso la implementazione di un modello quasi totalmente in sé definito (da cui la "quasi semplice lettura"[92] di limiti, tiranti, velocità[93], ..), per il *T. Montelungo* (e, parzialmente, anche per il *T. Parce*) cinematica fuori alveo e relative zone di accumulo sono state soltanto pre-individuate senza per esse definire le "reali" leggi d'invaso (in quanto non significativamente interferenti con la dinamica d'alveo, *i.e. off-line*).

In generale, oltre a quanto già insito nei modelli idraulici, per la completa definizione degli elementi di pericolosità principali rimangono, dunque, da definire ulteriori leggi d'invaso in zone

[91] Cui si rimanda per ulteriori dettagli.

[92] In realtà segue sempre una definitiva fase interpretativa.

[93] Nel caso delle casse, si è assunta una velocità minima di scorimento pari a 0.5 *m*/*s*.

d'accumulo e criteri di stima dei tiranti nelle zone di transito. Per le prime, si è fatto riferimento alle informazioni morfologiche di maggior dettaglio disponibile (in generale curve di livello di C.T.R.), mentre per i secondi si è assunto lo schema 1-D di moto uniforme su sezione rettangolare[94] lungo la direzione di flusso principale, con scabrezza equivalente di *Manning n*=0.04[95] *s*/*m*$^{1/3}$.

Rimandando per tutti i dettagli agli elaborati di modellazione idraulica, si riportano di seguito gli elementi essenziali di valutazione assunti nel sistema T. Montelungo. Altri casi minori non citati sono stati trattati in maniera analoga.

- tratto di scorrimento lungo *via Montelunghino, parte alta* (T. Montelungo): sezione rettangolare di larghezza *B*=6 *m*; tirante $y=[(n*Q)/B*(i^{0.5})]^{(3/5)}$, *i* derivata da C.T.R. 1:2.000, *Q*=1÷6 *m*^{3}/*s*, velocità localmente medio-elevate (>1 *m*/*s*)

- tratto di scorrimento lungo *via Montelunghino, parte bassa* (T. Montelungo e F.so Palazzuolo): sezione rettangolare di larghezza *B*=25 *m*; *idem*

- zona di accumulo di *via della Fontina* (TRMLG_SA_01) (T. Montelungo e F.so Palazzuolo): perimetro e battenti determinati in base alla seguente legge d'invaso derivata da C.T.R. 1:2.000

H [*m*]	***V*** [*m*^{3}]
255.5	0
256.0	2750
257.0	19700
257.9	54100
258.2	69000

Dato il non contenimento del volume ivi accumulabile per T_r=500 *anni*, si è inoltre supposto un parziale travaso idrico in *dx* T. Montelungo, con fronte di sfioro valutato secondo lo schema a stramazzo in parete grossa

- tratto di scorrimento lungo *via Cassia Aurelia/Oslavia* (F.so S.ta Caterina): sezione rettangolare di larghezza *B*=15/6 *m*; tirante $y=[(n*Q)/B*(i^{0.5})]^{(3/5)}$, *i* derivata da C.T.R. 1:2.000, *Q*=5÷7 *m*^{3}/*s*, velocità localmente medio-elevate (>1 *m*/*s*)

- zona di accumulo di *via Giacosa* (TRMLG_SA_02 e FOSCT_SA_01) (T. Montelungo e F.so S.ta Caterina): perimetro e battenti determinati in base alla legge d'invaso derivata da C.T.R. 1:2.000:

H [*m*]	***V*** [*m*^{3}]
254.3	0
255.0	2800
255.5	9900

- zona di accumulo di *p.zza Dante* (TRMLG_SA_06 e FOMNO_SA_01)[96] (T. Montelungo e F.so Montelunghino): perimetro e battenti determinati in base alla seguente legge d'invaso derivata da DEM_*Idra* ed alla definizione della zona di accumulo riportata in Fig. 108; quota massima d'invaso H_{200}=250.90 *m* s.l.m.[97]

[94]Trattandosi quasi sempre di strade.

[95]Valore mediamente cautelativo; *n*=0.08 *s*/*m*$^{1/3}$ nel caso di campagna aperta.

[96]Parzialmente anche TRMLG_SA_01 per T_r=500 *anni.*

[97]Per omogeneità, nell'archvio GIS le quote assolute in *m* s.l.m. sono state riportate con riferimento alla C.T.R. 1:2.000

H [*m*]	***V*** [m^3]
249.6	0
250.0	200
250.2	1100
250.4	2850
250.6	5700
250.8	9950
251.0	15700
251.2	23510

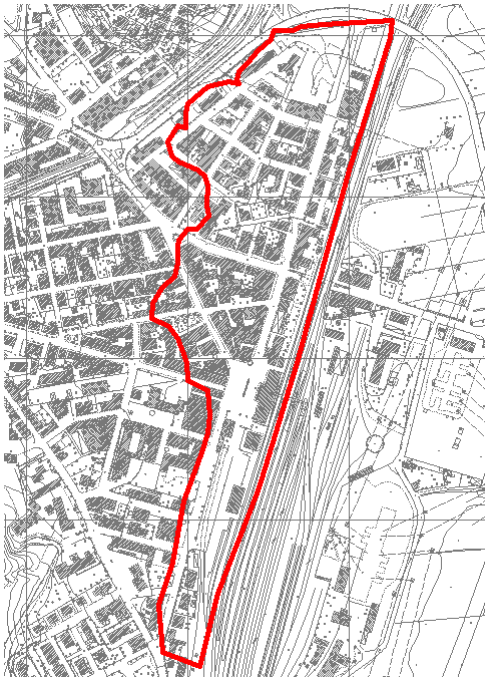


Fig. 108*. Perimetro della zona di accumulo di p.za Dante a Chiusi Scalo.*

3.2.1 Gli eventi storici

Per Chiusi Scalo, sono state analizzate le notizie storiche circa eventi alluvionali ulteriori a quelli già implicitamente considerati nella cartografia ufficiale disponibile. In particolare, si è fatto riferimento *all'All.* 3 del *Quadro Conoscitivo-Geologia-Dati storici di allagamenti* [*Mencacci*, 2007] a supporto del PS di Chiusi.

Esso riporta essenzialmente documenti ufficiali di *C.b.C.R.* e *C.M. Cetona* relativi ad eventi avvenuti negli anni '50÷'80, alcuni dei quali riguardanti allagamenti di Chiusi Scalo ad opera del T. Montelungo e/o affl. Rimandando al citato documento per i dettagli, si conclude tuttavia che gli episodi ivi citati riguardano essenzialmente rotte arginali, in una configurazione idrografica diversa da quella attuale, risultato di successivi (metà anni '80÷'90) importanti interventi di consolidamento e stabilizzazione (in *c.a.*) [*Scricciolo*, com. pers., 2008].

Per tale motivo, tali testimonianze storiche non paiono nulla aggiungere né togliere all'analisi di pericolosità qui condotta, data la normale ipotesi convenzionale di argini integri anche in caso di tracimazione. Inoltre, gli interventi successivamente realizzati sul T. Montelungo (e la mancanza di

operando una correzione di -0.40 *m*. Si noti, infine, che l'altimetria dell'area intorno il tratto terminale di via Manzoni riportata in C.T.R. presenta significative discrepanze rispetto a DEM_*Idra*, ritenendo quest'ultimo più affidabile.

notizie di crolli arginali ulteriori) fanno ritenere anche sensibilmente diminuito (seppur ancora significativo[98]) il pericolo da crollo d'argine, almeno nella parte di attraversamento dell'area più urbanizzata di Chiusi Scalo.

