



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Edile-Architettura

UTILIZZO DELLE TECNICHE LID NEI SISTEMI  
DI DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE  
PER LA RIDUZIONE DEI DEFLUSSI METEORICI.  
Applicazione nel bacino di Cupra Marittima (AP)

USE OF LID TECHNIQUES IN SUSTAINABLE  
URBAN DRAINAGE SYSTEMS  
FOR STORM RUNOFF REDUCTION.  
Application in the Cupra Marittima area (AP)

Relatore:  
Prof. Luciano Soldini

Tesi di Laurea di:  
Veronica Bino

Correlatrice:  
Prof. Giovanna Darvini

A.A. 2021/2022



# Indice

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>6</b>
<b>CAPITOLO 1</b> .....	<b>9</b>
RISCHIO IDRAULICO IN AMBIENTE URBANO .....	9
1.1 PREMESSE .....	9
1.2 QUADRO NORMATIVO .....	15
1.2.1 <i>Normativa europea</i> .....	15
1.2.2 <i>Normativa nazionale</i> .....	16
1.2.3 <i>Regione Lombardia</i> .....	18
1.2.4 <i>Regione Marche</i> .....	21
1.3 GESTIONE SOSTENIBILE DELLE ACQUE METEORICHE .....	25
1.3.1 <i>Contenere i deflussi delle acque meteoriche</i> .....	25
1.3.2 <i>Recupero e utilizzo delle acque meteoriche</i> .....	32
1.3.3 <i>Infiltrazione delle acque meteoriche</i> .....	33
1.3.4 <i>Immissione delle acque meteoriche in acque superficiali</i> .....	39
1.3.5 <i>Controllo in tempo reale di un impianto fognario (RTC)</i> .....	39
<b>2 CAPITOLO 2</b> .....	<b>42</b>
ANALISI DEL CONSUMO DI SUOLO .....	42
2.1 ASPETTI GENERALI .....	42
2.2 IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO .....	43
2.3 CONSUMO DI SUOLO IN EUROPA E IN ITALIA .....	44
2.3.1 <i>Analisi comune di Cupra Marittima</i> .....	48
<b>3 CAPITOLO 3</b> .....	<b>62</b>
ANALISI DEI DEFLUSSI DEL COMUNE DI CUPRA MARITTIMA .....	62
3.1 DESCRIZIONE DEL BACINO DI PROGETTO .....	62
<b>4 CAPITOLO 4</b> .....	<b>66</b>
MODELLAZIONE DEI DEFLUSSI (SWMM) .....	66
4.1 STORM WATER MANAGEMENT MODEL .....	66
4.2 MODELLAZIONE .....	67
4.3 PARAMETRI GENERALI DEL BACINO .....	68
4.4 PARAMETRI DEI TERRENO .....	74
4.5 PRECIPITAZIONI .....	78

4.6	RISULTATI.....	81
4.6.1	<i>Portate in condotta</i> .....	81
4.6.2	<i>Runoff</i> .....	89
4.6.1	<i>Infiltration</i> .....	101
4.6.2	<i>Commento risultati</i> .....	110
<b>5</b>	<b>CAPITOLO 5.....</b>	<b>111</b>
	MODELLAZIONE DEI SISTEMI LID .....	111
5.1	SISTEMI LID .....	111
5.1.1	<i>Bioretention Cell</i> .....	116
5.1.2	<i>Green roof</i> .....	119
5.1.3	<i>Permeable Pavement</i> .....	121
5.1.4	<i>Rain Barrel</i> .....	123
<b>6</b>	<b>CAPITOLO 6.....</b>	<b>127</b>
	APPLICAZIONE DEI SISTEMI LID .....	127
	(LOW IMPACT DEVELOPMENT) .....	127
6.1	ASSEGNAZIONE DEI LID AI SOTTOBACINI.....	127
6.1.1	<i>Approccio idraulico</i> .....	128
6.1.2	<i>Approccio urbanistico e funzionale</i> .....	130
6.2	CONFRONTO RISULTATI.....	155
6.2.1	<i>Runoff e infiltration</i> .....	155
6.2.2	<i>Portate in condotta</i> .....	172
6.3	CONFRONTO INQUINANTI.....	182
	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>198</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA .....</b>	<b>201</b>
	<b>APPENDICE A: DEFINIZIONI.....</b>	<b>205</b>
	<b>APPENDICE B: MODELLARE IN SWMM .....</b>	<b>211</b>
B.1	PREMESSE.....	211
B.2	MODELLO CONCETTUALE .....	212
B.3	DESCRIZIONE DEI MODELLI IDROLOGICI .....	215
B.3.1	<i>Rain Gage</i> .....	215
B.3.2	<i>Subcatchments</i> .....	215
B.3.3	<i>Infiltrazione</i> .....	216
B.3.3.1	<i>Metodo di Horton</i> .....	217
B.3.3.2	<i>Metodo di Horton modificato</i> .....	217
B.3.3.3	<i>Metodo Green-Ampt</i> .....	217
B.3.3.4	<i>Metodo Green-Ampt modificato</i> .....	218

<i>B.3.3.5 Metodo SCS curve number</i> .....	218
<i>B.3.4 Deflusso superficiale</i> .....	218
<i>B.3.5 LID controls</i> .....	219
<b>B.4 DESCRIZIONE DEI MODELLI IDRAULICI</b> .....	<b>222</b>
<i>B.4.1 Nodes</i> .....	223
<i>B.4.2 Links</i> .....	224
<i>B.4.3 Modelli di calcolo</i> .....	224
<i>B.4.3.1 Steady Flow routing model</i> .....	225
<i>B.4.3.2 Kinematic Wave routing model</i> .....	225
<i>B.4.3.3 Dynamic Wave routing model</i> .....	226

## INTRODUZIONE

L'urbanizzazione crescente delle città che si espandono e aumentano la loro superficie impermeabile porta notevoli cambiamenti sul ciclo dell'acqua. Il notevole incremento delle superfici impermeabili, infatti, a discapito di quelle permeabili, va a influire sul deflusso delle acque meteoriche e sul ciclo dell'acqua. L'acqua proveniente da eventi meteorici penetra nel terreno e, grazie alla sua porosità, viene assorbita e in parte va a finire nelle falde acquifere e in parte viene trattenuta dal terreno che essendo saturo di acqua la trattiene fino a completare il suo ciclo attraverso l'evapotraspirazione. La forte urbanizzazione non permette il deflusso naturale delle acque che devono necessariamente essere smaltite nelle fognature. Queste ultime sono spesso sottodimensionate perché installate in un periodo precedente o non correttamente mantenute; quindi, si ottiene un sovraccarico delle reti fognarie che spesso non riescono a smaltire le acque meteoriche causando allagamenti nei periodi di forte pioggia o negli eventi di picco.

