

Università degli Studi di Catania
DICAR-Dipartimento di Ingegneria Civile ed Architettura

Dottorato di ricerca in *Valutazione e mitigazione dei rischi urbani e territoriali*

XXIX CICLO

Curriculum: *Pianificazione e progetto
per il territorio e l'ambiente*

Viviana Pappalardo

Aree urbane e acque meteoriche.

Un approccio integrato per la pianificazione della città resiliente

Coordinatore del Dottorato: Prof. Ing. Massimo Cuomo

Tutor: Prof. Ing. Francesco Martinico, *Unict*

Co-tutor: Prof. Ing. Alberto Campisano, *Unict*

L'autore dichiara che il presente elaborato è frutto del proprio lavoro originale e che, al meglio della propria conoscenza e convinzione, non contiene materiale precedentemente pubblicato o scritto da un'altra persona. Benché l'autore abbia curato con la massima attenzione la preparazione del presente volume, Egli declina ogni responsabilità per possibili errori ed omissioni, nonché per eventuali danni causati in seguito all'uso delle informazioni ivi contenute.

Ringraziamenti

Grazie ai Professori Francesco Martinico e Alberto Campisano, supervisor di questo lavoro di ricerca. Si ringraziano anche i Professori Paolo La Greca e Carlo Modica oltre che tutti i membri del LAPTA-Laboratorio di Pianificazione Territoriale e Ambientale del Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università degli Studi di Catania.

Parte del lavoro di ricerca è stato svolto presso la struttura dell' *University College Dublin*, nel centro di ricerca "*UCD Planning & Environmental Policy*" e grazie alla collaborazione di Eoin O'Neill.

Parte del materiale e delle informazioni usate per le elaborazioni di questa tesi sono state fornite dal LAPTA e dal Comune di Avola. In particolare, si ringraziano i tecnici dell'Ufficio Urbanistica e dell'Ufficio Lavori Pubblici (Manutenzioni strade e rete fognante).

Indice

Abstract

Introduzione

Contesto

Domande e obiettivi della ricerca

Organizzazione della ricerca

Schema dei contenuti della ricerca

PARTE PRIMA

PARADIGMI TEORICI, SCENARI DI RIFERIMENTO E NUOVI MATERIALI URBANI

Capitolo 1. Le aree urbane a rischio e la gestione delle acque meteoriche

<i>1.1 Pianificazione urbana e rischi territoriali</i>	1
<i>1.1.1 Definizione del rischio</i>	3
<i>1.2 Allagamenti urbani e consumo di suolo</i>	4
<i>1.3 Dalle infrastrutture verdi ai sistemi urbani di drenaggio sostenibile</i>	9
<i>1.3.1 I sistemi di drenaggio urbano sostenibile: principi e benefici del loro impiego</i>	13
<i>1.3.2 Classificazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile</i>	16

Capitolo 2. Il “paradigma” della resilienza

<i>2.1. La teoria della resilienza</i>	22
<i>2.1.1 Il dibattito multidisciplinare internazionale</i>	22
<i>2.1.2 Resilienza e città nel dibattito disciplinare</i>	26
<i>2.2 Resilienza generale e resilienza specifica</i>	28
<i>2.2.1 Resilienza specifica dei bacini urbani agli allagamenti superficiali</i>	29
<i>2.2.2 Il rapporto tra Resilienza e componenti del Rischio</i>	33
<i>2.2.3 SuDS e resilienza</i>	36
<i>2.3 Verso una dotazione di resilienza</i>	39

Capitolo 3. Strumenti di pianificazione e politiche locali

<i>3.1 Governo del territorio, culture della pianificazione e strumenti</i>	41
<i>3.1.1 Dalla pianificazione nel settore delle acque al progetto urbano</i>	42

3.1.1.1 <i>Il PGRA – Piano Gestione Rischio Alluvioni</i>	
3.1.1.2 <i>I riflessi sul disegno urbano</i>	
3.2 <i>Politiche e pratiche urbane locali: nuovi approcci per nuove istanze</i>	47
3.2.1 <i>Dalla teoria delle politiche alla pratica di governo del territorio</i>	55
3.2.2 <i>Gli ostacoli all'adozione delle politiche e all'impiego di infrastrutture verdi per il drenaggio sostenibile</i>	58

PARTE SECONDA

MATERIALI E METODI DELLA RICERCA

Capitolo 4. Proposta di metodo per le fasi analitica e strategica

4.1 <i>Contributi multidisciplinari per una prospettiva interdisciplinare</i>	63
4.2 <i>Articolazione della proposta metodologica</i>	64
4.3 <i>Analisi idrologiche, analisi delle piogge e analisi urbane tradizionali</i>	66
4.4 <i>L'approccio modellistico a supporto della disciplina</i>	67
4.4.1 <i>Il modello EPA SWMM</i>	71
4.4.1.1 <i>La routine idrologica del modello</i>	
4.4.1.2 <i>La routine idraulica del modello</i>	
4.4.1.3 <i>Lo studio dei sistemi di drenaggio duale (SDD)</i>	
4.5 <i>Uso del modello per la verifica di compatibilità idraulica delle previsioni di Piano</i>	81
4.6 <i>Uso del modello per lo studio della risposta dei bacini agli eventi di pioggia</i>	83
4.6.1 <i>I parametri caratteristici dell'allagamento</i>	84
4.7 <i>Uso del modello per l'integrazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile</i>	86
4.7.1 <i>Il processo di selezione dei SuDS nella costruzione degli scenari</i>	88

PARTE TERZA

CASI DI STUDIO

Capitolo 5. Catania e il bacino del torrente Acquicella

5.1 <i>Il contesto: Catania città metropolitana</i>	95
5.2 <i>La proposta di Piano Regolatore</i>	95
5.2.1 <i>Le aree risorsa</i>	97
5.3 <i>Applicazione della metodologia al bacino di studio</i>	99
5.3.1 <i>L'area di studio: descrizione del bacino in esame</i>	99
5.3.2 <i>Analisi e modellazione del bacino con EPA SWMM</i>	100
5.3.3 <i>Invarianza idraulica, limiti di deflusso e meccanismi di policy</i>	104

<i>5.4 Risultati</i>	106
5.4.1 <i>Impatti, invarianza idraulica e limiti di deflusso</i>	106
5.4.2 <i>Analisi di sensitività</i>	109
<i>5.5 Discussione</i>	110
Capitolo 6. Avola ed i bacini urbani	
<i>6.1 Il contesto</i>	113
<i>6.2 Inquadramento urbano-territoriale : emergenze naturali</i>	116
6.2.1 <i>Ricognizione degli strumenti PAI e PGRA</i>	118
<i>6.3 Inquadramento urbano-territoriale: usi e struttura insediativa</i>	123
<i>6.4 La revisione del Piano Regolatore e le sue linee guida</i>	129
6.4.1 <i>La logica delle aree di perequazione</i>	130
<i>6.5 Applicazione della metodologia ai bacino di studio</i>	131
6.5.1 <i>Analisi probabilistica delle piogge</i>	131
6.5.2 <i>Analisi idrologica</i>	133
6.5.3 <i>Individuazione e modellazione dei bacini urbani di studio</i>	134
6.5.3.1 <i>Il minor system</i>	
6.5.3.2 <i>Il major system</i>	
6.5.3.3 <i>Interconnessione minor-major system</i>	
<i>6.6 Risultati</i>	142
6.6.1 <i>Calcolo e mappatura delle variabili descrittive dei sistemi-bacino</i>	142
6.6.2 <i>Calcolo e mappatura dei parametri caratteristici dell'allagamento</i>	149
6.6.3 <i>Contributo dei SuDS alla dotazione di resilienza</i>	153
6.6.3.1 <i>Gli scenari SuDS nel sistema-bacino G</i>	
6.6.3.2 <i>Scenario uno: serbatoi, cisterne e vasche di raccolta acqua meteoriche (rain barrels/rain water tanks)</i>	
6.6.3.3 <i>Scenario due: tetti verdi (green roofs)</i>	
<i>6.7 Discussione</i>	171
6.7.1 <i>Limiti degli approcci e delle scelte metodologiche</i>	171
6.7.2 <i>Dalla ricerca al Piano</i>	173
6.7.3 <i>Nella norma del Piano Regolatore</i>	174
6.7.3.1 <i>L'area di perequazione AR_3</i>	
6.7.4 <i>Sviluppi futuri</i>	181

Conclusioni

Bibliografia

Elenco delle figure e delle tabelle

Appendici

Abstract

Urban pluvial flooding is stressing urban areas with increasing frequency, becoming a factor of great concern.

Soil sealing resulting from urban development is one of the main reasons for changes in natural hydrological processes and related recurring failures of urban drainage systems, especially during heavy rainfall events.

Today, several studies are looking at the concept of urban resilience as a new paradigm, for a better integration of issues of water and flood risk with urban planning. Resilience is viewed as a way to tackle risk, showing bonds with its different sections, among which the flood hazard.

It is broadly agreed that spatial planning, by incorporating Sustainable urban Drainage Systems (SuDS) within tools and policies, helps to build urban flood resilience. In particular, SuDS, as alternative strategy for surface water management, could potentially address anthropogenically generated hazard, thanks to the water-flow regulating service and benefits they provide.

This research explores the relationship between the risk of urban pluvial flooding, resilience and urban planning. Particularly, the concept of resilience is clarified in order to highlight how it contributes to both analyse urban systems by adding levels of knowledge, and steer planning and policy approaches towards the mitigation of pluvial flood risk.

By applying a research methodology based on the use of EPA-Storm Water Management Model (SWMM), the main aim of the thesis was to define a proper methodology and to build-up an analytical tool in order to analyse and assess the urban system's response to rainfall events, and to be used during and for purposes of the planning process.

The proposed methodology is open to be flexibly applied to aptly handle the previous issues. Accordingly, the purpose was twofold: to assess the impact of masterplan in terms of increase of flow peak releases from urban catchments concerned by planned urban developments; to examine the urban system's reaction to rainfall and to evaluate how the response is affected by SuDS implementation at the catchment level.

Case study areas were selected in the cities of Catania and Avola, in Sicily, for which masterplans' design has been recently proposed by local planning authorities.

Simulation of scenarios were carried out for a number of design storm events of selected return periods. Input parameters for the modelling were derived from urban analyses and hydrologic analyses and processing.

Firstly, the methodology was based on the comparison between pre- and post-development catchment release scenarios and was applied to a case study catchment in the southern part of Catania. The study showed the need of careful consideration of the hydraulic invariance principle in land use planning practices. In particular, a set of flow release restrictions were determined for new areas of development, achieving the condition of unvaried flow peaks at the sub-catchment level, for different return periods of the storm-water event.

Secondly, the methodology was applied to selected urban catchments in the centre of Avola. SWMM was used to track the quantity of runoff generated within each sub-catchment, and the flow rate and flow depth of water in each pipe in order to profile the system response to rainfall-runoff simulation. A dual-drainage approach was used to simulate the interaction between the minor and the major drainage systems and to obtain local flood characteristics to be mapped. Moreover, different effectiveness of selected SUDS measures were demonstrated in terms of improved water-flow regulation service and flood hazard mitigation, by comparing scenarios of pre- and post-implementation.

Thesis' discussion reflects the need for planning emphasis on mitigation and translating the understanding about risk, resilience and sustainable drainage into decisions via effective policy mechanisms.

Suitable tools are needed to encourage a drainage-sensitive urban development and retrofitting.

Introduzione

Contesto

Il rapporto tra aree urbane e allagamenti caratterizza da sempre la storia evolutiva delle città e si è modificato nel tempo, connotandosi attualmente come una delle principali sfide della società contemporanea, tanto nei contesti socio-economici più sviluppati, quanto nelle rimanenti realtà. Questo rapporto, infatti, è venuto spesso configurandosi come potenzialmente dannoso per le comunità e per le strutture urbane, la cui organizzazione e il cui controllo spaziale sono stati tradizionalmente garantiti dal Piano, strumento principale del governo del territorio elaborato grazie al sapere tecnico (pianificazione spaziale). La pianificazione territoriale rimane la disciplina fondamentale per gestire l'interazione tra i sottosistemi urbani e bilanciare funzioni umane e naturali, rispondendo alla domanda di "città sicura" posta dalla collettività.

La considerazione dei rischi urbani e la valutazione sistematica dei relativi impatti all'interno degli strumenti di piano, sono quanto mai necessarie per lo sviluppo di linee guida, buone pratiche e criteri di sostenibilità nella pianificazione urbanistica e territoriale.

Poiché la pianificazione urbana guida gli interessi sui suoli ed influenza i diritti sui loro usi, determinando la configurazione spaziale, il tipo e lo sviluppo degli edifici e gli usi del suolo, così come il paesaggio e la matrice degli spazi verdi, essa contribuisce al successo o al fallimento delle dinamiche di sviluppo territoriale in base a come gli impatti dei rischi urbani e le misure di mitigazione ed adattamento, insieme, entrano in relazione con la dimensione spaziale del territorio.

Le statistiche demografiche a livello mondiale fanno emergere *trend* di crescita ancora impetuosa, spesso legata a processi di inurbamento di nuove popolazioni la cui pressione graverà sulle aree urbane, nelle quali le risorse idriche, del territorio e dell'ambiente saranno sempre più compromesse. Urbanizzazione e consumo di suolo sono determinanti nel provocare alterazioni sensibili del regime delle acque superficiali e sotterranee così da rendere indispensabile l'attenta considerazione degli effetti sul ciclo idrologico nella definizione delle scelte di pianificazione tanto a scala vasta quanto nel progetto, a scala locale. La ridotta capacità delle

aree urbane di assorbire le acque di precipitazione per infiltrazione, determina una modifica del bilancio idrologico con notevole aumento, in volumi, portate e velocità, del contributo dovuto al deflusso superficiale e causa evidenti problemi nei centri urbani, aggravando i problemi connessi al controllo delle alluvioni urbane. In particolare, in occasione di fenomeni di pioggia particolarmente intensi, aumenta il rischio di spingere i sistemi di drenaggio delle acque meteoriche al di là delle loro capacità di convogliamento. In tali circostanze, le portate in eccesso fuoriuscenti dalla rete di drenaggio defluiscono superficialmente attraverso percorsi preferenziali (strade, etc.), creando una vera e propria rete di deflusso superficiale, ed esponendo le aree urbane a rischi le cui conseguenze possono rivelarsi anche disastrose.

Compreso il carattere fallimentare degli interventi di emergenza post-disastro e di un approccio alla questione del rischio basato sulla capacità di controllo del sistema urbano e dei suoi meccanismi di funzionamento, la pianificazione territoriale sta tentando, attraverso la costruzione di un nuovo riferimento culturale e teorico, una vera e propria ri-partenza, assumendosi la responsabilità del necessario cambio di prospettiva per guidare il processo di accomodamento della città alle mutate condizioni al contorno, a partire da una migliore gestione delle risorse, e da costruire sulla sinergia tra misure di mitigazione e misure di adattamento.

Il concetto di *resilienza* getta, infatti, le basi per creare e giustificare la metafora della “città resiliente”: i sistemi urbani, considerati come sistemi socio-ecologici complessi, necessitano di sviluppare la capacità di riprendersi dagli stress e dagli *shock* ambientali, non adeguandosi semplicemente ma modificandosi e costruendo nuove risposte sociali, economiche ed ambientali per resistere, nel breve come nel lungo periodo, alle sollecitazioni esterne, ed assestandosi di volta in volta in nuove e desiderabili configurazioni.

Tuttavia, il concetto di resilienza ha generato un corpo di idee, principi e costrutti spesso nebulosi e ancor più spesso contraddittori, non sempre aggiungendo caratteri di innovazione o di reale ricaduta pratica rispetto alla teoria ed alla pratica della pianificazione urbana per la quale rimane incerto quale sia il reale contributo di questa teoria. Il significato teorico e pratico della resilienza, rimasto vago nella pianificazione urbana delle “città a rischio”, non ha trovato maggiore e più dettagliata spiegazione nell’ambito della pianificazione urbana delle “città a rischio di allagamento superficiale”, pur rivendicando il merito di aver condotto alla strada da seguire, preconizzata da McHarg (1969) ed ormai universalmente riconosciuta: l’infrastrutturazione del territorio con il verde e con nuovi sistemi di drenaggio sostenibile.

Nonostante la varietà delle potenziali risposte di mitigazione ed adattamento disponibili alle società umane sia molto ampia, andando da quelle puramente tecnologiche, a quelle comportamentali, a quelle gestionali e politiche, l’incremento di resilienza appare una sfida ancor più grande nelle aree urbane consolidate, dove le specificità dell’ambiente costruito ed il tessuto socio-economico limitano di per se stessi il numero ed il tipo di strategie e misure di possibile applicazione. La presenza di capacità

adattiva è, tra l'altro, condizione necessaria ma non sufficiente per l'adozione di strategie di mitigazione e di adattamento effettivo che non può considerarsi un processo spontaneo ma necessita, piuttosto, di una chiara intenzionalità e deve essere supportato sul piano politico e culturale.

La necessità di controllare le acque superficiali ed incorporarle in una visione più integrata, olistica e strategica, ha stimolato la svolta negli approcci alle tecniche di drenaggio urbano: una svolta segnata dal passaggio da una tradizionale strategia di canalizzazione e convogliamento verso valle delle portate meteoriche, alle nuove strategie di invarianza idraulica ed idrologica.

La ricerca dei nuovi scenari pianificatori si è infatti orientata ad una drastica riduzione delle portate di piena convogliate verso valle: rispetto all'orientamento tradizionale in cui si mira a convogliare ed allontanare le acque lontano dal sito nel più breve tempo possibile, la nuova ottica è quella di intercettare e mantenere l'acqua piovana laddove essa precipita, abbattendo a monte le portate di piena con strategie di controllo basate su metodi di infiltrazione e laminazione. Il tema della gestione delle acque piovane nelle aree urbane ha, dunque, subito profondi cambiamenti durante gli ultimi decenni. Di conseguenza, un intero nuovo campo di concetti *drainage-related* si è sviluppato con lo scopo di ridurre gli impatti dell'urbanizzazione sul ciclo idrologico e soprattutto prediligendo l'adozione di soluzioni progettuali tali da facilitare il riequilibrio dei servizi eco-sistemici con l'integrazione di sistemi e tecnologie naturali di drenaggio nella logica di progetto delle infrastrutture verdi.

Il "costruire con la natura" di McHarg (1969) significa oggi attrezzare la città non più solo in termini di difesa dal rischio, con la progettazione di grandi e costose opere per scongiurare l'occorrenza di eventi dannosi ma anche e soprattutto attrezzarla di nuovi materiali urbani, quali gli elementi dell'infrastruttura verde come i sistemi di drenaggio urbano sostenibile: un insieme di misure "estensive" per la fornitura di servizi eco-sistemici di natura regolativa tra cui, nello specifico, il controllo e la mitigazione dei deflussi, che mimando i processi idrologici naturali perseguono gli obiettivi principali di riduzione dei volumi e dei picchi di portata, l'incremento dell'infiltrazione ed il riequilibrio del ciclo idrologico.

Nella città *water-sensitive* l'acqua viene percepita non solo come una minaccia legata al rischio delle inondazioni e ai danni conseguenti alle piogge intense, ma diventa elemento per immaginare un nuovo paesaggio urbano dove il controllo delle acque meteoriche avviene già a partire da dove essa precipita.

E' però vero, contestualmente, che la stessa pianificazione mostra una certa reticenza ad incamerare questa impostazione metodologica quando dovrebbe, invece, accelerare i processi di introiezione di pratiche virtuose di resilienza urbana e fare ricorso a nuovi apparati analitici, metodologie e modelli di progetto urbano per sovvertire gli ordini di priorità nella costruzione dello strumento regolatore e degli apparati normativi che lo sorreggono, al fine di studiare soluzioni calibrate in funzione delle specificità territoriali.

Nel momento in cui i valori alla base del modello sociale vengono interessati da mutamenti motivati e derivati dai più vari bisogni, obiettivi ed

interessi (ad esempio, la domanda di città sicura nella società del rischio), il sistema di governo è chiamato a rinnovare la propria struttura e la propria operatività.

Le specificità delle questioni relative al drenaggio sostenibile delle acque meteoriche e, di riflesso, delle risposte che si cerca di mettere in atto, hanno posto continue sfide alla loro *governance*, elemento non secondario quando si tenta la selezione degli strumenti di *policy* più adatti per la risposta di mitigazione e/o adattamento voluta.

La ricerca di strategie alternative può trasformarsi in pratica pianificatoria solo costruendo il Piano in abbinamento a meccanismi che ne governino l'attuazione influenzando, di fatto, l'iniziativa privata allo scopo di limitare l'insorgere di esternalità negative nel territorio. Ne consegue che, per facilitare il successo della strategia e delle azioni di Piano nell'ottica della resilienza urbana, nel breve come nel lungo termine, occorre definire politiche di governo del territorio che siano realmente efficaci rispetto alla domanda sociale di sicurezza, volte a ridurre il "consumo di ambiente" e coerenti con le previsioni stesse di Piano, specifiche per i luoghi e variabili in funzione dei diversi livelli di *performance* ambientale prevista.

Domande e obiettivi di ricerca

Attraverso lo sviluppo di questa ricerca si vuole sostenere la tesi secondo cui il concetto di resilienza, se opportunamente declinato, aggiunge un grado di approfondimento al livello di conoscenza dei territori e dei fenomeni che li riguardano. Questa conoscenza, in particolare, influenza le possibilità che lo strumento di Piano venga costruito efficacemente rispetto agli obiettivi strategici posti alla base dello stesso, tra cui quelli di sicurezza territoriale al rischio da allagamento pluviale.

Lo studio esplora il concetto teorico di resilienza per ricercarne i nessi di senso con la definizione di rischio, mostrando come la sua specificazione determini un ampliamento della base conoscitiva dei sistemi urbani tale da influenzare potenzialmente gli orientamenti della pianificazione territoriale verso strategie di mitigazione ed adattamento, a partire dalla costruzione di politiche per la diffusione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile.

In tal senso, obiettivo specifico della ricerca è la costruzione di uno strumento analitico-conoscitivo delle aree urbane per valutare la loro risposta agli eventi meteorici e derivare un insieme di variabili i cui valori ben descrivono i risultati del processo di trasformazione afflussi-deflussi che interessa ogni bacino urbano.

La metodologia, basata sull'uso del modello di simulazione dinamica afflussi-deflussi EPA- Storm Water Management Model (*SWMM*), è pensata per applicazioni flessibili utili durante i processi di elaborazione degli strumenti regolatori.

Viene applicata, infatti, a due casi di studio ai fini di:

- Valutare la compatibilità idraulica delle trasformazioni previste dal Piano Regolatore (caso studio di Catania-Acquicella).

- Valutare il profilo di risposta di bacini urbani agli eventi meteorici attraverso la misurazione delle variabili specifiche scelte per descriverla ed indagare, così, alcuni aspetti della loro resilienza specifica, anche ai fini di ipotizzare scenari di introduzione di sistemi di drenaggio (caso studio di Avola).

Alcune delle domande alle quali la ricerca prova a rispondere sono:

- Quale la possibile definizione di resilienza e come particolarizzarla rispetto alla questione della gestione delle acque meteoriche?
- Quali variabili e/o quali indicatori possono essere usati per rendere il concetto operativo e “visibile” sul territorio?
- Come integrare l’uso di modelli concettuali o fisicamente basati per la simulazione della risposta dei bacini agli eventi di pioggia nelle strategie di pianificazione?
- Come può essere misurato il contributo fornito dai sistemi di drenaggio sostenibile alla variazione della risposta del bacino?
- Quali sono i risvolti utili per la pianificazione e quali le alternative di *policy* che gli attori locali possono vagliare per trasformare il Piano in *meta-strumento*?

Organizzazione della ricerca

La ricerca consiste di due parti: la prima sviluppa il quadro teorico di riferimento, destrutturando la cornice teorica della resilienza e quella del rischio e ricomponendole, e quindi collocando al loro interno gli approcci basati sulle infrastrutture verdi e sui sistemi di drenaggio sostenibile quali misure di mitigazione e adattamento.

Ai fini di sviluppare il quadro teorico, si è proceduto ad approfondimenti bibliografici sul concetto di rischio, di resilienza e sui sistemi urbani di drenaggio sostenibile, derivando le riflessioni esposte nei Capitoli 1¹ e 2.

Successivamente, la ricognizione sulle politiche e sulle pratiche messe in campo per la gestione sostenibile delle acque meteoriche è stata descritta nel Capitolo 3², dopo un breve *focus* sulla pianificazione di settore delle acque ed il recepimento delle direttive europee in contesto italiano e regionale (Sicilia).

¹ Parte del Capitolo 1 (Le aree urbane a rischio e la gestione delle acque meteoriche) è stata oggetto del contributo scientifico di Palermo V., Pappalardo V. (2016), *La città e i rischi territoriali. Nuovi temi e strumenti per la pianificazione delle aree urbane*, il Progetto Sostenibile, 38:24-31

² Alcune delle riflessioni inserite nel Capitolo 3 (Strumenti di pianificazione e politiche locali) sono state oggetto dei seguenti contributi scientifici:

-Palermo V., Pappalardo V. (2016), *Politiche e pratiche urbane locali: nuovi approcci per nuove istanze*, in “Un nuovo ciclo della pianificazione urbanistica tra tattica e strategia”, Planum Publisher 2016 (prepress)

-Pappalardo V., La Rosa D., Martinico F., Campisano A., *Le infrastrutture verdi nelle politiche urbane e nei loro strumenti: verso la gestione sostenibile delle acque meteoriche*, XIX Conferenza SIU "Cambiamenti. Responsabilità e strumenti per l'urbanistica a servizio del Paese", Planum Publisher

La cornice concettuale ha consentito la costruzione della metodologia tracciata nella seconda parte di questa ricerca, al Capitolo 4³, dove è dettagliatamente esposto anche l'uso del modello per la simulazione dei sistemi-bacino urbani negli scenari definiti e nelle condizioni dettate dagli eventi di pioggia di progetto. La metodologia viene introdotta facendo riferimento alle sue flessibili applicazioni nei processi di definizione degli strumenti di Piano, dove inglobare i principi di invarianza idraulica e di controllo dei deflussi per la mitigazione del rischio.

La metodologia, come anticipato, è applicata a due casi di studio per i quali si è seguito da vicino il processo di elaborazione del Piano Regolatore ed approdando a considerazioni specifiche sull'importanza di applicare i concetti portanti degli studi teorici nella pratica dell'attuazione del Piano.

Le applicazioni ai casi studio sono presentate nella parte terza:

-Il bacino dell'Acquicella, nella città di Catania, in Sicilia (Capitolo 5⁴).

Per questo bacino si è adottata la metodologia nella sua derivazione semplificata ed un approccio più generale (di tipo idrologico) ai fini di verificare la compatibilità idraulica di specifiche previsioni di trasformazione urbana previste dal Piano Regolatore, applicando il principio di invarianza idraulica per derivare restrizioni al deflusso delle acque meteoriche da assegnare alle aree di trasformazione, alla stregua di indici urbanistici e con il senso di garantire "dotazioni territoriali strategiche".

-I bacini urbani della città di Avola (tre bacini della zona sud del centro urbano), in Sicilia (Capitolo 6).

Per questi sistemi si è adottata la metodologia nella sua derivazione completa, adottando un approccio analitico approfondito (idrologico-idraulico) ai fini della costruzione del profilo di resilienza degli stessi. Inoltre, sono stati costruiti e simulati scenari di *retrofitting* urbano con due soluzioni tecnologiche afferenti ai sistemi di drenaggio urbano sostenibile, per valutarne gli effetti sulla risposta dei bacini agli eventi meteorici. I risultati sono stati utilmente raccolti per definire le strategie di Piano e costruire parti specifiche delle norme tecniche di attuazione ad esso allegate.

Nelle conclusioni si riflette sul lavoro condotto e sulle potenzialità di sviluppo future, ragionando intorno alle risposte fornite alle domande di ricerca.

³ Alcune delle riflessioni inserite nel Capitolo 4 (Proposta di metodo per le fasi analitica e strategica) sono state oggetto dei contributi scientifici di:

-Palermo V., Pappalardo V. (2016), *La città e i rischi territoriali. Nuovi temi e strumenti per la pianificazione delle aree urbane*, il Progetto Sostenibile, 38:24-31

-Privitera R., Pappalardo V., Barbarossa L., La Rosa D. (2014), *Infrastrutture verdi per il drenaggio delle acque meteoriche nel progetto della città resiliente*, Urbanistica Informazioni, 257:145-149

⁴ Parte del Capitolo 5 (Catania e il bacino del torrente Acquicella) è stata oggetto del contributo scientifico di Pappalardo V., Campisano A., Modica C., Martinico F., Barbarossa L. (2016), *A hydraulic invariance-based methodology for the implementation of storm-water release restrictions in urban land use master-plans* presentato sotto forma di *extended abstract* alla edizione 9th international conference Novatech "Planning and technologies for sustainable urban water management" ed incluso nei *Novatech Proceedings* (ISBN 978-2-917199-07-7)

Schema dei contenuti della ricerca

Lo schema dei contenuti della tesi è rappresentato nella Figura I.

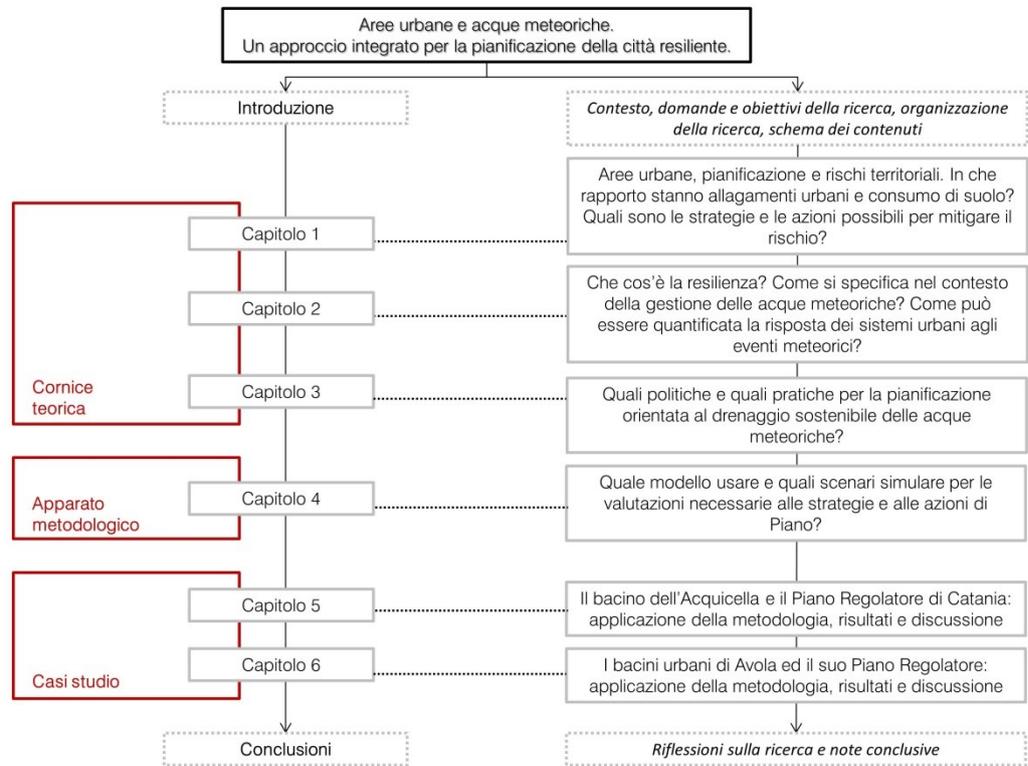


Figura I | Schema dei contenuti della ricerca

PARTE PRIMA |

PARADIGMI TEORICI, SCENARI DI RIFERIMENTO E NUOVI MATERIALI URBANI |

Capitolo 1. Le aree urbane a rischio e la gestione delle acque meteoriche

1.1 Pianificazione urbana e rischi territoriali

Se il territorio è il prodotto storico dei processi di co-evoluzione di lunga durata tra insediamento umano e ambiente, natura e cultura (Turco et al., 1984), esito dinamico e stratificato di un processo di strutturazione dello spazio fisico da parte della società insediata (Magnaghi, 2000), allora la città può essere ragionevolmente considerata il suo elemento più caratterizzante, dove si concentrano e condensano fattori geografici, sociali, culturali ed economici favorevoli alla nascita di questo processo (Hough, 2004). Come in passato, anche adesso, una forma di pianificazione spaziale è indispensabile perché l'organizzazione ed il controllo sociale ed economico si realizzino attraverso i paralleli organizzazione e controllo spaziale, da sempre attuati attraverso lo strumento del Piano (Gaeta et al., 2013). Arte della assunzione razionale di decisioni sociali che mira a collegare la conoscenza scientifica e tecnica delle azioni in un dominio pubblico (Friedman, 1987), la pianificazione spaziale elabora gli strumenti sostantivi e procedurali di configurazione dello spazio di cui si serve il governo del territorio. La sicurezza territoriale ed urbana, come le altre questioni legate al governo del territorio, è materia di lavoro per la pianificazione spaziale in quanto sapere tecnico, ed è parte dei processi di costruzione delle politiche (locali, regionali, nazionali, internazionali) che giustificano le decisioni con le quali il potere politico influenza i processi di trasformazione spaziale e sociale. Infatti, la fenomenologia del rischio, intrinsecamente antropocentrica, non potendo essere ricondotta esclusivamente alla scelta di metodi e all'uso di tecniche proprie della razionalità strumentale, è diventata occasione per tentare il superamento delle difficoltà di dialogo tra discipline specialistiche e pianificazione. Man mano che la vita urbana diviene più complessa, poiché sulla città e sul territorio si proiettano, intricandosi, forme d'uso differenti, fra loro in conflitto (La Greca, 2005), anche gli scenari di rischio si fanno più complessi e alimentano le fragilità sociali e insediative, determinando impatti dagli elevati costi sociali ed economici.

Nelle più comuni disquisizioni delle problematiche legate al rischio si sceglie spesso di trattare separatamente il tema del rischio di origine

naturale da quello di natura antropogenica. A quest'ultimo vengono riferite le attività umane potenzialmente pericolose per l'ambiente o per la vita umana stessa, tra cui quelle industriali e quelle, più in generale, causa di inquinamento. Al primo, invece, vengono riferite sia le cause legate ai processi di natura endogena rispetto alla geosfera, come le manifestazioni dell'attività vulcanica e tettonica, che quelle legate a processi di natura esogena, che operano sulla superficie terrestre spesso a causa di eventi meteorologici estremi, come nel caso di frane, alluvioni ed erosioni accelerate. Esistono, evidentemente, connessioni tra il rischio naturale ed attività antropica. In particolare, tra le cause dei fenomeni di natura idrogeologica, quelle di origine antropica vanno assumendo un peso sempre più rilevante, in quanto legate a un uso del territorio non attento alle caratteristiche e ai delicati assetti idrogeologici dei suoli (APAT, 2007).

In contesti di sfide globali e di cambiamenti epocali, forse ha senso ipotizzare che la competizione tra le città possa avere ad oggetto la tutela e la sicurezza del territorio e, quindi, del cittadino, facendone i principi ineludibili attorno a cui articolare la riflessione sulle competenze, sui metodi, sugli strumenti e sulle pratiche più idonee a servizio della razionalità urbanistica. Portare la trattazione della valutazione e mitigazione dei rischi urbani nell'ambito delle ricerche disciplinari della pianificazione territoriale, rappresenta un valido punto di partenza per strategie compatibili di sviluppo, arricchisce di contenuti lo strumento del Piano e chiama i cittadini ad interessarsi ad esso, e a rifiutare un ruolo passivo a favore, piuttosto, di una modificazione della domanda sociale verso la richiesta trasversale di sicurezza e di tutela attiva del territorio e del bene collettivo. In tal senso, la cornice della "*cultural theory*" di Douglas e Wildavsky (1982), rimane approccio tutt'oggi validissimo a cui ispirare la ricerca scientifica, quand'essa punta ad occuparsi, in qualche misura, del rapporto tra città, rischio e pianificazione spaziale. Infatti, le dimensioni da trattare sono ancora quella della costruzione della conoscenza intorno ad un problema posto e quella del consenso sociale, legato alla percezione che la collettività ha del rischio.

Per quanto attiene alla prima dimensione, entra in gioco, per la ricerca, la prospettiva dell'interdisciplinarietà (cfr. par.4.1), ed il tentativo di superamento dell'approccio tradizionale al progetto urbanistico, orientato in modo generale al perseguimento dei principi di sostenibilità urbana, per servirsi, piuttosto, di apparati analitici e sistemi di supporto alle decisioni arricchiti da apporti e contributi di altre discipline specialistiche; per quanto attiene alla seconda dimensione, si accetta aprioristicamente l'eventualità che il passaggio dall'astrazione concettuale dei principi, alle scelte operative dettate dal Piano sul territorio, possa scontrarsi con la costruzione di un consenso effettivo e non retorico (Martinico, 2008). Di contro, resta per gli intenti della ricerca, la possibilità che le azioni di piano e le politiche studiate possano validamente giustificarsi in termini di miglioramento della qualità di un insediamento e di applicazione dei principi di sicurezza e tutela prima richiamati. Ancora, la prospettiva di riconnettere trasversalmente le forme di conoscenza a partire dalle loro potenzialità di applicazione a problemi su base territoriale, pone nell'ottica di esplorare i modi in cui utilizzare proficuamente le conoscenze e gli apparati analitici propri di e

confinati in studi specialistici e di settore, per la comprensione dei fenomeni territoriali e dei processi di Piano (Martinico, 2008), soprattutto alla luce di quadri normativi spesso frammentari e poco inclini a favorire l'inclusione strutturale della valutazione e mitigazione del rischio all'interno di un processo ordinario di pianificazione.

La pianificazione spaziale soffre storicamente il confronto con la diversità di scala cui fanno riferimento studi ed interventi; la disomogeneità degli orizzonti temporali; l'incertezza sulle dinamiche future; la contrapposizione tra il suo precipuo carattere interdisciplinare e l'iperspecialismo delle scienze con cui è chiamata a dialogare; l'antitesi ideale tra edificabilità e salvaguardia ambientale; la confusione, frammentarietà, conflittualità e proliferazione dei suoi strumenti, spesso corrispondente ad una strutturale inadeguatezza legislativa; la difficoltà di far convergere programmazione della spesa pubblica e strategie di mitigazione ed adattamento; l'eterogeneità dei bisogni e delle risposte strategiche da mettere in campo per soddisfarli; oltre che la mancanza cronica di risorse pubbliche da destinare ad interventi strutturali di messa in sicurezza diffusa del territorio, opzione oramai definitivamente decretata insostenibile. Un punto di ri-partenza nella pianificazione e nella progettazione per la "città sicura" è l'assunzione di responsabilità rispetto al necessario cambio di prospettiva (De Marco, 2001), auspicando che esse, constatato il carattere fallimentare di politiche di natura straordinaria e di interventi *ex-post*, indirizzino il progressivo processo di accomodamento della città alle mutate condizioni al contorno, a partire da una migliore gestione delle risorse e da costruire sulla sinergia tra misure di mitigazione e misure di adattamento, ponendosi obiettivi che non hanno a che vedere con la sola sfera ambientale ma si riflettono, chiaramente, in quella economica e sociale in termini di equità, benessere e competitività globale.

1.1.1 Definizione del rischio

La decostruzione del rischio in componenti, a cui tradizionalmente si ricorre per raggiungere sufficienti livelli di chiarezza nella sua definizione, ha nel tempo condotto a formulazioni non univoche ma sostanzialmente comparabili, tra cui quella di Crichton (1999). Secondo l'autore il rischio è



Figura 1.1 | Il triangolo del rischio.
(adattata da: Crichton, 1999)

funzione delle tre variabili di pericolosità (*hazard*), vulnerabilità (*vulnerability*) ed esposizione (*exposure*), che interagiscono secondo la relazione mostrata graficamente in Figura 1.1.

Immaginando che l'entità del rischio possa equivalere all'area del triangolo, allora essa dipende a sua volta dalla dimensione di ciascuno dei lati che compongono la figura geometrica.

Se una delle componenti aumenta o diminuisce anche il rischio segue un andamento analogo; se anche una sola delle componenti si riduce a zero, anche il rischio si annulla.

Analiticamente, allora, il rischio può essere rappresentato servendosi della equazione (1)

$$R = P \times V \times E \quad (1)$$

Dove R è il rischio che interessa gli oggetti territoriali localizzati all'interno della unità spaziale presa a riferimento, P è la pericolosità – cioè la probabilità che un fenomeno di data intensità si verifichi in un dato intervallo di tempo e nell' ambito spaziale considerato – V è la vulnerabilità – cioè la propensione di un dato oggetto territoriale a subire un danno a causa dell'occorrenza del fenomeno considerato – E è l'esposizione – cioè la quantità e qualità degli oggetti territoriali ricadenti nel detto ambito spaziale.

Il peso assegnato alle diverse componenti che determinano il rischio può essere diverso a seconda della finalità ultima dell'analisi. Nell'ambito degli studi internazionali è emerso che la valutazione del rischio non dovrebbe essere rigidamente interpretata come il risultato di una formula matematica per ottenere una classificazione dei rischi in termini di mera priorità di intervento (Houdijk, 2012). Piuttosto, dovrebbe essere evitata la conclusione ingiustificata secondo cui i parametri del rischio, per definizione, hanno lo stesso peso. Nella valutazione dei rischi, sia la probabilità sia il danno causato dalla combinazione tra esposizione e vulnerabilità, devono essere analizzati e valutati nell'ottica di determinare le diverse misure di riduzione del rischio che da essi dipendono, individuando le più efficaci, caso per caso. In buona sostanza, per costruire opportune strategie di mitigazione ed adattamento.

1.2 Allagamenti urbani e consumo di suolo

Le statistiche demografiche a livello mondiale fanno emergere *trend* di crescita ancora impetuosa, spesso legata a processi di inurbamento di nuove popolazioni la cui pressione graverà sulle aree urbane, nelle quali la tutela delle risorse idriche, del territorio e dell'ambiente sarà sempre più compromessa.

Il fenomeno di urbanizzazione - accompagnato dalle stime sulla crescita della popolazione mondiale - da una parte, e l'aumento dell'intensità e della frequenza degli eventi meteorici estremi - sempre più spesso attribuito al processo di cambiamento climatico (IPCC, 2011; EEA 2012; Kazmierczak and Cavan, 2011) - dall'altra, aggravano una condizione di crisi già profonda che influenza, oggi, la dinamica di co-evoluzione tra insediamento umano e ambiente, destinando le aree urbane a portare i segni della severità degli impatti causati da eventi non necessariamente disastrosi. L'urbanizzazione, intesa come processo insediativo sul territorio, di cui sono parte fondamentale la popolazione, l'edificato e le infrastrutture (Marinosci et al., 2008), determina il fenomeno noto come "consumo di

suolo” cioè l'utilizzazione di suolo extraurbano, agricolo o naturale per usi insediativi (Fig.1.2) (Oliva, 2007).

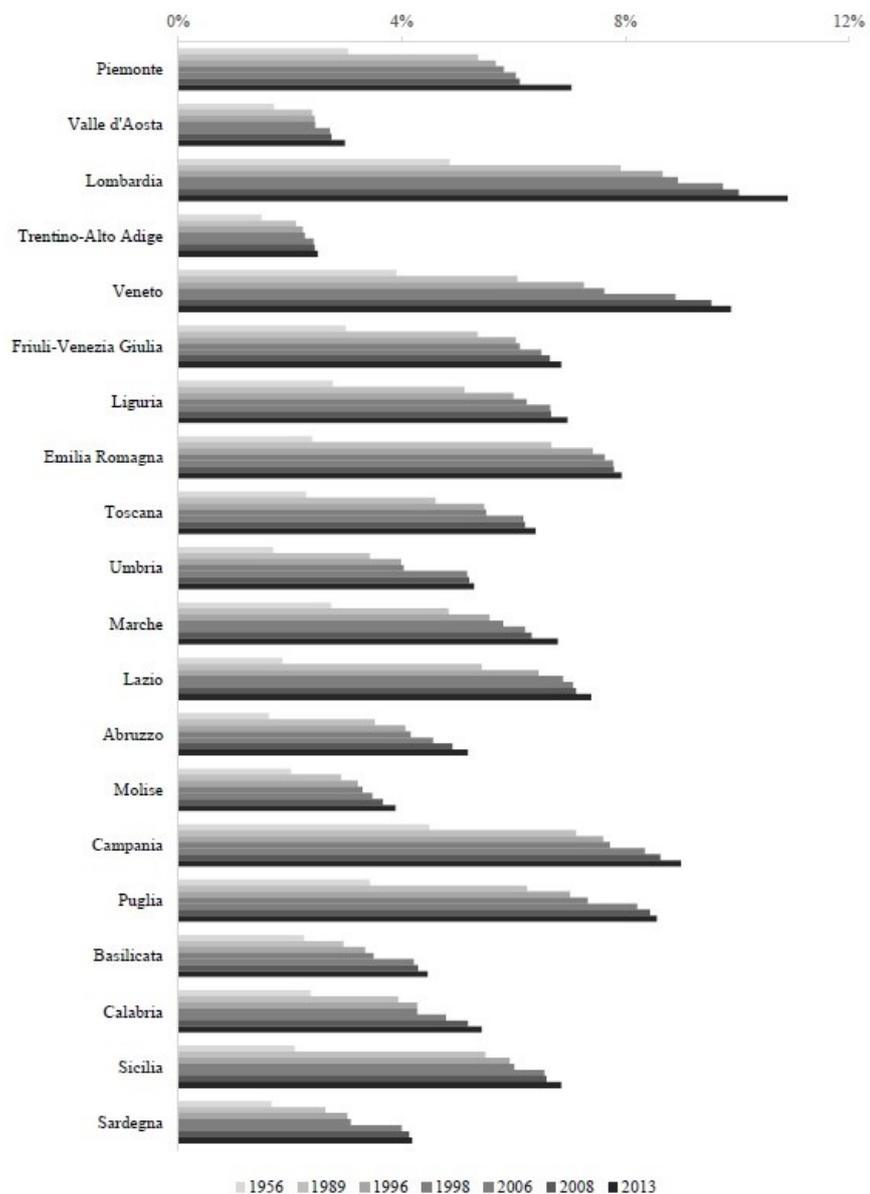


Figura 1.2| Andamento del suolo consumato nelle regioni italiane tra il 1956 ed il 2013 (percentuale sul territorio regionale)
(da: Munafò et al., 2015)

Il suolo è una risorsa multifunzionale, scarsa, esauribile e non rinnovabile (Munafò et al., 2015) che genera biomassa, fornisce materie prime essenziali, ed è la più grande riserva genetica del pianeta, base fisica per gli insediamenti e portatrice di patrimonio culturale (Pileri, 2012). Come evidenziato anche dalla Commissione Europea (EC,2012), un suolo in condizioni naturali, insieme all'intera biosfera, fornisce al genere umano i servizi eco-sistemici necessari al proprio sostentamento, permettendo lo svolgimento di funzioni che hanno, per l'uomo, ricadute di utilità dirette ed indirette e devono, pertanto, essere tutelate (Munafò et al., 2015).

In particolare, tra i servizi eco-sistemici di regolazione (*regulating services*), il controllo dei fenomeni idrologici e la mitigazione di quelli estremi, contribuiscono a ridurre il rischio di allagamenti.

Il consumo di suolo comporta inevitabilmente la sua impermeabilizzazione, che è la forma più evidente di copertura superficiale, riconosciuta uno dei processi più significativi di degrado subito dal suolo; definita come la copertura permanente di parte del terreno e del relativo suolo con materiale artificiale non permeabile (Munafò et al., 2015), se da una parte determina effetti negativi sui servizi eco-sistemici essenziali, contribuendo al depauperamento del patrimonio naturale e del paesaggio (Pileri, 2015), dall'altra, combinandosi con l'incremento di intensità e frequenza di eventi meteorici estremi, dovuto anche ai processi di cambiamento climatico, risulta particolarmente significativa per l'impatto che determina sul ciclo idrologico, soprattutto in termini di gestione della quantità delle acque e della loro qualità (ISPRA, 2011). L'urbanizzazione e tutte le dinamiche insediative in generale, convertendo processi naturali in processi condizionati dalle modalità di uso e gestione dei suoli, quindi, sono determinanti nel provocare alterazioni sensibili del regime delle acque superficiali e sotterranee, così da rendere indispensabile l'attenta considerazione degli effetti sul ciclo idrologico generati dalla definizione delle scelte di pianificazione, tanto a scala vasta quanto a scala locale (Becciu & Paoletti, 2010; White, 2010).

L'incremento delle superfici impermeabili, determinando contestualmente la diminuzione dell'infiltrazione e l'aumento del ruscellamento superficiale, induce anche una riduzione dell'alimentazione delle falde, e una diminuzione dell'evapotraspirazione. Non bisogna dimenticare, poi, che conseguente al fenomeno di impermeabilizzazione è, inoltre, la variazione nel tempo e nello spazio del trasferimento dei volumi di acqua (sostituire un suolo permeabile con uno impermeabile implica che le acque di precipitazione si infiltreranno altrove – variazione spaziale – e con tempi di propagazione diversi in quanto l'acqua ruscellerà più velocemente – variazione temporale).

Le immagini esemplificative delle modifiche al regime idrologico indotte dall'urbanizzazione sono numerose in letteratura e confrontano idealmente le variabili del bilancio idrologico nelle condizioni di pre-urbanizzazione e di post-urbanizzazione (Fig.1.3).

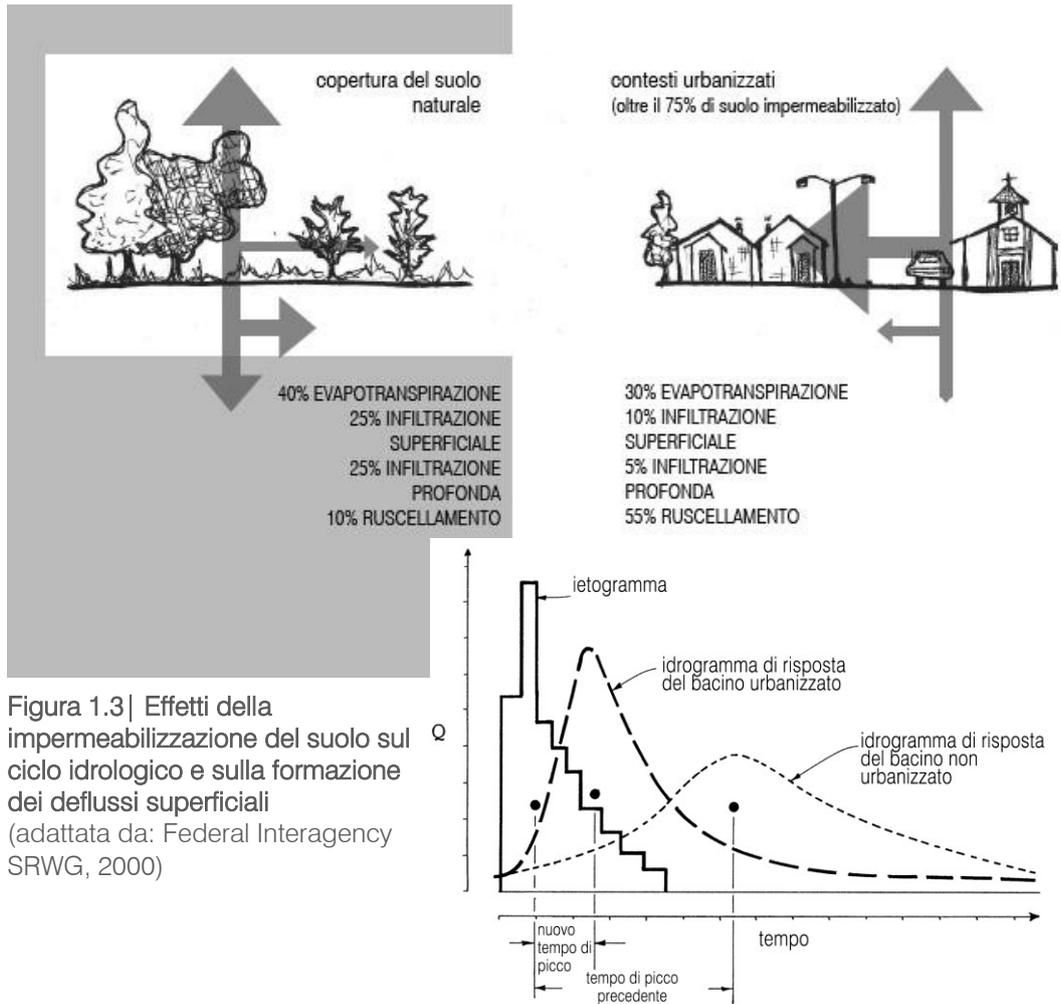


Figura 1.3| Effetti della impermeabilizzazione del suolo sul ciclo idrologico e sulla formazione dei deflussi superficiali (adattata da: Federal Interagency SRWG, 2000)

Si nota immediatamente che, mentre nelle condizioni di pre-urbanizzazione il contributo al ciclo delle acque dovuto al deflusso superficiale è poco rilevante e si concentra nel tempo solo durante le piogge intense, conseguentemente al superamento delle capacità di infiltrazione del terreno, nelle condizioni di post-urbanizzazione il contributo dei deflussi diventa significativo sulla superficie del bacino, nelle reti di drenaggio e nei corpi idrici ricettori (Becciu & Paoletti, 2010). A preoccupare di più, infatti, è proprio la circostanza delle piogge "brevi", cioè di precipitazioni intense che possono produrre fenomeni di piena anche rilevanti. In queste circostanze il "peso" del volume di evapotraspirazione è trascurabile rispetto a quello degli altri volumi idrologici, sia in una condizione di pre-urbanizzazione che di post-urbanizzazione. Tuttavia, nel secondo caso, il rapporto tra deflussi superficiali e volumi di infiltrazione, definito in ogni istante di tempo dalla relazione che intercorre tra intensità di pioggia e capacità di infiltrazione dei terreni, si modifica, risultando nell'incremento dei coefficienti di deflusso (che misurano, appunto, il rapporto tra volumi totali dei deflussi superficiali e volumi totali degli afflussi meteorici, tenendo conto delle perdite idrologiche).

Come già accennato, l'impermeabilizzazione del suolo, oltre ad esaltare i volumi di piena, determina un incremento della portata al colmo ed una diminuzione del suo tempo caratteristico di formazione.

La ridotta capacità delle aree urbane di assorbire le acque di precipitazione per infiltrazione determina una modifica del bilancio idrologico

con notevole aumento, in velocità, volume e portata, del contributo dovuto al deflusso superficiale (Chocat et al., 2001; Bassan & Pozzer, 2011) con aumento dei rischi di aggravio dei problemi connessi al controllo degli allagamenti.

In particolare, in occasione di fenomeni di pioggia intensi, aumenta il rischio di spingere i sistemi di drenaggio al di là delle loro capacità di convogliamento (Aronica et al., 2013; Piro, 2011).

I sistemi di drenaggio urbano sono deputati alla raccolta, convogliamento e scarico delle acque reflue provenienti dalle attività civili nonché delle acque meteoriche che si accumulano durante le precipitazioni e la loro grande importanza risiede nel fatto che essi costituiscono l'unico vero sistema di protezione idraulico-ambientale degli insediamenti urbani.

I sistemi di drenaggio sono efficienti e compatibili con l'ambiente circostante se, oltre a recapitare portate massime ai corpi idrici che non eccedano le loro capacità idrauliche e non compromettano i livelli qualitativi dei ricettori stessi, vengono progettati per una frequenza di superamento e, quindi, di allagamento, accettabile e compatibile in riferimento ai danni da esso causati (Becciu & Paoletti, 2010). Non soltanto i sistemi di drenaggio presenti in un insediamento, tradizionalmente progettati con riferimento a specifici tempi di ritorno e capacità di carico, non sono adeguati a sopportare i carichi dovuti alle espansioni dello stesso, risultando spesso insufficienti in numerose città e non potendo, di conseguenza, sopportare l'incertezza delle future condizioni climatiche e di sviluppo, ma le loro condizioni di esercizio sono spesso fuori norma o comunque sconosciute.

Infatti, in concomitanza con eventi estremi, l'incremento della quota parte di superficie urbanizzata determina un sovraccarico nel sistema di smaltimento, che spesso già soffre problemi di mancanza cronica di manutenzione e monitoraggio. Inoltre, gli insediamenti urbani più antichi sono serviti da sistemi di fognatura mista dove le acque di ruscellamento vengono recapitate trasportando con sé numerose sostanze inquinanti e sedimenti, destinati a raggiungere insieme i depuratori (molto vulnerabili agli eventi estremi di pioggia) e i corpi idrici (Zhou, 2014). Il *trend* incessante di sviluppo edilizio e di urbanizzazione influenza la formazione degli allagamenti urbani non soltanto a causa della concentrazione di superfici altamente impermeabili, con le conseguenze descritte, ma anche a causa di interventi finalizzati alla restrizione delle sezioni dei corsi d'acqua e dei canali esistenti, con relativa penalizzazione della capacità idraulica; inoltre, nuove espansioni hanno frequentemente messo in crisi le reti idrauliche esistenti, talvolta già insufficienti a drenare le aree ad esse recapitanti, richiedendo un continuo adeguamento se non la ricostruzione delle reti di valle, interventi frequentemente insostenibili, non soltanto da un punto di vista economico. Ne risulta che i rischi di allagamento delle aree urbane, provocati da piene fluviali o da piene pluviali, sono sempre maggiori (Fig.1.4 e Fig.1.5) (Kubal et al. 2009; Becciu & Paoletti, 2010; Djordjevic et al. 2011).



Figura 1.4 | Alluvione urbana, Catania (2012)
(da: <http://www.lalinearossa.it/cronaca/alluvione-a-catania-una-lezione-mai-imparata/>)



Figura 1.5 | Alluvione urbana, Avola (2007)
(da: <http://www.avolablog.it/2015/04/sintesi-del-convegno-sul-rischio-idrogeologico-ad-avola.html>)

Gli allagamenti delle aree urbane consistono nella temporanea sommersione di centri abitati, abitualmente asciutti, e vengono generalmente classificati in esondazioni (allagamento di origine fluviale), inondazioni (allagamenti di origine marina), allagamenti pluviali ed acquiferi (EEA, 2012). In particolare, gli allagamenti pluviali possono identificarsi in quelli risultanti dalle acque meteoriche che si accumulano sul terreno o scorrono su di esso prima di raggiungere un corso d'acqua o venire intercettate dal sistema di drenaggio artificiale se non al limite delle sue capacità di raccolta e convogliamento, cui si combinano i contributi al deflusso generati dalle insufficienze fognarie. Storicamente, l'attenzione è stata rivolta principalmente ad esondazioni ed inondazioni, trascurando i fenomeni innescati da condizioni di sovraccarico della rete fognaria o da inefficienza delle caditoie.

1.3 Dalle infrastrutture verdi ai sistemi di drenaggio urbano sostenibile

Le diffuse e pesanti limitazioni alle capacità idrauliche (trasporto e invaso) delle reti fognarie esistenti e degli alvei naturali hanno imposto la ricerca di scenari pianificatori atti ad una drastica riduzione delle portate di piena convogliate verso valle: rispetto all'orientamento tradizionale in cui si mira a convogliare ed allontanare le acque lontano dal sito nel più breve tempo possibile, il nuovo approccio consiste nell' intercettare e mantenere l'acqua piovana laddove essa precipita, piuttosto che gestirla attraverso sistemi imponenti a valle dell'area di drenaggio (*end of pipe*), abbattendo a monte le portate di piena con strategie di controllo basate su metodi di infiltrazione e sui criteri idraulici interconnessi di laminazione e rallentamento delle piene (Becciu & Paoletti, 2010).

Attraverso la laminazione, invaso temporaneo di volume che viene rilasciato successivamente all'evento, pur non variando il volume complessivo d'acqua uscente, si ottiene un valore massimo di portata in uscita inferiore al valore massimo di portata in entrata, ottenendo anche un effetto di ritardo della piena. Rispetto alla tradizionale strategia di canalizzazione e velocizzazione delle correnti verso il recapito di valle, compresa l'inadeguatezza di politiche di difesa del territorio impostate sul potenziamento delle sezioni e delle capacità di trasporto idraulico dei canali,

il nuovo approccio alla gestione del drenaggio urbano permette di limitare il trasferimento del problema verso valle, con conseguente riduzione dei costi.

Il tema della gestione delle acque piovane nelle aree urbane ha, dunque, subito profondi cambiamenti durante gli ultimi decenni (Fletcher et al., 2014; Fratini et al. 2012; Wong & Brown, 2008) e, di conseguenza, un intero nuovo campo di concetti *drainage-related* si è sviluppato con lo scopo di indagare gli obiettivi e promuovere i benefici dei nuovi approcci integrati (Fig. 1.6 e Tab.1.1).

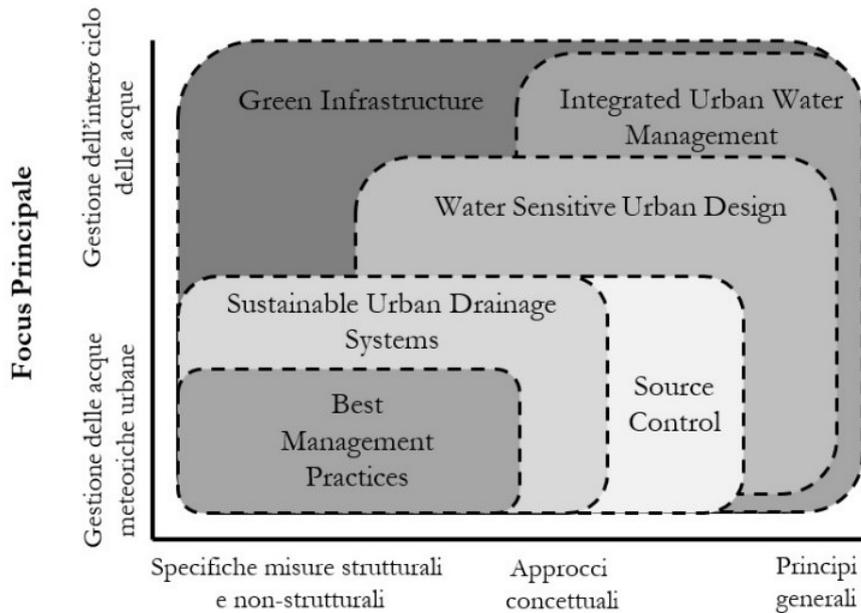


Figura 1.6 | I nessi di senso tra gli approcci alla gestione sostenibile delle acque meteoriche (adattata da: Fletcher et al., 2014)

All'interno della cornice omnicomprensiva delle infrastrutture verdi (Grant, 2010; EC, 2013), intese come sistemi ecologici multifunzionali (Benedict et al., 2012; La Greca et al., 2011), alle diverse scale territoriali e in ambiti tanto extraurbani quanto periurbani ed urbani, si riconosce l'affermazione di nuovi principi a carattere più generale per orientare la gestione dell'intero ciclo delle acque che, si declinano nei contesti urbani sino a definire nuove e specifiche misure di tipo strutturale e non strutturale per la gestione delle acque meteoriche.

Tabella 1.1 | Approcci e concetti sulla gestione urbana e territoriale delle acque

espressione concettuale	acronimo	descrizione	uso prevalente	riferimento
(<i>Low impact development</i>) Sviluppo a basso impatto	LID(s)	Minimizzare i costi della gestione delle acque piovane percorrendo la strada della progettazione con la natura (<i>design with nature</i>); configurazione del sito e misure di controllo integrate secondo la <i>natural hydrology</i> attraverso un "paesaggio idrologico funzionale equivalente"; incoraggiare le pratiche diffuse e scoraggiare le soluzioni <i>end of pipe</i>	Nord America Canada Nuova Zelanda	(Ahiablame et al., 2012; Fletcher et al., 2015; Mccutcheon & Wide, 2009)
(<i>Water sensitive urban design</i>) Progetto urbano idrologicamente consapevole	WSUD	Approccio filosofico alla pianificazione ed al progetto urbano finalizzato a minimizzare gli impatti idrologici dell'urbanizzazione sull'ambiente circostante; contempla strategie e sistemi per il controllo degli allagamenti, il miglioramento della qualità dell'acqua, la raccolta delle acque piovane ed il riuso	Australia Nuova Zelanda Regno Unito	(Ferguson et al, 2013; Fletcher et al., 2015; Morison & Brown, 2011)
(<i>Best management practices</i>) Pratiche di gestione migliorata	BMP(s)	Approccio consolidato prevalentemente orientato a salvaguardare la qualità delle acque dalle sostanze inquinanti. Originariamente usato per identificare pratiche strutturali, oggi il termine ingloba anche il riferimento alle pratiche strutturali di controllo delle acque, sia diffuse che concentrate	Nord America	(Cheng, 2012; Cherqui et al., 2013; Fletcher et al., 2015; Revitt, et al., 2005)
(<i>Integrated water management</i>) Gestione integrata della risorsa idrica	I(u)WM	Gestione integrata dell'intero ciclo delle acque all'interno di un bacino; in ambito urbano interessa complessivamente la gestione della risorsa in termini di approvvigionamento, uso, drenaggio e controllo delle falde, considerando aspetti tecnici, sociali e istituzionali		(Brown, 2005; Fletcher et al., 2015)
(<i>Green infrastructure</i>) Infrastrutture verdi	GI	Aree naturali, seminaturali o artificiali (<i>hubs</i>) collegate a rete tramite connessioni verdi e blu (<i>links</i>); sistemi ecologici multifunzionali, all'interno, attorno e tra le aree urbane ed alle differenti scale territoriali responsabili della fornitura di servizi e benefici eco-sistemici alle comunità	America Europa Australia	(Ahern, 2007; Fletcher et al., 2015; Gill et al., 2007; Mell, 2008; Tzoulas et al., 2007)
(<i>Sustainable Urban Drainage Systems</i>) Sistemi di drenaggio urbano sostenibile	SuDS	Insieme di tecniche e tecnologie per il controllo ed il drenaggio delle acque meteoriche, spesso usate secondo un principio di concatenazione e progettate considerando contestualmente obiettivi quali-quantitativi di gestione dei deflussi e potenziale ecologico per i paesaggi urbani	Regno Unito Irlanda	(Dickie et al., 2010; Fletcher et al., 2015; Kellagher et al., 2007; Scholz, 2015)
(<i>Source Control</i>) Controllo alla fonte	SC	Misure non strutturali e strutturali di controllo delle acque piovane dove esse precipitano, sfruttando le possibilità di attenuazione/detenzione/accumulo e con finalità di controllo prevalentemente quantitativo	Nord America Canada	(Fletcher et al., 2015)

Il principio condiviso dai nuovi approcci è la necessità di combinare misure strutturali e non-strutturali per la mitigazione del rischio di allagamento. Si punta a ridurre gli impatti dell'urbanizzazione soprattutto prediligendo l'adozione di soluzioni progettuali che facilitino il riequilibrio dei servizi eco-sistemici e l'integrazione di sistemi e tecnologie naturali nella logica di progetto delle infrastrutture verdi, portandola nel contesto delle aree urbane (ad esempio, il caso degli invasi di laminazione che, originariamente concepiti per essere destinati al solo controllo delle piene, rispondono oggi a scopi multipli e sono studiati anche per finalità urbanistiche, paesistiche o di fruizione (Walesh, 1989; Whelans et al., 1994).

La città *water-sensitive* diventa quella realtà urbana dove l'acqua viene percepita non solo come una minaccia legata al rischio degli allagamenti e ai danni conseguenti le piogge intense, ma prima di tutto come una risorsa insostituibile di inestimabile valore, oltre che elemento attrattivo del paesaggio (Fig.1.7) (Ashley et al., 2013).

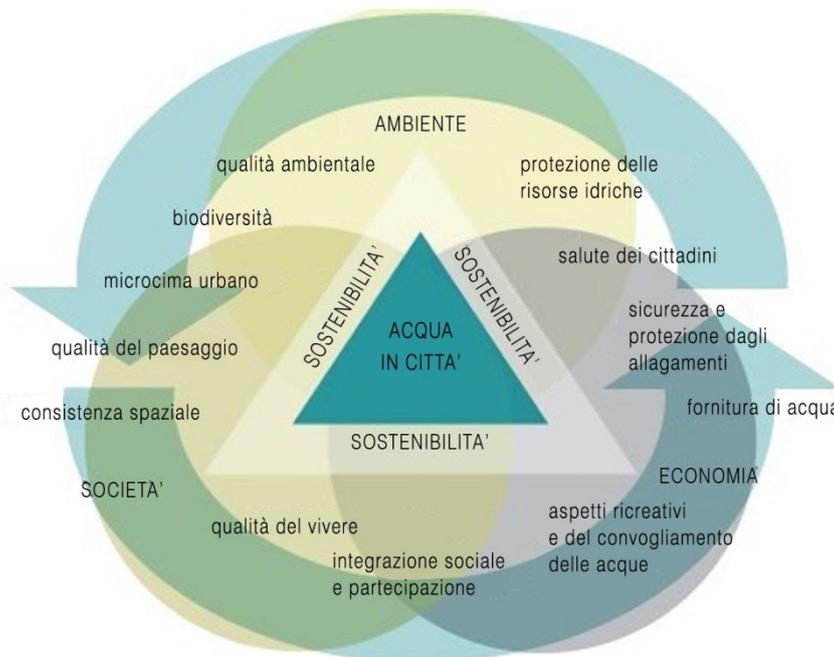


Figura 1.7 | Importanza dei *water ecosystems* nella triade dello sviluppo sostenibile (adattata da: Januchta Szostak , 2011)

Nella città *water-sensitive* il percorso dell'acqua attraverso il paesaggio urbano è gestito prestando attenzione al suo sviluppo, dalle origini nel territorio extraurbano o urbano ai punti di recapito sulle coste. La città stessa è un macro-bacino di utenza dove l'accesso alla risorsa per il suo utile impiego e la restituzione della stessa al ciclo idrologico avviene ad una diversità di scale spaziali e temporali (Jha et al., 2012; Januchta-szostak, 2012).

1.3.1 I sistemi di drenaggio urbano sostenibile: principi e benefici del loro impiego

Mentre il concetto delle infrastrutture verdi va tradizionalmente oltre l'ambito della gestione delle acque meteoriche (Kambites & Owen, 2007), i sistemi di drenaggio urbano sostenibile (SuDS- *Sustainable Urban Drainage Systems*), sono specificamente definiti come un insieme di misure "estensive" (diffuse nel territorio) per un controllo e drenaggio delle acque piovane più sostenibile rispetto alle soluzioni tecniche tradizionali (Fletcher et al., 2015). Essi ricalcano principi di funzionamento che mimano i processi idrologici naturali, con gli obiettivi principali di ridurre i picchi ed i volumi di portata durante le piene, incrementare l'infiltrazione, ricaricare le falde, proteggere i corpi idrici ed attivare meccanismi di rimozione degli inquinanti (Hunt et al., 2010), traducendo il nuovo tipo di approccio alla gestione delle acque di precipitazione (cfr.par.1.3) (Damodaram et al., 2010).

Puntando a mantenere il comportamento idrologico di un'area soggetta a trasformazione urbana quanto più simile a quello che le era proprio prima di tale trasformazione (Ahiablame et al., 2012), l'obiettivo generale alla base del loro impiego si configura nella minimizzazione degli impatti che la crescita determina in seno alla qualità e quantità del deflusso superficiale, oltre che nella massimizzazione delle opportunità di accrescimento della biodiversità e dell'amenità dei contesti (Kellagher et al., 2007).

Tuttavia, uno degli aspetti più interessanti dell'adozione di tali sistemi risiede nel fatto che essa può non limitarsi ai soli casi di nuova urbanizzazione ma contemplare potenzialmente l'ambiente già costruito, attraverso azioni di *retrofitting* urbano diffuso. Nessuna porzione dello spazio urbano, per quanto limitata, è infatti da ritenersi inutile. Piuttosto, esistono concretamente molte opportunità di integrazione dei sistemi all'interno della proprietà tanto pubblica quanto privata (Digman & Glerum, 2012).

Come sintetizzato in Figura 1.8, i benefici delle misure SuDS, rispecchiando quelli delle infrastrutture verdi, di cui possono considerarsi, in ultima analisi, elementi componenti alla scala urbana, non si limitano soltanto alla possibilità di gestire i rischi ambientali connessi agli allagamenti superficiali ma contribuiscono, ove possibile, al miglioramento complessivo delle condizioni ambientali (Kellagher et al., 2007), fornendo una molteplicità di altri servizi ecosistemici (CNT, 2010; Wu & Wu, 2013).

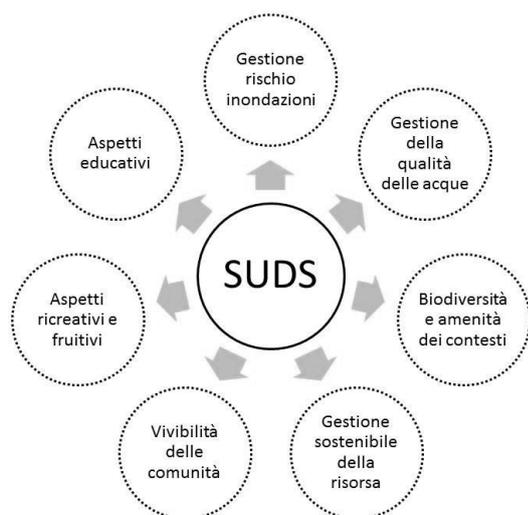


Figura 1.8 | Categorie di servizi e benefici ecosistemici forniti dalle misure SuDS (adattata da: www.susdrain.org)

Le attività civili comportano la produzione di esternalità negative sotto forma di inquinanti, sedimenti, scarti, oli, pesticidi, rifiuti di varia natura, causando livelli di inquinamento diffuso sul territorio, spesso recapitati a ricettori naturali senza che vengano opportunamente trattati. Alcune misure del tipo SuDS contribuiscono al miglioramento della qualità delle acque di dilavamento superficiale, trattenendo sedimenti e sostanze contaminate nel ruscellamento, ad esempio attraverso meccanismi di fitodepurazione o decomposizione biologica degli inquinanti (Dickie et al., 2010; Kellagher et al., 2007). Le misure SuDS offrono opportunità per migliorare le condizioni di vivibilità degli insediamenti, creando alternative di *habitat* che incoraggiano la biodiversità e, simultaneamente, possono fungere da spazi verdi, anche multifunzionali, per la fruizione e ricreazione collettiva. L'attrattiva dei luoghi viene incrementata grazie ad elementi qualificanti del paesaggio quali la vegetazione e l'acqua, garantendo una interazione anche semplicemente percettiva. Complessivamente, possono incoraggiare persino la riconquista di morfologie fluviali più ampie e rallentate, di nuove tortuosità e di zone vacue per il riequilibrio morfologico ed ambientale in prossimità, ad esempio, delle fasce fluviali (Becciu & Paoletti, 2010). L'opportunità di inserire le SuDS nello scenario urbano, a partire dagli spazi pubblici, permette tra l'altro di rispondere alla richiesta di ambienti più sani e verdi da parte della collettività, in diritto di aspirare ad una più elevata qualità dell'esperienza urbana. Nondimeno, progetti pilota di adozione di sistemi SuDS sono stati completati per scopi educativi e di divulgazione.



Figura 1.9 | Sfere di influenza delle misure SuDS
(adattata da: Woods and Ballard et al., 2007)

Appare evidente che la filosofia di approccio SuDS al progetto urbano risponde ad un triplice schema di obiettivi (Figura 1.9). Per mantenere l'assetto e i processi idrologici di un'area quanto più simili a quelli che le sono propri prima di una trasformazione urbana, la progettazione dei sistemi SuDS dovrebbe contemplare, ove possibile, un principio di "concatenazione" gerarchica in serie (Bastien et al., 2010).

In letteratura, è molto spesso evidenziato come questo principio sia fondamentale per ottenere schemi di misure SuDS efficaci rispetto alle *performance* idrologiche, ecologiche e paesistiche auspicate: usando misure di drenaggio in serie per ridurre gli inquinanti, le portate e i volumi progressivamente, si adotta una gerarchia nell'impiego delle tecnologie, dalle misure di controllo e gestione alla fonte a quelle alla scala di bacino, passando per le misure di controllo e gestione alla scala del sito (Fig.1.10) (Jefferies et al., 2008).

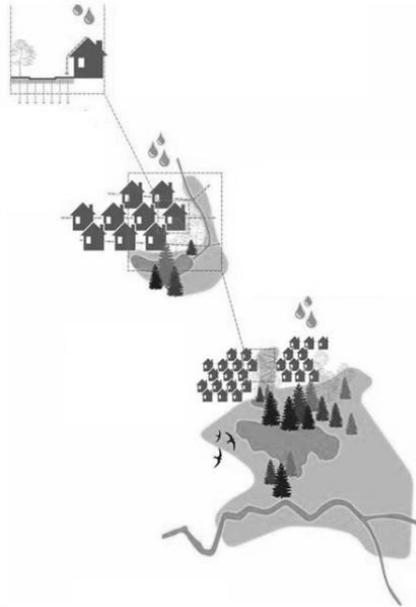


Figura 1.10| Schema di concatenazione gerarchica delle misure SuDS (da: Dickie et al., 2010)

Ove possibile, introdurre piccole misure di controllo alla fonte ma diffuse sul territorio, permette di gestire l'acqua piovana non appena essa precipita, con modalità efficaci ed economiche alla scala di limitati sottobacini, piuttosto che intervenire con opere di entità evidentemente meno modesta a valle dell'area di drenaggio.

Quindi, le tecniche che si trovano più in alto nella gerarchia sono preferibili a quelle immediatamente successive, così che il controllo dell'acqua alla fonte possa essere considerato sempre prima di tecniche di gestione alternative a livello di sito o bacino, convogliando l'acqua altrove solo se non è possibile gestirla in loco.

Ad ogni modo, dove le opportunità di controllo a monte sono limitate, un numero di opzioni gerarchicamente inferiori dovrebbero essere usate in serie. In generale, più alto è il numero di misure usate in serie, più la *performance* tende a risultare migliore, minimizzando il rischio di fallimento dell'intero sistema (Kellagher et al., 2007). Quindi, le misure SuDS possono essere utilmente impiegate alle scale del lotto, del comparto, del quartiere come del bacino e, ovviamente della città. Esse, sono più efficaci quando combinate tra loro, ma occorre tenere presente che è quasi impossibile ripristinare le condizioni di un sito allo stato esistente prima della trasformazione urbana e questo implica, soprattutto negli insediamenti caratterizzati da alte densità, la necessità di trovarsi, in ogni caso, a dover gestire un eccesso di deflusso superficiale. Esiste un limite rispetto al quale i sistemi SuDS sono in grado di tamponare gli impatti delle precipitazioni estreme in termini di ruscellamenti. Tutto ciò incide nella progettazione di queste infrastrutture così come nello sviluppo delle politiche di pianificazione (Ellis, 2013).

1.3.2 Classificazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile

I sistemi di drenaggio urbano sostenibile comprendono una varietà di misure, ciascuna caratterizzata da un prevalente processo/approccio da cui dipende la fornitura dei servizi eco-sistemici cui sono deputate.

La classificazione delle misure SuDS più comune, in letteratura come nella pratica professionale, si basa proprio sul processo/approccio-base di funzionamento. Si possono infatti identificare sei principali categorie: misure di controllo alla fonte, infrastrutture di convogliamento vegetate o artificiali, misure di filtrazione, misure di infiltrazione, misure di ritenzione e detenzione, aree umide; a queste più aggiungersi un ulteriore gruppo che comprende i dispositivi di immissione e fuoriuscita delle acque.

La tabella 1.2, a scopo esemplificativo, elenca e raffigura le più comuni misure SuDS raggruppandole secondo il criterio sopra esposto.

E' evidente, allora, che ogni misura ha delle specifiche caratteristiche che la rendono più o meno idonea ad essere inserita in un determinato contesto urbano, e che essa risponde potenzialmente alla fornitura di servizi eco-sistemici quali, appunto, quelli di natura regolativa, garantendo determinati livelli di prestazione. L'ampia letteratura e manualistica, prodotta in Europa ma anche e soprattutto negli Stati Uniti, ha indagato l'efficacia delle soluzioni nella riduzione dei volumi e/o dei picchi di portata e nella rimozione di specifici tipi di inquinanti dalle acque di ruscellamento, elaborando anche indicatori per il confronto dei risultati in termini di *performance* e benefici ottenuti dall'impiego di queste tecnologie alla scala di bacino ma anche e soprattutto alla micro-scala del lotto, attraverso studi sperimentali o grazie all'uso di software per la modellazione idrologica (Ahiablame et al., 2012). Alla scala locale, la valutazione della *performance* idraulica avviene usando un insieme di indicatori semplici correlati al picco di portata o al volume, oppure ancora indicatori che siano espressione della capacità di ritardare l'arrivo del picco di portata da un dato sottobacino, permettendo contestualmente ai picchi di portata provenienti da altri sottobacini di passare imperturbati. Per valutazioni di tipo idrologico, invece, vengono stimati i volumi di afflusso, deflusso, quelli infiltrati ed evapotraspirati prima e dopo l'adozione delle misure SuDS (Cherqui et al., 2013). La variazione del coefficiente di deflusso resta però tra gli indicatori più significativi e usati in letteratura per analisi di scenario di pre- e post-integrazione SuDS (Sun et al., 2014).

Tabella 1.2|Elenco non esaustivo di misure SuDS (adattata da Woods and Ballard, 2007, Dickie et al., 2010, Wilson et al., 2015; Susdrain,2016)

CONTROLLO ALLA FONTE

L'inclusione del controllo alla fonte nello schema di concatenazione gerarchica delle misure di gestione delle acque di precipitazione è uno dei principi più importanti alla base della progettualità SUDS. Misure di controllo alla fonte dovrebbero essere sempre presenti a monte di qualsiasi altro elemento del sistema. Il loro scopo precipuo è quello di permettere il controllo dell'acqua piovana laddove essa precipita evitando che diventi un problema da dover risolvere altrove.

tetti verdi						
		<p>Sistema multistrato a copertura di edifici o indipendente dove elementi fondamentali sono la copertura vegetale e il substrato di terreno al di sopra di uno strato drenante. Sono progettati per trattenere l'acqua piovana, attenuare i picchi di portata, ridurre i volumi di ruscellamento ed garantire evapotraspirazione</p> <p>(immagine da: http://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/source-control/green-roofs.html)</p>				
performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
medio	medio	alto	alto	si	medio-alto	medio
RWH-raccolta acque meteoriche						
		<p>Elementari sistemi di raccolta dell'acqua piovana: cisterne, barili, vasche sottotetto o sotterranee; se opportunamente impiegati, possono anche ridurre portate e volumi di ruscellamento; tuttavia, il loro impiego è consigliato in relazione alle possibilità di raccolta e uso dell'acqua per scopi non pregiati (attività domestiche o irrigue)</p> <p>(immagine da: http://rainwaterharvesting.tamu.edu/tank-material/)</p>				
performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
medio-alto	medio-alto	basso	basso	si	medio	medio-basso
pavimenti permeabili						
		<p>Queste superfici, adatte per il traffico veicolare e pedonale, possono essere di tipo poroso o di tipo permeabile e permettono l'infiltrazione dell'acqua in un strato sottostante; essa può essere temporaneamente raccolta prima di infiltrarsi nel suolo, recapitata ad un corpo idrico ricettore o ad un sistema di fognatura</p> <p>(immagine da: http://www.edilportale.com/prodotti/ferrari-bk/pavimentazione-drenante-per-esterni/linux_33565.html)</p>				
performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
alto	alto	alto	basso	si	medio	medio-basso

CONVOGLIAMENTO

Il trasferimento dell'acqua di dilavamento superficiale attraverso l'area e tra le componenti del sistema di drenaggio può essere effettuato con soluzioni più sostenibili, spesso inerbiti, che forniscono contestualmente un certo livello di trattamento e rallentamento delle acque. Strutturare una rete con un elevato numero di componenti in serie restituisce una più alta possibilità di contenere il rischio di fallimento generale del sistema e quindi, di inondazione.

canali inerbiti

		<p>Canali aperti, ampi e poco profondi progettati per raccogliere e /o convogliare il ruscellamento e rimuovere gli inquinanti; possono anche essere usati come strutture di convogliamento per trasferire il flusso di dilavamento alla fase successiva dello schema di concatenazione SuDS o per promuovere l'infiltrazione dove il terreno e le condizioni della falda lo consentono</p> <p>(immagine da: http://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/swales-and-conveyance-channels/swales.html)</p>				
performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
medio	medio	alto	medio	no	basso	medio

FILTRAZIONE

La filtrazione consente la rimozione di sedimenti ed inquinanti dalle acque di dilavamento superficiali grazie al loro intrappolamento all'interno del suolo, nelle piante o negli strati di geo-tessile

canali inerbiti

		<p>Strisce di terreno sono lievemente in pendenza, vegetate, forniscono opportunità per il lento convogliamento e l'infiltrazione ove essa è appropriata. Sono progettate per accogliere le acque di ruscellamento provenienti dalle aree urbanizzate a monte e sono spesso collocate tra le superfici impermeabili e i corpi idrici riceventi, i sistemi di raccolta, trattamento e smaltimento</p> <p>(immagine da http://www.3riverswetweather.org/green/green-solution-vegetated-filter-strip)</p>				
performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
basso	basso	medio	medio	si	basso	basso

aree di bio-ritenzione

		<p>Lievi depressioni spesso realizzate su terreni artificiali, migliorano la filtrazione e la riduzione del ruscellamento a valle grazie alla presenza della vegetazione; sono spesso finalizzate a gestire e trattare il dilavamento causato da eventi di pioggia frequenti</p> <p>(immagine da http://www.ence.umd.edu/~apdavis/Bioinstallations.htm)</p>				
performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
medio	medio	alto	medio-alto	si	basso	medio

INFILTRAZIONE

Queste misure sono usate per catturare l'acqua di ruscellamento superficiale e permetterle di infiltrarsi ed essere filtrata attraverso il substrato di terreno prima di raggiungere il livello freatico sottostante. Tuttavia, le condizioni al contorno possono essere tali da impedire la adozione di tali misure, soprattutto dove è alto il rischio di inquinamento

bacini di infiltrazione						
		Depressioni vegetate progettate per raccogliere le piogge e permettere all'acqua di infiltrarsi gradualmente nel terreno; sono generalmente asciutte tranne che nei periodi di piovosità intensa (immagine da: http://dnr.wi.gov/topic/stormwater/learn_more/photos.html)				
performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
medio	alto	alto	alto	no	basso	basso
giardini pluviali						
		Depressioni nel terreno relativamente piccole che possono agire come punti per l'infiltrazione dell'acqua proveniente dai tetti e per quella "pulita" proveniente da altre superfici. E' più facile che vengano adottati all'interno della proprietà privata e nelle vicinanze della casa: dove i pluviali vengono disconnessi dal sistema di drenaggio generale e reindirizzati verso queste aree (immagine da: http://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/infiltration/rain-gardens.html)				
performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
medio-	medio-alto	alto	medio-alto	si	basso	medio
trincee di infiltrazione						
		Basse trincee riempite con detriti e pietre che creano volumi di accumulo e raccolta delle acque temporanea e possono consentire sia l'infiltrazione e la filtrazione del ruscellamento che il suo convogliamento a valle (immagine da: http://nwrn.eu/measure/infiltration-trenches)				
performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
medio	basso o alto	alto	basso	si	medio	medio

LAMINAZIONE

Queste misure consentono l'invaso temporaneo dei volumi di piena riducendo le portate al colmo e ritardando i picchi. Possono essere diffuse sul territorio e integrate opere più imponenti a valle dei bacini di drenaggio

bacini di laminazione



Bacini di accumulo superficiale che consentono l'attenuazione del ruscellamento ed il controllo di particolari tipi di inquinanti; sono generalmente asciutti e possono essere fruiti anche come aree verdi a scopi ricreativi

(immagine da: http://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/retention_and_detention/Detention_basins.html)

performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
alto	basso	medio	medio-alto	si	basso	basso

aree umide



Queste aree umide detengono le acque per lunghi periodi permettendo ai sedimenti di depositarsi ed ai contaminanti di essere rimossi attraverso l'adesione alla vegetazione acquatica e la decomposizione aerobica; forniscono ampiamenti anche benefici dal punto di vista ecologico

(immagine da: http://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/retention_and_detention/retention_ponds.html)

performance quantità acque		performance qualità acque	benefici ambientali	retrofit	costo	
<i>riduzione picco di portata</i>	<i>riduzione volume</i>	<i>miglioramento qualità</i>			<i>capitale</i>	<i>Manutenzione</i>
alto	basso	alto	alto	no	alto	medio

Capitolo 2. Il “paradigma” della resilienza

Il rischio, si è detto, è un concetto dalla connotazione fortemente antropocentrica, in quanto manifesta il suo potenziale di pericolo nel momento in cui determina impatti sugli uomini e sui loro interessi, causando effetti che si ripercuotono su ambiente, economia, società. Le aree urbane concentrano al loro interno tutti quegli elementi che, combinati tra loro, le rendono oggetti ad alta vulnerabilità (Dickson et al., 2014): gruppi di persone, infrastrutture e patrimonio costruito, risorse materiali ed immateriali.

Le dinamiche di urbanizzazione incontrollata e l'inefficacia del governo del territorio ad affrontare le mutate e mutevoli condizioni al contorno, non fanno che esacerbare le crisi in atto. Ciò che molto si paventa non sono soltanto i cambiamenti climatici e gli effetti che ne derivano, ma tutto un intero spettro di cambiamenti ambientali a livello globale che interagiscono con la società in continua rapida globalizzazione (Folke et al., 2011). Di fronte a condizioni di incertezza e rischio ambientale, socio-economico e politico, man mano che le aree urbane hanno continuato ad espandersi ed a lottare contro la fragilità della loro dipendenza da flussi energetici, alimentari, di materiali e di informazioni, che provengono da sistemi inter-scalari (Saporiti, et al., 2012), l'attenzione dei ricercatori e degli attori coinvolti attraverso numerose e diverse discipline, scale di approfondimento e settori, si è concentrata sul “paradigma” della resilienza (Desouza & Flanery, 2013; Leichenko, 2011). Quest'ultima è stata investita del ruolo di obiettivo primario per le città le quali, ospitando la maggior parte della popolazione mondiale e funzionando come nodi di produzione e consumo di risorse nonché luoghi di innovazione e progresso, sono diventate “laboratori per la resilienza” (Meerow et al., 2016), sia a livello teorico che a livello pratico.

L'approdo alla resilienza, concetto che migra e trova terreno fertile anche nell'urbanistica delle città contemporanee, è sintomatico di una vera e propria rincorsa concettuale nel tentativo di trovare parole più adatte per restituire atteggiamenti operativi che si vogliono più incisivi, spesso più latenti e strategici, nei confronti delle grandi trasformazioni in atto (Gabellini, 2015).

Lì, dietro l'angolo, è però rimasto e cresciuto lo spauracchio dell'ideologismo che, in questi anni, ha portato la resilienza ad imbellettarsi di sovrastrutture concettuali spesso inutili, condannandola ad essere additata, in un vicino futuro se non già oggi, come neologismo alla moda, svuotato di significato e valenze progettuali. Se, combattendo le sue possibili degenerazioni, si accetta di adottare la prospettiva della resilienza in urbanistica e di perseguirla, occorre definire il concetto quanto più chiaramente o, quantomeno, declinarlo. In tal senso, questo capitolo esamina i contributi della letteratura scientifica sul concetto di resilienza e mette a sistema, in un quadro univoco, i nessi di significato che legano la resilienza alla pianificazione urbana, nello specifico contesto della gestione sostenibile delle acque meteoriche e del progetto del drenaggio sostenibile.

2.1. La teoria della resilienza

2.1.1 Il dibattito multidisciplinare internazionale

L'uso del termine resilienza è ricorrente nel lessico di numerose discipline e nel parlare comune, dall'ingegneria, alla ecologia fino alla psicologia, con significati quasi mai omogenei (Colucci, 2012; MacAskill. & Guthrie, 2014) ed ha assunto, quindi, varie connotazioni in funzione del quadro concettuale in cui si è inserito. In particolare, proprio la prospettiva ingegneristica e quella ecologica hanno dato origine ai due principali, e più frequentemente richiamati, approcci alla questione della resilienza (*engineering resilience vs ecological resilience*) (Pickett, et al., 2004; Wu & Wu, 2013). La tabella 2.1 raccoglie solo alcune delle definizioni rintracciabili nella letteratura accademica ed evidenzia chiaramente, anche se senza pretese di completezza, la varietà caotica e ambigua di enunciazioni rispetto alle quali, però, è possibile ravvisare elementi comuni, un certo numero di *fil rouge* che ricorrono come tensioni concettuali interne alla teoria stessa (Meerow et al., 2016) e ricompaiono allorquando la resilienza viene definita come resilienza "urbana".

La resilienza non esiste se non esiste il rischio di un "disturbo", sia esso di natura sociale, ambientale, economica o, più verosimilmente, di una combinazione di "disturbi", che solleciti le capacità di risposta del "sistema urbano" e delle componenti che insieme concorrono a costituirlo. Quasi sempre essa è discussa con accezione positiva, come caratteristica auspicabile di cui dotare i sistemi affinché se ne garantisca il funzionamento.

Dalle sue origini ed attraverso i successivi sviluppi, la teoria della resilienza ha rappresentato un corpo di idee, principi e conoscenze valido per comprendere, gestire ed analizzare più da vicino i sistemi ecologici complessi (Meerow et al., 2016; Lu & Stead, 2013; Primm, 1984) ma è soprattutto diventata una cornice concettuale inclusiva e potente da cui distillare alcuni elementi fondamentali per costruire nuove categorie interpretative ad uso di discipline come la pianificazione spaziale e la pratica della progettazione urbana.

Tabella 2.1 | Definizioni di resilienza

Autore (anno)	Definizione	Rivista/ Area tematica
Meerow et al. (2016)	"Urban resilience refers to the ability of an urban system-and all its constituent socio- ecological and socio-technical networks across temporal and spatial scales-to maintain or rapidly return to desired functions in the face of a disturbance, to adapt to change, and to quickly transform systems that limit current or future adaptive capacity"	Landscape and urban planning
Carpenter et al. (2001)	"Resilience is the magnitude of disturbance that can be tolerated before a socio-ecological system moves to a different region of state space controlled by a different set of process"	Ecosystems
Desouza et Flanery (2013)	"Resilience in terms of cities generally refers to the ability to absorb, adapt and respond to changes in an urban system"	Cities
Walker et al. (2006)	"Resilience is the capacity of a system to absorb disturbances and reorganized while undergoing change so as to still retain essentially the same function, structure, identity and feedbacks"	Ecology and Society
Resilience Alliance (2009) in Miller et al. (2010)	"The ability of a system to absorb shocks, to avoid crossing a threshold into alternate and possibly irreversible new state, and to regenerate after disturbance"	Ecology and Society
Holling (1973)	"A measure of the persistence of systems and their ability to absorb changes and disturbance and still maintain the same relationships between populations or state variables"	Ecology
UNISDR (2009)	"Resilience means the ability of a system, community or society exposed to hazards to resist, absorb, accommodate to and recover from the effects of a hazard in a timely and efficient manner, including through the preservation and restoration of its essential basic structures and functions"	Disaster Risk Management
Djordjevic et al. (2011)	"The capacity of a system, community or society, potentially exposed to hazards, to adapt by resisting or changing, in order to reach and maintain an acceptable level of functioning and structure"	Environmental Science & Policy
López-Marrero and Tschakert (2011)	"A resilient system is able to absorb hazard impacts without changing its fundamental functions; at the same time it is able to renew, reorganize and adapt when hazard impacts are significant"	Environment & Urbanization
The Rockefeller Foundation and Arup (2014)	"City resilience describes the capacity of cities to function, so that the people living and working in cities – particularly the poor and vulnerable – survive and thrive no matter what stresses or shocks they encounter"	Urban resilience
Voskamp and Van de Ven (2014)	"The ability of a system (the city) to adapt and adjust to changing internal or external processes"	Building and Environment
Lhomme et al. (2013)	"The ability of a city to operate in a degraded mode and recover its functions while some urban components remain disrupted"	Natural Hazard and Earth System Sciences
Alberti et al. (2003)	"The degree to which cities are able to tolerate alteration before reorganising around a new set of structures and processes"	BioScience

Gli anni 70' ed 80' si caratterizzano, in particolare, per le ricerche di Holling (1973) sugli eco-sistemi complessi, sulle loro dinamiche di evoluzione e, appunto, sul concetto di "sistemi resilienti" (de Bruijn, 2004).

La caratteristica precipua di questi sistemi è quella di ri-stabilirsi dopo il verificarsi di uno o più disturbi, non necessariamente tornando nelle condizioni di partenza, ma senza che le loro strutture basilari ed il loro funzionamento vengano stravolti, portando al configurarsi di sistemi diversi (Walker & Salt, 2006). Holling (2001) sottolinea anche che, nella realtà, i sistemi complessi sono raramente statici e che, piuttosto, mutano continuamente e con un certo grado di imprevedibilità, aprendo la strada ad una deviazione dal "paradigma della stabilità" cui si erano rifatti tradizionalmente gli studi sull'ecologia (Meerow et al., 2016; Walker et al., 2014; Wu & Wu, 2013). E' però vero che, gli stessi sistemi complessi, devono anche basare il loro funzionamento su processi stabilizzanti affinché riescano a persistere nel tempo (Carpenter et al., 2001; Meerow et al., 2016; Miller et al., 2010), in una apparente continua contraddizione tra mutamento e stabilità, connaturata alla natura stessa dei sistemi in evoluzione (de Bruijn, 2004). La dicotomia tra i paradigmi di equilibrio e non-equilibrio ha stimolato gli approfondimenti teorici successivi rendendo disponibili i due principali approcci ad essere spesso richiamati negli studi di letteratura, ma individuando in quello più recente la chiave di lettura delle dinamiche proprie dei sistemi socio-ecologici complessi tra cui figura, per l'appunto, la città.

Ricorrendo all'uso della metafora è stato possibile stimolare la creazione di nuovi concetti tecnici, nuove idee, nuovi modelli rappresentativi della realtà ed usare gli stessi approcci in contesti molto diversi (Desouza & Flanery, 2013; Pickett et al., 2004). Il costrutto metaforico della "città resiliente" comincia a comparire nel dibattito disciplinare proprio quando si consolida il ricorso all'analogia che trasferisce alle aree urbane lo status di sistemi socio-ecologici complessi (Batty, 2008; Godschalk, 2003; Serre et al., 2007). Così, le molteplici connotazioni, talvolta pure contraddittorie, attribuite originariamente agli eco-sistemi (entità organiche, macchine, strutture fragili, strutture robuste, strutture connesse, adattabili, complesse) sono divenuti caratteristiche aggiunte delle aree urbane, portando ad importanti avanzamenti scientifici nella comprensione delle loro dinamiche di funzionamento.

Analizzare ed interpretare le risposte in termini di resilienza guardando la città nel suo complesso, seppur facendo affidamento alle possibilità offerte da una analisi per componenti, necessita di ampia conoscenza e capacità di riconoscere gli elementi costituenti il sistema urbano, come essi operano e come interagiscono tra loro; inoltre, richiede adeguate capacità di modellazione e simulazione in termini spaziali e temporali, quest'ultime pur sempre inficiate dalla presenza di un inevitabile grado di incertezza. Numerose ricerche, in tal senso, hanno restituito modelli concettuali di riferimento per rappresentare la città, e distillato proprietà e strategie che dovrebbero significarne un comportamento resiliente. E' comune il ricorso ad approcci analitico-interpretativi che scompongono la città-sistema socio-ecologico-adattivo-complesso, in elementi base o sottosistemi. Ad un livello generale, possono distinguersi i due macro-ambiti fisico e sociale che comprendono, rispettivamente, le risorse fisiche con i

processi di interazione che ne permettono la gestione, e la componente umana rappresentata dagli individui, dalle istituzioni e dalle attività (Desouza & Flanery, 2013; Godschalk, 2003; Gourbesville, 2012).

Altri modelli di città proposti (Fig.2.1) si basano su due o più sub-sistemi (ambiente costruito e componente sociale, insieme con gli apparati di supporto/funzionamento (Pickett et al., 2004) tra cui si istaurano i flussi metabolici propri delle dinamiche socio-ambientali) (The Resilience alliance, 2007; Colucci, 2012).



Figura 2.1 | Scomposizione del sistema città e resilienza

In realtà, non è possibile immaginare che esista un modello universale di “città resiliente” cui ispirarsi per definire i più corretti modi di intervento urbano. Purtroppo, alcuni “indizi di resilienza” possono scoprirsi dalla lettura dei territori e sono stati proposti in letteratura come “principi” dei sistemi urbani a comportamento resiliente (Jabareen, 2013; Galderisi & Ferrara, 2012).

Multifunzionalità o flessibilità (*multifunctionality-flexibility*), ridondanza e modularità (*redundancy-modularity*), diversità (*diversity*), connettività (*connectivity*), e apprendimento (*learning-knowledge*) rappresentano i principali (Albers & Deppish, 2013; Balsells et al. 2013; Wu & Wu, 2013; Colucci, 2012; Ahern, 2011).

In particolare, pianificatori e progettisti sono chiamati a costruire la resilienza a partire da nuove possibilità ed occasioni per garantire la fornitura di servizi eco-sistemici (Carabine et al., 2015) anche in assenza di spazi aperti, soprattutto nelle aree urbane compatte. La multifunzionalità dei componenti urbani può essere raggiunta con la combinazione di più funzioni, le une sulle altre o alternate nel tempo ed è anche condizione a supporto dell'accrescimento di diversità. Quest'ultima, può connotare tanto gli aspetti ambientali e biologici quanto quelli sociali, economici e dell'ambiente costruito; permette al sistema urbano di rispondere allo stesso disturbo o ad un insieme di disturbi, mettendo in campo una varietà di strumenti e misure, e consentendo maggiori possibilità per l'adattamento nel tempo attraverso una serie di opzioni, ciascuna caratterizzata da specifici principi di funzionamento. Al contempo, ridondanza e modularità sono

garantite quando una molteplicità di elementi forniscono lo stesso o simili servizi, e possono essere usate per evitare di affidare lo svolgimento di una certa funzione urbana ad un solo elemento, la cui crisi si tradurrebbe nella crisi di tutto il sistema. Ancora, proprio perché la città è concepita come sistema complesso, la connettività delle reti che mettono in relazione e supportano i suoi sub-sistemi è un parametro critico per il buono o cattivo stato di funzionamento dell'intero sistema, soprattutto con riferimento a scale spaziali diverse, lungo le quali avviene spesso la frammentazione.

Infine, un sistema urbano resiliente è quello che costruisce le sue dinamiche di persistenza sui processi di apprendimento continuo dal proprio presente e dal proprio passato, incoraggiando le relazioni sociali e la partecipazione ai processi decisionali.

2.1.2 Resilienza e città nel dibattito disciplinare

Il contenuto di queste riflessioni, è evidente, non ha sempre rivestito caratteri di innovazione rispetto alla teoria ed alla pratica della pianificazione.

Lo studio di numerose esperienze, soprattutto nei contesti urbani più virtuosi, ha mostrato che alcuni di questi indizi erano già presenti nella pratica della pianificazione urbana (Albers & Deppish, 2013).

Cosa aggiunge la teoria della resilienza alla disciplina (Toubin et al., 2012)? Come aiuta le strategie ad essere più incisive e più rispondenti ad un contesto di profondi cambiamenti? (Klein, 2003). Secondo alcuni autori, la resilienza va' intesa come un atteggiamento concettuale e culturale utile non tanto ad improvvisare cavilli teorici, privi di ricadute positive e propositive per il territorio da pianificare, quanto a creare consapevolezza di quali siano i temi veri ed emergenti da affrontare per chi studia ed opera quotidianamente nelle realtà multiformi del territorio, ponendosi, tra l'altro, in una più giusta prospettiva, per analizzare criticamente gli strumenti e le pratiche di pianificazione (Gabellini, 2016).

Questo rinnovato atteggiamento culturale concepisce l'elemento del rischio e la complessità di prendere decisioni affette da incertezza e imperfetta conoscenza sulle future dinamiche di cambiamento, come una opportunità di "imparare nel fare" (*learn-by-doing*) (Liao, 2012; Ahern, 2011).

I piani ed i progetti possono diventare il campo delle "ipotesi" su come le politiche, i loro strumenti e le pratiche di progetto possano influenzare processi e funzioni all'interno di un particolare contesto territoriale e la loro effettiva attuazione si traduce in un insieme di "esperimenti" da cui esperti, teorici, e attori decisionali in generale possono ricavare elementi di conoscenza e progresso, anche attraverso fasi continue di monitoraggio ed analisi (Ahern, 2011).

La "città resiliente" è ormai da anni questione sempre più centrale anche nel dibattito nazionale, nella ricerca e nell'iniziativa amministrativa, nonostante le difficoltà di misurarne l'attualità e l'efficacia nei processi reali del cambiamento urbano e di declinarne il senso e l'operatività nei contesti in cui viviamo e lavoriamo (Gasparrini, 2015). Eppure, il futuro delle città dipende dalla capacità di favorirne l'adattamento ai grandi cambiamenti in atto, ormai profondamente intrecciati. In particolare, nelle politiche per le città occorre guardare insieme sia al consumo di suolo (che si è fissato

sull'aspetto più eclatante della diffusione insediativa) che al "consumo di ambiente": i danni causati dagli eventi calamitosi, dalla crisi idrica e dalle ondate di calore, dall'inquinamento di aria, acqua, suolo hanno palesi connotati economici e sociali, minando alla base i postulati del benessere (Gabellini, 2015).

La migrazione della resilienza all'urbanistica carica il concetto di nuovi significati e valenze progettuali (Stumpp, 2013), nel campo ambientale in primo luogo, ma anche in quello sociale ed economico dove le politiche volte a ridurre il "consumo di ambiente" comportano profondi cambiamenti (Gabellini, 2015).

Le nostre agende urbane sono ancora limitate, monche, slegate con le altre agende tematiche. Il nuovo campo di lavoro dovrebbe orientare i modi attraverso cui le autorità di governo destinano le risorse e definiscono le politiche sulle città, evitando la frammentazione dei canali e dei soggetti ed un approccio al rischio disorganico e dal carattere della straordinarietà.

In Italia, in particolare, tale campo di lavoro stenta a trovare ospitalità nelle proposte di legge urbanistica nazionale come nella gran parte dei piani urbanistici che dovrebbero, invece, ripensare strutturalmente il modo di essere progettati e gestiti; dovrebbe rientrare già nella discussione sui piani strategici delle città metropolitane, ed informare gli orientamenti di spesa dei fondi europei, che rischierebbero altrimenti di riproporre una visione nuovamente settoriale della progettualità su acqua, rifiuti, energia, suoli e mobilità (Gasparrini, 2015). Finché patrimonio ambientale e progettazione urbanistica resteranno slegati, il primo verrà costretto in approcci settoriali e la seconda perderà rilevanza, mentre le azioni di mitigazione ed adattamento potranno incidere concretamente sulle scelte insediative, forse solo comportando l'obbligo di rispettare le prestazioni ambientali di insediamenti ed edifici come parametri valutabili e non più finalità generaliste (Viviani, 2015).

Se si accetta di perseguire la resilienza in urbanistica, vanno riconosciuti gli specifici fattori di rischio dei territori urbani e individuati i cosiddetti "profili di rischio" cui possano corrispondere, appunto, "profili di resilienza", i luoghi e i modi prioritari per azioni che favoriscano nuovi equilibri. Serve assumere un atteggiamento orientato ai luoghi ed alle comunità, guardando ai contesti ed alle popolazioni insediate, poiché lo sguardo non può essere vincolato dai limiti amministrativi ma, piuttosto deve essere attento ai luoghi (Viviani, 2015). In altri termini: occorre declinare, di volta in volta, la resilienza.

2.2 Resilienza generale e resilienza specifica

L'importanza di leggere la resilienza come concetto "urbanisticamente" utile emerge dalla frequenza, vastità e qualità delle ricerche sul tema come dei progetti sul territorio. Tuttavia, per scongiurare le derive di vacuo astrattismo di cui si è detto, può essere utile richiamare la conveniente distinzione tra dimensione generica (*general resilience*) e dimensione specifica della resilienza (*specified resilience*) (Walker & Salt, 2006; Gersonius, 2008; Wu & Wu, 2013).

La lettura della resilienza passa attraverso la lettura della reazione del sistema al/ai disturbo/i a cui è soggetto (Ahern, 2011). In particolare, analizzare la resilienza di un sistema a livello "generale" implica guardare alle reazioni complessive del sistema e, quindi, alla sua capacità di limitare la durata e gravità delle conseguenze dovute ad imprevedibili disturbi, senza che si specifichi un particolare tipo di *shock* o una specifica variabile rappresentativa della risposta del sistema (Wu & Wu, 2013); generalmente, ci si riferisce ad essa guardando il sistema nella sua interezza, analizzandola, tipicamente, con strumenti di natura descrittiva-qualitativa, spesso circostanziati in termini di "proprietà" o "attributi" assimilabili, in estrema battuta, a criteri progettuali (Butler et al., 2014) da seguire per il progetto della città da costruire, da riqualificare o da rigenerare; un esempio potrebbe considerarsi proprio il lavoro della letteratura scientifica sulla metafora di "città della resilienza" che ha determinato la definizione di modelli di analisi e l'individuazione di generici principi che le aree urbane dovrebbero mirare ad accrescere (par. 2.1), lasciando ampi margini di flessibilità alla loro interpretazione e traduzione pratica a livello di piano e progetto locale.

Al contrario, guardare la resilienza in termini "specifici", corrisponde a sciogliere il nodo della sua definizione in termini "di cosa" (rispetto) "a cosa" (*"resilience of what to what"* (Carpenter et al., 2001)) e quindi, in particolare: *i*) individuare chiaramente il sistema specifico (o la parte di esso) di cui si vuole valutare la risposta, e *ii*) individuare chiaramente il fattore perturbante (il tipo di rischio) (Wu & Wu, 2013).

In questo modo diventa anche possibile tentare misurazioni quantitative della resilienza, fissando, però, orizzonte temporale e scala spaziale di riferimento. E' la resilienza specifica, pertanto, a poter essere immediatamente collegata agli strumenti (Butler et al., 2014) non strutturali e strutturali, che la pianificazione territoriale ha a disposizione per guidare le trasformazioni spaziali (dal livello delle politiche al livello delle pratiche).

Poiché la resilienza non è direttamente osservabile (Liao, 2012) ma è, piuttosto, un costrutto teorico (Breen & Anderies, 2011), una proprietà di propensione legata alla risposta di un sistema ad eventi probabili, per esercitare un controllo su di essa occorre metterla in una qualche relazione con altre caratteristiche ed evidenze che possano essere verificate attraverso l'osservazione, diretta o mediata da teorie aggiuntive.

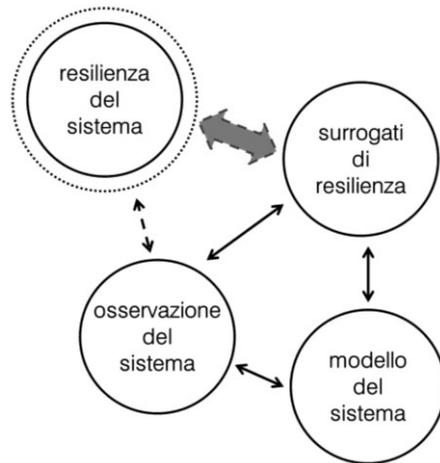


Figura 2.2 | Relazioni tra resilienza, surrogati e modello di rappresentazione del sistema.

(adattata da: Carpenter et al., 2005)

può essere variabile nel tempo, rendendo necessaria una corrispondenza puntuale tra i surrogati individuati e gli aspetti teorici della resilienza stessa (Carpenter et al., 2005).

Pertanto, sono le variabili significative ed i “surrogati” ad essere osservabili. Determinarli prevede anche la scelta di un modello che sia rappresentativo del sistema che si sta studiando, dopo aver preventivamente inquadrato lo specifico scenario di rischio e i processi di *feedback* che possono agire da amplificatori o moderatori (*enhancers* o *suppressors*) sulle componenti costituenti il rischio stesso (Abunnasr, 2013; Bennett et al., 2005; Desouza & Flanery, 2013). È fondamentale che il legame tra osservazioni, surrogati e modelli (Fig.2.2) sia esplicito e trasparente, pur ammettendo che la relazione tra surrogati e resilienza rimanga affetta da un certo grado di incertezza (Carpenter et al., 2005).

2.2.1 Resilienza specifica dei bacini urbani agli allagamenti superficiali

La tabella 2.2 riassume il processo logico brevemente descritto nel par. 2.2 aiutando a circostanziarlo nel contesto della presente ricerca ed esplicitando come avviene il passaggio concettuale tra resilienza generica e resilienza specifica, dalla definizione del sistema e del rischio cui è soggetto, sino all'individuazione dei “surrogati” per leggere la sua risposta all'evento perturbante.

Tra Le variabili significative per descrivere la risposta del sistema individuato, che sono in qualche modo osservabili e misurabili, alcune possono essere usate come “indicatori” di resilienza o di “capacità surrogate”, da cui essa stessa dipende (Balsells et al., 2013a; Bennett et al., 2005).

Facendo ricorso a questo espediente è importante, però, ricordare che non è possibile rappresentare la resilienza, seppur specifica e seppur indirettamente, con un solo surrogato e che la relazione tra resilienza e surrogati

Tabella 2.2 | Steps per la definizione della resilienza specifica

Fase	Interrogativo	Risposta	Fattori critici
1/Inquadramento	Rispetto a quale disturbo/rischio vogliamo valutare la resilienza del sistema?	-Piogge brevi (ad elevata intensità e breve durata)/ deflussi generati dalla trasformazione degli afflussi	-Crisi dei sistemi di drenaggio -Allagamenti superficiali -Esposizione dei soggetti vulnerabili a crescenti livelli di pericolosità
	Come si identifica il sistema?	-Il sistema coincide con l'entità spaziale del bacino (urbano) rispetto ad una sezione di chiusura, analizzato in senso duale (<i>minor +major system</i>) (par.4.3.3)	-Capacità idrauliche -Coefficienti di deflusso -Densità urbane -Interfaccia tra reti di drenaggio sotterranee e reti di deflusso superficiale
2/Processi di feedback	Quali sono le variabili significative che subiscono modificazioni?	-Portata di piena al colmo -Volume di deflusso e di allagamento -Forma dell'idrogramma -Altezze idriche e velocità di corrente (nella rete stradale)	-Crisi dei sistemi di drenaggio -Allagamenti superficiali -Esposizione dei soggetti vulnerabili a crescenti livelli di pericolosità
	Quali sono i processi che determinano un cambiamento delle variabili significative?	(<i>enhancers</i>) -Consumo di suolo ed impermeabilizzazione -Depauperamento capitale naturale -Inadeguato approccio allo smaltimento delle acque meteoriche (<i>suppressors</i>) -Mitigazione ed adattamento (misure strutturali e non strutturali/politiche locali per l'infrastrutturazione verde, contenimento consumo di suolo, trasformazioni urbane ad invarianza idraulica ed idrologica)	-Alterazione libero regime delle acque superficiali -Alterazione qualitativa delle acque -Modifiche del bilancio idrologico -Maggiore velocità dei deflussi e aumento delle portate ai corpi ricettori
	Quali sono le forzanti esterne che legano processi e variabili di sistema?	-Urbanizzazione -Eventi meteorici	-Piano e progetto delle trasformazioni urbanistiche -Cambiamento climatico
	Quali sono gli elementi chiave del sistema e come entrano in relazione reciproca?	-Rete di smaltimento sotterranea -Rete superficiale/stradale e vettori - preferenziali di deflusso -Sottobacini superficiali (usi del suolo, morfologie e tipologie urbane, e caratteristiche fisiche e topografiche)	-Scambi dei volumi di deflusso attraverso i nodi di connessione tra rete sotterranea e rete superficiale
4/Indicatori (surrogati) di resilienza	Da cosa dipendono, se esistono, i limiti delle variabili di sistema considerate?	-Capacità di trasporto idraulico della rete di smaltimento sotterranea -Capacità di detenzione ed infiltrazione superficiale -Caratteristiche fisiche e geometriche della rete stradale	-Tempi di ritorno che governano il progetto dello smaltimento (fattori di incertezza) -Permeabilità dei suoli e multifunzionalità delle aree non urbanizzate
	Quali capacità/attributi del sistema descrivono la sua risposta in termini di resilienza?	-Capacità di assimilazione -Capacità di recupero -Capacità di adattamento	-Relazione con le componenti del rischio e scelta di indicatori di resilienza (Figura 2.5)

La trasformazione dei suoli determinata dall'urbanizzazione ed i processi di cambiamento climatico sono considerati forzanti del sistema a scala locale ed a scala vasta, responsabili le prime di importanti modifiche idrologiche, dell'incremento dei coefficienti di deflusso e delle portate di piena (cfr. par.1.2) e le seconde, anche se parzialmente e non secondo tutti gli esperti, per le mutate condizioni del micro-clima urbano. Nel discutere il problema degli allagamenti superficiali, poi, sebbene la resilienza specifica del sistema dipenda dall'insieme dei suoi componenti fisici, sociali, ambientali, economici, dovendo in qualche misura limitare, come spesso avviene, gli scopi della ricerca (Birgani, 2013), si è scelto di indagare i soli aspetti legati all' ambiente costruito.