3.2.2 La perimetrazione ai sensi P.A.I.

In base alla descritta modellazione delle aree allagabili, sono state prodotte anche le coerenti perimetrazioni delle pericolosità idrauliche ai sensi dei vigenti P.A.I. dei bacini del F. Arno (T. Montelungo *et affl.* e T. Parce) e del F. Tevere (F.so Fargnia-C.le Chianetta *et aff.*) e dei relativi allegati tecnici.

Tali nuove perimetrazioni, pressochè interamente di tipo analitico ed a livello di dettaglio (1:10.000), sono state *normalmente limitate* alle aree la cui pericolosità idraulica fosse interamente dovuta ai corsi d'acqua analizzati, escludendo dunque quelle su cui potessero potenzialmente insistere anche filoni di corrente in esondazione da ulteriori diversi corsi d'acqua (*es.* buona parte del territorio in *dx* T. Parce a Montallese ed aree adiacenti i tratti terminali di T. Montelungo e T. Parce)[99].

D'accordo con le *Autorità* competenti, *in alcuni casi* (*es.* Montallese a monte della A1), pur avendo provveduto all'aggiornamento delle perimetrazioni P.A.I., la classe di pericolosità adottata *ex* D.G.R. n. 26/R/07 è cautelativamente rimasta I.4 su base morfologica, causa presenza di ulteriori corsi d'acqua minori potenzialmente afferenti e non studiati analiticamente.

3.2.2.1 F. Arno

La perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica P.I. è fatta ai sensi dell'*Art.* 5, lett. b) e dell'*All.* 2 delle N.T.A. del P.A.I. Nelle tavole grafiche sono chiaramente evidenziate le aree oggetto di richiesta di nuova perimetrazione (a livello di dettaglio) in modifica di quelle attualmente vigenti (a livello di sintesi).

Tutte le perimetrazioni di nuova proposizione hanno origine analitica, fatta eccezione per un'area collocata in *sx* T. Montelungo a valle dell'abitato di Chiusi Scalo -posta in classe P.I.3- e due ulteriori (in *dx* T. Montelungo a valle di Chiusi Scalo ed a Montallese) classificate di *ristagno*, la cui origine ha carattere storico.

Gli elaborati digitali *gis-oriented* allegati sono prodotti conformemente ai *Criteri per l'aggiornamento della cartografia del piano di bacino* dell'A.b.A. (*ver.* 2007) e riportano anche le informazioni base utilizzate per la identificazione delle aree marginalmente allagabili con T_r=30 e 100 *anni.*

3.2.2.2 F. Tevere

La perimetrazione delle fasce fluviali (A/B/C) è stata effettuata conformemente alla *Procedura per la definizione delle fasce fluviali e del rischio idraulico*, Allegato alle Norme del P.A.I., tenuto conto delle ulteriori specifiche ed analisi tecniche di cui all'*Accordo di Programma* tra *C.b.C.R.* e Comune di Chiusi.

Gli elaborati digitali *gis-oriented* riportano anche le informazioni base utilizzate per la identificazione delle aree marginalmente allagabili con T_r=50 e 200 *anni.*

[98] A priori, in mancanza di analisi specifiche (qui non pertinenti) circa il grado di affidabilità delle difese strutturali.

[99] Per quanto riguarda il **T. Tresa**, in attesa del completamento dello specifico studio da parte del *C.b.C.R.* è stata **perimetrata** (e specificatamente normata, *vd.* N.T.A.) **l'area di possibile influenza**.

3.3 SISTEMI FOGNARI

Punto qualificante della parte idraulica dell'indagine conoscitiva di PS è senz'altro la verifica dei sistemi fognari di Chiusi Scalo e Montallese, certamente i più critici nel territorio comunale (*vd.* evento agosto 2006).

Tale verifica ha comportato il rilievo puntuale *ex novo* dell'intera rete, impegnando l'*Amministrazione*, il *Gestore* del s.i.i. ed i tecnici incaricati per circa 1 anno, anche con prove di tracciante, spurghi e videoispezioni. La documentazione informativa di base alla presente analisi è dunque rappresentata dal lavoro di ***Bartoletti* (2008)**, cui si rimanda sin d'ora per tutti i dettagli fotografici e geometrici[100]. Per alcuni interventi in corso di realizzazione, sono state recepite le configurazioni di progetto trasmesse dalla AC.

Ciononostante, rimangono inevitabili sacche di indefinizione -connessioni non accertabili, venute d'acqua di provenienza non identificata, passaggi di tipologia/dimensione di condotta senza pozzetto d'accesso, inaccessibilità (ferrovia, ..), ...- le quali -data la particolare complessità della rete, soprattutto a Chiusi Scalo- in taluni casi possono risultare determinanti per corrette diagnosi ed opzioni progettuali. Dunque, è con tale avvertenza generale che devono essere interpretate le conseguenti analisi modellistiche e previsioni interventuali, peraltro ovviamente soltanto di massima.

La totalità della rete implementata è stata analizzata con il noto *software* EPA-*SWMM*[101], in regime di moto vario, utilizzando il proprio modulo idrologico[102] e per gli scenari di evento agosto 2006[103] e T_r**=2**, 5, 10 **e 20** ***anni***.

3.3.1 Caratteristiche essenziali del modello idraulico

Il *software* utilizzato è **EPA-*SWMM* v. 5.0** del 2008, ampiamente accreditato a livello internazionale.

Le principali opzioni d'uso adottate sono le seguenti:

- *infiltration model*: curve number[104]
- *routing model*: dynamic wave
  - *inertial terms*: keep
  - *supercritical flow*: both Froude no. and slope
  - *force main eq.*: Hazen-Williams
- *pounding*: yes
- *subcatchments*:
  - *width*: 1.2x*L*[105]
  - *% imp*: var[106]
  - *n imp/per*: 0.013/0.080 $s/m^{1/3}$
  - *sub area routing*: outlet

[100] *Ca.* 1.000 punti pozzetto.

[101] U.S. Environmental Protection Agency - *Storm Water Management Model*, *ver.* 5.0, 2007-2008.

[102] Previa verifica di coerenza con quanto stimato per i bacini idrografici.

[103] Di "calibrazione".

[104] AMC II negli scenari di progetto e AMC I per l'evento agosto 2006.

[105] *L*=lunghezza del massimo percorso idraulico, speditivamente stimata quale asse maggiore dell'ellisse di migliore approssimazione del bacino. 1.2=fattore di forma ottenuto per "calibrazione di coerenza" con il modello idrologico dei sistemi idrografici (F.so Palazzuolo, F.so S.ta Caterina, ..).

[106] Stimata sistematicamente -con correzioni di "calibrazione" su evento agosto 2006- dalla copertura *Corine-Land Cover*.

- ➔ *junctions*:
  - *ponded area*: 0/500[107] m^2
- ➔ *conduits*:
  - *shape*: `filled_circular`[108]`/rect_closed/irregular/..`
  - *n*: var
  - *entry loss coeff.*: 0.3
  - *exit loss coeff.*: 0.8
- ➔ *time steps*:
  - *routing:* 5-10 *sec*
  - *output*: 1'

Per tutti gli ulteriori dettagli modellistici si rimanda direttamente al manuale d'uso e tecnico originale `www.epa.gov/ednnrmrl/models/swmm/epaswmm5_manual.pdf`.

