

SOMMARIO

1.	Introduzione	3
2.	Raccolta dei dati ed elaborazione.....	5
2.1.	Rilievi topografici	5
2.2.	Misure di portata e di livello	6
2.3.	Eventi di pioggia	9
2.4.	Informazione sugli scoli consorziali.....	11
3.	Inserimento dei dati in InfoWorks CS[®]	15
3.1.	Creazione della rete.....	17
3.2.	Tabella dei nodi e delle condotte	19
3.3.	Altri oggetti rappresentabili.....	24
3.3.1.	Orifizio	24
3.3.2.	Soglia	25
3.3.3.	Griglia	27
3.3.4.	Valvola di non ritorno.....	28
3.3.5.	Paratoia	29
3.3.6.	Pompa	31
3.4.	Creazione dei sottobacini e relative tabelle	32
3.5.	Profilo degli scarichi civili e distribuzione della popolazione.....	34
3.6.	Profili di pioggia	35
3.7.	Scelta dei parametri idrologici	37
3.7.1.	Perdite iniziali	37
3.7.2.	Modello ruscellamento e relativo coefficiente	38
3.7.3.	Metodologia afflussi/deflussi.....	39
3.8.	Inserimento dati di monitoraggio	42

4.	Descrizione della rete di Conselice e del suo modello InfoWorks	44
4.1.	Dati generali della rete	44
4.1.1.	I Bacini di Conselice	49
4.2.	Dati generali del modello	51
4.3.	I problemi iniziali e le successive modifiche	53
4.3.1.	Il depuratore e gli sfioratori	53
4.3.2.	I fossi e gli Scolì Consorziali	56
4.3.3.	I bacini scolanti degli Scolì Consorziali	58
4.3.4.	Le superfici dei bacini scolanti	59
5.	Modellazione e simulazione	61
5.1.	Le prime simulazioni	63
5.1.1.	MIS 1	63
5.1.2.	MIS 2	69
5.1.3.	MIS 3	73
5.1.4.	MIS 4	79
5.2.	I risultati successivi	83
5.2.1.	MIS 1	83
5.2.2.	MIS 2	86
5.2.3.	MIS 3	89
5.2.4.	MIS 4	92
6.	Conclusioni	95
6.1.	Stato della rete durante l'evento Check 1	96
6.2.	Stato della rete durante l'evento Check 5	100
6.3.	Conclusioni generali	104
7.	Ipotesi di miglioramento della rete	106
8.	Ringraziamenti	108

1. Introduzione

Per lo studente ritengo che la soluzione della tesi in azienda sia un'esperienza importante per conoscere il mondo del lavoro, pertanto al termine del tirocinio curriculare presso HERA Imola-Faenza Srl, ho chiesto la possibilità di svolgere la tesi di Laurea Specialistica.

Come Azienda Multiutility, in campo ambientale HERA è responsabile della progettazione e della gestione dei servizi idrici, tra cui l'efficienza delle reti fognarie del comprensorio. A questo riguardo, mi è stata offerto di elaborare un progetto relativo alla riqualificazione delle reti fognarie del Comune di Conselice, in provincia di Ravenna, soggette a criticità durante eventi meteorici rilevanti.

Il progetto si compone di varie fasi, sviluppate nel corso di un anno, a partire dalla raccolta di dati reali mediante campagne pluviometriche e misurazioni di portata e livello, e l'uso di InfoWorks CS, della Wallingford Software Ltd., per le simulazioni necessarie alla rappresentazione della situazione attuale e futura.

Il Comune di Conselice, in provincia di Ravenna, sorge nella Pianura Padana ad una quota assoluta sul livello del mare variabile tra 4 e 18 metri, per un estensione di 60 Km². Secondo fonti Istat al 31/12/2007, nel Comune risiedono 9608 persone, suddivisi in tre centri abitati, rispettivamente per importanza: Conselice, Lavezzola e San Patrizio. Mentre San Patrizio è a Sud di Conselice, Lavezzola dista circa 5 Km a Nord di Conselice.



I reflui del comune sono raccolti da due reti fognarie distinte che recapitano in due depuratori: Conselice (sigla Hera 32DP0009) per i reflui di Conselice e San Patrizio e quello Lavezzola (sigla Hera 32DP0010) per i reflui dell'abitato di Lavezzola.

In accordo con il tutore universitario e il referente aziendale, la presente tesi ha lo scopo di proporre ipotesi progettuali per limitare effetti di sovraccarico sulla rete fognaria, quindi al depuratore, e migliorare il deflusso puntuale della sola rete di Conselice capoluogo.

A seguire si allega la Planimetria Generale della rete.

2. Raccolta dei dati ed elaborazione

La prima fase del lavoro si concentra sullo studio del territorio e sul comportamento del refluo nelle condotte. La raccolta dei dati è fondamentale per determinare le condizioni attuali della rete, pertanto occorre valutare bene quali misure considerare e quali scartare per errori di misurazione strumentale o trascrizione errata al file.

2.1. Rilievi topografici

La banca dati di Hera Imola-Faenza Srl possiede già in formato *DWG* le quote assolute delle botole dei pozzetti e della profondità di scorrimento delle condotte, ma sono rilievi che necessitano di aggiornamenti e controlli, in quanto antecedenti il 1996, quando le reti erano gestite dall'AMI (Azienda Multiservizi Imolese). Disponendo della collaborazione del Geol. Sasdelli Davide, nell'estate 2007 si sono previste diverse campagne in sito mediante l'uso di una stazione totale, strumento computerizzato costituito da un teodolite (in grado di misurare angoli) accoppiato coassialmente con un distanziometro (in grado di misurare distanze).

Il caposaldo di riferimento, appartenente alla rete di livellazione del Consorzio della Bonifica della Romagna Occidentale, utilizzato per il rilievo di misure assolute di quota è posto sotto il porticato del Palazzo Comunale della città di Conselice, Via Garibaldi 14.

I rilievi hanno seguito di pari passo la raccolta di misure lineari di profondità e scorrimenti degli stessi pozzetti e condotte,

oltre che l'annotazione delle caratteristiche strutturali degli sfioratori esistenti, comprese la descrizione di eventuali griglie e clapet, e la loro funzionalità.

La sovrapposizione di tali dati ha permesso di definire nel miglior modo le condizioni generali della rete, e quindi accorgersi di anomalie sia strutturali che funzionali, necessarie anche alla Gestione Reti per agire sugli interventi di ripristino urgenti.

2.2. Misure di portata e di livello

La rete di Conselice e San Patrizio è una rete di tipologia mista, cioè nelle stesse condotte si ricevono acque nere degli scarichi urbani e acque bianche delle strade, con contributi rilevanti nei periodi di pioggia intensa. Questa rete è prevalentemente magliata, cioè esistono collegamenti tra le varie condotte che determinano flussi non sempre controllabili, in funzione sia dei sovraccarichi dovuti a diametri non idonei che delle pendenze, spesso insignificanti causa il territorio pianeggiante e i fenomeni di subsidenza.

La posizione dei misuratori di portata è quindi fondamentale per il corretto studio del comportamento del refluo. Nell'estate 2007 si definirono quattro posizioni-chiave, coincidenti con alcuni dei principali collettori fognari, pertanto i misuratori di portata furono installati nei pressi di quattro sfioratori.

I misuratori di portata utilizzati si basano sul principio ultrasuoni a correlazione, che misurano la velocità con un sensore che discretizza la sezione fluida, riuscendo a costruire il profilo della velocità lungo il battente fino a 16 finestre. Il sensore registra su un trasduttore il tempo di attraversamento dell'impulso

ultrasonico lungo direzioni oblique (+/- 3°) rispetto il filo della corrente.

Gli strumenti inoltre misurano il livello con un sensore ad ultrasuoni integrato e a battente idrostatico, mediante lo stesso principio di transizione temporale dell'impulso.

Per ridurre problemi di determinazione dell'angolo tra la corrente e la traiettoria del segnale, si posiziona la sezione di misura in un tratto rettilineo, dove si prevedono filetti fluidi paralleli e diretti. Possono esserci incertezze nelle misure, quando non si hanno tiranti d'acqua adeguati, che producono effetti di riflessione dell'impulso, in quanto il battente minimo necessario per effettuare un'affidabile misura di velocità è 6 cm. Valori di accuratezza dello strumento si aggirano a +/- 1% del valore misurato o +/- 5 mm/s.

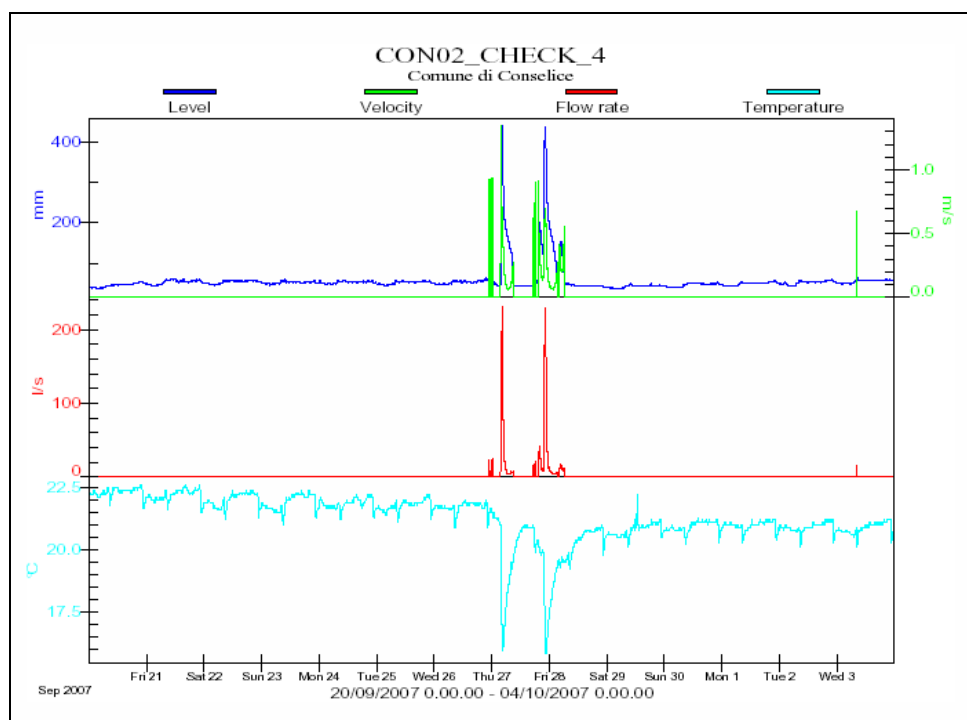
Il controllo della qualità dei dati è quindi importante e avviene sia in sede locale con sistemi di autodiagnostica, su range di valori accettabili di distanza, e successivamente in sede di trasmissione dei dati.

Nel periodo estate/autunno 2007 furono rilevati 6 check (5 misurazioni in condizione di eventi meteorici e 1 di tempo secco) e per ciascun Check sono indicati in 4 file excel di estensione CSV le misure di portata (l/s), di livello (mm), di velocità (m/s) e di temperatura (°C) effettuate e i rispettivi grafici in *PDF*.

Nella figura seguente si evidenzia il posizionamento dello strumento e la misurazione in tempo secco:



Di seguito si riporta come esempio i grafici del livello, velocità, portata e temperatura dell'evento meteorico Check_4 ottenuto dai dati del misuratore MIS2:



Nell'Allegato 01 sono individuati le posizioni dei misuratori installati cui ciascuno è assegnato un codice alfanumerico progressivo identificativo: MIS1, MIS2, MIS3 e MIS4.

2.3. Eventi di pioggia

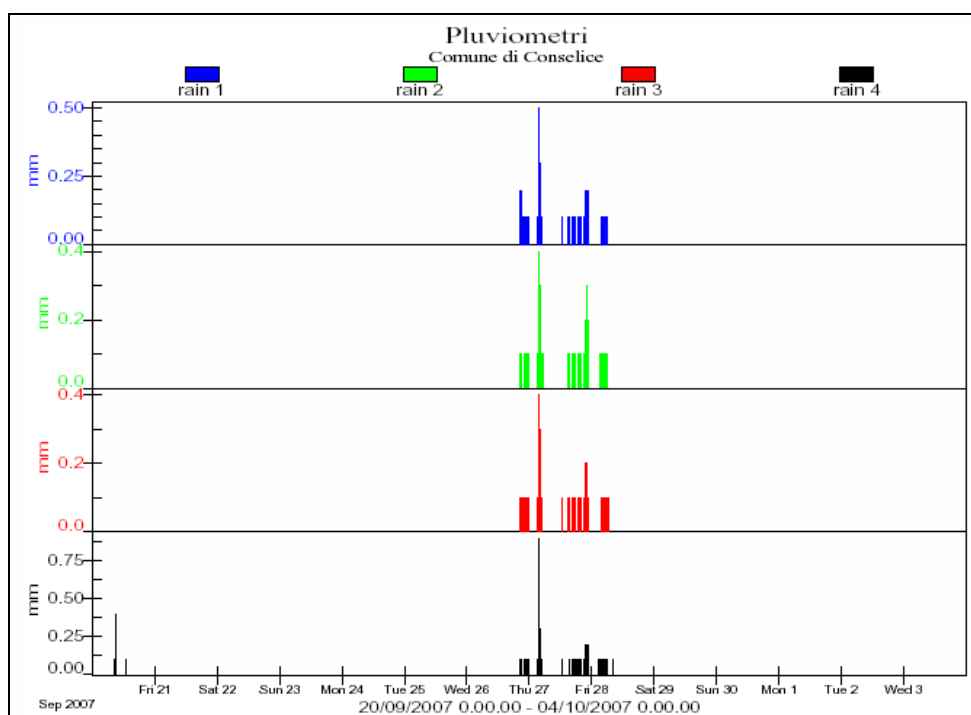
Per determinare le precipitazioni non ci si può accontentare dei dati pluviometrici della stazione più vicina, quella di Imola, ed elaborare le curve di possibilità climatica a diversi tempi di ritorno. Per avere delle informazioni puntuali, è necessario raccogliere i dati direttamente in campo, installando 4 misuratori pluviometrici del tipo a vaschetta basculante, in luoghi aperti e liberi da ostacoli.

Tale strumento è costituito da un contenitore cilindrico che convoglia l'acqua in una bilancia metallica o di plastica, incernierata in un punto, che si ribalta quando sono caduti 0,1 o 0,2 mm di pioggia. Ogni volta che la bilancia si svuota per il peso dell'acqua, un trasduttore registra il dato, pertanto si ha una funzione a gradini. Nel nostro caso si registrano ogni secondo il numero di ribaltamenti avvenuti.

In certi casi la lettura dei dati può risultare difficile. Se esiste una sola registrazione in un determinato intervallo temporale, si può interpretare che in quell'istante l'evento è stato come un unico e improvviso scroscio d'acqua o una pioggia fine dilazionata nel tempo. Queste incertezze possono influenzare la modellazione.

Nel periodo estate/autunno 2007 furono rilevati 5 eventi meteorici a diverse intensità e caratteristiche e per ciascun check sono indicati in file excel CSV le 4 misurazioni puntuali effettuate in mm e i rispettivi grafici in *PDF*.

Di seguito si riporta come esempio lo ietogramma dell'evento meteorico Check_4 ottenuto dai dati di tutti i pluviometri:



Nell'Allegato 02 sono individuati le posizioni dei pluviometri installati cui ciascuno è assegnato un codice alfanumerico identificativo: PLUV01, PLUV03 e PLUV04.

Il PLUV02 non fornisce indicazioni sulla rete in quanto installato nei pressi del depuratore.

2.4. Informazione sugli scoli consorziali

Il sistema di scolo delle acque meteoriche del Comune di Conselice, costituito da opere artificiali, ricade sotto la gestione del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, nel reparto idraulico Zaniolo-Buonacquisto. Tale rete scolante appartiene al bacino idrografico del collettore generale, denominato Canale di Bonifica in Destra di Reno.

Il Consorzio ha realizzato un'unica opera di difesa idraulica per il Comune di Conselice, che consente di ridurre le portate di piena del collettore Zaniolo, attraverso la laminazione delle acque del canale affluente Gambellara, che smaltisce le acque di pioggia di un vasto bacino urbanizzato nella periferia della città di Imola. L'opera in oggetto è una cassa d'espansione che consente di recapitare in Zaniolo dal Gambellara una portata massima di circa 20 m³/s. Nella tabella seguente si riassumono le caratteristiche della cassa di espansione:

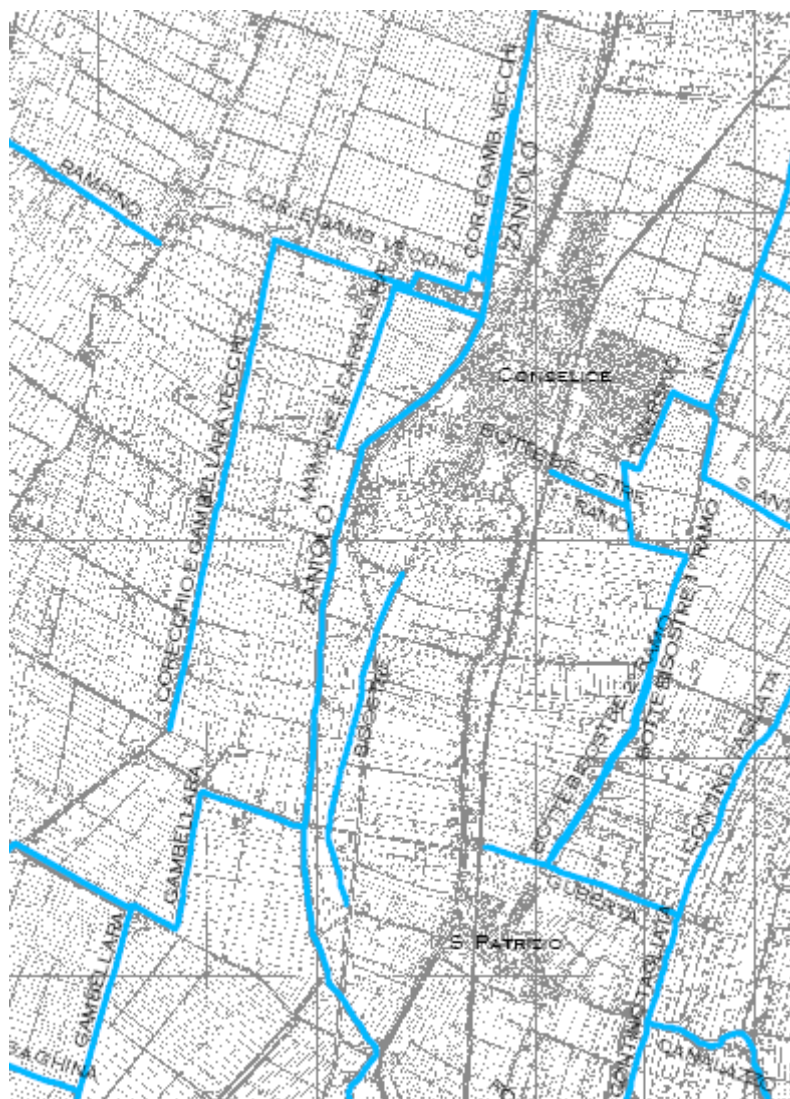
Denominazione: Cassa di espansione sul cavo di scolo Gambellara a protezione dell'abitato di Conselice		
Regione: Emilia Romagna	Provincia: Ravenna	
Comune/i interessato/i ⁽¹⁾ : Massa Lombarda		
Corso d'acqua ⁽²⁾ : Scolo consorziale Gambellara (Affluente dello scolo Zaniolo)	<input type="checkbox"/> asta principale	<input checked="" type="checkbox"/> affluente
Tipologia della cassa :	<input type="checkbox"/> in linea	<input checked="" type="checkbox"/> in derivazione
Numero di settori:	<input checked="" type="checkbox"/> sinistra idrografica: 1	<input type="checkbox"/> destra idrografica:
Quota di riferimento (m s.l.m.) ⁽³⁾ : 7.40	Tirante idrico medio (m): 2 m	
Capacità di invaso (m ³): 453.000m³	Superficie (m ²): 220.000 m²	
Superficie del bacino imbrifero alla sezione della cassa (km ²): 49 km²		
Portate di piena di progetto nel corso d'acqua con tempo di ritorno Tr= 50 anni	A monte della cassa (m ³ /s): 26	A valle della cassa (m ³ /s): 20
	<input checked="" type="checkbox"/> Difesa del territorio <input checked="" type="checkbox"/> Ambientale - naturalistica <input type="checkbox"/> Turistica-ricreativa-sportiva	
Utilizzazioni della cassa		

(1) Comuni sul cui territorio insiste la cassa. (2) Corso d'acqua su cui insiste la cassa. (3) Ad esempio quella della soglia dell'opera di ingresso o di uscita.

Lo scolo Zaniolo è il canale più importante nel Comune di Conselice, ma non è il solo che riceve le acque meteoriche. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei canali principali nel Comune di Conselice:

CANALE	DESTINAZIONE	AFFLUENTI PRINCIPALI	AFFLUENTI SECONDARI
Zaniolo	Destra Reno	Gambellara	
		Correcchio e Gambellara Vecchi	
		Montalbotto	
Diversivo in Valle	Destra Reno	Bisostre	
		Buonacquisto vecchio	
		Bentivoglio	Bisa
Frata	Destra Reno	Barbirone	
Principale di Lavezzola	Destra Reno		
Canaletta di Derivazione Zaniolo	Reno		
Fossatone Nuovo	Destra Reno	Contino Tagliata	Guberta

Limitando l'interesse alla rete di Conselice, solo alcuni di questi canali sono recettori delle acque di scolmo, in particolare il Diversivo in Valle e i suoi affluenti. Si riporta di seguito la mappa degli Scoli Consorziali esistenti a Conselice:



Un altro canale importante che attraversa il territorio di Conselice è il Canale dei Molini, prevalentemente intubato, gestito dal “Consorzio irriguo di miglioramento fondiario degli utenti del Canale dei Molini di Imola e Massalombarda”. L’ente funzionale territoriale, istituito nel 1936, riunisce gli utenti derivatari delle acque per usi irrigui e vari a carattere agricolo ed ha lo scopo di provvedere all'esercizio di derivazione dell'acqua del Santerno, di proprietà demaniale, per tutto il corso del canale; alla disciplina delle utenze irrigue e varie; alla manutenzione delle opere di presa e alla costruzione delle opere necessarie per la difesa e miglioria del corso d'acqua.

Il Canale dei Molini nasce a Codrignano come derivazione del Santerno e termina, attraversando i Comuni di Imola, Mordano, Massalombarda, Conselice e Argenta, al Ponte della Bastia dove scarica le sue acque nel fiume Reno.

Tale canale non incide sulla rete fognaria di Conselice.

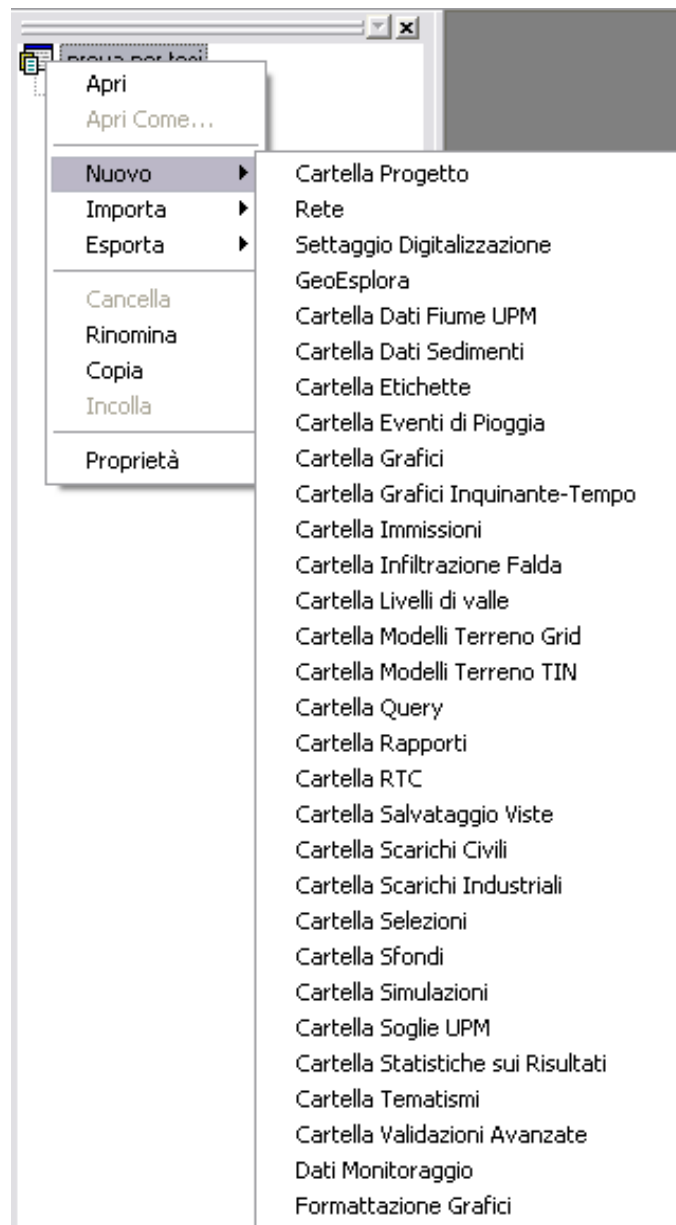
3. Inserimento dei dati in InfoWorks CS[®]

Per studiare la rete fognaria di Conselice si è scelto di utilizzare InfoWorks CS[®] della Wallingford Software Ltd, che fornisce le migliori soluzioni per l'ingegneria idraulica.

La compatibilità del software nei confronti di altri è molto elevata e le esigenze dell'utente nel campo idraulico e idrologico sono soddisfatte, pertanto le simulazioni effettuate possono ritenersi buone ed efficaci.

L'utilizzo del software prevede la creazione di un Database Master centralizzato con estensione *IWM* in cui risiedono tutti i dati e può essere condiviso da più utenti, e la creazione di una Local Root nel disco fisso locale, come directory temporanea.

La creazione del Gruppo Progetto permette di cominciare il lavoro di inserimento dei dati, attraverso cartelle di lavoro come nella figura seguente:



3.1. Creazione della rete

La base cartografica di Hera è basata su modelli in formato *DWG*, dove sono individuate le mappe, come blocchi, e i disegni delle reti fognarie, come blocchi e attributi. L'intera rete di Conselice, compresa San Patrizio, si espande in più disegni in scala 1:2000 con riferimenti alla Carta Tecnica Regionale. Per poter unire e quindi modificare i vari disegni, occorre aprire le mappe-base come *XRIF* ed esplodere il blocco. Il passaggio da AutoCad a InfoWorks avviene mediante l'esportazione di file shape (*SHP*), attraverso lo strumento Esporta dal menù Map.

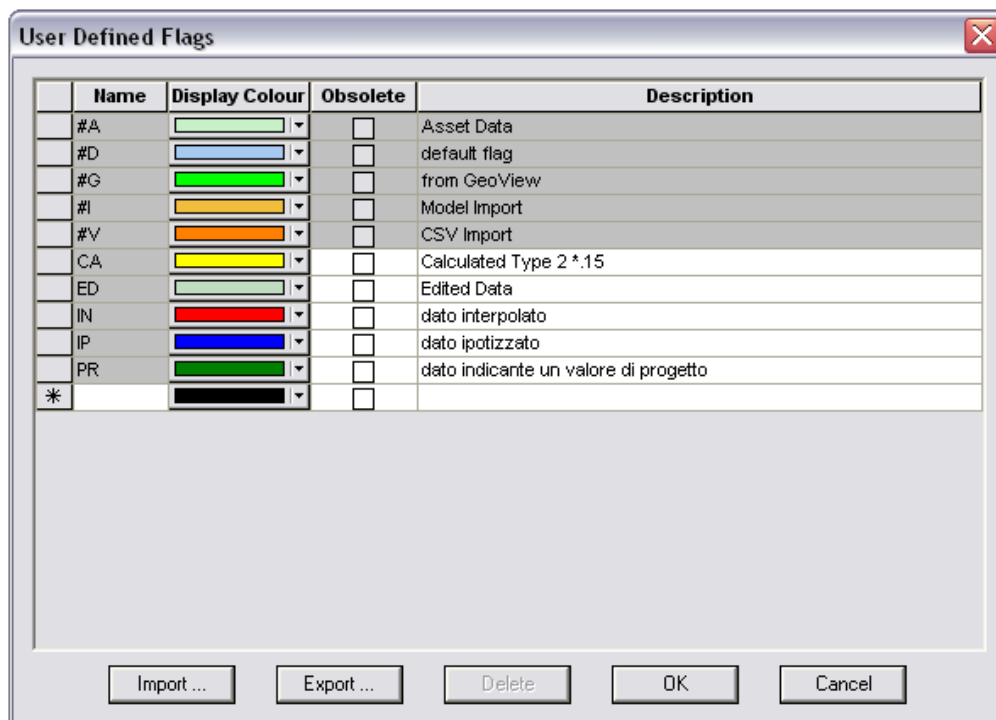
Il sistema di gestione di Hera prevede che ciascun elemento fognario sia indicato da un codice di identificazione. Le descrizioni degli elementi lineari sono scritte come TESTO e associate a diversi layers (ad esempio, per le condotte sono indicate le sezioni, i diametri, i materiali e la lunghezza). Gli elementi puntuali sono individuati come ATTRIBUTI, anch'essi associati a diversi layers, e rappresentano le caratteristiche delle condotte e dei pozzetti, oltre che delle caditoie, bocche di lupo, idrovore e depuratori.

Si esportano solo i dati di importanza, come riassunti nella seguente tabella:

ATTRIBUTO POZZETTI		
blocco	CAM 1	nome file - pozzetto -
etichetta	CAM PROF	numero pozzetto profondità
blocco	CAM 2	nome file - camerette -
etichetta	CAM PROF	numero pozzetto profondità
blocco	CAM 5	nome file - sfioratori -
etichetta	CAM PROF	numero pozzetto profondità

ATTRIBUTO CONDOTTA		
blocco	PUN2	nome file
etichetta	DN	diametro nominale
	MAT	materiale
	BNM	tipo d'acqua (bianca, nera, mista)
	QGIM	quota di fondo a monte
	QGIV	quota di fondo a valle

Alcuni dati sono incompleti, pertanto si necessita di verificare le connessioni della rete e interpolare i dati mancanti, mediante l'uso delle Flags, indispensabili per riconoscere le modifiche effettuate da quelle di default:



3.2. Tabella dei nodi e delle condotte

Una volta introdotta la rete e le informazioni importate, le tabelle descrittive dei nodi e delle condotte di InfoWorks richiedono altri parametri importanti, alcuni di default altri da specificare direttamente.

Si riassumono nella seguente tabella i campi importanti della tabella dei nodi:

NODO			
	CAMPI	DESCRIZIONE	NOTE
CODICE	ID Nodo	codice alfanumerico	Non possono esserci due nodi con lo stesso nome
TIPOLOGIA	Tipo di Nodo	Manhole: pozzetto di fognatura, Break: privo di volume, Outfall: punto di recapito finale della rete.	
	Tipologia	Mista, Nera, Bianca, Non classificata, Overland (sistema di scorrimento superficiale)	
COORDINATE E QUOTE	Coordinate	coordinata X e Y del punto	Sono determinate dalla posizione geografica importata
	Livello Piano Campagna	Livello assoluto del piano campagna (m slm)	
	Livello Fondo pozzetto	Livello assoluto del fondo pozzetto (m slm)	
GEOMETRIA	Area Cameretta	mq	
	Area Torrino	mq	
ALLAGAMENTO	Livello Allagamento	Livello al quale comincia l'esondazione superficiale (m slm)	

	Tipo di Allagamento	Determina il comportamento dell'acqua quando raggiunge il livello di esondazione: Sealed (pozzetto sigillato, la rete va in pressione anche oltre il PC), Lost (l'acqua esondata viene persa), Stored (l'acqua rimane in superficie finché le condizioni idrauliche lo permettono)	
	Area Allagabile	Area massima allagabile durante l'esondazione (ha).	Se non specificato, quando il livello raggiunge il valore critico si crea una colonna d'acqua.

