



Ricerca di Sistema elettrico

## Caratterizzazione, monitoraggio e modellazione delle reti di drenaggio urbano

M. Maglionico, M. Altobelli, A. Castellarin,  
S. S. Cipolla, A. Montanari, E. Toth



ALMA MATER STUDIOSISSIMA  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE  
CHIMICA AMBIENTALE E DEI MATERIALI

## CARATTERIZZAZIONE, MONITORAGGIO E MODELLAZIONE DELLE RETI DI DRENAGGIO URBANO

M. Maglionico, M. Altobelli, A. Castellarin, S. S. Cipolla, A. Montanari, E. Toth (Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali dell'Università di Bologna)

Settembre 2017

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori energetici"

Progetto: "D.6 - Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano"

Obiettivo: "Gestione sostenibile e circolare dell'ambiente urbano"

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Caratterizzazione, monitoraggio e modellazione delle reti di drenaggio urbano*"

Responsabile scientifico ENEA: Luigi Petta

Responsabile scientifico Università: Marco Maglionico

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	6
2.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE RETI DI DRENAGGIO URBANO: .....	6
2.1.1 <i>Stato dell'arte delle reti di drenaggio</i> .....	6
2.1.2 <i>Aspetti energetici legati alle reti di drenaggio urbano</i> .....	9
2.1.3 <i>Modalità ottimali di modellazione e gestione delle reti: codici di calcolo</i> .....	11
2.2 MODELLAZIONE DI UNA RETE DI DRENAGGIO.....	14
2.2.1 <i>Sistema di drenaggio di Rimini</i> .....	14
2.2.2 <i>Modellazione dei fenomeni di allagamento</i> .....	19
2.2.3 <i>Modellazione della rete di drenaggio di Rimini</i> .....	22
2.3 SISTEMA DI MONITORAGGIO E DI EARLY WARNING .....	43
2.3.1 <i>Analisi dei rischi: il fenomeno del flooding</i> .....	43
2.3.2 <i>Eventi estremi e blackout elettrici</i> .....	45
2.3.3 <i>Sistemi di Early Warning e controllo in tempo reale delle reti di drenaggio</i> .....	45
2.3.4 <i>Strumenti utilizzabili</i> .....	53
2.3.5 <i>Suggerimenti per l'installazione e la manutenzione degli strumenti</i> .....	58
2.3.6 <i>Processo decisionale per l'integrazione tra sistemi di monitoraggio, RTC ed EW</i> .....	59
2.4 KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPI) .....	61
3 CONCLUSIONI .....	62
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	63
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI .....	65

## Sommario

I temi sviluppati nel presente documento, come da accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna, riguardano la caratterizzazione, il monitoraggio e la modellazione delle reti di drenaggio urbano. Sono stati affrontati temi quali: i sistemi di drenaggio urbano e i sistemi per il miglioramento della permeabilità urbana, il cambiamento climatico in riferimento ad eventi meteorici estremi e relativi rischi, i sistemi di Early Warning (EW) e di controllo in tempo reale (RTC – Real Time Control). Essendo la modellazione una parte fondamentale dell'intero processo di monitoraggio su cui si basano i sistemi di EW e RTC, dopo un'analisi relativa alle reti di drenaggio in generale, è stata modellata una rete di raccolta identificata sul territorio regionale, nello specifico quella della città di Rimini per la particolare planimetria, per i pregressi allagamenti e per la configurazione critica della rete. Per valutare il comportamento della rete e poter decidere la linea progettuale da seguire per poter intervenire e migliorare il comportamento rete, è necessario procedere alla modellazione idraulica valutando differenti scenari. In questo modo risulta possibile valutare l'aspetto quantitativo, con la funzione di controllare la regolarità del sistema ed individuare eventuali punti critici, e quello qualitativo in termini di qualità dell'acqua sversata nei ricettori. Per la modellazione della città di Rimini sono stati utilizzati diversi ietogrammi: eventi sintetici, costituiti da ietogrammi di tipo Chicago con tempo di ritorno pari a 2 e 10 anni; un evento reale ossia quello di giugno 2013 (TR>300 anni) che nello specifico ha provocato l'allagamento della città.

La modellazione idraulica della rete implementata per la città di Rimini permette di valutare le criticità della rete e allo stesso tempo rappresenta una base di partenza per la programmazione e la valutazione di interventi migliorativi sul territorio quali: inserimento di tecnologie verdi e l'installazione di una rete di controllo in tempo reale connessa ad un impianto di early warning. In questo modo è possibile ridurre i danni conseguenti ad un evento meteorico eccezionale, come quello del 2013, per il quale la rete di drenaggio urbano non può essere progettata per risultare comunque sufficiente.

L'analisi svolta ha reso possibile la definizione di indicatori prestazionali (Key Performance Indicators - KPI) in grado di fornire informazioni sullo stato di funzionamento sia dell'intera rete o porzioni di essa anche se la complessità e la varietà di sistemi utilizzabili nelle reti di drenaggio urbano ne complicano comunque il processo. I KPI risultano essere un mezzo per il controllo della gestione del servizio, permettendo un confronto qualitativo del comportamento della rete nel tempo o in relazione ad altre reti.

## 1 Introduzione

Il presente documento di inserisce all'interno dell'obiettivo f "Gestione sostenibile e circolare dell'ambiente urbano" del progetto D.6 "Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano" relativo al tema di ricerca "smart cities and smart communities". I temi sviluppati, come dall'accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna, riguardano la caratterizzazione, il monitoraggio e la modellazione delle reti di drenaggio urbano.

Come previsto dall'attività di ricerca in una prima fase si analizzano le reti di drenaggio urbano, le modalità di modellazione e i sistemi di monitoraggio, di early warning (EW) e di controllo in tempo reale (RTC) per poi procedere alla modellazione di una rete esistente in ambito territoriale regionale per valutarne criticità e gettare le basi per valutazioni riguardanti differenti modalità di gestione ed l'inserimento di un sistema di EW e RTC ad esso connesso.

L'ultimo obiettivo dell'attività prevede la definizione di parametri che tengano conto di tutti gli aspetti relativi all'intero sistema di drenaggio per la valutazione delle prestazioni funzionali ed energetiche della rete stessa.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Caratterizzazione delle reti di drenaggio urbano:

#### 2.1.1 Stato dell'arte delle reti di drenaggio

Le reti di drenaggio urbano hanno lo scopo di allontanare le acque reflue e meteoriche dal centro abitato, controllare e contenere l'inquinamento ambientale [Becciu G. et al., 2010; Paoletti A., 1996]. Gli aspetti fondamentali relativi a questa rete sono:

<b>Tipologia acque trasportate</b>
- Acque di pioggia o meteoriche o bianche: derivanti dagli eventi pluviometrici - Acque di scarico o reflue o nere: derivanti dalle attività civili o industriali presenti nel centro urbano
<b>Tipologia di reti</b>
- <u>reti unitarie o miste</u> : vengono convogliate in un unico collettore le acque reflue civili, industriali e le quelle meteoriche. Poiché all'impianto di depurazione possono essere convogliate solo portate di poco superiori a quelle nere, le portate di supero da recapitare ai ricettori devono essere diluite. Tuttavia la normale prassi progettuale e la normativa del settore prevedono generalmente che le portate nere diluite siano commisurate a 3÷5 volte le portate nere medie. Inoltre possono essere utilizzati degli invasi aggiuntivi, dette "vasche di prima pioggia", al fine di ridurre il picco d'inquinante trattenendo temporaneamente e successivamente immettendo alla depurazione la parte più inquinata delle acque meteoriche ed evitandone così lo scarico nei corpi idrici ricettori.
- <u>reti separate</u> : vi sono due collettori distinti: uno che raccoglie le sole acque meteoriche di dilavamento (fognatura bianca), che può essere dotata di dispositivi di raccolta e di separazione delle acque di prima pioggia e di dispositivi di laminazione, l'altro che raccoglie le acque reflue, insieme alle eventuali acque di prima pioggia (fognatura nera). I collettori destinati alle sole acque meteoriche hanno dimensioni pressoché identiche a quelle di una corrispondente rete unitaria, ma, essendo percorsi solo saltuariamente da portate meno aggressive di quelle reflue, possono essere realizzati con materiali meno pregiati di quelli dei sistemi unitari. La rete nera, che ha sezioni di dimensione relativamente modesta, presenta solitamente significative difficoltà di autopulizia, soprattutto nei centri urbani pianeggianti, legate all'assenza di lavaggio da parte delle acque meteoriche, ed essendo solitamente non funzionanti o del tutto assenti i dispositivi di cacciata.

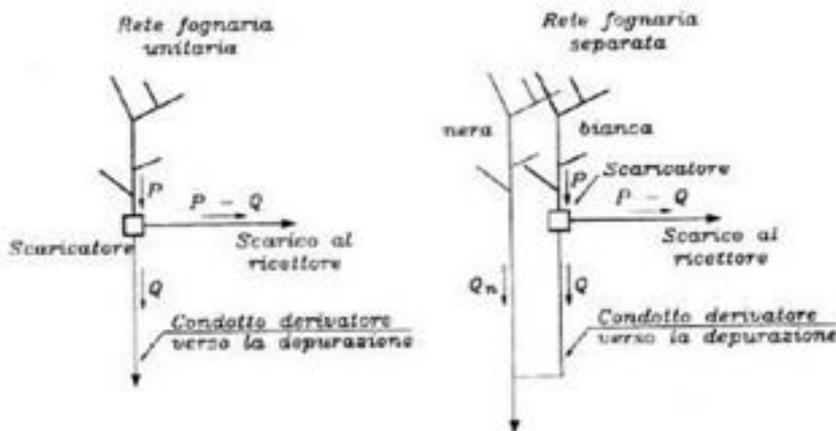


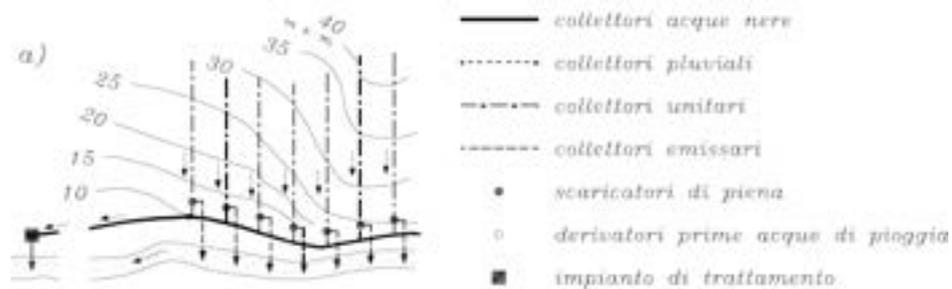
Figura 1: Esempio di rete fognaria mista e separata [AA.VV., 1997]

### Parti principali costituenti le reti fognarie

- opere di raccolta delle acque meteoriche (caditoie) e reflue (scarichi privati)
- reti di collettori stradali
- opere per il controllo idraulico e ambientale (vasche di prima pioggia, scaricatori di piena, vasche di laminazione e impianti di sollevamento)
- impianti per il trattamento e lo scarico nel corpo idrico ricettore

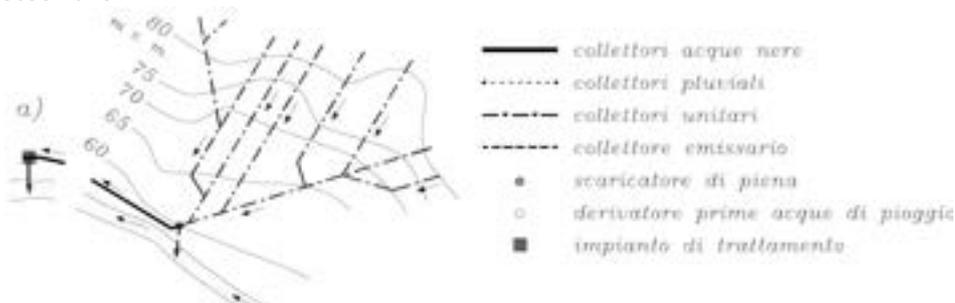
### Configurazione planimetrica delle reti di drenaggio

- configurazione perpendicolare: i collettori principali scendono lungo la linea di massima pendenza mentre il collettore derivatore va in parallelo al ricettore fino all'impianto di depurazione. Se il sistema fosse misto, nei collettori principali, prima della loro confluenza nel derivatore, verrebbero inseriti degli scaricatori. Se invece il sistema fosse separato, i collettori principali della rete bianca finirebbero direttamente nel ricettore, mentre i collettori della rete nera si collegherebbero al derivatore. Se si volessero depurare anche le acque di prima pioggia, prima dello scarico dei collettori bianchi verrebbero messi degli scaricatori in modo tale da deviare verso le vasche le portate di prima pioggia.



**Figura 2: Esempio di configurazione perpendicolare [AA.VV., 1997]**

- configurazione a ventaglio: i collettori principali confluiscono in un unico punto da cui parte il collettore derivatore verso l'impianto di depurazione. In corrispondenza di questo punto vi è lo scaricatore che viene utilizzato in caso di sistema unitario o di sistema separato con invio alla depurazione delle acque di prima pioggia. Se invece il sistema fosse separato semplice, in tale punto vi sarebbe lo scarico diretto nel ricettore delle acque meteoriche.



**Figura 3: Esempio di configurazione a ventaglio [AA.VV., 1997]**

- configurazione radiale: il sistema è suddiviso in più sottosistemi, ciascuno dei quali può differire per la configurazione planimetrica della rete. La centralizzazione della depurazione in un unico impianto, ottenuta attraverso il prolungamento dei collettori derivatori intercettanti tutti i sottoinsiemi, è generalmente perseguita per la maggiore affidabilità degli impianti di maggior dimensione e per diminuire i costi di gestione; tuttavia, le caratteristiche orografiche e la configurazione della rete possono talvolta consigliare di frazionare la depurazione in più impianti.

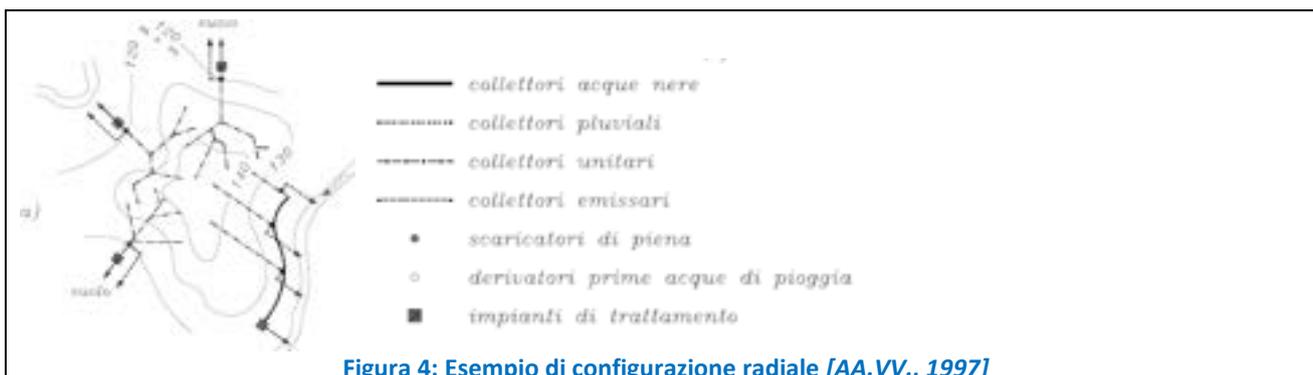


Figura 4: Esempio di configurazione radiale [AA.VV., 1997]

**Opere per il controllo idraulico e ambientale**

Nei periodi piovosi si formano nell’ambiente urbano portate meteoriche che solo entro certi limiti possono essere regolarmente accolte, convogliate, depurate e scaricate dalla rete fognaria. Risulta quindi importante controllare le portate meteoriche onde raggiungere un più elevato livello di protezione ambientale e idraulica del territorio urbano ed extraurbano.

- Vasche di prima pioggia: nelle aree urbane le acque meteoriche dilavano un miscuglio eterogeneo di sostanze disciolte, colloidali e sospese. Una parte significativa del carico inquinante delle acque di pioggia deriva dal dilavamento atmosferico d’inquinanti di origine naturale e antropica. Inoltre l’acqua entra in contatto con le superfici urbane, dalle quali rimuove una parte del materiale accumulato durante i periodi asciutti. Tale materiale deriva dalla deposizione atmosferica nei periodi secchi, dal traffico veicolare, da rifiuti in prevalenza organici, dalla vegetazione, dall’erosione del suolo e dalla corrosione delle superfici. Le acque di prima pioggia sono costituite dal volume d’acqua meteorica di scorrimento defluito durante la prima parte della precipitazione. Tale frazione di pioggia è caratterizzata da elevate concentrazioni di sostanze inquinanti e richiedono particolari procedure di smaltimento. Nella pratica corrente, le acque di prima pioggia vengono separate da quelle successive e immesse nell’unità di trattamento tramite un bacino di accumulo interrato di capacità tale da contenere il volume d’acqua corrispondente ai primi 5 mm di pioggia caduta sulla superficie scolante di pertinenza dell’impianto. Il bacino è preceduto da un pozzetto separatore che contiene al suo interno uno stramazzo su cui sfiorano le acque di seconda pioggia dal momento in cui il pelo libero dell’acqua nel bacino raggiunge il livello della soglia dello stramazzo. Nel bacino è di solito prevista una pompa di svuotamento che viene attivata automaticamente da una sonda rivelatrice di pioggia.

- Scaricatori di piena: I manufatti di partizione rappresentano un indispensabile complemento dei sistemi fognari per il controllo della portata. Essi permettono di controllare le portate da convogliare al depuratore separandole da quelle da inviare al ricettore. Gli scaricatori di piena vengono progettati facendo riferimento al grado di diluizione che consente di scaricare la portata in arrivo direttamente nell’ambiente. Il coefficiente di diluizione è definito come il rapporto tra la portata presente nel collettore e la portata media nera:  $r=Q_d/Q_{mn}$ . Lo scaricatore dovrà essere progettato in modo tale da dare luogo allo scarico della portata solo quando sia stato raggiunto un opportuno limite del rapporto di diluizione. Le portate di supero da recapitare nei ricettori dovrebbero essere definite in base alle condizioni idrauliche e biochimiche del ricettore, ma la normale prassi progettuale prevede generalmente che le portate nere diluite siano commisurate a 3÷5 volte le portate nere medie, mentre nell’impianto di trattamento saranno convogliate portate di pioggia pari a 2÷4 volte le portate nere medie. Al fine di evitare lo sfioro degli scolmatori delle reti unitarie in condizioni di tempo secco, il valore della portata di sfioro dovrà comunque essere maggiore almeno del 30% della portata massima. [Regione Emilia Romagna DGR 286/05]. Deve rispondere ad un’esigenza idraulica, legata all’efficienza ai vari regimi di funzionamento, ed un’esigenza ambientale, volta a garantire che lo scarico delle acque sfiorate non si traduca in una fonte di inquinamento inaccettabile.

- Vasche volano: opere di accumulo temporaneo che hanno lo scopo di controllare gli scarichi dal sistema di drenaggio. Sono generalmente costituite da vasche chiuse o aperte, spesso suddivise in camere indipendenti, che possono essere anche affiancate da una vasca esterna destinata all’invaso in occasione degli eventi meno frequenti. Le vasche volano hanno lo scopo di ridurre il picco di portata da inviare al ricettore in modo tale da rispettare i principi di invarianza idraulica degli interventi urbanistici.

### Opere per la riduzione delle acque drenate: BMP (Best Management Practices)

Le BMP (Best Management Practices) sono strategie, pratiche o metodi per la rimozione o la riduzione della quantità di costituenti inquinanti e contaminanti delle acque di prima pioggia, prima che giungano nei corpi ricettori [Piro P., 2011].

Queste tecnologie denominate anche SUD (Sustainable Urban Drainage) o LID (Low Impact Development) si possono suddividere in diversi gruppi:

- Sistemi ad infiltrazione: favoriscono l'infiltrazione in sito disperdendo l'acqua meteorica nel sottosuolo e riducendo così le portate che vengono scaricate nei ricettori. La percolazione nel sottosuolo comporta la rimozione di parte degli inquinanti presenti poiché tali particelle vengono trattenute dal suolo mentre le particelle organiche vengono rimosse dai microrganismi in esso presenti (BIORETENTION). L'acqua meteorica che viene immessa in trincee di infiltrazione o pozzi perdenti occorre che non sia particolarmente inquinata. I sistemi ad infiltrazione sono da evitare nelle zone dove l'approvvigionamento idrico viene effettuato utilizzando acque sotterranee soprattutto nelle aree commerciali ed industriali a causa del pericolo di immettere sostanze inquinanti in falda. Anche nelle zone di bassa permeabilità del terreno i sistemi ad infiltrazione non risultano idonei perché possono provocare malfunzionamenti e allagamenti superficiali. I sistemi ad infiltrazione principali sono: bacini di infiltrazione, canali infiltranti, pavimentazioni porose, pozzi asciutti.

- Sistemi filtranti: utilizzano una matrice drenante come sabbia, ghiaia o torba in grado di rimuovere gran parte dei composti inquinanti presenti nelle acque di prima pioggia di superfici non elevate. I principali sistemi filtranti sono: filtri a sabbia superficiale e filtri tricamerati.

- Sistemi vegetati: sfruttano la vegetazione per contenere le acque meteoriche e le sostanze inquinanti in esse presenti. Possono consistere in semplici aree verdi dove vengono rallentate e accolte temporaneamente le acque di prima pioggia favorendo la sedimentazione delle parti solide. Sono principalmente suddivisi in 3 tipologie: fasce filtro, aree tampone e canali inerbiti.

- Fitodepurazione: è un sistema volto alla depurazione delle acque reflue prima della reimmissione nel ricettore. Utilizza un sistema di filtri composto da materiale inerte in combinazione ad un tipo specifico di piante (in genere macrofite) in grado di trasformare le sostanze organiche. Richiedono spazi molto ampi (circa 3-6 m<sup>2</sup>/ae).

- Tetti verdi: sono pacchetti tecnologici utilizzati in sostituzione alle coperture tradizionali e permettono di trattenere le acque meteoriche che vi cadono al di sopra. La loro capacità di ritenzione idrica può raggiungere valori anche del 40-50% a scala annua.

#### 2.1.2 Aspetti energetici legati alle reti di drenaggio urbano

I consumi energetici connessi alla gestione del ciclo idrico (sistema acquedottistico, fognario e di depurazione) rappresentano un'aliquota importante dei consumi energetici globali.

Uno studio della California Energy Commission quantifica pari al 19% del totale il consumo di energia legato alle attività connesse all'acqua, giustificando la crescente ricerca di soluzioni tecniche e gestionali volte al risparmio di energia. [Papiri e Todeschini, 2015]

Per quanto riguarda la rete di drenaggio le valutazioni che possono emergere riguardano:

- l'ottimizzazione della configurazione plano-altimetrica della rete: nel caso di aree pianeggianti, occorre limitare per quanto possibile i sollevamenti ed in particolare nel caso di reti separate cercare di limitare l'uso dei sollevamenti alle sole reti che trasportano le acque reflue. il sollevamento meccanico delle acque può comunque evitare scavi molto profondi per posare le tubazioni.

- la riduzione delle acque meteoriche drenate: i metodi sono molteplici e includono soluzioni strutturali quali l'installazione di vasche e non strutturali che prevedono la riduzione direttamente alla sorgente delle portate meteoriche (Best Management Practice). Il contenimento delle portate meteoriche da trasportare

è direttamente connesso a minori costi di investimento dell'infrastruttura e meno frequenti insufficienze della rete di drenaggio esistente, ma anche a minori consumi legati ad un eventuale sollevamento dell'acqua causato da dislivelli altimetrici del recapito non compatibili.

- la riduzione delle infiltrazioni delle acque parassite: ovvero delle acque di falda freatica o meteoriche che si infiltrano attraverso i giunti difettosi o errate connessioni. I limiti di tolleranza per unità di superficie servita dalla rete di fognatura fissati in diverse città americane appartengono all'intervallo 500-5000 m<sup>3</sup>/d km<sup>2</sup>. I valori minori dei volumi giornalieri di infiltrazione si riferiscono a fognature poste sopra il livello freatico, mentre quelli maggiori a fognature poste al di sotto. L'importanza della riduzione delle infiltrazioni di acque parassite è legato ai minori consumi energetici che sarebbero richiesti sia negli impianti di sollevamento e pompaggio della rete fognaria sia nei sistemi di depurazione.

- l'ottimizzazione degli impianti di sollevamento e pompaggio: il dimensionamento di tali impianti è un problema idraulicamente indeterminato. Si ricorre quindi alla condizione di minimo costo, ovvero si sceglie il diametro della condotta premente che minimizza il costo globale annuo (somma del costo gestionale e dell'ammortamento dell'investimento). Nell'ottica di minimizzare i consumi, si può scegliere di assegnare alla condotta premente il diametro massimo capace di convogliare la portata di progetto con una velocità pari a circa 1 m/s che evita rischi di intasamento e di sacche d'aria. Le portate di dimensionamento non dovrebbero mai essere inferiori a 8 l/s per consentire l'impiego di una condotta premente di diametro non inferiore a 100 mm e ciò al fine di minimizzare i rischi di occlusioni. Questo criterio consente, inoltre, di scegliere delle elettropompe con passaggio libero di almeno 75 mm e, quindi, con rendimenti idraulici ancora accettabili.

- impiego di dispositivi di lavaggio delle vasche a basso consumo energetico: riuscire ad ottimizzare l'impiego di energia elettrica per il sistema di pulizia delle vasche di laminazione e di prima pioggia è uno dei requisiti più importanti. A parità di costo di installazione si possono usare macchinari con minor impiego di potenza e quindi di energia. Gli impianti che agiscono quando la vasca è vuota impiegano minore potenza ed energia rispetto a quelli che operano a vasca piena.

- impiego di apparecchiature elettromeccaniche ad elevata efficienza energetica: nei sistemi volti al sollevamento/pompaggio di acque reflue la scelta di apparecchiature ad alto rendimento del motore permette di limitare anche il rischio di bloccaggio dovuto ad intasamento. Se si decide di aumentare anche il rendimento complessivo allora bisognerà aumentare con esso anche il rendimento idraulico, privilegiando giranti con un profilo palare ottimizzato e con un passaggio libero non inferiore a 75 mm.