I limiti del sistema urbano sono individuati da "soglie" di funzionamento dettate dalla sua "resistenza" (Carpenter et al., 2001).

Infatti, quando un sistema subisce una sollecitazione, può reagire oppure non reagire (de Bruijn, 2004). Nel primo caso si dice che il sistema è resiliente ed interessa studiarne le capacità e le caratteristiche di risposta; nel secondo caso si parla, invece, di sistema resistente, dove l'intensità della sollecitazione non è sufficiente a spingere lo stesso sistema oltre i propri limiti di funzionamento. La reazione del sistema alla trasformazione delle piogge in deflussi superficiali (trasformazione afflussi-deflussi) dipenderà, quindi, dalla sua resistenza e dalla sua resilienza. Semplificando, la prima può essere definita come l'abilità del sistema di convogliare le portate di piena al colmo generate dall'evento meteorico sulla base del tempo di ritorno di progetto (Hammond et al., 2015), la seconda come la capacità di gestire e superare l'evento di allagamento. Si ritiene esistere un certo legame tra resistenza e resilienza ma non c'è convergenza sulla relazione che lo governa e che rimane tutt'oggi indeterminata (Butler et al., 2014). In sostanza, in un sistema resiliente gli allagamenti possono avvenire con impatti più o meno significativi e assimilati più o meno rapidamente; in un sistema resistente le portate defluenti non si traducono in allagamenti (de Bruijn, 2004).

La "soglia" di reazione del sistema (*threshold capacity*) corrisponderà alla massima portata di deflusso che non determina la sua crisi (allagamento); la "ampiezza" della reazione dipenderà dalla capacità del sistema di assorbire gli impatti causati dall'evento perturbante; il "tasso" di recupero è rappresentato dalla velocità di ritornare alle condizioni di funzionamento ordinarie (smaltimento della piena e dell'allagamento).

In tal senso, il dibattito scientifico ha esplorato possibilità di individuare e definire alcune "capacità" (surrogate) del sistema con le quali descrivere la risposta di resilienza del sistema. Come già accadeva nel caso della più generale definizione di resilienza e di "proprietà" delle città resilienti (par. 2.1.1), anche a queste "capacità", sebbene indagate con specifico riferimento al contesto della gestione degli allagamenti, sono state confusamente attribuite numerose e non sempre concordanti accezioni (Francis & Bekera, 2014; Voskamp & Van de Ven, 2014; Balsells et al., 2013; Birgani, 2013; Ning et al., 2013; Xiong et al., 2013; Gersonius, 2008; de Bruijn, 2005; Hashimoto et al., 1982).

In particolare, Birgani (2013) incorpora nella resilienza agli allagamenti il concetto di “capacità di recupero” (*recovery capacity*), come inteso anche da Hashimoto et al. (1982), definendolo come la velocità di recupero da una condizione di crisi. Essa può essere ben rappresentata dal tempo che intercorre tra l’inizio dell’allagamento in almeno un nodo del sistema di drenaggio e la fine dell’allagamento in tutti i nodi dello stesso sistema.

Invece, l’abilità di limitare il danno quando il sistema non è in grado di resistere al disturbo è rappresentativa della “capacità di assimilazione” (*coping/absorption capacity*) (Gersonius, 2008). Ancora, parlando di “capacità adattiva” (*adaptive capacity*), Gersonius (2008), stavolta in senso più ampio, richiama la capacità di “accomodamento” del sistema alla variabilità del rischio ed ai processi di *feedback* (Merz, et al., 2010). Nel contesto degli allagamenti urbani di origine pluviale ciò si tradurrebbe in primo luogo nella capacità di integrare soluzioni alternative per il drenaggio delle acque meteoriche o per la predisposizione e gestione delle zone di allagamento, sulla base delle caratteristiche fisico-spaziali, morfologiche, climatiche, urbanistiche proprie del sistema stesso (Voskamp & Van de Ven, 2014), sino anche a trasformare del tutto il sistema urbano ove vengono collocate ed instaurando nuove relazioni tra le sue componenti, anche a scale diverse (Wu & Wu, 2012; Walker & Sault, 2006; Walker et al., 2004).

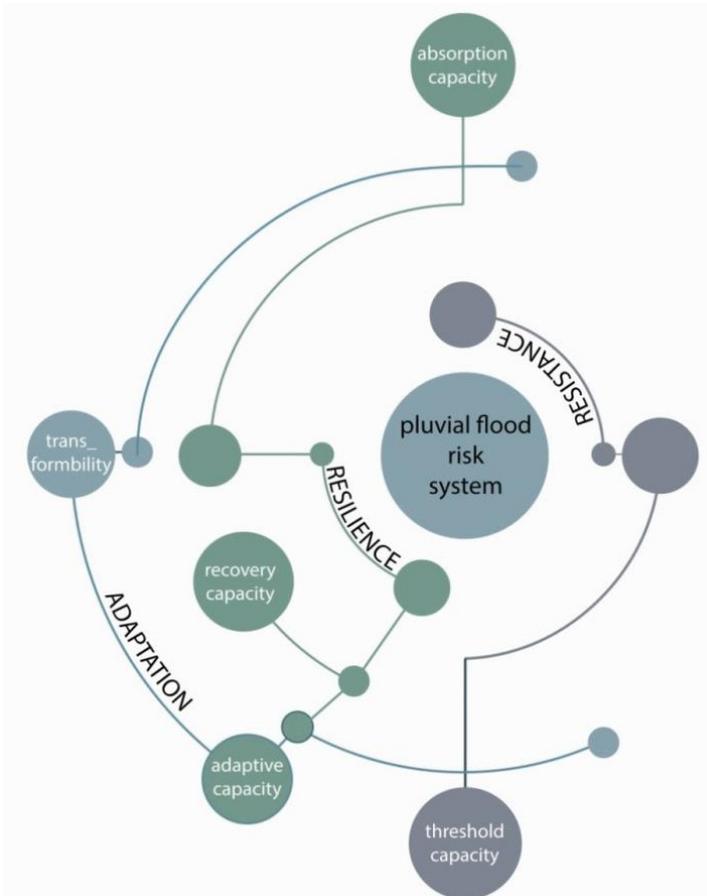


Figura 2.3| Rappresentazione della risposta di un sistema ad un disturbo, basata sulla resilienza e sulla resistenza: la prima dipende dalle capacità di recupero, assimilazione e adattamento, la seconda dalla capacità di soglia

Tutti gli autori, comunque, concordano nel ritenere che sistemi urbani resilienti subiscono impatti meno severi a causa dell'allagamento (Hammond et al., 2015), per cui la comprensione e l'analisi degli impatti causati dagli eventi di allagamento è essenziale ai pianificatori per una azione finalizzata alla costruzione della resilienza (Djordjevic, 2011).

Poiché la resilienza specifica del sistema urbano potrà essere compiutamente valutata solo dopo aver analizzato gli impatti dell'evento di allagamento, occorre procedere alla stima dei danni (tangibili) da esso causati. Generalmente, le tecniche più comuni adottate a questo scopo, si basano sullo sviluppo e sulla applicazione di funzioni che mettono in relazione il danno atteso ai parametri caratteristici dell'allagamento (altezze idriche e le velocità della corrente d'acqua), per specifiche classi di oggetti territoriali vulnerabili ed esposti (Hammond et al., 2015; Messner et al., 2007). Ciò, pertanto, comporta la necessità di intraprendere lo studio preliminare dei parametri caratteristici dell'allagamento facendo ricorso ad opportuni modelli, così da poterli assumere quali indicatori primari di resilienza specifica del sistema urbano considerato.

2.2.2 Il rapporto tra Resilienza e componenti del Rischio

Si è detto che i fenomeni di crescita demografica ed incremento di consumo di suolo, così come i processi di cambiamento climatico, rappresentano una serie di fattori chiave che possono amplificare il rischio di eventi pericolosi connessi alla gestione delle acque nelle aree urbane e non, a danno degli abitanti, delle strutture territoriali e della biosfera. Si è anche detto che il rischio è materia di lavoro per una moltitudine di figure professionali, oltre che di ricerca, tra cui i professionisti nei settori dell'ingegneria, della pianificazione territoriale e delle politiche ambientali.

La relazione tra resilienza e rischio – nella formulazione di questo prima introdotta da Crichton (1999) (par.1.1.1) è stata efficacemente adattata al contesto degli allagamenti urbani da Kazmierczak e Cavan (2011). Nella loro interpretazione di triangolo del rischio, il fattore di pericolosità è connesso all'allagamento urbano di natura pluviale, che si manifesta generalmente durante eventi di pioggia di breve durata ed elevata intensità. Tradizionalmente, la letteratura di settore lega la stima della pericolosità ai due parametri idraulici caratteristici dell'allagamento superficiale: altezza idrica e velocità della corrente (messi in relazione con i danni tangibili attraverso funzioni sperimentali, come detto nel par.2.2.1).

Valutare la pericolosità dell'evento permette di analizzarlo rispetto alle sue componenti fisico-quantitative, ma nulla dice, da solo, sulla suscettività degli oggetti territoriali che lo subiscono. Infatti, è il fattore della vulnerabilità a descrivere la propensione a subire un danno da parte dei manufatti antropici o da parte delle comunità insediate, ma anche in termini più generali di percezione del pericolo, di accesso alle informazioni ed ai sistemi di allertamento.

Infine, il fattore di esposizione è legato alla qualità e quantità degli elementi territoriali ricadenti nell'area a rischio e dipende dall'assetto dell'infrastruttura di drenaggio urbano, dalla distribuzione e tipologia degli

usi e delle coperture del suolo, oltre che dalla morfologia e tipologia dei tessuti urbani e dei fabbricati.

La relazione così specificata sembra aggiungere un elemento di complessità al quadro di riferimento, ove la richiamata inconsistenza terminologica e lo svuotamento semantico gravitante attorno al concetto di resilienza non ha mancato di palesarsi¹. Si tratta, però, di un elemento di complessità solo apparente. Se, infatti, si rimane nei confini di indagine sulla resilienza specifica, è immediato riconoscerla ed incorporarla come quarto fattore all'interno dell' "equazione del rischio" (par.1.1.1), adesso convenientemente modificata (2) eliminando qualsiasi ambiguità (White 2010).

$$R = (P-r) \times (V-r) \times (E-r) \quad (2),$$

con r resilienza.

In particolare, allora, questo tipo di interpretazione chiarisce ulteriormente il concetto di resilienza specifica riconducendolo all'interno di quello di rischio: resilienza non è più una finalità generica ma un meccanismo orientato a gestire il rischio (e, quindi, le sue componenti) e le sue conseguenze sulle comunità insediate ed i luoghi, da attivare attraverso la pianificazione territoriale (Fig.2.5). Poiché essa influenza, attraverso strumenti di piano e di politiche, in modo diretto o indiretto, la configurazione spaziale degli usi del suolo, lo sviluppo e/o la rigenerazione degli insediamenti, così come i paesaggi urbani e rurali, le aree naturali e gli spazi verdi urbani e periurbani (Albers & Deppisch, 2013), può davvero essere determinante nei processi di accrescimento della resilienza nella prospettiva di convivere con l'incertezza connaturata al rischio, provando a ristabilire condizioni di equilibrio (i) oppure adattandosi agli irreversibili micro e macro cambiamenti in corso (ii) e provando a minimizzare gli impatti.

Nel primo caso (i), infatti, la pianificazione territoriale agisce attraverso strategie mitigazione, volte alla riduzione della pericolosità dovuta al mancato normale funzionamento del sistema ed al ri-equilibrio tra forzanti del sistema e capacità di risposta dello stesso; nel secondo caso (ii), la pianificazione territoriale agisce tramite strategie di adattamento, come il *flood-proofing* o le delocalizzazioni, con le quali intervenire sulla vulnerabilità ed esposizione del sistema urbano. In definitiva, la mitigazione della pericolosità può ricondursi bene alla concezione di resilienza legata al paradigma dell'equilibrio, mentre riduzione di vulnerabilità ed esposizione sembrano rifarsi alla concezione di resilienza legata al paradigma del non-equilibrio e delle dinamiche adattive (White, 2010).

¹ Se da una parte alcuni hanno voluto ravvisare un rapporto di corrispondenza biunivoca tra vulnerabilità e resilienza, quasi a farli corrispondere secondo una legge di proporzionalità inversa (Folke et al., 2002), altri insistono sulla convenienza di considerarli due fattori in relazione reciproca ma, comunque, separati (Miller et al., 2010; Vis et al., 2001). A supporto di quest'ultima opinione, infatti, ad essere più convincenti sono quegli argomenti che guardano alla resilienza orientata ad esiti e processi, in un senso più lato, come metodo flessibile per diminuire il rischio nella sua interezza, abbracciando teoricamente pericolosità, vulnerabilità ed esposizione.

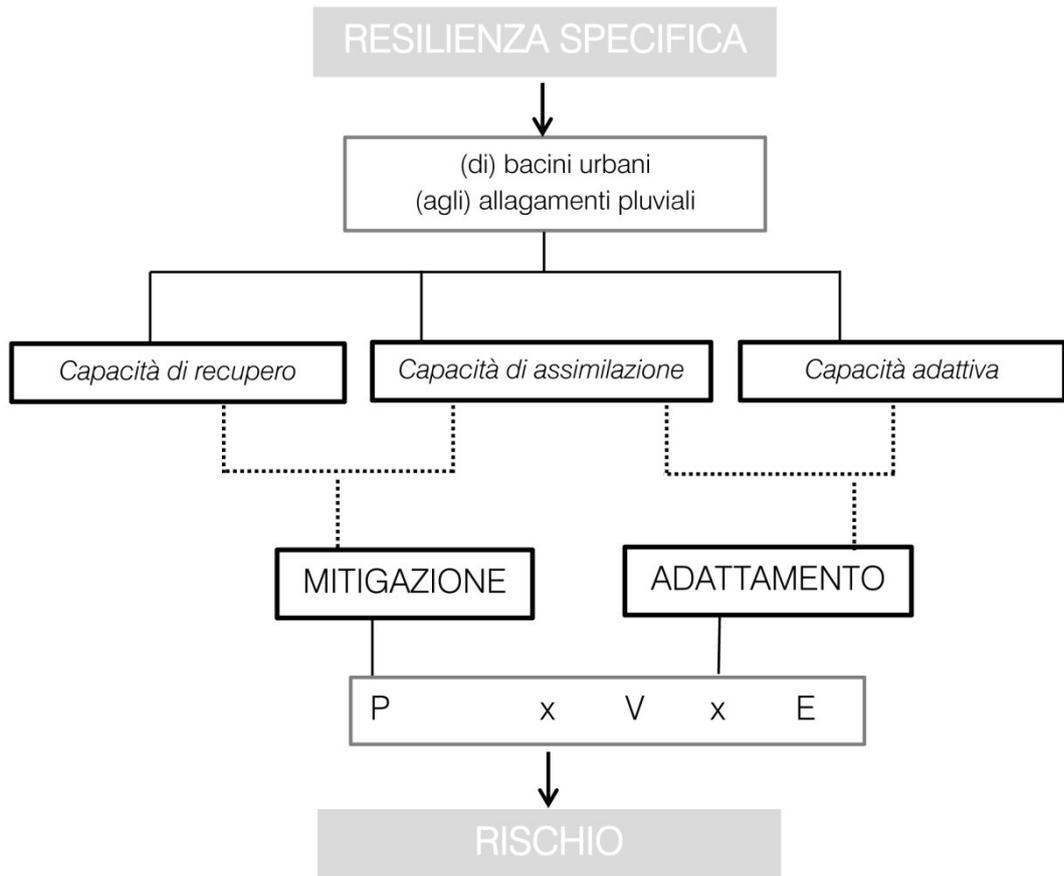


Figura 2.4 | Rappresentazione delle relazioni che intercorrono tra resilienza specifica del bacino urbano e rischio di allagamento superficiale: la lettura della resilienza passa attraverso la valutazione delle sue capacità surrogate; le azioni strategiche volte a modificare tali capacità sono anche azioni di mitigazione ed adattamento che agiscono sulle componenti costituenti il rischio

La “resilienza specifica” (del “*of what to what*”) può essere modificata e progettata per le aree urbane a partire dalla definizione di specifici obiettivi di mitigazione ed adattamento a determinate sollecitazioni di rischio (Wu & Wu, 2013). La mitigazione del rischio, quindi, andrà perseguita lavorando contestualmente sulla resistenza e sulla resilienza dei sistemi urbani che, insieme, ne caratterizzano la risposta alla trasformazione degli eventi di pioggia in allagamenti superficiali. In tal senso, diventa imprescindibile per gli attori agenti nel sistema urbano, riconoscere e studiare le dinamiche di interazione uomo-ambiente che hanno determinato la storia della sua formazione ed evoluzione e, quindi, approfondire il campo di ricerca ancora poco esplorato della socio-idrologia (Di Baldassarre et al., 2015; Sivapalan et al., 2014; Sivapalan et al., 2012), facilitando l’attivazione dei processi di apprendimento (*learning loop*) (Lu & Stead, 2013; Pickett et al., 2004) delle comunità dal proprio passato e dai cicli evolutivi (*adaptive cycles*) (Walker et al., 2004).

2.2.3 SuDS e resilienza

Non si commette errore nel pensare che accrescere le capacità di resilienza possa passare attraverso una qualche azione di mitigazione della pericolosità dato che, come è stato discusso nel Cap.1, forzanti antropogeniche hanno amplificato artificialmente la pericolosità connaturata ai naturali fenomeni piovosi, come nel caso delle scelte di gestione delle acque di ruscellamento.

Da una prospettiva combinata “città-acqua” la riflessione sul fattore pericolosità (*hazard*) e sulle strategie per la sua mitigazione, gravita attorno all’urbanizzazione non solo intesa nel senso degli usi possibili del suolo o del fenomeno del suo consumo, ma anche in relazione alle infrastrutture presenti sul territorio e ai sistemi di drenaggio superficiali e sotterranei, così come al progetto dei vuoti urbani e periurbani quali risorsa interna o di frangia delle città. Volendo accantonare i discorsi sui cambiamenti climatici e scegliendo consapevolmente di non tenere in considerazione la scala globale e l’influenza degli oggetti territoriali su di essa, alla dimensione locale, il contributo delle aree urbane alla formazione della pericolosità si individua soprattutto nell’interazione che si crea tra precipitazioni meteoriche e copertura dei suoli (White, 2010), sia nelle aree prevalentemente costruite che in quelle dai caratteri più naturali, e nelle tecniche di gestione delle acque meteoriche stesse.

Per intervenire sulla resilienza del sistema urbano occorre, quindi, valutare quanta acqua esso è in grado di gestire e come, considerando i volumi che possono infiltrarsi nel terreno o essere invasati, e quelli in grado di essere efficacemente convogliati attraverso le reti di drenaggio. Come introdotto nel capitolo primo (cfr. par.1.4), la necessità di controllare le acque superficiali ed incorporarle in una visione più integrata, olistica e strategica, ha stimolato la svolta negli approcci alle tecniche di drenaggio urbano; una svolta segnata, parallelamente alla migrazione del concetto di resilienza nelle nuove agende politiche internazionali, dal passaggio da una tradizionale strategia di canalizzazione e convogliamento verso valle delle portate meteoriche, alle nuove strategie di invarianza idraulica ed idrologica (Piadi & Squarcina, 2011).

Ai fini della protezione idraulica dei territori urbanizzati nei confronti degli eventi meteorici intensi, in particolare, l’obiettivo del cosiddetto “impatto zero”, se perseguito attraverso l’applicazione delle più attuali strategie, può introdursi a livello normativo ponendolo a carico dei privati e sgravando gli enti pubblici, visto il carattere diffuso e frazionato che possono assumere utilmente agli approcci del drenaggio urbano sostenibile che, infatti, possono essere spinti sino ad interessare le singole proprietà (Becciu & Paoletti, 2014).

All’interno della cornice omnicomprensiva delle infrastrutture verdi (cfr. par. 1.4), le misure SuDS contribuiscono ad ottenere l’invarianza idraulica e, dove possibile, quella idrologica, contenendo i deflussi meteorici urbani verso valle mediante il criterio idraulico della laminazione diffusa, combinato, spesso, a processi di infiltrazione. La laminazione ottenuta con invasi temporanei permette di intervenire efficacemente sia nella riduzione della portata al colmo che nel rallentamento della piena verso valle, e deve

distribuirsi tanto più diffusamente nel bacino quanto più esso presenta caratteristiche di intenso sviluppo urbanistico, rispondendo puntualmente alla distribuzione delle insufficienze idrauliche lungo il reticolo di drenaggio (Becciu & Paoletti, 2014).

Le misure di drenaggio urbano sostenibile rientrano, a tutti gli effetti, all'interno di quelle soluzioni *nature-based* in grado di produrre, tra gli altri servizi eco-sistemici, soprattutto quelli di tipo regolativo² (*water flow mitigation* e *runoff control*) segnatamente volte a mitigare la pericolosità (*hazard*) del rischio di allagamenti urbani. Il controllo e la mitigazione dei deflussi superficiali, insieme a normative e regolamenti –dalla scala dell'edificio a quella del bacino- e alle tradizionali soluzioni di aumento delle capacità di convogliamento delle reti (Gourbesville, 2012), costituiscono il pacchetto di strategie da consegnare alla pianificazione ed al progetto urbano per la resilienza e per meglio integrarsi con le discipline di analisi e gestione dei rischi (Graaf et al., 2007).



Figura 2.5| Contributo offerto dai sistemi di drenaggio urbano sostenibile alla dotazione di resilienza

² L'enfasi crescente data alla rilevanza dei servizi di tipo regolativo nella prevenzione degli allagamenti è, tra l'altro, ravvisabile in modo ricorrente nella letteratura di settore e dimostrata in numerosi studi (Barbedo et al., 2014). Ad esempio, Gómez-Baggethun et al. (2013), studiando i molteplici valori associati ai servizi eco-sistemici, discutono anche sul valore economico legato al controllo dei deflussi, derivante dall'abbattimento dei costi per i danni causati dagli allagamenti alle proprietà o per le necessità di ricorrere a sempre più onerose soluzioni tecnologiche, come quelle per garantire la depurazione delle acque di dilavamento superficiale o per sostituire, con infrastrutture artificiali, quelle naturali che hanno subito un depauperamento.

Il contributo delle misure SuDS all'incremento della resilienza urbana attraverso la mitigazione della pericolosità, almeno per quanto concerne la sua componente antropogenica, è quindi tanto più riconoscibile quanto più lo si legge attraverso la lente dei servizi forniti dagli ecosistemi (Fig.2.5) (Jansson, 2013; Scott et al., 2013; White, 2010; MEA, 2005; Carpenter et al., 2001).

Evidentemente, il contributo dei sistemi di drenaggio sostenibile è leggibile anche in termini di capacità adattiva (*adaptive capacity*). Abbracciando la filosofia alla base dei SuDS, la pianificazione e il progetto possono adattare le aree urbane affinché si limiti il ricorso ad infrastrutture di tipo tradizionale per il controllo delle acque meteoriche e degli allagamenti, e le si combini con soluzioni più sostenibili. Promuovendo azioni di *retrofitting* del proprio tessuto consolidato e indirizzando le nuove trasformazioni su logiche *water-sensitive*, la città integra i SuDS come nuovi "materiali urbani", dotandosi di proprietà di ridondanza (*redundancy*), diversità (*diversity*), flessibilità (*flexibility*) (Liao, 2012). La ridondanza dipende dalla possibilità per le aree urbane di non dipendere dalle sole infrastrutture di convogliamento di tipo tradizionale per lo smaltimento delle acque meteoriche o dalle sole opere di laminazione concentrate a valle dei bacini, ma di poter contare su sistemi di drenaggio e opere di laminazione diffusa alternativi (seppur non sostitutivi) che compensano in parte le sempre più frequenti crisi delle prime (Ahern, 2011). La diversità è garantita proprio dalla possibilità di gestire i deflussi e gli allagamenti con una varietà di opere di infiltrazione e/o laminazione, tra cui giardini di pioggia, tetti verdi o zone arbustive, progettate e gestite per intercettare le acque piovane prima che esse si trasformino in ruscellamenti; ciascuna di esse aggiunge un elemento di diversità alla risposta che può fornire il sistema urbano, sgravando la rete di drenaggio convenzionale e diminuendo la necessità di ampliarla o modificarne la capacità idraulica. Tutte le misure SuDS, tra l'altro, si caratterizzano anche per la loro multifunzionalità poiché provvedono alla fornitura di un insieme di servizi eco-sistemici oltre a quelli principali di tipo regolativo. Un esempio significativo è rappresentato dai sistemi di raccolta e accumulo delle acque piovane (*rain water harvesting, rain barrels, water butts*) che, opportunamente progettati e dimensionati, possono contestualmente servire al riciclo delle acque piovane raccolte per usi non potabili e attenuare portate e volumi di deflusso recapitati alla rete di drenaggio. Anche le aree naturali e gli spazi aperti in generale, che siano di grandi o piccole dimensioni, possono fungere, talvolta, da spazi aperti ad uso ricreativo oltre che da aree per l'accumulo delle acque (Liao, 2012; Albers & Deppish, 2013) mentre banalmente, tecnologie come quella delle pavimentazioni permeabili, consentono di esplicitare funzioni tipicamente urbane (il parcheggio) fornendo servizi regolativi rispetto al controllo delle acque di precipitazione e limitando i deflussi superficiali.

2.3 Verso una dotazione di resilienza

Le strategie di gestione degli allagamenti riguardano il controllo dei volumi e delle portate di ruscellamento, l'incremento della capacità di convogliamento dei sistemi di drenaggio, ma anche misure non strutturali più in generale attinenti la pianificazione spaziale ed i regolamenti edilizi (Gourbesville 2012); insieme, possono evidentemente considerarsi dirette all'aumento di resistenza e resilienza dei sistemi urbani.³ ai rischi di allagamenti durante fenomeni di piovosità intensa. Klein et al. (2003) sottolineano, in particolare, che la resilienza, soprattutto quando legata a concetti quali la capacità adattiva, rappresenta un insieme di obiettivi normativi e sociali che possono essere applicati alle città.

Mitigazione ed adattamento, che sono strategie necessarie di resilienza urbana, nelle prospettive di lungo come di breve periodo (Folke et al., 2002), però, non possono considerarsi il frutto di processi spontanei; esse necessitano, piuttosto, di una chiara intenzionalità e devono essere supportate sul piano politico e culturale (Nguyen Xuan, 2010; Biesbroek, 2009). La pianificazione urbana e territoriale rimane uno strumento chiave per gestire l'interazione tra i sottosistemi urbani e bilanciare funzioni umane e ambientali, contribuendo in larga misura a dotare le aree urbane di resilienza (sia in senso generale che specifico) (Albers & Deppish, 2013) secondo i principi elencati (cfr. par. 2.1.1) e rispondendo attivamente alla domanda di "città sicura" posta dalla collettività. Al di là del ventunesimo secolo, la gran parte degli assetti infrastrutturali delle nostre città sarà nelle condizioni di dover essere sostituita o ricostruita o abbinata ad altre sempre più numerose "protesi" infrastrutturali per far fronte alla crescita delle città. Paradossalmente, questo non troppo lontano momento in cui le nostre aree urbane saranno chiamate a sottoporsi ad una manutenzione straordinaria ed un riassetto generale di proporzioni enormi, può tramutarsi in una opportunità senza precedenti. La scelta di concepire diversamente il processo di urbanizzazione e di adottare politiche efficaci per stimolare la mitigazione e l'adattamento collettivo, è contenuta in nuce già nella sfida

³ In particolare, le strategie di *resistenza* comunemente applicate puntano a prevenire gli allagamenti causati da eventi di entità inferiore ad una certa soglia - fissata tradizionalmente nella portata di progetto - (ad esempio le infrastrutture di drenaggio urbano progettate per un tempo di ritorno di 5 anni possono proteggere la città dalle inondazioni solo quando la portata è inferiore a quella di progetto). Questo vuol dire che se ci riferiamo alle componenti costituenti il sistema morfologico-spaziale urbano, nelle strategie di resistenza viene considerato il solo ricorso a misure strutturali per la protezione della città; è ovvio allora che un evento con periodo di ritorno di 100 anni determinerà il generarsi di portate che metteranno in crisi le misure strutturali adottate e saranno causa di ingenti danni se non di disastri. In modo diverso, le strategie di *resilienza* per il *flood risk management*, si allineano con il concetto di "vivere con gli allagamenti" e quindi prevedono la possibilità dell'occorrenza delle inondazioni pianificando un insieme di altre misure atte a minimizzare la vulnerabilità complessiva delle aree considerate. In altre parole l'intero spettro delle portate di deflusso comprendenti diversi tempi di ritorno e la condizione di incertezza sulle dinamiche future sono considerate nelle strategie di resilienza e attraverso la pianificazione spaziale. Coerentemente i componenti del sistema morfologico-spaziale urbano sono organizzati e pianificati non solo per resistere alle alluvioni ma anche per mitigare e riprendersi dai loro impatti così come adattarsi ai futuri allagamenti. (Fang-Yu Hu and David M Khan, 2013)

delle infrastrutture verdi e dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile, come idea chiave per cominciare a costruire la resilienza in città (Ahern, 2011). Affinché la sfida possa essere vinta, però, occorre che la pianificazione non fallisca nello sviluppare una visione (*vision*) che influenzi il modo di agire dei singoli, spingendo le comunità ad abbracciare un progetto condiviso di futuro. Questa condizione è necessaria affinché possano indirizzarsi e difendersi strategie e scelte di piano, così come le politiche e gli strumenti perseguiti, poiché è in queste che la stessa comunità vorrà identificarsi una volta che il piano venga compiutamente attuato (Kramer, 2014).

Capitolo 3. Strumenti di pianificazione e politiche locali

3.1 Governo del territorio, culture della pianificazione e strumenti

L'ordinamento costituzionale di un Paese ospita quadri sistematici di leggi che servono ad affermare lo stato di diritto del governo del territorio che funziona complessivamente sulla base di relazioni instaurate tra livelli amministrativi (tipo verticale) e tra settori diversi e soggetti diversi (tipo orizzontale). Gli usi del territorio sono disciplinati dalle politiche attuate dai pubblici poteri in un processo decisionale che da un insieme di disposizioni atterra agli atti di trasformazione o non trasformazione fisica (Gaeta et al., 2013).

I sistemi di governo del territorio e le strutture amministrativo-giuridiche che li determinano operano come una cerniera tra la produzione di politiche, strategie, piani e progetti afferenti al sistema di governo in senso lato ed il sistema di produzione e consumo territoriale, cioè la cultura della pianificazione. Sistemi di governo e culture della pianificazione condividono il rinnovamento sociale come fattore che incide sul loro mutuo cambiamento. Lo Stato e gli altri enti, secondo le rispettive competenze, si servono del sistema di governo del territorio per disciplinare i diritti individuali e collettivi che vengono esercitati nell'ambito del complesso di pratiche che contribuiscono alle trasformazioni urbano-territoriali, dall'edilizia minuta alla protezione ambientale. Il sistema di governo del territorio, quindi, mantiene gli equilibri tra funzioni di regolazione, funzioni strategiche e funzioni di progettazione, le prime relative ai diritti di uso del suolo e dirette alla formazione di strumenti regolatori, le seconde relative alle strategie, le terze relative alla costruzione di politiche per la conservazione o trasformazione degli usi del suolo. Il sistema di governo del territorio, quindi, agisce attraverso la produzione di dispositivi di piano perchè in relazione con il sistema di governo in senso lato, traducendo in essi le relazioni di tipo verticale ed orizzontale; agisce attraverso la produzione di dispositivi di controllo, perchè in relazione con le pratiche di produzione e consumo del territorio da cui dipende l'attuazione delle trasformazioni e dei progetti (Gaeta et al., 2013).

Il governo del territorio, membrana tra il sistema di governo in senso lato e le pratiche della produzione e del consumo territoriale, in Italia come negli altri Stati membri, risente più o meno direttamente del concorso

dell'istituzione sovranazionale dell'Unione Europea alle pratiche di governo del territorio degli Stati membri che ne hanno condiviso il principio di coesione quale condizione politica per la loro stessa integrazione.

Semplificando brutalmente, può dirsi che la UE, tra le varie modalità con cui tende ad influenzare i contesti nazionali, detta modelli regolativi rispetto ai quali i dispositivi nazionali devono adeguarsi, come nel caso delle direttive emanate nell'ambito di settori specifici, nei quali la stessa UE esercita complete competenze, avendo ricevuto la cessione della sovranità assoluta o parziale dagli stati membri (Gaeta et al., 2013).

Le Direttive quadro in materia di gestione delle acque 2000/60 e 2007/60 sono il riferimento più importante su cui la normativa italiana ha basato il processo di rinnovamento dei propri sistemi di pianificazione (relativamente alla gestione delle acque e delle alluvioni). Al loro recepimento con il D.lgs. 152 nel 2006 e, nel 2010, con il D.lgs. 49, si arriva dopo una storia normativa complessa che ha ingenerato per il nostro sistema di governo del territorio l'incistarsi di una cronica incapacità di *governance* sull'acqua, da una parte aggravata dalla commistione e ambiguità tra i ruoli degli attori coinvolti, dall'altra palesata dalla inefficacia degli strumenti attuativi (Checcucci, 2012) frutto degli sforzi di una pianificazione che ha quasi sempre fallito il passaggio dalla dimensione regolativa e strategica a quella operativa.

3.1.1 Dalla pianificazione nel settore delle acque al progetto urbano

In Italia, la storia "essenziale" della normativa sulla pianificazione d'area vasta indirizzata alla gestione delle acque e, quindi, alla mitigazione del rischio, trae origine dalle norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo, Legge 183/89. E' così che vengono concepite la pianificazione di bacino e le autorità di bacino (salvo che per i bacini di interesse regionale), anche con una certa precocità rispetto alle sensibilità europee destatesi molto più in ritardo, e retaggio di stimoli intellettuali e culturali che collocano almeno l'idea dei piani di bacino in tempi ben antecedenti l'emanazione della Legge. Il riformismo originario della Legge si fondava sulla fiducia nella pianificazione, non solo come processo di integrazione di quadri, regole, azioni, capacità di programmazione e di spesa della dotazione finanziaria, ma soprattutto come strumento a supporto di una reale e proficua cooperazione tra Stato e Regioni (Rusconi & Zazzi, 2014). Con la Legge 183/89 cominciano a perseguirsi chiaramente la finalità di protezione del suolo ed a delinearsi la prospettiva di un difficile quanto ineludibile rapporto di integrazione tra istanze ed approcci delle discipline legate all'idrologia, all'idraulica ed alla geologia, ed istanze ed approcci delle discipline legate alla pianificazione territoriale, già solo considerata nella sua interpretazione più tradizionale di progetto degli usi del suolo. Se il piano di bacino viene già in origine concepito non soltanto come strumento tecnico-operativo strettamente indirizzato alla definizione di azioni strutturali per la sistemazione idrologica e la tutela delle acque ma anche come opportunità per l'integrazione di aspetti conoscitivi e regolativi sull'utilizzazione dei suoli e sulla tutela dell'ambiente, allora la pianificazione territoriale, l'urbanistica, e i loro strumenti, diventano elementi componenti del piano di bacino che per essi risulta vincolante e preordinato (Rusconi &

Zazzi, 2014). Nel frattempo, la Legge 493/93 rende possibile la pianificazione anche per sottobacini o per stralci funzionali (es. Piano stralcio di difesa dalle Alluvioni), celando in nuce, forse, le difficoltà di gestire uno strumento che nella realtà operativa si stava rivelando troppo complesso e articolato. E' del 1998 il D.L.180 "Decreto Sarno", convertito con la Legge 267/98, risultato della spinta emotiva provocata dalla catastrofe di Sarno (alluvione del Maggio 1998, 159 morti). La legge interviene ad introdurre un vero e proprio potere sostitutivo del Consiglio dei Ministri affinché esso operi in caso di inerzia delle amministrazioni competenti all'adozione degli atti relativi all'individuazione, alla perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico e alle relative misure di salvaguardia. Il fine ultimo era quello di assicurare la coerenza tra pianificazione di bacino e pianificazione territoriale attraverso lo strumento della concertazioni tra tutti i soggetti coinvolti e l'introduzione di una conferenza programmatica tra Regione, Province, comuni e Autorità di Bacino. Lo strumento centrale per la pianificazione invocato dalla legge compare nella forma del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), pensato come piano stralcio del piano di bacino, poi affiancato dallo strumento dei piani straordinari per l'individuazione delle aree a rischio idrogeologico più alto, introdotto con la L.226/1999. Il processo di adozione del PAI iniziato nel 1989 sarebbe dovuto terminare entro il 30/04/2001, termine imposto dalla Legge Soverato, ulteriore rimaneggiamento tra i continui, delle norme e delle scadenze e ritardi nell'attuazione. In realtà, con il susseguirsi dei decenni dal 1989 e lo stratificarsi disordinato di riferimenti legislativi, nel Paese il piano di bacino, come strumento cardine di difesa del suolo è implosa sotto il clima di pesanti critiche non essendo stato mai benaccetto, spesso ignorato a tutti i livelli, a conferma della debolezza del suo impianto complessivo (Rusconi & Zazzi, 2015) aggravata dal proliferare di politiche idriche e di difesa idrogeologica "fuori campo", tradotte in altri piani e programmi, frutto di scelte e decisioni autonome non bene inquadrare istituzionalmente (Rusconi, 2011).

La normativa rimasta a carattere settoriale, ha sofferto la mancata integrazione nel contesto della pianificazione generale e difettato per un carattere prevalentemente emergenziale: leggi emanate soltanto subito dopo un disastro e non programmate in funzione della prevenzione dello stesso, hanno determinato la storia dei territori come essa è poi avvenuta, in un susseguirsi di coscienze destinate d'improvviso e in breve nuovamente riassopite. Come sostenuto da Pellizzari (2011) emerge con una certa chiarezza la complessità del sistema di pianificazione e programmazione delle risorse idriche, certamente in ragione degli interessi e gli obiettivi perseguiti, delle nozioni del bene idrico sottese alle scelte di pianificazione, e dei soggetti titolari delle funzioni da espletare nei "contesti territoriali" di riferimento.

Le Direttive Comunitarie 2000/60 sulle Acque e 2007/60 sulle alluvioni recepite in Italia rispettivamente nel 2006 con il D.lgs. 152 e, nel 2010, con il D.lgs. 49, non hanno introdotto alcuno spirito riformatore o svolta migliorativa. Anzi, hanno ulteriormente complicato il complessivo impianto della pianificazione di bacino (Rusconi & Zazzi, 2014). Il territorio nazionale viene diviso in distretti idrografici che comprendono più bacini e solo in

pochi casi (Sicilia e Sardegna) coincidono a livello geografico-territoriale con le Regioni. Soppresses le vecchie Autorità di Bacino, sono state istituite le Autorità di Bacino Distrettuale, composta dallo Stato e dalle Regioni ricadenti nel Distretto stesso (Rusconi, 2011). L'elaborazione del Piano di Bacino Distrettuale dovrebbe configurarsi come una architettura sovraordinata di coordinamento generale delle attività di pianificazione e programmazione di interventi, il "piano dei piani" a cui gli strumenti urbanistici e gli altri strumenti settoriali devono fare riferimento per la piena conoscenza degli assetti territoriali e delle disponibilità e caratteristiche delle risorse idriche nell'unità territoriale cui la pianificazione si riferisce (Monacelli & Giusta, 2013; Rusconi & Zazzi, 2014). Ma a fronte di un unico piano di gestione delle acque, previsto dalla Comunità Europea, basato su una filosofia di ricognizione delle caratteristiche di partenza per ottenere un quadro accertato e documentato di cause/effetti e di pianificazione complessiva in termini di misure da assumere per il mantenimento o ripristino delle situazioni compromesse, ai fini del rispetto dell'obiettivo di qualità buono per ciascun corpo idrico nell'ottica di azioni da intraprendere e valutarsi alla scala dell'intero distretto idrografico (Checcucci, 2012), nel nostro Paese convivono, in rapporti non univoci, il piano di bacino distrettuale, il piano di gestione delle acque, il piano per l'assetto idrogeologico, il piano di tutela delle acque, il piano d'ambito, ed ancora i piani straordinari ed i piani urgenti di emergenza (Rusconi & Zazzi, 2014).

A questi il legislatore ha adesso affiancato anche il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni da integrare con lo stesso piano di bacino distrettuale.

Con riferimento al quadro legislativo brevemente richiamato, la direttiva sembra porsi in una posizione di pseudo-continuità assumendo come punto di partenza il quadro unitario di azione fondato sull'attività di studio, di analisi, di approfondimento e quindi di pianificazione ma integrando in un'ottica di stretta interdipendenza consequenziale, l'attività centrata sulla gestione in fase di evento e quindi di protezione civile vera e propria (Checcucci, 2012). Il processo di attuazione della direttiva prevede cicli sessennali articolati in tappe che sono temporalmente successive e logicamente sequenziali (Pineschi & Guida, 2015), implicando una ciclicità dei piani che dovrebbe consentire la messa in opera graduale di misure e strumenti innovativi, provando nel tempo l'efficacia di risposta ai mutamenti in atto (Monacelli & Giusta, 2013). La prima tappa consiste nella valutazione preliminare del rischio. In sostanza però, in Italia, esistono e sono già completi i PAI quali piano stralcio di bacino sulla cui adeguata rispondenza, nella sostanza e nella forma, a quanto richiesto dalle direttive europee non tutti convergono, e che, comunque, approfittando delle misure transitorie previste dalla legge, hanno permesso all'Italia di procedere direttamente alla seconda fase, per essere usati o aggiornati a favore della "mappature" di pericolosità e rischio alluvioni richieste. L'ultima tappa corrisponde alla fase di predisposizione ed attuazione dei piani di gestione del rischio alluvioni entro il 22 Giugno 2015. Come specificato da ISPRA (2016), i Piani devono comprendere tutti i molteplici aspetti della gestione del rischio di alluvioni, tra cui la prevenzione, la protezione e la preparazione, in stretta correlazione alle caratteristiche del bacino idrografico o del sottobacino interessato. I piani di gestione del rischio di alluvioni possono anche comprendere la

promozione di pratiche sostenibili di uso del suolo, il miglioramento delle capacità di ritenzione delle acque nonché il ricorso all'inondazione controllata di certe aree in caso di evento alluvionale. Inoltre la Direttiva suggerisce di porre l'accento anche sulle misure non strutturali e/o volte alla riduzione della probabilità di inondazione. Le misure possono essere ricondotte essenzialmente a quattro categorie che corrispondono ai diversi aspetti della gestione del rischio di alluvione citati ai quali si aggiunge quello delle valutazioni post-evento. Tra le misure di prevenzione che agiscono sulla vulnerabilità e sull'esposizione degli elementi territoriali vengono elencati i vincoli di insediamento nelle aree allagabili, la delocalizzazione, interventi su edifici ed infrastrutture già esistenti per il loro "adattamento". Tra le misure di protezione, si considerano quelle che agiscono sulla pericolosità dei fenomeni di inondazione: riduzione del deflusso in alveo agendo sui meccanismi di formazione dei deflussi nel bacino di drenaggio e sulla naturale capacità di laminazione delle aree golenali e della piana inondabile; regolazione dei deflussi che hanno un significativo impatto sul regime delle portate; miglioramento del drenaggio delle acque superficiali in ambiente urbano; programmi di manutenzione delle opere di difesa. Tra le misure di preparazione, invece, quelle attinenti il sistema di protezione civile tra cui l'istituzione e/o il potenziamento dei sistemi di allertamento e previsione di piena; la pianificazione d'emergenza e la capacità di gestione della stessa da parte delle istituzioni; attività di formazione e informazione per accrescere la consapevolezza e la preparazione della popolazione rispetto agli eventi alluvionali. Infine, le misure volte a superare le condizioni di criticità derivanti da un evento alluvionale attraverso attività di messa in sicurezza e ripristino, oltre che programmi di acquisizione di informazioni e dati inerenti gli eventi alluvionali con particolare riferimento alla stima dei danni, rientrano negli aspetti della valutazione e ricostruzione post-evento.

3.1.1.1 Il PGRA – Piano Gestione Rischio Alluvioni

Almeno nel caso siciliano, le attività finalizzate alla mappatura della pericolosità e del rischio ai sensi dell'art. 6 del D.Lgs. 49/2010 hanno avuto inizio dalla valorizzazione degli studi svolti nell'ambito dei Piani per l'assetto idrogeologico (PAI), procedendo prioritariamente alla valutazione e all'omogeneizzazione dei PAI vigenti anche al fine di avviare il loro aggiornamento in relazione alle successive scadenze stabilite dal decreto legislativo. Ciò sembra in un certo senso contribuire a far emergere un contrasto tra le intenzioni in seno al Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, che lo vogliono uno strumento più completo, evoluto e integrato per affrontare il rischio idrogeologico tenendo conto della varietà fenomenologica delle alluvioni nella sua completezza, non limitandosi a trattare le inondazioni causate dallo straripamento dei fiumi principali ma occupandosi anche delle reti minori, dei fenomeni di *flash flood* e delle alluvioni in ambito più specificamente urbano, e la realtà dell'interpretazione che, invece, si palesa nella Relazione Generale del PGRA dove si legge che il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni non interviene ad occuparsi delle problematiche di allagamento discendenti alle criticità dei sistemi fognari o addirittura alla loro assenza (rifacendosi alla definizione del termine "alluvione" contenuta nel DLGS 49/2010). Piuttosto, il PGRA, ancora nella

sua Relazione Generale, si limita ad affrontare la questione contestualmente alla definizione del piano delle misure elencando, tra quelle possibili di gestione naturale delle piene a livello locale, la riduzione delle portate nella rete di drenaggio naturale o artificiale, il potenziamento della capacità d'infiltrazione, la realizzazione e/o ripristino dei sistemi naturali per aiutare il flusso lento, la ritenzione delle acque e la progettazione di infrastrutture verdi o blu; tra quelle possibili di gestione delle acque superficiali, la riduzione dei deflussi superficiali in ambiente urbano migliorando l'efficacia delle reti di drenaggio, ricorrendo alle tecniche di drenaggio urbano sostenibile, e applicando i principi di invarianza idraulica.

La legge disciplina anche il rapporto tra lo strumento di pianificazione e gli altri strumenti esistenti di tipo settoriale o generale.

In particolare, con riferimento al PGRA del distretto idrografico della Sicilia, già all'articolo 5 delle Norme di Attuazione si impone ai "comuni in sede di formazione e adozione degli strumenti urbanistici generali, dei loro aggiornamenti e delle varianti, generali o parziali o che, comunque, possano recare trasformazioni del territorio tali da modificare il regime idraulico esistente" stabilendo che "le trasformazioni dell'uso del suolo comportanti variazioni di permeabilità superficiale rispettino il principio dell'invarianza idraulica e possibilmente idrologica, anche mediante l'applicazione dei principi e dei metodi del drenaggio urbano sostenibile. Tali principi vanno rispettati anche per le aree già urbanizzate oggetto di interventi di ristrutturazione o anche ricostruzione di tutto o parte dell'edificato".

Inoltre, il comma tre dello stesso art.5 stabilisce che gli strumenti urbanistici individuano e definiscono le infrastrutture pubbliche necessarie per soddisfare il principio dell'invarianza idraulica e possibilmente idrologica sia per la parte già urbanizzata del territorio, sia per gli ambiti di nuova trasformazione, disciplinano le modalità per il conseguimento dell'invarianza idraulica e possibilmente idrologica. Le stesse norme impongono, tra l'altro, che i Comuni verifichino la compatibilità idraulica delle previsioni degli strumenti urbanistici con i livelli di pericolosità individuati dal Piano.

3.1.1.2 I riflessi sul disegno urbano

Le Direttive, almeno principi di ispirazione, riflettono l'enfasi posta sulle politiche finalizzate esplicitamente all'adattamento ed implicitamente all'accrescimento di resilienza ai fenomeni alluvionali. E' chiaro che in questo contesto, politiche locali e progetto urbano convergono ad orientare le trasformazioni territoriali verso la compatibilità ecologica e le azioni di mitigazione dei rischi di inondazione, anche facendo riferimento agli allagamenti urbani causati dalle crisi dei sistemi di drenaggio (Lennon et al., 2014). La costruzione di connubi di politiche e pratiche tra loro coerenti in tal senso, entra ad esercitare la propria influenza nella dimensione dei comportamenti degli individui e della collettività, e diventa lo strumento per modellare le culture della pianificazione sui profili della resilienza e colmare il gap tra la dimensione teorica e quella operativa della pianificazione urbana (O'Neill & Scott, 2011).

La progettazione in contesti urbani esposti al rischio di allagamento è certamente complessa e deve tenere in debito conto tutto un insieme di variabili, incertezze, scalee spaziali e temporali diverse, oltre che il

coinvolgimento di molti attori i cui interessi sono contrastanti. Lennon et al. (2014) identificano tre approcci generali cui si ispirano le più comuni filosofie di progetto urbano-territoriale che emergono, tra l'altro, anche nelle misure elencate dai nuovi strumenti come i PGRA per rispondere agli obiettivi di prevenzione, protezione e preparazione individuati quali direttrici principali dalle direttive comunitarie.

Rispetto all'approccio tradizionale e forse ancora il più diffuso, gli autori identificano filosofie progettuali legate alla costruzione soluzioni tecnologiche quali argini, barriere o costosi costruzione o rifacimento di sistemi di smaltimento e fognature sotterranee, incoraggiate da politiche locali ispirate alla logica della "difesa" dai capricci naturali attraverso un potenziamento della capacità di resistenza delle strutture ed infrastrutture urbane, mantenendo una sorta di dicotomia tra dimensione urbano-antropica e dimensione dell'ambiente naturale. Un secondo approccio è quello che accomuna filosofie progettuali legate alla consapevolezza dell'inevitabilità degli eventi di inondazione ed incoraggiate da politiche locali di "adattamento" orientate ad accomodamenti progressivi del patrimonio costruito ed infrastrutturale, spesso legati ad una diminuzione della vulnerabilità degli edifici (*flood proof*) o dell'esposizione degli insediamenti (delocalizzazioni). Il terzo approccio, ancora poco diffuso ma guardato con sempre maggiore interesse è quello ispirato alla "trasformazione", che contraddistingue filosofie progettuali in cui il rapporto tra ambiente costruito e naturale viene completamente rivalutato e ricostruito, guardando l'acqua come risorsa e non solo come fattore di rischio, ed abbracciando la logica del *design with nature* (McHarg, 1969) (par.1.2). In questo caso le politiche locali incoraggiano il progetto urbano-territoriale ad integrare le infrastrutture verdi ed i sistemi di drenaggio urbano sostenibile (par.1.3), legando le trasformazioni urbane a condizioni ineludibili di minimizzazione dell'impronta idrologica negativa eventualmente generata.

3.2 Politiche e pratiche urbane locali: nuovi approcci per nuove istanze

Come detto, tra i fattori esogeni che possono intervenire a modificare il modello socio-culturale alla base dei processi di cambiamento delle culture della pianificazione e dei sistemi di governo del territorio, si riconoscono le questioni contemporanee della mitigazione del rischio e della pianificazione della città resiliente. Nel momento in cui i valori alla base del modello sociale vengono interessati da mutamenti motivati e derivati dai più vari bisogni, obiettivi ed interessi ed il sistema di governo è chiamato a rinnovare la propria struttura e la propria operatività (Gaeta et al, 2013), la varietà di pratiche che ne è la manifestazione, risponde concretamente allo stimolo del cambiamento soprattutto a livello locale, che essa più comunemente interessa. Questa varietà che viene quotidianamente generata attraverso l'esperienza sociale e l'attività di pianificazione e controllo, esercita il suo potenziale stimolando l'adeguamento del sistema di governo del territorio.

Accade che, ogniqualvolta il livello auspicato di qualità ambientale non corrisponde al livello attuale, emerga un problema di politica pubblica urbana (Field & Field, 2009), rendendosi necessari opportuni cambiamenti nei comportamenti umani nel tentativo di assottigliare, o ancor meglio annullare, la discrepanza rilevata. Ne consegue che le comunità urbane si trovano a dover (ri)calibrare il loro modo di essere presenti ed agire sul territorio in funzione di decisioni strategiche di lungo periodo, coerenti con quei processi di trasformazione che la pianificazione territoriale avrà provveduto ad indirizzare.

Le specificità delle questioni relative al drenaggio sostenibile delle acque meteoriche e, di riflesso, delle risposte che si cerca di mettere in atto, pongono continue sfide alla loro *governance*, elemento non secondario quando si tenta la selezione degli strumenti di *policy* più adatti per la risposta di mitigazione e/o adattamento voluta (Mees et al., 2014). Queste sfide sono ben rappresentate da alcuni fattori: l'“incertezza” riguarda già le dinamiche stesse di urbanizzazione anche nell'ottica dei cambiamenti climatici, gli impatti dei rischi antropici e naturali sulle strutture urbane e sociali ma anche costi, benefici ed efficacia delle politiche e delle tecnologie messe in campo per la mitigazione e l'adattamento; l'“eterogeneità spaziale” si riferisce alla diversità delle condizioni socio-economiche e culturali delle comunità insediate ed, evidentemente, alla differenza di vulnerabilità e livelli di esposizione degli elementi dei sistemi urbani, con conseguenti impatti in termini di danni; la “contraddittorietà” e la “complessità sociale” si legano ai meccanismi di percezione del rischio e delle criticità che esso determina, come delle misure da adottare per la mitigazione e l'adattamento, ed al carattere multi-livello, multi-settore e multi-attore delle azioni da intraprendere, determinando vuoti istituzionali ed assetti legislativo-regolamentari poco chiari e spesso contraddittori. E' importante, allora, che queste sfide diventino le direttrici per stabilire i criteri con cui scegliere le politiche urbane ed i loro strumenti.

Indipendentemente dal fatto che le infrastrutture verdi o il drenaggio sostenibile siano un aspetto generale di un piano urbanistico o siano il principio fondante attorno cui svilupparlo (Flores et al., 1998), e a prescindere dalla scala di analisi ed intervento del piano stesso (il quartiere oppure una entità geografico-amministrativa più ampia), per facilitare il successo della strategia e delle azioni di Piano nell'ottica della resilienza urbana, nel breve come nel lungo termine, occorre definire politiche di governo del territorio che siano realmente efficaci rispetto alla domanda sociale di sicurezza, volte a ridurre il “consumo di ambiente” (Gabellini, 2015) e coerenti con le previsioni di Piano, che siano specifiche per i luoghi e variabili in funzione dei diversi livelli di *performance* ambientale prevista.

Esistono varie modalità di controllo e gestione che la forma di governo può decidere di adottare e che possono abbinarsi efficacemente alla materia urbanistica influenzando, di fatto, l'iniziativa privata. Sino a questo momento, gli sforzi profusi nella definizione e adozione delle politiche urbane ambientali per la gestione delle acque piovane e per le infrastrutture verdi di drenaggio sostenibile hanno seguito tre approcci diversi. Il primo si basa sul principio del divieto, il secondo su quello dell'incentivo, il terzo sul quello dell'educazione. Ciascuno di questi approcci riflette e vuole essere

consistente, più o meno direttamente, con il più generale principio del “chi-inquina-paga” (*polluter-pays-principle*) (von der Heyden et al., 2007).

Questo principio, del quale abbondano le definizioni in letteratura, è stato spesso modificato nella sua interpretazione in funzione dei diversi contesti di applicazione. Sostanzialmente, determinando l’addebitamento di un onere a chi, tramite le proprie azioni sul territorio, causa l’insorgere di esternalità negative, il principio viene applicato per svolgere una funzione intimamente pedagogica, incoraggiando la maturazione di una coscienza di responsabilità individuale rispetto agli impatti negativi generati e giocando un ruolo normativo prezioso nella società (Nash, 2000). La riduzione della produzione di esternalità negative e lo sviluppo di più efficienti tecnologie ne sono i due corollari, entrambi obiettivi cardine da considerare nello studio e nella definizione dello schema di politica urbana che si ritiene più opportuno adottare.

Tradizionalmente, gli strumenti di tipo regolativo sono da sempre i più usati per raggiungere i più comuni obiettivi legati alla pianificazione urbana (Clinch & O’Neill, 2010). In particolare, la gestione del rischio di alluvione è sempre stata dominata da processi di adattamento pianificati piuttosto che spontanei, che sono per loro natura eminentemente rispondenti al principio del divieto o dell’imposizione (ad es. lo *zoning* o i vincoli di natura espropriativa e conformativa). Sebbene tale approccio sia ancora il più diffuso, stanno emergendo in modo significativo alternative basate anche sull’applicazione del principio dell’incentivo e legate, più o meno fortemente, a logiche e meccanismi di mercato (Field & Field, 2009; Clinch & O’Neill, 2010).

Assieme a questi approcci, poi, i programmi educativi e di formazione, informazione e comunicazione, stanno conquistando sempre maggiore attenzione ed importanza, pur non essendo ancora considerati alternative autonome rispetto a quelle prima citate.

Gli approcci tradizionali di tipo regolativo vengono attuati con strumenti identificati nella letteratura sulle politiche ambientali con il termine *command-and-control* (CAC). Attraverso l’applicazione di tali strumenti è possibile definire un set uniforme di standard (che possono essere a loro volta di tipo tecnologico o basati su livelli di *performance*), che i soggetti coinvolti sono tenuti a rispettare. In sostanza, ciò implica la regolamentazione di una attività/comportamento (nel nostro caso, ad esempio, il conferimento, ad una certa sezione di recapito, delle acque di ruscellamento superficiale in termini di volume e portata delle stesse) attraverso l’imposizione di una norma/regolamento che stabilisca cosa sia permesso e cosa sia proibito. Il *command* rappresenta, infatti, lo standard/target stabilito dall’autorità competente e che il soggetto è chiamato a rispettare; il *control* consiste nell’insieme di sanzioni che seguono l’inottemperanza di quanto prescritto¹.

¹ Meccanismi evoluti e specificamente studiati per gli scopi descritti sono quelli che hanno portato alle ben note esperienze di Berlino, Malmö e Bolzano. A Berlino, il B.A.F. (*biotope area factor*) è stato concepito come risposta all’incremento di impermeabilizzazione dei suoli. Il programma urbanistico corrispondente risale al 1997. Oggi è applicato in numerosi quartieri di Berlino. Permette ad ogni distretto di competenza di stabilire diversi *standard* rispettando *target* generali ed un sistema di calcolo di base che aiuta ad applicare

Diversamente, gli strumenti di politiche urbane basati su meccanismi di mercato dipendono da variabili economiche e sono volti a fornire incentivi ai singoli privati e/o alle comunità affinché esse limitino le azioni che determinano esternalità negative per l'ambiente urbano (Parikh, 2005). In particolare, molti tra gli economisti convengono nel ritenere i *market-based instruments* (MBi) più efficienti economicamente e più efficaci nell'incoraggiare comportamenti virtuosi dei privati, attraverso lo sfruttamento delle leggi di mercato piuttosto che facendo affidamento su soluzioni proibizionistiche. Il Nord-America e l'Europa nord-occidentale, in particolare, sono tra le regioni più ricche di esempi di applicazione di politiche per il

procedure standardizzate, facilmente comprensibili e attuabili dai pianificatori. Sotto il programma, ogni nuova costruzione o ristrutturazione di edifici si accompagna all'adozione di misure verdi. Per ciascuna parcella di nuova edificazione il target di verde viene stabilito in funzione della destinazione di uso del suolo; estensioni e alterazioni di volumetrie/fabbricati esistenti rispondono ai target assegnati in funzione del numero di unità immobiliari. Il sistema di pesatura usato per valutare il contributo delle misure verdi è basato sul loro potenziale ecologico. Il G.S.F. (*green space factor*) si basa sulle stesse logiche. In particolare, però, non soltanto l'adozione delle misure deve essere tale da rispettare lo standard previsto ma, anche, una convenzione/contratto tra la municipalità e i proprietari/costruttori sancisce specificamente un numero di fattori green tra i quali gli stessi costruttori possono scegliere (Vortholomaios et al., 2013). In sostanza, ogni area verde deve garantire l'adozione di almeno 10 tra 35 elementi verdi suggeriti. Potendo quindi adottare più elementi e misure green, i costruttori/proprietari possono autogestirsi nel rispondere a quanto richiesto dai fissati standard quantitativi (Persson B, 1999).

In senso analogo è stata sviluppata la ben nota procedura R.I.E., attuata dal Comune di Bolzano. L'amministrazione per ottenere un quadro generale sulle problematiche e sulle possibili misure di mitigazione e compensazione ai processi di degradazione ambientale causati dalla sigillatura dei suoli, e al fine di elaborare una proposta concreta di inserimento di norme nell'ordinamento edilizio comunale, ha commissionato, nel 2002, uno studio che, partendo dal rilievo aerofotografico del comune, ha permesso la conoscenza e l'analisi del territorio, tappa fondamentale per il rilevamento dei dati e l'individuazione di aree tipo sulle quali è stato condotto lo studio stesso (Abram, 2009). In seguito alla fase di acquisizione dei dati si è passati alla determinazione degli "indici" di riduzione dell'impatto ambientale legati alle prestazioni, in termini di valore ecologico, delle varie categorie di verde e di superfici urbanizzate. Per lo studio dell'inserimento delle opere di compensazione e mitigazione nelle prescrizioni urbanistiche è stato elaborato un algoritmo per la determinazione del R.I.E. L'indice è definito, in forma sintetica, come il rapporto tra le superfici "trattate a verde" e le superfici "non trattate a verde". Più elevato è l'indice, migliore è la gestione del territorio in relazione alla quantità di acqua meteorica afferente.

L'indice è stato calcolato per ognuna delle aree considerate nella fase di ricognizione iniziale. L'obiettivo dell'Amministrazione Comunale è quello di definire quali sono, per ogni singolo quartiere, gli obiettivi da mantenere o raggiungere in fase di modificazione della struttura urbana esistente, oppure definire gli standard minimi da rispettare per le zone di nuova edificazione. Questa procedura, consente poi di individuare gli interventi che, da un punto di vista ecologico o paesaggistico, siano da penalizzare o incentivare. La struttura urbana di Bolzano è poi stata suddivisa in categorie in funzione delle caratteristiche di urbanizzazione e, per ciascuna, sono stati proposti dei principi di buona progettazione con riferimento al verde ed ai sistemi di drenaggio delle acque meteoriche. L'uso dell'indice viene regolamentato con apposita norma del Regolamento Edilizio: nel caso di ristrutturazione parziale o totale, l'indice ottenuto per lo stato finale di progetto deve essere maggiore dell'indice dello stato di fatto; nel caso di nuove edificazioni, a seconda delle diverse zone della città, l'indice dovrà raggiungere determinate soglie stabilite. Con la nuova procedura viene dato un forte impulso all'applicazione congiunta e sinergica, nei processi edificatori, di soluzioni, sistemi e tecnologie di compensazione e mitigazione ambientale. Infatti, l'adozione di queste soluzioni, insieme al verde tradizionale, diventa necessaria per raggiungere gli elevati standard di qualità individuati dagli indici R.I.E. di soglia.

controllo delle acque di precipitazione e per l'adozione di infrastrutture verdi per il drenaggio sostenibile.

Lavorando per macro-categorie costruite a partire da studi teorici e dalla raccolta di informazioni su esperienze e pratiche urbane attuate, è possibile ricostruire la cornice generale ove trovano collocazione gli strumenti e le politiche urbane locali più comunemente adottati per incentivare la mitigazione e l'adattamento al rischio di allagamento e l'impiego di infrastrutture verdi di drenaggio sostenibile. Il confronto tra le politiche, basato sulla lettura delle strategie-principi-strumenti che ne caratterizzano l'applicazione pratica, è utile anche nella prospettiva di evidenziare l'esteso fronte di barriere legate alla effettiva adozione di misure di mitigazione e adattamento nei contesti urbani. La Tabella 3.1 allegata esplicita le caratteristiche delle opzioni discusse, fornendo maggiori specifiche e dettagli sulla loro applicazione pratica.

Tabella 3.1 | Cornice di ricognizione generale delle politiche locali, dei loro strumenti e dei meccanismi di applicazione

Politica urbana	Strumenti di applicazione	Meccanismo di applicazione	Descrizione	Note
CAC COMMAND AND CONTROL POLICY TOOLS				
REGOLAMENTI SUL DEFLUSSO DELLE ACQUE METEORICHE <i>STORM-WATER REGULATIONS</i> Carter and Fowler, 2008 Dougherty et al., 2016 Stenning, 2008 Hall, 2010 Emilsson et al., 2013 Vartholomaïos et al., 2013	regolamenti per gestione delle acque di pioggia <i>storm-water management standards</i>	standard di performance -volume di deflusso -invarianza idraulica/idrologica -riduzione di superfici impermeabili	L'autorità locale impone ai singoli progetti di trasformazione urbanistica (che siano nuova urbanizzazione o interventi sull'esistente), di rispettare specifiche regole rispetto al conferimento dei volumi e delle portate di deflusso. I regolamenti applicati alla scala del lotto attribuiscono la responsabilità del deflusso a chi lo genera, contribuendo a non aggravare il carico sul sistema di smaltimento urbano, riducendo la necessità infrastrutture aggiuntive	
	inserimento di misure/tecnologie verdi nel progetto del lotto <i>green infrastructure adoption standards</i>	standard di performance* -volume di deflusso -minimizzazione degli impatti delle trasformazioni -riduzione di superfici impermeabili -processo di gestione del deflusso standard di tecnologia -obbligatorietà d'adozione di specifiche tecnologie -selezione da lista di opzioni	I codici e i regolamenti locali possono imporre, laddove le caratteristiche del sito lo consentano, l'adozione di tecnologie e misure verdi per il raggiungimento degli obiettivi ambientali di gestione delle acque meteoriche	*sono spesso accoppiati a meccanismi di calcolo dei requisiti ambientali e del raggiungimento dei livelli di adozione delle misure verdi previsti basati sull'uso di semplici formule e sistemi a punteggio

MBI INCENTIVE-BASED INSTRUMENTS				
<p>STRUMENTI DI MERCATO MARKET-BASED INSTRUMENTS</p> <p>Nash, 2000 Thurston et al, 2003a Thurston et al, 2003b Ngan, 2004 Parikh, 2005 NAFSMA 2006 Field & Field, 2009 EPA, 2010 Gartner et al. 2013 EPA, 2014 Dougherty et al., 2016</p>	tasse, imposte, tariffe per la gestione del servizio di drenaggio + programmi di agevolazioni/riduzione delle imposte <i>taxes, fees, storm-water (utility) fees, + credit/ fees discount programs</i>	(price-based)* -imposte proporzionali agli impatti della trasformazione -canoni per il servizio di gestione e drenaggio delle acque meteoriche -agevolazioni proporzionali alla riduzione dei volumi di deflusso, delle superfici impermeabili, alla quantità e tipologia di tecnologie verdi adottate, alla performance ottenuta	I sistemi di tassazione consentono di accumulare risorse finanziarie per far fronte agli investimenti necessari per la gestione dei servizi idrici e del drenaggio delle acque	*sempre più frequenti sono i meccanismi volti a tassare specificamente le proprietà responsabili dello scarico nel sistema di drenaggio pubblico. Spesso tali meccanismi si accompagnano a sistemi di detrazioni per quei privati che scelgono volontariamente di adottare misure compensative in loco
	rimborsi fiscali e finanziamenti per le installazioni <i>rebates and installation financing</i>	(price-based)*	Sovvenzioni, rimborsi, sconti a singoli proprietari o gruppi di privati per finanziare progetti di infrastrutturazione verde e per l'installazione di tecnologie per il drenaggio sostenibile	*sono spesso previsti e circoscritti ad aree ben individuate per la necessità di migliorare la gestione del drenaggio urbano e pensate per incoraggiare gruppi di comunità ad adottare specifiche misure e raggiungere definiti obiettivi di qualità ambientale
	incentivi urbanistici <i>development incentives</i>	(price-based)* -riduzione dei costi legati ai permessi urbanistici -riduzione delle tasse -snellimento delle procedure (tempi di approvazione) -premi volumetrici -premi di superficie -vantaggi di categoria (<i>zoning upgrade</i>)	Sono concepiti per offrire al privato agevolazioni anche non direttamente monetarie lasciando libertà individuale di scelta progettuale entro linee guida indicate a livello locale	*sono concessi ai privati che sono in grado di certificare la sostenibilità dell'intervento e/o decidono di adottare specifiche misure e tecnologie verdi di compensazione/mitigazione degli impatti delle trasformazioni urbane per le quali si richiede il permesso.
	mercato delle licenze per lo scarico delle acque piovane <i>storm-water permits trading</i>	(quantity-based)* sistemi di scambio tradizionali sistemi di scambio cap-and trade	i proprietari, che sono tenuti a controllare l'eccesso di acque di ruscellamento dalla loro proprietà, possono adempiere solo parzialmente agli obblighi. Hanno facoltà di scegliere se installare tecnologie verdi di controllo delle acque meteoriche o comprare da altri privati o dall'autorità pubblica le "licenze" corrispondenti ai volumi di deflusso non "trattenuti".	*I meccanismi si basano su tre fasi: scelta di un fissato livello di deflusso consentito (scelta di corrispondenti volumi di acqua da ritenere); individuazione di uno spazio fisico all'interno del quale attivare lo scambio; assegnazione di "licenze" ai soggetti privati che sono liberi di comprarle e venderle sul mercato

EDUCATION AND OUTREACH				
PROGRAMMI EDUCATIVI E INIZIATIVE DI PARTECIPAZIONE EPA, 2009 EPA, 2010	programmi di educazione e partecipazione delle comunità <i>education and outreach programs</i>	-materiale informativo-divulgativo -linee-guida e manuali anche di contenuto tecnico -campagne informative -eventi, tour -programmi di certificazione	L'obiettivo principale è una comunicazione efficace dei principi e dei benefici che accompagnano le scelte di politica locale che si vuole adottare. Soprattutto quando centrati sulla promozione delle tecnologie e delle infrastrutture verdi, questi programmi possono essere la chiave per incentivare comportamenti e pratiche virtuose e limitare l'insorgere di barriere culturali	
	progetti pilota <i>demonstration and pilot projects</i>		Sono il modo più comune per introdurre la pratica delle infrastrutture verdi nelle comunità, ed integrarli nei programmi e nelle politiche locali. Soprattutto progetti di piccola scala, meglio gestibili, costituiscono il campo di prova e di sperimentazione delle tecnologie anche in termini di costo per la costruzione e per il mantenimento	
	programmi a premi* <i>awards and recognition programs</i>		Sono concepiti per pubblicizzare esiti di successo successivi all'adozione di tecnologie verdi all'interno di una comunità e, quindi, incoraggiare i soggetti alle buone pratiche. I vincitori possono essere singoli privati, organizzazioni no-profit, gruppi di comunità, scuole	

3.2.1 Dalla teoria delle politiche alla pratica di governo del territorio

Identificare i principali vantaggi e svantaggi nell'applicazione di qualsivoglia politica o insieme di politiche urbane, non può prescindere dal considerare, contestualmente, una complessità di fattori (Mees et al., 2014):

- la fattibilità economica (rendimento e convenienza di costo),
- l'Equità sociale,
- il raggiungimento di obiettivi ecologici/ambientali (miglioramenti delle performance urbane e incentivi alla adozione di nuove misure/tecnologie di compensazione e mitigazione),
- l'applicabilità (aspetti legali e giurisprudenziali),
- la pubblica accettazione.

Proprio quest'ultimo criterio di valutazione della "bontà" della politica o dell'insieme di politiche urbane proposte, è intimamente legato alla dimensione percettiva e comportamentale della questione ambientale in oggetto e, quindi, del rischio di allagamento ad essa connesso, come affetta dalla attitudine delle comunità.

In generale, i trend più comuni di applicazione degli strumenti *command-and-control*, in contesti non solo urbani, si sono certamente rivelati utili e altrettanto certamente, almeno nel principio, dovrebbero garantire il miglioramento degli esiti ambientali delle trasformazioni in previsione (nello specifico, una migliore capacità di gestione della quantità/qualità delle acque). Tuttavia, i CAC, incorrono in limiti abbastanza evidenti. Ad esempio, solitamente, non vengono pensati per agire sulle eventuali dinamiche territoriali pre-esistenti e sulle condizioni urbane attuali già determinanti aspetti di criticità. Sebbene la volontà politica sia talvolta intervenuta a regolare anche le proprietà esistenti (e non solo le nuove), cosa che potrebbe essere considerata un primo tentativo di tener conto anche dei risultati di processi di co-evoluzione uomo-ambiente precedenti, questo tipo di politiche possono incorrere nel rischio di non essere accettate dalla collettività poiché intaccano direttamente il "diritto di deflusso" il quale, a sua volta, può essere percepito come uno dei diritti connessi alla proprietà. Inoltre, gli esiti dell'applicazione di questo tipo di politiche non sempre sono immediati ma, piuttosto, determinano i loro effetti positivi nel lungo termine, facendo emergere un problema di percezione della loro efficacia da parte della comunità, che è chiamata ad atteggiamenti non scontati di lungimiranza.

Nondimeno, affinché possano ottenersi degli impatti propriamente positivi, queste politiche basate sull'applicazione di rigidi regolamenti, dovrebbero accompagnarsi ad un processo scrupoloso di *policy-audit* (EPA, 2010) per il controllo, l'aggiornamento e la revisione di delle norme di attuazione dei piani e dei regolamenti edilizi, oltre che di tutti gli altri codici ed ordinanze in vigore in materia di gestione del territorio (anche quelle relative al verde urbano). Ciò garantirebbe coerenza e consistenza tra tutti i livelli e le procedure di gestione dei molteplici assetti di governo locale rispetto ad eventuali nuovi regolamenti sul rilascio ed il recapito delle acque di ruscellamento e la gestione dei deflussi urbani. In questo modo, sarebbe anche più immediato facilitare i privati ad ottemperare compiutamente e contemporaneamente agli obblighi imposti dai regolamenti locali e

rimuovere le più comuni barriere all'adozione delle misure e tecnologie di compensazione/mitigazione legate ad incongruità o discrepanze normative (ad esempio, garantendo la coerenza e la complementarità tra le previsioni dello strumento regolatore, con le annesse norme e regolamenti, le ricadute di politiche locali sui parcheggi, sul verde, o sui criteri di progettazione delle infrastrutture viarie, e i regolamenti sulla gestione delle acque meteoriche e superficiali). Nondimeno, questo processo di revisione dovrebbe potersi reggere su un solido coordinamento tra i vari dipartimenti/uffici/divisioni locali coinvolti nella gestione delle trasformazioni urbane e del rilascio dei relativi permessi, rischiando di essere facilmente nullificato dall'inerzia e dall'incomunicabilità che spesso caratterizza i rapporti tra le autorità di governo locali.

Guardando al gruppo delle politiche *market-based*, tra gli strumenti afferenti al sottogruppo delle *price-based*, l'imposizione di nuove tasse, pur presentando alcuni validi aspetti applicativi, viene ritenuta da vari autori, che ne analizzano la applicazione in vari contesti, abbastanza fallimentare sia nel tentativo di incoraggiare la limitazione delle quantità di ruscellamento sia nel tentativo di incrementare le risorse economiche del soggetto pubblico. Essa equivale sostanzialmente a stabilire un prezzo per usufruire di un servizio "ambientale" (Field & Field, 2009) e alcuni vantaggi, soprattutto nel caso di imposte direttamente legate alla gestione dei deflussi, sono identificati nella stabilità di ricavo delle risorse economiche e programmabilità del loro impiego, in una maggiore equità tra i soggetti interessati e nell'opportunità di incorporare meccanismi di incentivo economico per l'impiego di sistemi urbani di drenaggio sostenibile nella proprietà privata (Doll et al., 1998).

Al contempo, garantire un'imposta che sia giusta, equa e correttamente calcolata sulla base del costo del servizio fornito è tutt'altro che immediato (Parikh et al., 2005). Basti pensare a quali metodi sia più giusto adoperare per il calcolo della tassa: uno tra i più comuni, ad esempio, è un sistema tale per cui il contributo dovuto è calcolato tenendo conto dell'estensione della superficie impermeabile nella proprietà. A parte gli aspetti più strettamente economici legati all'efficacia dell'applicazione di tali strumenti (dipendente soprattutto dalla difficoltà di determinare la giusta quota da far pagare), emergono importantissimi aspetti di natura idrologica che sembrano dipendere proprio dal metodo di misura usato per applicare la procedura di tassazione². Se da un lato le politiche *price-based* garantiscono al soggetto pubblico di governo locale l'accumulo di un certo quantitativo di entrate da impiegare direttamente nel finanziamento di programmi di *retrofitting* o nella realizzazione di infrastrutture e sistemi drenaggio urbano sostenibile o

² Ad esempio, alcune ricerche (Guo et al., 2010) studiano possibili metodi per convertire l'impermeabilità del bacino calcolata in termini di estensione superficiale nell'impermeabilità di bacino calcolata in termini di volume effettivo di deflusso generato, proponendo degli indici matematici per la corretta determinazione della percentuale di riduzione delle acque di scorrimento in base alle misure di mitigazione impiegate. Questo tipo di ricerche risulta prezioso per il lavoro delle amministrazioni che possono così affinare i meccanismi di incentivo e detrazione fiscale ai privati che, optando volontariamente per l'impiego di tecnologie di controllo dei deflussi, riducono il carico sulla gestione pubblica della quantità delle acque di ruscellamento.

ancora nella manutenzione e nella gestione delle infrastrutture di drenaggio già presenti, dall'altro incorrono nel rischio di innescare meccanismi perversi da parte di privati ed investitori che, pur di poter trasformare il territorio a piacimento e secondo le proprie logiche di interesse, sono disposti a sostenere il costo sociale prodotto dalle esternalità negative sulla collettività. Occorre considerare, poi, che questo tipo di meccanismi sono spesso affetti dal "fallimento amministrativo": è indispensabile, infatti, che il governo locale possa assicurare che i proventi accumulati vengano impiegati secondo le specifiche priorità ed esigenze di tutela ambientale e coerentemente con la visione strategica che ha condotto all'applicazione della politica urbana. Come ben chiarito da Field and Field (2009), questo vuol dire che, oltre alle criticità dovute alle dinamiche ed ai fallimenti di mercato, è la realtà dei contesti locali dove esistono tendenze sistematiche tra gli attori locali alla mancanza di trasparenza nelle procedure e nelle loro applicazioni, agli scontri politici, alle lentezze e complicanze burocratiche, che osta fortemente ad ottenere esiti di successo a seguito dell'applicazione di tali politiche urbane.

Tra gli strumenti basati sulla logica dell'incentivo, sono le politiche *quantity-based* a rivestire un interesse sempre maggiore (EPA, 2006). Sotto alcune specifiche ipotesi, infatti, esse sono ritenute largamente molto promettenti nell'ottica di incentivare ad adottare i sistemi verdi e, in generale, tecnologie di controllo delle acque di ruscellamento, consentendo loro di gestirne vantaggiosamente il costo (Shuster et al., 2013). Le ipotesi di praticabilità di un sistema di scambio e compravendita di "licenze" di ruscellamento/scolo delle acque meteoriche sono sostanzialmente due: da una parte, il risparmio, in termini di costo totale, nella realizzazione di un sistema di infrastrutture verdi di drenaggio sostenibile rispetto ad una infrastrutturazione di tipo tradizionale; dall'altra, il meccanismo di mercato su cui viene basato lo scambio è un modo pratico ed economicamente efficace per diffondere misure di controllo dei deflussi estendendole agli interi bacini urbani e non. Secondo alcuni, poi, un aspetto di importanza non secondaria è la migliore risposta dei soggetti privati all'applicazione di questo tipo di politiche perché la percezione da parte della collettività è quella di una distribuzione di nuovi diritti (le licenze per il ruscellamento) piuttosto che la notifica di ulteriori obblighi di tassazione (Field & Field, 2009). Contrariamente, altri, esprimono una opinione diametralmente opposta, evidenziando come il soggetto privato tenda sostanzialmente a percepire il diritto di ruscellamento connaturato al diritto di proprietà e possa opporre resistenza ogni qualvolta esso possa venire in qualche modo limitato (Stavins, 2003). Tra l'altro, l'applicazione di limitazioni al deflusso in aree urbane già consolidate pone problemi ancora più spinosi di quelli prevedibili in aree di nuova edificazione. Da un punto di vista squisitamente idrologico, poi, un meccanismo che si basi sullo scambio di licenze è confezionato su misura per rispondere a condizioni locali specifiche e, quindi, costruito a partire dalla definizione di un limite in termini di portata e volume di deflusso delle acque meteoriche, che può essere stabilito in funzione del raggiungimento di specifici obiettivi come la tutela ecologica, il rispetto di normative sulla qualità delle acque nei corpi ricettori, o limiti di capacità di convogliamento dei sistemi di fognatura, direttamente legato all'occorrenza

di eventi di allagamento. Al contempo, far affidamento su un sistema di questo tipo, che mira ad incentivare l'adozione di misure di controllo e mitigazione dei deflussi, implica dover fare affidamento sulla raccolta di informazioni dettagliate (mappature, analisi idrologiche, assetti idraulici, morfologie urbane) che consentano di descrivere compiutamente le caratteristiche delle aree private coinvolte nel meccanismo, anche in termini di estensione superficiale, coperture dei suoli, uso dei suoli, pendenze, specifiche idrologiche dei terreni (Thurston, 2003b).

E' chiaro, inoltre, che le licenze (in letteratura si parla di *permits*, *allowances*, *credits*) possono essere comprate e vendute all'interno di una stessa entità-bacino urbano, proibendo, pertanto, lo scambio tra diversi bacini (Dougherty et al., 2016). Infatti, l'allagamento, è per sua natura inevitabilmente legato alla configurazione spaziale di ogni bacino in cui si manifesta, alla disposizione, qualità e quantità delle superfici impermeabili, alla capacità dei sistemi di convogliamento ed influenza profondamente la definizione dei limiti delle unità spaziali da considerare per attivare il meccanismo di *trading* (portandolo a coincidere non con limiti fittizi di natura amministrativa ma con i limiti fisici dei bacini). Non bisogna dimenticare, inoltre, che forti criticità dell'applicazione di strumenti di politiche urbane adattati alla necessità di controllo delle acque dipendono dalle caratteristiche intrinseche delle entità-bacino nelle quali, un intervento localizzato in una specifica posizione, può comportare importanti ripercussioni anche in punti distanti da quella posizione; ecco perché risulta indispensabile lavorare a stretto contatto con i professionisti in grado di costruire scenari di trasformazione territoriale modellando la risposta delle aree urbane alle diverse strategie di pianificazione e alle molteplici possibilità di impiego di misure di mitigazione. Solo così si può garantire la corretta applicazione del sistema di scambio anche in ottemperanza al principio del *polluter-pays-principle*, prima brevemente richiamato (Nash, 2000).

Tra i criteri utili alla valutazione della bontà delle politiche urbane attuabili, abbiamo citato quelli di efficienza economica. Essi, sono sostanziali nel determinare come e perché i soggetti privati e la collettività tutta agirà a seguito della adozione di specifici strumenti. Soprattutto momenti di ristagno o depressione economica la collettività esige proiezioni affidabili di efficacia delle misure che il governo locale decide di mettere in campo, soprattutto considerando la tendenza a proteggere i propri capitali. Diversi strumenti corrispondono a diversi livelli e tipi di incentivo che è possibile offrire al privato per raggiungere un controllo efficace e quanto più economicamente vantaggioso delle esternalità causate dalle azioni di trasformazione territoriale. In generale, gli strumenti del tipo *quantity-based* sono riconosciuti in letteratura per essere i più affidabili da questo punto di vista, oltre a consentire di superare le difficoltà pratiche di applicazione degli strumenti di tipo *price-based*.

3.2.2 *Gli ostacoli all'adozione delle politiche e all'impiego di infrastrutture verdi per il drenaggio sostenibile*

Le politiche per il controllo delle acque di ruscellamento, soprattutto quelle basate su meccanismi di mercato, sono state applicate con gli esiti

più interessanti, in quelle città impegnate nella ricerca di modi vari e flessibili per coinvolgere l'iniziativa privata ed indirizzarla verso obiettivi di gestione sostenibile delle acque meteoriche, specialmente in quei contesti dove il problema del controllo della quantità delle acque ha comportato gravi problemi di mantenimento della qualità delle stesse nei corpi idrici ricettori. Va detto, infatti, che tutte le politiche di cui si è discusso non nascono specificamente con l'obiettivo di mitigare il rischio di allagamento urbano ma, piuttosto, per esigenza di tutela della biodiversità e di abbassamento dei livelli di inquinamento. Essendo la questione della qualità delle acque strettamente legata a quella della quantità delle stesse, non si sbaglia se si riflette sulla possibilità di estendere alcune logiche sottese alle varie politiche anche alle strategie specificamente indirizzate alla mitigazione del rischio di allagamento nelle aree urbane. In tutti i casi, le politiche urbane mirate al controllo delle acque di deflusso necessitano di essere ben collocate all'interno di una solida cornice pianificatoria ed essere, al contempo, sostenute da una forte volontà politica, così da creare le condizioni fertili per poter orientare opportunamente le pratiche di rigenerazione, gli indirizzi di trasformazione, i *trend* di urbanizzazione, le strategie di pianificazione e progetto delle infrastrutture verdi.

La diversità nelle culture, nei livelli e nelle modalità di percezione e reazione alle questioni ambientali ed urbane, soprattutto quelle legate ai rischi, sono fattori cruciali da cui può dipendere l'esito dell'applicazione delle politiche stesse (O'Neill et al., 2015). In un contesto generale ove è sempre più incalzante la domanda del "come adattare la città ai cambiamenti in atto", gli attori di governo, gli urbanisti e i *policy makers* fanno affidamento sulle politiche urbane ed i loro strumenti di applicazione per incoraggiare comportamenti virtuosi da parte dei soggetti privati e l'adattamento delle comunità, pianificandolo o, laddove fattibile, incentivando l'iniziativa volontaria. La prospettiva del soggetto privato, così come la predisposizione comportamentale delle comunità, possono agevolare come ostacolare pesantemente le soluzioni proposte³. La questione cruciale resta, quindi, provare a progettare il programma di politiche più opportuno partendo dalla comprensione di quale sia il meccanismo più adatto per incentivare i soggetti privati che appartengono ad un certo contesto, superando le più comuni barriere all'impiego delle nuove tecnologie di controllo delle acque di ruscellamento superficiale. Secondo Roy et al. (2008), le resistenze al cambiamento e la mancanza di fondi ed incentivi effettivamente tangibili e significativi per i privati, sono tra i maggiori impedimenti ad assumere un approccio più sostenibile alla gestione delle acque attraverso l'impiego di tecnologie e misure di controllo diffuse. Prevedibilmente, gli stessi autori suggeriscono di approfondire gli sforzi maggiori nella ricerca dei più efficaci meccanismi di mercato ma anche e soprattutto nelle politiche urbane di educazione, formazione e comunicazione con le comunità anche attraverso progetti di tipo dimostrativo. Altri recenti contributi nella letteratura hanno discusso circa i principali elementi deterrenti all'applicazione dei principi SuDS (McKissock et al. 2003; Kirby, 2005; Ellis & Revitt, 2010; O'Sullivan et al. 2012). Questi fattori avversi possono provenire non soltanto dalle

³ Basti guardare all'opposizione fortissima manifestata della cittadinanza di Dublino verso il nuovo sistema di tassazione sull'acqua connesso con la fondazione di *Irish Water*.

comunità di individui, spinti a modificare il loro modo di agire e vivere sul territorio in modi che siano utili per il conseguimento del benessere collettivo e del bene pubblico, ma anche da quelle organizzazioni, agenzie, istituzioni ed attori tutti che sono coinvolti nelle questioni di pianificazione e progetto con ricadute sul drenaggio urbano e sulla gestione del rischio (O'Sullivan et al.2012), e che dovrebbero indirizzare e stimolare lo stesso processo di cambiamento. Proprio a questo riguardo, sembra imprescindibile fare delle politiche di educazione un vero e proprio pilastro dei programmi pubblici. Sia che il processo educativo avvenga attraverso la pratica dei progetti dimostrativi o, ad esempio, attraverso la divulgazione di materiale informativo, linee-guida, rapporti, documenti, sia che si mettano in atto programmi di assistenza tecnica, esso può essere potenzialmente ed efficacemente calibrato basandosi sulle caratteristiche sociali, culturali e sulle manifeste attitudini delle comunità coinvolte (Frey et al., 2015). Chiaramente, l'auspicato cambiamento di rotta non dipenderà soltanto da un corrispondente cambiamento nelle consapevolezze e attitudini che possono essere indirizzate grazie alla profusione di sforzi nei progetti educativi. La disponibilità di nuove tecnologie e di risorse economiche, fattori di convenienza come di fiducia, soprattutto negli attori politici e di governo e la credibilità ed affidabilità delle scelte organizzative prese, hanno un peso importante tanto quanto fattori e costrizioni di natura fisica e questioni di natura istituzionale.

Come detto, le comunità possono risultare scoraggiate dall'intraprendere opportune azioni di adattamento volontario, responsabile e consapevole perché risentono degli elementi di incertezza naturalmente connaturali alle scelte di politica locale. La collettività necessita di regole che sia quanto più certe e comprensibili nonostante l'accettazione dell'autorità e dell'esercizio del potere possano divenire oggetto di controversie, esacerbate dallo scontrarsi di diversi sistemi di valori ed interessi degli attori coinvolti.

In conclusione, poi, vanno sottolineate le implicazioni che derivano dalla considerazione simultanea di visioni di breve e lungo periodo le quali, a loro volta, influenzano le strategie di pianificazione e le scelte sulle politiche urbane (EPA, 2010). Infatti, può emergere il dubbio di correttezza delle scelte, strettamente condizionato da come si sceglie di attribuire l'onere di responsabilità al soggetto-causa di esternalità negative e il peso di tale onere anche nella dimensione temporale tra gli attori coinvolti nel presente e le generazioni future. Le politiche pubbliche e gli strumenti messi in campo per applicarle sono chiamati ad orientare e/o forzare gli individui ad adattarsi e agire in modo virtuoso come richiesto dall'urgenza delle questioni ambientali in atto. Trovare una soluzione o combinarne alcune che siano facili da comprendere e condividere oltre che finanziariamente sostenibili sia dal soggetto pubblico che da quello privato è cruciale (Kazmierczak and Carter, 2010). Per aumentare la partecipazione e facilitare il processo di costruzione del consenso, tra l'altro, i portatori di interesse hanno bisogno di trovare tra loro l'accordo su obiettivi ambientali chiari, specifici e quanto più misurabili possibile. Altro aspetto pesantemente influente sulla buona risposta alla politica attuata, in termini di accettazione pubblica e partecipazione, come negli esiti ambientali, è l'elemento di forte *leadership*

del soggetto pubblico locale promotore della politica stessa (più in generale è comunque utile, se non imprescindibile, la presenza di almeno una figura di chiara influenza per l'organizzazione e la conduzione dell'iniziativa, al fine di garantirne il successo). La *leadership* si esprime con forza ancora maggiore se il soggetto pubblico mostra di attuare la politica urbana attraverso procedure chiare e coerenti con la fase di progetto e definizione del programma che le ha precedute e durante la quale sono stati ben individuati e dichiarati gli obiettivi di performance ambientale da raggiungere. In tal senso, ad esempio, si può notare come sia importante che il soggetto pubblico anticipi con iniziative pilota quanto richiesto al soggetto privato. Ad esempio, è più semplice incoraggiare in modo efficace i soggetti privati ad adottare misure di mitigazione, potendo l'operatore pubblico, tra l'altro, verificare gli standard che ha pensato di richiedere e dare il buon esempio da seguire (Kazmierczak and Carter, 2010).

Di conseguenza, è auspicabile che, una volta raggiunto l'accordo sugli obiettivi di *performance* da raggiungere, ai responsabili privati e alle comunità chiamate a rispettarli, possa essere garantita una sorta di libertà e flessibilità nei modi per ottemperare, nelle scelte di progettazione degli spazi e comunque nel rispetto di quanto richiesto. Questo è il motivo per il quale, ad esempio, molti autori insistono con l'evidenziare che i tipi di politica di maggior successo sono quelli che impongono *performance* ambientali piuttosto tecnologiche, lasciando ai privati la libertà di scegliere come garantire la performance e non obbligandoli ad adottare certe prestabilite soluzioni tecnologiche. Ad ogni modo, la ricerca e l'esperienza portano ad affermare che è spesso la combinazione di approcci di tipo regolativo ed approcci ad incentivi a ritenersi la strategia più efficace da mettere in campo. Perseguita dai governi locali, l'adattamento e la mitigazione pianificate, che andrebbero indirizzate, controllate ma anche condivise nel senso della partecipazione, possono raggiungersi anche attraverso la combinazione di strumenti CAC e MBI che, per certi versi, vanno ritenuti complementari (Filatova, 2014). Questo significa che anche la pianificazione del territorio deve ricercare una sorta di equilibrio e la più opportuna combinazione tra forze coercitive e processi di adattamento indotto ma volontario. Più il programma di politiche viene efficacemente e correttamente comunicato ai soggetti che ne vengono coinvolti e più aumenta la consapevolezza dei *benefit* che ad esso sono legati (tutte le questioni importanti che stanno alla base della visione comune generatrice delle strategie di pianificazione e delle politiche stesse), più è probabile che i regolamenti, le imposte o qualsiasi altro meccanismo individuato, non incontrino dure resistenze (EPA, 2014).

La Figura 3.1 mostra i nessi logico-concettuali che intercorrono tra le decisioni strategiche di pianificazione spaziale e la costruzione di politiche locali da una parte, e l'obiettivo principale di riduzione del rischio da allagamento urbano superficiale dall'altra. La costruzione di una efficace risposta di resilienza urbana, traducibile in concreti risultati di mitigazione e di adattamento, passa dal continuo impegno all'abbattimento delle barriere che ostacolano la regolamentazione, incentivazione e diffusione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile.

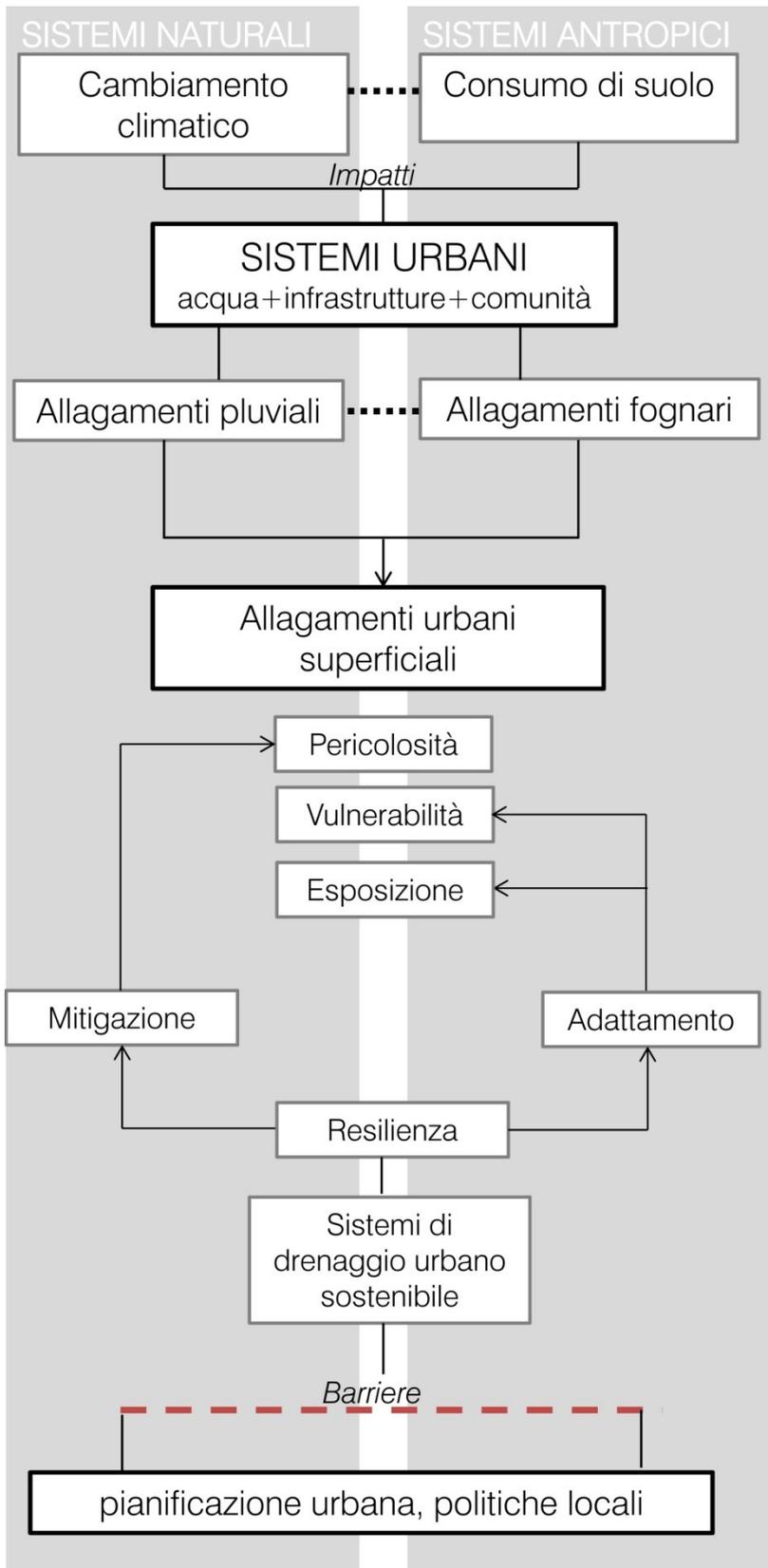


Figura 3.1 | Relazioni tra fenomeni territoriali, sistemi urbani, rischio da allagamenti superficiali e combinazione di pianificazione urbana e politiche per la resilienza attraverso la diffusione dei sistemi di drenaggio sostenibile

PARTE SECONDA |
MATERIALI E METODI DELLA RICERCA

Capitolo 4. Proposta di metodo per le fasi analitica e strategica

4.1 Contributi multidisciplinari per una prospettiva interdisciplinare

La difficoltà di integrazione tra prospettive e approcci disciplinari diversi, ha costituito una delle ragioni dell'inadeguatezza delle risposte messe in campo dalla pianificazione territoriale ai cambiamenti cui vanno incontro le città contemporanee.

Il terreno "molle" della resilienza, necessita della solidità fornita da letture settoriali integrabili in una prospettiva olistica. Una pianificazione urbana sensibile alla questione della gestione degli allagamenti urbani ed alle politiche e pratiche per il drenaggio urbano sostenibile, non potrà che avvalersi di strumenti analitico-interpretativi propri delle scienze idrologiche ed idrauliche, che possano integrarsi a quelli tradizionalmente usati dalla disciplina e supportare le decisioni strategiche alla base dei suoi strumenti di controllo e organizzazione spaziale (i Piani).

In generale, il graduale passaggio dal primo sommario approccio alla realtà fino alla fase ultima di scelta si compie attraverso la concatenazione di tre momenti: conoscere, comprendere, giudicare ed interpretare permettono, una volta acquisiti, elencati e classificati dati oggettivi, di spiegarli ed interpretarli per elaborarli, individuando rapporti e mutue relazioni tra i fenomeni in atto, speculando anche su scenari di futuro e giungendo alle scelte spaziali. Dovendo operare su contesti complessi ed eterogenei, dove i problemi possono non prevedere soluzioni univoche, occorre coordinare e combinare operazioni su vari fronti (Holford, 1950) attraverso il percorso deduttivo che si svolge lungo lo spazio logico-temporale che intercorre tra la conoscenza e l'intervento, cioè, tra l'analisi e il Piano (Astengo, 1966).

In particolare, il processo di analisi, dove più si concentra il *focus* di questa ricerca, si sostanzia di contributi multidisciplinari ed è sviluppato grazie ad apparati teorici specifici, rivendicando il rigore scientifico. Il processo di sintesi, rispetto al quale le discussioni proposte in seno a questo lavoro costituiscono un primo punto di partenza, si configura come raccolta, confronto e valutazione di relazioni, possibilità e conflitti posti in

luce dall'indagine, e resta frutto dell'interpretazione soggettiva (Keeble, 1952).

Il contributo offerto dall'impiego di strumenti analitici prestatati da materie specialistiche, aiuta le strategie e le scelte di pianificazione ad essere più efficienti e rispondenti rispetto alle domande e agli interessi sociali, ma è anche utile a produrre politiche su base scientifica (Lawson et al., 2014). D'altronde, il passaggio dalla dimensione della "multidisciplinarietà" a quella della "interdisciplinarietà" avviene quando la giustapposizione di conoscenze, informazioni e metodi, con una loro propria identità, si trasforma in integrazione e interazione proattiva, per le quali la collaborazione tra gli attori ed il lavoro congiunto sono condizioni necessarie ma non sufficienti (Klein, 2010).

4.2 Articolazione della proposta metodologica

La metodologia proposta è stata costruita per essere flessibilmente applicata rispetto a due indirizzi principali di obiettivi, che derivano dalle questioni teorico-concettuali descritte nei capitoli precedenti:

- La valutazione della compatibilità idraulica delle trasformazioni previste dal Piano Regolatore (A)
- La valutazione del profilo di risposta dei sistemi urbani agli eventi di pioggia e del contributo fornito dai sistemi di drenaggio urbano sostenibile alla sua modificazione (B)

Infatti, se è vero da una parte che il rispetto del principio di invarianza idraulica è condizione irrinunciabile per trasformazioni resilienti del territorio (par. 2.2.3), valutare come esso possa combinarsi con le scelte strategiche e progettuali previste dal Piano Regolatore è un obiettivo fondamentale da perseguire, per garantire la compatibilità di quest'ultimo con gli assetti idraulici ed idrologici del territorio. Ciò, soprattutto, se si considera che norme e regolamenti hanno imposto agli strumenti regolatori di scala comunale di recepire l'istanza, prescrivendo la condizione di invarianza idraulica e possibilmente idrologica per tutte le trasformazioni del territorio in grado di modificare il regime idraulico esistente, anche mediante l'applicazione dei metodi del drenaggio urbano sostenibile (PGRA Sicilia, 2016).

D'altro canto, qualsiasi strategia urbanistica che voglia integrare la gestione del rischio nelle dinamiche di organizzazione dello spazio e nella costruzione di politiche locali di mitigazione ed adattamento, dovrebbe partire da una analisi della resilienza specifica dei sistemi urbani considerati nel Piano, ad una scala di dettaglio opportuna, e valutare quanto il ricorso a misure come i sistemi urbani di drenaggio sostenibile possa contribuire a migliorare la risposta dei suddetti sistemi agli eventi di pioggia.

In generale, comunque venga poi declinata, la metodologia proposta si articola in tre fasi cardinali:

- La definizione di scenari da esaminare e comparare
- La scelta di variabili ed indicatori da usare ai fini dell'analisi

- La selezione del modello di simulazione degli scenari

L'interpretazione dei risultati ottenuti viene poi effettuata in termini utili agli scopi della pianificazione e, in particolare, alla definizione delle politiche e delle azioni di Piano.

Il primo indirizzo di applicazione metodologica (A), si basa sull'analisi del sistema urbano nello scenario dello stato di fatto e nello scenario di progetto previsto dal Piano Regolatore. Il risultato di tale analisi è leggibile attraverso un indicatore semplice di invarianza idraulica che restituisce il confronto dei valori assunti dalla variabile scelta per descrivere la risposta idraulica del sistema, nei due scenari di riferimento (par.4.5).

Il secondo indirizzo di applicazione metodologica (B), analizza il sistema urbano nello scenario dello stato di fatto basandosi, stavolta, su un insieme di variabili, scelte per descrivere la sua risposta agli eventi di pioggia non più in termini soltanto idraulici ma, anche, di resilienza specifica, indagata sotto alcuni aspetti tramite indicatori scelti opportunamente. Inoltre, la costruzione di scenari di integrazione di SuDS nel sistema urbano, da confrontare con lo scenario dello stato di fatto, permette di analizzare le *performance* delle misure considerate in termini di variazioni delle variabili descrittive della risposta del sistema, e di valutare, contestualmente, quali siano gli effetti di potenziali scelte progettuali sugli indicatori usati per descrivere gli aspetti di resilienza specifica di interesse (par.4.7).

In tutti i casi, la simulazione degli scenari (scenari di stato di fatto, di progetto di Piano, di integrazione di SuDS) passa dalla loro completa descrizione attraverso analisi urbano-territoriali indispensabili ai fini della definizione dei parametri di input da usare nella fase di modellazione.

Il modello selezionato per simulare gli scenari è il medesimo ma viene applicato a diversi livelli e scale di dettaglio, coerentemente con gli indirizzi (A) e (B).

Nel primo caso, infine, la metodologia si completa con l'applicazione del principio di invarianza idraulica alle trasformazioni urbane, imponendo che queste ultime compensino gli impatti generati sul regime di deflusso, e permettendo la definizione di "oneri" di restrizione al rilascio delle portate, attribuibili proporzionalmente alle esternalità negative prodotte dalle trasformazioni stesse, nell'ambito del sottobacino di influenza.

Nel secondo caso, la metodologia conduce all'individuazione di criteri utili alla definizione della norma di Piano e delle scelte di politiche locali che la giustificano.

La scelta di divaricare la metodologia è dipesa dalla volontà di tradurre gli "indirizzi di ricerca" in "azioni di ricerca", cioè di perseguire esiti concreti degli studi elaborati che fossero integrabili nei processi di Piano; ciò ancor di più nella prospettiva di accostarsi a reali processi di pianificazione in itinere, in un contesto dove l'inadeguatezza dell'assetto normativo della legislazione regionale ha contribuito a mortificare lo strumento regolatore, costringendolo, di fatto, nella incapacità di concepire strategie e modalità di attuazione delle trasformazioni urbane efficaci rispetto alla risposta alle questioni introdotte.

Infatti, contestualmente allo sviluppo della ricerca, si è potuto seguire da vicino il reale processo di revisione di due strumenti regolatori, rispettivamente il Piano Regolatore Generale per le città di Catania e quello

per la città di Avola, in Sicilia. Ciò ha permesso di attribuire alla ricerca anche carattere “laboratoriale” con l’obiettivo di portare gli studi teorici effettuati, le alternative di applicazione di nuove metodologie e le discussioni generate in seno agli studi, sul tavolo del processo decisionale.

In particolare, con riferimento al caso di Catania, gli *step* metodologici consentono di pervenire alla definizione di oneri/misure di compensazione delle trasformazioni previste dallo strumento di piano, da assumere quali “dotazioni urbane obbligatorie” ai fini di espansioni urbane idraulicamente compatibili (indirizzo metodologico A).

Con riferimento al caso di Avola, gli *step* metodologici servono alla costruzione del profilo di risposta del sistema urbano nel suo stato di fatto e nell’ipotesi di integrare misure SuDS all’interno del tessuto urbano, valutando gli effetti sulla resilienza specifica del sistema stesso e giovando agli scopi del Piano, soprattutto nell’ottica di costruire visioni e azioni progettuali ai fini della mitigazione del rischio di allagamento.

4.3 Analisi idrologiche, analisi delle piogge e analisi urbane tradizionali

La costruzione di basi descrittive delle forme del territorio e delle sue caratteristiche di idoneità insediativa rispetto le questioni della compatibilità ambientale è un punto di partenza per l’attività di ricerca (Secchi, 2000).

La conoscenza delle dinamiche relative all’uso ed alla copertura del suolo, in particolare, è da sempre strategica per la pianificazione territoriale in quanto consente di leggere lo stato attuale dei luoghi come risultante delle modificazioni intervenute in passato, di monitorare quelle in atto e di prefigurare quelle future. In particolare, ai fini dell’applicazione della metodologia nel campo di questa ricerca, l’analisi degli usi e delle coperture dei suoli assume importanza rispetto alle valutazioni sul rapporto che si instaura tra superfici e precipitazioni nella generazione dei deflussi superficiali.

In particolare, l’analisi di tipo ibrido uso del suolo/copertura del suolo dei sistemi presi in considerazione, nelle condizioni dello stato di fatto, è effettuata sulla base delle Carte Tecniche Regionali (scala 1:10000), incrociando le informazioni fornite dello studio agricolo-forestale di corredo al Piano, con quelle ricavabili dall’interpretazione delle ortofoto satellitari nonché dalle osservazioni dirette in loco, ricavando le categorie di uso del suolo utili alla caratterizzazione dei sistemi urbani oggetto di studio tramite parametri da usare come input nella fase di modellazione afflussi-deflussi (par.4.4.1.1).

Un secondo tipo di analisi utile alle considerazioni sviluppate nella ricerca è l’analisi morfologica del tessuto edilizio che, oltre a consentire una classificazione dei tessuti secondo le categorie tradizionali e relativamente alla nascita degli stessi in funzione dei periodi storici, permette di ricavare informazioni sulle relazioni (indirette) che possono instaurarsi tra morfologia del tessuto urbano e gestione delle acque di precipitazione.

Anche questa analisi è effettuata sulla base delle Carte Tecniche Regionali (scala 1:10000) interpretando le ortofoto satellitari ed effettuando numerose osservazioni dirette in loco.

Se analisi come quelle di uso del suolo, copertura e morfologie urbane possono facilmente essere condotte con riferimento a qualsiasi oggetto spaziale, definendone il confine a partire da delimitazioni anche di tipo amministrativo o altro, la gestione dei deflussi a livello urbano, come extraurbano, si associa inevitabilmente all'identificazione del bacino (*catchment*) o del sottobacino (*sub-catchment*) quale elemento spaziale di riferimento per le analisi di tipo idrologico ed idraulico (Nedkov et al., 2012; Nedkov et al., 2015).

Almeno per quel che concerne la delimitazione degli spartiacque dei bacini superficiali, che possono non coincidere con quelli idrogeologici e con quelli fognari, alla tradizionale pratica manuale di analisi e tracciamento dei limiti di bacino e della rete idrografica nell'area sottesa alla sezione di chiusura che lo definisce, possono accoppiarsi approcci più sofisticati, tra cui le funzioni di analisi idrologica messe a disposizione dai software GIS. Tali funzioni permettono di modellare il movimento dei flussi d'acqua sopra una superficie a partire da un modello di elevazione digitale del terreno (*DEM-digital elevation model*) e di ricavare le linee spartiacque di delimitazione dei bacini imbriferi.

Infine, la definizione della metodologia non può prescindere dall'analisi probabilistica delle piogge, effettuata secondo la comune pratica ingegneristica volta, cioè, alla determinazione delle curve di probabilità pluviometrica (CPP - relazioni tra altezze e durata di pioggia per fissati tempi di ritorno T_r) da assumere per tutto il territorio considerato omogeneo quando, ovviamente, non già disponibili come dato di partenza. Alla determinazione delle CPP, utilizzando come dati i valori massimi annuali delle altezze di pioggia registrate in intervalli di 1, 3, e 6 ore, si aggiunge l'estrapolazione delle curve per i valori di altezze di pioggia negli intervalli inferiori all'ora, adottando la metodologia proposta da Hershfield & Engman (1981) per l'analisi delle piogge intense.

4.4 L'approccio modellistico a supporto della disciplina

Nel momento in cui le istanze di corretta gestione e di tutela delle risorse naturali entrano nell'orizzonte di attesa della pianificazione territoriale a tutti i livelli, emerge la questione su come rappresentare la realtà e sulla base di quali modelli la pianificazione debba fondare le giustificazioni alle proprie decisioni. E' vero, però, che i modelli della pianificazione che sono tendenzialmente votati a prevedere utilmente gli effetti delle scelte spaziali sugli equilibri del territorio, si reggono a loro volta sui modelli di ricerca, tipicamente orientati a descrivere i fenomeni fisici in senso stretto. I modelli servono se ed in quanto aiutano a porre la razionalità alla base delle decisioni e delle scelte di Piano che producono e modificano la realtà in un modo che è inevitabilmente soggettivo, ma anche basato su di un giudizio razionale rispetto alla soluzione di problemi che, per poter essere affrontati

con politiche e tecnologie appropriate, occorre siano ben formulati (Pistocchi, 2002).

Se, fino a poco tempo fa, l'urbanista si era avvalso di analisi "esterne" per validare *ex-post* o al massimo correggere alcuni scenari di piano, oggi ci si aspetta che la pianificazione, servendosi dei molti strumenti di valutazione quantitativa a disposizione, entri nel dettaglio di come la modellistica previsionale e lo studio quantitativo legato alla gestione delle risorse naturali possano diventare euristica integrata alla prassi progettuale, accompagnando la pianificazione ai livelli opportuni. Oggi, la conoscenza è quasi sempre avvicinata tramite l'impiego di mezzi modellistici ma resta aperta la questione su quali siano le modalità più giuste per mettere questa conoscenza a servizio della razionalità del Piano, come risulta evidente dalle difficoltà di diffondere opportuni sistemi di supporto alle decisioni nella pratica della pianificazione e trovare il dialogo tra il livello della ricerca scientifica e quello della prassi progettuale (Pistocchi, 2002). Quindi, accanto alla scelta del modello più appropriato per risolvere un certo problema di previsione, si pone il più annoso problema di produrre, attraverso la simulazione della realtà, informazioni e classificazioni "a valore aggiunto" che contengano o consentano un giudizio sul territorio, utile alla definizione di scelte spaziali che intervengano a modificare specifiche situazioni, come quelle di rischio. In tal senso, l'esito più significativo cui può farsi utile riferimento è la produzione di mappature, carte a valore conoscitivo aggiunto derivato da un assemblaggio consapevole di informazioni, tra cui quelle ambientali, elaborate dai risultati sotto forma di immagini sintetiche. Costituiscono, infatti, una classe eterogenea e interdisciplinare non soltanto limitata ad una rappresentazione tematica del territorio ma, derivando da valutazioni qualitative e quantitative di fenomeni specifici dei luoghi, che risulta realmente orientata al supporto di scelte strategiche e decisionali e concretamente integrabile nel processo di pianificazione.

E' il caso delle mappe di allagamento, che servono variamente a pianificatori e attori locali per caratterizzare il territorio in funzione del rischio (Kluck, 2010) e ricavarne non soltanto indirizzi vincolistici, ma strategie differenziate e quanto più flessibili rispetto alle realtà locali, fornendo indirizzi per le scelte politiche ma anche aprendo alla collettività i canali di accesso alle informazioni ed alla più facile condivisione delle stesse (Environment Agency, 2003).