Nel modello i nodi non solo rappresentano pozzetti fognari, ma anche punti di invaso, come vasche di prima pioggia, vasche di laminazione, casse di espansione, vasche di aspirazione delle pompe, etc.

La presenza di un outfall è essenziale per poter procedere alla simulazione del modello. Nel nostro caso gli outfalls sono individuati dagli scolmatori e dal depuratore.

Le caratteristiche geometriche, se non definite dall'utente, vengono imposte da InfoWorks in funzione delle dimensioni dei tubi in ingresso ed uscita, mediante la formula seguente:

$$A = \frac{\pi}{4}(W + 0.762)^2$$

dove:

A = area (m²)

W = larghezza condotta (m)

L'allagamento è un campo importante per riconoscere le porzioni di rete idraulicamente critiche. InfoWorks definisce il livello di allagamento come il piano campagna e l'area soggetta ad allagamento come l'area del bacino scolante. Se non è stato

attribuito nessun bacino scolante a quel nodo, occorre specificare un'area ragionevole di contribuzione.

Si riassumono nella seguente tabella i campi importanti della tabella delle condotte:

CONDOTTA			
	CAMPI	DESCRIZIONE	NOTE
CODICE	ID Nodo di Monte	codice alfanumerico	Identificativo del nodo di monte
	Suffisso Lato	differenzia due o più tubi paralleli	
	ID Nodo di Valle	codice alfanumerico	Identificativo del nodo di valle
TIPOLOGIA	Tipologia	Mista, Nera, Bianca, Non classificata, Overland (sistema di scorrimento superficiale)	
QUOTE	Livello Scorrimento di Monte	Livello assoluto dello scorrimento del tubo nell'estremità di monte (m slm)	
	Livello Scorrimento di Valle	Livello assoluto dello scorrimento del tubo nell'estremità di valle (m slm)	
PERDITE DI CARICO (MONTE E VALLE)	Tipo di Perdita di Carico Localizzata	Normal (per i pozzetti ben costruiti), High (per pozzetti mal costruiti), Fixed (perdita di carico invariabile con il grado di riempimento), None (nessuna perdita, per nodi senza struttura fisica)	Per Normal e High, la perdita varia con il grado di riempimento raggiungendo il max quando il tubo è a 1,5 volte il suo max riempimento, poi torna a diminuire per alti sovraccarichi.
	Coefficiente di Perdita Localizzata	Funzione dell'angolo di approccio	IW impone valore 1
GEOMETRIA E FORMA	Lunghezza	lunghezza del tubo (m)	default
	ID Forma	Forma del tubo: circolare, ovoidale, sezione quadra o rettangolare, sezione ad archi o a volte	
	Larghezza	Larghezza del condotto (mm)	

	Altezza	Altezza del condotto (mm)	se è circolare, InfoWorks la impone per default
SCABREZZA	Tipologia	Formula di Colebrook-White, Manning e 1/Manning	
	Scabrezza del Fondo	Valore per 1/3 della sezione	
	Scabrezza della Volta	Valore per 2/3 della sezione	
	Materiale	Acciaio, Cemento, Cls, PVC, etc	
	Pendenza	Gradiente (m/m)	calcolato da InfoWorks
	Modello di Soluzione	Full (per funzionamenti senza instabilità numeriche) e Pressure (per tubi sempre in pressione)	

Un condotto è un elemento lineare, ovvero collega un nodo ad un altro nodo, e nel modello si rappresentano sia tubi che canali a cielo aperto e condotte di mandata in pressione, oltre che condotte di attraversamenti stradali o ferroviari, dove si specifica che il modello di soluzione è in pressione.

Le equazioni che governano il modello delle condotte sono le Equazioni di De Saint-Venant:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\cos \theta \frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + \frac{Q |Q|}{K^2} \right) = 0$$

dove

Q = portata (m³/s)

A = area della sezione trasversale (m²)

g = accelerazione di gravità (m/s²)

θ = angolo rispetto l'orizzontale (gradi)

S₀ = pendenza

K = trasporto

La perdita di carico è calcolata sia nella volta della condotta, per rappresentare l'energia persa dalle turbolenze presenti tra il pozzetto e la condotta, che al fondo della condotta, per rappresentare la perdita di transizione dalla condotta al pozzetto. Come è noto, la turbolenza maggiore è nella volta e la perdita viene sempre calcolata rispettando il verso del flusso dal pozzetto al condotto. Il coefficiente di perdita di monte/valle della condotta è funzione dell'angolo di uscita/immissione della condotta al nodo, rispetto alla condotta precedente/successiva: più è elevato l'angolo, più il fattore di perdita è maggiore. Se nello stesso nodo recapitano più condotte, si sommano i contributi di perdita.

Un altro campo da approfondire è quello relativo alla scabrezza, strettamente correlata alle perdite di carico. Il parametro scabrezza viene definito da InfoWorks sia dall'equazione di Colebrook-White che dall'equazione di Manning, ciascuna caratterizzata da specifici valori di scabrezza in funzione del materiale. La formulazione di Manning rappresenta il metodo Gauckler-Strickler, ben più comune e di facile lettura.

Si ricorda la formula di Chezy:

$$v = kR^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}}$$

dove:

v = velocità (m/s)

k = coefficiente di scabrezza Gauckler-Strickler ($m^{1/3}s^{-1}$)

i = pendenza condotta/canale (m/m)

R = raggio idraulico, pari al rapporto Area bagnata/Perimetro bagnato (m)

3.3. Altri oggetti rappresentabili

La rete deve essere il più realistica possibile, pertanto InfoWorks permette di definire elementi di dettaglio.

3.3.1. Orifizio

Un orifizio è rappresentativo di una sezione ristretta con una lunghezza trascurabile nella direzione del moto, ad esempio una bocca tarata o dove esistono importanti restringimenti di sezione per un breve tratto di tubo. Nel modello questo elemento è lineare. Si riassumono nella seguente tabella i campi importanti della tabella relativa:

ORIFIZIO		
CAMPI	DESCRIZIONE	NOTE
Tipologia	Orifizio tradizionale o telecontrollato	
Livello dello scorrimento	m slm	
Diametro		se non è circolare, usare il diametro equivalente
Coefficiente di deflusso	IW usa questo coefficiente quando l'orifizio funzione a sezione piena	
Portata limite	Massima portata a cui si permette di passare a valle (mc/s).	se non si specifica, IW userà formule appropriate e calcolerà la portata massima in funzione delle condizioni idrauliche della rete.

Sotto libere condizioni di deflusso, assumendo un pieno e sommerso orifizio a monte, il modello che governa le caratteristiche del flusso (m^3/s) è:

$$Q = Cd * A_0 \sqrt{g} (D_0)^{\frac{1}{2}}$$

dove

Cd = coefficiente di deflusso

A_0 = area della sezione trasversale dell'orifizio (m^2)

g = accelerazione di gravità (m/s^2)

D_0 = diametro dell'orifizio o equivalente, se non circolare (m).

Se, invece, l'orifizio è sommerso da valle, allora l'equazione diventa:

$$Q = Cd * A_0 \sqrt{g} (D_u - D_d)^{\frac{1}{2}}$$

dove

D_u = altezza del livello di monte (m)

D_d = altezza del livello di valle (m).

Il valore del coefficiente di deflusso può essere determinato da una formula empirica, in funzione del rapporto tra A_0 e l'area del tubo dal quale l'orifizio defluisce. Il valore di default è pari a 1, ma tipicamente varia tra 0,2 e 3,0.

3.3.2. Soglia

La soglia è un elemento lineare che IW descrive con l'equazione della soglia sfiorante. Si riassumono nella seguente tabella i campi importanti della tabella relativa:

SOGLIA		
CAMPI	DESCRIZIONE	NOTE
Tipologia	Ci sono 7 tipologie. La classica è Weir, cioè soglia normale a parete sottile	
Cresta	Quota di impostazione della soglia (m slm)	quando viene raggiunta, la soglia inizia ad agire
Larghezza	m	
Coefficiente di Deflusso	Occorre specificarlo per tener conto dell'orientamento della soglia (trasversale, laterale,...)	

Ci sono due condizioni di flusso possibile:

- flusso libero: il livello di valle non dipende dal livello di monte. Questo accade quando il livello di valle è sotto la cresta;
- flusso affogato: il livello di valle dipende dal livello di monte. Questo accade quando il livello di valle è sopra la cresta.

Nel primo caso, il flusso è governato dall'equazione di Kindsvater e Carter:

$$Q_0 = C_d \sqrt{g} B D_u^{\frac{3}{2}}$$

dove

Q_0 = libero deflusso in uscita

C_d = coefficiente di deflusso

g = accelerazione di gravità (m/s^2)

B = larghezza della soglia

D_u = livello di monte, rispetto la cresta

Nel secondo caso, il flusso è governato dall'equazione di Kindsvater e Carter, dove il valore di D_d è maggiore di zero:

$$Q_0 = C_d \sqrt{g} B D_u (D_u - D_d)^{\frac{1}{2}}$$

dove

D_d = livello di valle, rispetto la cresta

In entrambi i casi, il valore di default del coefficiente di deflusso è 0,85 per una soglia di larghezza pari a quella del canale e tipicamente varia tra 0,2 e 3,0.

3.3.3. Griglia

La griglia introduce una perdita di carico, ad esempio in ingresso ad un sollevamento o ad un depuratore, utilizzando una formulazione empirica nota, la formula di Kirschmer. Nel modello questo elemento è lineare. Si riassumono nella seguente tabella i campi importanti della tabella relativa:

GRIGLIA		
CAMPI	DESCRIZIONE	NOTE
Cresta	Livello di base della griglia (m slm)	livello minimo che se raggiunto consente all'acqua di passare a valle
Larghezza	La larghezza complessiva (m)	la somma di tutte le spaziature
Altezza	L'altezza complessiva (m)	se viene raggiunta e superata dal fluido, questo non è più grigliato
Angolo	Angolo di installazione (gradi °)	zero se la griglia è verticale
Fattore Forma Kirschmer	coefficiente della formula di Kirschmer	in funzione del tipo di barre
Larghezza Barre	Spessore della singola barra in senso trasversale al moto (mm)	
Spaziature barre	Luce libera tra le barre (mm)	

La formula di Kirschmer è:

$$\Delta h = \frac{k * v^2}{2g} \quad \text{dove} \quad k = C_k \cos \alpha \left(\frac{w}{S} \right)^{\frac{4}{3}}$$

dove

Δh = differenza tra livello di monte e di valle

v = velocità

g = accelerazione di gravità

k = coefficiente di perdita

α = angolo della griglia rispetto la verticale

w = larghezza delle barre (mm)

S = spaziatura tra le barre (mm)

C_k = coefficiente di Kirschmer, funzione della forma della barra, come indicato nella seguente tabella di default:

COEFFICIENTE DI KIRSCHMER	
Barre rettangolari	2,42
Barre semicircolari	1,83
Barre circolari	1,79

Il flusso che attraversa la griglia è descritto dalla seguente formula:

$$Q = C_d * b \sqrt{2gh_1} \sqrt{(h_1 - h_2)} \text{ dove } C_d = \frac{1}{\sqrt{k}}$$

dove

C_d = coefficiente di deflusso

b = effettiva larghezza della griglia, compreso lo spazio totale tra le barre

h_1 = l'altezza di monte, rispetto la cresta della griglia

h_2 = l'altezza di valle, rispetto la cresta della griglia.

3.3.4. Valvola di non ritorno

Una valvola di non ritorno è un manufatto che impedisce di andare in senso contrario a quello prestabilito, è quello

rappresentativo di dispositivi tipo clapet. Nel modello questo elemento è lineare. Si riassumono nella seguente tabella i campi importanti della tabella relativa:

VALVOLA DI NON RITORNO		
CAMPI	DESCRIZIONE	NOTE
Livello di Scorrimento	Livello dell'estremità inferiore (m slm)	
Diametro	Diametro della valvola di non ritorno (m)	
Coefficiente di deflusso		IW impone il valore 1

Le caratteristiche del flusso (m^3/s) nella direzione positiva sono governate dal seguente modello:

$$Q = \frac{1}{Cd} * Am * Vm$$

dove

Am = area media della sezione trasversale (m^2)

Vm = velocità media (m/s)

Cd = coefficiente di deflusso

La velocità media e il coefficiente di deflusso sono funzione delle perdite attraverso la valvola. In particolare il valore di Cd è di default pari a 1 se la valvola è in acciaio, mentre assume valori inferiori se la valvola è in materiale plastico. Il coefficiente ha valori compresi tra 0,01 e 1.

3.3.5. Paratoia

La paratoia rappresenta una struttura di controllo costituita da una paratoia rettangolare. Si riassumono nella seguente tabella i campi importanti della tabella relativa:

PARATOIA		
CAMPI	DESCRIZIONE	NOTE
Tipologia	Sluice: paratoia fissa, VS Gate: paratoia motorizzata	
Livello Scorrimento	Livello di scorrimento di base della paratoia (m slm)	
Larghezza	m	
Coefficiente di Deflusso	IW usa questo coefficiente quando la paratoia è completamente sommersa	
Apertura	Apertura in senso verticale (m)	

Il flusso (mc/s) sotto libere condizioni di deflusso è governato dalla seguente equazione:

$$Q = C_d \sqrt{g} B H D_u^{\frac{1}{2}}$$

dove

C_d = coefficiente di deflusso

g = accelerazione di gravità (m/s^2)

B = larghezza dell'apertura (m)

H = altezza dell'apertura (m)

D_u = altezza del livello di monte (m)

Il flusso in condizioni annegate è governato dalla seguente equazione:

$$Q = C_d \sqrt{g} B H (D_u - D_d)^{\frac{1}{2}}$$

dove

D_d = altezza del livello di valle (m)

Se la profondità a monte è minore dell'apertura, la simulazione applica il modello della soglia, con esponenti maggiori. Il tipico valore di default per il coefficiente di deflusso è 1.

3.3.6. Pompa

La pompa rappresenta un dispositivo di sollevamento. Nel modello questo elemento è lineare. Si riassumono nella seguente tabella i campi importanti della tabella relativa:

POMPA		
CAMPI	DESCRIZIONE	NOTE
Tipologia	Fixpmp: solleva una portata fissa (il calcolo non si basa sul punto di lavoro), Rotpmp: permette di includere una curva caratteristica della pompa (il calcolo si basa sul punto di lavoro e si rappresenta la condotta di mandata come tubo in pressione), Scrpmp: sollevamenti a vite di Archimede (in funzione delle condizioni di tirante nella sezione di carico), Vspmp: a velocità variabile (telecontrollo).	
Livello di Accesso	Livello di accensione della pompa (m slm)	
Livello Spento	Livello di spegnimento (m slm)	
Portata	mc/s	disponibile solo per Fixpmp e Vspmp
Livello Base	Rappresenta il livello assoluto dell'acqua per cui la macchina inizia a sollevare, di default è lo stesso livello di spento (m slm)	disponibile solo per Scrpmp
Tabella Prevalenza/Portata	Descrittiva del funzionamento dei vari regimi	

Una pompa è controllata dai livelli di accensione e spegnimento, in funzione del livello del refluo nel nodo di monte. La pompa comincia a funzionare quando il livello del refluo è sopra il Livello di Acceso e continua finché il refluo arriva sotto al Livello Spento. Il Livello di Acceso deve essere maggiore del Livello Spento.

Una pompa funziona sempre da monte a valle, quindi è importante scegliere correttamente la direzione di flusso.

3.4. Creazione dei sottobacini e relative tabelle

La *Tabella Sottobacini* di InfoWorks è complessa, ma completa di parametri fondamentali per la definizione del territorio.

I sottobacini rappresentano delle aree di pertinenza dei singoli pozzetti, in cui InfoWorks calcola afflussi e deflussi. La costruzione dei sottobacini avviene in diversi modi, ma la qualità del modello dipende dal dettaglio e quindi dalla dimensione dei sottobacini, che si consiglia essere maggiore di 0,1 ha e inferiore a 2 ha.

L'assegnazione dei parametri idrologici avviene mediante la suddivisione di ciascun sottobacino in superfici scolanti, che sono descrittive di strade, tetti e aree verdi (quindi superfici impermeabili e non) e di un codice identificativo dell'uso del suolo (ad esempio: urbano, industriale, etc...).

Le superfici scolanti, che si possono esprimere sia in percentuale che in valore assoluto (ha), devono essere caratterizzate da diversi parametri, relativi a 3 processi di trasformazione:

- a) perdite iniziali (pioggia che viene persa nelle depressioni superficiali e per infiltrazione);
- b) trasformazione pioggia netta/portata (la pioggia caduta si relaziona con un idrogramma);
- c) ruscellamento.

Nella seguente tabella si riassumono i parametri importanti richiesti:

CAMPO	PROCESSO DI TRASFORMAZIONE	DESCRIZIONE
ID tipologia di superficie		numero univoco
Tipologie Perdite Iniziali	a	ci sono 3 metodi: quello classico Slope tiene conto della pendenza
Valore delle Perdite Iniziali	a	IWCS consiglia dei valori per Slope
Pendenza del terreno (m/m)	a, b	dipende dalla superficie. ad esempio: per IWCS i tetti valgono 0,05
Metodologia Afflussi/Deflussi	b	ci sono diversi metodi: quello classico è il Fixed
Modello Ruscellamento	c	ci sono diversi metodi: quello classico Wallingford rappresenta il trasferimento al nodo con due invasi lineari in cascata
Tipo Modello Ruscellamento	c	relativo (calcolato) o assoluto (definito dall'utente)
Coeff. Ruscellamento	c	

Per ciascuna metodologia afflusso/deflusso si devono compilare i coefficienti relativi, consigliati come tipici valori da IWCS.

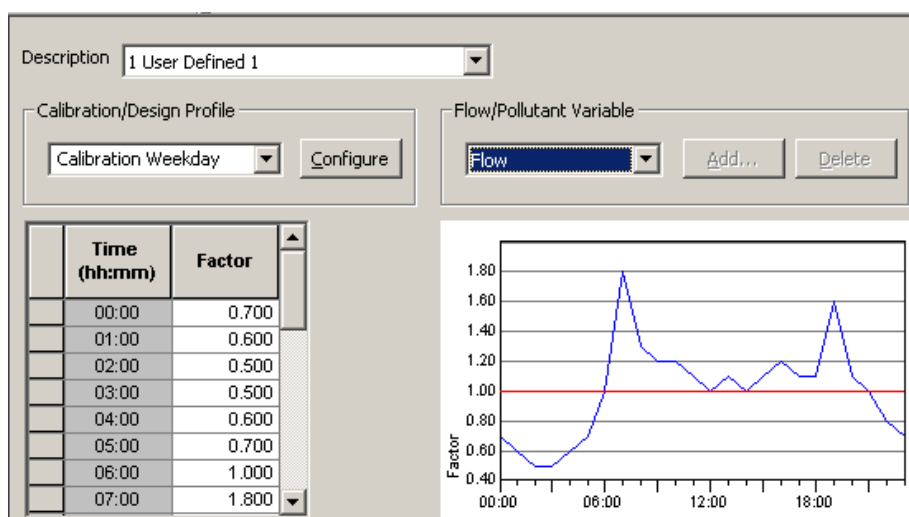
In conclusione, compilata la precedente *Tabella delle Superfici Scolanti*, definisco nella *Tabella Uso del Suolo* i codici univoci identificativi a cui assegnare i codici di superficie presenti in quell'uso. Vengono quindi richiamate in ciascun sottobacino nella *Tabella Sottobacini*, sia l'uso del suolo che le superfici relative.

3.5. Profilo degli scarichi civili e distribuzione della popolazione

Lo scarico civile di ciascuna utenza, e quindi la percentuale di popolazione effettivamente collegata alla rete che insiste in un determinato sottobacino, è calcolato in base al consumo pro-capite. Il procedimento utilizzato si riassume come segue:

Dati i consumi reali e puntuali di ciascuna utenza registrati da Hera, è stato possibile sovrapporli ai sottobacini del modello, tale per cui ciascun sottobacino avesse la somma dei consumi. Ipotizzando una dotazione idrica pari a 200 l/d, si è calcolato la popolazione teorica che genera quel consumo.

Si ottiene un profilo osservato nelle 24 ore giornaliere, valido per ogni giorno della settimana:



Nella Tabella Uso del Suolo si identifica il Profilo Scarichi Civili mediante un codice numerico, che viene richiamato nella Tabella Sottobacini.

Nella stessa tabella si assegna la Densità di Popolazione, da cui si calcola la popolazione per ogni sottobacino in funzione delle portate nere.

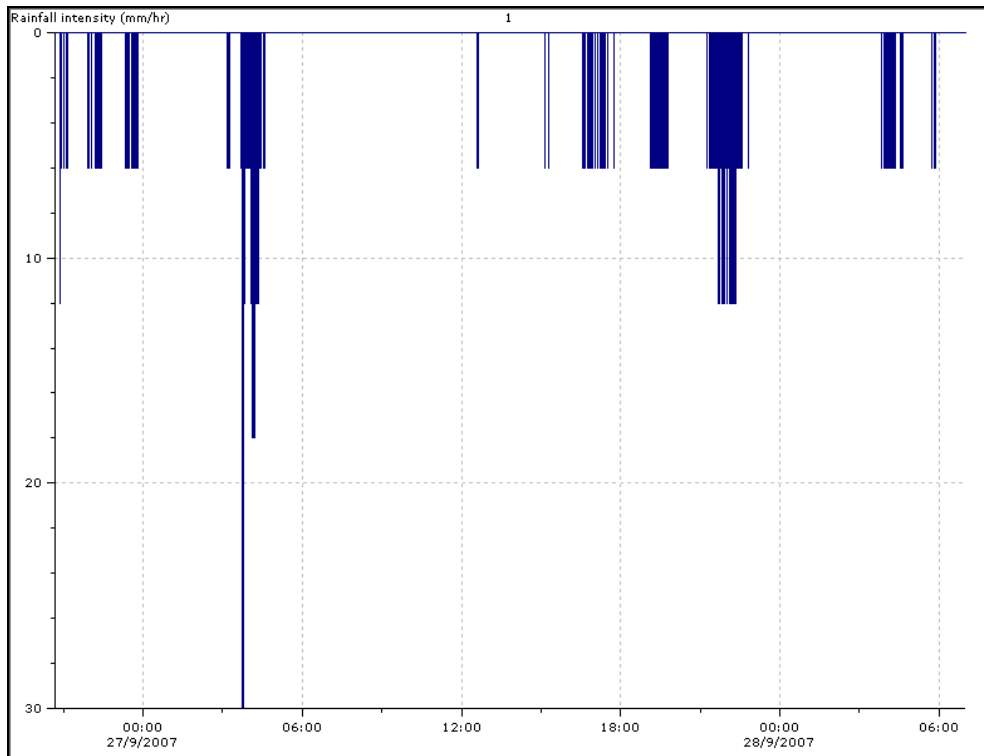
3.6. Profili di pioggia

La distribuzione dei dati pluviometrici sul territorio avviene mediante la regola dei poligoni di Thiessen: questo metodo puntuale permette di suddividere geometricamente lo spazio in zone di pertinenza di ogni punto noto.

Le posizioni dei quattro pluviometri vengono individuati in planimetria e collegati tramite segmenti. Si tracciano poi gli assi di questi segmenti, lunghi a sufficienza per intersecare gli altri assi. In questo modo si creano dei poligoni che hanno al loro interno un solo pluviometro.

La colonna Profilo di Pioggia nella Tabella Sottobacini associa a ciascun sottobacino il pluviometro di pertinenza, mediante un codice numerico, tale per cui a ciascun profilo è associato la tabella e il grafico relativo all'intensità di pioggia (mm/h) dell'evento temporale.

Di seguito si riporta come esempio lo ietogramma dell'evento meteorico Check_4 ottenuto dai dati del pluviometro PLUV01:



3.7. Scelta dei parametri idrologici

3.7.1. Perdite iniziali

La prima pioggia di un evento meteorico si accumula nelle depressioni superficiali, umidifica il terreno e si infiltra, in funzione del tipo di superficie e della pendenza. Questo fenomeno rappresenta le perdite iniziali del modello di InfoWorks.

Nella Tabella delle Superfici Scolanti ci sono tre tipologie di perdite iniziali, riassunte nella seguente tabella:

PERDITE INIZIALI	
TIPOLOGIA	VALORE
Absolute	Profondità del deposito nella depressione (m)
Slope	Il deposito nella depressione dipende dalla pendenza
SCS	Il valore è proporzionale alla profondità del deposito trattenuto

InfoWorks consiglia di default il metodo **Slope**, il cui coefficiente è ricavabile dalla seguente equazione:

$$D = \frac{k}{\sqrt{S}}$$

dove

D = profondità media delle perdite iniziali (m)

k = coefficiente di perdita (m),

S = pendenza della superficie (m/m)

Nelle tabelle si riportano i valori di default consigliati da IWCS:

VALORI DI k	
TIPO DI SUPERFICIE	VALORE
Tetti e strade	0,000071
Superfici permeabili	0,00028

VALORI DI S	
TIPO DI SUPERFICIE	VALORE
Tetti	0,05
Terreno	m/m

3.7.2. Modello ruscellamento e relativo coefficiente

In ogni bacino si possono attribuire specifiche caratteristiche di deflusso superficiale, descrivendo per ogni superficie presente un modello.

InfoWorks consiglia di default il metodo **Wallingford**, dove il flusso al nodo è regolato da due serbatoi lineari in serie ed i coefficienti dipendono dall'intensità di pioggia, dalla contribuzione dell'area e dalla pendenza della superficie. Il coefficiente relativo ha i seguenti valori di default:

TIPO MODELLO RELATIVO	
SUPERFICIE	VALORE
Strade	1
Tetti	1
Permeabile	4

La variazione dei coefficienti di ruscellamento agisce sulla laminazione dell'evento simulato.

3.7.3. Metodologia afflussi/deflussi

Definite le perdite iniziali, il modello afflusso/deflusso determina quanta pioggia caduta contribuisce alla rete.

Il termine *afflusso* indica il rapporto tra il volume di pioggia che in un certo intervallo di tempo è piovuto su tutto il bacino e l'area del bacino stesso, a partire dai valori di precipitazione misurati dalle stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino stesso.

Il termine *deflusso* definisce il rapporto tra il volume d'acqua che in un certo intervallo di tempo è transitato nella sezione di chiusura del bacino e l'area del bacino stesso.

La perdita del bacino è la differenza tra l'afflusso meteorico e il deflusso.

Potendo definire con buona approssimazione le percentuali delle superfici presenti in ciascun sottobacino, si sceglie il metodo classico **Fixed** per la semplice formulazione, basata sull'assunzione di un solo parametro ideologico. Metodi più complessi risultano di difficile gestione.

Il metodo si basa sull'ipotesi che una quota parte costante e invariabile della pioggia netta, che colpisce la superficie, viene indirizzata in fognatura, mentre il resto viene persa o si infiltra (perdite iniziali).

Questo modello è valido per aree impermeabili, e per aree permeabili dove l'afflusso non varia significativamente rispetto la condizione precedente l'evento meteorico.

I range dei valori del coefficiente di deflusso/afflusso Fixed consigliati da IW sono riassunti nella seguente tabella:

SUPERFICIE	VALORE MIN %	VALORE MAX %
Permeabile	0	55
Impermeabile	0	100

Nel nostro caso per aree permeabili si opta per il metodo **Horton**, ben conosciuto e rappresentabile da quattro parametri che definiscono le caratteristiche idrologiche della superficie.

Il modello di infiltrazione Horton è dato dalla seguente formula empirica, che esprime il modo in cui varia la velocità di infiltrazione nel tempo durante l'evento:

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

dove

f_0 = infiltrazione iniziale (mm/h)

f_c = infiltrazione limite finale (mm/h)

k = coefficiente di decadimento (1/h).

La legge di Horton vale solo se durante l'evento l'intensità di precipitazione è sempre maggiore della velocità di infiltrazione. Se invece l'intensità di precipitazione è talvolta inferiore alla velocità di infiltrazione, il terreno non potrà più imbibirsi tanto quanto sarebbero le proprie potenzialità e la legge di Horton non è più valida.

Per correggere questo difetto si utilizza l'equazione dell'infiltrazione potenziale di Horton in forma integrata.

L'equazione di Horton si può esprimere anche in funzione dell'umidità del terreno mediante la formula:

$$f = f_0 - \theta k$$

che fornisce una soluzione diretta se durante l'evento meteorico l'intensità di pioggia caduta è inferiore alla capacità di infiltrazione potenziale.

Tipici valori consigliati da IW sono riassunti nella seguente tabella:

TIPOLOGIA TERRENO	DEFINIZIONE	f0 (mm/h)	fc (mm/h)	k (1/h)	fattore di recupero (1/h)
A - sabbie profonde con scarso limo e argilla, ghiaie profonde	alta percentuale di infiltrazione, basso potenziale di deflusso	250	25,4	2	0
B - suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A	alta capacità di infiltrazione anche a saturazione e potenzialità moderatamente bassa di deflusso	200	12,7	2	0
C - suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali	bassa capacità di infiltrazione a saturazione e terreno con potenzialità di deflusso moderatamente alta	125	6,3	2	0
D - comprende la maggior parte delle argille e suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie	bassissima infiltrazione, alto potenziale di deflusso	76	2,5	2	0

Altri valori ricavati da misure ed esperienze sono riassunti nella seguente tabella:

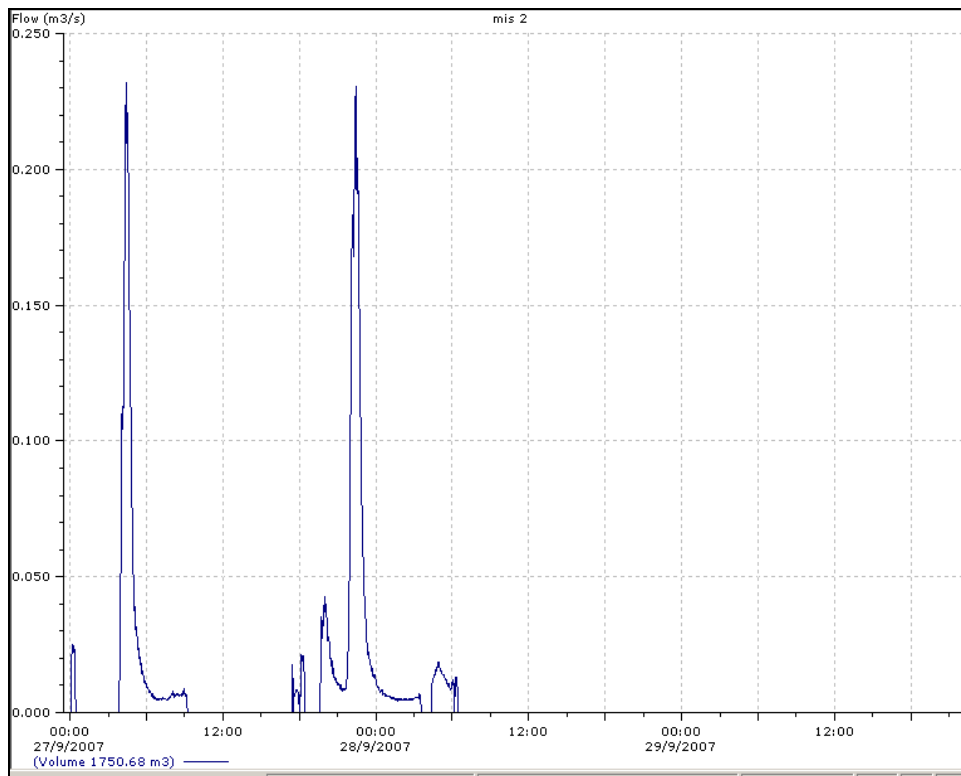
TIPO DI SUOLO	f0 (mm/h)	fc (mm/h)	k (1/h)
molto permeabile	117	17	5,34
medio permeabile	76	13	4,14
scarsamente permeabile	76	6	4,14

La variazione del coefficiente di deflusso/afflusso agisce sul volume e sulla portata dell'evento simulato.