3.3.2 Definizione della geometria

La geometria della rete è fondata sul rilievo celerimetrico di *Bartoletti* (2008). Da esso sono stati depurati i fognoli ed i tratti poi rivelatisi di sola fognatura nera. Dubbi interpretativi sono stati risolti in generale secondo principi cautelativi, mentre taluni nodi sono stati introdotti "fittiziamente" a mero scopo modellistico (es. cambio tipo condotta, ..).

L'archivio digitale `GIS-oriented` conserva tutte le informazioni necessarie alla tracciabilità del dato, sia in termini di codifica che di provenienza (originale/ricostruito/fittizio, rilevato/progettuale, ...). Ad esso si rimanda per ogni dettaglio in merito. La rete è stata suddivisa in 13 sistemi e 25 sottosistemi, secondo la nomenclatura riportata in Tab. 20.

Tab. 20. *Anagrafica di sistemi e sottosistemi fognari analizzati a Chiusi Scalo, Le Biffe e Montallese.*

COD_SISTEMA	LOCALITÀ	COD_SSISTEMA	DENOMINAZIONE	MODELLO IDRAULICO
1	Chiusi Stazione	01A	*F.so Palazzuolo*	CHIUSI_SCALO
2	"	02A	*Via della Fontina*	"
"	"	02B	*F.so Santa Caterina*	"
"	"	02C	*Via Giacosa*	"
"	"	02D	*Via Firenze*	"
"	"	02E	*Poggio Gallina*	"
"	"	02F	*Fiat*	"
3	"	03A	*Via Cassia*	"
4	"	04A	*Parcheggio*	"
5	"	05A	*Stazione*	"
"	"	05B	*Centrale ENEL*	"
"	"	05C	*Porto di Mezzo*	"
"	"	05D	*Centro Intermodale*	"
6	Chiusi-Le Biffe	06A	*F.so Tarantello Alto*	"
"	"	06B	*Le Biffe Alto*	"
"	"	06C	*Le Biffe Basso*	"
7	"	07A	*F.so Tarantello Basso*	"
8	"	08A	*F.so Cardete Alto Sinistra*	"
9	"	09A	*F.so Cardete Alto Destra*	"
10	"	10A	*F.so Cardete Basso Monte*	"
"	"	10B	*F.so Cardete Basso Valle*	"
11	"	11A	*F.so Tombarelle Sinistro Alto*	"
"	"	11B	*F.so Tombarelle Sinistro Basso*	"
12	Chiusi Stazione	12A	*Via Boncia Bassa*	"
13	Montallese	13A	*Montallese Nord*	MONTALLESE
"	"	13B	*Montallese Sud*	"

[107] Rispettivamente per nodi su canalette aperte o condotte chiuse.
[108] Per generalità, ma modellazioni di progetto effettuate in assenza di significativi interrimenti di condotta.

Dal punto di vista modellistico, 2 sono i modelli geometrici implementati, l'uno riguardante l'intera rete di Chiusi Scalo-Le Biffe [S_1÷12] (oltre 500 nodi, 200 sottobacini, 500 *links*) e, l'altro, di Montallese [S_13]. Per ciascun ramo (*link*) di rete modellata -chiuso o aperto- è stato individuato il bacino drenante di pertinenza su base morfologica (naturali) o topologica (urbani).

Data la complessità delle reti, è stato previsto allegato alla presente uno specifico elaborato riportante tutti i dettagli geometrici e di calcolo, cui direttamente si rimanda. Per la esatta rapresentazione planimetrica della rete si vedano invece le specifiche tavole grafiche.

3.3.3 Condizioni iniziali ed al contorno

Data la modellazione in regime di moto vario, le condizioni iniziale ed al contorno sono in generale serie storiche.

Le condizioni iniziali sono ovunque costituite dagli idrogrammi di portata in ingresso ai nodi di testa, generate assumendo **ietogrammi** tipo ***Chicago***, LSPP Va.P.I._Calenda, di durata **1** ***h*** e distribuzione spaziale uniforme.

Le condizioni al contorno sono costituite da:

a) livelli idrici costanti nel tempo e pari a +0.20 *m* sullo scorrimento, per T_r=2 e 5 *anni*

b) livelli idrici costanti nel tempo e pari alla *full depth*, per T_r=10 *anni*

c) livelli idrici costanti nel tempo e pari alla $+H_{20}$[109] oltre la *full depth* -canalette aperte- oppure l'idrogramma di livello del ricettore (*es.* C.le Chianetta) -condotte chiuse-, per T_r=20 *anni*.

3.3.4 L'evento del 25 agosto 2006

Come già si è visto, in termini pluviometrici l'evento del 25 agosto 2006 avrebbe -secondo i dati amatoriali disponibili- un tempo di ritorno ben superiore a 20 *anni* per durata oraria, ulteriormente crescente per durate 1÷2 *h*.

Con riferimento invece alle portate al colmo ricostruite per il sistema idrografico del T. Montelungo, tale tempo di ritorno tende a diminuire in ragione del diverso grado di saturazione dei suoli antecedente l'evento storico e quello di progetto. Per quanto siano presenti in taluni SS allacciamenti significativi di aree non urbanizzate, per caratterizzare il livello di sollecitazione del sistema fognario -prevalentemente impermeabile- è certamente più rappresentativo il raffronto pluviometrico.

Dunque, sia in termini di picco che di volumi affluiti, l'evento 2006 si può ritenere più gravoso di quello di progetto con T_r=20 *anni*.

Al pari di quanto fatto per i sistemi idrografici, si è dunque cercato di verificare la compatibilità del quadro di [in]efficienza fognaria proposto dalla modellazione matematica con quello registrato documentalmente nel 2006. Ciò è essenzialmente avvenuto con riguardo a due aspetti primari e sotto l'ipotesi di lavoro di non considerare gli interrimenti, certamente verificatisi in diverso grado in più punti in corso di evento, ma difficilmente quantificabili. I due aspetti di raffronto sono:

a) la *topologia delle esondazioni* ai pozzetti

b) i *volumi* complessivamente afferenti *zone di accumulo* certamente di acqua soltanto fognaria.

[109] Battente idrico sul p.c. 20-*ennale* stimato nell'analisi di pericolosità dei sistemi idrografici. In assenza di modellazione *default*=+0.20 *m*.

Quali aree *target* sono state prescelte le AA12 e AA14, quest'ultima limitatamente al quartiere di via Saffi. Assumendo quale variabile libera la percentuale massima di area impermeabile in ambito urbano (%Imp) -ovvero, in via complementare, l'incidenza percentuale media del verde pertinenziale e pubblico-, si sono in definitiva assunti per essa valori compresi tra il 70 ed il 75%, corrispondenti a stime di poco meno di 10.000 e 15.000 m^3 di volume idrico fognario affluito in AA12[110] e AA14[111].