Emerge con chiarezza, allora, che il ricorso ai modelli per descrivere la realtà di fenomeni territoriali, soprattutto nel dominio delle questioni ambientali, può arricchire il processo di pianificazione del territorio nel suo complesso: nella fase di conoscenza, essendo strumenti per loro natura di tipo analitico; nella fase di valutazione e interpretazione del territorio, rendendo accessibili contenuti specialistici a professionisti di varie afferenze disciplinari e favorendone la diffusione e lo scambio; nella fase operativa di tipo decisionale e progettuale, indirizzando le scelte strategiche di trasformazione urbana.

In generale, poi, le valutazioni derivano da dati, indicatori e indici, eterogenei in termini di significato, scala e natura, che possono essere combinati per incoraggiare una struttura dell'informazione utile a misurare

alcune *performance* delle aree urbane, ma anche a valutare diverse possibili azioni di mitigazione ed adattamento, studiandone le priorità con riferimento a diverse aree nelle città (Berggren, 2008)

A loro volta, gli indicatori possono assolvere a numerose funzioni, aiutando ad intraprendere decisioni e azioni più efficaci semplificando, chiarendo ed aggregando informazioni disponibili ai pianificatori ed ai *policy makers*; permettendo di inglobare la conoscenza di fenomeni fisici e sociali nei processi decisionali ed incoraggiando la diffusione di tecnologie nell'ottica di calibrare il progresso verso obiettivi di resilienza e sviluppo sostenibile; rappresentando un utile strumento per comunicare idee, scambiare riflessioni e costruire gerarchie valoriali (UN,2007).

La Figura 4.1 mostra le relazioni che intercorrono tra modello ed uso di indicatori e le colloca nel quadro generale di impostazione della ricerca. L'input per le simulazioni effettuate tramite l'uso del modello sono i dati climatici, mentre i dati ricavati dalle analisi urbanistiche (in particolare quella di uso e copertura dei suoli) sono considerati costanti in prima battuta (simulazioni degli "scenari zero" o scenari dello stato di fatto) per variare poi secondo le necessità di costruzione degli scenari progettuali (simulazione degli scenari di trasformazione urbana secondo le previsioni di Piano/indirizzo (A) o di integrazione delle misure SuDS/indirizzo (B)). I risultati delle simulazioni possono combinarsi in indicatori che ne permettono l'interpretazione rispetto le domande di ricerca poste (valutazione del livello di compatibilità idraulica delle trasformazioni urbane/ indirizzo (A) o valutazione della variazione di aspetti di resilienza specifica/ indirizzo (B)). In questo modo, si ricavano suggerimenti strategici dalla definizione di misure di mitigazione e adattamento simulate attraverso l'uso di modelli (analisi di scenario) e valutate servendosi degli indicatori, per operare opportuni confronti (Berggren, 2008).

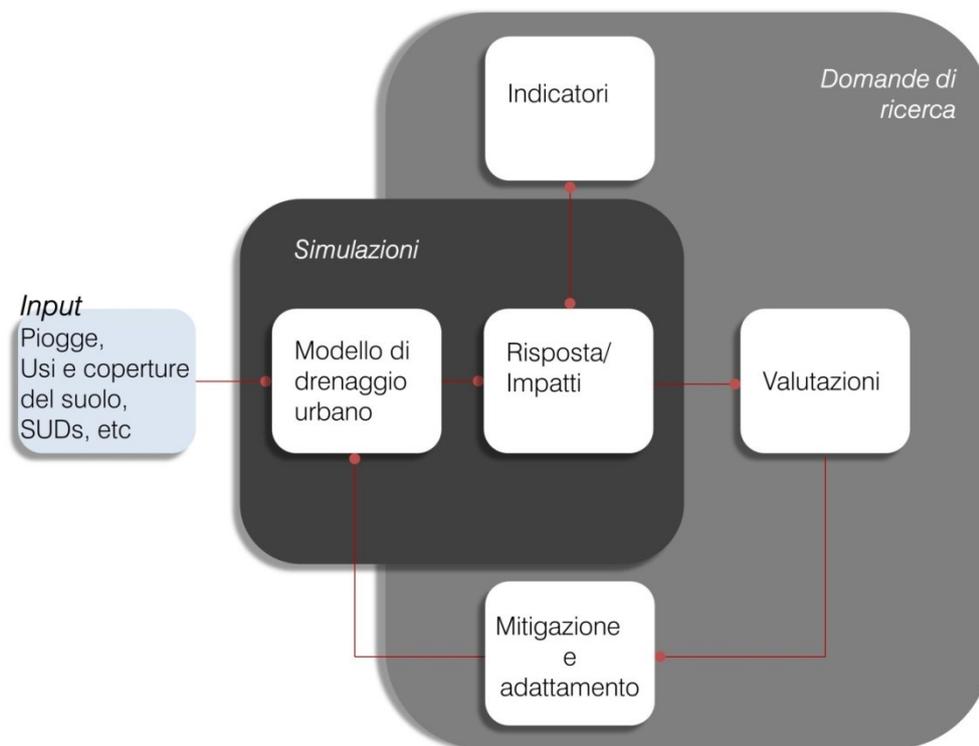


Figura 4.1 | Relazioni interne alla struttura della ricerca tra modelli di simulazione, ambiente di valutazione e possibilità di esplorazione di scenari progettuali per la mitigazione e l'adattamento (adattata da: Berggren, 2008)

Va detto che gli scopi della ricerca esulano dal tentativo di entrare nel dettaglio delle modalità di costruzione di sistemi di supporto alle decisioni che integrino opportunamente gli strumenti modellistici e le varie forme di rappresentazione dei loro risultati. Piuttosto, ne delineano la struttura portante specificando i tre componenti essenziali (Geertman & Stillwell, 2004):

i) il tema-sfida per la pianificazione e i problemi ad esso connessi (valutare la resilienza specifica di sistemi urbani agli allagamenti e come intervenire sulle trasformazioni urbane, tenendo in debito conto una gestione sostenibile del drenaggio urbano);

ii) i modelli di rappresentazione del sistema urbano e le possibilità informative offerte dai risultati (uso del software di modellazione per le trasformazioni afflussi-deflussi e analisi dei risultati attraverso l'uso di semplici indicatori);

iii) la trasformazione dei risultati in informazioni utili alle scelte di pianificazione e al processo di Piano attraverso l'analisi, la previsione e la prescrizione (uso dell'indicazioni dell'analisi scientifica per produrre indirizzi, norme e vincoli di piano, dalle modalità di applicazione del principio di invarianza idraulica alle trasformazioni territoriali e all'integrazione di queste con misure di mitigazione e adattamento, prime fra tutte i SuDS).

Restano riflessioni volutamente non affrontate le questioni relative a quale sia l'uso che dovrebbe farsi del modello e del sistema di supporto alle decisioni in termini politici e come base di discussione e di governo dei conflitti (Pistocchi, 2002).

4.4.1 Il modello EPA SWMM

Nella prima parte di questa ricerca e più in alto in questo stesso capitolo, si è discussa la convenienza di adottare modelli di simulazione del sistema urbano oggetto di studio e dei processi che lo interessano al fine di analizzare la sua reazione alle sollecitazioni esterne.

In particolare, lo scopo dei modelli di trasformazione afflussi-deflussi è, come ci insegnano gli studi accademico-disciplinari, quello di consentire il calcolo delle caratteristiche più importanti delle onde di piena (portata al colmo, volume totale della piena, forma dell'idrogramma), a partire da precipitazioni estreme statisticamente significative (cfr.4.2) (Becciu & Paoletti, 2010).

Gli scopi e la scala di analisi, di volta in volta, comportano ai fini delle valutazioni, il ricorso ad approcci più o meno semplificati ed un uso di modelli di simulazione coerente con essi (Lind, 2015; Yang et al., 2011).

Tradizionalmente, ad esempio, si distinguono modelli di pianificazione/progetto e modelli di simulazione. I primi, sono generalmente basati su schemi concettuali di formazione delle piene molto semplificati ma utilmente impiegati per valutazioni alla scala della pianificazione ed anche rispetto ad orizzonti temporali di lungo periodo. I secondi, si utilizzano per riprodurre con buon dettaglio le condizioni di deflusso in un bacino di studio e con riferimento alla sua rete di smaltimento esistente, garantendo un'accuratezza di risultato che dipende strettamente dalla conoscenza della condizioni della rete al momento della simulazione in termini di geometria e topografia dei vari elementi che la compongono e dello stato di manutenzione e funzionalità idraulica degli stessi (Becciu & Paoletti, 2010). Tali modelli, di tipo generalmente distribuito, sono efficaci soprattutto nella simulazione del moto nei collettori anche se, nelle altre parti del bacino (superfici scolanti prima dell'ingresso in fognatura, pozzetti ed altri manufatti) la simulazione deve essere effettuata in modo semplificato e ricorrendo comunque a schemi idraulici di tipo concettuale, in ragione della complessità nel definire in modo accurato le caratteristiche geometriche di tali componenti del sistema.

A maggior ragione, alla scala del bacino urbano, la modellistica idrodinamica deve rinunciare alla precisione del dettaglio ed anche modelli di simulazione dettagliata devono ricorrere a schemi concettuali o empirici semplificati. Come detto, l'attendibilità dei risultati è funzione del livello di conoscenza delle caratteristiche degli elementi che compongono il sistema di drenaggio del bacino e della stima, più o meno corretta, dei parametri che servono a caratterizzarne le condizioni idrologiche.

Il modello *EPA Storm - Water Management Model (SWMM)* è applicato in questa ricerca per la modellazione dei sistemi urbani di studio e per la simulazione degli scenari da confrontare sulla base delle variabili individuate per descrivere la risposta agli eventi di pioggia.

EPA SWMM, sviluppato agli inizi degli anni '70 dal *Water Supply and Water Resources Division of the Environmental Protection Agency* degli Stati Uniti, ha subito continui aggiornamenti e miglioramenti nei ultimi decenni ed è attualmente uno tra i software *open source* più usati al mondo per la pianificazione, analisi e progettazione spaziale legata alla gestione del

ruscellamento superficiale, ai sistemi sanitari e di fognatura e agli altri sistemi di drenaggio nelle aree urbane, così come per applicazioni di vario tipo nei contesti non urbanizzati. Date le caratteristiche di flessibilità del modello, le sue applicazioni sono tra le più varie. Quelle tipiche includono la progettazione ed il dimensionamento delle componenti nelle fognature per il controllo degli allagamenti; la mappatura delle aree di esondazione dei sistemi di canali naturali; il dimensionamento e la progettazione delle misure di controllo e detenzione delle acque per minimizzare gli esuberanti dalle reti miste; l'applicazione delle misure di tipo *LID control* (come le misure SuDS) e la valutazione delle loro *performance* sulla qualità e quantità del ruscellamento.

SWMM è un modello di simulazione dinamica afflussi-deflussi, in grado di riprodurre il movimento del deflusso generato a seguito della precipitazione meteorica e degli inquinanti da esso trasportati dalla superficie del bacino alla rete di canali e condotte che costituiscono il sistema di drenaggio urbano; è usato per simulare la quantità e qualità del ruscellamento superficiale soprattutto in aree urbane (Gironas, 2009). La componente del software deputata a trattare il deflusso opera con riferimento ad un insieme di sottobacini che ricevono le acque di precipitazione e, di conseguenza, generano deflusso (*runoff o overland flow*) e carichi inquinanti. La componente deputata a trattare il convogliamento delle acque prende in considerazione il trasporto attraverso una rete di condotte, canali, dispositivi di accumulo e trattamento, pompe e regolatori.

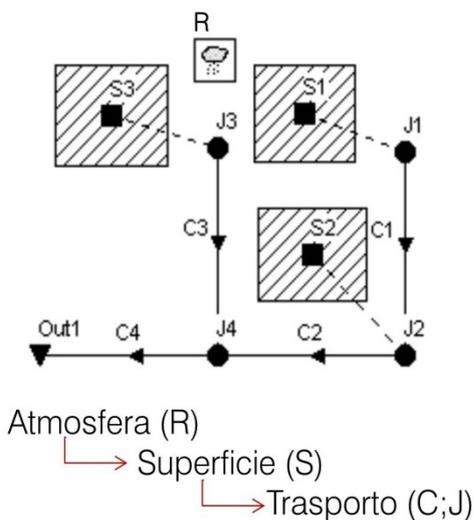


Figura 4.2 | Esempio di modellazione di un'area di studio secondo la struttura a compartimenti usata da SWMM (adattata da: Rossman, 2010)

SWMM presenta una struttura a "moduli". In particolare, il modello SWMM che si sceglie di adottare nella metodologia considera, tra i possibili, i soli moduli "atmosfera", "superficie" e "trasporto". Il modulo "falda acquifera", pur modellabile in SWMM, non è preso in considerazione ai fini di questa ricerca per le considerazioni già espresse nel par. 1.2.

Il "modulo atmosfera" genera le precipitazioni sul "modulo superficie" e consente, appunto, l'input e la gestione dei dati pluviometrici. È consentito simulare, come fatto in occasione di questo studio, eventi critici di

pioggia che sollecitano il bacino di studio con un "evento singolo", ovvero simulare eventi di pioggia "in continuo", prendendo in considerazione, cioè, registrazioni di lungo periodo.

Il secondo "modulo" riceve la precipitazione sotto forma di pioggia e rilascia i deflussi al settore "trasporto". Tale ultimo settore si compone di una rete di elementi che convogliano l'acqua alla sezione di chiusura dei bacini considerati.

La Figura 4.2 mostra la concettualizzazione della struttura a “compartimenti” di SWMM, mentre la Figura 4.3 mostra tutti i processi simulabili con l’uso del modello. Come avviene nel caso della ricerca, è possibile non tenere in considerazione tutti i processi, coerentemente con la natura ed il dettaglio delle valutazioni di interesse.

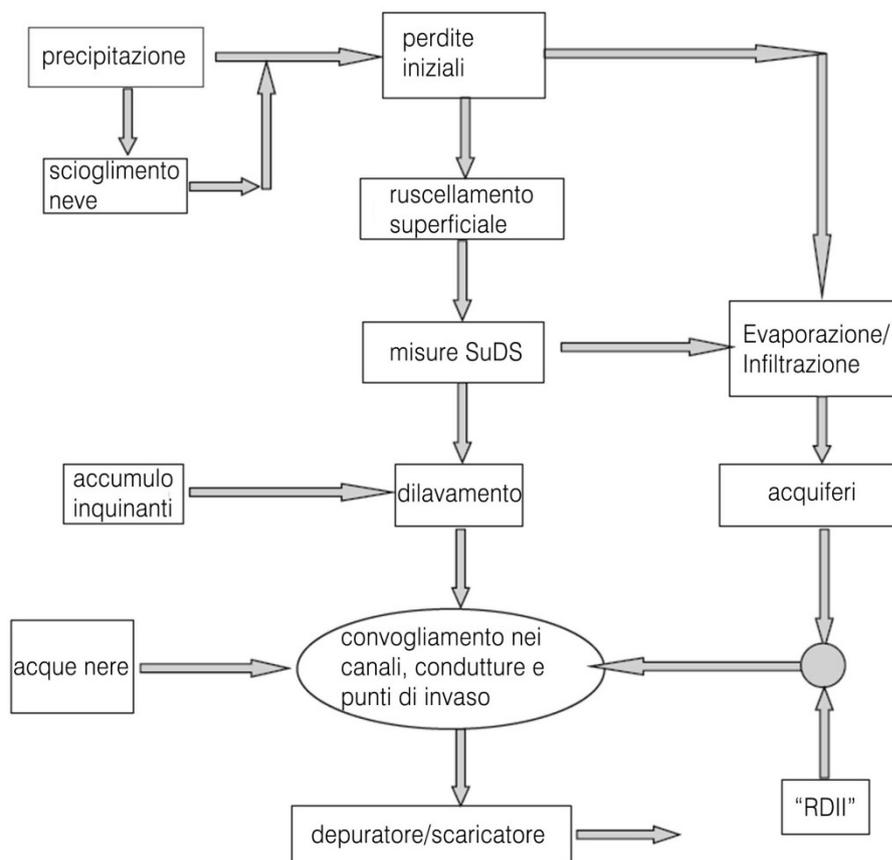


Figura 4.3 | Processi modellati da SWMM (da: Rossman et al.2010)

4.4.1.1 La routine idrologica del modello

Le precipitazioni (pioggia e/o neve) sono elemento chiave nella simulazione del processo di trasformazione afflussi-deflussi. Vengono considerate in abbinamento a serie temporali la cui consistenza varia in funzione della tipologia di evento considerato (singolo o in continuo). All’interno di SWMM, l’elemento del pluviografo (*rain gage*) è usato per rappresentare una fonte di dati di precipitazione e l’eventuale variabilità spaziale della pioggia può rendersi usando un congruo numero di questi elementi. I dati di precipitazione per ciascun pluviografo sono inseriti sotto forma di serie temporali fornite dall’utente nel formato di intensità o volumi di pioggia, sulla base di ietogrammi sintetici o di progetto, e associandovi un intervallo di tempo di lettura.

Poiché SWMM è un modello di tipo distribuito, consente di suddividere l’area di studio in un qualsiasi numero di sottobacini, anche di forma irregolare, per meglio simulare l’effetto che la variabilità spaziale della

topografia, dei percorsi di deflusso e convogliamento, della copertura dei suoli e delle caratteristiche idrologiche di suolo, ha sul meccanismo di generazione del ruscellamento. Per stimare quest'ultimo, SWMM associa un modello di serbatoio non lineare ad ogni sottobacino (Fig. 4.4).

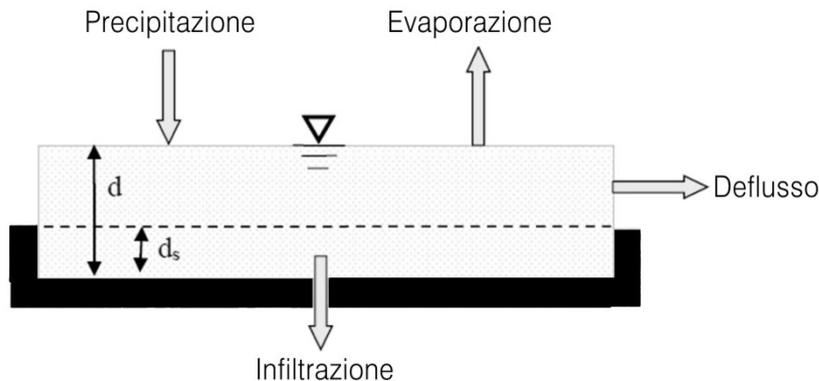


Figura 4.4 | Modello di serbatoio non lineare usato da SWMM per la simulazione del processo di generazione del ruscellamento superficiale su un sottobacino (adattata da: Rossman et al.2010; Strazzeri, 2013)

Il sottobacino riceve il contributo di pioggia e ne perde parte a causa dei fenomeni di evaporazione e infiltrazione. La capacità di questo sottobacino-serbatoio è pari alla massima capacità di accumulo nelle depressioni che determinano una perdita iniziale e sono costituite da avvallamenti superficiali ed irregolarità delle superfici, dove l'acqua viene intercettata e ristagna. Il deflusso superficiale, in termini di portata volumetrica Q , si verifica ogni qual volta l'altezza d'acqua nel serbatoio, d , supera l'altezza d'acqua massima nelle depressioni, d_s ; in questa circostanza il deflusso viene computato tramite l'equazione di Manning (3):

$$Q = W \cdot 1.49/n \cdot (d - d_s)^{5/3} \cdot S^{1/2} \quad (3)$$

Dove:

Q = deflusso superficiale

W = larghezza del sottobacino

n = coefficiente di scabrezza di Manning

d = altezza d'acqua

d_s = altezza delle depressioni superficiali

S = pendenza media del sottobacino

L'equazione è risolta rispetto ad un sottobacino che è suddiviso nelle sue parti permeabile ed impermeabile ($\%Imp$). A sua volta, con riferimento alla parte impermeabile, è possibile assegnare una percentuale di area ($\%Zero Imp$) deputata alla generazione immediata del deflusso, cioè quella che può avvenire ben prima del potenziale accumulo superficiale, processo assai frequente, ad esempio, per le superfici stradali.

La configurazione tipica di un sottobacino è, dunque, quella tripartita in cui le superfici impermeabili recapitano il ruscellamento ad una sezione di uscita costituita, tipicamente, da un nodo della rete di drenaggio. Alla fine di ciascun istante temporale rispetto al quale si svolge la simulazione, i contributi al ruscellamento dalle tre porzioni di sottobacino vengono combinati insieme per determinare il contributo totale al ruscellamento

superficiale per il sottobacino nella sua interezza. La stessa precipitazione interessa tutte le porzioni di sottobacino, il tasso di infiltrazione è sempre uguale a zero per le aree impermeabili e valori differenti di altezze di accumulo nelle depressioni (*depth of depression storage*) possono essere assegnate come parametri caratteristici diversamente per le aree permeabili (*Dstore-Perv*) e per la percentuale di aree impermeabili che non generano immediatamente ruscellamenti (*Dstore-Imperv*) (evidentemente, per la rimanente parte, il valore del parametro è pari a zero). Analogamente, SWMM consente di assegnare valori differenti del coefficiente di scabrezza di Manning alle superfici permeabili (*N-Perv*) ed impermeabili (*N-Imperv*). I parametri *W* (*Width*) ed *S* (*Slope*) vengono assegnati, invece, al sottobacino per intero, indipendentemente dalla sua ripartizione interna dipendente dalle caratteristiche di permeabilità. *W*, in particolare, è un importante parametro del modello poiché, rimanendo fissate le proprietà di pendenza e scabrezza del sottobacino, al variare della larghezza *W* varia, anche sensibilmente, la forma dell'idrogramma risultante.

Prima di poter procedere alla stima delle portate di piena per ciascun sottobacino, risulta necessario valutare i fenomeni di perdita idrologica, cioè quelli che determinano le componenti della precipitazione che si “perdono” rispetto a quelle superficiali che, invece, pervengono effettivamente nella rete idrografica e sono identificate come “afflussi netti” o “piogge efficaci” (Becciu & Paoletti, 2010).

SWMM offre tre alternative possibili di metodo per simulare il processo di infiltrazione in corrispondenza delle superfici permeabili. Tra questi, si descrive il solo metodo usato nelle applicazioni di questa ricerca.

Il metodo proposto dal Soil Conservation Service-United States Department of Agriculture (U.S. SCS, 1972) consente la stima della pioggia netta a partire dalla conoscenza della pioggia totale e degli usi del suolo nel bacino. Il metodo, infatti, considera il deflusso superficiale come la differenza tra la precipitazione e le perdite, nelle quali si inglobano, oltre alle perdite per infiltrazione, anche quelle per intercettazione fogliare, per accumulo sulle depressioni superficiali e per imbibimento iniziale del terreno. Tenendo presente che il ruscellamento superficiale si verifica quando la quantità d'acqua derivante dalla precipitazione supera la capacità di infiltrazione del suolo, l'ipotesi di base è che il rapporto tra il volume defluito ed il volume di pioggia depurato dalle perdite iniziali rimanga, in ogni istante, uguale al rapporto tra il volume infiltrato ed il volume massimo teorico delle perdite (4).

$$P_e/(P-I_a)=F_a/S \quad (4)$$

Dove:

P_e = precipitazione efficace o volume specifico di deflusso superficiale

P = precipitazione cumulata lorda

I_a = perdite iniziali

F_a = volume specifico infiltrato, cioè il volume idrico effettivamente immagazzinato

S = volume specifico di saturazione del terreno

Per il bilancio di massa si ha:

$$F_a = P - I_a - P_e \quad (5)$$

Inoltre vale che:

$$I_a = c S \quad (6)$$

(con valori di c compresi tra 0.1 e 0.3 ma normalmente assunti pari a 0.2)

e

$$S = S_0 (100/CN - 1) \quad (7)$$

(con $S_0 = 254 \text{ mm} = 10 \text{ inch}$ e CN compreso tra 0 e 100)

Sostituendo la (5) e la (6) nella (3) si ottiene, in definitiva:

$$P_e = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S) \quad (8)$$

Il parametro CN (*Curve Number*) è adimensionale, decrescente all'aumentare della permeabilità del suolo e rappresenta l'attitudine dell'area a produrre il deflusso superficiale; viene stimato in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli, all'uso/copertura dei suoli e al grado di umidità del suolo prima dell'evento meteorico in esame. Le classificazioni del tipo idrologico di suolo sono rese disponibili dal SCS insieme a valori tabellati del CN . In definitiva, una volta assegnato all'area uno o più gruppi idrologici di appartenenza, si procede ad individuare, all'interno dell'area stessa, zone omogenee per destinazione d'uso/copertura (par.4.3), cui attribuire il più appropriato valore di CN ; il valore univoco assegnato all'area può essere dedotto come media pesata dei valori di CN assegnati a ciascuna porzione in relazione alla superficie da esse occupata sul totale dell'area (Chow, 1988). I valori tabellati (Tab.4.1), si riferiscono a condizioni di umidità media del suolo.

Tabella 4.1 | Valori del parametro Curve Number da assegnare complessivamente ad ogni sottobacino in funzione degli usi/coperture di suolo prevalenti e delle tipologie idrologiche di suolo (adattata da: Rossman, 2010)

Land Use Description	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Cultivated land				
-Without conservation treatment	72	81	88	91
-With conservation treatment	62	71	78	81
Pasture or range land				
-Poor condition	68	79	86	89
-Good condition	39	61	74	80
Meadow	30	58	71	78
Wood or forest land				
-Thin stand, poor cover	45	66	77	83
-Good cover	25	55	70	77
Open spaces, lawns, parks, golf, cemeteries				
-Good condition	39	61	74	80
-Fair condition	49	69	79	84
Commercial and business areas	89	92	94	95
Industrial districts	81	88	91	93
Residential				
-65% imp	77	85	90	92
-38%imp	61	75	83	87
-30%imp	57	72	81	86
-25%imp	54	70	80	85
-20%imp	51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways	98	98	98	98
Streets and roads				
-Curbs and storm sewers	98	98	98	98
-Gravel	76	85	89	91
-Dirt	72	82	87	89

Come anticipato, però, il metodo consente anche di tenere in considerazione diverse condizioni di umidità iniziali del terreno, antecedenti, cioè, l'inizio dell'evento, fornendo equazioni diversificate per adattare il valore medio del CN a seconda della classe di umidità scelta.

4.4.1.2 La routine idraulica del modello

SWMM contempla diverse possibilità di modellazione idraulica, per il convogliamento dei deflussi tramite rete fognaria. Il calcolo della propagazione dei flussi all'interno del sistema di canali e condotte è regolato dalla legge di conservazione della massa e dalle equazioni di moto vario (De Saint Venant) risolte tramite integrazione numerica in forma completa.

Alla schematizzazione del sistema di drenaggio si procede dopo aver individuato l'area di studio, definita dal bacino o dalla suddivisione di questo in un congruo numero di sottobacini. Il sistema di drenaggio si compone di condotte o rami (*link*) ed elementi di collegamento o nodi (*junction*) che, insieme ad altri elementi di collegamento quali pompe, scaricatori, paratoie formano la rete di smaltimento.

I nodi rappresentano fisicamente i pozzetti di fognatura o raccordi di collegamento delle condotte e sono i punti di immissione dei deflussi superficiali; tutto il deflusso del sottobacino di calcolo, infatti, viene schematizzato dal software in modo tale da convergere in un unico punto rappresentato, quando non diversamente specificato, dal nodo di inizio di un canale di scolo; in particolare, le giunzioni di sbocco (*outfall*) rappresentano i nodi terminali della rete utilizzati per definire le condizioni al contorno (di valle) del sistema di drenaggio sotto la procedura di instradamento del flusso d'onda di tipo dinamico. I principali parametri di input da inserire nel programma per definire le caratteristiche di ciascun nodo sono: la quota di fondo, la profondità massima rispetto la quota superficiale del terreno e gli eventuali afflussi in ingresso.

Le condotte servono a rappresentare canali o tubazioni ove avviene il transito della corrente; ogni condotta è formata da uno o più rami collegati tramite nodi ovvero un nodo di calcolo ed uno terminale. Nel processo di modellazione ogni condotta viene schematizzata assegnandole caratteristiche costanti di forma, pendenza, lunghezza e scabrezza; ciò implica che le variazioni di pendenza, la confluenza di più collettori, salti di fondo o variazioni di profondità devono essere rappresentati modellando condotte differenti. I principali parametri di input da inserire nel programma per definire l'entità di ciascuna condotta sono: il nome dei nodi iniziale e finale, la quota di immissione sopra il fondo del nodo-pozzetto, la lunghezza, la scabrezza, eventuali flussi in entrata o uscita, la forma geometrica della sezione trasversale; proprio con riguardo a quest'ultimo punto, SWMM rende disponibile un menu consistente di sezioni geometriche da poter assegnare alle condotte ma lascia anche la possibilità all'utilizzatore di definire la sezione per punti tramite il ricorso ad apposito editor (*transect editor*).

4.4.1.3 Lo studio dei sistemi di drenaggio duale (SDD)

Il drenaggio dei deflussi urbani presenta notevoli complessità per le numerose e diffuse limitazioni al libero deflusso delle acque dovute alla disposizione e morfologia delle superfici urbane (edificazioni, pavimentazioni, marciapiedi, ecc.) ed al dimensionamento della rete fognaria, generalmente condotto utilizzando bassi tempi di ritorno, con conseguenti sovraccarichi e fenomeni di esondazione durante eventi di piena di massima intensità. Al crescere della gravità dell'evento, poi, aumenta l'influenza delle limitazioni al deflusso accompagnate da rigurgiti, sovraccarichi, esondazioni superficiali e, negli eventi più intensi ($T_r = 20, 50, 100$ anni), si generano piene urbane caratterizzate dagli scambi che intervengono tra deflussi nella rete fognaria (limitati dalla capacità della rete funzione del suo dimensionamento) con portate al colmo assai poco crescenti per $T_r > 10$ anni ed allagamenti e deflussi superficiali, crescenti con T_r (Becciu & Paoletti, 2010). Insieme, rete fognaria sotterranea e percorsi preferenziali di scorrimento in superficie costituiscono i componenti di un sistema idraulico cosiddetto "duale" (Maksimović et al., 2009).

Nello specifico, le portate in eccesso rispetto alla massima capacità di deflusso della fognatura nota come *minor system*, possono prima riempire eventuali depressioni presenti sul terreno e poi defluire superficialmente attraverso percorsi preferenziali, creando una rete di deflusso superficiale (*major system*). Nelle aree urbane il *major system* tipicamente comprende le strade, le piazze, i marciapiedi, le depressioni naturali e i piccoli corsi d'acqua. Attraverso il *major system* le portate liquide possono percorrere notevoli distanze causando allagamenti in aree lontane dalla sezione in cui si è verificato il superamento della capacità di drenaggio del sistema.

Le tecniche convenzionali di modellazione del drenaggio urbano non tengono conto dell'interazione tra la fognatura e la rete superficiale, e quindi sono inadeguate a modellare le piene urbane (Piro, 2011; Boonya-aroonenet et al., 2007). In tal senso bisognerebbe procedere ad usare i modelli impiegandoli sia per la simulazione della rete superficiale che per quella della rete sotterranea, analizzando le interazioni tra i due sistemi dall'inizio alla fine dell'evento (Maksimovic et al., 2009; Piro, 2011; Djordjevic et al., 1999). Il software EPA SWMM, seppur tradizionalmente usato per la modellazione delle reti fognarie, può essere impiegato, effettuando le opportune calibrizioni, per modellare anche un sistema di drenaggio duale (SDD). I metodi che prevedono l'applicazione di SWMM nel SDD possono essere applicati a scale diverse, da quella del comparto edilizio a quella di interi bacini. Il metodo che si adotta nel presente studio viene applicato alla scala di bacino per lo studio delle alluvioni urbane e si basa sull'ipotesi che l'acqua fuoriuscita dai pozzetti in pressione delle rete fognaria contribuisca al deflusso sulle strade senza rientrare in fognatura tramite le caditoie della rete superficiale di valle (Torrìsi, 2015).

Quella appena descritta rappresenta una condizione di calcolo più gravosa rispetto a quella, più realistica, che si avrebbe qualora le reti superficiale e sotterranea scambiassero liberamente portate, o se le portate fuoriuscite rientrassero in fognatura intercettate dalle caditoie a valle, ma

rappresenta anche una scelta plausibile se si pensa che una condizione di perfetto funzionamento del sistema fognario con assenza di interimenti o intasamenti di vario è davvero poco comune e probabile.

Durante un evento a carattere alluvionale la portata che affluisce ad un determinato ramo della rete può risultare superiore rispetto alla portata per la quale la condotta è stata progettata: ne consegue che soltanto una parte della portata transiterà all'interno della condotta, verso valle, mentre il quantitativo in esubero verrà riversato in superficie e convogliato dalla rete del "major system". In questo caso, l'idrogramma di piena a valle del tratto in esame, non mostrerà alcun valore di picco ma, piuttosto, risulterà "tagliato" in corrispondenza del valore massimo di portata convogliabile dalla condotta (Torrìsi, 2015).

In Figura 4.6 si mostra la stessa sezione di condotta analizzata nella Figura 4.5, durante un evento meteorico che la mette in crisi. In quest'ultimo caso, come si vede, l'idrogramma restituito dalla simulazione mediante SWMM risulta tagliato determinando, pertanto, un esubero di portata che si trasforma in deflusso superficiale.

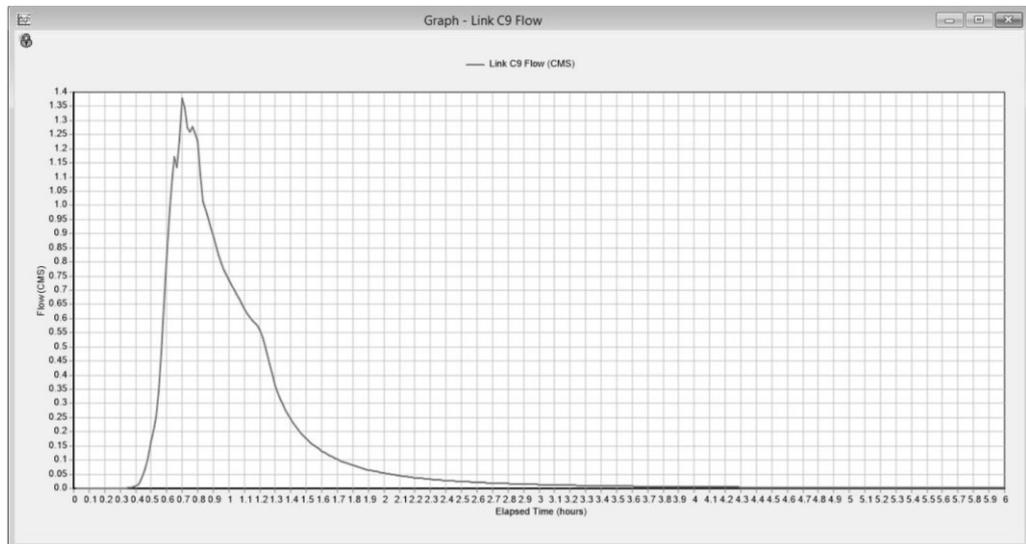


Figura 4.5 | Idrogramma nella condotta C9 durante un evento di pioggia con tempo di ritorno di due anni

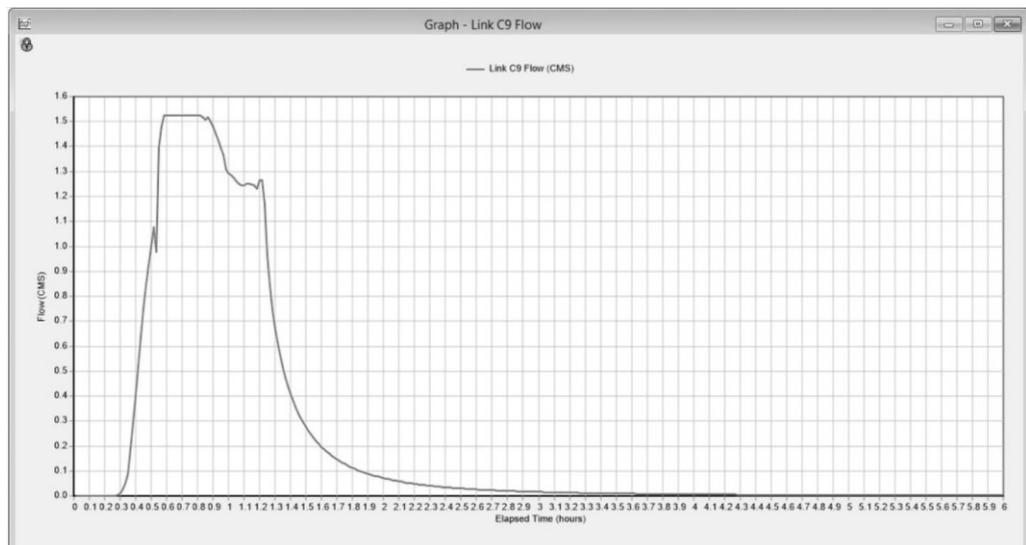


Figura 4.6 | Idrogramma nella condotta C9 durante un evento di pioggia con tempo di ritorno di cinquanta anni

Operando secondo l'approccio descritto, posto il rispetto della continuità, per cui la quantità di portata entrante nel sistema per mezzo dei sottobacini corrisponda alla somma della quantità di portata che defluisce in fognatura con quella che defluisce sulla superficie stradale, è possibile stimare la portata defluente sulla rete stradale del bacino studiato durante la sua esposizione agli eventi meteorici considerati.

Operativamente, modellate in SWMM la rete fognaria e la rete stradale, entrambe indipendenti da un punto di vista altimetrico e planimetrico ma vincolate dai nodi di calcolo rappresentanti i pozzetti per entrambe le reti, si determina, per ogni nodo che risulta in condizione di allagamento l'idrogramma della portata uscente (*node flooding*), per immetterlo come afflusso sul corrispondente nodo della rete superficiale ed effettuando, quindi, una nuova simulazione di quest'ultima. In definitiva, si avranno due reti differenti, vincolate tra loro dai nodi di calcolo, in cui la somma della portata defluente sulla rete stradale e in fognatura è pari all'afflusso di portata dovuto alle precipitazioni meteoriche depurato dalle perdite per infiltrazione (Fig.4.7) (Torrìsì, 2015).

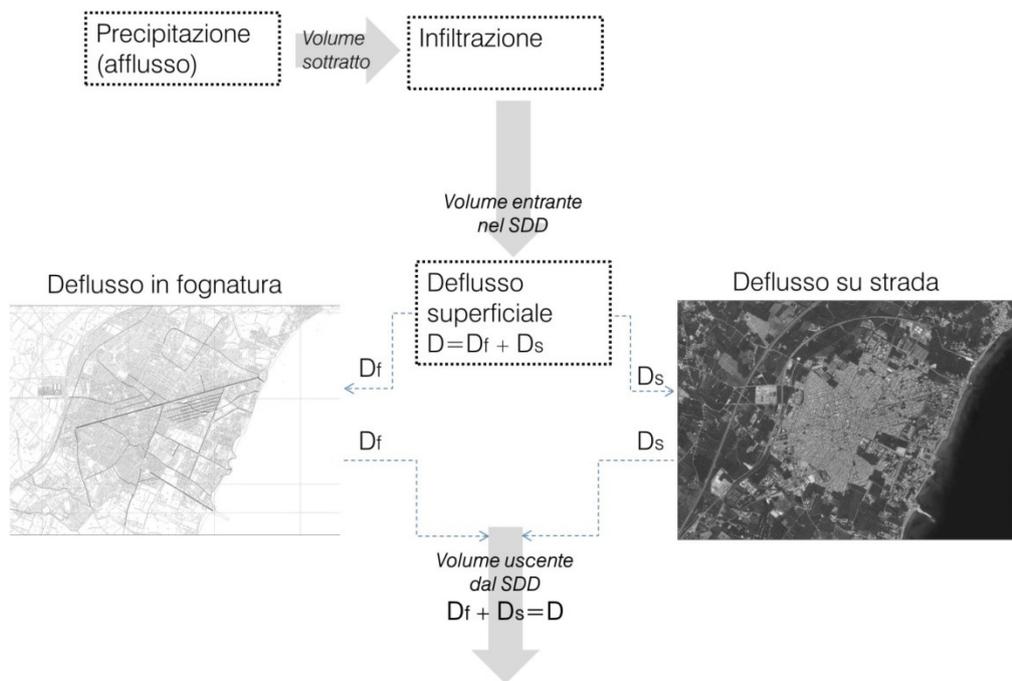


Figura 4.7 | Schematizzazione delle condizioni di continuità nella trasformazione afflussi-deflussi in un SDD

Le fasi del metodo applicato per lo studio degli allagamenti superficiali si sono quindi succedute come di seguito:

- tracciamento della rete fognaria esistente su SWMM e sua modellazione
- sovrapposizione della rete stradale e quella fognaria ed individuazione dei nodi di collegamento per i flussi verticali
- identificazione dei nodi (pozzetti) in pressione e delle portate in esubero
- immissione nei nodi stradali degli idrogrammi delle portate uscenti dai corrispondenti nodi fognari.

Ai fini della modellazione della rete stradale, si è assimilato ogni tratto viario compreso tra due successivi incroci (nodi-*junctions*) ad un ramo della rete (*link*), attribuendo a tale tratto specifiche denominazioni, opportuni valori di scabrezza, lunghezza, pendenza e sezione geometrica. Quest'ultima è stata definita ricostruendo, per punti, la forma della sezione trasversale della strada corrispondente tenendo conto della larghezza ed altezza dei marciapiedi, se presenti, e della larghezza della carreggiata, supponendo, e ipotizzando che la sezione stradale si mantenga costante lungo tutta la lunghezza del tratto viario (ramo) preso in considerazione.

La rete stradale, a differenza di quella fognaria, è costituita da una serie di maglie connesse, in cui le portate, nodo per nodo, si separano in percorsi differenti ripartendosi in funzione della pendenza delle strade a valle del generico nodo e della portata che transita a monte e a valle della sezione considerata.

Il modello fornisce in output le grandezze fondamentali quali le altezze idriche (h) e le velocità di scorrimento (v), per ciascuna sezione stradale e in ogni istante temporale, quindi in particolare, i loro valori massimi. Tramite tali grandezze è possibile caratterizzare l'allagamento urbano e, quindi, la risposta del bacino alla sollecitazione causata dall'evento meteorico in esame.

4.5 Uso del modello per la verifica di compatibilità idraulica delle previsioni di Piano

SWMM può essere utilmente impiegato ai fini della valutazione della compatibilità idraulica delle trasformazioni previste dal Piano rispetto alla condizione attuale di un sistema urbano (Jang et al., 2007; Jacobson, 2011).

Come già anticipato (par.4.2), l'approccio metodologico usato per la verifica della compatibilità idraulica delle previsioni di Piano prevede di considerare due scenari da simulare e confrontare. Il primo scenario (scenario zero) è rappresentativo delle condizioni attuali del sistema-bacino, mentre il secondo scenario (scenario uno) è rappresentativo delle condizioni del sistema-bacino quali sarebbero dopo l'attuazione delle trasformazioni previste dal Piano.

Per ottenere una modellazione coerente con la scala di pianificazione e con gli obiettivi dichiarati, si può adottare un approccio semplificato, ricorrendo all'uso del solo modulo idrologico del modello EPA SWMM (cfr.par.4.4.1.1), e scegliendo di simulare i meccanismi di deflusso tenendo conto dei soli ruscellamenti superficiali (routine idrologica) (Barco et al., 2008), senza considerare, quindi, la propagazione della piena nel sistema di canali e condotte (routine idraulica) (Park et al., 2008; Rossman, 2010).

In questo caso, quindi, il "sistema urbano" coincide con il "sistema-bacino" modellato attraverso il software SWMM ma con un approccio principalmente orientato ad una stima sufficientemente cautelativa delle portate ottenuta mediante una schematizzazione di tipo concettuale dei fenomeni che avvengono nel bacino (Becciu & Paoletti, 2010).

Una volta discretizzato univocamente il sistema-bacino in sottobacini componenti, il primo passo consiste nel caratterizzarli con i parametri necessari alla loro modellazione nello scenario zero: grazie ai dati derivanti dalle analisi idrologiche e urbane effettuate (par.4.3), è possibile stimare, per ciascun sottobacino, le percentuali di superfici permeabili ed impermeabili, attribuire un valore di CN dalla media pesata dei CN assegnati ad ogni sottozona omogenea in termini di uso/copertura del suolo e tipo idrologico dello stesso, e stimare la percentuale di superfici impermeabili non direttamente connesse.

I risultati delle simulazioni effettuate per i vari di tempi di ritorno dell'evento di pioggia scelto, restituiscono la risposta idraulica del bacino in termini di picchi di portata Q_{p0} recapitati alle sezioni di chiusura, individuate contestualmente alla delimitazione dei sottobacini.

Analogamente, ai fini della modellazione del sistema-bacino nello scenario uno, occorre variare i parametri caratteristici attribuiti ai sottobacini sulla base del progetto di trasformazione previsto dal Piano: il progetto, individuando aree per nuove allocazioni funzionali o trasformando configurazioni urbane già esistenti, interviene sullo stato di fatto con la modifica degli usi/coperture del suolo e, quindi, delle percentuali di impermeabilità, determinando la necessità di ridefinire i parametri di CN da assegnare a ciascun sottobacino interessato, in modo più o meno esteso, dalle trasformazioni dette.

Le simulazioni dello scenario uno, effettuate per lo stesso campo di tempi di ritorno, restituiscono la risposta idraulica del bacino ancora in termini di picchi di portata Q_{p1} recapitati, ovviamente, alle stesse sezioni di chiusura.

Per valutare l'impatto delle trasformazioni previste dal Piano si ricorre alla scelta di un indicatore che metta in relazione l'urbanizzazione prevista con l'aumento delle portate di deflusso:

$$I_{ii} = \frac{Q_{p1} - Q_{p0}}{Q_{p0}} \quad (9)$$

Dove Q_{p1} è il valore del picco di portata rilasciato dal sottobacino in esame nello scenario uno, Q_{p0} è, invece, il valore del picco di portata rilasciato dallo stesso sottobacino in esame nello scenario zero. L'indicatore I_{ii} definito dalla (9) è finalizzato alla valutazione della condizione di invarianza idraulica del bacino. Si tratta, infatti, di un indicatore semplice ma efficace nel descrivere quanto lontana sia la condizione post-trasformazione da quella di pre-trasformazione urbana. Assume valore uguale a zero quando i picchi rimangono invariati ($Q_{p1} = Q_{p0}$), mentre valori maggiori di zero indicano la necessità di prevedere misure di controllo dei deflussi per garantire il raggiungimento della condizione di invarianza idraulica nel bacino.

Politiche locali di tipo regolativo, quali quelle descritte nel par.3.3, che compensino gli incrementi dei picchi di portata dei deflussi dovuti alle trasformazioni urbane attuate, possono trovare applicazione nella pratica attraverso l'introduzione di restrizioni al deflusso all'interno del bacino urbano.

Seguendo il principio del “chi consuma paga” e l’approccio del PPP (*polluter pays principle*) (cfr.par3.3), a livello procedurale, per ciascun sottobacino individuato, l’obbligo di compensazione dell’eccesso di picco di portata (cioè la differenza tra il valore della portata di picco nello scenario uno ed il valore della portata di picco nello scenario zero) rilevato tramite la (9), può essere assegnato a ciascuna area di trasformazione ricadente nel sottobacino proporzionalmente al contributo dato alla generazione dell’eccesso di picco stesso.

4.6. Uso del modello per lo studio della risposta dei bacini agli eventi di pioggia

Ai fini dello studio del profilo di risposta dei sistemi-bacino urbani e degli aspetti di resilienza specifica di interesse, l’uso del modello richiede un livello di analisi di maggiore dettaglio facendo ricorso alla routine idraulica oltre che alla routine idrologica.

Definito il sistema urbano di interesse secondo l’approccio SDD precedentemente descritto, come il complesso di sottobacini, rete di smaltimento e rete stradale superficiale tra loro interconnessi e caratterizzato con i parametri necessari alla sua modellazione nello scenario zero dello stato di fatto, i risultati delle simulazioni effettuate per il fissato campo di tempi di ritorno dell’evento di pioggia, sono ottenuti dalla lettura di alcune variabili scelte con riferimento al complesso di elementi costituenti il sistema-bacino (sottobacini, condotte, nodi, rete superficiale):

- Il deflusso dei sottobacini componenti, in termini di volume totale (V_{t0} - *total runoff*) e di picco della piena (Q_{p0} - *peak runoff*), è significativo, oltre che della topografia delle aree, del loro grado di urbanizzazione/impermeabilizzazione, che molto può dire circa le priorità di intervento qualora le si volessero indirizzare sulle aree più pesantemente responsabili dei contributi al deflusso totale (Pelorosso et al., 2015a; Pelorosso et al., 2015b).
- I valori di portata massima (q_{max0} - *maximum flow*) e di velocità massima (v_{max0} - *maximum flow*) nelle condotte della rete di smaltimento restituiscono il comportamento della stessa in corrispondenza del verificarsi dell’evento critico.
- L’allagamento nei nodi (V_{f0} - *total flood volume*) leggibile, istante per istante, dagli idrogrammi delle portate in esubero nei nodi della rete di smaltimento, descrive le insufficienze del sistema di drenaggio e consente di ricavare i parametri caratteristici dell’allagamento superficiale.

La variazione di questi fattori in scenari di eventi piovosi diversi (dettati dai tempi di ritorno usati nella definizione degli idrogrammi di input per le simulazioni) restituisce non più solo la risposta dei sottobacini in termini idrologici, ma il profilo di risposta completo del sistema-bacino, e permette di ricavare i parametri caratteristici dell’allagamento che interessa la rete superficiale nelle condizioni attuali, specificamente altezza idrica (H_{max0}), velocità di corrente (V_{max0}) e il loro prodotto (HV) $_{max0}$.

4.6.1 I parametri caratteristici dell'allagamento

Ai parametri H_{\max} , V_{\max} , ed alla loro combinazione $(HV)_{\max}$, è generalmente legata la stima della pericolosità del rischio di allagamento superficiale (par.2.2.2), che, a sua volta, è legata alla valutazione dei danni tangibili diretti (Hammond et al., 2015), la cui riduzione esprime la capacità di assorbimento del sistema analizzato (par.2.2.1). La variazione di questi due parametri, cui prioritariamente si volgono le possibili azioni di mitigazione esprime, seppur parzialmente, una variazione di resilienza specifica del sistema-bacino, per cui essi sono assimilati ad indicatori di resilienza specifica (par.2.2.1).

Come dimostrato sperimentalmente in numerose ricerche (Russo et al., 2013), alla combinazione di altezze idriche e velocità di corrente viene associata la sicurezza delle persone, dei veicoli o dei manufatti.

In un centro urbano, per piogge intense corrispondenti a tempi di ritorno che variano, plausibilmente, tra 1 e 5 anni, la rete di viabilità principale dovrebbe essere tale da consentire alle portate e volumi di scorrimento superficiale di essere allontanate e smaltite a garanzia di condizioni di fruizione sicure ovunque; diversamente, per piogge con tempi di ritorno più elevati, si accetta di poter limitare il mantenimento delle condizioni di sicurezza totale al minimo nelle vie di percorrenza principali.

In particolare, le condizioni di sicurezza umane che dipendono dalla stabilità corporea durante i fenomeni di allagamento pluviale, sono state ampiamente indagate in letteratura (Defra, 2006; Cox et al., 2010; Russo et al., 2013).

Le indicazioni fornite dal PGRA-Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (che si limitano a recepire quanto sviluppato nei PAI-Piani di Assetto Idrogeologico) (par.3.1.1), derivano dall'applicazione di una "metodologia completa" in presenza di sufficienti elementi conoscitivi; essa valuta la pericolosità incrociando le informazioni relative al tempo di ritorno ed alla distribuzione spaziale delle altezze idriche mentre non si prendono in considerazione altri parametri quali la velocità dell'acqua o il tempo di permanenza della stessa (Relazione Generale PAI, 2004-Cap.7). Le classi di pericolosità sono individuate incrociando il valore dei tiranti idrici ed i tempi di ritorno (Tab. 4.2). L'entità dell'allagamento è valutata in base al valore del tirante idrico che, a sua volta, influisce sull'entità dei danni e quindi sulle potenzialità d'uso del territorio (Relazione Generale PAI, 2004-Cap.7).

Tabella 4.2 | Stima del grado di pericolosità con metodologia completa (da: PAI,2004)

Battente idraulico	Tempo di ritorno		
	50	100	300
$h < 0.3 m$	P1	P1	P1
$0.3 < h < 1 m$	P2	P2	P2
$1 < h < 2 m$	P4	P3	P2
$h > 2 m$	P4	P4	P3

Una variante di questa procedura viene proposta da DEFRA (2006) e riproposta da Barbano et al. (2012) per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio in attuazione della Direttiva 2007/60/CE. In questo caso, il grado di pericolo (*HR-flood hazard rating*) da allagamento è funzione dei parametri di altezza e velocità idrica secondo la relazione (10):

$$HR = h (v+0.5) + DF \quad (10)$$

dove il DF (*debris factor*) è un fattore connesso alla quantità di sedimento trasportato e tabellato in funzione degli stessi parametri di altezza e velocità ma anche in relazione all'uso del suolo prevalente (Penning-Rowell et al., 2005). Esso assume valori che variano tra zero (in corrispondenza di tiranti idrici inferiori a 0,25 metri a prescindere dalle caratteristiche di uso del suolo dell'area) e uno (in zone urbane già a partire da valori del tirante idrico superiori a 0,25 metri).

Tabella 4.3 | Stima del grado di pericolosità rispetto la sicurezza umana (a) (adattata da: DEFRA, 2006)

	Grado di pericolo	Descrizione
HR < 0,75	Basso (<i>low hazard</i>)	Zone inondate da acque fluenti con basso tirante o acque ferme ma profonde
0,75 < HR < 1,25	Moderato (<i>danger for some</i>)	Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso – pericoloso per i bambini
1,25 < HR < 2,50	Significativo (<i>danger for most</i>)	Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso – pericoloso per la maggioranza delle persone
HR > 2,50	Alto (<i>danger for all</i>)	Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso – pericoloso per tutti

Le metodologie discusse sono state sviluppate ed applicate principalmente per esprimere i livelli di pericolosità durante eventi alluvionali causati dalle esondazioni di corsi d'acqua, senza essere specificamente volte ad analizzare condizioni di allagamento urbano dovute alla crisi dei sistemi di drenaggio durante eventi di pioggia di breve durata e massima intensità (Russo et al., 2013). Le analisi di pericolosità effettuate con riferimento a queste ultime circostanze sono molto meno frequenti in letteratura (Apel et al., 2016). Quando l'allagamento che si verifica all'interno di bacini urbani è di tipo fluviale, il deflusso è caratterizzato da acque profonde ma lente, se la morfologia del terreno non è particolarmente scoscesa, mentre nel caso di allagamenti superficiali i deflussi raggiungono altezze generalmente più contenute ma sono caratterizzati da velocità più significative a causa della scabrezza delle superfici impermeabili di scorrimento. In ragione di queste riflessioni, si è proceduto a mappare i parametri significativi dell'allagamento e la pericolosità adottando la

classificazione proposta da Cox et al. (2010) contenuta nelle linee guida periodicamente revisionate ed usate a livello nazionale (australiano) per la costruzione di politiche e la promozione di progetti inerenti la gestione del rischio di allagamento. In particolare, nel progetto “*Project10: Appropriate Safety Criteria for People*” vengono sviluppate indicazioni per la classificazione dei livelli di pericolosità causati da allagamenti sia nelle aree rurali che in quelle urbane. Tali livelli di pericolosità vengono fatti dipendere semplicemente dal prodotto tra altezze idriche e velocità di scorrimento (HV) (Tab.4.4).

Tabella 4.4 | Stima del grado di pericolosità rispetto la sicurezza umana (b) (da: Cox et al., 2010)

	Classe di pericolosità
HV = 0	assente
0,0 < HV < 0,4	bassa
0,4 < HV < 0,6	medio-bassa
0,6 < HV < 0,8	media
0,8 < HV < 1,2	alta
HV > 1,2	estrema

Rimane da evidenziare che, a differenza dei modelli bidimensionali, in cui i valori dei parametri di altezza e velocità idrica ottenuti dalle simulazioni possono ritenersi altamente affidabili, i modelli monodimensionali e quasi-bidimensionali, come quello adottato in questo studio, si basano sulla possibilità di calcolare i valori dei parametri solo in corrispondenza di determinate sezioni (ad esempio, tiranti idrici e velocità di corrente vengono ricavati in corrispondenza della sezione di mezzeria di ciascun ramo di rete superficiale considerato); ne consegue che essi possano essere distribuiti sulla base di procedure di interpolazione, allorquando possano caratterizzarsi con un certo livello di confidenza, prima delle successive necessarie fasi di approfondimento (Barbano et al. 2012).

4.7 Uso del modello per l'integrazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile

Oltre a tracciare la qualità e quantità delle acque di ruscellamento, SWMM è stato recentemente potenziato per consentire la simulazione delle *performance* di specifiche misure di controllo del drenaggio (che, nel software, vengono identificate con il termine *LID Controls*, cioè sistemi di controllo per crescite urbane a basso impatto). Ogni misura è rappresentata come una combinazione di livelli tra loro sovrapposti e le cui proprietà sono assegnate per unità di area. Questo consente una certa flessibilità nella disposizione delle misure che possono essere distribuite in un qualsiasi numero di sottobacini, con dimensioni diverse e in un numero di unità replicabili a piacere scegliendo, tra l'altro, se farle lavorare singolarmente, in serie o in parallelo. Le misure SuDS che possono essere modellate all'interno del software sono sette, a meno di considerare gli elementi per la disconnessione delle coperture: vasche di bio-ritenzione (*bio-retention cells*),

“giardini pluviali” (*rain gardens*), tetti verdi (*green roofs*), pavimentazioni permeabili (*permeable pavements*), cisterne-vasche per la raccolta delle acque piovane (*rain barrels*), canali inerbiti (*vegetative swales*) e trincee di infiltrazione (*infiltration trenches*). Le proprietà di ogni misura vanno definite specificando, per ciascuno dei livelli necessari alla sua modellazione, un insieme numeroso di parametri. I livelli da definire e variamente combinabili sono:

- strato superficiale, che serve a rappresentare la superficie del suolo che riceve la pioggia in modo diretto o i contributi al ruscellamento da altri sottobacini a monte, ne accumula parte nelle depressioni generando deflusso per la parte in eccesso. Tale contributo può essere convogliato verso un nodo di immissione della rete fognaria, o diventare afflusso per un sottobacino a valle;

- strato di pavimentazione, è usato nelle sole simulazioni dei pavimenti permeabili trattandosi dello strato di asfalto, calcestruzzo poroso o blocchi autoportanti di cui si compongono, solitamente, queste tecnologie;

- strato di terreno, considerato come miscela artificiale di materiale che funge da supporto per la crescita vegetativa;

- strato di accumulo, è un letto di materiale roccioso o ghiaia frantumata che serve da deposito per l'accumulo dell'acqua nelle vasche di bio-ritenzione, nei pavimenti porosi e nelle trincee drenanti, mentre rappresenta semplicemente l'altezza del serbatoio o della vasca nei sistemi di raccolta delle acque meteoriche;

- sistema di scarico/drenaggio, convoglia l'acqua all'esterno dello strato di accumulo verso una condotta o una camera di raccolta, mentre nei sistemi di raccolta delle acque rappresenta la valvola di fuoriuscita posta alla base del serbatoio.

Tutte le misure SuDS contribuiscono ad aumentare la capacità di immagazzinamento ed evaporazione delle acque meteoriche (quest'ultima ad eccezione dei serbatoi) ma anche l'infiltrazione, se progettati e simulati senza prevedere strati inferiori impermeabili.

SWMM consente di disporre le misure SuDS all'interno del sottobacino scegliendo una tra due possibili modalità:

- la misura SuDS può integrarsi all'interno del bacino esistente, sottraendo da esso una uguale quantità di superficie. Questa modalità consente di disporre SuDS, anche diverse, contemporaneamente all'interno dell'insediamento e simulare il loro funzionamento in parallelo ma non in serie. Sfrutta due tipi di *editor* attraverso i quali gestire l'integrazione della misura di drenaggio sostenibile all'interno del sottobacino di interesse, i cui parametri caratteristici, tra l'altro, devono essere opportunamente modificati per tenere conto della disposizione delle misure, considerate alla stregua di ulteriori proprietà assegnate all'area.

- la misura SuDS viene modellata come un sottobacino a se stante e ciò consente di simulare il funzionamento di SuDS in serie.

Le *performance* delle misure si riflettono nel computo generale del deflusso, dell'infiltrazione e dell'evaporazione del sottobacino considerato.

Questo consente di valutare immediatamente la variazione delle variabili scelte per descrivere la risposta del sistema-bacino agli eventi di pioggia ed accoppiate al sottobacino.

I risultati vengono quindi restituiti, per ciascuno dei sottobacini, in termini di volumi totali prima (V_{t0} ; Q_{p0}) e dopo (V_{ti} ; Q_{pi}) la simulazione degli i scenari di integrazione delle misure SuDS, procedendo al loro confronto.

Inoltre, per valutare il potenziale contributo offerto dalle misure SuDS in termini di resilienza specifica per il sistema-bacino ove si conviene di integrarle, si procede al calcolo dei parametri caratteristici dell'allagamento H_{maxi} , V_{maxi} e $(HV)_{maxi}$ negli $i=1, \dots, n$ scenari di simulazione SuDS per confrontarli con H_{max0} , V_{max0} e $(HV)_{max0}$ ottenuti nello scenario rappresentativo delle condizioni dello stato di fatto (scenario zero) (par.4.6).

Così facendo è possibile, tra l'altro, determinare n valori dell'indice a_i di allagamento definito dalla (11):

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^k (H_j V_j)_{maxi} \cdot L_j}{L_{tot}} \quad (11)$$

per $i=1, \dots, n$ e dove $(H_j V_j)_{maxi}$ è il prodotto di altezza idrica e velocità della corrente calcolate nel j -esimo ramo della rete superficiale, L_j è la lunghezza dello stesso ramo ed L_{tot} è la somma delle lunghezze di tutti i k rami della rete superficiale afferenti al medesimo sistema-bacino, tutti calcolati nello scenario i -esimo di simulazione SuDS.

Si ottengono, quindi, n punti di una curva $a = f(x)$ nel piano xa dove in ascisse troviamo la variabile indipendente costituita dallo i -esimo scenario di integrazione delle misure SuDS e nelle ordinate i corrispondenti valori della variabile dipendente a_i . Tale curva, è ricavata per punti di cui il primo (a_0) giace sull'asse delle ordinate ed è uguale al valore assunto dall'indice nello scenario zero (stato di fatto), ove nessuna misura SuDS è stata integrata, ed i successivi sono ricavati calcolando l'indice (11) negli altri scenari.

4.7.1 Il processo di selezione dei SuDS nella costruzione degli scenari

Lo schema SuDS progettato per un'area di trasformazione dovrebbe integrare le tecniche di controllo più idonee secondo principi di efficacia ma anche di convenienza economica. Tuttavia, ciascuna delle parti coinvolte nel processo di integrazione dei SuDS, all'interno della pianificazione e del progetto di aree urbane, avanza propri interessi e si basa su proprie percezioni dei vantaggi e degli svantaggi di adozione di uno o un altro schema SuDS.

Esiste, infatti, una molteplicità di misure SuDS che possono essere adottate, in serie, in parallelo o singolarmente, all'interno di un'area, ma non tutte sono ugualmente idonee in quanto, ciascuna area ove si prevede di impiegarle, presenta delle caratteristiche fisiche, spaziali e urbane specifiche, rispetto alle quali è importante identificare opportunità ed ostacoli ad una efficace integrazione dei SuDS sin dalla fase più precoce di pianificazione e progettazione.

Ne consegue che una progettazione e applicazione ideale dello schema SuDS debba essere quella supportata da una convergenza di interessi, visioni e intenti degli attori coinvolti e dei progettisti che si auspica collaborino in tutte le fasi del processo di pianificazione di cui, quella di selezione delle misure, rappresenta forse la più importante.

In generale, la selezione delle misure da applicare dovrebbe basarsi su criteri progettuali specifici per l'area di interesse: criteri legati alla quantità delle acque di ruscellamento in termini di difesa *da* queste, criteri legati alla qualità delle acque in termini di difesa *di* queste, criteri legati all'ecologia ed agli aspetti ricreativi del verde. Ciascuno di questi criteri, poi, è accompagnato da considerazioni che riguardano il grado di servizio richiesto, la sostenibilità delle soluzioni di drenaggio, i costi di realizzazione e mantenimento delle stesse. E' improbabile che possa identificarsi una singola soluzione da adottare in risposta alle esigenze emerse; piuttosto, varie opzioni possono risultare possibili, comportando una necessaria valutazione e classificazione in funzione di criteri condivisi.

Le specifiche di ciascuna tecnica SuDS in termini di idoneità di collocazione all'interno dello "schema di concatenazione gerarchica in serie"(par.1.3.1), di processo base per il controllo delle quantità e della qualità dei deflussi superficiali, e di benefici forniti in senso ambientale, sono sintetizzate in matrici, largamente diffuse dalla manualistica e riprese nella letteratura di riferimento, messe a disposizione di progettisti, consulenti e tecnici delle amministrazioni locali. Ancora attraverso matrici di sintesi, diversi tipi di tecniche SuDS sono messe in relazione ai fattori che condizionano la loro idoneità di integrazione nel contesto, agevolando la consultazione degli attori coinvolti ed un processo di selezione, per fasi successive, dello schema di drenaggio più adatto alle molteplici esigenze espresse per l'area. Normalmente, i criteri presi in considerazione per la costruzione di tali matrici e, quindi, per la caratterizzazione della minore o maggiore compatibilità di impiego di ciascuna misura SuDS, sono cinque e riguardano:

- le caratteristiche di usi del suolo dell'area e le sue caratteristiche fisico-morfologiche, le caratteristiche del bacino entro il quale ricade l'area,
- i livelli di *performance* richiesti in termini di controllo quantitativo e qualitativo delle acque meteoriche,
- i servizi e i benefici ambientali richiesti in termini ecologici ed estetico-culturali.

La tabella 4.5 elenca questi gruppi di fattori per fornire un quadro di sintesi.

Tabella 4.5 | Fattori di influenza nel processo di selezione dei SuDS

Critero di selezione SuDS	Descrizione	Fattori considerati
<i>Caratteristiche degli usi del suolo (tipi di urbanizzazione presenti) nell'area</i>	La classificazione viene basata sulle caratteristiche di permeabilità dell'area e sul tipo di attività svolta, direttamente legata alla quantità e natura delle sostanze inquinanti rilasciate e dilavate	<ul style="list-style-type: none"> -Insediamenti a bassa densità -Aree urbane con elevati rapporti di copertura -Parcheggi e viabilità -Insediamenti commerciali e direzionali -Aree industriali -Siti dismessi -Aree di bonifica
<i>Caratteristiche fisico-morfologiche dell'area</i>	Alcune caratteristiche possono doversi considerare come invarianti del progetto e determinare l'incompatibilità dell'impiego di alcune specifiche misure in ragione di vincoli di natura ambientale o tecnica.	<ul style="list-style-type: none"> -Tipo idrologico di suolo - Distanza minima tra il piano di sedime della misura adottata e la massima altezza prevista per la falda -Ampiezza dell'area che recapita alla misura adottata -Pendenza dell'area scolante -Prevalenza -Disponibilità di spazio libero
<i>Caratteristiche del bacino</i>	Il progetto dello schema SuDS può essere influenzato dalle condizioni ambientali al contorno, da specifiche normative o regolamenti vigenti, soprattutto con riferimento ai livelli di inquinamento dei corpi idrici ricettori	<ul style="list-style-type: none"> -Limiti ecologici -Acquiferi usati per approvvigionamento pubblico -Recapiti sulle coste o nelle zone fociali - Prossimità o recapiti su aree o fasce tutelate -Regimi idrologici specifici -Aree a rischio allagamento -Recapiti in fognatura
<i>Performance quantitative e qualitative</i>	I criteri di natura idraulica si traducono in limitazioni ai picchi di portata e nel controllo dei volumi dei deflussi in relazione a predefiniti tempi di ritorno degli eventi piovosi.	<ul style="list-style-type: none"> -Riduzione del volume di ruscellamento superficiale -controllo e/o abbattimento dei picchi di portata -Rimozione dei sedimenti, dei metalli pesanti, dei batteri, dei nutrienti -Trattamento delle particelle solide sospese e abbattimento degli inquinanti
<i>Aspetti ambientali, ricreativi e di comunità</i>	La percezione che hanno i membri della comunità rispetto l'integrazione dello schema SuDS nel contesto urbano è importante per abbattere le numerose e persistenti barriere che ostacolano l'adattamento spontaneo e il supporto collettivo alle strategie di mitigazione dettate dall'autorità comunale.	<ul style="list-style-type: none"> -Gestione e manutenzione -Accettabilità e condivisione dello schema di progetto -Costi -Sicurezza pubblica -Creazione di luoghi a più alta naturalità

Il processo di selezione delle misure SuDS entra in quello più complesso di costruzione degli scenari, volto a sondare le condizioni di praticabilità della loro integrazione nei sistemi urbani (Fig. 4.8).

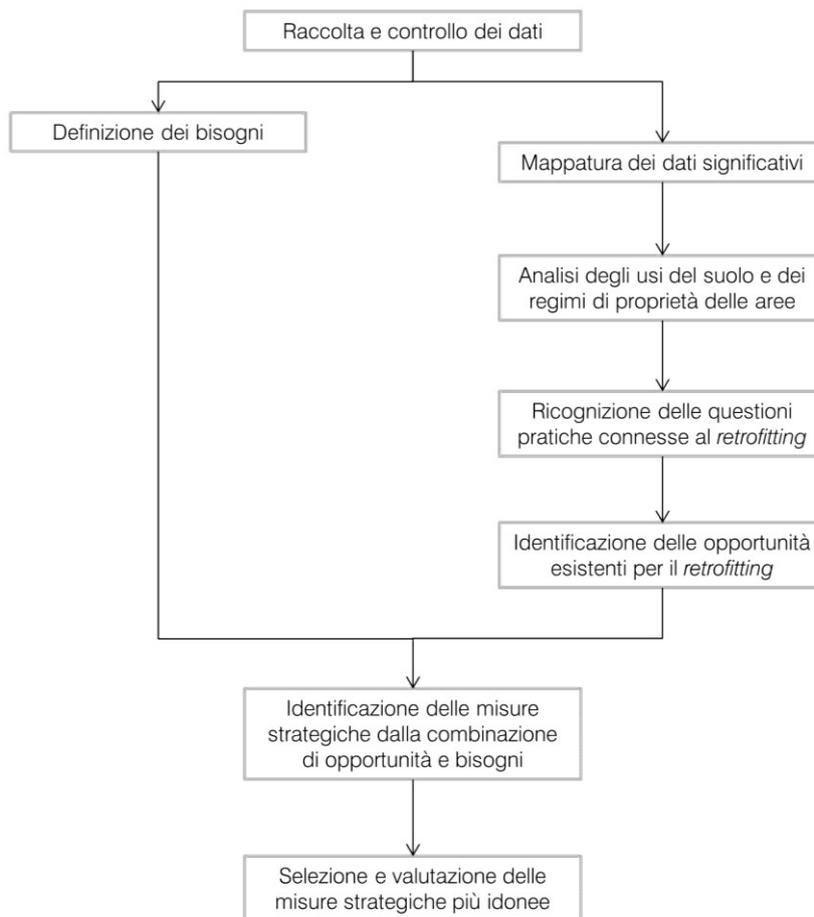


Figura 4.8 | Processo di costruzione degli scenari SuDS a seguito dell'identificazione dei bisogni, dell'individuazione delle opportunità presenti e delle strategie di *retrofitting* (adattata da: Digman et al., 2012)

In particolare, nell'ambito di questa ricerca, attraverso la costruzione di potenziali scenari di integrazione di SuDS, si esplorano le potenzialità di azioni di *retrofitting* da proporre su aree costruite e consolidate dei sistemi-bacino, in ragione dell'obiettivo dichiarato di valutare il contributo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile al miglioramento della risposta agli eventi di pioggia che i sistemi urbani esibiscono nel loro stato di fatto. Infatti, se da un lato si sostiene con comune convinzione la convenienza di incorporare il progetto SuDS in ogni occasione di nuova urbanizzazione, dall'altro si ha piena consapevolezza che, per assicurare nel futuro condizioni sostenibili di drenaggio all'interno delle aree urbane, dove le nuove espansioni costituiranno solo una percentuale minoritaria, occorrerà spingere il progetto urbano delle SuDS dentro la città esistente, già costruita e consolidata ma da ripensare in funzioni di azioni concrete per la mitigazione e l'adattamento ai rischi naturali e da cambiamento climatico.

Simulare configurazioni valide, nell'ottica di migliorare la capacità di resilienza specifica delle aree urbane soggette ad eventi di allagamento, richiede uno sforzo di pianificazione locale per individuare dove e come

intervenire, anche con misure di tipo puntuale ma diffuso. Ne consegue l'importanza di individuare le opportunità intrinsecamente fornite dagli insediamenti ai fini di una migliore gestione delle acque meteoriche.

Lo scenario di potenziale *retrofitting* è quindi approcciato considerando insieme bisogni ed opportunità, alla ricerca degli spazi dove è possibile avvenga la loro intersezione.

L'approccio adottato è quello suggerito dalla manualistica (Digman & Glerum, 2012) e che ha guidato molti processi di pianificazione, progettazione ed integrazione di SuDS nei contesti urbani che hanno cominciato ad assimilare i principi del drenaggio sostenibile sperimentandoli con esiti di successo.

Nella realtà dei processi, i risultati delle simulazioni forniscono risultati importanti per gli amministratori locali e le autorità preposte alla pianificazione urbana per conoscere e comprendere cosa può essere ottenuto con l'impiego di SuDS, aprendo il dibattito su come facilitare la transizione degli insediamenti urbani verso una gestione più sostenibile delle acque meteoriche.

Una volta definite le motivazioni chiave per promuovere azioni di *retrofitting* del sistema urbano di interesse con i SuDS, che nel caso della ricerca consistono nell'incremento della capacità di risposta agli eventi di allagamento (par.2.2.3), le prime considerazioni da effettuare riguardano la scala del problema che, generalmente, detta anche la scala dell'intervento. Da queste dipendono la raccolta dei dati/informazioni necessari alle valutazioni e la definizione dei bisogni stessi. Nell'ambito di questo studio, più volte si è detto che il bacino urbano viene considerato l'unità spaziale di sistema cui riferire la costruzione del modello per le simulazioni e le valutazioni.

I dati/informazioni di interesse vengono raccolti dalla ricognizione degli strumenti di piano di settore, di area vasta e a scala locale, dalle analisi idrologiche ed urbane condotte e dalle simulazioni effettuate. Essi possono essere estrapolati, infatti, dalle mappe di uso del suolo, delle morfologie urbane e dalle mappe di allagamento, ma anche dalle mappature dei risultati delle simulazioni che restituiscono i valori delle variabili surrogati di resilienza. I risultati mettono in evidenza le *performance* della rete di drenaggio esistente in funzione della sua relazione con il bacino cui è associata ma anche i livelli di pericolosità nella rete superficiale; i risultati aiutano a riflettere sui fattori urbani che li influenzano e servono ad identificare aree strategiche ed opportunità per la localizzazione di misure di controllo dei deflussi. Dalla revisione di questo pacchetto di informazioni, quindi, è possibile definire i criteri progettuali specifici da porre alla base della costruzione degli scenari e confermare le concatenazioni tra cause (eccessivo ruscellamento, insufficiente capacità idraulica della rete di smaltimento anche per bassi tempi di ritorno, elevate portate e volumi di deflusso da monte verso valle) ed effetti reali (crisi dei sistemi di drenaggio ed allagamenti superficiali) quantificati, ad esempio, con i loro impatti e rispetto ai quali nasce il bisogno di una risposta e si confermano gli obiettivi/bisogni strategici in seno alla pianificazione urbana (aumento della capacità di resilienza per la mitigazione della pericolosità).

Raccolti e mappati i dati, chiarite le cause e stimati gli impatti dei loro effetti sul territorio, confermati bisogni e definiti obiettivi, può procedersi alla fase di ricognizione delle altre questioni pratiche connesse con lo scenario di *retrofitting* che diventano criteri di riferimento nel processo di *screening* dei SuDS (par. 4.7.1) al fine di individuare quelli più idonei da impiegare nel dato sistema urbano.

Le condizioni di permeabilità del terreno, i livelli della falda acquifera e la presenza di aree sotto speciali tutele ambientali, la presenza di siti contaminati, la considerazione delle caratteristiche climatiche ed ecologiche specifiche del sistema urbano considerato, la topografia delle aree interne al bacino, la morfologia degli insediamenti possono condizionare notevolmente il progetto dei SuDS, mettendo alla luce opportunità e barriere al loro impiego potenziale.

Per identificare le opportunità offerte dal sistema urbano, in particolare, occorre individuare e distinguere le “occasioni spaziali” in funzione del loro potenziale di trasformazione nell’ottica della gestione del ruscellamento: ad esempio, grandi vuoti urbani, preferibilmente di proprietà pubblica, possono essere utilmente convertiti in aree per la laminazione delle piene e la detenzione o ritenzione delle acque; gruppi di aree urbanizzate che presentano caratteristiche morfologiche e tipologiche simili, possono consentire la diffusione di misure SuDS replicabili in ciascuna unità edilizia come, ad esempio, la conversione delle coperture in tetti verdi, la costruzione di piccoli giardini pluviali o la disconnessione dei pluviali abbinata a sistemi di raccolta delle acque meteoriche.

In questo modo, anche interventi di *retrofitting* puntuali possono rappresentare importanti opportunità per il riassetto della gestione delle acque e per il loro smaltimento, soprattutto nell’ottica che possano diffondersi alla scala del bacino fino a che si ottengano benefici più certi e significativi.

Combinare opportunità individuate e bisogni dichiarati implica definire una strategia di azione che, nello specifico, coincide con la scelta di una categoria di misure (infiltrazione, convogliamento, controllo ed attenuazione alla fonte, etc.) anche senza la necessità di definire nel dettaglio le singole tecnologie da utilizzare (Tab.1.2) considerando, tra l’altro, che più misure possono rispondere allo stesso principio di funzionamento.

Basta immaginare di sovrapporre idealmente (o praticamente) la mappe delle opportunità con quelle dei bisogni per identificare le potenziali sovrapposizioni che possono indirizzare le priorità di intervento garantendone un grado più elevato di fattibilità ed aumentandone le possibilità di successo rispetto gli obiettivi dichiarati.

Individuata la strategia di *retrofitting*, il processo di selezione e la scelta delle misure SuDS di cui simulare l’integrazione nel contesto urbano, segue le fasi di *screening* descritte, avvalendosi delle matrici di valutazione (Kellagher et al., 2007).

La Figura 4.9, costruita sulla base dei criteri di tabella 4.3, a titolo esemplificativo, descrive il principio generale di funzionamento e consultazione delle matrici.

Quest'ultime, cioè, legano i diversi tipi di SUDS (riportati nelle colonne) ai fattori di idoneità (riportati nelle righe). L'intersezione di ciascuna riga e colonna rappresenta, di volta in volta, la risposta in termini grado di idoneità, cioè di applicabilità totale (H), applicabilità a condizione (M), scarsa applicabilità o non applicabilità (L) dei SUDS rispetto ai diversi fattori.

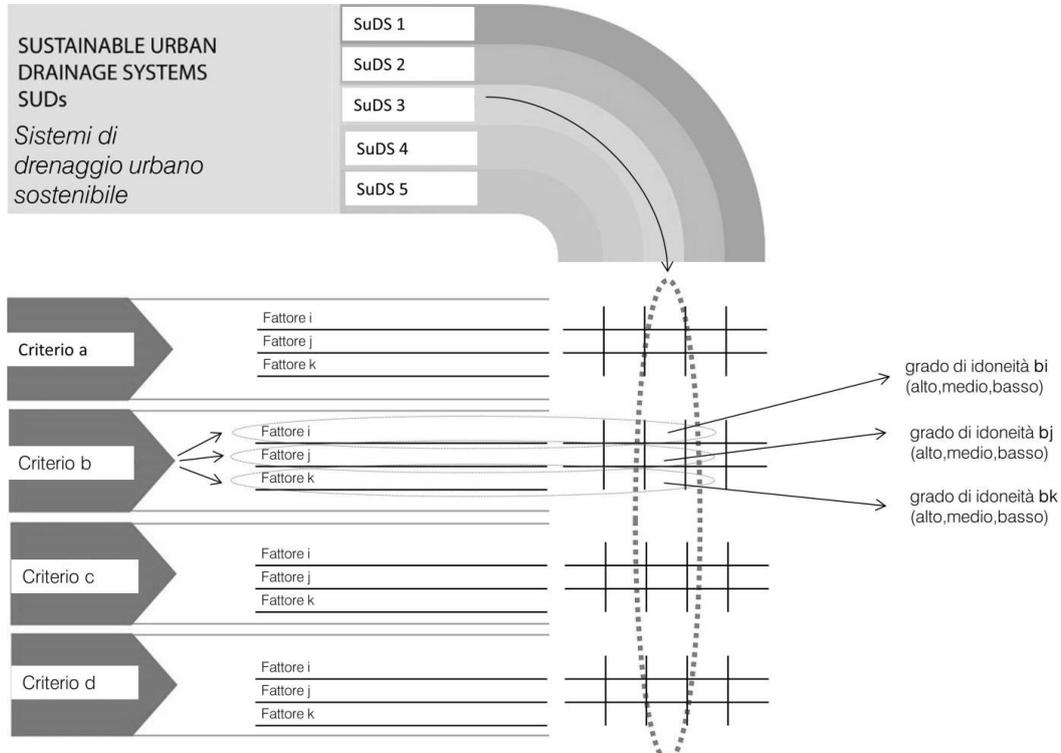


Figura 4.9| Matrice tipo per il processo di *screening* delle misure SuDS

La simulazione di scenari usando la modellazione idraulica viene infine usata per validare le strategie che si concerta di attuare. In particolare, la modellazione tramite SWMM, affidabile seppur non applicata a livello estremo di dettaglio in ragione della scala delle problematiche e dei sistemi urbani coinvolti, fornisce una buona misura delle *performance* delle misure simulate.

Sono così determinati i benefici conseguenti l'integrazione delle misure SuDS individuate e confermato che essi rispecchino i bisogni del sistema urbano, tutto ciò tenendo in considerazione diversi orizzonti temporali e, quindi, un determinato *range* di tempi di ritorno.

PARTE TERZA |
CASI DI STUDIO |

Capitolo 5. Catania ed il bacino del torrente Acquicella

5.1 Il contesto: Catania città metropolitana

La città di Catania, sede amministrativa, commerciale, industriale e culturale più importante della Sicilia orientale, è il centro urbano principale di una vasta conurbazione che si sviluppa lungo la costa Ionica, senza soluzione di continuità tra Messina e Siracusa (La Greca, 2015). La realtà contemporanea di Catania è quella di una città metropolitana, in cui il rapporto tra il vecchio ed il nuovo impianto urbano è mitigato da una fascia intermedia di fine/inizio secolo che ha ripreso la scacchiera settecentesca post terremoto dilatandola fino alla campagna. E' una città che ha prima generato, e poi inglobato altri centri, e con questi oggi mantiene un rapporto di interscambio continuo, riflessione di una morfologia in cui le parti nord e nord-ovest sono saldate tenacemente all'urbanizzato dei comuni un tempo appartenenti al territorio dell'ex bosco etneo. Il *continuum* della conurbazione disteso sul territorio, fitta trama urbanizzata tra il mare e le pendici dell'Etna che ha sostituito l'armatura insediativa del sistema agricolo pedemontano, non rappresenta altro che la dimensione metropolitana di una entità territoriale che negli ultimi settanta anni ha corroborato la saldatura con quelle contermini, attraverso la ramificazione del sistema delle infrastrutture di mobilità prima (con forte centralità della città rispetto a tutti gli assi di accesso ai borghi del sistema etneo), e la saturazione del sistema degli insediamenti poi, a partire da tali infrastrutture.

5.2 La proposta di Piano Regolatore

Nel 2010 il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Architettura dell'Università di Catania, nella figura del LaPTA-Laboratorio per la Pianificazione Territoriale e Ambientale, viene incaricato di supportare l'Ufficio, appositamente istituito dal Comune, fornendo il proprio contributo scientifico alla redazione del Piano Regolatore Generale. Intorno al progetto di Piano, rispetto al quale il rapporto di consulenza convenzionale con l'Università non ha mai indebolito la scelta di mantenere l'Ufficio a capo della

gestione del lavoro, si è avviata un'attività di grande respiro con il coinvolgimento di giovani professionisti e neolaureati (La Greca, 2015).

Il processo, durato due anni prima di giungere a completo compimento, si è successivamente arrestato ma rimane, ad oggi, la proposta di Piano attorno alla quale si discute il riordino e la rigenerazione della città.

La revisione del Piano Regolatore Generale viene improntata sulla base di principi generali condivisi di respiro ampio, generati da una *vision* che integra i temi della qualità urbana, della mobilità e dell'infrastruttura verde, ma anche sullo studio dei meccanismi di attuazione più congrui alla varietà di scelte urbanistiche legate alle strategie di Piano. In particolare, il nuovo PRG individua differenti modalità di intervento, a seconda delle diverse parti del sistema metropolitano, caratterizzate ciascuna da una propria suscettività al cambiamento alla quale corrisponde un insieme integrato di specifiche azioni urbanistiche (La Greca, 2015).

I cinque *clusters* di sistema individuati sono “la città ed il territorio da tutelare”, “la città da regolare”, la “città da non costruire”, la “città da rigenerare” e la “città da trasformare”. All'interno del primo *cluster* rientrano i tessuti della Catania storica, perimetrati e raggruppati distinguendo le parti da sottoporre a piani di recupero ed a progetti di rigenerazione anche tramite ristrutturazione urbanistica. Alla “città da regolare” appartiene il tessuto consolidato, in prevalenza saturo, per il quale si dettano norme di corretto funzionamento e manutenzione. Nella “città da non costruire” si cercano e trovano le opportunità per il progetto del sistema ambientale ed agricolo nonché per la costruzione dell'infrastruttura verde di connessione degli spazi verdi urbani e periurbani; questo avviene attraverso la salvaguardia delle aree agricole residuali lungo i confini della città, il mantenimento ed il recupero dei vuoti periurbani che permettono, connotando la frangia urbana, la penetrazione del verde dai territori extra-urbani al sistema degli spazi verdi urbani definiti dal Piano. Il quarto *cluster* raggruppa quelle aree degradate, incompiute e poco funzionali dove attivare progetti di rigenerazione ed offrire capacità insediativa alternativa a processi di urbanizzazione diffusi in aree non occupate. All'ultimo gruppo, “la città da trasformare”, appartengono quelle aree che mostrano elevate potenzialità di incremento e dotazione di qualità urbana attraverso progetti di nuovi insediamenti o di recupero e ri-funzionalizzazione di insediamenti esistenti.

Proprio queste aree, nell'ambito delle previsioni di Piano, sono interessate dalle modificazioni più significative, in termini di destinazione di uso dei suoli e, quindi, inserimento di funzioni urbane e fornitura di servizi per la collettività. All'interno di queste parti di territorio, ancora parzialmente o totalmente libere, è prevista una combinazione funzionale tale da generare rinnovamento urbano con effetti anche sulle aree urbane limitrofe (Kenworthy, 2006). In particolare, con “aree risorsa” (ARs) si designano le parti di territorio da trasformare attraverso meccanismi di attuazione indiretta basati su forme di perequazione. Il PRG individua ventisei ARs per un totale di 643,6887 ha di cui il 64% da destinare ad aree pubbliche.

5.2.1 Le Aree Risorsa

Nelle “aree risorsa” viene applicata la perequazione (Johnston & Madison, 1997) attribuendo a tutti i suoli il diritto ad una prefissata edificabilità territoriale al fine di ottenere la cessione di aree ad uso pubblico (La Greca, 2015). La strategia che si vuole mantenere ben salda dentro il principio della trasformazione è quella di aumentare il numero e la qualità degli spazi verdi pubblici e renderli elementi connessi dell’infrastruttura verde, a fronte di una limitata attività edificatoria (GOUD-*Green Oriented Urban Development*) (Martinico et al., 2014). L’autorità municipale ottiene la proprietà delle aree (da destinare alla pubblica fruizione) usando il meccanismo del trasferimento dei diritti edificatori (*TDR-Transfer of Development Rights*). Questo meccanismo è stato impiegato nell’attuazione di più piani urbanistici in ambito nazionale sfruttando il principio della perequazione già a partire dai primi anni Novanta (Micelli, 2002). All’interno di una cornice temporale di medio-lungo termine, l’amministrazione locale identifica le aree designate per le trasformazioni attraverso lo strumento di Piano. A queste aree, opportunamente classificate, è successivamente attribuito un indice di fabbricabilità da applicare senza distinzione a tutte, a prescindere dal fatto che per esse venga pianificato un uso pubblico o privato. Le aree di trasformazione sono suddivise in sezioni, all’interno delle quali i proprietari possono negoziare il trasferimento dei diritti edificatori che possiedono.

I proprietari delle aree destinate alla fruizione pubblica ed alle infrastrutture di pubblica utilità, possiedono diritti che possono essere esercitati soltanto nelle aree che il Piano destina all’attività edificatoria di iniziativa (prevalentemente) privata.

I proprietari di queste ultime aree, a loro volta, usano i propri diritti edificatori ed “ospitano” quelli degli altri proprietari. Una volta che i diritti assegnati sono stati usati nelle aree previste, i proprietari delle aree destinate alla fruizione pubblica cedono la proprietà all’amministrazione comunale gratuitamente (o a prezzi irrisori).



Figura 5.1 | Meccanismi perequativi nelle aree di trasformazione: i suoli, aggregati in classi omogenee per condizioni di fatto e di diritto ottengono l’attribuzione dei diritti edificatori sotto forma di plafond; forme di negoziazione regolano il rapporto tra proprietari delle aree ed imprenditori che realizzano le volumetrie nelle porzioni di area individuate dal Piano; gli imprenditori cedono le aree per attrezzature e servizi oppure le realizzano secondo convenienza economica

Dall'applicazione del meccanismo deriva il trattamento egalaritario dei privati in quanto le aree destinate alle trasformazioni vengono trattate con riguardo al loro stato attuale ed in modo indifferente rispetto le destinazioni d'uso derivanti dalle scelte di Piano, superando la tradizionale iniquità legata allo strumento dello *zoning*. Infatti, l'applicazione del principio perequativo rende la proprietà fondiaria meno sensibile alle scelte di Piano: ottenendo tutti proprietari lo stesso potenziale edificatorio, essi non maturano l'interesse ad ostacolare l'azione di utilità collettiva per salvaguardare il beneficio privato. Nondimeno, l'equa distribuzione dei diritti edificatori permette all'amministrazione locale di acquisire aree per usi pubblici in modo non oneroso e in accordo con i privati i cui diritti legati al valore della proprietà vengono comunque riconosciuti (Micelli, 2002; Oliva, 2014).

Nella proposta di revisione del PRG di Catania, ogni "area risorsa" (AR) risponde allo schema delle aree "di decollo" e "di atterraggio" dei diritti edificatori così che le prime saranno destinate alla cessione per pubblici usi mentre nelle seconde si concentreranno le cubature consentite dal Piano. In ciascuna AR, cioè, i proprietari hanno il diritto di costruire residenze, edifici per il commercio e le funzioni direttive ma possono farlo in porzioni ben definite delle aree, designate come zone di concentrazione volumetrica. Di contro, saranno chiamati a trasferire alla municipalità locale la proprietà delle rimanenti porzioni di AR, o zone di cessione, che saranno destinate a diventare prevalentemente aree a verde pubblico ma potranno includere anche pubblici servizi (scuole, parcheggi, edifici per l'interesse collettivo).

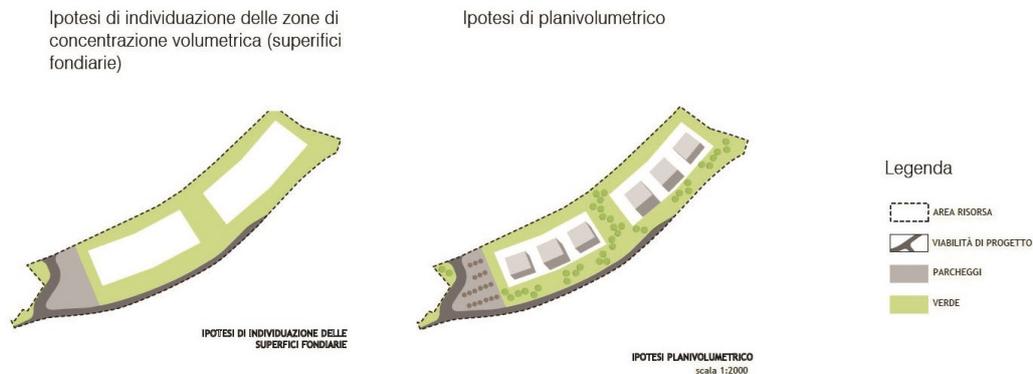


Figura 5.2 | Strategia GOUD e meccanismi TDR all'interno di una "area risorsa"
(adattata da: PRG Catania, 2012)

5.3 Applicazione della metodologia al bacino di studio¹

5.3.1 L'area di studio: descrizione del bacino in esame

Prima che la città cominciasse ad espandersi verso Ovest, all'inizio dei primi anni '70, il bacino dell'Acquicella era sostanzialmente un bacino dalle caratteristiche rurali o comunque non urbane, con un sistema di drenaggio prevalentemente naturale costituito dal torrente "Acquicella" (noto anche come "Acquicedda" o "Limosina") e da altri impluvi naturali tributari più modesti ed anch'essi a carattere effimero. I processi di urbanizzazione nei decenni successivi hanno determinato una progressiva alterazione dell'assetto idrologico del bacino e delle sue caratteristiche fisiche. Il torrente ha subito numerosi interventi ed in molti tratti è oggi costituito da canali artificiali. Allo stato attuale esso riceve anche le portate miste provenienti dai collettori delle reti fognarie a servizio dei quartieri sud-ovest della città, divenendo il ricettore di un complesso sistema di drenaggio a monte del bacino. La Figura 5.3 inquadra il torrente Acquicella ed il suo bacino rispetto alla città consolidata ed ai territori contermini. Il torrente principale origina nell'area delle Terreforti, a sud dell'adiacente comune di Misterbianco e scorre in direzione NO-SE attraversando diversi quartieri della città prima di sfociare nel mare, a sud della zona portuale. Sono molteplici i caratteri territoriali che coesistono all'interno del bacino, alcuni preminentemente rurali o naturali, altri fortemente urbani. La morfologia è caratterizzata da inclinazioni del terreno che variano anche sensibilmente all'interno del bacino, decrescendo dalle aree a Nord-Ovest verso la costa.

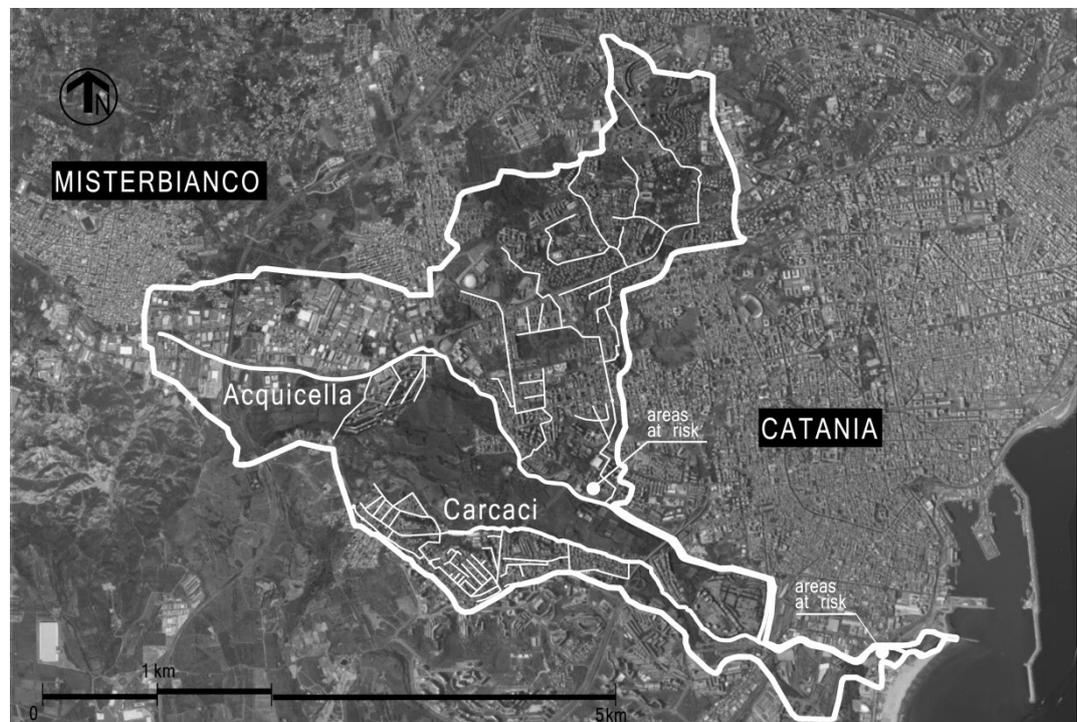


Figura 5.3 | Inquadramento territoriale del bacino dell'Acquicella, aste idriche e reti di drenaggio principali

¹ I materiali e i dati utili all'applicazione della metodologia sono stati in parte ripresi e combinati dagli studi di tesi di Laurea dei dott.ing. Strazzeri (2013) e Pulvirenti (2012).

Il torrente è lungo circa nove chilometri e, come accennato, si caratterizza per l'articolazione delle sue sezioni trasversali che assumono tre principali configurazioni: i quattro chilometri circa del tratto più a monte (circa la metà della sua lunghezza) vedono l'alterarsi di impluvi a fondo naturale e canali aperti artificiali; il segmento a valle è un tratto costituito prevalentemente da canali artificiali aperti o intubati. Il più importante torrente affluente, il "Carcaci" (o "Acquasanta"), è lungo circa quattro chilometri ed è caratterizzato da sezioni non regolarizzate. Esso sfocia nell'Acquicella nella parte SE del bacino, all'incirca due chilometri a monte dell'area focale.

Il Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia, in vigore durante i lavori di revisione del PRG, oggi recepito dal PGRA - Piano di gestione del Rischio Alluvioni (2016), è stato consultato nella parte relativa all'analisi della pericolosità e del rischio idraulico per ricavare una fotografia della condizione del bacino di studio. Le mappature, individuano aree soggette ad elevati livelli di rischio e, quindi, potenzialmente soggette ad inondazione, solo in porzioni di bacino molto limitate (Fig.5.3).

5.3.2 Analisi e modellazione del bacino con EPA SWMM

Nell'ambito del caso studio "Acquicella" l'applicazione della metodologia proposta (cfr. Cap.4) ha avuto come obiettivo principale l'analisi della risposta del bacino urbano (identificato come il sistema oggetto di studio) agli impatti delle trasformazioni previste dal Piano (indirizzo di ricerca (A)), effettuata con riferimento a diversi tempi di ritorno dell'evento di pioggia (2,5,10,20,50,100 anni), e la conseguente valutazione delle azioni di mitigazione e compensazione da intraprendere al fine di garantire il rispetto

del principio di invarianza idraulica alla scala di bacino.

Nello specifico, il processo metodologico è stato quadripartito nelle fasi di:

- i. valutazione degli impatti,
- ii. applicazione del criterio di invarianza idraulica alla scala del sottobacino per stimare le esternalità negative da compensare a carico delle aree di trasformazione,
- iii. definizione degli oneri, sotto forma di restrizioni di deflusso, da assegnare a ciascuna area risorsa proporzionalmente agli impatti da essa potenzialmente generati.

Questo approccio consente poi di individuare e discutere i plausibili meccanismi di *policy* per incoraggiare la diffusione di sistemi di controllo dei deflussi alla fonte e/o misure di intervento localizzate.

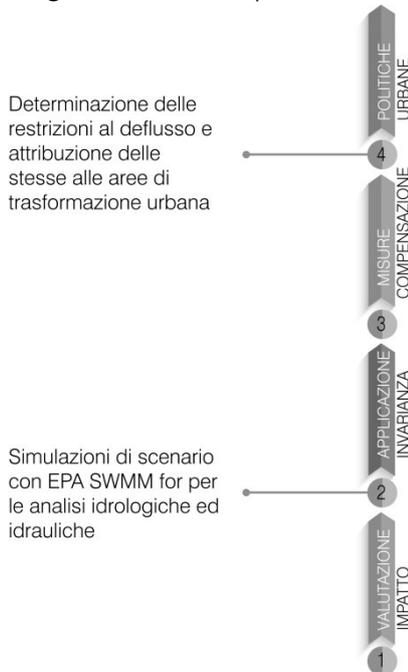


Figura 5.4 | Processo logico di applicazione della metodologia al caso studio del bacino "Acquicella", Catania

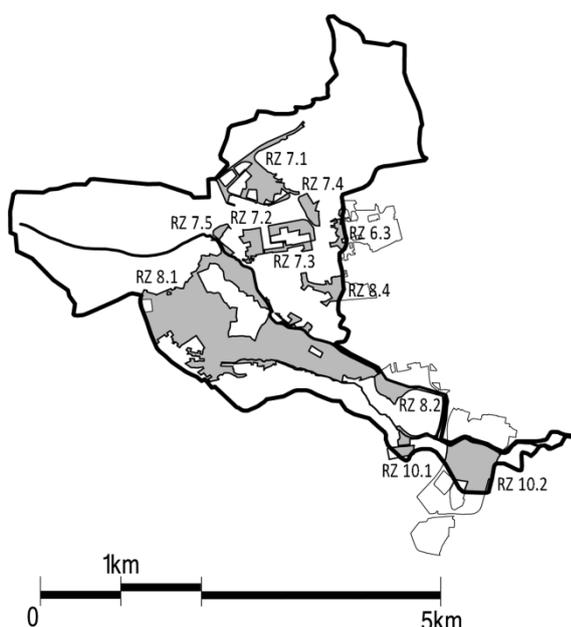


Figura 5.5 | Limiti di bacino e aree di trasformazione previste dal Piano (aree risorsa) ricadenti in esso

Delle trentacinque AR individuate dal Piano, undici ricadono interamente o parzialmente all'interno dei limiti del bacino dell'Acquicella, individuato come caso studio di interesse Figura 5.5.

Per valutare la compatibilità delle trasformazioni di Piano (da attuare tramite le AR) rispetto gli assetti idrologici attuali, coerentemente all'approccio metodologico scelto (par.4.5), sono stati presi in considerazione due scenari da simulare e confrontare. Il primo scenario (scenario zero) è rappresentativo delle condizioni attuali del bacino, mentre il secondo scenario (scenario uno) è rappresentativo delle condizioni del bacino come si avrebbero dopo l'attuazione

delle trasformazioni previste nelle "aree risorsa".

I meccanismi di deflusso sono stati simulati tenendo conto dei soli ruscellamenti superficiali, optando per l'adozione dell'approccio semplificato.

Come introdotto nel Cap.4, ai fini della modellazione con SWMM, occorre definire un insieme numeroso di parametri da usare come input per la simulazione.

Preliminarmente, ai fini della definizione del "comparto atmosfera" (par.4.4.1), si è proceduto alla rappresentazione delle caratteristiche degli eventi di pioggia, costruiti a partire dalle curve di probabilità pluviometrica fornite dall'Osservatorio Acque per la stazione di Catania Genio Civile (Tab 5.1) e caricate come serie temporale di intensità di pioggia nell'intervallo di registrazione dei dati; si sono infatti definiti, in funzione dei tempi di ritorno, ietogrammi sintetici di progetto di tipo Chicago (Appendice A.1)

Tabella 5.1 | Valori dei parametri delle CPP per durate comprese tra 1 e 24 ore (da: Pulvirenti, 2013)

Pluviografo	Tempo di ritorno	a	n
Catania Genio Civile	5 anni	42,238	0,329
	10 anni	51,275	0,325
	20 anni	59,946	0,322
	50 anni	71,170	0,319
	100 anni	79,581	0,318

Per definire il “comparto superficie” il bacino è stato suddiviso in cinque sottobacini (Fig.5.6). Di questi, quattro sono identificati in corrispondenza di sezioni significative lungo il torrente, che costituiscono, tra l'altro, il punto di immissione per i rami più importanti del sistema di drenaggio complessivo (S1-S4); l'ultima sezione si individua, invece, alla chiusura dell'intero bacino, considerandola utilmente ai fini di una valutazione complessiva.



Figura 5.6| Suddivisione del bacino dell'Acquicella in sottobacini individuati rispetto sezioni di interesse sul corso d'acqua (punti di immissione delle portate dai rami delle reti di smaltimento urbane)

Come detto, prima di poter procedere alla stima delle portate di piena per ciascun sottobacino, risulta necessario valutare i fenomeni di perdita idrologica; prescindendo dai fenomeni di perdita idrologica per evapotraspirazione ed intercettazione, di solito poco importanti durante le precipitazioni intense (Becciu & Paoletti, 2010), SWMM consente di simulare quelle per infiltrazione nel suolo attraverso vari modelli, tra cui quello del *Curve Number* (CN-SCS) (U.S. SCS, 1972) (par.4.4.1.1).

Dipendendo il volume infiltrato ad ogni istante t dell'evento dal volume massimo immagazzinabile nel terreno a saturazione, a sua volta funzione del parametro CN, occorre procedere all'individuazione delle caratteristiche del terreno in termini di tipo idrologico e usi/coperture di suolo.

Il tipo di suolo prevalente nel bacino dell'Acquicella è del tipo “gruppo C” – suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta con scarsa capacità di infiltrazione e saturazione – mentre la presenza di suoli appartenenti al “gruppo B” – suoli aventi moderata potenzialità di deflusso con elevata capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione – si

limita ad una limitata parte della sua porzione Sud-Est; solo la parte terminale del bacino, immediatamente a ridosso della costa sabbiosa della Playa, presenta suoli raggruppabili nel “gruppo A” – suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso con capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata (Pulvirenti, 2013).

L'analisi di tipo ibrido uso del suolo/copertura del suolo del bacino, nelle condizioni attuali (scenario zero), è effettuata sulla base delle Carte Tecniche Regionali (scala 1:10000), delle cartografie in scala 1:2000 e dello studio agricolo-forestale di corredo al Piano, a partire dall'interpretazione delle ortofoto satellitari nonché dalle osservazioni dirette in loco, ricavando le categorie di uso del suolo sulla base degli usi prevalenti. In particolare, detta analisi di tipo tradizionale, ha consentito di individuare all'interno del bacino “sottozone omogenee” cui assegnare proprietà di deflusso costanti (Pulvirenti, 2013; Strazzeri, 2013). In particolare, la classificazione tassonomica ha permesso di individuare le seguenti categorie di usi/coperture:

- urbanizzato
- semi-urbano
- industriale (capannoni)
- agricolo
- incolto
- parcheggi e viabilità
- impianti sportivi
- aree cimiteriali
- altre aree permeabili
- altre aree impermeabili

e di associarle a percentuali di permeabilità seguendo le indicazioni della manualistica SWMM (Rossman, 2010), che riprende gli studi del SCS.

Nello scenario zero, pertanto, ad ogni “sottozona omogenea” individuata nel sottobacino è stato assegnato un valore di CN in funzione della combinazione tra tipo idrologico di suolo ed uso/copertura dello stesso; poi, i risultati ottenuti, sono stati utilizzati per derivare univoci valori di CN da assegnare ad ogni sottobacino, usando una procedura di media pesata rispetto alle aree delle sottozone omogenee. Infine, a partire dal CN assegnato ad ogni sottobacino (ed usato assieme ad altri parametri come input per SWMM), si è risaliti al coefficiente di deflusso medio attraverso il rapporto tra pioggia efficace e pioggia totale, quest'ultima relativa ad un tempo di corrivazione diverso per ognuno dei sottobacini ed ai tempi di ritorno scelti per le simulazioni.

Per simulare le condizioni dello scenario uno, individuate le porzioni di sottobacini interessate dagli interventi previsti nelle ARs, si è analizzata la variazione del valore di CN per ogni sottobacino, ricavando il nuovo valore del parametro dall'analisi delle trasformazioni di uso del suolo che il progetto di ciascuna AR induce all'interno del sottobacino che la include.

Più precisamente, dalla sovrapposizione del *layer* delle “sottozone omogenee” e di quello delle “aree risorsa”, è stato possibile valutare le modificazioni subite da ciascuna porzione di territorio rispetto alle condizioni di uso e copertura dei suoli riscontrabili nello scenario zero. Analogamente,

si è proceduto per una stima di massima della variazione di percentuale delle aree impermeabili all'interno dei sottobacini, prima e dopo le trasformazioni previste dai progetti di "area risorsa".

La Tabella 5.2 riassume le caratteristiche dei sottobacini rappresentate dai parametri usati come input per il modello durante le simulazioni dei due scenari di riferimento.

Tabella 5.2 | Caratteristiche dei sottobacini individuati ai fini della modellazione

sotto- bacino	Area	Pendenza media	Larghezza falda	Pre - development scenario		Post - development scenario	
				impermeabilità	CN	impermeabilità	CN
				[ha]	[%]	[m]	[%]
S1	397,40	2,67	1156	51,21	88	51,34	88
S2	86,94	2,80	383	70,68	89	74,44	90
S3	573,45	3,30	969	50,19	86	52,86	87
S4	228,31	3,00	478	46,21	84	50,17	86
S5	1500,20	2,60	1542	52,62	85	54,97	87

La scelta degli altri parametri da usare (pendenza, larghezza della falda scolante) si è basata sui dati disponibili e sulle indicazioni dettate dagli studi di letteratura; una successiva analisi di sensitività è stata condotta per sincerarsi della validità e robustezza dei risultati ottenuti.

Completata la modellazione del bacino con riferimento ai due scenari, il software ha restituito la stima delle portate di piena per i tempi di ritorno considerati.

5.3.3 Invarianza idraulica, limiti di deflusso e meccanismi di policy

Come anticipato nel par. 2.3.2 e ripreso nel par. 3.3, ai fini della protezione idraulica dei territori urbanizzati nei confronti degli eventi meteorici intensi, l'obiettivo dell' "impatto zero" comincia ad essere introdotto a livello normativo prescrivendo il rispetto del principio di invarianza idraulica. Poiché il concetto di invarianza idraulica richiede di mantenere invariati i picchi di portata nel bacino prima e dopo le trasformazioni urbane, misure di tipo regolativo/ compensativo devono accompagnare, in generale, l'attuazione delle trasformazioni urbane.

Per valutare l'impatto delle trasformazioni previste dalle ARs nel caso studio in oggetto si è così ricorso alla scelta di un indicatore che mettesse in relazione l'urbanizzazione prevista con l'aumento delle portate di deflusso (par.4.5):

$$I_{ii} = \frac{Q_{p1} - Q_{p0}}{Q_{p0}} \quad (9)$$

Dove Q_{p1} è il valore del picco di portata rilasciato dal sottobacino in esame nello scenario uno, Q_{p0} è, invece, il valore del picco di portata rilasciato dallo stesso sottobacino in esame nello scenario zero; come detto, valori maggiori di zero indicano la necessità di prevedere misure di controllo dei deflussi per garantire il raggiungimento della condizione di invarianza idraulica nel bacino.

Comunemente, l'applicazione di limitazioni al ruscellamento è stata adottata con riferimento alla scala del lotto/parcella (Parikh, 2012), certamente appropriata nel caso di analisi di dettaglio di cui le municipalità si servono per definire strumenti utili ad attribuire il giusto onere ai singoli proprietari privati. Al contrario, il livello di analisi ed interpretazione associato al progetto di Piano, insieme alle caratteristiche della sua struttura, concepita sul duplice livello strategico ed operativo (quest'ultimo evidente nei progetti per le ARs), entra sostanzialmente in conflitto con questo tipo di approccio e induce a supporre che la scala della parcella non sia la più consona per i ragionamenti sul caso studio.

Differentemente, la metodologia viene applicata assumendo l'AR come entità spaziale di riferimento, per una più flessibile applicazione del principio di responsabilità alla scala spaziale e temporale della definizione del piano, fornendo indicazioni generali², ma comunque rigorose, sulle misure da intraprendere per trasformazioni del territorio ad alta resilienza, da dettagliare eventualmente ed opportunamente in una fase di successiva attuazione delle previsioni stesse di Piano. Di conseguenza, gli "oneri" (in termini di singole restrizioni), dovuti per compensare l'incremento delle portate e dei volumi di deflusso recapitati, sono assegnati ad ogni "area risorsa" responsabile della trasformazione urbana affinché possa assicurarsi il rispetto della condizione di invarianza idraulica alla scala del sottobacino.

A livello procedurale, per ciascun sottobacino individuato, l'eccesso di picco di portata (cioè la differenza tra il valore della portata di picco nello scenario uno ed il valore della portata di picco nello scenario zero) è assegnato a ciascuna AR ricadente nel sottobacino, proporzionalmente al contributo dato alla generazione dell'eccesso di picco. In base al livello di discretizzazione che si è ritenuto congruo adottare, le "aree risorsa" possono trovarsi in una delle seguenti condizioni:

i) l'area risorsa è interamente contenuta nel sottobacino di cui si sta calcolando il valore di portata di picco alla sezione di chiusura: un unico valore di restrizione al deflusso è calcolato, proporzionalmente all'estensione ed al tipo della trasformazione d'uso del suolo prevista dal progetto;

²L'attuazione di ciascuna "area risorsa" è regolata da una scheda norma la cui finalità è quella di guidare l'attuazione degli interventi definiti per singole aree ed assume il valore di progetto-guida che contiene indicazioni con diversi livelli di cogenza ed altre indicazioni prescrittive da definire nel dettaglio dei successivi piani esecutivi di iniziativa privata. Alcune indicazioni fornite dal Piano possono, quindi, subire variazioni o dover essere dettagliate rispetto ai sistemi di drenaggio e le modalità di allaccio alla rete esistente e/o verificate in termini di portate e volumi di deflusso generati in funzione del progetto presentato in via definitiva.

ii) l'area risorsa interseca n sottobacini: il valore limite assegnato all'AR è calcolato sulla base della media pesata degli n contributi forniti per ciascun sottobacino in cui l'AR ricade; poi, gli n contributi alla restrizione di deflusso vengono assegnati alle corrispondenti n parti di AR durante la fase attuativa del piano per assicurare il rispetto dell'invarianza idraulica alla scala del sottobacino;

iii) l'area risorsa non ricade all'interno di un sottobacino: il valore limite assegnato è calcolato facendo riferimento all'intero bacino.

I valori di restrizioni al deflusso così determinabili sono stati calcolati per tutti i tempi di ritorno considerati al momento delle simulazioni di scenario.

5.4 Risultati

5.4.1 Impatti, invarianza idraulica e limiti di deflusso

Le simulazioni effettuate con l'ausilio del modello EPA-SWMM hanno fornito i valori dei picchi di portata in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei sottobacini individuati. Questi valori sono stati calcolati negli scenari zero ed uno per consentire un utile e complessivo confronto tra le condizioni dello stato di fatto e di progetto.