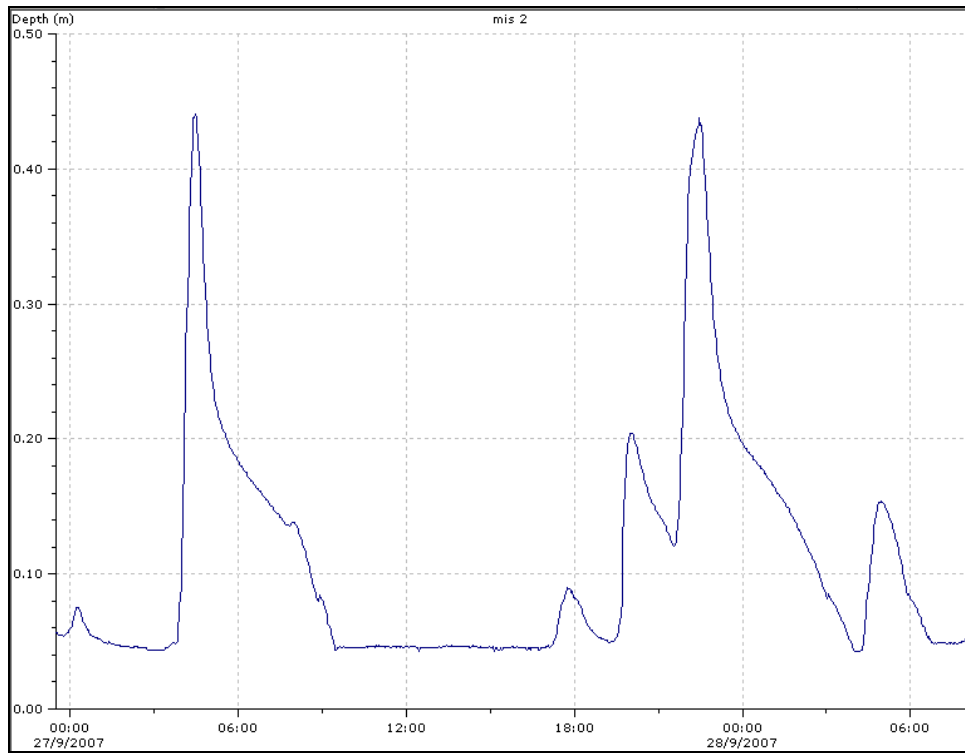
3.8. Inserimento dati di monitoraggio

Per ciascun check (evento meteorico e secco misurato) sono stilati nella Cartella Monitoraggio le tabelle delle portate in m^3/s e dei tiranti in metri, che contengono i 4 profili, identificati dai 4 codici progressivi dei misuratori, nello stesso arco temporale.

Di seguito si riporta come esempio il grafico della portata dell'evento meteorico Check_4 ottenuto dai dati del misuratore MIS2:



Di seguito si riporta come esempio il grafico del livello dell'evento meteorico Check_4 ottenuto dai dati del misuratore MIS2:



4. Descrizione della rete di Conselice e del suo modello InfoWorks

4.1. Dati generali della rete

La geometria della rete di Conselice è prevalentemente a maglia e di tipo mista, costituita da condotte uniformi sia nella sezione (circolare DN 300 e DN 400) che nel materiale (CE) ed un'omogeneità anche nei pozzetti d'ispezione e negli sfioratori. Le condotte di dimensioni rilevanti ($> \text{DN } 800$) e/o forma non tradizionale (ONI, cioè condotta ovoidale, e rettangolare) esistono nei rami principali, nei tratti intubati degli Scoli Consorziali (Bisostre) e nei sottopassi ferroviari.

Le pendenze sono spesso irrilevanti per la natura pianeggiante del terreno e talune volte le condotte si presentano in contropendenza. Quest'ultima condizione può essere causata da fenomeni di subsidenza, possibili deformazioni dovuti a sovraccarichi stradali o pose errate. Le contropendenze determinano accumuli, sia liquidi che solidi, nelle condotte limitando l'allontanamento delle acque reflue nei periodi di piogge e ristagnando nei periodi di tempo secco. Entrambi i casi provocano disagi alla popolazione residente, quali allagamenti negli scantinati e odori fastidiosi ove i pozzetti non sigillano bene.

I pozzetti d'ispezione sono pressoché prefabbricati in cemento di volumi rettangolari e di piccole dimensioni, con botole prevalentemente in ghisa.

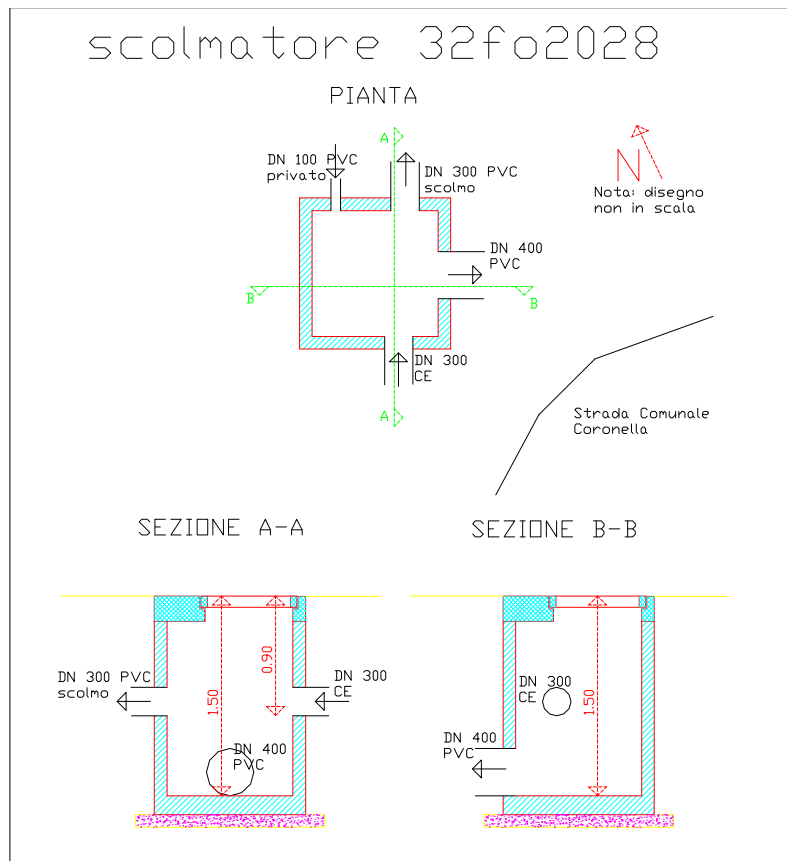
La rete di Conselice, nonostante la sua natura pianeggiante, necessita di sistemi di sollevamento per attraversare alcune strade che si trovano ad una quota maggiore rispetto il terreno circostante.

Le idrovore sono localizzate in Via Selice Vecchia angolo Via Canalazzo, per il superamento del Canale dei Molini che costeggia la strada (codice 32FO1002), a San Patrizio e in Via Guglielma SP 91 (codice 32FO1001) a Ovest di Conselice. Entrambe sollevano i reflui di un gruppo di case isolate per una portata massima pari a circa 33 m³/s e prevalenza massima di 7,4 m.

Gli scolmatori presenti nella rete di Conselice sono di due tipi:

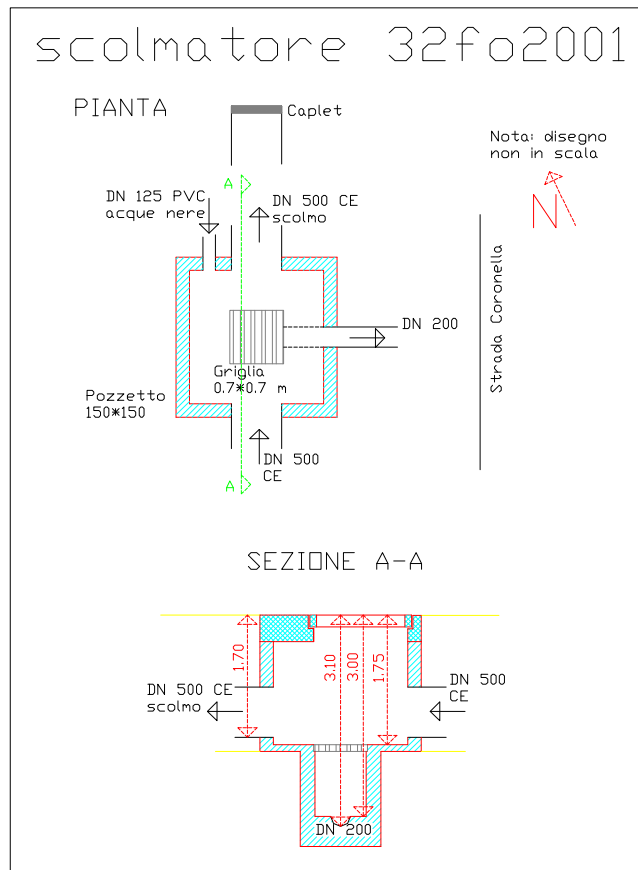
- il primo è costituito da un semplice pozzetto in cui la soglia della condotta di scolmo si colloca ad una quota superiore alla quota del fondo tubo della condotta in uscita.

Un esempio si riporta nella figura seguente:



- il secondo è un pozzetto suddiviso in due camere da una griglia posta alla stessa quota della condotta in arrivo. Il refluo confluisce nella condotta sottostante, di minor diametro, fino al riempimento, oltre il quale tracima nella condotta di scolmo posta nella camera superiore.

Un esempio si riporta nella figura seguente:



Alcuni scolmatori presentano un clapet o chiavica.

Il numero degli scolmatori o sfioratori presenti nella rete di Conselice ammonta a 21 nella sola città di Conselice e 5 a San Patrizio, codificati mediante la cifra 32FO20XX, con XX numero progressivo. Alcuni sfioratori, nonostante siano schedati, non hanno più il loro scopo, ma sono semplici pozzetti d'ispezione. Nell'Allegato 03 si elencano gli scolmatori in funzione.

La manutenzione degli scolmatori e delle condotte è affidata alla Gestione Reti di Hera Imola-Faenza, che avviene periodicamente, e consiste nella pulizia delle griglie e lo spurgo delle condotte.

Dai controlli effettuati l'anno scorso, durante i periodi di misurazione, emerge che la funzionalità degli scolmatori, intesi come strutture, è idonea, ma in alcuni casi la loro efficienza è

limitata dalla presenza di vegetazione che impedisce l'uscita del refluo. La manutenzione dei fossi non avviene regolarmente, pertanto sono possibili eventi di rigurgito.

Come è noto, gli scolmatori hanno il compito di scaricare le acque meteoriche, pertanto la rete si riduce ad un'unica condotta DN 600 con scarico al depuratore, posto a Nord di Conselice.

Il depuratore (codice 32DP0009) è di tipo a fanghi attivi, dimensionato per 10000 abitanti equivalenti, con scarico e troppo pieno nello Scolo Consorziale Diversivo in Valle.

Guardando nel complesso e dal punto di vista geologico-idraulico, il territorio conselicese è costituito da terreni di tipo argilloso che nel periodo estivo, con le alte temperature, diventano estremamente permeabili con evidenti fessure sulla superficie, mentre nel periodo invernale, con temperature basse e a seguito di precedenti piogge, il terreno risulta poco permeabile e gran parte delle precipitazioni si trasformano in deflussi nella rete scolante.

La zona di studio è caratterizzata da aree urbanizzate significativamente impermeabilizzate e da aree agricole con maggiore permeabilità, pertanto si avranno differenti coefficienti di afflusso, variabili anche in funzione delle stagioni.

All'aumentare della durata della pioggia avviene inoltre un'impermeabilizzazione dei terreni con conseguente incremento dei deflussi.

L'elemento idraulico esterno alla rete che influisce maggiormente nella fognatura di Conselice è lo Scolo Consorziale Bisostre, di sezione trapezoidale, che nasce quasi 2 Km a Sud della

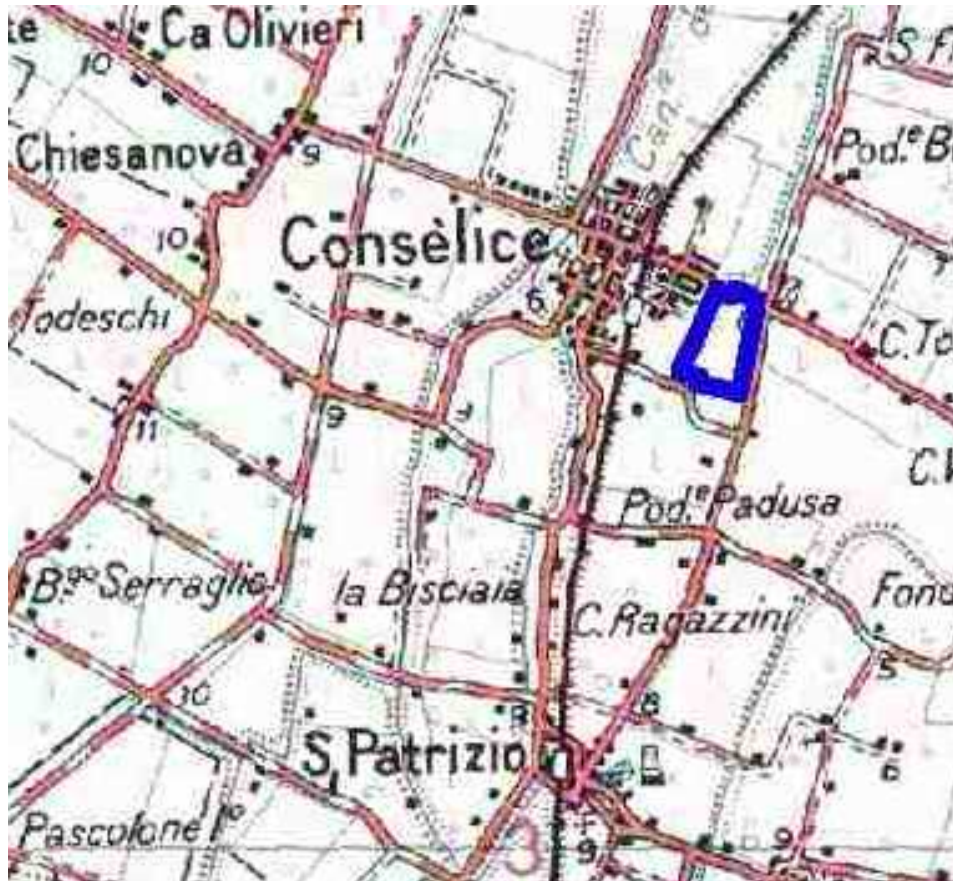
città di Conselice, dove si sta sviluppando una zona industriale, e a Ovest di San Patrizio, ancora a carattere agricolo.

Il suo bacino si estende per circa 100 ettari, secondo le indicazioni fornite dal Consorzio della Bonifica della Romagna Occidentale, e costituisce la fonte irrigua delle aree agricole circostanti. Parallelamente al canale si estende la rete fognaria di tipo bianca della zona industriale. In prossimità della città, lo Scolo diventa intubato, previo sbarramento mobile per controllare le variazioni periodiche del livello idrico, e parte della rete a sud di Conselice si allaccia. In caso di eventi meteorici importanti, l'eccessivo deflusso nel canale, non controllato, può mettere in crisi la rete. Il canale intubato segue il suo corso con sbocco al Diversivo in Valle.

Il Diversivo in Valle è lo Scolo Consorziato che interessa la parte orientale del Comune e riceve diversi scolmi, compreso lo scarico e il troppo pieno del depuratore, terminando in Destra Reno. La sezione del canale è trapezoidale con pendenza 2/3 e larghezza del fondo 1,8 metri.

4.1.1. I Bacini di Conselice

A seguito dell'alluvione del 1996, il Comune di Conselice e il progetto Europeo Rete Natura 2000 hanno riqualificato un'area di circa 24 ettari a Est della città, occupata da bosco ceduo, progettando dei bacini di laminazione. Il duplice scopo dei Bacini di Conselice, classificati come ZPS (Zona di Protezione Speciale), è di difendere l'abitato da eventi meteorici gravosi e di creare un habitat idoneo allo sviluppo di flora e di fauna degli ambienti umidi, tipici della zona.



Mentre il secondo aspetto è stato pienamente raggiunto, fino ad oggi il primo non è ancora stato osservato.

Inoltre, i dati di progetto dei Bacini di Conselice non sono stati messi a disposizione e le verifiche geometriche della soglia e del volume di invaso durante i sopralluoghi non sono stati possibili, pertanto tale elemento non sarà introdotto nel modello.

I Bacini sono costituiti da più vasche, connesse idraulicamente mediante una soglia di riporto naturale al Diversivo in Valle, e scaricano a circa 400 metri più a valle.



4.2. Dati generali del modello

Il modello InfoWorks della rete fognaria di Conselice si sviluppa per circa 43 Km. L'area che incide sul deflusso della rete si estende per 271,6 ettari, suddivisi in 660 sottobacini.

Mediante il programma Google Earth è stato possibile ottenere un'immagine satellitare, di estensione *JPEG*, della città di Conselice e San Patrizio, importabile in InfoWorks e sovrapponibile alla rete come sfondo. In tal modo è stato assegnato a ciascun sottobacino la percentuale di “permeabile”, cioè il verde, ed “impermeabile”, cioè i tetti e le strade, come indicato nell'Allegato 04.

I dati importati di popolazione e scarichi civili sono stati assegnati ad ogni sottobacino, definendoli nella Tabella Uso del Suolo, di tipologia urbana.

Il calcolo della popolazione ammonta a circa 6620 abitanti, la cui dotazione idrica media pro-capite è 200 l/d.

Per la scabrezza dei condotti e dei canali rappresentati si assegnano i seguenti valori secondo Manning, secondo letteratura Gauckler-Strickler:

MANNING		
MATERIALE	SCABREZZA FONDO (m^{1/3}*s⁻¹)	SCABREZZA VOLTA (m^{1/3}*s⁻¹)
PVC	90	95
Cemento	70	75
Acciaio	80	85
Ghisa	70	80
Muratura	80	85
Canali con terreno, ciottoli e ghiaia. Canali con vegetazione.	15 - 25	15 - 25

Le idrovore esistenti non sono state rappresentate come elemento pompa per l'irrisorio contributo che danno alla rete, pertanto vengono identificate come nodi a cui afferiscono determinati bacini, con la rispettiva popolazione, come riassunto nella seguente tabella:

IDROVORA	CODICE BACINO	DIMENSIONE BACINO (ha)	POPOLAZIONE AFFERENTE
32FO1001	B149	1.675	66.99
32FO1002	B1737	2.246	89.83

4.3. I problemi iniziali e le successive modifiche

4.3.1. Il depuratore e gli sfioratori

La rappresentazione del depuratore è molto semplificata. Si definisce il pozzo di sollevamento come un nodo con un volume di accumulo pari a $7,5 \text{ m}^3$, da cui dipartono due condotte. La condotta DN 160, posta a metà del pozzo, rappresenta la mandata del sollevamento e termina in un outfall, identificativo del trattamento, e la condotta DN 500 a quota superiore che scolma nel Diversivo in Valle, con relativo clapet.

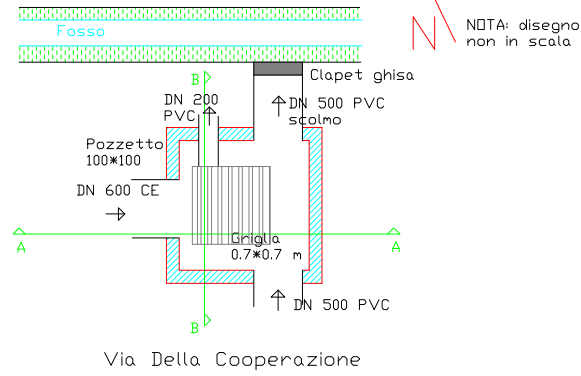
Per quanto riguarda gli sfioratori costituiti da una griglia per la derivazione delle sole acque nere, l'elemento che miglior rappresenta tale tipo di griglia è un orifizio, il quale si descrive come un foro di determinate dimensioni con un coefficiente di deflusso ridotto.

Concettualmente, quindi, si è pensato ad un pozzetto per la condotta in arrivo, da cui si dipartono un elemento tipo condotta o soglia, per lo scolmo, fino all'*outfall* e un elemento tipo orifizio, per la griglia, in un altro pozzetto di profondità maggiore e idraulicamente connesso con la condotta sottostante. Tale rappresentazione è idonea.

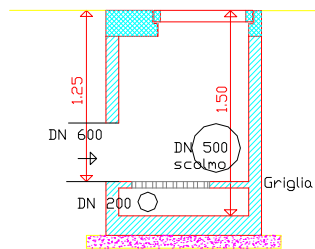
Di seguito si riporta come esempio il disegno e il relativo schema ideato in InfoWorks per lo scolmatore 32FO2009:

scolmatore 32fo2009

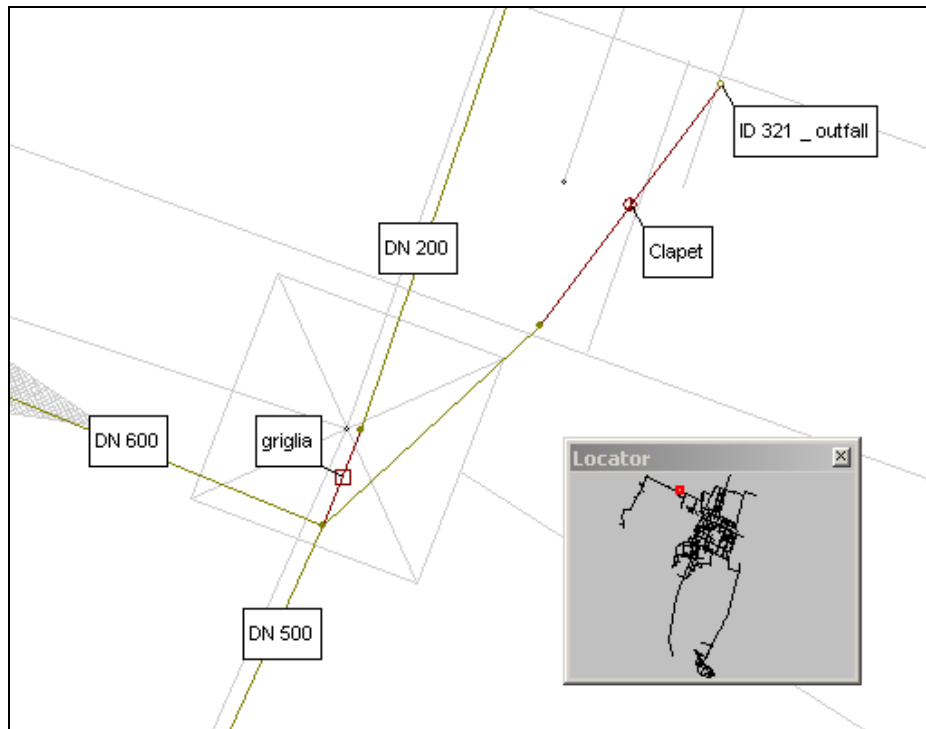
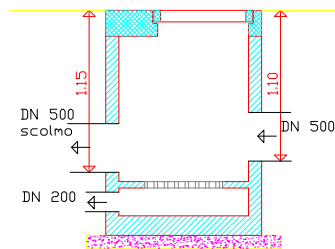
PIANTA



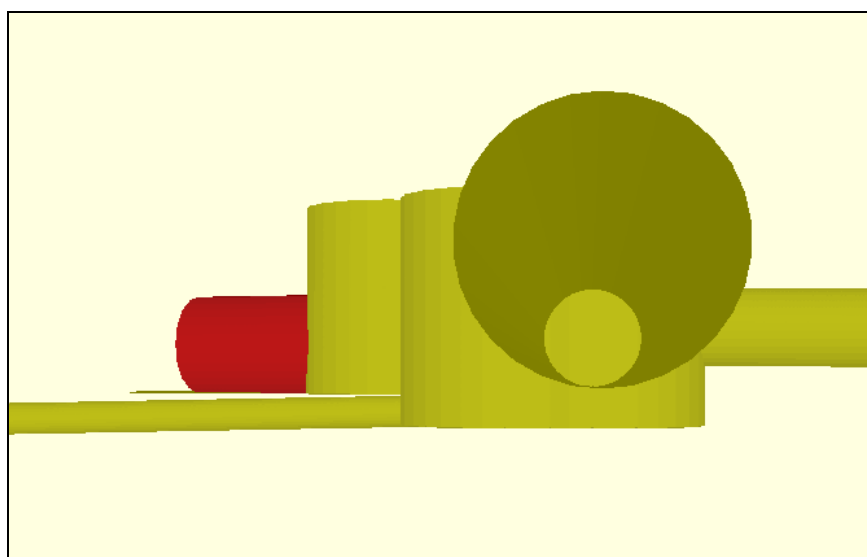
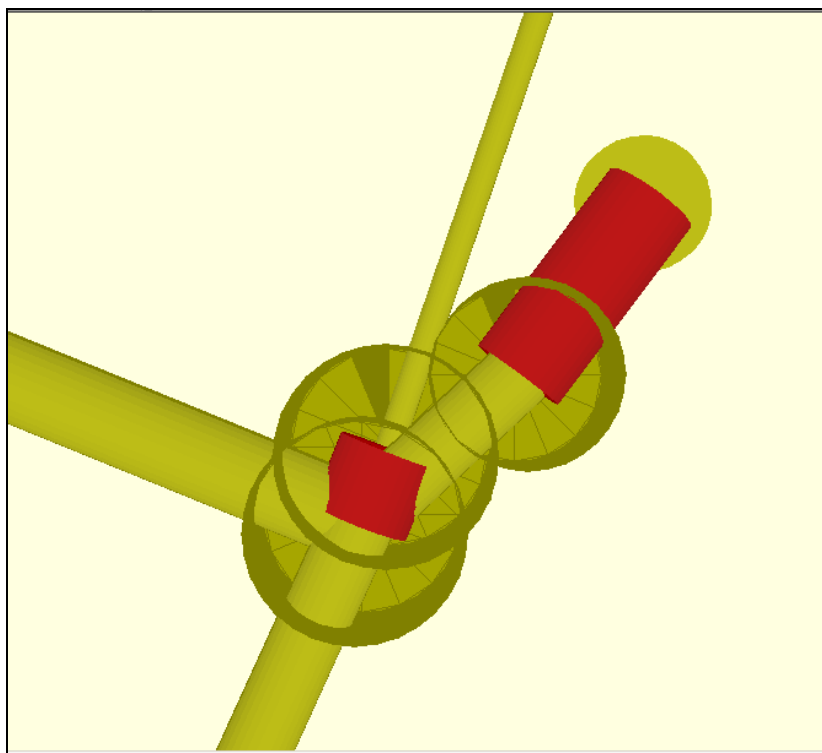
SEZIONE A-A



SEZIONE B-B



Utilizzando il comando *New 3D View* è possibile visualizzare sia in pianta che in prospettiva lo scolmatore 32FO2009:



4.3.2. I fossi e gli Scoli Consorziali

Tra le forme presenti nel database di InfoWorks, nessuna si associa al profilo reale degli Scoli Consorziali e dei fossi secondari, che sono creati con apposite escavatrici. Si è reso necessario, quindi, creare ex-novo i profili mediante il comando *New Shape*, che, seguendo le coordinate dal punto in alto a sinistra fino al punto in alto a destra, in senso antiorario, richiede nella prima riga la dimensione *Width*, la pendenza delle sponde, cioè il rapporto tra la larghezza della base e la larghezza della sommità.

La sagoma degli Scoli Consorziali, ad esempio il Diversivo in Valle e lo Scolo Consorziale, si può riprodurre come segue:

The screenshot shows a software dialog box titled "Forma - CANALE 2/3 - Diversivo in Valle". It has two tabs: "Shape Definition" (selected) and "Notes".

Definition section:

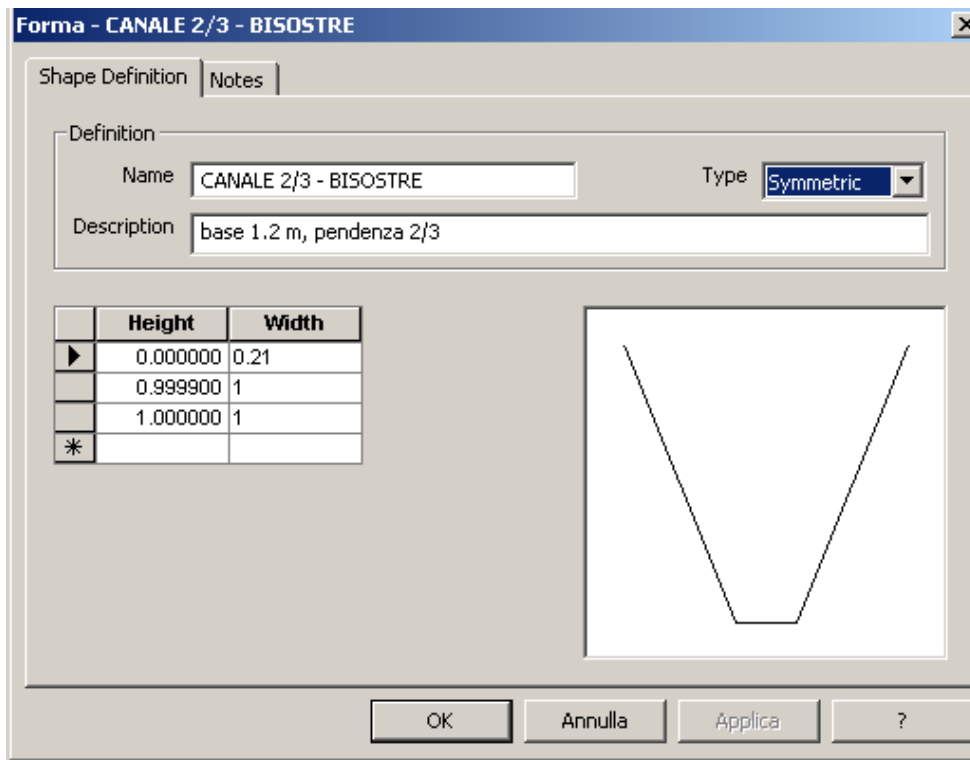
- Name: CANALE 2/3 - Diversivo in Valle
- Type: Symmetric (dropdown menu)
- Description: base 1.4 m, sponde 2/3

Table:

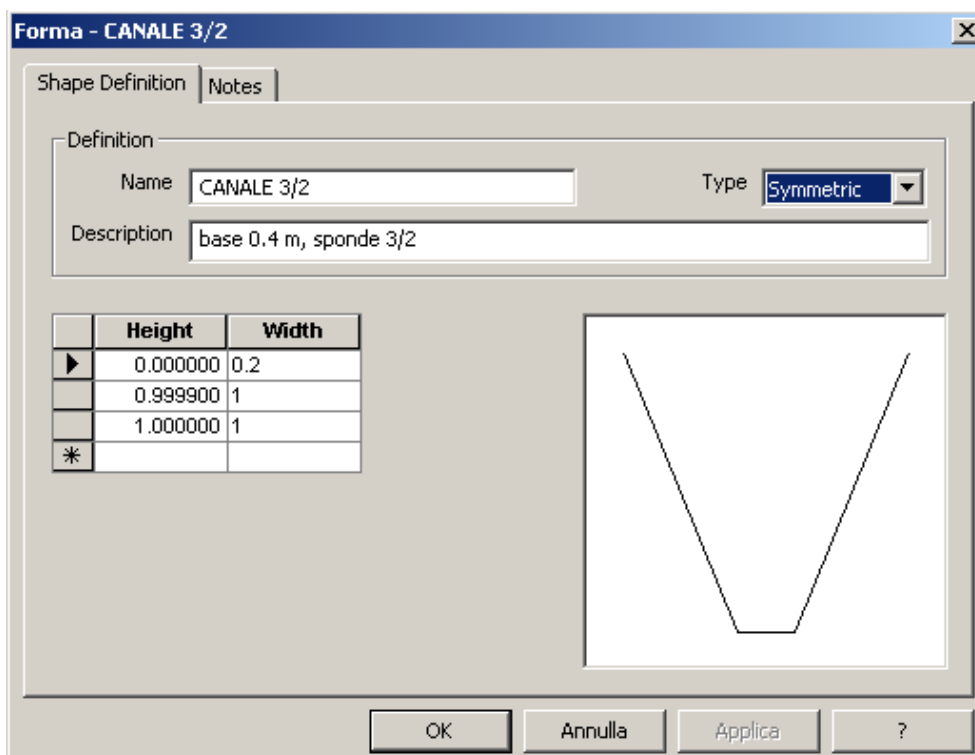
	Height	Width
▶	0.000000	0.24
	0.999900	1
	1.000000	1
*		

Diagram: A trapezoidal cross-section representing a channel. The top width is 0.24, and the bottom width is 1. The height is 1. The sides are sloped at a 2/3 ratio.