### 2.1.3 Modalità ottimali di modellazione e gestione delle reti: codici di calcolo

Di seguito si riportano delle schede sintetiche che descrivono i principali codici di calcolo utilizzati per studiare le reti di drenaggio urbano.

<b>EPA SWMM:</b>	EPA Storm Water Management Model – sviluppato dall’US-EPA
SCOPO E FINALITÀ	Simulare, tramite un modello matematico di tipo deterministico, il comportamento delle aree urbane sia dal punto di vista quantitativo che della qualità delle acque.
MODULI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MODELLAZIONE DELL'EVENTO METEORICO: (RAIN BLOCK) Inserimento e la gestione dei dati meteorologici;</li> <li>-MODELLI PER IL DEFLUSSO SUPERFICIALE (RUNOFF BLOCK): Generazione del deflusso superficiale sul bacino a partire dalla pioggia sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo;</li> <li>- MODELLI QUALITATIVI PER IL DILAVAMENTO SUPERFICIALE: simulazione dei processi d'accumulo degli inquinanti sul bacino durante il tempo secco, dilavamento da parte della pioggia ed infine il trasporto nei condotti della rete fognaria. Di queste fasi le più importanti sono sicuramente le prime due ed in particolare il lavaggio della superficie stradale;</li> <li>- MODELLO IDRAULICO PER IL DEFLUSSO IN RETE: propagazione all'interno dei condotti fognari delle acque sia nere che bianche in ingresso dalle caditoie;</li> </ul>

<b>MOUSE – MIKE URBAN</b>	MOdeling of Urban Sewers – sviluppato del Danish Hydraulic Institute
SCOPO E FINALITÀ	Modello idraulico, fisicamente basato, per il calcolo del deflusso delle acque nelle reti fognarie. Studia tutti i fenomeni che entrano in gioco nella formazione e nel deflusso delle portate. Si ottiene una completa rappresentazione dell'intero sviluppo dinamico della formazione e della propagazione dei deflussi meteorici sulle superfici urbane e nei singoli rami della rete.
MODULI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MODELLI PER IL DEFLUSSO SUPERFICIALE: formazione ed il deflusso delle portate superficiali, prevede 3 differenti modelli: <ul style="list-style-type: none"> <li>- modello A: studio basato sul metodo cinematico o della corrivazione;</li> <li>- modello B: si basa sulla teoria dell'onda cinematica o del serbatoio non lineare;</li> <li>- modello C: calcola il deflusso superficiale basandosi sulla teoria dell'invaso lineare;</li> </ul> </li> <li>- MODELLI QUALITATIVI PER LO STUDIO DEL DILAVAMENTO SUPERFICIALE DEGLI INQUINANTI (SURFACE RUNOFF QUALITY (SRQ)): relativo alle fasi di accumulo sulla superficie del bacino (build-up), lavaggio operato dalla pioggia del bacino (wash-off) e accumulo e lavaggio all'interno delle caditoie. In questo modulo viene calcolata la massa presente sul bacino all'inizio della pioggia, in funzione del tempo secco, e del coefficiente di accumulo, con una legge di accumulo che può essere lineare o esponenziale;</li> <li>- MODELLO IDRAULICO PER IL DEFLUSSO IN RETE;</li> <li>- MODELLO QUALITATIVO ALL'INTERNO DELLA RETE: <ul style="list-style-type: none"> <li>- SEDIMENT TRANSPORT (ST): trasporto dei sedimenti non coesivi all'interno dei condotti fognari;</li> <li>- ADVECTION DISPERSION (AD): calcola il trasporto delle sostanze disciolte e valuta la variazione della temperatura all'interno della rete fognaria;</li> <li>- WATER QUALITY (WQ): valuta il trasporto e la trasformazione chimica e biochimica dei costituenti presenti in fognatura.</li> </ul> </li> </ul>

<b>INFOWORKS</b>	Sviluppato da HR-Wallingford
<b>SCOPO E FINALITÀ</b>	Presenta una struttura piuttosto complessa, e rientra nel campo dei modelli deterministici fisicamente basati, capaci sia di fornire passo dopo passo i livelli idrici in ogni ramo della rete sia di simulare l'accumulo ed il trasporto degli inquinanti in superficie e nelle condotte.
<b>MODULI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>MODELLAZIONE DELL'EVENTO METEORICO:</b> la pioggia lorda deve essere depurata di quei contributi che non partecipano alla costituzione del deflusso superficiale. Per risalire alla pioggia netta si applicano modelli che simulano il comportamento della pioggia quando viene a contatto con il suolo: <ul style="list-style-type: none"> <li>- modellazione spaziale: l'evento meteorico può variare sia nel tempo che nello spazio e le due cose interagiscono per generare l'effettivo evento registrato;</li> <li>- pioggia sintetica: le caratteristiche statistiche della pioggia, poiché deriva dall'analisi di dati ottenuti in molti anni di osservazioni;</li> <li>- dati registrati;</li> <li>- dati storici;</li> <li>- modello stocastico: ricrea la formazione e la generazione della pioggia sul bacino.</li> </ul> </li> <li>- <b>MODELLI PER IL DEFLUSSO SUPERFICIALE:</b> permette di calcolare quanta pioggia caduta sul bacino da origine al deflusso superficiale e quanto velocemente entra nella rete di drenaggio: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>RUNOFF MODELS:</b> Questi modelli permettono di calcolare quanta pioggia entra nella rete dopo le perdite iniziali;</li> <li>- <b>ROUTING MODELS:</b> quanto velocemente l'acqua di deflusso entra nella rete;</li> </ul> </li> <li>- <b>MODELLI QUALITATIVI PER IL DILAVAMENTO SUPERFICIALE DEGLI INQUINANTI (QUALITY WASHOFF MODEL):</b> calcola l'accumulo di sedimenti e sostanze inquinanti sulla superficie dei bacini drenanti e il dilavamento degli stessi verso il sistema di drenaggio;</li> <li>- <b>MODELLO IDRAULICO PER IL DEFLUSSO IN RETE:</b> deve simulare il moto dell'acqua nei condotti;</li> <li>- <b>MODELLI QUALITATIVI ALL'INTERNO DELLA RETE (WATER QUALITY MODEL):</b> calcola l'andamento spaziale e temporale degli inquinanti nella rete di drenaggio.</li> </ul>

## 2.2 Modellazione di una rete di drenaggio

### 2.2.1 Sistema di drenaggio di Rimini

Al fine di analizzare un sistema fognario sufficientemente complesso e tale da prestarsi alle successive fasi del progetto si è deciso di analizzare il sistema fognario della città di Rimini di seguito descritto. In particolare i dati disponibili fanno riferimento ad una configurazione della rete del 2013 [Turci E., 2013].

SISTEMA DI DRENAGGIO DI RIMINI	
TIPOLOGIA RETE	Prevalentemente MISTA
STRUTTURA RETE	Tipo PERPENDICOLARE con scarico a mare e collettori principali costituiti dalle fosse consortili che diramandosi a partire dal fofose, entrano nel tessuto urbano ove nel tempo sono state tombate, assumendo anche la funzione di condotte fognarie, fino ad arrivare allo scarico a mare.
N° IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO	44 impianti disposti in serie (4b, Colonnella 2, San Martino, Rodella, 2c, Roncasso, Cavaliere V. Veneto, Medaglie D'oro, Deviatore Kennedy, Nuovo Kennedy, Marinaio, Montefalcone, 1b, Tobruck, Zanur, 2b, Arno, Libra, Pradella Nuovo, Pradella Vecchio, Laurana, Matteotti, Martinini, Padulli, Tosca, Grotta Rossa, Ceccarelli, 6a, Isa, Isb, Lituania, Odra, Ina Casa, Torre Pedrera, Torre Pedrera 2, Cavallaccio, Brancona, Viserbella, Sortie, 3a, 4a, Turchetta, Rivabella, 5a)
IMPIANTI DI DEPURAZIONE (ubicati nell'entroterra)	- Santa Giustina: Totale depurato annuo 12 Mm <sup>3</sup> - Marecchiese: Totale depurato annuo 10.8 Mm <sup>3</sup>
OPERE PER IL CONTROLLO IDRAULICO E AMBIENTALE	- n° 5 vasche di laminazione - n° 4 vasche di prima pioggia
ETÀ DELLE CONDOTTE	- prima del 1972 → 49,6% - tra il 1972 e il 1980 → 10,4% - tra il 1980 e il 1990 → 21,8% - tra il 1990 e il 2003 → 18,2%
SUDDIVISIONE AREA	Rimini Sud, Rimini Centro, Rimini Nord (vedi Tabella 1)



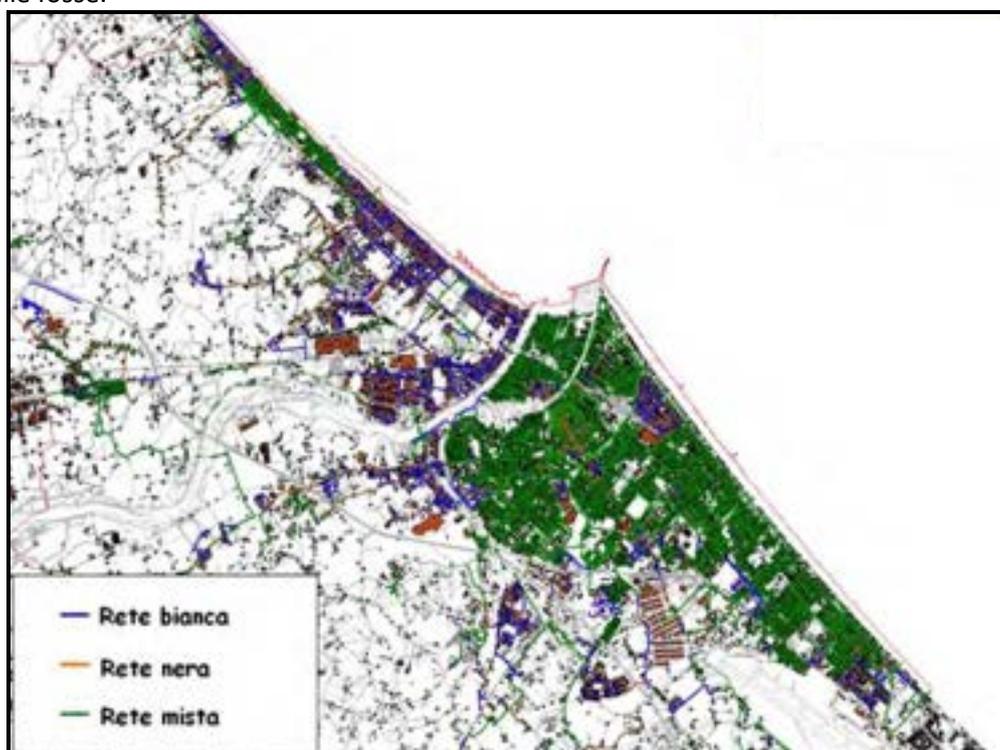
Figura 5: I macro - bacini di Rimini ed il reticolo idrico principale del centro storico.

**Tabella 1: Suddivisione sistema di drenaggio urbano del Comune di Rimini**

AREA	BACINO	FORESE (ha)	URBANO (ha)	AREA TOTALE (ha)	FOSSA	SCARICO	SOLLEVAMENTI
Rimini Sud	Colonnella 1	0	224	224	Fossa Colonnella I	a mare con trattamento	4B
Rimini Sud	Colonnella 2	199	216	415	Fossa Colonnella II	a mare con trattamento	Colonnella 2, San Martino
Rimini Sud	Rodella	578	205	783	Fossa Rodella	a mare con trattamento	Rodella, 2C
Rimini Sud	Roncasso	190	88	278	Fossa Roncasso	a mare, a fossa Rio Asse	Roncasso, Cavalieri V. Veneto
Rimini Centro	Ausa Vecchio Corso	0	855	855	Ausa (Vecchio Corso)	a mare con trattamento (idrocloni)	Medaglie d'Oro, Deviatore Kennedy, Nuovo Kennedy, Marinaio, Montefalcone, 1B, Tobruck, Zanzur, 2B, Arno, Libra
Rimini Centro	Pradella	0	36	36	Fossa Pradella	occluso	Pradella Nuovo, Pradella Vecchio
Rimini Centro	Rimini Isola	0	115	115	Porto Canale, Marecchia	su Porto Canale e Marecchia	Laurana, Matteotti
Rimini Centro	Deviatore Ausa	5351	758	6109	Deviatore Ausa	in deviatore Ausa	Martinini, Padulli, Tosca, Grotta Rossa, Ceccarelli
Rimini Centro	Marecchia	377	183	560	Marecchia	Marecchia	6A, Isa, Isb, Lituania, Odra, Ina Casa
Rimini Nord	Pedrera Grande	925	0	925	Fossa Pedrera Grande	a mare	Torre Pedrera
Rimini Nord	Pedrera Piccolo	6	34	40	Fossa Pedrera Piccolo	su Fossa Pedrera Grande	Torre Pedrera 2
Rimini Nord	Cavallaccio	86	1	87	Fossa Cavallaccio	chiusura in estate	Cavallaccio
Rimini Nord	Brancona	752	34	786	Fossa Brancona	a mare	Brancona
Rimini Nord	Viserbella	56	21	77	Fossa Viserbella	a mare + condotta	Viserbella
Rimini Nord	Sortie	456	52	508	Fossa Sortie	a mare	Sortie, 3A

AREA	BACINO	FORESE (ha)	URBANO (ha)	AREA TOTALE (ha)	FOSSA	SCARICO	SOLLEVAMENTI
Rimini Nord	Spina-Sacramora	0	10	10	Fossa Spina e Sacramora	a mare (fossa Spina)	4A
Rimini Nord	Turchetta	219	99	318	Fossa Turchetta	a mare	Turchetta
Rimini Nord	Matrice-Rivabella	0	65	65	Fossa Matrice	in Marecchia	Rivabella, 5A

La situazione attuale della realtà riminese è aggravata dal fatto che la separazione delle reti, anche dove eseguita, è in genere incompleta ed insufficiente, in quanto gli allacciamenti delle utenze private frequentemente non sono separati ed i collettori di rete nera in molti casi recapitano in collettori di mista bianca o nelle fosse.



**Figura 6: Lo stato della separazione delle reti a Rimini (situazione riferita al 2013).**

La rete è composta da un numero elevato di impianti di sollevamento disposti in serie e fortemente interconnessi, che ricevono la totalità delle acque reflue del tratto urbano e parte delle acque di pioggia fino ad una certa capacità e le rilanciano ai due impianti di depurazione, ubicati nell'entroterra. Quindi qualora si registri un malfunzionamento su un impianto, il disservizio non può che riflettersi a catena su tutti gli impianti e i relativi bacini afferenti a quest'ultimo. Ne consegue che il livello di vulnerabilità del sistema è estremamente elevato. Inoltre le capacità impiantistiche ad oggi presenti risultano essere a volte insufficienti. Data la realtà dei fatti la risoluzione di un problema in un punto può portare all'insorgere di un altro in un punto differente della rete. Per questo motivo è essenziale ragionare su ampia scala cercando di arrivare ad una completa comprensione delle logiche di interconnessione.

All'interno di ciascun macro-bacino (area) si individuano dei bacini, i quali prendono il nome dalla fossa sulla quale drenano. Nel lavoro di delimitazione delle aree drenanti di ciascun bacino, si è utilizzata la distinzione tra forese ed area urbana.

Il sistema fognario riminese presenta due depuratori delle acque reflue, ubicati nell'entroterra, fra cui il depuratore Marecchiese, il quale tratta i reflui di tutta Rimini Sud e Rimini, con una capacità di circa 750 l/s, superata la quale, in condizioni critiche di piogge intense e di elevati volumi inviati a depurazione, avviene lo sfioro in Marecchia dell'eccedente.



Figura 7: Localizzazione dei due depuratori del Comune di Rimini.

Nell'anno 2007, il depuratore Marecchiese ha trattato complessivamente un volume di  $10'850'185 \text{ m}^3$ ; di seguito si riporta il grafico relativo ai volumi in ingresso per gli anni 2006-2008 per il mese di Agosto:

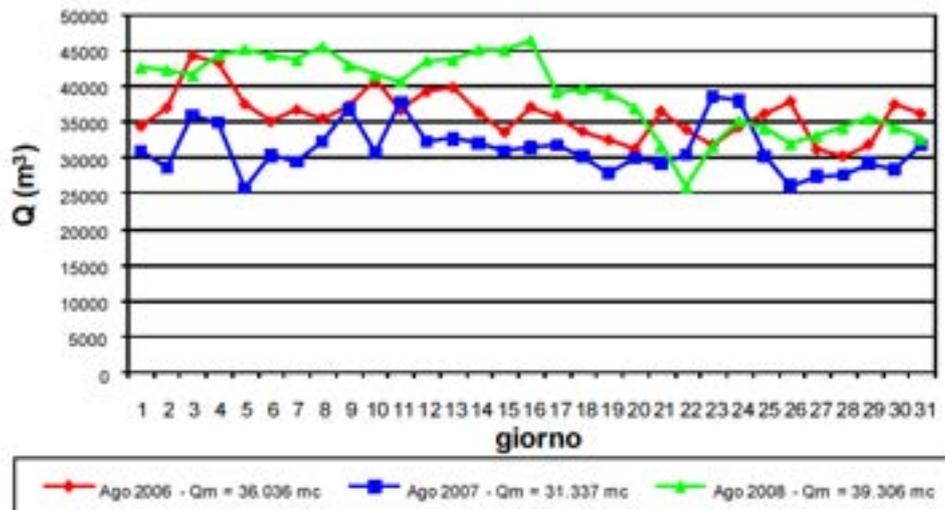


Figura 8: Volumi in ingresso per gli anni 2006-2008 nel mese di Agosto.

Il depuratore di Santa Giustina tratta la totalità dei reflui di Rimini Nord, parte di Rimini Centro forese e parte di Rimini entroterra, ricevendo liquami anche dalla zona di Cerasolo e da San Marino, per un totale annuo di circa  $12'207'304 \text{ m}^3$  (anno 2007).



Figura 9: Scarico by-pass del depuratore di Santa Giustina.

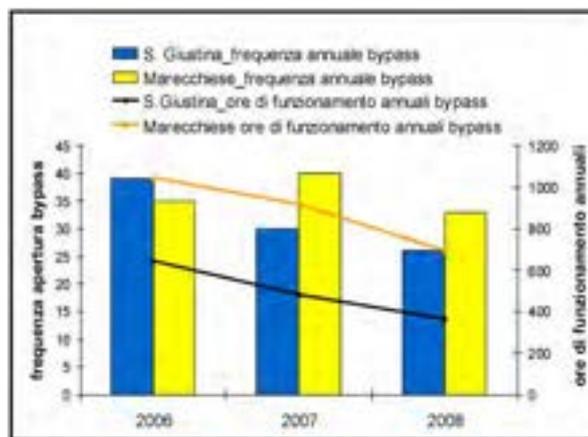


Figura 10: Statistiche degli sfiori di by-pass nei depuratori di Rimini.

### 2.2.2 Modellazione dei fenomeni di allagamento

Per la modellazione dei fenomeni di flooding urbano si utilizzano modelli bidimensionali, sfruttando la disponibilità di modelli digitali del terreno di alta qualità (DTM) e la migliorata potenza della grafica dei computer. In questi il DTM viene incorporato nel modello idrodinamico, permettendo la generazione automatica di una griglia 2D in rilievo, delle sezioni e dei risultati in vista prospettica. I risultati di questi modelli in termini di estensione e durata dei flussi, velocità ed altezze dell'acqua di superficie vengono utilizzati in:

- mappe di allagamento;
- pianificazione e progettazione di infrastrutture;
- funzionamento dei sistemi di raccolta e di convogliamento;
- piani di evacuazione;
- mitigazione delle inondazioni urbane;
- valutazione delle alternative di potenziamento.

Per la modellazione del fenomeno del flooding sono necessari dati topografici da cui ricavare caratteristiche e pendenza del bacino, lunghezze dei percorsi dei flussi, aree contribuenti, suddivisione dei drenaggi e geometria dei canali fluviali, oltre che la disposizione di strutture ed infrastrutture. I modelli digitali del terreno (DTM) sono disponibili in due formati:

- DEM: (modello digitale di elevazione) è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio, o di un'altra superficie, in formato digitale. In genere realizzati attraverso tecniche di telerilevamento che prevedono l'elaborazione di dati acquisiti attraverso un sensore montato su un satellite, un aeromobile o una stazione a terra e contengono tutti gli oggetti insistenti sul terreno, ovvero vegetazione, edifici ed altri manufatti (mentre i DTM veri e propri derivano dall'interpolazione delle curve di livello, riproducendo solo l'andamento della superficie geodetica.) . Il modello digitale di elevazione viene di solito prodotto in formato raster associando a ciascun pixel l'attributo relativo alla quota assoluta.

- TIN: (Triangulated Irregular Network) vengono ricavati dai DEM.

Griglie quadrate dei DEM sono le più utilizzate per la maggiore efficienza computazionale, anche se sono incapaci di modificare la propria dimensione al variare delle caratteristiche del paesaggio (crinali, canali, ecc.). Per contro i TIN riescono a non percepire questo tipo di problematica e vengono preferiti per la modellazione dei canali fluviali ("Evolution of an Integrated 1D/2D Modeling Package for Urban Drainage", Barnard et al, 2007)<sup>1</sup>. I recenti progressi nella tecnica di telerilevamento LIDAR (Light Detection and Ranging), che permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser, come anche lo sviluppo della tecnica ALSM (Airborne Laser Swath Mapping), hanno permesso di ottenere DEM ad alta risoluzione, oltre a renderli più disponibili e a costi inferiori, agevolando così l'accessibilità e la precisione di questi dati necessari alla modellazione del fenomeno del flooding. Il rilievo viene effettuato tramite mezzo aereo sul quale è installato un laser scanner composto da un trasmettitore (essenzialmente un laser), da un ricevitore (costituito da un telescopio) e da un sistema di acquisizione dati. La peculiarità del sistema è l'altissima velocità di acquisizione dei dati abbinata ad un'elevata risoluzione. Ciò che si ottiene con un rilievo Lidar è un insieme di punti ad ognuno dei quali è associato un dato relativo alle coordinate geografiche (sistema WGS 84), alla quota (Z) calcolata sulla base della differenza di tempo intercorsa tra il segnale emesso e quello riflesso ed il valore dell'intensità di segnale riflessa. Analizzando i punti riflessi si osserva un ritorno multiplo del segnale, ed in presenza di vegetazione (non eccessivamente densa) il Lidar penetra riflettendo punti a vari livelli della fronda e al suolo. La nuvola dei punti laser contiene al suo interno informazioni geografiche su tutti gli elementi riflettenti presenti. Poiché il laser acquisisce la posizione di molteplici impulsi, si procede ad una classificazione del volume di dati al fine di attribuire ad ogni singolo punto un significato fisico specifico, discriminando gli impulsi che risultano appartenenti al suolo dagli impulsi classificabili come superfici arboree ed arbustive, elementi antropici quali cavi elettrici, ponti, edifici, automobili, etc. Dalla nuvola di punti totali si ottiene un Modello Digitale di Superficie (in inglese DSM, Digital Surface Model), mentre per elaborazioni successive, che comprendono

---

<sup>1</sup> Barnard T., Kuch A., Thompson G.R., Mudaliar S., Phillips B.C., "Evolution of an Integrated 1D/2D Modeling Package for Urban Drainage". Journal of Water Management Modeling R227-18, 2007.

sia un filtraggio automatico che manuale, si estraggono i soli punti che appartengono al suolo da cui si ottiene un Modello Digitale del Terreno (DTM).



Figura 11: Confronto tra DSM e DTM (ambiente.regione.emilia-romagna.it).

In accordo con la norma europea EN 752, uno dei parametri fondamentali, per la definizione delle performance idrauliche del sistema, è la frequenza di allagamento. Il fenomeno dell’urban flooding, generato dal sovraccarico del sistema di drenaggio urbano, viene usualmente modellato attraverso il concetto di drenaggio duale. Una simulazione dettagliata di drenaggio duale è descritta sia dal flusso superficiale dell’acqua sia da quello all’interno delle tubazioni. È necessario considerare anche l’interazione tra i due flussi nominati, in modo da calcolare i livelli di allagamento con maggiore precisione, rendendo così attendibili anche valutazioni dei costi derivati dai possibili danni. Secondo la norma europea EN 752, i sistemi di drenaggio urbano dovrebbero essere progettati per resistere ad inondazioni con periodi di ritorno compresi tra i 10 ed i 50 anni, a seconda del tipo di area urbana. Inoltre nella medesima norma viene indicato di tenere in considerazione, nella progettazione dei sistemi di drenaggio urbano, la frequenza dei temporali e degli allagamenti, differenziando tra zone rurali, residenziali, industriali/commerciali ed i centri delle città, come indicato nella seguente tabella.

Recommended design frequencies in EN 752		
Design storm frequency <sup>a</sup> EN 752-2 (1 in 'n' years)	Location	Design flooding frequency EN 752-2 (1 in 'n' years)
1 in 1	Rural areas	1 in 10
1 in 2	Residential areas	1 in 20
1 in 2	City centers, industrial/commercial areas— with flooding check,	1 in 30
1 in 5	City centers, industrial/commercial areas— without flooding check,	-
1 in 10	Underground railway/underpasses	1 in 50

<sup>a</sup> For design storms no surcharge shall occur.

Figura 12: Frequenza allagamenti in funzione delle zone cittadine [Schmitt et al, 2004].

Associare la capacità richiesta dal sistema di drenaggio alla frequenza di allagamenti, necessita di una precisa quantificazione degli allagamenti stessi, oltre che una distinzione tra i differenti livelli di sovraccarico della rete. La norma EN 752 definisce il fenomeno del “flooding” come una “condizione dove le acque reflue fuoriescono e/o quelle superficiali non riescono ad entrare in uno scarico o nel sistema fognario, rimanendo dunque in superficie con la possibilità di allagare anche gli edifici”. Mentre con il termine “sovraccarico” si definisce la “condizione in cui le acque reflue e/o quelle superficiali vanno in pressione nel sistema di fognario”. Un ulteriore sovraccarico può generare un aumento del livello dell’acqua al di sopra di quello del suolo, a causa della fuoriuscita dell’acqua reflua, impedendo al flusso superficiale di penetrare nel sistema fognario. La seguente figura descrive i differenti livelli di sovraccarico del sistema.