Le Figure 5.7 e Figura 5.8 mostrano, attraverso istogrammi, i valori di picco delle portate rilasciate per unità di superficie del sottobacino (l/s/ha) per tutti i tempi di ritorno considerati, rispettivamente nello scenario zero e nello scenario uno. Dal confronto degli scenari emerge chiaramente una variazione delle portate di picco alla sezione di chiusura dell'intero bacino dell'Acquicella relativamente limitata (nel *range* tra il 2,5% ed il 3% a seconda del tempo di ritorno considerato). Questo dato ha una importanza non secondaria in quanto rivela una generale sostenibilità delle strategie e scelte progettuali contenute nel Piano rispetto agli assetti idrologici del bacino nel suo complesso, che non vengono alterati in modo significativo. Tuttavia, entrando un po' più nel dettaglio della Figura 5.8, i risultati mostrano, come prevedibile, che i vari sottobacini sono interessati diversamente dagli impatti dovuti alle trasformazioni previste. In particolare, gli incrementi di picchi di portata più significativi si registrano in corrispondenza di quei sottobacini dove le trasformazioni di progetto determinano maggiori variazioni nel fattore CN e nelle percentuali di aree impermeabili.

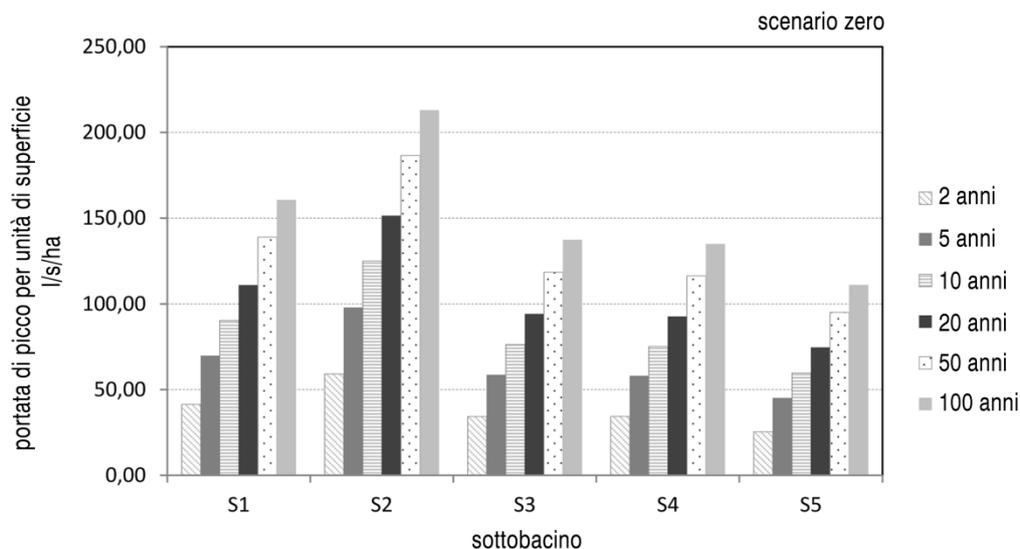


Figura 5.7 | Valori di picco di portata per unità di superficie rilasciati alla sezione di chiusura di ogni sottobacino individuato nello scenario zero dello stato di fatto e con riferimento ai sei tempi di ritorno di studio dell'evento di pioggia

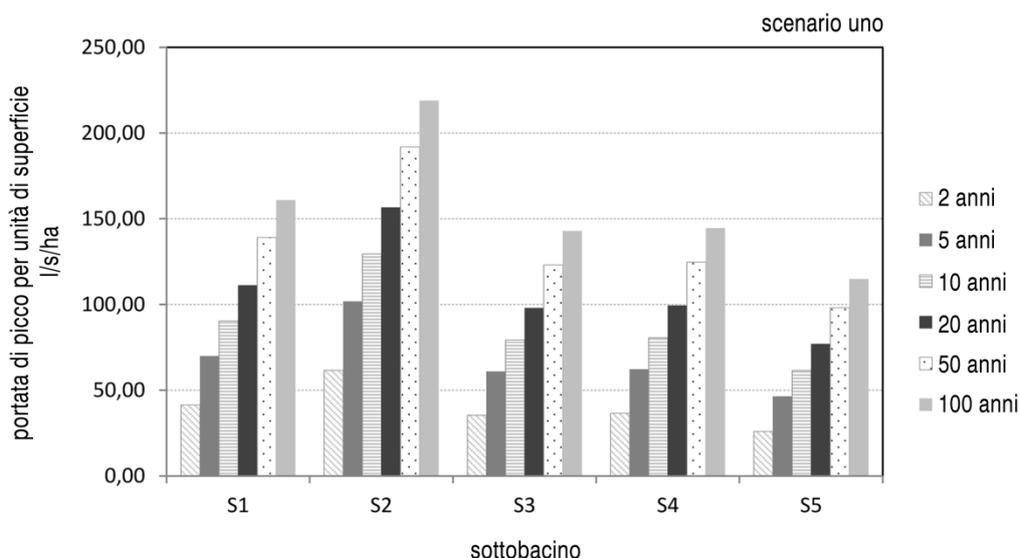


Figura 5.8 | Valori di picco di portata per unità di superficie rilasciati alla sezione di chiusura di ogni sottobacino individuato nello scenario uno dello stato di progetto e con riferimento ai sei tempi di ritorno di studio dell'evento di pioggia

In ragione delle peculiari caratteristiche dei sottobacini e della localizzazione spaziale delle “aree risorsa”, i valori di incremento massimo dei picchi di portata (tra il 6,5% e il 7,3%) si ottengono nel sottobacino S4, mentre i valori minimi (inferiori all' 1%) si riscontrano nel sottobacino S1.

I risultati dimostrano che un insieme di regole, sotto forma di restrizioni al deflusso, dovrebbero essere previste e proposte quali misure complementari al Piano per assicurare che le trasformazioni da esso previste ed attuate per mezzo delle ARs, rispettino il principio di invarianza idraulica in tutti i sottobacini considerati.

La Figura 5.9 illustra le restrizioni al deflusso assegnate alle ARs ricadenti nel bacino dell'Acquicella e calcolate come descritto al par.5.3.3.

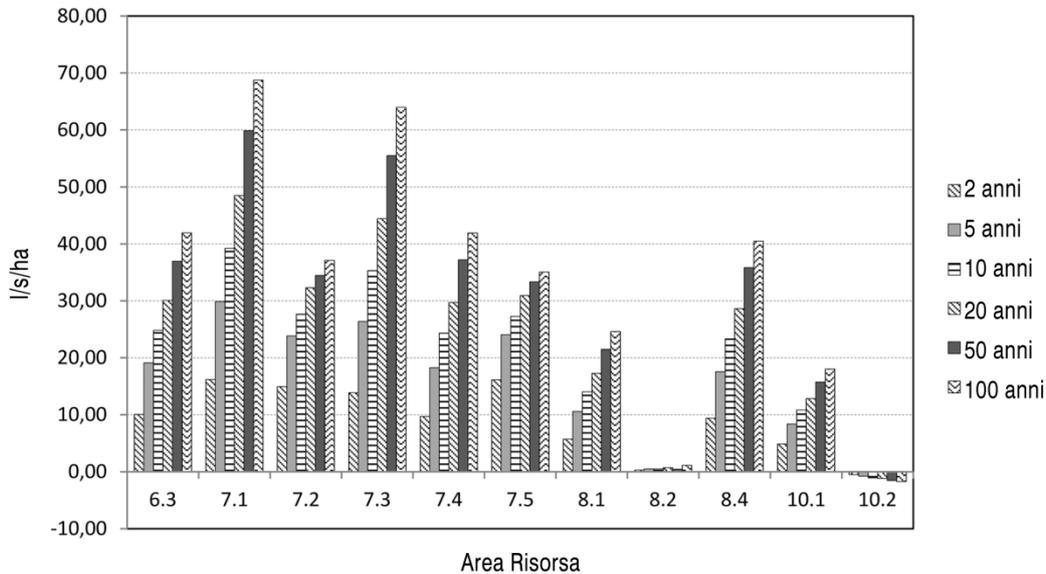


Figura 5.9| Restrizioni al deflusso per unità di superficie assegnate a ciascuna area risorsa e con riferimento ai sei tempi di ritorno di studio dell'evento di pioggia

Come ci si aspetta, i valori delle restrizioni aumentano all'aumentare del tempo di ritorno dell'evento di pioggia. I risultati mostrano valori contenuti nel range 0,3-16,2 l/s/ha assegnati alle aree per il più basso tempo di ritorno considerato (2 anni). Al contrario, casi come quello della AR 10.2 si verificano quando le trasformazioni previste sono migliorative delle condizioni nello scenario zero e determinano un incremento della capacità di risposta idrologica del bacino (valore negativo delle restrizioni al deflusso) grazie ad una riduzione del valore dei picchi di portata rilasciati. Questo è certamente dovuto alle strategie di rigenerazione previste nel progetto per la AR citata, prima tra tutte la sostituzione del degradato tessuto industriale presente ad oggi con aree destinate a verde per la pubblica fruizione.

Come è evidente, un certo numero di ARs ricadono a cavallo di sottobacini diversi.

A titolo esemplificativo, la Figura 5.10 riporta per tali aree, e per un tempo di ritorno di 5 anni, i contributi alle restrizioni di deflusso assegnati alle porzioni costituenti, secondo la procedura descritta nel caso ii) del par.5.3.3.

Nello specifico, la figura mostra, accanto al valore medio assegnato all'intera area risorsa, i contributi da assegnare alle porzioni costituenti la AR in fase di attuazione del Piano. Inoltre, la stessa figura, evidenzia importanti variazioni tra sottobacino e sottobacino. Ad esempio, la AR 7.3 riceve un onere di restrizione di 26 l/s/ha, ma diversi contributi vengono assegnati alle sue porzioni interne che ricadono nel sottobacino S5 (29 l/s/ha) e nel sottobacino S3 (6 l/s/ha) affinché possa ritenersi soddisfatta la condizione di invarianza idraulica auspicata.

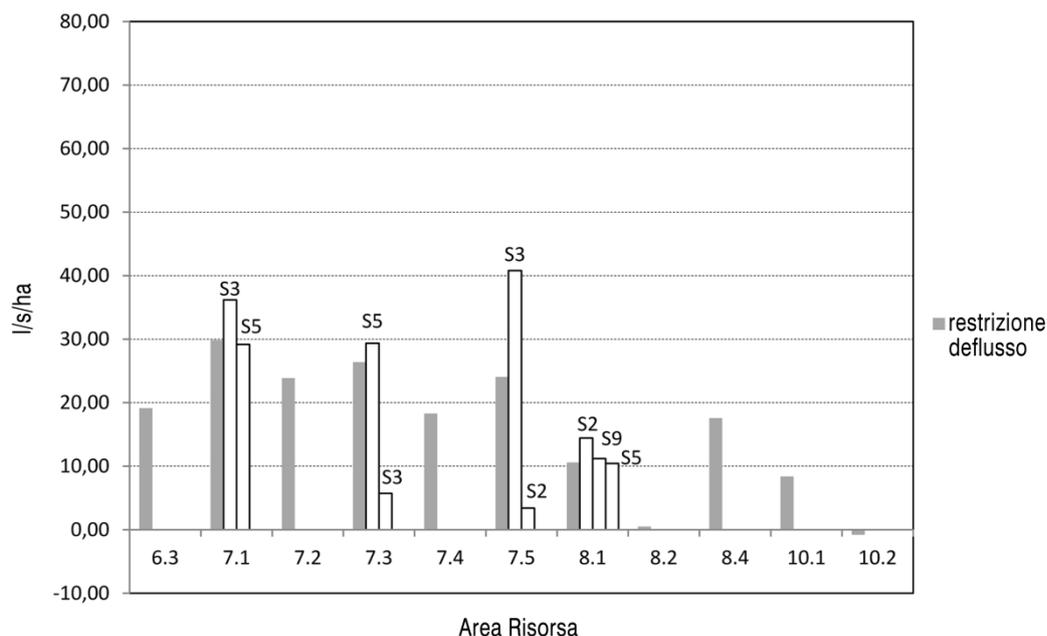


Figura 5.10| Contributi per unità di superficie alle restrizioni di deflusso assegnati alle porzioni di ARs non interamente contenute in un solo sottobacino (tempo di ritorno dell'evento di 5 anni)

5.4.2 Analisi di sensitività

I risultati presentati in Figura 5.9 sono stati ottenuti sulla base dell'uso di un set predeterminato di parametri da utilizzare nella simulazione degli scenari di riferimento come input per il software di modellazione, consentendo una valutazione realistica delle portate di deflusso e, quindi, delle restrizioni tali portate per le AR incluse nelle previsioni strategiche di Piano.

Nondimeno, si è ritenuto di effettuare una specifica analisi per valutare la sensitività dei risultati ottenuti rispetto ad alcuni importanti parametri usati dal modello. Quindi, un insieme di simulazioni aggiuntive è stato completato stimando la variazione dei valori delle restrizioni di deflusso, assegnate ad ogni AR, alla variazione del coefficiente di Manning per il ruscellamento superficiale e dei valori di profondità delle depressioni superficiali nelle aree permeabili ed impermeabili.

Nello specifico le simulazioni sono state effettuate usando due valori diversi per il coefficiente di Manning nelle aree impermeabili: 0,01 (caso 1) e 0,02 (caso 2); in più, si è valutato l'effetto della diminuzione del coefficiente di Manning a 0,05 (caso 3) ed il suo aumento a 0,15 (caso 4) per le aree permeabili; infine, si è simulata la condizione di depressioni superficiali pari a 2mm nelle aree permeabili (caso 5). I valori delle restrizioni al deflusso non subiscono variazioni significative, esibendo globalmente una sensitività modesta dei risultati ottenuti al variare dei parametri descritti usati nel modello (Figura 5.11).

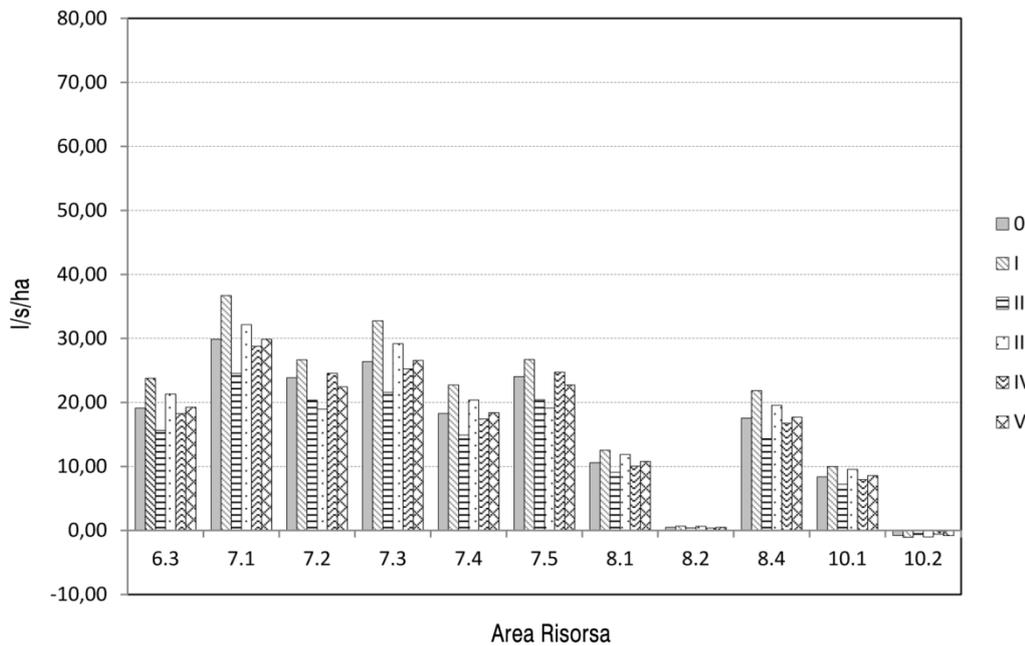


Figura 5.11 | Sensitività dei valori di restrizioni al deflusso assegnate a ciascuna area risorsa al variare dei parametri usati come input nel modello: (caso 0-scenario zero di riferimento; caso I-coeff. di scabrezza di Manning per aree impermeabili pari a $0,01 \text{ s/m}^{1/3}$; caso II-coeff. di scabrezza di Manning per aree impermeabili pari a $0,02 \text{ s/m}^{1/3}$; caso III- coeff. di scabrezza di Manning per aree permeabili pari a $0,05 \text{ s/m}^{1/3}$; caso IV- coeff. di scabrezza di Manning per aree permeabili pari a $0,15 \text{ s/m}^{1/3}$; caso V-altezza delle depressioni superficiali per aree permeabili pari a 2 mm)

5.5 Discussione

La scelta di assumere l'area risorsa come "entità urbanistico-spaziale" di riferimento per la definizione ed attribuzione delle restrizioni al deflusso ai fini dell'invarianza idraulica di bacino implica, contestualmente, riflessioni sugli aspetti idrologico-idraulici ma anche sugli aspetti economici, legali e di *governance* che l'approccio proposto potrebbe determinare negli scenari di attuazione.

Per quanto concerne i primi, l'adeguatezza della scelta dello scenario zero, rispetto al quale sviluppare l'analisi comparativa è stata oggetto di riflessione attenta. Infatti, le condizioni rispetto alle quali fissare l'invarianza idraulica devono essere individuate con attenzione. In via di principio, cercare l'invarianza dei picchi di piena rispetto ad uno scenario di partenza che rappresenti le condizioni dello stato di fatto, risulta una scelta plausibile e condivisibile solo se il corrispondente assetto idrologico-idraulico del bacino è rispondente a certi livelli di sicurezza rispetto ai rischi di alluvione. Nel caso specifico del bacino di studio, alcune verifiche speditive sono state condotte per verificare la attuale compatibilità delle sezioni di chiusura dei sottobacini individuati rispetto i picchi di portata ad esse recapitate per

ruscellamento superficiale. I risultati, congruenti alle previsioni fatte nel Piano di Assetto Idrogeologico, evidenziano che quasi tutte le sezioni di chiusura forniscono un accettabile livello di capacità idraulica, almeno per eventi corrispondenti a tempi di ritorno tra i 5 ed i 50 anni; fa eccezione il sottobacino S3 per il quale la capacità di convogliamento è limitata al di sotto degli eventi di 2 anni di tempo di ritorno. E' evidente che in casi simili a questo, il Piano dovrebbe prescrivere analisi e simulazioni ad un livello di dettaglio molto più accurato che, certamente, determinerebbero oneri di restrizione ai deflussi ben maggiori di quelle calcolate secondo la procedura esposta andando, pertanto, oltre il limite imposto dall'invarianza idraulica.

Si è detto di come le AR vengano progettate facendo fede a principi perequativi e applicando meccanismi di trasferimento dei crediti edilizi (TDR). Proprio in tal senso, sarebbe plausibile e forse opportuno, guardare gli oneri di restrizione dei deflussi alla stregua di indici urbanistici (Pistocchi, 2001) da definire, assieme agli altri parametri urbanistici per connotare le modalità di attuazione del Piano. In questo modo, l'amministrazione locale può inserire sistematicamente nelle valutazioni tecniche, economiche ed ambientali l'incidenza del principio di invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali, potendo derivarne indicazioni utili alla scelte di meccanismi di *policy* idonei per attivare l'adozione delle misure di mitigazione e compensazione più adeguate. Proprio per quanto concerne le misure di mitigazione da considerare, ad esempio, può riflettersi sulla circostanza che, rispettare le restrizioni al deflusso calcolate per i tempi di ritorno più bassi (2 e 5 anni di tempo di ritorno), aprirebbe all'opportunità di considerare anche l'adozione di tecnologie di controllo alla fonte tra quelle del tipo SuDS (Burns et al., 2015; Hellmers et al., 2016; Miguez et al., 2009). Invece, i risultati ottenuti per tempi di ritorno più alti fanno emergere la necessità di regolare le trasformazioni delle aree risorsa introducendo limiti più importanti (sino a circa 70 l/s/ha per 100 anni di tempo di ritorno). In questo ultimo caso, come indicato dagli studi di letteratura (Dawson et al., 2011), non può prescindere dall'adozione congiunta di misure di controllo alla fonte e tecniche di detenzione delle acque di tipo centralizzato, se non dappertutto, almeno per alcune delle AR studiate.

Questo apre al dibattito su quale siano i livelli di *performance* e, quindi, di sicurezza territoriale che l'amministrazione comunale intende fissare, anche in ragione di condizioni al contorno influenzate da fattori economici e sociali che, come abbiamo visto, possono costituire ragioni di fallimento delle politiche adottate. Non soltanto le restrizioni al deflusso possono essere inglobate come elemento nel meccanismo interno di definizione dell'area risorsa, ma possono diventare occasione di attivazione di specifici meccanismi di *policy* tra le aree risorsa, basati su logiche di mercato. Infatti, l'attribuzione a ciascuna AR di un limite al deflusso, stabilito in funzione dei picchi di portata recapitati alla sezione di chiusura del sottobacino di appartenenza nello scenario zero, la pone nella condizione di compensare quanto determinato dalla trasformazione territoriale in termini di restrizioni; queste, operativamente, possono essere rispettate attraverso la predisposizione di misure di controllo dei deflussi oppure, essere acquistate sul mercato alla stregua di "concessioni/crediti di deflusso/portata" e scambiate tra le aree risorsa appartenenti allo stesso bacino (*quantity-based*

policy). Il trasferimento di queste “concessioni/crediti”, stavolta non edilizie ma di deflusso, riprende il principio del *cap-and-trade* tra aree che, all'interno dello stesso sottobacino, si trovano in condizioni di restrizione ai deflussi diverse. Tra l'altro, non tutte le AR possono realisticamente essere in grado di rispettare limitazioni imposte, soprattutto in ragione delle loro caratteristiche fisico-morfologiche; ad esempio, alcune delle aree risorsa più piccole (AR 7.4 e AR 7.5) potrebbero soffrire la mancanza di spazio sufficiente per la realizzazione di misure di compensazione specifiche in funzione dei tempi di ritorno dell'evento di pioggia considerati. In questo caso diventa interessante immaginare di condurre ulteriori e più approfondite valutazioni per indagare sulle possibili strategie di scambio di concessioni/crediti tra le aree risorsa, attraverso meccanismi di parziale trasferimento delle restrizioni al deflusso assegnate, purché questo avvenga all'interno dell'unità spaziale individuata rispetto alla condizione di invarianza idraulica (che, altrimenti, non verrebbe più rispettata). Nel caso studio in esame, ad esempio, l'area risorsa 10.2 potrebbe essere una buona candidata per trasferire (vendere) i propri crediti di deflusso (ricordiamo, infatti, che nello scenario uno l'AR genera prestazioni migliori di quelle di invarianza idraulica) ad altre aree risorsa all'interno del sottobacino S5, come la vicina AR 10.1 di cui ridurrebbe la restrizione dovuta di circa il 9%.

E' chiaro che approfondimenti e valutazioni in termini economici e legali sulla efficacia e applicabilità di questi meccanismi *market-based* sono propedeutici alla scelta di applicarli in favore delle strategie di mitigazione e adattamento introdotte dal Piano.

In questo capitolo, la metodologia di ricerca è stata applicata per ricavare un processo semplificato di valutazione della compatibilità idraulica delle trasformazioni territoriali proposte a livello di Piano. Basandosi sulla combinazione tra il principio di invarianza idraulica e principio di responsabilità del “chi consuma paga” (Pistocchi, 2001), l'applicazione della metodologia al bacino urbano dell'Acquicella ha mostrato la possibilità di introdurre elementi di novità rispetto gli esempi comunemente riportati in letteratura: da una parte, le scelte modellistiche adottate provano ad evidenziare come *software* di modellazione complessi e potenti possano applicarsi opportunamente alla scala di interesse della pianificazione, rendendo più rigorosa l'analisi e le possibilità di interpretazione dei risultati; dall'altra, la ricerca di spunti di lavoro per quelle aree dove, non essendo possibili interventi edilizi di tipo diretto, occorre abbandonare la scala del lotto e cercare soluzioni alla condizione ricorrente di non corrispondenza tra unità idrografiche (bacini e sottobacini) e unità urbanistiche (aree risorsa di trasformazione), porta ad individuare in queste ultime gli elementi urbanistico-spaziali di riferimento per attivare la transizione delle aree urbane verso una gestione più sostenibile degli usi del suolo, in rapporto ai regimi idrologici ed idraulici.

L'obiettivo ultimo, infatti, rimane sempre la costruzione di efficaci politiche che sostengano processi di adattamento privato volontario e, quindi, la diffusione sul territorio di misure di mitigazione e compensazione, ove opportuno, costituite da sistemi di drenaggio sostenibile delle acque (SuDS).

Capitolo 6. Avola e i bacini urbani

6.1 Il contesto

Città di fondazione, costruita all'indomani del sisma che colpì la Val di Noto nel 1693, Avola è un comune di 31700 abitanti con superficie di circa 74.5 km², che sta oggi attraversando il processo di aggiornamento del Piano Regolatore.

Il suo centro urbano, sviluppatosi a partire da un impianto storico di tipo barocco, è tra quelli caratterizzanti l'urbanizzazione della vasta pianura centrale costiera che si estende a Sud della città di Siracusa e dà le spalle alla retrostante balza del tavolato ibleo, cui è riconosciuto alto valore paesaggistico. Dal punto di vista agricolo, questa larga fascia costiera è caratterizzata dalla presenza di agrumeti e mandorleti ma anche di colture orticole, un'agricoltura specializzata ed intensiva cui è legata anche la consistente presenza di insediamenti dispersi. Questo paesaggio agrario trova una discontinuità nella fascia di territorio coperto da vegetazione naturale (bosco e macchia mediterranea) che segnala l'estensione del paesaggio della Cava Grande del Cassibile verso il mare. Il fiume, insieme all' Anapo, ha scavato le valli il cui corso è seguito dalla più importante dorsale ecologica della provincia di Siracusa che, infatti, mantiene per lo più la direzione Ovest-Est.

L'insediamento attuale della città, sviluppatosi intorno al nucleo originario dalla caratteristica forma esagonale, occupa una porzione della piana alluvionale, a circa 37 m s.l.m. e a 1 km di distanza dalla linea di costa. Lo sviluppo sostanzialmente pianeggiante del sito non ha posto particolari condizionamenti alla successiva crescita urbana dell'insediamento, la cui morfologia risente dell'impianto planimetrico del nucleo di fondazione.

I processi di crescita del complesso urbano, regolati da strumenti urbanistici poco attenti alle dinamiche di salvaguardia del territorio ed alla mitigazione dei rischi, hanno generato un tessuto urbano di densità media, a ridosso della città di fondazione, cresciuto secondo modelli insediativi già presenti. A questo processo si affiancano tra gli anni '70 e '90 la nascita dell'insediamento costiero a bassa densità e la diffusione urbana nel territorio agricolo. La crescente pressione degli insediamenti ha prodotto pesanti effetti di saturazione e consumo del suolo lungo la fascia costiera,

creando un *continuum* urbano che ha spesso omogeneizzato e soffocato le vocazioni territoriali pre-esistenti. Si è trattato di un processo di urbanizzazione pervasiva e incontrollata, innescata in un territorio caratterizzato da una geomorfologia peculiare e dalla presenza di un fitto reticolo idrografico.

La città, certamente in ragione della prossimità spaziale, costituisce insieme a Noto un apparato unico che detta le dinamiche demografiche e la distribuzione delle funzioni sovralocali presenti.

Le connessioni con il capoluogo e con gli altri centri della Val di Noto, avvengono attraverso la SS 115, derivante dal tracciato della via consolare romana, che connette i centri urbani di Siracusa, Cassibile, Avola, Noto, Rosolini, per poi proseguire fino ad Ispica e Pozzallo sulla costa sud. In epoca recente, l'apertura al traffico dell'autostrada A18 Siracusa – Gela, ad oggi in esercizio fino a Rosolini, ha aumentato il livello di accessibilità dell'intero territorio del Val di Noto. Quest'ultimo è innervato, inoltre, da una rete di viabilità minore. Tra gli assi stradali che la compongono si segnalano la SP 4, per Avola Antica, che si connette con la SS 287 per Palazzolo Acreide, e la SP 15 di collegamento con Noto, a nord ovest della SS 115 e dell'autostrada.

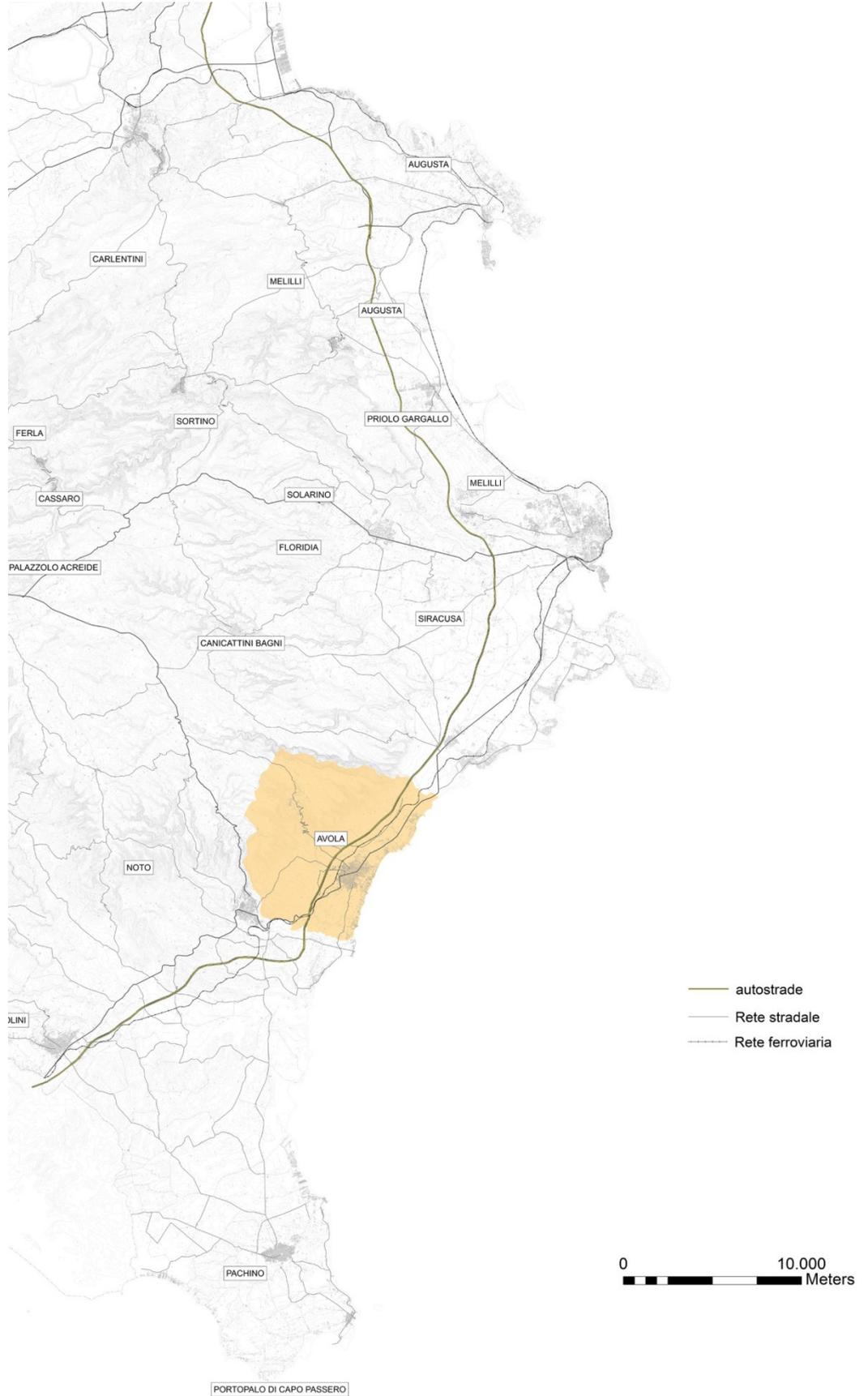


Figura 6.1 | Inquadramento del comune di Avola rispetto ai comuni contermini e principali arterie infrastrutturali

6.2 Inquadramento urbano-territoriale: emergenze naturali

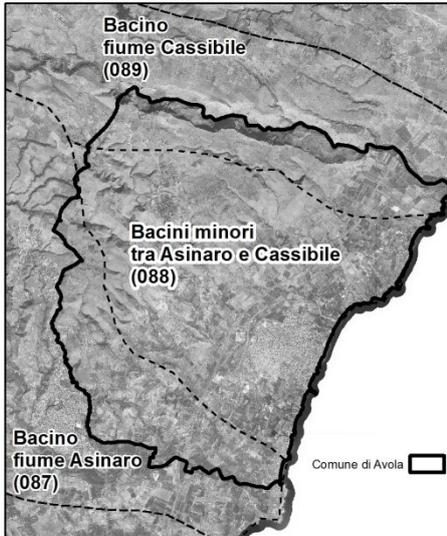


Figura 6.2| Inquadramento del Comune di Avola rispetto ai bacini idrografici della Regione Sicilia

Il territorio del comune di Avola, interamente ricompreso tra il fiume Cassibile a Nord e il fiume di Noto (Asinaro) a Sud, ricade negli ambiti dei bacini idrografici 087,088 e 089 (Fig.6.2), come identificati nel Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrologico della Regione Sicilia e riproposti nel PGRA-Piano di Gestione del Rischio Alluvioni in attuazione della Direttiva 2007/60 e del Decreto Legislativo 49/2010.

In particolare, Il territorio Avolese è interessato da una fitta rete idrografica costituita da valloni a carattere tipicamente torrentizio, asciutti per la maggior parte dell'anno, che degradano a pettine verso la costa in direzione NO-SE; si tratta di corsi d'acqua che

scorrono in profondi canyon nel primo tratto fino a passare nel tratto vallivo in cui defluiscono in trincea. I principali corsi d'acqua sono evidenziati in Figura 6.3.

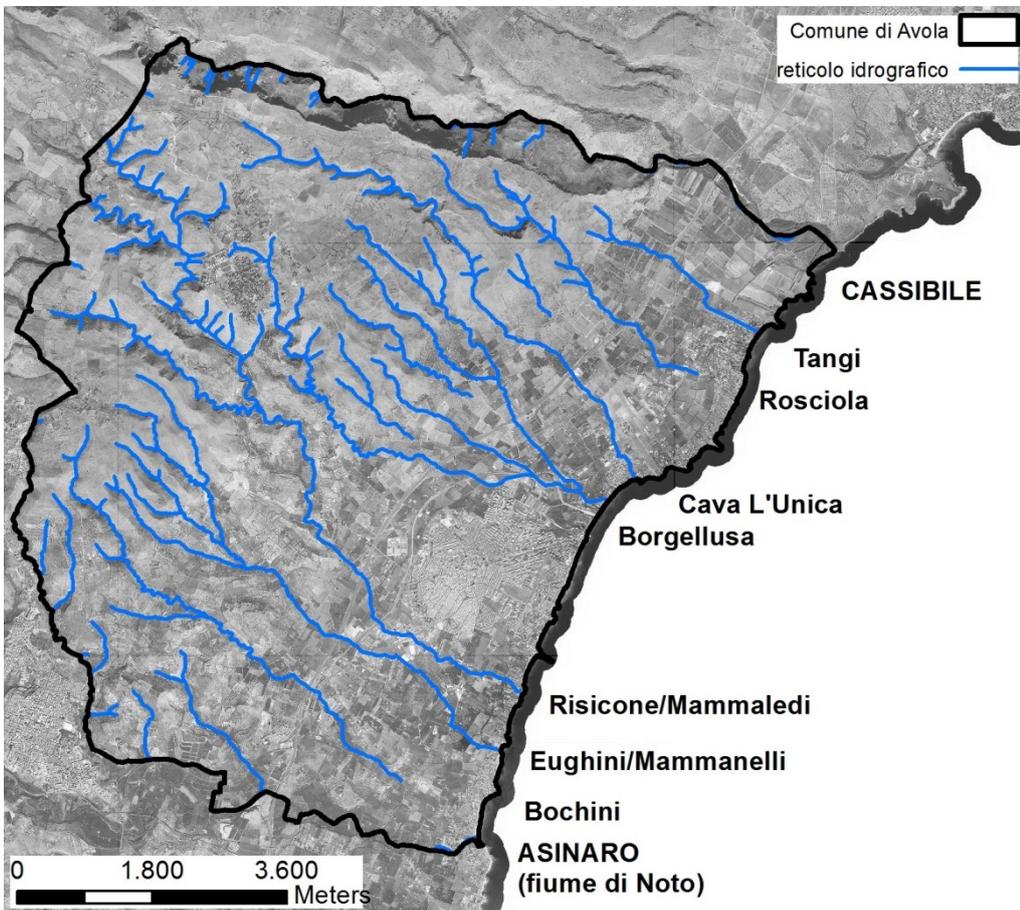


Figura 6.3| Reticolo idrografico principale nel Comune di Avola

Procedendo da Nord verso Sud si incontrano i torrenti: Tangi, Rosciola, Cava L'Unica, Borgellusa (con i rami affluenti Sanghetello, Plissamare, Mandalà, Lannito, Cava Campana e Carrubella o Zaccheta), Risicone (che nel tratto terminale assume il nome di Mammaledi), Mammanelli o Eughini e Bochini.

La visione complessiva del reticolo superficiale e dell'insieme delle vie di comunicazione stradale principali, della fitta rete di strade comunali, vicinali e di penetrazione agricola, porta subito ad evidenziare i diffusi problemi di disordine idraulico-viario dovuti essenzialmente alla commistione ed all'interferenza tra rete idrografica e rete viaria (Fig.6.4); tali problemi si particolarizzano nella forma di intersezione tra strade ed alvei, nell'affiancamento tra strade e alvei, e nell'immissione di corsi d'acqua su strade. Questi ultimi derivano dai processi spontanei di formazione ed evoluzione di molti tratti della rete viaria, adattati dalla trasformazione di vecchie "trazzere" ricavate sulle antiche via d'acqua naturali di servizio prima ai fondi e dopo agli insediamenti urbani che li hanno sostituiti. Tutti questi corsi d'acqua hanno il loro tratto terminale che interferisce con territori più o meno antropizzati. Il percorso verso il mare di molti di essi risulta interrotto avvenendo in strade e in nuclei abitati, costituendo un grosso pericolo in occasione di eventi di pioggia intensi. Lungo l'intera fascia costiera gli alvei sono solo localmente in fase di moderata escavazione, incisi nei terreni alluvionali di copertura; più frequentemente essi risultano pressoché a livello di campagna; tranne rare eccezioni, gli alvei naturali risultano del tutto insufficienti a contenere le portate di piena, anche di modesta entità.

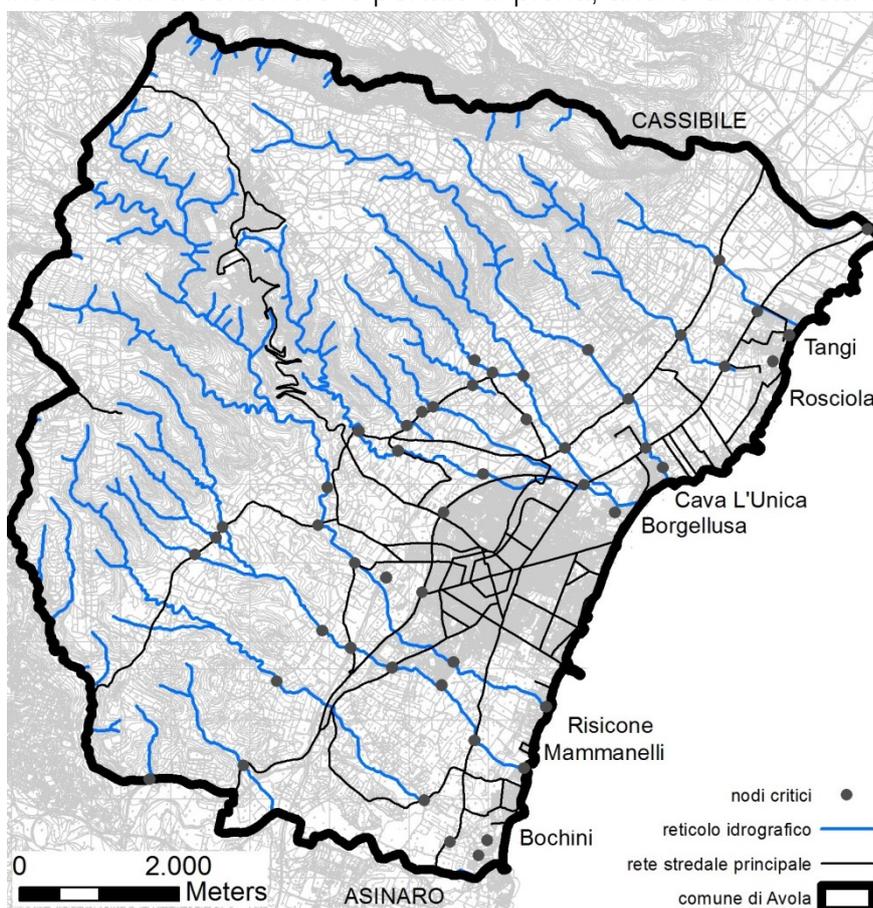


Figura 6.4 | Commistione tra rete idrografica e rete viaria con individuazione di nodi critici di interferenza tra acque superficiali e manufatti antropici, (da: RP-ver.5/2015)

La zona immediatamente a monte del centro abitato di Avola, compresa tra il Borgellusa e il Risicone è drenata da una serie di modesti impluvi poco definiti, che talora, come detto prima, alimentano tratti di strade realizzati in corrispondenza di antichi alvei. Tale zona, di forma circa triangolare, intercettata alla base dal tracciato della nuova strada tangenziale, ha una estensione di 2,20 km² e costituisce, con i suoi apporti idrici incontrollati, una fonte di pericolo per il centro urbano, il cui drenaggio è affidato alla rete fognaria urbana (Fig.6.5).

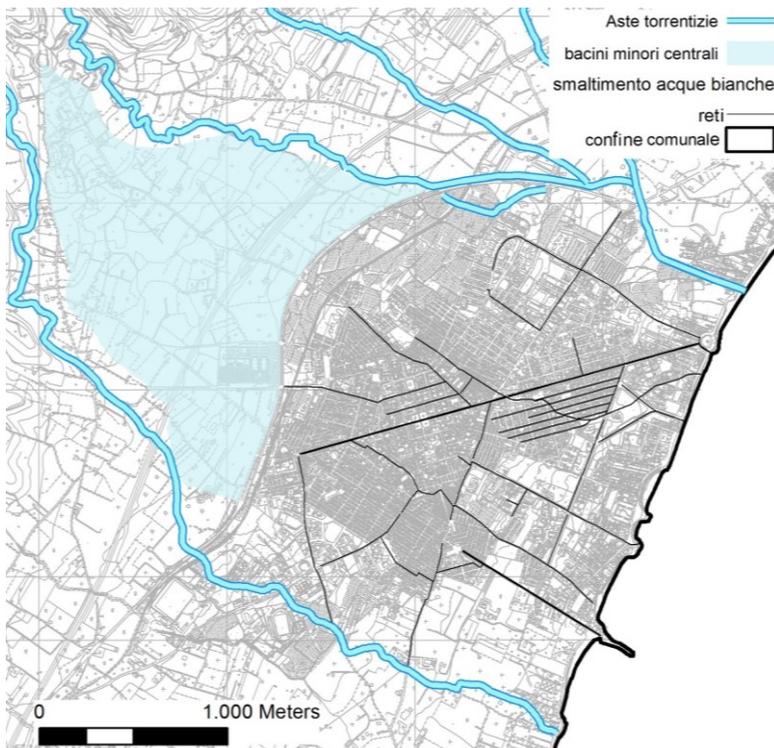


Figura 6.5| Bacini interni che gravano sul centro abitato di Avola, intersecati dal tracciato dell'autostrada e limitati inferiormente dal tracciato della circonvallazione di Avola

6.2.1 Ricognizione degli strumenti PAI e PGRA

La redazione dei Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico in Sicilia, ad opera dell'Assessorato al Territorio e Ambiente della Regione Siciliana, Dipartimento Territorio e Ambiente, è il risultato di un lungo e laborioso processo normativo che rispecchia parzialmente la complessità delle vicende nazionali sulla pianificazione delle acque (par.3.1). Il processo di redazione del P.A.I. per tutti i bacini idrografici è stato completato nel 2007 con l'approvazione di 70 piani in cui sono stati studiati i 102 Bacini Idrografici ed aree territoriali, ed i 5 raggruppamenti di Isole minori. Nei singoli Piani Stralcio sono individuate le aree a pericolosità e a rischio idrogeologico (geomorfologico e idraulico), la connessa disciplina normativa, prescrittiva e programmatica, ma anche l'indicazione delle misure di salvaguardia e la definizione di massima degli interventi atti all'eliminazione o alla mitigazione delle condizioni di rischio, secondo adeguati livelli di priorità.

Gli studi contenuti nei P.A.I. vigenti sono stati omogeneizzati e recepiti dal PGRA nell'ambito delle attività finalizzate alla mappatura della

pericolosità e del rischio, fase intermedia finalizzata alla redazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, in ragione delle risorse disponibili e delle scadenze temporali stabilite dal decreto legislativo 49/2010. Il Dipartimento Regionale della Protezione Civile ha, inoltre, integrato il PGRA con un pacchetto di contenuti tra cui il “Rapporto preliminare sul rischio idraulico in Sicilia e ricadute nel sistema di protezione civile” (RP-ver.5/2015), con specifico riferimento alle valutazioni preliminari di cui all'art. 4 del Decreto Legislativo n. 49 del 23 febbraio 2010 di recepimento con finalità, però, esclusivamente illustrative e non esaustive delle situazioni di potenziale criticità di natura idraulica e, quindi, come base di sola conoscenza preliminare per i successivi approfondimenti necessari alla redazione dei Piani comunali ed intercomunali di protezione civile e per gli altri studi di pianificazione e gestione del territorio (RP,2015). inviato ai Dipartimenti regionali, agli Enti Locali e agli Uffici territoriali di Governo e pubblicato sul sito istituzionale.

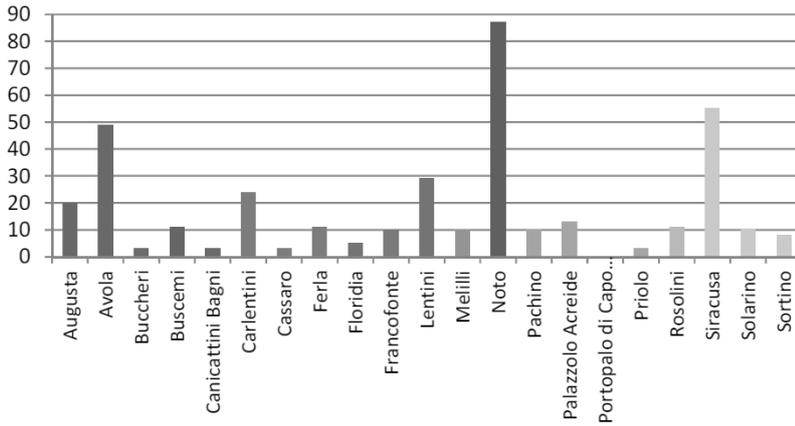
Il rapporto, raccoglie i risultati del censimento delle possibili interferenze tra reticolo idrografico e rete infrastrutturale o, in generale, sistema antropico, che a causa delle caratteristiche orografiche, climatiche e urbanistiche del territorio isolano, rischierebbero, come già accaduto in passato, di comportare situazioni di criticità per l'apparato locale e regionale di protezione civile. La “mappa dei principali eventi alluvionali” contenuta nel Rapporto, attribuisce all'areale di Avola e Noto l'occorrenza di “eventi ricorrenti” denotando la significatività dei fenomeni alluvionali. Tuttavia, tale mappa, non tiene in considerazione gli eventi occasionali o minori né quelli inerenti l'ordinaria inadeguatezza delle reti urbane.

Il Rapporto preliminare riporta i risultati di quanto osservato rispetto alle diffuse anomalie idrauliche, soprattutto nell'ambito del reticolo idrografico minore e, in maniera ancora più grave, in corrispondenza degli agglomerati urbani, in specie quelli costieri, laddove spesso vengono disattesi i più elementari criteri volti al rispetto del deflusso naturale delle acque superficiali (Fig.6.6 e Fig.6.7).

Per "nodi" devono intendersi:

- intersezioni tra viabilità e corsi d'acqua,
- qualsivoglia situazione per la quale sia temibile una situazione di potenziale rischio relativa all'interferenza tra acque superficiali ed elementi antropici.

Siracusa (n° nodi a potenziale rischio idraulico)



Siracusa (densità dei nodi n°/kmq)

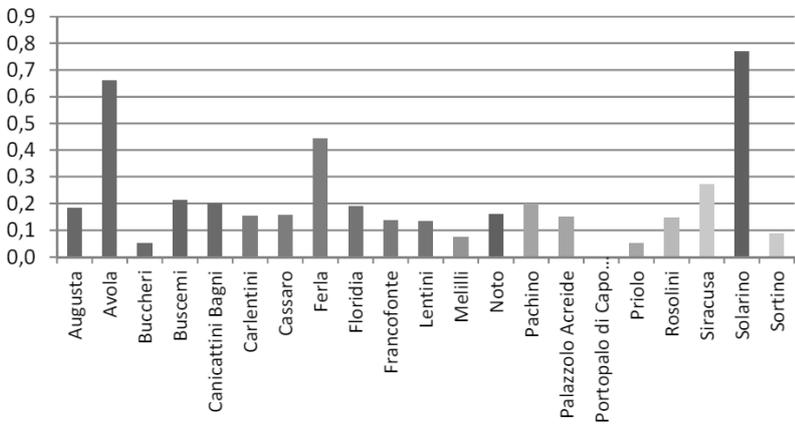


Figura 6.6| Numero e densità dei nodi a potenziale rischio idraulico ricompresi nel territorio di Siracusa, (da: RP-ver.5/2015)

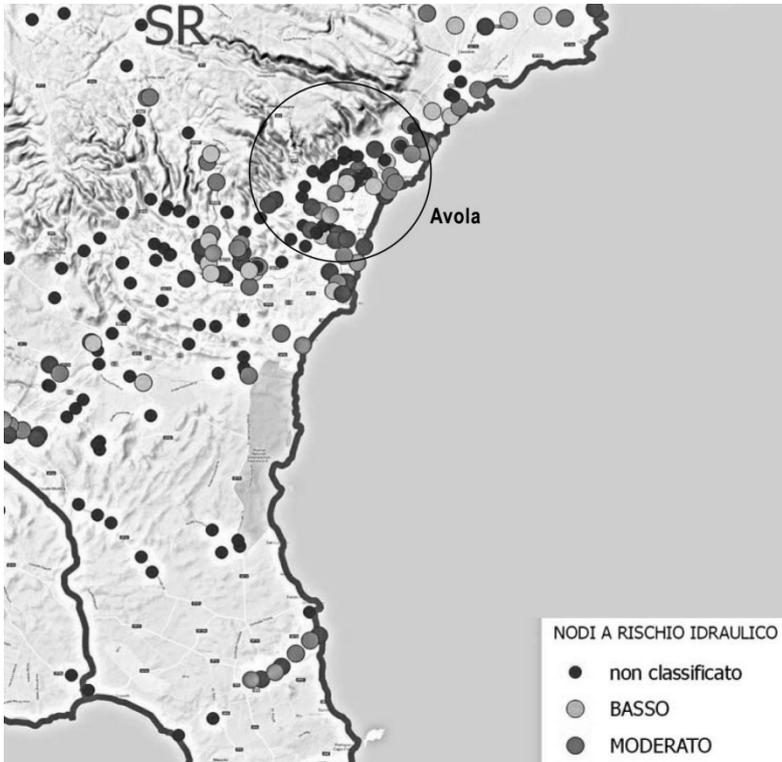


Figura 6.7| Distribuzione dei nodi a potenziale rischio idraulico ricompresi nel territorio di Siracusa e loro classificazione, Adattato da Fonte: (da:RP-ver.5/2015)

Sebbene il censimento si limiti a "fotografare" una situazione oggettiva (da osservazioni indirette) senza una valutazione del rischio, conferma il quadro già introdotto sulle emergenze naturali dell'area (par.5.2); tenuto conto, poi, che affinché sia assicurato un corretto deflusso superficiale delle acque di ruscellamento occorrono due condizioni sostanziali:

- la continuità monte-valle del corso d'acqua fino al suo sbocco (confluenza o mare),

- l'assenza di ostacoli di sorta al libero deflusso delle acque,

si può affermare che tali requisiti, per la stragrande maggioranza dei casi e soprattutto per il reticolo idrografico minore, non siano rispettati. Ciò comporta un rischio idraulico potenzialmente elevato soprattutto in quelle aree del territorio dove l'orografia è tale da poter determinare fenomeni di *flash floods* (in genere associati a trasporto in massa di detriti laddove le pendenze e la geologia costituiscano fattori predisponenti).

La questione degli "eventi minori", resta un nodo irrisolto, non essendo adatti, il Piano di Assetto idrogeologico e lo stesso Piano di gestione del rischio di alluvioni, a cogliere le fragilità dei sistemi urbani durante tali circostanze, nonostante esse rivestono un interesse specifico ai fini di protezione civile e, conseguentemente, di studio della resilienza specifica ai fenomeni di allagamento urbano. A tal riguardo, nella Relazione Generale del PGRA si legge che il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni non interviene ad occuparsi delle problematiche di allagamento discendenti alle criticità dei sistemi fognari o addirittura alla loro assenza (rifacendosi alla definizione del termine "alluvione" contenuta nel DLGS 49/2010).

Le mappe di pericolosità e rischio di alluvione vengono redatte, infatti, con riferimento ai tre scenari di:

- Alluvioni rare di estrema intensità: tempo di ritorno fino a 500 anni dall'evento (bassa probabilità);

- Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità)

- Alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (elevata probabilità) partendo dalle elaborazioni dei P.A.I. (Fig. 6.8 e Fig.6.9) a loro volta effettuate, per fenomeni di esondazione, con riferimento a tempi di ritorno pari a 50,100 e 300 anni (cioè gli estremi inferiori degli intervalli proposti per le probabilità di inondazione moderata e bassa e, a vantaggio di sicurezza, l'estremo superiore per alta probabilità di inondazione) (PAI, 2004); questi ultimi sono considerati coerenti con quelli stabiliti dalla normativa di recepimento della Direttiva, ma meno significativi per le valutazioni delle pericolosità in ambito urbano dove i sistemi fognari sono dimensionati per bassi valori del tempo di ritorno ($T_r=2-10$ anni), sicuramente ben inferiori della durata media di vita delle opere stesse, per cui sussiste in pratica la certezza che essi saranno in qualche occasione insufficienti (Becciu & Paoletti, 2010).

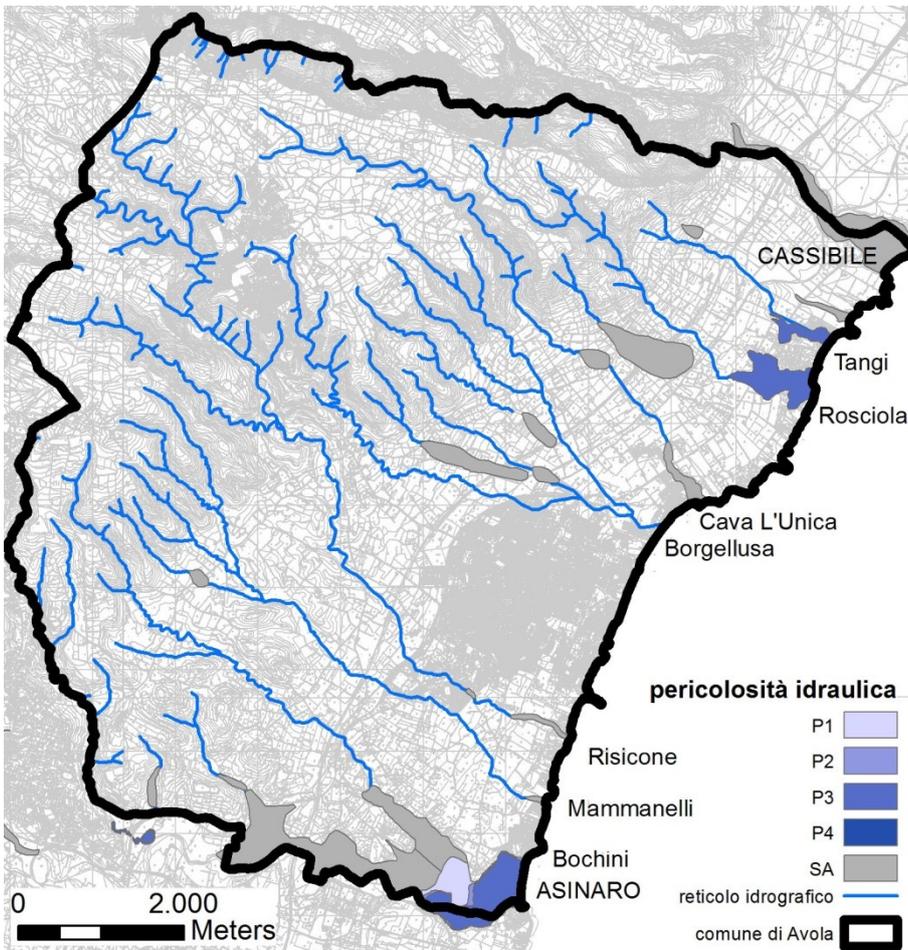


Figura 6.8| Mappa della pericolosità idraulica, Comune di Avola, (elaborata da PAI-SITR, 2016)

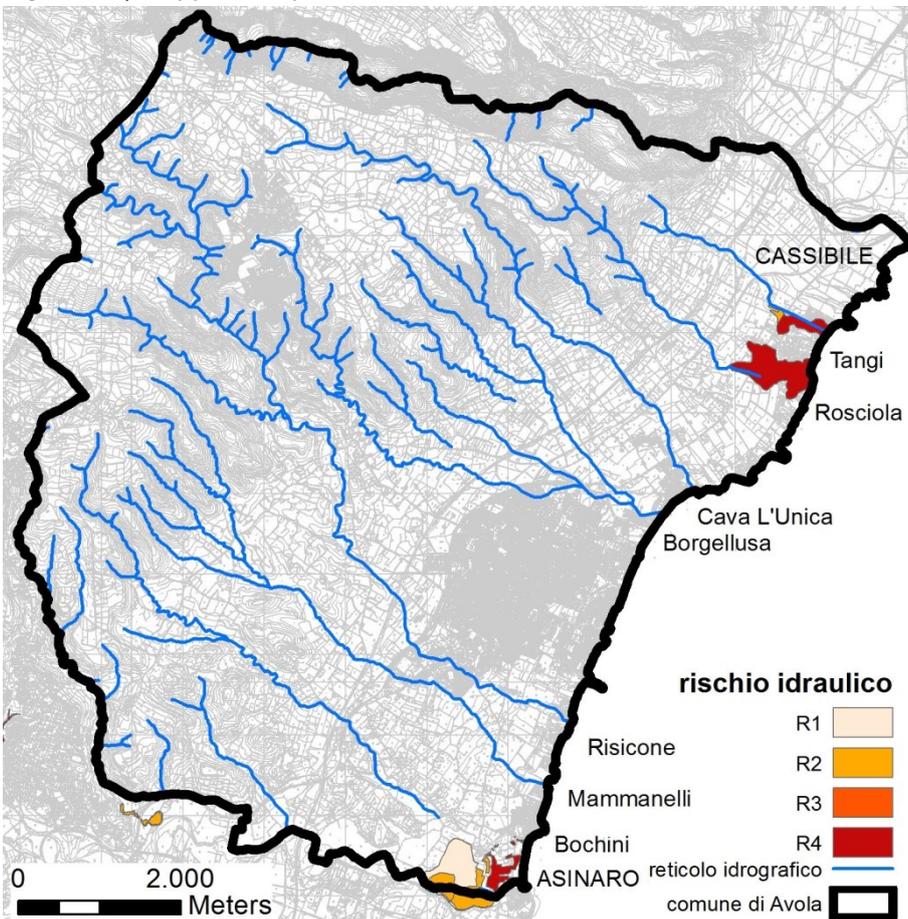


Figura 6.9| Mappa del rischio idraulico, Comune di Avola, (elaborata da PAI-SITR, 2016)

Con riferimento ai bacini di interesse, quelli cioè che intersecano i limiti amministrativi del Comune di Avola, non sono state ancora rese disponibili tutte le “Monografie di bacino”, essendo pubblicata la sola relativa al bacino del fiume Asinaro.

Piuttosto, il PGRA, ancora nella sua Relazione Generale, si limita a rilevare che negli ultimi 40 anni in Sicilia, soprattutto con riferimento alle aree costiere, l'urbanizzazione diffusa ha prodotto una significativa crescita del grado di impermeabilizzazione del suolo e spesso un' integrazione nel tessuto urbano delle reticolo idrografico naturale che è stato in genere oggetto d'interventi di “artificializzazione” causando l'incremento delle portate al colmo di piena e dei volumi di piena scaricate sul reticolo idrografico dalle fognature per acque meteoriche e generando situazioni di pericolosità e di rischio (PGRA, 2016). Questa consapevolezza si traduce nell'approccio strategico alla definizione del piano delle misure e delle loro priorità e, in particolare, all'introduzione delle azioni relative alla gestione delle acque superficiali (ad es: efficacia delle reti di drenaggio urbano, drenaggio urbano sostenibile, vasche di laminazione, principi di invarianza idraulica) tra le misure con funzione di protezione. Più specificamente la Relazione del Piano inserisce tra le misure previste (genericamente) dallo stesso, i sistemi di drenaggio urbano sostenibile, la cui programmazione, progettazione e realizzazione è demandata alla competenza degli enti locali. In particolare, si specifica che la sede per la programmazione di tali interventi è nell'ambito delle attività di programmazione negoziata, di definizione degli strumenti urbanistici e degli studi di fattibilità (par.3.3).

6.3 Inquadramento urbano-territoriale: usi e struttura insediativa¹

Dalle analisi di uso del suolo (Fig.6.10) emerge l'importanza degli usi agricoli del territorio tra cui le colture permanenti di oliveti e mandorleti sono le più diffuse insieme agli agrumeti mentre i seminativi, in prevalenza su aree non irrigue, hanno estensione superficiale totale inferiore. Altri sistemi colturali e particellari complessi sono presenti ma anch'essi poco diffusi. I boschi e i territori naturali di più rilevante entità si concentrano lungo il confine comunale a ovest e a sud ovest del centro urbano e si caratterizzano per la prevalenza di macchia mediterranea. Infatti, il tavolato calcareo che caratterizza la porzione ovest del territorio comunale, non essendo stato, tranne che in rari episodi, interessato da fenomeni di urbanizzazione rilevanti, conserva ancora diffuse caratteristiche di naturalità. Gli episodi di bosco naturale si riscontrano all'interno della Riserva di Cavagrande dove l'incisione fluviale, come anche nel caso dell'Asinaro, è interessata da formazioni ripariali di notevole entità.

¹ Informazioni rielaborate sulla base della Relazione Generale allegata allo Schema di massima del Piano (RG-SDM,2016)

Le superfici artificiali tra cui le zone urbanizzate di tipo residenziale e quelle produttive si concentrano nell'area della pianura compresa tra i bacini dei torrenti Risicone e Borgellusa, a meno delle dispersioni insediative.

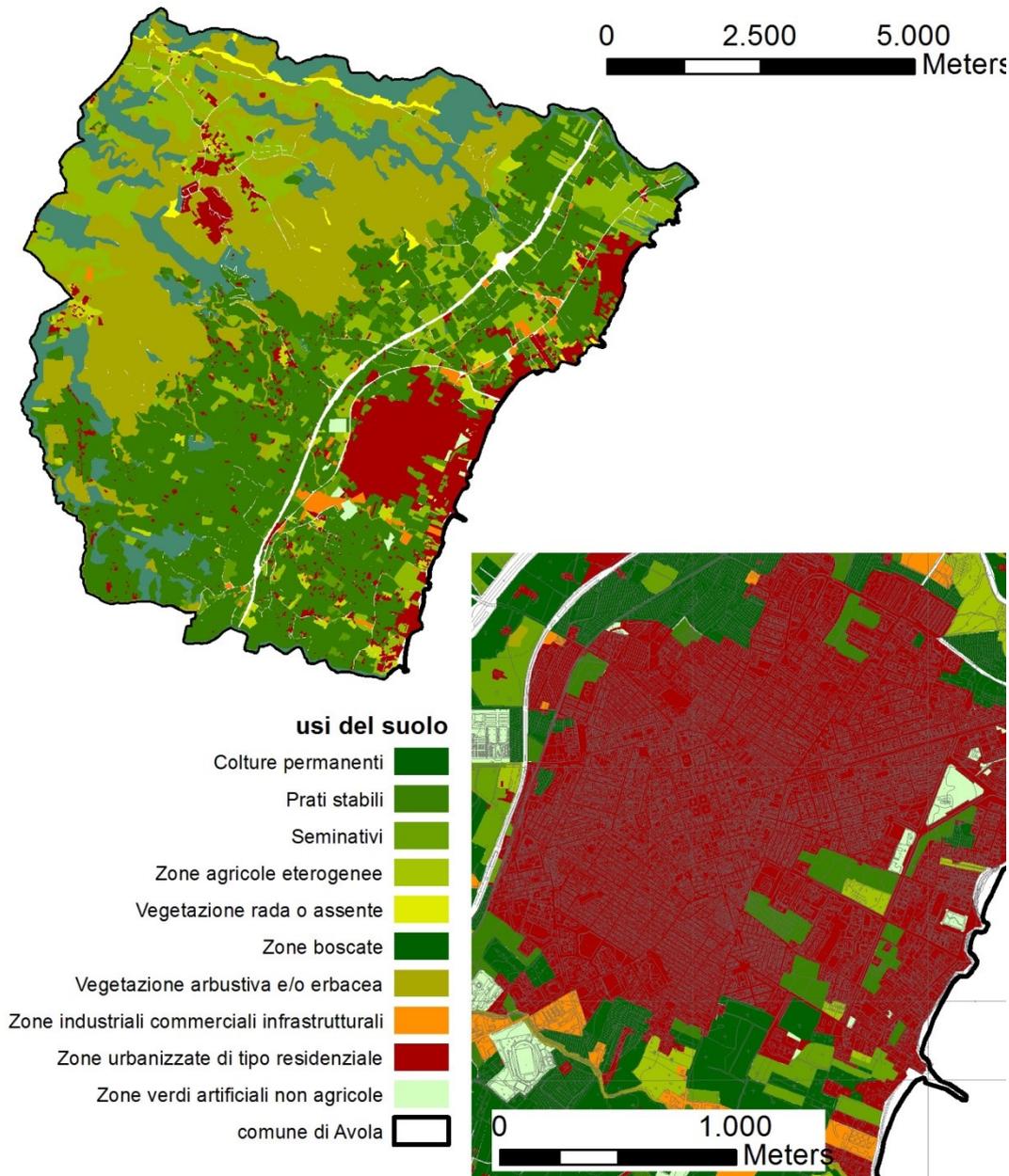


Figura 6.10| Usi del suolo, Comune di Avola, (elaborata da: studio agricolo forestale a corredo dello schema di massima del nuovo Piano Regolatore 2016)

Sembra, pertanto, che i tratti territoriali che hanno storicamente connotato il territorio avolese continuino a permanere fortemente. La produzione agricola e il patrimonio naturale sono ancora due risorse fondamentali nel quadro dell'intero territorio provinciale; in particolare l'agricoltura è quantitativamente rilevante, ancorché qualitativamente migliorabile.

L'analisi assume importanza rispetto alle valutazioni sul rapporto che si instaura tra superfici e precipitazioni nella generazione dei deflussi superficiali (par.4.3); infatti, la stima delle portate di ruscellamento dipende da meccanismi di trasformazione afflussi-deflussi che tengono conto degli

usi del suolo e delle percentuali di impermeabilità (par.4.4.1). Di seguito si elencano le principali categorie che si è considerate ai fini della caratterizzazione dei sottobacini di studio in applicazione delle routine del modello SWMM (par.6.5.3.1).

Tabella 6.1 | Corrispondenza tra le categorie di uso del suolo dello studio agricolo forestale e quelle proposte dal SCS ai fini dell'attribuzione del parametro CN (da: Cuvato, 2010)

Usi del suolo (Studio agricolo forestale)	Usi del suolo (SCS-CN method)
Zone boscate	<i>Woods or forest (good cover)</i>
Zone agricole eterogene, seminativi, colture permanenti e	<i>Cultivated</i>
Prati stabili	<i>Meadow</i>
Zone a vegetazione arbustiva o erbacea	<i>Woods or forest (poor cover)</i>
Zone aperte con vegetazione rada o assente	<i>Open spaces (fair conditions)</i>
Zone urbanizzate di tipo residenziale	<i>Residential/Roofs (based on percent imperviousness)</i>

Come detto, la storia “moderna” di Avola ha inizio con le vicende di ricostruzione post-terremoto del 1693. La morfologia dell'insediamento attuale risente dell'impianto planimetrico del nucleo di fondazione, dalla caratteristica forma esagonale, con assi principali dell'esagono orientati in direzione sud -est nord -ovest. Ad un primo tentativo di assecondare il modello esagonale con un prima sequenza di isolati a sviluppo concentrico, anche se irregolare in alcune parti, segue un impianto a griglia con isolati regolari di forma rettangolare secondo i noti modelli delle città di fondazione. Le griglie regolari si dispongono allineandosi inizialmente lungo le facce esterne dell'esagono e successivamente lungo i principali assi viari esistenti, assolvendo in questo modo alle esigenze di crescita dell'insediamento per un lungo periodo che si estende fino agli anni 70 – 80 del novecento.

La successiva fase di espansione del centro urbano è quella regolata dagli strumenti urbanistici, approvati rispettivamente nel 1972 e nel 2003, che ha portato alla formazione di un tessuto urbano di densità media secondo i modelli insediativi della città.

A questo processo di espansione del nucleo urbano di fondazione si affiancano nel periodo compreso tra gli anni 1970 e 1990, i due fenomeni che hanno maggiormente caratterizzato il sistema insediativo avolese: la nascita degli insediamenti costieri per la fruizione del mare e la diffusione urbana nel territorio agricolo.

I fenomeni hanno interessato in modo pervasivo una parte consistente della linea di costa del territorio comunale e la zona compresa tra la costa e la balza collinare che interessa la porzione occidentale del territorio comunale.

La Figura 6.11 illustra le dinamiche di crescita urbana descritte in una mappa di analisi sincronica.

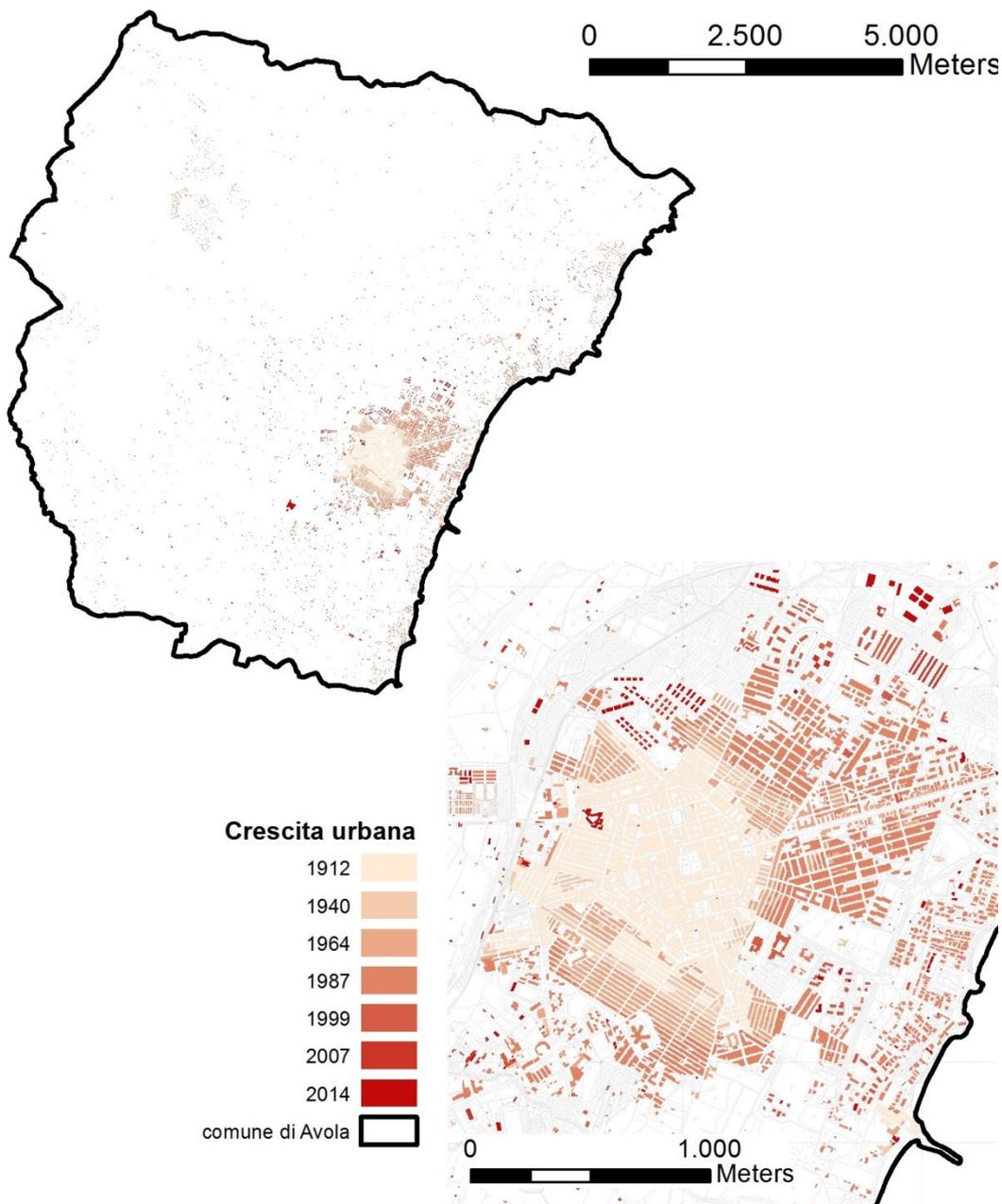


Figura 6.11 | Crescita urbana: analisi sincronica di edifici e tessuti, Comune di Avola, (elaborata da: analisi a corredo dello schema di massima del nuovo Piano Regolatore 2016)

Di importanza minore ma tuttavia degni di attenzione sono i processi insediativi che hanno interessato la parte più elevata del territorio, oltre la balza collinare che suddivide la porzione ovest del territorio comunale da quella costiera e che costituiva il sito della città antecedente il terremoto.

Per quanto attiene alla morfologia dei tessuti (Fig. 6.12), al di là della città di fondazione che rappresenta il nucleo storico pregiato dell'insediamento urbano di Avola, i tessuti successiva prima e seconda espansione si caratterizzano per il loro impianto assai regolare. Nel primo caso, gli isolati sono allungati, in serie chiusa e di forma prevalentemente rettangolare; la loro disposizione è condizionata dall'impianto esagonale del centro storico, rispetto al quale la maglia insediativa esibisce varie rotazioni, ma anche dagli assi viari principali di percorrenza in quanto il tessuto di questa fase si allinea lungo i prolungamenti della croce di strade che

attraversando l'esagono, ha il suo fulcro nella piazza centrale della città di prima fondazione.

Il rapporto tra questo tipo morfologico di tessuto e le possibilità di gestione delle acque meteoriche con soluzioni di drenaggio sostenibile si definisce evidenziando alcuni elementi (Berruti et al., 2013) che divengono di interesse nelle fasi del processo di selezione ed integrazione delle SuDS nel Piano e nei suoi progetti di attuazione (par. 1.3.3, par.5.5.5 e par.5.6): l'assenza quasi assoluta di pause inedificate ed aree permeabili, la completa occupazione dei lotti da parte dei fabbricati, la presenza non omogenea di chiostrine e cortili e la presenza di tipi edilizi prevalentemente a vocazione residenziale, ad una o due elevazioni e con frequenti chiusure orizzontali di copertura piane.

Nel secondo caso, ricorrente più a Nord-Ovest dell'impianto storico esagonale che a Sud e ad Est, gli isolati sono di forma rettangolare ma di larghezza decisamente maggiore con edifici residenziali in serie chiusa, dotati di piccole chiostrine ma è ancora scarsa la presenza di vuoti urbani ed aree permeabili. Tessuti ad isolati regolari in serie aperta sono talvolta presenti, ancora di forma regolare, e con tipi edilizi a villa o palazzina. I tessuti di recente formazione, invece, abbandonano i rigidi allineamenti che avevano caratterizzato il rapporto tra le griglie stradali di prima e seconda espansione, per diventare meno rigidi e sono il risultato dell'attuazione dei Piani regolatori. Gli edifici residenziali sono disposti in serie aperta con tipologie in linea, a schiera e a villa isolata, l'occupazione dei lotti viene regolata da rapporti di copertura non più del 100% e la densità edilizia si abbassa; inoltre, sono presenti grandi spazi vuoti, corrispondenti alle attrezzature a standard non ancora realizzate del vigente Prg.

Sulla costa, è evidente la dilagante dispersione insediativa di tessuti monofunzionali a bassa densità sotto forma di lottizzazioni non autorizzate con tipo prevalente la villa isolata monofamiliare, senza attrezzature e servizi e incardinati su impianti di viabilità sottodimensionata e con direzione prevalente ortogonale alla costa, spesso con sedimi ricavati su antichi letti di torrenti, con conseguenti gravissime situazioni di interferenza tra reticolo idrografico naturale e insediamenti costieri.

La dispersione insediativa caratterizza anche l'ambito agricolo con insediamenti in forma di lottizzazione che, nella campagna, diventano seconde residenze spesso ricavate dall'ampliamento e trasformazione degli edifici rurali esistenti.

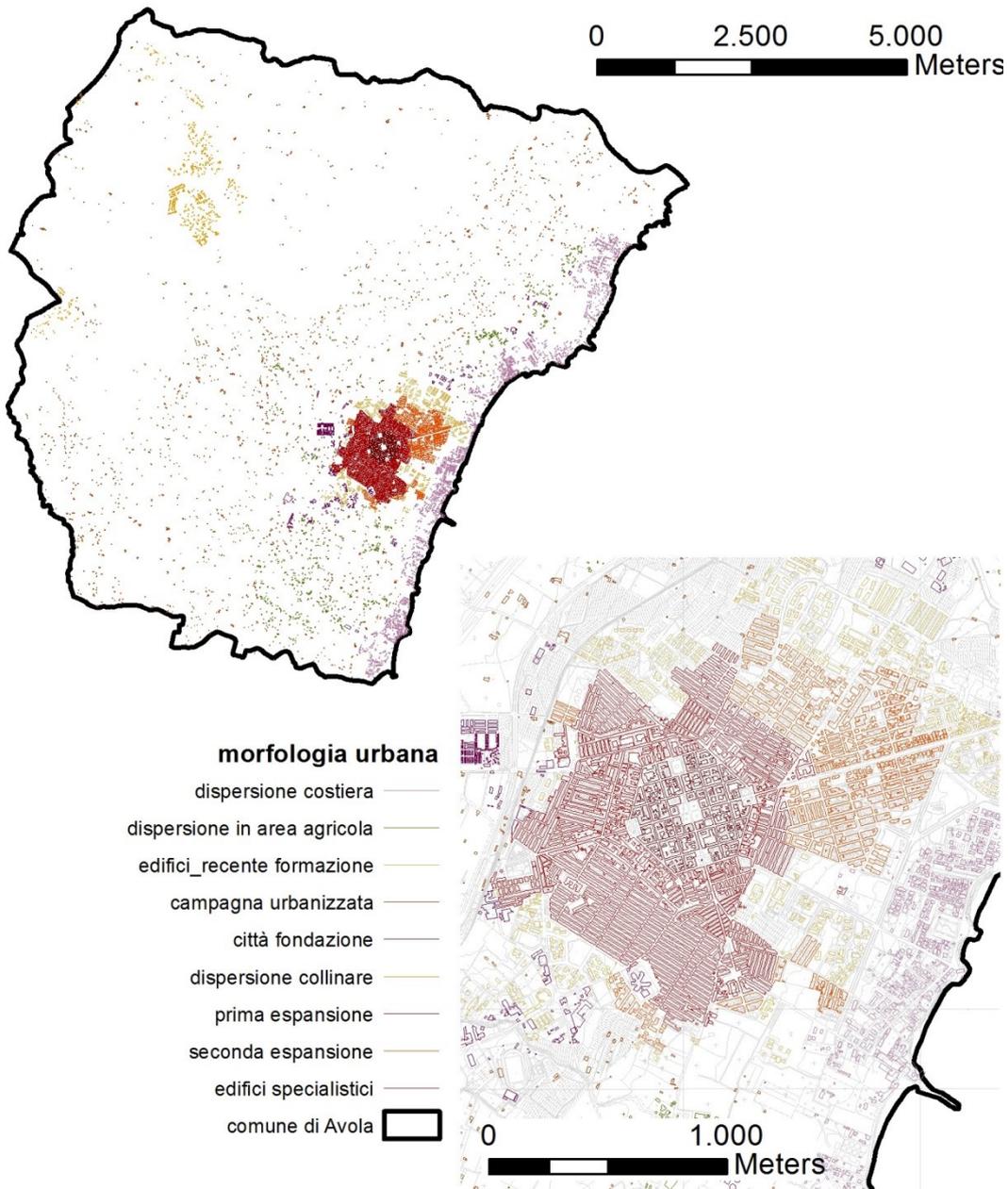


Figura 6.12| Morfologia urbana: analisi di edifici e tessuti, Comune di Avola, (elaborata da: analisi a corredo dello schema di massima del nuovo Piano Regolatore 2016)

6.4 La revisione del Piano Regolatore e le sue linee guida²

Nel sistema territoriale avolese, caratterizzato da una marcata fragilità idrogeologica e contraddistinto da livelli di rischio diffusi, il progetto di revisione dello strumento urbanistico diviene occasione irrinunciabile per intervenire sui processi di sviluppo della città e trasformazione del territorio, per individuare strategie in grado di indirizzare i fenomeni in atto verso precisi obiettivi di resilienza territoriale.

L'idea di città che si vuole attuare è declinata nelle Direttive Generali votate ed adottate dal Consiglio Comunale in data 01 Gennaio 2014 con obiettivi dichiarati riassumibili nei seguenti punti:

- salvaguardia delle risorse territoriali, ambientali e del paesaggio
- strategie mirate a rendere resiliente il territorio ai rischi ed agli effetti del cambiamento climatico
- riorganizzazione del sistema produttivo delle risorse turistiche
- riqualificazione del sistema insediativo nella città consolidata per la riduzione del rischio sismico, il recupero architettonico del centro storico cittadino, il decoro urbano
- definizione di normativa specifica per l'implementazione dell'efficienza energetica, della bioedilizia e dell'uso di fonti energetiche rinnovabili.

In particolare, la revisione del Piano si pone nell'ottica del minimo consumo di suolo nel rispetto del principio di sostenibilità intergenerazionale da attuarsi prioritariamente attraverso l'individuazione di un margine di crescita urbana a salvaguardia delle aree non urbanizzate e della loro prevalente vocazione agricola. Tutte le scelte urbanistiche e, nello specifico, quelle connesse all'insediamento di nuove funzioni tra cui le residenze e le attività commerciali, direzionali e per il tempo libero, anche e soprattutto di iniziativa privata, vengono improntate a criteri di mitigazione ed adattamento agli effetti del cambiamento climatico, già a partire dalle prescrizioni progettuali su permeabilità dei suoli e riduzione del grado di frammentazione delle aree verdi. Tali strategie sono mirate a rendere resiliente il territorio ai cambiamenti climatici ed ai loro effetti indesiderabili in ambito urbano.

La scelta è quella di configurare il Piano quale Piano di riqualificazione urbana prima che piano delle nuove espansioni urbane.

Le principali azioni di progetto sono individuate con riferimento a porzioni dell'area urbana omogenee rispetto alle caratteristiche insediative: la città storica, la città consolidata, gli ambiti di perequazione, gli ambiti di delocalizzazione, gli ambiti di recupero degli insediamenti irregolari e quelli di riqualificazione del fronte costiero e delle aree ricettive per la fruizione del litorale.

² Informazioni rielaborate sulla base della Relazione Generale allegata allo Schema di massima del Piano (RG-SDM,2016)

6.4.1 La logica delle aree di perequazione³

Gli ambiti di perequazione rappresentano lo strumento principale attraverso il quale il piano urbanistico traduce in meccanismi operativi i principi perequativi, finalizzati al reperimento “a costo zero” delle aree del comparto da utilizzare per servizi pubblici e per interventi di riqualificazione.

Come esplicitato dalle stesse Direttive generali, l’attuazione del Piano si realizza attraverso l’individuazione di comparti edificatori per le nuove urbanizzazioni in aree classificabili come “vuoti urbani” (ancora totalmente o parzialmente libere) all’interno della città consolidata o comunque non al di fuori dell’individuato margine di crescita urbana.

In queste aree lo strumento urbanistico prevede di realizzare anche la dotazione di verde, servizi e infrastrutture necessaria alla riqualificazione del tessuto urbano.

A tutti i suoli ricadenti nei perimetri individuati dallo strumento regolatore viene attribuita una capacità edificatoria prefissata (*plafond*) che fa da contraltare all’obbligo di cessione delle aree per uso pubblico. L’attuazione di ciascun ambito di perequazione viene regolata attraverso una scheda norma che ne guida i criteri progettuali con indicazioni a diversi livelli di cogenza, specificati nelle norme tecniche di attuazione del Piano Regolatore. Tra queste indicazioni anche l’introduzione di parametri di tipo ambientale.

La revisione del Piano di Avola riprende, quindi, la strategia GOUD (Martinico et al., 2014) già descritta per il Piano di Catania, riconoscendo ineludibile la necessità per la pubblica amministrazione di legare le trasformazioni alla cessione di aree permeabili che possano essere messe a sistema per facilitare la costruzione di una infrastruttura verde urbana, anche ai fini del drenaggio sostenibile delle acque meteoriche.

Per queste aree il Piano prevede in norma il rispetto delle condizioni di invarianza idraulica coerentemente alle indicazioni prescrittive contenute nel PGRA che impone agli strumenti urbanistici di individuare l’invarianza idraulica e possibilmente idrologica come condizione necessaria alle trasformazioni urbane prima ancora di essere verificata la loro compatibilità con i livelli di pericolosità individuati (par.3.3).

³ La logica alla base delle aree di perequazione nella proposta di revisione del Piano Regolatore Generale per il Comune di Avola è in analogia a quella descritta al Cap.5, par.5.2, nella proposta di revisione del Piano Regolatore per il Comune di Catania

6.5 Applicazione della metodologia ai bacino di studio

6.5.1 Analisi probabilistica delle piogge

Le elaborazioni idrologiche sono state effettuate mediante metodo probabilistico: la frequenza delle portate è stata caratterizzata tramite “tempo di ritorno” (intervallo temporale medio intercorrente tra successive realizzazioni dell’evento); in particolare sono state effettuate valutazioni relative ai tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 300 anni, per i quali sono state effettuate tutte le simulazioni.

Lo studio probabilistico delle piogge è stato mirato alla determinazione delle Curve di Probabilità Pluviometrica (CPP - relazioni tra altezze e durata di pioggia per fissati tempi di ritorno T_r) da assumere per tutto il territorio considerato omogeneo. Sono stati utilizzati i dati di pioggia relativi alla stazione pluviografica di Noto che è assai vicina alla zona di interesse e per la quale, nel contempo, è disponibile una lunga serie di dati. In particolare sono stati utilizzati i valori massimi annuali delle altezze di pioggia registrate in intervalli di 1, 3, 6 ore desunti dagli Annali Idrologici dell’Osservatorio delle Acque. Per completezza si è proceduto anche alla estrapolazione delle curve per valori di altezze di pioggia per intervalli inferiori all’ora.

I dati utilizzati sono presentati in Appendice B1, ove sono riportati pure i valori della media e dello scarto quadratico medio.

Si è fatto riferimento alla funzione di distribuzione di probabilità di Gumbel ricavando le altezze di pioggia (relative alle tre durate considerate ed agli otto tempi di ritorno) e le relazioni tra esse e le stesse durate, per i diversi tempi di ritorno, per interpolazione tramite il metodo dei minimi quadrati utilizzando espressioni monomie del tipo

$$h = at^n \quad (12)$$

Anche i parametri a ed n sono stati riportati in Appendice B1 per i diversi tempi di ritorno T_r . Per durate di pioggia inferiori all’ora il parametro n viene posto pari a 0,5 (Hershfield & Engman, 1981).

I valori del coefficiente di determinazione R^2 , pressoché coincidenti con l’unità, testimoniano la significatività delle correlazioni effettuate.

Le CPP così ricavate sono riportate graficamente nella Figura 6.13.

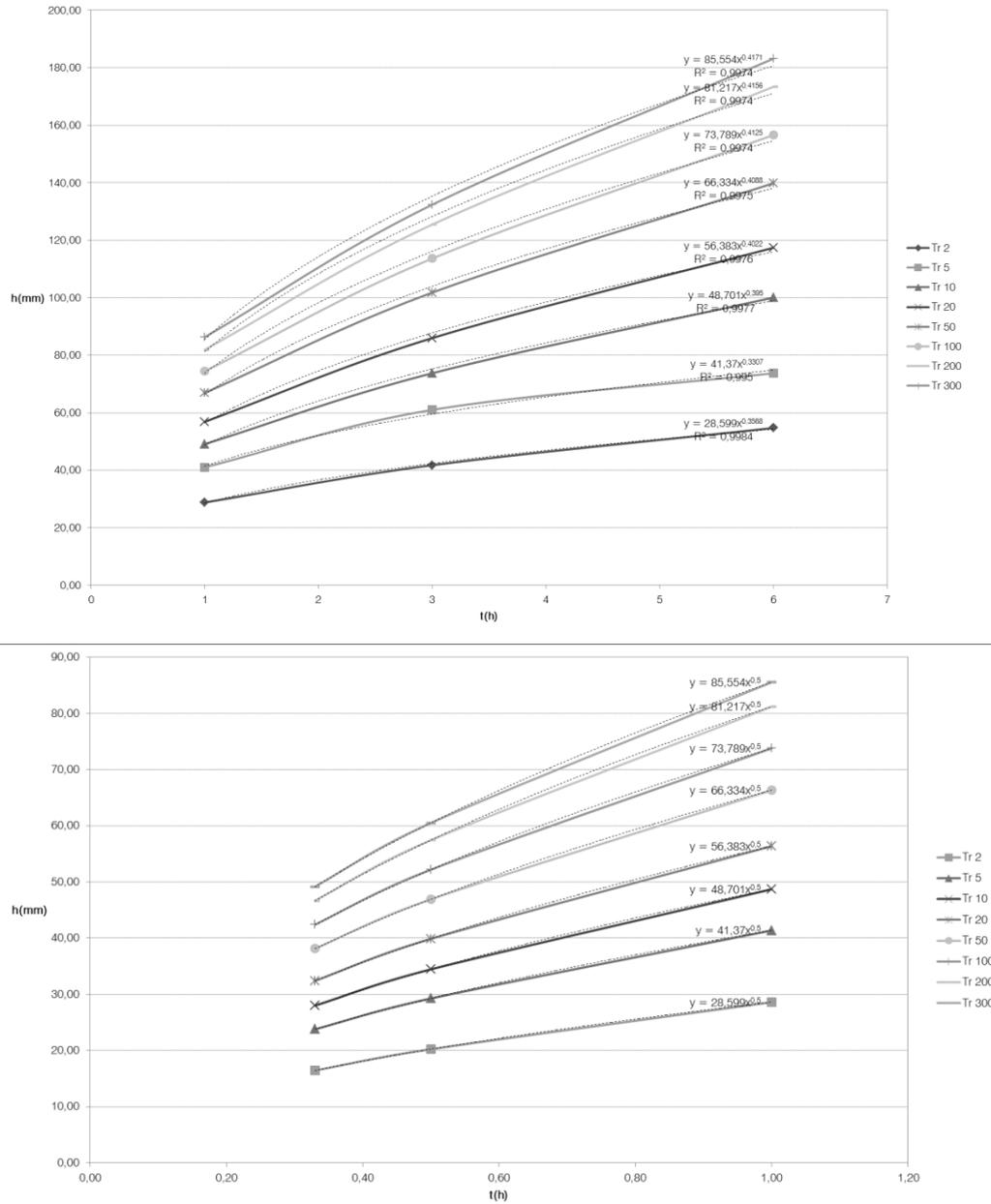


Figura 6.13 | Elaborazione delle curve di probabilità pluviometrica per durate superiori all'ora (sopra) e per durate inferiori (sotto)

6.5.2 Analisi idrologica

La delimitazione dei bacini scolanti è stata effettuata servendosi i) degli strumenti di *hydrologic processing* (software ArcGis 10.1) a partire da modello digitale del terreno DTM con risoluzione 2m x 2m, ii) delle cartografie disponibili, iii) di dati in formato vettoriale reperibili sul Sistema Informativo Territoriale Regionale (bacini maggiori e corsi d'acqua), iv) delle orto-foto aggiornate al 2008.

La Figura 6.14 mostra il risultato dell'analisi con riferimento ai bacini ricadenti all'interno dei limiti amministrativi del Comune (il bacino del fiume Asinaro a Sud e quello del fiume Cassibile a Nord non sono riportati).

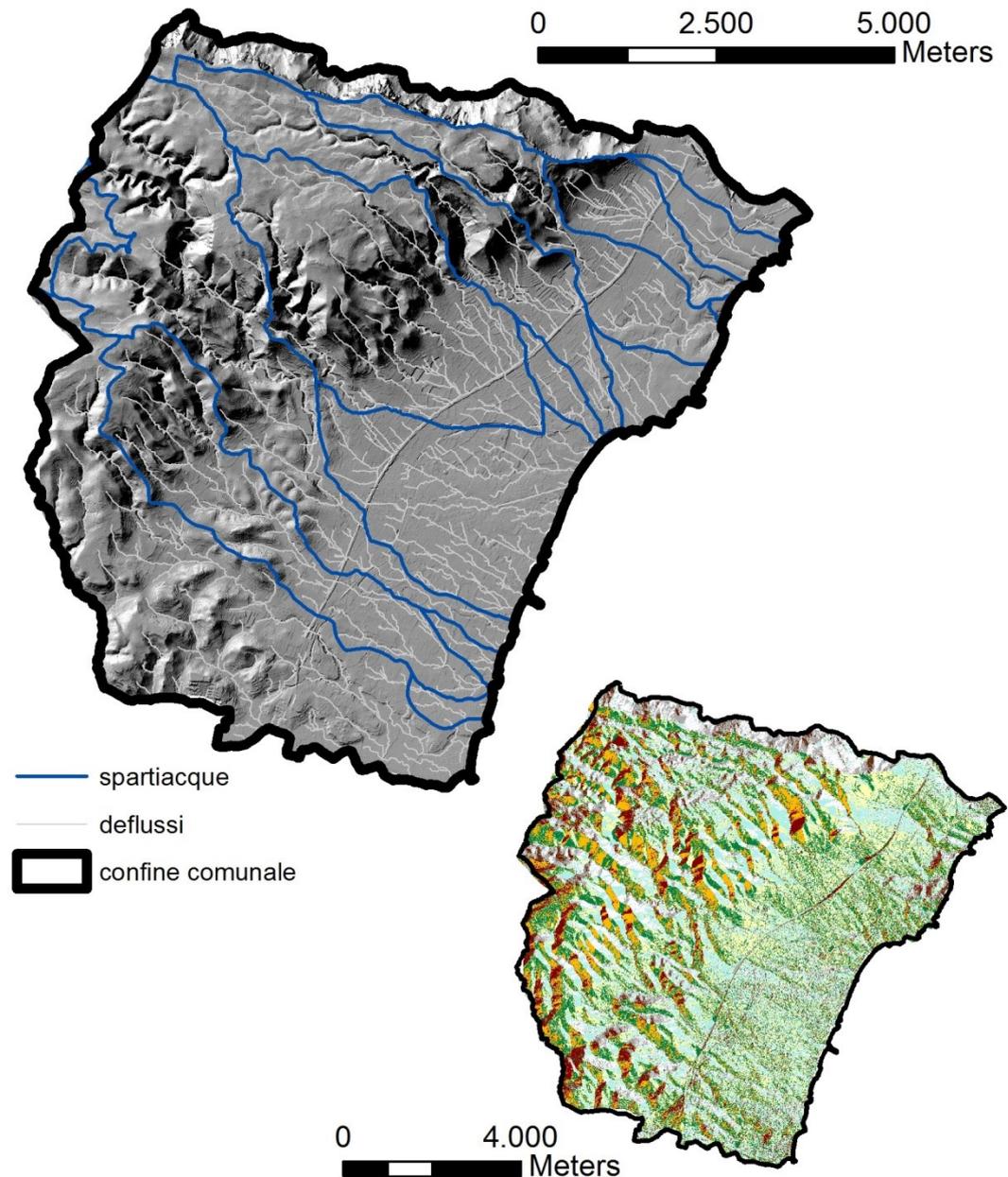


Figura 6.14 | Studio dei percorsi di deflusso superficiali ed individuazione dei bacini principali con il supporto delle funzioni di *hydrologic processing* (in alto a sx: analisi del *flow accumulation*; in basso a dx: analisi del *flow direction*)

Rispetto ai bacini idrici naturali, per i quali è relativamente più semplice lo studio degli aspetti di forma, pendenza e caratteristiche dell'asta principale, i bacini fortemente antropizzati presentano difficoltà di studio rilevanti in quanto la quantità ed irregolarità degli elementi antropici (edifici, strade, piazze, depressioni, rilevati) distribuiti costituisce un insieme di ostacoli che influenzano notevolmente il percorso intrapreso dalle piogge precipitate al suolo. E' evidente, allora, che gli strumenti di *hydrologic processing* sono in tal caso ancor più utili come ausilio allo studio ed alla lettura delle quote del terreno e delle curve di livello. All'interno dell'insediamento consolidato, ove è presente rete di smaltimento delle acque meteoriche, si è reperito parte del materiale necessario, direttamente presso gli uffici tecnici dell'Amministrazione Comunale. La cartografia con quote altimetriche, le immagini satellitari, il Piano di Assetto della Rete Fognaria (PARF), i progetti di massima delle sistemazioni idrauliche a difesa dell'abitato di Avola, gli studi connessi con il Piano di Assetto Idrogeologico e la Relazione a supporto della redazione del Piano di Gestione contro le Alluvioni, hanno contribuito a definire una plausibile suddivisione del centro consolidato in bacini urbani tra cui alcuni sono stati scelti per gli studi di approfondimento.

La rete di smaltimento delle (sole) acque meteoriche, nei suoi rami principali, è stata tracciata grazie alle informazioni fornite dai tecnici dell'Ufficio di Manutenzione del Comune di Avola (sezione "Manutenzione Generali") e ad indagini in loco. Purtroppo, allo stato attuale, non esistono elaborati aggiornati e digitalizzati del progetto di attuazione della rete fognaria (PARF) che, nella sua formulazione e deposizione originaria, ha subito numerose successive varianti, che nella pratica hanno portato alla realizzazione di un sistema di smaltimento parzialmente diverso e in molte parti incompleto.

6.5.3 Individuazione e modellazione dei bacini urbani di studio

In ragione della maggiore completezza di informazioni circa la rete di smaltimento esistente e le sue caratteristiche, tra i bacini urbani di cui può considerarsi composto il nucleo avolese, sono stati scelti con finalità esemplificative tre bacini tra loro adiacenti (Fig.6.15) ai fini dello studio proposto nella presente ricerca. Per le peculiari caratteristiche di questa porzione di territorio abitato e delle dinamiche insediative che hanno portato al suo attuale assetto urbanistico-fognario, si è rilevato che bacini superficiali-stradali e bacini fognari sono largamente sovrapponibili.

I bacini raccolgono le acque di precipitazione convogliandole in modo naturale lungo la direzione Nord-Ovest Sud-Est secondo la quale sono state progettate anche le condotte principali di raccolta delle acque meteoriche. I bacini hanno carattere di forte urbanizzazione con presenza di superfici praticamente quasi ovunque impermeabili soprattutto nelle porzioni più a monte. Alcune pause nel tessuto molto denso sono rappresentate da lotti vacanti dove si sono persi gli usi agricoli e rimangono suoli incolti e con vegetazione più o meno rada. Le aree terminali dei bacini, in prossimità delle sezioni di chiusura, presentano i caratteri dell'urbanizzazione costiera diffusa, meno densa rispetto al tessuto compatto di monte risalente ai

periodi di prima e seconda espansione del centro abitato, ma ancora con alte percentuali di suolo impermeabilizzato. Le pendenze sono modeste e variano intorno al 2,5% circa, degradando dai 50,0 m s.l.m. alla costa. I collettori principali sono localizzati in corrispondenza dei tratti di viabilità interna più importanti che attraversano il tessuto residenziale connettendo il centro urbano al litorale sabbioso.

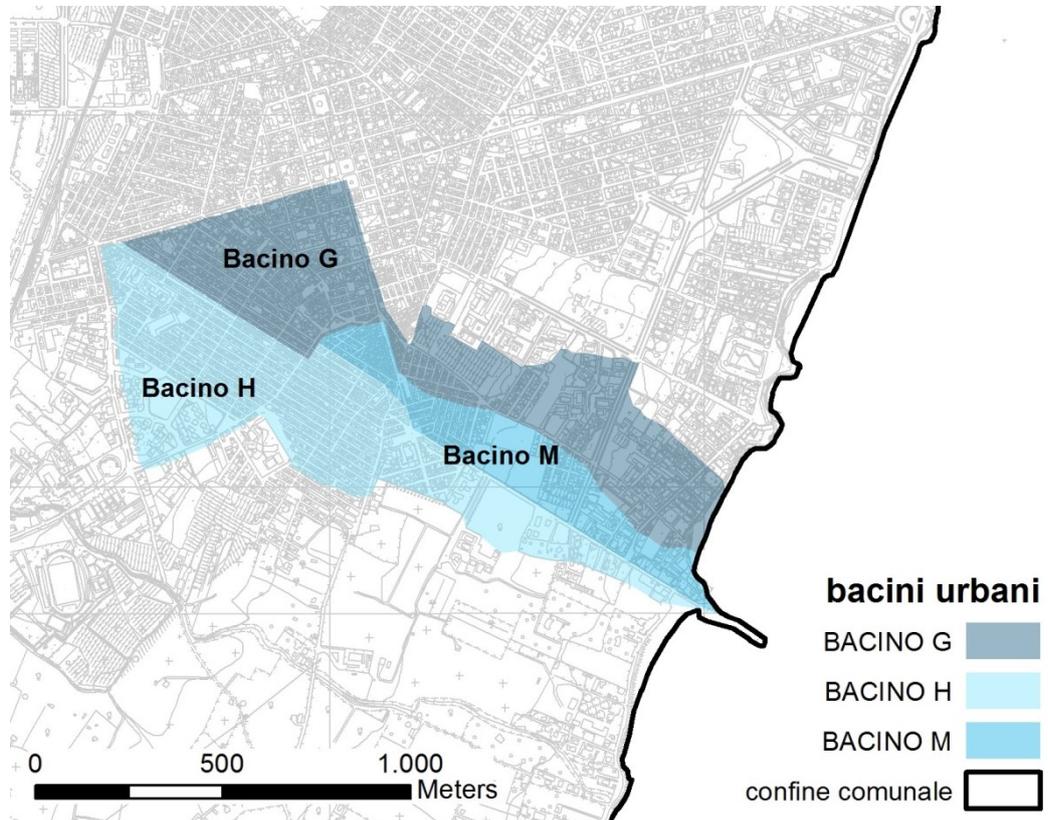


Figura 6.15 | Individuazione dei sistemi-bacino urbani di studio all'interno dell'insediamento consolidato

6.5.3.1 Il minor system

Come introdotto in precedenza, i collettori esistenti sono stati tracciati e modellati facendo fede alle indicazioni fornite dai tecnici comunali responsabili del servizio di manutenzione delle strade e delle fogne del Comune, esaminando le planimetrie del PARF, ed effettuando sopralluoghi in situ (Fig.6.16). I dati rimangono, in tal senso, affetti da incertezza ma validati dalla ragionevolezza dei risultati e dalle verifiche di bontà degli stessi effettuate secondo le comuni metodologie della pratica ingegneristica.

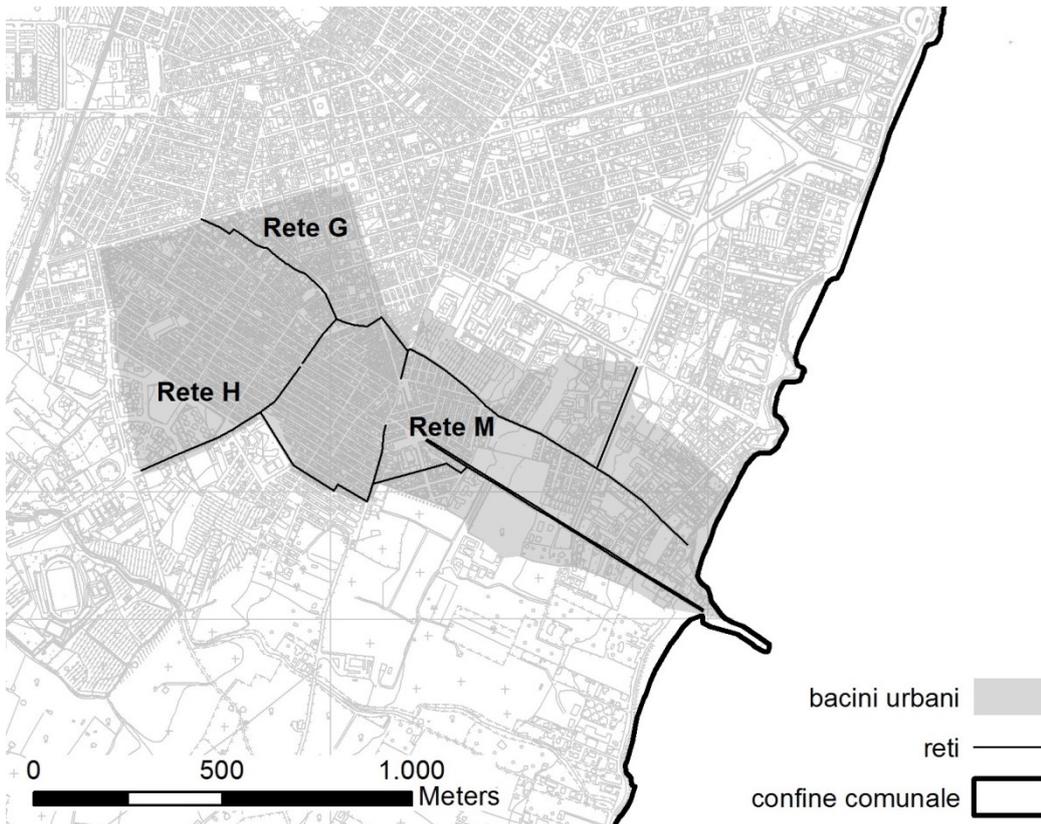


Figura 6.16 | Individuazione delle reti di smaltimento delle acque meteoriche nei sistemi-bacino urbani di studio

Le reti di smaltimento delle acque, coerentemente all'approccio metodologico esposto nel Cap.4, sono state modellate su SWMM (separatamente) come reti formate da una serie di rami (s)connessi in corrispondenza di nodi. Ad ogni ramo sono state attribuite una denominazione, una lunghezza ed una sezione geometrica (speco esistente). I rami sono stati collegati tra loro in modo da far collimare i cieli dei collettori, assegnando ad ogni ramo un valore di *offset* iniziale e finale rispetto alla quota del fondo del pozzetto, per evitare che si formassero rigurgiti di portata da valle verso monte. Gli spechi esistenti attribuiti ad ogni ramo fognario sono stati scelti tra quelli disponibili nell'abaco del software SWMM con la dimensione delle sezioni determinata sulla scorta delle informazioni disponibili. Ad ogni ramo è stato inoltre attribuito un coefficiente di scabrezza di Manning sulla base del materiale di fabbricazione e rifacendosi alla tabelle in allegato al manuale per utenti del programma. I nodi di calcolo sono stati localizzati in corrispondenza dei pozzetti, della confluenza tra rami della rete e dei cambi di sezione. Ad ogni nodo si è attribuita una denominazione, una quota del fondo pozzetto, una profondità del pozzetto e un' altezza di ricoprimento. In Appendice B.3 sono riportate le tabelle riepilogative con le caratteristiche delle reti di smaltimento esistenti, usate per la modellazione su SWMM. In particolare, la rete G è stata modellata in 18 rami e 19 nodi, di cui uno costituisce la sezione di sbocco; la rete M è stata modellata in 8 rami e 9 nodi, di cui uno costituisce la sezione di sbocco; la rete H è stata modellata in 24 rami e 25 nodi, di cui uno costituisce la sezione di sbocco.

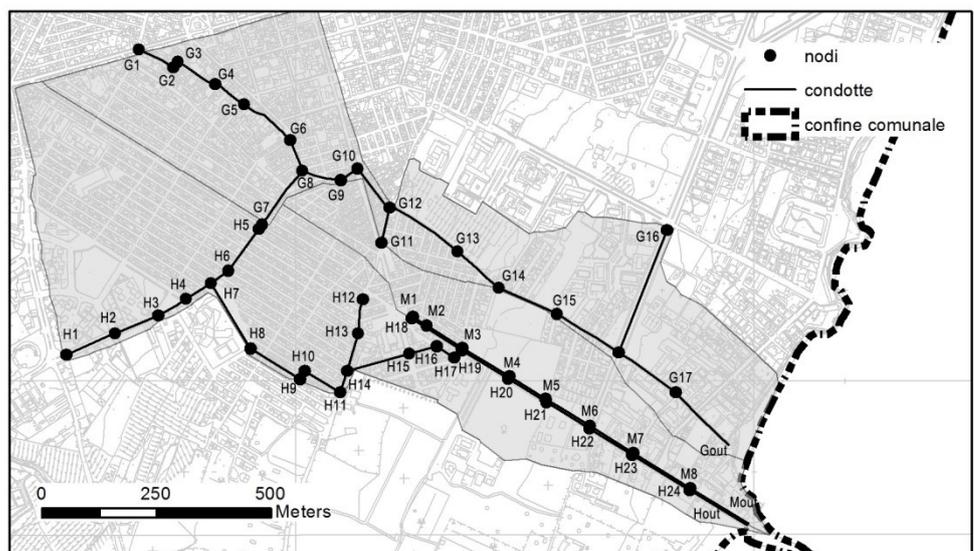
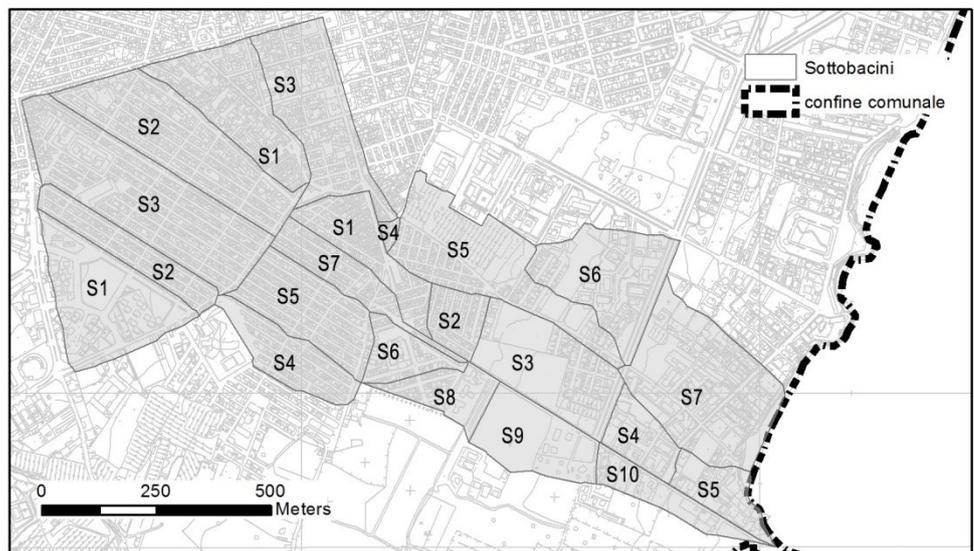
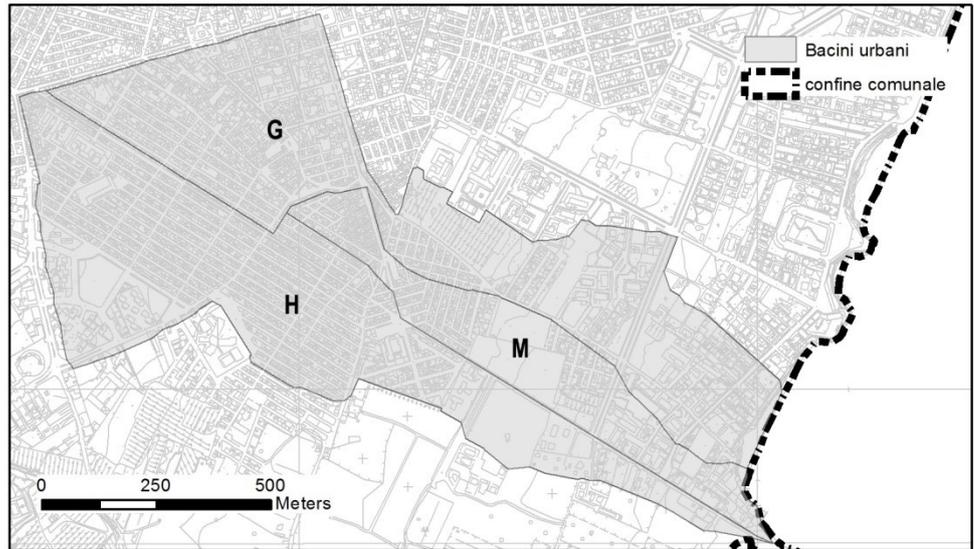


Figura 6.17 | Modellazione dei bacini urbani ed identificazione delle componenti sottobacini, condotte e nodi per definire i moduli “superficie” e “trasporto” in SWMM

Nel suo complesso, l'area dei tre bacini ha richiesto la discretizzazione in un certo numero di sottobacini al fine di concettualizzare la variabilità nei percorsi di scorrimento superficiale, le proprietà delle aree incluse e le connessioni con il sistema di convogliamento di condotte e canali che, tuttavia, non è uniforme nella sua densità di distribuzione tra i bacini.

La discretizzazione di ciascun bacino in sottobacini ha implicato l'individuazione dei perimetri delle aree scolanti, ancora facendo fede alle elaborazioni effettuate tramite le funzioni di *hydrologic processing* GIS, ma anche ricavando per interpolazione lineare doppia tutte le quote necessarie a partire da quelle ricavabili in cartografia. Successivamente, ogni sottobacino è stato associato ad un nodo della rete di drenaggio. Il livello di dettaglio raggiunto dipende dai dati raccolti e dagli scopi analitico-valutativi della simulazione tramite modello SWMM. Ai fini della ricerca, si è ritenuta idonea una discretizzazione più grossolana in pochi sottobacini e considerando i soli rami principali della rete di smaltimento delle acque meteoriche.

Per coerenza con il meccanismo di trasformazione afflussi-deflussi ipotizzato e con un approccio modellistico concettuale piuttosto che fisicamente basato in senso stretto (par.4.4.1), la pendenza del bacino, la scabrezza e la geometria della falda di scorrimento perdono il loro significato fisico e diventano parametri della modellazione. Un' appropriata variazione di tali parametri comporta modifiche nel calcolo del ruscellamento superficiale.