Inoltre, l'aumento della portata e del volume dei deflussi superficiali ha come conseguenza il deterioramento della qualità dell'acqua che, scorrendo su superfici urbane, dilava quantità di sostanze inquinanti. I principali agenti inquinanti defluiti dalle superfici impermeabili urbane includono sedimenti, fertilizzanti, batteri, metalli pesanti, combustibili e lubrificanti [1]. Azoto e fosforo provengono dal dilavamento di fertilizzanti depositati sui terreni e generano la proliferazione di alghe microscopiche che, aumentando il consumo di ossigeno, causano gravissimi danni al patrimonio ittico. Le infrastrutture verdi rappresentano strumenti efficaci per il contenimento delle sostanze contaminanti presenti nelle acque di deflusso, funzionando da filtro per la maggior parte degli elementi inquinanti. Dati provenienti da recenti ricerche indicano una rimozione dal 60% al 95% del totale dei sedimenti e dal 70% al 90% degli idrocarburi, un dato che corrisponde alla capacità di smaltire piccole perdite di lubrificanti rilasciate su parcheggi e piazzali.

Ad aggravare questo fenomeno è il cambiamento climatico che comporta alternanza di eventi estremi sia di carattere siccitoso che di carattere alluvionale. In particolare, occorre più tempo per raggiungere le condizioni di innesco della pioggia, cioè i periodi secchi fra un evento piovoso e l'altro in media si allungano. In altre parole, in un clima più caldo tende a piovere meno frequentemente ma più intensamente. I dati dimostrano che il numero di eventi catastrofici di carattere meteo-climatico è aumentato da circa 200 all'anno negli anni '80 a circa 800 negli ultimi anni, un aumento di quattro volte nel giro di soli 40 anni. Il numero e l'intensità di questi eventi catastrofici è destinato ad aumentare ulteriormente con l'aumento del riscaldamento globale [2].

In virtù di questa digressione sul cambiamento climatico si può affermare che le reti fognarie risultano a maggior ragione non correttamente dimensionate e che non riescono ad arginare eventi piovosi importanti.

Le infrastrutture verdi sono un gruppo di manufatti, interventi o misure molto varie tra loro che rispondono a diverse esigenze. La letteratura scientifica si riferisce alle soluzioni naturali NBS (Nature Based Solution) quando si tratta di infrastrutture principalmente formate da un substrato verde drenante; la nomenclatura SUDS (Sistemi di drenaggio urbano sostenibile) è diffusa in nord Europa e in America. Altri studi e lo stesso software SWMM utilizzano la dicitura LID (Low Impact Development) per indicare le infrastrutture, verdi e no, volte alla riduzione dei deflussi superficiali di acque meteoriche. Per non destare confusione, in questo studio si utilizzerà sempre la dicitura LID perché, oltre a essere la più utilizzata, è anche quella che comprende più tipologie di manufatto.

I sistemi LID sono utilizzati in quanto risultano vantaggiose dal punto di vista del rischio idraulico legato ad eventi di flash flood (rete minore) e pluvial flood (rete maggiore), ma con vantaggi anche su resilienza urbana, benessere termoisolometrico, risparmio energetico, bassa emissione di CO<sub>2</sub>, estetica, ecc.

Essi permettono il passaggio dell'acqua che, in base ai regolamenti vigenti, può essere smaltita negli strati superficiali del sottosuolo, raccolta nelle vasche per eventuali utilizzi (irrigazione, impianti antincendio) o semplicemente convogliata nella rete di raccolta.

Questa tipologia di infrastrutture è particolarmente utile:

- in aree di espansione residenziale, dove non sia economicamente fattibile la costruzione e ricostruzione delle fognature per acque bianche;
- in aree in cui è previsto un limite massimo di scarico delle acque piovane confluite nella rete di raccolta pubblica.

La tematica della progettazione sostenibile si inserisce nell'esigenza di trovare soluzioni per la città in armonia con l'ambiente che vadano oltre la necessità. Lo sviluppo di tecnologie di sostenibilità ambientale è motivato dall'immissione di nuove competenze e di attività di ricerca. La sostenibilità è un processo continuo, che coniuga lo sviluppo ambientale, economico e sociale. Le costruzioni verdi indicano delle infrastrutture gestite in maniera sostenibile ed efficiente utilizzando strategie passive come l'energia solare, l'acqua rigenerata, i materiali di costruzione locali e le fonti rinnovabili di energia [3].

Questo studio si pone l'obiettivo di partire dalle problematiche esistenti, studiarne le caratteristiche e cercare di formulare una soluzione in maniera che sia sostenibile per l'ambiente ed ingegneristicamente efficiente: vedere come si interfaccia la rete esistente con l'introduzione di infrastrutture verdi e valutarne i possibili benefici in ambito idrologico. In particolare, lo studio verrà condotto con la comparazione di diversi scenari di intervento con lo Scenario 0 ovvero quello della rete esistente al fine di valutare l'impatto dell'introduzione delle infrastrutture verdi sui deflussi superficiali prodotti e valutarne i possibili benefici.

La modellazione idrologico-idraulica è stata svolta con l'ausilio del software SWMM che permette di analizzare ogni scenario, avendo già implementati i modelli di infrastruttura verde e simulando il grado di riempimento di ogni condotta durante un evento di pioggia consente di ottenere indicazioni su quale scenario è in grado di proteggere meglio dal rischio alluvioni.



# CAPITOLO 1

## RISCHIO IDRAULICO IN AMBIENTE URBANO

### 1.1 PREMESSE

Il ciclo dell'acqua è uno dei cicli del sistema Terra: esso è formato dalle molecole di acqua che si muovono e assumono diversi stati fisici all'interno dell'idrosfera.