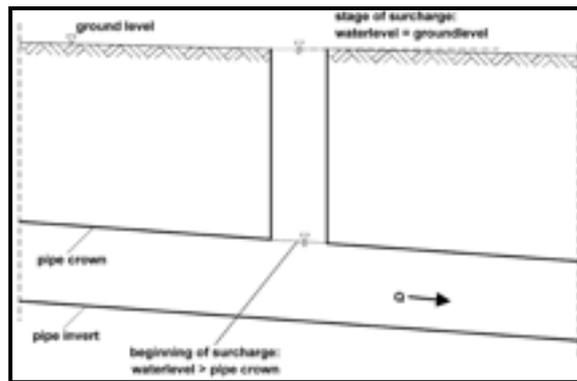


Figura 13: Livelli di sovraccarico del sistema di drenaggio urbano [Schmitt et al, 2004].

Il flooding può dunque verificarsi in diversi stadi di sovraccarico e ciò dipende anche dal tipo di sistema di drenaggio (separato o misto), dalle caratteristiche generali di progettazione e da eventuali vincoli locali. La possibilità che si verifichi flooding con flusso scorrevole sulla superficie ed i relativi effetti conseguenti, dipendono dai vincoli locali e dalle caratteristiche della superficie, ad esempio la pendenza della strada e dei marciapiedi, oltre che dall'altezza di quest'ultimi. Questi dati però non sono sempre facilmente reperibili. La frequenza dei sovraccarichi del sistema, utilizzata come criterio aggiuntivo nella progettazione, definisce l'aumento del massimo livello di acqua nei pozzetti fino a quello del terreno. Questo caso limite di sovraccarico, ovvero la transizione dal flusso pressurizzato nelle tubazioni all'inondazione in superficie, può essere descritta attraverso modelli dinamici di simulazione.

La modellazione finalizzata al raggiungimento della migliore gestione in caso di flooding è in grado di descrivere i seguenti fenomeni:

- il passaggio dal flusso sulla superficie libera al flusso in pressione nelle condotte fognarie;
- l'aumento del livello d'acqua fino al di sopra del suolo, con fuoriuscita di refluo dal sistema fognario;
- lo sviluppo del flooding superficiale;
- l'interazione tra il flusso superficiale e quello in pressione nelle condotte.

Il considerare distinto il flusso superficiale e la sua interazione con il flusso nel sistema fognario soggetto a sovraccarico, è definito "drenaggio duale" ed ha quindi componenti di flusso sia superficiali che sotterranee, come visibile in figura.

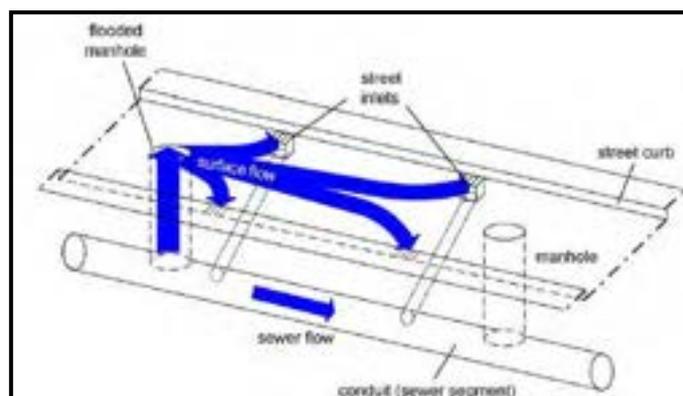


Figura 14: Drenaggio duale [Piro, 2011]

Nei riguardi della modellazione del drenaggio duale, il sistema di drenaggio comprende:

- singole aree di drenaggio (tetti, strade, parcheggi, cortili, ecc.), dove la pioggia si trasforma in deflusso effettivo a seconda delle caratteristiche della superficie (pendenza, rugosità, presenza di vegetazione, pavimentazione esistente o meno, ecc.);
- componenti superficiali di drenaggio distinte, ad esempio caditoie stradali che portano il flusso superficiale fino al sistema fognario sotterraneo;
- aree superficiali, dove il flusso superficiale può verificarsi in caso di flooding, ad esempio sul piano stradale;

- sistema fognario sotterraneo chiuso che rappresenta la rete (inclusi i pozzetti, le strutture di controllo e gli scarichi).

Nei modelli di simulazione le singole aree sono per lo più comprese in sottobacini che sono connessi agli elementi di input della rete fognaria, generalmente ai pozzetti, rappresentati come nodi del sistema. In generale, le distinte componenti superficiali di drenaggio non sono rappresentate nei modelli di deflusso. La somma di tutti i sottobacini costituisce il complessivo bacino di utenza. Per la simulazione del drenaggio duale, le singole aree necessitano di essere ulteriormente distinte come segue:

- Per quanto riguarda la loro connessione al sistema fognario in:
  - aree collegate completamente attraverso drenaggi chiusi (ad esempio tetti);
  - aree collegate attraverso ingressi superficiali e drenaggi chiusi (ad esempio parcheggi);
  - aree su proprietà private drenanti in strada o sui marciapiedi;
  - aree non connesse al sistema fognario (non influenti nei riguardi del deflusso).
- Per quanto riguarda il possibile flusso superficiale in:
  - aree non soggette ad inondazioni (nessuna interazione tra il flusso superficiale e quello refluo, ad esempio tetti);
  - aree dove si verifica il flusso superficiale e considerate durante la simulazione dell'inondazione;
  - aree dove si verifica il flusso superficiale ma che non viene simulato.

### 2.2.3 Modellazione della rete di drenaggio di Rimini

A scopo esemplificativo, per la modellazione è stata scelta la città di Rimini a causa dei pregressi fenomeni di flooding urbano dovuti anche alla configurazione della sua rete. Come in parte già evidenziato, la rete di drenaggio della città è di tipo prevalentemente misto, composta da 44 impianti di sollevamento disposti in serie, fortemente interconnessi, che ricevono la totalità delle acque reflue del tratto urbano e parte delle acque di pioggia fino ad una certa capacità e le rilanciano ai due impianti di depurazione, ubicati nell'entroterra. Quindi qualora si registri un malfunzionamento su un impianto terminale, il disservizio non può che riflettersi a catena su tutti gli impianti e i relativi bacini afferenti a quest'ultimo. I collettori principali di drenaggio sono costituiti dalle fosse consortili, che, diramandosi a partire dal forese, entrano nel tessuto urbano ove nel tempo sono state tombate, assumendo anche la funzione di condotte fognarie, fino ad arrivare allo scarico a mare. Gli impianti di sollevamento e i principali manufatti del sistema fognario sono dotati di un sistema di telecontrollo che consente sia di visualizzare le condizioni dell'impianto, sia di intervenire, in caso di necessità, manualmente nell'accensione o spegnimento di pompe o nell'apertura/chiusura delle paratoie mobili. È possibile intervenire su tutti i parametri di processo, diagnosticare allarmi, visualizzare grafici sulle attività delle variabili di processo.

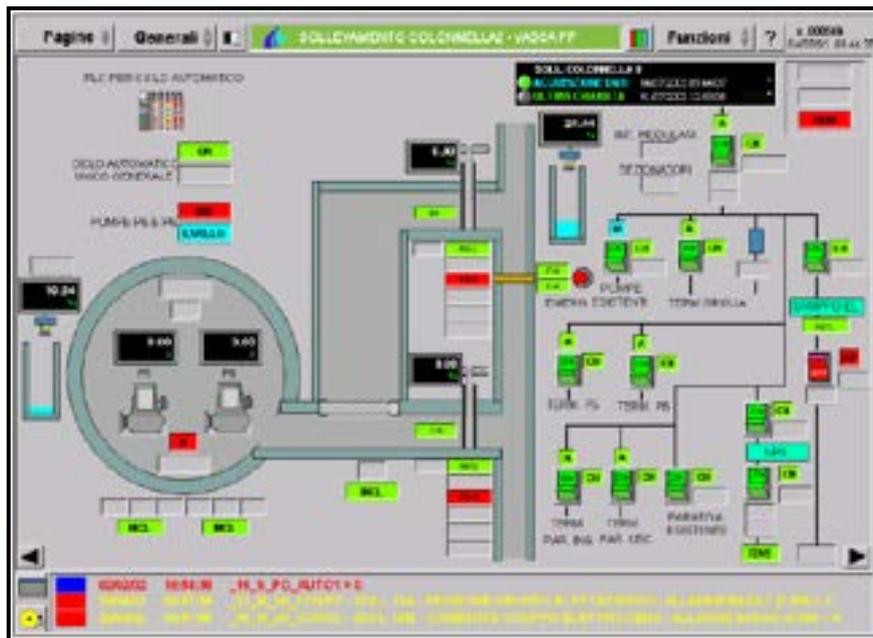


Figura 15: Esempio di quadro sinottico del telecontrollo.

Per poter simulare la rete fognaria di Rimini in caso di pioggia è stato utilizzato il software InfoWorks CS con due differenti approcci: utilizzando eventi sintetici con differenti tempi di ritorno, nello specifico sono state simulate piogge con TR 2 e 10 anni, e usando una pioggia reale si è scelto di ricreare l'evento estremo di giugno 2013. I primi sono quindi eventi fittizi, che possono essere costituiti da ietogrammi di forme diverse e che hanno soprattutto la funzione di controllare la regolarità del sistema ed eventualmente individuare i punti dove sono presenti criticità; la seconda possibilità, invece, è stata finalizzata all'analisi riguardante i volumi d'acqua realmente esondati.

L'analisi idraulica è stata condotta prendendo in esame il parametro "surchage ratio", definito come rapporto tra l'altezza della piezometrica sul fondo del condotto e l'altezza del condotto stesso; che in condizione di funzionamento a gravità corrisponde dunque al livello di riempimento. Un collettore entra in pressione quando il surcharge ratio (livello di sovraccarico) assume valore uguale o superiore a 1. Nelle planimetrie che seguono si è rappresentato il livello di sovraccarico della rete attraverso 3 colori, a ciascuno dei quali corrisponde un diverso range del livello di sovraccarico dei collettori:

- il colore **blu chiaro** (grado < 0.8) indica le tubazioni con grado di riempimento inferiore all'80%;
- il colore **blu scuro** (grado < 1) indica le tubazioni con grado di riempimento variabile tra l'80% e il 100%.
- il colore **magenta** (grado < 2) indica una criticità addirittura superiore al totale riempimento. Il parametro 2, associato a questa criticità, non ha un significato fisico, ma che questo tubo è incapace di trasportare a valle la portata che gli compete e quindi va in pressione. Questa condizione è significativamente diversa dal grado 1, in cui il tubo è in grado di smaltire la portata, ma la presenza di colli di bottiglia a valle ne provoca il completo riempimento. Il grado due indica i tubi più critici, in cui la portata non è in grado di transitare, in buona sostanza indica proprio i tubi che costituiscono il collo di bottiglia.

Nella simulazione numero uno si è utilizzato uno ietogramma sintetico di tipo Chicago con tempo di ritorno di 2 anni.

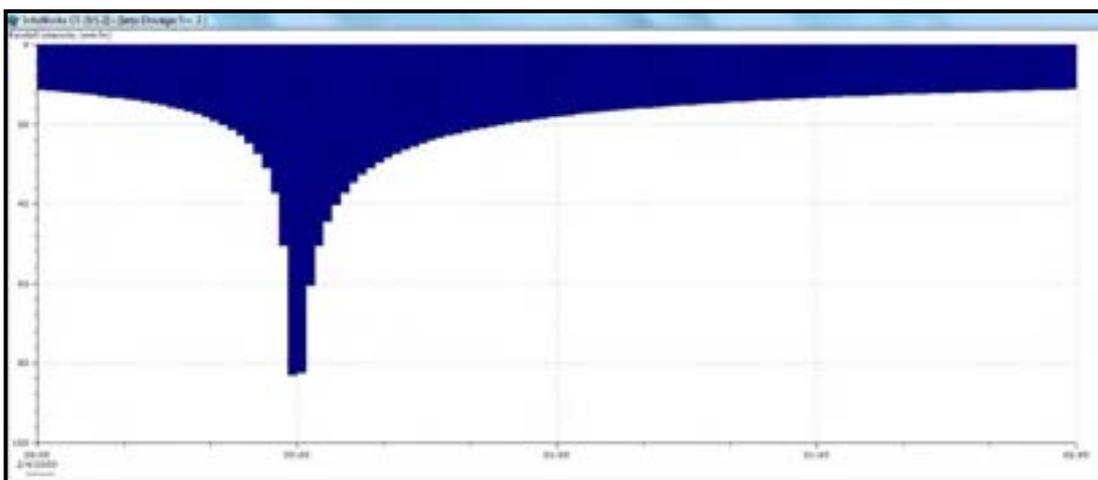


Figura 16: Ietogramma tipo Chicago con tempo di ritorno 2 anni.

Di seguito viene riportato l'andamento planimetrico del livello di sovraccarico della rete nel momento di massimo deflusso.

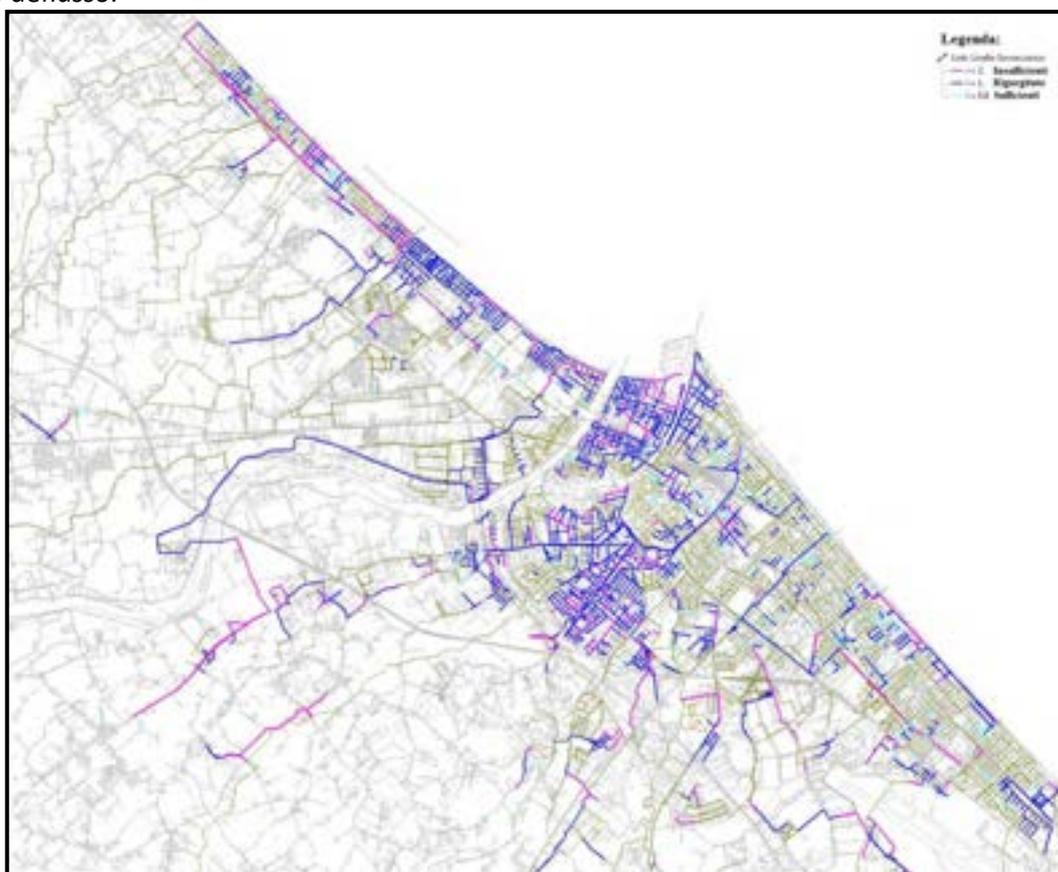


Figura 17: Andamento planimetrico del livello di sovraccarico con Ietogramma Chicago TR 2.

Il secondo scenario riproduce un evento sintetico con tempo di ritorno pari a 10 anni.

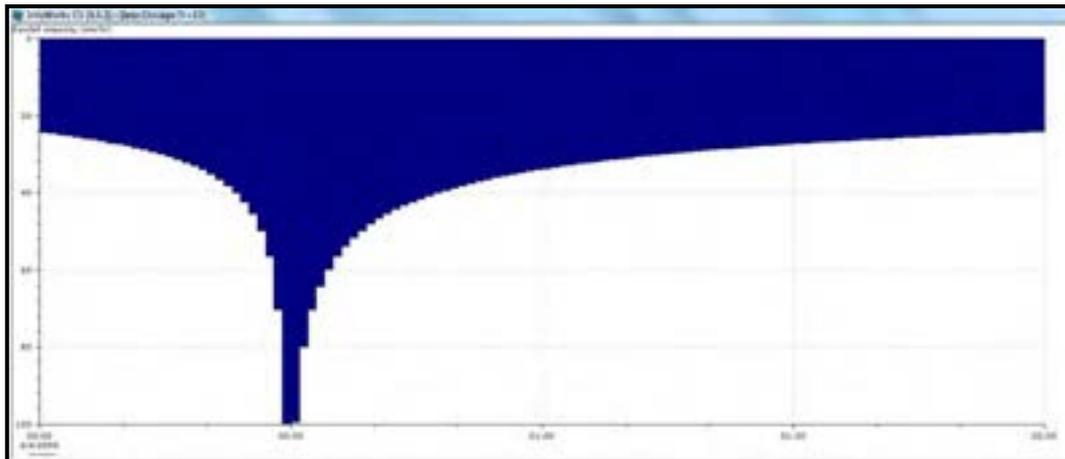


Figura 18: letogramma tipo Chicago con tempo di ritorno 10 anni.

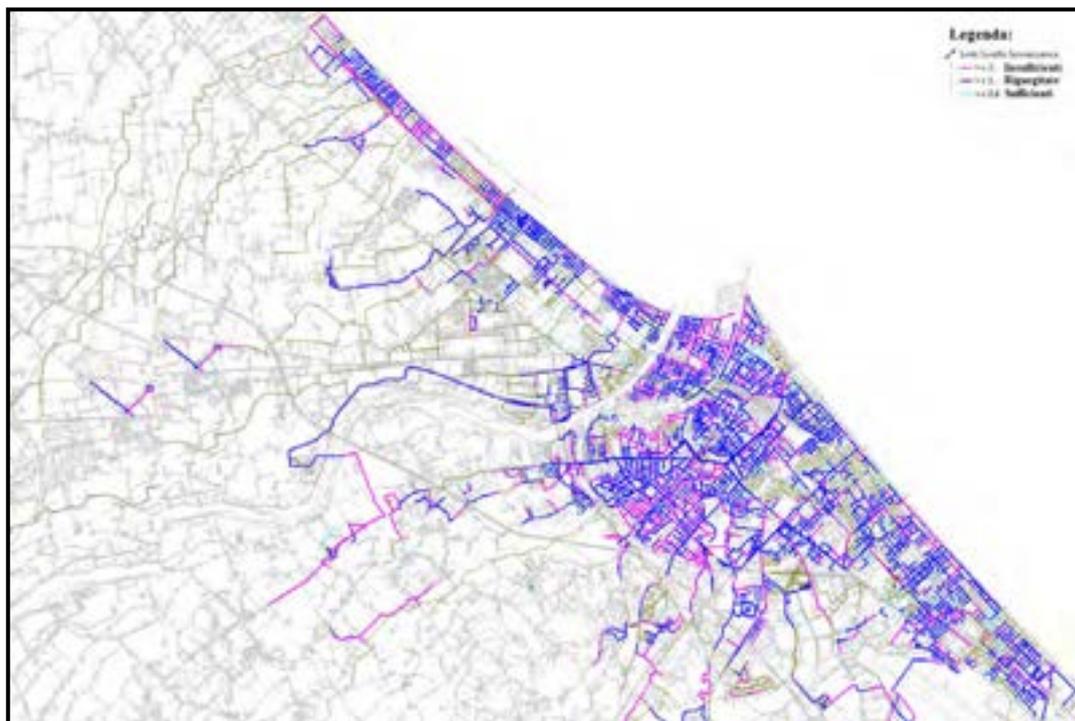


Figura 19: Andamento planimetrico del livello di sovraccarico con letogramma Chicago TR 10.

Si può notare dalle planimetrie come la rete sia già in sovraccarico per eventi con tempo di ritorno pari a 2 anni, per piogge con TR 10 anni la percentuale di reti sovraccaricate aumenta ulteriormente e una parte significativa va in pressione.

L'evento del 24 giugno 2013 è stato valutato partendo dall'analisi dei diversi pluviometri presenti sul territorio, per poter identificare i profili di pioggia dei sottobacini. Nello specifico sono stati analizzati i dati forniti dai cinque pluviometri del comune di Rimini: Parco XXV Aprile, Piazzale Kennedy, Cà Sarzana, Torre Pedrera e Miramare.

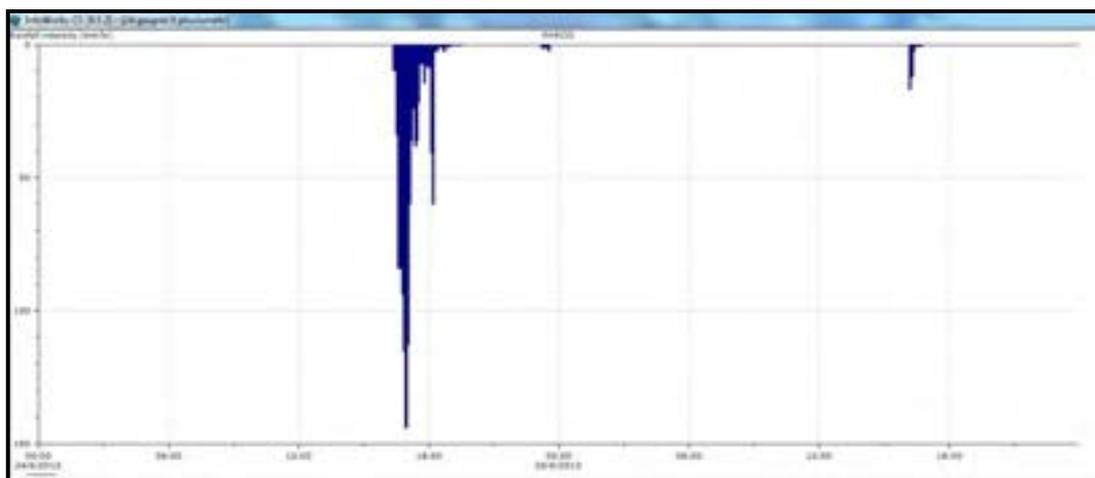


Figura 20: profilo di pioggia da pluviometro sito in Parco XXV Aprile.

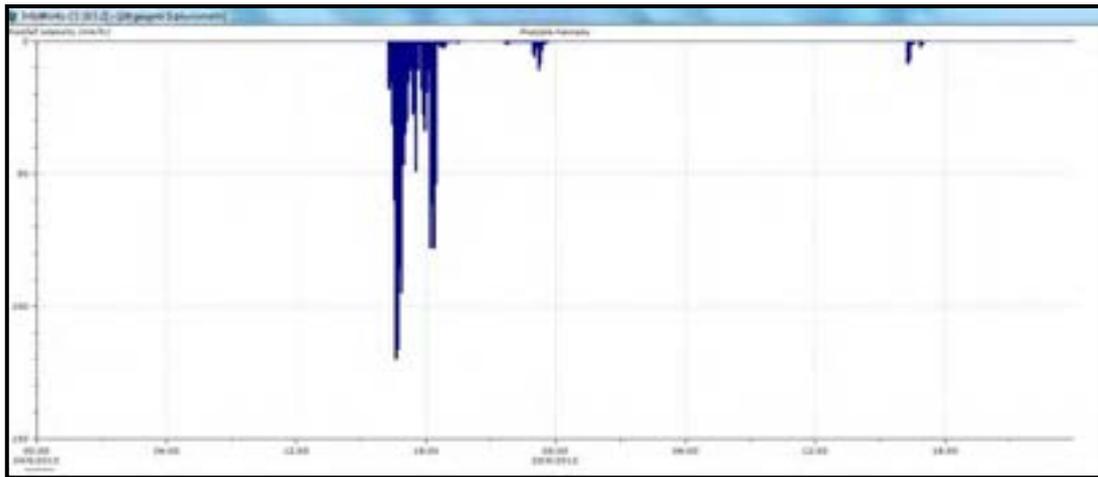


Figura 21: profilo di pioggia da pluviometro sito in Piazzale Kennedy.

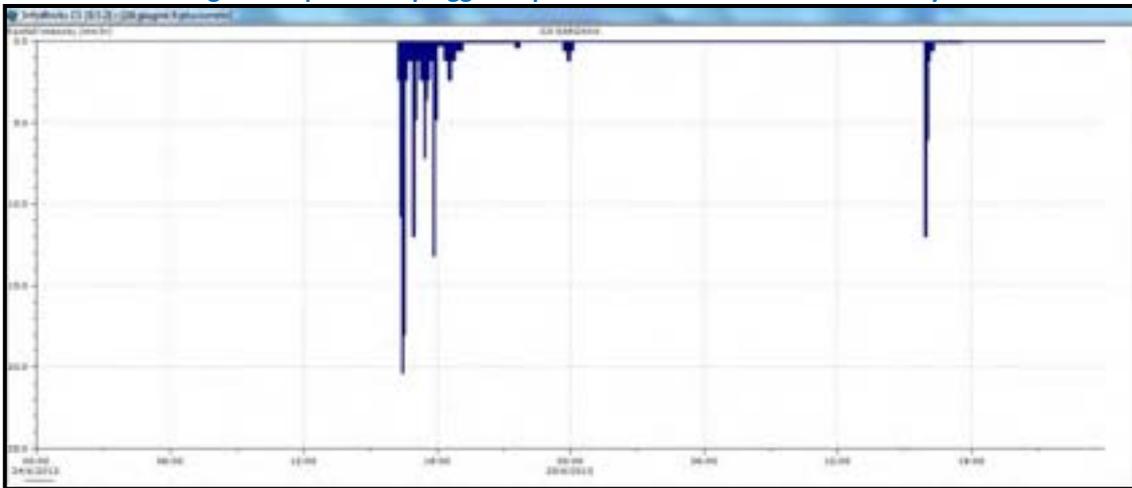


Figura 22: profilo di pioggia da pluviometro sito in Cà Sarzana.