La pendenza assegnata ai sottobacini concettualizzati è misurata in direzione perpendicolare alla larghezza di deflusso, quindi lungo il percorso di deflusso superficiale preferenziale; si è attivata, inoltre, l'opzione normale di simulazione che prevede di instradare il deflusso generato dal sottobacino direttamente recapitandolo sul nodo di ingresso della condotta di rete corrispondente, senza attraversare alcun altro sottobacino. In questo modo, le porzioni di superficie impermeabile che contribuiscono a comporre l'area del sottobacino sono porzioni di superficie idraulicamente efficaci, cioè direttamente connesse.

Il volume di deflusso e le portate dipendono fortemente dalla percentuale di impermeabilizzazione del bacino, uno dei parametri, quindi, la cui stima corretta risulta essenziale. In tal senso, si è fatto riferimento alle analisi di uso del suolo disponibili, incrociate con l'interpretazione delle ortofoto satellitari. Alle aree edificate si è attribuita una percentuale di superfici impermeabili coerentemente alla densità del tessuto ed alla presenza di aree verdi o vuoti urbani con superficie non impermeabile.

Le perdite idrologiche per infiltrazione nelle aree permeabili, considerate variabili nel tempo con l'evolversi dell'evento meteorico, sono state valutate applicando il metodo del *Curve Number* (par.4.3.1). In particolare, incrociando le informazioni ricavate dallo studio agricolo forestale e assumendo di poter assumere le corrispondenze di Tab.6.1, si è proceduto a caratterizzare i sottobacini con un valore di CN ricavato dalla media pesata (rispetto alle aree) dei CN eventualmente assegnati se in presenza di sub-aree a diversa destinazione d'uso (Fig.6.18).

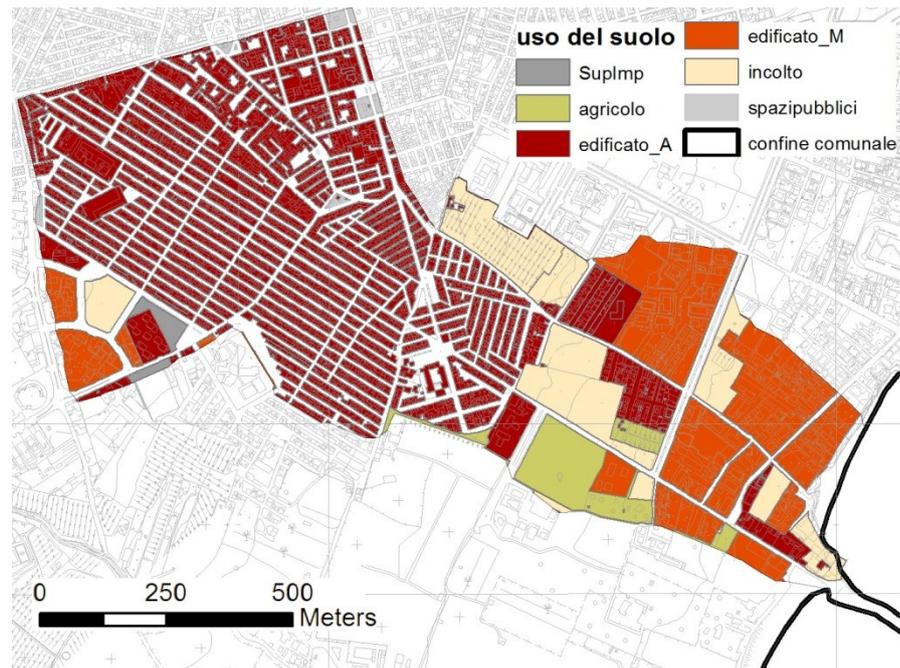


Figura 6.18 | Usi del suolo all'interno dei sistemi-bacino urbani individuati

Per lo stesso scopo, il gruppo idrologico dei suoli presenti è stato ricavato dalla carta geolitologica assegnando la permeabilità dei litotipi riportati sulla carta geologica a corredo dello schema di massima del Piano.

Inoltre, per le aree impermeabili, l'altezza di detenzione si è fissata ad un valore ugualmente attribuito a tutti i sottobacini mentre le percentuali di superfici impermeabili alle quali non è assegnato tale parametro (coincidenti con le strade in buona sostanza, secondo indicazioni di letteratura), sono state valutate di volta in volta distinguendole per ogni sottobacino.

Altro importante parametro è la larghezza della falda scolante⁴ che può essere stimata secondo varie procedure quando il sottobacino non può assimilarsi al più semplice caso di falda rettangolare.

Ricordando, infine, che il ruscellamento superficiale viene calcolato tramite una equazione di moto uniforme su falda piana, sono stati assegnati ai sottobacini opportuni valori del coefficiente di scabrezza di Manning.

Le caratteristiche dei sottobacini introdotte tramite i parametri descritti nel modello sono riepilogate in Appendice B.3. In particolare, il bacino G è stato suddiviso in 7 sottobacini, il bacino M in 5 sottobacini ed il bacino H in 10 sottobacini.

La determinazione delle caratteristiche dei bacini e dei rami della rete di smaltimento, ha permesso il calcolo delle condizioni idrodinamiche della corrente nei canali, effettuato tramite l'opzione *Dynamic Wave Routing* resa disponibile dal modello. Tale opzione consente, come detto in precedenza (par4.3.2), la soluzione delle equazioni complete di De Saint Venant.

L'input del modello di trasformazione afflussi-deflussi è costituito da uno ietogramma di progetto "sintetico" (ietogramma Chicago⁵) (Keifer &

⁴ Più la falda è larga minore risulta la lunghezza del percorso di deflusso superficiale e più impulsive sarà la risposta del bacino all'input di pioggia.

⁵ La scelta del tipo di ietogramma è dipesa dalla convenienza dell'uso : lo ietogramma di tipo Chicago, infatti, sollecita il bacino con tutte le durate di pioggia possibili, come fossero

Chu, 1975), costruito a partire dalla curva di probabilità pluviometrica corrispondente al tempo di ritorno prefissato (Appendice B.2). Sono state effettuate quindi, per ogni sistema-bacino, le simulazioni corrispondenti ai tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 300 anni, costruendo sette ietogrammi sintetici di durata 1 ora ed intervallo di 10 min. Ciascuno dei bacini urbani modellati, viene così sollecitato, per ciascun tempo di ritorno, da un evento che risulta sempre critico per il tempo caratteristico del bacino.

6.5.3.2 Il major system

La rete stradale modellata ai fini delle simulazioni di allagamento è quella che si sovrappone interamente alle reti fognarie dei bacini studiati (Fig.6.19).

E' modellata in 409 rami (strade) e 281 nodi, 6 nodi terminali e 271 sezioni stradali. I nodi sono disposti ad ogni incrocio e nelle piazze. In particolare, i nodi di calcolo, sono stati posizionati in corrispondenza dei nodi del sistema fognario sottostante in cui si possono verificare fuoriuscite d'acqua, e quindi allagamenti. Ad ogni nodo sono state attribuite una denominazione, evidenziando anche, quando presente, la corrispondenza con i nodi della rete di smaltimento, ed una quota terreno, ricavata dalla cartografia di base e per interpolazione lineare doppia delle quote note.

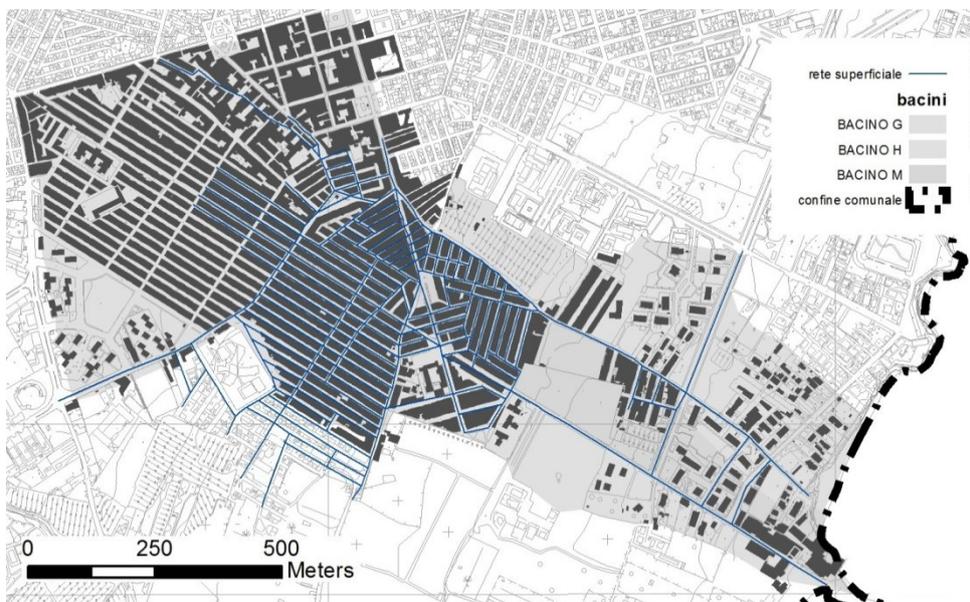


Figura 6.19 | Costruzione della rete stradale superficiale (*major system*)

Ogni ramo della rete costituisce un tratto di viabilità compreso tra due incroci successivi ovvero una sezione di piazza. Ad ogni ramo sono state attribuite una denominazione ed una sezione caratteristica ricostruita tramite cartografia e ricorrendo alle funzioni rese disponibili da Google Earth. Ogni sezione stradale, nello specifico, è assegnata per punti, definendo una sezione (par.4.3.3) per la quale si assumono opportuni valori del coefficiente di scabrezza di Manning che tengono conto della rugosità dell'asfalto stradale e degli ostacoli che il deflusso può incontrare lungo il suo percorso.

tutte durate critiche; ne consegue che ci si svincola dalla necessità di conoscere con esattezza il tempo critico del bacino urbano, tra l'altro difficile da valutare in modo preciso

In Figura 6.20 è riportato un esempio di costruzione della sezione mentre le caratteristiche degli elementi costituenti la rete superficiale introdotte tramite i parametri descritti nel modello sono riepilogate in Appendice B.4.

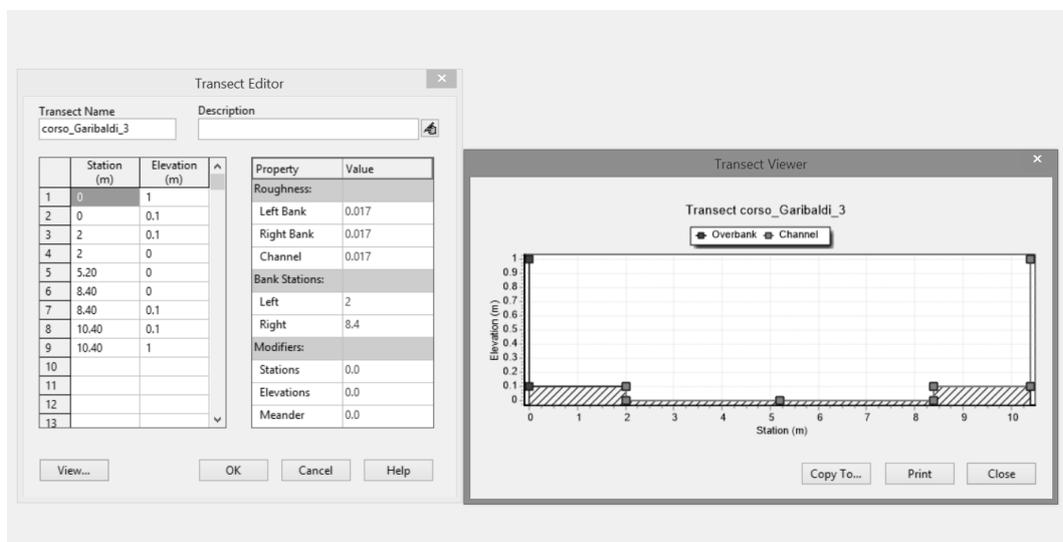


Figura 6.20 | Esempio di modellazione della sezione stradale, Corso Garibaldi, Avola

6.5.3.3 Interconnessione minor-major system

L'interconnessione tra rete di scorrimento superficiale e rete di smaltimento sotterranea avviene tramite nodi di calcolo in cui si verifica il *flooding* e, quindi, un esubero di portata che, fuoriuscendo dalla rete sotterranea, determina deflusso stradale. Il software di calcolo SWMM cioè, ogni qual volta un collettore va in crisi, accumula un volume d'acqua all'interno dei pozzetti, i quali sono dotati di una capacità massima di invaso (corrispondente ad una prefissata profondità). Una volta superata tale capacità, le portate in esubero vengono sversate sulla strada e non tenute più in conto ai fini del calcolo. L'andamento temporale delle portate fuoriuscite può essere ben rappresentato sotto forma di idrogramma (in Appendice B.7 si riportano, a titolo esemplificativo, gli idrogrammi delle portate uscenti dai nodi in crisi delle reti G,M ed H per un tempo di ritorno di 5 anni). La somma totale delle aree sottese da tutti gli idrogrammi nei nodi di calcolo, rappresenta il volume di deflusso che non riesce ad essere convogliato dalla rete di smaltimento, e destinato a diventare deflusso sulla rete stradale. Assegnando, quindi, ad ogni nodo della rete stradale, corrispondente ad un nodo della rete di smaltimento entrato in crisi, il corrispondente idrogramma delle portate uscenti, può così simularsi il deflusso stradale delle portate non convogliate in rete.

Con il metodo degli idrogrammi, applicato alla scala della pianificazione, si riesce a modellare efficacemente il deflusso sulla rete stradale e la variabilità temporale con cui esso si verifica ramo per ramo, rispettando la continuità tra il volume immesso nel sistema e quello uscente dallo stesso.

6.6 Risultati

6.6.1 Calcolo e mappatura delle variabili descrittive della risposta dei sistemi-bacino

Il sistema urbano di interesse, definito come il complesso di bacini (suddivisi in sottobacini), rete di smaltimento (rami e nodi della fognatura - *minor system*) e rete stradale superficiale (rami e nodi della rete stradale - *major system*), tra loro interconnessi, risponde agli input di pioggia entrando in crisi. Come detto (par. 4.6), questa risposta, è in qualche misura legata alla resilienza specifica del sistema ed alle sue capacità surrogate. Ai fini di descrivere gli esiti del processo di trasformazione afflussi-deflussi, applicando la metodologia esposta nel par.4.6, si è fatto uso di variabili misurabili e riferibili alla complessità degli elementi costituenti il sistema stesso (sottobacini, condotte, nodi):

- Il deflusso dei *sottobacini* componenti, in termini volumetrici [mm] e di picco [mc/s], è riportato nelle tabelle dell' Appendice B.6. Nelle Figure 6.21a e b, 6.22a e b, e 6.23a e b, i valori dei fattori suddetti sono invece mappati, a titolo esemplificativo, per i soli tempi di ritorno di 5, 50 e 100 anni. (I valori mappati sono raggruppati in classi di uguale ampiezza con estremo inferiore definito sulla base del minimo valore registrato per il tempo di ritorno di 5 anni ed estremo superiore definito sulla base del massimo valore registrato per il tempo di ritorno di 100 anni).
- I valori di portata massima [mc/s] nelle *condotte* della rete di smaltimento sono mappati nelle Figure 6.21c, 6.22c e 6.23c per i soli tempi di ritorno di 5, 50 e 100 anni, mentre in Appendice B.6 sono riportati, in tabelle, i valori dei picchi di portata e, per completezza, delle velocità massime [m/s] in corrispondenza di ciascun ramo, per ogni rete e per tutti i tempi di ritorno. (I valori mappati sono raggruppati in classi di uguale ampiezza con estremo inferiore definito sulla base del minimo valore registrato per il tempo di ritorno di 5 anni ed estremo superiore definito sulla base del massimo valore registrato per 100 anni).
- Gli allagamenti nei *nodi* [10^6 l], sono mappati, in Appendice B.7, in termini di volumi totali (da essi) sversati, per i soli tempi di ritorno di 5, 50 e 100 anni. (I valori mappati sono raggruppati in classi di uguale ampiezza con estremo inferiore definito sulla base del minimo valore registrato per il tempo di ritorno di 5 anni ed estremo superiore definito sulla base del massimo valore registrato per il tempo di ritorno di 100 anni). In Appendice B.6, è riportata la tabella con i volumi totali uscenti dai nodi per tutti i tempi di ritorno.

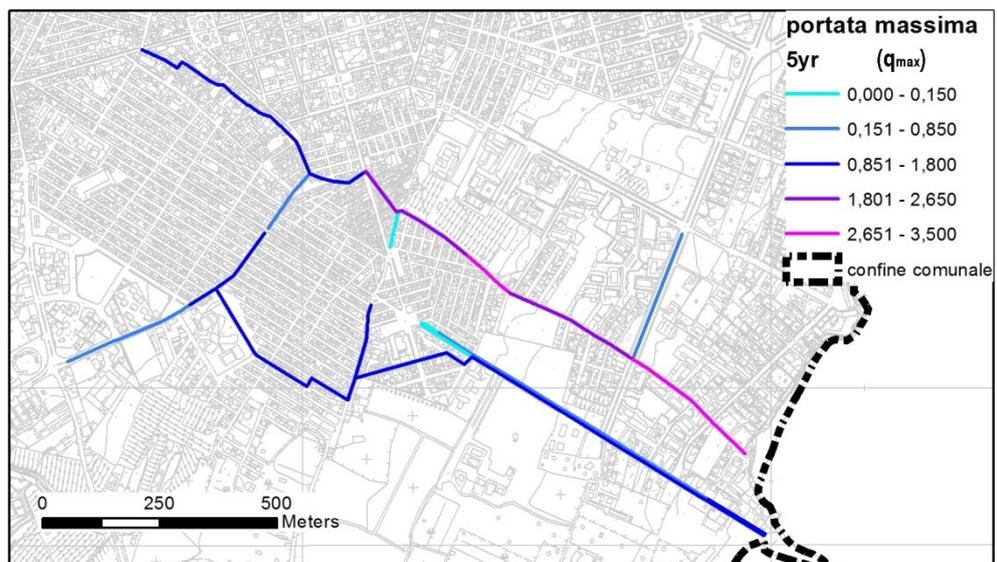
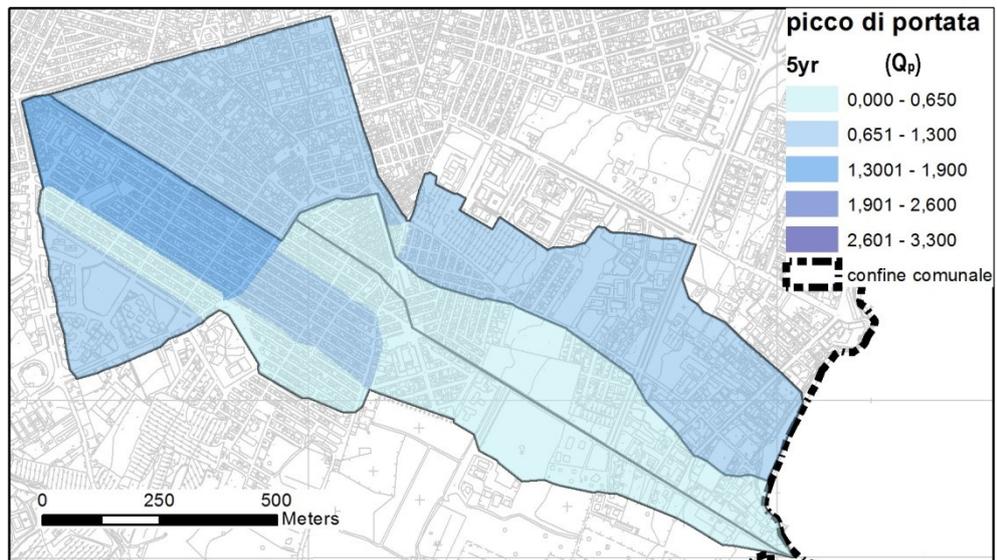
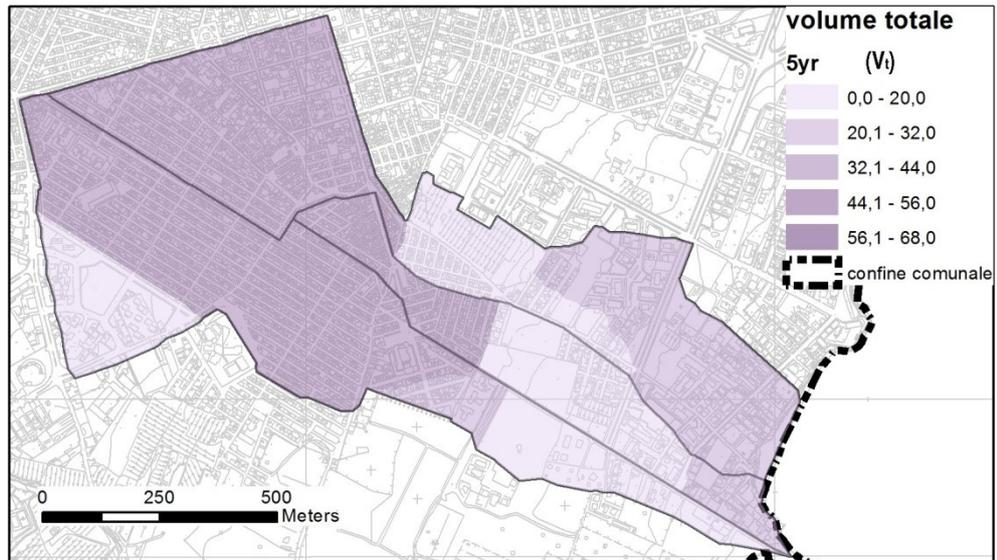


Figura 6.21 | Mappatura dei valori di (a) volume totale (mm) e (b) portata massima (mc/s) nei sottobacini, e (c) portata al colmo nei rami della rete di smaltimento per $Tr=5$ anni

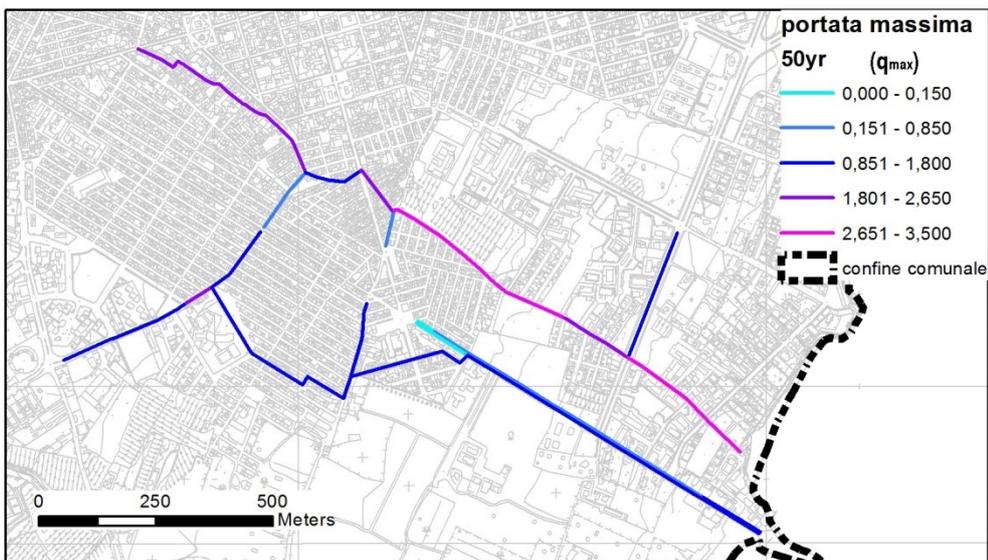
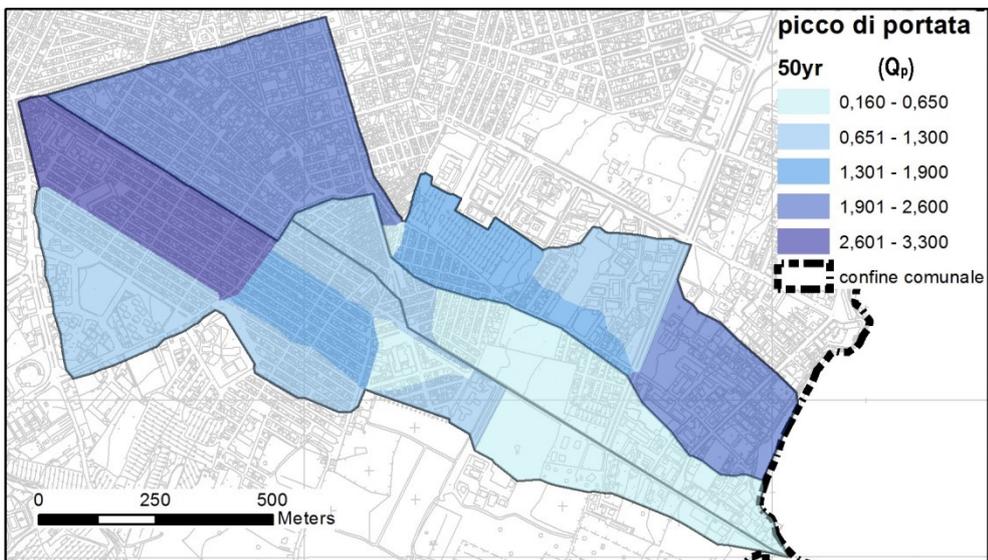
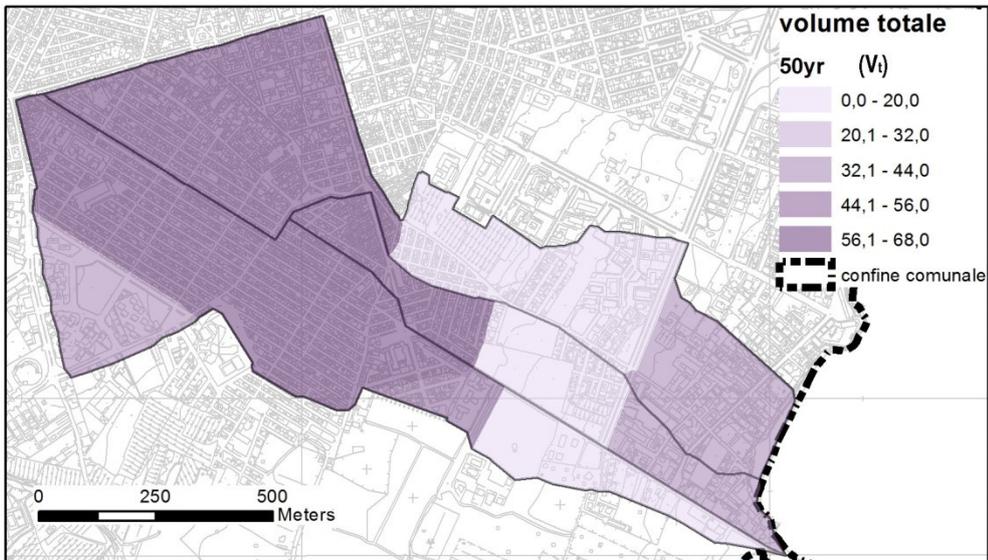


Figura 6.22 | Mappatura dei valori di (a) volume totale (mm) e (b) portata massima (mc/s) nei sottobacini, e (c) portata al colmo nei rami della rete di smaltimento per $Tr=50$ anni

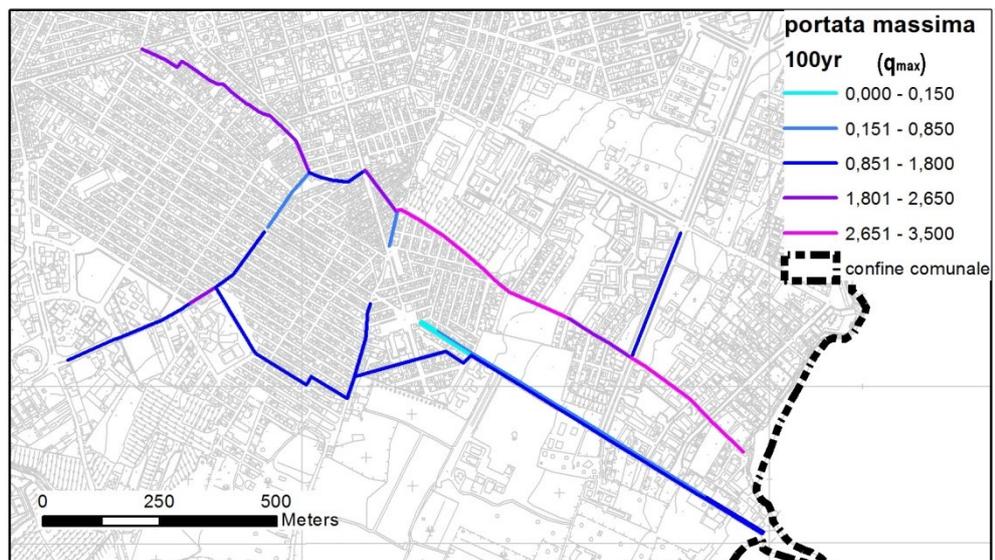
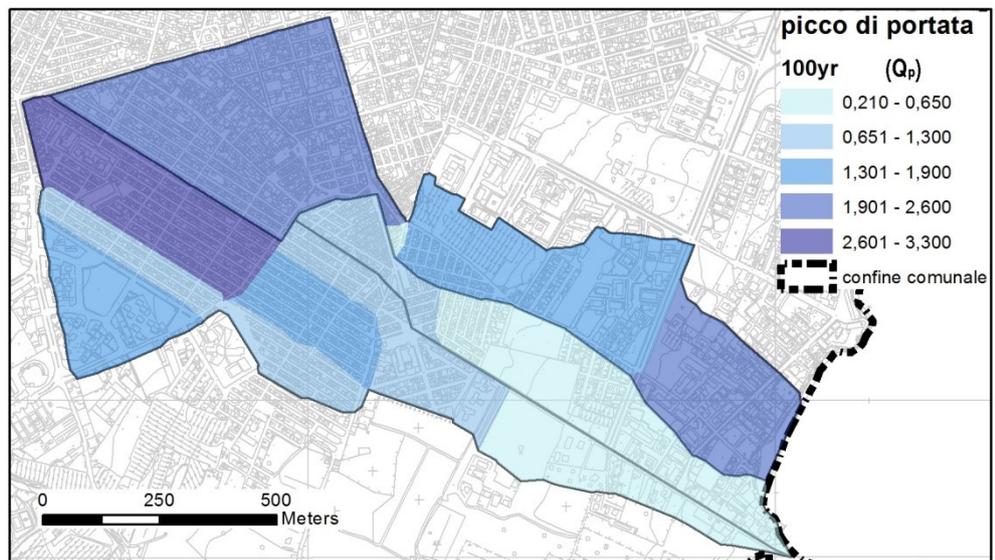
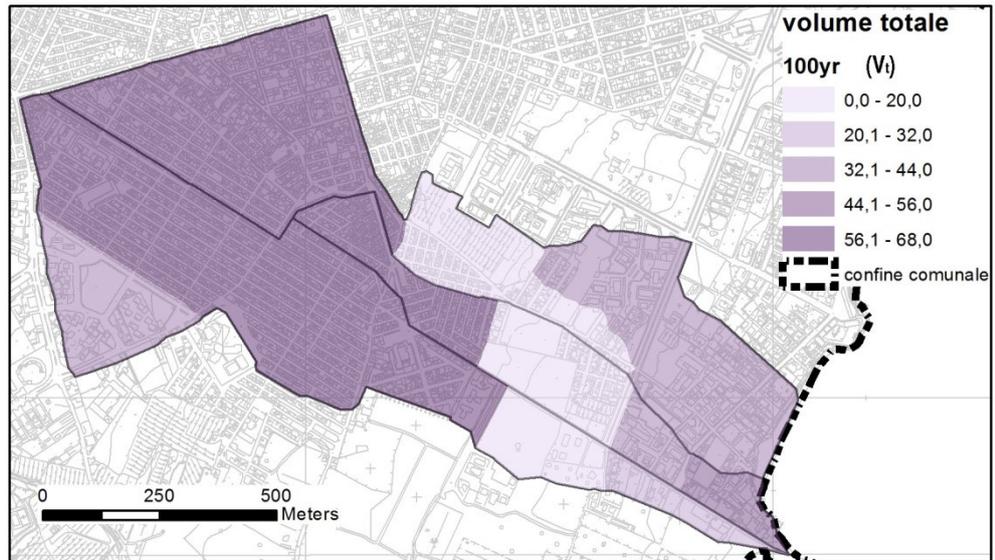


Figura 6.23 | Mappatura dei valori di (a) volume totale (mm) e (b) portata massima (mc/s) nei sottobacini, e (c) portata al colmo nei rami della rete di smaltimento per $Tr=100$ anni

L'utilizzo del modello ha permesso di ottenere una mole notevole di risultati, simulando l'effetto dei *pattern* urbani (caratteristiche di urbanizzazione) sulla relazione che intercorre tra afflussi e deflussi e quindi, sulla trasformazione della pioggia totale in pioggia efficace e della pioggia efficace in deflusso superficiale. Gli esiti della modellazione evidenziano le relazioni causali tra *pattern* e trasformazione afflussi-deflussi, rendendo conto anche della variabilità degli scenari di pioggia tramite ietogrammi sintetici progettati per diversi tempi di ritorno.

Le caratteristiche dei deflussi nei sottobacini appartenenti al sistema G variano, evidentemente, con le caratteristiche di urbanizzazione (densità edilizia e presenza di superfici impermeabili, densità della rete viaria, presenza di vuoti urbani permeabili, morfologie, topografia, etc.). Nei sottobacini più densamente urbanizzati, dove è preponderante la presenza di superfici impermeabili direttamente connesse alla rete di smaltimento (S1, S2, S3, S4-cfr. Fig. 6.17 e Appendice B3) e dove la fitta maglia di strade genera immediatamente la formazione di volumi di deflusso che contribuiscono allo scorrimento superficiale, i millimetri totali di deflusso variano da poco meno di 24 mm per 2 anni di tempo di ritorno, a circa 87 mm per eventi associati a tempi di ritorno più alti (300 anni) (cfr. Appendice B.6). Questi valori, come ci si aspetta, diminuiscono nei bacini dove i tessuti urbani sono caratterizzati da densità inferiori e, ovviamente, dove i vuoti urbani con superficie non impermeabilizzata, consentono processi di infiltrazione ben più significativi (sottobacini S5 ed S6); qui, infatti, per 2 anni di tempo di ritorno l'infiltrazione totale è dell'ordine di circa 14 mm, contro i quasi 3mm totali dei sottobacini di monte, che diventano più di 30 mm contro i quasi 5 mm per eventi associati al tempo di ritorno di 300 anni (cfr. Appendice B.6).

I picchi di portata variano, nei sottobacini, da valori minimi inferiori ad 1 mc/s a massimi di 3,40 mc/s, per eventi corrispondenti ad un tempo di ritorno di 300 anni. Le portate al colmo, infatti, decrescono con il diminuire del tempo di ritorno raggiungendo valori di circa 2,60 mc/s per 100 anni di tempo di ritorno, 2,25 mc/s per 50 anni, 1,80 mc/s per 20 anni, 1,45 mc/s per 10 anni, diminuendo a 1,20 mc/s e 0,80 mc/s circa, rispettivamente per 5 e 2 anni di tempo di ritorno (cfr. Appendice B.6). Si rileva così che il sottobacino S2, a meno che in occasione degli eventi associati ai tempi di ritorno più bassi, è quello che esibisce sempre i picchi di portata più elevati, mentre i volumi totali recapitati ai nodi della rete di smaltimento sono pressoché comparabili tra i sottobacini di monte, che contribuiscono in modo significativo alle quantità di deflusso, per tutti i tempi di ritorno. In tal senso, ovviamente, non può prescindere dal considerare le dimensioni di ciascun sottobacino. Ad esempio, i circa 60 mm di pioggia che SWMM calcola per il sottobacino S1 come per il sottobacino S4 ($T_R=50$ anni), corrispondono ad un volume generato di circa $3,0 \times 10^6$ ltr nel primo caso mentre corrispondono a $0,13 \times 10^6$ ltr nel secondo.

Per quanto riguarda il convogliamento dei deflussi in condotta, alla sezione di chiusura del bacino G, giunge una portata con valore massimo di poco superiore a 3 mc/s ($T_R=5$ anni) che non variano sensibilmente con i tempi di ritorno. Questo dimostra che, in realtà, la rete di smaltimento risulta sostanzialmente indifferente al crescere dell'intensità dell'evento perché il

suo funzionamento è legato al tempo di ritorno per cui è stata progettata; quando entra in crisi per insufficienza idraulica, le portate in esubero vengono espulse in superficie ed è qui, pertanto, che i deflussi possono variare sensibilmente al crescere del tempo di ritorno. Difatti, i risultati mostrano chiaramente che, con l'aumentare dei tempi di ritorno e, quindi, dell'intensità dell'evento, non soltanto aumenta il numero dei nodi in cui si verifica l'allagamento ma crescono sensibilmente anche i volumi sversati sulla rete stradale.

Ad esempio, il nodo G7 che riceve i deflussi del sottobacino S2 (cfr. Appendice B.3), espelle in superficie un totale di circa 342 mc durante eventi di pioggia associati ad un tempo di ritorno di 5 anni che crescono a circa 1687 mc per 50 anni di tempo di ritorno ed a circa 2144 mc per 100 anni. (cfr. Appendice B.6). Se poi si osserva, grazie alle mappature realizzate (cfr. Appendice B.7), la distribuzione dei nodi che entrano in crisi nei bacini, si rileva l'esistenza di situazioni che necessitano ancor più attenzione in ragione della prossimità tra nodi che, pur appartenenti a reti di smaltimento diverse, si allagano entrambi, seppur non sia detto che raggiungano i valori massimi dei volumi sversati in superficie in maniera simultanea.

Il sistema-bacino M è caratterizzato da condizioni di forte impermeabilità nei suoi sottobacini di monte (S1 ed S2) che diminuiscono in quelli di valle (S4 ed S5), con un'unica soluzione di continuità in corrispondenza della zona centrale del bacino, dove un grande vuoto urbano interrompe il *continuum* edilizio (sottobacino S3). A questo assetto di bacino corrispondono volumi totali di deflusso che, per 2 anni di tempo di ritorno, variano tra una media di 23,5 mm a monte e una media di 13,0 mm a valle, mentre si attestano intorno ai 6,5 mm nel sottobacino centrale. A contribuire più significativamente è il bacino di monte (S1) che recapita, per lo stesso evento, circa $0,73 \times 10^6$ ltr. Questi valori aumentano al crescere del tempo di ritorno attestandosi intorno a $1,12 \times 10^6$ ltr ($T_R=5$ anni), $1,88 \times 10^6$ ltr ($T_R=50$ anni) e $2,11 \times 10^6$ ltr ($T_R=100$ anni). Lo stesso sottobacino risponde agli eventi di pioggia esibendo anche i valori di picco maggiori, che variano da un minimo di 0,36 mc/s per 2 anni di tempo di ritorno ad un massimo di 1,6 mc/s per 300 anni di tempo di ritorno (cfr. Appendice B.6). Per quanto riguarda il convogliamento dei deflussi in condotta, alla sezione di chiusura del bacino M, in corrispondenza dei 2 anni di tempo di ritorno, giunge una portata di valore massimo di poco superiore a 0,74 mc/s, che diventa circa pari a 0,96 mc/s per 5 anni di tempo di ritorno, valore che non viene superato simulando eventi di pioggia corrispondenti a tempi di ritorno maggiori.

Nel nodo di monte M1 si verificano gli allagamenti più significativi, significando l'origine di ruscellamenti superficiali sull'asse viario che li convoglia direttamente verso il mare, raccogliendo i contributi di deflusso espulsi dagli altri nodi che entrano in crisi proseguendo verso valle. Per 5 anni di tempo di ritorno tale valore è di circa $0,71 \times 10^6$ ltr mentre aumenta a $1,43 \times 10^6$ ltr per 50 anni di tempo di ritorno, e raggiunge il valore di circa $1,66 \times 10^6$ ltr per i 100 anni. Ai volumi sversati dal nodo M1, come detto, si aggiungono altri contributi, originati nei nodi M2, M7 ed M8.

Per quanto riguarda il sistema-bacino H, è il suo sottobacino più interno (S3), dai *pattern* perfettamente corrispondenti a quelli del sottobacino

S2 appartenente al sistema-bacino G, a generare i maggiori contributi al deflusso, con volumi che variano tra i $3,29 \times 10^6$ ltr ($T_R=5$ anni) e i $6,23 \times 10^6$ ltr ($T_R=100$ anni). I picchi, analogamente, variano tra gli 1,44 mc/s ed i 3,25 mc/s ($T_R=100$ anni), rimanendo i più alti tra tutti i sottobacini del sistema. La sezione finale della rete di drenaggio convoglia una portata massima che varia tra 0,9 mc/s per 2 anni di tempo di ritorno e circa 0,96 mc/s per 300 anni di tempo di ritorno. Alla parte terminale della rete di smaltimento del bacino H si affianca la rete di smaltimento del bacino M. determinando una combinazione dei volumi di allagamento sversati dai nodi.

Un quadro completo che riassume i risultati delle simulazioni effettuate è riportato in Appendice B.5. La Tabella 6.2 di seguito ripropone lo status delle simulazioni per i tre sistemi-bacino di studio e per il tempo di ritorno di 5 anni, permettendo qualche riflessione nel merito.

Tabella 6.2 | Status della simulazione del sistemi-bacino, tempo di ritorno di 5 anni

Runoff quantity continuity	RETE G		RETE M		RETE H	
	volume	altezza	volume	altezza	volume	altezza
	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]
Precipitazione totale	1,597	41,37	0,58	41,37	1,539	41,37
Perdite di infiltrazione	0,402	10,412	0,259	18,469	0,434	11,658
Deflusso superficiale	1,116	28,91	0,299	21,30	1,028	27,62
Immagazzinamento superficiale finale	0,088	2,279	0,025	1,796	0,085	2,288
Errore di continuità [%]	-0,569		-0,473		-0,483	
Flow routing continuity	volume	volume	volume	volume	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Deflusso entrante	1,116	11,164	0,299	2,986	1,028	10,278
Deflusso uscente	0,967	9,672	0,208	2,082	0,44	4,402
Perdite di allagamento	0,15	1,502	0,09	0,904	0,587	5,873
Volume finale immagazzinato	0,001	0,011	0,00	0,001	0,001	0,015
Errore di continuità [%]	-0,186		-0,040		-0,11	

I risultati delle simulazioni riportati in tabella evidenziano, già per il tempo di ritorno di 5 anni, l'incapacità della rete di drenaggio di smaltire le portate di pioggia generatesi durante l'evento. Il volume in esubero che non riesce ad essere convogliato nella rete fognaria verrebbe quindi espulso dai pozzetti del sistema che entrano in pressione, determinando scorrimenti su strada e generando allagamenti. Durante l'evento piovoso (circa 41,4 mm di pioggia), solo una parte è persa per infiltrazione (rispettivamente circa 10,41 mm, 18,47 mm e 11,65 mm) e per accumulo nelle depressioni superficiali (rispettivamente circa 2,28 mm, 1,80 mm e 2,29 mm) mentre la restante parte si trasforma in deflusso superficiale (rispettivamente circa 28,9 mm, 21,3 mm e 27,6 mm). Ipotizzato, globalmente per la durata dell'intero

evento, che il deflusso in superficie venga totalmente catturato dalle caditoie stradali e convogliato nella rete di fognatura, i volumi totali entrati in fognatura (rispettivamente 11164 m³, 2986 m³ e 10278 m³) soltanto in parte proseguono internamente ai collettori, fino al recapito finale, mentre i restanti volumi (rispettivamente 1502 m³, 904 m³ e 5873 m³) vengono espulsi dai nodi che entrano in pressione e defluiscono sulla rete stradale.

6.6.2 Calcolo e mappatura dei parametri caratteristici dell'allagamento

Oltre ai fattori analizzati, per delineare il profilo di risposta dei sistemi-bacino agli eventi di pioggia in esame, occorre valutare anche i parametri caratteristici dell'allagamento che interessa la rete superficiale, specificamente altezza idrica e velocità di corrente.

Infatti, la potenziale variazione delle variabili analizzate nel precedente paragrafo, in scenari associati a diverse condizioni di piovosità o soggetti a quali che siano trasformazioni urbanistiche, interessa nella misura in cui possa riguardarsi come azione pianificata volta alla mitigazione della pericolosità e, quindi, segnatamente alla riduzione dei tiranti e delle velocità di corrente, influenzando la capacità di assorbimento del sistema-bacino ma anche quella di recupero (par-2.2.1).

I valori di altezza massima [m] e velocità massima di corrente [m/s] in ogni ramo della rete superficiale stradale che si ottengono dalla simulazione, sono mappati nelle Figure 6.24 e 6.25 per i tempi di ritorno di 5, 50 e 100 anni e riportati in Appendice B.8 insieme allo status complessivo della modellazione.

Dalle mappe si evince che la porzione centrale del sistema stradale complessivo e le sue prosecuzioni verso il mare, costituiscono le aree dove si raggiungono valori di altezze idriche maggiori. Queste, tuttavia, sporadicamente superano i 10 cm e solo in alcuni rami raggiungono i 30 cm per tempo di ritorno di 5 anni. A valle del sistema, le condizioni peggiorano significativamente per tempo di ritorno di 100 anni, durante eventi di pioggia che causerebbero altezze idriche anche superiori ai 50 cm.

In realtà, questi valori diventano significativi per valutazioni del grado di pericolosità solo se abbinati, ramo per ramo, a quelli di velocità massima raggiunta. Le mappe di pericolosità di allagamento urbano superficiale sono mostrate nelle Figure 6.26 per i tempi di ritorno considerati (5, 50 e 100 anni). Il grado di pericolosità è funzione del prodotto tra i parametri di altezza e velocità idrica secondo la classificazione proposta da Cox et al. (2010) (par.4.6.1).

Per 5 anni di tempo di ritorno le condizioni di sicurezza sono garantite in modo abbastanza diffuso. Il grado di pericolosità non supera la fascia medio-bassa, anche a valle dell'intero sistema. Diversamente, per 50 anni di tempo di ritorno, la combinazione dei valori di altezza massima e velocità massima (istante per istante) determina occasioni di pericolosità moderata e medio-alta, tendenza che si conferma, come prevedibile, in occasione di eventi corrispondenti ai 100 anni di tempo di ritorno, durante i quali le condizioni di pericolosità aumenterebbero sino a diventare estreme in una delle sezioni vallive.

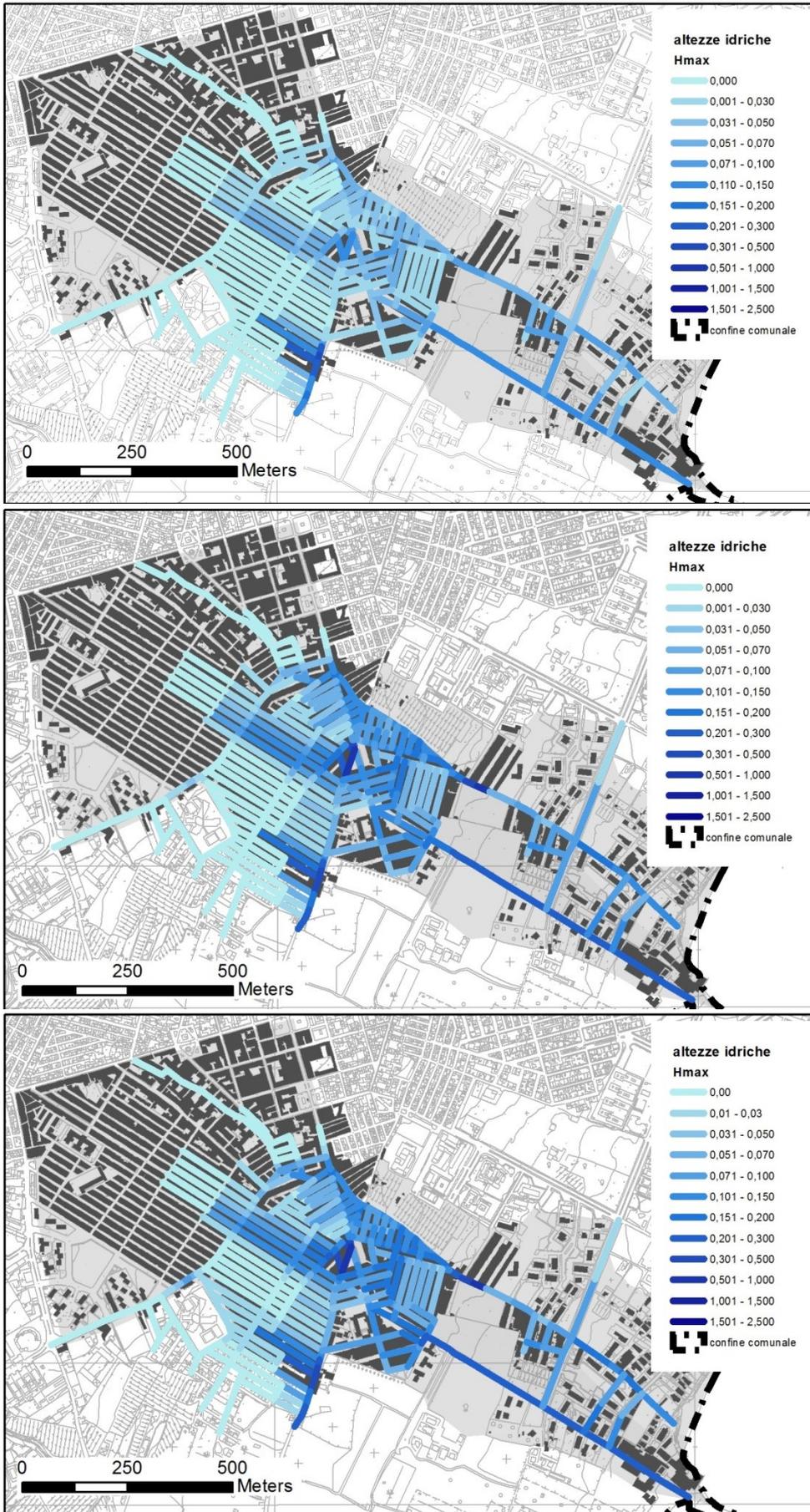


Figura 6.24 | Valori massimi di altezza idrica raggiunti nei rami della rete superficiale per tempi di ritorno dell'evento di pioggia di 5, 50 e 100 anni

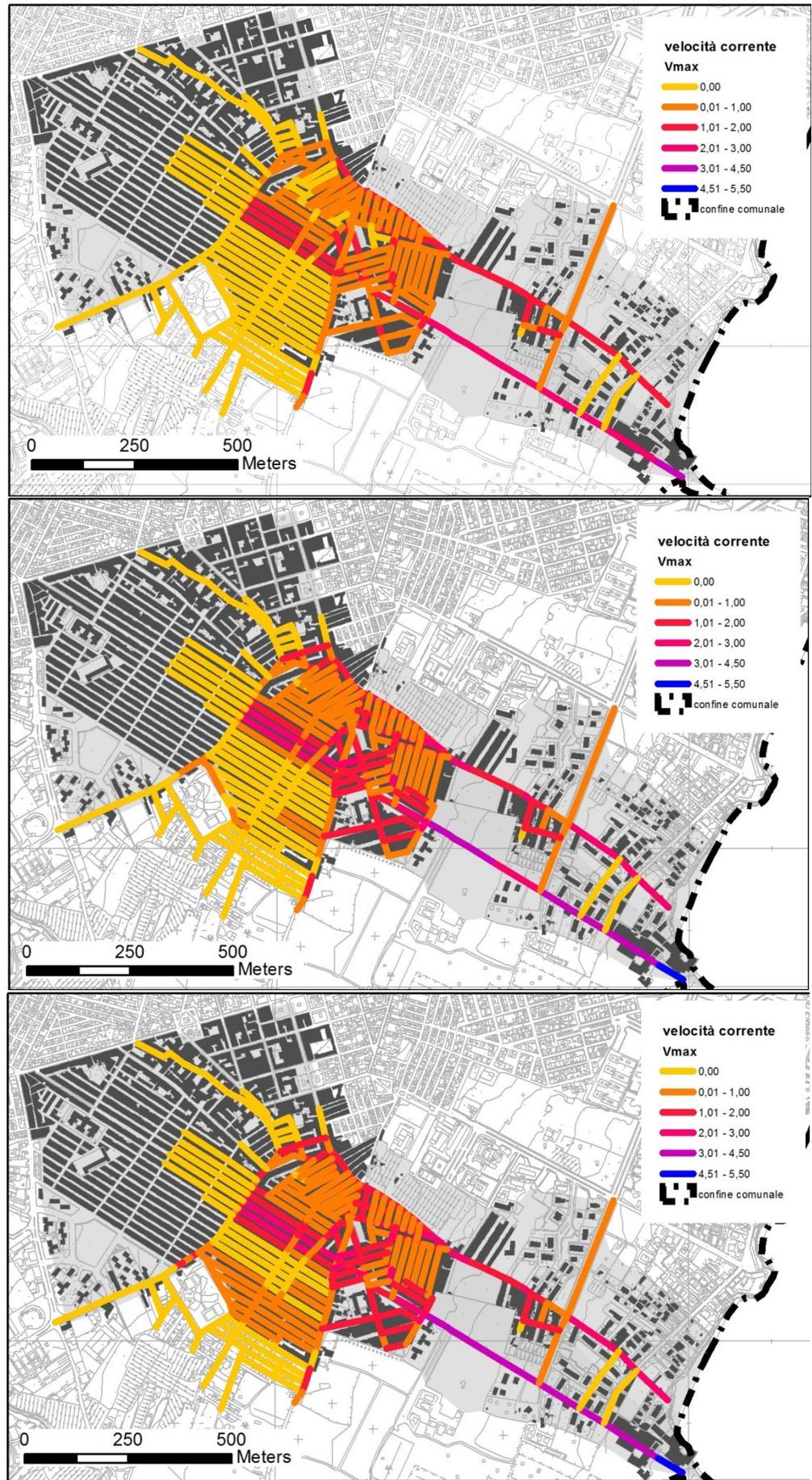


Figura 6.25 | Valori massimi di velocità di corrente raggiunti nei rami della rete superficiale per tempi di ritorno dell'evento di pioggia di 5, 50 e 100 anni

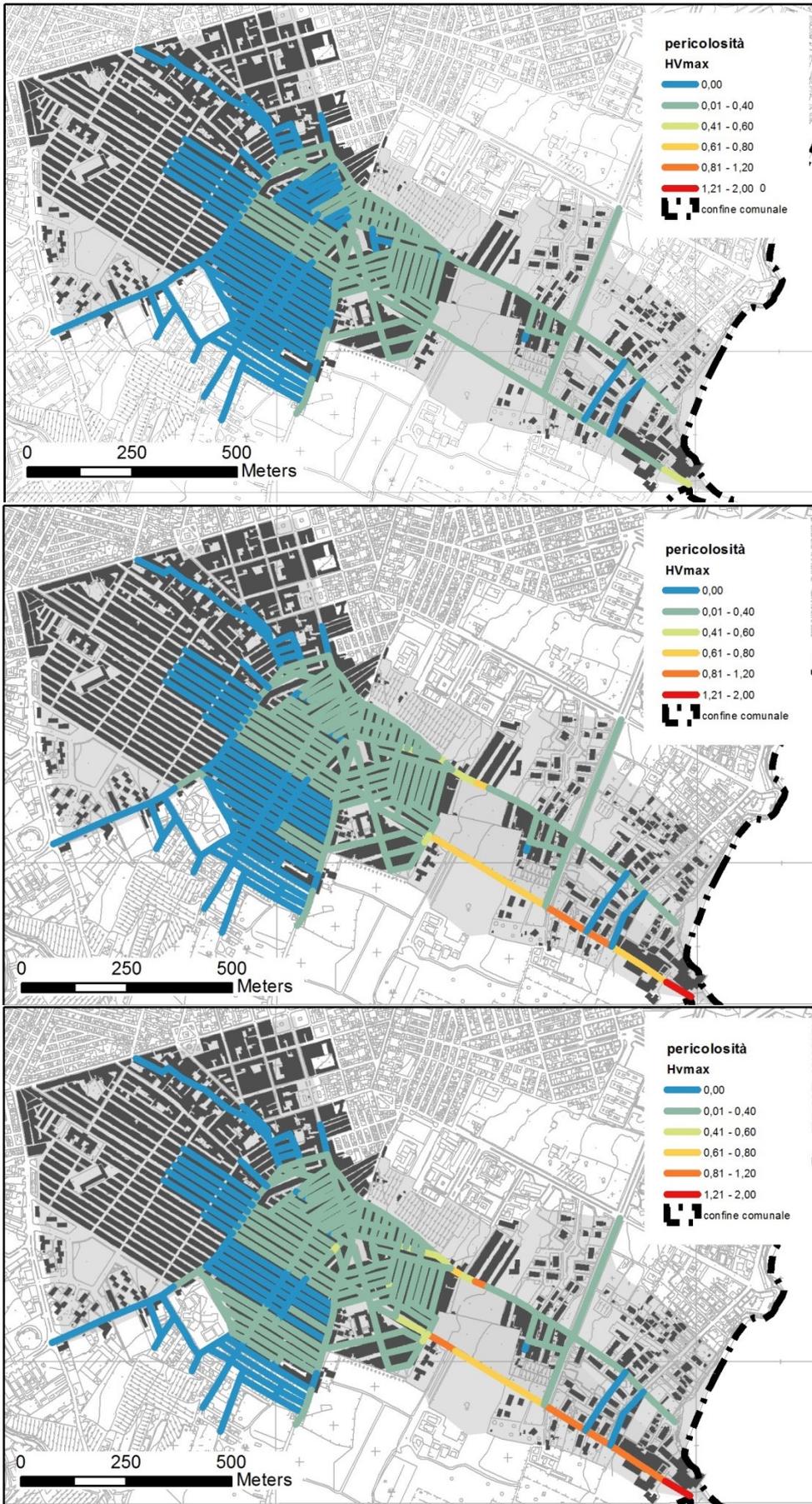


Figura 6.26 | Classificazione del grado di pericolosità da allagamento superficiale nel *major system* per tempi di ritorno dell'evento di pioggia di 5, 50 e 100 anni

Le mappature, ricavate basandosi sui risultati delle simulazioni di scenario effettuate, sembrano fotografare, con un discreto livello di fedeltà, la storia degli allagamenti dell'area urbana di Avola e delle sue zone costiere per le quali, anche le fonti cartografiche sono rivelatrici delle dinamiche di evoluzione territoriale: ad esempio, la fascia territoriale compresa tra i sottobacini S3 del sistema-bacino M ed S9 del sistema-bacino H e le sezioni di valle, è denominata "contrada pantanello" e ad essa corrispondono i tratti di rete superficiale a più elevata pericolosità e, potenzialmente, a minore resilienza specifica.

Complessivamente, quindi, se valutata rispetto alla pericolosità connaturata agli allagamenti superficiali causati dalla crisi della rete di smaltimento durante la piena, la risposta del sistema risulta garantire condizioni di sicurezza, almeno per i tempi di ritorno più bassi e tradizionalmente associati alla progettazione delle reti di fognatura. Tuttavia, analizzando più nel dettaglio i risultati delle simulazioni con riferimento ai valori delle variabili scelte per descrivere tale risposta, emerge con evidenza il peso esercitato dai sottobacini di monte rispetto alla generazione di deflussi che vengono smaltiti verso valle con difficoltà sempre maggiori al crescere dei tempi di ritorno dell'evento. Come ci si aspetta, è confermata la correlazione tra la presenza di tessuti urbani fortemente impermeabili e la formazione di deflussi che il sistema-bacino non potrà essere in grado di gestire in condizioni di incertezza climatica futura o, peggio, nella prospettiva che la capacità idrica della rete di smaltimento venga progressivamente inficiata dalla mancanza della necessaria attività di manutenzione e controllo.

I risultati delle simulazioni permettono di identificare spazialmente le criticità della rete soprattutto con riferimento al numero ed alla posizione dei nodi da cui si verificano le fuoriuscite di portata ed ha origine il deflusso di allagamento.

6.6.3 Contributo dei SuDS alla dotazione di resilienza

Come sottolineato da Becciu e Paoletti (2010) la necessità di laminare le piene è tanto più distribuita nel bacino quanto più intenso è lo sviluppo urbanistico e le conseguenti crescenti penalizzazioni nel convogliamento delle piene, come chiaramente dimostrato dai risultati delle simulazioni. Alla distribuzione delle insufficienze idrauliche lungo il reticolo non si può che rispondere con una parallela distribuzione degli invasi di laminazione⁶ ricercando, contestualmente, meccanismi di *policy* in grado di incoraggiare la diffusione di misure di controllo dei deflussi già a monte dei nodi che per primi entrano in crisi.

Se i sistemi-bacino in questione fossero caratterizzati da una buona presenza di superfici ad alta permeabilità, il progetto di messa a sistema di queste aree potrebbe finalizzarsi al controllo dei ruscellamenti e contribuire

⁶ E' chiaro poi che il "progetto di laminazione" cioè, in altre parole, il "progetto delle onde di piena" deve essere portato avanti senza limitarsi a valutare i soli effetti locali della laminazione ma individuando quella concatenazione ottimale di interventi che, nel complesso del bacino imbrifero considerato, determini efficacemente gli abbattimenti delle portate al colmo desiderati senza, al contrario, provocare effetti avversi dovuti, ad esempio, alla sovrapposizione di idrogrammi con picchi originariamente sfasati.

alla diminuzione dei volumi di deflusso sfruttando i processi di infiltrazione (Pelorosso et al., 2015a). Laddove, al contrario e come nel caso di questi bacini, l'assetto urbano è tale da caratterizzarsi per il *continuum* di superfici impermeabili ed edilizia ad alta densità, reperire le occasioni per impiegare sistemi di drenaggio urbano sostenibile diventa assai più ostico e comporta analizzare le morfologie urbane in termini di rapporto con la gestione delle acque meteoriche ed alternative che esso offre (par.4.3 e par.6.3).

Per valutare il contributo offerto dalle SuDS all'incremento della resilienza specifica dei sistemi-bacino, si è proceduto alla modellazione tramite SWMM di alcuni scenari di integrazione di misure selezionate. Ai fini della costruzione degli scenari, si è optato per l'approccio metodologico descritto nel par.4.7.1, a partire dalla raccolta e interpretazione dei risultati ottenuti dalla simulazione dello scenario dello stato di fatto, sino alla selezione delle misure SuDS di cui modellare l'impiego nei sistemi-bacino.

Una volta stabilito l'obiettivo della simulazione degli scenari e, implicitamente, le motivazioni alla base della scelta di integrare i SuDS nella logica del *retrofitting* urbano, la costruzione dello generico scenario SuDS si è evoluta a partire dalle considerazioni sulle specifiche caratteristiche topografiche, urbanistiche e di risposta agli eventi meteorici che connotano univocamente ogni sistema-bacino. Stabilito di lavorare alla scala del sottobacino urbano, si è immaginata una costruzione di scenari di *retrofitting* per fasi di implementazione progressive, da diffusioni meno spinte a diffusioni più spinte (anche se realisticamente meno probabili), ricordando che nessuno spazio, anche se residuale, è inutile (Digman et al., 2012).

Avvalendosi delle analisi urbano-territoriali già condotte si è revisionato l'insieme dei dati e delle informazioni circa i prevalenti usi del suolo, le morfologie urbane e le tipologie edilizie, i percorsi preferenziali seguiti dalle acque di ruscellamento sulla superficie, le sezioni di chiusura dei sottobacini, la localizzazione delle principali reti di smaltimento e dei nodi che, entrando in crisi, subiscono gli allagamenti.

6.6.3.1 Gli scenari SuDS nel sistema-bacino G

Nel sistema-bacino G, ad esempio, gli usi prevalenti sono quelli residenziali ad eccezione di alcune superfici agricole utilizzate a prati stabili o di matrice eterogenea, mentre le morfologie urbane si caratterizzano quasi omogeneamente all'interno dei sottobacini interni individuati (Fig.6.27). Il sottobacino S1 ed il sottobacino S3 presentano isolati quasi sempre regolari con edifici che si chiudono in serie spesso attorno a corti interne. Nel sottobacino S2 gli isolati sono allungati, con edifici in serie chiusa e di forma prevalentemente rettangolare, senza interruzioni dovute a pause inedificate e spazi pubblici. Gli edifici ad una o due elevazioni, quasi sempre dotati di coperture piane che recapitano le acque in modo diretto sul sedime stradale attraverso doccioni o pluviali, si susseguono occupando interamente gli isolati. Lo stesso può dirsi per il sottobacino S4 e per il sottobacino S5 dove, però, è presente l'unico grande vuoto urbano del sistema, a valle del quale i tessuti cominciano a diradarsi in isolati con edifici a serie aperta con rapporti di copertura decisamente meno elevati e tipologie edilizie in linea, a schiera e a villa isolata.

Sulla costa, in corrispondenza del sottobacino S7, la morfologia urbana è quella della dispersione insediativa di tessuti monofunzionali a bassa densità sotto forma di lottizzazioni con tipo prevalente a villa. Altro tratto caratteristico è quello dell'assetto infrastrutturale, con griglie regolari di strade ortogonali con sezioni trasversali medie di 7m a monte del sistema-bacino che si interrompono in corrispondenza della SP59 di penetrazione nord-sud a delimitazione della fascia costiera, ad eccezione dell'asse viario che giunge al mare dopo aver intersecato l'asse stradale di Via Mattarella (la "24 metri") e quello di via Aldo Moro, litoranea di supporto ed accesso alle lottizzazioni costiere, che permettono la connessione a valle tra le congiungenti il centro e le aree di prima espansione con il mare.

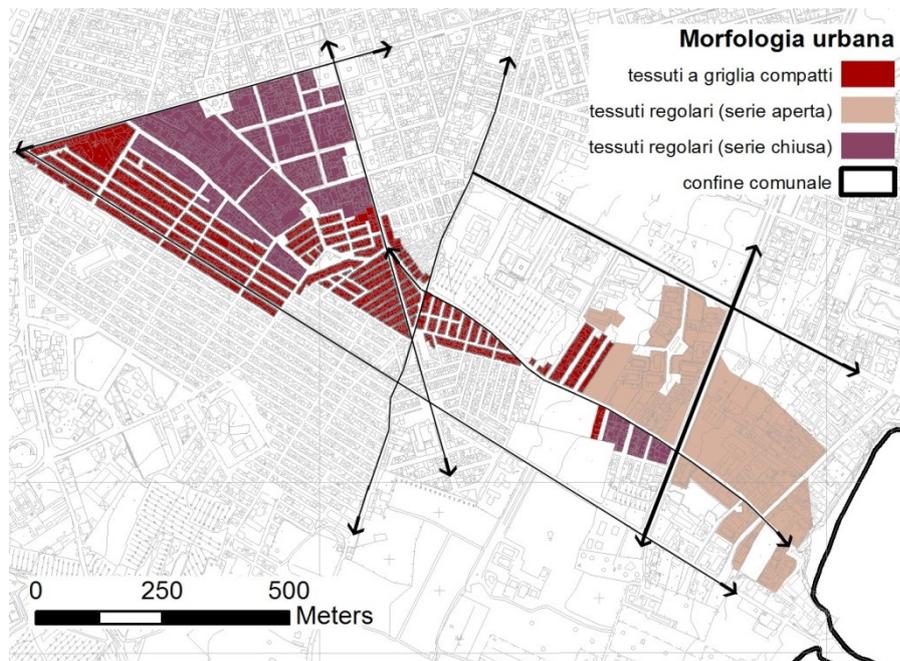


Figura 6.27 | Studio delle morfologie urbane in corrispondenza del sistema-bacino G e principali direttrici di sviluppo della viabilità e del tessuto urbano

Nell'esplorare e nello scegliere le misure SuDS con cui costruire gli scenari di simulazioni si è dato risposta ad una serie di domande chiave che vengono tradizionalmente associate a comuni strategie di *retrofitting* (Tab.6.3) (Digman & Glerum, 2012).

Tabella 6.3 | Fattori dell'ambiente costruito ed influenza sulla strategie di *retrofitting* in ambito urbano; (adattata da: Digman & Glerum, 2012; Dickie, 2010)

ELEMENTI URBANI	DOMANDE STRATEGICHE PER IL RETROFITTING VIA SuDS	RISPOSTE
Coperture degli edifici	<p>-Dove vengono recapitate le acque raccolte precipitate sulle coperture? Come(pluviali, su corti interne, su aree permeabili, su strada)?</p> <p>-Esistono i presupposti per pensare di convertire la copertura in tetto verde? (pendenza, tipologia e sovraccarico, caratteristiche strutturali dell'edificio e della chiusura orizzontale di copertura)</p>	<p>-Nel sottobacini a morfologia urbana con tessuti regolari di edifici in serie chiusa, le acque precipitate sulle coperture vengono scaricate direttamente su strada o nelle corti tramite doccioni e pluviali</p> <p>-La maggioranza delle coperture, almeno nei sottobacini di monte, è di tipo piano; dove a falde, i tetti, presentano comunque una pendenza non superiore al 30 %. Inoltre, viste le specificità del clima mediterraneo, le possibilità di conversione delle coperture in tetti verdi si limitano al verde di tipo estensivo che genera un sovraccarico strutturale nettamente più contenuto di quello intensivo</p>
Cortili e/o giardini anteriori e/o posteriori, terrazze	<p>-Quali sono le caratteristiche delle strette pertinenze degli edifici in termini di permeabilità e dimensioni superficiali?</p> <p>-Esistono superfici impermeabili che possono essere convertite in permeabili mantenendo invariate le loro funzioni di destinazione?</p> <p>-Quando è possibile connettere i pluviali a vasche di raccolta delle acque e separare i deflussi da quelli recapitati nella rete di smaltimento?</p>	<p>-Nei sottobacini di monte, non esistono vere e proprie pertinenze degli edifici che occupano interamente i lotti formando quinte di fronti stradali senza soluzioni di continuità; laddove gli edifici si organizzano in serie che formano cortine chiuse su cortili, questi sono generalmente completamente impermeabili e a dimensioni superficiali del tutto non omogenee. Nei sottobacini di valle la morfologia urbana varia e i lotti, non completamente occupati, presentano aree permeabili ed impermeabili di estensione contenuta sulle quali è recapitata l'acqua piovana dei tetti</p> <p>- Le superfici interne delle corti possono essere convertite in permeabili</p> <p>-Sistemi di vasche e cisterne possono essere integrati nelle corti e collegati agli edifici</p>
Facciate e muri perimetrali	<p>-Esiste la possibilità di attrezzare i muri di confine dei lotti di proprietà o le facciate degli edifici con elementi vegetali o con elementi per la raccolta delle acque?</p>	<p>-Soltanto nei sottobacini di valle sono presenti muri a delimitazione dei lotti di proprietà per i quali non si ravvisano impedimenti all'integrazione di elementi vegetali o per la raccolta delle acque</p>
Spazi pubblici	<p>-Esistono grandi o piccole aree urbane, parchi, campi da gioco e piazze in cui poter includere misure di controllo SuDS o da destinare volutamente ad allagamenti temporanei?</p>	<p>-Non esistono aree pubbliche di questo tipo ad eccezione di alcune piazze già attrezzate con verde di arredo</p>
Vuoti urbani	<p>-E' possibile riconvertire i vuoti urbani per gli usi di laminazione delle acque o allagamenti temporanei?</p> <p>-E' possibile riconvertire i vuoti urbani a grandi o piccoli bacini di infiltrazione?</p> <p>-Esistono aree con funzione di verde di arredo stradale da potenziare per gli scopi della gestione sostenibile delle acque?</p>	<p>-I grandi vuoti urbani sono presenti ma destinati dal Piano ad accogliere le aree di perequazione per le nuove trasformazioni urbane</p> <p>-Non esistono aree con funzione di arredo stradale se non in corrispondenza di alcuni brevi tratti di viabilità che non offrono possibilità di messa a sistema</p>
Strade e parcheggi	<p>-Dove è possibile recuperare occasioni per l'infiltrazione o il contenimento delle acque di ruscellamento superficiale?</p> <p>-Esistono aree già alberate o con caratteri vegetativi che possono essere potenziate sino a funzionare da aree di bio-ritenzione?</p> <p>-Come i cigli stradali possono essere trasformati in fasce filtranti o canalette inerbite?</p> <p>-Esistono isole di traffico da trasformare in aree di bio-ritenzione?</p> <p>-E' fattibile attrezzare la viabilità, almeno principale, con filari alberati?</p> <p>-Esistono grandi o piccole aree a parcheggio dove convertire in permeabile la superficie esistente?</p>	<p>-L'armatura viaria è composta in prevalenza da strade strette con marciapiedi di larghezza inferiore al metro, ad un solo senso di marcia, spesso occupate su un lato dai veicoli in sosta. Non si ritiene che sia plausibile l'integrazione di elementi SuDS per il convogliamento ei deflussi superficiali a meno di prevedere un progetto complessivo di modifica degli assetti viari per inibire al traffico veicolare alcuni assi e destinarli a "vie verdi" per la sola fruizione pedonale e con la funzione di convogliare le acque di ruscellamento secondo percorsi specificamente studiati e definiti</p>

Le mappe delle variabili di sistema (velocità e portate massime di deflusso nelle sezioni di recapito dei sottobacini, picchi di portata e velocità dei deflussi in rete, allagamenti ai nodi e parametri caratteristici degli allagamenti sulla rete superficiale) fanno emergere un quadro complessivo per il quale, ai fini del miglioramento della risposta complessiva del sistema agli eventi meteorici, sembra indispensabile agire prioritariamente con azioni di *retrofitting* sui sottobacini di monte per poi diffonderle lungo tutto lo sviluppo del bacino verso valle. Dalle considerazioni derivate rispetto agli usi del suolo ed alle morfologie urbane, riflettendo sulle occasioni e sugli oggettivi limiti intrinseci al sistema urbano, si è ritenuto di poter costruire gli scenari di simulazione prendendo in considerazione come la più indicata, seppur la non sola possibile⁷, l'integrazione di misure SuDS di controllo alla fonte. In particolare, vista l'esiguità degli spazi pubblici presenti, si è immaginato di attrezzare il patrimonio edilizio esistente simulando la diffusione di sistemi di raccolta delle acque di tipo *rain barrels* (scenario uno) e di *green roofs* di tipo estensivo (scenario due).

Tra le misure di controllo dei deflussi alla fonte, il gruppo di tecnologie per la raccolta delle acque piovane contiene numerose soluzioni che permettono l'accumulo di volumi idrici utili soprattutto ai fini dell'uso per scopi non pregiati ma anche, se dimensionati in modo opportuno, per controllare portate e volumi di deflusso nelle aree urbanizzate. I serbatoi, in particolare, raccolgono l'acqua piovana che ruscellando sui tetti viene convogliata attraverso i pluviali, essendo ad essi opportunamente collegati. I sistemi di vasche e cisterne, interrato o sottotetto, sono invece più complessi e richiedono, ovviamente, maggiori spazi per la loro integrazione.

Quello che interessa simulare per gli scopi della ricerca, è la capacità di trattenere volumi e abbattere picchi di portata, affinché ne benefici la resilienza specifica dell'intero sistema-bacino.

Il verde pensile (tetto verde) è, tra i SuDS, uno dei sistemi tecnologici più diffusi e più studiati nella letteratura, non soltanto di settore, proprio perché legato alla fornitura di una moltitudine di servizi eco-sistemici, oltre quelli specificamente connessi alla regolazione dei deflussi ed al controllo delle acque piovane. È utilizzato quale soluzione costruttiva per la copertura anche parziale di un generico corpo di fabbrica che provvede a garantire sempre un certo grado di trattamento delle acque, ritenzione e attenuazione delle portate di piena. L'impiego di queste misure ha il vantaggio di rendere permeabile per intero un'area che precedentemente era impermeabile, oppure le nuove edificazioni.

I tipi di tetto verde, come noto, vengono ricondotti prevalentemente a due categorie: tetti verdi intensivi e tetti verdi estensivi, in base alla stratificazione di precisi elementi tecnici.

⁷ Come detto nel par.4.7 il modello SWMM è stato recentemente migliorato per consentire la simulazione delle performance di molte tra le SuDS più comuni; tuttavia, non è possibile simulare attraverso le funzioni predisposte messe a disposizione la presenza di facciate o muri verdi o ancora filari alberati su strada. Inoltre, scenari di conversione parziale della viabilità in canali inerbiti e strisce filtranti, seppur modellabili, non sono stati presi in considerazione perché realistici solo nel caso di un progetto di riassetto della viabilità che esula dagli scopi della presente ricerca.

Nelle aree mediterranee, considerate le specificità climatiche, le soluzioni di tipo intensivo sono praticamente non utilizzabili. Al contrario, i sistemi a verde pensile estensivo utilizzano specie vegetali caratterizzate da una elevata capacità di insediamento, come per le tipologie vegetali delle piante perenni e sempreverdi, del prato naturale, delle erbe aromatiche e, soprattutto, dei sedum. Quindi, queste soluzioni, tipicamente a fruibilità ridotta, richiedono bassi oneri di manutenzione e utilizzano piccole piante, spesso pioniere, che si adattano anche a climi aridi e sono caratterizzate da un ridotto fabbisogno idrico (irrigazione di soccorso) (Andri & Sauli, 2012).

In Figura 6.28 è riportata la matrice di selezione delle SuDS usata per verificare la rispondenza della strategia scelta per la costruzione degli scenari con le specificità del sistema bacino nello scenario dello stato di fatto.

SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS (SUDs)		SUDs				
		RG	GR	PP	RB	VS
LAND USE	residential	H	H	H	H	H
	roads/Parking	H	/	L/H	L	M
	commercial/service	H	M/H	M	M	M
	industrial	H	M/H	M	M	M
SITE-CARACTERISTICS	soils	¹ permeable	H	H	H	H
		impermeable	L	H	H	H
	slop	L < 5%	H	H	H	H
		L > 5%	L	H	H	M
	depth to water table	L < 1 m	L	H	H	L
		L > 1 m	H	H	H	L
SITE-MORFOLOGY	courtyard blocks	H	L/H	M	M	L
	compact grid	L	L/H	L	L	L
	independent blocks	H	L/H	H	H	M
	space availability	H	/	/	/	H
PERFORMANCE	peak flow reduction	M	M	H	M	M
	volume reduction	M	M	H	M	M
	amenity potential	H	H	L	L	M
URBAN DESIGN STRATEGY	retrofit	H	M	H	H	L
	renewal	H	H	H	H	H
	new development	H	H	H	H	H

Figura 6.28 | Matrice di supporto al processo di *screening* dei SuDS; (elaborata da: Woods and Ballard, 2007)

Entrambi i sistemi tecnologici rispondono con alto grado di idoneità rispetto ai criteri utilizzati nel processo di *screening*.

Ai fini delle simulazioni degli scenari di adozione delle misure SuDS individuate, i tempi di ritorno considerati per la valutazione delle *performance* delle SuDS adottate, sono quelli tradizionalmente legati al progetto delle reti di smaltimento (Wallingford, 2009) (da 2 a 20 anni) e per i quali ha senso immaginare possibilità di *retrofitting* urbano ai fini di garantire il mantenimento di una buona risposta agli eventi di pioggia ad essi associati (Digman et al., 2012).

6.6.3.2 Scenario uno: serbatoi, cisterne e vasche di raccolta acqua meteoriche (rain barrels/rain water tanks)

Si è proceduto ad integrare i sistemi del tipo *rain barrels* tramite la funzione “*LID Controls*” di SWMM ma esclusivamente simulandone l’impiego all’interno dei sottobacini con morfologie urbane caratterizzate dalla presenza di cortili interni agli isolati o tessuti a bassa densità, dove i lotti permettono di collocare, in corrispondenza delle superfici libere, soluzioni tecnologiche simili a quelle descritte.

Si è, pertanto valutato l’effetto dell’integrazione dei *rain barrels* secondo tre combinazioni possibili:

-(a) *rain barrels* corrispondenti ad 1m^3 di accumulo per ogni 200m^2 di superficie di copertura

-(b) *rain barrels* corrispondenti ad 1m^3 di accumulo per ogni 100m^2 di superficie di copertura

-(c) *rain barrels* corrispondenti ad 1m^3 di accumulo per ogni 50m^2 di superficie di copertura

In particolare si è simulata la ripetizione all’interno del sottobacino di unità tutte uguali tra di loro con altezza del serbatoio pari ad 1m, in numero tale da rispettare le combinazioni (a), (b) o (c) ed impostando una percentuale di superficie impermeabile trattata dalle misure introdotte pari alla percentuale di superficie coperta dagli edifici nel sottobacino di appartenenza (Fig.6.29). In appendice B.9 è riportata la tabella riepilogativa delle simulazioni (a), (b) e (c).

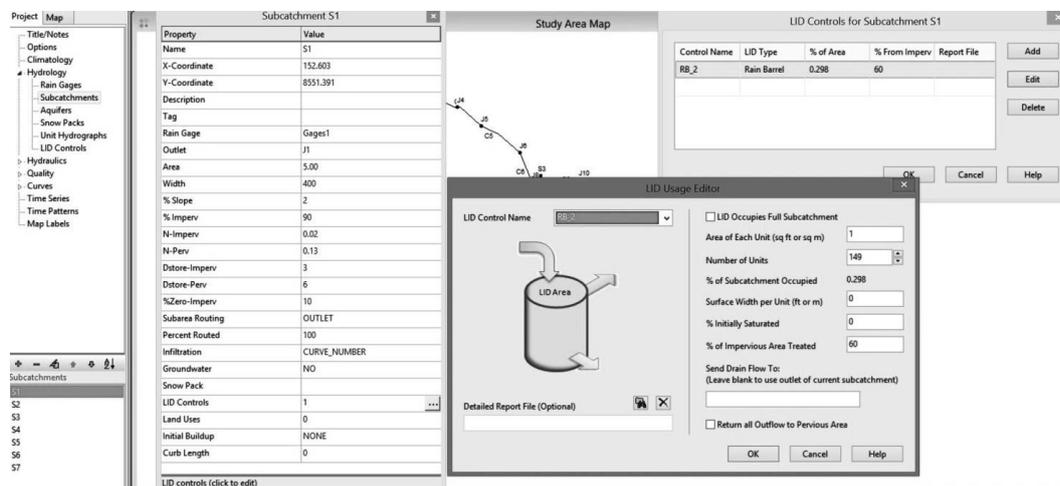


Figura 6.29 | Interfaccia SWMM per la modellazione dei *rain barrels*

I risultati delle simulazioni, in termini di volumi totali di deflusso e portata massima generati dai sottobacini, sono mostrati nei grafici di Figura 6.30. Nello scenario zero, condizione dello stato di fatto, i millimetri di deflusso dei sottobacini componenti sono riportati nelle tabelle della Appendice B.6 e mappati nel par.6.6.1 per specifici tempi di ritorno.

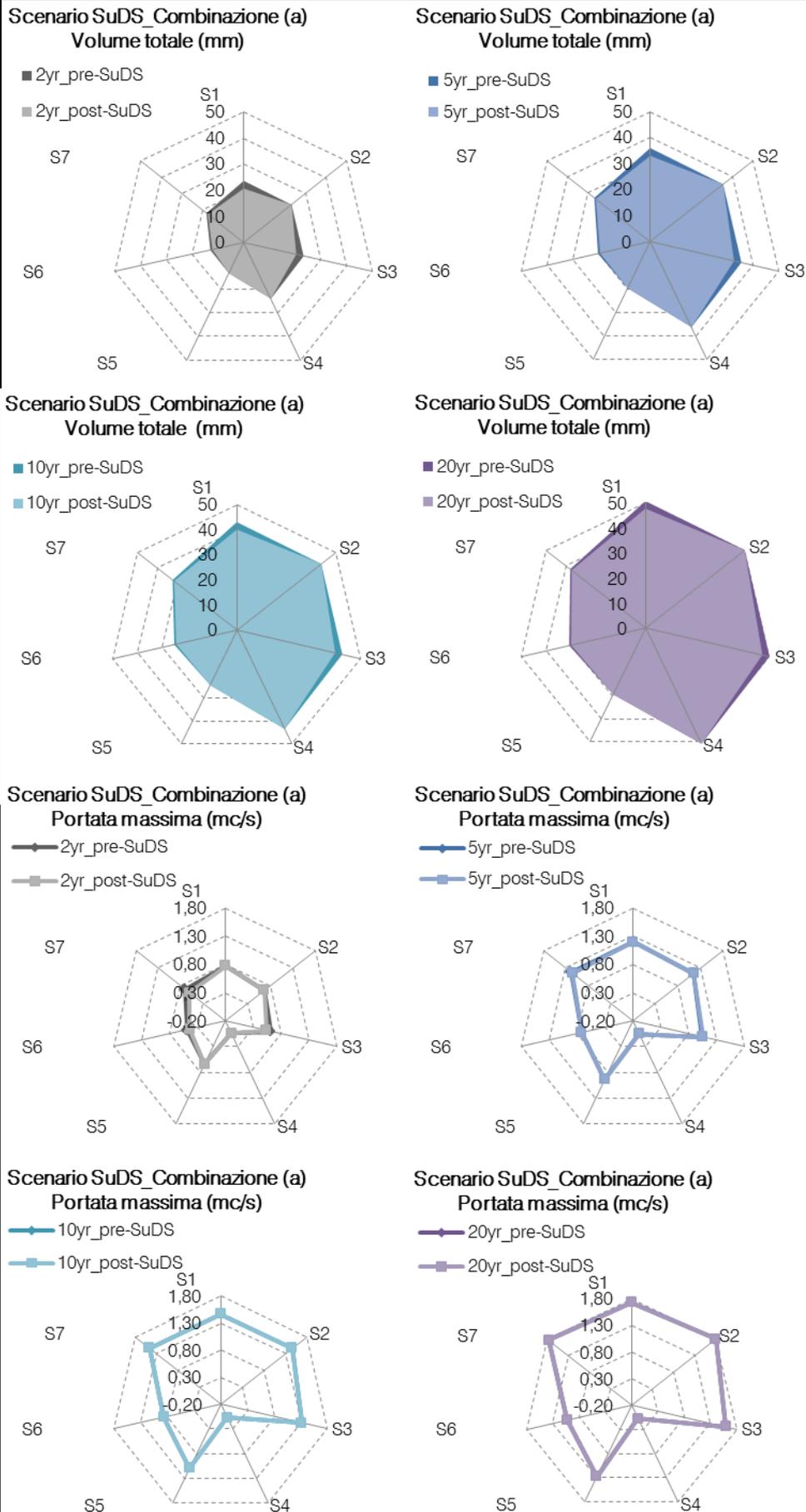


Figura 6.30 | a Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario uno, nella combinazione di tipo (a) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

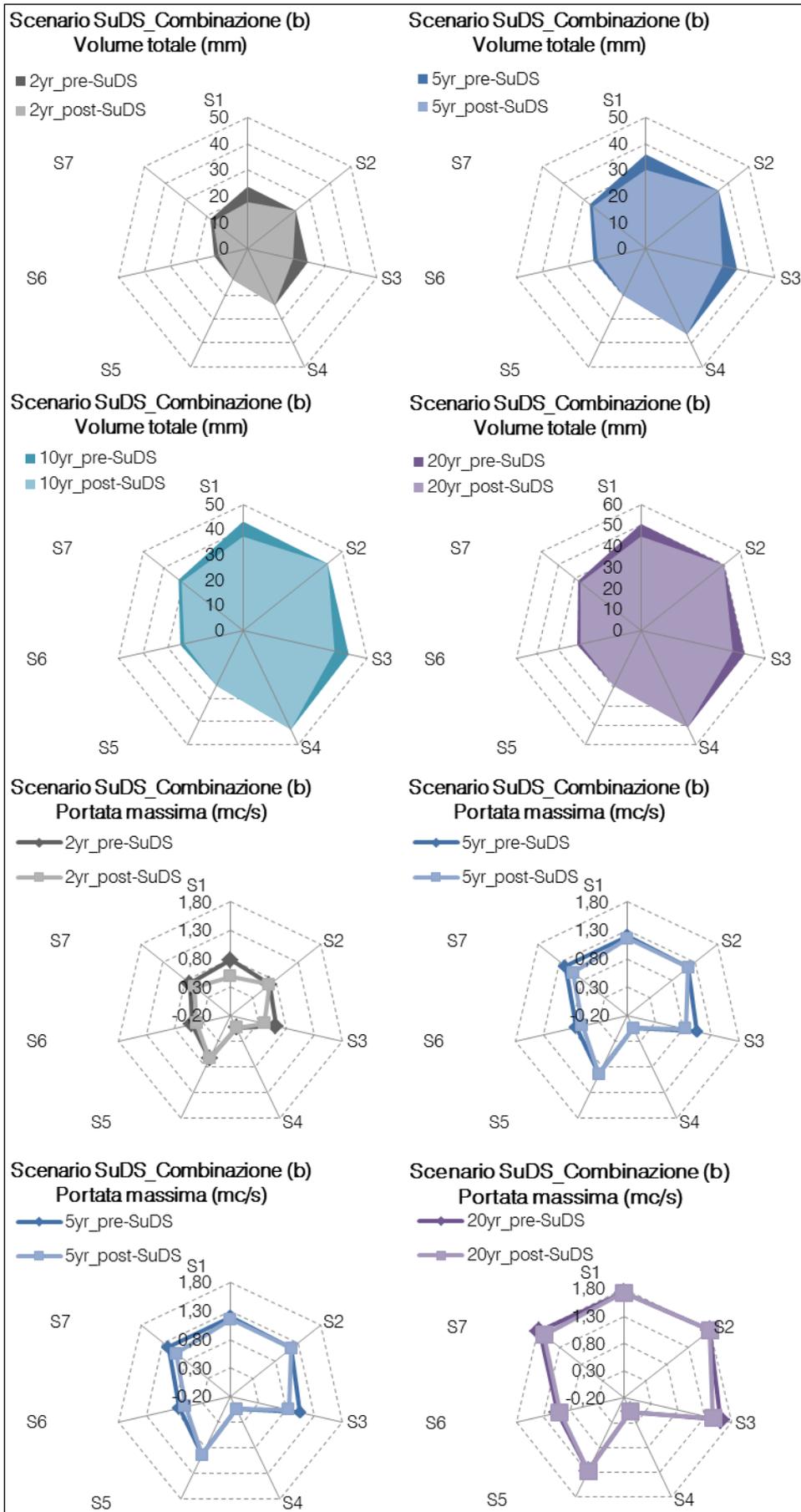
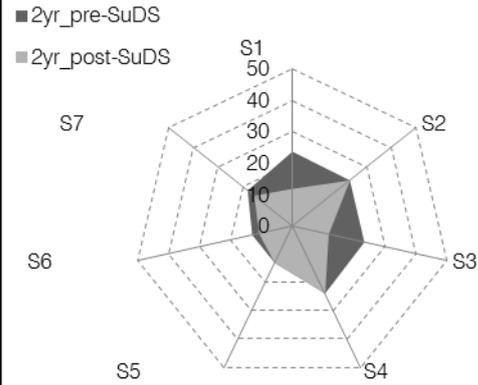
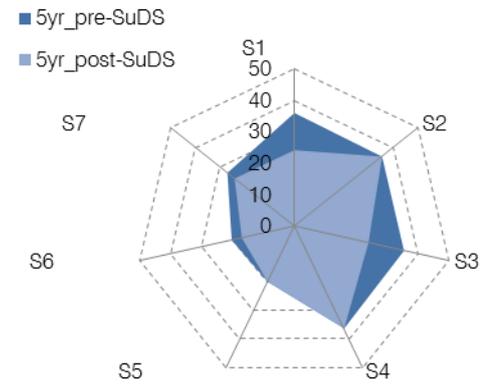


Figura 6.30 | b Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario uno, nella combinazione di tipo (b) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

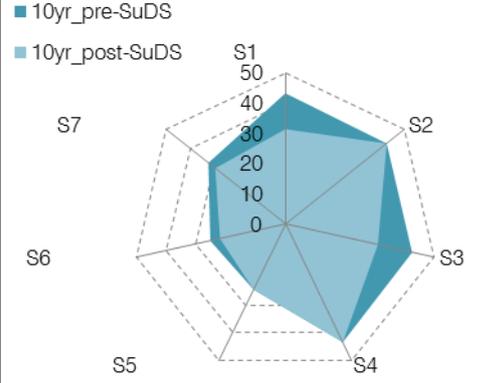
Scenario SuDS_Combinazione (c)
Volume totale (mm)



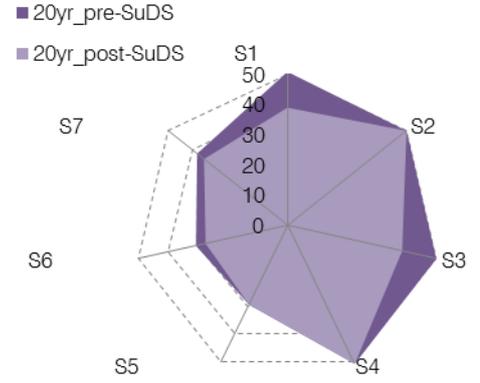
Scenario SuDS_Combinazione (c)
Volume totale (mm)



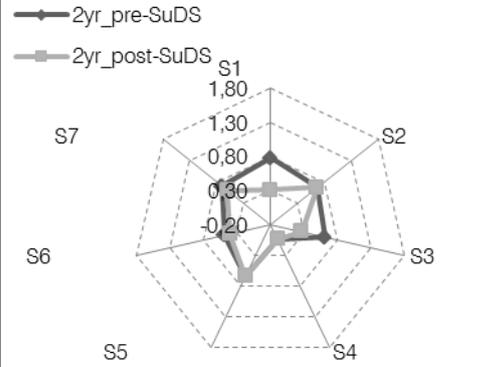
Scenario SuDS_Combinazione (c)
Volume totale (mm)



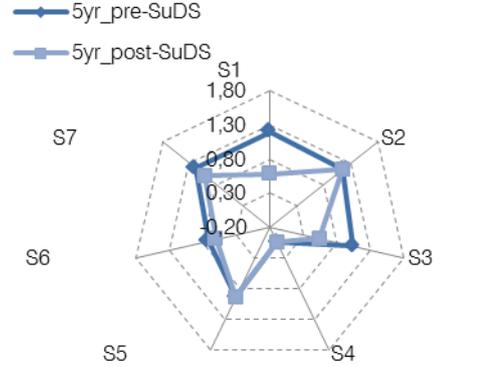
Scenario SuDS_Combinazione (c)
Volume totale (mm)



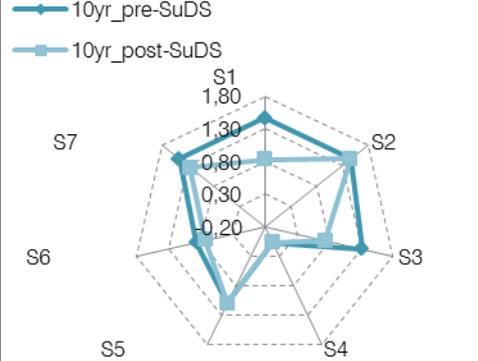
Scenario SuDS_Combinazione (c)
Portata massima (mc/s)



Scenario SuDS_Combinazione (c)
Portata massima (mc/s)



Scenario SuDS_Combinazione (c)
Portata massima (mc/s)



Scenario SuDS_Combinazione (c)
Portata massima (mc/s)

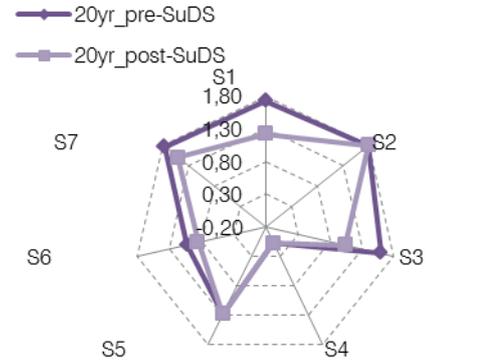


Figura 6.30 | c Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario uno, nella combinazione di tipo (c) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

In misura maggiore o minore, a seconda del sottobacino preso in considerazione e, quindi, del peso rivestito dalla componente edificata rispetto alla totalità del tessuto urbano, l'inclusione dei *rain barrels* si dimostra efficace nella riduzione sia dei volumi che delle portate al colmo.

Trattandosi di misure di controllo alla fonte che consentono la detenzione dei primi millimetri di pioggia precipitati (circa 5mm, 10 mm e 20 mm a seconda delle combinazioni (a), (b) e (c) simulate), esse funzionano alla stregua di piccoli invasi di laminazione, diffusi nei sottobacini.

Il significativo beneficio ottenibile da una capillare diffusione di queste SuDS, può essere messo in evidenza già a partire dalla misurazione, negli scenari di simulazione ipotizzati, del decremento che interessa sia i valori di volume totale di deflusso che quelli di portata massima, immessi nei nodi di recapito da ciascun sottobacino, rispetto allo scenario zero di riferimento, (rappresentativo della condizione attuale dove nessuna misura SuDS è adottata). In tal senso, quindi, i risultati contenuti nell' Appendice B9, descrivono come varia la risposta idrologica dei sottobacini interessati da azioni di *retrofitting* con SuDS. La Figura 6.31, in particolare, riassume gli esiti delle simulazioni per il tempo di ritorno dell'evento di pioggia di 5 anni.

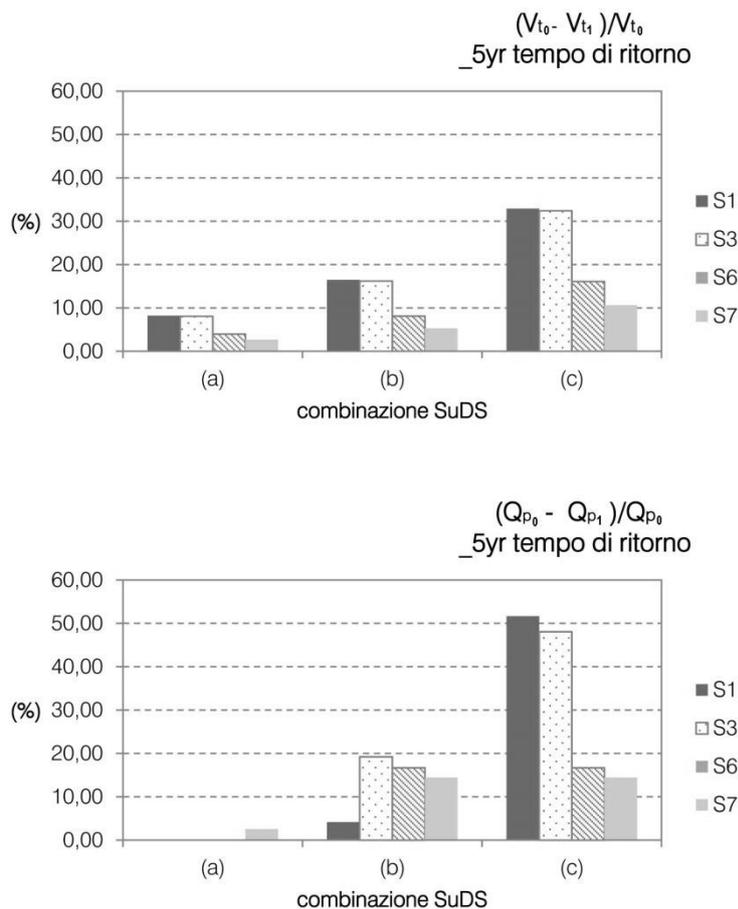


Figura 6.31 | Decremento percentuale dei volumi totali e delle portate massime con l'alternarsi delle combinazioni di tipo (a), (b) e (c) nello scenario uno, con riferimento ai sottobacini all'interno dei quali si è simulata la presenza dei SuDS. e per un tempo di ritorno dell'evento di pioggia di 5 anni

Garantire la detenzione di 1 m³ ogni 50 m² di superficie (combinazione (c)), ad esempio, permette una riduzione del volumi totali di deflusso che supera il 30% ed un abbattimento dei picchi di circa il 50%, almeno in due dei quattro sottobacini interessati dallo scenario di *retrofitting*.

Chiaramente, le *performance* delle misure SuDS, si ripercuotono sulla risposta complessiva del sistema-bacino e diminuiscono all'aumentare del tempo di ritorno.

Questo risultato conferma la necessità di immaginare strategie combinate per la gestione delle acque meteoriche durante eventi di natura estrema, per affiancare alle SuDS sistemi di controllo delle piene di tipo tradizionale che, evidentemente, non possono essere completamente sostituiti nella protezione dagli allagamenti più significativi e, quindi, con riferimento all'intero spettro degli eventi di pioggia (Qin et al. , 2013).

Le prestazioni delle SuDS, determinando un miglioramento significativo della risposta complessiva del sistema-bacino, possono essere lette anche e soprattutto in termini di modificazioni delle caratteristiche dell'allagamento. Infatti, i volumi sversati in superficie, in corrispondenza dei nodi in pressione risultano ridotti, determinando una modificazione dei parametri di altezza idrica e velocità di corrente nei rami della rete stradale.

In Appendice B.10 sono riportati i valori di H_{maxi} , V_{maxi} e $(HV)_{maxi}$ negli $i=3$ scenari di simulazione dei *rain barrels* e per un tempo di ritorno dell'evento di pioggia di 5 anni (da confrontare con H_{max0} , V_{max0} e $(HV)_{max0}$ ottenuti, per lo stesso tempo di ritorno, nello scenario rappresentativo delle condizioni dello stato di fatto (scenario zero) e riportati in Appendice B.8).

I parametri caratteristici dell'allagamento, scelti come indicatori di resilienza specifica del sistema-bacino, sono stati infine combinati in un indice complessivo **a** (di allagamento), riferito allo stesso bacino e calcolato nei tre scenari di simulazione SuDS corrispondenti alle combinazioni (a), (b) e (c) di integrazione dei *rain barrels* nel tessuto urbano.

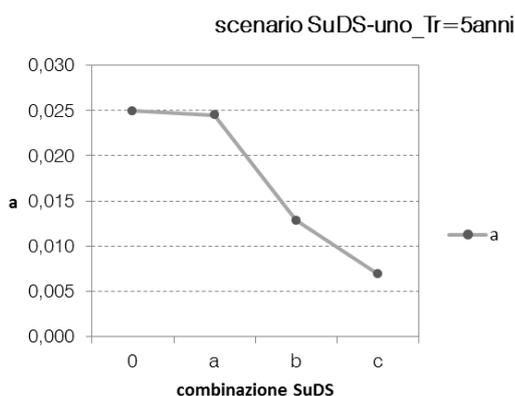


Figura 6.32 | Curva a ricavata a partire dai valori degli indici di allagamento calcolati nello scenario zero e nello scenario SuDS-uno

-combinazione (a):

$$a_1 = \frac{\sum_{j=1}^{164} (H_j V_j)_{max} \cdot L_j}{L_{tot}} = 0,024$$

-combinazione (b):

$$a_2 = \frac{\sum_{j=1}^{164} (H_j V_j)_{max} \cdot L_j}{L_{tot}} = 0,013$$

-combinazione (c):

$$a_3 = \frac{\sum_{j=1}^{164} (H_j V_j)_{max} \cdot L_j}{L_{tot}} = 0,007$$

Nello scenario zero lo stesso indice vale:

-combinazione (0):

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^{164} (H_j V_j)_{max} \cdot L_j}{L_{tot}} = 0,025$$

In Figura 6.32 è mostrata la curva ottenuta come esplicitato nel par.4.7.

6.6.3.3 Scenario due: tetti verdi (green roofs)

Per costruire lo scenario due si è proceduto ad integrare tramite la funzione “*lid control*” di SWMM i sistemi del tipo *green roofs* simulandone la presenza all’interno di tutti i sottobacini e secondo tre combinazioni possibili:

- (a) *green roofs* corrispondenti al 10% di conversione a verde pensile delle coperture di ciascun sottobacino
- (b) *green roofs* corrispondenti al 30% di conversione a verde pensile delle coperture di ciascun sottobacino
- (c) *green roofs* corrispondenti al 50% di conversione a verde pensile delle coperture di ciascun sottobacino

In particolare si è simulata la ripetizione all’interno del sottobacino di unità tutte uguali tra di loro con superficie pari a 50 m², in numero tale da rispettare le combinazioni (a), (b) o (c) ed impostando una percentuale di superficie impermeabile trattata dalle misure introdotte pari zero, assumendo che la copertura tratti solamente la pioggia precipitata su di essa (Rossman, 2010) (Fig.6.33). In appendice B.9 è riportata la tabella che riassume i parametri usati nella modellazione per simulare la stratigrafia di un tetto verde standard di tipo estensivo con strato colturale costituito da una miscela di lapillo, pomice e materiale organico e strato drenante anch’esso di materiale vulcanico (Gnecco, 2009). La stessa appendice riporta anche i risultati complessivi delle simulazioni (a), (b) e (c).

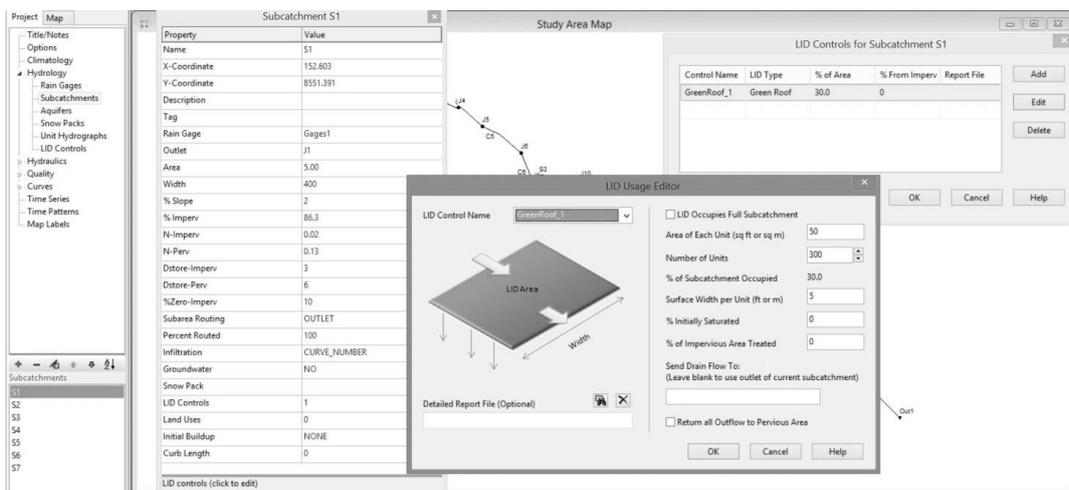
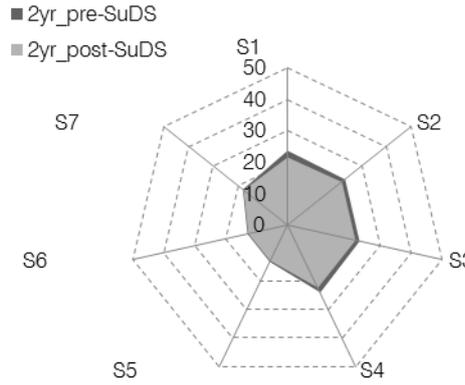


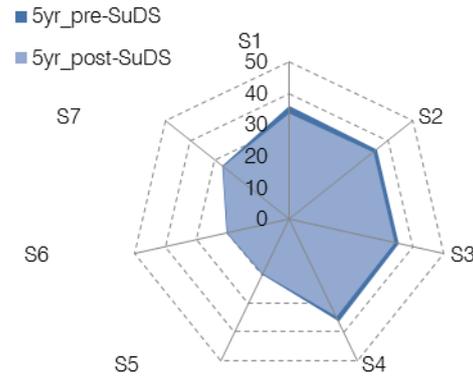
Figura 6.33 | Interfaccia SWMM per la modellazione dei *green roofs*

I risultati delle simulazioni rappresentati nei grafici di Figura 6.34, come per lo scenario uno, mostrano per ciascun sottobacino, nelle varie combinazioni di simulazione e con riferimento ai tempi di ritorno considerati, il confronto tra i valori di deflusso totale e picchi di portata generati a livello di sottobacino.

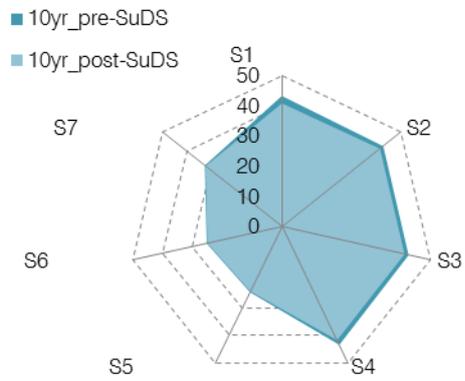
scenario SuDS_Combinazione (a)
Volume totale (mm)



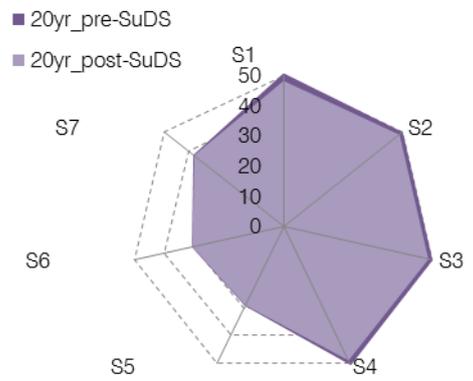
scenario SuDS_Combinazione (a)
Volume totale (mm)



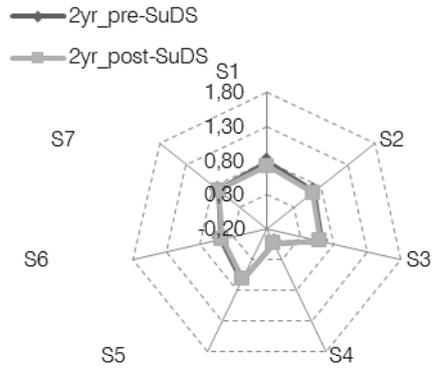
scenario SuDS_Combinazione (a)
Volume totale (mm)



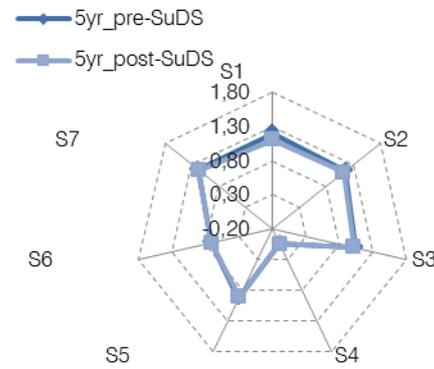
scenario SuDS_Combinazione (a)
Volume totale (mm)



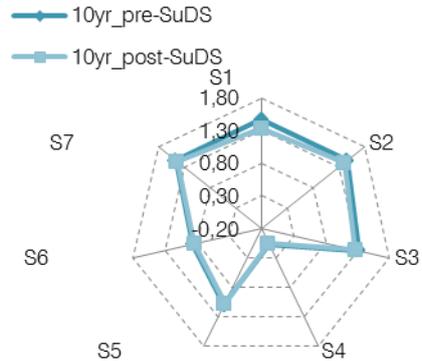
scenario SuDS_Combinazione (a)
Portata massima (mc/s)



scenario SuDS_Combinazione (a)
Portata massima (mc/s)



scenario SuDS_Combinazione (a)
Portata massima (mc/s)



scenario SuDS_Combinazione (a)
Portata massima (mc/s)

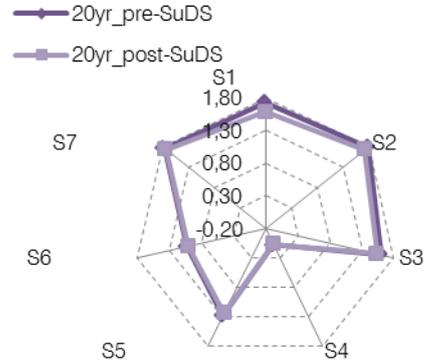


Figura 6.34 | a Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario due, nella combinazione di tipo (a) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

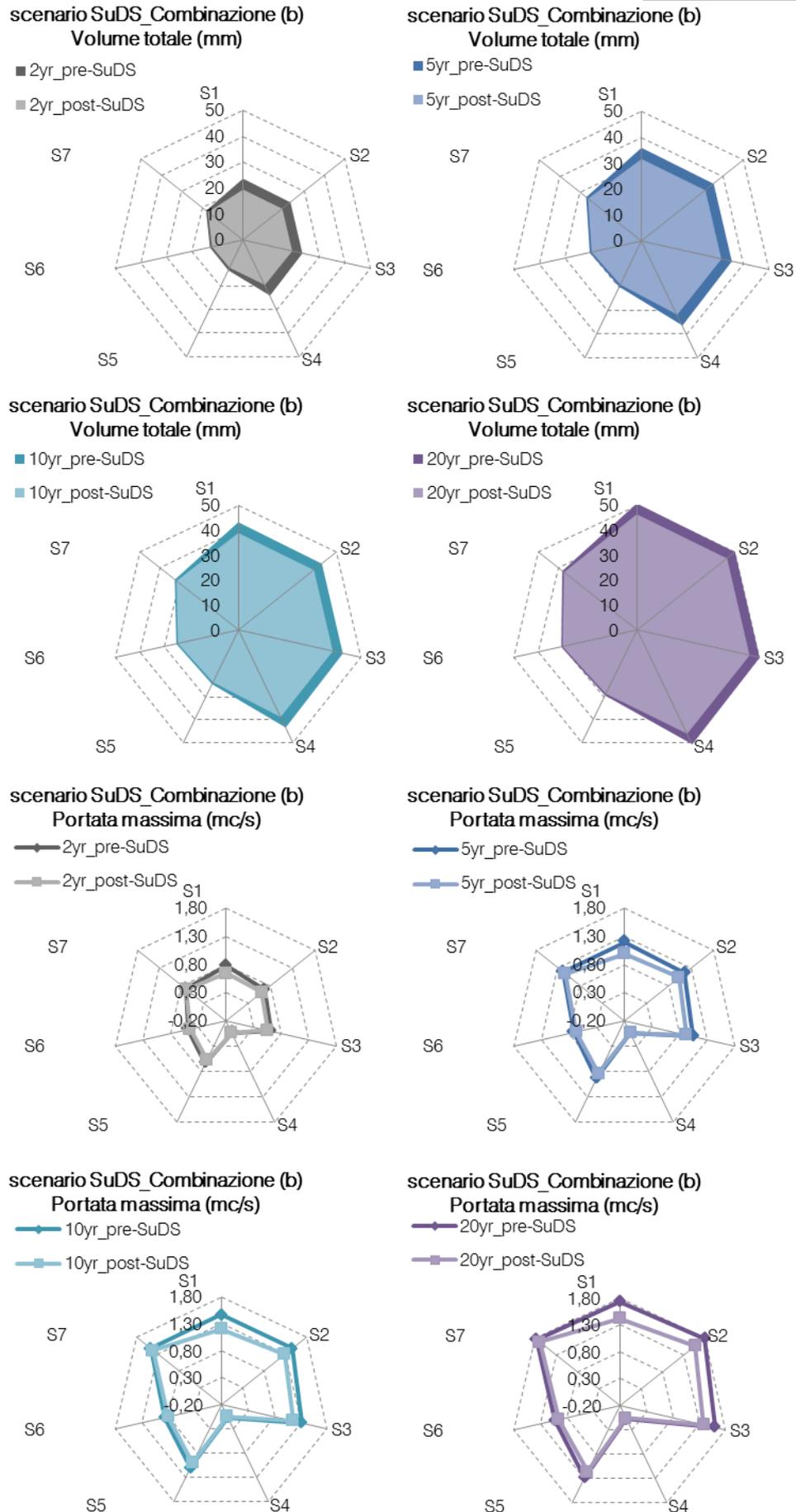
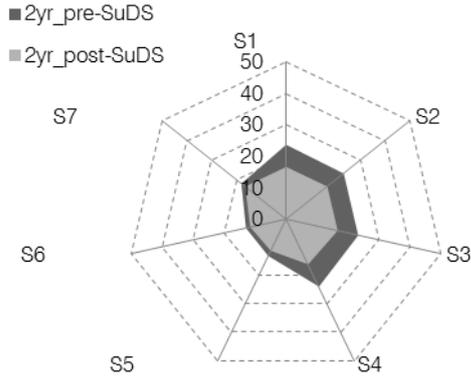
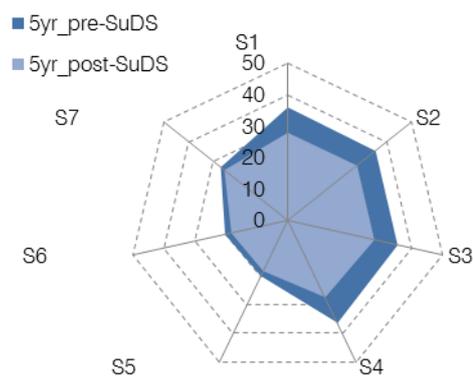


Figura 6.34 | b Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario due, nella combinazione di tipo (b) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

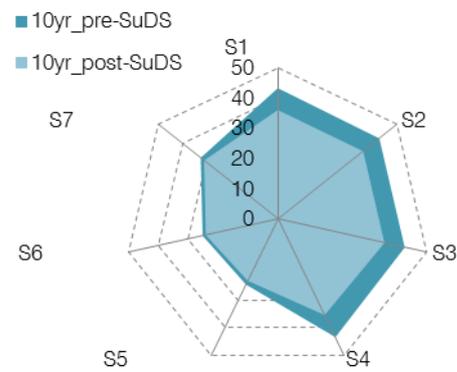
scenario SuDS_Combinazione (c)
Volume totale (mm)



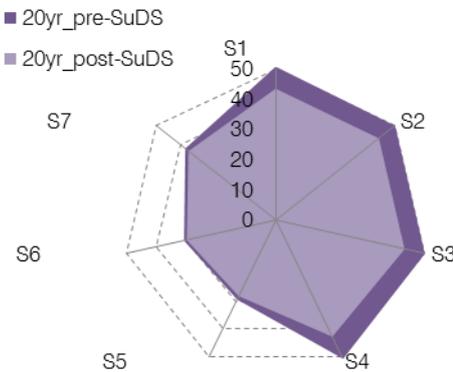
scenario SuDS_Combinazione (c)
Volume totale (mm)



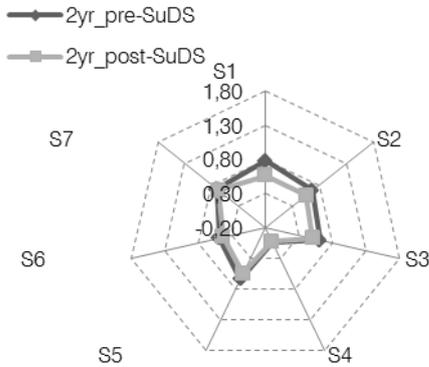
scenario SuDS_Combinazione (c)
Volume totale (mm)



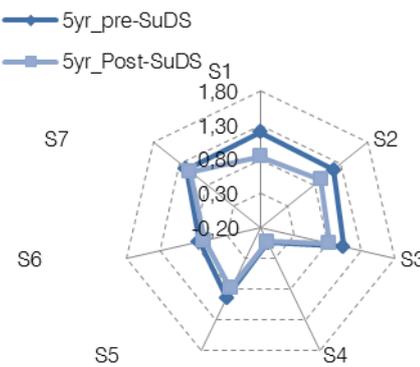
scenario SuDS_Combinazione (c)
Volume totale (mm)



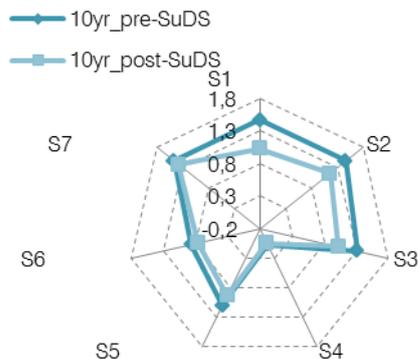
scenario SuDS_Combinazione (c)
Portata massima (mc/s)



scenario SuDS_Combinazione (c)
Portata massima (mc/s)



scenario SuDS_Combinazione (c)
Portata massima (mc/s)



scenario SuDS_Combinazione (c)
Portata massima (mc/s)

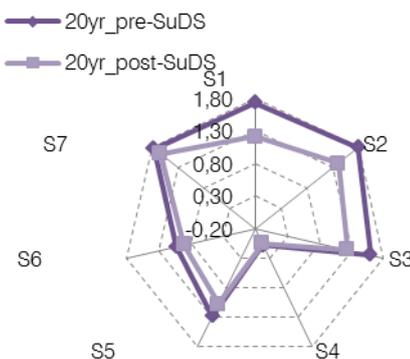


Figura 6.34 | c Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario due, nella combinazione di tipo (c) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

I grafici di Figura 6.35, per un tempo di ritorno dell'evento di pioggia pari a 5 anni, permettono la lettura dei risultati in termini di decremento dei valori di volumi totali di deflusso e delle portate massime, immessi nei nodi di recapito da ciascun sottobacino, rispetto allo scenario zero di riferimento, rappresentativo della condizione attuale. Le risposte idrologiche dei sottobacini, influenzate dalle prestazioni delle misure SuDS integrate, appaiono differire significativamente in funzione dei tempi di ritorno considerati oltre che, come prevedibile, della combinazione di scenario simulata. Riduzioni percentuali del volume totale di deflusso che raggiungono valori pari al 20% nel caso della combinazione (c) e per 5 anni di tempi di ritorno (sottobacino S1), diminuiscono bruscamente a meno del 10% nel caso della combinazione (a). Lo stesso tipo di trend si registra con riferimento all'abbattimento delle portate massime. Nello specifico, lo scenario due di *retrofitting* che interessa solo il 10% delle coperture, risulta inefficace nell'abbattimento, anche minimo, dei picchi di portata in uno dei sottobacini considerati (S4), i cui valori rimangono invariati per tutti i tempi di ritorno superiori ai 2 anni. Come già accadeva nello scenario uno la *performance* delle misure, diminuisce all'aumentare del tempo di ritorno.