Nell'allegato di calcolo sono riportati tutti i dettagli numerici di simulazione dell'evento, mentre per quanto riguarda la distribuzione spaziale di nodi e condotte critici può essere presa a riferimento la corrispondente tavola grafica per T_r=20 *anni.*

3.3.5 Criticità e pericolosità

La "criticità" di un sistema fognario può essere misurata in molti modi, ciascuno riflettente uno specifico aspetto della stessa. In particolare, si distingue la famiglia dei parametri -di nodo o condotta- di *massima* sollecitazione da quella degli indici di *persistenza* degli stati critici. Ciascun indicatore ha inoltre valenze informative diverse anche riguardo alla diagnostica della criticità stessa, spesso non evidente in reti complesse e scarsamente efficienti già per T_r=2 *anni.*

La breve disamina che segue -così come la sintesi riportata nelle tavole grafiche- è impostata su due parametri del secondo tipo, *i.e.* i **volumi esondati ai nodi** (pozzetti) e la **durata di sovra-deflusso in condotta** (*i.e.* portata istantanea > portata di *normal flow*). È tuttavia allegato l'intero *report* di calcolo per tutti gli scenari analizzati (*vd.*).

Per quanto attiene le pericolosità indotta da sistemi fognari, essa è generalmente bassa sia valutata in termini di tiranti che di velocità. Ciononostante, il rischio (in particolare il danno temibile per le cose) può assumere valori medio-alti in ragione della normalmente alta frequenza (1 volta ogni 0.5÷2 *anni*) di disservizi e/o allagamenti in ambiti urbani ad elevata vulnerabilità ed esposizione. Data la normativa vigente ed i criteri progettuali normalmente adottati in Italia, tale timore si verifica quasi di norma. Certamente si verifica e si è verificato a Chiusi Scalo e Le Biffe. Meno a Montallese.

Elementi di rischio particolare sono invece la morfologia depressa -soggetta ad accumuli idrici- (vulnerabilità), l'elevata velocità (e torbidità) della corrente in ingresso alla condotta all'interfaccia con l'idrografia minore collinare ed anche entro la condotta (pericolosità).

Il primo è ovviamente correlato alla entità dei volumi in eccesso, mentre il secondo è tipico dei sistemi mancanti della separazione della rete urbana da quella naturale[112]. Tutti questi aspetti hanno mostrato il loro effettivo grado di pericolosità per Chiusi Scalo durante l'evento del 25 agosto 2006 (T_r>20 *anni*).

3.3.5.1 Chiusi Scalo

Le criticità riscontrabili nella rete fognaria di Chiusi Scalo sono molteplici. Rimandando a più avanti per una discussione puntuale, si elencano qui le specificità principali, nell'ambito di un già critico quadro complessivo dovuto a:

a) fragilità idraulica dei recapiti terminali

b) difficoltà di scolo (a zone), indotta sia dalla morfologia del territorio sia dalla presenza di numerose interferenze infrastrutturali

[110] Esondazione da 24 pozzetti del SS_05C.

[111] Esondazione da 19 pozzetti del SS_06B e 05C.

[112] I casi di maggiore significatività sono perlatro già stati analizzati come sistemi idrografici (F.so Palazzuolo e F.so S.ta Caterina).

c) inefficienza massiva di rete, causa eccessivo carico urbanistico, numerose incongruenze dimensionali e non buono stato manutentivo

d) non separazione delle acque di versante da quelle urbane, né filtraggio del carico solido prima dell'ingresso in fognatura

e) tipologia mista della fognatura, solo parzialmente separata.

Tali criticità particolari principali sono:

1. il drenaggio di tutta l'area in *sx* T. Montelungo, *i.e.* il collettore di via della Fontina-via Giacosa[-Fiat], largamente insufficiente -peraltro entro le zone di maggiore depressione relativa – a drenare efficientemente anche solo eventi con T_r=2 *anni* [SS_02][113]
2. tutti i tombini ferroviari [SS_xx]
3. nodo di *by-pass* della ferrovia di via Manzoni, sovraccarico, rigurgitato dal C.le Chianetta e con condotta emissaria sottodimensionata [SS_03A]
4. il collettore di via Oslavia, sovraccarico in sé (ma anche rigurgitato) ed allacciato al già critico nodo di p.zza Dante [SS_05A]
5. collettori di via Monte Grappa, via Piave e via Isonzo [SS_03A].

La topologia delle criticità va via crescendo, con l'aumentare della gravosità dell'evento, più spesso da valle verso monte che non viceversa, denunciando una evidente e primaria sofferenza di ampia parte della rete dalle criticità primarie ai nodi sopra citati. Per le criticità dei rami di testa va inoltre tenuto presente che possono talvolta essere dovute a difetto di dettaglio nella ripartizione degli afflussi pertinenti, di norma cautelativamente associati al nodo di monte della condotta.

Infine, va anche ricordato come già allo stato siano evidenti lacune ricognitive dell'effettiva topologia di rete (es. SS_03A, 05C, tombini ferroviari, ..), la cui alea dovrà ovviamente essere risolta nelle successive fasi progettuali.

3.3.5.2 Le Biffe

Nell'intero areale qui complessivamente denominato Le Biffe [SS_06÷11] si riscontrano tre specifiche criticità principali:

1. il nodo di via F.lli Bandiera-S.P. n. 321 (SS_06B)
2. la labilità della rete emissaria della parte sud (SS_10/11) e di tutta la rete scolante a cielo aperto, inopinatamente condizionata anche da limiti territoriali
3. la adduzione in fognatura delle acque di versante a monte della S.P. n. 321.

Problematiche generali di fondo sono anche qui la scarsa manutenzione della rete (anche per difficoltà di accesso), le molteplici incoerenze dimensionali e funzionali, la mancanza di filtri per gli apporti solidi, la difficoltà di scolo (e mancanza di valvole protettive delle condotte) e la non totale separazione delle acque nere.

3.3.5.3 Montallese

A Montallese le pericolosità fognarie sono minori per assetto complessivo di rete e di agglomerato urbano. Si temono anche qui disservizi locali già per eventi biennali, via via crescenti ed estesi per i tempi di ritorno maggiori, ma tutto sommato circoscritti a via Berni-via Pietro l'Aretino ed al tombino ferroviario di via Vittorini, nel SS_13A ed a via Cellini e via Caselle nel SS_13B.

[113] Criticità peraltro fortemente ridotta, nel tratto a valle della S.P. n. 146 in conseguenza delle opere recentemente approvate nell'ambito del *Progetto di disinquinamento ambientale del lago di Chiusi* [*Fabietti*, 2009]. Di tali nuove opere si è sostanzialmente tenuto conto nella modellazione idraulica di rev. giugno 2009.

Dato l'ancora presente filtro naturale tra [i pochi] ruscellamenti collinari e la rete fognaria, non si riscontrano particolari pericolosità aggiuntive.

In sintesi, le problematiche presenti -fatte salve verifiche di dettaglio locale- appaiono "normalmente" afferenti la sfera progettuale. La rete attuale non è dimensionata per eventi meteorici di ordine 20-*ennale.*

Significativi miglioramenti sanitari sono attesi dai lavori in corso di separazione ed invio alla depurazione delle acque luride.

4 FATTIBILITÀ AI FINI IDRAULICI: CRITERI GENERALI E PRIME INDICAZIONI SUGLI INTERVENTI

Con specifico e limitato riferimento ai soli ambiti urbani ed urbanizzabili di PS, vengono di seguito sommariamente descritte le *linee di intervento* principali, così come preliminarmente[114] individuate nell'ambito del presente lavoro, anche alla luce di quanto già avviato.