Il ciclo dell'acqua comprende: evaporazione, condensazione, precipitazione, scorrimento e flusso sotterraneo ed è importante per analizzare come avviene l'accumulo dell'acqua nelle varie zone del pianeta all'interno dei serbatoi d'acqua naturali [Figura 1.1].



Figura 1.1\_Ciclo dell'acqua

Il ciclo idrologico avviene dalla terra al cielo per poi tornare alla terra. Il sole scalda l'acqua dei fiumi e dei mari trasformandola in vapore; salendo in cielo il vapore acqueo si raffredda e subisce una nuova trasformazione che consente la composizione delle nuvole; aggregandosi le gocce formano nuvole pesanti e cominciano a cadere a terra sotto forma di acqua o neve; l'acqua si deposita nei mari o nei fiumi. Le fasi del ciclo idrologico sono: ruscellamento, infiltrazione, evaporazione e traspirazione [Figura 1.2].

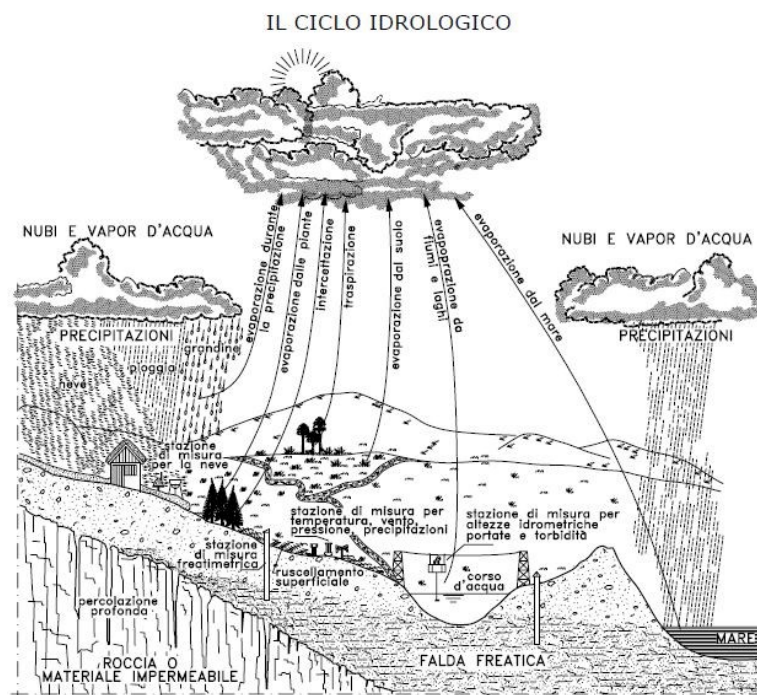


Figura 1.2\_Ciclo idrologico

Il bilancio idrologico permette di valutare l'entità delle risorse idriche superficiali disponibili derivanti sia dai quantitativi d'acqua di ruscellamento superficiale, sia quelli provenienti dai corpi idrici sotterranei.

La parte umida presente nell'atmosfera che cade sotto forma di precipitazioni si calcola nel seguente modo:

$$P=R+I+E+T \quad (1)$$

P: precipitazioni

R: ruscellamento

I: infiltrazione

E: evaporazione

T: traspirazione

Nel bilancio idrologico l'effetto dell'evapotraspirazione viene trascurato.

Il ciclo dell'acqua in ambiente naturale differisce notevolmente da quello urbano in quanto, mentre nel ciclo naturale dell'acqua si ha la massima evapotraspirazione ed infiltrazione perché parte della precipitazione viene intercettata dalla vegetazione, in ambiente urbano si ha un rapido ed elevato deflusso superficiale dovuto all'impermeabilizzazione dei suoli.

Come già accennato in precedenza, l'urbanizzazione ha effetti negativi sull'incremento del rischio di inondazione, sul degrado e la qualità chimico-fisica delle acque, sull'impovertimento dell'ecosistema e degli habitat fluviali e sulla perdita di funzionalità estetico-paesaggistica e ricreativa dei corpi idrici.

Le acque meteoriche che defluiscono su terreni impermeabili sono dette stormwater e spesso sono caratterizzate dalla presenza al loro interno di sostanze chimiche e inquinanti trasportate dal dilavamento superficiale delle superfici impermeabili dove si erano depositate queste sostanze per effetto della dry deposition. Gli inquinanti, quindi vengono trasportati dalle acque di pioggia e mandati in sospensione dai deflussi negli eventi meteorici [4].

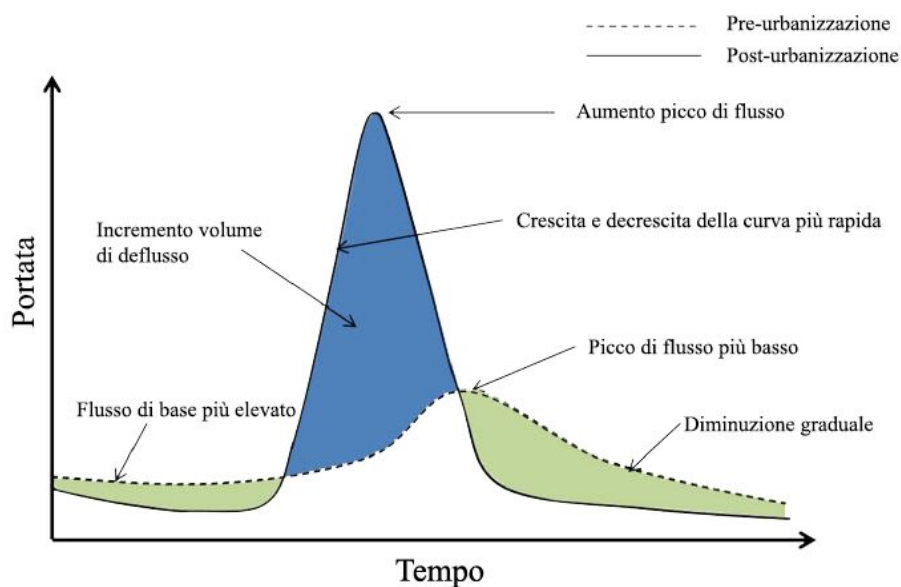


Figura 1.3\_Variazione della portata rispetto al tempo al variare dell'urbanizzazione

Gli schemi in [Figura 1.4] evidenziano come l'aumento dell'impermeabilizzazione comporti una riduzione progressiva dell'infiltrazione e l'aumento del runoff [5].