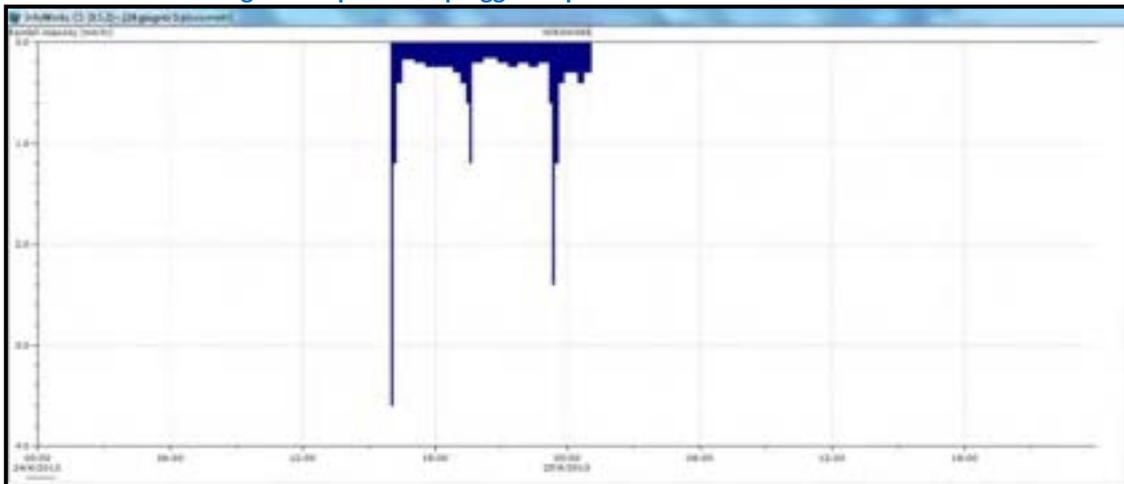


Figura 23: profilo di pioggia da pluviometro sito in Miramare.

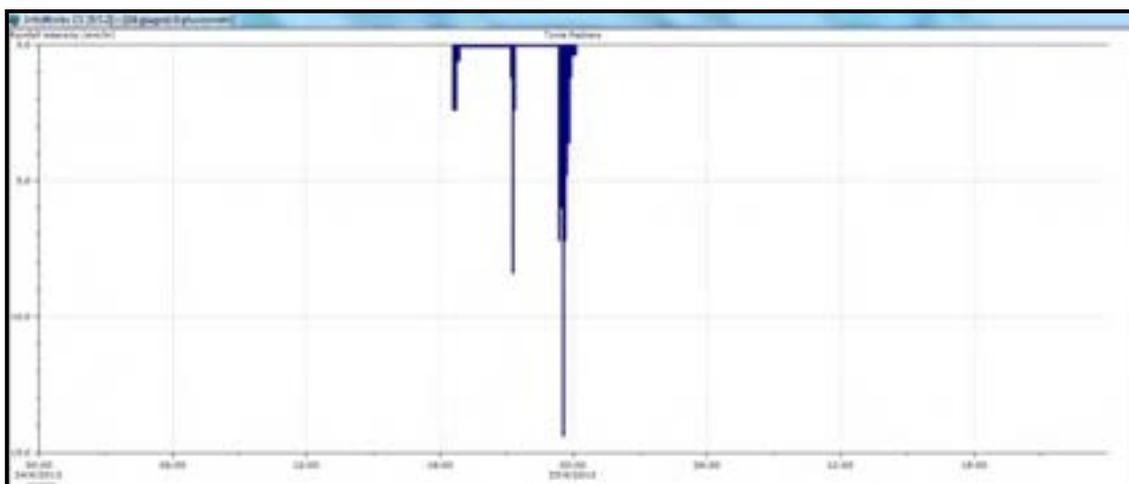


Figura 24: profilo di pioggia da pluviometro sito in Torre Pedrera.

I profili di pioggia appena elencati sono stati assegnati ai sottobacini nel seguente modo:

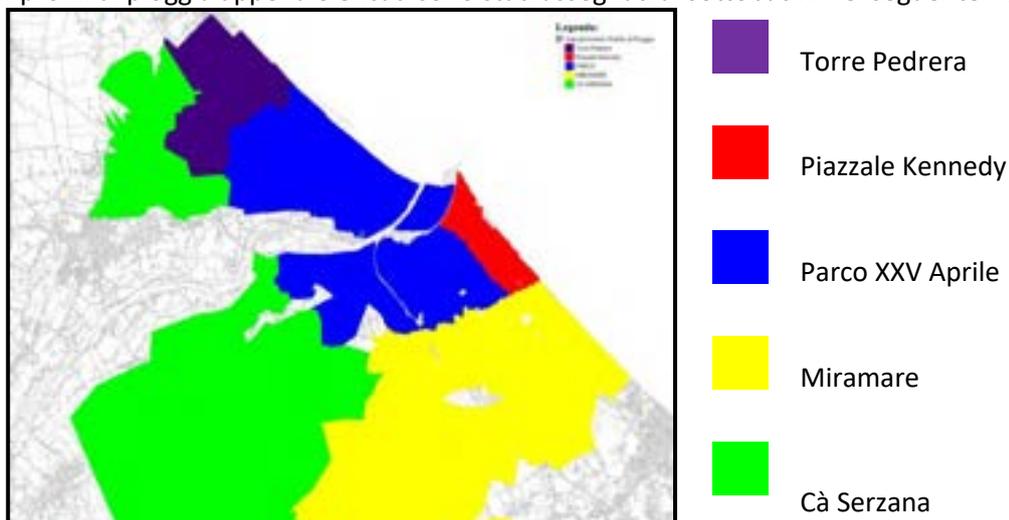


Figura 25: Assegnazione profili di pioggia ai sottobacini in InfoWorks CS.

Le precipitazioni misurate sono state intense nell’area della provincia di Rimini; i dati più significativi registrati dalla rete pluviometrica regionale sono relativi alle stazioni di Rimini Ausa (148 mm), Rimini Urbana (91.2 mm), Vergiano (69.8 mm), Cattolica (88.2 mm).

Focalizzando l’attenzione sulle intensità registrate a diversi intervalli di tempo, si trovano i dati più significativi, come evidenziato nella Tabella sottostante.

Tabella 2: Stazione di Rimini Ausa: quantitativi maggiori registrati nelle diverse finestre temporali (<http://www.arpa.emr.it/>)

Rimini Ausa	1 min	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
Periodo di Accumulo	17.45-17.46	17.43-17.48	17.38-17.48	17.34-17.49	17.26-17.56	17.21-18.21
Ora locale	17.45-17.46	17.43-17.48	17.38-17.48	17.34-17.49	17.26-17.56	17.21-18.21
mm	4.4	19.6	35.8	53.8	92.6	123.6

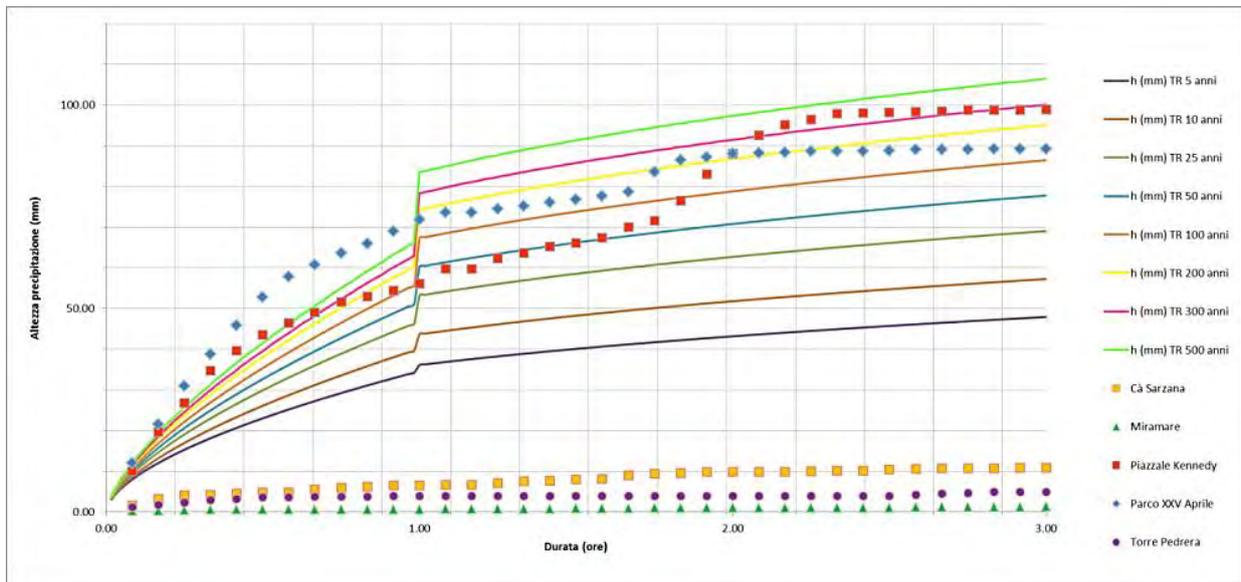
Questi valori sono il record storico per le zone di pianure dell'Emilia Romagna, considerando l'intero archivio dei dati a disposizione del Servizio IdroMeteoClima che parte dall'anno 1920. Si evidenzia quindi che l'evento relativo alla città di Rimini del 24/06/2013 non ha nessun precedente e in tal senso risulta di carattere eccezionale.

Ritornando alle stazioni sopra considerate, la stima del tempo di ritorno della pioggia risulta molto significativa anche per la stazione Rimini Urbana, in particolare per la cumulata trioraria a cui corrisponde la stima di circa 75 anni, come riportato nel grafico a seguire.

Si sottolinea comunque di nuovo il carattere eccezionale della pioggia su Rimini AUSA, per la quale la stima dei tempi di ritorno risulta molto superiore ai 100 anni, da 1 a 12 ore di accumulo.

**Tabella 3: Valori dei periodi di ritorno e delle massime precipitazioni registrate su 1, 3, 6, 12, 24 ore**  
(<http://www.arpa.emr.it/>)

Stazione	1 ora		3 ore		6 ore		12 ore		24 ore	
	Tempo di ritorno (anni)	Prec (mm)								
Cattolica	20.2	46.2	15.4	63.6	15.4	77.6	11.3	88.2	5.5	88.2
<b>Rimini AUSA</b>	<b>&gt;100</b>	<b>123.6</b>	<b>&gt;100</b>	<b>146.6</b>	<b>&gt;100</b>	<b>147.0</b>	<b>&gt;100</b>	<b>148.0</b>	<b>94.9</b>	<b>148.0</b>
Rimini Urbana	61.9	59.6	74.7	88.4	41.9	88.6	17.4	91.2	7.8	91.2



**Figura 26: Curve cumulate di intensità di pioggia.**

Dalla simulazione dell'evento reale del 2013 si ottiene l'andamento planimetrico del livello di sovraccarico della rete di drenaggio nel momento di massimo deflusso.

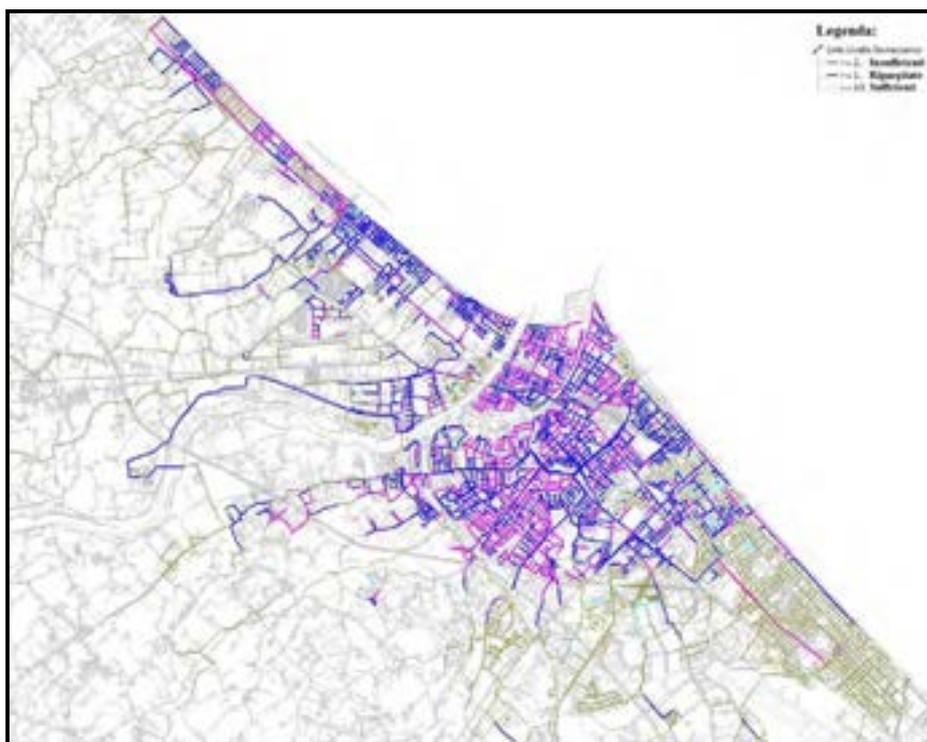


Figura 27: andamento planimetrico del livello di sovraccarico della rete per l'evento del 24 giugno 2013.

Fissati i comparti di esondazione, la simulazione restituisce graficamente sulla planimetria le aree allagate in funzione della pluviometria.

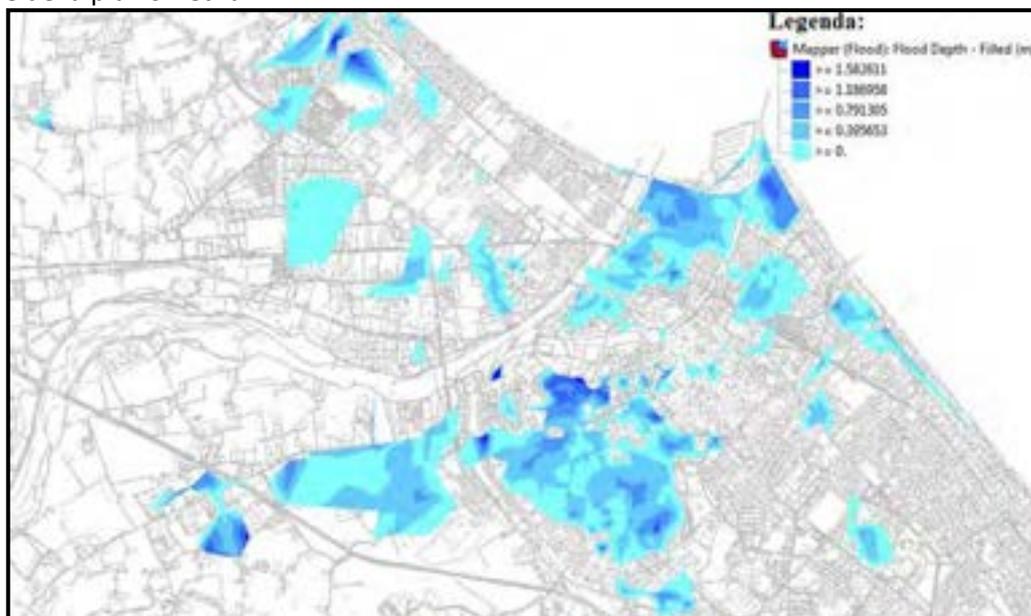


Figura 28: mappa delle aree allagate ottenuta dalla simulazione della rete di Rimini per l'evento del 2013.

Per valutare in modo più approfondito la risposta del modello idraulico e compararla con la mappa reale delle esondazioni registrate nel 2013, per valutarne l'affidabilità, è stata ridotta la zona di studio ad una parte di Rimini compresa tra il fiume Marecchia e il Porto Canale: Rimini Isola.



Figura 29: Rimini Isola

Sono state svolte differenti simulazioni su questa porzione di rete, utilizzando sia un modello di terreno DTM che la tecnologia LIDAR.

### SIMULAZIONE 1

In questa simulazione si è verificato il funzionamento della porzione di rete racchiusa nell'area di Rimini Isola, distaccata dalla restante, come mostrato in precedenza. Si è fornito ancora una volta un DTM come modello del terreno, raffigurato di seguito.



Figura 30: DTM area Rimini Isola

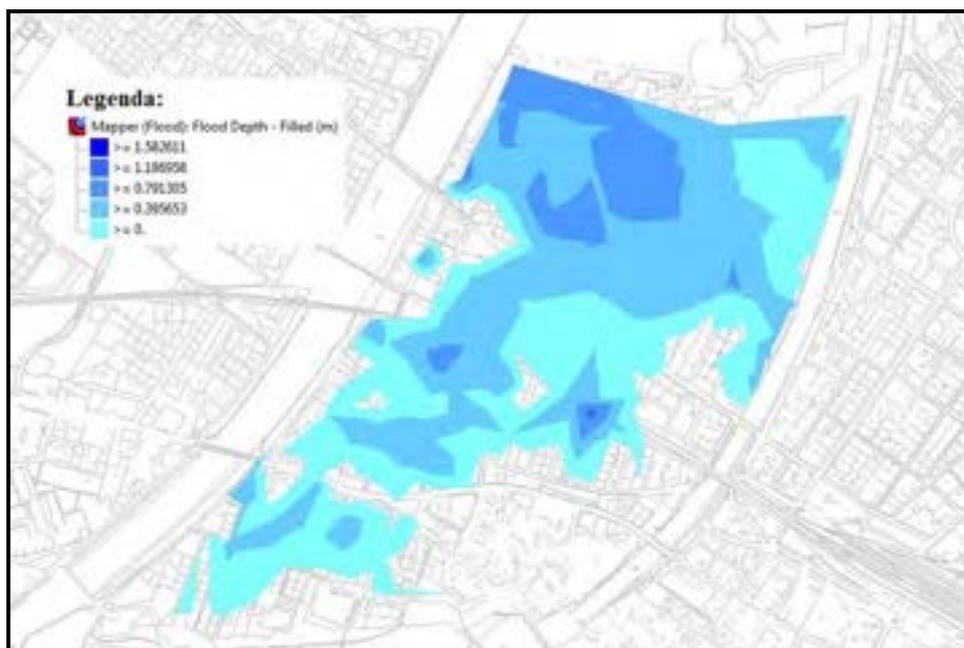


Figura 31: Aree allagate (simulazione 1 con modello di terreno DTM).

### SIMULAZIONE 2

In questa simulazione, al fine di ottenere un calcolo delle aree più preciso, si è utilizzato un modello del terreno da tecnologia LIDAR, visibile qui di seguito. Infine si è sovrapposta la mappa delle aree allagate alla pianta degli edifici sul software Quantum GIS.



Figura 32: LIDAR area Rimini Isola

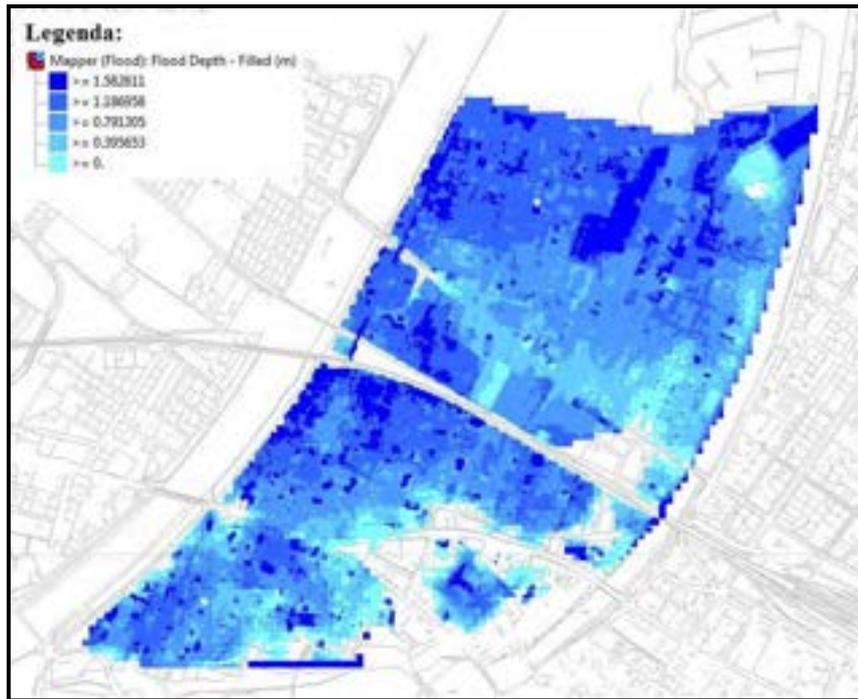


Figura 33: Aree allagate (simulazione 2)

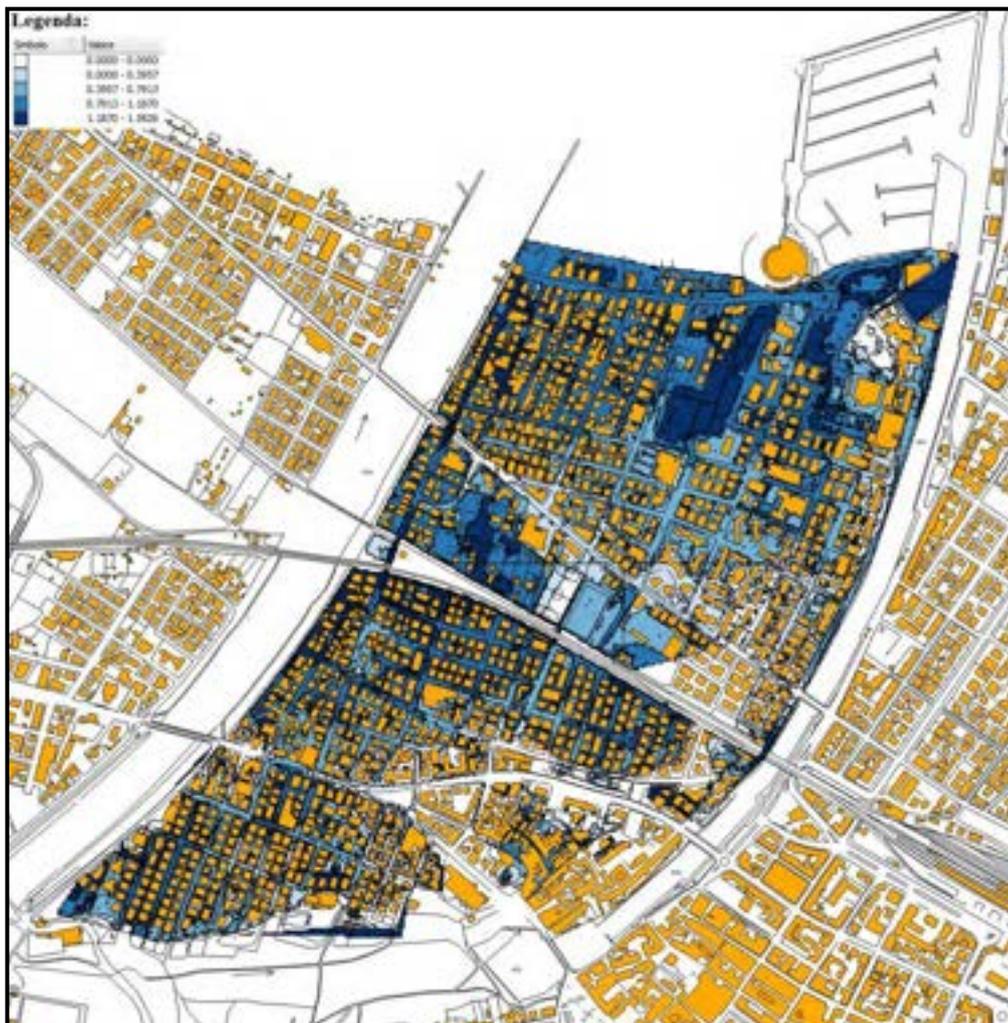


Figura 34: Aree allagate su planimetria con edifici (simulazione2)

**SIMULAZIONE 3**

Per questa simulazione e tutte le successive, sono state implementate nel software, come caratteristiche dei sottobacini, delle nuove aree tipo, espresse in ettari, ovvero campi che definiscono la quota parte di sottobacino appartenente ad un particolare tipo di superficie di scolo. Per il calcolo delle nuove aree tipo sono stati seguiti i seguenti passaggi:

- Riproduzione in Autocad dei sottobacini di Rimini Isola;



**Figura 35: riproduzione sottobacini Rimini Isola in Autocad.**

- Sovrapposizione di foto satellitare sui sottobacini realizzati in Autocad;



**Figura 36: Sovrapposizione foto satellitare**

- Realizzazione di retini su Autocad per il calcolo di 3 tipi di aree: aree verdi, aree tetti ed aree strade;



**Figura 37: retini delle aree tipo**

- Implementazione nella tabella dei sottobacini delle aree tipo ricavate dai retini.

Substazione	Tipologia Area	STIPITE	Area Verde (m <sup>2</sup> )	Area Tetti (m <sup>2</sup> )	Area Strade (m <sup>2</sup> )	Area Totale (m <sup>2</sup> )	Area Verde (%)	Area Tetti (%)	Area Strade (%)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Figura 38: Modifica aree tipo precedenti (sinistra) con quelle calcolate (destra)**

Come in precedenza sono state poi fatte elaborare dal software Infoworks CS le aree allagate. Sono state poi importate in Quantum Gis per avere un'intersezione con la pianta degli edifici in modo da riscontrare l'impatto con la zona urbana.