Esse verranno distinte con riguardo al sistema di riferimento -*idrografico* o *fognario*-, alla categoria della misura -*strutturale* o *non*- ed al dominio della stessa -*comprensoriale* o *locale*-, *i.e.*:

Sistema idrografico

- strutturali [di carattere] comprensoriale, *i.e.* con valenza di mitigazione della pericolosità per un vasto areale (casse di laminazione, trappole di cattura degli apporti solidi, ..)
- strutturali [di carattere] locale, *i.e.* con finalità specifica circoscritta all'intorno della misura (difese arginali, protezioni antierosive, ..)
- non strutturali comprensoriali (vincoli d'uso del territorio, criteri gestionali, manutenzioni, Protezione Civile, ...)

Sistema fognario

- strutturali comprensoriali (stazioni di sollevamento, vasche volano consortili, diversivi, trappole di cattura degli apporti solidi, separazione b/n, ...)
- strutturali locali (singole condotte, vasche volano locali, pozzetti a maggiore efficienza idraulica, ...)
- non strutturali comprensoriali (misure di autocontenimento dei deflussi, vincoli d'uso del territorio, ..).

Al complesso degli interventi previsti per uno scenario futuro di maggiore sostenibilità, fanno da contraltare le N.T.A. di stato attuale, cui direttamente si rimanda per i dettagli dispositivi. Restano escluse dai successivi elenchi le ordinarie misure regolamentari circa l'autosicurezza (quote minima di imposta, ...) e la garanzia di non aggravio verso terzi, che si intendono sempre cogenti.

4.1 CHIUSI SCALO

Chiusi Scalo, quale territorio di frontiera tra le propaggini collinari e la pianura di bonifica, soffre complessivamente di 4 problematiche idrauliche, conseguenti ad una disorganica crescita urbanistica entro un contesto di naturale e storica fragilità:

1. l'insufficiente livello di sicurezza rispetto alle piene di riferimento normativo di T. Montelungo e F.so Montelunghino

[114] Dunque ovviamente passibili di modifica a seguito di verifiche puntuali di fattibilità tecnico-economica.

2. la labilità di regimazione ed adduzione a valle di tutti i fossi collinari, con indebite commistioni tra sistemi fognari ed idrografici

I. la difficoltà di scolo dell'intero sistema delle acque basse

II. la "caotica" infrastrutturazione fognaria, ulteriormente complicata dai vincoli ferroviari

Rispetto a tali problematiche generali, le linee di intervento prefigurate riguardano:

- ✔ casse di laminazione a monte del nucleo urbano
- ✔ difese arginali di completamento entro il nucleo urbano
- ✔ strutturazione di differenziali arginali a protezione di obiettivi specifici a maggiore vulnerabilità
- ✔ opere di filtraggio e di imbocco in tombino dei fossi collinari minori, con eventuali adeguamenti dimensionali e/o funzionali
- ✗ opere di protezione dagli ingressi di materiale solido e di riorganizzazione della rete fognaria meteorica di adduzione e recapito
- ✗ misure di autocontenimento dei deflussi propri, per l'intero perimetro tributario di deflussi sui sistemi fognari meteorici e sul reticolo di bonifica.

Naturalmente precise indicazioni dimensionali potranno essere date solo dopo specifica analisi progettuale, qui non pertinente.

4.1.1 Sistemi idrografici

Il principale soggetto di pericolosità è il T. Montelungo; più limitatamente -zona a valle della stazione FF.S.- anche il C.le Chianetta ed il T. Tresa.

4.1.1.1 T. Montelungo

Allo stato è in *iter* di approvazione un progetto di realizzazione di una cassa di espansione sul T. Montelungo situata a monte del rilevato FF.S. Direttissima, redatto dall'*ing*. Bavecchi (2007 e *segg.*). In tale progetto, nella versione di aggiornamento agosto 2007, si cita una portata di punta 200-*ennale* rilasciata sul T. Montelungo a valle della cassa di 22 m^3/s.

Alla luce delle presenti analisi di stato attuale, si è verificato come le pericolosità per Chiusi Scalo derivino prevalentemente dal T. Montelungo, ma con anche ulteriori e significativi contributi da almeno alcuni affluenti, tra cui principalmente il F.so Montelunghino ma non solo. Dunque, assumendo per la dizione "messa in sicurezza" la non allagabilità per T_r=200 *anni* con franco minimo 0.50 *m* sui coronamenti delle opere idrauliche di difesa, con riferimento all'intero centro abitato di Chiusi Scalo non pare sufficiente intervenire sul solo T. Montelungo.

Per chiarezza di esposizione pare opportuno distinguere gli interventi di rilievo generale da quelli più specificatamente[115] funzionali alle zone abitate poste in *sx* o *dx* T. Montelungo. Per quanto riguarda il dettaglio dei domini di beneficio si rimanda alle allegate tavole grafiche delle aree allagabili.

Chiusi Scalo

- cassa di laminazione sul T. Montelungo, a monte del rilevato FF.S. [Q^{out}_{200}<20 m^3/s] [CH01]
- riprofilatura/ricarichi arginali diffusi [a tratti, intero tratto urbano di *III* categoria, compresa qualche spalletta ai ponti] [CH02]

[115] Ovviamente beneficio generale a valle lo induce sempre qualunque intervento di riduzione o modulazione degli afflussi.

- [eventuali] consolidamenti arginali puntuali[116] [CH03]

***sx* T. Montelungo**

- ristrutturazione del manufatto di imbocco del tombino del F.so Palazzuolo [contenimenti, riprofilatura, vasca di chiarificazione, sconnessione dalla linea fognaria lungo via Montelunghino, ..] e/o sostituzione della condotta esistente con altra di maggiore diametro [CS01]
- ristrutturazione dei manufatti di imbocco e sbocco del tombino del F.so S.ta Caterina [contenimenti, riprofilatura, vasca di chiarificazione, sconnessione dalla linea fognaria lungo T. Montelungo, ..] [CS02]
- strutturazione a zona allagabile[117] [cassa di laminazione] dell'area a verde in *sx* T. Montelungo a valle del ponte della S.P. n. 146 [argine *sx* tracimabile, consolidamento del *dx*, ...] [CS03]

***dx* T. Montelungo**

- cassa di laminazione sul F.so Montelunghino, a monte del rilevato FF.S. [V_{200}≈7.000÷10.000 m^3/s] [CD01]
- riprofilatura arginale/spondale nel tratto di F.so Montelunghino tra la *Fornace di Montorio* e via dei Mille, spallette al ponte comprese [CD02]
- riprofilatura spondale sx del tratto di F.so Montelungo compreso tra il rilevato FF.S. ed il ponte di via dei Mille [CD03]

Dunque, si conferma l'utilità per la messa in sicurezza dell'abitato di Chiusi Scalo di una cassa di laminazione sul T. Montelungo, ma rilevandone la probabile non sufficienza.

4.1.1.2 C.le Chianetta

La parte di Chiusi Scalo interessata da allagamenti provenienti dal sistema C.le Chianetta è limitata all'area compresa tra la ferrovia ed il Canale stesso.

Obiettivi sensibili sono tuttavia limitati, essendo in gran parte area a destinazione agricola.