L'impermeabilizzazione dei suoli tende infatti a:

- ridurre i tempi di corrvazione delle acque meteoriche intensificando i fenomeni alluvionali;
- ridurre le quantità d'acqua di infiltrazione a ricarica delle falde e delle acque sotterranee;
- aumentare lo scorrimento superficiale (runoff), con conseguente aumento dell'erosione del suolo, del trasporto solido e dell'inquinamento delle acque;
- richiede la realizzazione di reti di collettamento che, per essere sostenibili, necessitano di un alto livello di complessità, spesso contrastante con la facilità di gestione e i costi della stessa;
- riduce i servizi ecosistemici e paesaggistici erogati dal suolo libero.



Figura 1.4 *Impatto dell'impermeabilizzazione dei suoli sul ciclo idrologico*

In tempo secco la fognatura convoglia solo i reflui civili al depuratore. Durante gli eventi di pioggia la fognatura mista porta sia le acque nere che le acque meteoriche all'impianto di depurazione. In eventi di pioggia consistenti, tuttavia, si eccede la massima capacità di carico del depuratore e quindi una porzione degli scarichi fognari viene scolmata direttamente nel ricettore finale. Dal momento che la maggior parte dei casi gli sfioratori lavorano anche con piogge limitate, sono i piccoli eventi che generano gran parte del carico inquinante.

L'impermeabilizzazione del suolo comporta inoltre una crescente vulnerabilità anche dei sistemi urbani, ove la riduzione progressiva dell'infiltrazione e l'aumento del runoff provocano l'allagamento di sempre maggiori aree urbane. Da questo problema nasce la necessità di avviare una corretta gestione integrata delle acque con una visione di bacino.

La [Figura 1.5] mostra come in passato la superficie urbanizzata, di circa il 10%, non creava nessun tipo di ruscellamento delle acque meteoriche; queste ultime si infiltravano in aree inedificate (verde urbano, aree agricole). Oggi abbiamo circa il 40% della superficie urbanizzata con la conseguenza di avere allagamenti di porzioni di città e infiltrazione in aree inedificate sempre meno estese. L'obiettivo futuro è quello di avere sistemi di drenaggio urbano diffusi in tutta la città e il territorio (rain garden, fosse drenanti, stagni di ritenuta, tetti verdi, cisterne, ecc.).

Lo scopo degli interventi è, in primo luogo, quello di ottenere l'invarianza idraulica cioè lasciare invariata la portata di picco e invarianza idrologica cioè l'invarianza

dei volumi di piena e, in secondo luogo, quello di controllare la qualità delle acque riducendo il contenuto inquinante. Per fare ciò bisogna condurre il nuovo sviluppo urbanistico con strategie precise mirate a non apportare nuovi impatti idraulici e ambientali maggiori del presente adottando misure strutturali e non strutturali per riequilibrare lo stato attuale e tendere a condizioni simili al passato [6].

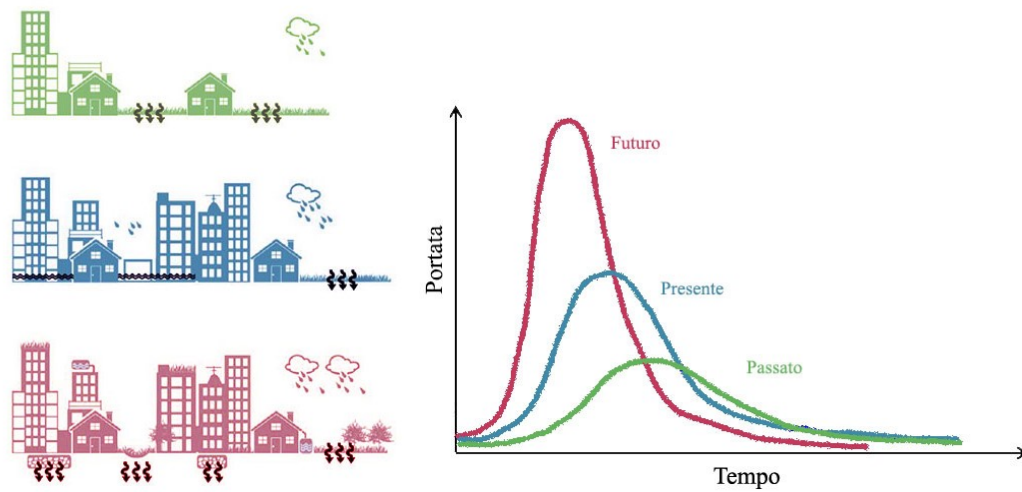


Figura 1.5\_Impermeabilizzazione dei suoli nel tempo

## 1.2 QUADRO NORMATIVO

La normativa in materia di gestione delle acque meteoriche getta le basi e le linee guida per riconsiderare profondamente tutte le infrastrutture attraverso disposizioni per scarichi e tutela delle risorse naturali che sono sempre più scarse. La normativa permette di ottenere una moderna gestione delle acque garantendo politiche sostenibili di riuso e un buono stato ecologico e chimico.

### 1.2.1 Normativa europea

La protezione delle acque a livello europeo è regolata dalla direttiva 2000/60/CE, per esteso "*Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*", in breve direttiva quadro sulle acque (WRRL), entrata in vigore nel 2007. La direttiva quadro sulle acque si basa su due nuovi pensieri di carattere europeo: da una parte, le acque formano un tutt'uno con il relativo bacino idrografico ed esiste, inoltre, una continua interazione tra acqua sotterranea, acqua superficiale, terreni paludosi e acque costiere. La direttiva ritiene pertanto che la funzione ecologica delle acque sia di estrema importanza, poiché queste acque sono un habitat ideale per diversi tipi di flora e fauna; proprio per questo motivo, la direttiva estende il proprio raggio d'azione anche agli obiettivi della tutela ambientale. D'altra parte, la prevenzione in materia di protezione delle acque è più efficace e più conveniente sul lungo termine rispetto a una politica che reagisce sempre e solo in base a rischi e pericoli già noti [7].