Figura 39: aree allagate (simulazione 3)

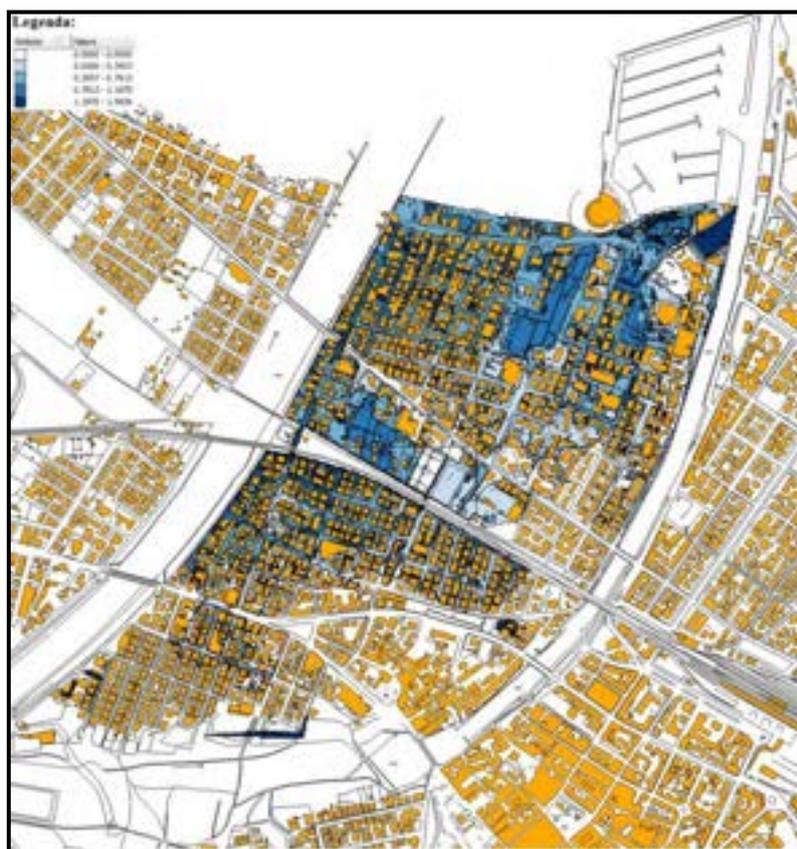


Figura 40: Aree allagate su planimetria con edifici (simulazione 3)

#### SIMULAZIONE 4

In questa simulazione sono state mantenute le aree tipo implementate nella simulazione precedente, si è variato invece il coefficiente di ruscellamento nella sottotabella Superfici, appartenente alla tabella dei Sottobacini. In particolare si è aumentato da 20 a 30 il valore riferito alle aree tetti in modo da attribuire un maggiore contenimento delle acque per le aree di questo tipo.

Sempre tramite l'utilizzo del DTM da LIDAR, si è proceduto al calcolo delle aree allagate. Infine come prima sono state sovrapposte, in Quantum GIS, alla planimetria degli edifici.



Figura 41: aree allagate (simulazione 4)

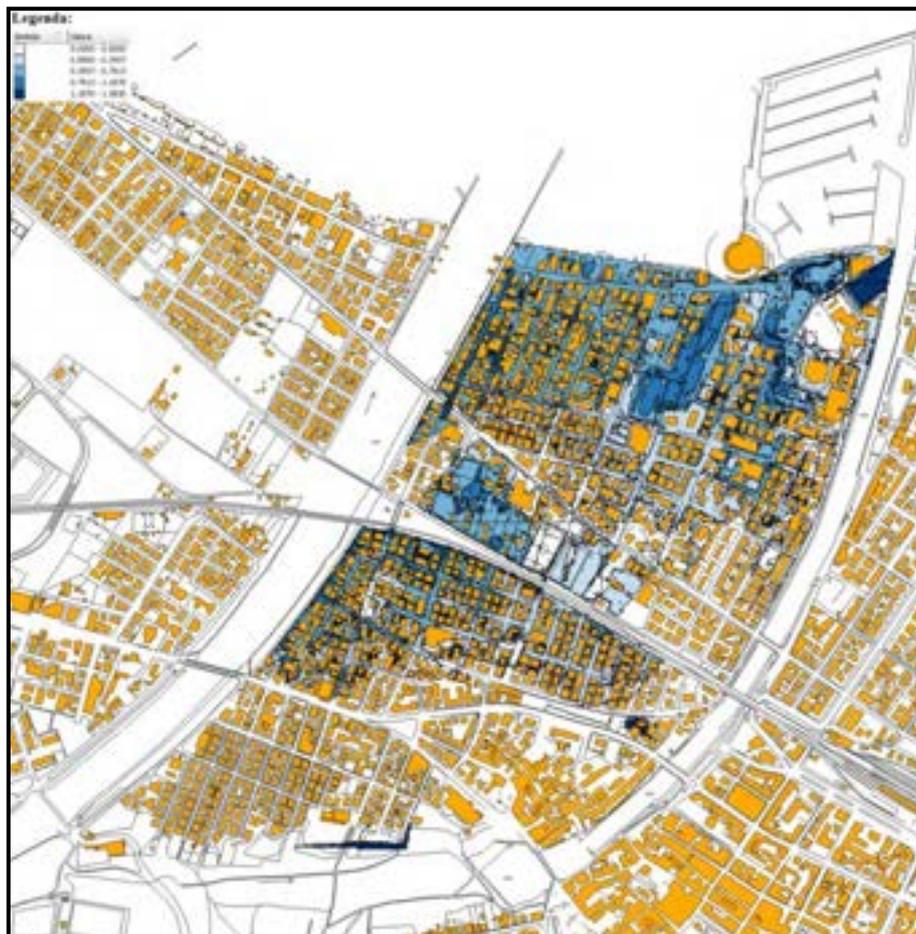


Figura 42: Aree allagate su planimetria con edifici (simulazione 4)

SIMULAZIONE 5

In questa simulazione, rispetto alla precedente, è stato modificato il coefficiente di ruscellamento da 30 a 40.



Figura 43: aree allagate (simulazione 5)



Figura 44: aree allagate su planimetria con edifici (simulazione 5)

**SIMULAZIONE 6**

In questa simulazione, rispetto alla precedente, è stato modificato il coefficiente di ruscellamento da 40 a 60. Si può notare come le aree soggette al fenomeno di allagamento stiano gradualmente calando, avvicinandosi alla configurazione reale.

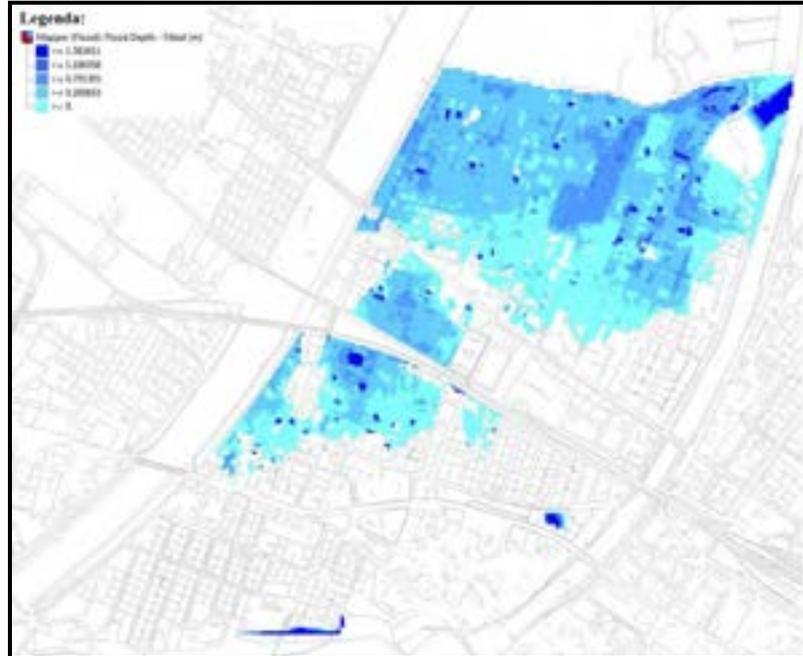


Figura 45: aree allagate (simulazione 6)

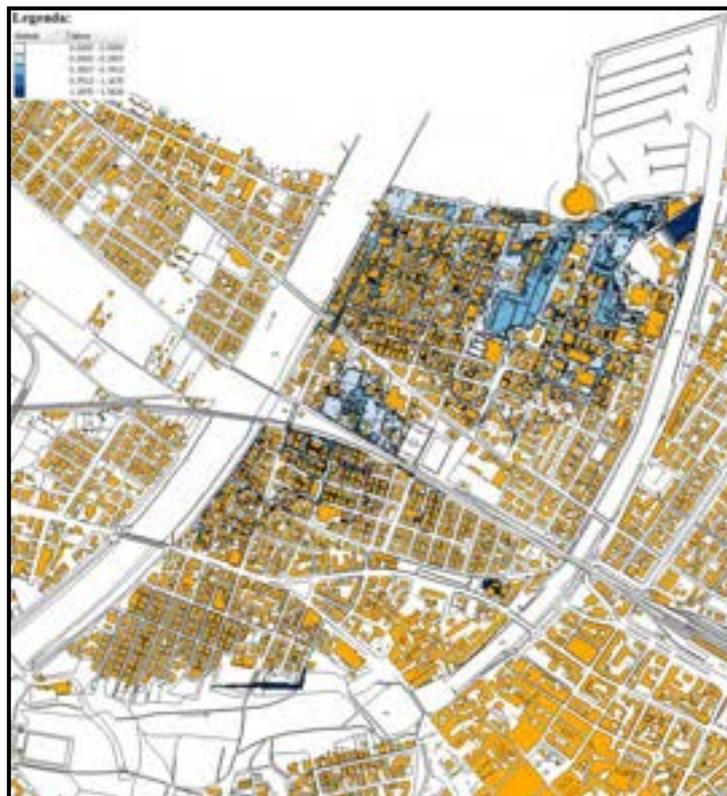


Figura 46: aree allagate su planimetria con edifici (simulazione 6)

**SIMULAZIONE 7**

In questa simulazione sono state variate ancora una volta le aree tipo. Si è ipotizzato un intervento BMP's sul territorio, riducendo così le aree denominate "tetti" del 10% in favore di quelle "verdi".

Figura 47: Modifica aree verdi in tabella IW CS

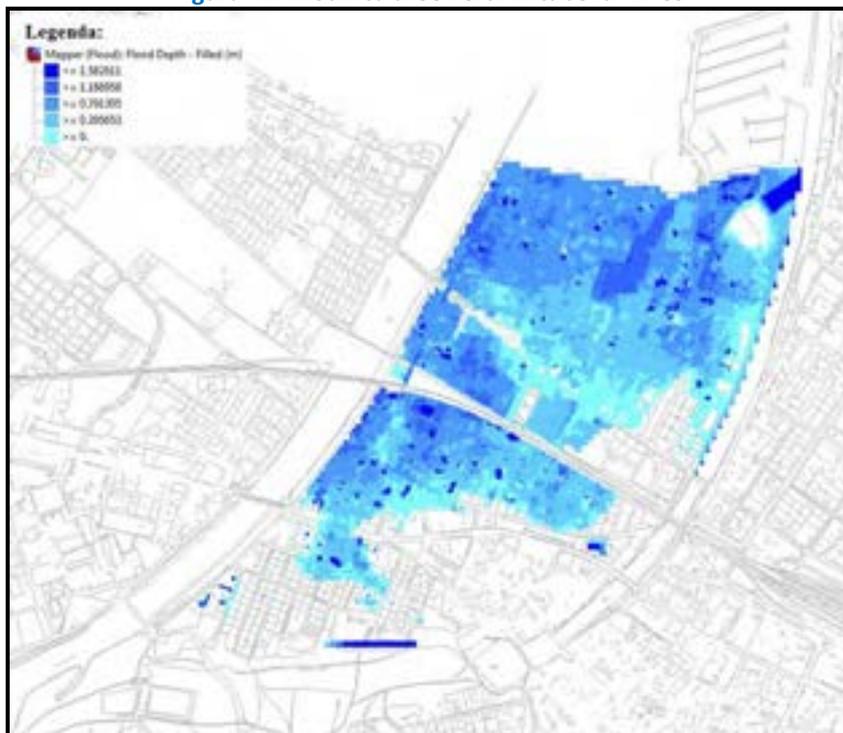
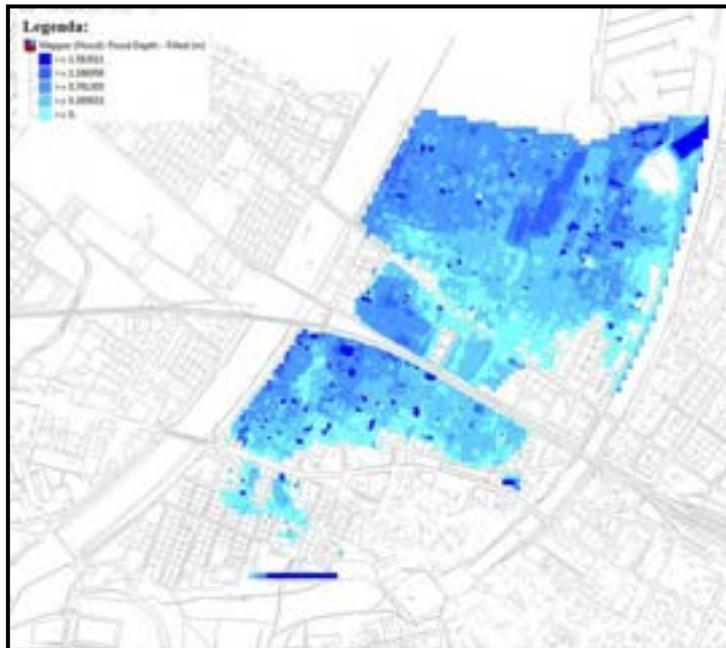


Figura 48: Aree allagate con riduzione delle aree impermeabili del 10% grazie a tecnologie BMP (simulazione 7)

**SIMULAZIONE 8**

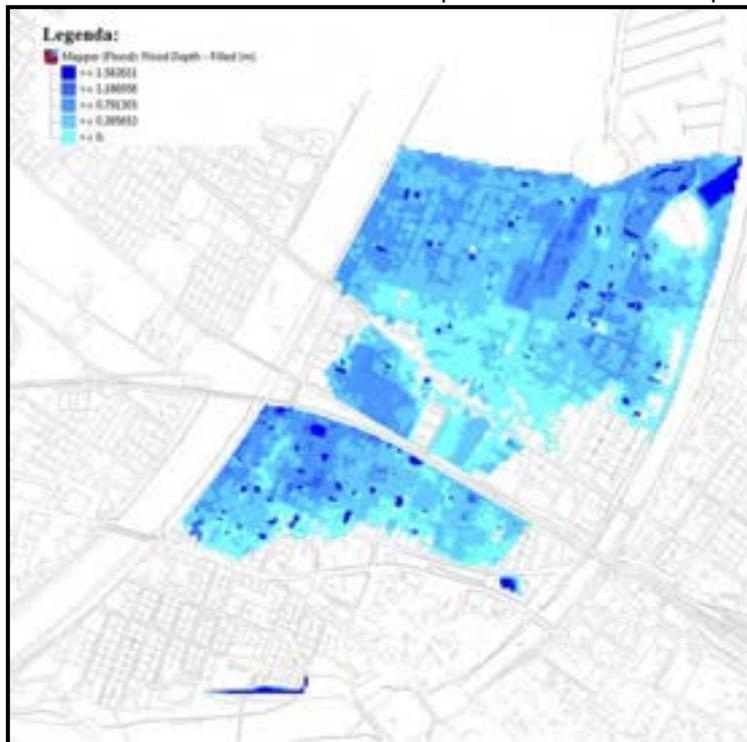
In questa simulazione è stato decurtato il 20% dalle aree tipo “tetti” in favore di quelle “verdi”.



**Figura 49: Aree allagate con riduzione delle aree impermeabili del 20% grazie a tecnologie BMP (simulazione 8)**

**SIMULAZIONE 9**

In questa simulazione è stato decurtato il 30% dalle aree tipo “tetti” in favore di quelle “verdi”.



**Figura 50: Aree allagate con riduzione delle aree impermeabili del 30% grazie a tecnologie BMP (simulazione 9)**

L’utilizzo di un modello digitale del terreno del tipo LIDAR, rispetto ad uno del tipo DTM, risulta molto più attendibile perché è prodotto da telerilevamento mediante impulsi laser. Si può notare infatti come, in

quest'ultimo caso, l'interpolazione dei livelli di allagamento ai nodi, sia maggiormente diversificata e dunque più precisa.

Inoltre a conclusione delle simulazioni si è potuto evidenziare come attraverso la variazione dei parametri relativi ai tipi di aree presenti in zona con l'inserimento di BMP (Best Management Practices) e al coefficiente di ruscellamento, dato legato al processo di trasferimento dell'acqua ai nodi della rete, è stato possibile ridurre l'area allagata verificando l'efficacia delle tecnologie verdi che favoriscono l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo.

## 2.3 Sistema di monitoraggio e di Early Warning

### 2.3.1 Analisi dei rischi: il fenomeno del flooding

Per *flooding* si intende genericamente un allagamento dovuto ad esondazione di corsi d'acqua fluviali, inondazione di un'area costiera o ad un'insufficienza del sistema di drenaggio urbano, a seguito di eventi meteorologici intensi. Queste fenomenologie spesso si manifestano in un arco di tempo molto breve provocando ingenti danni e disagi ai cittadini, talvolta anche con perdita di vite umane.

#### Tipologie di flooding

**Coastal flooding:** a causa di violenti temporali viene allagata la costiera. Il fattore scatenante è il forte vento che genera onde che si riversano sulla costa sovrastando o rompendo le opere di difesa costiera (argini o barriere). Altro fattore in causa è la pressione atmosferica, infatti, durante un temporale in condizioni di bassa pressione il livello del mare tende a salire contribuendo al rischio di inondazione.

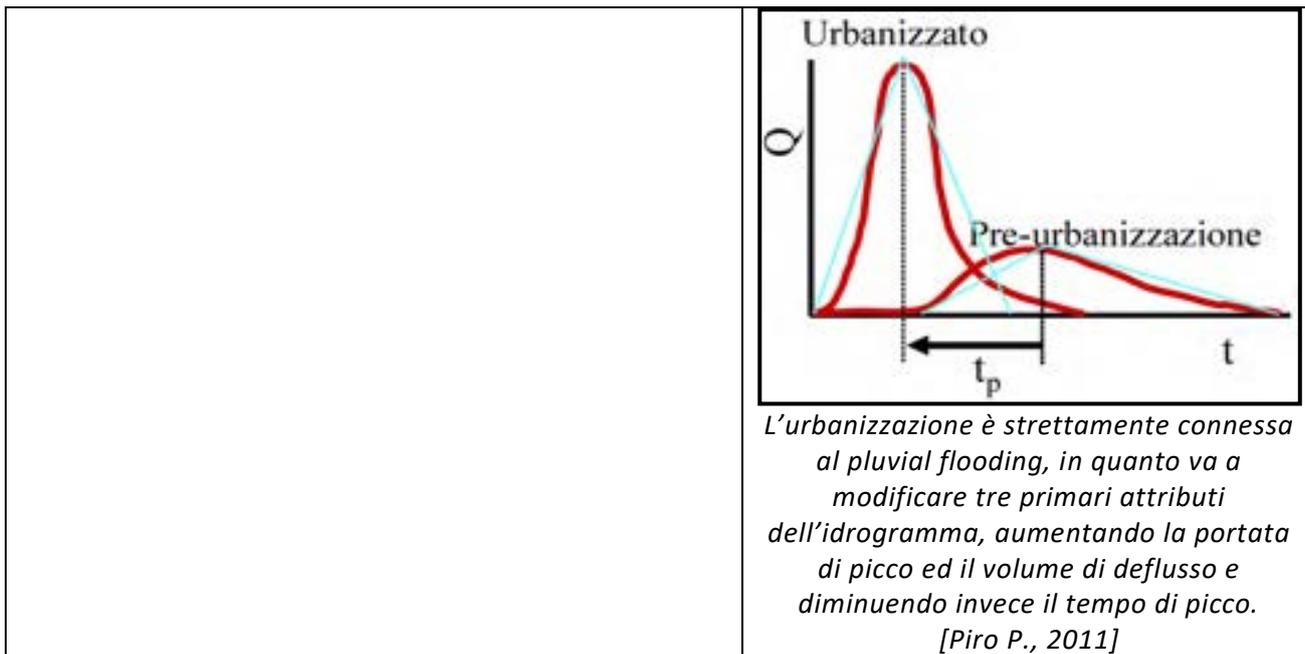


**River flooding:** a causa di forti e prolungate piogge su aree estese si può arrivare all'esondazione dei fiumi dagli argini. Il livello sale gradualmente, ma in modo veloce, l'acqua che il fiume riceve proviene in gran parte dallo scorrimento sulla superficie del bacino idrografico quando il suolo risulta essere saturo o impermeabile. Le dimensioni delle aree inondate possono essere molto estese e provocare l'isolamento di alcune aree del territorio.



**Pluvial flooding:** a causa di forti piogge un'area urbana, di solito topograficamente depressa, viene inondata. La causa principale è una rete di drenaggio non adeguata. In questo caso il processo è graduale. Di difficile previsione, questo fenomeno è caratterizzato da eventi di breve durata ed alta intensità, soprattutto se la maggior parte della superficie è impermeabile. Se viene superata la capacità di drenaggio dei sistemi fognari combinati si ha scorrimento in superficie di acque reflue miste a meteoriche generando anche rischi igienici. Le reti più moderne sono progettate con TR 20-30 anni ma il problema relativo alla manutenzione rende la capacità effettiva della rete molto inferiore. I sistemi di drenaggio devono far fronte a due problematiche: una quantitativa, ovvero il garantire una difesa idraulica del centro abitato dal fenomeno del pluvial flooding ed un'altra qualitativa, quindi assicurare un controllo sulla qualità degli scarichi dei reflui nei corpi idrici. Le aree densamente abitate hanno maggiore probabilità che si verifichino eventi di piena spesso dovuti ad eventi di pioggia estrema.





La progettazione finalizzata alla prevenzione dei danni da flooding è integrata o, laddove non sia realizzabile, sostituita da interventi basati esclusivamente su una precedente analisi di rischi. A questo proposito vengono realizzate indagini meteorologiche, idrologiche ed idrauliche, che richiedono anche valutazioni sull'impatto previsto del flooding. Queste ultime si concentreranno prevalentemente su stime delle perdite economiche dirette possibili, realizzate mediante funzioni che legano le proprietà del danno riscontrato ai fattori causa del danno stesso. Anche se il danno da flooding su edifici è influenzato da molteplici fattori, solitamente vengono considerati come fattori causa, l'altezza di allagamento e l'utilizzo della costruzione. La funzione danno segue una distribuzione lognormale e possiede grande variabilità, poiché intervengono altri fattori, nella definizione del danno, oltre all'altezza di allagamento e la destinazione d'uso dell'edificio. Per questo motivo le stime dei danni da flooding sono affette da non poca incertezza, che risulta essere tanto più elevata quanto maggiore è il numero di edifici e comunque dipendente anche dalla loro distribuzione sul territorio. Data questa incertezza è molto importante la raccolta di più dati possibili sugli allagamenti, oltre al ricorrere alla modellazione attraverso software. Solitamente le valutazioni degli impatti derivanti dalle inondazioni si limitano a considerare quelli dannosi, ci possono però essere anche conseguenze positive, ad esempio la rigenerazione delle acque sotterranee o il mantenimento di elevata diversità biologica nelle pianure alluvionali.

Per quanto concerne invece i danni derivati dal flooding, possiamo suddividerli in diretti ed indiretti. I primi sono quelli immediati che possono essere subito quantificati, mentre i secondi emergono nel corso dei mesi e degli anni e sono di più difficile stima. Entrambi questi due tipi di danno vengono a loro volta suddivisi in tangibili ed intangibili [Smith et al., 2004], ovvero rispettivamente della possibilità o meno di valutare la perdita economica associata al danno. Gli impatti diretti tangibili, dunque economici, (danni alle proprietà, perdita di reddito, costi di ristrutturazione e ricostruzione) possono essere calcolati mediante metodi standard utilizzati di routine nell'analisi costi-benefici per la valutazione del progetto di sistemi di protezione dalle inondazioni. Gli impatti diretti intangibili, ovvero sociali, invece, (disagi alla vita quotidiana, perdita di affetti personali e traumi psicologici) sono molto più difficili da valutare e solo di recente hanno cominciato ad essere presi in considerazione nella progettazione di sistemi di protezione da urban flooding. Per quanto riguarda gli impatti indiretti, ovvero quelli a lungo termine, vengono presi in considerazione ancora in poche situazioni, solo quelle più significativi sia dal punto di vista di perdita economica, che sociale.

Nella valutazione dei danni da flooding si ricorre a funzioni danno o funzioni perdita, che restituiscono il danno monetario subito dalle costruzioni, nella maggior parte dei casi in funzione del

tipo di edificio e dell'altezza di allagamento. Questo modus operandi è riconosciuto a livello internazionale come l'approccio standard per la stima dei danni da urban flooding (Smith et al., 2004). Tali funzioni sono sviluppate tramite dati raccolti a seguito di un diluvio, oppure ricorrendo ad "analisi what-if", basate sulla valutazione del danno ("what") al variare dell'altezza di allagamento ("if"). Sulla base di queste stime sono state ricavate relazioni differenziate per regioni. Una delle raccolte più complete si trova in Penning-Rowsell e Chatterton (1977), che contiene le curve di danno per immobili sia residenziali che commerciali nel Regno Unito. Ovviamente un danno da flooding dipende, oltre che dal tipo di edificio ed altezza di allagamento, anche da altri fattori, ad esempio la velocità di flusso, la durata dell'inondazione, la concentrazione dei sedimenti o la qualità della risposta del territorio, ecc.. Anche se alcuni studi forniscono qualche suggerimento circa l'influenza di questi altri fattori (Smith et al., 2004), non esiste un approccio globale per l'inclusione di tutte le variabili. Da qui l'elevata incertezza sulle valutazioni preventive dei possibili danni da flooding. Non considerare quest'aspetto potrebbe portare ad una gestione non corretta della progettazione finalizzata alla difesa dei centri abitati dalle inondazioni, dunque è necessario attribuire alle stime dei danni anche quelle riferite al livello di incertezza associato. Per raffinare queste valutazioni, aumentandone il grado di affidabilità, si ricorre spesso all'utilizzo di modellazioni idrauliche tramite software, come visto nei paragrafi precedenti.