Il *Nuovo Scalo Merci* risulta non direttamente allagabile in virtù del coronamento perimetrale in rilevato, realizzato -senza soluzione di continuità- quale sede della viabilità di lottizzazione. Data la diffusa allagabilità contermine è evidente che qualunque *by-pass* idraulico potrà determinare allagamenti indiretti e che, quindi, saranno certamente stati valutati in fase progettuale. Altrettanto dicasi per le canalette fognarie di recapito nel C.le Chianetta delle acque meteoriche di Chiusi Scalo in *dx* T. Montelungo- per le quali dovrà peraltro essere evitato ogni intervento che possa determinare maggiori rigurgiti nella rete a monte della stazione FF.S.- e le acque meteoriche proprie (ristagni).

Il piano viario di progetto, posto a quota *249.00*+1.20≅**250.20** *m* s.l.m., risulta avere un franco nominale minimo sui massimi livelli 200-*ennali* di 0.50÷0.60 *m*. Rimangono criticità residue legate alla stabilità arginale e del fondo del C.le Chianetta, soprattutto nei tratti più stretti del corridoio destinato al deflusso delle acque di esondazione, ove entrambi gli argini vengono tracimati. Per tali motivi, i piani utili dei nuovi fabbricati -fatti salvi impedimenti di natura diversa- si ritiene debbano essere a quota non inferiore a quella della viabilità di lottizzazione. In definitiva, essendo tutti interventi specifici di normale carattere progettuale, essi non vengono di seguito elencati tra quelli di interesse più generale,

[116] Allo stato non si ha notizia di situazioni particolarmente pericolose dal punto di vista della tenuta arginale; misura di verifica indicata precauzionalmente, vista la soggiacenza ed adiacenza del centro abitato.

[117] A protezione particolare delle Ditte *Lodovichi* e *Margheriti*, della viabilità interferente a valle. Con funzionalità anche per il sistema fognario (*vd.*) ed i drenaggi collinari di Poggio Gallina.

assumendone la risoluzione in tale sede.

La residua allagabilità diffusa dal C.le Chianetta è intrinseca al carattere di bonifica dell'intero comprensorio e, dunque, qualunque eventuale intervento deve essere valutato sugli orizzonti più ampi di bacino idrografico, con particolare riferimento a casse di laminazione sul F.so Fargnia. D'altra parte, l'allagabilità è anche significativamente dovuta a forti difficoltà di scolo proprie ed falda affiorante, oltre che potenzialmente alimentabile anche dal T. Tresa e da rotture arginali.

Tutto ciò considerato e con le riserve delle citate maggiori verifiche, *ai fini in oggetto* non si vede la "necessità/utilità" di interventi strutturali sul C.le Chianetta. La ammissibilità di eventuali nuovi interventi di urbanizzazione in tale area dovrà piuttosto essere valutata con riferimento a misure locali di autosicurezza e compensazione (non aggravio). Viceversa, per la mitigazione della pericolosità da ristagni, non è da escludere la fattibilità di interventi strutturali (però in comune di Città della Pieve) per la laminazione delle piene più frequenti; appaiono comunque necessari un maggiore contenimento degli afflussi ed una riduzione della vulnerabilità (misure costruttive e non strutturali di allertamento).

4.1.1.3 T. Tresa

Così come per le pericolosità, anche per i conseguenti [eventuali] interventi si rimanda alle conclusioni dello specifico studio (ad oggi non ufficialmente concluso) del ***C.b.C.R.***

4.1.2 Sistemi fognari 1÷5 e 12

Come già visto, l'intero sistema fognario di Chiusi Scalo risulta complesso, certamente condizionato da morfologie ed infrastrutturazioni (FF.S.) non favorevoli e con ancora non trascurabili incognite circa la esatta topologia di rete [*Bartoletti*, 2008].

Tale complessità[118] esita in una così ampia molteplicità di teoriche ipotesi interventuali che non possono in questa sede essere distillate in una elencazione precisa di singole opere, con sufficiente garanzia di fattibilità tecnica e di conveniente rapporto costo/benefici. Dunque, non si può qui che "limitarsi" ad enucleare le linee *principali* di intervento (talvolta alternative), rimandando alle fasi progettuali la selezione di quelle fattibili ed i precisi tracciati e dimensionamenti.

Per motivi analoghi, si omette la elencazione della congerie di incongruenze idrauliche sparse un po' ovunque nella rete (*vd.* specifico allegato numerico).

A livello generale, le grandi problematiche fognarie sono:

a) la frequente insufficienza dimensionale anche di singola condotta

b) la incongruenza tra attraversamenti ferroviari ormai "storici" ed i progressivi aumenti degli afflussi da monte ("collo di bottiglia"), insieme al contestuale aumento di vulnerabilità

c) la difficoltà di scolo di alcune zone maggiormente depresse (via della Fontina, via Giacosa, via Manzoni)

d) gli apporti solidi

e) la difficoltà di manutenzione

f) la non separazione delle reti b/n

g) la logica di autarchia comunale.

Il punto b) rappresenta sicuramente quello di maggiore importanza, poiché la possibilità o meno di prevedere -realisticamente- *nuovi* attraversamenti ferroviari condiziona alla radice la filosofia di intervento. Data la disponibilità attuale di spazi a bassa densità edificatoria, sarebbe infatti logico

[118] Unita alle alee residue che, in ambito fognario, possono risultare decisive nella definizione dell'opzione di massima efficacia (allacciabilità, livellette, interferenze, servitù, aliquote di scarichi presenti, sinergie, ...).

prevedere adeguamenti dimensionali a monte ed *intra* ferrovia, per poi prevedere a vale della stessa vaste zone di espansione, a scolo ritardato, probabilmente anche senza sollevamento. Viceversa, la impossibilità di adeguare i *by-pass* ferroviari induce gioco forza a prevedere vasche volano interrate a monte (molto più costose e di difficile collocazione), certamente equipaggiate di sollevamento meccanico. In più, alcune delle maggiori alee interpretative dello stato attuale si hanno proprio agli attraversamenti ferroviari. Per tali motivi, alcuni interventi verranno proposti in alternativa.

Per quanto riguarda il punto c), esso è complessivamente mitigato dalla tipologia a cielo aperto (escluso emissario di via Manzoni) dei tratti a valle della ferrovia, prima del recapito nel C.le Chianetta (ovviamente a scapito di una frequente allagabilità dei campi adiacenti). Per il punto f) è in corso un programma di progressiva separazione da parte di A.T.O e *Gestore* del s.i.i.

Data la generalizzata situazione critica, a monte di qualunque intervento di seguito elencato, si assumono adottate sull'intero territorio tributario le norme di *autocontenimento dei deflussi* di cui alle N.T.A. (*vd.*). Gli interventi elencati sono solo quelli ritenuti prioritari in quanto particolarmente critici già per T_r=2 *anni*, intendendo comunque strategico adottare dimensionamenti congrui per T_r=20 *anni*.

Sotto la denominazione di Chiusi Scalo (o Stazione) si ricomprendono n. 6 sistemi fognari, variamente critici e collettori di acque più miste che meteoriche. Anche qui è utile suddividere la *sx* dalla *dx* T. Montelungo, sebbene entrambe recapitanti nel C.le Chianetta (ad eccezione del SS_01A).