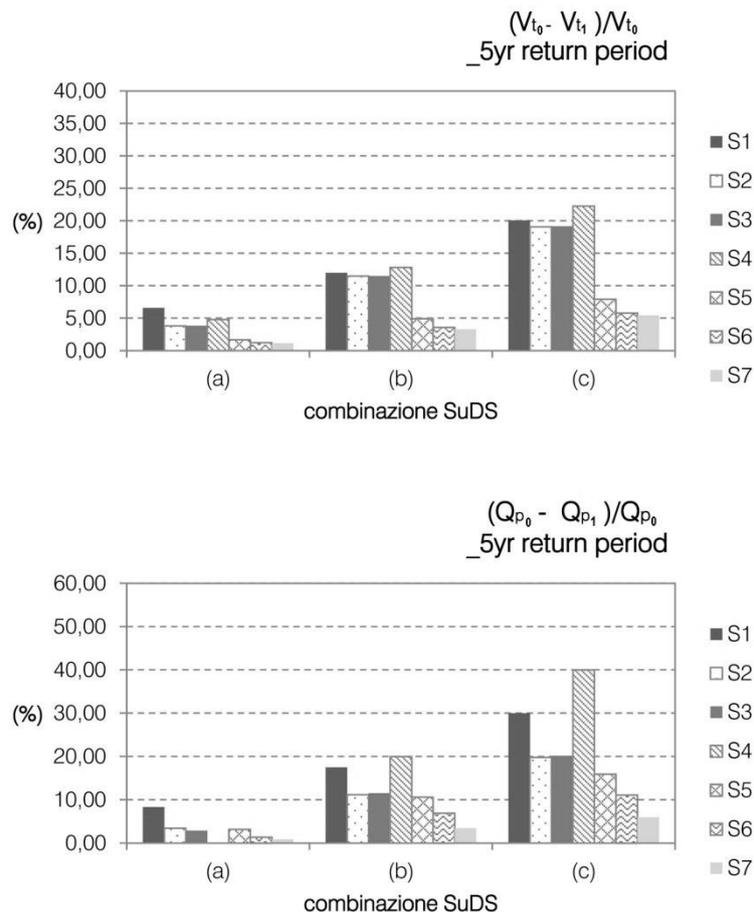


Figura 6.35 | Decremento percentuale dei volumi totali e delle portate massime con l'alternarsi delle combinazioni di tipo (a), (b) e (c) nello scenario due, con riferimento ai sottobacini all'interno dei quali si è simulata la presenza dei SuDS, e per un tempo di ritorno dell'evento di pioggia di 5 anni

Emerge, ancora una volta con chiarezza, la convenienza che si otterrebbe incentivando la diffusione massiccia delle pratiche SuDS all'interno dei sottobacini. I risultati confermano che le prestazioni ambientali di singole coperture a verde diffuse nel sistema-bacino sono significative ai fini di un efficace controllo della generazione dei deflussi superficiali, determinando un impatto complessivamente positivo sulla quantità dei deflussi meteorici rispetto al mantenimento delle condizioni dello stato di fatto (tessuti urbani con manufatti edilizi dotati di coperture tradizionali).

Come per lo scenario SuDS-uno, anche in questo caso le modificazioni alle caratteristiche dell'allagamento consistono in una riduzione dei volumi sversati in superficie, in corrispondenza dei nodi in pressione, con conseguenti variazioni dei parametri di altezza idrica e velocità di corrente nei rami della rete stradale.

In Appendice B.10 sono riportati i valori di H_{maxi} , V_{maxi} e $(HV)_{maxi}$ negli $i=3$ scenari di simulazione dei *green roofs* e, nuovamente, per un tempo di ritorno dell'evento di pioggia di 5 anni (da confrontare con H_{max0} , V_{max0} e $(HV)_{max0}$ ottenuti, per lo stesso tempo di ritorno, nello scenario rappresentativo delle condizioni dello stato di fatto (scenario zero) e riportati in Appendice B.8).

I parametri caratteristici dell'allagamento, scelti come indicatori di resilienza specifica del sistema-bacino, sono stati infine combinati nell'indice complessivo a (di allagamento), riferito allo stesso bacino e calcolato nei tre scenari di simulazione SuDS corrispondenti alle combinazioni (a), (b) e (c) di integrazione dei *green roofs* nel tessuto urbano.

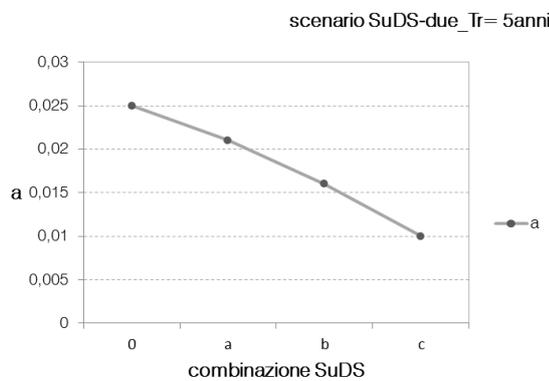


Figura 6.36 | Curva a ricavata a partire dai valori degli indici di allagamento calcolati nello scenario zero e nello scenario SuDS-due

-combinazione (a):

$$a_1 = \frac{\sum_{j=1}^{164} (H_j V_j)_{max} \cdot L_j}{L_{tot}} = 0,021$$

-combinazione (b):

$$a_2 = \frac{\sum_{j=1}^{164} (H_j V_j)_{max} \cdot L_j}{L_{tot}} = 0,016$$

-combinazione (c):

$$a_3 = \frac{\sum_{j=1}^{164} (H_j V_j)_{max} \cdot L_j}{L_{tot}} = 0,010$$

Nello scenario zero lo stesso indice vale:

-combinazione (0):

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^{164} (H_j V_j)_{max} \cdot L_j}{L_{tot}} = 0,025$$

In Figura 6.36 è mostrata la curva ottenuta come esplicitato nel par.4.7.

6.7 Discussione

6.7.1 Limiti degli approcci e delle scelte metodologiche

La metodologia applicata per la valutazione del profilo di risposta dei sistemi-bacino considerati e degli indicatori di resilienza specifica contiene inevitabilmente diversi gradi di libertà nella costruzione dell'approccio ed incertezze non eliminabili dovute ai dati di partenza su cui è stata costruita la modellazione, oltre che dovute ai limiti della modellazione stessa.

Non essendo disponibile alcuna elaborazione in termini di mappe di allagamento urbano o studi di simil natura, ai fini di una validazione, seppur di tipo qualitativo, diventa inevitabile preoccuparsi della ricerca di riscontri ai risultati ottenuti, ad esempio nella memoria storica dei professionisti tecnici coinvolti nel processo di revisione del Piano Regolatore, e degli abitanti durante gli incontri predisposti dall'amministrazione comunale per coinvolgere la cittadinanza nel processo, nell'ottica di garantirne lo svolgimento coerentemente a principi di natura partecipativa. Dati puntuali sulla morfologia e sugli assetti idrologici dei sistemi-bacino sono necessari ai fini di una modellazione sufficientemente accurata dei meccanismi di trasformazione afflussi-deflussi.

In questa ricerca, nata contestualmente al coinvolgimento nel processo di revisione del Piano Regolatore, si è approcciato un territorio complesso per il quale erano disponibili un insieme esiguo di dati grezzi, rendendo la fase di costruzione ed elaborazione delle analisi molto onerosa e complessa, certamente incompatibile con gli ordinari processi di gestazione dello strumento regolatore, e causando evidenti limiti di operatività. In particolare, la modellazione delle reti sotterranea e superficiale comporta la definizione di numerosi parametri per numerosi elementi componenti (Zellner et al., 2016), nonostante le inevitabili semplificazioni che un approccio alla scala urbana impone ai fini della simulazione dei processi idraulici nei sistemi di drenaggio duale.

Altro punto cruciale riguarda la costruzione e simulazione degli scenari SuDS per il *retrofitting* dei sistemi-bacino urbani, ad una scala utile per considerazioni della pianificazione urbana. Una rappresentazione e modellazione adeguate delle tecnologie SuDS in SWMM, è fondamentale per ottenere risultati attendibili (McCutcheon & Wride, 2013). Allo stato attuale, però, la disponibilità di studi e ricerche relative a questo aspetto è limitata ed il riferimento più importante rimane il Manuale di supporto agli utilizzatori del modello SWMM (*SWMM5 Applications Manual*) che fornisce alcune istruzioni indispensabili per la corretta modellazione dei sistemi SuDS attraverso le funzioni rese disponibili dal software. Nonostante il suo uso veramente assai diffuso, sono poche le informazioni che aiutano a sciogliere le più importanti criticità nella modellazione dei "*Lid Controls*" che riguardano essenzialmente le modifiche da apportare ai parametri caratteristici dei sottobacini (dopo l'integrazione delle SuDS), i meccanismi di abbinamento delle SuDS con i sottobacini e la complessità della loro rappresentazione stratigrafica. Infatti, questi sono tutti fattori importanti nella determinazione delle prestazioni idrologiche raggiunte e per capire come viene a modificarsi la risposta del sistema-bacino alla generazione dei deflussi superficiali

conseguenti l'evento di pioggia. In questa ricerca gli scenari SuDS sono costruiti non tanto per rispondere a obiettivi quantitativi specifici in relazione alle variabili considerate nelle valutazioni, quanto per esplorare il comportamento complessivo del sistema-bacino in termini di capacità di assorbimento e, quindi, resilienza, consentendo tra l'altro di verificare la riduzione dell'eccesso di deflusso che grava sul sistema nelle condizioni dello stato di fatto. In ragione di queste considerazioni, i valori dei parametri di input sono stati definiti sulla base di studi di letteratura (Palla, 2008; Qin et al., 2013), delle indicazioni manualistiche (Rossman, 2010) e della rispondenza a parametri progettuali assimilabili a quelli caratteristici di interventi in clima mediterraneo. Inoltre, per le stesse ragioni, l'analisi di sensitività non viene approfondita ma effettuata per soli scopi conoscitivi e di ricchezza di informazioni sul ventaglio di possibilità che la costruzione di scenari SuDS può contemplare.

E' scontato che, ai fini di una più dettagliata ed affidabile valutazione delle prestazioni idrologiche fornite dalle SuDS negli scenari ipotizzati, risultano indispensabili analisi di sensitività più dettagliate e relative a tutti i parametri di modellazione significativi, perché essi molto influenzano i risultati ottenuti sul controllo delle acque meteoriche e sulla risposta del sistema (Qin et al., 2013). Queste incertezze richiedono procedure di validazione dei risultati, possibilmente da basare su sperimentazioni *in situ*: avere a disposizione dati sperimentali, ricavati dopo la concreta progettazione e realizzazione della tecnologia SuDS nel contesto urbano di interesse, può facilitare la calibrazione dei parametri del modello e fornire risultati più realistici e affidabili. Come nel caso di questa ricerca, dove non sono disponibili dati sperimentali, valori di riferimento ed informazioni per il confronto dovrebbero ricavarsi dalla letteratura e da esperienze comparabili, difficili da rinvenire considerando i caratteri di estrema eterogeneità che contraddistinguono le ricerche nel settore.

Emerge con ancora più evidenza, la necessità del supporto di professionalità esperte che contribuiscano a validare le scelte metodologiche (McCutcheon & Wride, 2013) ed a interpretare i risultati in termini utili per le strategie di Piano.

Non secondario è poi l'aspetto che riguarda la mancanza di riferimenti in letteratura circa la simulazione di SuDS in contesto Mediterraneo, in particolare nelle regioni del Sud italiano. Esempi sperimentali come analisi di scenario o database delle *performance* SuDS in queste aree sono quasi del tutto assenti e rendono ancor più difficile procedere a confronti dei comportamenti dei sistemi-bacino perché la maggior parte dei riferimenti è relativa a contesti climatici e territoriali assai diversi e tradizionalmente più avvezzi alla progettualità propria delle infrastrutture verdi. Questo, ovviamente, entra in conflitto con la consapevolezza che le prestazioni dei SuDS sono sensibilmente dipendenti dai regimi pluviometrici e dalle specificità climatiche dei contesti (Lee et al., 2012).

Infine, molte delle esperienze riportate nella letteratura di riferimento scandagliano le prestazioni di singole soluzioni tecnologiche, mentre sono meno frequenti gli studi sull'influenza che esercita la diffusione di SuDS alla scala del bacino (Bacchin et al., 2013; Jarden et al., 2016).

6.7.2 Dalla ricerca al Piano

Trasversali al Piano Regolatore di Avola sono i temi della tutela ambientale, delle forme di regolazione delle trasformazioni degli usi del suolo, della partecipazione cittadina. Tutti, concorrono ad alimentare la produzione di sapere tecnico e di nuovi metodi per la gestione del Piano (Gaeta et al., 2013) tra cui abbiamo visto, in particolare, la perequazione dei diritti edificatori combinata a strategie di prevenzione del rischio di allagamenti urbani.

In particolare, il Piano di Avola, riprende dall'esperienza della revisione del Piano per Catania le logiche sottese alla definizione delle aree di perequazione e le assoggetta al rispetto della invarianza idraulica nella norma, ammettendone la sostanziale compatibilità con i livelli di pericolosità individuati nel PGRA e con quelli ricavati dagli studi effettuati in questa ricerca. Infatti, risultati di pericolosità non preoccupanti per i tempi di ritorno più bassi giustificano la scelta del piano di contemplare ulteriori trasformazioni seppur dietro determinate condizioni e, comunque associandole alla costruzione di norme e politiche orientate alla resilienza ed all'incentivazione dei SuDS.

Nel complesso, quindi, gli studi effettuati supportano la proposta di revisione del Piano per Avola che recepisce l'istanza della laminazione delle piene urbane e l'importanza di perseguire l'incentivazione dei sistemi di drenaggio sostenibile e del verde attraverso la norma urbanistica.

In tal senso, il Piano si propone di favorire o rendere obbligatoria l'applicazione di strumenti di compensazione e mitigazione, attuando forme di controllo dell'iniziativa privata (cui si affida, appunto, la realizzazione delle trasformazioni urbane nelle aree di perequazione), a cavallo tra approcci regolativi/prescrittivi e approcci basati su logiche di incentivo. Nello specifico, le trasformazioni urbane oltre ad essere regolate dall'applicazione della strategia GOUD (par.5.2.1) e del principio di invarianza idraulica (forma regolativa/prescrittiva), sono associate anche a meccanismi di *policy* specificamente volti alla mitigazione e all'adattamento dei rischi da cambiamento climatico, ed in particolare del rischio di allagamento urbano, attraverso incentivi di cubatura da assegnare secondo specifiche modalità descritte in norma.

Non potendo immaginare, infatti, di attivare politiche basate sullo scambio/compravendita di crediti di deflusso tra aree di perequazione (come proposto per il caso studio del bacino dell'Acquicella, par.5.5), data la specificità dell'insediamento di Avola tale che una sola o poche più aree di trasformazione ricadono all'interno dello stesso bacino urbano a cui gioverebbe l'attivazione di tali meccanismi per l'incentivazione dei sistemi SuDS, si è provato a discutere altri possibili meccanismi di politiche tali da attivare relazioni di mercato anche tra aree di trasformazione e aree già costruite (sempre all'interno dello stesso bacino urbano di appartenenza).

La finalità perseguita è, ovviamente, quella di incoraggiare i privati a condividere una visione strategica di futuro a partire dalla volontà di ripensare la città costruita.

Aumentare la capacità di resilienza specifica del sistema significherà in primo luogo agire sulla sua capacità di assorbimento e di recupero

(par.2.2.1), mitigando la pericolosità che è funzione dei parametri di allagamento ed associare a tali azioni di mitigazione altre azioni di adattamento volte a diminuire vulnerabilità ed esposizione delle aree urbane (par.2.2.2). Tuttavia, la singolarità di ogni contesto urbano fa sì che il comportamento individuale e collettivo nelle comunità insediate muti in funzione di esso, cosicché il livello ed il tipo di *retrofitting* effettivamente incentivabile varia sostanzialmente con i luoghi (Digman & Glerum, 2012); non soltanto per ostacoli intrinseci al sistema urbano dal punto di vista della sua componente di ambiente fisico, ma anche e soprattutto per le resistenze al cambiamento esercitate nella sfera sociale dall'interesse privato e, purtroppo, da una sostanziale e diffusa mancanza di adeguata percezione del rischio e di come esso possa variare ed impattare sulle aree urbane in funzione delle dinamiche future di sviluppo e di cambiamento climatico.

In tal senso, la sinergia che viene promossa tra gli strumenti di compensazione (obbligatori per rispettare la prescrizione di invarianza idraulica) e mitigazione (facoltativi ma incoraggiati tramite meccanismi di incentivo) lascia completa libertà progettuale agli attori, stimolati a raggiungere *performance* ambientali sempre maggiori per ricavare il più alto beneficio economico dai premi di cubatura che ad esse vengono fatti corrispondere.

Nel pensare i meccanismi di *policy* attuabili si è perseguito infatti l'obiettivo di promuovere azioni sperimentali basate su logiche flessibili che possano essere eventualmente e facilmente adattate al mutare delle condizioni al contorno ed alla luce di futuri mutamenti degli orizzonti di lungo termine della pianificazione di scala locale (Huitema et al., 2009). In particolare, nelle porzioni di città già edificate, dove è maggiormente auspicabile attivare manifestazioni di interesse da parte dei privati responsabili dell'attuazione delle aree di perequazione, la norma incoraggia, attraverso premi volumetrici, alla sottoscrizione di accordi per l'attuazione dei progetti di *retrofitting* urbano. Ancora, per introdurre ulteriori elementi di flessibilità, agli attori che non abbiano voluto o potuto ottenere il premio tramite accordo con i proprietari nelle aree consolidate fuori dai perimetri di perequazione, l'amministrazione locale permette l'acquisto degli incrementi di cubatura (entro valori massimi stabiliti) nell'ottica di finanziare un fondo per l'erogazione di contributi ai progetti di mitigazione e adattamento volontario, da destinare, ad esempio a specifiche aree ad alto rischio.

6.7.3 Nella norma del Piano Regolatore

Il principio di invarianza idraulica viene introdotto in principio di norma all'art.2 delle NTA-Norme Tecniche di Attuazione del Piano Regolatore di Avola che obbliga al "rispetto del principio di invarianza idraulica per tutto il territorio comunale" e "prescrive che gli interventi di trasformazione urbanistica debbano compensare gli effetti idraulici dell'impermeabilizzazione del suolo, mediante l'applicazione dei principi e dei metodi del drenaggio urbano sostenibile. Il PRG prescrive il rispetto di tale principio anche per le aree già urbanizzate, oggetto di interventi di ristrutturazione o ricostruzione di tutto o parte dell'edificato, in ottemperanza

a quanto stabilito dall'art. 5 delle Norme di Attuazione del vigente Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), di cui al Dgls 23 febbraio 2010 n. 49 "Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni", adottato con DPRS del 18 febbraio 2016 recante "Adozione del progetto del Piano di gestione del rischio alluvioni della Sicilia" (GURS n 11 del 11/03/2016)" specificando, al contempo al comma 1, che i principi di cui allo stesso art.2 trovano particolare applicazione nei meccanismi di attuazione degli ambiti di perequazione AP". Al successivo art.63, infatti, la norma specifica che "negli ambiti da urbanizzare per nuovi insediamenti (Ambiti di perequazione – AP), gli interventi devono rispettare le indicazioni finalizzate al miglioramento delle prestazioni ambientali. Nel programmare l'attuazione dei comparti di nuova urbanizzazione, deve essere preventivamente verificato che le condizioni dettate possano essere rispettate, prevedendo, ove del caso, il coordinamento temporale fra gli interventi da realizzarsi da parte dei soggetti attuatori privati e le opere da realizzarsi da parte degli Enti pubblici o delle Aziende che gestiscono servizi di pubblica utilità.

-Ciascun nuovo insediamento è attuabile a condizione che il rispetto del principio di invarianza idraulica venga asseverato tramite "certificazione idraulica" redatta da un tecnico abilitato, competente ai sensi di legge. Tale certificazione dovrà comprendere come contenuti minimi: la valutazione dei volumi e delle portate di piena generate dagli ambiti di trasformazione; l'elenco ed il progetto di massima delle opere di laminazione, ferma restando la facoltà, per i soggetti attuatori, di scegliere le tecnologie più convenienti per garantire il raggiungimento della prestazione prescritta; la dimostrazione del rispetto del principio di invarianza idraulica tramite valutazione comparativa tra lo scenario di post-urbanizzazione e lo scenario di pre-urbanizzazione; il progetto degli impianti di scarico ed eventuale depurazione e/o riuso delle acque. La certificazione idraulica deve essere resa nella forma della perizia giurata.

-Le caratteristiche dimensionali e funzionali dei sistemi di invaso delle acque bianche sono stabilite, secondo il criterio dell'invarianza idraulica, in accordo con il servizio competente dell'ufficio tecnico comunale, con il quale devono essere preventivamente concordati anche i criteri di gestione. In particolare, nelle nuove edificazioni e trasformazioni del territorio, l'invarianza idraulica può essere ottenuta mediante opere diffuse di laminazione delle piene finalizzate, sia alla riduzione della portata al colmo sia all'allungamento del tempo di concentrazione del bacino urbano in cui vengono realizzate. Qualora le caratteristiche dei suoli e delle falde lo consentano, gli interventi proposti a garanzia dell'invarianza idraulica, possono contribuire anche a smaltire localmente una parte dei deflussi meteorici per infiltrazione nel terreno, al fine di non incrementare gli apporti d'acqua piovana al sistema di smaltimento e di favorire il riuso della risorsa idrica.

-Lo smaltimento delle acque deve prevedere, in ogni caso, la separazione delle acque nere dalle acque bianche. Tali sistemi di raccolta, ad uso di una o più zone da urbanizzare, devono essere localizzati in modo tale da raccogliere le acque piovane prima della loro immissione nel corpo idrico ricettore.

-*Omissis*".

Inoltre l'art.64 interviene a regolamentare le politiche di incentivo promosse “nell'ottica di favorire il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità e resilienza territoriale, con riferimento specifico ai rischi di natura ambientale tra cui, in particolare, quello relativo agli allagamenti superficiali in area urbana” specificando che “nell'attuazione degli AP [...] il PRG prevede forme di incentivo ai soggetti attuatori che intendono adottare misure di mitigazione ed adattamento aggiuntive rispetto a quelle obbligatorie, di cui all'art. 63 da attuare ai fini dell'invarianza idraulica che costituiscono obbligo per l'approvazione dell'intervento proposto. In particolare, all'interno di ciascun AP, è prevista la possibilità di allocare l'incentivo in termini di premio di cubatura, fino ad un massimo incremento del 20%, da attribuire al soggetto attuatore dell'intervento che ne faccia richiesta”.

Tale incentivo è stabilito proporzionalmente alla prestazione di abbattimento delle portate massime e/o di riduzione dei volumi ottenuta grazie all'impiego delle misure adottate, secondo i seguenti criteri:

- a) proporzionalmente alla prestazione delle misure impiegate all'interno della stessa area di perequazione;
- b) proporzionalmente alla prestazione delle misure impiegate da soggetti esterni alle aree di perequazione che, dietro pagamento da parte del consorzio attuatore degli AP, presentino all'ufficio tecnico comunale progetti di mitigazione/adattamento nelle rispettive proprietà, purché queste ricadano all'interno del bacino urbano di afferenza della AP che ha finanziato il progetto;
- c) proporzionalmente al pagamento di una quota che servirà alla costituzione di un “fondo comunale per la mitigazione e l'adattamento”; questo fondo, vincolato negli scopi, potrà essere utilizzato dall'amministrazione comunale esclusivamente per gli interventi di mitigazione/adattamento degli edifici pubblici o per sovvenzionare progetti privati volti alla stessa finalità.

Il comma di norma precisa che “nei casi di cui alle lettere a) e b), la prestazione per l'attribuzione dell'incentivo è valutata in termini di miglioramento percentuale delle prestazioni idrauliche rispetto ad una condizione di riferimento, individuata in contraddittorio con l'Ufficio tecnico competente. In particolare, nel caso a) la condizione di riferimento equivarrà allo stato di progetto dell'area di perequazione già completo delle opere ai fini dell'invarianza idraulica; nel caso b) la condizione di riferimento equivarrà allo stato di fatto”.

L'esatta percentuale viene stabilita in sede di approvazione del progetto, utilizzando un criterio di proporzionalità lineare.

L'applicazione dell'incentivo è subordinata alla presentazione di un dettagliato progetto comprendente una relazione con i contenuti della relazione idraulica di cui all'art. 63, che farà parte del progetto per la attuazione della AP e della relativa convenzione.

Nel caso in cui alla lettera b) l'utilizzazione dell'incentivo è subordinata alla stipula di impegni formali da parte dei soggetti esterni che si impegnano a

realizzare le opere di mitigazione/adattamento, da stipulare nelle forme e con le garanzie di legge.

Nei casi di cui alla lettera c) l'importo da corrispondere per accedere all'incentivo volumetrico viene stabilito con delibera di Consiglio Comunale in base alle risultanze di un dettagliato studio economico estimativo.

In sede di attuazione degli AP, il consorzio potrà richiedere un'attribuzione dell'incentivo seguendo criteri diversi da quello di riduzione delle portate massime o dei volumi totali recapitati, qualora i soggetti cui esso fa capo ritengano e argomentino che le minori prestazioni idrauliche garantite dalle soluzioni progettuali proposte, rispetto ai valori indicati nella tabella di cui al comma 3 siano compensate dalla fornitura di servizi eco-sistemici di altro tipo ma di alto valore (biodiversità, qualità delle acque, aspetti ricreativi e di aggregazione sociale). La valutazione di tali misure alternative sarà effettuata dall'Ufficio Tecnico competente sulla base delle direttive che verranno approvate dal Consiglio Comunale e in funzione delle risultanze di un dettagliato studio specialistico redatto da esperti nel campo dei servizi eco-sistemici.

6.7.3.1 L'area di perequazione AR_3

L'ambito di perequazione a vocazione residenziale denominato AR_3 viene collocato dal PRG sulla via Giuseppe Piccione, all'interno del sistema-bacino G (analizzato nei par. 6.6.1 e 6.6.2 e preso ad esempio per la simulazione degli effetti indotti dall'impiego di misure SuDS opportunamente selezionate).

La scheda norma associata a tale ambito, indica le percentuali di volumi edilizi da attribuire alla vocazione prevalente e la quota di volume edilizio residua, che potrà essere destinata ad altre funzioni compatibili. La stessa scheda definisce e contiene indici e parametri urbanistici che governano le modalità di attuazione di iniziativa dei privati riuniti in consorzio. La tabella 6.4 elenca alcuni di questi indici e parametri, utili ai fini di ulteriori considerazioni sui meccanismi di *policy* pensati ed introdotti in norma, e sui loro effetti in termini di potenziali azioni di *retrofitting* nel tessuto urbano consolidato.

Ipotizzando, infatti, che il volume edilizio incentivato in ragione di azioni di mitigazione e adattamento venga interamente riconosciuto al consorzio di privati attuatori del suddetto ambito AR_3, si è voluto procedere ad una valutazione economica di massima, e semplificata, della sostenibilità delle azioni di *retrofitting* da parte dei soggetti attuatori individuati. A tale scopo, è stato riportato in tabella 6.5 il valore di mercato attribuito alle abitazioni civili secondo le informazioni contenute nella Banca Dati delle quotazioni immobiliari, fornita, per ciascun comune italiano, dall'Osservatorio del Mercato Immobiliare della Agenzia delle Entrate.

L'incremento di cubatura concesso nell'area AR_3 genererebbe un utile pari massimo al 30% del valore di mercato stimato. Parte di questo utile, però, servirebbe a coprire il costo materiale di realizzazione delle misure di mitigazione scelte per il *retrofitting* nelle aree consolidate, condizione necessaria essa stessa a generare l'incentivo detto.

Tabella 6.4|Parametri volumetrici desunti dalla “Scheda Norma” dell’ambito di perequazione AR_3; (da: Piano Regolatore Generale di Avola, 2016)

Area di Perequazione AR_3 Via G.Piccione

VU-Volume utile [mc]		12664,3
VUR-Volume utile residenziale [mc]		8864,98
VUD-Volume utile altre destinazioni [mc]		3799,28
VRE-Volume residenziale esistente [mc]		504,00
VDE-Volume esistente per altre destinazioni [mc]		0,00
VID-Volume incentivato da demolizioni [mc]	100%(VRE+VDE)	1008,00
VMA- Volume incentivato da mitigazione e adattamento [mc]	20%(VU+VID)	2734,45
VTC- Volume incentivato da trasferimento cubatura [mc]	20%(VU+VID+VMA)	3281,3
VI- Volume complessivo da incentivi [mc]	VID+VMA+VTC	7023,79
VT- Volume totale [mc]	VU+VI 70% VT =VTR- Volume totale residenziale 30%VT=VTD- Volume totale per altre destinazioni	19688,10 13781,64 5906,42

Tabella 6.5|Banca dati delle quotazioni immobiliari nella fascia “Semicentrale”/Zona C2-“fontana-pian di bosco-lido-naca-mare vecchio-vie d`agata-moro-m.polo-tevere-azzolini-mille-s.martino-turati-fermi”; (da: Agenzia delle Entrate, Osservatorio del Mercato Immobiliare, 2016)

Tipologia (destinazione residenziale)	Stato conservativo	Valore di mercato [€/m ²]* *sup.lorda		Valori di locazione [€/m ² per mese]* *sup.lorda	
		min	max	min	max
Abitazioni civili	normale	770	1100	3,2	4,6
Abitazioni di tipo economico	normale	650	870	2,6	3,4
Box	normale	450	600	1,6	2,3
Ville e villini	normale	1050	1400	4,2	5,4

In tal senso, la tabella 6.6 riporta, schematicamente, i risultati trovati ipotizzando che, i privati attuatori dell’ambito in esempio, intervengano nel tessuto urbano consolidato del sistema-bacino G, dove possibile, con azioni di mitigazione consistenti nella conversione delle coperture tradizionali degli edifici in tetti verdi. Rispetto a questi ultimi, per semplicità e considerando che analisi economiche di dettaglio esulano dagli scopi precisi di questa ricerca, si assume un costo medio di realizzazione (copertura verde di tipo estensivo (par.6.6.3.2)) compreso tra i 40 €/m² e i 70 €/m².

La percentuale di superficie coperta su cui sarebbe possibile intervenire in termini di *retrofitting*, viene così calcolata in funzione della minore o maggiore percentuale di utile (generato unicamente dall’incremento di cubatura nell’area AR) impiegata per coprire il costo di costruzione dei tetti verdi, scelti quali misura di mitigazione e adattamento.

Tabella 6.6 | Valutazione economica semplificata della sostenibilità delle azioni di *retrofitting* da parte dei soggetti attuatori dell' ambito di perequazione considerata

Incremento max di cubatura	Valore di mercato [€/m ²]	Valore di mercato [€/m ³]		Utile del soggetto attuatore/promotore [€/m ²]	Utile del soggetto attuatore/promotore [€/m ³]	Utile del soggetto attuatore/promotore [€]	Costo medio del tetto verde (tipo estensivo) [€/m ²]
2734,5	1100,00	366,67	30%	330,00	110,00	300.789,50	55,00
			20%	220,00	73,33	200.526,33	
			10%	110,00	36,67	100.263,17	
			5%	55,00	18,33	50.131,58	
Utile impiegato per il retrofitting [€]		Utile residuo [€/m ³]	Superficie di tetto verde finanziata [m ²]	Superficie coperta convertita con interventi diffusi nell'intero bacino [%]		Superficie coperta convertita (interventi nell'ambito di un solo sottobacino) [%]	
5%	50.131,58	91,67	911,48	G	0,64		
						S1	3,06
						S2	2,21
						S3	2,63
						S4	66,57
						S5	6,12
						S6	10,30
						S7	7,51
10%	100.263,17	73,33	1822,97	G	1,28		
						S1	6,12
						S2	4,42
						S3	5,27
						S4	>100%
						S5	12,25
						S6	20,60
S7	15,01						
20%	200.526,33	36,67	3645,93	G	2,55		
						S1	12,23
						S2	8,85
						S3	10,53
						S4	>100%
						S5	24,49
						S6	41,20
S7	30,02						
30%	300.789,50	0,00	5468,9	G	3,83		
						S1	18,35
						S2	13,27
						S3	15,80
						S4	>100%
						S5	36,74
						S6	61,80
S7	45,03						

In ciascuno degli scenari considerati, a fronte di un incremento di superficie coperta nel bacino nullo (l'incremento di cubatura permesso nell'ambito di perequazione, infatti, genera soltanto aumenti di altezza massima dei corpi di fabbrica e non incrementi di superficie coperta rispetto a quella generata dal plafond perequativo nella AR stessa, già compensata, tra l'altro, dalla norma che impone il rispetto del principio di invarianza idraulica), si ottiene una percentuale di conversione delle coperture tradizionali in tetti verdi. Tale percentuale, pur non pesando in modo sostanziale sul totale della superficie coperta dell'intero bacino G, è

comunque significativa proprio perché generata dalle sole aree di perequazione, le quali di per se stesse non possono per norma essere responsabili di incrementi delle portate massime recapitate ai corpi ricettori.

Inoltre, emerge con forza l'interesse che potrebbe rivestire l'intero meccanismo se il soggetto attuatore della AR riuscisse a finalizzare il finanziamento del *retrofitting* per intero nell'ambito di uno stesso sottobacino e, preferibilmente, dove i risultati del profilo di risposta e delle caratteristiche dell'allagamento indicano la necessità di una priorità di intervento.

In tal senso, tra l'altro, risulterebbe di immediata utilità, fare riferimento alla curva **a** (par.4.7) costruita partendo dai risultati delle simulazioni degli scenari di integrazione delle SuDS. Infatti, una volta definito lo scenario SuDS per il *retrofitting* del sistema-bacino di interesse (nota cioè la percentuale di superficie del bacino da convertire e/o trattare tramite l'impiego delle misure SuDS), è possibile, seppur indirettamente, risalire al valore dell'indice a_i corrispondente, avendo contezza dell'effetto generato dalle azioni di mitigazione simulate sui parametri caratteristici dell'allagamento.

Nel caso specifico di questo esempio, la curva ricavata nel par.6.6.3 per il sistema-bacino G dopo la modellazione degli scenari del tipo *green roofs*, potrebbe essere ora convenientemente usata per evidenziare il contributo fornito dallo generico scenario *k* dettato dai casi della tabella 6.6 (superficie del bacino G convertita allo 0,64%, all'1,28%, al 2,55% o al 3,83%, in funzione del rapporto tra la percentuale di utile ottenuta dall'incentivo di cubatura e quella impiegata per coprire i costi di realizzazione del *retrofitting*) alla variazione dell'indice a_i (Fig.6.37).

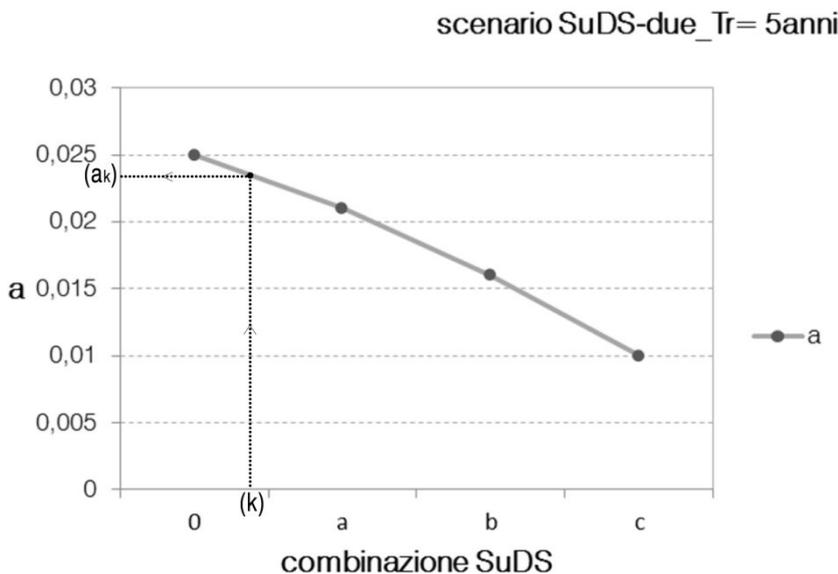


Figura 6.37 | Individuazione dei punti corrispondenti alla percentuale di superficie coperta convertita in tetti verdi nel generico caso k sulla curva a nello scenario SuDS-due e dei corrispondenti valori dell'indice a_k

6.7.4 Sviluppi futuri

La definizione del profilo di risposta e degli indicatori di resilienza specifica dei sistemi-bacino urbano basate, rispettivamente, sulla misurazione e sulla mappatura di variabili significative (volumi totali e portate massime di deflusso dei sottobacini, portate massime nelle condotte della rete di smaltimento, volumi di allagamento nei nodi del sistema di drenaggio), e sulla misurazione e mappatura dei parametri caratteristici degli allagamenti superficiali (altezze idriche e velocità di corrente), se estesa a tutto l'insediamento urbano, può divenire strumento utile nel sistema di supporto alle decisioni per la scelta delle politiche urbane da coniugare al progetto di Piano.

Gli amministratori locali, se in possesso degli studi sulla resilienza specifica di tutti i sistemi-bacino e dei risultati delle analisi di scenario SuDS, disporrebbero di strumenti conoscitivi tali da poter individuare zone a priorità o convenienza di intervento ("*resilience priority zoning*") sulle quali dirigere l'iniziativa privata, dietro l'attribuzione di più alte percentuali di incentivo e comunque all'interno dello spazio di manovra stabilito già nella norma.

Il processo di selezione e la valutazione dell'idoneità delle politiche per la mitigazione o l'adattamento è, infatti, un tradizionale dilemma per pianificatori ed esperti di politiche locali (Mees et al., 2014). In tal senso, la ricerca non può che presentarsi come incompleta e parziale. Individuate attraverso i processi di costruzione di scenari SuDS e le loro simulazioni quelle aree a tessuto consolidato su cui convergono necessità ed idoneità di intervento, futuri approfondimenti andrebbero certamente orientati ad indagare procedure metodologiche di analisi multicriteria, per la selezione del meccanismo di *policy* (o della combinazione di meccanismi) più adatti da applicare nell'ambito del sistema o, potenzialmente, anche tra sistemi diversi, ai fini della mitigazione e dell'adattamento e, quindi, della resilienza.

In particolare, uno dei limiti della ricerca risiede nell'assenza di specifici studi di natura economico-estimativa, utili a contestualizzare le proposte rispetto alle specificità locali dei contesti, anche nell'ottica dell'ottimizzazione dei costi-benefici (Mees et al., 2014).

Proprio con riguardo agli aspetti economici, tali approfondite analisi di fattibilità dei meccanismi ipotizzati, andrebbero condotte prima che essi vengano proposti in abbinamento alle fasi attuative del Piano. L'interesse economico è ancora, robustamente, la principale delle leve per indurre i privati all'azione, per cui occorrerebbe procedere a simulazioni ad orizzonti temporali crescenti per verificare che i meccanismi di mercato prefigurati possano davvero essere innescati, ed indagare come le fluttuazioni nei costi di progettazione, realizzazione, manutenzione dei SuDS e nei costi-opportunità, possano ostacolare l'attivazione del processo influenzando gli utili dei promotori.

Ancora, ma non infine, ricerche ulteriori nell'ambito delle barriere e degli ostacoli alla diffusione delle misure SuDS, potrebbero essere affrontate a partire da studi di caso, confrontando contesti territoriali diversi, le loro architetture istituzionali e le trame sociali, gli apparati legislativi e normativi ed i dispositivi di piano, per cercare sovrapposizioni e differenze, e distillare fattori di successo e di insuccesso per caratterizzare i reali processi di

governance e capire come intervenire con la pianificazione e progettazione urbana anche in contesti tradizionalmente lontani dalla filosofia delle infrastrutture verdi e del drenaggio urbano con sistemi più sostenibili.

Agli stessi scopi gioverebbero costanti processi di monitoraggio delle ricadute degli strumenti di pianificazione (i Piani) e dei meccanismi di politica locale sulle realtà territoriali, verificando il livello di raggiungimento degli obiettivi strategici prefissati e le opportune azioni correttive, accettando di rinunciare alle rigidità delle forme di Piano più tradizionali e valutando la possibilità di sperimentare forme alternative caratterizzate da maggiore flessibilità.

Conclusioni

Riportare la trattazione della valutazione e mitigazione dei rischi urbani e territoriali nell'ambito delle ricerche disciplinari della pianificazione territoriale, arricchisce di contenuti il Piano nell'ottica di rafforzare il suo ruolo di *meta-strumento*, cioè strumento omnicomprensivo di governo del territorio, forma di coordinamento di strumenti di diversa funzione e natura (Lascombes & Le Gales, 2009). Il molteplici fronte di orientamenti, denominazioni e articolazioni degli strumenti regolatori ha fatto sì che le leggi regionali interpretassero autonomamente la continuità con il Piano Regolatore Generale della Legge n.1150 del 1942, aprendo un ventaglio di forme del piano urbano utili a cogliere le particolarità dei territori.

Trasversali a tali diverse forme, frutto degli orientamenti legislativi, sono i temi della tutela ambientale, delle forme di regolazione delle trasformazioni degli usi del suolo, della partecipazione cittadina. Tutti, concorrono ad alimentare la produzione di sapere tecnico e di nuovi metodi per la gestione del Piano (Gaeta et al., 2013).

Nonostante sia innegabile che le nuove istanze avanzate dalle città del rischio stiano lentamente percolando nei piani che, in casi sempre più numerosi, si mostrano pronti a recepirle al livello tanto strategico quanto operativo, non è altrettanto scontato che apparati metodologici arricchiti di contenuti ed un maggior approfondimento del livello di conoscenza ad uso degli attori responsabili dei processi di trasformazione delle città, producano sostrati di informazione automaticamente in grado di orientare realisticamente le scelte attorno cui costruire un consenso effettivo (par.1.1) e di incidere efficacemente sui modi di produzione e consumo territoriale individuali come collettivi (par.3.3).

D'altronde, la possibilità di basare le decisioni razionali sulla costruzione di un'ampia condivisione, aiuta a scongiurare i pericoli di Piani disegnati dall'alto, destinati a non vedere la luce della loro applicazione a causa di derive di tecnocrazia (Lober, 1995).

L'approccio di questa ricerca nasce proprio dalla volontà di "sperimentare" le possibilità di ampliamento della base conoscitiva dello strumento regolatore e da queste costruire "binari di transito" verso meccanismi di politiche urbane locale e di pratiche progettuali che,

normalmente, rischiano di rimanere costrette all'interno di una condizione di straniamento dalla produzione di conoscenza stessa.

I pezzi della città fragile dovrebbero perdere la loro neutralità allo sguardo dell'urbanista le cui determinazioni, a loro volta, dovrebbero plausibilmente risultare non più indifferenti rispetto agli esiti delle analisi conoscitive.

Il contributo fornito dalle scienze idrologiche ed idrauliche, confluito nello studio della risposta dei sistemi-bacino urbani agli eventi meteorici, grazie all'uso di mezzi modellistici, se da un lato viene assimilato e tradotto in procedure per la valutazione della compatibilità ambientale delle trasformazioni di Piano allo scopo di orientarne il disegno o, comunque, renderlo compatibile rispetto gli assetti territoriali esistenti, evitando o minimizzando la loro compromissione e quella degli ecosistemi, dall'altro amplia le vedute sulle politiche di indirizzo di pratiche urbane virtuose, a partire dalle specifiche caratteristiche territoriali, tra cui quelle di resilienza. In quest'ottica, l'approccio interdisciplinare più volte richiamato, si coglie come risorsa irrinunciabile, finalizzata anche al superamento dei limiti operativi legati al concetto generico di sostenibilità, per progettare concretamente, attraverso gli strumenti regolatori, la città della resilienza.

Il concetto di resilienza, infatti, può definirsi utile alla pratica della pianificazione urbana se le sue declinazioni supportano, contestualmente alla produzione di nuova conoscenza ed informazione, un processo di costruzione di consapevolezza e un rinnovamento di atteggiamenti concettuali e culturali. Questi, innescando nuovi orientamenti nell'organizzazione e nell'uso territoriale, sono determinanti per indurre modificazioni a livello comportamentale umano e nell'iniziativa privata.

Da una parte, il concetto di resilienza si carica di accezioni positive, che si contrappongono a quelle peculiari gravitanti attorno alle questioni sul rischio, pur essendo ad esse incontrovertibilmente legato. Se il rischio è generalmente associato alla valutazione degli impatti degli eventi disastrosi, delle perdite umane ed economiche, indagando fattori quali la vulnerabilità territoriale e combinando ad essa le informazioni sulla pericolosità e sull'esposizione degli oggetti territoriali, la resilienza si associa ad un ribaltamento di prospettiva ed incoraggia, piuttosto, ad individuare le proprietà dei sistemi urbani che contribuiscono a rafforzarla, e ad indagare come agire sugli stessi sistemi per modificare la loro capacità di risposta al rischio. Lo sforzo disciplinare deve consistere nel tentativo di superare il concetto di "resilienza generica" a favore di una "resilienza specifica" del "of what to what".

L'applicazione del concetto di resilienza, quindi, richiede di darne interpretazione e specificazione nel contesto di riferimento che, in questo caso, è quello della gestione sostenibile delle acque meteoriche in ambito urbano, contro i rischi di allagamento superficiale. In questa interpretazione il sistema urbano è visto come sistema-bacino di drenaggio duale caratterizzato, cioè, dalla interconnessione tra rete di smaltimento sotterranea e rete di scorrimento superficiale, coincidente con la maglia viaria e gli spazi non edificati da essa perimetrati. Proporre modelli che considerino insieme gli elementi della città in superficie e della città sub-superficiale, scopre il velo su aspetti che la pianificazione urbana (in

particolare nelle fasi analitico-conoscitive propedeutiche e contestuali ai processi di elaborazione dei piani) tende a trascurare o, comunque, a demandare ad altre sfere, ma delle cui dinamiche di funzionamento essa è responsabile, influenzandole nel breve come nel lungo orizzonte temporale. Si intende con questo che le fognature sono oggetti territoriali tanto quanto l'infrastruttura dei vuoti urbani, gli assetti viari, le piste ciclabili e le altre reti che garantiscono i flussi metabolici della città.

La costruzione di uno strumento analitico-conoscitivo dei sistemi urbani che ne osservasse le reazioni agli eventi meteorici e alle onde di piena, esplorando le relazioni duali tra le loro componenti, si è dimostrata essere di non secondaria importanza per finalizzare l'integrazione tra le strategie più generali della pianificazione urbana e quelle di prevenzione e protezione dei territori, rispondendo puntualmente alle istanze di "città sicura" e agli obiettivi di mitigazione del rischio, rispetto a reali processi di Piano. Ciò, ancor di più, nell'ottica di rendere lo strumento di pianificazione locale rispondente a quelli sovraordinati di settore, cercando opportune integrazioni invece che semplici giustapposizioni.

L'uso di indicatori per valutare le modificazioni degli assetti idrologici-idraulici dei sistemi in scenari di trasformazione urbana, poi, diventa il mezzo di utilità più immediata per orientare le scelte di Piano, soprattutto nella definizione di politiche idonee ad integrare nel progetto urbano le misure di compensazione e mitigazione necessarie per garantire il rispetto del principio di invarianza idraulica, e per incentivare l'uso dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile diffusamente nel territorio.

In particolare, l'approccio modellistico supporta la rappresentazione della realtà finalizzandola a scopi di valutazione specifica, che dipendono dalla simulazione matematica dei complessi fenomeni idrologici ed idraulici che hanno luogo nel bacino nel corso della formazione della piena (Becciu & Paoletti, 2010). Calcolate le caratteristiche più importanti della risposta del bacino (portata al colmo, volume totale, forma dell'idrogramma) a partire da precipitazioni statisticamente significative (Becciu & Paoletti, 2010), la descrizione spaziale delle criticità nelle aree urbane (allagamenti ai nodi, insufficienza delle condotte, eccessi di volumi e picchi di deflusso nei sottobacini) e l'elaborazione di mappature (carta delle massime altezze idriche, delle velocità massime di scorrimento e della pericolosità) diventano la base conoscitiva per la definizione delle strategie di Piano e per la loro successiva attuazione, come nel caso di nuove urbanizzazioni o in quello del *retrofitting* dei tessuti già consolidati. Proprio in quest'ultimo caso, l'uso di modelli alla scala opportuna, consente la simulazione di molteplici scenari e permette la validazione delle alternative progettuali, in considerazione della maggiore o minore rispondenza alle necessità territoriali specifiche ed alle politiche locali verosimilmente più efficaci per soddisfarle.

Va detto, che le variabili individuate per descrivere la risposta del sistema e gli indicatori usati per l'analisi comparativa degli scenari, non dipendono dalla scelta del modello, potendo la trasformazione afflussi-deflussi ed il drenaggio duale essere modellati alternativamente all'uso di SWMM. Ne consegue che l'approccio metodologico usato nei casi di studio può ritenersi valido in generale, anche ricorrendo alla scelta di diversi strumenti di modellazione.

Proiezioni

Ogni fase del progetto urbanistico, dalle scelte strategiche contenute nei documenti di indirizzo, fino alle previsioni di strutturazione dello spazio fisico, al disegno di suolo, all'apparato normativo, è pensabile che possa inglobare i livelli di conoscenza prodotta, trasferiti utilmente nelle pratiche di Piano.

Sembra necessario, però, che questo presupposto diventi effettivamente il veicolo, per i nuovi modelli di progetto della città e del territorio, per passare dalla dimensione teorica a quella operativa, nella prospettiva di immaginare come attuabili la riconsiderazione dell'ordine delle priorità e la declinazione del progetto urbanistico in una nuova dimensione ecologica, culturale, sociale e ambientale.

E' anche vero, però, che le incertezze che offuscano le dinamiche di sviluppo future e i processi naturali che ad esse si intrecciano, limitano la validità dei risultati ottenuti che, di per se stessi, sono già costruiti in parte lavorando con variabili aleatorie. Con riferimento alla questione della gestione delle acque meteoriche questo è un problema ancor più evidente.

Ecco perché lo studio della risposta dei sistemi in termini di resilienza e resistenza dovrebbe aiutare a concepire azioni e processi di risposta al rischio nella logica della reversibilità, per attrezzare i territori e le comunità insediate ad adeguarsi e trasformarsi insieme alle mutevoli condizioni al contorno.

In tal senso, per il Piano, esiste ad esempio la possibilità di svincolarsi da sistemi di pianificazione a modello "conformativo puro" (Gaeta et al., 2013) introducendo, almeno parzialmente, elementi di flessibilità riconducibili ad approcci meno vincolanti e più a logica performativa, per superare le tradizionali forme di Piano che si sono servite della zonizzazione come meccanismo di regolazione sociale dello spazio, per rispondere a ragioni e significati sempre più complessi (Palermo, 2004).

La costruzione degli scenari di trasformazione, infatti, è importante che venga pensata in abbinamento alla ricerca di meccanismi di *policy* in grado di produrre esiti di attuazione vicini a quelli preconizzati.

Si può comprendere, aiutati dall'esperienza dei contesti più virtuosi, che è spesso la combinazione di approcci di tipo regolativo ed approcci basati su logica di incentivo a costituire la strategia più efficace da mettere in campo. Adattamento e mitigazione pianificate possono raggiungersi anche attraverso la combinazione di politiche urbane che, per certi versi, possono dunque ritenersi complementari (Filatova, 2014).

Questi, tra l'altro, sono anche gli indirizzi analizzati nei casi di studio, dopo aver ottenuto i risultati di applicazione della metodologia analitica. In buona sostanza, si sono cercate una sorta di equilibrio ed opportune combinazioni, tra forze coercitive e forze incentivanti cosicché processi di mitigazione e adattamento, sostanzialmente indotti, possano progressivamente tramutarsi in volontari.

Nel caso del bacino dell'Acquicella, le trasformazioni urbane generate dal Piano sono analizzate in termini di impatti generati sui picchi di portata recapitati al corpo idrico principale e ai fini di renderle invariante tramite l'individuazione di restrizioni al deflusso, da rispettare con l'adozione di opportune misure di mitigazione e adattamento. Il meccanismo *cap and*

trade che impone alle aree di trasformazione di produrre portate di deflusso uguali a quelle generate nelle condizioni dello stato di fatto, e che consente di scambiare sul mercato eventuali “concessioni di deflusso” (necessarie per recapitare portate con picchi superiori a quelli massimi consentiti), mette i privati attuatori nelle condizioni di poter scegliere se intraprendere azioni volontarie di mitigazione (adottare misure SuDS con modalità tali da garantire una *performance* idraulica migliore di quella corrispondente all’invarianza) e vendere il corrispettivo del surplus di *performance* eventualmente ottenuto agli attuatori che invece scelgono di comprare le “concessioni di deflusso” ai fini di rispondere alla prescrizione imposta.

Nel caso dei bacini urbani nel centro abitato di Avola, invece, le caratteristiche dei sistemi-bacino sono tali da scoraggiare la costruzione di politiche basate sullo scambio di “concessioni di deflusso”. La condizione di invarianza idraulica, quindi, viene imposta normativamente, e nel rispetto delle prescrizioni dei Piani di livello superiore, sovraordinati a quello locale. Tuttavia, i profili di risposta analizzati mostrano la necessità di immaginare per la città scenari di diffusione di pratiche di drenaggio urbano sostenibile, per far fronte a diffusi fenomeni di allagamento, la cui bassa o medio-bassa pericolosità, per i tempi di ritorno più bassi, diventa moderatamente alta per i tempi di ritorno più elevati, almeno a valle dei bacini urbani. In ragione di ciò, si è immaginata la possibilità di fare della norma un dispositivo-veicolo di forme di incentivo. Poiché, nonostante le mutate condizioni in cui versa il mercato immobiliare, la cubatura edilizia pare ancora essere il fattore preponderante di stimolo all’azione privata, i premi volumetrici divengono lo strumento per incoraggiare la diffusione di tecnologie per il drenaggio urbano sostenibile e la fornitura di servizi eco-sistemici molteplici, o per garantire all’amministrazione comunale un nuovo canale di afflusso di fondi per finanziare progetti di *retrofitting* del patrimonio edilizio pubblico o contribuire a sovvenzionare, in determinate circostanze e condizioni, l’iniziativa privata.

Se all’interno di ogni bacino rispondere alla questione del “dove e come cominciare” può apparire scoraggiante, nonostante l’apparato conoscitivo sviluppato, tenere lo sguardo dritto sulla proiezione del “dove arrivare” può addirittura risultare più semplice e stimolante.

Un approccio agli interventi che aiuti ad immaginare come la città possa cambiare per diventare più resiliente al rischio di allagamento, parte dalla considerazione, avallata dai risultati delle analisi effettuate sul profilo di risposta e su specifici aspetti di resilienza, che l’eccesso di deflusso può originarsi spazialmente in punti e da fonti diverse (allagamento nei nodi in pressione della rete di smaltimento sotterranea, incapace di convogliare i deflussi, recapito di ruscellamento superficiale da parte di sottobacini non direttamente connessi alla rete, volumi di deflusso sulla superficie stradale che non riescono a rientrare in fognatura, etc.) e rafforza il convincimento che è necessario orientare il disegno di piano verso spazi multifunzionali e pratiche di uso del suolo non univoche, affinché sia più semplice integrare la gestione delle acque nelle aree urbane. Il *focus* non dovrebbe riguardare i soli aspetti delle delocalizzazioni o i regimi vincolistici per impedire l’urbanizzazione in aree potenzialmente a rischio. Piuttosto, serve

immaginare che meccanismi come quello delle perequazione possano aiutare a corroborare la strategia GOUD, lavorando dentro le aree cedute al pubblico come fossero *hubs* in cui impiegare i nuovi “materiali urbani” verdi (SuDS). Ancora, gli insediamenti già consolidati e a rischio, possono spostare il *focus* sul progetto di *retrofitting* urbano creando spazi per la costruzione di catene SuDS nella logica delle infrastrutture verdi.

La questione della specificazione del concetto resilienza, affinché a quest’ultima si attribuisca una cornice di senso all’interno della disciplina urbanistica, va inquadrata nell’ambito di una nuova prospettiva, quella della *socio-idrologia(urbana)*.

Si intende, con questo, la costruzione di livelli di conoscenza attraverso apparati metodologici-analitici adeguati, che consentano di sondare e comprendere le dinamiche che sottendono i processi di co-evoluzione tra individui – con le loro azioni sul territorio- e le acque – con il loro ciclo naturale, a partire dalle precipitazioni.

E’ evidente che la prospettiva complessa che è stata appena richiamata assume la forma che interessa alle pratiche di pianificazione quando all’idrologia urbana si affianca, appunto, la dimensione sociale-comportamentale.

Infatti, gli studi di settore, anche quando integrati nella logica urbanistica, ci dicono *come* la collettività agisce sul territorio, rendendo possibile la valutazione degli effetti di tale azione, ma poco o nulla ci dicono sul *perché* gli individui esibiscono i loro modi comportamentali. E’ inevitabile, pertanto, invocare supporto da parte delle scienze sociali, soprattutto perché interessati alla possibilità di rendere efficaci i meccanismi di politiche da adottare a livello locale per rispondere a questioni specifiche. La soluzione di queste non può che dipendere, in ultima analisi, dai modi di risposta della collettività al Piano e alle sue decisioni. Le barriere e le sfide alla diffusione di pratiche virtuose vanno affrontate nella dialettica tra disegno e attuazione del Piano, accettando anche la possibilità di probabili fallimenti, oltre che la consapevolezza di quanto possa essere lungo l’orizzonte temporale di un cambiamento che sia effettivo in quanto ravvisabile, oltre che politiche e nei dispositivi di Piano, nella realtà di produzione e consumo territoriale.

Bibliografia

Abram, P.(2009) Incentivare il verde attraverso la norma urbanistica: dalle parole ai fatti. I casi di Bolzano, Berlino, Basilea e Linz. In: Conforti, P. and Naddeo, D. (a cura di).*Parma Bellezza Capitale. Proposte di qualità urbana*. Editorio Tipolitotecnica. Sala Baganza. Parma

Abunnasr, Y.F.(2013) *Climate Change Adaptation: A Green Infrastructure Planning Framework for Resilient Urban Regions*. Dissertation in partial fulfilment of the requirements for the degree of "Doctor Of Philosophy". Graduate School of the University of Massachusetts Amherst

Ahern, J. (2007) Green Infrastructure for cities: the spatial dimension. In: Notovny V and Brown P, eds. *Cities of the future towards integrated sustainable water and landscape management*. IWA Publishing : 267-283

Ahern, J. (2011) From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100 : 341-343

Ahiablame, M. L., Engel, B.A. and Chaubey, I.(2012) Effectiveness of Low Impact Development Practises: Literature Review and Suggestions for Future Research. *Water Air Soil Pollution*, 223:4253-4273

Albers, M. and Deppisch, S.(2013), Resilience in the Light of Climate Change: Useful Approach or Empty Phrase for Spatial Planning?. *European Planning Studies*, 21(10): 1598-1610

Alberti, M., Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C. and Zumbrunnen, C. (2003). Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems, *BioScience*, 53: 1169-1179

Andri, S., Sauli, G. (2012) *Verde pensile. Prestazioni di sistema e valore ecologico*. Manuali e Linee Guida 78.03/2012, ISPRA, Roma

APAT-Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, AA.VV. (2007), Rischio ambientale. In: Tematiche in primo piano. Annuario dei dati ambientali 2007, APAT, Roma

- Apel, H., Trepap, M.O., Hung, N.,N. and Chinh, D.T. (2016) Combined fluvial and pluvial urban flood hazard analysis: concept development and application to Can Tho city, Mekong Delta, Vietnam. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16: 941–961
- Aronica, G.T., Palla, A. and Lanza, L.G. (2013) Drenaggio Delle Acque Meteoriche E Rischio Di Allagamento. In: *Area Urbana. IX Rapporto Qualità dell'ambiente urbano*. Focus su acque e ambiente urbano, 46/2013, ISPRA
- Ashley, R., Lundy, L., Ward, S., Shaffer, P., Walker, L., Morgan, C., Saul, A., Wong, T., and Moore, S., (2013), Water-sensitive urban design: opportunities for the UK. *Proceedings of the ICE-Municipal Engineer*, 166(2): 65-76
- Astengo, L. (1966), Urbanistica. In: *Enciclopedia Universale dell'Arte*, vol. XIV, Sansoni, Venezia, 1966
- Bacchin, T. K., Ashley, R. M., Veerbeek, W., and Pont, M. B. (2013) A multi-scale approach in the planning and design of water sensitive environments . Une approche multi-échelle dans la planification et la conception d ' environnements soucieux de l ' eau. *Proceedings Novatech*, 1–10.
- Balsells, M., Barroca, B. and Amdal, J.R. (2013a) Analysing Urban Resilience through alternative stormwater management options: application of the conceptual Spatial Decision Support System model at the neighbourhood scale. *Water Science & Technology*, 68: 2448-57
- Balsells, M., Barroca, B., Diab, Y., and Becue, V. (2013) Urban design contribution to neighbourhood flood resilience: proposition of a model analysis. *International Conference on Flood Resilience: Experiences in Asia and Europe*, Exeter, United Kingdom, 5-7 September.
- Barbano, A., Braca, C., Bussettini, M., Dessì, B., Inghilesi, R., Lastoria B., Monacelli, G., Morucci, S., Piva, F., Sinapi, L. and Spizzichino, D. (2012) *Proposta metodologica per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e rischio. Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione dei rischi da alluvioni (Decreto Legislativo n.49/2010)*, Manuali e linee guida, 82/2012, ISPRA, Roma
- Barbedo, J., Miguez, M., van der Horst, D. and Marins M. (2014) Enhancing ecosystem services for flood mitigation: a conservation strategy for peri-urban landscapes?. *Ecology and Society*, 19(2): 54
- Barco, J., Wong, K., Stenstrom, M. (2008) Automatic Calibration of the U.S. EPA SWMM Model for a Large Urban Catchment. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(4), 466–474
- Bassan, L., and Pozzer, G. (2011), Vincolo di invarianza idraulica e pianificazione del territorio: prove di zonizzazione in provincia di Vicenza. *Acqua e città 2011*, 4° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana, Venezia
- Batty, M. (2008) The size, scale, and shape of cities. *Science* (New York, N.Y.), 319(5864): 769–771. <http://doi.org/10.1126/science.1151419>
- Becciu, G. and Paoletti A., (2010), *Fondamenti di Costruzioni Idrauliche*, UTET Scienze Tecniche, Torino

- Benedict, M.A., and MacMahon, E.T. (2002) Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century. *Renewable Resources Journal*, 20(3): 12-17
- Bennett, E. M., Cumming, G. S., and Peterson, G. D. (2005) A systems model approach to determining resilience surrogates for case studies. *Ecosystems*, 8(8), 945–957
- Berggren, K. (2008) Indicators for urban drainage system -assessment of climate change impacts. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland.
- Berruti, G., Coppola, E. and Moccia F.D. (2013) Urban morphology and ecological water-centered design. In: Moccia, F.D. and Palestino, M.F. eds. *Mediterranean areas in Planning stormwater resilient urban open spaces*. Napoli. CLEAN
- Biesbroek, R., Swart, R.J. and Van Der Knaap, W.G.M. (2009) *The mitigation-adaptation dichotomy and the role of spatial planning*. Habitat International, 33(3):230-237
- Birgani, Y.T., Yazdandoost F. and Moghadam, M. (2013) Role of Resilience in Sustainable Urban Stormwater Management. *Hydraulic Structures*, 1(1): 44-53
- Boonya-aroonet, S., Maksimovic, C., Prodanovic, D. and Djordjevic, S. (2007) Urban pluvial flooding: development of GIS based pathway model for surface flooding and interface with surcharged sewer model. Novatech 2007 – 6th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, 25-28 June, Lyone
- Breen-Martin, P. Anderies, JM. (2011) *Resilience: A Literature Review*. Bellagio Initiative, Brighton:IDS
- Brown, R. R. (2005) Impediments to integrated urban stormwater management: The need for institutional reform. *Environmental Management*, 36(3), 455–468.
- Burns, M.J., Fletcher, T.D., Walsh, C.J., Ladson, A.R. and Hatt, B.E. (2015) Flow-Regime Management at the Urban Land-Parcel Scale: Test of Feasibility. *Journal of Hydrol.Eng.*, 20(12):04015037
- Butler, D., Farmani, R., Fu, G., Ward, S., Diao, K., and Astaraie-Imani, M. (2014) A new approach to urban water management: Safe and sure. *Procedia Engineering*, 89, 347–354.
- Carabine, E., Cabot Venton, C., Tanner, T. and Bahadur, A. (2015) *The contribution of ecosystem services to human resilience. A rapid review*. ODI Reports, available at: <https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/9394.pdf>
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., and Abel, N. (2001) From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?. *Ecosystems*, 4(8), 765–781. <http://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- Carpenter, S.R., Westley, F., and Turner, M.G. (2005) Surrogates for Resilience of Social-Ecological Systems. *Ecosystems*, 8: 941-944
- Carter, T. and Fowler, L. (2008) Establishing Green Roof Infrastructure Through Environmental Policy Instruments. *Environmental Management*, 42:151–164

- Checucci, G. (2012) La governance dell 'acqua come pilastro dello sviluppo sostenibile. *Energia, ambiente e innovazione*, 2/2012
- Cheng, C. (2012) Green Infrastructure resilience planning for climate change: Stormwater BMPs and social vulnerability for climate-induced flooding risk assessment framework. AESOP 26th Annual Congress, Metu, Ankara, 11-15 July
- Cherqui, F., Granger, D., Métadier, M., Fletcher, T., Barraud, S., Lalanne, P. and Litrico, X. (2013) Indicators related to BMP performances: operational monitoring propositions. NOVATECH
- Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W., and Schilling, W. (2001) Urban drainage redefined; from stormwater removal to integrated management, *Water Science and Technology*, 43(5), 61-68
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. (1988) *Applied hydrology*, McGraw Hill International Edition
- Clinch, P.J. and O'Neill, E. (2010) Assessing the relative merits of development charges and transferable development rights in an uncertain world. *UrbanStudies*, 47(4)891-911
- CNT - Center for neighborhood Technology (2010), *The Value of Green Infrastructure. A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits*, Guida, available at: <http://www.cnt.org/>
- Colucci, A. (2012 a), Towards Resilient Cities.Comparing approaches/strategies. *TeMA*, 2:101-116
- Colucci, A. (2012b). *Le città resilienti: approcci e strategie*. Jean Monnet Centre of Pavia. Università degli Studi di Pavia. pavia
- Cox R.J., Shand, T.D. and Blacka M.J. (2010), Australian rainfall and runoff revision project 10: appropriate safety criteria for people, stage 1, report, Engineers Australia
- Crichton, D.(1999) The risk triangle. In: Ingleton J. ed., *Natural Disaster Management*, London, Tudor Rose
- Cuvato, M.G.E. (2010), Vulnerabilità e resilienza della città ai cambiamenti climatici. Dalla valutazione del rischio all'adattamento:verso una soluzione. tesi di laurea in ingegneria Edile-Architettura. Università degli Studi di Catania (non pubblicata)
- Damodaram, C. Giacomoni, M.H., Prakash Khedun, C., Holmes, H., Ryan, A., Saour, W., M. and Zechman, E. (2010) Simulation of combined Best Management Practices and Low Impact Development for Sustainable Water Management. *Journal of the American Water Resources Association* , Vol.46,No.5
- Dawson, R.J., Ball, T., Werritty, J., Werritty, A., Hall, J.W. and Roche N., (2011). Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change. *Global Environmental Change*, 21:628–646
- De Bruijn, K.M. (2005) Resilience and flood risk management. A systems approach applied to lowland rivers. *International Journal of River Basin Management*, 2(3): 199-210

- De Bruijn, K.M. (2004) Resilience and flood risk management. *Water Policy*, 6:53-66
- De Marco, R., (2001) La domanda di sicurezza. *Urbanistica*, 117, pp.28-30.
- DEFRA & EA, (2006), R&D Output: Flood risks to people. Phase2. FD2321/TR1 The flood risks to people methodology. London: Department of Environment Food and Rural Affairs and the Environment Agency
- Desouza, K. C., and Flanery, T. H. (2013) Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework. *Cities*, 35, 89–99
- Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Yan, K., Brandimarte, L., Blöschl, G. (2015) Debates-Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes. *Water Resources Research*, 51, 4770-4781
- Dickie, S., McKay, G., Ions, L., and Shaffer, P. (2010). *Planning for SuDs – making it happen*. CIRIA, Classic House, London
- Digman, C.J., Ashley, R.M., Balmforth, D.W., Stovin, V.R., Glerum, J.V. (2012) *Retrofitting to manage surface water*. CIRIA, Classic House, London
- PGRA-Dipartimento Regionale dell’Ambiente- Assessorato del Territorio e dell’Ambiente (2014). PGRA – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, available from www.artasicilia.eu/old_site/web/bacini_idrografici/
- PAI-Dipartimento Regionale dell’Ambiente-Assessorato del Territorio e dell’Ambiente (2008). PAI– Piano Stralcio di Bacino per l’ Assetto Idrogeologico, available from www.sitr.regione.sicilia.it/pai/bacini.htm
- Djordjevic, S. and Maksimovic, C. (1999) An approach to simulation of urban drainage. *Water Science & Technology*, 39(9):95-103
- Djordjevic, S., Butler, D., Gourbesville, P., Mark, O. and Pasche, E. (2011) New policies to deal with climate change and other drivers impacting on resilience to flooding in urban areas: the CORFU approach. *Environmental Science & Policy*, 14: 864–873
- Doll, A., and Lindsey, G., (1999) Credits bring economic incentives for onsite stormwater management, *Watershed and Wet Weather Tech. Bull.*, 4(1),12-15
- Dougherty, S., Hammer, R. and Valderrama, A. (2016) How to: storm-water credit trading programs. NRDC Issue Brief, IB: 16-01-A.:1-7
- Douglas, M. and Wildavsky, A., (1982) *Risk and the culture: An essay on the Selection of Technical and Environmental Dangers*. Berkeley: University of California Press, pp.ix, 221
- EC, European Commission (2013) Building a Green Infrastructure for Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union, doi: 10.2779/54125
- EC, European Commission Staff (2012) Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing. Working document for information purposes. SWD (2012) 101. http://ec.europa.eu/environment/soil/sealing_guidelines.htm
- EEA – European Environment Agency (2012). Urban adaptation to climate change in Europe Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. EEA Report 2. ISSN 1725-9177

Ellis J.B. and Revitt D.M. (2010) The management of urban surface water drainage in England and Wales. *Water and Environment Journal*, 24(1): pp.1-8

Ellis, J.B. (2013) Sustainable surface water management and green infrastructure in UK urban catchment planning. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(1): 24-41

Emilsson T., Persson J., Mattsson J.E. (2013) A critical analysis of the biotope-focused planning tool: Green Space Factor, available at: <https://www.researchgate.net/publication/259200418>

Environment Agency (2003), What is the updated Flood Map for Surface Water? Report version 1.0 November 2013

EPA - UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2014). Getting to Green: Paying for Green Infrastructure Financing Options and Resources for Local Decision-Makers. EPA 842-R-14-005

EPA - UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2010), *Managing wet weather with green infrastructure*. Municipal handbook. Incentive mechanisms, United States Environmental Protection Agency Document, EPA-833-F-09-001

EPA - UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2009), Funding Stormwater Programs. EPA 901-F-09-004

EPA- US Environmental Protection Agency (2006). Market Incentives and Nonpoint Sources: An Application of Tradable Credits to Urban Stormwater Management, available from www.envtn.org/uploads/epa_flowtrade_article.PDF

Dickson, E., Baker, J.L., D. H. and A. T. (2012) Urban risk assessments: Understanding Disaster and Climate Risk in Cities. Urban Development Series. Washington DC: World Bank. DOI: 10.1596/978-0-8213-8962-1. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0

Fang-Yu -Hu, and David M. Khan (2013) A theory of 5R-layer framework for urban flood resilience – a basis for alternative planning practices, Dhaka case study, International Conference on Flood Resilience: Experiences in Asia and Europe 5-7 September 2013 Exeter, United Kingdom

Ferguson, B.C., Brown, R.R. and Deletic, A. (2013) Diagnosing transformative change in urban water systems: Theories and frameworks. *Global Environmental Change*, 23: 264–280

Field, B.C., Field M.K. (2009) *Environmental Economics. An introduction*, Fifth edition. Singapore: McGraw Hill International Edition

Filatova, T., (2014) Market-based instruments for flood risk management: A review of theory, practice and perspectives for climate adaptation policy. *Environmental Science and Policy*, 37:227-242

Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Scott, A., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Daves, A., Bertrand-Krajewski, J.L., Mikkelsen, P.S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D. and Viklander, M. (2014) SUDS, LIDS, BMs, WUDS and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7):525-542,

Flores, A., Pickett, S.T.A., Zipperer, W.C., Pouyat, R.V. and Pirani, R., (1998) Adopting a modern ecological view of the metropolitan landscape: the case of a green space system for the New York City region. *Landscape and Urban Planning*, 39: 295–308.

Folke, C., Jansson, A., Rockström, J., Olsson, P., Carpenter, S.R., Chapin III, S.F., Crépin, A.S., Daily, G., Danell, K., Ebbesson, J., Elmqvist, T., Galaz, V., Moberg, F., Nilsson, M., Österblom, H., Ostrom, E., Persson, A., Peterson, G., Polasky, S., Steffen, W., Walker, B., Westley, F. (2011) Reconnecting to the biosphere. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 40(7):719-738

Folke, C., Carpenter, S. and Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S. and Walker, B. (2002) Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio*, 31(5):437-440

Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., and Thomalia, F. (2003) Resilience to natural hazards: How useful is this concept? *Global Environmental Change Part B. Environmental Hazards*, 5(1–2), 35–45.

Francis, R., Bekera, B (2014) A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 121: 90-103

Fratini, C. F., Geldof, G. D., Kluck, J., & Mikkelsen, P. S. (2012) Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal*, 9(5), 317–331.

<http://doi.org/10.1080/1573062X.2012.668913>

Frey M., Kosco J., Williams C., LaDuca A. and Tech T. (2015) *Green Infrastructure Opportunities that Arise During Municipal Operations*. United States Environmental Protection Agency Report, EPA 842-R-15-002

Friedmann, J. (1987) *Planning in the public domain: from knowledge to action*, Princeton University Press, Princeton, N.J., USA

Gabellini, P., (2015) L'evoluzione della resilienza nei piani e nelle politiche urbane. Introduzione al convegno "Città metropolitane resilienti-Messina progetta il futuro", Messina.

Gabellini, P. (2016). *Dai cambiamenti i nuovi temi dell'agenda urbana*, Sessione Plenaria in XIX Conferenza Nazionale SIU (Società Italiana degli Urbanisti)

Gaeta L., Janin Rvolin, U. and Mazza L. (2013), *Governo del territorio e pianificazione spaziale*, CittàStudi DeAgostini, Novara.

Galderisi, A. and Ferrara, F.F. (2012), Enhancing urban resilience in face of climate change. A methodological approach. *TeMA* 2:69-87

Gasparri, C., (2015) Un'urbanistica del paesaggio per città resilienti, contributo al convegno "Città metropolitane resilienti-Messina progetta il futuro", Messina

Geertman, S., & Stillwell, J. (2004) Planning support systems: An inventory of current practice. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(4), 291–310.

- Gersonius, B. (2008) Can resilience support integrated approaches to urban drainage management?. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, a R., and Pauleit, S. (2007) Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133.
- Gironas, J., Roesner, L.A. and Davis, J., (2009) *Storm Water Management Model Application Manual*. EPA/600/R-09/000
- Godschalk, D. R. (2003) Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities. *Natural Hazards Review*, 4(3), 136–143.
- Gómez-Baggethun E., Gren, A., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'Farrel, P., Andersson, E., Hamstead, Z. and Kremer, P. (2013) Urban ecosystem services. In: *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. Springer. ISBN: 978-94-007-7087-4 (Print) 978-94-007-7088-1 (Online)
- Gourbesville, P. (2012) Urban flooding and Resilience: concepts and needs. *Geophysical Research Abstracts*, 14, EGU2012-14282
- Graaf, R., Giesen, N. and Van de Ven, F. (2007) Alternative water management options to reduce vulnerability for climate change in the Netherlands. *Nat Hazards*, 51 : 407-422
- Grant, L. (2010) *Multi-functional Urban Green Infrastructure*, CIWEM Briefing Report
- Guo, J.C., Blackler, G.E., Earles, T.A., and MacKenzie, K., (2010) Incentive index developed to evaluate storm-water low-impact designs. *Journal of Environmental Engineering*, 136(12), 1341-1346
- Hall A. (2010) *Green Infrastructure Case Studies: Municipal policies for managing stormwater with green infrastructure*, United States Environmental Protection Agency Report, EPA 841-F-10-004
- Hammond, M.J., Chen A.,S., Djordjević, S., Butler D., and Mark O.(2015) Urban flood impact assessment: A- state -of -the- art review. *Urban Water Journal*. 12(1), 14-29
- Hashimoto, T., Stedinger, J.R., and Loucks D.P. (1982) Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation, *Water Resour. Res.* 18(1): 14-20
- Hellmers, S., Manojlovic, G., Palmaricciotti, G., and Fröhle, P. (2013). Modelling Decentralised Systems for Urban Drainage and Flood Mitigation, ICHE 2014, Hamburg - Lehfeldt & Kopmann (eds)
- Hershfield, D.M., Engman E.T. (1981) Characterizing short duration rainfall intensities for runoff calculation. *Transactions of the ASAE*. 24 (2): 0347-0352. (doi: 10.13031/2013.34255)
- Houdijk, R. (2012) Risk assessment: practical lessons within the European Union. MiSRaR brochure. Available at: <http://www.misrar.nl/>

- Holford, W.G. (1950) *Town and Country planning textbook*, APRR, London
- Holling, C.S. (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. In *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4:1-23
- Holling, C.S. (2001) Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems* 4 : 390-405
- Hough, M. (2004) *Cities and Natural Process*, Routledge, London
- Huitema, D., E. Mostert, W. Egas, S. Moellenkamp, C. Pahl-Wostl, and R. Yalcin. (2009) Adaptive water governance: assessing the institutional prescriptions of adaptive (co-)management from a governance perspective and defining a research agenda. *Ecology and Society* ,14(1): 26
- Hunt, W.F., Traver, R., Davis, A., Emerson, C., Collins, K., Stagge, J. (2010) Low impact development practices: designing to infiltrate in urban environment. In N. Chang (Ed.), *Effects of urbanization on groundwater*. ASCE, Environmental Water Resources Institute
- Gnecco, I., Palla, A., and Lanza, L.G (2009), Il verde pensile: regimazione e depurazione delle acque meteoriche. *IA Ingegneria Ambientale*, XXXVIII (3): 79-89
- IPCC, 2011, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) reports
- ISPRA 2011 "L'impermeabilizzazione" in pubblicazioni di pregio -"Suolo-Radice", (pag.58-66)
- ISPRA 2016, http://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/Piani_gest.html
- Jabareen, Y.(2013) Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. *Cities*, 31:220-229
- Jacobson, C.R. (2011) Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Journal of environmental management*, 92(6), 1438-1448
- Jang, S., Cho, M., Yoon, J., Yoon, Y., Kim, S., Kim, G., Kim, L. and Aksoy, H.(2007). Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. *Desalination*, 212(1), 344-356.
- Jansson, A. (2013) Reaching for a sustainable, resilient urban future using the lens of ecosystem services. *Ecological Economics*, 86 : 285–291
- Januchta-szostak, A.(2012) Urban water ecosystem services. *Sustainable Development Applications*, 3
- Jarden, K. M., Jefferson, A. J., and Grieser, J. M. (2016) Assessing the effects of catchment-scale urban green infrastructure retrofits on hydrograph characteristics. *Hydrological Processes*, 30(10), 1536–1550
- Jefferies, C., Duffy, A., Berwick, N., Mclean, N., and Hemmingway, A. (2008). *SUDS Treatment Train Assessment Tool*, 1–10.
- Jha, A.K., Bloch, R., and Lamond, J., (2012). *Cities and Flooding. A guide to integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*, The World Bank, Washington DC

Johnston, R.A., and Madison, M.E. (1997) From Land marks to Landscapes: A Review of Current Practices in the Transfer of Development Rights. *Journal of the American Institute of Planners*, 63(3)

Kambites, C and Owen, S (2007) Renewed prospects for green infrastructure planning in the UK, *Planning Practice and Research*. 21(4): 483-496

Kazmierczak, A. and Cavan, G. (2011) Surface water flooding risk to urban communities: Analysis of vulnerability, hazard and exposure. *Landscape and urban planning*, 103(2):185-197

Kazmierczak A., Carter, J. (2010) Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies-Chicago: Green Permit Program - incentives for developers to install green roofs, available at: http://orca.cf.ac.uk/64906/1/Database_Final_no_hyperlinks.pdf

Keeble, L.B. (1952). Principle and practice of town and country planning, *Estates Gazette*

Keifer, C.J. and Chu, H.H. (1975), Synthetic storm pattern for drainage design. *Journals of the Hydraulics division*, ASCE, 83(HY4)

Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P., Wallingford, H. R., and Wallingford, H. R. (2007). The SuDS manual. CIRIA C697, Londra

Kenworthy, J. (2006) The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development. *Environment and Urbanisation*, 18:67-85

Klein J.T. (2010), A taxonomy of interdisciplinarity, in: The Oxford Handbook of Interdisciplinarity. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press; 2010:15-30

Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., and Thomalia, F. (2003) Resilience to natural hazards: How useful is this concept? Global Environmental Change Part B: *Environmental Hazards*, 5(1-2), 35-45. doi:10.1016/j.hazards.2004.02.001

Klein, R. J. T., Schipper, E.L. F., Dessai, S., (2005) Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: Three research questions. *Environmental Science and Policy*, 8(6):579-588.

Kluck, J., Claessen E.G., Block, G.M. and Boogaard F.C.; (2010) Modelling and mapping of urban stormwater flooding. Novatech 2010, 7th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies for Urban Water Management

Kramer M.G. (2014) *A guide to help communities better manage stormwater while achieving other environmental, public health, social, and economic benefits*, United States Environmental Protection Agency Report, EPA 100-R-14-006

Kubal C, Haase D, Meyer V and Scheuer S. (2009) Integrated urban flood risk assessment—adapting a multicriteria approach to a city. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 9(6):1881-1895

La Greca P., Magnaghi A., Khammeir D., Malusardi F., Giokling O., Floriani H., Ross P., Wafik T., et Alii., (2005) *Planning in a more Globalized and Competitive World*, The Hague, Roma, Isocarp-Gangemi, p.0-351, ISBN 88-492-0877-4

- La Greca, P. (2015) La proposta del nuovo Piano Urbanistico per Catania. In: Coppola, E. (cura), *La pianificazione comunale nel Mezzogiorno*. INU Edizioni srl. Roma
- La Greca, P., La Rosa, D., Martinico, F. and Privitera, R. (2011) Agricultural and green infrastructures: The role of non-urbanised areas for eco-sustainable planning in a metropolitan region. *Environmental Pollution*, 159(8-9): 2193-2202
- Lascoumes P. and Le Gales P. (2009), *Gli strumenti per governare*, Mondadori, Milano.
- Lawson, E., Thorne, C., Ahilan, S., Allen, D., Arthur, S., Everett, G., Fenner, R., Glenis, V., Guan, D., Hoang, L., Kilsby, C., Lamond, J., Mant, J., Maskrey, S., Mount, N., Sleight, A., Smith, L. and Wright, N. (2014) Flood Recovery, Innovation and Response IV. WIT Transactions on Ecology and The Environment, 184. doi: 10.2495/FRIAR140101
- Lee, J.G., Selvakumar, A., Alvi, K., Riverson, J., Zhen, J.X., Shoemaker, L., and Lai, F. (2012) A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. *Environmental Modelling & Software*, 37, 6–18. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.04.011>
- Leichenko, R. (2011) Climate change and urban resilience. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3): 164–168
- Lennon, M., Scott, M. and O'Neill, E. (2014) Urban design and adapting to flood risk: the role of green infrastructure. *Journal of Urban Design*, 19 (5): 745-758
- Liao, K. (2012). A theory on urban resilience to floods—a basis for alternative planning practices. *Ecology and Society*, 17(4): 48.
- Lind, J. (2015) Stormwater modelling tools. A comparison and evaluation. Department of Earth Sciences, Air, Water and Landscape Science, Uppsala University. UPTec W 14040, ISSN 1401-5765
- Lober, D.J. (1995) Resolving the siting impasse: modelling social and environmental locational criteria with geographic information systems. *Journal of the American Planning Association*, 61(4), 1995
- López-Marrero, T., and Tschakert, P. (2011) From theory to practise: building more resilient communities in flood-prone area. *Environment & Urbanization*. International Institute for Environment and development (IIED), 23(1):229-249
- Lu, P., and Stead, D. (2013) Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam, The Netherlands. *Cities*, 35: 200–212.
- MacAskill, K. and Guthrie, P. (2014) Multiple interpretations of resilience in disaster risk management, *Procedia Economics and Finance*, 18: 667 – 674
- Magnaghi, A. (2000) *Il progetto locale*, Bollati Boringhieri, Torino
- Maksimović, Č., Prodanović, D., Boonya-Aroonnet, S., Leitao, J.P., Djordjević, S., and Allitt, R., (2009). Overland flow and pathway analysis for modelling of urban pluvial flooding, *Journal of Hydraulic Research*, 47(4), 512-523

Marinosci, I., Bonora, N. and Martellato, G., (2008), *Analisi del processo di urbanizzazione delle città*. Qualità dell'ambiente urbano - V rapporto, pubblicazioni ISPRA

Martinico, F., (2008) Tracce di ricerca. Note al margine del convegno della rete Interdottorato in Pianificazione Urbana e Territoriale, in *Fare Ricerca*, Atti del VII Convegno Nazionale Rete Interdottorato in Pianificazione Urbana e Territoriale, Alinea Editrice

Martinico, F., La Rosa, D. and Privitera, R. (2014). Green oriented urban development for urban ecosystem services provision in a medium sized city in southern Italy, *iForest*, 7(7): 385-395

Mascarenhas, F., and M. Miguez (2002) Urban flood control through a mathematical cell model, *Water International*, 27 (2):208-218

Mc Harg, I.L. (1969). *Design with Nature*. Garden City, N.Y., Published for the American Museum of Natural History [by] the Natural History Press

Mccutcheon, M., and Wride, D. (2009). LID Controls to Simulate Green, 6062, 289–302. <http://doi.org/10.14796/JWMM.R246-15>

McCutcheon, M. and Wride, D., (2013). Shades of Green: Using SWMM LID Controls to Simulate Green Infrastructure in Pragmatic Modeling of Urban Water Systems, Monograph 21. James, Irvine, Joksimovic, Li, McBean, Pitt, Vasconcelos, Wright and Wu, Eds. ISBN 978-0-9808853-8-5. © CHI Press 2013. www.chiwater.com

Mc Kissock, G. (2003) Monitoring the performance of SuDS. *Proceedings of a SuDS Symposium*, Cardiff, February, 2003

MEA [Millennium Ecosystem Assessment] (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.

Meerow, S., Newell, J. P., and Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38–49.

Mees, H. L. P., J. Dijk, D. van Soest, P. P. J. Driessen, M. H. F. M. W. and van Rijswijk, H. Runhaar (2014) A method for the deliberate and deliberative selection of policy instrument mixes for climate change adaptation. *Ecology and Society*, 19(2):58

Mell, I. C. (2008) Green Infrastructure: concepts and planning. *FORUM Ejournal*, 8(June), 69–80

Merz, B., Hall, J., Disse, M., and Schumann (2010). Fluvial flood risk management in a changing world. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(3), 509–527.

Messner, (2007) *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*, T09_06_01_Flood_damage_guidelines_D9_1_v2_2_p44.doc

Micelli, E. (2002) Development Rights Markets to Manage Urban Plans in Italy. *Urban Studies*, 39(1), 141–154.

- Miguez, M.G., Mascarenhas, F., Canedo de Magalhães, L., and D'Alterio, C. (2009) Planning and Design of Urban Flood Control Measures: Assessing Effects Combination, *Journal of Urban Planning and Development*, 135(3): 100–109
- Miller, F., Osbahr, H., Boyd, E., Thomalla, F., Bharwani, S., Ziervogel, G., ... Nelson, D. (2010) Resilience and vulnerability: Complementary or conflicting concepts?. *Ecology and Society*, 15(3).
- Monacelli, G. and Giusta, E. (2013). L'ambiente urbano nella politica e nella ricerca europea sull'Acqua. In: *Qualità dell'ambiente urbano. Focus su acque e ambiente urbano*, Rapporto IX, ed.2013, Stato dell'Ambiente 46/13, ISPRA, Roma
- Morison, P. J., and Brown, R. R. (2011) Understanding the nature of publics and local policy commitment to Water Sensitive Urban Design. *Landscape and Urban Planning*, 99(2): 83–92.
- Munafò, M., Assennato, F., Congedo, L., Luti, T., Marinosci, I., Monti, G., Riitano, N., Sallustio, L., Stollo, A., Tombolini, I. and Marchetti, M. (2015) *Il consumo di suolo in Italia-Edizione 2015*, Rapporti 218/2015, ISPRA, Roma
- NAFSMA (2009) *Guidance for municipal stormwater funding, a cura di: the National Association of flood and stormwater management agencies*, available at: <http://des.nh.gov/>
- Nash, J.R. (2000) *Too much market? Conflict between tradable pollution allowances and the "Polluter Pays Principle"*, The Harvard Environmental Law Review: HELR 24(2):1-59
- Nedkov, S., Boyanova and K., Burkhard, B. (2015) Quantifying, Modelling and Mapping Ecosystem Services in Watersheds. *Ecosystem Services and River Basin Ecohydrology*, 133-149,
- Nedkov, S. and Burkhard, B. (2012) Flood regulating ecosystem services—Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*, 21: 67-79
- Ngan, G. (2004) *Green Roof Policies: Tools for Encouraging Sustainable Design*, available at: <http://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/uploads>
- Nguyen Xuan, A. (2010) Le capacità di adattamento delle città rispetto al cambiamento climatico: vulnerabilità e resilienza del sistema urbano, in Atti della XIII Conferenza Società Italiana degli urbanisti, in Planum –The European Journal of Planning on-line, ISSN1723-0993
- Ning, X., Liu, Y., Chen, J., Dong, X., Li, W. and Liang, B. (2013), Sustainability of urban drainage management: a perspective on infrastructure resilience and thresholds, *Front. Environ. Sci. Eng.*, (5): 658-6687
- O'Neill, E. and Scott, M. (2011) Policy and Planning Brief., *Planning Theory and Practice*, 12: 312-317
- O'Neill, E., Brennan, M. Brereton, F., Shahumyan, H. (2015). Exploring a spatial statistical approach to quantify flood risk perception using cognitive maps, *Natural Hazards*, 76(3): 1573-1601

O'Sullivan, J.J., Bruen, M., Purcell, P.J. and Gebre, F. (2012) Urban drainage in Ireland – Embracing Sustainable systems. *Water and Environmental Journal*, 26: 241-251

Oliva, F. (2007) Limitare il consumo di suolo. Atti del Convegno Limitare il consumo di suolo & costruire ambiente. *Promuovere un governo sostenibile del territorio*, Politecnico di Milano, 7 novembre 2007. Url: http://www.inu.it/attivita_inu/ONCS.html

Oliva, F. (2014) Vittoria dell'Inu: Adesso rilanciare la legge quadro sul governo del territorio, *Edilizia e Territorio*, 29, 12-14.

O'Sullivan, J. J.; Bruen, Michael; Purcell, Patrick J. and Gebre, F (2012) Urban drainage in Ireland - embracing sustainable systems. *Water and Environment Journal*, 26 (2), pp.241-251

Palermo, P.,C., (2004) *Trasformazioni e governo del territorio. Introduzione critica*. Franco Angeli, Milano

Palla, A., Lanza, L.G.and La Barbera, P. (2008) A green roof experimental site in the Mediterranean climate. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008

2008. PAI– Piano Stralcio di Bacino per l' Assetto Idrogeologico, Dipartimento Regionale dell'Ambiente-Assessorato del Territorio e dell'Ambiente. www.sitr.regione.sicilia.it/pai/bacini.htm

2014. PGRA – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, Dipartimento Regionale dell'Ambiente- Assessorato del Territorio e dell'Ambiente. www.artasicilia.eu/old_site/web/bacini_idrografici/

Parikh P., Taylor M.A., Hoagland T., Thurston H., and Shuster W. (2005) Application of market mechanisms and incentives to reduce storm water runoff. An integrated hydrologic, economic and legal approach. *Environmental Science and Policy*, 8:133-144

Parikh P., Taylor M.A., Hoagland T., Thurston H., and Shuster W., (2012) *At the intersection of Hydrology, Economics and Law: Application of Market Mechanisms and Incentives to Reduce Stormwater Runoff*. Economic Incentives for Storm water Control, CRC Press

Park, S.Y., Lee, K.W., Park, I.H. and Ha, S.R. (2008) Effect of the aggregation level of surface runoff fields and sewer network for a SWMM simulation, *Desalination*, 226(1-3), 328-337

Pellizzari, S. (2011) La pianificazione amministrativa della risorsa idrica. In: *l'Acqua e il diritto*. Atti del Convegno tenutosi presso la Facoltà di Giurisprudenza dell'Università di Trento, 2 Feb 2011, Litotipografia Alcione, 2011 (357 s.)

Pelorosso R., Gobattoni, F., Leone A. and Lopez N. (2015a) Verde urbano e regolazione delle acque meteoriche. L' approccio modellistico come base per nuovi standard urbanistici, *Sentieri Urbani*, 19

- Pelorosso, R., Gobattoni, F. and Leone, A. (2015b) Modelling approaches to design multifunctional green infrastructures and resilient urban systems. conference paper, available at: <https://www.researchgate.net/publication/280573608>
- Penning-Rowsell, E., Floyd P., Ramsbottom D. and Surendran S. (2005) Estimating injury and loss of life in floods: a deterministic framework, *Natural hazard*, 36:43-64
- Persson B. (1999). Grönytefaktor för Bo01 (The green space factor at Bo01) [in Swedish]. 7 Malmö stadsbyggnadskontor, Bo01 Framtidsstaden, Malmö.6
- Piadi, and Squarcina, L., (2011) Invarianza idraulica e pianificazione urbanistica in provincia di Padova. In: La Loggia, G., Paoletti, A., Becciu, G., Freni, G., Sanfilippi, U., *Acqua e città 2001: pianificazione, protezione e gestione*, 4^o Convegno nazionale di idraulica urbana, Centro Studi Idraulica Urbana
- Pickett, S. T. a, Cadenasso, M. L., and Grove, J. M. (2004) Resilient cities: Meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. *Landscape and Urban Planning*, 69(4), 369–384.
- Pileri, P. and Granata, E. (2012), *Amor Loci. Suolo, ambiente, cultura civile*, Libreria Cortina, Milano
- Pileri P. (2015), *Che cosa c'è sotto*, Altreconomia, 2015
- Pineschi, G. and Guida, T., (2015). I piani di gestione del rischio alluvione. Dai piani di assetto idrogeologico (pai) ai primi piani di gestione del rischio alluvionali richiesti dalla direttiva 2007/60/ce: come conciliare la difesa del suolo con il perseguimento del buono stato ecologico dei corsi d'acqua nei nostri bacini idrografici. *Ecoscienza*, 3:84-85
- Piro, P., (2001) *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
- Pistocchi, A., (2002) *Il ruolo della modellistica delle georisorse nei processi di pianificazione territoriale*, Elaborato finale del Dottorato di Ricerca in Georisorse e Geotecnologie - XIII Ciclo, Università degli Studi di Bologna
- Pistocchi, A. (2001) La valutazione idrologica dei piani urbanistici – un metodo semplificato per l'invarianza idraulica nei piani regolatori generali. *Ingegneria Ambientale*, XXX(7/8):407-413
- Primm, S.L. (1984) The complexity and stability of ecosystems. *Nature*. 307 : 321-326
- Pulvirenti, S. (2013), *Criteri di invarianza idraulica per il progetto del nuovo PRG 2012 del comune di Catania*. Applicazione al bacino del torrente Acquicella, Catania Sud. Tesi di Laurea, Ingegneria Civile delle acque e dei trasporti, Università di Catania (non pubblicata)
- Pyke C., Warren M.P., Johnson T., La Gro J., Scharfenberg J., Groth P., Freed R., Schroerer W., and Main E., (2011) Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitaton due to climate change, *Landscape and urban planning*, 103, 166-173

Qin, H. P., Li, Z. X., and Fu, G. (2013) The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of Environmental Management*, 129, 577–585.

Ramachandra T.V. and Shruthi B.V., (2007) Spatial mapping of renewable energy potential. *Renewable and sustainable energy review*, 11 (7): 1460-1480

Revitt, D. M., Ellis, J. B., and Scholes, L. (2005) Criteria Relevant to the Assessment of BMP Performance. : D5.2-final-draft.doc, available at: <https://leesu.univ-paris-est.fr/daywater/REPORT/D52-final-draft-2003-12-15.pdf>

RG SDM avola (2016)- Relazione Generale Schema di Massima, Comune di Avola

Rossman, L.A. (2010) Storm Water Management Model User's Manual. Version 5.0. EPA/600/R-05/040

Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., et al. (2008) Impediments and Solutions to Sustainable, Watershed-Scale Urban Stormwater Management: Lessons from Australia and the United States. *Environmental Management*, 42: 344–359

RP,2015, Rapporto preliminare sul rischio idraulico in Sicilia e ricadute nel sistema di protezione civile

Rusconi, A. (2011) Effetti delle Direttive comunitarie sul governo delle acque in Italia. In: *Fino all'ultima goccia-Forum Nazionale sull'Acqua*. Roma.

Rusconi, A. Zazzi, M. (2014) Attualità della pianificazione di bacino: funzioni strategiche, regolative, di coordinamento. Convegno *Nazionale Difesa del suolo e manutenzione programmata del territorio. I 25 anni della legge 183*.Portici.

Rusconi, A. and Zazzi, M. (2015) Un Agosto di alluvioni. Conferenza Nazionale sul rischio idrogeologico *Dalla Pianificazione all'attuazione degli interventi di prevenzione*. Ferrara.

Russo, B., Gomez, M. and Macchione, F. (2013) Pedestrian hazard criteria for flooded urban areas. *Nat Hazards*, 69:251-265

Sachs, W. (2007) *Per un futuro equo. Conflitti sulle risorse e giustizia globale.*, in report del Wuppertal Institut, Feltrinelli, Milano

Sanfilippo, E.D. and La Greca, P., (1995). *Piano e progetto delle aree a rischio sismico*. Gangemi

Saporiti, G., Echave, C., Scudo, G., and Rueda Palenzuela, S. (2012) Strumenti di valutazione della resilienza urbana. *TeMA. Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 2: 117–130.

Schelfaut, K., Pannemans, B., van der Craats, I., Krywkow, J., Mysiak, J. and Cools, J. (2011) Bringing flood resilience into practice: the FREEMAN project. *Environ.Sci.Policy*

Schmidt-Thomé, P., (2006) Integration of natural hazards, risk and climate change into spatial planning practices. Ph.D. thesis No.193 of the Department of Geology, University of Helsinki

- Schmitt T. G., Thomas M. and Ettrich N., (2004). Analysis and modelling of flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology*, 299, pp.300–311
- Scholz, M. (2015). Sustainable Drainage Systems. *Water*, 7(July), 2272–2274.
- Shuster, W., Rhea, L. (2013). Catchment-scale hydrologic implications of parcel level storm-water management (Ohio USA), *Journal of Hydrology*, Volume 485(2):177-187
- Scott, M., Collier, M., Foley, K. and Lennon, M. (2013) Delivering ecosystems services via spatial planning – reviewing the possibilities and implications of a green infrastructure approach. *Eco-Plan Delivering Green Infrastructure. Literature review*, 2-34.
- Secchi, B., (2000), *Prima lezione di urbanistica*, Laterza, Roma-Bari.
- Serre, D., Lhomme, S., Diab, Y., and Author, C. (2007). Methods and tools to assess technical urban resilience to floods, 1–7.
- Sivapalan, M., Konar, M., Srinivasan, V., Chhatre, A., Wutich, A., Scott, C.A., Wescoat, J.L., and Rodriguez-Iturbe, I. (2014), Socio-hydrology: Use-inspired water sustainability science for the Anthropocene. *Earth's Future*, 2, 225-230
- Sivapalan, M., Savenije H.H.G., and Blöschl, G. (2012), Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological processes*. Doi: 10.1002/hyp.8426
- Soil Conservation Service /Soil Conservation Service (1989) Study Guide. Module 104 Runoff Curve Number Computation, *Hydrology Training Series*, SCS, 1989
- Stavins, R.N. (2003). Experience with Market-Based Environmental Policy Instruments, Discussion Paper 01–58, Resources for the Future, NW Washington, D.C
- Stenning, E. (2008) An Assessment of the Seattle Green Factor: Increasing and Improving the Quality of Urban Green Infrastructure, thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Urban Planning University of Washington
- Strazzeri, V. (2013) Impatto delle previsioni del nuovo P.R.G., 2012 del Comune di Catania sul rischio idraulico nel bacino del torrente Acquilla. Confronto tra il modello EPA-SWMM e il metodo della corrivazione. Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, Università di Catania (non pubblicata)
- Stumpff E. (2013), New in town? On resilience and “resilient cities”. *Cities*, 32:164-166
- Sun, Y., Li, Q., Liu, L., Xu, C. and Liu, Z. (2014), Hydrological simulation approaches for BMPs and LID practices in highly urbanized area and development of hydrological performance indicator system. *Water Science and Engineering*, 7(2): 143-154
- The Resilience Alliance (2007), *Urban Resilience. A Resilience Alliance Initiative for Transitioning Urban Systems towards Sustainable Futures*. CSIRO, Australia — Arizona State University, USA — Stockholm University, Sweden. Available at: <http://www.citiesforpeople.ca/wpcontent/uploads/2014/02/urbanresilienceresearchprospectusv7feb07.pdf>

The Rockefeller Foundation and Arup (2014). City Resilience Framework. Ove Arup & Partners International Limited 2014, London

Thurston, H.W., Goddard, H.C., Szlag, D. and Lemberg, B. (2003a) Controlling Storm-Water Runoff with Tradable Allowances for Impervious Surfaces, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(5), pp.409-418

Thurston, H.W., Lemberg, B. and Goddard, H.C. (2003b), Shepherd Creek, Cincinnati, OH: using tradable credits to control excess stormwater runoff, document (presentation/abstract), record ID: 95734, available at: <http://www2.epa.gov/aboutepa/about-national-risk-management-research-laboratory-nrmrl>

Toubin, M., Lhomme, S., Diab, Y. Serre, D. and Lagànier, R. (2012) La résilience urbaine: un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine?, <http://developpementdurable.org/9208>

Torrisi, V. (2015) Il modello SWMM per lo studio delle alluvioni urbane: caso studio dell'evento del 21 febbraio 2013 a Catania. Tesi di Laurea magistrale in Ingegneria delle acque e dei trasporti, Università degli Studi di Catania (non pubblicata)

Turco, A., Vallega, A., De Matteis, G. and Raffestin (1984), *Regione e regionalizzazione*, Franco Angeli, Milano

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Ka'zmierczak, A., Niemela, J. and James P. (2007) Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81:167-178

U.S. SCS - Soil Conservation Service, 1972. National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.

UN (2007), Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies, Third Edition, United Nations publication, New York

UNISDR (2009), Terminology on disaster risk reduction. The United Nations International strategy for Disaster Reduction, Ginevra, Svizzera

Vis, M., Klijn, F., Van Buuren, M. (2001) Living with floods: resilience strategies for flood risk management and multiple land use in the lower Rhine. Publication 10-2001, NCR, Delft, The Netherlands

Viviani, S. (2015), L'irruzione della resilienza nei piani e nelle politiche urbane, Intervento al convegno "Città metropolitane resilienti-Messina progetta il futuro", Messina

von der Heyden, C.J., Pegram, G.C. and Pema, K., (2007) Non-point sources and the waste discharge charge system, *Water Science and Technology*, 55(3), 45-54

Vortholomaios, A., Kalogirou, N., Athanassiou, E. and Papadopoulou, M. (2013) The green space factor as a tool for regulating the urban microclimate in vegetation-deprived Greek cities. Proceedings of the International Conference on Changing Cities. *Spatial, morphological, formal & socio-economic dimensions*, Skiathos island, Greece

- Voskamp, I.M. and Van de Ven, F.H.M. (2014) Planning support system for climate adaptation: Composing effective sets of blue-green measures to reduce urban vulnerability to extreme weather events. *Building and Environment* . doi: 10.1016/j.buildenv.2014.07.018
- Walesh, S.G. (1989) *Urban Surface Water Management*. Wiley inter-science publication
- Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R., Kinzig, A. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social–ecological Systems. *Ecology and Society*. 9(2): 5
- Walker, B., Salt, D. (2006) *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*, Island Press, Washington, DC
- Walker, B., Abel, N., Anderies, J.M., Kinzig, A.P. and Ryan, P. (2011) Exploring resilience in social-ecological systems through comparative studies and theory development: introduction to the special issue. *Ecology and Society*. 11: 12
- Wallingford, HR. (2009) *Overview of SuDS performance*. Draft Report. CIRIA, London
- Whelans, C., Maunsell, H.G., and Thompson, P., (1994) Planning and management guidelines for water sensitive urban (residential) design, Perth, Western Australia: Department of Planning and Urban Development of Western Australia.
- White I., (2010), *Water and the City – Risk, resilience and planning for a sustainable future*, The Natural and built environment series, Routledge, London and New York
- Wilson, S., Bray, B., Neesam, S., Bunn, S. and Flanagan, E. (2015) *Sustainable Drainage. Cambridge Design and Adoption Guide*. Environment and Planning Cambridge City Council, the Guildhall, Cambridge. Available at: www.cambridge.gov.uk
- Wong, T. and Brown, R. (2008) Transitioning to water sensitive cities: Ensuring Resilience through a new Hydro-Social Contract. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, United Kingdom
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P. (2007), *The SUDs Manual*, CIRIA C697
- Wu, J., Wu, T. (2013) Ecology resilience as a foundation for urban design and sustainability in Resilience. In: *Urban Ecology and Design: Linking Theory and Practice for Sustainable Cities*, Pickett S.T.A. et al.(eds.)
- Yang, G., Bowling, L., Cherkauer, K.A., and Pijanowski, B.C.(2011). The impact of urban development on hydrologic regime from catchment to basin scales, *Landscape and Urban Planning*, 103(2),237-247
- Zellner, M., Massey, D., Minor, E. and Gonzalez-Meler, M. (2016) Exploring the effects of green infrastructure placement on neighbourhood-level flooding via spatially explicit simulations. *Computer, Environment and Urban Systems*, 59:116-128
- Zhou, Q. (2014) A review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water*, 6: 297-292.

Elenco delle figure e delle tabelle

FIGURE

Introduzione

Figura I | Schema dei contenuti della ricerca

Capitolo 1

Figura 1.1 | Il triangolo del rischio.

Figura 1.2 | Andamento del suolo consumato nelle regioni italiane tra il 1956 ed il 2013 (percentuale sul territorio regionale)

Figura 1.3 | Effetti dell'impermeabilizzazione del suolo sul ciclo idrologico e sulla formazione dei deflussi superficiali

Figura 1.4 | Alluvione urbana, Catania (2012)

Figura 1.5 | Alluvione urbana, Avola (2007)

Figura 1.6 | I nessi di senso tra gli approcci alla gestione sostenibile delle acque meteoriche.