Buttons: OK, Annulla, Applica, ?



La sagoma dei fossi secondari, ad esempio il fosso recapitante lo scolmo DN 1000 dello sfioratore 32FO2027, è ottenuta da scavafossi le cui sezioni di lavoro sono standard e vengono utilizzate per definire il canale, come descritto in seguito:



4.3.3. I bacini scolanti degli Scoli Consorziali

La prima ipotesi per il bacino dello Scolo Bisostre (B2151) era un'area di medie dimensioni (circa 17 ha), che poco rappresentava la realtà, vista l'area di pertinenza indicata dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, pertanto l'estensione dell'area si è imposta per più di 100 ha, comprendendo quindi le aree agricole e industriali a sud di Conselice.

Per un'area di tali dimensioni la goccia d'acqua che cade nel punto più lontano dallo sbocco impiega un determinato tempo, chiamato *Tempo di Corrivazione*. Tante sono le formulazioni per questo fenomeno, ma la più nota è quella di Giandotti:

$$T_c = 60 * \frac{0.4 * \sqrt{S} + 0.0015 * L}{0.8 * \sqrt{p} * L}$$

dove:

S = superficie del sottobacino (ettari)

p = pendenza del sottobacino (m/m)

L = lunghezza del sottobacino (m)

Impostando la superficie pari a circa 100 ettari e definendo di default la pendenza pari a 1‰ e la lunghezza pari a circa 2 Km, InfoWorks calcola il seguente tempo di Corrivazione:

Unit hydrograph routing definitions	
Definition	Giandotti-Tc IP
Time of concentration (Tc, min)	433.24
Tc timestep factor	25
Tc time to peak factor	0.05
Time to peak (Tp, min)	46.66
Base time (Tb, min)	124.59

Per quanto riguarda il Diversivo in Valle, non avendo conoscenza delle portate transitabili nel canale, si è ipotizzato un bacino di circa 5 ettari per fornire una portata accettabile.

4.3.4. Le superfici dei bacini scolanti

Per cominciare sono state definite due superfici generiche per tutto il territorio in esame, definendo la metodologia Fixed sia per le aree permeabili che impermeabili.

Visti gli scarsi risultati e sapendo che tale metodo afflusso-deflusso non poteva essere applicato alle aree verdi, si sono sperimentate le altre metodologie fino ad arrivare alla combinazione migliore.

Per la rete di Conselice risulta idonea la configurazione per la quale ciascun area afferente agli scolmatori in cui sono installati i

misuratori ha una determinata superficie permeabile ed impermeabile.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva finale dei parametri idrologici per ciascun misuratore:

	MIS 1	MIS 2	MIS 3	MIS 4
Codice Superficie	1	4	2	6
Tipo di superficie	impermeabile 1	impermeabile 2	impermeabile 3	impermeabile 4
Metodo ruscellamento	Wallingford	Wallingford	Wallingford	Wallingford
coeff W	0.8	1	1	2
pendenza	0.05	0.05	0.002	
perdite iniziali	3.00E-05	7.10E-05	3.00E-05	7.10E-05
Metodo afflusso/deflusso	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed
coeff F	0.7	0.95	0.7	0.8

	3	8	7	5
Codice Superficie	3	8	7	5
Tipo di superficie	Verde 1	verde 2	verde 3	verde 4
Metodo ruscellamento	Wallingford	Wallingford	Wallingford	Wallingford
coeff W	3	3	3	5
pendenza	0.05	0.05	0.002	0.002
perdite iniziali	0.0002	0.0002	0.00028	0.0002
Metodo afflusso/deflusso	Horton	Horton	Horton	Horton
H iniz	200	125	300	125
limite H	12.7	6.3	25.4	6.3
Decadimento H	2	2	2	2
Fattore di recupero H	0	0	0	0

5. Modellazione e simulazione

Per **calibrazione** si intende la taratura dei valori dei parametri del modello, noti che siano ingresso, uscita ed i parametri stessi da cui il modello dipende.

I modelli concettuali, o quelli fisicamente basati applicati con un dettaglio non molto spinto, richiedono necessariamente una calibrazione, mentre quando i secondi sono applicati con estremo dettaglio non necessitano (in teoria) di questa fase di aggiustamento.

La **verifica** (o validazione) è un controllo sulla validità generale dei valori dei parametri assunti in fase di calibrazione. Essa dovrebbe essere condotta su una serie di eventi registrati possibilmente distinta da quella utilizzata in fase di calibrazione.

I misuratori di portata ad ultrasuoni sono affidabili soprattutto per quanto riguarda le registrazioni di livello. Ricordando che la portata viene calcolata mediante la velocità registrata dal relativo sensore e che per battenti minimi non sempre è registrabile, la modellazione si concentra sulle misurazioni di livello, senza comunque tralasciare commenti e conclusioni sulle misure di portata simulati (N.d.R. paragrafo 2.2).

Si ricorda inoltre che il PLUV 02 non rilevanza in questo studio.

Come precedentemente detto, gli eventi meteorici misurati sono 5, ma nella presente tesi il lavoro di modellazione si limita a 2 eventi, di intensità, durata e periodo diversi.

Il *Check 1* si presenta di breve durata e intensità modesta, prettamente di carattere estivo.

Il *Check 5* si presenta di lunga durata e intensità bassa, prettamente di carattere autunnale.

Nella seguente tabella si riassumo le caratteristiche della precipitazione misurata:

		CHECK 1	CHECK 5
PLUV 01	Inizio evento	23/08/2007 13.37	18/10/2007 16.07
	Durata (d,h,min)	0.02.51	8.12.42
	Intensità massima (mm/h)	48	36
PLUV 03	Inizio evento	23/08/2007 13.36	18/10/2007 16.09
	Durata (d,h,min)	0.02.23	8.12.46
	Intensità massima (mm/h)	96	24
PLUV 04	Inizio evento	23/08/2007 13.57	18/10/2007 16.02
	Durata (d,h,min)	0.02.28	8.12.55
	Intensità massima (mm/h)	72	42

Le simulazioni però vengono effettuate in funzione dei tempi di registrazione dei misuratori, come indicato nella tabella seguente:

	Inizio		Fine	
	Data	Ora	Data	Ora
Tempo di simulazione Check_1	23/08/2007	13.30	23/08/2007	23.30
Tempo di simulazione Check_5	24/10/2007	5.00	27/10/2007	6.00

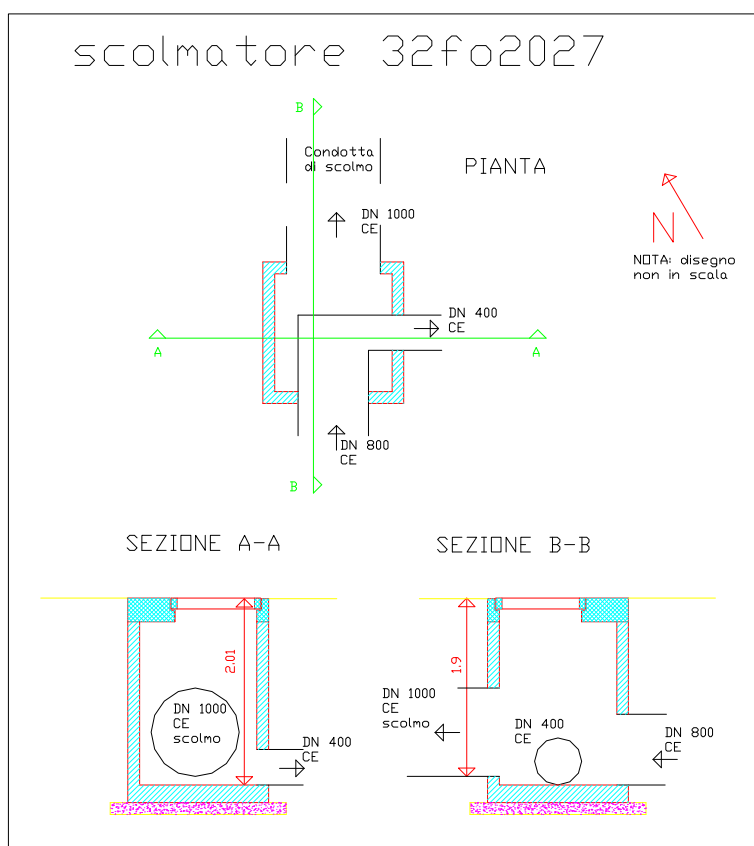
5.1. Le prime simulazioni

I grafici che si mostrano in questo paragrafo hanno caratteristiche comuni nell'andamento delle curve, ma possono presentare differenze temporali nei picchi in quanto la risposta idraulica agli eventi cambia.

Si forniscono spiegazioni separando i due eventi meteorici considerati.

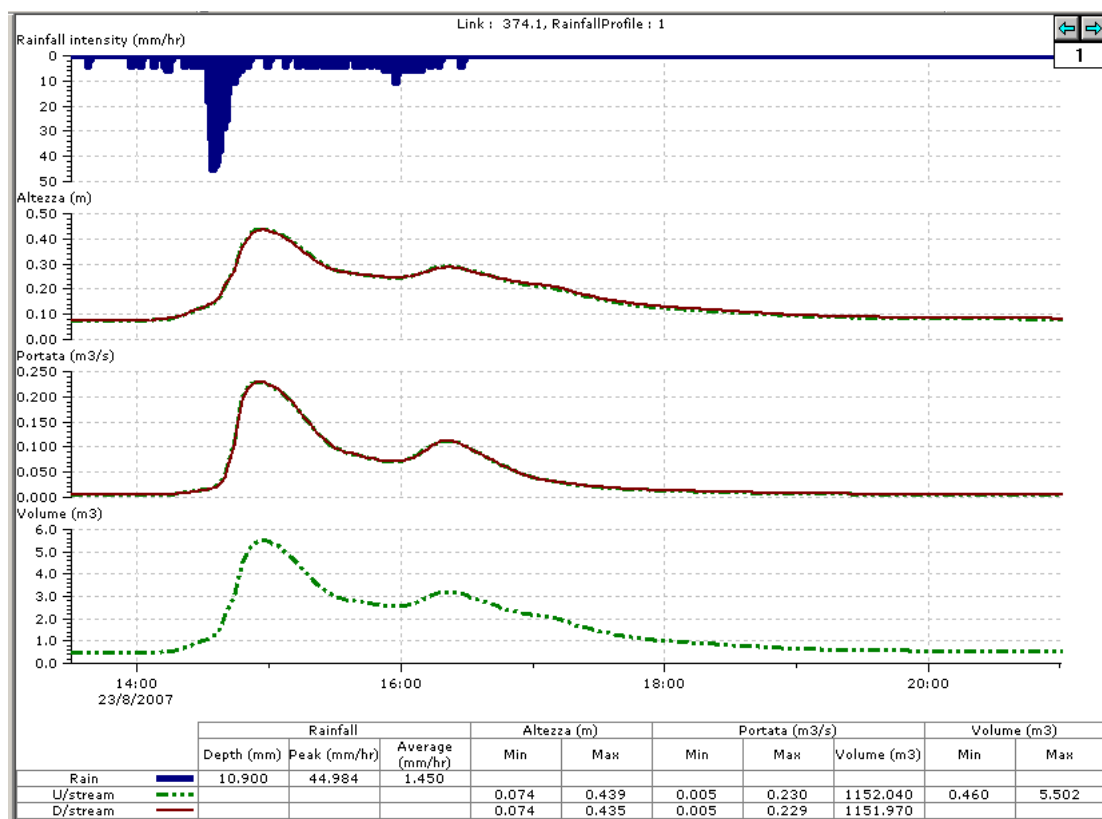
5.1.1. MIS 1

Il MIS 1 si localizza lungo la condotta 374.1, DN 800 in arrivo, e lo scolmatore di riferimento è il 32FO2027.

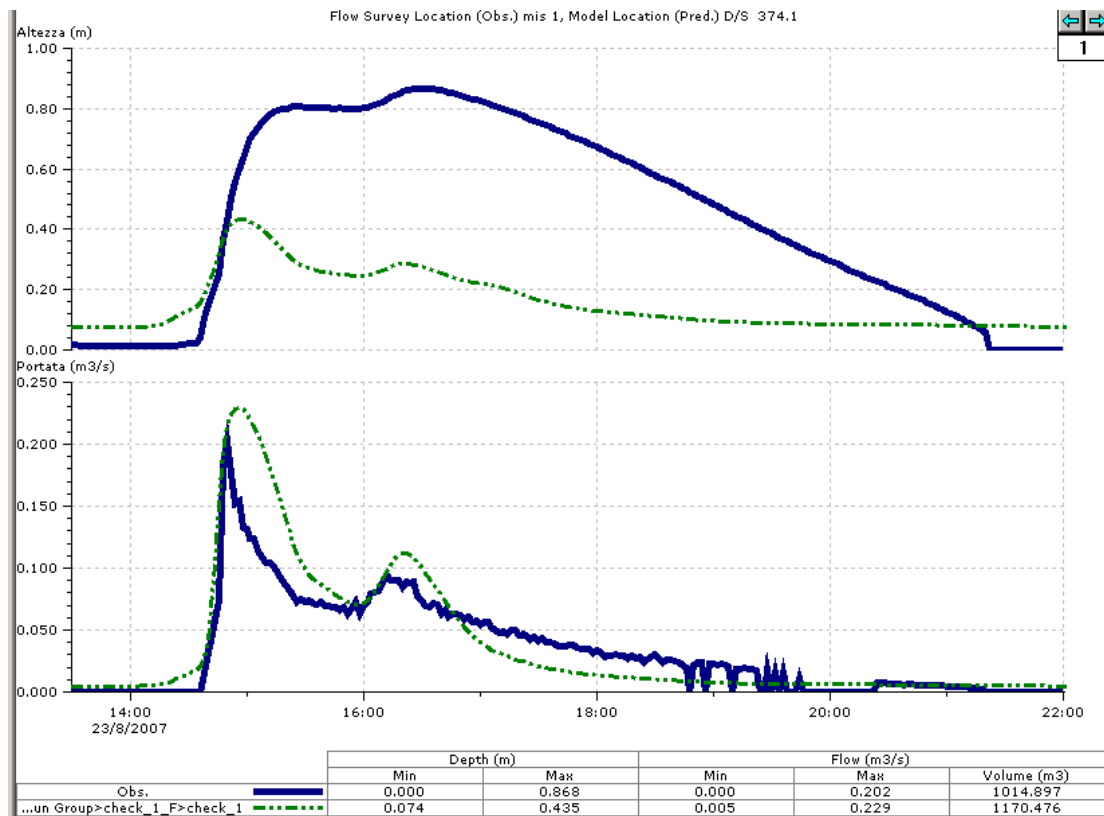


CHECK_1: la curva del livello si presentava molto schiacciata, tra 40 e 60 cm in meno rispetto la curva osservata, mentre la curva di portata tendeva all'osservato, ma con un picco posticipato di circa 15 minuti e forma tondeggiante leggermente sovrastimata.

Di seguito si riporta il grafico relativo:

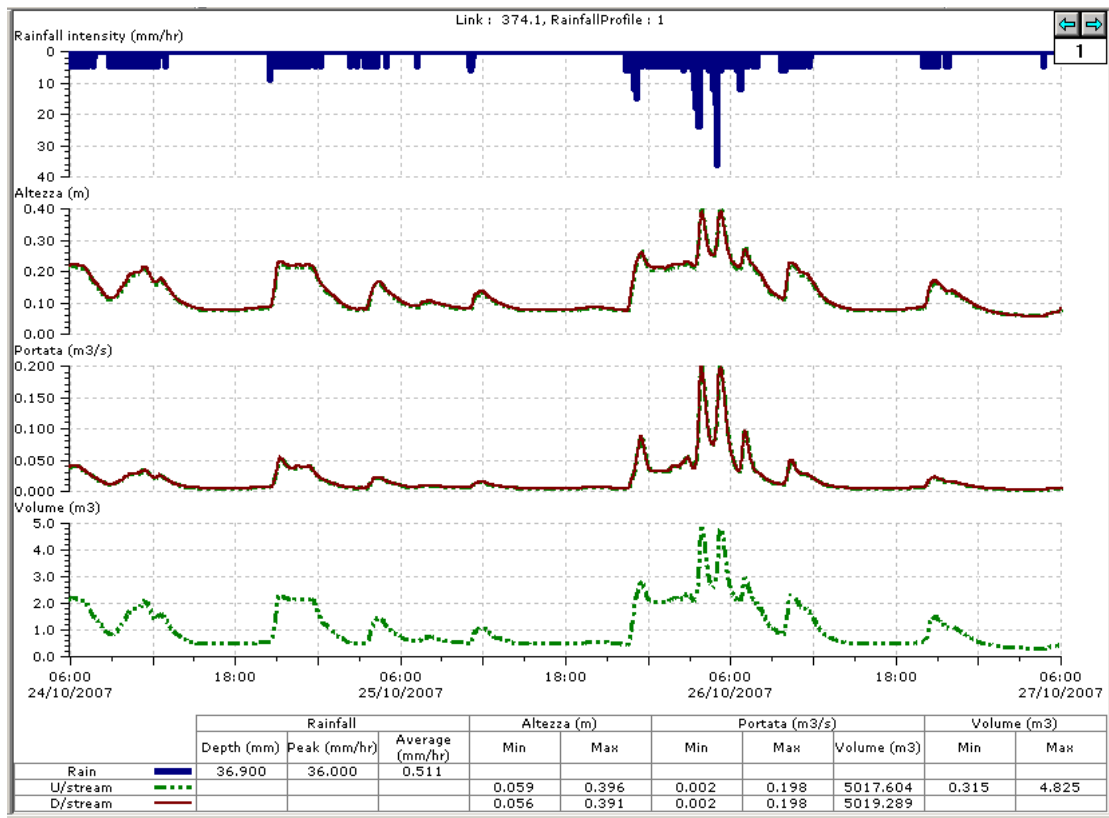


Di seguito si riporta il grafico comparativo:

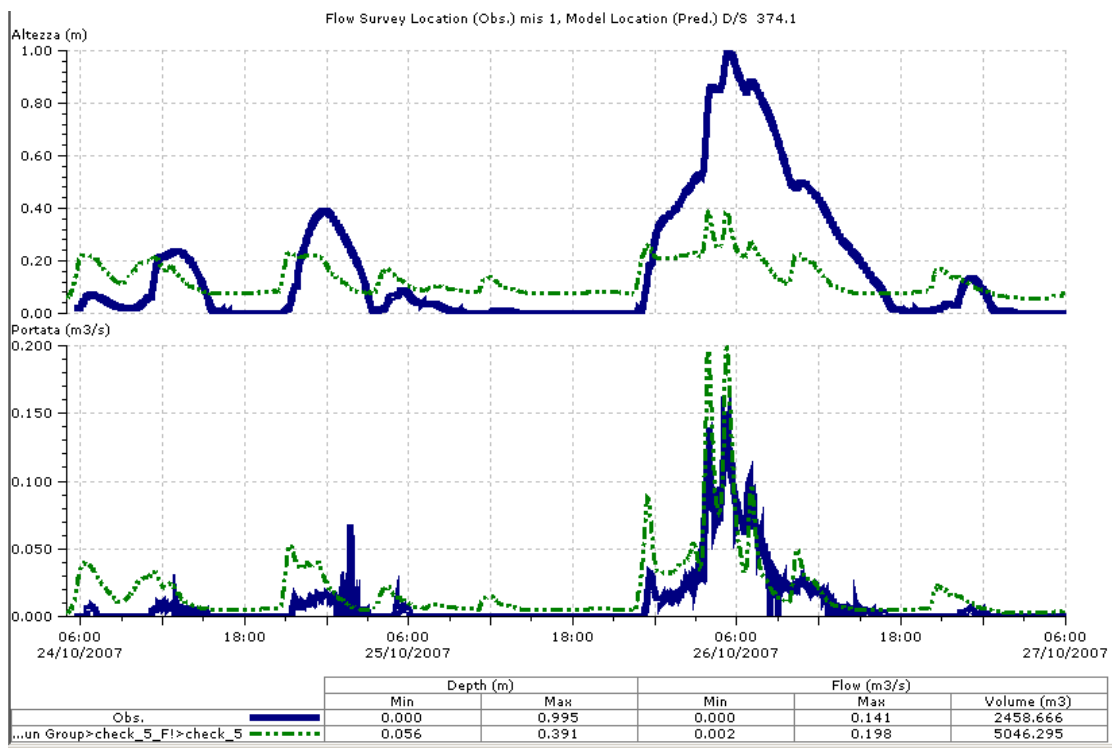


CHECK_5: il livello simulato era molto sottostimato (di circa 60 cm in corrispondenza del picco massimo) e con un leggero anticipo temporale, mentre la curva della portata si presentava sovrastimata di circa 50 l/s nel picco massimo con andamento temporalmente corretti.

Di seguito si riporta il grafico relativo:



Di seguito si riporta il grafico comparativo:



In generale, una possibile causa della poca corrispondenza con le misure osservate si ricerca nelle condizioni al contorno, cioè proprio nella tipologia del recapito imposto.

L'ipotesi iniziale assumeva che la condotta di scolmo di diametro DN 1000, di lunghezza circa 5 m e con soglia a quota maggiore di circa 10 cm dalla fognatura, terminasse in un outfall.

Nella realtà il recapito è un fosso secondario, di medie dimensioni, la cui scarsa manutenzione impedisce l'allontanamento del refluo diluito dalla fognatura. Tale situazione viene rappresentata imponendo una condotta di nuovo profilo (N.d.R. paragrafo 4.3.2.) con un coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler, tipico di canali con inerbimento e materiale grossolano, pari a $15 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$, e un outfall di uscita.

Mantenendo una determinata lunghezza di canale e un recapito tipo outfall, però, la situazione del simulato non migliorava.

Osservando la curva del misurato, si capisce che lo scolmo fatica a allontanarsi, come se ci fosse un blocco. A seguito di tentativi, ponendo il parametro di pendenza pari a 0,00015 m/m, la lunghezza della condotta tipo canale pari a circa 350 m e imponendo un nodo terminale, si è raggiunto il risultato cercato.

Ecco come si presentava il fosso secondario:



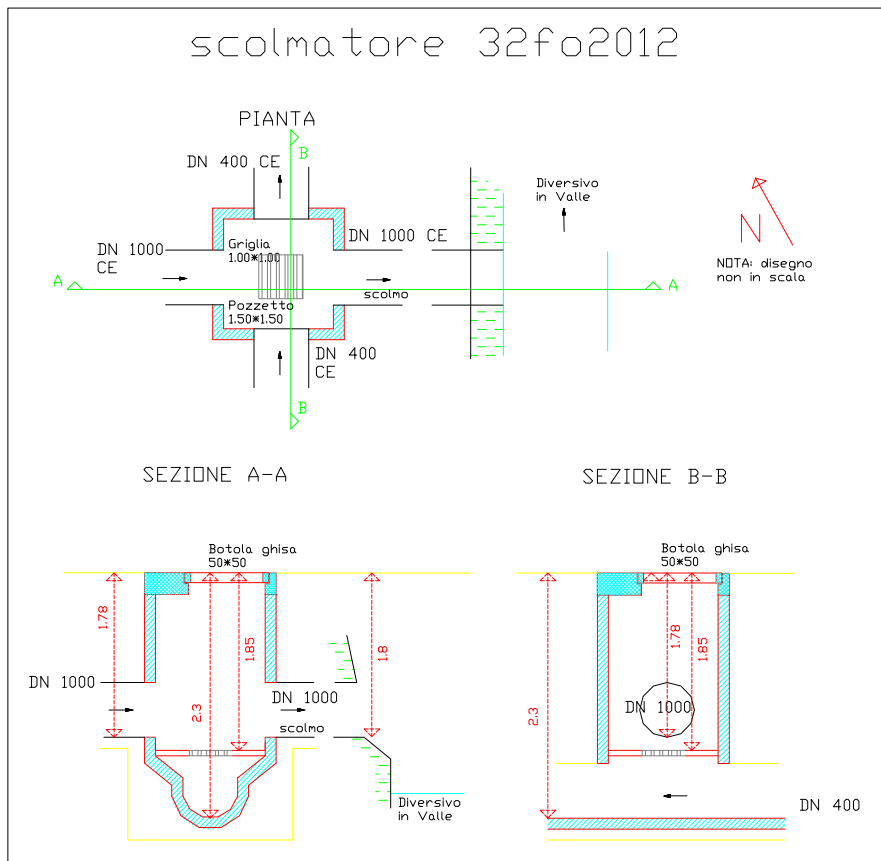
Un altro problema derivava dal poco battente idrico simulato. Le cause riscontrate erano diverse:

- la permeabilità imposta eccessiva, quindi elevate perdite di infiltrazione;
- le portate di scolmo degli sfioratori a monte eccessive, dovute a trascrizioni sbagliate di quote.

Nel primo caso la soluzione era aumentare la percentuale di impermeabilità del terreno. Nel secondo caso sono state riverificate le profondità di scorrimento delle condotte, quindi le pendenze, e le soglie di scolmo dei vari scolmatori delle Case Chicago, Chiesa Nuova e parte industriale a Ovest della SS 610 Selice Montanara.

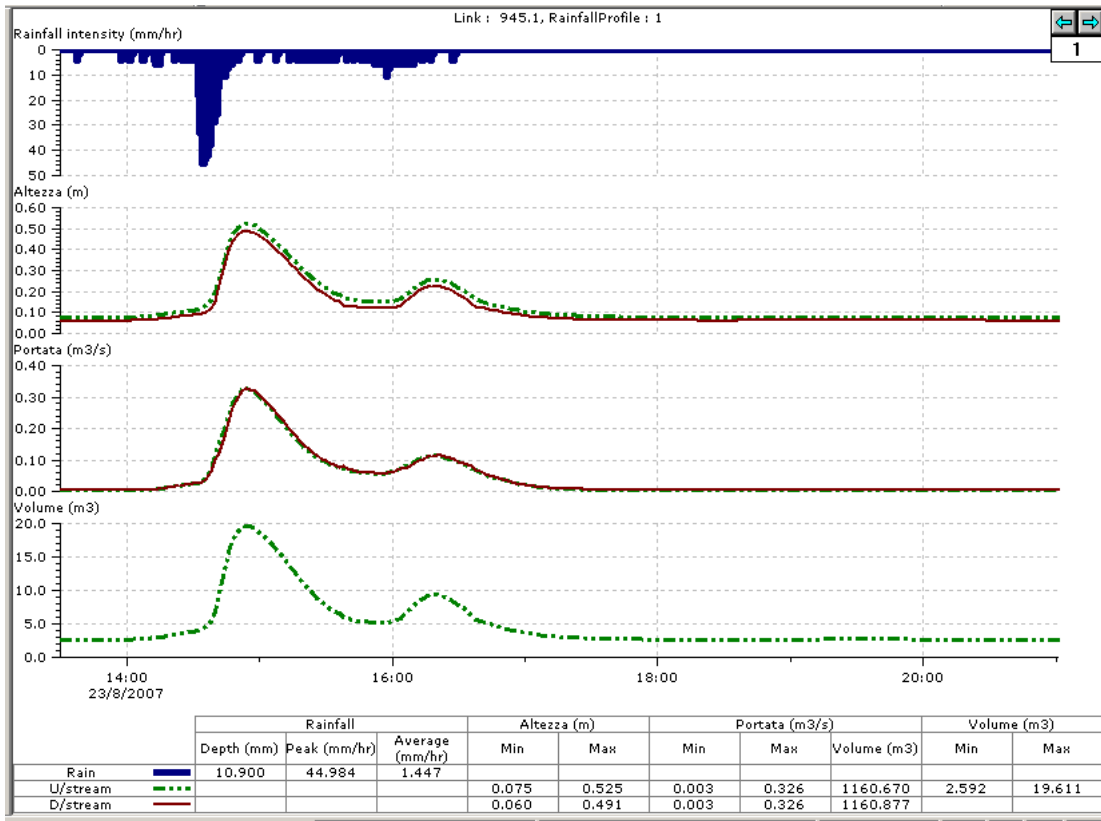
5.1.2. MIS 2

Il MIS 2 si localizza lungo la condotta 945.1, DN 1000 in arrivo, e lo scolmatore di riferimento è il 32FO2012.

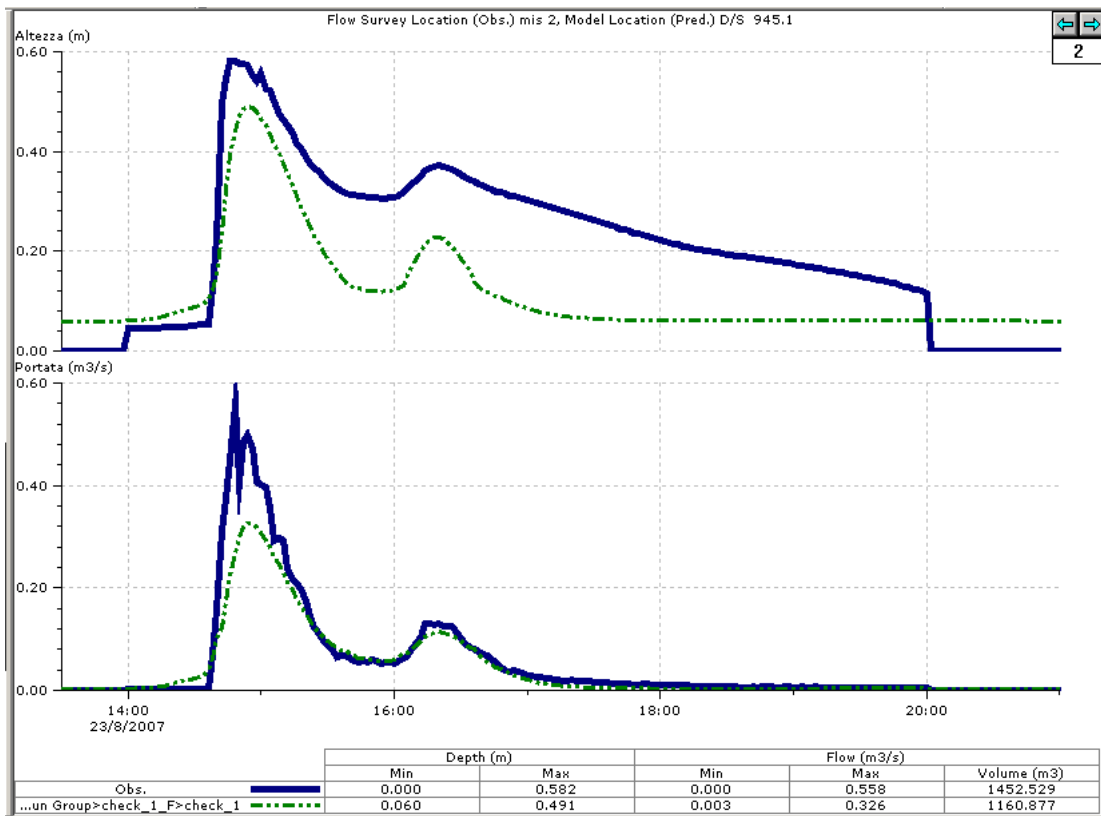


CHECK_1: la curva del livello risultava sottostimata di circa 9 cm nel picco, ma soprattutto in coda dove si evidenziava assenza di accumulo con sottostima di circa 20 cm, cioè il termine dell'evento si verificava con circa 3 ore di anticipo rispetto l'osservato, mentre la curva della portata si presentava sottostimata nel picco, ma con andamento regolare.