***sx* T. Montelungo** [01÷02]

- rifacimento e/o massivo adeguamento dimensionale della dorsale lungo T. Montelungo di via della Fontina-via Giacosa[119], con eventuale vasca volano a monte o valle di via Oslavia e recapito in area strutturata allagabile (uso promiscuo) lungo T. Montelungo [SS_02A÷F] [CSi]
- adeguamenti dimensionali dei collettori principali di via Giacosa e Poggio Gallina [SS_02C/E] [CSii]
- [eventuale] sconnessione dal tombamento del F.so Palazzuolo e nuova immissione nel T. Montelungo [SS_01A] [CSiii]

***dx* T. Montelungo** [03÷05 e 12]

- sconnessione della dorsale di via Oslavia (Fornace di Montorio) dalla rete di p.za Dante e realizzazione di nuovo collettore sino al più scarico dei due tombini ferroviari di fronte all'*ex* campo sportivo[120] [SS_05A/C] [CDi]
- realizzazione di vasca volano sotterranea in area di sedime *ex* campo sportivo corredata di sollevamento meccanico [CDii*A*] o prolungamento del collettore di cui sopra, realizzazione di nuovo tombino ferroviario e strutturazione ad area normalmente allagabile a valle [SS_05A/C e 06B] [CDii*B*]
- sconnessione di parte del collettore di via Manzoni (da via Raffaello Sanzio?) dal nodo di sottopasso di via Cassia Aurelia ed allacciamento all'attraversamento più a nord su via Fucini [SS_03A e 05/A] [CDiii]
- adduzione[121] del tombino ferroviario di via Fucini su area contermine da strutturare a normalmente allagabile [SS_03A e 05/A] [CDiv]
- sostituzione della condotta DN 630 su via Cassia Aurelia e inserimento di *clapet* allo

[119] Da coordinare con le opere previste nella recente "*Variante per la separazione dell'esistente scatolare misto in località Poggio Gallina – Progetto di disinquinamento ambientale del lago di Chiusi*" [*Fabietti*, 2009].

[120] Esatta topologia non chiarita dal rilievo.

[121] Previa rimozione di eventuali scarichi di acque luride.

scarico nel C.le Chianetta [SS_05A] [CDv]

- [eventuale] vasca volano sotterranea in area parcheggio stazione, equipaggiata di sollevamento meccanico [SS_05A] [CDvi]

4.2 LE BIFFE

Le problematiche de Le Biffe sono analoghe a quelle di Chiusi Scalo -identica fragilità idraulica- ma più estese e meno pericolose[122]. In particolare:

1. l'insufficiente livello di sicurezza rispetto alle piene di riferimento normativo di F.so Tarantello e F.so Cardete
2. la labilità di regimazione ed adduzione a valle di tutti i fossetti collinari intercettati dalla S.P. n. 321

I. la difficoltà di scolo dell'intero sistema delle acque basse

II. la "caotica" infrastrutturazione fognaria, ulteriormente complicata dai vincoli ferroviari

Rispetto a tali problematiche generali, le linee di intervento prefigurate riguardano:

- ✔ casse di laminazione a monte del nucleo produttivo
- ✔ difese arginali di completamento entro il nucleo produttivo
- ✔ adeguamento funzionale dei tombini di attraversamento della S.P. n. 321
- ✗ opere di protezione dagli ingressi di materiale solido e di riorganizzazione della rete fognaria meteorica di adduzione e recapito
- ✗ misure di autocontenimento dei deflussi propri, per l'intero perimetro tributario di deflussi sui sistemi fognari meteorici e sul reticolo di bonifica.

4.2.1 Sistemi idrografici

Il principale soggetto di pericolosità è il F.so Tarantello; più limitatamente anche il F.so Cardete ed il F.so Tombarelle. Il C.le Chianetta svolge, per l'area a maggiori insediamenti, tutto sommato un ruolo marginale, poiché i tratti più rigurgitati sono esterni o al limite del limite comunale di Chiusi.

4.2.1.1 F.so Tarantello

Per il F.so Tarantello è prioritario laminare i colmi di piena prima del tratto lungo via di Fondovalle e dare certezza d'alveo a monte. Le ipotesi interventuali qui -a differenza del T. Montelungo- soffrono maggiori incertezze di fattibilità causa il *deficit* cognitivo circa lo stato dei luoghi a monte del rilevato FF.S. Direttissima. In linea di massima si può ipotizzare[123]:

Le Biffe

- cassa di laminazione sul F.so Tarantello, a monte del rilevato FF.S. e relativa risagomatura della sezione e/o adeguamento tombini sino all'attraversamento della S.P. n. 321 [BI01]
- rimozione/adeguamento dei tombini di maggiore limitazione della capacità di deflusso lungo via di Fondovalle [BI02]
- riprofilatura diffusa dell'intero tratto lungo via di Fondovalle, con eventuali spallette di maggiore contenimento ed interposizione di ulteriori piccola/e vasca/he volano da collocarsi nelle residue aree verdi in *dx* idrografica[124] [BI03]

[122] L'equivalente del T. Montelungo è qui il F.so Tarantello.

[123] *Vd.* anche F.so Cardete.

[124] Le massime possibili, soprattutto nella metà valliva del tratto lungo via di Fondovalle.

4.2.1.2 F.so Cardete

Le esondazioni dal F.so Cardete sono temibili con minore frequenza rispetto a quelle del F.so Tarantello. Purtuttavia esse determinano lunghi scorrimenti recando pericolo per una pur vasta area produttiva. Inoltre, i propri livelli determinano condizioni di rigurgito non contenute in alveo nel F.so Tarantello (e, meno gravemente, anche nel F.so Tombarelle).

Linea di intervento ed avvertenze correlate sono similari a quelle del F.so Tarantello:

Le Biffe

- cassa di laminazione sul F.so Cardete, a monte della S.P. n. 321, probabilmente in *sx*, con relativa risagomatura di sezione profili arginali [BI04]
- riprofilatura diffusa delle arginature [BI05]
- adeguamento dimensionale del tombino di attraversamento della S.P. n. 49 (RS 1145.0) [BI06]

4.2.1.3 F.so Tombarelle

La pericolosità del F.so Tombarelle è di impatto areale importante per labilità d'alveo. Tale area è peraltro oggi interamente ad uso agricolo.

Linea di intervento ed avvertenze correlate sono similari a quelle del F.so Tarantello:

A valle della bretella di collegamento SS.PP. nn. 49 e 321

- riprofilatura e risagomatura diffusa dell'alveo, eventualmente arginali [BI07][125]
- [preservazione quale pertinenza fluviale dell'area compresa tra la S.P. n. 49 ed il rilevato FF.S. [BI08]][126]

4.2.2 Sistemi fognari 6÷11

Chiusi-Le Biffe comprende n. 6 sistemi fognari, frammentati e variamente critici. Problematiche generali analoghe a quelle di Chiusi Scalo. Particolare menzione merita il problema della [scarsa] manutenzione delle [qui più diffuse] canalette a cielo aperto. Per comodità, si suddivide la trattazione in *sx* [recapito C.le Chianetta] e *dx* [recapito F.so Tarantello, F.so Cardete o F.so Tombarelle] F.so Tarantello.