### 2.3.2 Eventi estremi e blackout elettrici

Strettamente legato al fenomeno del flooding è il conseguente rischio di blackout elettrico infatti tra il 2010 e gli inizi del 2017, in Italia sono 55 i giorni di blackout dovuti al maltempo come riportato nel rapporto sul clima di Legambiente "Le città alla sfida del clima" di maggio 2017. È evidente un cambiamento nella quantità e intensità dei fenomeni di pioggia, infatti, i principali danni sono avvenuti durante episodi dove in pochi minuti sono scesi quantitativi d'acqua che mediamente dovrebbero registrarsi in diversi mesi. Questi eventi provocano un sovraccarico idraulico con conseguente allagamento dovuto alla crisi del sistema di drenaggio. Durante questi eventi la possibilità di blackout risulta essere molto elevata, per questo si rendono necessarie delle misure preventive capaci di garantire il funzionamento corretto degli impianti di sollevamento e del sistema di monitoraggio della rete di drenaggio.

L'ipotesi di utilizzare sistemi di monitoraggio "real time" permetterebbe di ottimizzare in maniera dinamica la capacità di invaso della rete di drenaggio attraverso degli attuatori. Durante gli eventi intensi i sensori installati nella rete monitorano il flusso e la capacità delle condotte in modo da attivare paratie e impianti per mantenere il livello di acqua sotto valori critici. Questa soluzione risulta essere molto efficace poiché ottimizza la capacità di accumulo della rete stessa ma presenta la limitazione data dal rischio di blackout connessi agli eventi intensi ed estremi. Risulta quindi necessario valutare come contenere questa problematica e nei casi in cui si dovesse verificare il blackout come gestirla, non arrivando più il segnale e il sistema di attuazione non sarebbe in grado di funzionare in automatico. A tal proposito si deve considerare la possibilità di installare gruppi elettrogeni in punti critici della rete al fine di garantire continuità al servizio di monitoraggio e di attuazione in real time.

L'utilizzo di paratoie "smart" distribuite nella rete di deflusso, gestite attraverso sistemi di monitoraggio dei livelli e regolate in modo tale da portare il livello d'acqua il più vicino possibile a quello massimo, permetterebbe di sfruttare la capacità di invaso della rete. Le smart gates possono essere costituite da una paratia mobile che ruota intorno ad un perno orizzontale. Il grado di apertura della paratoia è proporzionale alla portata per cui, considerando che il piatto viene mosso in modo elettromeccanico, si riesce a modificare dinamicamente il flusso d'acqua nei punti della rete in cui le paratoie vengono installate (Garofalo et al., 2015).

### 2.3.3 Sistemi di Early Warning e controllo in tempo reale delle reti di drenaggio

Per la realizzazione di un sistema efficace di early warning relativo al rischio di allagamento urbano, il dato fondamentale risulta essere quello legato alla previsione della precipitazione. L'affidabilità di questo dato influenza significativamente tutto il sistema di monitoraggio e di early warning (Koriche et al. 2016; Hempel et al., 2010).

Le possibili configurazioni del sistema di Early Warning sono quattro e si distinguono principalmente in funzione delle modalità di elaborazione dei dati previsionali forniti dal radar:

- Utilizzo di un database di eventi storici;
- Utilizzo di un database di eventi sintetici elaborati attraverso la modellazione idraulica della rete;
- Simulazione dell'evento previsto con un modello idraulico semplificato;
- Simulazione dell'evento previsto per gestire, non solo l'allarme ma anche i data set dell'impianto RTC.

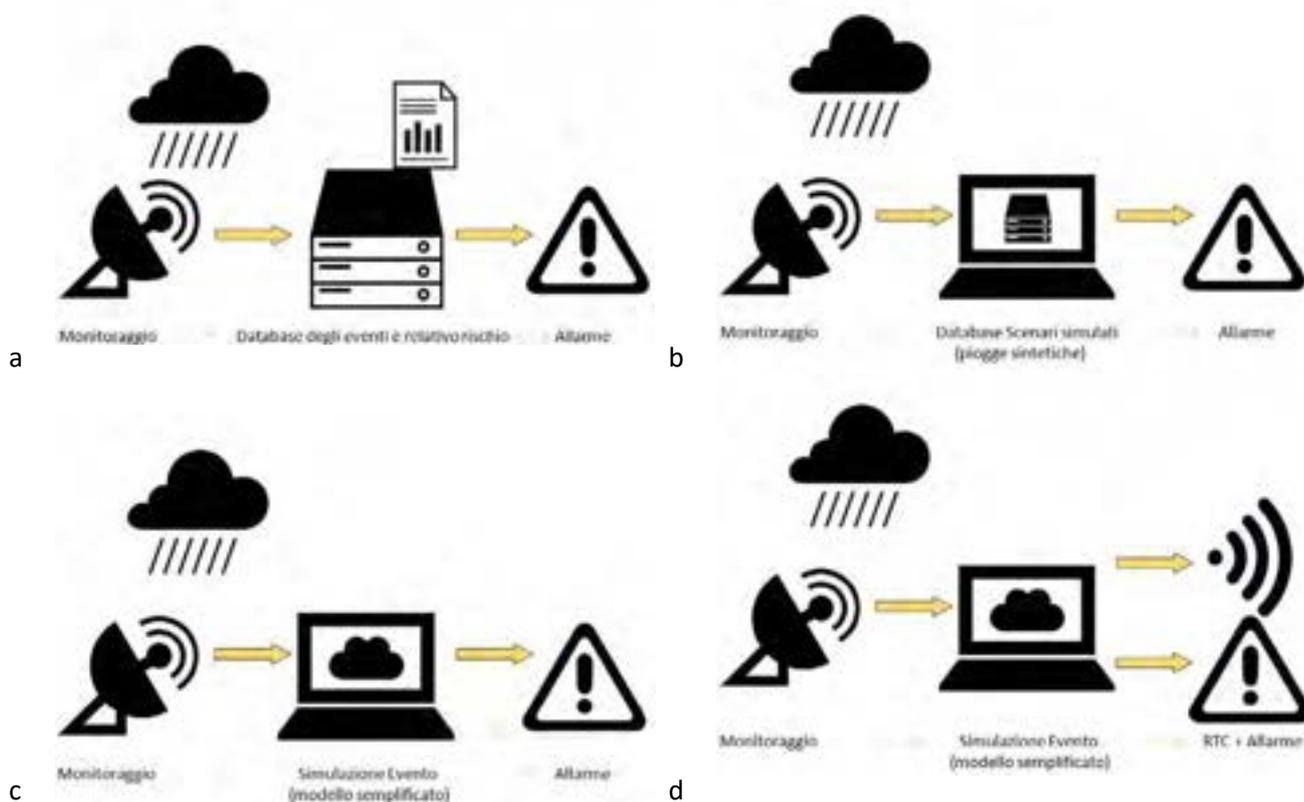


Figura 51: Configurazioni di sistemi di Early Warning.

La configurazione di tipo "a", basata sull'analisi di un database di eventi storici, è sicuramente molto semplice ma il problema della valutazione dello scenario è oggettivo e rende il modello approssimativo.

L'utilizzo di un database di eventi sintetici pre-simulati attraverso modellazioni idrauliche (tipo "b") è una valida soluzione anche se dipende molto dall'accuratezza del modello e della calibrazione dei dati di input. Un esempio di città che utilizza questa configurazione è Hvidovre vicino a Copenhagen, il radar acquisisce i dati ogni 5 minuti, il sistema calcola l'ammontare della precipitazione previsionale e la ricerca nel database per valutarne il livello di rischio correlato e nel caso provvede a dare l'allarme [Vezzano et al., 2014]. La vera limitazione di questo approccio può essere l'aggiornamento degli scenari in caso di variazioni della rete di drenaggio.

Le configurazioni "c" e "d" si basano sullo stesso sistema di valutazione del rischio ma operano in modo diverso nella fase successiva in quanto nel caso "d" il sistema non solo provvede a dare l'allarme, ma comunica direttamente con il sistema di controllo in tempo reale RTC impostando i data set necessari per contrastare l'evento previsto attraverso gli attuatori. Città come Barcellona (tipologia c) [Cembrano et al., 2014] e Québec City (tipo d) utilizzano le simulazioni degli eventi attraverso la definizione di un modello idraulico semplificato.

Québec City risulta essere un modello di città estremamente virtuoso dal punto di vista della gestione della rete di drenaggio. L'impianto di monitoraggio e di controllo in tempo reale vede 14 serbatoi di accumulo da utilizzare per contenere l'eccesso di acqua in attesa di trattamento, limitando così lo sversamento nel ricettore, 14 punti RTC, 32 stazioni di monitoraggio e 4 stazioni di controllo. Il sistema RTC collegato al

sistema di EW e ai sensori agisce autonomamente sugli attuatori decidendo dove convogliare le portate per limitare gli sversamenti [Pleau et al., 2005; Pleau et al., 2010; Schultze et al., 2004; Fradet et al., 2010].

L'utilizzo combinato del sistema di EW e RTC, se entrambi opportunamente calibrati, permette una gestione della rete di drenaggio in grado di limitare i rischi correlati al fenomeno del flooding (Sun et al., 2017; Lowe et al., 2016).

Lo studio delle casistiche di flooding dell'area oggetto di monitoraggio, valutando la relazione "causa-effetto", è importante per ottenere un quadro completo delle zone critiche e dei livelli di rischio in relazione all'intensità di pioggia. Il primo obiettivo sarà quindi quello di realizzare una mappa delle criticità attraverso l'uso di un modello idraulico della rete che prevede i possibili scenari di crisi. Vanno quindi analizzate le singole parti della rete, le variabili di precipitazione quali intensità e durata e quelle specifiche dell'allagamento ossia frequenza, durata, entità, livello dell'acqua.

L'Early Warning è un sistema di previsione e allarme che mira alla tutela e alla messa in sicurezza delle persone e cerca di minimizzare i danni causati da fenomeni come il flooding, si compone in diverse fasi:

- Fase 1: monitoraggio → sulla base dei dati osservati da pluviometri, radar, satellite e modellazione bisogna ricostruire il campo di precipitazione per ottenere una previsione attendibile;

- Fase 2: elaborazione dei dati e valutazione del rischio → in questa fase possiamo distinguere differenti approcci:

- a) se non si dispone del modello idraulico della rete di drenaggio sarà necessario creare un database di eventi pregressi ricercando le informazioni negli annali pluviometrici, nei rapporti dei Vigili del Fuoco e in quelli della Protezione Civile al fine di ottenere quanti più scenari possibili;
- b) disponendo del modello idraulico della rete si possono creare differenti scenari simulando delle piogge sintetiche per creare un database di eventi ed un grafico di valutazione del rischio. Prendendo come esempio quanto sviluppato per il caso del fiume Toga in Giappone (Yoon e Nakakita, 2015) si può analizzarne l'approccio e cercare di ridurlo alla dimensione di una rete di drenaggio urbano. Questo studio focalizza l'attenzione sui sistemi radar di previsione e l'implementazione di un grafico relativo al rischio flooding. Questo nomogramma si basa su informazione relative alla precipitazione (intensità media e durata), alla portata e al tirante idrico del fiume, cercando una relazione tra evento di flooding, livello dell'acqua da modelli idrologici e ietogrammi previsionali di precipitazione, per definire i gradi di rischio. Attraverso la modellazione si possono valutare differenti configurazioni per analizzare le portate e il comportamento della rete di drenaggio. Dalle differenti modellazioni si possono definire i range di rischio e il relativi gradi di allerta.

I dati necessari per realizzare il grafico relativo al rischio di flooding sono:

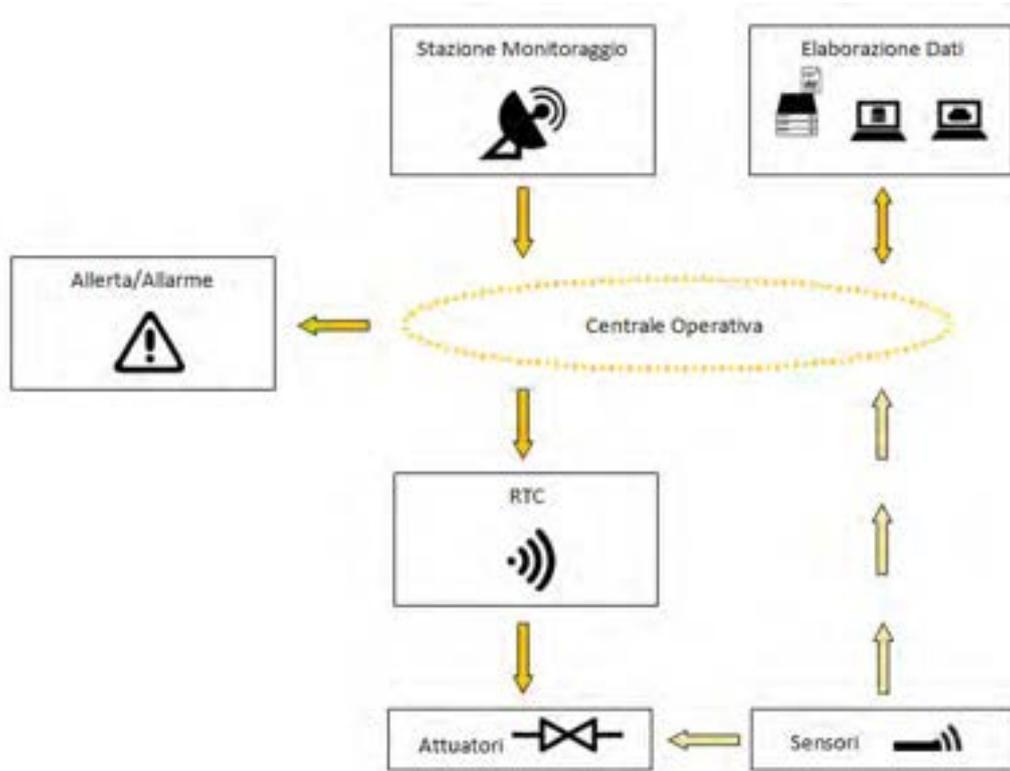
- intensità di pioggia;
  - durata di pioggia;
  - range di portata e relativo rischio.
- c) questo approccio prevede l'uso di un modello idraulico semplificato che acquisisce i dati previsionali in tempo reale e li utilizza per simulare il comportamento della rete. Per poter valutare i dati in ingresso e i livelli di rischio corrispondenti, si crea un database di eventi storici e sintetici come per il caso b.

- Fase 3: segnalazione stato di allerta → in funzione del livello di rischio vanno previste le procedure necessarie per:

- avvisare la popolazione (SMS, telefonate, e-mail, sirene, ecc);
- attivare gli organi competenti per contenere i danni, ad esempio chiudendo zone a rischio.

- Fase 4: interventi sulla rete di drenaggio → interventi diretti sulla rete, mediante manovre o attraverso il controllo in tempo reale (RTC), per modificare accumuli e sversamenti. Il sistema RTC comunica direttamente con quello di EW da cui riceve i data set in funzione del grado di rischio per azionare gli attuatori che influenzano il processo del flusso.

La combinazione del sistema di monitoraggio EW e di quello RTC è un valido strumento per rispondere alle mutevoli esigenze della rete di drenaggio urbana in relazione al crescere delle aree impermeabili e ai cambiamenti delle piogge. Per determinare i data set dell'impianto RTC è necessario realizzare un modello idraulico per prevedere il comportamento della rete in funzione delle variazioni di portata e delle azioni di chiusura/apertura degli attuatori, avendo preventivamente realizzato una mappa delle criticità. I principali obiettivi delle simulazioni sono quelli di minimizzare gli sversamenti, massimizzare la capacità di trattamento dell'impianto di depurazione, minimizzare il volume di accumulo e definire le variazioni dei set-point.



**Figura 52: schema interazione tra sistema di EW e RTC.**

La rivoluzione di questa nuova strategia di intervento è la visione dinamica della rete che non viene più considerata come sistema statico e passivo agli eventi di pioggia, ma come un insieme di dispositivi che possono reagire alle sollecitazioni che li perturbano. Se ben programmato, un sistema di controllo in tempo reale pone la rete in condizione di adeguarsi alle situazioni esterne, per raggiungere il funzionamento migliore (Rodriguez et al., 2014; Carbone et al., 2014).

Per comprendere il funzionamento del sistema di monitoraggio si riportano le immagini previsionali dell'evento del 2013, utilizzato per la modellazione della rete di Rimini esaminata in precedenza. Nuclei di precipitazione, infatti, compaiono in Regione a partire dalle prime ore della giornata nelle province occidentali. Fenomeni più intensi si osservano in mattinata (10 UTC circa) nel ferrarese. Nelle ore centrali della giornata si osserva precipitazione intensa sui rilievi ed in Romagna.

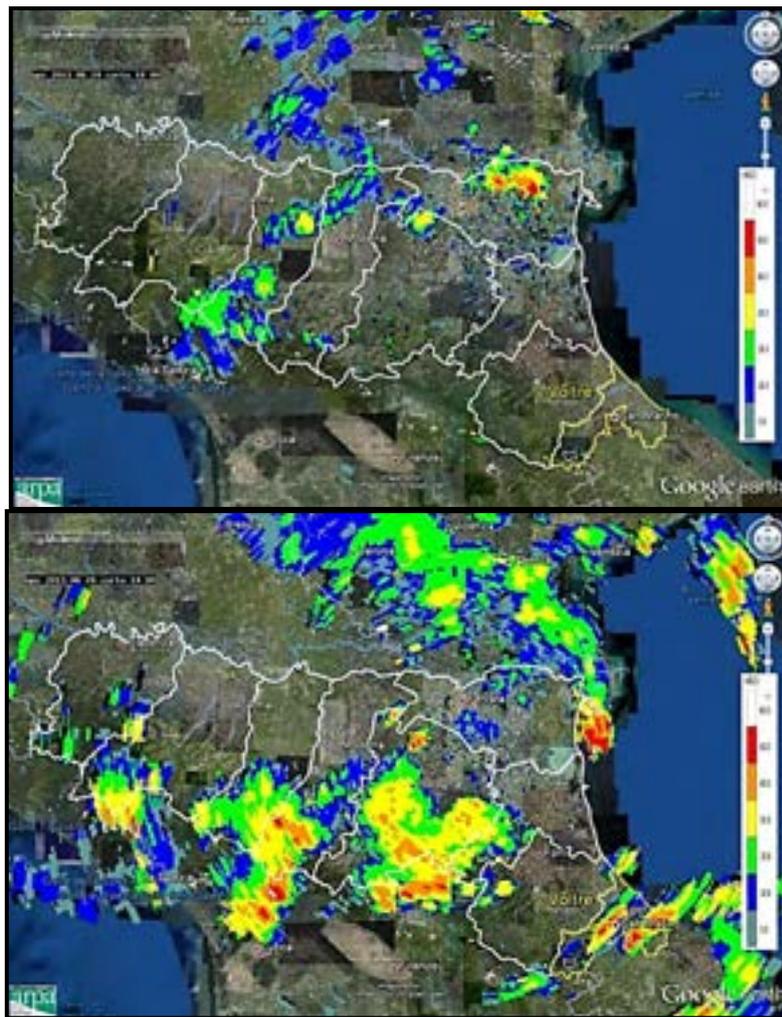
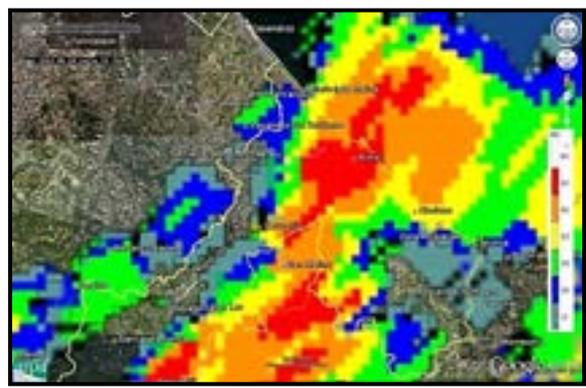
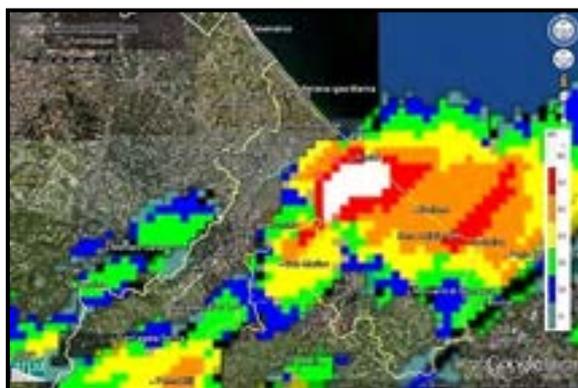


Figura 53: Mappe di riflettività del 24/06/2013 alle 10.00 UTC ed alle 14.00 UTC (<http://www.arpa.emr.it/>)

A partire dalle 14.00 UTC si sviluppano diversi nuclei temporaleschi nel riminese, che daranno luogo a precipitazioni molto intense. Tra le 14.45 e le 15.30 UTC (16.45 – 17.45 ora locale) il radar mostra la riflettività massima localizzata nel territorio della città di Rimini. I fenomeni si estinguono alle 18.00 UTC circa. Nelle immagini delle figure seguenti viene riportato il dettaglio della zona di Rimini. Dalla sequenza delle immagini di riflettività radar si possono osservare l'intensità e la persistenza della precipitazione, a impulsi successivi per circa due ore.



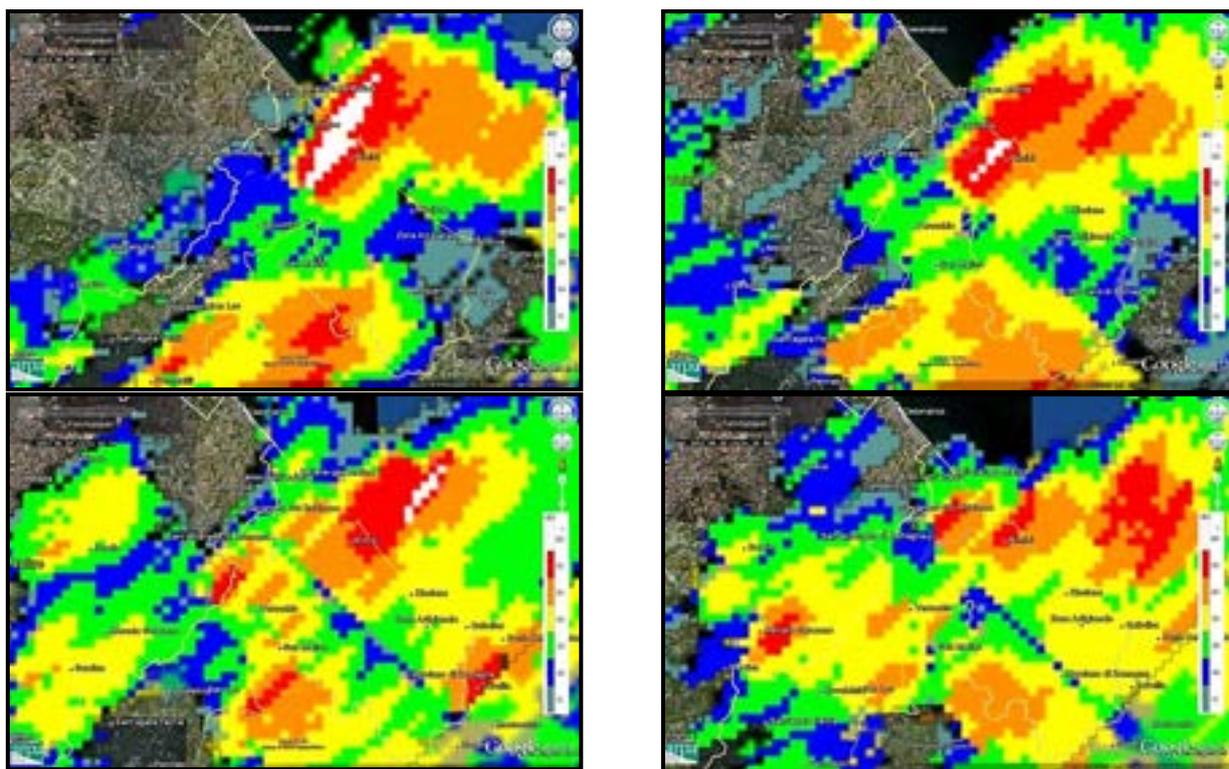


Figura 54: Mappe di riflettività del 24/06/2013 alle 15.00 UTC, 15.15 UTC, 15.30 UTC, 15.45 UTC, 16.45 UTC (<http://www.arpa.emr.it/>)

Nel caso di sistema di EW, i dati forniti dal radar per un evento così intenso sarebbero stati fondamentali per un intervento rapido di allerta e messa in sicurezza, permettendo di impostare la rete di drenaggio in modo da ridurre gli effetti di flooding e i rischi ad esso connessi.

Per quanto riguarda gli interventi sulle riduzioni delle masse sversate ai ricettori, i controlli in tempo reale possono permettere di utilizzare come invasi temporanei in linea i condotti stessi della rete. Questo può avvenire occludendo momentaneamente alcune aperture di sfioro per poi riaprirle in un secondo momento. I regolatori possono poi venire utilizzati per convogliare le portate considerate dannose a tratti della rete più idonei al loro smaltimento. E' da sottolineare che queste dinamiche di gestione devono essere programmate in base alle specifiche caratteristiche del sistema: una loro applicazione esige quindi un'approfondita conoscenza del comportamento della rete.

Per comprendere le dinamiche di programmazione e reazione delle reti controllate in tempo reale ci si sofferma sulla descrizione di questo tipo di tecnologia.

Si possono distinguere differenti obiettivi su cui basare il controllo in tempo reale:

- RTC basati sui volumi: vengono elaborati per minimizzare il totale di volumi liquidi inquinati indirizzati ai ricettori.
- RTC basati sugli inquinanti: cercano di minimizzare solo l'ammontare complessivo di sostanze inquinanti, preoccupandosi quindi di invasare le acque contaminate e rilasciarle poi per il loro intero volume, ma con carichi inquinanti diluiti.
- RTC basati sulle immissioni: cercano direttamente di ottimizzare la qualità delle acque che si immettono al ricevente.