In base all'Articolo 4 della direttiva, l'obiettivo generale consiste nel proteggere, migliorare e ripristinare tutti i sistemi idrici superficiali e sotterranei al fine di conseguire, entro il 2015, "un buono stato delle acque superficiali e dei sistemi idrici sotterranei". Per quanto riguarda gli scarichi

nelle acque superficiali, si deve provvedere alla realizzazione di "controlli sulle emissioni basati sulle migliori tecniche disponibili" (Articolo 10).

In altre parole, nella gestione delle acque meteoriche è necessario istituire l'uso della migliore tecnologia disponibile, il che significa, in base all'art. 7 della legge sulla garanzia di rifornimento idrico, attenersi ai requisiti di applicazione dello stato della tecnica.

Un importante esempio di applicazione della direttiva Europea lo possiamo riscontrare in Germania dove le fognature miste sono state bandite e lo smaltimento delle acque meteoriche è richiesto a livello locale mediante tecniche di infiltrazione.

### 1.2.2 Normativa nazionale

La normativa italiana aveva già introdotto leggi di interesse idrogeologico ma il primo tentativo di approccio integrato tra pianificazione, acqua e suolo si ha con la Legge n. 183/1989, *“Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”* che ha l'intento di riorganizzare le competenze degli organi centrali e delle amministrazioni locali e di redigere, in modo adeguato, una pianificazione territoriale previa valutazione del rischio attraverso piani di bacino che abbia tra gli obiettivi la sistemazione, la riqualificazione e il recupero dell'ambiente.

Successivamente è stato emanato il D.M. del 14 febbraio 1997 *“Direttive tecniche per l'individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico”* in cui è prevista la regolamentazione delle tre aree di esondazione: alta, media e bassa probabilità.

Il D.L. n. 180/1998 fu emanato a seguito dell'evento idrogeologico che coinvolse la località campana di Sarno (5 maggio 1998) e il suo obiettivo fu quello di accelerare la macchina normativa. La Legge n. 267/1998 *“Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 11 giugno*



*1998, n. 180, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania*” rende attuativi i contenuti del suddetto decreto e persegue gli obiettivi di individuare e delimitare le aree a rischio geologico e idraulico a livello nazionale e, nel contempo, individuare le misure di salvaguardia per rimuovere le situazioni di rischio più elevato.

Il D.Lgs. n. 152/2006 *“Norma in materia ambientale”* stabilisce i principi generali e le competenze dello Stato, delle Regioni/Province autonome, delle Autorità di Bacino distrettuali e definisce gli obiettivi e i contenuti dei Piani di Bacino, dei Piani stralcio di distretto per l’assetto idrogeologico (PAI) e dei programmi triennali di intervento. Il decreto è articolato in sei parti; in particolare nella seconda si occupa delle procedure per la Valutazione Ambientale Strategica (VAS), per la Valutazione d’Impatto Ambientale (VIA) e per l’autorizzazione ambientale integrata (IPPC). Si può affermare che esso rappresenta uno strumento normativo di garanzia e controllo, poiché pone al centro di ogni questione la conservazione della capacità di riproduzione dell’ecosistema quale risorsa essenziale di vita.

La Dir. n. 2007/60/CE si occupa dell’attività di intervento, prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico. Il D.Lgs. n. 49/2010 *“Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni”* disciplina, sempre a livello distrettuale, la pianificazione di gestione del rischio di alluvione, prevedendo misure di coordinamento con la disciplina del D.Lgs. n. 152/2006. Il legislatore favorisce una pianificazione a lungo termine, scandito da tre fasi essenziali e propedeutiche una con l’altra. Questi compiti devono essere svolti dalle Autorità di bacino distrettuali (come definite all’art. 63 del D.Lgs. n. 152/2006) e dalle Regioni che, in coordinamento tra loro e con il Dipartimento nazionale della protezione civile, predispongono la parte dei piani di gestione per il distretto idrografico relativa al sistema di allertamento nazionale, statale e regionale, per il rischio idraulico ai fini di protezione civile.

L'art. 36-ter del D.L. 31/05/2021, n. 77 (c.d. Decreto Semplificazioni 2021, convertito in legge con la L. 29/07/2021, n. 108), prevede che gli interventi di prevenzione, mitigazione e contrasto al dissesto idrogeologico - ivi compresi quelli finanziabili tra le linee di azione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) - siano qualificati come opere di preminente interesse nazionale, aventi carattere prioritario.

Si introduce inoltre la denominazione di commissari di Governo per il contrasto al dissesto idrogeologico per i commissari aventi competenze in materia di contrasto al dissesto idrogeologico, attribuendo ad essi la competenza degli interventi in tale ambito, indipendentemente dalla fonte di finanziamento. Tali disposizioni non si applicano agli stati di emergenza di rilievo nazionale disciplinati dal Codice della protezione civile (art. 24 del D. Lgs. 02/01/2018, n. 1).

### 1.2.3 Regione Lombardia

La L.R. n. 4 del 15 marzo 2016 "*Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua*" è la legge di riferimento per la Regione Lombardia [8].

Essa ha come scopo la tutela dei cittadini e delle attività economiche, attraverso iniziative capaci di mettere in sicurezza il territorio e di intervenire sull'attenuazione del livello di rischio idrogeologico.

La legge specifica e disciplina le attività di competenza di Regione Lombardia riguardanti la difesa del suolo e la gestione dei corsi d'acqua e del demanio idrico nel territorio regionale. Inoltre, stabilisce gli strumenti utili a realizzare tali attività per raggiungere gli obiettivi legati alla difesa del suolo, alla gestione del demanio idrico fluviale e al riassetto idraulico e idrogeologico.

I principali temi che la legge affronta sono:

- costruzione del quadro delle conoscenze sulla difesa del suolo e sul demanio idrico fluviale;
- gestione coordinata del reticolo idrico minore, di competenza comunale, e dei reticoli principale e consortile;
- rispetto dell'invarianza idraulica, dell'invarianza idrogeologica e del drenaggio urbano sostenibile;
- attività di polizia idraulica nel demanio idrico fluviale;
- manutenzione continuata e diffusa del territorio, dei corsi d'acqua, delle opere di difesa del suolo, delle strutture e dei sistemi agroforestali di difesa del suolo;
- ripristino delle condizioni di maggiore naturalità dei corsi d'acqua, recupero delle aree di pertinenza idraulica e riqualificazione fluviale;
- riordino delle competenze sulla navigazione interna delle acque;
- nuove competenze in tema di difesa del suolo per i Consorzi di bonifica e irrigazione.