Figura 1.7 | Importanza dei *water ecosystems* nella triade dello sviluppo sostenibile

Figura 1.8 | Categorie di servizi e benefici eco-sistemici forniti dalle misure SuDS

Figura 1.9 | Sfere di influenza delle misure SuDS

Figura 1.10 | Schema di concatenazione gerarchica delle misure SuDS

Capitolo 2

Figura 2.1 | Scomposizione del sistema città e resilienza

Figura 2.2 | Relazioni tra resilienza, surrogati e modello di rappresentazione del sistema

Figura 2.3 | Rappresentazione della risposta di un sistema ad un disturbo, basata sulla resilienza e sulla resistenza: la prima dipende dalle capacità di recupero, assimilazione e adattamento, la seconda dalla capacità di soglia

Figura 2.4 | Rappresentazione delle relazioni che intercorrono tra resilienza specifica del bacino urbano e rischio di allagamento superficiale: la lettura della resilienza passa attraverso la valutazione delle sue capacità surrogate; le azioni strategiche volte a modificare tali capacità sono anche azioni di mitigazione ed adattamento che agiscono sulle componenti costituenti il rischio

Figura 2.5 | Contributo offerto dai sistemi di drenaggio urbano sostenibile alla dotazione di resilienza

Capitolo 3

Figura 3.1 | Relazioni tra fenomeni territoriali, sistemi urbani, rischio da allagamenti superficiali e combinazione di pianificazione urbana e politiche per la resilienza attraverso la diffusione dei sistemi di drenaggio sostenibile

Capitolo 4

Figura 4.1 | Relazioni interne alla struttura della ricerca tra modelli di simulazione, ambiente di valutazione e possibilità di esplorazione di scenari progettuali per la mitigazione e l'adattamento

Figura 4.2 | Esempio di modellazione di un'area di studio secondo la struttura a compartimenti usata da SWMM

Figura 4.3 | Processi modellati da SWMM

Figura 4.4 | Modello di serbatoio non lineare usato da SWMM per la simulazione del processo di generazione del ruscellamento superficiale su un sottobacino

Figura 4.5 | Idrogramma nella condotta C9 durante un evento di pioggia con tempo di ritorno di due anni

Figura 4.6 | Idrogramma nella condotta C9 durante un evento di pioggia con tempo di ritorno di cinquanta anni

Figura 4.7 | Schematizzazione delle condizioni di continuità nella trasformazione afflussi-deflussi in un SDD

Figura 4.8 | Processo di costruzione degli scenari SuDS a seguito dell'identificazione dei bisogni, dell'individuazione delle opportunità presenti e delle strategie di retrofitting

Figura 4.9 | Matrice tipo per il processo di screening delle misure SuDS

Capitolo 5

Figura 5.1 | Meccanismi perequativi nelle aree di trasformazione: i suoli, aggregati in classi omogenee per condizioni di fatto e di diritto ottengono l'attribuzione dei diritti edificatori sotto forma di plafond; forme di negoziazione regolano il rapporto tra proprietari delle aree ed imprenditori che realizzano le volumetrie nelle porzioni di area individuate dal Piano; gli imprenditori cedono le aree per attrezzature e servizi oppure le realizzano secondo convenienza economica

Figura 5.2 | Strategia GOUD e meccanismi TDR all'interno di una "area risorsa"

Figura 5.3 | Inquadramento territoriale del bacino dell'Acquicella, aste idriche e reti di drenaggio principali

Figura 5.4 | Processo logico di applicazione della metodologia al caso studio del bacino "Acquicella", Catania

Figura 5.5 | Limiti di bacino e aree di trasformazione previste dal Piano (aree risorsa) ricadenti in esso

Figura 5.6 | Suddivisione del bacino dell'Acquicella in sottobacini individuati rispetto sezioni di interesse sul corso d'acqua (punti di immissione delle portate dai rami delle reti di smaltimento urbane)

Figura 5.7 | Valori di picco di portata per unità di superficie rilasciati alla sezione di chiusura di ogni sottobacino individuato nello scenario zero dello stato di fatto e con riferimento ai sei tempi di ritorno di studio dell'evento di pioggia

Figura 5.8 | Valori di picco di portata per unità di superficie rilasciati alla sezione di chiusura di ogni sottobacino individuato nello scenario uno dello stato di progetto e con riferimento ai sei tempi di ritorno di studio dell'evento di pioggia

Figura 5.9 | Restrizioni al deflusso per unità di superficie assegnate a ciascuna area risorsa e con riferimento ai sei tempi di ritorno di studio dell'evento di pioggia

Figura 5.10 | Contributi per unità di superficie alle restrizioni di deflusso assegnati alle porzioni di ARs non interamente contenute in un solo sottobacino (tempo di ritorno dell'evento di 5 anni)

Figura 5.11 | Sensibilità dei valori di restrizioni al deflusso assegnate a ciascuna area risorsa al variare dei parametri usati come input nel modello: (caso 0-scenario zero di riferimento; caso I-coeff. di scabrezza di Manning per aree impermeabili pari a $0,01 \text{ s/m}^{1/3}$; caso II- coeff. di scabrezza di Manning per aree impermeabili pari a $0,02 \text{ s/m}^{1/3}$; caso III- coeff. di scabrezza di Manning per aree permeabili pari a $0,05 \text{ s/m}^{1/3}$; caso IV- coeff. di scabrezza di Manning per aree permeabili pari a $0,15 \text{ s/m}^{1/3}$; caso V-altezza delle depressioni superficiali per aree permeabili pari a 2 mm)

Capitolo 6

Figura 6.1 | Inquadramento del Comune di Avola rispetto ai comuni contermini e principali arterie infrastrutturali

Figura 6.2 | Inquadramento del Comune di Avola rispetto ai bacini idrografici della Regione Sicilia

Figura 6.3 | Reticolo idrografico principale nel Comune di Avola

Figura 6.4 | Commistione tra rete idrografica e rete viaria con individuazione di nodi critici di interferenza tra acque superficiali e manufatti antropici

Figura 6.5 | Bacini interni che gravano sul centro abitato di Avola, intersecati dal tracciato dell'autostrada e limitati inferiormente dal tracciato della circonvallazione di Avola

Figura 6.6 | Numero e densità dei nodi a potenziale rischio idraulico ricompresi nel territorio di Siracusa

Figura 6.7 | Distribuzione dei nodi a potenziale rischio idraulico ricompresi nel territorio di Siracusa e loro classificazione

Figura 6.8 | Mappa della pericolosità idraulica, Comune di Avola

Figura 6.9 | Mappa del rischio idraulico, Comune di Avola

Figura 6.10 | Usi del suolo, Comune di Avola

Figura 6.11 | Crescita urbana: analisi sincronica di edifici e tessuti, Comune di Avola

Figura 6.12 | Morfologia urbana: analisi di edifici e tessuti, Comune di Avola,

Figura 6.13 | Elaborazione delle curve di probabilità pluviometrica per durate superiori all'ora (sopra) e per durate inferiori (sotto)

Figura 6.14 | Studio dei percorsi di deflusso superficiali ed individuazione dei bacini principali con il supporto delle funzioni di hydrologic processing (in alto a sx: analisi del flow accumulation; in basso a dx: analisi del flow direction)

Figura 6.15 | Individuazione dei sistemi-bacino urbani di studio all'interno dell'insediamento consolidato

Figura 6.16 | Individuazione delle reti di smaltimento delle acque meteoriche nei sistemi-bacino urbani di studio

Figura 6.17 | Modellazione dei bacini urbani ed identificazione delle componenti sottobacini, condotte e nodi per definire i moduli "superficie" e "trasporto" in SWMM

Figura 6.18 | Usi del suolo all'interno dei sistemi-bacino urbani individuati

Figura 6.19 | Costruzione della rete stradale superficiale (major system)

Figura 6.20 | Esempio di modellazione di un sezione stradale, Corso Garibaldi, Avola

Figura 6.21 | Mappatura dei valori di (a) volume totale (mm) e (b) portata massima (mc/s) nei sottobacini, e (c) portata al colmo nei rami della rete di smaltimento per $Tr=5$ anni.

Figura 6.22 | Mappatura dei valori di (a) volume totale (mm) e (b) portata massima (mc/s) nei sottobacini, e (c) portata al colmo nei rami della rete di smaltimento per $Tr=50$ anni.

Figura 6.23 | Mappatura dei valori di (a) volume totale (mm) e (b) portata massima (mc/s) nei sottobacini, e (c) portata al colmo nei rami della rete di smaltimento per $Tr=100$ anni.

Figura 6.24 | Valori massimi di altezze idriche raggiunti nei rami della rete superficiale per tempi di ritorno dell'evento di pioggia di 5, 50 e 100 anni

Figura 6.25 | Valori massimi di velocità di corrente raggiunti nei rami della rete superficiale per tempi di ritorno dell'evento di pioggia di 5, 50 e 100 anni

Figura 6.26 | Classificazione del grado di pericolosità da allagamento superficiale nel major system per tempi di ritorno dell'evento di pioggia di 5, 50 e 100 anni

Figura 6.27 | Studio delle morfologie urbane in corrispondenza del sistema-bacino G e principali direttrici di sviluppo della viabilità e del tessuto urbano

Figura 6.28 | Matrice di supporto al processo di screening dei SuDS

Figura 6.29 | Interfaccia SWMM per la modellazione dei rain barrels

Figura 6.30 | a Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario uno, nella combinazione di tipo (a) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

Figura 6.30 | b Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario uno, nella combinazione di tipo (b) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

Figura 6.30 | c Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario uno, nella combinazione di tipo (c) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

Figura 6.31 | Decremento percentuale dei volumi totali e delle portate massime con l'alternarsi delle combinazioni di tipo (a), (b) e (c) nello scenario uno, con riferimento ai sottobacini all'interno dei quali si è simulata la presenza dei SuDS. e per un tempo di ritorno dell'evento di pioggia di 5 anni

Figura 6.32 | Curva a ricavata a partire dai valori degli indici di allagamento calcolati nello scenario zero e nello scenario SuDs-uno

Figura 6.33 | Interfaccia SWMM per la modellazione dei green roofs

Figura 6.34 | a Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario due, nella combinazione di tipo (a) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

Figura 6.34 | b Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario due, nella combinazione di tipo (b) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

Figura 6.34 | c Confronto dei valori di deflusso totale e portata massima tra scenario zero e scenario due, nella combinazione di tipo (c) e rispetto ai tempi di ritorno di 2,5,10 e 20 anni

Figura 6.35 | Decremento percentuale dei volumi totali e delle portate massime con l'alternarsi delle combinazioni di tipo (a), (b) e (c) nello scenario due, con riferimento ai sottobacini all'interno dei quali si è simulata la presenza dei SuDS. e per un tempo di ritorno dell'evento di pioggia di 5 anni

Figura 6.36 | Curva *a* ricavata a partire dai valori degli indici di allagamento calcolati nello scenario zero e nello scenario SuDS-due

Figura 6.37 | Individuazione dei punti corrispondenti alla percentuale di superficie coperta convertita in tetti verdi nel generico caso *k* sulla curva *a* nello scenario SuDS-due e dei corrispondenti valori dell'indice a_k

TABELLE

Capitolo 1

Tabella 1.1 | Approcci e concetti sulla gestione urbana e territoriale delle acque

Tabella 1.2 | Elenco non esaustivo di misure SuDS

Capitolo 2

Tabella 2.1 | Definizioni di resilienza

Tabella 2.2 | *Steps* per la definizione della resilienza specifica

Capitolo 3

Tabella 3.1 | Cornice di ricognizione generale delle politiche locali, dei loro strumenti e dei meccanismi di applicazione

Capitolo 4

Tabella 4.1 | Valori del parametro Curve Number da assegnare complessivamente ad ogni sottobacino in funzione degli usi/coperture di suolo prevalenti e delle tipologie idrologiche di suolo

Tabella 4.2 | Stima del grado di pericolosità con metodologia completa

Tabella 4.3 | Stima del grado di pericolosità rispetto la sicurezza umana (a)

Tabella 4.4 | Stima del grado di pericolosità rispetto la sicurezza umana (b)

Tabella 4.5 | Fattori di influenza nel processo di selezione dei SuDS

Capitolo 5

Tabella 5.1 | Valori dei parametri delle CPP per durate comprese tra 1 e 24 ore

Tabella 5.2 | Caratteristiche dei sottobacini individuati ai fini della modellazione

Capitolo 6

Tabella 6.1 | Corrispondenza tra le categorie di uso del suolo dello studio agricolo forestale e quelle proposte dal SCS ai fini dell'attribuzione del parametro CN

Tabella 6.2 | Status della simulazione dei sistemi-bacino, tempo di ritorno di 5 anni

Tabella 6.3 | Fattori dell'ambiente costruito ed influenza sulla strategie di retrofitting in ambito urbano

Tabella 6.4 | Parametri volumetrici desunti dalla "Scheda Norma" dell'ambito di perequazione AR_3

Tabella 6.5 | Banca dati delle quotazioni immobiliari nella fascia "Semicentrale"/Zona C2- "fontana-pian di bosco-lido-naca-mare vecchio-vie d'agata-moro-m.polo-tevere-azzolini-mille-s.martino-turati-fermi"

Tabella 6.6 | Valutazione economica semplificata della sostenibilità delle azioni di retrofitting da parte dei soggetti attuatori dell'ambito di perequazione considerata

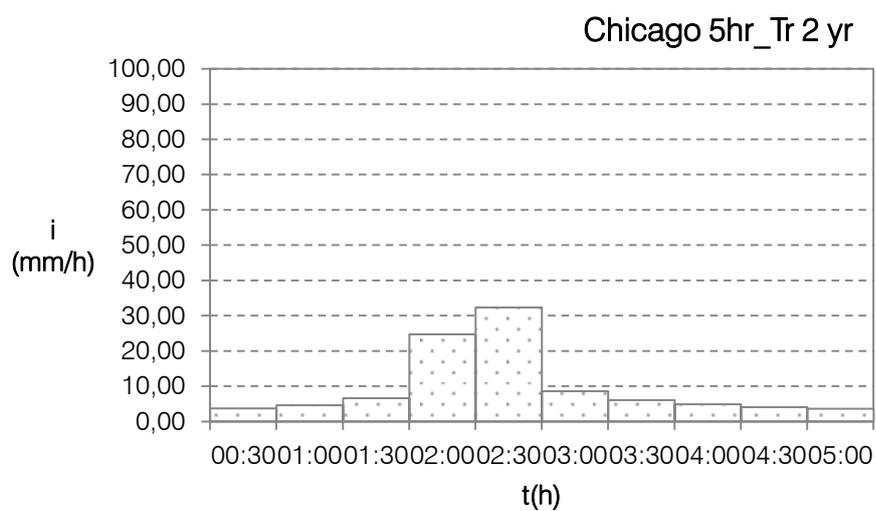
Appendici

Appendice A.1

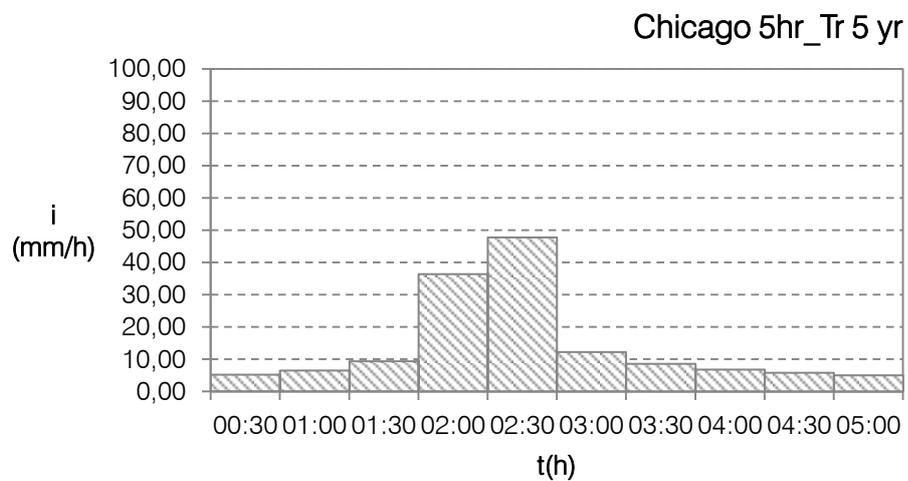
Ietogrammi Chicago: costruzione in forma discreta mediante istogramma

<i>durata pioggia</i>	tc	5,00 [h]
<i>n. intervalli di pioggia</i>	j	10
<i>intervallo di tempo</i>	Δt	30,00 [min]

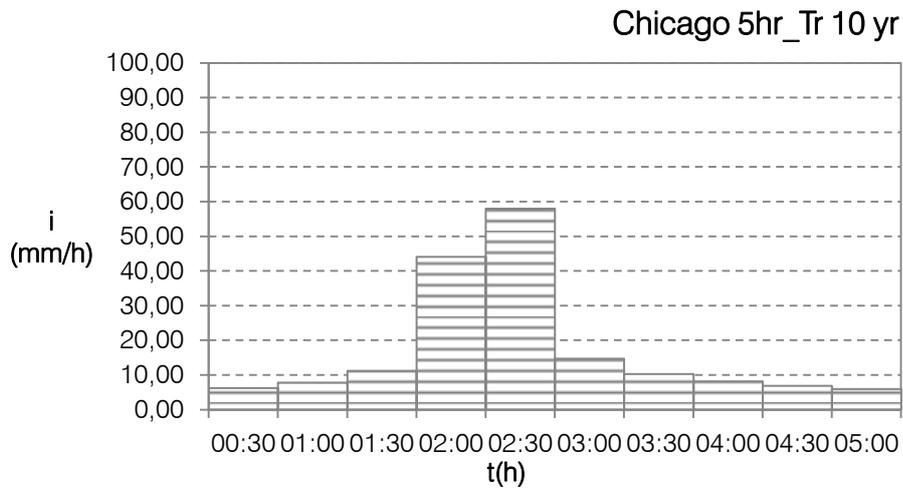
Tempo di ritorno 2 anni



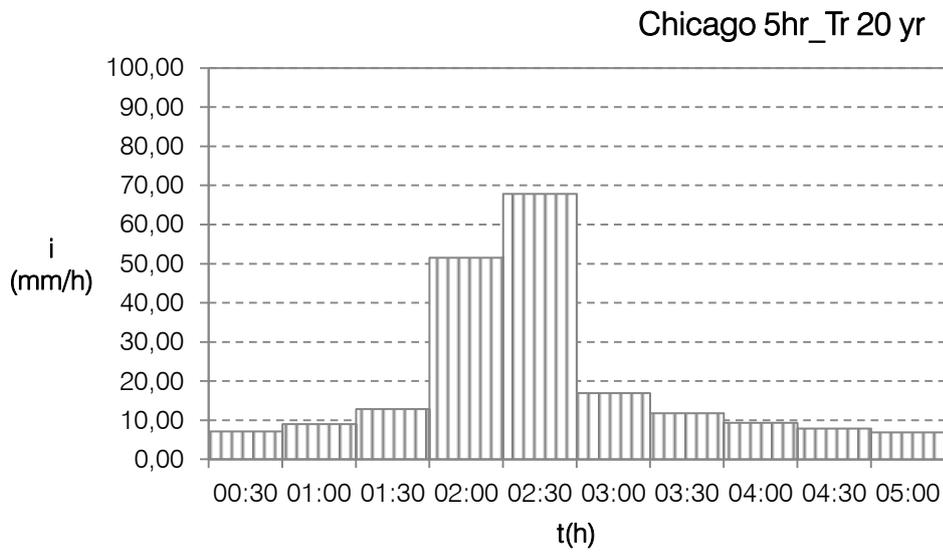
Tempo di ritorno 5 anni



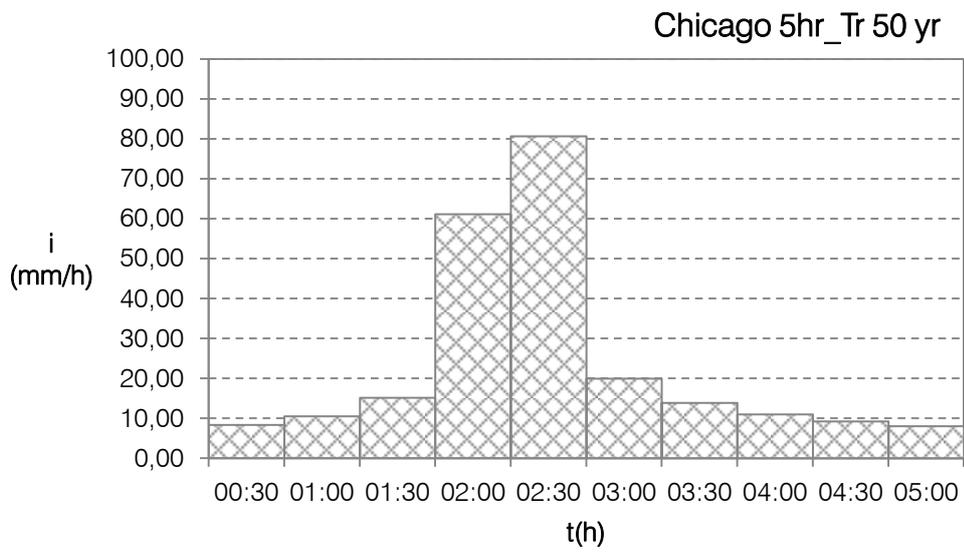
Tempo di ritorno 10 anni



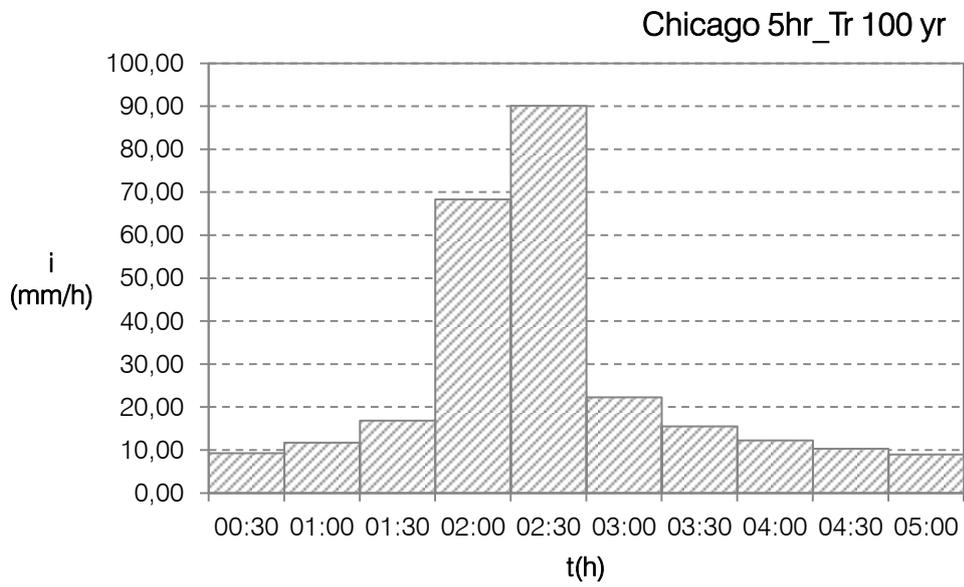
Tempo di ritorno 20 anni



Tempo di ritorno 50 anni



Tempo di ritorno 100 anni



Le altezze di precipitazione massima annuale h relative alle tre durate considerate ad ai sette tempi di ritorno T_r sono state calcolate utilizzando l'espressione ricavabile dalla distribuzione di probabilità di Gumbel:

$$h = \beta - \{ \ln[-\ln(1-1/T_r)] \} / \alpha$$

Per i diversi tempi di ritorno T_r le relazioni tra le tre altezze di pioggia h così calcolate e le relative durate t sono state quindi determinate per interpolazione tramite il metodo dei minimi quadrati, utilizzando equazioni di regressione monomie del tipo:

$$h = a t^n$$

I parametri a ed n delle curve di probabilità pluviometrica così calcolati sono riportati per i diversi tempi di ritorno nella tabella seguente.

		a	n
Tr	2	28,599	0,3568
Tr	5	41,37	0,3307
Tr	10	48,701	0,395
Tr	20	56,383	0,4022
Tr	50	66,334	0,4088
Tr	100	73,789	0,4125
Tr	200	81,217	0,4156
Tr	300	85,554	0,4171

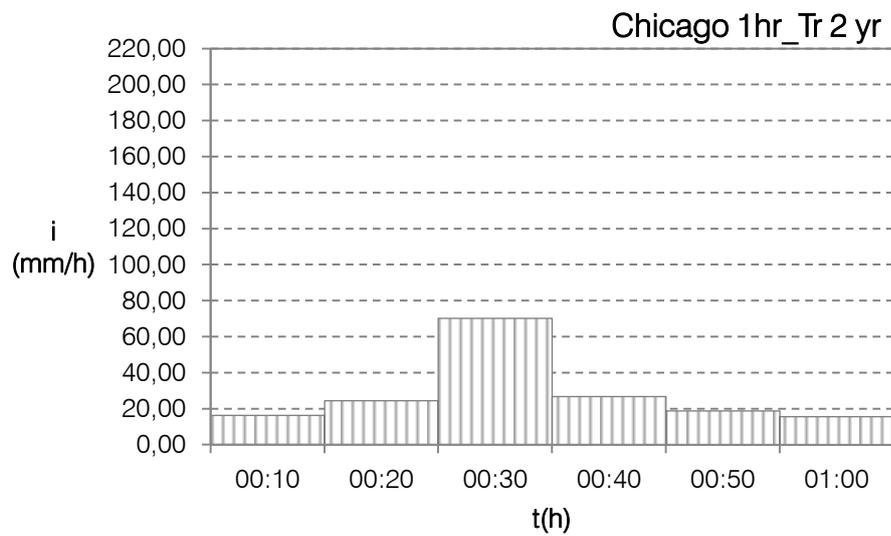
Le curve di probabilità pluviometrica così ricavate sono presentate graficamente nel par.6.5.1.

Appendice B.2

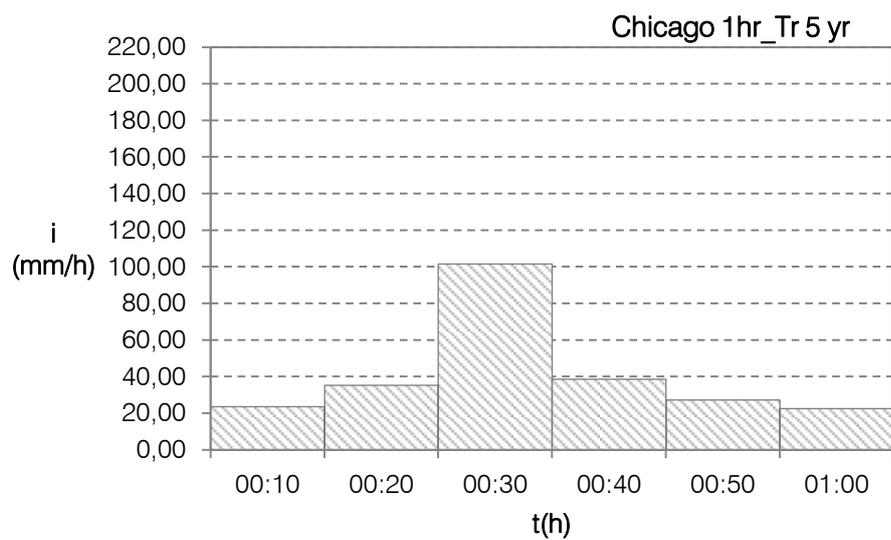
Ietogrammi Chicago: costruzione in forma discreta mediante istogramma

<i>durata pioggia</i>	tc	1,00 [h]
<i>n. intervalli di pioggia</i>	j	6
<i>intervallo di tempo</i>	Δt	10,00 [min]

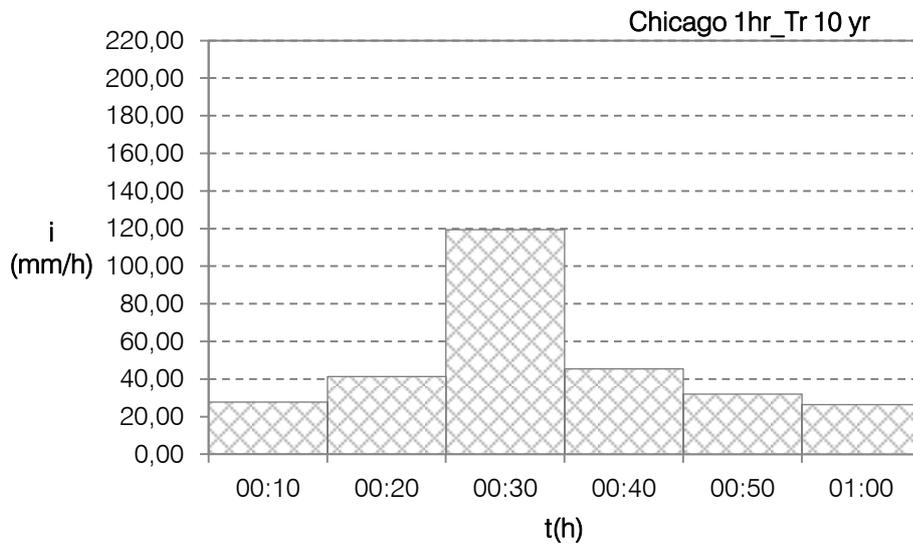
Tempo di ritorno 2 anni



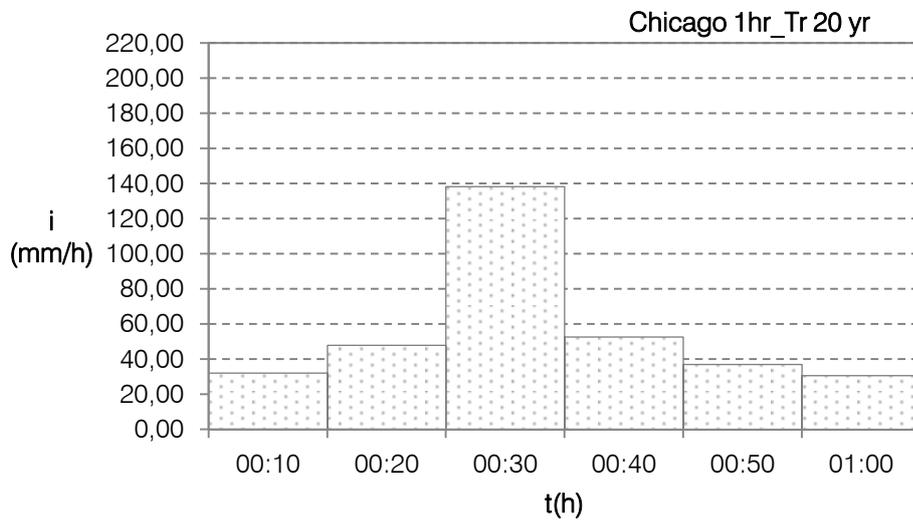
Tempo di ritorno 5 anni



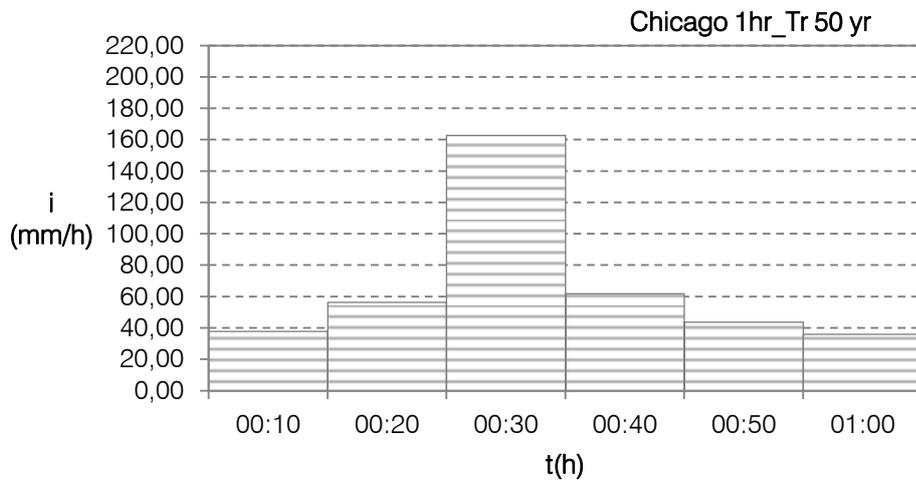
Tempo di ritorno 10 anni



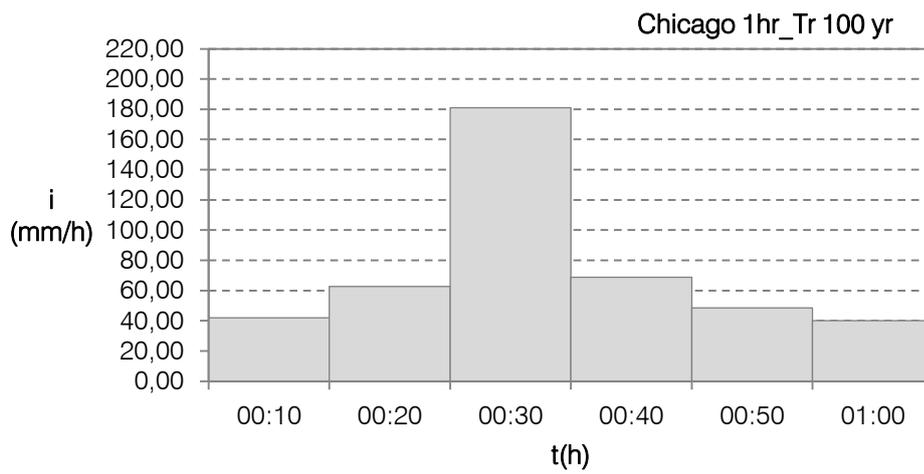
Tempo di ritorno 20 anni



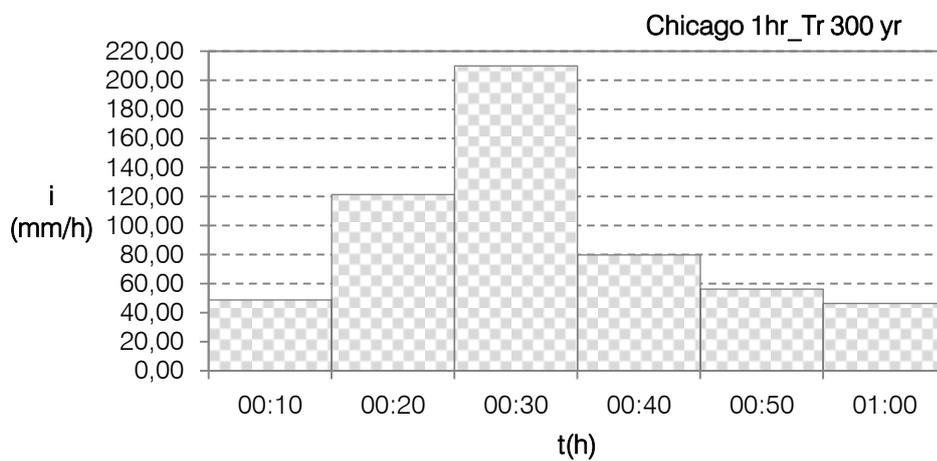
Tempo di ritorno 50 anni



Tempo di ritorno 100 anni



Tempo di ritorno 300 anni



Appendice B.3

Modellazione bacini e *minor system*

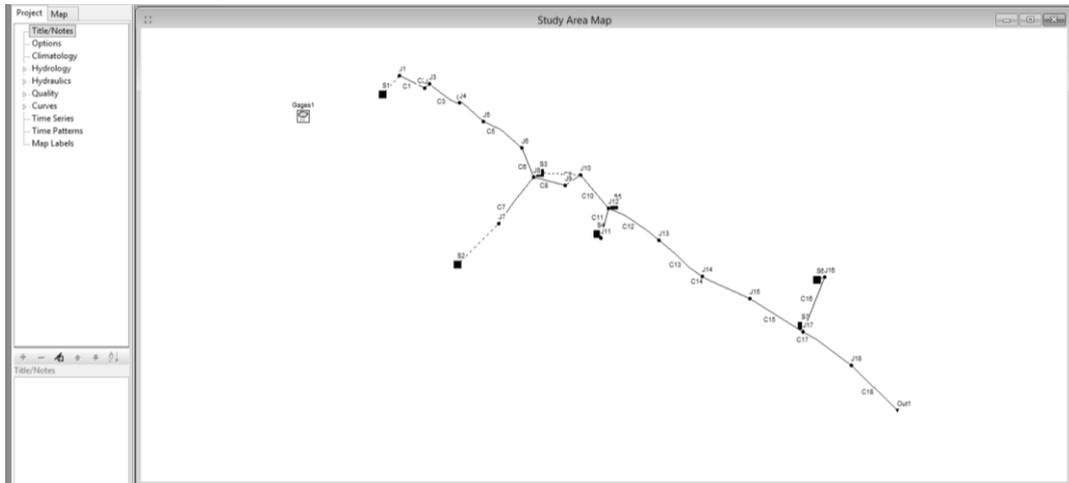


Figura 1 | Sistema-bacino G

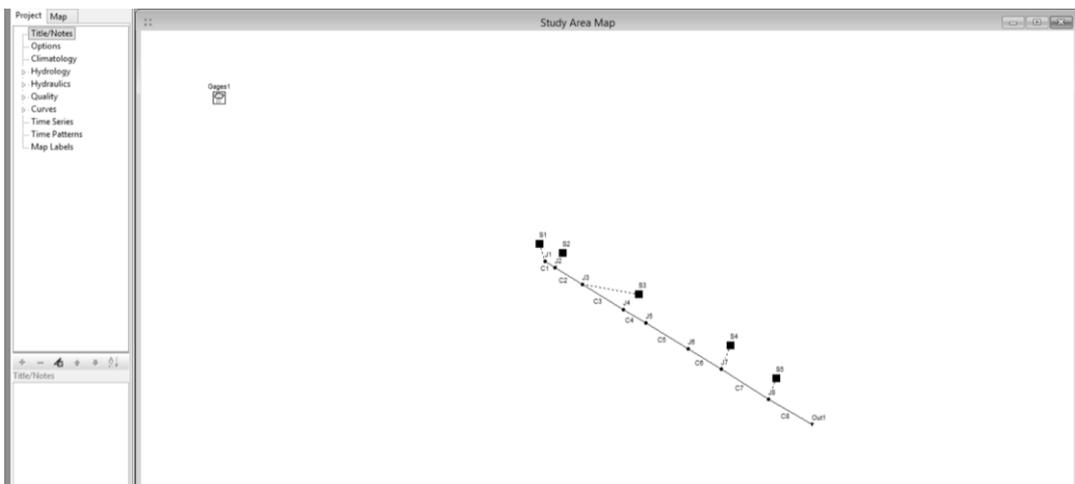


Figura 2 | Sistema-bacino M

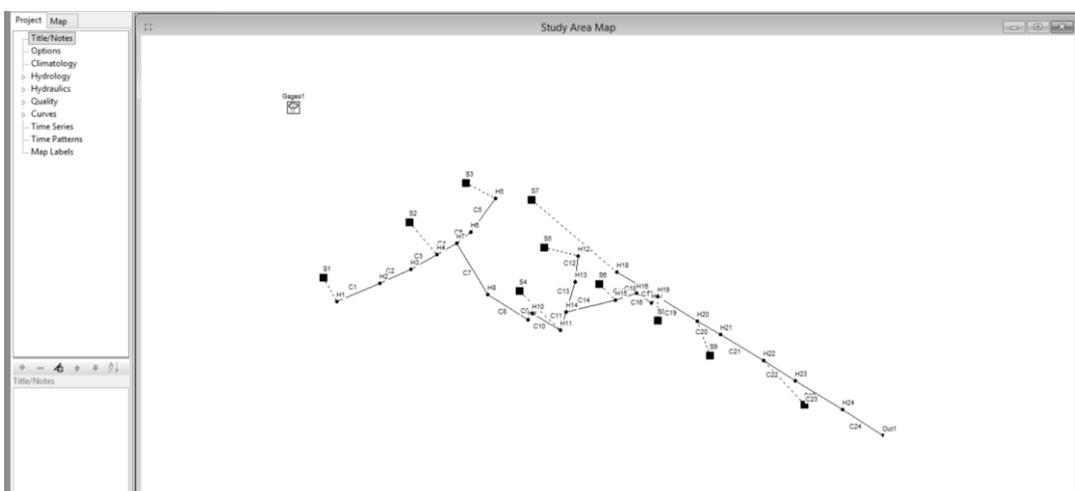


Figura 3 | Sistema-bacino H

Caratteristiche dei rami

Condotta	Nodo monte	Nodo valle	Lunghezza [m]	Scabrezza [s/m ^{1/3}]	Speco	Dimensione [m]
<i>Rete G</i>						
C1	G1	G2	74,75	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C2	G2	G3	17,62	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C3	G3	G4	99,03	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C4	G4	G5	71,52	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C5	G5	G6	121,45	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C6	G6	G8	80,22	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C7	G7	G8	149,73	0,015	circolare	0,6
C8	G8	G9	82,33	0,015	circolare	0,8
C9	G9	G10	47,84	0,015	circolare	0,8
C10	G10	G12	113,41	0,015	circolare	0,8
C11	G11	G12	77,55	0,015	circolare	0,6
C12	G12	G13	177,12	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C13	G13	G14	130,70	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C14	G14	G15	127,23	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C15	G15	G17	160,04	0,015	rettangolare	0,7x1,0
C16	G16	G17	169,74	0,015	circolare	0,8
C17	G17	G18	151,68	0,015	rettangolare	0,8x1,0
C18	G18	Gout	163,84	0,015	rettangolare	0,8x1,0
<i>Rete M</i>						
C1	M1	M2	39,94	0,015	circolare	0,3
C2	M2	M3	90,35	0,015	circolare	0,3
C3	M3	M4	130,00	0,015	circolare	0,6
C4	M4	M5	68,00	0,015	circolare	0,6
C5	M5	M6	130,00	0,015	circolare	0,6
C6	M6	M7	110,00	0,015	circolare	0,6
C7	M7	M8	154,00	0,015	circolare	0,6
C8	M8	Mout	140,00	0,015	circolare	0,6
<i>Rete H</i>						
C1	H1	H2	146,70	0,015	circolare	0,8
C2	H2	H3	101,35	0,015	circolare	0,8
C3	H3	H4	71,12	0,015	circolare	0,8
C4	H4	H7	67,52	0,015	circolare	0,8
C5	H5	H6	100,70	0,015	circolare	0,8
C6	H6	H7	44,00	0,015	circolare	0,8
C7	H7	H8	167,00	0,015	circolare	0,8
C8	H8	H9	126,70	0,015	circolare	0,8
C9	H9	H10	20,30	0,015	circolare	0,8
C10	H10	H11	90,45	0,015	circolare	0,8
C11	H11	H14	58,10	0,015	circolare	0,8
C12	H12	H13	66,00	0,015	circolare	0,8
C13	H13	H14	85,47	0,015	circolare	0,8
C14	H14	H15	136,00	0,015	circolare	0,8

C15	H15	H16	62,00	0,015	circolare	0,8
C16	H16	H17	50,40	0,015	circolare	0,8
C17	H17	H19	23,00	0,015	circolare	0,8
C18	H18	H19	130,30	0,015	circolare	0,3
C19	H19	H20	130,00	0,015	circolare	0,6
C20	H20	H21	68,00	0,015	circolare	0,6
C21	H21	H22	130,00	0,015	circolare	0,6
C22	H22	H23	110,00	0,015	circolare	0,6
C23	H23	H24	154,00	0,015	circolare	0,6
C24	H24	Hout	140,00	0,015	circolare	0,6

Caratteristiche dei nodi

Nodo	Quota fondo [m s.l.m.]	Profondità pozzetto [m]
<i>Rete G</i>		
G1	41,3	2,20
G2	38,0	2,20
G3	37,5	2,20
G4	35,8	2,20
G5	33,9	2,20
G6	31,8	2,20
G7	32,1	2,10
G8	30,0	2,30
G9	28,9	2,30
G10	27,7	2,30
G11	25,7	2,10
G12	25,4	2,70
G13	22,1	2,20
G14	19,4	2,20
G15	16,4	2,20
G16	13,3	2,30
G17	12,2	2,30
G18	8,7	2,30
<i>Rete M</i>		
M1	22,3	1,80
M2	22,0	1,80
M3	18,7	2,10
M4	15,6	2,10
M5	13,5	2,10
M6	11,4	2,10
M7	7,6	2,10
M8	4,1	2,10
<i>Rete H</i>		
H1	39,80	2,30
H2	36,40	2,30
H3	35,10	2,30
H4	33,66	2,30
H5	32,10	2,00
H6	31,97	3,00
H7	31,76	3,30
H8	28,90	2,30
H9	26,70	2,30
H10	26,30	2,30
H11	24,80	1,80
H12	25,50	2,30
H13	24,78	2,30
H14	24,70	2,30

H15	21,50	2,30
H16	20,00	2,30
H17	19,80	2,00
H18	22,30	1,80
H19	19,00	1,80
H20	15,60	2,10
H21	13,50	2,10
H22	11,40	2,10
H23	7,60	2,10
H24	4,10	2,10

Nodo di uscita	Quota fondo [m s.l.m.]	Tipo
<i>Rete G</i>		
Gout	5,5	free
<i>Rete M</i>		
Mout	0,2	free
<i>Rete H</i>		
Hout	0,2	free

Caratteristiche dei bacini

Sotto bacino	Sezione recapito	Area [ha]	Larghezza Falda [m]	Pendenza [%]	Imp [%]	Zero Imp	N-Imp	N-Perv	D-Imp [mm]	D-Perv [mm]	CN
<i>Bacino G</i>											
S1	G1	5,0	400	2,0	90	10	0,02	0,13	3	6	80
S2	G7	7,10	140	2,5	90	10	0,02	0,13	3	6	80
S3	G10	5,98	160	1,8	90	10	0,02	0,13	3	6	80
S4	G11	0,21	75	1,0	90	8	0,02	0,13	3	6	80
S5	G12	6,70	600	2,5	50	6	0,02	0,13	3	6	60
S6	G16	5,30	290	2,5	50	5	0,02	0,13	3	6	70
S7	G17	8,32	200	1,7	70	2,5	0,02	0,13	3	6	50
<i>Bacino M</i>											
S1	M1	3,13	100	2,0	90	10	0,02	0,13	3	6	80
S2	M2	1,58	130	0,9	90	8	0,02	0,13	3	6	80
S3	M3	5,44	110	2,0	25	2	0,02	0,13	3	6	55
S4	M7	1,88	105	2,1	40	5	0,02	0,13	3	6	70
S5	M8	2,0	150	3,0	60	4	0,02	0,13	3	6	60
<i>Bacino H</i>											
S1	H1	6,0	170	2,5	45	7	0,02	0,13	3	6	70
S2	H4	2,74	62	2,3	90	7	0,02	0,13	3	6	80
S3	H5	9,31	165	2,5	90	8	0,02	0,13	3	6	80
S4	H11	2,89	100	2,3	90	9	0,02	0,13	3	6	80
S5	H12	4,30	145	2,4	90	7	0,02	0,13	3	6	80
S6	H15	1,77	85	1,0	90	10	0,02	0,13	3	6	80
S7	H18	2,46	60	2,7	90	8	0,02	0,13	3	6	80
S8	H19	2,0	150	2,1	70	6	0,02	0,13	3	6	80
S9	H20	3,67	130	2,4	5	1	0,02	0,13	3	6	72
S10	H22	2,06	50	2,8	20	1	0,02	0,13	3	6	70

Appendice B.4

Modellazione *major* system

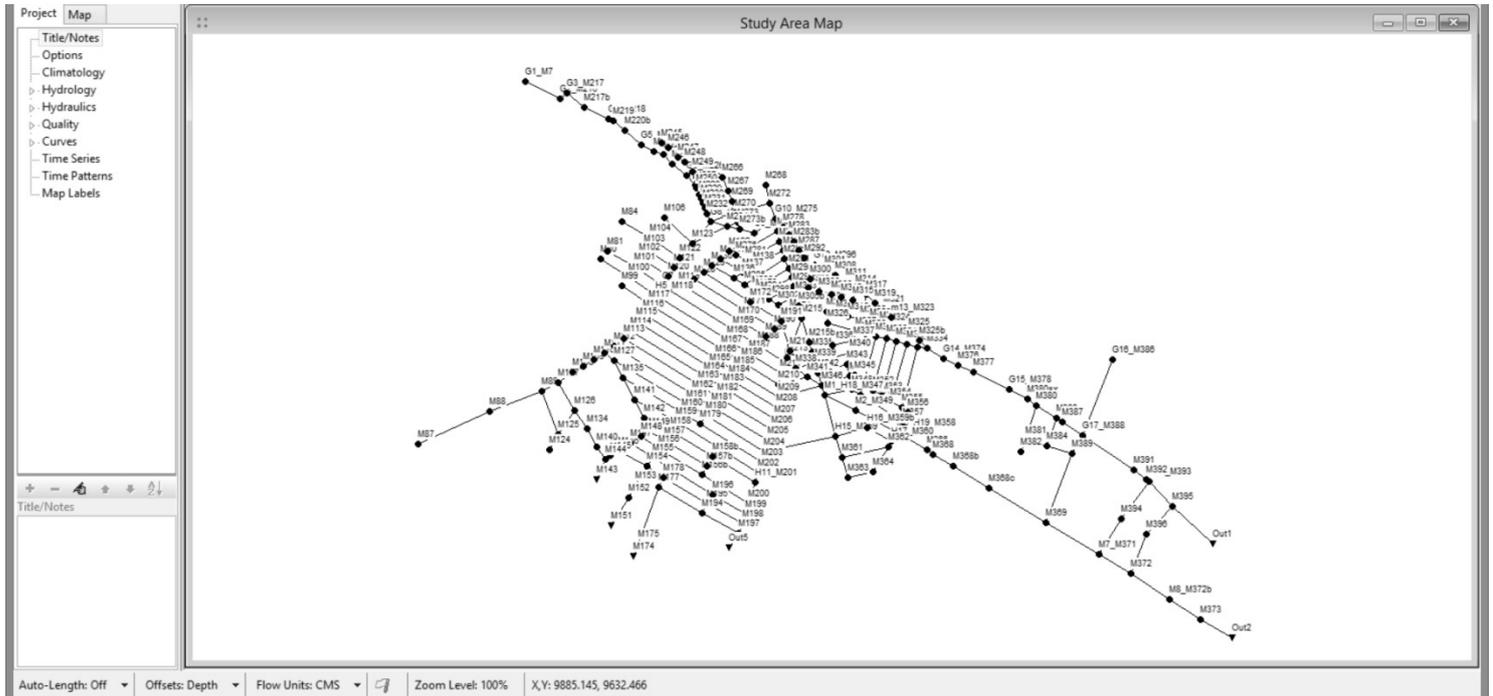


Figura 1 | Individuazione e definizione dei nodi della rete superficiale

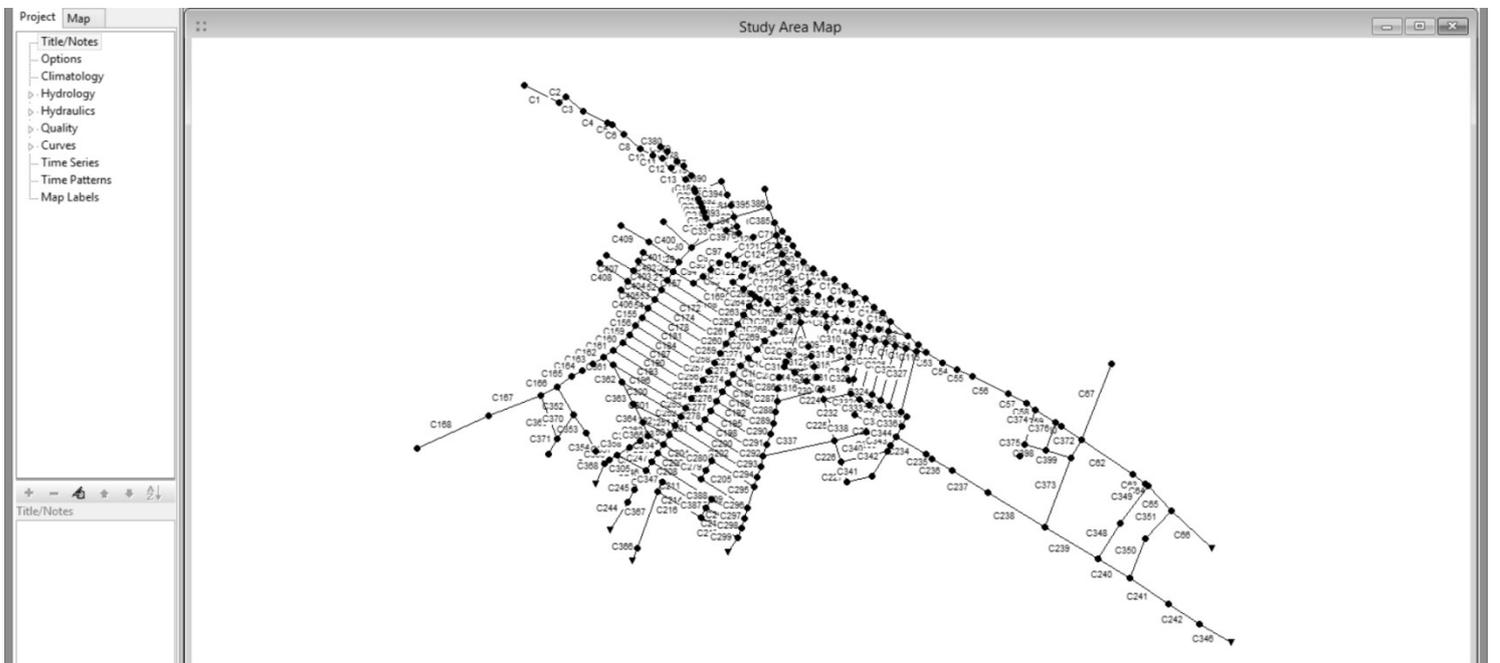


Figura 2 | Individuazione e definizione dei rami della rete superficiale

Caratteristiche dei nodi

Nodo	Quota terreno [m s.l.m.]
G1-M7	43,47
G2-M216	40,20
G3-M217	39,70
G4-M218	38,00
G5-M221b	36,10
G7-M119	34,00
G8-M223	32,30
G9-M235	31,20
G10-M275	30,00
G11-M305	27,80
G12-M296	28,10
M321	25,50
G14-M374	21,57
G15-M378	18,60
G16-M386	15,60
G17-M388	14,50
G18-M393	11,00
M217b	39,10
M219	37,60
M220b	36,92
M223	35,50
M224	35,00
M225	34,60
M227c	34,00
M250	33,40
M228	33,30
M229	33,27
M230	33,17
M231	33,10
M232	33,00
M120	33,70
M121	33,50
M122	33,30
M123	32,90
M277	29,90
M278	29,90
M282	29,70
M283	29,60
M138b	29,50
M283b	29,40
M286	29,30
M287	29,00
M291	28,80
M292	28,74
M295	28,80
M299	28,50
M303	28,24
M307	27,28
M310	26,50
M313	26,30
M316	25,80
M318	25,40
M320	25,00
M322	24,57
M324	24,20
M325	23,17
M128	32,90
M129	32,80
M130	32,54
M131	32,38
M132	32,25
M276	32,10
M281	31,57
M138	31,20
M137	31,46

M136	31,47
M285	30,80
M290	30,40
M173	30,10
M294	29,93
M298	28,90
M302	28,90
M192	28,30
M215	27,30
M326	26,64
M327	25,80
M328	25,25
M329	25,20
M330	24,30
M331	23,80
M332	23,70
M333	22,88
M334	22,10
M301	27,90
M308	27,10
M311	26,64
M314	26,00
M317	25,50
M319	25,10
G13-M323	24,30
G6-M226	34,00
M268	31,18
M272	30,60
M270	31,70
M273	31,60
M234	32,10
M269	32,42
M267	32,20
M245	35,80
M246	35,20
M247	34,40
M249	34,00
M248	34,76
M304	27,73
M325b	22,72
M376	20,60
M377	20,20
M380sx	17,10
M380	16,76
M383	15,60
M387	15,50
M391	12,30
M392	11,50
M395	10,10
M300	27,89
M305b	27,70
M306	27,60
M309	27,00
M312	26,80
M315	26,10
M335	26,70
M339	26,44
M342	26,15
M336	26,30
M337	25,80
M340	26,00
M343	25,20
M212	27,90
M211	27,80
M338	27,00
M341	26,30
M346	25,20
M344	25,10
M345	24,95
M348	24,80

M350	24,10
M351	23,57
M352	23,50
M353	23,10
M354	22,00
M355	21,80
M2-M349	23,83
M3-H19-M358	20,80
M357	21,60
M356	21,70
H15-M359	24,15
H16-M359b	22,80
M361	23,10
H5-M118	34,10
M117	34,20
M116	34,50
M115	36,70
M114	36,80
M171	30,00
M170	30,10
M169	30,20
M168	30,30
M167	30,40
M166	30,50
M165	30,60
M164	30,60
M163	30,65
M162	30,91
M161	30,70
M160	30,67
M159	30,63
M158	30,60
M157	30,95
M156	31,00
M188	28,80
M187	29,00
M186	29,30
M185	29,50
M184	29,60
M183	29,70
M182	29,80
M181	29,90
M180	29,70
M179	29,60
M210	27,50
M209	27,10
M208	27,08
M207	27,06
M206	27,04
M205	27,02
M204	27,00
M203	26,90
M202	26,75
H11-M201	26,60
M200	26,90
M199	26,80
M198	26,60
M197	26,50
H17-M360	20,96
M362	21,15
M364	21,50
M366	19,40
M7-M361	9,70
M372	8,50
M1-H18-M347	24,50
M368b	17,70
M368c	15,60
M369	12,71
M368	18,97
M8-M327b	6,20

M369	10,30
M394	11,40
M381	15,50
M384	15,00
M389	14,90
M189	28,70
M190	28,60
M191	28,40
M213	27,70
M214	27,40
M87	42,10
M88	38,70
M89	37,40
M107	36,60
M108	35,96
M109	35,60
M110	35,10
M111	35,06
M112	35,01
M113	34,97
M172	30,01
M127	34,30
M135	39,20
M141	32,60
M142	32,00
M149	31,20
M146	32,40
M147	32,10
M148	31,80
M145	32,67
M125	34,20
M126	34,90
M134	34,10
M140	33,20
M144	32,80
M155	31,10
M154	31,10
M153	31,20
M152	31,30
M175	30,00
M177	30,53
M178	30,30
M195	28,70
M196	28,60
M156b	30,10
M157b	29,00
M158b	28,60
M194	28,80
M215b	27,00
M363	22,80
M373	5,00
M124	34,60
M382	15,60
M266	32,86
M273b	31,40
M106	35,0
M104	35,78
M103	35,98
M102	36,00
M101	36,10
M100	36,10
M99	36,15
M80	38,90
M81	39,10
M84	38,60

Caratteristiche dei rami

Ramo	Nodo monte (M)	Nodo valle (M)
C1	7	216
C2	216	217
C3	217	217b
C4	217b	218
C5	218	219
C6	219	220b
C8	220b	221b
C10	221b	223
C11	223	224
C12	224	225
C13	225	226
C15	226	227c
C18	249	227c
C19	249	226
C20	227c	250
C21	250	228
C22	228	229
C23	229	230
C24	230	231
C25	231	232
C26	232	233
C27	119	120
C28	120	121
C29	121	122
C30	122	123
C31	123	233
C32	233	234
C33	123	234
C34	273b	235
C35	235	275
C36	275	278
C37	278	283
C38	283	283b
C39	283b	287
C40	287	292
C41	292	296
C42	296	301
C43	301	308
C44	308	311
C45	311	314
C46	314	317
C47	317	319
C48	319	321

C49	321	323
C50	323	325
C51	325	325b
C52	325b	334
C53	334	374
C54	374	376
C55	376	377
C56	377	378
C57	378	380sx
C58	380sx	380
C59	380	383
C60	383	387
C61	387	388
C62	388	391
C63	391	392
C64	392	393
C65	393	395
C66	395	Out1
C67	386	388
C68	305	304
C69	300	304
C70	296	300
C71	275	277
C72	277	282
C73	282	138b
C74	138b	286
C75	286	291
C76	291	295
C77	295	299
C78	299	303
C79	303	305b
C80	305	307
C81	307	310
C82	310	313
C83	313	316
C84	316	318
C85	318	320
C86	320	322
C87	322	324
C88	324	325
C89	286	287
C90	291	292
C91	295	296
C92	299	300
C93	303	304
C94	128	129
C95	129	130

C96	130	131
C97	131	132
C98	132	235
C99	130	136
C100	136	285
C101	285	290
C102	290	173
C103	173	294
C104	294	298
C105	298	302
C106	302	192
C107	192	215
C108	326	327
C109	327	328
C110	328	329
C111	329	330
C112	330	331
C113	331	332
C114	332	333
C115	333	334
C116	131	137
C117	132	276
C118	276	281
C119	281	138
C120	276	277
C121	281	282
C122	136	137
C123	137	138
C124	138	138b
C125	285	286
C126	290	291
C127	294	295
C128	298	299
C129	302	303
C130	304	306
C131	306	309
C132	309	312
C133	312	315
C134	301	306
C135	306	307
C136	308	309
C137	309	310
C138	312	311
C139	312	313
C140	315	314
C141	315	316
C142	317	318

C143	327	318
C144	337	327
C145	340	337
C146	340	343
C147	343	344
C148	319	320
C149	322	321
C150	323	324
C151	330	324
C152	118	119
C153	117	118
C154	116	117
C155	115	116
C156	114	115
C157	121	128
C158	128	171
C159	113	114
C160	112	113
C161	111	112
C162	110	111
C163	109	110
C164	108	109
C165	107	108
C166	89	107
C167	88	89
C168	87	88
C169	129	172
C170	172	191
C171	171	190
C172	120	170
C173	170	189
C174	119	169
C175	169	188
C176	188	212
C177	191	214
C178	118	168
C179	168	187
C180	187	211
C181	117	167
C182	167	186
C183	186	210
C184	116	166
C185	166	185
C186	185	209
C187	115	165
C188	165	184
C189	184	208

C190	114	164
C191	164	183
C192	183	207
C193	113	163
C194	163	182
C195	182	206
C196	112	162
C197	162	181
C198	181	205
C199	161	180
C200	180	204
C201	160	179
C202	179	203
C203	159	202
C204	158	158b
C205	158b	201
C206	157	157b
C207	148	156
C208	156	156b
C209	156b	200
C210	147	155
C211	155	196
C212	196	199
C213	154	178
C214	178	195
C215	195	198
C216	177	194
C217	194	197
C218	305b	215
C219	215	215b
C220	215b	335
C221	335	339
C222	339	342
C223	342	346
C224	346	347
C225	347	359
C226	359	361
C227	361	363
C228	212	338
C229	338	341
C230	341	346
C232	347	349
C233	349	358
C234	358	366
C235	366	368
C236	368	368b
C237	368b	368c

C238	368c	369
C239	369	371
C240	371	372
C241	372	372b
C242	372b	373
C244	152	151
C245	152	153
C246	153	154
C247	154	155
C248	155	156
C249	156	157
C250	157	158
C251	159	158
C252	160	159
C253	161	160
C254	162	161
C255	162	163
C256	163	164
C257	164	165
C258	165	166
C259	166	167
C260	167	168
C261	168	169
C262	169	170
C263	170	171
C264	172	171
C265	172	173
C266	191	192
C267	190	191
C268	189	190
C269	188	189
C270	187	188
C271	186	187
C272	185	186
C273	184	185
C274	183	184
C275	182	183
C276	181	182
C277	181	180
C278	180	179
C279	156b	157b
C280	157b	158b
C281	212	211
C282	212	213
C283	213	214
C284	214	215
C285	211	210

C286	210	209
C287	209	208
C288	208	207
C289	207	206
C290	206	205
C291	205	204
C292	204	203
C293	203	202
C294	202	201
C295	200	201
C296	200	199
C297	199	198
C298	198	197
C299	197	Out5
C300	127	161
C301	135	160
C302	141	159
C303	142	158
C304	149	157
C305	146	154
C306	326	310
C307	326	336
C308	213	335
C309	335	336
C310	336	337
C311	211	338
C312	338	339
C313	339	340
C314	210	341
C315	342	343
C316	209	346
C317	346	344
C318	344	345
C319	328	345
C320	345	348
C321	329	350
C322	350	349
C323	330	352
C324	351	352
C325	331	353
C326	332	354
C327	333	355
C328	352	353
C329	353	354
C330	354	355
C331	355	356
C332	348	350

C333	350	351
C334	351	357
C335	356	357
C336	357	358
C337	204	359
C338	359	359b
C339	359b	360
C340	361	362
C341	363	364
C342	364	362
C343	362	360
C344	360	358
C345	348	347
C346	373	Out2
C347	178	177
C348	394	371
C349	394	393
C350	396	372
C351	396	395
C352	107	126
C353	126	134
C354	134	140
C355	140	144
C356	144	145
C357	145	146
C358	146	147
C359	147	148
C360	148	149
C361	111	127
C362	127	135
C363	135	141
C364	141	142
C365	142	149
C366	175	174
C367	177	175
C368	144	143
C369	89	125
C370	126	125
C371	124	125
C372	389	388
C373	389	369
C374	380	381
C375	382	381
C376	383	384
C377	249	248
C378	248	247
C379	247	246

C380	246	245
C381	267	269
C382	269	270
C383	270	273
C384	234	273
C385	272	275
C386	268	272
C387	194	195
C388	195	196
C389	305	305b
C390	250	266
C391	229	267
C392	231	269
C393	233	270
C394	266	267
C395	270	272
C396	273	273b
C397	234	273b
C398	381	384
C399	384	389
C400	106	123
C401	104	122
C402	103	121
C403	102	120
C404	101	119
C405	100	118
C406	99	117
C407	81	101
C408	80	100
C409	84	104
C410	268	265
C411	386	447
C412	103	83
C413	102	82

Caratteristiche dei rami

Sezione stradale	Nodo monte (M)	Nodo valle (M)	Larg. [m]	Lung. [m]
Via Procida 1	7	216	7,00	74,75
Via Procida 2	216	217	9,50	17,62
Via Procida 3	217	217b	10,70	56,06
via Procida 4	217b	218	5,73	43,00
Via Procida 5	218	219	21,90	15,12
Via Procida 6	219	220	4,00	21,97
Via Procida 7	220	220b	76,00	9,84
Via Procida 8	220b	221	3,70	21,47
Via Procida 9	221	221b	-	3,12
Via Procida 10	221b	223	6,21	21,70
Via Procida 11	223	224	4,54	24,00
Via Procida 12	224	225	4,00	22,05
Via Procida 13	225	226	4,03	36,50
Piazza E.Toti1	226b	226	3,34	7,45
Piazza E.Toti2	226b	227	10,34	20,26
Piazza E.Toti3	227	227c	3,18	9,78
Piazza E.Toti4	227c	227b	-	10,30
Piazza E.Toti5	227b	249	13,90	24,00
Piazza E.Toti6	249	226	3,33	13,65
Piazza E.Toti7	227c	250	4,00	7,13
via fieramosca	250	266	6,50	57,00
Via Rattazzi_a	250	228	9,27	13,35
Via Rattazzi_b	228	229	9,50	7,64
Via Rattazzi_c	229	230	9,50	9,72
Via Rattazzi_d	230	231	9,40	11,13
Via Rattazzi_e	231	232	9,40	6,41
Via Rattazzi_f	232	233	9,30	15,00
Via Casalini_a	119	120	8,28	21,78
Via Casalini_b	120	121	8,30	20,05
Via Casalini_c	121	122	8,20	21,20
Via Casalini_d	122	123	8,15	36,60
Piazza F.Corridoni1	123	233	6,80	52,00
Piazza F.Corridoni2	233	234	10,00	37,00
Piazza F.Corridoni3	123	234	-	74,00
via Bione/via rattazzi	234	273b	-	30,00
Via Rattazzi_g/via bione	273b	235	8,00	26,50
Via Carducci_f	235	275	8,00	47,40
Via Marina_1	275	278	-	21,22
Via Marina_2	278	283	9,90	16,98
Via Marina_3	283	283b	10,00	12,64
Via Marina_4	283b	287	10,00	18,00
Via Marina_5	287	292	10,00	16,98
Via Marina_6	292	296	12,00	20,16

Via Nizza_a	215	305	-	
Via Piccione_1	296	301	8,30	25,00
Via Piccione_2	301	308	9,00	24,10
Via Piccione_3	308	311	8,80	20,38
Via Piccione_4	311	314	7,20	24,52
Via Piccione_5	314	317	7,20	21,95
Via Piccione_6	317	319	7,20	21,40
Via Piccione_7	319	321	7,80	21,00
Via Piccione_8	321	323	8,00	22,48
Via Piccione_9	323	325	8,80	46,70
Via Piccione_10	325	325b	9,00	19,18
Via Piccione_11	325b	334	-	26,38
Via Piccione_12	334	374	9,20	26,75
Via Piccione_13	374	376	8,60	35,00
Via Piccione_14	376	377	7,10	30,30
Via Piccione_15	377	378	7,10	73,80
Via Piccione_16	378	380sx	8,60	38,12
Via Piccione_17	380sx	380	7,80	17,46
Via Piccione_18	380	383	6,70	45,48
Via Piccione_19	383	387	8,20	11,92
Via Piccione_20	387	388	8,30	41,65
Via Piccione_21	388	391	7,70	115,77
Via Piccione_22	391	392	8,00	30,50
Via Piccione_23	392	393	9,20	14,88
Via Piccione_24	393	395	7,64	53,12
Via Piccione_25	395	397	7,18	81,30
Viale M.Polo_1	g16	388	24,00	170,00
Viale M.Polo_2	g17	389	24,00	38,70
Viale M.Polo_3	389	369	24,00	140,00
Via Nizza_b	304	305	6,00	34,00
Via_Nizza_c	300	304	6,15	21,70
Via_Nizza_d	296	300	5,60	28,00
Corso Garibaldi_1	275	277	-	22,44
Corso Garibaldi_2	277	282	10,60	18,50
Corso Garibaldi_3	282	138b	10,40	18,37
Corso Garibaldi_4	138b	286	10,20	18,36
Corso Garibaldi_5	286	291	10,20	18,20
Corso Garibaldi_6	291	295	10,20	17,18
Corso Garibaldi_7	295	299	10,20	17,21
Corso Garibaldi_8	299	303	10,20	18,10
Corso Garibaldi_9	303	305b	10,20	19,58
Via_sMartino_1	305	307	-	18,26
Via_sMartino_2	307	310	7,00	22,30
Via_sMartino_3	310	313	7,00	21,71
Via_sMartino_4	313	316	6,00	21,98
Via_sMartino_5	316	318	6,70	20,20
Via_sMartino_6	318	320	6,70	19,10

Via_sMartino_7	320	322	6,70	19,22
Via_sMartino_8	322	324	7,00	19,43
Via_sMartino_9	324	325	7,00	43,41
traversa IX	286	287	2,80	30,70
traversa VII	291	292	3,00	37,60
traversa V	295	296	3,10	44,80
traversa III	299	300	3,20	35,50
traversa I	303	304	3,10	25,00
Via_Carducci_1	128	129	8,80	21,70
Via_Carducci_2	129	130	8,60	20,70
Via_Carducci_3	130	131	8,30	20,80
Via_Carducci_4	131	132	7,00	20,86
Via_Carducci_5	132	235	6,00	56,30
Via_XXIV Maggio_1	130	136	6,60	46,40
Via_XXIV Maggio_2	136	285	7,00	23,90
Via_XXIV Maggio_3	285	290	7,00	17,00
Via_XXIV Maggio_4	290	173	7,00	7,10
Via_XXIV Maggio_5	173	294	7,00	10,00
Via_XXIV Maggio_6	294	298	7,00	19,60
Via_XXIV Maggio_7	298	302	7,00	18,30
Via_XXIV Maggio_8	302	192	7,00	27,30
Via_XXIV Maggio_9	192	215	7,00	23,40
via_Aretusa_1	326	327	6,20	53,50
via_Aretusa_2	327	328	6,20	19,40
via_Aretusa_3	328	329	6,20	19,40
via_Aretusa_4	329	330	6,20	18,60
via_Aretusa_5	330	331	6,20	19,70
via_Aretusa_6	331	332	6,20	19,80
via_Aretusa_7	332	333	6,20	21,10
via_Aretusa_8	333	334	-	23,40
via_Trento	131	137	7,00	49,25
via_Modena_1	132	276	7,00	14,50
via_Modena_2	276	281	7,00	17,40
via_Modena_3	281	138	7,00	20,24
traversa XIII	276	277	3,50	90,70
traversa XII	281	282	3,50	77,80
traversa XI_1	136	137	7,00	21,60
traversa XI_2	137	138	7,00	21,60
traversa XI_3	138	138b	3,50	63,60
traversa X	285	286	3,30	90,86
traversa VIII	290	291	3,50	78,15
traversa VI	294	295	3,30	65,40
traversa IV	298	299	3,50	53,20
traversa II	302	303	3,00	37,60
via_magenta_1	304	306	7,20	19,50
via_magenta_2	306	309	7,30	21,70
via_magenta_3	309	312	7,30	20,50

via_magenta_4	312	215	7,20	22,60
via_solferino_1	301	306	6,90	44,50
via_solferino_2	306	307	6,90	33,70
via_varese_1	308	309	7,10	38,00
via_varese_2	309	310	7,20	33,60
via_aspromonte_1	311	312	7,00	32,40
via_aspromonte_2	312	313	7,20	32,40
via_pastrengo_1	314	315	6,90	23,65
via_pastrengo_2	315	316	6,90	32,98
via_goito_1	317	318	6,60	49,40
via_goito_2	318	327	6,50	21,00
via_goito_3	327	337	6,30	17,80
via_goito_4	337	340	6,40	25,60
via_goito_5	340	343	5,90	22,70
via_goito_6	343	344	3,00	20,00
via_montebello	319	320	6,70	40,50
via_bezzecca	321	322	6,90	31,80
via_teano_1	323	324	5,80	23,60
via_teano_2	324	330	6,20	22,40
Via_Casalini_e	118	119	8,30	20,98
Via_Casalini_f	117	118	8,30	20,63
Via_Casalini_g	116	117	8,15	19,92
Via_Casalini_h	115	116	8,10	19,63
Via_Casalini_i	114	115	8,05	20,60
Via_Piave_1	121	128	7,30	42,95
Via_Piave_2	128	171	7,30	109,20
Via_Piave_3	171	190	7,30	64,85
Via_Casalini_l	113	114	8,00	20,10
Via_Casalini_m	112	113	7,80	21,00
Via_Casalini_n	111	112	8,40	23,00
Via_Casalini_o	110	111	-	22,57
Via_Casalini_p	109	110	8,10	22,48
Via_Casalini_q	108	109	8,20	22,48
Via_Casalini_r	107	108	-	33,45
Via_Casalini_s	89	107	-	30,06
Via_Casalini_t	88	89	7,80	101,90
Via_Casalini_u	87	88	15,30	146,70
Via_Gozzo_1	129	172	6,80	101,65
Via_Gozzo_2	172	191	6,80	69,73
Via_Gozzo_3	191	214	6,80	57,85
Via_Neghelli_1	120	170	7,00	154,30
Via_Neghelli_2	170	189	7,00	60,00
Via_D'Agata_1	119	169	9,55	155,56
Via_D'Agata_2	169	188	9,20	56,56
Via_D'Agata_3	188	212	9,00	57,20
Via_D'Agata_4	212	338	-	18,25
Via_D'Agata_5	338	341	11,00	29,55

Via D'Agata_6	341	346	-	34,73
Via D'Agata_7	346	347	-	32,00
Via D'Agata_8	347	349	9,40	39,94
Via D'Agata_9	349	358	9,10	90,35
Via D'Agata_10	358	366	9,90	57,95
Via D'Agata_11	366	368	-	18,00
Via D'Agata_12	368	368b	10,80	53,55
Via D'Agata_13	368b	368c	10,80	67,96
Via D'Agata_14	368c	369	10,40	129,70
Via D'Agata_15	369	371	9,50	110,90
Via D'Agata_16	371	372	9,15	69,17
Via D'Agata_17	372	372b	9,00	84,90
Via D'Agata_18	372b	373	8,45	63,00
Via D'Agata_19	373	373b	5,50	77,00
Via Razza_1	118	168	7,00	156,67
Via Razza_2	168	187	7,00	50,14
Via Razza_3	187	211	7,00	69,46
Via Malta_1	117	167	7,30	158,00
Via Malta_2	167	186	7,30	44,93
Via Malta_3	186	210	7,30	80,50
Via De Amicis_1	116	166	7,00	160,00
Via De Amicis_2	166	185	7,00	43,25
Via De Amicis_3	185	209	7,00	95,32
Via Locatelli_1	115	165	7,00	160,05
Via Locatelli_2	165	184	7,00	40,20
Via Locatelli_3	184	208	7,00	103,80
Via Montegrappa_1	114	164	7,20	159,06
Via Montegrappa_2	164	183	7,20	42,28
Via Montegrappa_3	183	207	7,20	110,72
Via Diaz_1	113	163	6,80	163,95
Via Diaz_2	163	182	6,80	41,03
Via Diaz_3	182	206	6,80	118,07
Via Napoleone_1	112	162	7,00	171,12
Via Napoleone_2	162	181	7,00	42,65
Via Napoleone_3	181	205	7,00	123,85
Via Sempione_1	111	127	-	24,00
Via Sempione_2	127	161	7,20	132,00
Via Sempione_3	161	180	7,20	40,81
Via Sempione_4	180	204	7,20	130,00
Via S Gottardo_1	135	160	7,00	110,00
Via S Gottardo_2	160	179	7,00	41,00
Via S Gottardo_3	179	203	7,00	134,42
Via Zandonai_1	141	159	6,70	93,80
Via Zandonai_2	159	202	6,70	180,30
Via degli Astronauti_1	142	158	7,10	60,13
Via degli Astronauti_2	158	158b	7,10	94,24
Via degli Astronauti_3	158b	201	6,70	90,45

Via Giordano_1	149	157	7,00	34,65
Via Giordano_2	157	157b	7,00	94,05
Via Catalani_1	148	156	6,50	41,30
Via Catalani_2	156	156b	7,10	94,10
Via Catalani_3	156b	200	7,40	101,80
Via Vivaldi_1	147	155	6,60	51,80
Via Vivaldi_2	155	196	7,00	130,10
Via Vivaldi_3	196	199	6,00	67,70
Via Gigli_1	146	154	7,00	62,45
Via Gigli_2	154	178	-	37,80
Via Gigli_3	178	195	7,00	91,37
Via Gigli_4	195	198	5,70	69,85
Via Paganini_1	177	194	6,60	91,75
Via Paganini_2	194	197	5,70	72,15
Corso Garibaldi_10	305b	215	-	24,20
Corso Garibaldi_10b	215	215b	7,50	46,00
Corso Garibaldi_10c	215b	335	9,70	17,68
Corso Garibaldi_11	335	339	10,20	21,68
Corso Garibaldi_12	339	342	10,20	21,68
Corso Garibaldi_13	342	346	-	22,33
Corso Garibaldi_14	346	346b	84,20	22,05
Corso Garibaldi_15	346b	359	12,50	66,90
Corso Garibaldi_16	359	361	12,00	40,48
Corso Garibaldi_17	361	363	12,00	40,48
Via_Filiberto_1	150	151	6,00	23,00
Via_Filiberto_2	152	151	7,00	61,32
Via_Filiberto_3	152	153	7,30	27,53
Via_Filiberto_4	153	154	-	40,50
Via_Filiberto_5	154	155	7,00	19,90
Via_Filiberto_6	155	156	6,80	21,00
Via_Filiberto_7	156	157	7,00	20,30
Via_Filiberto_8	157	158	7,30	19,75
Via_Filiberto_9	159	158	7,00	20,70
Via_Filiberto_10	160	159	7,00	20,30
Via_Filiberto_11	161	160	7,00	19,00
Via_Filiberto_12	162	161	7,00	21,10
Via_Filiberto_13	162	163	6,80	19,80
Via_Filiberto_14	163	164	6,80	19,98
Via_Filiberto_15	164	165	7,00	19,61
Via_Filiberto_16	165	166	7,00	19,80
Via_Filiberto_17	166	167	7,00	20,26
Via_Filiberto_18	167	168	7,00	20,54
Via_Filiberto_19	168	169	7,00	21,70
Via_Filiberto_20	169	170	7,30	20,28
Via_Filiberto_21	170	171	7,30	20,92
Via_Filiberto_22	172	171	7,30	20,27
Via_Filiberto_23	172	173	6,20	20,27

Via_Maroncelli_1	191	192	6,90	23,43
Via_Maroncelli_2	190	191	6,65	20,53
Via_Maroncelli_3	189	190	7,10	20,10
Via_Maroncelli_4	188	189	6,90	23,00
Via_Maroncelli_5	187	188	6,90	20,84
Via_Maroncelli_6	186	187	7,10	21,37
Via_Maroncelli_7	185	186	7,10	20,44
Via_Maroncelli_8	184	185	7,10	19,60
Via_Maroncelli_9	183	184	7,10	19,60
Via_Maroncelli_10	182	183	7,30	19,87
Via_Maroncelli_11	181	182	7,30	20,10
Via_Maroncelli_12	181	180	7,10	20,92
Via_Maroncelli_13	180	179	7,10	18,50
Via C.Giordano_Astro_1	156b	157b	10,00	20,80
Via C.Giordano_Astro	157b	158b	10,00	19,30
Via Abba_4	212	211	7,10	21,40
Via Abba_3	212	213	9,20	10,20
Via Abba_2	213	214	9,14	13,35
Via Abba_1	214	215	7,50	65,00
Via Abba_5	211	210	8,00	21,50
Via Abba_6	210	209	-	24,80
Via Abba_7	209	208	8,50	20,15
Via Abba_8	208	207	8,80	20,40
Via Abba_9	207	206	9,00	20,75
Via Abba_10	206	205	8,80	20,38
Via Abba_11	205	204	9,14	24,00
Via Abba_12	204	203	10,00	19,28
Via Abba_13	203	202	9,70	18,36
Via Abba_13b	202	201	9,70	18,36
Via Abba_14	200	201	8,6	41,50
Via Abba_15	200	199	-	20,61
Via Abba_16	199	198	-	18,80
Via Abba_17	198	197	-	20,48
Via Abba_18	197	out	7,00	215,00
Via Einstein_1	107	126	11,50	60,00
Via Einstein_2	126	134	10,70	40,30
Via Einstein_3	134	140	10,70	39,80
Via Einstein_4	140	144	10,40	37,10
Via Einstein_5	111	127	-	41,00
Via Einstein_6	127	135	-	43,00
Via Einstein_7	135	141	23,40	20,00
Via Einstein_8	141	142	-	38,80
Via Einstein_9	142	149	-	33,80
Via Einstein_10	144	145	-	17,75
Via Einstein_11	145	146	9,20	18,50
Via Einstein_12	146	147	10,50	22,70
Via Einstein_13	147	148	10,50	24,03

Via Einstein_14	148	149	10,50	20,88
Via Da Messina_1	175	174	7,00	25,85
Via Da Messina_2	177	175	7,50	110,00
Via Da Messina_3	178	177	-	20,96
Via Marengo_1	326	310	6,20	23,20
Via Marengo_2	326	336	5,90	39,97
Via Ronco Cerere_1	213	335	7,20	47,55
Via Ronco Cerere_2	335	336	7,20	40,28
Via Ronco Cerere_3	336	337	7,20	40,27
Via Salemi_1	211	338	6,30	23,22
Via Salemi_2	338	339	7,00	40,67
Via Villaglori	339	340	7,50	68,22
Via Milazzo	210	341	6,85	56,86
Via Maddalone	342	343	7,10	55,90
Via San Nicola_1	209	346	7,00	79,55
Via San Nicola_2	346	344	7,40	56,15
Via San Nicola_3	344	345	7,40	10,00
Via Peschiera_1	328	345	6,00	81,18
Via Peschiera_2	345	348	6,00	26,37
Via Carigliano_1	329	350	6,40	112,94
Via Carigliano_2	350	349	6,00	24,54
via_teano_3	330	352	6,60	99,96
via_teano_4	351	352	6,60	19,50
via_DeiMille	331	353	6,20	105,50
via_Rossini	332	354	6,50	111,50
via_Boito	333	335	9,50	119,64
via_Curtatone_1	352	353	6,50	20,64
via_Curtatone_2	353	354	6,50	21,21
via_Curtatone_3	354	355	6,50	23,83
via_Curtatone_4	355	356	6,50	10,20
via_Montanara_1	348	350	6,20	20,35
via_Montanara_2	350	351	6,20	20,54
via_Montanara_3	351	357	6,20	73,85
via_Toscanin_1	356	357	4,00	20,35
via_Toscanin_2	357	358	6,50	22,22
via_Brancati_1	204	359	10,20	137,00
via_Brancati_2	359	359b	10,00	61,82
via_Deledda	359b	360	9,80	50,40
via_Marchesi	361	362	10,10	93,68
via_T.DiLampedusa_1	363	364	-	49,70
via_T.DiLampedusa_2	364	362	10,40	42,65
via_T.DiLampedusa_3	362	360	14,00	23,20
via_T.DiLampedusa_4	360	358	6,00	19,44
via_Nazione	348	347	7,40	28,50
via_A.DaMessina_1	178	177	-	20,96
via_Curcio_1	394	371	9,45	92,00
via_Curcio_2	394	393	9,45	73,15

via_AldoMoro_1	396	372	11,50	83,60
via_AldoMoro_2	396	395	11,50	71,20
via_Pisani	144	143	8,50	27,00
via_Fleming	89	125	7,50	87,50
via_Copernico_1	126	125	9,60	55,40
via_Copernico_2	124	125	10,00	59,00
via_Majorana_1	380	381	9,50	68,80
via_Majorana_2	382	381	9,50	26,40
via_Curie_1	383	384	9,80	55,40
via_rattazzi_1	248	249	9,00	23,18
via_rattazzi_2	247	248	9,30	14,66
via_rattazzi_3	246	247	9,30	24,30
via_rattazzi_4	245	246	9,30	18,13
via_ronco_tirolo1	234	273	-	17,40
via_monfalcone_1	267	269	6,60	21,42
via_monfalcone_2	269	270	6,60	21,42
via_monfalcone_3	270	273	6,60	20,04
via_monfalcone_4	273	273b	-	13,00
Corso Garibaldi_a	272	275	11,95	31,14
Corso Garibaldi_b	268	272	11,95	34,80
via_paganini_traversa	194	195	9,25	18,72
via_paganini_traversa_2	195	196	9,25	20,32
piazza_ducabruzzo_1	305	305b	-	12,00
via_archimede	381	384	7,6	42,80
Via_archimede_2	384	389	7,6	52,00
via_Mameli	106	123	9,8	88,60
via_Calvi	104	122	7,15	87,53
via_Piave_4	103	121	7,30	86,80
via_Neghelli_3	102	120	7,00	86,40
via_d'Agata_20	101	119	9,55	86,00
via_razza_4	100	118	7,00	85,60
via_malta_4	99	117	7,30	85,00
via_de amicis_4	98	116	7,00	84,65
via_locatelli_4	97	115	7,00	84,70
via_d'Agata_21	81	101	9,55	125,00
via_razza_5	80	100	7,00	124,30

Appendice B.5

Risultati delle simulazioni

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino e rete fognaria (*minor system*) _ Tr=2 anni

	RETE G		RETE M		RETE H	
<i>(Runoff quantity Continuity)</i>	volume	altezza	volume	altezza	volume	altezza
	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]
Precipitazione totale	1,104	28,60	0,401	28,60	1,064	28,597
Perdite di infiltrazione	0,285	7,39	0,181	12,898	0,311	8,362
Deflusso superficiale	0,735	19,036	0,196	14,004	0,669	17,985
Immagazzinamento superficiale finale	0,09	2,327	0,026	1,826	0,088	2,370
Errore di continuità [%]	-0,547		-0,461		-0,447	
<i>(Flow routing continuity)</i>	volume	volume	volume	volume	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Deflusso entrante	0,735	7,349	0,196	1,963	0,669	6,692
Deflusso uscente	0,732	7,317	0,156	1,557	0,395	3,949
Perdite di allagamento	0,003	0,034	0,041	0,406	0,274	2,737
Volume finale immagazzinato	0,001	0,01	0,00	0,001	0,001	0,015
Errore di continuità [%]	-0,153		-0,015		-0,122	

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino e rete fognaria (*minor system*) _ Tr=5 anni

	RETE G		RETE M		RETE H	
<i>(Runoff quantity Continuity)</i>	volume	altezza	volume	altezza	volume	altezza
	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]
Precipitazione totale	1,597	41,37	0,58	41,37	1,539	41,37
Perdite di infiltrazione	0,402	10,412	0,259	18,469	0,434	11,658
Deflusso superficiale	1,116	28,915	0,299	21,3	1,028	27,624
Immagazzinamento superficiale finale	0,088	2,279	0,025	1,796	0,085	2,288
Errore di continuità [%]	-0,569		-0,473		-0,483	
<i>(Flow routing continuity)</i>	volume	volume	volume	volume	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Deflusso entrante	1,116	11,164	0,299	2,986	1,028	10,278
Deflusso uscente	0,967	9,672	0,208	2,082	0,44	4,402
Perdite di allagamento	0,15	1,502	0,09	0,904	0,587	5,873
Volume finale immagazzinato	0,001	0,011	0,00	0,001	0,001	0,015
Errore di continuità [%]	-0,186		-0,040		-0,11	

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino e rete fognaria (*minor system*) _ Tr=10 anni

	RETE G		RETE M		RETE H	
<i>(Runoff quantity Continuity)</i>	volume	altezza	volume	altezza	volume	altezza
	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]
Precipitazione totale	1,88	48,70	0,683	48,70	1,812	48,70
Perdite di infiltrazione	0,458	11,868	0,30	21,389	0,492	13,223
Deflusso superficiale	1,346	34,853	0,361	25,75	1,246	33,48
Immagazzinamento superficiale finale	0,088	2,272	0,025	1,801	0,084	2,247
Errore di continuità [%]	-0,601		-0,495		-0,515	
<i>(Flow routing continuity)</i>	volume	volume	volume	volume	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Deflusso entrante	1,346	13,456	0,361	3,61	1,246	12,458
Deflusso uscente	1,057	10,574	0,234	2,338	0,462	4,618
Perdite di allagamento	0,289	2,895	0,127	1,272	0,784	7,837
Volume finale immagazzinato	0,001	0,011	0,00	0,001	0,001	0,015
Errore di continuità [%]	-0,17		-0,039		-0,102	

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino e rete fognaria (*minor system*) _ Tr=20 anni

	RETE G		RETE M		RETE H	
<i>(Runoff quantity Continuity)</i>	volume	altezza	volume	altezza	volume	altezza
	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]	[ha-m]]	[mm]
Precipitazione totale	2,177	56,385	0,791	56,385	2,098	56,385
Perdite di infiltrazione	0,51	13,221	0,341	24,305	0,543	14,582
Deflusso superficiale	1,592	41,232	0,429	30,608	1,481	39,813
Immagazzinamento superficiale finale	0,088	2,276	0,025	1,757	0,085	2,287
Errore di continuità [%]	-0,61		-0,504		-0,525	
<i>(Flow routing continuity)</i>	volume	volume	volume	volume	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Deflusso entrante	1,592	15,919	0,429	4,291	1,481	14,814
Deflusso uscente	1,126	11,261	0,26	2,596	0,481	4,814
Perdite di allagamento	0,467	4,665	0,17	1,695	1,0	9,995
Volume finale immagazzinato	0,001	0,011	0,00	0,001	0,002	0,015
Errore di continuità [%]	-0,111		-0,037		-0,07	

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino e rete fognaria (*minor system*) _ Tr=50 anni

	RETE G		RETE M		RETE H	
<i>(Runoff quantity Continuity)</i>	volume	altezza	volume	altezza	volume	altezza
	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]
Precipitazione totale	2,561	66,34	0,93	66,34	2,468	66,335
Perdite di infiltrazione	0,572	14,808	0,388	27,65	0,60	16,029
Deflusso superficiale	1,918	49,677	0,521	37,161	1,796	48,259
Immagazzinamento superficiale finale	0,087	2,254	0,026	1,859	0,086	2,302
Errore di continuità [%]	-0,609		-0,507		-0,535	
<i>(Flow routing continuity)</i>	volume	volume	volume	volume	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Deflusso entrante	1,918	19,18	0,521	5,21	1,796	17,957
Deflusso uscente	1,188	11,884	0,292	2,924	0,503	5,034
Perdite di allagamento	0,73	7,3	0,229	2,287	1,292	12,919
Volume finale immagazzinato	0,001	0,011	0,00	0,001	0,002	0,015
Errore di continuità [%]	-0,078		-0,04		-0,064	

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino e rete fognaria (*minor system*) _ Tr=100 anni

	RETE G		RETE M		RETE H	
<i>(Runoff quantity Continuity)</i>	volume	altezza	volume	altezza	volume	altezza
	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]
Precipitazione totale	2,849	73,79	1,035	73,79	2,746	73,790
Perdite di infiltrazione	0,61	15,806	0,423	30,17	0,637	17,119
Deflusso superficiale	2,167	56,129	0,593	42,265	2,037	54,749
Immagazzinamento superficiale finale	0,09	2,319	0,024	1,737	0,087	2,333
Errore di continuità [%]	-0,627		-0,518		-0,557	
<i>(Flow routing continuity)</i>	volume	volume	volume	volume	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Deflusso entrante	2,167	21,671	0,593	5,925	2,037	20,372
Deflusso uscente	1,227	12,272	0,315	3,151	0,518	5,183
Perdite di allagamento	0,94	9,404	0,278	2,775	1,518	15,184
Volume finale immagazzinato	0,001	0,011	0,00	0,001	0,002	0,015
Errore di continuità [%]	-0,072		-0,046		-0,057	

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino e rete fognaria (*minor system*) _ Tr=300 anni

	RETE G		RETE M		RETE H	
<i>(Runoff quantity Continuity)</i>	volume	altezza	volume	altezza	volume	altezza
	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]	[ha-m]	[mm]
Precipitazione totale	3,616	93,65	1,313	93,65	3,485	93,653
Perdite di infiltrazione	0,702	18,185	0,499	35,61	0,715	19,207
Deflusso superficiale	2,846	73,713	0,794	56,66	2,702	72,622
Immagazzinamento superficiale finale	0,09	2,331	0,026	1,853	0,087	2,335
Errore di continuità [%]	-0,615		-0,502		-0,546	
<i>(Flow routing continuity)</i>	volume	volume	volume	volume	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Deflusso entrante	2,846	28,46	0,794	7,944	2,702	27,022
Deflusso uscente	1,302	13,024	0,364	3,644	0,548	5,479
Perdite di allagamento	1,545	15,448	0,43	4,301	2,154	21,542
Volume finale immagazzinato	0,001	0,011	0,00	0,001	0,002	0,015
Errore di continuità [%]	-0,079		-0,03		-0,054	

Appendice B.6

Risultati delle simulazioni

Riepilogo delle simulazioni

Sistemi-bacino - Rete di fognatura (*minor system*) _ Tr=2 anni

<i>Deflussi nei sotto-bacini</i>	Infiltrazione totale [mm]	Volume totale deflusso V_t [mm]	Volume totale deflusso V_t [10 ⁶ l]	Portata massima di deflusso Q_p [mc/s]
SISTEMA-BACINO G				
S1	2,59	23,68	1,18	0,78
S2	2,66	23,26	1,65	0,67
S3	2,66	23,33	1,39	0,61
S4	2,53	23,87	0,05	0,04
S5	14,13	13,04	0,87	0,64
S6	13,78	13,01	0,69	0,49
S7	8,34	18,10	1,51	0,71
SISTEMA-BACINO M				
S1	2,66	23,42	0,73	0,36
S2	2,59	23,54	0,37	0,23
S3	21,11	6,47	0,35	0,23
S4	16,53	10,42	0,2	0,14
S5	11,31	15,62	0,31	0,22
SISTEMA-BACINO H				
S1	15,15	11,70	0,70	0,45
S2	2,66	23,22	0,64	0,27
S3	2,66	23,15	2,16	0,82
S4	2,66	23,45	0,68	0,36
S5	2,66	23,39	1,01	0,53
S6	2,66	23,44	0,41	0,21
S7	2,66	23,32	0,57	0,27
S8	7,97	18,52	0,37	0,25
S9	26,28	1,31	0,05	0,04
S10	22,04	5,19	0,11	0,08

<i>Flussi in rete</i>	Portata massima q_{max} [mc/s]	Velocità massima v_{max} [m/s]
SISTEMA-BACINO G		
C1	0,781	3,56
C2	0,779	2,99
C3	0,778	2,97
C4	0,773	2,98
C5	0,770	2,87
C6	0,770	1,83
C7	0,647	2,44
C8	1,383	3,34
C9	1,384	2,89
C10	1,960	3,91
C11	0,044	0,48
C12	2,494	3,97
C13	2,479	4,15
C14	2,470	4,31
C15	2,442	3,89
C16	0,477	1,55
C17	3,406	4,42
C18	3,224	4,15
SISTEMA-BACINO M		
C1	0,123	1,74
C2	0,187	2,65
C3	0,417	3,04
C4	0,415	2,76
C5	0,413	2,80
C6	0,412	2,75
C7	0,536	2,56
C8	0,744	3,09
SISTEMA-BACINO H		
C1	0,439	2,58
C2	0,434	2,50
C3	0,431	2,43
C4	0,696	2,20
C5	0,824	1,73
C6	0,811	1,91
C7	1,497	3,43
C8	1,422	3,32
C9	1,422	3,21
C10	1,422	2,83
C11	1,329	2,65
C12	0,533	1,41
C13	0,535	1,06
C14	1,541	3,48
C15	1,750	3,48

C16	1,639	3,26
C17	1,639	3,26
C18	0,144	2,04
C19	0,951	3,63
C20	0,895	3,28
C21	0,895	3,33
C22	0,933	3,70
C23	0,911	3,38
C24	0,906	3,58

Allagamento ai nodi

Volume totale di
allagamento
 V_f
[10⁶ l]

SISTEMA-BACINO G	
G1	0,00
G2	0,00
G3	0,00
G4	0,00
G5	0,00
G6	0,00
G7	0,001
G8	0,00
G9	0,00
G10	0,00
G11	0,00
G12	0,00
G13	0,00
G14	0,00
G15	0,00
G16	0,002
G17	0,029
G18	0,001
SISTEMA-BACINO M	
M1	0,348
M2	0,058
M3	0,00
M4	0,00
M5	0,00
M6	0,00
M7	0,00
M8	0,00
SISTEMA-BACINO H	
H1	0,00
H2	0,00
H3	0,00
H4	0,00
H5	0,00
H6	0,00
H7	0,00
H8	0,00
H9	0,00
H10	0,00
H11	0,41
H12	0,00
H13	0,001
H14	0,00
H15	0,001

H16	0,045
H17	0,00
H18	0,107
H19	2,144
H20	0,001
H21	0,027
H22	0,00
H23	0,00

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino - Rete di fognatura (*minor system*) _ Tr=5 anni

<i>Deflusso dei sotto-bacini</i>	Infiltrazione totale [mm]	Volume totale deflusso V_t [mm]	Volume totale deflusso V_t [10 ⁶ l]	Portata massima di deflusso Q_p [mc/s]
SISTEMA-BACINO G				
S1	3,20	36,00	1,80	1,20
S2	3,34	35,42	2,51	1,16
S3	3,34	35,51	2,12	1,04
S4	3,06	36,25	0,08	0,05
S5	20,27	19,67	1,32	0,94
S6	19,46	20,33	1,08	0,72
S7	12,34	27,10	2,25	1,18
SISTEMA-BACINO M				
S1	3,27	35,64	1,12	0,60
S2	3,20	35,82	0,57	0,36
S3	30,78	9,69	0,53	0,35
S4	23,35	16,46	0,31	0,21
S5	16,22	23,51	0,47	0,33
SISTEMA-BACINO H				
S1	21,95	18,06	1,08	0,69
S2	3,34	35,40	0,97	0,47
S3	3,41	35,29	3,29	1,44
S4	3,27	35,69	1,03	0,58
S5	3,27	35,63	1,53	0,87
S6	3,27	35,67	0,63	0,35
S7	3,34	35,52	0,87	0,45
S8	10,02	29,40	0,59	0,38
S9	37,53	2,97	0,11	0,05
S10	31,93	8,32	0,17	0,11

<i>Flussi in rete</i>	Portata massima Q_{max} [mc/s]	Velocità massima V_{max} [m/s]
SISTEMA-BACINO G		
C1	1,196	4,03
C2	1,195	3,37
C3	1,194	3,37
C4	1,188	3,41
C5	1,181	3,04
C6	1,181	1,90
C7	0,800	2,84
C8	1,524	3,33
C9	1,524	3,03
C10	1,985	3,95
C11	0,100	0,51
C12	2,649	4,00
C13	2,661	4,23
C14	2,623	4,36
C15	2,480	3,79
C16	0,723	1,55
C17	3,448	4,46
C18	3,233	4,16
SISTEMA-BACINO M		
C1	0,125	1,77
C2	0,187	2,65
C3	0,539	3,23
C4	0,537	2,92
C5	0,534	2,96
C6	0,532	2,74
C7	0,727	2,65
C8	0,959	3,39
SISTEMA-BACINO H		
C1	0,681	2,89
C2	0,674	2,81
C3	0,671	2,55
C4	1,094	2,24
C5	1,029	2,05
C6	1,028	2,05
C7	1,723	3,44
C8	1,538	3,37
C9	1,538	3,22
C10	1,538	3,06
C11	1,365	2,72
C12	0,867	1,72
C13	0,867	1,73
C14	1,579	3,42
C15	1,783	3,55

C16	1,639	3,26
C17	1,639	3,26
C18	0,142	2,01
C19	0,952	3,63
C20	0,900	3,24
C21	0,900	3,33
C22	0,939	3,69
C23	0,918	3,39
C24	0,918	3,58

Allagamento ai nodi

Volume totale di allagamento
 V_f
 $[10^6 \text{ l}]$

SISTEMA-BACINO G	
G1	0,000
G2	0,000
G3	0,000
G4	0,000
G5	0,000
G6	0,000
G7	0,342
G8	0,047
G9	0,000
G10	0,485
G11	0,004
G12	0,002
G13	0,001
G14	0,001
G15	0,007
G16	0,610
G17	0,001
G18	
SISTEMA-BACINO M	
M1	0,707
M2	0,187
M3	0,00
M4	0,00
M5	0,00
M6	0,00
M7	0,00
M8	0,010
SISTEMA-BACINO H	
H1	0,000
H2	0,000
H3	0,000
H4	0,000
H5	0,611
H6	0,000
H7	0,000
H8	0,002
H9	0,001
H10	0,001
H11	1,592
H12	0,001
H13	0,001
H14	0,000
H15	0,044

H16	0,177
H17	0,000
H18	0,345
H19	3,001
H20	0,001
H21	0,097
H22	0,000
H23	0,000

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino - Rete di fognatura (*minor system*) _ Tr=10 anni

<i>Deflusso dei sotto-bacini</i>	Infiltrazione totale [mm]	Volume totale deflusso V_t [mm]	Volume totale deflusso V_t [10 ⁶ l]	Portata massima di deflusso Q_p [mc/s]
SISTEMA-BACINO G				
S1	3,47	43,15	2,16	1,46
S2	3,69	42,51	3,02	1,46
S3	3,62	42,61	2,55	1,31
S4	3,33	43,43	0,09	0,07
S5	22,93	24,11	1,62	1,1
S6	22,14	25,27	1,34	0,86
S7	14,58	32,3	2,69	1,46
SISTEMA-BACINO M				
S1	3,62	42,75	1,3	0,75
S2	3,47	42,96	0,68	0,43
S3	36,14	11,65	0,63	0,42
S4	26,57	20,77	0,39	0,25
S5	18,34	28,59	0,57	0,39
SISTEMA-BACINO H				
S1	24,94	22,34	1,34	0,83
S2	3,62	42,50	1,16	0,59
S3	3,69	42,37	3,94	1,83
S4	3,55	42,81	1,24	0,72
S5	3,55	42,75	1,84	1,07
S6	3,55	42,79	0,76	0,43
S7	3,62	42,63	1,05	0,56
S8	10,85	35,95	0,72	0,47
S9	43,35	4,94	0,18	0,07
S10	37,13	10,85	0,22	0,14

<i>Flussi in rete</i>	Portata massima Q_{max} [mc/s]	Velocità massima V_{max} [m/s]
SISTEMA-BACINO G		
C1	1,451	4,24
C2	1,449	3,54
C3	1,448	3,55
C4	1,442	3,50
C5	1,431	3,04
C6	1,431	2,04
C7	0,827	2,93
C8	1,524	3,32
C9	1,524	3,03
C10	1,985	3,95
C11	0,210	0,74
C12	2,720	4,06
C13	2,726	4,25
C14	2,663	4,33
C15	2,468	3,79
C16	0,861	1,71
C17	3,426	4,45
C18	3,221	4,14
SISTEMA-BACINO M		
C1	0,13	1,78
C2	0,19	2,65
C3	0,61	3,32
C4	0,61	3,01
C5	0,60	2,97
C6	0,60	2,75
C7	0,80	2,84
C8	0,96	3,39
SISTEMA-BACINO H		
C1	0,819	3,03
C2	0,813	2,91
C3	0,809	2,52
C4	1,360	2,71
C5	1,085	2,16
C6	1,084	2,16
C7	1,736	3,46
C8	1,561	3,38
C9	1,561	3,21
C10	1,561	3,11
C11	1,343	2,67
C12	1,055	2,10
C13	0,993	1,97
C14	1,597	3,42
C15	1,783	3,55

C16	1,639	3,26
C17	1,639	3,26
C18	0,138	1,95
C19	0,948	3,64
C20	0,916	3,24
C21	0,898	3,33
C22	0,929	3,67
C23	0,926	3,39
C24	0,925	3,58

Allagamento ai nodi

Volume totale di allagamento
 V_f
 $[10^6 \text{ l}]$

SISTEMA-BACINO G	
G1	0,000
G2	0,000
G3	0,000
G4	0,000
G5	0,000
G6	0,000
G7	0,674
G8	0,171
G9	0,001
G10	0,872
G11	0,055
G12	0,004
G13	0,002
G14	0,001
G15	0,001
G16	0,007
G17	1,105
G18	0,002
SISTEMA-BACINO M	
M1	0,917
M2	0,277
M3	0,00
M4	0,00
M5	0,00
M6	0,00
M7	0,003
M8	0,076
SISTEMA-BACINO H	
H1	0,000
H2	0,000
H3	0,000
H4	0,000
H5	1,270
H6	0,000
H7	0,000
H8	0,002
H9	0,001
H10	0,001
H11	2,197
H12	0,001
H13	0,007
H14	0,001
H15	0,120

H16	0,231
H17	0,000
H18	0,494
H19	3,345
H20	0,001
H21	0,167
H22	0,000
H23	0,000

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino - Rete di fognatura (*minor system*) _ Tr=20 anni

<i>Deflusso dei sotto-bacini</i>	Infiltrazione totale [mm]	Volume totale deflusso V_t [mm]	Volume totale deflusso V_t [10 ⁶ l]	Portata massima di deflusso Q_p [mc/s]
SISTEMA-BACINO G				
S1	3,72	50,66	2,53	1,73
S2	3,94	49,98	3,55	1,8
S3	3,86	50,09	3,00	1,6
S4	3,57	50,9	0,11	0,08
S5	26,16	29,15	1,95	1,28
S6	24,18	30,79	1,63	1,02
S7	16,42	37,88	3,15	1,76
SISTEMA-BACINO M				
S1	3,86	50,24	1,57	0,90
S2	3,72	50,46	0,80	0,52
S3	41,61	13,92	0,76	0,50
S4	29,69	25,72	0,48	0,29
S5	20,4	34,22	0,68	0,45
SISTEMA-BACINO H				
S1	27,84	27,24	1,63	0,98
S2	3,86	49,97	1,37	0,72
S3	3,94	49,84	4,64	2,25
S4	3,79	50,30	1,45	0,87
S5	3,79	50,24	2,16	1,29
S6	3,79	50,27	0,89	0,52
S7	3,86	50,11	1,23	0,68
S8	11,59	42,92	0,86	0,56
S9	48,05	7,70	0,28	0,11
S10	41,39	14,04	0,29	0,16

<i>Flussi in rete</i>	Portata massima Q_{max} [mc/s]	Velocità massima V_{max} [m/s]
SISTEMA-BACINO G		
C1	1,721	4,43
C2	1,719	3,70
C3	1,718	3,72
C4	1,710	3,60
C5	1,693	3,05
C6	1,693	2,42
C7	0,827	2,94
C8	1,524	3,31
C9	1,524	3,03
C10	1,985	3,95
C11	0,317	1,12
C12	2,730	4,11
C13	2,737	4,25
C14	2,678	4,31
C15	2,535	3,88
C16	0,923	1,84
C17	3,432	4,45
C18	3,218	4,14
SISTEMA-BACINO M		
C1	0,127	1,79
C2	0,187	2,65
C3	0,681	3,39
C4	0,678	3,05
C5	0,674	2,98
C6	0,671	2,73
C7	0,802	2,84
C8	0,959	3,39
SISTEMA-BACINO H		
C1	0,976	3,19
C2	0,963	2,91
C3	0,943	2,47
C4	1,603	3,19
C5	1,133	2,25
C6	1,130	2,25
C7	1,739	3,50
C8	1,566	3,35
C9	1,566	3,18
C10	1,567	3,12
C11	1,317	2,62
C12	1,197	2,38
C13	0,993	1,97
C14	1,597	3,46
C15	1,783	3,55

C16	1,639	3,26
C17	1,639	3,26
C18	0,138	1,96
C19	0,953	3,64
C20	0,931	3,29
C21	0,897	3,33
C22	0,933	3,68
C23	0,933	3,39
C24	0,932	3,58

Allagamento ai nodi

Volume totale di allagamento
 V_f
 $[10^6 \text{ l}]$

SISTEMA-BACINO G	
G1	0,000
G2	0,000
G3	0,000
G4	0,000
G5	0,000
G6	0,001
G7	1,090
G8	0,329
G9	0,001
G10	1,347
G11	0,137
G12	0,006
G13	0,002
G14	0,001
G15	0,001
G16	0,022
G17	1,727
G18	0,002
SISTEMA-BACINO M	
M1	1,141
M2	0,376
M3	0,00
M4	0,00
M5	0,00
M6	0,00
M7	0,042
M8	0,135
SISTEMA-BACINO H	
H1	0,000
H2	0,000
H3	0,000
H4	0,000
H5	2,116
H6	0,000
H7	0,001
H8	0,002
H9	0,001
H10	0,001
H11	2,697
H12	0,008
H13	0,064
H14	0,001
H15	0,212

H16	0,276
H17	0,000
H18	0,653
H19	3,699
H20	0,001
H21	0,265
H22	0,000
H23	0,000

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino - Rete di fognatura (*minor system*) _ Tr=50 anni

<i>Deflusso dei sotto-bacini</i>	Infiltrazione totale [mm]	Volume totale deflusso V_t [mm]	Volume totale deflusso V_t [10 ⁶ l]	Portata massima di deflusso Q_p [mc/s]
SISTEMA-BACINO G				
S1	3,98	60,43	3,02	2,07
S2	4,20	59,71	4,24	2,24
S3	4,20	59,82	3,58	1,98
S4	3,83	60,66	0,13	0,09
S5	29,25	36,05	2,42	1,54
S6	26,49	38,30	2,03	1,25
S7	19,20	45,31	3,77	2,15
SISTEMA-BACINO M				
S1	4,12	59,99	1,88	1,11
S2	3,98	60,23	0,95	0,63
S3	48,15	17,22	0,94	0,59
S4	32,5	32,58	0,61	0,36
S5	22,82	41,79	0,83	0,54
SISTEMA-BACINO H				
S1	31,08	34,07	2,04	1,20
S2	4,20	59,71	1,64	0,89
S3	4,27	59,56	5,55	2,81
S4	4,05	60,05	1,74	1,07
S5	4,05	59,99	2,58	1,59
S6	4,12	60,02	1,06	0,64
S7	4,12	59,85	1,47	0,84
S8	12,59	52,11	1,05	0,69
S9	53,26	12,14	0,45	0,16
S10	46,15	18,88	0,39	0,20

<i>Flussi in rete</i>	Portata massima q_{max} [mc/s]	Velocità massima v_{max} [m/s]
SISTEMA-BACINO G		
C1	2,069	4,63
C2	2,067	3,87
C3	2,074	3,87
C4	2,006	3,67
C5	1,989	3,02
C6	1,989	2,84
C7	0,827	2,94
C8	1,524	3,30
C9	1,524	3,03
C10	1,985	3,95
C11	0,331	1,17
C12	2,763	4,11
C13	2,775	4,26
C14	2,690	4,28
C15	2,537	3,89
C16	0,923	1,84
C17	3,438	4,45
C18	3,228	4,15
SISTEMA-BACINO M		
C1	0,13	1,81
C2	0,19	2,65
C3	0,78	3,44
C4	0,76	3,08
C5	0,76	2,99
C6	0,76	2,84
C7	0,80	2,84
C8	0,96	3,39
SISTEMA-BACINO H		
C1	1,193	3,25
C2	1,193	2,92
C3	1,193	2,40
C4	1,856	3,69
C5	1,172	2,33
C6	1,172	2,33
C7	1,739	3,50
C8	1,577	3,29
C9	1,578	3,20
C10	1,578	3,14
C11	1,339	2,67
C12	1,197	2,38
C13	0,993	1,98
C14	1,597	3,49
C15	1,783	3,55

C16	1,639	3,26
C17	1,639	3,26
C18	0,141	2,00
C19	0,950	3,63
C20	0,935	3,31
C21	0,893	3,33
C22	0,944	3,70
C23	0,944	3,41
C24	0,942	3,58

Allagamento ai nodi

Volume totale di allagamento
 V_f
 $[10^6 \text{ l}]$

SISTEMA-BACINO G	
G1	0,000
G2	0,000
G3	0,000
G4	0,000
G5	0,000
G6	0,001
G7	1,687
G8	0,578
G9	0,001
G10	2,071
G11	0,221
G12	0,062
G13	0,001
G14	0,002
G15	0,001
G16	0,112
G17	2,562
G18	0,001
SISTEMA-BACINO M	
M1	1,435
M2	0,513
M3	0,000
M4	0,000
M5	0,000
M6	0,000
M7	0,123
M8	0,215
SISTEMA-BACINO H	
H1	0,000
H2	0,000
H3	0,000
H4	0,017
H5	3,319
H6	0,000
H7	0,001
H8	0,002
H9	0,001
H10	0,000
H11	3,264
H12	0,096
H13	0,126
H14	0,000

H15	0,341
H16	0,323
H17	0,000
H18	0,867
H19	4,127
H20	0,045
H21	0,391
H22	0,000
H23	0,000

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino - Rete di fognatura (*minor system*) _ Tr=100 anni

<i>Deflusso dei sotto-bacini</i>	Infiltrazione totale [mm]	Volume totale deflusso V_t [mm]	Volume totale deflusso V_t [10 ⁶ l]	Portata massima di deflusso Q_p [mc/s]
SISTEMA-BACINO G				
S1	4,14	67,79	3,39	2,33
S2	4,36	67,04	4,76	2,58
S3	4,36	67,16	4,02	2,28
S4	4,00	68,03	0,14	0,1
S5	31,37	41,44	2,78	1,76
S6	28,02	44,16	2,34	1,43
S7	20,79	51,04	4,25	2,44
SISTEMA-BACINO M				
S1	4,29	67,33	2,11	1,27
S2	4,22	67,58	1,07	0,71
S3	53,24	19,99	1,09	0,67
S4	34,34	38,03	0,72	0,41
S5	24,49	47,63	0,95	0,62
SISTEMA-BACINO H				
S1	32,81	39,49	2,37	1,37
S2	4,36	67,04	1,84	1,03
S3	4,44	66,88	6,23	3,25
S4	4,29	67,40	1,95	1,21
S5	4,29	67,34	2,90	1,81
S6	4,29	67,37	1,19	0,73
S7	4,29	67,19	1,65	0,97
S8	13,09	59,10	1,19	0,79
S9	57,04	16,04	0,59	0,21
S10	49,65	22,99	0,47	0,23

<i>Flussi in rete</i>	Portata massima Q_{max} [mc/s]	Velocità massima V_{max} [m/s]
SISTEMA-BACINO G		
C1	2,329	4,74
C2	2,264	3,97
C3	2,224	3,88
C4	2,219	3,71
C5	2,219	3,17
C6	2,220	3,17
C7	0,826	2,93
C8	1,524	3,33
C9	1,524	3,03
C10	1,985	3,95
C11	0,331	1,17
C12	2,796	4,11
C13	2,789	4,26
C14	2,694	4,26
C15	2,528	3,88
C16	0,923	1,84
C17	3,461	4,45
C18	3,198	4,11
SISTEMA-BACINO M		
C1	0,13	1,81
C2	0,19	2,65
C3	0,84	3,45
C4	0,82	3,12
C5	0,82	3,00
C6	0,81	2,95
C7	0,80	2,84
C8	0,96	3,39
SISTEMA-BACINO H		
C1	1,280	3,28
C2	1,280	2,92
C3	1,280	2,55
C4	1,856	3,69
C5	1,181	2,35
C6	1,181	2,35
C7	1,735	3,46
C8	1,580	3,31
C9	1,580	3,21
C10	1,581	3,14
C11	1,312	2,62
C12	1,197	2,38
C13	0,993	1,98
C14	1,597	3,50
C15	1,783	3,55