I modi in cui un controllo in tempo reale può intervenire sono molteplici. L'intervento può operare occludendo parzialmente e momentaneamente gli scaricatori ai ricettori, limitando così gli eventi di sversamento tramite un maggior sfruttamento delle capacità intrinseche d'invaso della rete. Oppure il controllo può indirizzare i flussi lungo condotti che abbiano una sicura capacità di trattenimento delle portate. Ancora si possono avere variazioni programmate per l'ingresso e l'uscita delle acque da manufatti di stoccaggio temporaneo (come vasche di laminazione e di prima pioggia). Si può poi intervenire regolando il funzionamento di pompe per giungere al riempimento o allo svuotamento di prescelti tratti fognari.

Una rete di drenaggio si definisce controllata in tempo reale se su essa vengono installate apparecchiature di monitoraggio e di controllo che interagiscono tra loro. Gli strumenti di monitoraggio sono costituiti da “sensori” che rilevano le grandezze interessate; gli strumenti di controllo sono invece quelle apparecchiature mobili che intervengono fisicamente nella regolazione del sistema. Le tipologie di regolazione possono essere realizzate secondo diversi gradi di complessità basandosi sull’elaborazione degli input di più sensori o di uno singolo. Si può fare pertanto una primaria distinzione nei tipo di controllo: “controlli locali” e “controlli globali”.

Un controllo locale viene definito tale quando le informazioni e i comandi sono stabiliti nello stesso sito non considerando gli input provenienti da sensori dislocati altrove. L’algoritmo d’intervento viene poi eseguito sul posto senza che i dati rilevati vengano trasmesse ad una eventuale centrale di controllo.

Si ha invece un controllo di tipo centralizzato quando è prevista l’esistenza di una centrale di comando alla quale giungono le informazioni provenienti da diverse parti del sistema. Le decisioni vengono elaborate e la loro attuazione viene inviata al dispositivo predisposto. L’elaborazione della decisione può essere effettuata da un calcolatore elettronico programmato o da un operatore umano che in base alla propria esperienza e sensibilità comanda le azioni sulla rete.

A prescindere dalla tipologia di controllo adottata, in qualsiasi sistema controllato sono presenti le seguenti apparecchiature:

- Sensori
- Regolatori
- Trasduttori
- Unità di controllo
- 

<b>SENSORI</b>	
Uso	Rilevano le grandezze in base alla cui misura viene governata la regolazione.
Tipologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sensori di livello: a galleggianti, ad ultrasuoni e a pressione;</li> <li>- sensori di velocità: elettromagnetici, ad ultrasuoni ad effetto Doppler, ad ultrasuoni a tempo di transito;</li> <li>- sensori di portata: Venturimetri, sistemi integrati con misura della portata ricavata a partire da contemporanei rilevamenti di livello e velocità;</li> <li>- sensori di concentrazione;</li> <li>- pluviometri (poiché anche in base ai dati di pioggia può essere ottimizzata con un certo anticipo la gestione della rete).</li> </ul>
Requisiti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ampio campo di misura, con rapporti di almeno due ordini di grandezza tra i valori minimi e massimi rilevabili;</li> <li>- Garanzia di sufficienti precisioni, anche in condizioni non ottimali;</li> <li>- Facilità d’installazione e manutenzione;</li> <li>- Possibilità di esser tarati e ritarati in sito senza dover essere asportati dalla loro collocazione di funzionamento;</li> <li>- Elevata resistenza all’usura;</li> <li>- Resistenza ad agenti chimici aggressivi.</li> </ul>

<b>REGOLATORI</b>	
Uso	Apparecchiature idrauliche che devono intervenire sul sistema per modificarne le dinamiche.
Tipologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- paratoie mobili: scorrevoli, a settore, ad abbattimento;</li> <li>- soglie mobili: a stramazzo trasversale o a sfioro laterale;</li> <li>- sifoni: diretti od inversi regolati ad aria;</li> <li>- valvole: a spina, a farfalla, a vortice;</li> <li>- sbarramenti gonfiabili in gomma o tessuto;</li> <li>- pompe: a velocità costante o variabile;</li> <li>- dosatori: regolatori di tipo qualitativo che rilasciano sostanze per il controllo chimico delle acque.</li> </ul>

Requisiti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- anche in caso di guasto devono salvaguardare la sicurezza dell'impianto;</li> <li>- i materiali di costruzione delle parti che restano a contatto coi liquidi devono essere dotati di elevata resistenza ad ambienti chimici aggressivi;</li> <li>- le parti che non garantiscono resistenza ad umidità e corrosione (come le parti elettriche) devono essere protette ed installate in ambienti adeguati;</li> <li>- il regolatore deve essere accessibile in tutte le sue parti per eventuali interventi di riparazione e manutenzione;</li> <li>- le azioni dei regolatori dovrebbero essere monitorabili a distanza, in modo da verificarne l'efficienza senza dovervi accedere direttamente.</li> </ul>
-----------	---

<b>TRASDUTTORI</b>	
Uso	Componenti che consentono lo scambio di informazioni tra misuratori e unità di controllo.
Tipologie	Sono composti da più parti elettriche per trasmettere impulsi elettrici all'unità di controllo. L'invio di un segnale può avvenire per una reazione meccanica ad una variazione di stato, attraverso l'uso di ponti radio e linee telefoniche.

<b>UNITÀ DI CONTROLLO</b>	
Uso	Parte "intelligente" del sistema di controllo, tramite essi si attua la gestione ottimale delle parti mobili. Sono sovrameccanismi, meccanici, elettrici o elettromeccanici, in grado di comandare il regolatore secondo criteri prestabiliti. Nella maggior parte dei casi le unità di controllo lavorano in modo da ricondurre certi valori a uno stabilito set-point. Tale valore può essere stabilito a priori e immutabile nel tempo oppure può modificarsi in funzione di certe variabili del sistema.
Funzionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- funzionamento meccanico: paratoie collegate a galleggianti, barriere deformabili che si piegano all'aumentare della pressione idrostatica (regolazione difficilmente modificabile perché dovuta a reazioni fisico meccaniche dei suoi componenti);</li> <li>- programmazione e gestione attraverso l'impiego di microprocessori: facilmente programmabili a distanza e presentano la capacità di memorizzare dati per l'esecuzione autonoma in sito di algoritmi finalizzati alla miglior gestione del sistema.</li> </ul>
Tipologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tipo continuo: l'intervento di regolazione è in funzione dell'entità della variazione dal set-point prefissato per la grandezza da controllare. Prevalentemente realizzato da soglie e paratie mobili. Si possono avere tre tipologie di risposta: proporzionale, integrale, differenziale. Queste diverse logiche di reazione possono essere combinate insieme per raggiungere diversi livelli di sensibilità e velocità della risposta al fenomeno che si sta verificando;</li> <li>- di tipo discontinuo: dispositivi di controllo quali le pompe con solo due diversi stati (on/off). Questo porta ad un funzionamento acceso/spento senza possibilità di modulazione intermedia. Nel caso di pompe in parallelo si possono realizzare configurazioni intermedie prevedendo l'accensione di un dispositivo per volta.</li> </ul>

I criteri secondo cui un sistema debba essere controllato possono seguire logiche più o meno sofisticate. Volendo fare una classificazione delle tipologie di controllo perseguibili, si possono individuare le seguenti suddivisioni:

- Controlli locali a set-point costante / a set-point variabile
- Controlli centralizzati senza previsione di pioggia / con previsione di pioggia.

Controllo locale

E' la più semplice tra le tecniche di controllo attuabili, perché prevede un funzionamento autonomo e localizzato di reperimento informazioni, elaborazione ed intervento. Solitamente il sensore e il regolatore

sono fisicamente vicini e non richiedono l'intervento dei comandi disposti da una centrale altrove. Si possono comunque avere diversi dispositivi, indipendenti tra loro, che intervengono sullo stesso sistema. La loro indipendenza, non esclude comunque che ognuno possa essere influenzato dalle conseguenze che l'intervento dell'uno induce sulle grandezze rilevate dall'altro.

La scelta di un **set-point costante** indica che il dispositivo è programmato per mantenere un certo parametro uguale al valore impostato a priori. Tale valore di impostazione resterà invariabile nel tempo.

Se invece si opta per un controllo con **set-point variabile**, si prevede che il valore della soglia della grandezza da controllare possa variare nel tempo in funzione di prestabilite condizioni.

### Controllo centralizzato

Nel caso in cui su una stessa rete si predispongano più dispositivi di controllo, può risultare utile coordinare il loro funzionamento mediante il recapito di tutte le informazioni rilevate ad un'unica centralina. Essa elaborerà poi una strategia di gestione che sarà comunicata ai dispositivi dislocati sulla rete. Operando in questo modo si può anche decidere di posizionare liberamente misuratori e regolatori senza che vi debba essere vicinanza tra strumento di input e strumento di output. La centrale operativa a cui sono demandate le scelte decisionali, può essere costituita da una persona che con la sua esperienza e sotto la propria responsabilità decide come coordinare l'impianto oppure da un computer che sia stato programmato per perseguire il miglior controllo attuabile.

In genere un controllo centralizzato segue alcuni schemi gerarchici strutturati su diversi livelli:

- "Management level": definisce gli obiettivi finali e determina la strategia di controllo.
- "System Level": determinazione dei possibili set-point dei controlli individuali.
- "Field level": realizza il perseguimento delle minime deviazioni dal set-point applicando a ciascun regolatore gli algoritmi stabiliti dai livelli superiori.

I controlli centralizzati con **previsione di pioggia** si avvalgono delle informazioni reperite da un pluviometro per meglio gestire i futuri afflussi di acqua in rete. Disporre dei dati di pioggia entrante, qualche istante prima che essa acceda alla fognatura, consente di intervenire in anticipo con provvedimenti più efficaci. I dati di pioggia assieme ai dati della rete, vengono trasmessi alla centralina da cui poi arriveranno le disposizioni migliori (Global Predictive Control).

Le dinamiche di controllo finora descritte prevedono l'impiego di criteri decisionali che in base alle informazioni in ingresso agiscono per mantenere uno stabilito set-point. Una volta stabilito l'obiettivo finale del controllo, si devono definire quali siano le grandezze idrauliche o qualitative che lo rappresentano. Le strategie con cui si individua il set-point di riferimento sono di vario tipo, da quelle più matematiche a quelle più intuitive. L'obiettivo di una tecnica efficiente per la scelta di quelle che, in un qualsiasi campo, debbano essere le condizioni migliori al fine di raggiungere un certo risultato, ha da sempre spronato studi e ricerche per la formulazione di algoritmi e processi che prendono spunto da svariate discipline. Per quanto riguarda la gestione dei sistemi di drenaggio un'ulteriore complicazione è costituita dalla difficoltà di quantificare od esprimere in termini matematici gli obiettivi da perseguire.

Il presupposto indispensabile per una qualunque strategia di controllo è la possibilità di una sua attuazione fisica nel contesto delle capacità idrauliche della rete e delle caratteristiche idrologiche del territorio. Devono poi essere valutati gli aspetti economici del suo perseguimento.

### 2.3.4 Strumenti utilizzabili

<b>MISURATORI DI PORTATA</b>	
Uso	Misurare il volume di fluido che transita nell'unità di tempo attraverso una data sezione.
Vincoli di scelta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- caratteristiche geometriche del condotto;</li> <li>- accessibilità ai fini dell'installazione;</li> <li>- tirante idrico;</li> <li>- natura del fluido: composizione chimica e materiali in esso trasportati;</li> <li>- profilo idrico per la distribuzione di velocità del flusso ai fini della scelta dello strumento e della posizione dell'installazione (almeno 3÷4 diametri di distanza da una discontinuità).</li> </ul>

Metodi diretti	
- volumetrico	Definita dalla portata quale volume defluito nell'unità di tempo è possibile ricostruire l'andamento medio della stessa disponendo di un'apposita zona di accumulo all'interno della rete. Il metodo richiede ovviamente la presenza di manufatti idonei all'interno del sistema di drenaggio urbano, di cui sia nota la relazione fra livello e volume e sui quali sia installato un misuratore dello stesso livello. Esempi: Pozzetti di accumulo e rilancio degli impianti di sollevamento.
- della diluizione (mediante tracciante)	Il dato di portata può venire ricavato anche grazie alle tradizionali tecniche di misura con tracciante, sia mediante quelle ad iniezione costante, sia da quelle ad iniezione istantanea. Esempi: traccianti salini o radioattivi. Lo strumento di misura dipende dalla sostanza utilizzata: conducimetro, fluorimetro, contatore Geiger o più in generale un qualunque dispositivo che consenta di determinare la concentrazione del tracciante direttamente all'interno del flusso o in campioni prelevati a regolari intervalli di tempo.

Metodi indiretti	
- strutture idrauliche	<p>I misuratori a risalto possono essere completamente prefabbricati ed installati direttamente sulla sezione di misura oppure realizzati <i>ad hoc</i> in relazione alle esigenze ed alla tipologia del sito. Lo stesso può dirsi per gli stramazzi, di cui esistono ovviamente numerose versioni standardizzate. La relazione esistente fra il dato misurato direttamente (livello o pressione) e la portata, è data dal produttore se il dispositivo è prefabbricato. In caso di struttura appositamente realizzata, sarà invece necessario determinare tale relazione a mezzo di prove sperimentali o in alternativa mediante procedure numeriche. Resta in ogni caso essenziale che il dispositivo installato non si trovi ad operare in condizioni rigurgitate. Esempi: Stramazzi, canali di misura.</p>
- area velocity	<p>Il cosiddetto metodo "area-velocity" consiste nella misura contemporanea, in un determinato punto, sia della sezione del flusso, sia della velocità media del flusso stesso. Il valore di portata viene quindi ottenuto dal prodotto delle due grandezze precedenti: <math>Q = AV</math>. Il metodo può essere applicato ad ogni sezione in cui sia possibile conoscere il legame fra livello idrico ed area bagnata. Oltre a poter misurare la portata in condizioni per cui gli altri metodi perdono di validità, la tecnica area-velocity non necessita della realizzazione ed installazione di un manufatto fisso (stramazzi o canali di misura) all'interno del condotto, risultando così idonea a monitoraggi di tipo temporaneo. La sonda installata effettua quindi due misure contemporanee: quella di livello, dalla quale calcola l'area bagnata basandosi sulla forma geometrica del canale programmata e quella di velocità.</p>

<p>- Flow radar</p>	<p>Lo strumento richiede un'installazione analoga a quella dei misuratori di livello ad ultrasuoni, ossia non a diretto contatto con il flusso, ma fissato al di sopra dello stesso alla parete di un pozzetto. Da quella posizione il sensore emette un fascio di microonde con un angolo predefinito, le quali vengono riflesse dalle increspature della superficie liquida e nuovamente rilevate dallo stesso sensore. Si tratta in pratica di un'altra applicazione dell'effetto Doppler, sfruttando la propagazione delle onde attraverso l'aria anziché attraverso un liquido. Rispetto alle sonde di tipo area-velocity, il radar non determina la velocità media della sezione fluida, ma quella della sua superficie libera. Contemporaneamente alla misura di velocità superficiale, lo strumento rileva il livello del liquido nel condotto fognario tramite un tradizionale sensore ad ultrasuoni. Mediante il dato di livello, dalle informazioni sulla geometria del condotto, è possibile determinare il grado di riempimento dello stesso ed infine in base alle caratteristiche delle note distribuzioni di velocità si ottiene un coefficiente correttivo da applicare alla velocità superficiale in funzione del grado di riempimento, dal quale si ricava la velocità media.</p>
<p>- formula di Chezy-Manning</p>	<p>La misura della portata con misurazione del livello, può anche essere effettuata sfruttando formule quali quella di Chezy-Manning, che si applica a tratti di tubazione o canale regolari di sezione circolare o rettangolare: <math>Q = K_S A R^{2/3} i^{1/2}</math>. La portata del fluido si ricava dalla conoscenza della pendenza del canale "i" e dalla scabrezza del materiale con cui è costruito "K<sub>S</sub>". Note le caratteristiche geometriche della sezione, il valore dell'area bagnata "A" e del raggio idraulico "R" possono venire determinati mediante una misura del livello idrico. Questo metodo di misura non è certo il più preciso, ma può servire ad avere delle indicazioni senza necessariamente dover fare investimenti onerosi per strutture idrauliche speciali ed attrezzature.</p>



MISURATORI DI LIVELLO	
<p>Uso</p>	<p>Possono definirsi "sistemi di misura secondari" in quanto vengono utilizzati in abbinamento ad un sistema primario (struttura, dispositivo) per poter ricostruire il valore della portata transitante. Il dato di livello misurato in un determinato punto verrà quindi trasformato in portata in ragione della relazione livello/portata tipica di un determinato stramazzo o canale di misura.</p>
<p>Vincoli</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generalmente la distanza minima tra sensore e superficie del liquido deve essere non inferiore ai 25 cm altrimenti potrebbero esserci delle distorsioni di lettura per interferenze tra le onde emesse e le onde di ritorno;</li> <li>- non viene utilizzato per canali più piccoli di 15 cm di diametro o in canali fognari ove per sovraccarichi il livello del liquido potrebbe raggiungere il sensore;</li> <li>- nel caso di sensore a bolle è importante la scelta del materiale della tubo del misuratore;</li> <li>- nel caso di sensore piezoresistivo il vincolo è dato dalle sostanze e dai solidi in sospensione nel fluido.</li> </ul>
<p>Tipologie</p>	<p>- sensore ad ultrasuoni: La tecnica di misura si basa sul principio di emissione di un cono di onde</p>

	<p>ultrasonore che partono da un sensore posto sopra la superficie del corso d'acqua da misurare. Il tempo impiegato dalle onde di eco per tornare al sensore stesso determina la distanza tra sensore e superficie del liquido, che è l'incognita da inserire nel calcolo della portata.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sensore a bolle: Il principio di misura del battente idrostatico dell'acqua del canale, si basa sull'utilizzo del trasduttore di pressione. Una pompa mantiene un costante flusso di aria all'interno di un tubo che viene posizionato sul fondo del canale, ottenendo un effetto di risalita dell'aria, da cui il nome della tecnica "a bolle". Al variare del livello del liquido che scorre nel canale, varia la pressione che viene esercitata sull'aria in uscita e contemporaneamente il sistema aumenta la forza del pompaggio per mantenere costante il flusso di aria gorgogliante nel tubo. Questa variazione di pressione viene misurata con estrema precisione.</li> <li>- sensore piezoresistivo: Anche questo sensore si basa sulla misura della pressione che il fluido esercita sul sensore stesso, per cui un trasduttore misura la pressione idrostatica, determinando l'altezza del liquido.</li> </ul>
--	---

<b>CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE</b>	
Uso	Apparecchiature per campionare automaticamente le acque al fine di analizzarne la qualità. Un campionatore automatico è generalmente composto da un tubo di aspirazione, una linea di distribuzione del campione fino al recipiente di raccolta, il tutto controllato elettronicamente e contenuto normalmente all'interno di una struttura che protegge sia la parte elettronica che i campioni raccolti. La complessità è essenzialmente legata alle necessità di automatizzazione del processo e di conservazione delle caratteristiche delle acque raccolte: esistono infatti campionatori meccanici o elettronici, refrigerati o meno, con centralina elettronica o semplice timer.
Tipologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fisso: installati in posizioni protette;</li> <li>- portatile: consentono il campionamento anche in luoghi difficilmente raggiungibili.</li> </ul>
Sistemi di campionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- a spinta con pompa immersa nel liquido, permette di superare notevoli prevalenze;</li> <li>- ad aspirazione a depressione con pompa a vuoto: usa una combinazione tra una pompa a vuoto e una speciale camera di misura. Facendo il vuoto all'interno della camera si crea una depressione nella linea di aspirazione del campione. Un sensore conduttimetrico determina l'altezza del liquido nella camera ed interrompe il vuoto. Con una tubazione di troppo pieno si determina il volume preciso del campione che, dopo essere prelevato e misurato, viene distribuito nel recipiente di raccolta aprendo una valvola sul fondo della camera;</li> <li>- ad aspirazione a depressione con pompa peristaltica: un sistema rotante preme il tubo di aspirazione creando una depressione che permette l'aspirazione del campione. Il volume del campione, predeterminato e regolato dal software dello strumento senza interventi meccanici, viene determinato misurando il numero dei giri eseguiti dalla pompa peristaltica;</li> <li>- campionatori autosvuotanti: sono generalmente forniti di 2 o più bottiglie che non devono essere svuotate manualmente dall'operatore. Infatti, finita la fase di campionamento programmata, il sistema provvede automaticamente a svuotare le bottiglie, preparandole ad una nuova sequenza di campionamento. Il campionatore autosvuotante conserva il campione (in dipendenza dal tipo o dalla programmazione) per 24 - 48 ore o più, prima di svuotare i campioni.</li> </ul>
Procedure di campionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- scarichi industriali: devono essere monitorati in un periodo di almeno 3 ore e deve essere prelevato un campione medio.</li> <li>- scarichi civili: si adotta un campione medio ponderale sulle 24 ore. Questo dovrebbe difatti permettere una valutazione giornaliera dell'impatto sul corpo idrico recettore e non solo di valutare i limiti di emissione. Il campione medio ponderale non deve essere obbligatoriamente proporzionale alla portata, ma semplicemente costante nel tempo.</li> </ul>

<p>Metodi di campionamento</p>		<p><u>Campionamento costante nel tempo</u></p> <p><u>Campionamento proporzionale alla portata</u></p>
--------------------------------	--	---

<p>Sistemi di monitoraggio in continuo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- on-site: sul punto di prelievo del campione; sono effettuata quando vi sono possibilità che il trasferimento del campione possa alterare la sua composizione chimica causando un errore analitico;</li> <li>- in-site: analisi effettuate da un analizzatore on-line immerso nell'acqua da analizzare. Normalmente le applicazione in-site sono maggiormente utilizzate per le analisi chimico-fisiche come pH, potenziale Redox, conducibilità, Ossigeno Disciolto. Ulteriore esempio di applicazione di analisi in-site è quello dato dalla misura dei Solidi in Sospensione effettuato con sistemi ottici immersi dentro l'acqua;</li> <li>- analisi centralizzate: localizzate in luogo idoneo. Normalmente questi sistemi centralizzati contengono anche i sistemi di raccolta e registrazione dati, che consentono l'elaborazione locale oltre che la trasmissione al sistema informatico centrale. I vantaggi sono quelli di avere un unico luogo ove sono raccolti gli strumenti, facilitandone il controllo e la manutenzione, e centralizzando il sistema di trattamento e di raccolta dei dati. Lo svantaggio è quello di avere, in alcuni casi, alti costi impiantistici per il prelievo del campione ed il suo trasferimento alla struttura centralizzata, con eventuali ritardi tra il momento del prelievo e quello dell'analisi.</li> </ul>
--	--

RADAR PER MONITORAGGIO PRECIPITAZIONI	
<p>Uso</p>	<p>Permette l'osservazione ed il monitoraggio delle precipitazioni su scale temporali che vanno da pochi minuti a qualche ora e a scala solitamente regionale. Sfrutta gli impulsi di onde elettromagnetiche per rilevare la presenza in atmosfera di idrometeore; scansiona una porzione di atmosfera emettendo impulsi nelle microonde.</p>
<p>Tipologie</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- radar;</li> <li>- radar doppler: considera la frequenza dell'impulso che torna indietro e valuta la velocità del sistema precipitativo;</li> <li>- radar polarimetrici: misurano la polarizzazione dell'onda ricevuta e valutano la tipologia di idrometeore contenute (neve, neve bagnata, grandine, pioggia...).</li> </ul>
<p>Funzionamento</p>	<p>Il radar invia un segnale impulsato nelle microonde e riceve indietro un nuovo segnale con un tempo molto piccolo. Se il segnale inviato, che si può schematizzare come un'onda, incontra qualche particella nel suo tragitto, vi rimbalza sopra inviando una parte del segnale iniziale verso l'antenna. Potendo legare il tempo di arrivo del segnale con la distanza dall'antenna stessa, conoscendo la velocità di propagazione dell'impulso, risulta possibile definire la distanza e l'intensità della precipitazione incontrata. Inoltre è possibile ricavare la velocità del sistema precipitativo oltre al tipo di idrometeore contenute.</p>

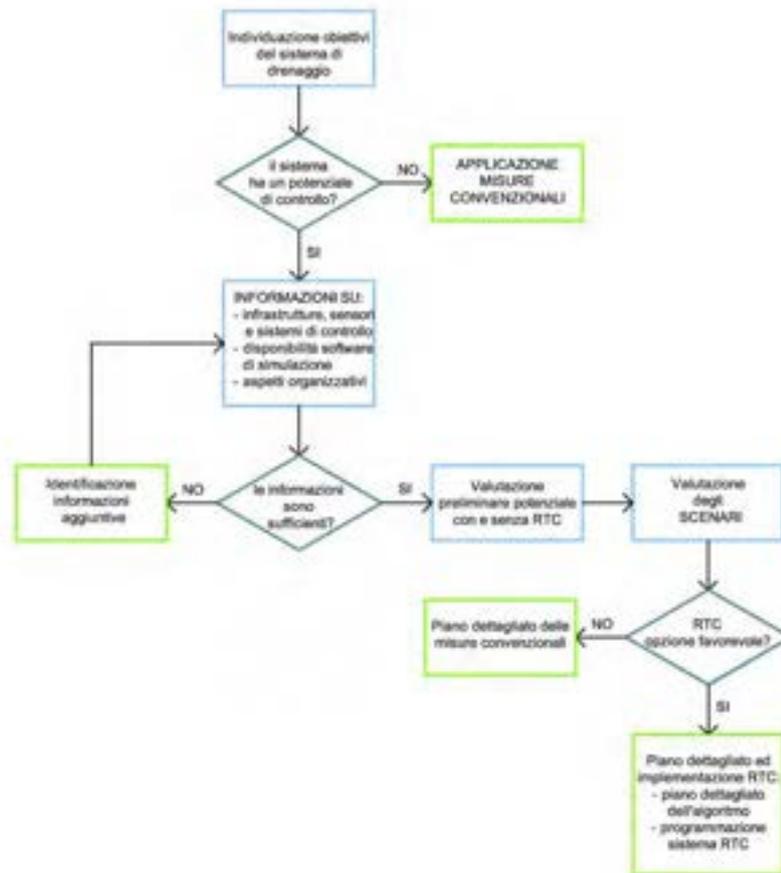
2.3.6 Suggerimenti per l'installazione e la manutenzione degli strumenti

SUGGERIMENTI INSTALLAZIONE SONDE	
Sensori di livello e ultrasuoni	<p>Sono i meno problematici da installare in quanto vengono posti al di sopra del flusso. L'installazione consiste nell'assicurare la sonda ad un supporto quale una staffa metallica, fissata ad esempio alla parete di un pozzetto ad una quota tale da non venire sommersa da eventuali innalzamenti della corrente ma allo stesso tempo tale da far sì che il cono d'onde sonore emesso colpisca la sola superficie fluida e non altri ostacoli intermedi. Poco adatto a condotte di dimensioni ridotte, infatti di norma devono esserci circa 20-30 cm fra strumento e superficie liquida.</p> <p>Per i sensori piezoresistivi bisogna porre attenzione al posizionamento del cavo evitando che attraversi la sezione del condotto.</p>
Sonde area-velocity	<p>Per il fissaggio di queste sonde nei canali a sezione circolare e negli archi rovesci dei tombini, vengono usati anelli di montaggio in acciaio inossidabile, ne esistono due tipologie: a molla (per piccoli condotti 150-400 mm) e a forbice (condotti con diametri &gt;400 mm).</p>

MANUTENZIONE STRUMENTI	
Frequenza consigliata	<p>Si raccomanda in genere di effettuare ispezioni regolari ogni una o due settimane oppure in seguito ad eventi di pioggia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sensori di livello e ultrasuoni: manutenzione ogni 15 giorni o a seguito di un evento di pioggia;</li> <li>- sensori a bolle: richiedono una frequente manutenzione per mantenere il tubo aeroforo privo di detriti;</li> <li>- sensori area velocity: richiedono attenzione contro l'accumulo di detriti.</li> </ul>
Operazioni comuni	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pulizia del sensore, compresa la rimozione di eventuali detriti dalla sonda, dai supporti e dai cavi;</li> <li>- controllo dello stato dell'alimentazione e della correttezza dell'orologio;</li> <li>- verifica (visiva-manuale) dell'attendibilità del dato misurato e, in caso di anomalie riscontrate, nuova calibrazione del sensore;</li> <li>- controllo dell'avvenuta registrazione dei dati e della memoria disponibile. Se possibile è preferibile scaricare o copiare i dati;</li> <li>- attenersi alle specifiche ed ai limiti di funzionamento forniti dal produttore.</li> </ul>

### 2.3.7 Processo decisionale per l'integrazione tra sistemi di monitoraggio, RTC ed EW

Nella figura seguente si riporta una possibile schematizzazione per realizzare una rete con controllo RTC. Nello specifico è necessario valutare lo stato della rete, la disponibilità di installare e gestire apparecchi e software di controllo e valutare i differenti scenari a cui potrebbe essere sottoposta la rete per individuare la migliore opzione.