In particolare, la legge introduce il concetto di invarianza idraulica all'art. 7: *“Invarianza idraulica, invarianza idrologica e drenaggio urbano sostenibile. Modifiche alla l.r. 12/2005”* stabilendo al comma 2: *“I principi di invarianza idraulica e idrologica si applicano agli interventi edilizi definiti dall'articolo 27, comma 1, lettere a), b) e c) e a tutti gli interventi che comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione, secondo quanto specificato nel regolamento regionale di cui al comma 5. Sono compresi gli interventi relativi alle infrastrutture stradali e autostradali e loro pertinenze e i parcheggi”* introducendo progressivamente tecnologie e soluzioni progettuali (vasche volano, pozzi filtranti, tetti verdi, ecc.) che aiutino l'assorbimento dell'acqua nel terreno.

La regione Lombardia ha approvato i criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica delle acque meteoriche, al fine di far diminuire il deflusso verso le reti di drenaggio urbano.

Il Regolamento Regionale 23 novembre 2017 n. 7, recante *“Criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)”* [9], viene applicato su tutto il territorio regionale, in modo diversificato a seconda della criticità dell'area in cui si ricade.

Il regolamento si occupa della gestione delle acque meteoriche non contaminate, al fine di far diminuire il deflusso verso le reti di drenaggio urbano e da queste verso i corsi d'acqua già in condizioni critiche, riducendo così l'effetto degli scarichi urbani sulle portate di piena dei corsi d'acqua stessi e definisce:

- gli ambiti territoriali di applicazione, differenziati in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori;
- le portate limite ammissibili allo scarico in corpo recettore;
- le modalità di calcolo delle portate;
- i requisiti minimi da adottare in fase di progettazione di nuovi interventi o ristrutturazioni.

In particolare, la novità sta proprio nell'individuazione delle aree di applicazione che vengono suddivise in relazione ai diversi livelli di criticità:

- aree A: aree ad alta criticità idraulica;
- aree B: aree a media criticità idraulica;
- aree C: aree a bassa criticità idraulica.

Ad ogni area è assegnato un range di valori massimi ammissibili per ettaro della portata meteorica scaricabile nei ricettori: gli scarichi nel ricettore sono limitati mediante l'adozione di interventi atti a contenere l'entità delle portate scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore stesso:

- aree A: 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;

- aree B: 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- aree C: 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Il gestore del ricettore può imporre limiti più restrittivi, qualora sia limitata la capacità idraulica del ricettore stesso ovvero ai fini della funzionalità del sistema di raccolta e depurazione delle acque reflue.

Per quanto riguarda il metodo di calcolo nel caso di impermeabilizzazione potenziale media, in ambiti territoriali a criticità alta o media, deve essere adottato il metodo delle sole piogge; mentre in ambiti territoriali a criticità alta, in ambiti territoriali a criticità alta o media, deve essere adottata la procedura di calcolo dettagliata.

#### 1.2.4 Regione Marche

La Regione Marche fa riferimento alla legge regionale del 23 novembre 2011 n.22 dal titolo: *Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico e modifiche alle Leggi regionali 5 agosto 1992, n. 34 "Norme in materia urbanistica, paesaggistica e di assetto del territorio" e 8 ottobre 2009, n. 22 "Interventi della regione per il riavvio delle attività edilizie al fine di fronteggiare la crisi economica, difendere l'occupazione, migliorare la sicurezza degli edifici e promuovere tecniche di edilizia sostenibile"*.

All'Art. 10 troviamo indicazioni sulla compatibilità idraulica delle trasformazioni territoriali e in particolare:

1. Gli strumenti di pianificazione del territorio e le loro varianti, da cui derivi una trasformazione territoriale in grado di modificare il regime idraulico, contengono una verifica di compatibilità idraulica, volta a

riscontrare che non sia aggravato il livello di rischio idraulico esistente, né pregiudicata la riduzione, anche futura, di tale livello.

2. Ai fini di cui al comma 1, la verifica di compatibilità valuta l'ammissibilità degli interventi di trasformazione considerando le interferenze con le pericolosità idrauliche presenti e la necessità di prevedere interventi per la mitigazione del rischio, indicandone l'efficacia in termini di riduzione della specifica pericolosità.
3. Al fine di evitare gli effetti negativi sul coefficiente di deflusso delle superfici impermeabilizzare, ogni trasformazione del suolo che provochi una variazione di permeabilità superficiale deve prevedere misure compensative rivolte al perseguimento del principio dell'invarianza idraulica della medesima trasformazione.
4. La Giunta regionale stabilisce i criteri per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di cui al comma 1, nonché le modalità operative e le indicazioni tecniche relative ai commi 2 e 3, anche con riferimento ad aree di recupero e di riqualificazione urbana.
5. Le opere necessarie per il perseguimento delle finalità di cui al presente articolo e relative alla riduzione del rischio idraulico (o opere di difesa fluviale, invasi compensativi, aree verdi conformate in modo da massimizzare la capacità di invaso e laminazione e simili) e geologico (rilevati e valli artificiali e simili) sono classificate tra le opere di urbanizzazione primaria e le cui aree cui vengono conferite funzioni mitigative o compensative devono essere ricomprese nel perimetro considerato, anche se non strettamente contigue alle aree di trasformazione.

Un altro strumento di pianificazione regionale è il PTA, Piano di Tutela delle Acque, ed ha lo scopo di prevedere gli interventi sul territorio. Il fine è quello di conseguire gli obiettivi di qualità dei corpi idrici e di tutela qualitativa della risorsa idrica, garantendo un approvvigionamento idrico sostenibile nel lungo periodo. Gli obiettivi sono perseguiti attraverso misure ed interventi adottati e previsti per ogni ciclo di pianificazione (sessennale). Approvata nel 2010, concilia gli aspetti quantitativi e qualitativi delle acque.

A livello operativo, invece la Delibera della Giunta regionale n.53 del 27 gennaio 2014 al comma 4 dell'art. 10 specifica i criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali poi modificata della Delibera n.671 del 20 giugno 2017.