Di seguito si riporta il grafico relativo:

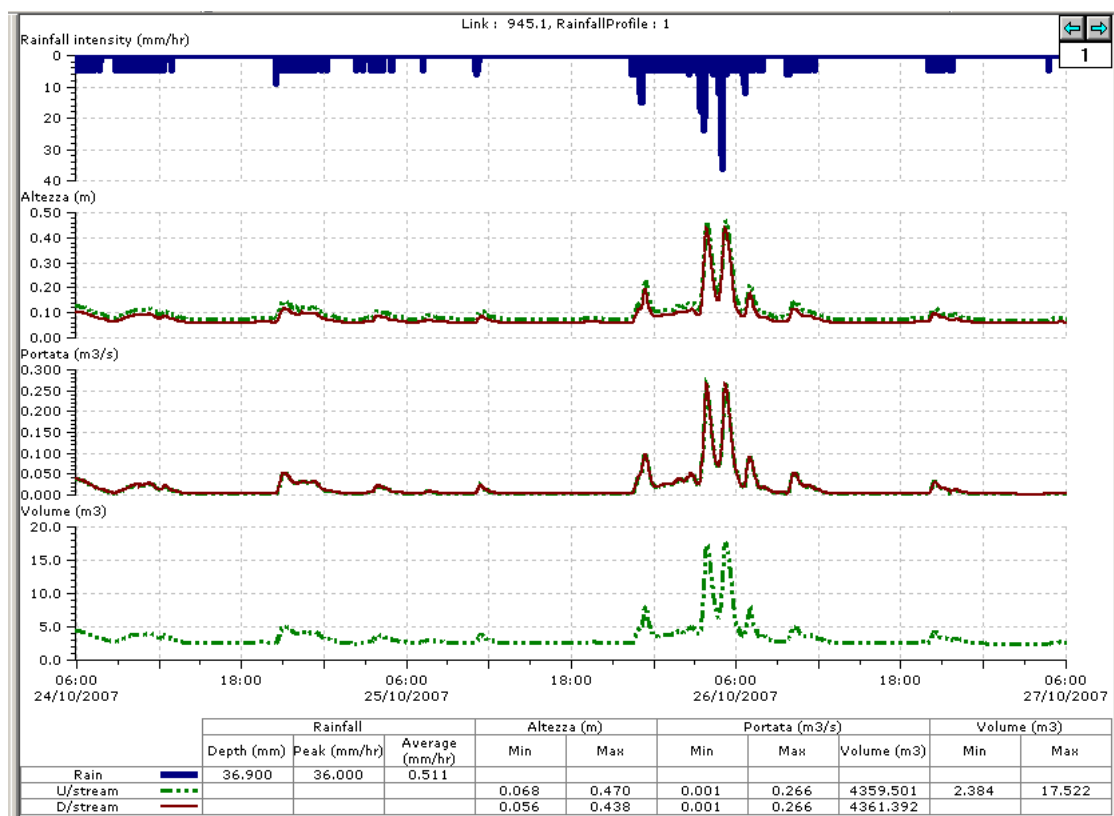


Di seguito si riporta il grafico comparativo:

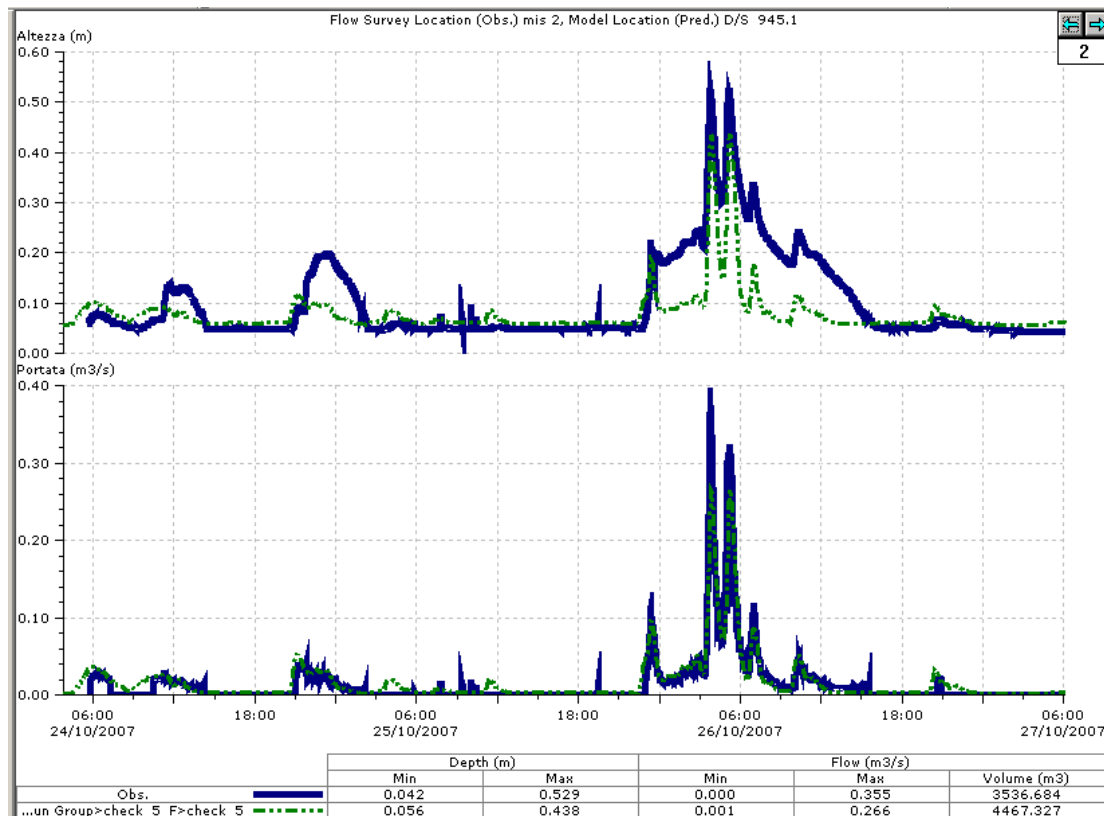


CHECK_5: anche in questo caso si evidenziava assenza di accumulo nelle code delle curve del livello con picchi sottostimati di circa 10 cm, mentre andamento molto simile con nuovamente valori sottostimati nella portata.

Di seguito si riporta il grafico relativo:



Di seguito si riporta il grafico comparativo:

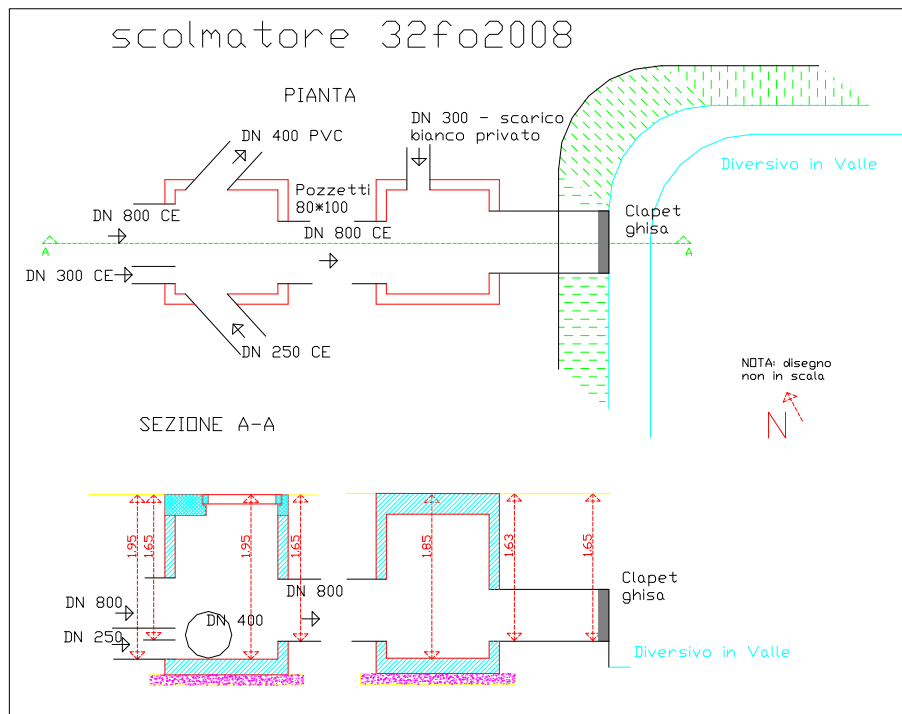


La simulazione di questa condotta è strettamente correlata alla situazione a monte, di cui si rimanda la trattazione al capitolo successivo.

Si può comunque fornire qualche indicazione sulle possibili cause proprie a questa misurazione. La sottostima dei livelli indica poca presenza di refluo, che a prima vista potrebbe essere causato da superfici troppo permeabili, ma esaminando le code delle curve si capisce che l'assenza di battente idrico è indice di un rapido deflusso a monte e di scarse quantità d'acqua in arrivo.

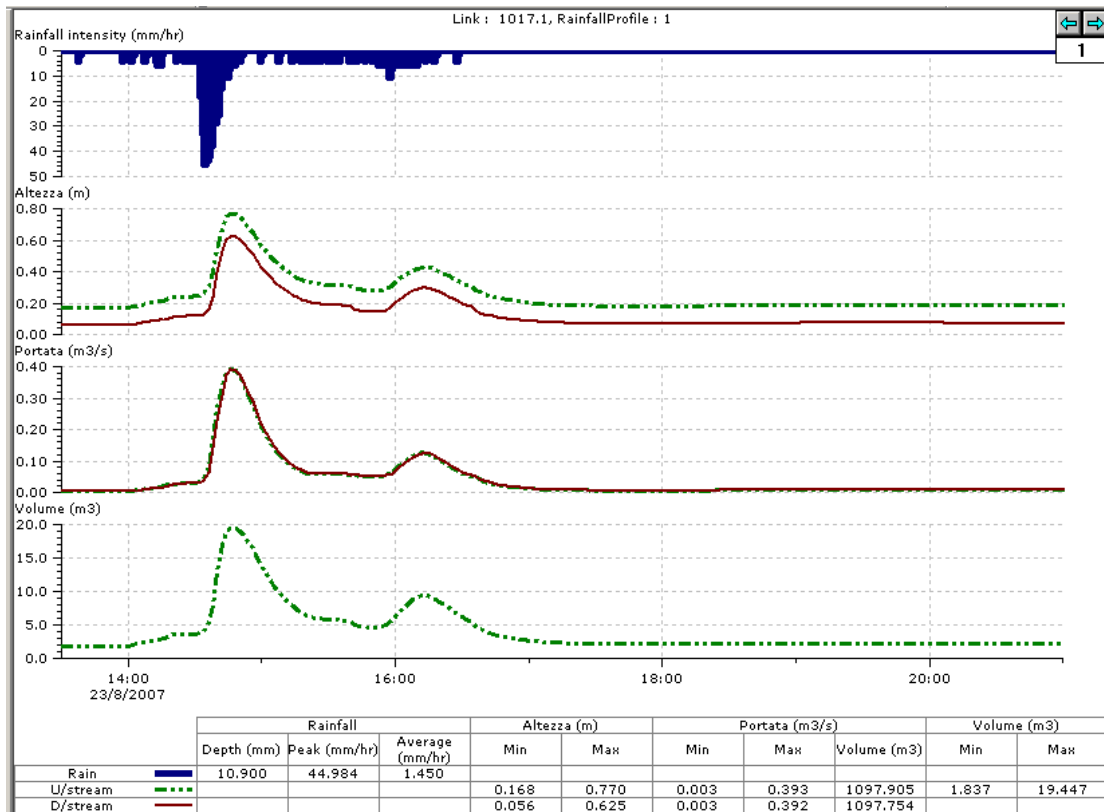
5.1.3. MIS 3

Il MIS 3 si localizza lungo la condotta 1017.1, DN 800 in arrivo, e lo scolmatore di riferimento è il 32FO2008.

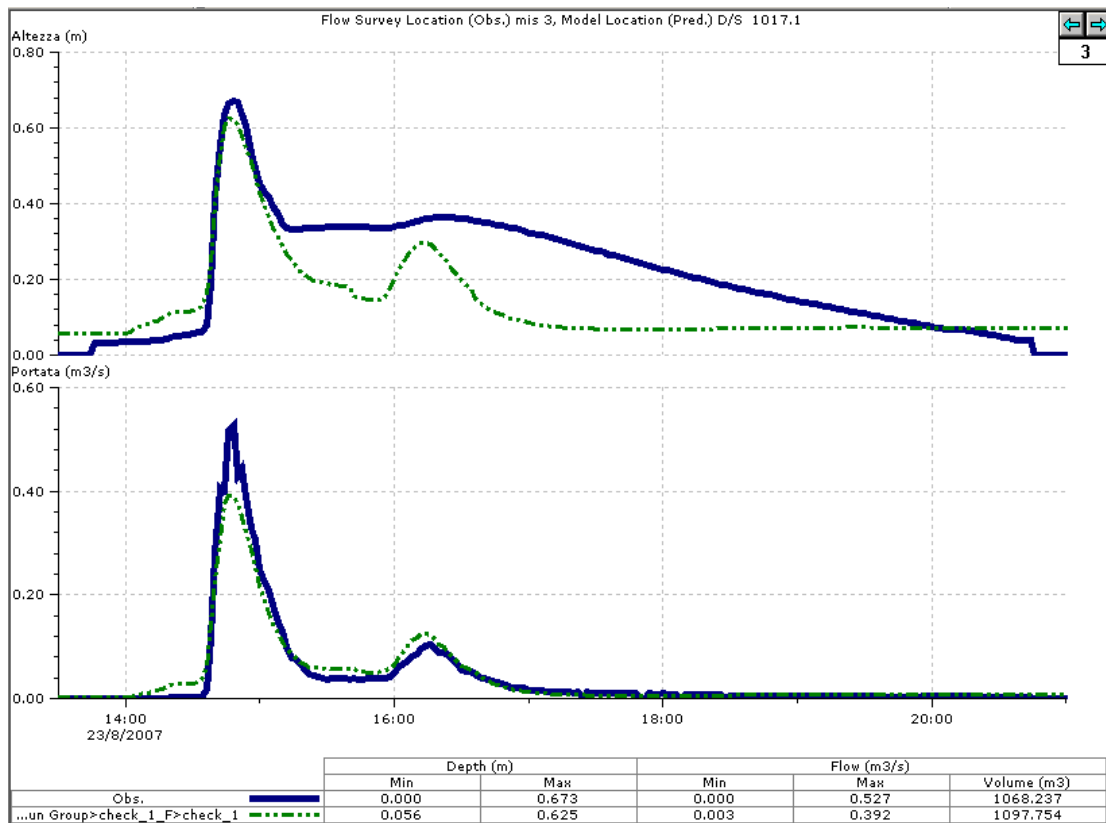


CHECK_1: il picco della curva del livello risultava sottostimata di circa 5 cm e la coda scendeva al minimo con un anticipo del termine dell'evento di quasi 4 ore rispetto l'osservato, mentre la portata era anch'essa sottostimata di 135 l/s, ma con andamento corrispondente all'osservato.

Di seguito si riporta il grafico relativo:

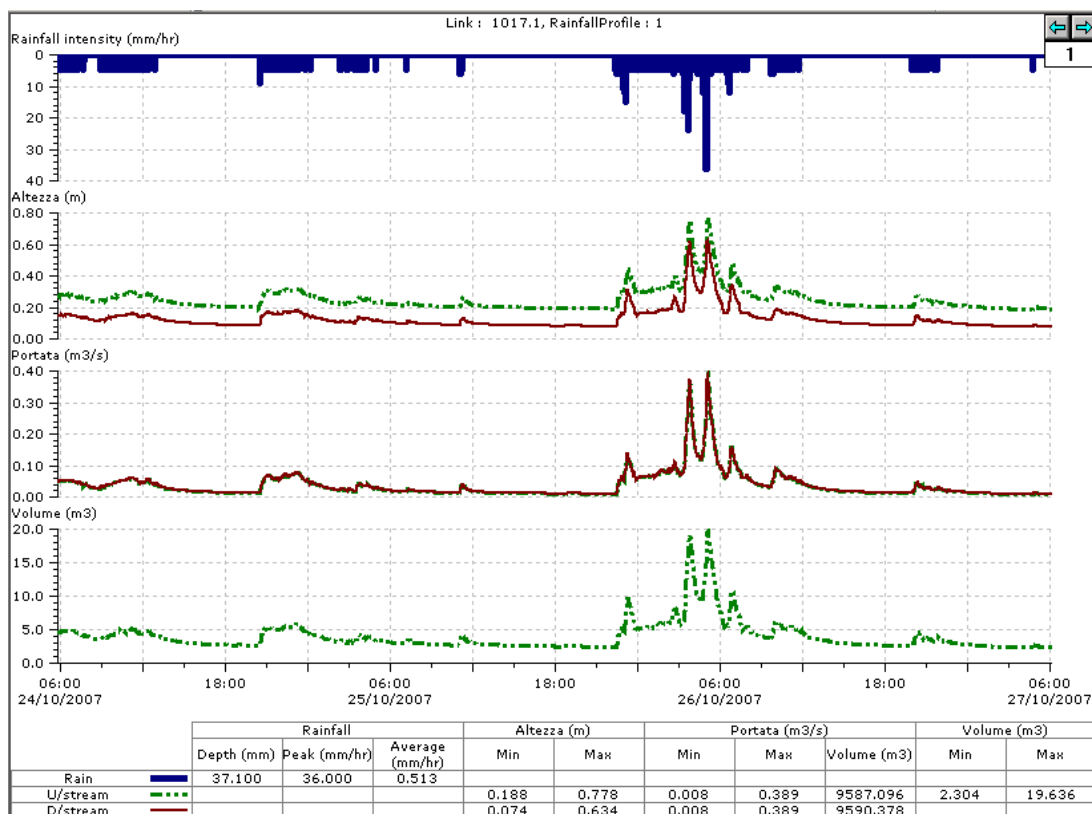


Di seguito si riporta il grafico comparativo:

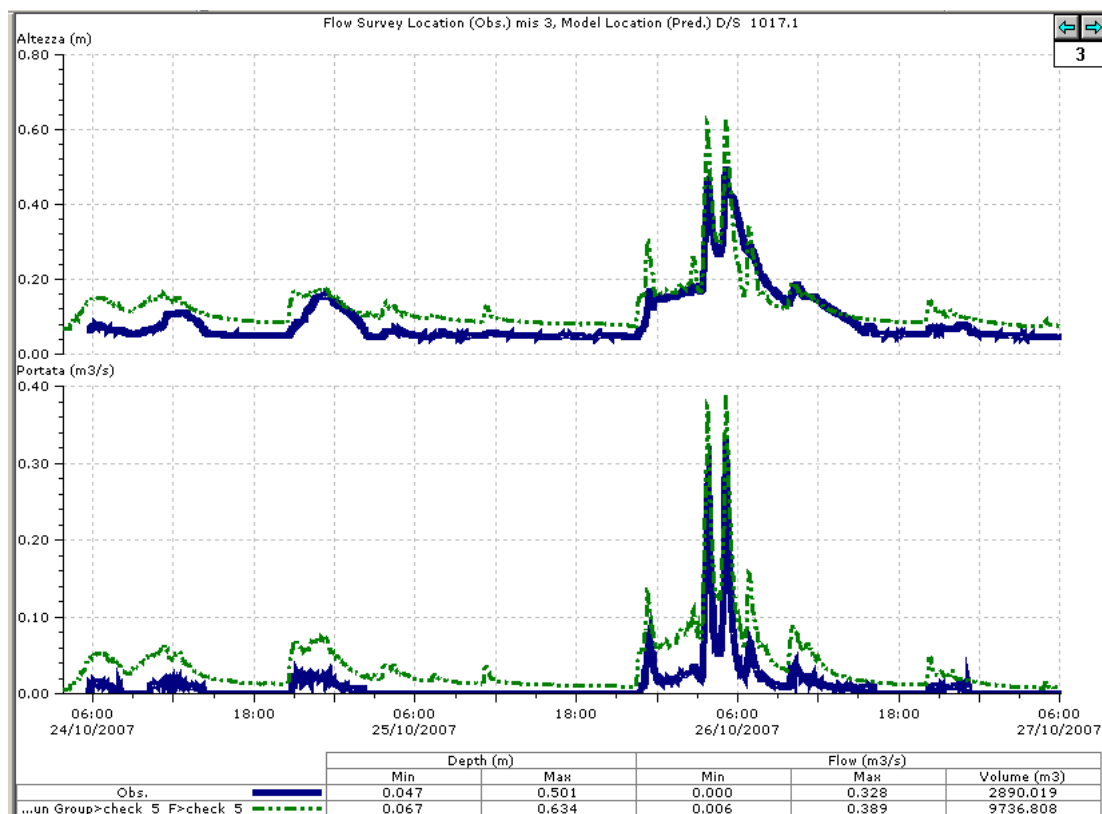


CHECK_5: in entrambe le curve c'è una sovrastima di circa 13 cm per il livello e di 61 l/s per la portata, le curve rispecchiano l'andamento dell'osservato anche in coda.

Di seguito si riporta il grafico relativo:

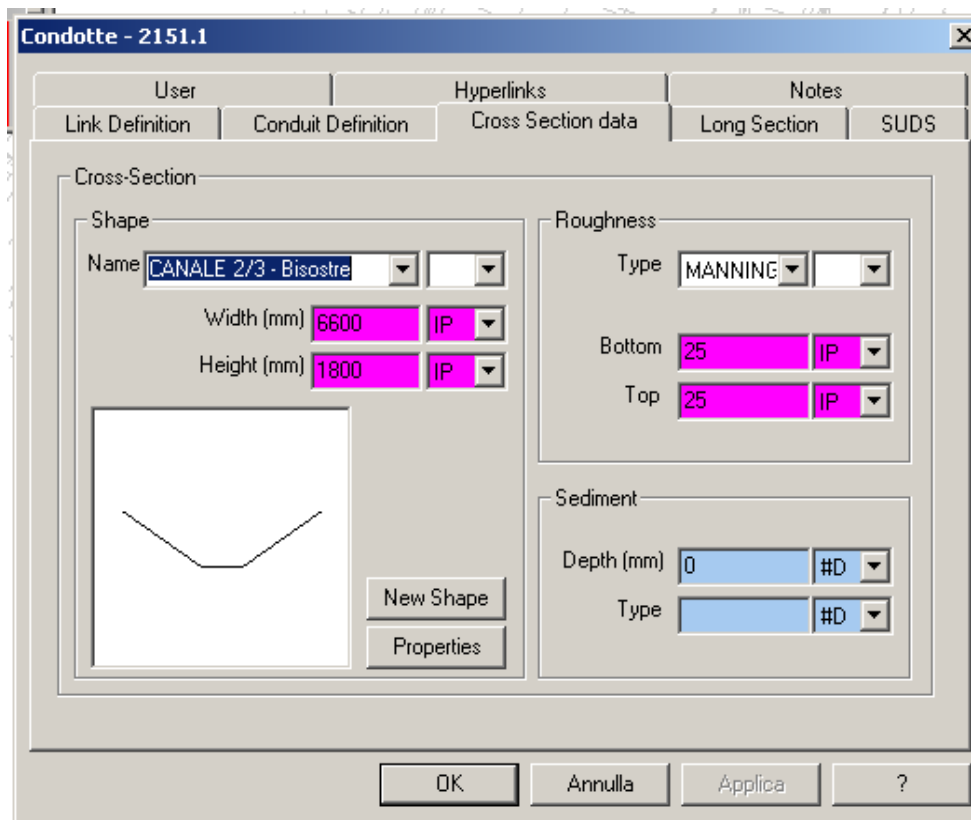


Di seguito si riporta il grafico comparativo:



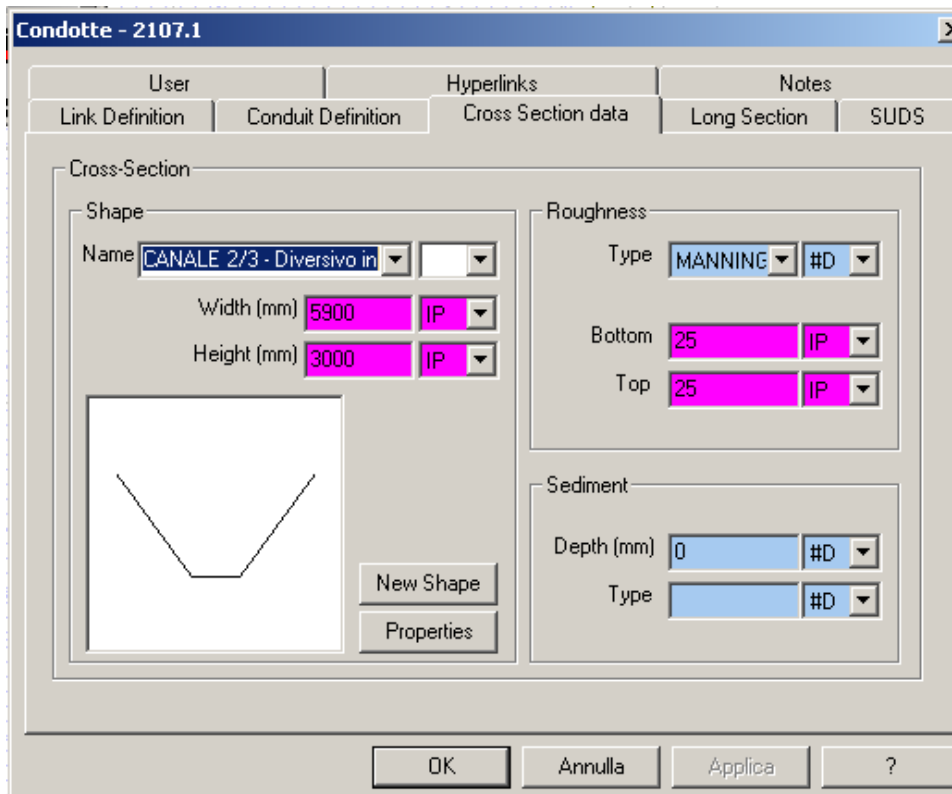
Le simulazioni sui misuratori *mis 2* e *mis 3* rispecchiano le stesse problematiche. Le cause che determinano queste differenze tra le curve simulate e le curve osservate si ricercano sia nelle condizioni al contorno che nelle situazioni di monte.

In primo luogo si è aumentato il bacino scolante del Bisostre (N.d.R. paragrafo 4.3.3.), in quanto essendo a cielo aperto a monte del tratto intubato riceve molta acqua dalla campagna e dalla zona industriale a Sud di Conselice. Questa condizioni di superficie permeabile ha influenzato il sistema fognario, introducendo maggiori quantità d'acqua bianca. Si riporta il profilo del Bisostre:



Il Bisostre intubato segue il suo corso con un diametro DN 1200, fino allo scolmatore 32FO2006, da cui una condotta DN 250 segue fino al nodo interessato alla misurazione in oggetto, mentre il Bisostre continua e si immette nel Diversivo in Valle. Le scarse pendenze e le minime soglie esistenti, oltre che la grande quantità d'acqua che scolma e l'influenza del Diversivo, fanno sì che in fognatura il livello si mantenga elevato fino oltre l'esaurimento dell'evento meteorico.

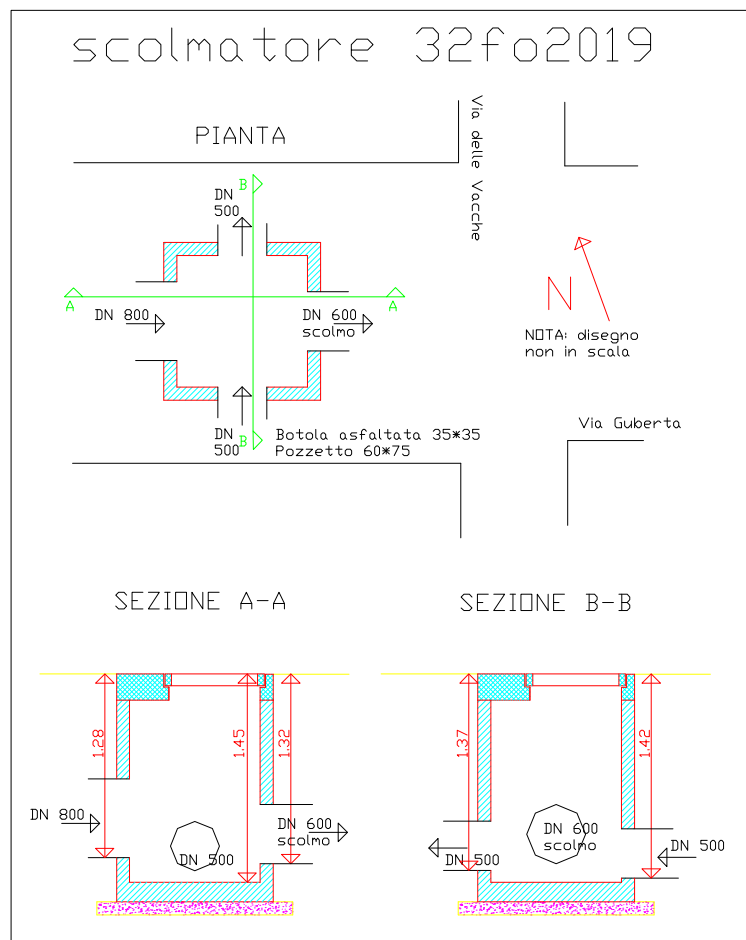
Occorre quindi rappresentare il Diversivo in Valle, sviluppando il canale per una lunghezza di circa 2,3 Km ed una pendenza media di 0.00015 m/m (come verificato con il Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale che ha fornito i profili), fin oltre il depuratore. Si riporta il profilo del Diversivo in Valle:



Nel modello quindi si prevede che i nodi degli scolmi e l'uscita del depuratore si immettano nel Canale, con un unico outfall a valle.