**Figura 55: Struttura di analisi tratta da "PROGETTO WISE - Wastewater Integrated System Enhancement" (Radar Meteo S.r.l., 2015).**

Nello schema seguente viene inoltre sintetizzato il processo di data-set per la modellazione della rete di drenaggio in funzione della tipologia di dati disponibili. Nello specifico si compone nelle seguenti fasi:

1. valutazione dei dati disponibili per la modellazione della rete (dati relativi al bacino, alla rete fognaria e alle precipitazioni storiche registrate) e analisi dei diversi scenari al fine di definire le mappe di rischio in termini di probabilità alluvionale e pericolosità.
2. Dall'analisi degli scenari si definiscono le opere da attuare a scopo preventivo per migliorare la risposta della rete (ove possibile).
3. In questa fase si analizza il tipo di rete di drenaggio: se presenti sistemi RTC o EW questi provvederanno alla generazione dei data-set per la simulazione della rete fognaria.
4. L'ultima fase prevede la simulazione della rete, l'analisi dei dati e la definizione delle misure da attuare, nello specifico: nel caso di sistema con RTC la modellazione arriverà a definire i data set degli attuatori in tempo reale; nel caso fosse presente anche il sistema di EW i data-set riguarderanno l'evento meteorico previsto; nel caso non sia installato nessuno sistema di monitoraggio la modellazione da indicazioni su come intervenire sulla rete in funzione del livello di rischio.

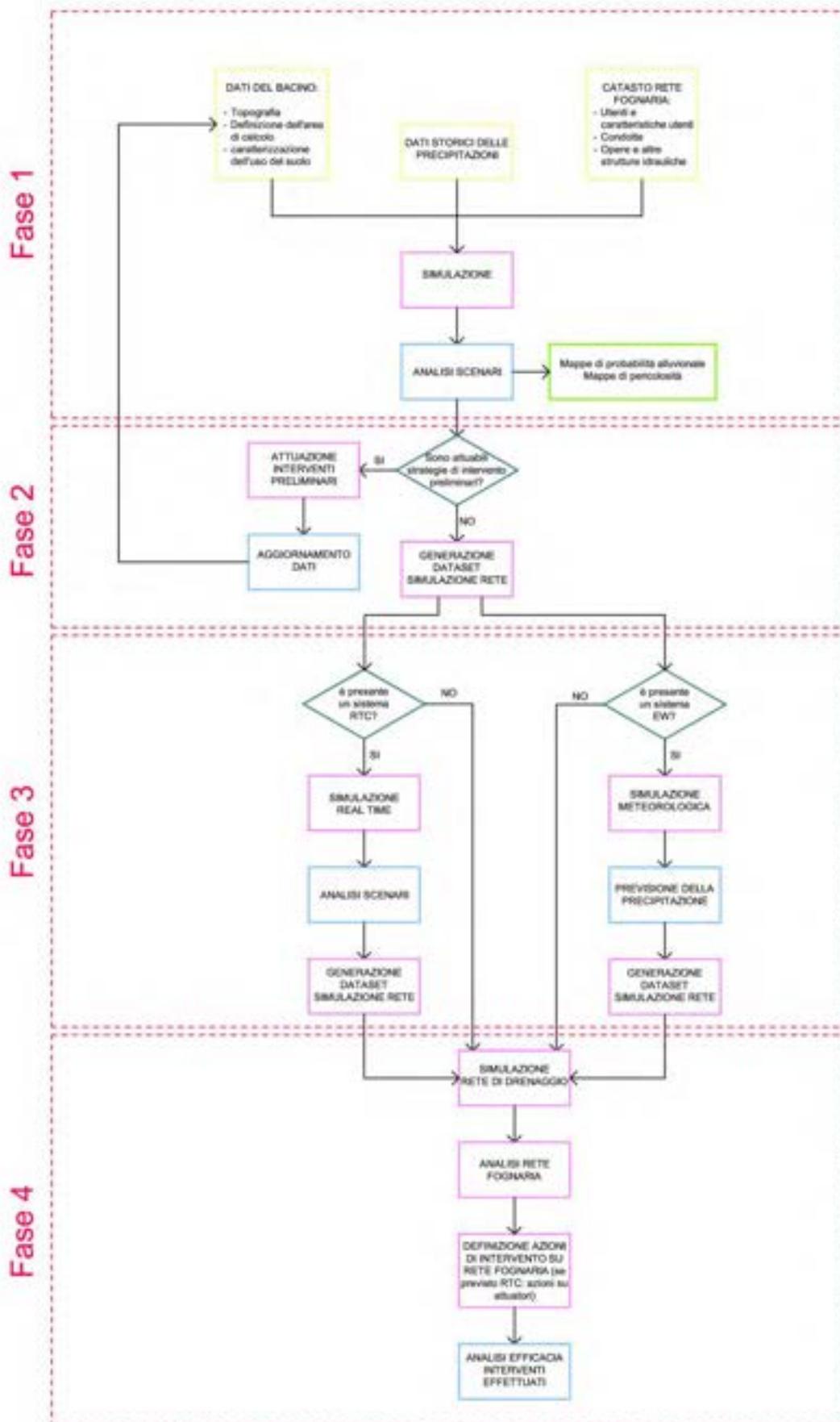


Figura 56: Struttura di analisi in parte tratta da "PROGETTO WISE - Wastewater Integrated System Enhancement" (Radar Meteo S.r.l., 2015).

## 2.4 Key Performance Indicators (KPI)

La definizione di indicatori prestazionali, in grado di fornire informazioni sullo stato di funzionamento sia dell'intera rete o porzioni di essa, risulta essere un mezzo per il controllo della gestione del servizio. Ciò permette un confronto qualitativo e quantitativo del comportamento della rete nel tempo o in relazione ad altre reti. La complessità e la varietà di sistemi utilizzabili nelle reti di drenaggio urbano non consentono una facile definizione dei KPI. Di seguito se ne riporta un elenco ritenuto idoneo allo scopo precedentemente descritto.

Lunghezza Rete	Indicatore sul livello di complessità della rete
Superficie drenata dalla rete	Indicatore dell'estensione della rete
Rapporto superfici impermeabili/ superficie totale drenata	Indicatore di permeabilità
Età condotte	Indicatore relativo allo stato del sistema (criticità connesse a costi manutentivi, infiltrazioni, cedimenti strutturali)
Dislivello Rete-Ricettore naturale- impianto di depurazione	Indicatore relativo alla necessità di ricorrere ad impianti di sollevamento
N° impianti di sollevamento	Indicatore relativo al consumo di energia elettrica
N° scolmatori	Indicatore relativo all'impatto ambientale
Grado diluizione scolmatori	Indicatore relativo all'impatto ambientale
Presenza vasche di laminazione	Indicatore relativo al trattamento e alla gestione delle acque meteoriche (m <sup>3</sup> e metodologia di svuotamento)
Presenza vasche di prima pioggia	Indicatore relativo al trattamento e alla gestione delle acque meteoriche (m <sup>3</sup> e metodologia di svuotamento)
Rapporto acqua reflua sollevata/acqua reflua totale	Indicatore di criticità del sistema connessa ad un mancato funzionamento degli impianti di sollevamento
Rapporto acqua meteorica sollevata/acqua meteorica totale	Indicatore di criticità del sistema connessa ad un mancato funzionamento degli impianti di sollevamento
Rapporto acqua fornita/acqua trattata	Indicatore relativo alla presenza di acque parassite
Consumi elettrici impianti di sollevamento	Indicatore relativo ai costi energetici connessi al sistema di drenaggio urbano
Presenza gruppi elettrogeni impianti di sollevamento	Indicatore di sicurezza del sistema nei confronti di blackout elettrici
Intensità critica rete (TR limite)	Indicatore di sicurezza idraulica della rete (tempo di ritorno dell'evento pluviometrico che provoca la crisi del sistema)
% aree critiche	Indicatore di sicurezza della rete (aree maggiormente soggette ad allagamento superficiale)

Questi indici, sulla base delle informazioni fornite dai Gestori del Servizio Idrico Integrato consentiranno di valutare lo stato del sistema analizzato anche in confronto ad altri.

### 3 Conclusioni

I temi sviluppati nel presente documento hanno fornito una visione generale delle reti di drenaggio, analizzandone le caratteristiche di base e le problematiche ricorrenti legate ai cambiamenti climatici e valutando le possibili soluzioni tecnologiche per ridurre i rischi ad essi connessi.

L'analisi dell'intero sistema di drenaggio ha reso possibile la definizione dei KPI ossia di indicatori di prestazione in grado di fornire informazioni sullo stato di funzionamento della rete nella sua totalità o su porzione di essa. Questi indicatori risultano essere un mezzo per la valutazione della gestione del servizio in termini di comportamento della rete nel tempo o permettendone il confronto con altre reti.

Per garantire la salvaguardia dell'efficienza del sistema fognario, si è focalizzata l'attenzione sui sistemi di Early Warning (EW) e di controllo in tempo reale (RTC) analizzando e confrontando le differenti tipologie esistenti fino ad arrivare ad una schematizzazione del funzionamento per fasi dell'intero sistema di monitoraggio in modo generalizzato.

A titolo esemplificativo è stata scelta la rete di drenaggio della città di Rimini e attraverso la modellazione di differenti scenari è stato possibile analizzare lo stato del sistema. Nello specifico sono stati analizzati eventi sintetici costituiti da ietogrammi di tipo Chicago con tempo di ritorno pari a 2 e 10 anni, ed un evento reale di giugno 2013 (TR>300 anni) che ha provocato l'allagamento di parte della città.

La modellazione idraulica della rete implementata per la città di Rimini è un esempio che permette di valutare le criticità della rete e allo stesso tempo rappresenta una base di partenza per la programmazione e la valutazione di interventi migliorativi sul territorio quali: inserimento di tecnologie verdi e l'installazione di una rete di controllo in tempo reale connessa ad un impianto di Early Warning.

Questa analisi risulta una valida base di partenza per lo sviluppo di progetti futuri, aprendo la strada alla possibilità di definire delle linee guida per la progettazione del sistema fognario e delle strumentazioni necessarie per poter installare ed utilizzare un sistema di EW e RTC. Allo stesso tempo sarà quindi possibile implementare la modellazione più idonea per valutare l'efficacia delle strategie proposte.

## 4 Riferimenti bibliografici

- [1] AA.VV., "Sistemi di fognatura. Manuale di progettazione", HOEPLI, 1997.
- [2] Barnard T., Kuch A., Thompson G.R., Mudaliar S., Phillips B.C., "Evolution of an Integrated 1D/2D Modeling Package for Urban Drainage". Journal of Water Management Modeling R227-18, 2007.
- [3] Becciu G.-Paoletti A., "Fondamenti di costruzioni idrauliche". ed. UTET, 2010.
- [4] Campisano A., Cabot Ple J., Muschalla D., Pleau M., Vanrolleghem P.A., "Potential and limitations of modern equipment for real time control of urban wastewater system". Urban Water Journal, Vol. 10, pp. 300-311, 2013.
- [5] Carbone M., Garofalo G., Piro P. "Decentralized Real Time Control in combined sewer system by using smart objects". Procedia Engineering, Vol. 89, pp. 473-478, 2014.
- [6] Cembrano G., Quevedo J., Salamero M., Puig V., Figueras J., Marti J. "Optimal control of urban drainage systems. A case study". Control Engineering Practice, Vol. 12, pp. 1-9, 2014.
- [7] Fradet O., Pleau M., Desbiens A., Colas H., "Theoretical and field validation of solutions based on simplified hydraulic models for real time control of sewer networks". International Conference Novatech, 2010.
- [8] Garofalo G., Giordano G., Spezzano G., Vinci A., "Definizione e sperimentazione di un sistema per la gestione dei deflussi nella rete idrica tramite smart object", CNR, 2015.
- [9] Hempel U., Auge J., Schutze M., Engel C., "Sensor-actuator-based network for an early-warning system in extreme weather conditions". 2nd IFAC Symposium on Telematics Application, Politehnica University, Timisoara, 5/8-10, 2010.
- [10] Koriche S. A., Rientjes T.H.M., "Application of satellite products and hydrological modelling for flood early warning". Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 93, pp. 12-23, 2016.
- [11] Lowe R., Vezzano L., Mikkelsen P.S., Grum M., Madsen H., "Probabilistic runoff volume forecasting in risk-based optimization for RTC of urban drainage system". Environmental Modelling & Software, Vol. 80, pp. 143-158, 2016.
- [12] Papiri S., Todeschini S. "Prospettive di risparmio energetico nelle reti acquedottistiche e nei sistemi di collettamento/fognatura". Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale, Università di Pavia, 2015.
- [13] Penning-Rowsell E.C., Chatterton J.B.. "The benefit of flood alleviation: a manual of assessment techniques (the blue manual)", Gower Technical Press, Aldershot, UK, 1977.
- [14] Piro P. "Idraulica Urbana Sostenibile: analisi e soluzioni progettuali". IX giornata sul drenaggio urbano sostenibile: Impatto antropico sulle reti di drenaggio naturale in ambito urbano", Università di Brescia, Facoltà di Ingegneria, 2011.
- [15] Pleau M., Colas H., Lavallee P., Pelletier G., Bonin R., "Global optimal real-time control of the Quebec urban drainage system". Environmental Modelling & Software, Vol. 20, pp. 401-413, 2005.

- [16] Pleau M., Fradet O., Colas H., Marcoux C., "Giving the rivers back to the public. Ten years of Real Time Control in Quebec City". International Conference Novatech, 2010
- [17] Rodríguez A., Llorca X., Sancho D., Sánchez-Diezma R., Bella R., Gomez V., " Hidromet: A Cloud-Based EWS Platform For Real Time Urban Flood Warning" 11th International Conference on Hydroinformatics - HIC, New York City, USA, 8-1, 2014.
- [18] Schmitt T., Thomas M., Ettrich N., "Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems" Journal of Hydrology Vol. 299, pp. 300-311, 2004.
- [19] Schutze, M., Campisano, A., Colas, H., Schilling, W., Vanrolleghem, P. A. "Real time control of urban wastewater systems – where do we stand today?". Journal of Hydrology, Vol. 299, pp. 335-348, 2004.
- [20] Sun C., Duran B.J., Maruejols T., Cembrano G., Meseguer J., Puig V., Litrico X., "Real time control - oriented quality modelling in combined urban drainage networks". IFAC paperonline, Vol. 50, pp. 3941-3946, 2017.
- [21] Turci E. "Modellazione numerica degli allagamenti nelle aree urbane tramite il software InfoWorks: applicazione alla città di Rimini". Tesi di Laurea - Università di Bologna, 2013.
- [22] Vezzaro L., Christensen M.L., Thirsing C., Grum M., Mikkelsen P.S. "Water quality-based real time control of integrated urban drainage system: a preliminary study from Copenhagen, Denmark". Procedia Engineering, Vol. 70, pp. 1707-1716, 2014.
- [23] Yoon S.S. and Nakakita E., "Application of an X-Band Multiparameter Radar Network for Rain-Based Urban Flood Forecasting". Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 22-5, 2015.
- [24] Piano Generale del Sistema Fognario di Rimini (Comune di Rimini), 2006.
- [25] Radar Meteo S.r.l. "PROGETTO WISE - Wastewater Integrated System Enhancement", Fondo Europeo di Sviluppo Regionale" 2007-2013 Asse 5 – Azione 5.1.1., 2015.

## 5 Abbreviazioni ed acronimi

- BMP: Best Management Practices
- DEM: Digital Elevation Model
- DSM: Digital Surface Model
- DTM: Digital Terrain Model
- EW: Early Warning
- KPI: Key Performance Indicators
- LID: Low Impact Development
- LIDAR: Light Detection And Ranging
- RTC: Real Time Control
- SUD: Sustainable Urban Drainage
- TIN: Triangulated Irregular Model
- TR: tempo di ritorno

## Curriculum del gruppo di lavoro

### Margherita Altobelli

Assegnista di Ricerca presso l'Università di Bologna. Laureata in Ingegneria Edile-Architettura presso l'Università di Bologna a Marzo 2017 con voto 100/110. Svolge attività di ricerca nell'ambito del progetto GST4Water dove affronta la tematica del recupero e del riuso delle acque meteoriche e reflue, reperendo e analizzando le serie storiche pluviometriche della regione Emilia-Romagna al fine di valutare il corretto dimensionamento dei serbatoi di accumulo, in ambito residenziale, in funzione del sito in cui vengono installati gli impianti.

<https://www.unibo.it/sitoweb/margherita.altobelli3>

### Attilio Castellarin

Professore Ordinario presso il Dipartimento DICAM dell'Università di Bologna. Insegna Infrastrutture Idrauliche, Modellistica Idrologica e Flood and Drought Risk Management alla Scuola di Ingegneria e Architettura (Università di Bologna), Idrologia e Rischio idraulico nel CdS di Laurea Magistrale in Geologia e territorio. Collabora con UNESCO-IHE (NL), USGS (US), TUW (AT), GFZ (DE) e la Tufts University (US) all'interno dei loro programmi di formazione e ricerca scientifica. Responsabile locale di SYSTEM-RISK "A Large-Scale Systems Approach to Flood Risk Assessment and Management" e chair del WP1 all'interno del progetto stesso, una rete internazionale di formazione finanziata dall'UE (H2020-MSCA-ITN-2015). Autore e co-autore di oltre 54 lavori indicizzati sul Web of Sciences. Editor in Chief di Hydrological Sciences Journal (IAHS), Associate Editor di Water Resources Research (AGU). Gli interessi di ricerca includono: quantificazione e mitigazione del rischio alluvionale, modellazione idrodinamica 1D e 2D, analisi di frequenza regionale di eventi idrologici estremi, previsioni idrologiche in bacini non strumentati, effetti antropici sui processi idrologici.

<https://www.unibo.it/sitoweb/attilio.castellarin>

### Sara Simona Cipolla

Assegnista di Ricerca presso l'Università di Bologna. Ha conseguito la Laurea Specialistica in Ingegneria Civile, indirizzo Idraulica presso l'Università di Bologna nel 2011. Da Novembre a Dicembre 2011 è titolare di una borsa di studio, presso il dipartimento DICAM, dal titolo "Modellazione numerica delle reti di drenaggio urbano". Nel 2015 ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria civile, ambientale e dei materiali presso l'Università di Bologna. Da Gennaio 2015 a Aprile 2016 ha prestato servizio come Assegnista di Ricerca (L240/2010) presso il Dipartimento DICAM-Costruzioni Idrauliche della Scuola di Ingegneria di Bologna. Da Maggio 2016 collabora come Assegnista di Ricerca (L240/2010) presso il Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale, nell'ambito del progetto POR-FESR GST4water ([www.gst4water.it](http://www.gst4water.it)). L'attività di ricerca si focalizza principalmente nell'ambito del drenaggio urbano, mediante attività sperimentali volte allo studio del comportamento idrologico di tecnologie per il drenaggio urbano sostenibile (SuDS, green roofs, etc).

<https://www.unibo.it/sitoweb/sara.cipolla>

### Marco Maglionico

Ricercatore confermato presso l'Università di Bologna. Ha conseguito la laurea in Ingegneria Idraulica nel 1993 all'Università di Bologna; ha quindi conseguito il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Idraulica su "Aspetti qualitativi nelle reti di drenaggio urbano" presso il Politecnico di Milano nel 1998. Ha inoltre partecipato a diversi progetti di ricerca sia Italiani che Europei. Tra i progetti internazionali si ricordano: EU INNOVATION 103401 (1996-1999) "Application for the Urban Pollution Management Procedure to River Quality Protection in European Member States"; "CARE-S: Computer Aided REhabilitation of Sewer

networks" (2003-2005) nell'ambito del 5th Frame Programme; "TRUST: Transitions to the Urban Water Services of Tomorrow" (2011-2015) under the 7th Framework Programme; "LIFE15 ENV/IT7000423 AGROWETLANDS II Smart water and soil salinity management in Agro-wetlands (2016-2020)". In ambito Nazionale è stato coordinatore del gruppo di lavoro dell'Università di Bologna nell'ambito del finanziamento del MIUR PRIN 2005 del progetto: "Indicatori di prestazione per la stima, l'analisi e la valutazione delle strategie di riduzione delle perdite idriche nei sistemi acquedottistici" e del gruppo di lavoro dell'Università di Bologna nell'ambito del finanziamento del MIUR PRIN 2008 del progetto: "Impatto della riduzione delle perdite idriche sulla gestione dei sistemi di distribuzione in scenari di carenza idrica". I principali campi dell'attività di ricerca riguardano: monitoraggio e modellazione dei sistemi di drenaggio urbano sia per gli aspetti idraulici sia per gli aspetti inerenti la qualità dell'acqua; progettazione di opere per il controllo quantitativo e qualitativo nei sistemi fognari; drenaggio urbano sostenibile (LID, Tetti verdi, ecc.); modellazione numerica delle reti di distribuzione idrica in particolare per la valutazione dell'affidabilità dei sistemi acquedottistici.

<https://www.unibo.it/sitoweb/marco.maglionico>

#### Alberto Montanari

Professore Ordinario presso il Dipartimento DICAM dell'Università di Bologna dal 2012. laureato in ingegneria Idraulica nel 1992 con votazione 100/100 e lode presso l'Università degli Studi di Parma. Ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Costruzioni Idrauliche nel 1996 presso l'Università degli Studi della Calabria. Svolge attività di consulenza per enti pubblici e privati per la mitigazione del rischio di alluvione e del recupero ambientale. E' stato insignito dello Union Service Award dalla European Geosciences Union ed è stato Editor di numerose riviste scientifiche. E' attualmente Direttore del Dipartimento DICAM. Titolare di numerosi insegnamenti tra i quali: "Gestione delle risorse idriche", "Modellistica idrologica"; Costruzioni Idrauliche", Advance Hydrology and Water Resources Management". Svolge ricerca nell'ambito della stima delle variabili di progetto e messa punto di schemi di calcolo per la progettazione di opere di sistemazione di bacini idrografici e mitigazione dei rischi naturali. E' autore di più di 100 pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali.

<https://www.unibo.it/sitoweb/alberto.montanari>

#### Elena Toth

Professore Associato presso il Dipartimento DICAM dell'Università di Bologna dal 2014. Si è laureata con lode in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna nel 1996. Nel 2000 ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Idraulica presso il Politecnico di Milano. Dal 2013 al 2015 è stata Associate Editor della rivista scientifica internazionale Hydrological Sciences Journal, la rivista ufficiale dell'International Association of Hydrological Sciences. Dal 2007 ad oggi Editor della rivista scientifica internazionale HESS, Hydrology and Earth System Sciences. Svolge attività di ricerca nelle seguenti aree: 1) Modellazione afflussi-deflussi, attraverso modelli di tipo misto concettuale-fisicamente basato a parametri distribuiti, di tipo concettuale a parametri concentrati e di tipo 'data-driven'; 2) Metodi per la calibrazione di modelli afflussi-deflussi; 3) Previsione in tempo reale delle piene fluviali e sistemi di preannuncio di piena; 4) Stima e previsione a breve termine del campo di precipitazione in base a osservazioni da sensore remoto; 5) Tecniche di analisi delle serie temporali applicate a variabili idro-meteorologiche; 6) Classificazione dei bacini idrografici in regioni omogenee, in base a parametri di natura geo-morfo-climatica ed idrologica; 7) Stime dell'altezza di scavo alla base delle pile dei ponti; 8) Analisi idrologiche in bacini scarsamente o non strumentati; 9) Analisi dei consumi idropotabili in funzione di variabili climatiche e delle presenze turistiche.

<https://www.unibo.it/sitoweb/elena.toth>