### Contenuti dell'invarianza idraulica

Le indicazioni per il calcolo dell'invarianza idraulica variano in base alle soglie dimensionali e alla percentuale di superficie permeabile [Tabella 1.1\_Classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici ai fini dell'invarianza idraulica].

*Tabella 1.1\_Classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici ai fini dell'invarianza idraulica*

Classe di Intervento	Definizione
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione inferiore a 0,1 ha
Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 0,1 e 1 ha
Significativa impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $Imp < 0,3$
Marcata impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione superiori a 10 ha con $Imp > 0,3$

- a) nel caso di trascurabile impermeabilizzazione potenziale, è sufficiente che i volumi disponibili per la laminazione soddisfino i requisiti dimensionali ad esclusione degli interventi comportanti la realizzazione di impermeabilizzazione per una superficie pari o inferiore a 100 mq;

- b) nel caso di modesta impermeabilizzazione oltre al soddisfacimento dei requisiti è opportuno che le luci di scarico nel corpo ricettore non eccedano le dimensioni di un tubo di diametro 200 mm e che i tiranti idrici ammessi nell'invaso non eccedano il metro;
- c) nel caso di significativa impermeabilizzazione, le luci di scarico e i tiranti idrici ammessi nell'invaso vanno dimensionati in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'area in trasformazione ai valori precedenti l'impermeabilizzazione, almeno per una durata di pioggia di 2 ore e un tempo di ritorno di 30 anni;
- d) nel caso di marcata impermeabilizzazione, è necessario uno studio idrologico-idraulico di maggiore dettaglio.



## 1.3 GESTIONE SOSTENIBILE DELLE ACQUE METEORICHE

La gestione sostenibile delle acque meteoriche comporta vantaggi in termini di mantenimento del ciclo naturale dell'acqua e di influenza positiva delle zone urbanizzate [10].

Gli interventi che possono essere combinati per lavorare sulla gestione sostenibile hanno come scopo:

- contenere i deflussi delle acque meteoriche;
- recupero e utilizzo delle acque meteoriche;
- infiltrazione delle acque meteoriche;
- immissione delle acque meteoriche in acque superficiali;
- controllo in tempo reale di un impianto fognario.

### 1.3.1 Contenere i deflussi delle acque meteoriche

Le infrastrutture verdi urbane rappresentano un approccio alla pianificazione e progettazione delle aree urbane. La loro realizzazione propone e determina effetti positivi in ambito economico, di contenimento del dissesto idrogeologico, nella lotta ai cambiamenti climatici e nel ristabilimento della qualità ambientale [11], [12].

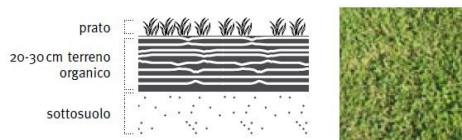
### 1.3.1.1 Pavimentazioni permeabili

L'impermeabilizzazione del suolo può essere evitata attraverso l'impiego di pavimentazioni permeabili soprattutto in zone che non necessitano rivestimenti molto resistenti. È molto importante che il sottofondo e il sottosuolo abbiano una permeabilità sufficiente. Sono particolarmente indicati per cortili, spiazzi, stradine, piste pedonali e ciclabili, strade di accesso e parcheggi. Il loro impiego non deve limitarsi alle vecchie costruzioni, ma può essere impiegato anche per una ripermabilizzazione del suolo sostituendo lo strato impermeabile [13], [14], [15].

---

#### Prati

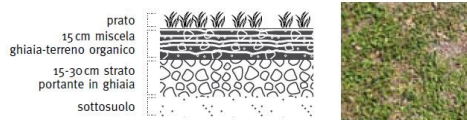
La superficie è costituita da uno strato di terreno organico che viene costipato prima del rinverdimento che risulta pari al 100%. Adatto per superfici che non necessitano particolare resistenza.



---

#### Sterrati inerbiti

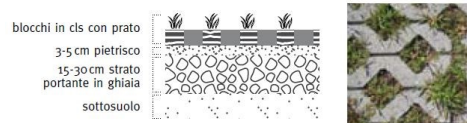
La superficie è costituita da uno strato di terreno inorganico mescolato con ghiaia senza leganti e la superficie di verde è pari al 30%.



---

#### Grigliati in calcestruzzo inerbiti

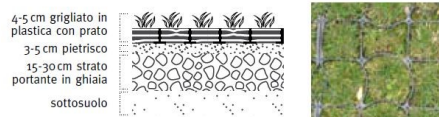
Blocchi di calcestruzzo con coperture a nido d'ape riempite con terreno e inerbite. Il verde supera il 40%.



---

#### Grigliati plastici inerbiti

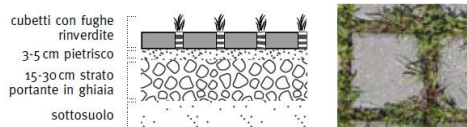
Grigliati di materiale plastico riempiti con terreno organico e inerbiti. La percentuale di verde supera il 90%.



---

#### Cubetti o masselli a fughe larghe inerbite

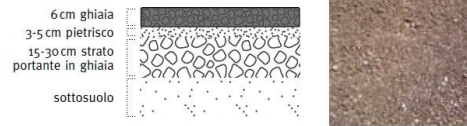
La cubettatura viene realizzata con fughe larghe attraverso l'ausilio di distanziatori. La percentuale di verde è pari al 35%.



---

### Sterrati

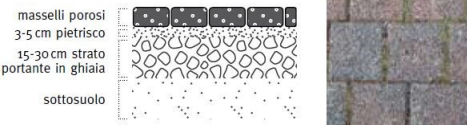
La superficie viene realizzata con ghiaia di granulometria uniforme senza leganti.



---

### Masselli porosi

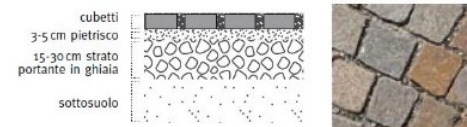
La pavimentazione avviene con masselli porosi e il riempimento delle fughe viene fatto con la sabbia.