***sx* F.so Tarantello** [06]

- sconnessione del collettore di via F.lli Bandiera da via Saffi, realizzazione di nuova condotta lungo S.P. n. 321-via delle Piogge e strutturazione a vasca volano a cielo aperto dell'area residuale adiacente il rilevato ferroviario [SS_06A÷C] [BSi]

***dx* F.so Tarantello** [07÷11]

- sconnessione del SS_10A dall'adduzione al F.so Cardete e realizzazione di nuovo attraversamento della S.P. n. 49 con recapito nel F.so Tombarelle via fosso di guardia ferroviario[127] e/o strutturazione ad area normalmente allagata della fascia comunale adiacente la S.P. a scolo controllato nel F.so Tombarelle [SS_10A/B e 11A] [BDi]
- controllo degli apporti solidi ai tombini di attraversamento della S.P. n. 321 e [eventuale] adduzione unica alla dorsale nord del SS_10A [SS_10A] [BDii]

[125] Parzialmente in comune di Cetona e di Città della Pieve.

[126] Territorio in gran parte nel comune di Città della Pieve.

[127] *Idem* c.s..

- risagomatura del F.so Tombarelle [SS_11B] [BI07]
- [eventuale] canale di gronda a monte della S.P. n. 321 di intercettazione di parte delle acque di versante attualmente immesse in fognatura, con recapito nel F.so Cardete [SS_09A e 10A] [Bdiii]
- [eventuale] inserimento di *clapet* nelle condotte di recapito nel F.so Tarantello [SS_07A e 08A] [BDiv]

4.3 MONTALLESE

Parte dell'abitato di Montallese soffre delle classiche fragilità dei sistemi idraulici di bonifica, *i.e.* difficoltà di scolo e soggiacenze arginali. La pericolosità da allagamento diretto per tracimazione è limitata ad un solo corso d'acqua, il T. Parce, tuttavia con frequenze temibili non alte.

Ulteriore criticità è indotta dal sistema fognario. Ma le recenti opere di separazione delle acque luride da quelle meteoriche ed un sistema complessivamente ben meno complesso di quello di Chiusi Scalo, fanno ritenere anche quest'aspetto -pur necessitante di qualche intervento- non particolarmente grave.

4.3.1 Sistemi idrografici

Il principale e praticamente unico soggetto di pericolosità è il T. Parce. Altri fossetti minori hanno impatti limitati localmente ed a zone allo stato attuale agricole. Il C.le Circondariale non determina pericolosità significative per l'area urbana ed urbanizzabile, essendo morfologicamente confinato dal rilevato ferroviario, più alto della sponda *dx* di connessione con l'ampia pianura agricola.

4.3.1.1 T. Parce

Allo stato è in *iter* di approvazione un progetto di realizzazione di una cassa di espansione sul T. Parce situata in *dx* a monte della S.P. n. 326, redatto dall'*ing*. Bavecchi (2007 e *segg.*) e finalizzata a "*mettere in sicurezza l'abitato di Montallese*". In tale progetto, nella versione di aggiornamento agosto 2007, si cita una portata di punta 200-*ennale* laminata sul T. Parce di 138 m^3/s.

Le analisi svolte nel presente lavoro -seppur con qualche alea dovuta alla mancanza di sufficiente dettaglio geometrico dell'area compresa tra T. Parce e T. Monaco- evidenziano una già attuale significativa funzione laminatoria sia dell'area sopracitata sia di quella a monte della A1, con assenza di tracimazioni dell'argine *sx* (lato Montallese) del T. Parce, se non -limitatamente e solo per T_r=200 *anni*- poco a valle della A1.

Anche i franchi arginali 200-*ennali* non paiono lontanissimi dai valori normalmente accettabili (0.50 *m*), anche se localmente insufficienti. Il ponte della S.P. risulta andare in pressione. Viceversa, importante appare[128] il rischio da crollo d'argine, data la non piccola soggiacenza ed i volumi di deflusso del T. Parce.

In definitiva, le linee di intervento più opportune per l'abitato di Montallese[129] paiono le seguenti:

Montallese

- verifiche geotecniche e [eventuali] consolidamento e locale ricarico dell'argine *sx* [e *dx*] del T. Parce nel tratto compreso tra la A1 e la S.P. n. 326 [MO01]
- strutturazione atta a dare sicura e massima efficienza di laminazione dell'area già

[128] Verifiche puntuali geotecniche ovviamente necessarie.

[129] Considerazioni limitate alla sola area posta in *sx* T. Parce. Interventi di messa in sicurezza area in *dx* esclusi.

naturalmente allagabile compresa tra T. Parce e T. Monaco, sia a monte che a valle[130] della A1 [MO02]

- [preservazione di un corridoio idraulico di almeno 100 *m* in *sx* T. Parce e] realizzazione di *by-pass* della S.P. n. 326 [MO03]
- adeguamento funzionale del ponte della S.C. S. Polo [MO04]

4.3.1.2 C.le Circondariale

Il C.le Circondariale è essenzialmente un canale di bonifica, di scolo dei terreni posti a valle della ferrovia Siena-Chiusi. In quanto tale esso e per evidenti dislivelli altimetrici tra sponda *dx* e *sx*, non determina pericolosità particolari per le zone urbane ed urbanizzabili di previsione PS.

La maggiore significatività per i sovrastanti ambiti urbani è quella di costituire il ricettore delle proprie acque meteoriche, addotte via fognatura (*vd.*) con tombini di attraversamento di S.P. n. 326 e ferrovia.

Allo stato delle conoscenze non si ritengono necessari particolari interventi di mitigazione.

4.3.2 Sistema fognario 13

Il sistema fognario meteorico di Montallese è senz'altro meno problematico di quello di Chiusi Scalo. Esso ha caratteristiche tipologiche analoghe -parte collinare drenante sul sistema di bonifica, infrastrutture ferroviarie di frapposizione ai ricettori, scolo intermittente almeno a tratti, regime in parte misto, ...- ma meno "complessamente" sviluppato (centro urbano più ridotto), meno condizionato dai tombini ferroviari e con maggiore disponibilità di territorio e filtro degli scarichi collinari (meno acclivi ed estesi).

Dunque, anche ad esso si applicano i principi generali già enunciati per Chiusi Scalo di autocontenimento, controllo degli apporti solidi da monte, separazione b/n, manutenzione, ...

Il sistema è unico (il n. 13), suddiviso in n. 2 SS in quanto facenti capo l'uno al fosso di guardia in *sx* T. Parce (B) e, l'altro, al C.le Circondariale (A).

La rete presenta criticità anche biennali, essenzialmente su via Berni-via P. l'Aretino ed il tombino di via Vittorini [SS_13A] e via Cellini, via Caselle ed alla stazione di sollevamento [SS_13B]. Fatte salve le variegate insufficienze di condotta -per i cui dettagli si rimanda agli specifici allegati grafico-numerici- non si rilevano necessità particolari di significativi interventi infrastrutturali. Per quanto detto, appare invece importante:

- completare la separazione delle acque nere
- evitare l'immissione diretta ed incontrollata in fogna degli scoli -rurali e/o urbani- a monte della S.P. n. 326, evitando sovraccarichi idrici e sedimentologici della rete di valle e, in particolare, dei tombini ferroviari
- mantenere efficiente la rete emissaria a cielo aperto.

Infine, per quanto riguarda l'impianto di sollevamento, non si hanno allo stato elementi informativi sufficienti a valutarne l'efficienza.

==========

Prato, gennaio 2009 - revv. febbraio 2010 - settembre 2011 – maggio 2012

[130] Area cassa di laminazione *Bavecchi* (2007).