C16	1,639	3,26
C17	1,639	3,26
C18	0,143	2,03
C19	0,954	3,63
C20	0,935	3,32
C21	0,894	3,33
C22	0,956	3,71
C23	0,956	3,43
C24	0,954	3,58

Allagamento ai nodi

Volume totale di allagamento
 V_f
 $[10^6 \text{ l}]$

SISTEMA-BACINO G	
G1	0,000
G2	0,000
G3	0,000
G4	0,000
G5	0,001
G6	0,001
G7	2,144
G8	0,787
G9	0,000
G10	2,636
G11	0,284
G12	0,147
G13	0,002
G14	0,002
G15	0,001
G16	0,205
G17	3,192
G18	0,001
SISTEMA-BACINO M	
M1	1,657
M2	0,619
M3	0,000
M4	0,000
M5	0,000
M6	0,000
M7	0,200
M8	0,299
SISTEMA-BACINO H	
H1	0,000
H2	0,001
H3	0,000
H4	0,114
H5	4,188
H6	0,000
H7	0,001
H8	0,002
H9	0,000
H10	0,000
H11	3,666
H12	0,203
H13	0,163
H14	0,000
H15	0,445

H16	0,350
H17	0,000
H18	1,033
H19	4,412
H20	0,141
H21	0,465
H22	0,000
H23	0,000

Status delle simulazioni

Sistemi-bacino - Rete di fognatura (*minor system*) _ Tr=300 anni

<i>Deflusso dei sotto-bacini</i>	Infiltrazione totale [mm]	Volume totale deflusso V_t [mm]	Volume totale deflusso V_t [10 ⁶ l]	Portata massima di deflusso Q_p [mc/s]
SISTEMA-BACINO G				
S1	4,50	87,38	4,37	2,79
S2	4,75	86,64	6,15	3,39
S3	4,69	86,76	5,19	2,95
S4	4,43	87,59	0,18	0,12
S5	35,84	56,62	3,79	2,26
S6	32,00	60,64	3,21	1,85
S7	24,91	66,83	5,56	3,11
SISTEMA-BACINO M				
S1	4,69	86,93	2,72	1,61
S2	4,56	87,18	1,38	0,86
S3	63,76	28,79	1,57	0,82
S4	39,08	53,68	1,01	0,55
S5	28,67	63,81	1,27	0,78
SISTEMA-BACINO H				
S1	37,07	55,14	3,31	1,75
S2	4,75	86,64	2,37	1,34
S3	4,82	86,48	8,05	4,32
S4	4,62	87,00	2,51	1,52
S5	4,62	86,94	3,74	2,26
S6	4,62	86,97	1,54	0,92
S7	4,69	86,79	2,14	1,24
S8	14,07	77,96	1,57	0,99
S9	64,42	28,72	1,05	0,34
S10	56,66	35,95	0,74	0,31

<i>Flussi in rete</i>	Portata massima Q_{max} [mc/s]	Velocità massima V_{max} [m/s]
SISTEMA-BACINO G		
C1	2,784	4,84
C2	2,741	4,03
C3	2,399	3,94
C4	2,364	3,60
C5	2,234	3,19
C6	2,234	3,19
C7	0,813	2,88
C8	1,524	3,33
C9	1,524	3,03
C10	1,985	3,95
C11	0,331	1,17
C12	2,722	4,08
C13	2,727	4,25
C14	2,664	4,34
C15	2,507	3,85
C16	0,923	1,84
C17	3,417	4,44
C18	3,200	4,11
SISTEMA-BACINO M		
C1	0,13	1,82
C2	0,19	2,65
C3	0,88	3,46
C4	0,88	3,12
C5	0,88	3,17
C6	0,84	2,98
C7	0,80	2,84
C8	0,96	3,39
SISTEMA-BACINO H		
C1	1,744	3,47
C2	1,445	2,92
C3	1,445	2,87
C4	1,856	3,69
C5	1,050	2,09
C6	1,045	2,09
C7	1,743	3,48
C8	1,580	3,39
C9	1,580	3,24
C10	1,581	3,14
C11	1,408	2,80
C12	1,197	2,38
C13	0,993	1,98
C14	1,597	3,50
C15	1,783	3,55

C16	1,639	3,26
C17	1,639	3,26
C18	0,156	2,21
C19	0,964	3,60
C20	0,935	3,37
C21	0,904	3,31
C22	0,987	3,77
C23	0,979	3,47
C24	0,956	3,58

Allagamento ai nodi

Volume totale di allagamento
 V_f
 $[10^6 l]$

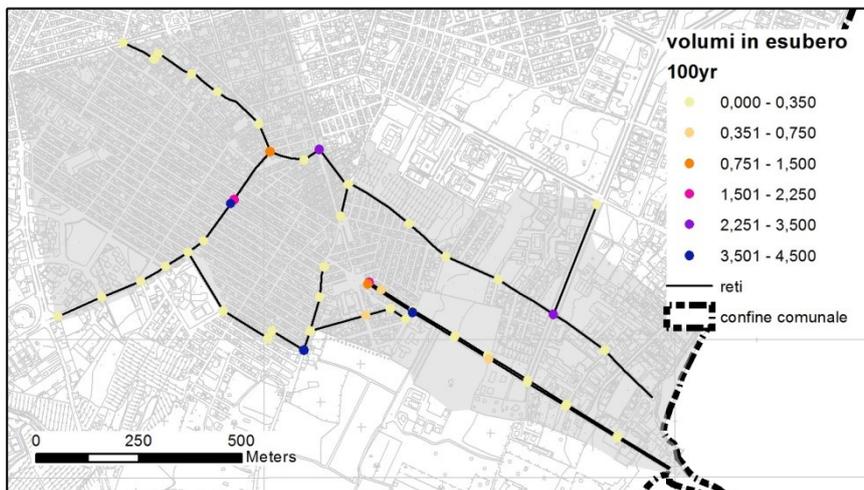
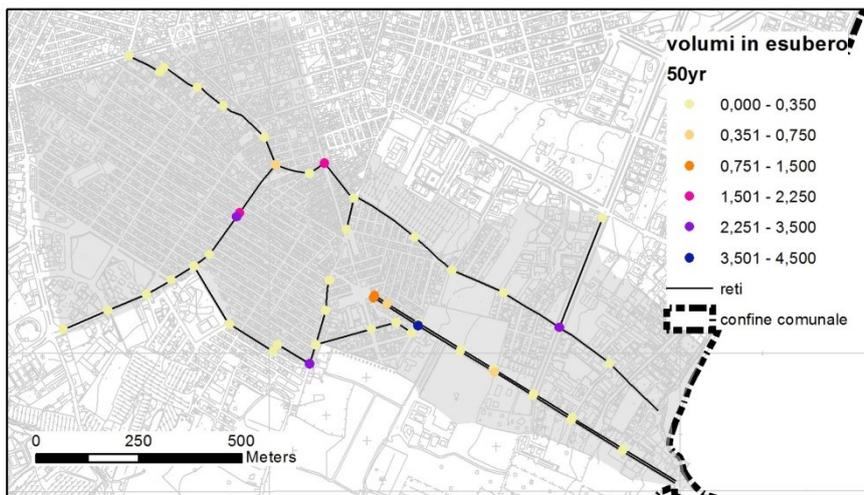
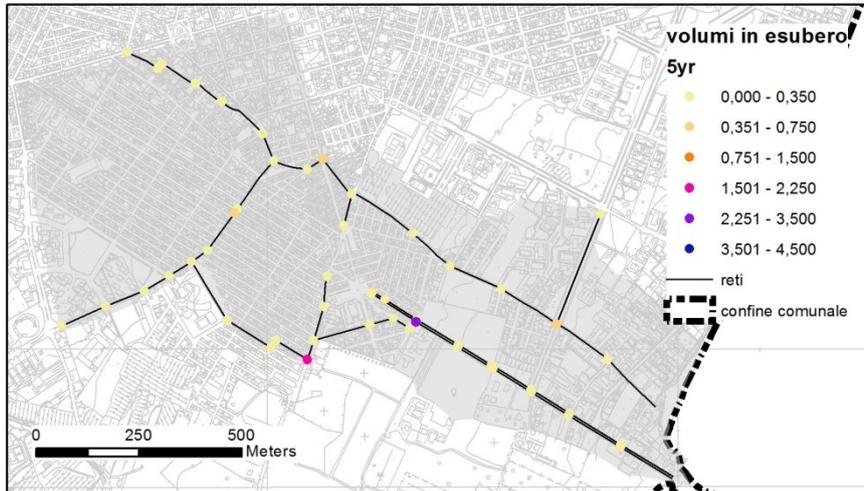
SISTEMA-BACINO G	
G1	0,000
G2	0,002
G3	0,106
G4	0,000
G5	0,054
G6	0,000
G7	3,405
G8	1,266
G9	0,000
G10	4,129
G11	0,557
G12	0,449
G13	0,002
G14	0,001
G15	0,001
G16	0,510
G17	4,963
G18	0,002
SISTEMA-BACINO M	
M1	2,260
M2	0,928
M3	0,024
M4	0,00
M5	0,010
M6	0,00
M7	0,445
M8	0,633
SISTEMA-BACINO H	
H1	0,000
H2	0,067
H3	0,000
H4	0,474
H5	6,525
H6	0,000
H7	0,000
H8	0,002
H9	0,001
H10	0,001
H11	4,746
H12	0,558
H13	0,247
H14	0,001
H15	0,747

H16	0,415
H17	0,000
H18	1,491
H19	5,062
H20	0,506
H21	0,683
H22	0,000
H23	0,015
H24	0,000

Appendice B.7

Mappatura dei volumi (10^6 l) di allagamento ai nodi nelle reti di smaltimento (*minor system*)

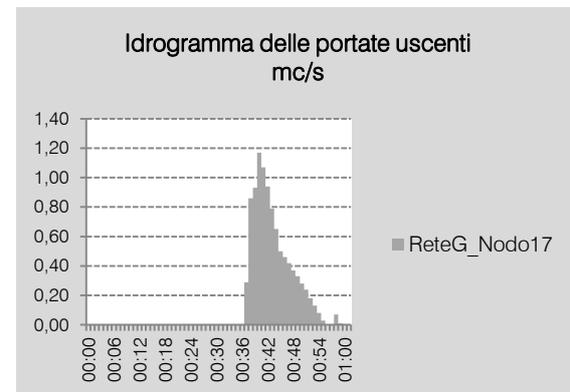
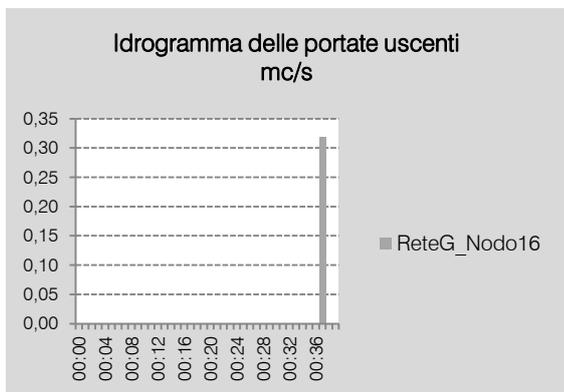
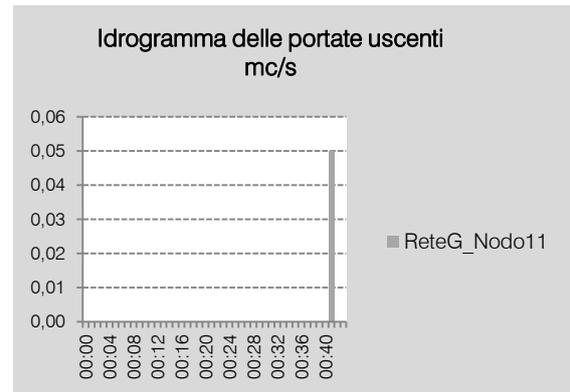
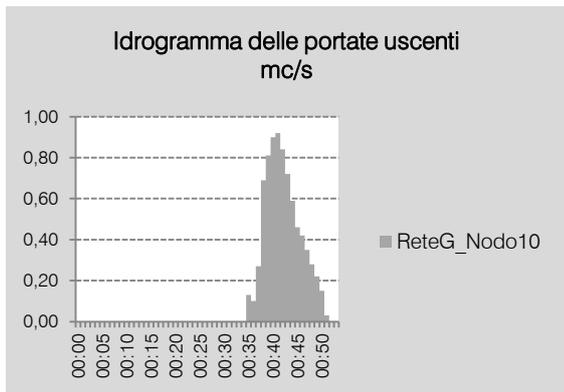
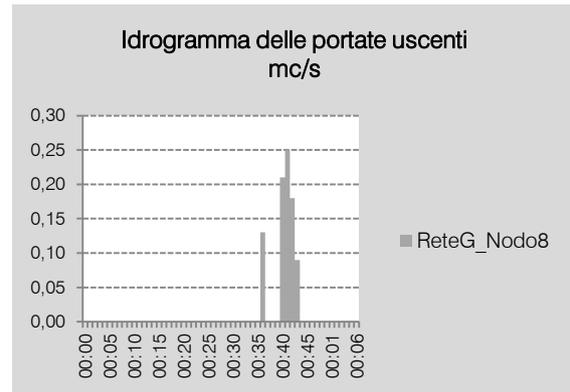
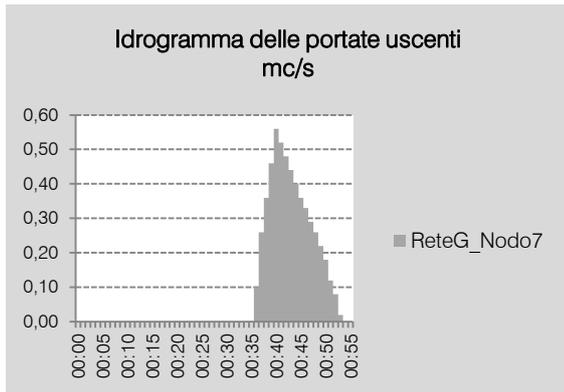
Tempo di ritorno_ 5, 50, 100 anni



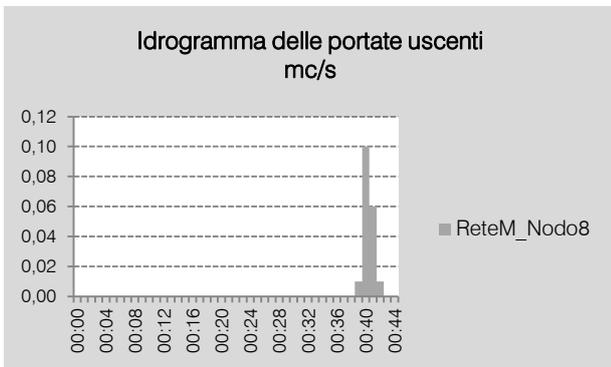
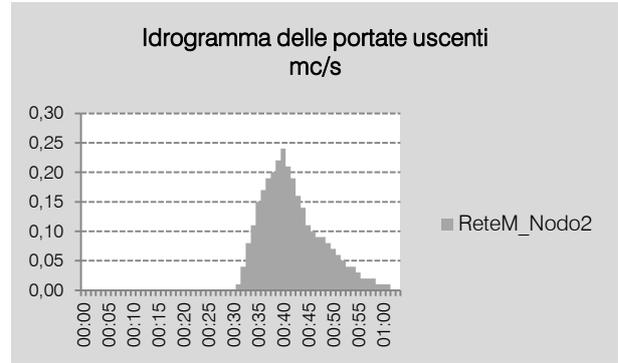
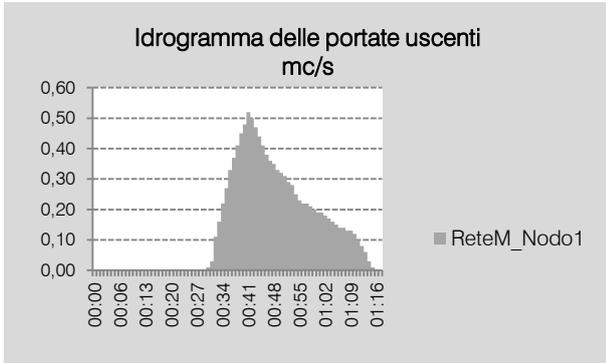
Idrogrammi delle portate uscenti (allagamento ai nodi delle reti di smaltimento)

Tempo di ritorno_ 5 anni

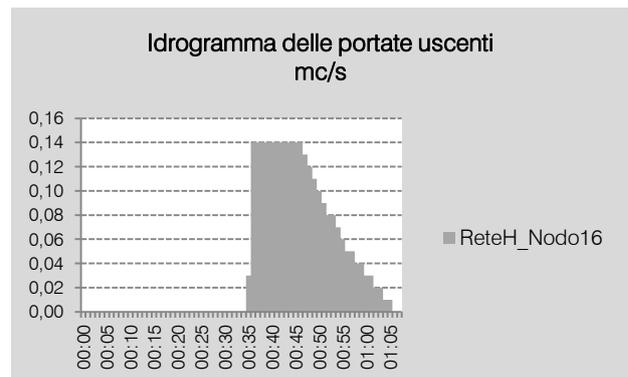
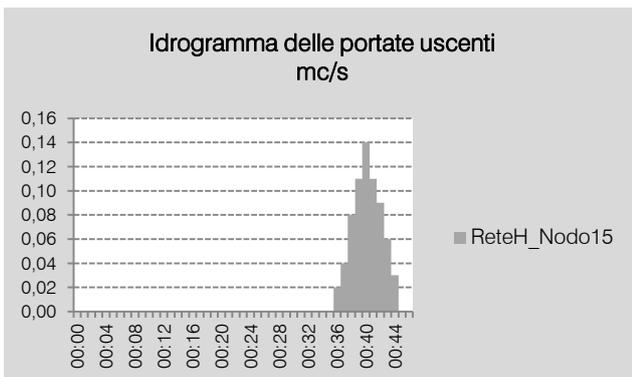
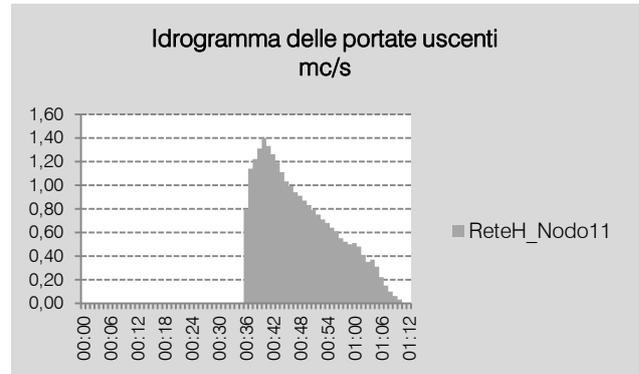
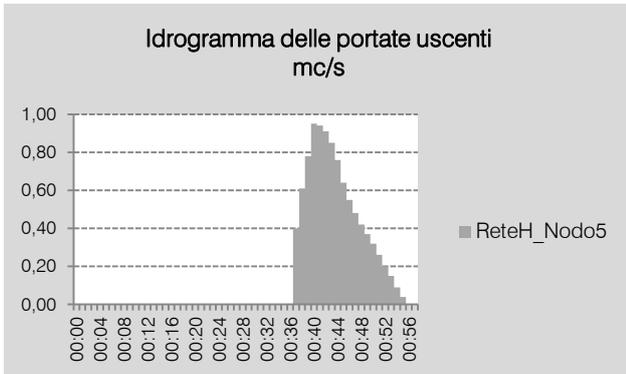
RETE G

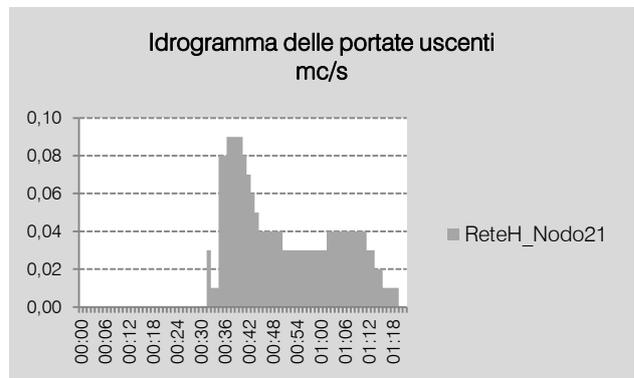
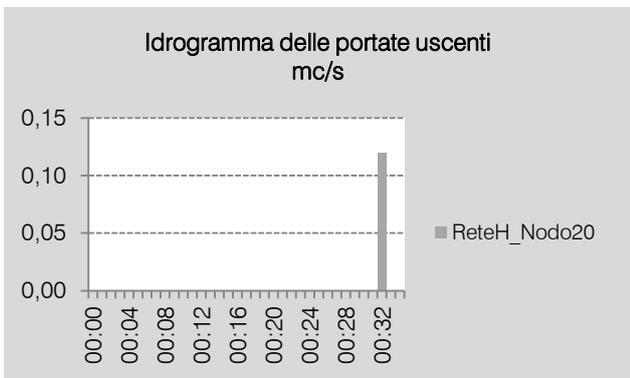
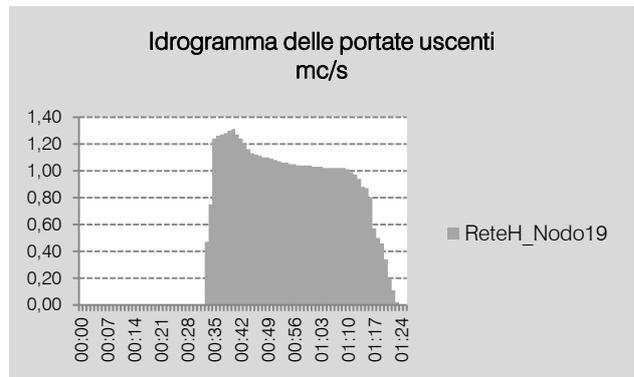
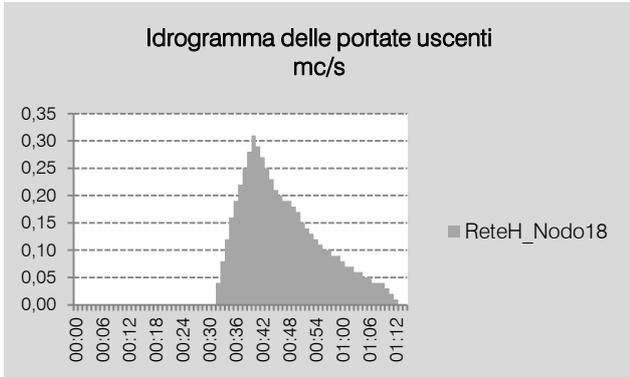


RETE M



RETE H





Idrogrammi delle portate uscenti (allagamento ai nodi delle reti di smaltimento)

Tempo di ritorno_ 5 anni

[h]	Rete G						Rete M			Rete H							
	J7	J8	J10	J11	J16	J17	M1	M2	M8	H5	H11	H15	H16	H18	H19	H20	H21
	[mc/s]						[mc/s]			[mc/s]							
00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
00:32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,12	0,03
00:33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,47	0,00	0,01
00:34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,75	0,00	0,01
00:35	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,22	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,16	1,24	0,00	0,08
00:36	0,10	0,13	0,10	0,00	0,00	0,00	0,27	0,17	0,00	0,00	0,79	0,02	0,14	0,19	1,26	0,00	0,08
00:37	0,26	0,00	0,27	0,00	0,32	0,29	0,33	0,19	0,00	0,40	1,14	0,04	0,14	0,22	1,27	0,00	0,09
00:38	0,36	0,00	0,69	0,00	0,00	0,86	0,37	0,20	0,00	0,61	1,22	0,08	0,14	0,25	1,28	0,00	0,09
00:39	0,46	0,00	0,81	0,00	0,00	0,93	0,41	0,22	0,01	0,78	1,31	0,11	0,14	0,28	1,30	0,00	0,09
00:40	0,56	0,21	0,90	0,00	0,00	1,17	0,45	0,24	0,10	0,95	1,40	0,14	0,14	0,31	1,31	0,00	0,09
00:41	0,52	0,25	0,92	0,05	0,00	1,07	0,48	0,21	0,06	0,94	1,33	0,11	0,14	0,29	1,27	0,00	0,08
00:42	0,48	0,18	0,84	0,00	0,00	0,94	0,52	0,19	0,01	0,91	1,26	0,09	0,14	0,27	1,24	0,00	0,07
00:43	0,44	0,09	0,72	0,00	0,00	0,79	0,50	0,16	0,00	0,85	1,19	0,06	0,14	0,25	1,20	0,00	0,06
00:44	0,40	0,00	0,59	0,00	0,00	0,65	0,47	0,14	0,00	0,76	1,11	0,03	0,14	0,23	1,16	0,00	0,05
00:45	0,36	0,00	0,46	0,00	0,00	0,50	0,44	0,11	0,00	0,64	1,03	0,00	0,14	0,21	1,13	0,00	0,04
00:46	0,33	0,00	0,42	0,00	0,00	0,46	0,41	0,10	0,00	0,55	0,99	0,00	0,14	0,20	1,12	0,00	0,04
00:47	0,29	0,00	0,35	0,00	0,00	0,42	0,38	0,09	0,00	0,48	0,94	0,00	0,13	0,19	1,11	0,00	0,04
00:48	0,26	0,00	0,28	0,00	0,00	0,37	0,36	0,09	0,00	0,42	0,91	0,00	0,12	0,19	1,10	0,00	0,04
00:49	0,22	0,00	0,22	0,00	0,00	0,33	0,35	0,08	0,00	0,37	0,87	0,00	0,11	0,18	1,10	0,00	0,04
00:50	0,18	0,00	0,15	0,00	0,00	0,28	0,33	0,07	0,00	0,32	0,83	0,00	0,10	0,17	1,09	0,00	0,04
00:51	0,12	0,00	0,03	0,00	0,00	0,24	0,32	0,06	0,00	0,26	0,79	0,00	0,09	0,15	1,08	0,00	0,03
00:52	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,31	0,05	0,00	0,20	0,75	0,00	0,08	0,14	1,07	0,00	0,03
00:53	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,29	0,04	0,00	0,15	0,71	0,00	0,08	0,13	1,06	0,00	0,03
00:54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,28	0,04	0,00	0,09	0,68	0,00	0,07	0,12	1,06	0,00	0,03
00:55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,25	0,03	0,00	0,04	0,64	0,00	0,06	0,11	1,05	0,00	0,03
00:56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,02	0,00	0,00	0,61	0,00	0,05	0,10	1,05	0,00	0,03
00:57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,02	0,00	0,00	0,55	0,00	0,05	0,10	1,04	0,00	0,03
00:58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,22	0,02	0,00	0,00	0,52	0,00	0,04	0,09	1,04	0,00	0,03
00:59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,21	0,01	0,00	0,00	0,50	0,00	0,04	0,09	1,04	0,00	0,03
01:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,01	0,00	0,00	0,51	0,00	0,03	0,08	1,04	0,00	0,03
01:01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,01	0,00	0,00	0,48	0,00	0,03	0,07	1,03	0,00	0,03
01:02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,02	0,07	1,03	0,00	0,04
01:03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,02	0,06	1,03	0,00	0,04
01:04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	0,01	0,06	1,02	0,00	0,04
01:05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,01	0,05	1,02	0,00	0,04
01:06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,05	1,02	0,00	0,04
01:07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,04	1,02	0,00	0,04
01:08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,04	1,02	0,00	0,04
01:09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,04	1,02	0,00	0,04
01:10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	1,01	0,00	0,04
01:11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12										

Appendice B.8

Risultati delle simulazioni

Status delle simulazioni

Rete stradale superficiale (*major system*)_Tr=5 anni

<i>(Flow routing Continuity)</i>	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Volumi di deflusso (ingresso)	0,829	8,295
Volumi di deflusso (uscita)	0,801	8,009
Volume di accumulo (iniziale)	0,00	0,004
Volume di accumulo (finale)	0,03	0,297
Errore di continuità [%]	-0,091	

Rete stradale superficiale (*major system*)_Tr=50 anni

<i>(Flow routing Continuity)</i>	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Volumi di deflusso (ingresso)	2,248	22,479
Volumi di deflusso (uscita)	2,092	20,922
Volume di accumulo (iniziale)	0,00	0,004
Volume di accumulo (finale)	0,030	0,303
Errore di continuità [%]	-0,085	

Rete stradale superficiale (*major system*)_Tr=100 anni

(Flow routing Continuity)	volume	volume
	[ha-m]	[10 ⁶ l]
Volumi di deflusso (ingresso)	2,7321	27,321
Volumi di deflusso (uscita)	2,485	24,847
Volume di accumulo (iniziale)	0,00	0,004
Volume di accumulo (finale)	0,03	0,304
Errore di continuità [%]	-0,097	

Risultati

Rete stradale superficiale (*major system*)

Ramo (C)	Tr=5 anni			Tr=50 anni			Tr=100 anni		
	H _{max} [m]	V _{max} [m]	(HV) _{max}	H _{max} [m]	V _{max} [m]	(HV) _{max}	H _{max} [m]	V _{max} [m]	(HV) _{max}
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
27	0,05	1,29	0,065	0,10	1,82	0,18	0,12	2,02	0,24
28	0,03	0,81	0,02	0,06	1,25	0,08	0,07	1,43	0,10
29	0,02	0,55	0,01	0,05	0,75	0,04	0,04	0,85	0,03
30	0,01	0,62	0,01	0,03	0,98	0,03	0,06	1,12	0,07
31	0,02	0,26	0,00	0,05	0,39	0,01	0,06	0,39	0,01
32	0,02	0,59	0,01	0,07	0,98	0,07	0,08	1,06	0,08
33	0,01	0,19	0,00	0,03	0,27	0,01	0,04	0,28	0,01
34	0,03	0,69	0,02	0,11	1,44	0,16	0,13	1,50	0,20
35	0,05	0,47	0,02	0,13	1,12	0,15	0,15	1,28	0,18
36	0,08	0,96	0,08	0,16	1,35	0,22	0,17	1,45	0,25
37	0,07	1,29	0,09	0,14	1,64	0,23	0,15	1,75	0,26
38	0,07	1,32	0,09	0,14	1,67	0,23	0,15	1,79	0,27
39	0,07	1,25	0,09	0,14	1,57	0,22	0,15	1,70	0,26
40	0,06	1,57	0,09	0,12	2,17	0,26	0,14	2,25	0,32
41	0,06	1,12	0,07	0,12	1,54	0,18	0,14	1,55	0,22
42	0,06	1,10	0,07	0,12	1,78	0,21	0,13	1,93	0,25
43	0,04	1,28	0,05	0,09	2,06	0,19	0,10	2,25	0,23
44	0,05	1,02	0,05	0,09	1,54	0,14	0,11	1,62	0,17
45	0,05	1,22	0,06	0,11	1,82	0,20	0,13	1,86	0,24
46	0,05	1,24	0,06	0,11	1,92	0,21	0,13	1,98	0,26
47	0,04	1,18	0,05	0,09	1,89	0,17	0,11	1,91	0,20
48	0,05	1,05	0,04	0,12	1,23	0,13	0,14	1,37	0,18
49	0,05	1,07	0,05	0,13	1,86	0,24	0,15	2,01	0,30
50	0,05	0,99	0,04	0,13	1,26	0,16	0,15	1,37	0,21
51	0,06	1,59	0,10	0,16	2,59	0,41	0,18	2,79	0,50
52	0,07	1,13	0,08	0,18	1,89	0,34	0,20	2,07	0,41
53	0,08	1,62	0,13	0,19	2,49	0,47	0,22	2,73	0,60
54	0,08	1,45	0,12	0,42	2,35	0,42	0,47	2,44	0,52
55	0,08	1,35	0,11	0,83	1,95	0,62	0,86	1,89	0,86
56	0,07	1,53	0,10	0,07	1,80	0,13	0,07	1,80	0,13
57	0,07	1,46	0,10	0,09	1,62	0,15	0,09	1,62	0,15
58	0,07	1,90	0,13	0,08	2,07	0,17	0,08	2,07	0,17
59	0,04	1,51	0,06	0,05	1,59	0,08	0,05	1,59	0,08
60	0,03	0,60	0,02	0,03	0,62	0,02	0,03	0,63	0,02
61	0,04	0,44	0,02	0,08	0,44	0,02	0,09	0,45	0,02
62	0,09	1,56	0,14	0,16	2,18	0,35	0,17	2,31	0,39
63	0,07	1,87	0,13	0,14	2,52	0,35	0,15	2,66	0,40
64	0,08	1,51	0,12	0,15	2,03	0,30	0,16	2,15	0,34
65	0,08	1,67	0,13	0,15	2,28	0,34	0,16	2,40	0,38
66	0,07	1,63	0,11	0,13	2,48	0,32	0,14	2,62	0,37
67	0,05	0,12	0,00	0,08	0,17	0,01	0,09	0,12	0,01
68	0,03	0,06	0,00	0,08	0,25	0,01	0,10	0,27	0,01
69	0,07	0,90	0,06	0,14	1,27	0,18	0,16	1,40	0,22
70	0,07	0,90	0,06	0,15	1,13	0,17	0,17	1,26	0,21
71	0,08	0,98	0,08	0,16	1,41	0,23	0,17	1,52	0,26
72	0,06	0,93	0,06	0,13	1,24	0,16	0,14	1,31	0,18
73	0,06	0,92	0,06	0,14	1,23	0,17	0,14	1,31	0,18

74	0,05	1,13	0,06	0,11	1,66	0,18	0,12	1,73	0,21
75	0,06	1,08	0,05	0,12	1,27	0,15	0,13	1,33	0,17
76	0,06	0,60	0,04	0,11	1,11	0,12	0,12	1,16	0,14
77	0,03	0,90	0,03	0,07	1,41	0,10	0,07	1,50	0,11
78	0,02	0,72	0,01	0,05	1,25	0,06	0,06	1,33	0,08
79	0,02	0,68	0,01	0,10	1,00	0,05	0,13	1,03	0,06
80	0,01	0,50	0,01	0,06	1,04	0,05	0,08	1,14	0,09
81	0,05	0,76	0,03	0,12	1,27	0,14	0,14	1,39	0,19
82	0,07	0,94	0,07	0,16	1,46	0,23	0,18	1,63	0,29
83	0,06	1,39	0,08	0,15	2,07	0,31	0,17	2,30	0,39
84	0,07	1,24	0,09	0,16	1,80	0,29	0,19	1,95	0,36
85	0,08	1,48	0,12	0,18	2,35	0,42	0,21	2,66	0,56
86	0,07	1,72	0,12	0,17	2,62	0,45	0,19	2,86	0,54
87	0,07	1,28	0,09	0,15	1,96	0,29	0,17	2,16	0,37
88	0,07	1,40	0,10	0,16	2,09	0,33	0,18	2,29	0,41
89	0,06	0,48	0,03	0,12	0,76	0,09	0,13	0,80	0,10
90	0,07	0,50	0,04	0,12	0,71	0,09	0,13	0,74	0,10
91	0,05	0,46	0,02	0,11	0,81	0,09	0,12	0,84	0,10
92	0,05	0,39	0,02	0,11	0,69	0,08	0,12	0,72	0,09
93	0,04	0,26	0,01	0,08	0,48	0,04	0,10	0,51	0,05
94	0,01	0,30	0,00	0,02	0,46	0,01	0,03	0,53	0,02
95	0,00	0,25	0,00	0,01	0,41	0,00	0,01	0,47	0,00
96	0,00	0,00	0,00	0,01	0,27	0,00	0,01	0,30	0,00
97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,01	0,22	0,00
98	0,01	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00	0,05	0,02	0,00
99	0,00	0,26	0,00	0,01	0,44	0,00	0,01	0,49	0,00
100	0,00	0,00	0,00	0,01	0,43	0,00	0,01	0,49	0,00
101	0,00	0,00	0,00	0,01	0,35	0,00	0,01	0,40	0,00
102	0,00	0,00	0,00	0,01	0,26	0,00	0,01	0,29	0,00
103	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,01	0,34	0,00
104	0,00	0,00	0,00	0,01	0,32	0,00	0,01	0,37	0,00
105	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00
106	0,02	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00
107	0,08	1,09	0,04	0,32	1,18	0,13	0,35	1,21	0,17
108	0,02	0,00	0,00	0,05	0,19	0,01	0,06	0,30	0,01
109	0,05	1,21	0,05	0,10	1,72	0,17	0,11	1,87	0,21
110	0,04	0,64	0,03	0,08	1,24	0,10	0,09	1,37	0,12
111	0,02	1,00	0,02	0,04	1,52	0,06	0,05	1,62	0,08
112	0,01	0,64	0,01	0,05	1,14	0,06	0,06	1,28	0,08
113	0,01	0,33	0,00	0,03	0,74	0,02	0,04	0,84	0,03
114	0,00	0,49	0,00	0,01	1,11	0,01	0,02	1,26	0,02
115	0,04	0,02	0,00	0,11	0,04	0,00	0,12	0,06	0,01
116	0,00	0,00	0,00	0,01	0,30	0,00	0,01	0,34	0,00
117	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
118	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
119	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00
120	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,07	0,01	0,00
121	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,07	0,01	0,00
122	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,01	0,06	0,00

123	0,00	0,00	0,00	0,01	0,26	0,00	0,01	0,30	0,00
124	0,00	0,07	0,00	0,07	0,09	0,00	0,07	0,10	0,00
125	0,00	0,06	0,00	0,04	0,04	0,00	0,05	0,05	0,00
126	0,04	0,01	0,00	0,08	0,01	0,00	0,08	0,02	0,00
127	0,02	0,03	0,00	0,04	0,03	0,00	0,04	0,03	0,00
128	0,01	0,05	0,00	0,03	0,08	0,00	0,03	0,08	0,00
129	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00
130	0,05	0,90	0,05	0,10	1,41	0,14	0,12	1,54	0,18
131	0,04	1,11	0,04	0,08	1,78	0,14	0,09	1,94	0,17
132	0,03	0,84	0,03	0,06	1,41	0,08	0,07	1,56	0,11
133	0,02	0,68	0,01	0,04	1,05	0,04	0,04	1,15	0,05
134	0,04	0,65	0,02	0,08	0,95	0,08	0,09	1,04	0,09
135	0,03	0,74	0,02	0,08	1,10	0,09	0,09	1,17	0,11
136	0,04	0,36	0,01	0,08	0,57	0,05	0,10	0,63	0,06
137	0,05	0,68	0,03	0,12	0,87	0,10	0,14	0,93	0,13
138	0,03	0,15	0,00	0,07	0,23	0,02	0,08	0,24	0,02
139	0,04	0,29	0,01	0,09	0,30	0,03	0,11	0,33	0,03
140	0,03	0,15	0,00	0,08	0,22	0,02	0,09	0,25	0,02
141	0,04	0,17	0,01	0,10	0,27	0,03	0,11	0,30	0,03
142	0,06	0,34	0,02	0,14	0,41	0,06	0,17	0,44	0,07
143	0,06	0,69	0,04	0,14	1,05	0,15	0,16	1,13	0,17
144	0,08	1,06	0,08	0,16	1,97	0,32	0,17	2,11	0,36
145	0,07	0,30	0,01	0,14	0,44	0,05	0,16	0,47	0,06
146	0,06	0,53	0,03	0,15	0,76	0,11	0,17	0,80	0,12
147	0,07	1,26	0,09	0,17	1,97	0,33	0,19	2,19	0,42
148	0,05	0,30	0,01	0,13	0,28	0,03	0,15	0,30	0,03
149	0,06	0,44	0,03	0,16	0,75	0,12	0,18	0,80	0,14
150	0,05	0,49	0,02	0,12	0,58	0,07	0,15	0,66	0,10
151	0,04	0,10	0,00	0,10	0,14	0,01	0,11	0,15	0,01
152	0,07	0,76	0,05	0,14	1,14	0,16	0,16	1,19	0,19
153	0,04	0,00	0,00	0,09	0,05	0,00	0,10	0,03	0,00
154	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
155	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
156	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
157	0,02	0,68	0,01	0,04	1,00	0,04	0,05	1,15	0,06
158	0,02	0,34	0,01	0,05	0,50	0,03	0,06	0,60	0,04
159	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
161	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,02	0,21	0,00
162	0,00	0,00	0,00	0,03	0,72	0,02	0,07	1,29	0,09
163	0,00	0,00	0,00	0,04	0,64	0,02	0,08	0,81	0,06
164	0,00	0,00	0,00	0,02	0,95	0,02	0,05	1,34	0,07
165	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
166	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
167	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
168	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
169	0,00	0,38	0,00	0,01	0,62	0,01	0,01	0,69	0,01
170	0,03	0,03	0,00	0,07	0,05	0,00	0,09	0,06	0,01
171	0,07	0,43	0,03	0,14	0,75	0,11	0,16	0,84	0,13

172	0,04	1,02	0,04	0,08	1,43	0,11	0,10	1,69	0,17
173	0,07	0,82	0,05	0,15	1,04	0,15	0,17	1,07	0,18
174	0,06	1,50	0,09	0,13	2,33	0,30	0,14	2,40	0,33
175	0,07	1,36	0,09	0,14	2,08	0,29	0,15	2,11	0,30
176	0,05	1,53	0,08	0,10	2,36	0,24	0,11	2,33	0,23
177	0,11	1,01	0,08	0,30	1,29	0,25	0,33	1,37	0,28
178	0,07	1,71	0,12	0,13	2,54	0,33	0,14	2,52	0,35
179	0,05	1,48	0,07	0,10	2,28	0,23	0,11	2,39	0,26
180	0,04	1,09	0,04	0,08	1,70	0,14	0,09	1,75	0,15
181	0,00	0,00	0,00	0,03	0,92	0,03	0,03	1,05	0,03
182	0,00	0,00	0,00	0,02	0,81	0,02	0,02	0,94	0,02
183	0,01	0,00	0,00	0,03	0,24	0,01	0,04	0,32	0,01
184	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
185	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
186	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
187	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
188	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
189	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
190	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
191	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
192	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00
193	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
194	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
195	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00
196	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00
197	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
198	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
199	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,57	0,01
200	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,04	0,05	0,00
201	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,68	0,01
202	0,07	0,00	0,00	0,10	0,01	0,00	0,11	0,05	0,01
203	0,15	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,19	0,03	0,01
204	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,55	0,01
205	0,22	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,26	0,05	0,01
206	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,53	0,01
207	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
208	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
209	0,06	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
210	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
211	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
212	0,05	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
213	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
214	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
215	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
216	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
217	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
218	0,08	0,29	0,01	0,36	0,66	0,05	0,41	0,68	0,06
219	0,09	1,04	0,09	0,10	1,46	0,15	0,10	1,49	0,15
220	0,07	1,59	0,11	0,13	1,79	0,17	0,14	1,79	0,17

221	0,06	1,08	0,06	0,13	1,50	0,20	0,15	1,64	0,25
222	0,04	1,14	0,05	0,09	1,77	0,16	0,10	1,96	0,20
223	0,02	1,33	0,03	0,04	2,15	0,09	0,05	2,36	0,12
224	0,04	0,12	0,00	0,08	0,23	0,02	0,09	0,27	0,02
225	0,05	0,87	0,04	0,11	1,29	0,14	0,12	1,37	0,16
226	0,03	1,06	0,03	0,07	1,79	0,13	0,08	1,92	0,15
227	0,03	0,51	0,02	0,05	0,89	0,04	0,06	0,96	0,06
228	0,03	1,16	0,03	0,06	1,77	0,11	0,06	1,75	0,11
229	0,03	1,02	0,03	0,06	1,54	0,09	0,07	1,60	0,11
230	0,02	1,19	0,02	0,04	1,96	0,08	0,05	2,07	0,10
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
232	0,07	1,30	0,09	0,14	1,93	0,27	0,16	1,94	0,31
233	0,08	1,44	0,12	0,15	2,54	0,38	0,18	2,59	0,44
234	0,12	2,66	0,32	0,20	3,78	0,76	0,22	3,96	0,87
235	0,13	2,39	0,31	0,24	3,22	0,77	0,26	3,45	0,90
236	0,12	2,29	0,27	0,22	3,13	0,69	0,24	3,22	0,77
237	0,12	2,24	0,27	0,22	3,13	0,69	0,24	3,22	0,77
238	0,13	2,38	0,29	0,24	2,84	0,68	0,26	3,01	0,78
239	0,15	2,33	0,35	0,27	3,02	0,82	0,29	3,21	0,93
240	0,15	2,42	0,36	0,26	3,18	0,83	0,29	3,38	0,98
241	0,14	2,30	0,32	0,25	3,20	0,80	0,27	3,40	0,92
242	0,15	2,26	0,34	0,25	3,16	0,79	0,28	3,37	0,94
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
244	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
245	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
246	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
247	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
248	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
249	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,39	0,00
251	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,00
252	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	0,00
253	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,00
254	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00
255	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
256	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
257	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
258	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
259	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
260	0,03	0,00	0,00	0,07	0,11	0,01	0,07	0,15	0,01
261	0,06	0,57	0,03	0,12	0,81	0,09	0,13	0,81	0,10
262	0,05	0,76	0,04	0,11	1,11	0,12	0,12	1,13	0,13
263	0,04	0,70	0,03	0,08	0,98	0,08	0,09	1,04	0,09
264	0,02	0,03	0,00	0,04	0,05	0,00	0,05	0,06	0,00
265	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,04	0,00
266	0,05	0,83	0,04	0,11	1,40	0,15	0,13	1,58	0,21
267	0,08	1,45	0,12	0,17	2,20	0,37	0,20	2,33	0,47
268	0,10	0,94	0,09	0,20	1,27	0,25	0,23	1,36	0,31
269	0,09	0,60	0,05	0,18	0,81	0,15	0,20	0,85	0,17

270	0,06	0,58	0,03	0,12	0,86	0,10	0,13	0,85	0,11
271	0,02	0,00	0,00	0,05	0,12	0,01	0,06	0,16	0,01
272	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
273	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
274	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
275	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
276	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
277	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
278	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,00
279	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,26	0,00
281	0,03	0,36	0,01	0,06	0,55	0,03	0,07	0,54	0,03
282	0,03	0,84	0,02	0,09	1,33	0,07	0,11	1,33	0,07
283	0,08	0,78	0,02	0,30	0,98	0,04	0,33	0,94	0,04
284	0,13	0,66	0,09	0,51	0,81	0,21	0,56	0,83	0,22
285	0,03	0,81	0,02	0,06	1,34	0,08	0,07	1,46	0,10
286	0,02	0,74	0,01	0,05	1,12	0,06	0,06	1,24	0,07
287	0,01	0,09	0,00	0,06	0,13	0,01	0,06	0,13	0,01
288	0,01	0,07	0,00	0,07	0,42	0,02	0,07	0,42	0,03
289	0,00	0,05	0,00	0,06	0,35	0,02	0,07	0,36	0,02
290	0,00	0,05	0,00	0,06	0,32	0,02	0,07	0,33	0,02
291	0,02	0,04	0,00	0,06	0,24	0,01	0,07	0,28	0,02
292	0,09	0,03	0,00	0,13	0,06	0,00	0,14	0,06	0,00
293	0,22	0,06	0,01	0,28	0,08	0,01	0,29	0,09	0,01
294	0,37	0,06	0,02	0,44	0,07	0,02	0,45	0,07	0,02
295	0,29	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00
296	0,12	1,20	0,14	0,17	1,45	0,25	0,17	1,47	0,25
297	0,12	1,17	0,14	0,17	1,41	0,24	0,18	1,44	0,26
298	0,17	1,25	0,14	0,24	1,47	0,24	0,25	1,48	0,26
299	0,15	0,60	0,09	0,21	0,77	0,16	0,22	0,80	0,18
300	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,80	0,01
301	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,78	0,01
302	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,81	0,01
303	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,55	0,01
304	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,02	0,59	0,01
305	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
306	0,03	0,00	0,00	0,09	0,01	0,00	0,10	0,01	0,00
307	0,03	0,00	0,00	0,07	0,10	0,01	0,09	0,16	0,01
308	0,04	0,77	0,02	0,14	2,09	0,29	0,16	2,43	0,39
309	0,06	1,00	0,06	0,14	1,58	0,22	0,15	1,67	0,25
310	0,09	0,66	0,06	0,18	1,22	0,22	0,19	1,34	0,25
311	0,03	1,06	0,03	0,07	1,93	0,14	0,08	2,13	0,17
312	0,04	0,83	0,02	0,09	1,14	0,07	0,10	1,21	0,09
313	0,04	0,78	0,03	0,09	1,37	0,12	0,10	1,47	0,15
314	0,03	0,61	0,02	0,06	1,14	0,07	0,06	1,29	0,08
315	0,06	0,39	0,02	0,15	0,58	0,06	0,17	0,61	0,08
316	0,01	0,54	0,01	0,03	1,37	0,04	0,04	1,48	0,06
317	0,03	0,10	0,00	0,06	0,16	0,01	0,07	0,16	0,01
318	0,07	0,72	0,04	0,16	0,98	0,14	0,18	0,98	0,17

319	0,07	0,36	0,03	0,17	0,59	0,09	0,19	0,62	0,11
320	0,06	1,25	0,08	0,15	2,05	0,29	0,17	2,18	0,37
321	0,02	0,34	0,01	0,06	0,54	0,03	0,06	0,60	0,04
322	0,05	0,41	0,02	0,10	0,70	0,07	0,12	0,72	0,09
323	0,02	0,35	0,01	0,05	0,66	0,03	0,06	0,74	0,04
324	0,02	0,39	0,01	0,05	0,53	0,03	0,06	0,58	0,03
325	0,02	0,29	0,01	0,05	0,64	0,03	0,06	0,72	0,04
326	0,02	0,11	0,00	0,05	0,32	0,01	0,06	0,34	0,02
327	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00	0,05	0,04	0,00
328	0,02	0,60	0,01	0,05	1,11	0,06	0,06	1,24	0,07
329	0,02	0,87	0,02	0,07	1,38	0,08	0,08	1,44	0,10
330	0,02	0,71	0,01	0,07	1,47	0,09	0,09	1,64	0,12
331	0,02	0,30	0,01	0,08	0,78	0,06	0,10	0,91	0,09
332	0,03	1,21	0,04	0,07	1,97	0,14	0,08	2,17	0,17
333	0,03	0,98	0,03	0,06	1,64	0,10	0,07	1,82	0,13
334	0,02	0,93	0,02	0,06	1,49	0,08	0,07	1,63	0,10
335	0,02	0,38	0,01	0,07	0,99	0,07	0,09	1,18	0,11
336	0,06	0,41	0,02	0,11	0,95	0,10	0,13	1,13	0,14
337	0,03	0,72	0,02	0,07	1,11	0,08	0,08	1,19	0,09
338	0,04	0,90	0,04	0,08	1,58	0,13	0,08	1,71	0,14
339	0,07	1,00	0,05	0,15	1,02	0,14	0,17	1,07	0,17
340	0,03	0,76	0,02	0,10	1,17	0,09	0,14	1,22	0,11
341	0,02	0,64	0,01	0,05	0,98	0,05	0,06	1,04	0,06
342	0,03	0,41	0,01	0,10	0,60	0,05	0,14	0,60	0,06
343	0,07	0,32	0,02	0,10	0,81	0,08	0,10	0,98	0,10
344	0,10	1,22	0,12	0,20	2,07	0,41	0,22	2,21	0,49
345	0,05	0,45	0,02	0,11	0,76	0,08	0,12	0,85	0,10
346	0,14	3,42	0,48	0,25	4,84	1,21	0,27	5,15	1,39
347	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
348	0,08	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00
349	0,04	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
350	0,07	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
351	0,03	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
352	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
353	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
354	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
355	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
356	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
357	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
358	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
359	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
361	0,00	0,00	0,00	0,01	0,45	0,00	0,02	0,86	0,02
362	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,02	0,73	0,01
363	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,02	0,60	0,01
364	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,63	0,01
365	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,02	0,41	0,01
366	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
367	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

368	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
369	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
371	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
372	0,04	0,38	0,02	0,08	0,41	0,02	0,09	0,42	0,02
373	0,08	0,22	0,02	0,09	0,38	0,03	0,09	0,42	0,03
374	0,06	1,19	0,06	0,07	1,26	0,07	0,07	1,25	0,07
375	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
376	0,08	0,63	0,02	0,09	0,64	0,02	0,09	0,66	0,02
377	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
378	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
379	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
381	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
382	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
383	0,02	0,31	0,01	0,07	0,56	0,04	0,08	0,59	0,05
384	0,02	0,42	0,01	0,06	1,12	0,07	0,07	1,25	0,09
385	0,05	0,12	0,01	0,11	0,34	0,04	0,12	0,35	0,04
386	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
387	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
388	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
389	0,01	0,29	0,00	0,09	0,70	0,03	0,13	0,71	0,03
390	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
391	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
392	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
393	0,03	0,82	0,02	0,07	1,39	0,10	0,08	1,51	0,12
394	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
395	0,02	0,70	0,01	0,05	1,24	0,06	0,06	1,34	0,08
396	0,03	0,53	0,02	0,10	0,87	0,09	0,12	0,95	0,11
397	0,03	0,39	0,01	0,09	0,63	0,05	0,11	0,67	0,07
398	0,10	0,99	0,07	0,11	1,04	0,09	0,11	1,05	0,09
399	0,08	1,17	0,09	0,09	1,31	0,12	0,09	1,31	0,12
400	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
401	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
402	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
403	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
404	0,03	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
405	0,04	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
406	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
407	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
408	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
409	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
411	0,01	0,26	0,00	0,02	0,50	0,01	0,03	0,61	0,02
412	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
413	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Appendice B.9

Modellazione scenari SuDS

Scenario SuDS (uno-rain barrels)

SISTEMA-BACINO G	Sup.coperta (edifici) [m ²]	%imp.Area (trattata)	Combinazioni SuDS		
			(a) m ³	(b) m ³	(c) m ³
S1 (5 ha)	29800,74	59,60	149,0	298,0	596,0
S2	-	-	-	-	-
S3 (5,98 ha)	34619,44	57,89	173,10	346,2	692,4
S4	-	-	-	-	-
S5	-	-	-	-	-
S6 (5,30 ha)	8849,52	16,70	44,25	88,50	177,0
S7 (8,32 ha)	12144,68	14,60	60,72	121,45	242,9

Risultati delle simulazioni

Status delle simulazioni_Tr=2 anni

Combinazione (a)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale V _{t0} [mm]	Portata massima Q _{t0} [mc/s]	Volume totale V _{ti} [mm]	Portata massima Q _{ti} [mc/s]		
S1	23,68	0,78	20,72	0,78	12,50	0,00
S2	23,26	0,67	23,26	0,67	0,00	0,00
S3	23,33	0,61	20,45	0,53	12,34	13,11
S4	23,87	0,04	23,87	0,04	0,00	0,00
S5	13,04	0,64	13,04	0,64	0,00	0,00
S6	13,01	0,49	12,2	0,44	6,23	10,20
S7	18,10	0,71	17,37	0,60	4,03	15,49

Combinazione (b)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale V _{t0} [mm]	Portata massima Q _{t0} [mc/s]	Volume totale V _{ti} [mm]	Portata massima Q _{ti} [mc/s]		
S1	23,68	0,78	17,75	0,49	25,04	37,18
S2	23,26	0,67	23,26	0,67	0,00	0,00
S3	23,33	0,61	17,57	0,41	24,69	32,79
S4	23,87	0,04	23,87	0,04	0,00	0,00
S5	13,04	0,64	13,04	0,64	0,00	0,00
S6	13,01	0,49	11,36	0,40	12,68	18,37
S7	18,10	0,71	16,66	0,60	7,96	15,49

Combinazione (c)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	23,68	0,78	11,82	0,31	50,08	60,26
S2	23,26	0,67	23,26	0,67	0,00	0,00
S3	23,33	0,61	11,8	0,26	49,42	57,38
S4	23,87	0,04	23,87	0,04	0,00	0,00
S5	13,04	0,64	13,04	0,64	0,00	0,00
S6	13,01	0,49	10,8	0,40	16,99	18,37
S7	18,10	0,71	15,41	0,60	14,86	15,49

Status delle simulazioni_Tr=5 anni

Combinazione (a)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	36,00	1,20	33,04	1,20	8,22	0,00
S2	35,42	1,16	35,42	1,16	0,00	0,00
S3	35,51	1,04	32,64	1,05	8,08	0,00
S4	36,25	0,05	36,25	0,05	0,00	0,00
S5	19,67	0,94	19,67	0,94	0,00	0,00
S6	20,33	0,72	19,52	0,72	3,98	0,00
S7	27,10	1,18	26,38	1,15	2,66	2,54

Combinazione (b)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	36,00	1,20	30,07	1,15	16,47	4,17
S2	35,42	1,16	35,42	1,16	0,00	0,00
S3	35,51	1,04	29,76	0,84	16,19	19,23
S4	36,25	0,05	36,25	0,05	0,00	0,00
S5	19,67	0,94	19,67	0,94	0,00	0,00
S6	20,33	0,72	18,68	0,60	8,12	16,67
S7	27,10	1,18	25,66	1,01	5,31	14,41

Combinazione (c)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale V_{t0} [mm]	Portata massima Q_{t0} [mc/s]	Volume totale V_{ti} [mm]	Portata massima Q_{ti} [mc/s]		
S1	36,00	1,20	24,15	0,58	32,92	51,67
S2	35,42	1,16	35,42	1,16	0,00	0,00
S3	35,51	1,04	24,00	0,54	32,41	48,08
S4	36,25	0,05	36,25	0,05	0,00	0,00
S5	19,67	0,94	19,67	0,94	0,00	0,00
S6	20,33	0,72	17,06	0,60	16,08	16,67
S7	27,10	1,18	24,22	1,01	10,63	14,41

Status delle simulazioni $Tr=10$ anni

Combinazione (a)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale V_{t0} [mm]	Portata massima Q_{t0} [mc/s]	Volume totale V_{ti} [mm]	Portata massima Q_{ti} [mc/s]		
S1	43,15	1,46	40,19	1,46	6,86	0,00
S2	42,51	1,46	42,51	1,46	0,00	0,00
S3	42,61	1,31	39,73	1,31	6,76	0,00
S4	43,43	0,07	43,43	0,07	0,00	0,00
S5	24,11	1,10	24,11	1,10	0,00	0,00
S6	25,27	0,86	24,46	0,86	3,21	0,00
S7	32,30	1,46	31,58	1,46	2,23	0,00

Combinazione (b)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale V_{t0} [mm]	Portata massima Q_{t0} [mc/s]	Volume totale V_{ti} [mm]	Portata massima Q_{ti} [mc/s]		
S1	43,15	1,46	37,23	1,46	13,72	0,00
S2	42,51	1,46	42,51	1,46	0,00	0,00
S3	42,61	1,31	36,86	1,03	13,49	21,37
S4	43,43	0,07	43,43	0,07	0,00	0,00
S5	24,11	1,10	24,11	1,10	0,00	0,00
S6	25,27	0,86	23,63	0,78	6,49	9,30
S7	32,30	1,46	30,87	1,29	4,43	11,64

Combinazione (c)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	43,15	1,46	31,30	0,83	27,46	43,15
S2	42,51	1,46	42,51	1,46	0,00	0,00
S3	42,61	1,31	31,10	0,74	27,01	43,51
S4	43,43	0,07	43,43	0,07	0,00	0,00
S5	24,11	1,10	24,11	1,10	0,00	0,00
S6	25,27	0,86	22,01	0,72	12,90	16,28
S7	32,30	1,46	29,43	1,25	8,89	14,38

Status delle simulazioni_Tr=20 anni

Combinazione (a)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	50,66	1,73	47,69	1,73	5,86	0,00
S2	49,98	1,80	49,98	1,80	0,00	0,00
S3	50,09	1,60	47,21	1,60	5,75	0,00
S4	50,90	0,08	50,90	0,08	0,00	0,00
S5	29,15	1,28	29,15	1,28	0,00	0,00
S6	30,79	1,02	29,99	1,02	2,60	0,00
S7	37,88	1,76	37,16	1,76	1,90	0,00

Combinazione (b)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	50,66	1,73	44,73	1,73	11,71	0,00
S2	49,98	1,80	49,98	1,80	0,00	0,00
S3	50,09	1,60	44,34	1,46	11,48	8,75
S4	50,90	0,08	50,90	0,08	0,00	0,00
S5	29,15	1,28	29,15	1,28	0,00	0,00
S6	30,79	1,02	29,16	0,99	5,29	2,94
S7	37,88	1,76	36,45	1,65	3,78	6,25

Combinazione (c)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale V_{t0} [mm]	Portata massima Q_{t0} [mc/s]	Volume totale V_{ti} [mm]	Portata massima Q_{ti} [mc/s]		
S1	50,66	1,73	38,81	1,22	23,39	29,48
S2	49,98	1,80	49,98	1,80	0,00	0,00
S3	50,09	1,60	38,58	1,04	22,98	35,00
S4	50,90	0,08	50,90	0,08	0,00	0,00
S5	29,15	1,28	29,15	1,28	0,00	0,00
S6	30,79	1,02	27,54	0,85	10,56	16,67
S7	37,88	1,76	35,01	1,50	7,58	14,77

Modellazione scenari SuDS

Scenario SuDS (due-green roofs)

SISTEMA- BACINO G	Sup.coperta (edifici) [m ²]	Combinazioni SuDS					
		(a)		(b)		(c)	
		m ² (convertiti)	% Area(S) (occupata)	m ² (convertiti)	% Area (occupata)	m ² (convertiti)	% Area (occupata)
S1 (5 ha)	29800,74	14900,37	5,96	8940,22	17,88	2980,07	29,80
S2 (7,10 ha)	4121,24-	20606,20	5,80	12363,72	17,41	4121,24	29,02
S3 (5,98 ha)	34619,44	17309,72	5,79	10385,83	17,37	3461,94	28,95
S4 (0,21 ha)	136,93-	684,65	6,52	410,79	19,56	136,93	32,60
S5 (6,70 ha)	1488,45-	7442,24	2,22	4465,34	6,66	1488,45	11,11
S6 (5,30 ha)	8849,52	4424,76	1,67	2654,86	5,01	884,95	8,35
S7 (8,32 ha)	12144,68	6072,34	1,46	3643,40	4,38	1214,47	7,30

PARAMETRI DEL LID CONTROL EDITOR		
<i>Surface</i>	Berm Height [mm]	10
	vegetation volume fraction	0
	Manning's	0.1
	surface slope [%]	1
<i>Soil</i>	Thickness [mm]	80
	Porosity	0,65
	Field Capacity	0,4
	wilting point	0,16
	conductivity [mm/h]	360
	conductivity slope	45
	suction head [mm]	35
<i>Drainage</i>	Thickness [mm]	25
	void fraction	0,5
	Manning's	0,05

Risultati delle simulazioni

Status delle simulazioni $Tr=2$ anni

Combinazione (a)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale V_{t0} [mm]	Portata massima Q_{t0} [mc/s]	Volume totale V_{ti} [mm]	Portata massima Q_{ti} [mc/s]		
S1	23,68	0,78	21,53	0,72	9,08	7,69
S2	23,26	0,67	21,94	0,65	5,67	2,99
S3	23,33	0,61	21,98	0,59	5,79	3,28
S4	23,87	0,04	22,18	0,03	7,08	25,00
S5	13,04	0,64	12,66	0,62	2,91	3,13
S6	13,01	0,49	12,72	0,47	2,23	4,08
S7	18,10	0,71	17,78	0,7	1,77	1,41

Combinazione (b)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale V_{t0} [mm]	Portata massima Q_{t0} [mc/s]	Volume totale V_{ti} [mm]	Portata massima Q_{ti} [mc/s]		
S1	23,68	0,78	19,47	0,65	17,78	16,67
S2	23,26	0,67	19,28	0,61	17,11	8,96
S3	23,33	0,61	19,33	0,55	17,15	9,84
S4	23,87	0,04	19,34	0,03	18,98	25,00
S5	13,04	0,64	11,90	0,58	8,74	9,38
S6	13,01	0,49	12,16	0,45	6,53	8,16
S7	18,10	0,71	17,18	0,69	5,08	2,82

Combinazione (c)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale V_{t0} [mm]	Portata massima Q_{t0} [mc/s]	Volume totale V_{ti} [mm]	Portata massima Q_{ti} [mc/s]		
S1	23,68	0,78	16,63	0,56	29,77	28,21
S2	23,26	0,67	16,64	0,56	28,46	16,42
S3	23,33	0,61	16,67	0,50	28,55	18,03
S4	23,87	0,04	15,99	0,02	33,01	50,00
S5	13,04	0,64	11,19	0,54	14,19	15,63
S6	13,01	0,49	11,62	0,43	10,68	12,24
S7	18,10	0,71	16,58	0,67	8,40	5,63

Status delle simulazioni_Tr=5 anni

Combinazione (a)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	36,00	1,20	33,63	1,10	6,58	8,33
S2	35,42	1,16	34,07	1,12	3,81	3,45
S3	35,51	1,04	34,14	1,01	3,86	2,88
S4	36,25	0,05	34,51	0,05	4,80	0,00
S5	19,67	0,94	19,34	0,91	1,68	3,19
S6	20,33	0,72	20,08	0,71	1,23	1,39
S7	27,10	1,18	26,79	1,17	1,14	0,85

Combinazione (b)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	36,00	1,20	31,69	0,99	11,97	17,50
S2	35,42	1,16	31,35	1,03	11,49	11,21
S3	35,51	1,04	31,43	0,92	11,49	11,54
S4	36,25	0,05	31,60	0,04	12,83	20,00
S5	19,67	0,94	18,70	0,84	4,93	10,64
S6	20,33	0,72	19,60	0,67	3,59	6,94
S7	27,10	1,18	26,20	1,14	3,32	3,39

Combinazione (c)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	36,00	1,20	28,78	0,84	20,06	30,00
S2	35,42	1,16	28,66	0,93	19,09	19,83
S3	35,51	1,04	28,71	0,83	19,15	20,19
S4	36,25	0,05	28,17	0,03	22,29	40,00
S5	19,67	0,94	18,11	0,79	7,93	15,96
S6	20,33	0,72	19,15	0,64	5,80	11,11
S7	27,10	1,18	25,63	1,11	5,42	5,93

Status delle simulazioni_Tr=10 anni

Combinazione (a)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	43,15	1,46	40,70	1,33	5,68	8,90
S2	42,51	1,46	41,16	1,41	3,18	3,42
S3	42,61	1,31	41,24	1,26	3,22	3,82
S4	43,43	0,07	41,69	0,06	4,01	14,29
S5	24,11	1,10	23,82	1,07	1,20	2,73
S6	25,27	0,86	25,04	0,84	0,91	2,33
S7	32,30	1,46	32,00	1,44	0,93	1,37

Combinazione (b)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	43,15	1,46	38,84	1,20	9,99	17,81
S2	42,51	1,46	38,44	1,29	9,57	11,64
S3	42,61	1,31	38,52	1,15	9,60	12,21
S4	43,43	0,07	38,76	0,05	10,75	28,57
S5	24,11	1,10	23,26	1,00	3,53	9,09
S6	25,27	0,86	24,61	0,80	2,61	6,98
S7	32,30	1,46	31,43	1,41	2,69	3,42

Combinazione (a)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	43,15	1,46	35,93	1,02	16,73	30,14
S2	42,51	1,46	35,76	1,16	15,88	20,55
S3	42,61	1,31	35,81	1,02	15,96	22,14
S4	43,43	0,07	35,33	0,04	18,65	42,86
S5	24,11	1,10	22,74	0,93	5,68	15,45
S6	25,27	0,86	24,21	0,76	4,19	11,63
S7	32,30	1,46	30,89	1,37	4,37	6,16

Status delle simulazioni_Tr=20 anni

Combinazione (a)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	50,66	1,73	48,13	1,58	4,99	8,67
S2	49,98	1,80	48,63	1,73	2,70	3,89
S3	50,09	1,60	48,71	1,53	2,76	4,38
S4	50,90	0,08	49,15	0,07	3,44	12,50
S5	29,15	1,28	28,89	1,24	0,89	3,13
S6	30,79	1,02	30,59	1,00	0,65	1,96
S7	37,88	1,76	37,59	1,74	0,77	1,14

Combinazione (b)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	50,66	1,73	46,34	1,42	8,53	17,92
S2	49,98	1,80	45,92	1,58	8,12	12,22
S3	50,09	1,60	46,00	1,39	8,17	13,13
S4	50,90	0,08	46,22	0,06	9,19	25,00
S5	29,15	1,28	28,39	1,16	2,61	9,38
S6	30,79	1,02	30,20	0,95	1,92	6,86
S7	37,88	1,76	37,04	1,69	2,22	3,98

Combinazione (c)	Pre-SuDS		Post-SuDS		$\frac{V_{t0} - V_{ti}}{V_{t0}}$ [%]	$\frac{Q_{t0} - Q_{ti}}{Q_{t0}}$ [%]
	Volume totale	Portata massima	Volume totale	Portata massima		
	V_{t0} [mm]	Q_{t0} [mc/s]	V_{ti} [mm]	Q_{ti} [mc/s]		
S1	50,66	1,73	43,42	1,21	14,29	30,06
S2	49,98	1,80	43,23	1,41	13,51	21,67
S3	50,09	1,60	43,29	1,23	13,58	23,13
S4	50,90	0,08	42,79	0,05	15,93	37,50
S5	29,15	1,28	27,94	1,08	4,15	15,63
S6	30,79	1,02	29,85	0,90	3,05	11,76
S7	37,88	1,76	36,52	1,64	3,59	6,82

Appendice B.10

Modellazione scenari SuDS

Scenario SuDS (uno-rain barrels)

Risultati

Rete stradale superficiale (*major system*)

Tr=5 anni

Ramo	Combinazione (a)			Combinazione (b)			Combinazione (c)		
(C)	H _{max} [m]	V _{max} [m]	(HV) _{max}	H _{max} [m]	V _{max} [m]	(HV) _{max}	H _{max} [m]	V _{max} [m]	(HV) _{max}
1	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
2	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
3	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
4	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
5	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
6	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
11	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
12	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
13	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
19	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
20	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
21	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
22	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
23	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
24	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
25	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
26	0,02	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
27	0,05	1,29	0,065	0,05	1,30	0,065	0,04	1,29	0,052
28	0,03	0,81	0,024	0,03	0,81	0,024	0,03	0,81	0,023
29	0,02	0,55	0,011	0,02	0,54	0,011	0,02	0,55	0,010
30	0,01	0,62	0,006	0,01	0,59	0,006	0,01	0,62	0,006
31	0,02	0,26	0,003	0,01	0,29	0,003	0,00	0,26	0,000
32	0,02	0,59	0,012	0,01	0,07	0,001	0,00	0,59	0,000
33	0,01	0,19	0,002	0,01	0,25	0,003	0,01	0,19	0,002
34	0,03	0,69	0,021	0,01	0,39	0,004	0,01	0,69	0,004
35	0,05	0,47	0,017	0,03	0,45	0,005	0,01	0,47	0,004
36	0,08	0,96	0,077	0,05	0,69	0,035	0,01	0,96	0,002

37	0,07	1,29	0,090	0,04	0,94	0,038	0,01	1,29	0,003
38	0,07	1,32	0,092	0,04	0,96	0,038	0,01	1,32	0,003
39	0,07	1,25	0,088	0,04	0,95	0,037	0,01	1,25	0,003
40	0,06	1,57	0,094	0,04	1,14	0,046	0,01	1,57	0,004
41	0,06	1,12	0,067	0,04	0,92	0,032	0,00	1,12	0,000
42	0,06	1,10	0,066	0,03	0,74	0,022	0,00	1,10	0,000
43	0,04	1,28	0,051	0,02	0,88	0,018	0,00	1,28	0,000
44	0,05	1,02	0,049	0,03	0,76	0,023	0,00	1,02	0,000
45	0,05	1,22	0,061	0,03	0,89	0,026	0,00	1,22	0,000
46	0,05	1,24	0,062	0,03	0,93	0,026	0,00	1,24	0,000
47	0,04	1,18	0,047	0,02	0,84	0,017	0,00	1,18	0,000
48	0,05	1,05	0,042	0,03	0,77	0,015	0,01	1,05	0,004
49	0,05	1,06	0,053	0,03	0,78	0,023	0,01	1,07	0,009
50	0,05	0,99	0,038	0,04	0,66	0,020	0,01	0,99	0,006
51	0,06	1,59	0,095	0,05	1,25	0,063	0,02	1,59	0,028
52	0,07	1,13	0,079	0,05	0,97	0,045	0,02	1,13	0,020
53	0,08	1,62	0,130	0,05	1,25	0,063	0,03	1,62	0,040
54	0,08	1,45	0,116	0,06	1,15	0,067	0,03	1,45	0,034
55	0,08	1,35	0,106	0,06	1,18	0,066	0,03	1,35	0,031
56	0,07	1,51	0,104	0,05	1,26	0,062	0,02	1,53	0,023
57	0,07	1,46	0,102	0,05	1,16	0,058	0,02	1,46	0,023
58	0,07	1,89	0,131	0,05	1,51	0,073	0,02	1,90	0,028
59	0,04	1,52	0,061	0,03	1,24	0,037	0,01	1,51	0,010
60	0,03	0,59	0,017	0,02	0,48	0,010	0,01	0,60	0,004
61	0,04	0,45	0,018	0,03	0,43	0,009	0,03	0,44	0,004
62	0,08	1,55	0,124	0,06	1,29	0,077	0,05	1,56	0,078
63	0,07	1,85	0,130	0,05	1,54	0,077	0,05	1,87	0,091
64	0,08	1,50	0,119	0,06	1,30	0,073	0,05	1,51	0,072
65	0,08	1,66	0,130	0,06	1,37	0,080	0,05	1,67	0,075
66	0,07	1,62	0,113	0,05	1,34	0,067	0,04	1,63	0,062
67	0,04	0,00	0,000	0,03	0,06	0,002	0,03	0,12	0,000
68	0,03	0,00	0,000	0,02	0,06	0,000	0,00	0,06	0,000
69	0,07	0,90	0,063	0,03	0,62	0,019	0,00	0,90	0,000
70	0,07	0,90	0,063	0,04	0,66	0,026	0,01	0,90	0,002
71	0,08	0,98	0,078	0,05	0,71	0,036	0,01	0,98	0,002
72	0,06	0,93	0,056	0,04	0,68	0,027	0,00	0,93	0,000
73	0,06	0,92	0,055	0,04	0,69	0,028	0,00	0,92	0,000
74	0,05	1,13	0,057	0,03	0,81	0,024	0,00	1,13	0,000
75	0,06	1,08	0,048	0,04	0,85	0,020	0,01	1,08	0,001
76	0,06	0,60	0,036	0,04	0,30	0,012	0,01	0,60	0,001
77	0,03	0,90	0,027	0,02	0,55	0,011	0,00	0,90	0,000
78	0,02	0,72	0,014	0,01	0,46	0,005	0,00	0,72	0,000
79	0,02	0,71	0,014	0,01	0,45	0,005	0,00	0,68	0,000
80	0,01	0,00	0,000	0,01	0,45	0,004	0,00	0,50	0,000
81	0,05	0,58	0,027	0,02	0,41	0,008	0,00	0,76	0,000
82	0,07	0,94	0,066	0,03	0,61	0,018	0,00	0,94	0,000
83	0,06	1,38	0,083	0,03	0,92	0,028	0,00	1,39	0,000
84	0,07	1,25	0,087	0,04	0,63	0,025	0,02	1,24	0,018
85	0,08	1,48	0,118	0,06	1,19	0,071	0,03	1,48	0,042

86	0,07	1,72	0,120	0,05	1,36	0,068	0,03	1,72	0,048
87	0,07	1,28	0,090	0,05	1,09	0,052	0,03	1,28	0,034
88	0,07	1,40	0,098	0,05	1,16	0,058	0,02	1,40	0,026
89	0,06	0,48	0,029	0,04	0,36	0,014	0,00	0,48	0,000
90	0,07	0,50	0,035	0,04	0,36	0,014	0,01	0,50	0,001
91	0,05	0,46	0,023	0,03	0,31	0,009	0,00	0,46	0,000
92	0,05	0,39	0,020	0,03	0,26	0,008	0,00	0,39	0,000
93	0,04	0,26	0,010	0,02	0,16	0,003	0,00	0,26	0,000
94	0,01	0,30	0,003	0,01	0,28	0,003	0,01	0,30	0,003
95	0,00	0,25	0,000	0,00	0,24	0,000	0,00	0,25	0,000
96	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
97	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
98	0,01	0,01	0,000	0,01	0,01	0,000	0,00	0,01	0,000
99	0,00	0,26	0,000	0,00	0,24	0,000	0,00	0,26	0,000
100	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
101	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
102	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
103	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
104	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
105	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
106	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
107	0,08	1,11	0,040	0,06	1,14	0,038	0,05	1,09	0,024
108	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
109	0,05	1,21	0,049	0,04	1,19	0,040	0,04	1,21	0,039
110	0,04	0,64	0,026	0,03	0,63	0,019	0,03	0,64	0,019
111	0,02	1,00	0,019	0,02	0,97	0,018	0,01	1,00	0,010
112	0,01	0,64	0,006	0,01	0,61	0,006	0,01	0,64	0,006
113	0,01	0,33	0,003	0,01	0,31	0,003	0,01	0,33	0,003
114	0,00	0,49	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,49	0,000
115	0,04	0,02	0,000	0,03	0,02	0,000	0,01	0,02	0,000
116	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
117	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
118	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
119	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
120	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
121	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
122	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
123	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
124	0,03	0,07	0,001	0,02	0,07	0,000	0,00	0,07	0,000
125	0,02	0,06	0,001	0,01	0,07	0,001	0,00	0,06	0,000
126	0,04	0,01	0,000	0,03	0,01	0,000	0,00	0,01	0,000
127	0,02	0,03	0,000	0,01	0,03	0,000	0,00	0,03	0,000
128	0,01	0,05	0,000	0,01	0,00	0,000	0,00	0,05	0,000
129	0,01	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
130	0,05	0,90	0,045	0,03	0,57	0,017	0,00	0,90	0,000
131	0,04	1,11	0,044	0,02	0,72	0,014	0,00	1,11	0,000
132	0,03	0,84	0,025	0,02	0,54	0,011	0,00	0,84	0,000
133	0,02	0,68	0,013	0,01	0,48	0,005	0,00	0,68	0,000
134	0,04	0,65	0,024	0,02	0,49	0,009	0,00	0,65	0,000

135	0,03	0,74	0,022	0,02	0,48	0,010	0,00	0,74	0,000
136	0,04	0,36	0,014	0,02	0,24	0,005	0,00	0,36	0,000
137	0,05	0,72	0,033	0,03	0,48	0,013	0,00	0,68	0,000
138	0,03	0,15	0,005	0,02	0,10	0,002	0,00	0,15	0,000
139	0,04	0,34	0,008	0,02	0,17	0,003	0,00	0,29	0,000
140	0,03	0,15	0,005	0,02	0,10	0,002	0,00	0,15	0,000
141	0,04	0,18	0,007	0,02	0,11	0,002	0,00	0,17	0,000
142	0,06	0,34	0,017	0,04	0,24	0,007	0,02	0,34	0,003
143	0,06	0,69	0,039	0,05	0,95	0,037	0,03	0,69	0,021
144	0,08	1,06	0,085	0,07	1,03	0,072	0,07	1,06	0,074
145	0,07	0,30	0,013	0,07	0,30	0,013	0,06	0,30	0,011
146	0,06	0,53	0,029	0,06	0,53	0,028	0,05	0,53	0,022
147	0,07	1,26	0,088	0,07	1,22	0,085	0,06	1,26	0,076
148	0,05	0,31	0,012	0,04	0,19	0,004	0,02	0,30	0,002
149	0,06	0,44	0,026	0,04	0,35	0,014	0,02	0,44	0,008
150	0,05	0,49	0,016	0,04	0,22	0,008	0,02	0,49	0,005
151	0,04	0,10	0,004	0,03	0,10	0,003	0,02	0,10	0,002
152	0,07	0,76	0,053	0,07	0,78	0,054	0,06	0,76	0,046
153	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000
154	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
155	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
156	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
157	0,02	0,68	0,014	0,02	0,66	0,013	0,01	0,68	0,007
158	0,02	0,34	0,007	0,02	0,33	0,007	0,02	0,34	0,007
159	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
160	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
161	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
162	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
163	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
164	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
165	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
166	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
167	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
168	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
169	0,00	0,38	0,000	0,00	0,37	0,000	0,00	0,38	0,000
170	0,03	0,03	0,001	0,03	0,03	0,001	0,03	0,03	0,001
171	0,07	0,43	0,030	0,06	0,42	0,025	0,05	0,43	0,022
172	0,04	1,02	0,040	0,04	1,00	0,040	0,04	1,02	0,036
173	0,07	0,82	0,053	0,07	0,74	0,052	0,06	0,82	0,046
174	0,06	1,50	0,090	0,06	1,49	0,089	0,05	1,50	0,075
175	0,07	1,36	0,094	0,07	1,32	0,090	0,06	1,36	0,080
176	0,05	1,53	0,077	0,05	1,51	0,076	0,05	1,53	0,077
177	0,11	1,01	0,084	0,10	0,92	0,080	0,09	1,01	0,068
178	0,07	1,71	0,120	0,07	1,71	0,120	0,07	1,71	0,120
179	0,05	1,48	0,074	0,05	1,48	0,074	0,05	1,48	0,074
180	0,04	1,09	0,044	0,04	1,10	0,044	0,04	1,09	0,044
181	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
182	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
183	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000

184	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
185	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
186	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
187	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
188	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
189	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
190	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
191	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
192	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
193	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
194	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
195	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
196	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
197	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
198	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
199	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
200	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
201	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
202	0,07	0,00	0,000	0,07	0,00	0,000	0,07	0,00	0,000
203	0,15	0,00	0,000	0,15	0,00	0,000	0,15	0,00	0,000
204	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
205	0,22	0,00	0,000	0,22	0,00	0,000	0,22	0,00	0,000
206	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
207	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
208	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
209	0,06	0,00	0,000	0,06	0,00	0,000	0,06	0,00	0,000
210	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
211	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
212	0,05	0,00	0,000	0,05	0,00	0,000	0,05	0,00	0,000
213	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
214	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
215	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
216	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
217	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
218	0,08	0,27	0,010	0,05	0,07	0,004	0,04	0,29	0,005
219	0,09	1,04	0,094	0,09	1,04	0,094	0,08	1,04	0,083
220	0,07	1,59	0,111	0,07	1,56	0,109	0,06	1,59	0,095
221	0,06	1,08	0,065	0,06	1,08	0,065	0,05	1,08	0,054
222	0,04	1,14	0,046	0,04	1,12	0,045	0,03	1,14	0,034
223	0,02	1,33	0,027	0,02	1,31	0,026	0,02	1,33	0,027
224	0,04	0,12	0,005	0,04	0,12	0,005	0,04	0,12	0,005
225	0,05	0,87	0,044	0,05	0,86	0,043	0,05	0,87	0,044
226	0,03	1,06	0,032	0,03	1,04	0,031	0,03	1,06	0,032
227	0,03	0,51	0,015	0,02	0,51	0,010	0,02	0,51	0,010
228	0,03	1,16	0,035	0,03	1,13	0,034	0,03	1,16	0,034
229	0,03	1,02	0,031	0,03	1,03	0,031	0,03	1,02	0,029
230	0,02	1,19	0,024	0,02	1,19	0,024	0,02	1,19	0,024
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
232	0,07	1,30	0,091	0,07	1,28	0,090	0,06	1,30	0,078

233	0,08	1,44	0,115	0,08	1,44	0,115	0,08	1,44	0,115
234	0,12	2,66	0,319	0,11	2,61	0,287	0,11	2,66	0,293
235	0,13	2,39	0,311	0,13	2,36	0,307	0,13	2,39	0,307
236	0,12	2,29	0,275	0,12	2,26	0,271	0,12	2,29	0,272
237	0,12	2,24	0,269	0,12	2,21	0,265	0,12	2,24	0,269
238	0,13	2,38	0,289	0,13	2,38	0,289	0,13	2,38	0,289
239	0,15	2,33	0,350	0,14	2,22	0,311	0,14	2,33	0,326
240	0,15	2,42	0,363	0,14	2,30	0,322	0,14	2,42	0,337
241	0,14	2,30	0,322	0,13	2,19	0,285	0,13	2,30	0,299
242	0,15	2,25	0,338	0,14	2,15	0,301	0,14	2,26	0,305
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
244	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
245	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
246	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
247	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
248	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
249	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
250	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
251	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
252	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
253	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
254	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
255	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
256	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
257	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
258	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
259	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
260	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
261	0,06	0,57	0,034	0,06	0,58	0,035	0,06	0,57	0,034
262	0,05	0,76	0,037	0,05	0,77	0,039	0,05	0,76	0,036
263	0,04	0,70	0,026	0,04	0,70	0,025	0,03	0,70	0,020
264	0,02	0,03	0,000	0,02	0,03	0,000	0,01	0,03	0,000
265	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
266	0,05	0,83	0,042	0,05	0,81	0,041	0,04	0,83	0,033
267	0,08	1,45	0,116	0,08	1,41	0,113	0,07	1,45	0,102
268	0,10	0,94	0,089	0,10	0,96	0,087	0,08	0,94	0,071
269	0,09	0,60	0,049	0,08	0,64	0,047	0,07	0,60	0,039
270	0,06	0,58	0,035	0,06	0,65	0,037	0,06	0,58	0,035
271	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
272	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
273	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
274	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
275	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
276	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
277	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
278	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
279	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
280	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
281	0,03	0,36	0,011	0,03	0,35	0,011	0,03	0,36	0,011

282	0,03	0,84	0,025	0,02	0,83	0,017	0,02	0,84	0,017
283	0,08	0,78	0,016	0,08	0,76	0,015	0,07	0,78	0,012
284	0,13	0,66	0,086	0,12	0,66	0,079	0,10	0,66	0,064
285	0,03	0,81	0,023	0,03	0,80	0,023	0,03	0,81	0,023
286	0,02	0,74	0,015	0,02	0,73	0,015	0,02	0,74	0,015
287	0,01	0,09	0,001	0,01	0,09	0,001	0,01	0,09	0,001
288	0,01	0,07	0,001	0,01	0,07	0,001	0,01	0,07	0,001
289	0,00	0,05	0,000	0,00	0,05	0,000	0,00	0,05	0,000
290	0,00	0,05	0,000	0,00	0,05	0,000	0,00	0,05	0,000
291	0,02	0,04	0,000	0,02	0,04	0,000	0,02	0,04	0,000
292	0,09	0,03	0,002	0,09	0,03	0,002	0,09	0,03	0,002
293	0,22	0,06	0,009	0,22	0,06	0,009	0,22	0,06	0,009
294	0,37	0,06	0,018	0,37	0,06	0,018	0,37	0,06	0,018
295	0,29	0,00	0,000	0,29	0,00	0,000	0,29	0,00	0,000
296	0,12	1,20	0,144	0,12	1,20	0,144	0,12	1,20	0,144
297	0,12	1,17	0,140	0,12	1,17	0,140	0,12	1,17	0,140
298	0,17	1,25	0,143	0,17	1,25	0,143	0,17	1,25	0,143
299	0,15	0,60	0,090	0,15	0,60	0,090	0,15	0,60	0,090
300	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
301	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
302	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
303	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
304	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
305	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
306	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
307	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
308	0,04	0,77	0,015	0,04	0,79	0,016	0,03	0,77	0,014
309	0,06	1,00	0,058	0,06	0,97	0,058	0,05	1,00	0,048
310	0,09	0,66	0,059	0,08	0,65	0,052	0,07	0,66	0,046
311	0,03	1,06	0,032	0,03	1,06	0,032	0,03	1,06	0,032
312	0,04	0,83	0,023	0,04	0,85	0,023	0,03	0,83	0,023
313	0,04	0,78	0,031	0,04	0,77	0,031	0,03	0,78	0,023
314	0,03	0,61	0,018	0,02	0,61	0,012	0,02	0,61	0,012
315	0,06	0,39	0,020	0,06	0,40	0,019	0,05	0,39	0,015
316	0,01	0,54	0,005	0,01	0,55	0,006	0,01	0,54	0,005
317	0,03	0,10	0,001	0,03	0,10	0,001	0,02	0,10	0,001
318	0,07	0,72	0,040	0,06	0,67	0,034	0,06	0,72	0,033
319	0,07	0,36	0,025	0,07	0,36	0,025	0,06	0,36	0,021
320	0,06	1,25	0,075	0,06	1,19	0,071	0,05	1,25	0,063
321	0,02	0,34	0,007	0,02	0,33	0,007	0,02	0,34	0,006
322	0,05	0,41	0,021	0,05	0,38	0,019	0,04	0,41	0,016
323	0,02	0,35	0,006	0,01	0,34	0,003	0,01	0,35	0,003
324	0,02	0,39	0,007	0,02	0,39	0,008	0,02	0,39	0,006
325	0,02	0,29	0,006	0,01	0,27	0,003	0,01	0,29	0,003
326	0,02	0,11	0,002	0,02	0,11	0,001	0,01	0,11	0,001
327	0,01	0,01	0,000	0,01	0,01	0,000	0,01	0,01	0,000
328	0,02	0,60	0,012	0,02	0,58	0,011	0,01	0,60	0,006
329	0,02	0,87	0,017	0,02	0,83	0,013	0,02	0,87	0,010
330	0,02	0,71	0,014	0,02	0,65	0,013	0,01	0,71	0,007

331	0,02	0,30	0,006	0,02	0,28	0,006	0,01	0,30	0,003
332	0,03	1,21	0,036	0,03	1,19	0,035	0,03	1,21	0,036
333	0,03	0,98	0,029	0,03	0,95	0,029	0,02	0,98	0,019
334	0,02	0,93	0,019	0,02	0,90	0,018	0,02	0,93	0,018
335	0,02	0,38	0,008	0,02	0,35	0,007	0,01	0,38	0,004
336	0,06	0,41	0,018	0,06	0,40	0,016	0,05	0,41	0,015
337	0,03	0,72	0,022	0,03	0,72	0,022	0,03	0,72	0,022
338	0,04	0,90	0,036	0,04	0,89	0,036	0,04	0,90	0,035
339	0,07	1,00	0,048	0,07	1,00	0,048	0,07	1,00	0,048
340	0,03	0,76	0,021	0,03	0,76	0,021	0,03	0,76	0,021
341	0,02	0,64	0,013	0,02	0,64	0,013	0,02	0,64	0,013
342	0,03	0,41	0,012	0,03	0,41	0,012	0,03	0,41	0,012
343	0,07	0,32	0,022	0,07	0,31	0,022	0,07	0,32	0,022
344	0,10	1,22	0,122	0,10	1,21	0,121	0,10	1,22	0,122
345	0,05	0,45	0,023	0,05	0,42	0,021	0,04	0,45	0,018
346	0,14	3,42	0,479	0,13	3,26	0,424	0,13	3,42	0,445
347	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
348	0,08	0,00	0,000	0,08	0,00	0,000	0,08	0,00	0,000
349	0,04	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
350	0,07	0,00	0,000	0,06	0,00	0,000	0,06	0,00	0,000
351	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
352	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
353	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
354	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
355	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
356	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
357	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
358	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
359	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
360	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
361	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
362	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
363	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
364	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
365	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
366	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
367	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
368	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
369	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
370	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
371	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
372	0,04	0,38	0,015	0,03	0,28	0,006	0,03	0,38	0,004
373	0,08	0,22	0,018	0,07	0,11	0,008	0,06	0,22	0,013
374	0,06	1,21	0,059	0,04	1,01	0,034	0,02	1,19	0,012
375	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
376	0,08	0,62	0,018	0,05	0,49	0,010	0,03	0,63	0,003
377	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
378	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
379	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000

380	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
381	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
382	0,01	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
383	0,02	0,31	0,006	0,01	0,03	0,000	0,00	0,31	0,000
384	0,02	0,42	0,008	0,01	0,35	0,004	0,01	0,42	0,004
385	0,05	0,12	0,006	0,03	0,02	0,000	0,01	0,12	0,000
386	0,01	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
387	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
388	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
389	0,01	0,00	0,000	0,00	0,23	0,000	0,00	0,29	0,000
390	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
391	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
392	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
393	0,03	0,82	0,024	0,00	0,00	0,000	0,00	0,82	0,000
394	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
395	0,02	0,70	0,014	0,00	0,00	0,000	0,00	0,70	0,000
396	0,03	0,53	0,016	0,01	0,27	0,003	0,01	0,53	0,003
397	0,03	0,39	0,007	0,01	0,29	0,003	0,01	0,39	0,002
398	0,10	0,99	0,072	0,06	0,78	0,035	0,03	0,99	0,011
399	0,08	1,16	0,093	0,05	0,81	0,041	0,03	1,17	0,018
400	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
401	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
402	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
403	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
404	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
405	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000
406	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
407	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
408	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
409	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
410	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
411	0,00	0,00	0,000	0,01	0,27	0,003	0,00	0,26	0,000
412	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
413	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000

Scenario SuDS (due-green roofs)

Risultati

Rete stradale superficiale (major system)

Tr=5 anni

Ramo	Combinazione (a)			Combinazione (b)			Combinazione (c)		
(C)	H _{max} [m]	V _{max} [m]	(HV) _{max}	H _{max} [m]	V _{max} [m]	(HV) _{max}	H _{max} [m]	V _{max} [m]	(HV) _{max}
1	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
2	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
3	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
4	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
5	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
6	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
7	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
8	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
11	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
12	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
13	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
19	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
20	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
21	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
22	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
23	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
24	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
25	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
26	0,02	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
27	0,05	1,27	0,063	0,05	1,22	0,059	0,04	1,14	0,046
28	0,03	0,80	0,024	0,03	0,76	0,022	0,02	0,70	0,014
29	0,02	0,55	0,011	0,02	0,52	0,010	0,01	0,46	0,005
30	0,01	0,59	0,006	0,01	0,55	0,006	0,01	0,47	0,005
31	0,01	0,25	0,003	0,00	0,26	0,000	0,00	0,21	0,000
32	0,01	0,42	0,004	0,00	0,06	0,000	0,00	0,05	0,000
33	0,01	0,21	0,002	0,01	0,23	0,002	0,00	0,19	0,000
34	0,01	0,40	0,004	0,01	0,34	0,003	0,01	0,28	0,003
35	0,04	0,43	0,004	0,04	0,40	0,004	0,03	0,34	0,003
36	0,07	0,90	0,063	0,07	0,82	0,057	0,05	0,70	0,035
37	0,07	1,22	0,085	0,06	1,12	0,067	0,04	0,95	0,038
38	0,06	1,25	0,075	0,06	1,15	0,069	0,04	0,96	0,038
39	0,07	1,19	0,083	0,06	1,12	0,067	0,04	1,02	0,041

40	0,06	1,50	0,090	0,05	1,34	0,067	0,04	1,10	0,044
41	0,05	1,04	0,052	0,04	0,97	0,039	0,03	0,94	0,028
42	0,05	1,02	0,051	0,04	0,86	0,034	0,03	0,70	0,021
43	0,04	1,21	0,048	0,03	1,09	0,033	0,02	0,90	0,016
44	0,04	0,97	0,039	0,03	0,89	0,027	0,02	0,76	0,015
45	0,05	1,16	0,056	0,04	1,06	0,039	0,02	0,84	0,017
46	0,05	1,19	0,058	0,04	1,09	0,038	0,02	0,83	0,017
47	0,04	1,11	0,044	0,03	0,97	0,029	0,02	0,73	0,015
48	0,04	1,08	0,035	0,03	0,95	0,024	0,02	0,69	0,013
49	0,04	0,97	0,039	0,03	0,79	0,024	0,02	0,57	0,011
50	0,05	0,91	0,033	0,04	0,80	0,020	0,02	0,57	0,007
51	0,06	1,46	0,088	0,04	1,25	0,050	0,03	0,96	0,029
52	0,06	1,03	0,062	0,05	0,89	0,045	0,03	0,71	0,021
53	0,07	1,48	0,104	0,05	1,26	0,063	0,04	0,95	0,038
54	0,07	1,33	0,093	0,06	1,14	0,068	0,04	0,90	0,034
55	0,07	1,28	0,087	0,05	1,07	0,054	0,04	0,89	0,034
56	0,06	1,41	0,083	0,05	1,21	0,061	0,03	0,96	0,028
57	0,07	1,36	0,095	0,05	1,16	0,058	0,03	0,88	0,026
58	0,06	1,74	0,104	0,05	1,47	0,074	0,03	1,13	0,034
59	0,04	1,40	0,053	0,03	1,19	0,036	0,02	0,91	0,018
60	0,02	0,54	0,011	0,02	0,48	0,009	0,01	0,35	0,004
61	0,04	0,43	0,013	0,04	0,39	0,008	0,04	0,35	0,004
62	0,08	1,53	0,122	0,08	1,47	0,118	0,07	1,41	0,099
63	0,07	1,83	0,128	0,07	1,76	0,123	0,06	1,67	0,100
64	0,08	1,53	0,116	0,07	1,45	0,099	0,07	1,43	0,093
65	0,08	1,65	0,124	0,07	1,56	0,109	0,06	1,52	0,091
66	0,07	1,60	0,112	0,06	1,53	0,092	0,06	1,45	0,087
67	0,05	0,26	0,003	0,04	0,00	0,000	0,04	0,14	0,003
68	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
69	0,06	0,84	0,050	0,04	0,74	0,030	0,03	0,60	0,017
70	0,06	0,84	0,050	0,05	0,78	0,037	0,03	0,66	0,020
71	0,07	0,93	0,065	0,06	0,86	0,052	0,05	0,74	0,037
72	0,06	0,88	0,053	0,05	0,83	0,041	0,04	0,74	0,027
73	0,06	0,88	0,053	0,05	0,84	0,040	0,04	0,72	0,026
74	0,05	1,06	0,053	0,04	0,97	0,039	0,03	0,80	0,024
75	0,06	1,11	0,042	0,05	1,04	0,030	0,03	0,82	0,015
76	0,06	0,54	0,029	0,05	0,39	0,020	0,03	0,23	0,007
77	0,03	0,79	0,024	0,02	0,67	0,013	0,01	0,46	0,005
78	0,02	0,66	0,013	0,01	0,55	0,006	0,01	0,37	0,004
79	0,02	0,66	0,012	0,01	0,54	0,005	0,01	0,37	0,004
80	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
81	0,04	0,59	0,020	0,03	0,54	0,012	0,02	0,42	0,006
82	0,06	0,87	0,052	0,04	0,71	0,028	0,02	0,49	0,010
83	0,06	1,28	0,077	0,04	1,05	0,042	0,02	0,74	0,015
84	0,06	1,16	0,069	0,05	0,96	0,040	0,03	0,64	0,015
85	0,07	1,38	0,097	0,06	1,22	0,073	0,04	0,98	0,039
86	0,06	1,59	0,095	0,05	1,39	0,070	0,04	1,08	0,043
87	0,06	1,18	0,071	0,05	1,05	0,052	0,03	0,87	0,026
88	0,06	1,30	0,078	0,05	1,15	0,058	0,03	0,94	0,028

89	0,06	0,45	0,027	0,05	0,42	0,021	0,03	0,35	0,011
90	0,06	0,48	0,029	0,05	0,42	0,021	0,03	0,28	0,008
91	0,05	0,43	0,021	0,03	0,36	0,011	0,02	0,29	0,006
92	0,04	0,36	0,014	0,03	0,30	0,009	0,02	0,23	0,004
93	0,04	0,24	0,010	0,03	0,19	0,006	0,01	0,14	0,001
94	0,01	0,29	0,003	0,01	0,27	0,003	0,01	0,24	0,002
95	0,00	0,24	0,000	0,00	0,21	0,000	0,00	0,00	0,000
96	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
97	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
98	0,01	0,01	0,000	0,00	0,01	0,000	0,00	0,01	0,000
99	0,00	0,23	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
100	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
101	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
102	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
103	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
104	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
105	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
106	0,02	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
107	0,07	1,08	0,036	0,06	1,10	0,032	0,05	0,91	0,027
108	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
109	0,04	1,17	0,044	0,04	1,15	0,040	0,03	1,04	0,027
110	0,03	0,63	0,019	0,03	0,60	0,018	0,03	0,53	0,015
111	0,02	0,99	0,019	0,01	0,93	0,009	0,01	0,83	0,008
112	0,01	0,62	0,006	0,01	0,58	0,006	0,01	0,50	0,005
113	0,01	0,32	0,003	0,01	0,29	0,003	0,01	0,25	0,003
114	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
115	0,04	0,02	0,000	0,03	0,02	0,000	0,02	0,01	0,000
116	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
117	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
118	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
119	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
120	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
121	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
122	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
123	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
124	0,03	0,06	0,001	0,03	0,06	0,000	0,02	0,00	0,000
125	0,02	0,06	0,001	0,02	0,07	0,000	0,01	0,00	0,000
126	0,04	0,01	0,000	0,04	0,01	0,000	0,02	0,01	0,000
127	0,01	0,03	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
128	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
129	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
130	0,05	0,82	0,041	0,03	0,67	0,020	0,02	0,45	0,009
131	0,04	1,02	0,041	0,03	0,83	0,025	0,02	0,62	0,012
132	0,03	0,78	0,023	0,02	0,63	0,013	0,01	0,45	0,005
133	0,02	0,63	0,012	0,01	0,54	0,005	0,01	0,39	0,004
134	0,04	0,64	0,023	0,03	0,60	0,014	0,02	0,46	0,008
135	0,03	0,68	0,020	0,02	0,55	0,011	0,01	0,41	0,004
136	0,04	0,34	0,013	0,03	0,28	0,008	0,02	0,20	0,004
137	0,05	0,68	0,030	0,03	0,60	0,017	0,02	0,46	0,009

138	0,03	0,14	0,004	0,02	0,11	0,002	0,01	0,08	0,001
139	0,04	0,29	0,008	0,03	0,25	0,005	0,01	0,20	0,002
140	0,03	0,14	0,004	0,02	0,11	0,002	0,01	0,07	0,001
141	0,04	0,18	0,006	0,03	0,13	0,004	0,01	0,11	0,001
142	0,05	0,30	0,015	0,04	0,26	0,008	0,03	0,16	0,003
143	0,05	0,70	0,035	0,05	0,67	0,034	0,03	0,71	0,021
144	0,08	1,04	0,083	0,07	0,98	0,069	0,06	0,85	0,051
145	0,07	0,30	0,013	0,07	0,29	0,012	0,06	0,28	0,009
146	0,06	0,53	0,027	0,06	0,52	0,025	0,05	0,50	0,020
147	0,07	1,23	0,086	0,06	1,16	0,070	0,05	1,03	0,052
148	0,05	0,27	0,009	0,04	0,24	0,005	0,02	0,16	0,002
149	0,06	0,41	0,025	0,04	0,35	0,014	0,03	0,27	0,008
150	0,04	0,45	0,012	0,03	0,40	0,008	0,02	0,28	0,003
151	0,03	0,10	0,003	0,03	0,10	0,003	0,02	0,09	0,002
152	0,07	0,77	0,054	0,07	0,81	0,057	0,06	0,86	0,052
153	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000
154	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
155	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
156	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
157	0,02	0,66	0,013	0,02	0,62	0,012	0,01	0,56	0,006
158	0,02	0,33	0,007	0,02	0,31	0,006	0,02	0,26	0,005
159	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
160	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
161	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
162	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
163	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
164	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
165	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
166	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
167	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
168	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
169	0,00	0,37	0,000	0,00	0,33	0,000	0,00	0,00	0,000
170	0,03	0,03	0,001	0,03	0,02	0,000	0,03	0,02	0,000
171	0,06	0,42	0,025	0,06	0,38	0,023	0,05	0,32	0,016
172	0,04	1,00	0,039	0,04	0,94	0,035	0,03	0,86	0,026
173	0,07	0,77	0,053	0,07	0,71	0,048	0,06	0,62	0,037
174	0,06	1,48	0,088	0,06	1,40	0,081	0,05	1,29	0,065
175	0,07	1,34	0,090	0,06	1,27	0,075	0,06	1,17	0,067
176	0,05	1,51	0,076	0,05	1,47	0,074	0,04	1,40	0,056
177	0,10	0,98	0,078	0,09	0,87	0,068	0,08	0,83	0,052
178	0,07	1,71	0,120	0,07	1,70	0,119	0,07	1,70	0,119
179	0,05	1,48	0,074	0,05	1,48	0,074	0,05	1,48	0,074
180	0,04	1,09	0,044	0,04	1,09	0,044	0,04	1,10	0,044
181	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
182	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
183	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
184	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
185	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
186	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000

187	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
188	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
189	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
190	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
191	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
192	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
193	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
194	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
195	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
196	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
197	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
198	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
199	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
200	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
201	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
202	0,07	0,00	0,000	0,07	0,00	0,000	0,07	0,00	0,000
203	0,15	0,00	0,000	0,15	0,00	0,000	0,15	0,00	0,000
204	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
205	0,22	0,00	0,000	0,22	0,00	0,000	0,22	0,00	0,000
206	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
207	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
208	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
209	0,06	0,00	0,000	0,06	0,00	0,000	0,06	0,00	0,000
210	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
211	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
212	0,05	0,00	0,000	0,05	0,00	0,000	0,05	0,00	0,000
213	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
214	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
215	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
216	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
217	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
218	0,06	0,18	0,008	0,05	0,09	0,005	0,04	0,04	0,002
219	0,09	1,02	0,092	0,08	1,00	0,080	0,07	0,88	0,062
220	0,07	1,57	0,110	0,07	1,51	0,106	0,06	1,33	0,080
221	0,06	1,09	0,065	0,05	1,04	0,052	0,05	0,91	0,046
222	0,04	1,13	0,045	0,04	1,08	0,043	0,03	0,96	0,029
223	0,02	1,31	0,026	0,02	1,26	0,025	0,01	1,11	0,011
224	0,04	0,12	0,005	0,04	0,11	0,004	0,04	0,10	0,004
225	0,05	0,87	0,044	0,05	0,86	0,043	0,05	0,85	0,043
226	0,03	1,05	0,032	0,03	1,03	0,031	0,03	1,02	0,031
227	0,03	0,51	0,015	0,02	0,50	0,010	0,02	0,49	0,010
228	0,03	1,14	0,034	0,03	1,08	0,032	0,03	1,01	0,030
229	0,03	1,02	0,031	0,03	1,01	0,030	0,03	0,99	0,028
230	0,02	1,19	0,024	0,02	1,17	0,023	0,02	1,15	0,023
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
232	0,07	1,29	0,090	0,06	1,27	0,076	0,06	1,26	0,076
233	0,08	1,44	0,115	0,08	1,44	0,115	0,08	1,44	0,115
234	0,11	2,64	0,290	0,11	2,61	0,287	0,11	2,61	0,287
235	0,13	2,37	0,308	0,13	2,35	0,306	0,13	2,35	0,306

236	0,12	2,27	0,272	0,12	2,25	0,270	0,12	2,25	0,270
237	0,12	2,22	0,266	0,12	2,19	0,263	0,12	2,18	0,262
238	0,13	2,38	0,289	0,13	2,38	0,289	0,13	2,38	0,289
239	0,15	2,28	0,342	0,14	2,22	0,311	0,14	2,22	0,311
240	0,14	2,36	0,330	0,14	2,30	0,322	0,14	2,30	0,322
241	0,14	2,25	0,315	0,13	2,18	0,283	0,13	2,18	0,283
242	0,14	2,21	0,309	0,14	2,15	0,301	0,14	2,15	0,301
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
244	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
245	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
246	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
247	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
248	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
249	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
250	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
251	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
252	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
253	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
254	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
255	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
256	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
257	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
258	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
259	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
260	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
261	0,06	0,58	0,035	0,06	0,59	0,035	0,05	0,61	0,031
262	0,05	0,76	0,037	0,05	0,74	0,037	0,04	0,71	0,028
263	0,04	0,69	0,026	0,03	0,67	0,020	0,03	0,60	0,018
264	0,02	0,03	0,000	0,01	0,02	0,000	0,01	0,02	0,000
265	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
266	0,05	0,81	0,041	0,04	0,77	0,031	0,04	0,69	0,028
267	0,08	1,41	0,113	0,07	1,35	0,095	0,06	1,24	0,074
268	0,10	0,93	0,085	0,09	0,92	0,077	0,08	0,87	0,063
269	0,08	0,61	0,045	0,08	0,61	0,045	0,07	0,64	0,040
270	0,06	0,59	0,035	0,06	0,63	0,036	0,06	0,68	0,038
271	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
272	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
273	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
274	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
275	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
276	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
277	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
278	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
279	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
280	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
281	0,03	0,35	0,011	0,03	0,34	0,010	0,03	0,31	0,009
282	0,02	0,83	0,017	0,02	0,80	0,016	0,02	0,77	0,015
283	0,08	0,76	0,014	0,07	0,72	0,014	0,07	0,74	0,011
284	0,12	0,66	0,079	0,11	0,63	0,068	0,10	0,57	0,056

285	0,03	0,81	0,023	0,03	0,80	0,023	0,03	0,79	0,023
286	0,02	0,74	0,015	0,02	0,73	0,014	0,02	0,72	0,014
287	0,01	0,09	0,001	0,01	0,09	0,001	0,01	0,09	0,001
288	0,01	0,07	0,001	0,01	0,07	0,001	0,01	0,07	0,001
289	0,00	0,05	0,000	0,00	0,05	0,000	0,00	0,05	0,000
290	0,00	0,05	0,000	0,00	0,05	0,000	0,00	0,05	0,000
291	0,02	0,04	0,000	0,02	0,04	0,000	0,02	0,04	0,000
292	0,09	0,03	0,002	0,09	0,03	0,002	0,09	0,03	0,002
293	0,22	0,06	0,009	0,22	0,06	0,009	0,22	0,06	0,009
294	0,37	0,06	0,018	0,37	0,06	0,018	0,37	0,06	0,018
295	0,29	0,00	0,000	0,29	0,00	0,000	0,29	0,00	0,000
296	0,12	1,20	0,144	0,12	1,20	0,144	0,12	1,20	0,144
297	0,12	1,17	0,140	0,12	1,17	0,140	0,12	1,17	0,140
298	0,17	1,25	0,143	0,17	1,25	0,143	0,17	1,25	0,143
299	0,15	0,60	0,090	0,15	0,60	0,090	0,15	0,60	0,090
300	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
301	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
302	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
303	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
304	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
305	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
306	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
307	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
308	0,04	0,76	0,015	0,04	0,76	0,014	0,03	0,75	0,014
309	0,06	0,99	0,059	0,06	0,94	0,054	0,05	0,83	0,041
310	0,09	0,67	0,059	0,08	0,63	0,050	0,07	0,53	0,037
311	0,03	1,06	0,032	0,03	1,05	0,032	0,03	1,06	0,032
312	0,04	0,83	0,023	0,04	0,83	0,023	0,03	0,82	0,023
313	0,04	0,77	0,031	0,04	0,74	0,030	0,03	0,66	0,020
314	0,02	0,61	0,012	0,02	0,61	0,012	0,02	0,61	0,012
315	0,06	0,39	0,018	0,06	0,39	0,017	0,05	0,38	0,014
316	0,01	0,54	0,005	0,01	0,54	0,005	0,01	0,55	0,006
317	0,03	0,10	0,001	0,02	0,10	0,001	0,02	0,09	0,001
318	0,07	0,68	0,039	0,06	0,65	0,033	0,05	0,56	0,025
319	0,07	0,36	0,025	0,06	0,34	0,020	0,05	0,30	0,015
320	0,06	1,22	0,073	0,06	1,13	0,068	0,05	1,01	0,051
321	0,02	0,32	0,006	0,02	0,30	0,006	0,02	0,25	0,005
322	0,05	0,40	0,020	0,04	0,35	0,014	0,04	0,30	0,012
323	0,02	0,35	0,005	0,01	0,32	0,003	0,01	0,27	0,003
324	0,02	0,36	0,007	0,02	0,36	0,006	0,02	0,28	0,005
325	0,01	0,27	0,003	0,01	0,25	0,003	0,01	0,21	0,002
326	0,02	0,12	0,001	0,01	0,10	0,001	0,01	0,07	0,001
327	0,01	0,01	0,000	0,01	0,01	0,000	0,01	0,01	0,000
328	0,02	0,59	0,011	0,01	0,53	0,005	0,01	0,47	0,005
329	0,02	0,84	0,014	0,02	0,76	0,011	0,01	0,67	0,007
330	0,02	0,66	0,013	0,01	0,59	0,006	0,01	0,50	0,005
331	0,02	0,28	0,006	0,02	0,24	0,005	0,01	0,21	0,002
332	0,03	1,20	0,036	0,03	1,13	0,034	0,02	1,01	0,020
333	0,03	0,96	0,029	0,02	0,90	0,018	0,02	0,80	0,016

334	0,02	0,92	0,018	0,02	0,86	0,017	0,02	0,77	0,015
335	0,02	0,35	0,007	0,01	0,30	0,003	0,01	0,26	0,003
336	0,06	0,39	0,017	0,05	0,37	0,012	0,05	0,34	0,010
337	0,03	0,72	0,022	0,03	0,73	0,022	0,03	0,74	0,022
338	0,04	0,89	0,036	0,04	0,87	0,035	0,03	0,85	0,026
339	0,07	1,00	0,048	0,07	1,00	0,048	0,07	1,00	0,047
340	0,03	0,76	0,021	0,03	0,76	0,021	0,03	0,76	0,020
341	0,02	0,64	0,013	0,02	0,64	0,013	0,02	0,64	0,013
342	0,03	0,41	0,012	0,03	0,40	0,012	0,03	0,40	0,012
343	0,07	0,32	0,022	0,07	0,31	0,022	0,07	0,30	0,021
344	0,10	1,22	0,122	0,10	1,21	0,121	0,10	1,19	0,119
345	0,05	0,44	0,022	0,05	0,39	0,020	0,04	0,33	0,013
346	0,14	3,34	0,468	0,13	3,25	0,423	0,13	3,25	0,423
347	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
348	0,08	0,00	0,000	0,08	0,00	0,000	0,08	0,00	0,000
349	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000
350	0,06	0,00	0,000	0,06	0,00	0,000	0,06	0,00	0,000
351	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
352	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
353	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
354	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
355	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
356	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
357	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
358	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
359	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
360	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
361	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
362	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
363	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
364	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
365	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
366	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
367	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
368	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
369	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
370	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
371	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
372	0,04	0,33	0,010	0,04	0,27	0,005	0,04	0,21	0,002
373	0,08	0,18	0,014	0,07	0,12	0,008	0,06	0,08	0,004
374	0,05	1,11	0,047	0,04	0,98	0,032	0,02	0,76	0,015
375	0,03	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
376	0,07	0,57	0,014	0,05	0,51	0,011	0,03	0,38	0,005
377	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
378	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
379	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
380	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
381	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
382	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000

383	0,01	0,17	0,002	0,01	0,02	0,000	0,00	0,02	0,000
384	0,01	0,35	0,004	0,01	0,31	0,003	0,01	0,25	0,003
385	0,04	0,06	0,001	0,04	0,02	0,000	0,03	0,01	0,000
386	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
387	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
388	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
389	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
390	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
391	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
392	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
393	0,01	0,60	0,006	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
394	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
395	0,01	0,41	0,004	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
396	0,02	0,31	0,006	0,01	0,24	0,002	0,01	0,20	0,002
397	0,01	0,26	0,002	0,01	0,26	0,003	0,01	0,22	0,002
398	0,08	0,92	0,055	0,06	0,79	0,034	0,04	0,60	0,017
399	0,07	1,04	0,073	0,05	0,84	0,042	0,03	0,63	0,019
400	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
401	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
402	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000	0,01	0,00	0,000
403	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000	0,02	0,00	0,000
404	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000	0,03	0,00	0,000
405	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000	0,04	0,00	0,000
406	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
407	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
408	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
409	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
410	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
411	0,01	0,39	0,004	0,00	0,00	0,000	0,01	0,31	0,003
412	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
413	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000