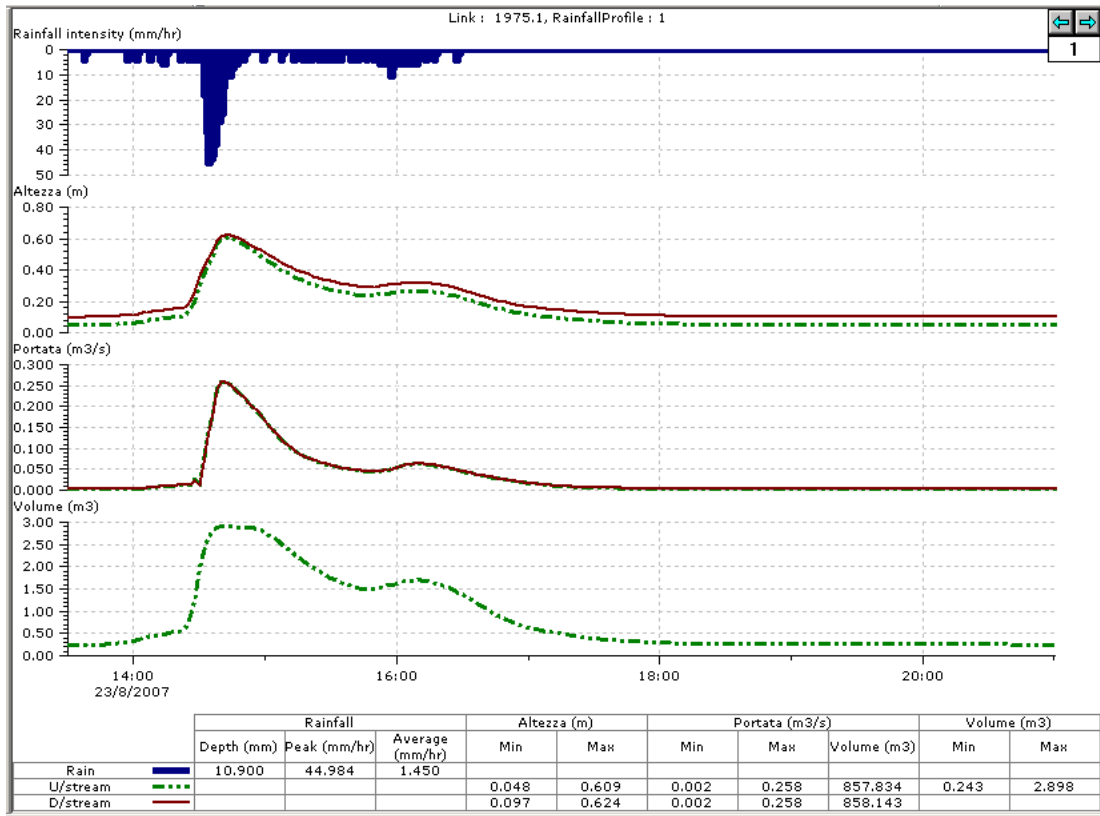
5.1.4. MIS 4

Il MIS 4 si localizza lungo la condotta 1975.1, DN 500 in arrivo, e lo scolmatore di riferimento è il 32FO2019.

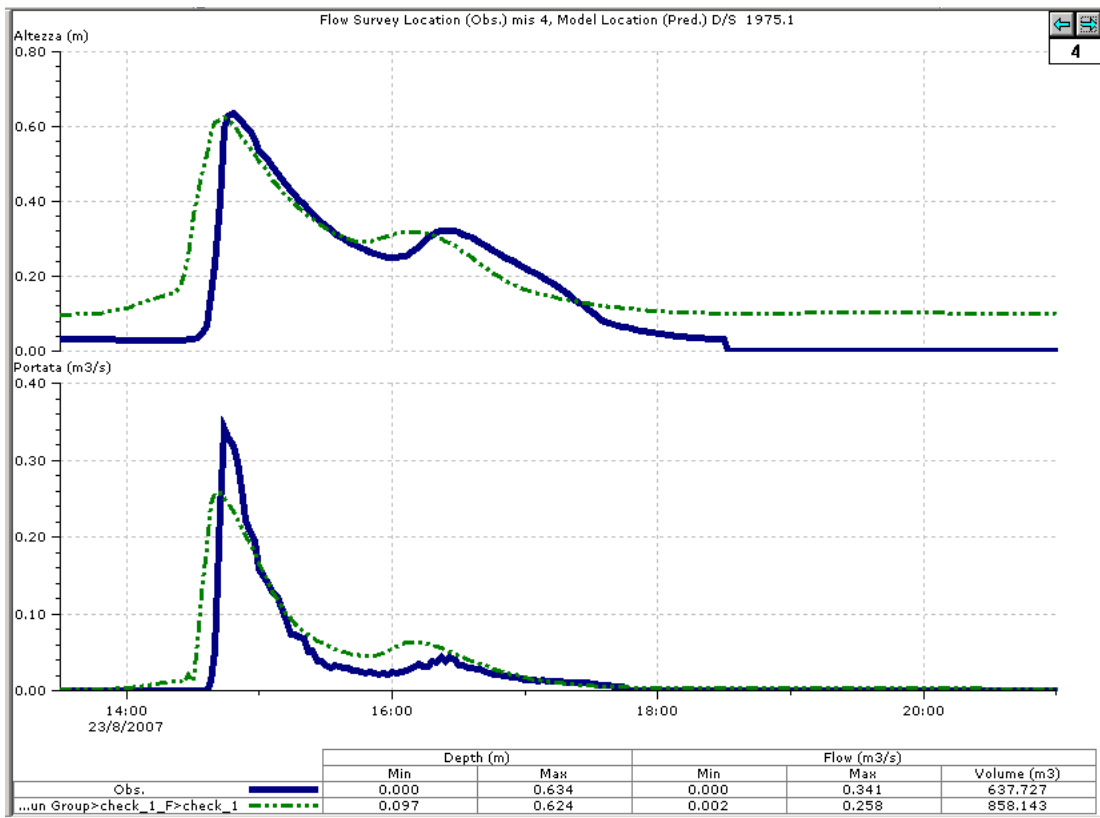


CHECK_1: l'elemento caratterizzante è l'anticipo delle curve di circa 10 minuti e la sottostima della portata. In generale, però era già un risultato soddisfacente.

Di seguito si riporta il grafico relativo:

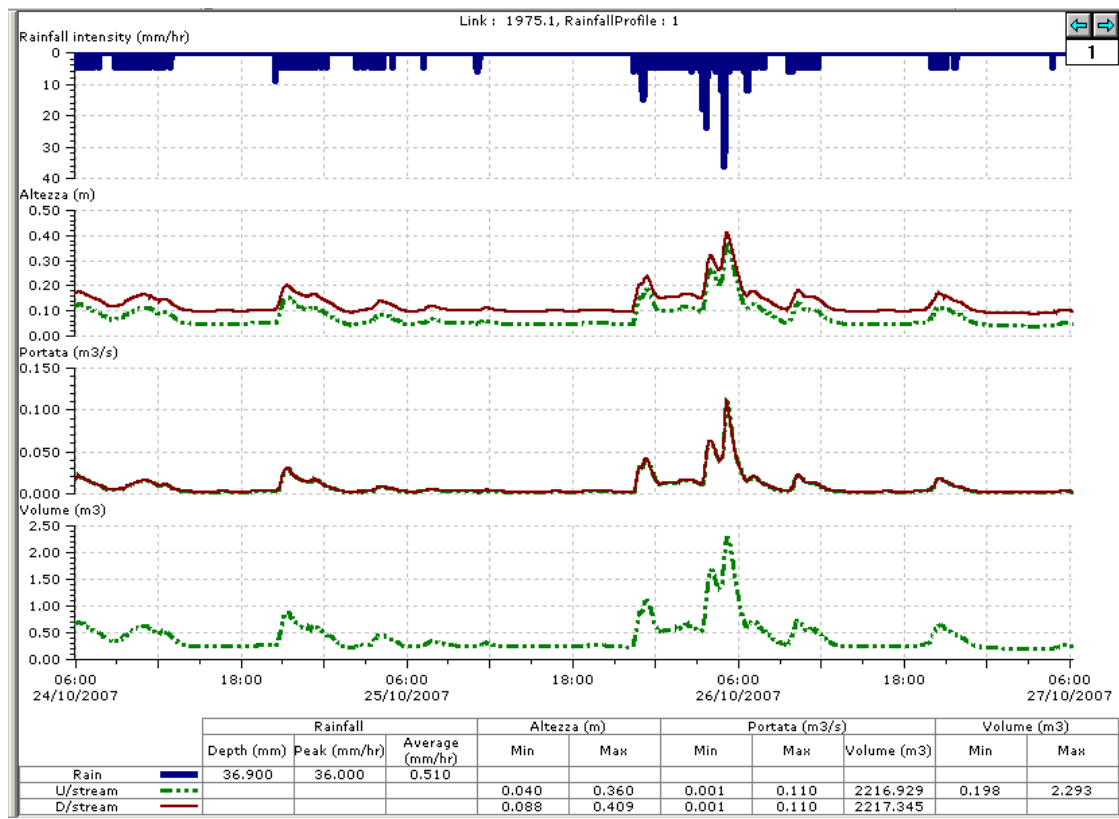


Di seguito si riporta il grafico comparativo:

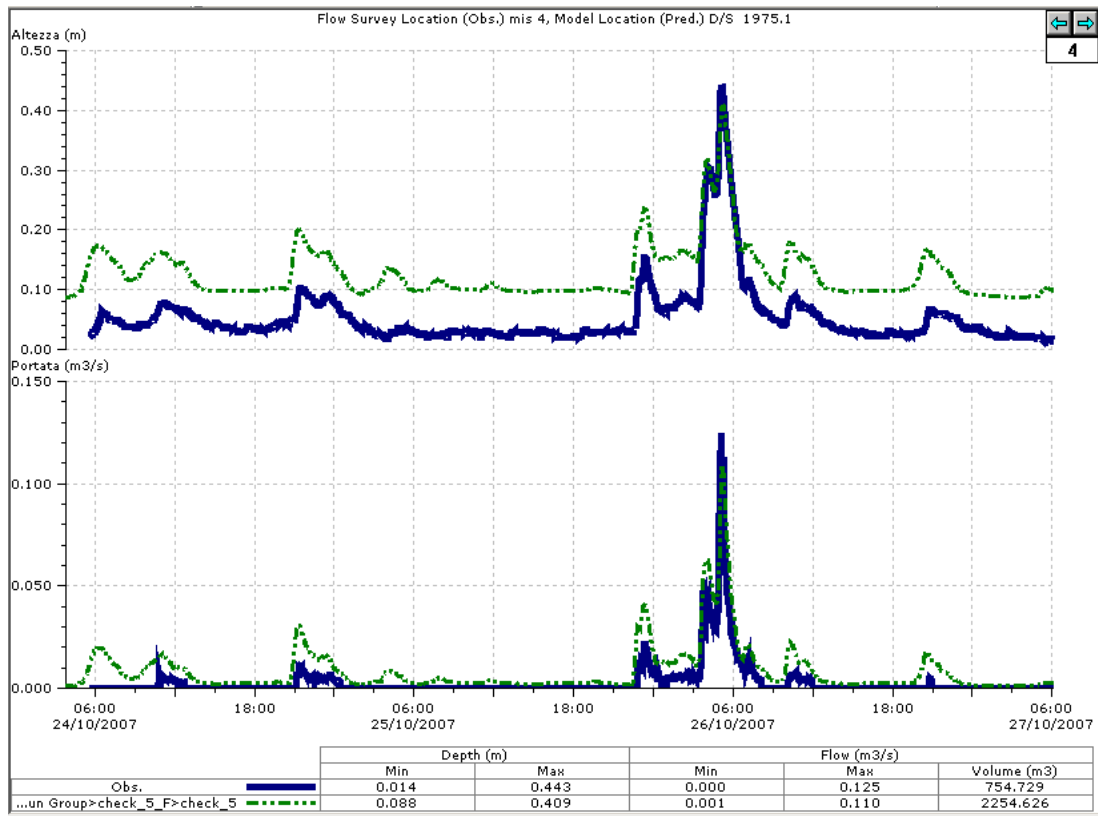


CHECK_5: anche in questo caso si notava un leggero anticipo e sottostime accettabili in entrambe le curve.

Di seguito si riporta il grafico relativo:



Di seguito si riporta il grafico comparativo:



Per migliorare la condizione si è provveduto a variare alcuni parametri ideologici di deflusso/afflusso e ruscellamento.

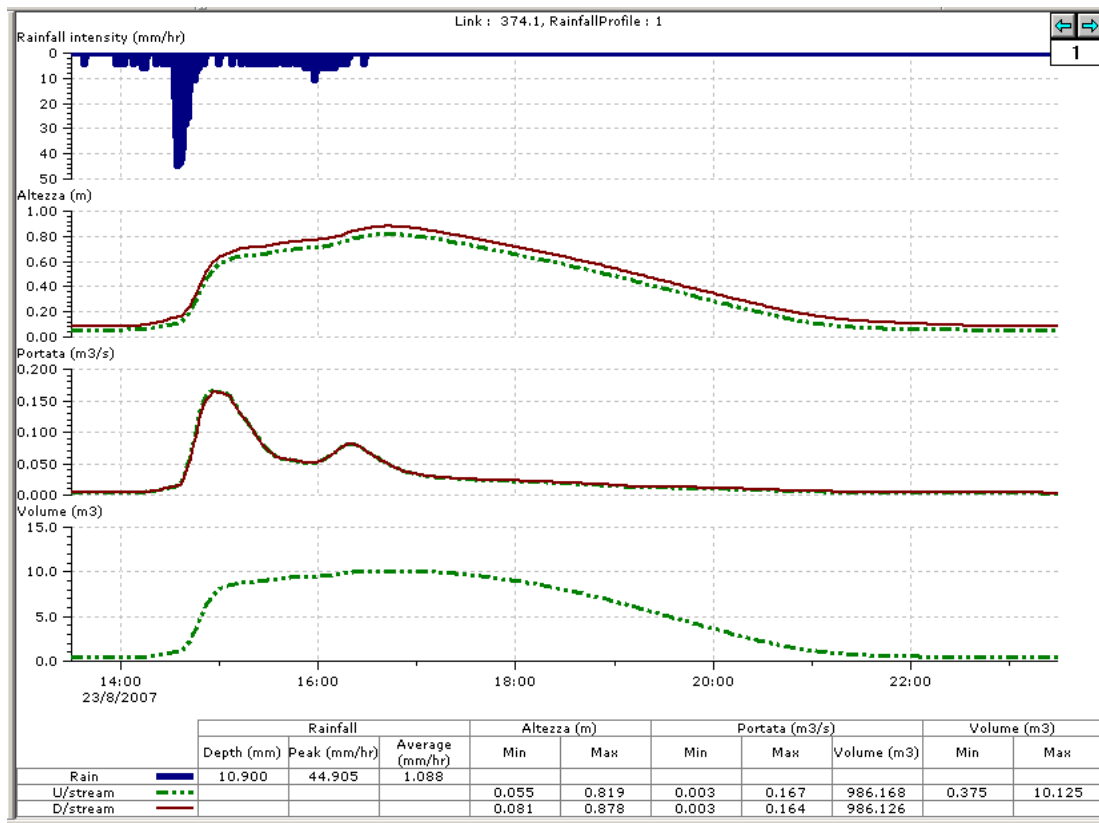
5.2. I risultati successivi

Apportate le modifiche discusse nei paragrafi precedenti, si descrivono i risultati ottenuti per ciascun misuratore negli eventi meteorici analizzati.

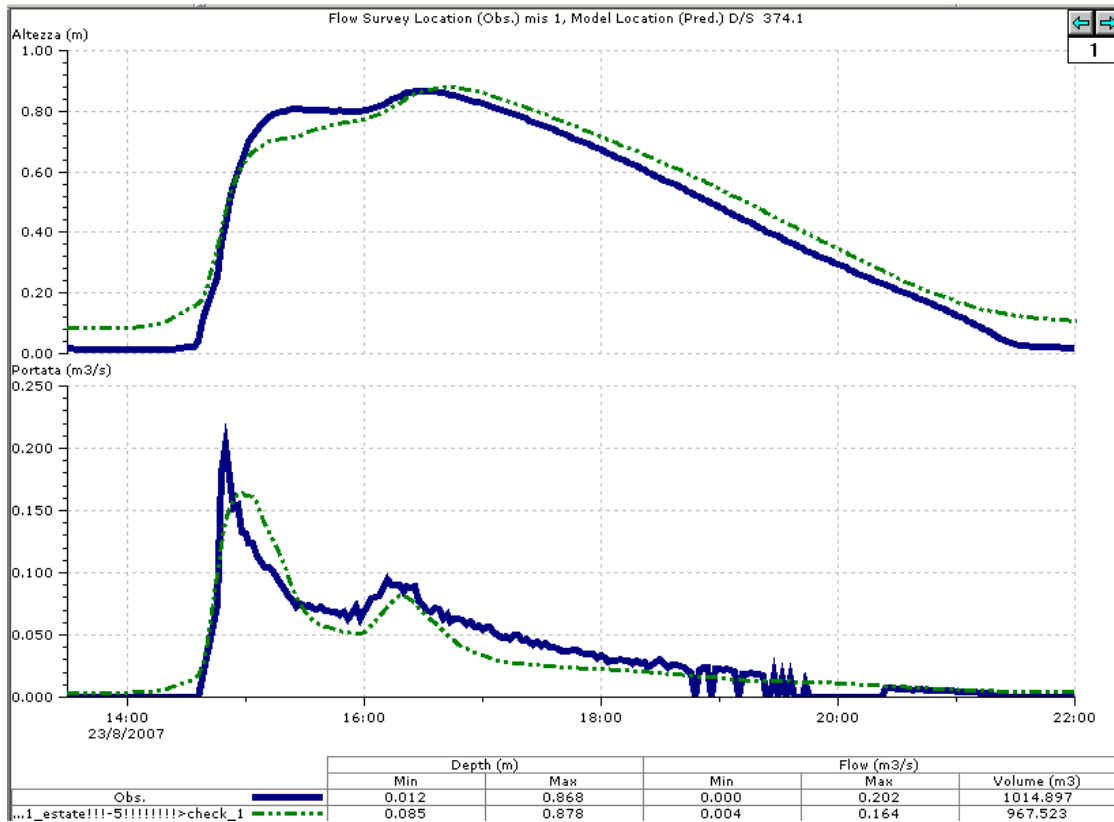
5.2.1. MIS 1

CHECK_1: la curva simulata del livello rappresenta in modo adeguato le misure osservate, mentre la curva della portata risulta sottostimata di circa 40 l/s e il suo picco ancora posticipato di 15 minuti circa.

Di seguito si riporta il grafico relativo:

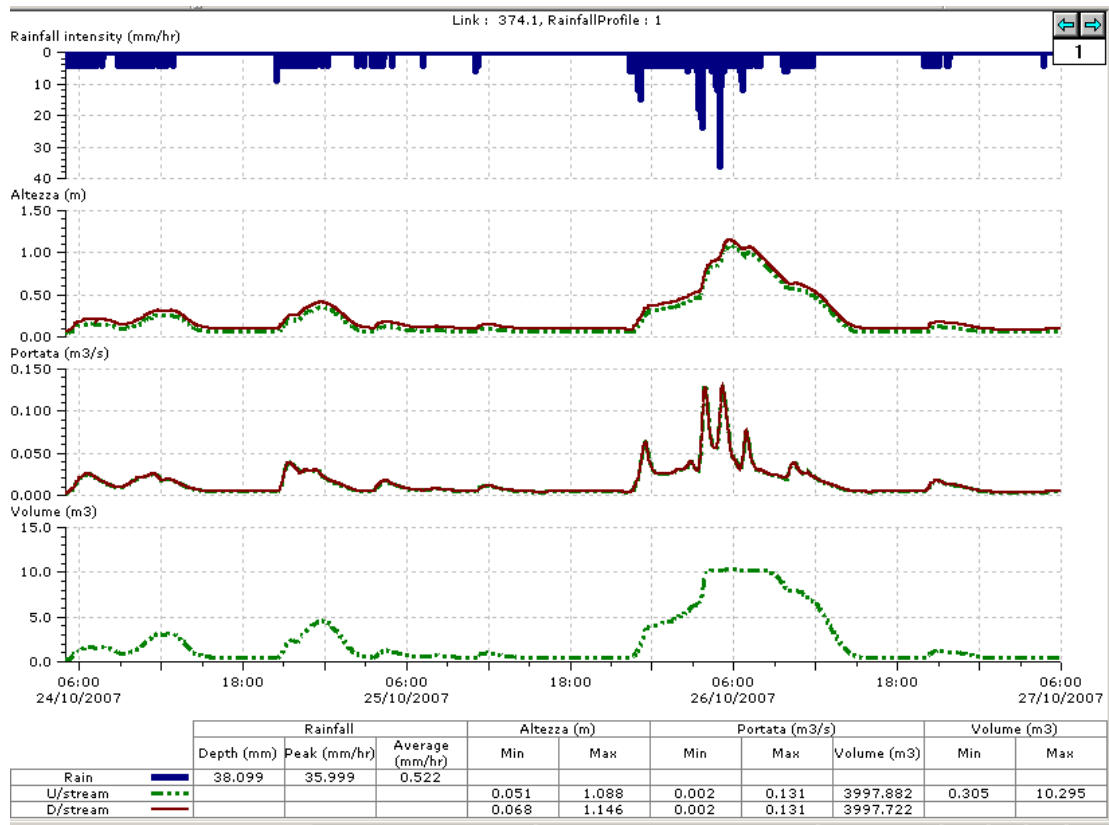


Di seguito si riporta il grafico comparativo:

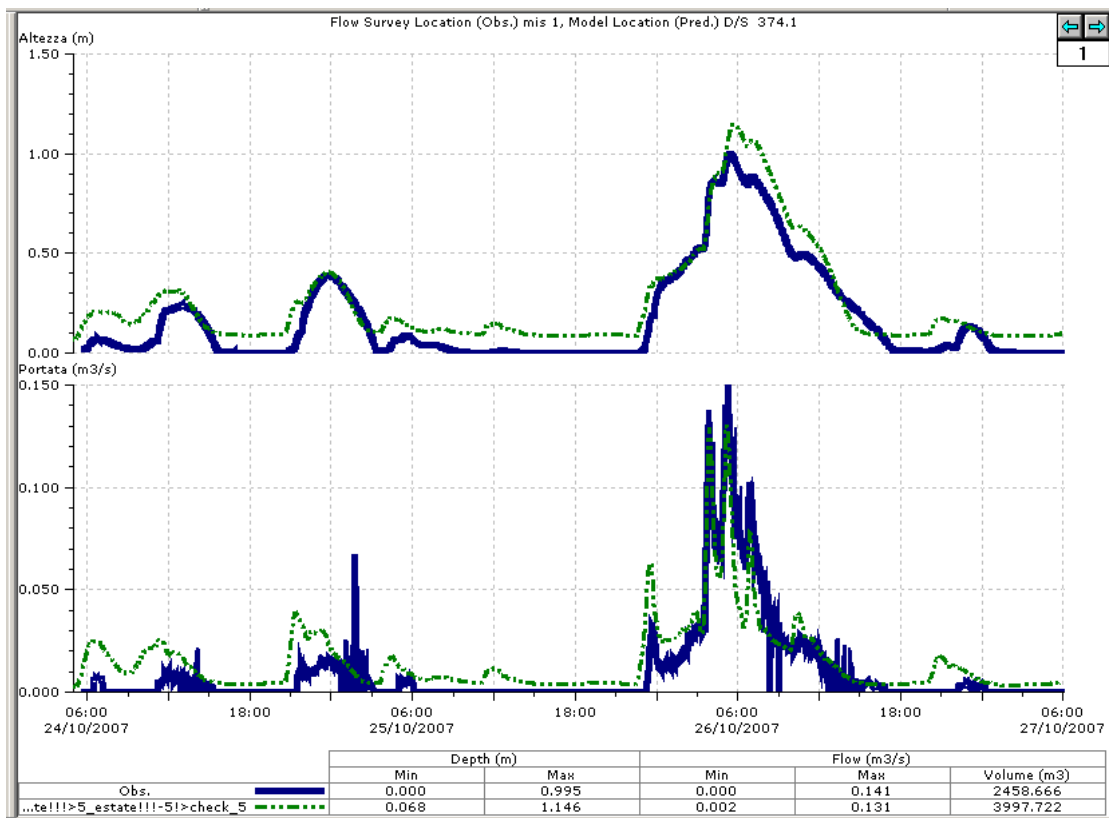


CHECK_5: la curva simulata del livello rappresenta adeguatamente la situazione osservata, così come la portata segue l'andamento misurato, leggermente sottostimata nei picchi.

Di seguito si riporta il grafico relativo:



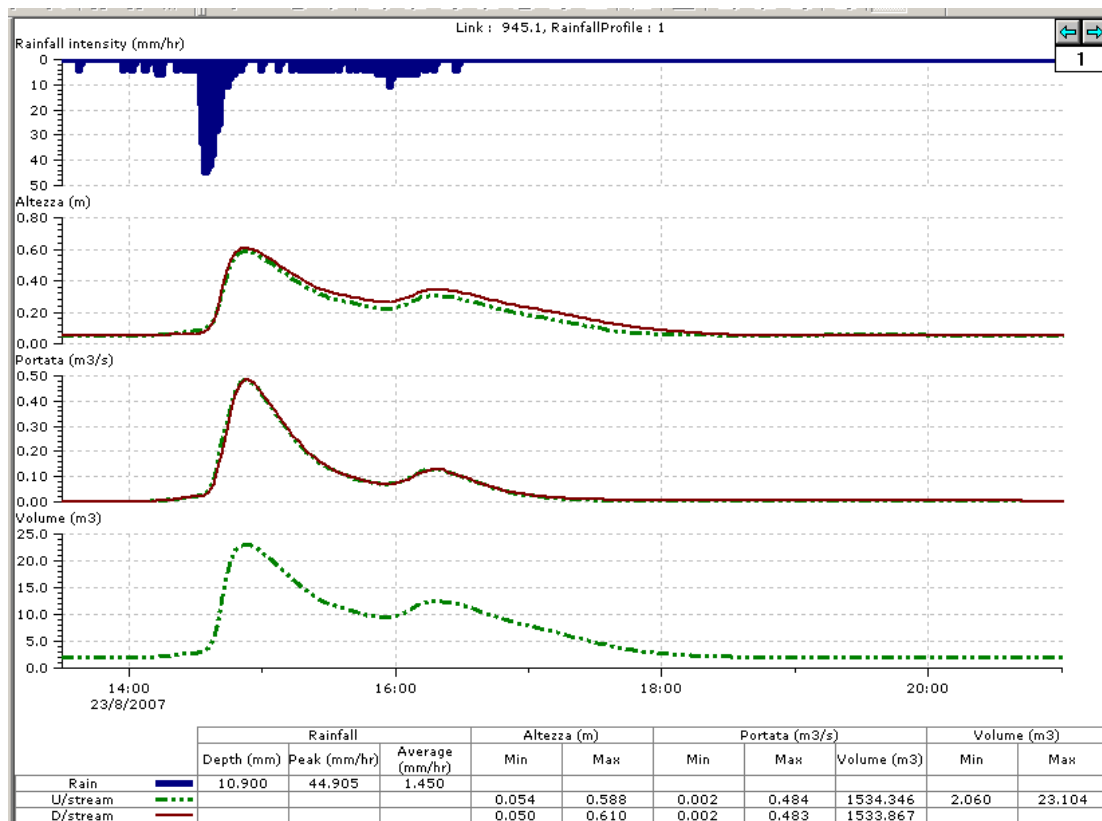
Di seguito si riporta il grafico comparativo:



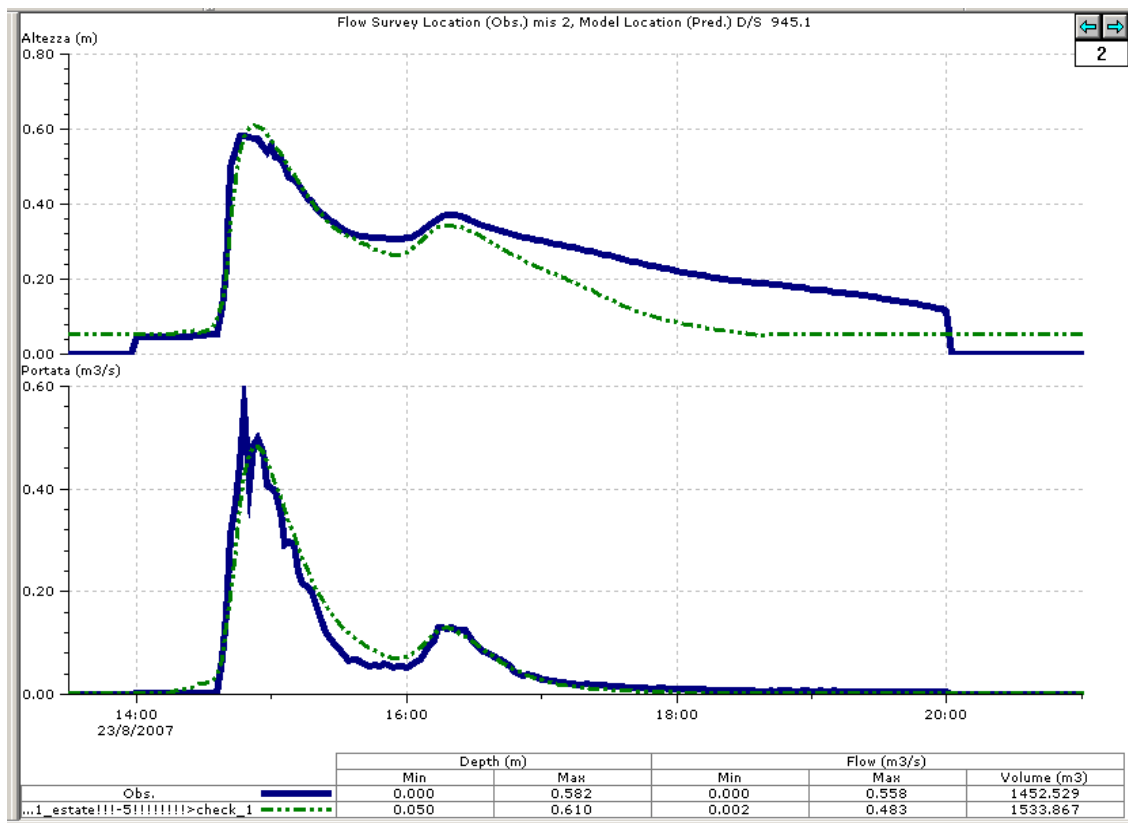
5.2.2. MIS 2

CHECK_1: il picco del livello risulta corrispondere anche se rimane leggermente sottostimata la coda di 10 cm, la quale comunque riporta una decrescita lineare, mentre la portata rispecchia l'osservato.

Di seguito si riporta il grafico relativo:

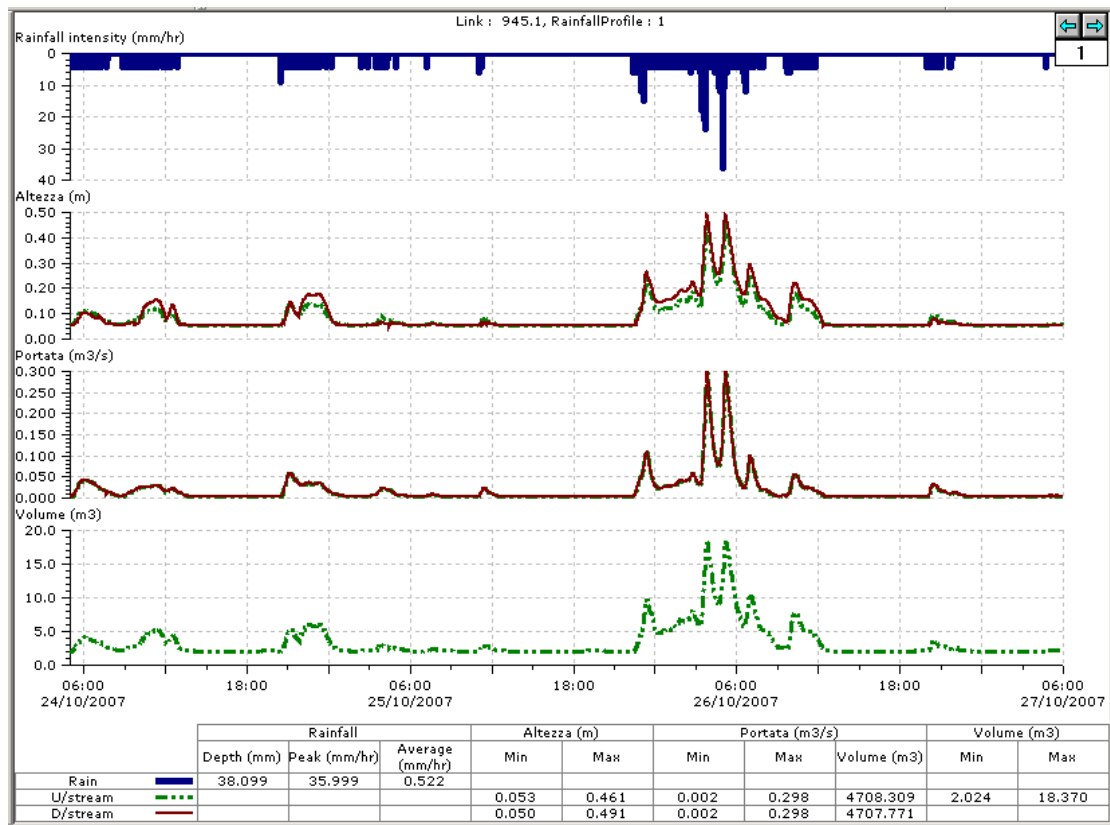


Di seguito si riporta il grafico comparativo:

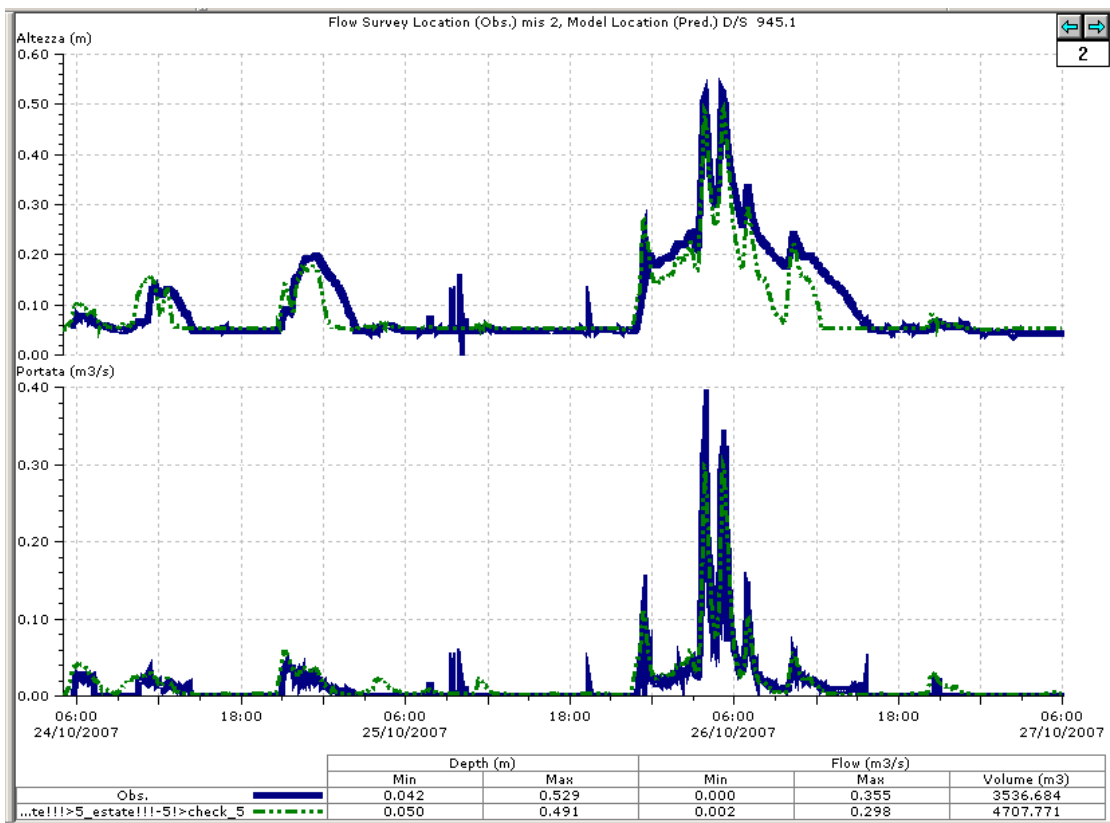


CHECK_5: anche in questo caso la coda della curva del livello rimane leggermente sottostimata e i picchi sono pressoché equivalenti all'osservato, mentre nella portata c'è una leggera sottostima. Gli andamenti sono regolari.

Di seguito si riporta il grafico relativo:



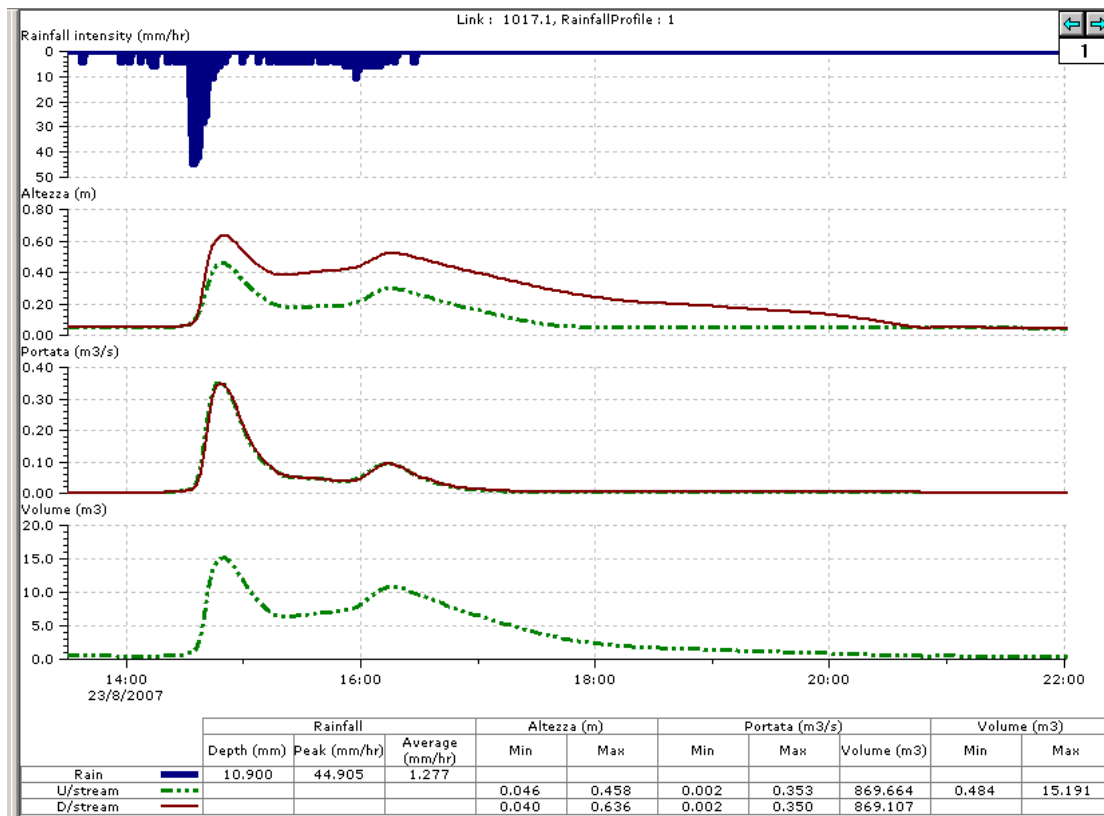
Di seguito si riporta il grafico comparativo:



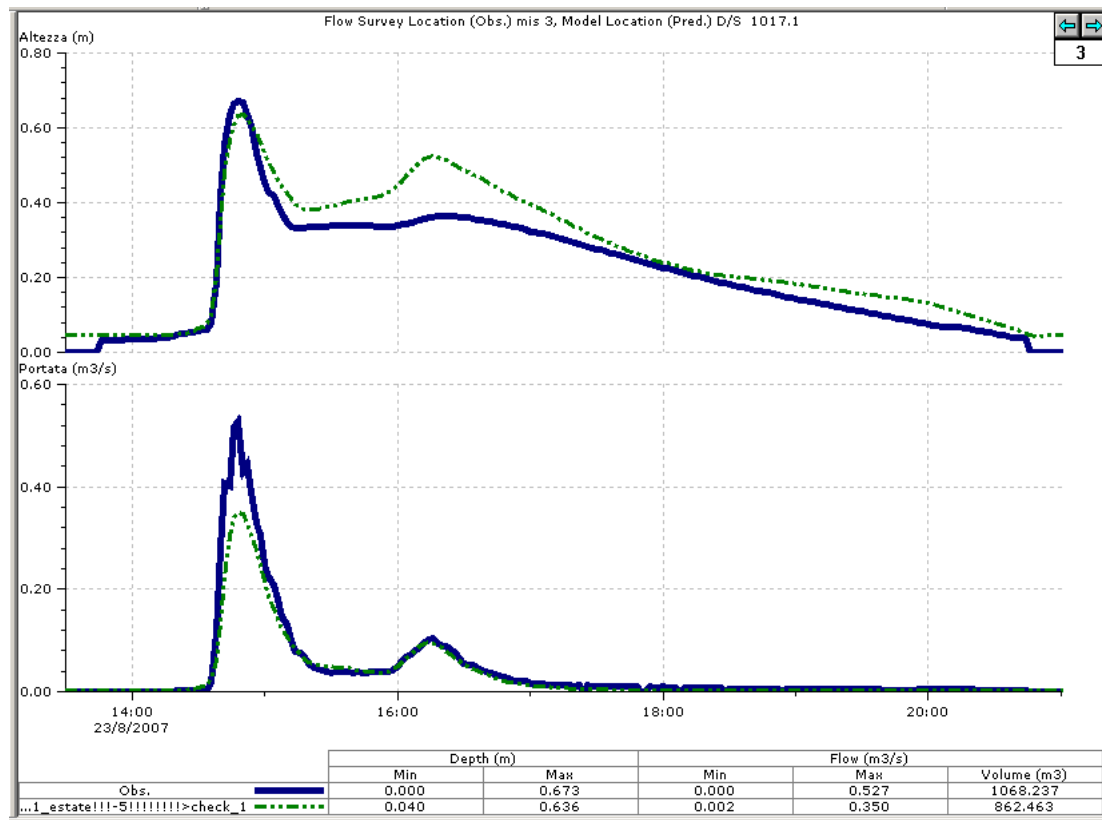
5.2.3. MIS 3

CHECK_1: il picco, con leggera sottostima di circa 4 cm, e la coda del livello seguono l'andamento dell'osservato, a meno del secondo picco sovrastimato di 15 cm di breve durata. Il picco della portata è sottostimata di circa 180 l/s, ma la curva segue l'andamento dell'osservato.

Di seguito si riporta il grafico relativo:

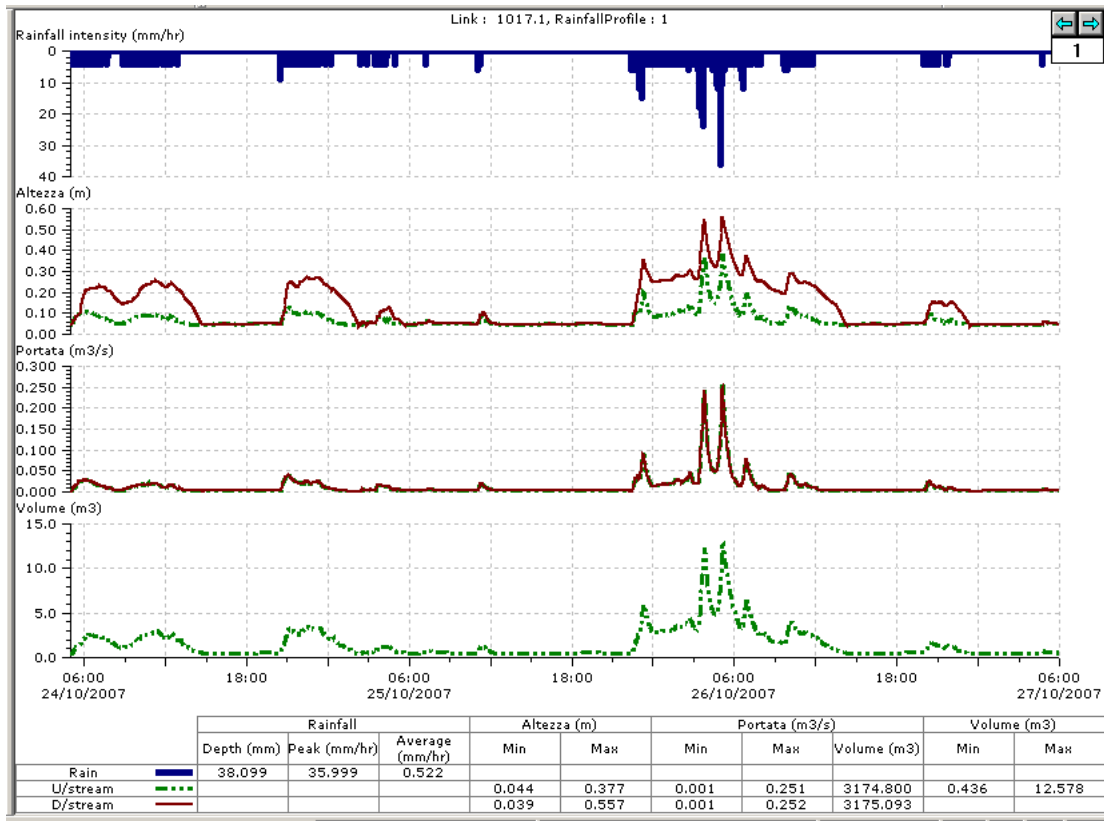


Di seguito si riporta il grafico comparativo:

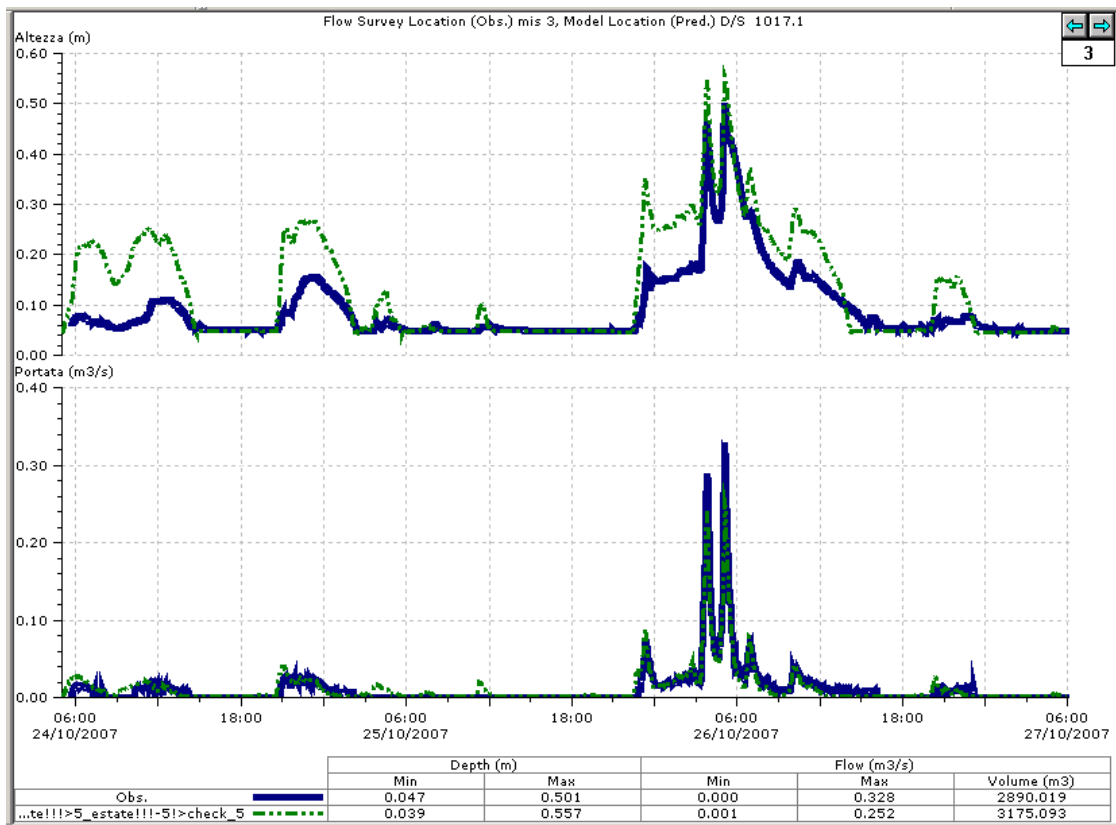


CHECK_5: l'andamento della curva del livello è sovrastimata di circa 10 centimetri in tutti i picchi, la portata invece risulta leggermente sottostimata. Entrambe le curve seguono l'andamento dell'osservato.

Di seguito si riporta il grafico relativo:



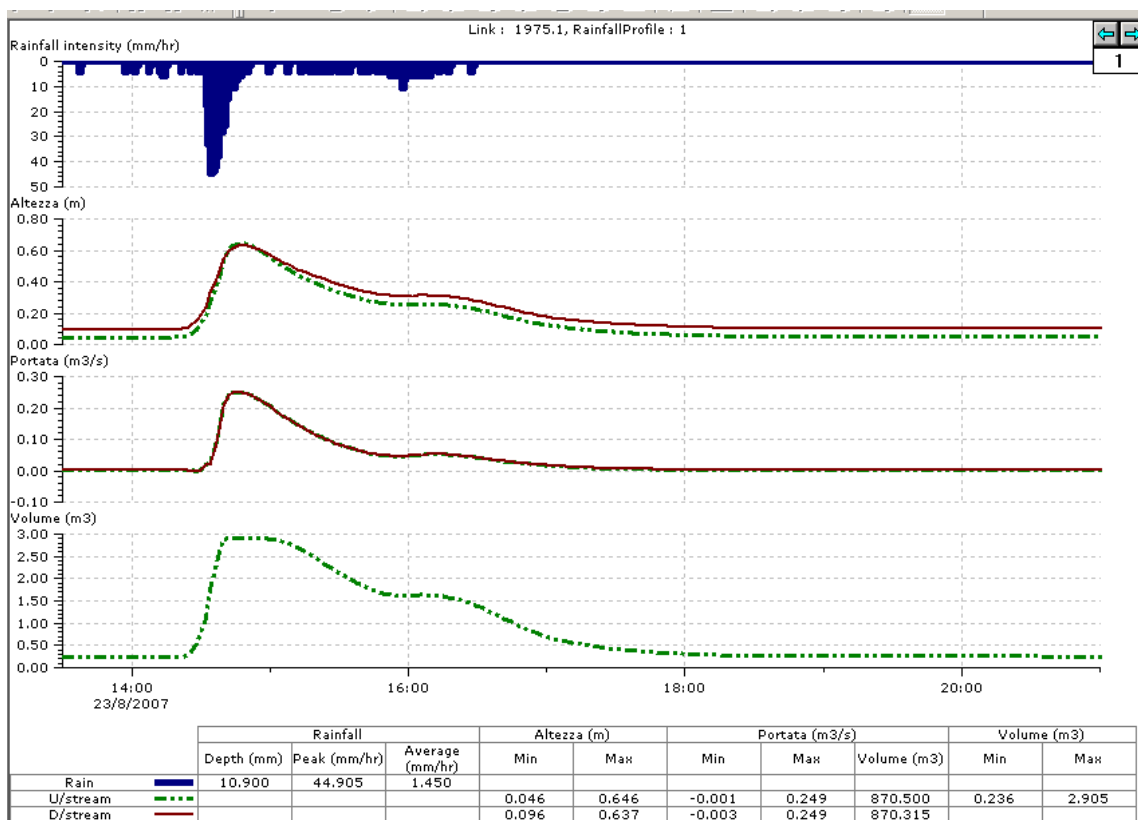
Di seguito si riporta il grafico comparativo:



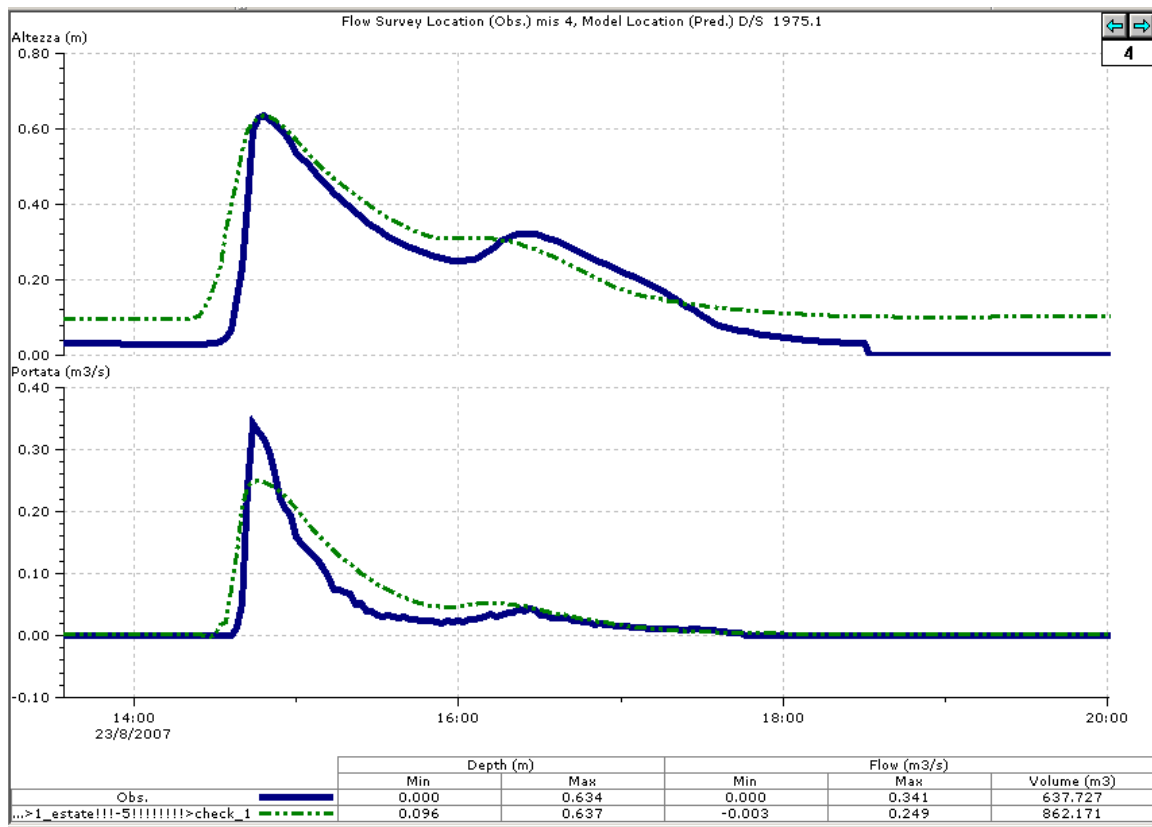
5.2.4. MIS 4

CHECK_1: la curva del livello si presenta a campana più larga, pressoché simile, mentre la portata è sottostimata di circa 90 l/s con picco più curvilineo, ma nell'andamento simile.

Di seguito si riporta il grafico relativo:

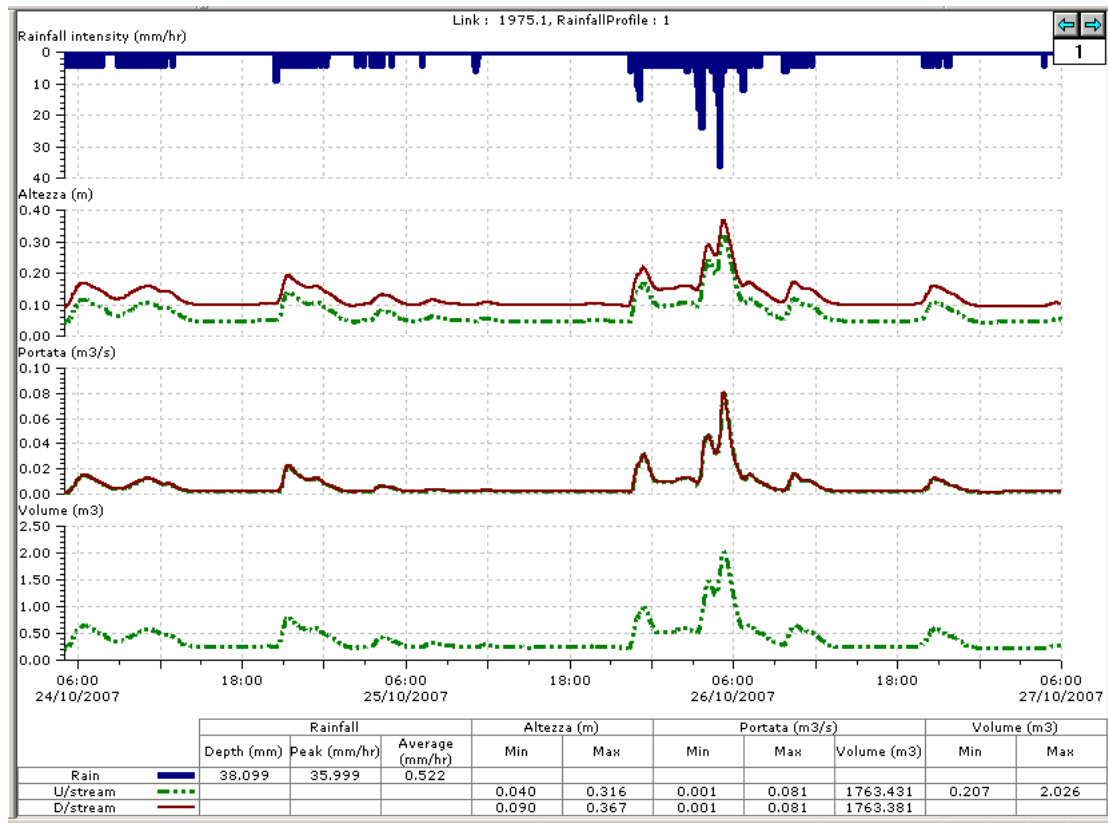


Di seguito si riporta il grafico comparativo:

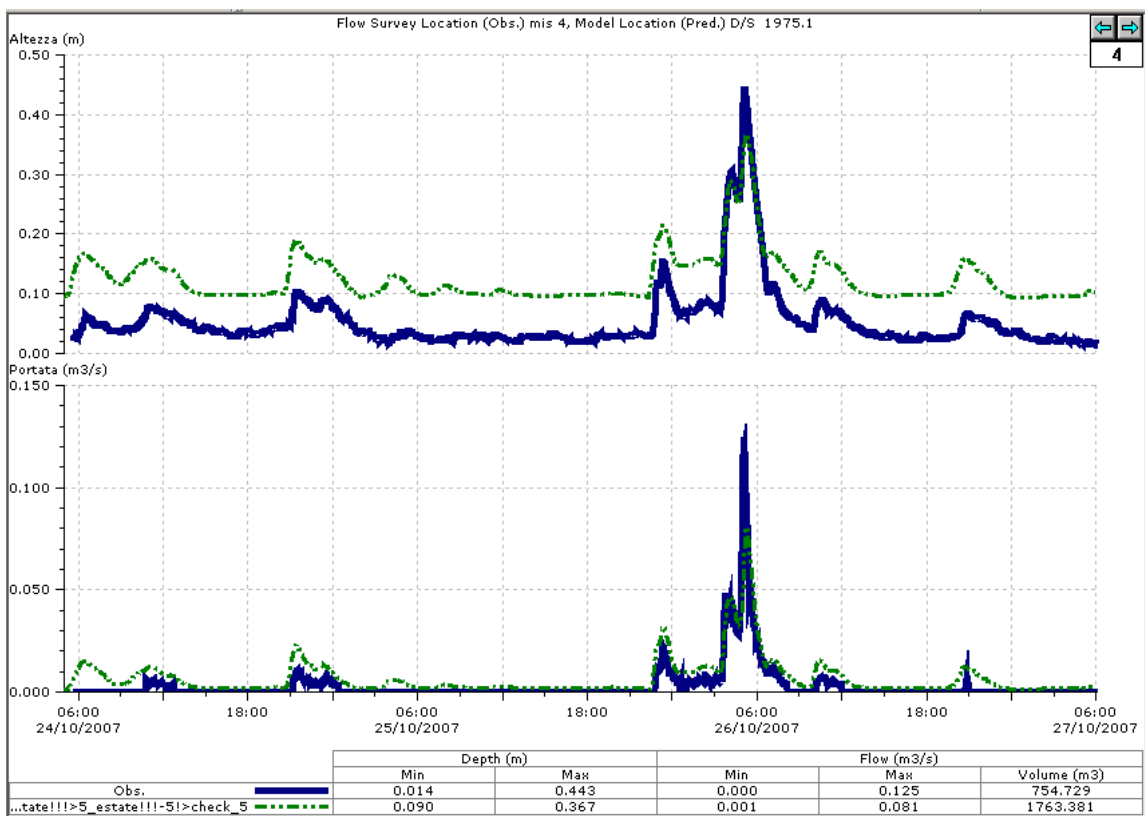


CHECK_5: entrambe le curve hanno i picchi massimi sottostimati, ma gli andamenti sono come osservati.

Di seguito si riporta il grafico relativo:



Di seguito si riporta il grafico comparativo:



6. Conclusioni

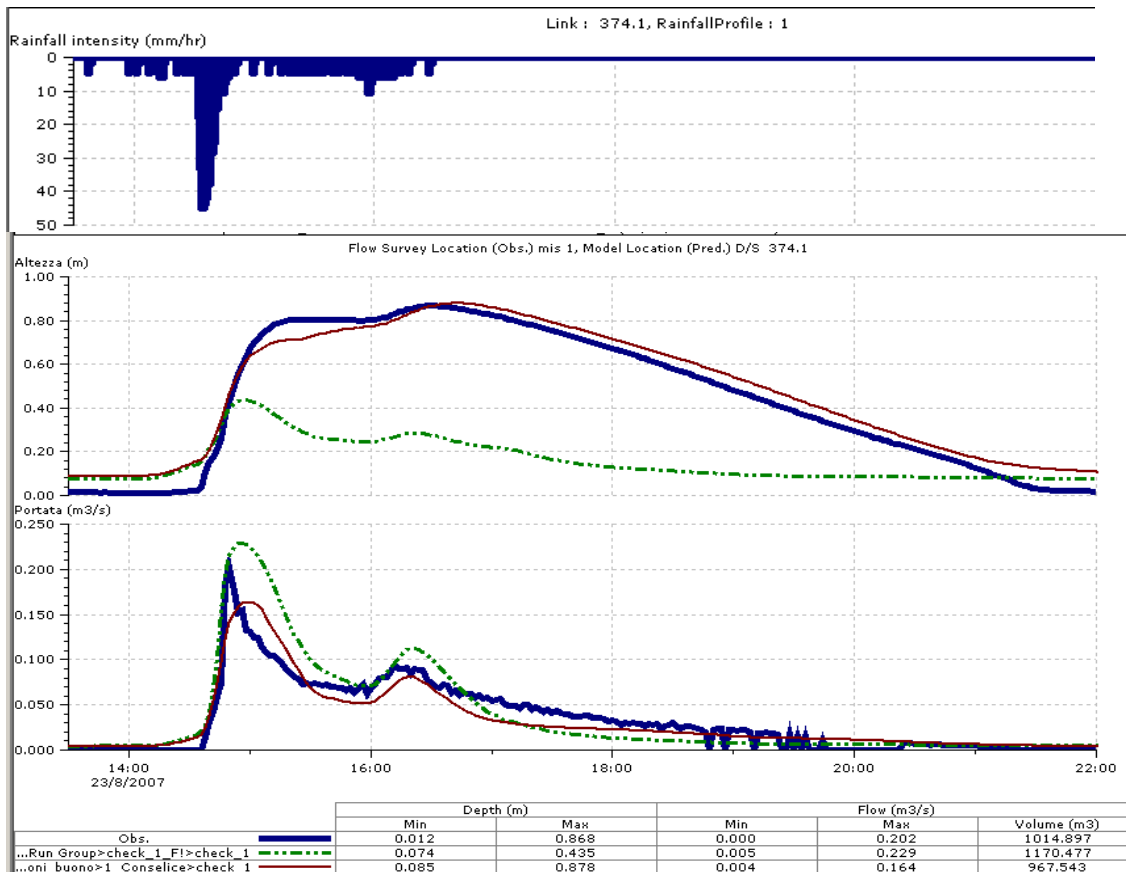
Nei prossimi paragrafi si confronta per ogni evento meteorico il grafico ottenuto dalla prima simulazione della rete di Conselice, importata tal quale e non soggetta a verifiche geometriche, con il grafico dell'ultima simulazione effettuata, che rappresenta la calibrazione del modello. La comparazione si completa con il grafico delle misure monitorate e il relativo profilo di pioggia.

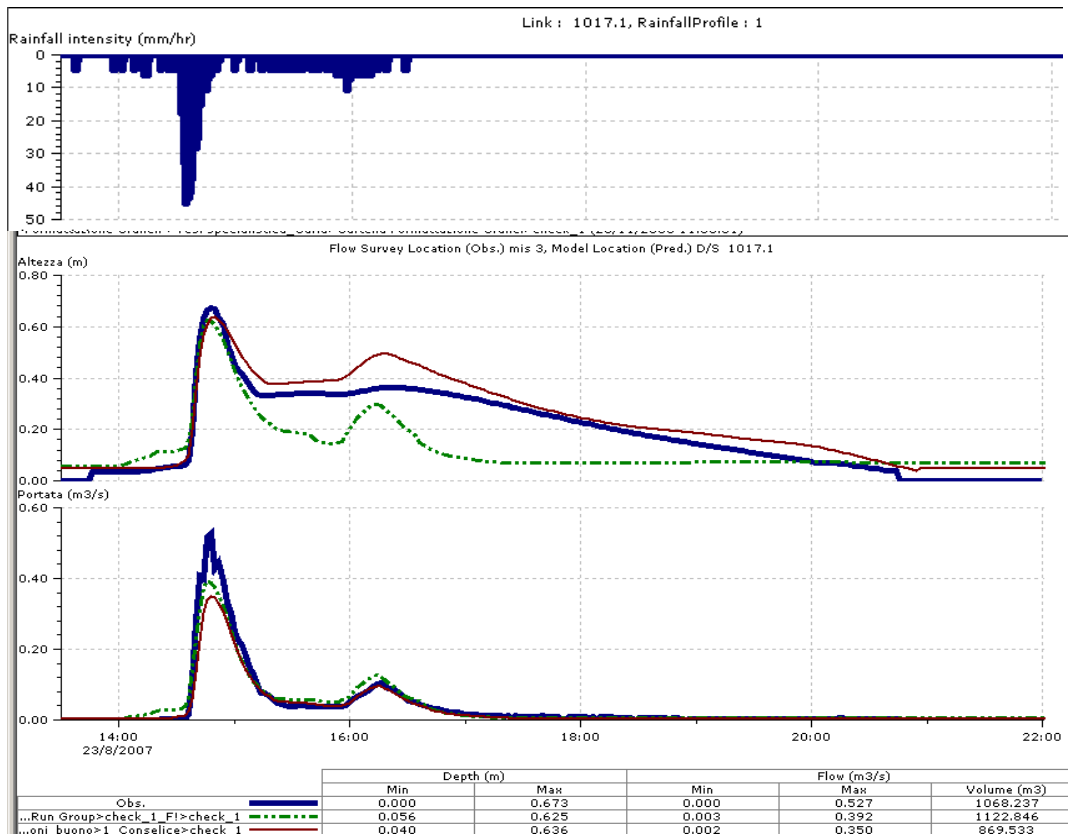
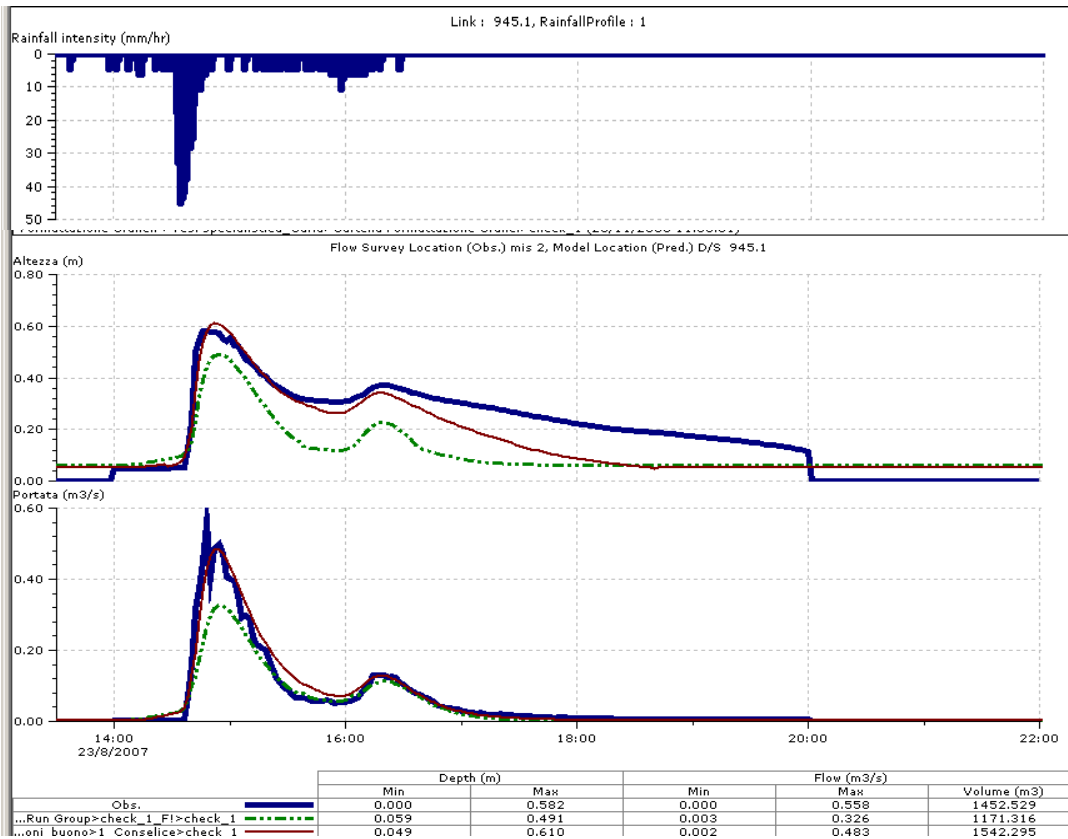
La scala cromatica dei grafici sottostanti evidenzia in blu i dati osservati, in verde le curve relative alla prima simulazione e in rosso le curve relative all'ultima simulazione.

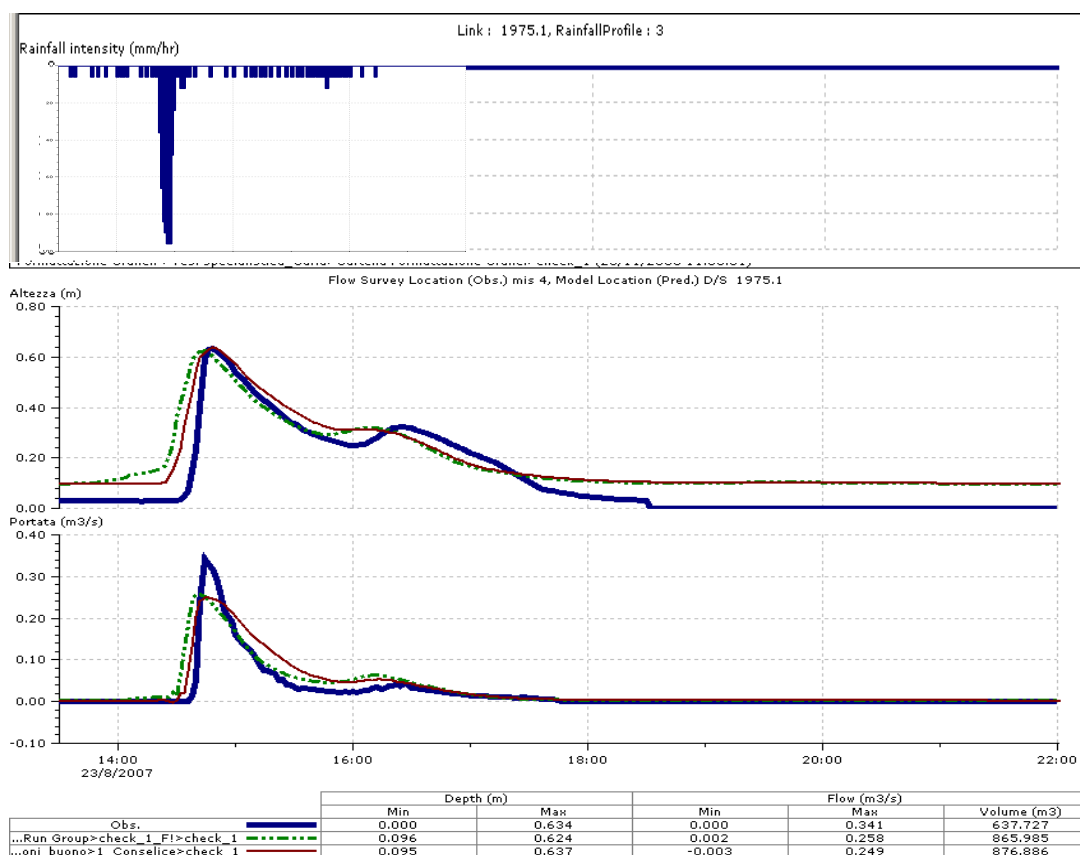
Il software InfoWorks CS permette di ottenere una visualizzazione dello scenario massimo avutosi all'interno della simulazione, come involucro complessivo e quindi non rappresentante un istante specifico. Inoltre è possibile esportare in formato AVI l'animazione della simulazione.

6.1. Stato della rete durante l'evento Check 1

Di seguito si riportano i grafici, con le precipitazioni relative, che confrontano le simulazioni effettuate rispetto le misure di livello e di portata osservate:







Il confronto tra i Massimi Scenari della prima e ultima simulazione di quest'evento si basa sull'osservazione delle aree soggette ad allagamento e sul sovraccarico delle condotte.

Il fenomeno di esondazione istantanea si riscontra in entrambe le simulazioni, con diverso grado di volume esondato, soprattutto nella zona industriale a Nord di Conselice e lungo la Via Selice Vecchia a valle di San Patrizio. Visualizzando le animazioni si nota che il tempo di tale fenomeno non supera i 30 minuti.

I tratti maggiormente sovraccaricati, per entrambe le simulazioni, sono quelli di diametro DN 200 e DN 250, che confluiscono in tempo secco le acque nere al depuratore, situate nelle aree periferiche della città.

Osservando l'ultima simulazione, si nota che lo Scolo Consorziiale del Bisostre entra rapidamente in crisi, causa il carattere estivo della precipitazione, determinando un aumento di livello nelle condotte in città con un lento deflusso verso il recettore Diversivo in Valle.

Di seguito si riporta il sommario che descrive i massimi volumi generati dalla prima simulazione riguardante l'evento meteorico Check 1:

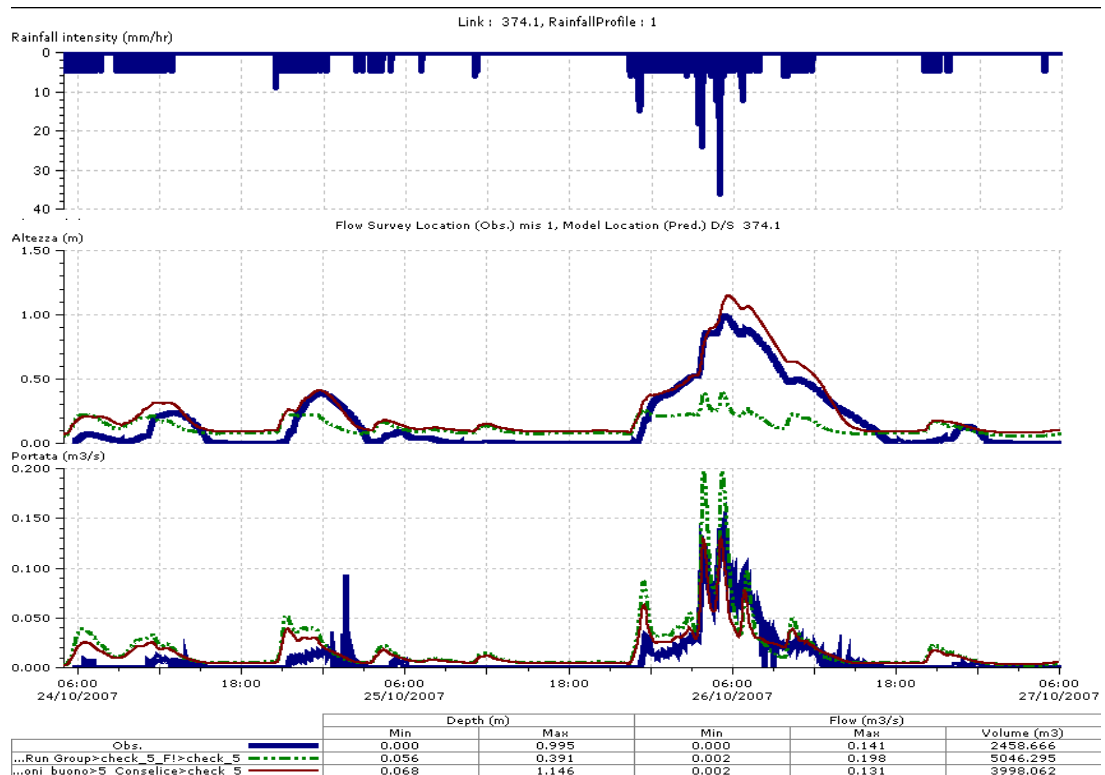
Prima simulazione Check 1		
Precipitazione totale	20708.9	m ³
Deflusso totale	7585.2	m ³
Immissione	8321.0	m ³
Emissione	6156.3	m ³
Perdite	0	m ³

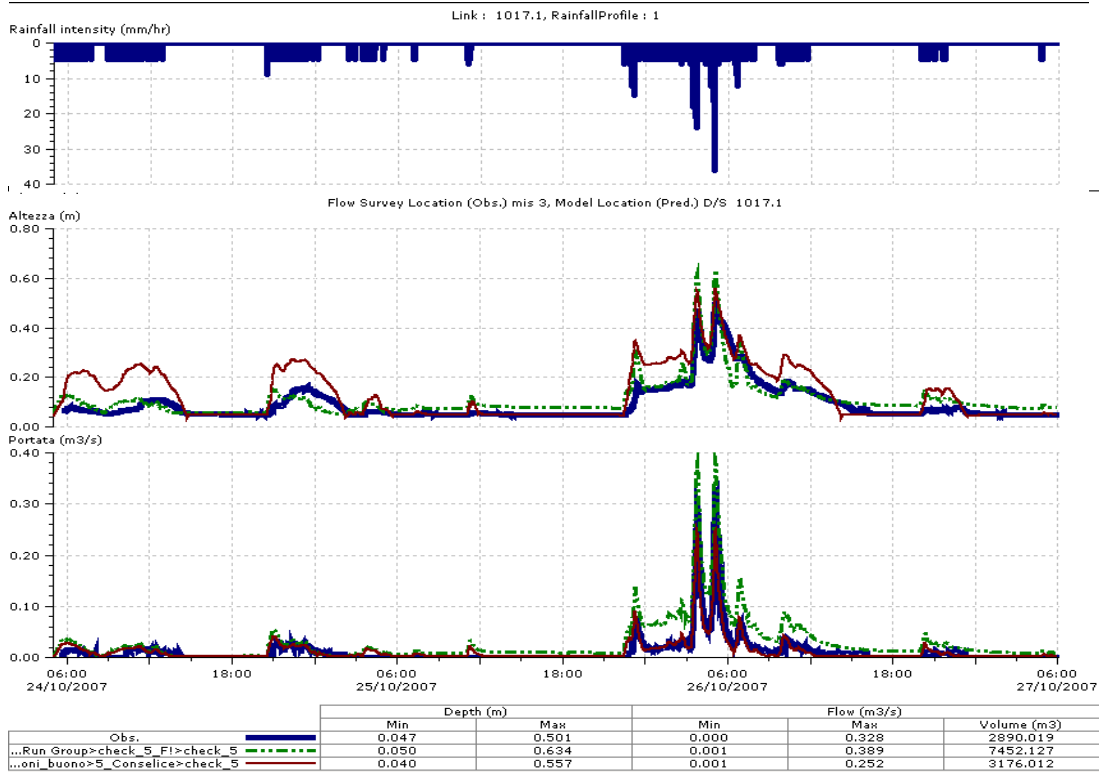
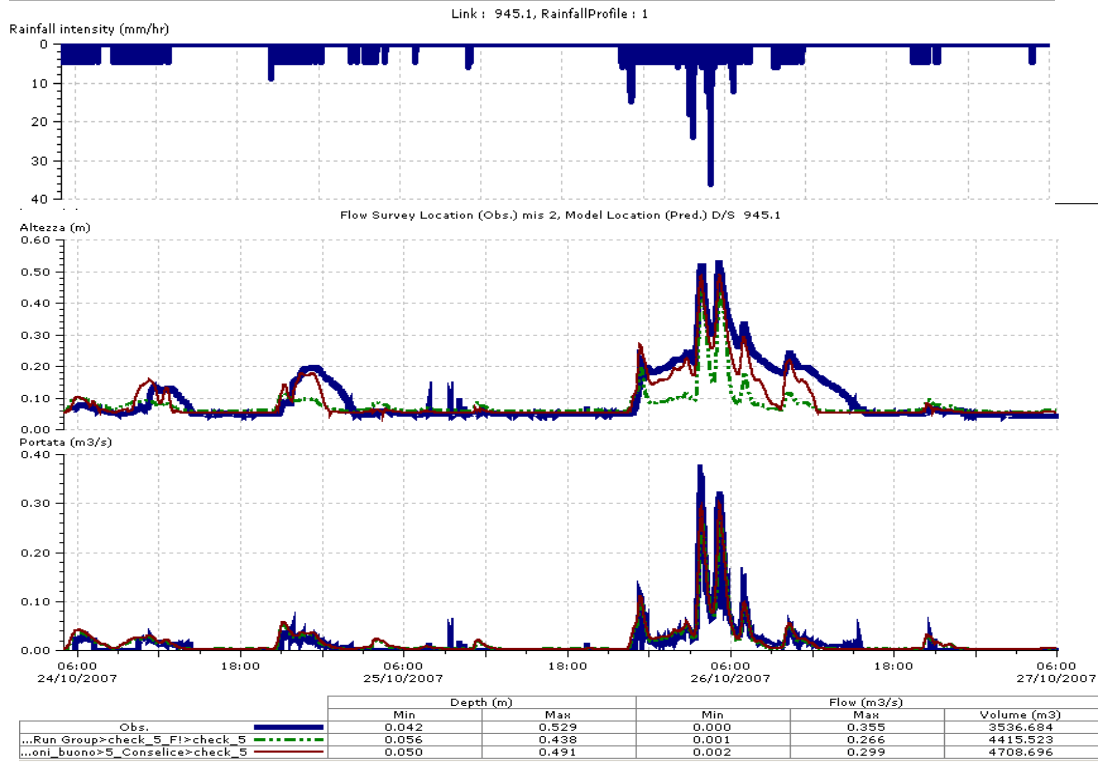
Di seguito si riporta il sommario che descrive i massimi volumi generati dalla simulazione dell'evento meteorico Check 1 che definisce la validazione del modello:

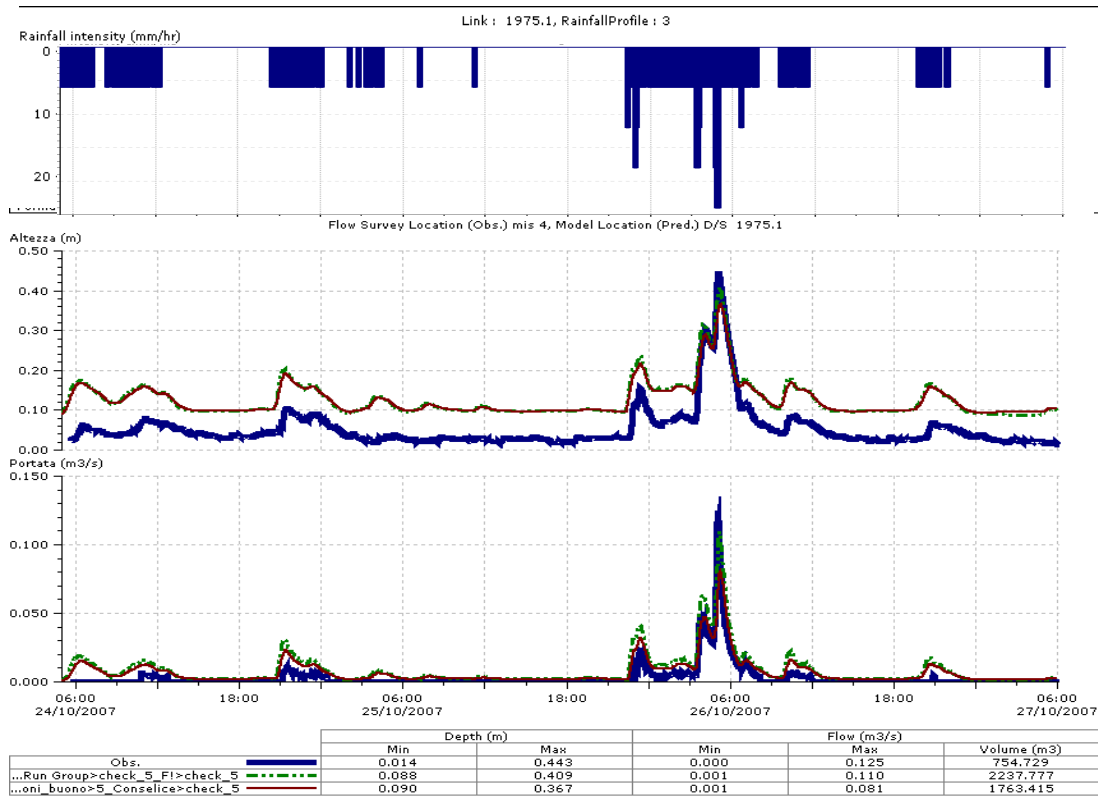
Ultima simulazione Check 1		
Precipitazione totale	36661.3	m ³
Deflusso totale	11525.5	m ³
Immissione	12116.3	m ³
Emissione	11428.8	m ³
Perdite	0	m ³

6.2. Stato della rete durante l'evento Check 5

Di seguito si riportano i grafici, con le precipitazioni relative, che confrontano le simulazioni effettuate rispetto le misure di livello e di portata osservate:







Confrontando i Massimi Scenari della prima e ultima simulazione di quest'evento si notano nuovamente fenomeni di esondazione e sovraccarichi.

La prima simulazione presenta qualche episodio di esondazione istantanea in Via Selice Vecchia e lungo la condotta DN 250 a Nord.

Si notano diversi allagamenti anche nella zona Sud della città in quanto le contropendenze del Bisostre intubato determinano un aumento del livello. Nell'ultima simulazione il tempo di corrivazione imposto nel bacino dello Scolo Bisostre consente un deflusso distribuito nel tempo.

Nell'ultima simulazione, in città i livelli di sovraccarico si mantengono costanti durante tutto l'evento: le esigue pendenze

consentono un lento deflusso e comunque il ricettore Diversivo in Valle garantisce l'allontanamento delle acque in eccesso.

Di seguito si riporta il sommario che descrive i massimi volumi generati dalla prima simulazione riguardante l'evento meteorico Check 5:

Prima simulazione Check 5		
Precipitazione totale	57761.9	m ³
Deflusso totale	23007.6	m ³
Immissione	28013.0	m ³
Emissione	25742.6	m ³
Perdite	0	m ³

Di seguito si riporta il sommario che descrive i massimi volumi generati dalla simulazione dell'evento meteorico Check 5 che definisce la validazione del modello:

Ultima simulazione Check 5		
Precipitazione totale	89263.9	m ³
Deflusso totale	23059.8	m ³
Immissione	27203.1	m ³
Emissione	27002.2	m ³
Perdite	0	m ³

6.3. Conclusioni generali

La creazione di questo modello è stata complessa e sicuramente non ancora sufficientemente completa, essendo molte le incognite di una rete di vecchia costruzione, con uno sviluppo spesso inadeguato e progetti passati di mano in mano dalle amministrazioni. Infatti, durante la campagna di rilievi, la verifica di quote e profondità spesso non è stata possibile, in quanto alcuni pozzetti erano asfaltati, quindi non visibili o non apribili, e alcune condotte esistenti non erano presenti nel database e non si poteva verificarne i dati.

Occorre quindi ricordare che le simulazioni svolte descrivono solo in linea di massima la condizione reale.

In generale per entrambi gli eventi si possono fare diverse osservazioni.

Le modifiche sulle soglie di scolmo nel tratto di tubazione DN 250 a Nord di Conselice e l'introduzione del canale secondario hanno determinato condizioni di minor sovraccarico a monte.

Le modifiche sulle soglie di scolmo nel tratto di tubazione DN 250 a Est di Conselice e sullo sviluppo del Diversivo in Valle hanno alleggerito la situazione a valle.

Il canale secondario che riceve lo scolmo dello sfioratore 32FO2027 determina un aumento di sovraccarico a valle, prima della confluenza del tratto DN 250 proveniente da Sud.

Le esondazioni comuni agli eventi sono dovute alle condotte in contropendenza, fino all'ordine del 2‰, che determinano già in tempo secco difficoltà di deflusso.

La presenza dello Scolo Bisostre determina un aumento delle portate e dei livelli in città, ma il ricettore Diversivo in Valle consente un controllo di deflusso sulla rete.

In conclusione, una precipitazione breve ma modesta mette in crisi diversi tratti della rete, essendo in parte magliata e di limitata pendenza, e determina un innalzamento rapido di livello nelle condotte e quindi improvvisi sovraccarichi che difficilmente riescono a defluire.

La combinazione di questi aspetti nel Check 1 non è poi così drastica, considerando che l'intensità massima di questo evento non supera i 100 mm/h, con durata di 15 minuti, pertanto ci si può aspettare condizioni ben peggiori, come successe nel 1996 che piovve con la stessa intensità per quasi 2 giorni.

Invece, la risposta della rete all'evento Check 5, che si sviluppa in più giornate con piogge ad intermittenza e con picco massimo di intensità pari a 42 mm/h, determina una lenta saturazione della rete e deflussi controllati.

7. Ipotesi di miglioramento della rete

Più volte l'abitato di Conselice è stato soggetto ad allagamenti, a seguito di eventi meteorici critici e le cause sono da imputare a:

- sottodimensionamento di taluni tratti fognari;
- tratti in contropendenza in cui si verifica ristagno dei reflui e deposito di materiale sedimentabile;
- allacciamenti e pose non corrette;
- mancata manutenzione dei fossi a valle dello scarico degli scolmatori, che riduce sia la sezione del canale che la possibilità di scarico delle fognature.

Un fenomeno che influenza alcune di queste cause è la subsidenza, che in queste zone di campagna è un evento assai diffuso.

Le simulazioni effettuate possono essere un utile strumento per fornire ai cittadini di Conselice soluzioni immediate ai loro disagi. Le soluzioni progettuali che si possono sviluppare però necessitano di approvazione congiunta da parte dell'Amministrazione Comunale, l'Area Gestione di Hera Imola-Faenza e il Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, pertanto in questa tesi si prevedono solo ipotesi di miglioramento, definendo gradi di priorità.

Osservando gli scenari di massima criticità, e in particolare il massimo scenario dell'ultima simulazione del Check_1, si possono fornire le linee guida sulla progettazione che, compatibilmente con l'aspetto economico, si riassumono in due azioni.

Adeguare la rete è un'impresa non da poco, ma il potenziamento nei collettori principali può essere fattibile se effettuato con criterio. Aumentare i diametri delle condotte, infatti, significa aumentare la quantità d'acqua in ingresso in fognatura e, se non esiste un sistema efficiente di allontanamento delle acque in eccesso, il problema non si risolve.

Si consiglia allora di risagomare anche gli scoli e i fossi, o semplicemente mantenere le sponde pulite per aumentare la scabrezza e far defluire meglio le acque bianche di scolmo.

Inoltre, se da una parte eliminare le contropendenze è un'operazione onerosa, dall'altra è bene prevedere maggiori pulizie dei pozzetti mediante autospurghi, per limitare i ristagni idrici e accumuli di materiale sabbioso.

Per quanto riguarda i Bacini di Conselice, gli eventi meteorici registrati non hanno messo in funzione le vasche di laminazione, ma può essere comunque utile proporre di riverificare il volume di accumulo e la quota di soglia per migliorare l'efficienza idraulica, e non solo naturalistica, delle vasche.

8. Ringraziamenti

Il presente lavoro ha richiesto tempo e costanza, soprattutto nella fase iniziale durante la quale è stato necessario frequentare corsi di formazione per conoscere i comandi e le funzioni del software InfoWorks CS. A tale proposito ringrazio l'Ingegnere *Gallina Alessandro* per la sua disponibilità, che d'altronde fa parte del suo lavoro, anche quando il suo compito era finito.

L'aggiornamento dei dati cartografici, quindi la fase dei rilievi, è stata possibile grazie al lavoro svolto dal Geologo *Sasdelli Davide*.

La verifica geometrica della rete, a cui ho personalmente partecipato, è stata eseguita dagli operatori di Hera *Padovani Maurizio* e *Balladelli Lorenzo*, cui meritano un saluto particolare per le piacevoli giornate trascorse insieme.

Per la fase di trasferimento e introduzione dei dati sono stata affiancata dall'Ingegnere *Bolognesi Andrea*, assegnista di ricerca dell'Università di Bologna, facoltà di Ingegneria, dipartimento DISTART. I suoi pratici consigli sono stati molto utili per la presente tesi, ma metterò a frutto anche quelli che trattano della vita quotidiana.

L'Ingegnere *Lotito Michele* di Hera e l'Ingegnere *Casadio Marcello*, collaboratore esterno di Hera, sono stati molto preziosi nel fornire consigli sull'interpretazione dei dati grafici.

Alcune informazioni sui canali consorziali mi sono state procurate dal Geometra *Dal Borgo Daniele*, operante nel distretto di pianura del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale.

Ringrazio inoltre il Dottor *Gallignani Nicola* e il professor Ingegnere *Marinelli Alberto* per avermi dato la possibilità di sviluppare la presente tesi.

Un necessario e indispensabile ringraziamento è destinato al Dottor *Busi Filippo*, che mi ha accolto come collaboratrice nel suo lavoro, coinvolgendomi sempre e ovunque, insegnandomi tanto con molta pazienza, nella speranza che ne abbia ancora.

Infine, ma non ultimi, ringrazio:

- ovviamente i miei genitori e mia nonna Lucia, insieme ai parenti, fiduciosi che prima o poi ce l'avrei fatta;

- le amiche Rossella, Cinzia e Monica, per lo svago e gli sfoghi di tutta la mia vita (come avrei fatto senza voi!!);

- gli amici del campo, per le ferie, le feste a sorpresa, le mangiate, etc, etc, etc...(non finirei mai!!);

- i miei ragazzi dell'atletica, che mi divertono e per fortuna non mi fanno troppo arrabbiare;

- i compagni dell'Università, in particolare Caterina (non solo compagna di studi, ma anche ottima consigliera e amica);

- gli amici che purtroppo vedo poco, ma comunque fanno parte della mia vita;

- i vecchi incontri, che mi hanno maturato, e i nuovi incontri, che mi allietano le giornate.

Un saluto a tutti quelli che mi conoscono.