---

### Cubetti o masselli a fughe strette

I cubetti vengono posati con fughe strette riempite con sabbia



---

Figura 1.6\_Esempi e stratigrafie di pavimentazioni permeabili

#### 1.3.1.2 Tetti verdi

I tetti verdi offrono numerosi vantaggi e benefici energetici, economici, costruttivi, ambientali e sociali. Esistono due tipologie di copertura verde: verde estensivo e verde intensivo. Il verde di tipo estensivo ha una capacità di carico ridotta, spessori moderati e una vegetazione superficiale che ha bisogno di uno strato di terreno molto sottile. Il verde di tipo intensivo è costituito da spessori elevati e può essere posato solo su solai piano con una portanza superiore ai 150 kg per riuscire a convertire il terrazzo in un ambiente ricco di piante. Il verde di tipo intensivo presenta chiaramente prestazioni maggiori, ma può essere posato solo su coperture piane e di edifici di nuova costruzione, poiché nessun edificio di vecchia costruzione presenta un'analisi dei carichi così elevata. Il verde di tipo estensivo, invece, può essere realizzato anche sulle coperture esistenti previa verifica delle caratteristiche tecniche della struttura; inoltre, le moderne tecniche di realizzazione e i nuovi materiali prevedono l'impiego di ridotti spessori di substrato possono essere installati su

gran parte degli edifici esistenti. La pendenza influisce molto sulla fattibilità e sul costo dell'inverdimento. Le coperture più semplici da inverdire sono quelle con una pendenza dal 2% al 5%, interessanti anche gli inverdimenti di coperture piane con pendenza inferiore al 2% soprattutto per strutture di grandi dimensioni come edifici industriali o opere pubbliche, vantaggioso soprattutto per zone con scarse precipitazioni [3], [16], [17], [18], .



*Figura 1.7\_Inverdimento di tipo estensivo*

*Figura 1.8\_Inverdimento di tipo intensivo*

L'impiego del verde pensile contribuisce a numerosi benefici tra cui:

- l'attenuazione del deflusso superficiale delle acque piovane in ambiente urbano che, in parte vengono assorbite dal terreno e in parte vengono restituite al ciclo idrologico naturale mediante la traspirazione con riduzione del rischio di alluvioni urbane;
- azione coibente assicurando una minore dispersione termica in inverno e garantendo il mantenimento della temperatura in estate, assicurando l'abbattimento dei costi per il riscaldamento e il raffrescamento;
- isolamento acustico;
- riduzione dell'inquinamento;
- aumentare gli habitat e valorizzare la biodiversità.

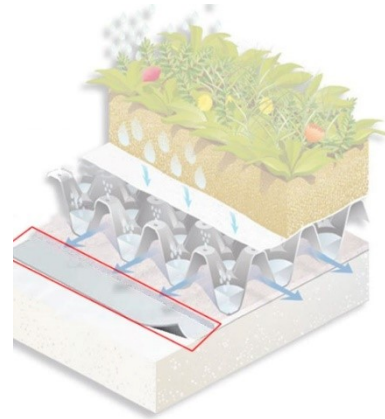
Il tetto verde cambia il deflusso delle acque piovane attraverso l'abbassamento ed il ritardo del picco di deflusso poiché un certo volume di acqua viene trattenuto.

#### 1.3.1.2.1 Sistema costruttivo

La norma che regola la costruzione della stratigrafia del tetto verde è la UNI 11235:2015 [19].

##### Elemento di protezione alla penetrazione delle radici

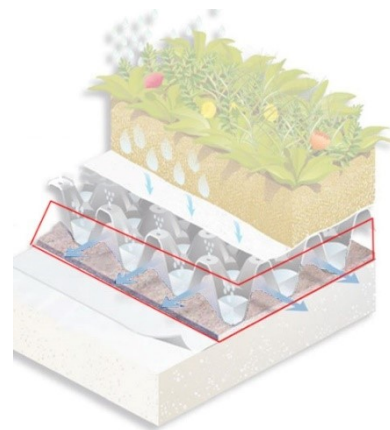
Può essere integrato con un elemento impermeabilizzante a garanzia della tenuta all'acqua e tenuta alle radici.



*Figura 1.9\_ Elemento di protezione alla penetrazione delle radici*

##### Feltro

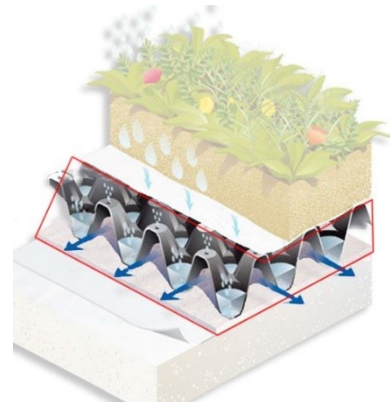
Realizzato al fine di esercitare un'azione di ritenzione idrica sufficiente a creare un effetto volano fino al nuovo apporto d'acqua.



*Figura 1.10\_ Feltro*

### Strato di drenaggio ed aerazione

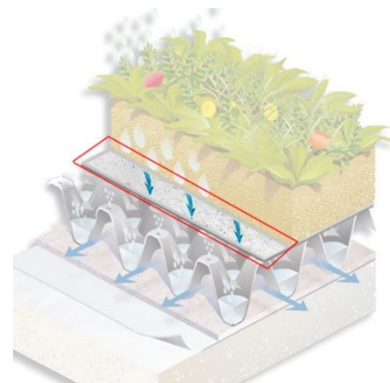
La funzione è quella di garantire, anche in caso di completa saturazione degli strati, la presenza di ossigeno.



*Figura 1.11\_Strato di drenaggio ed aerazione*

### Telo filtrante

Deve essere calibrato in base al tipo di granulometria del terreno utilizzato ed innescare, all'interno dello strato terroso, la formazione di un filtro naturale denominato “filtro rovescio”, atto ad evitare la movimentazione delle particelle più minute negli strati più bassi, che porterebbe ad un calo della prestazione della struttura.



*Figura 1.12\_Telo filtrante*

## Substrato

È necessario utilizzare uno strato colturale appropriato tale da avere un peso ridotto anche in massima saturazione idrica, una elevata permeabilità ( $k_s > 0.4 \text{ cm/s}$ ), capacità di ritenzione idrica elevata e buona aerazione per lo sviluppo della copertura vegetale, elevata capacità drenante e bilanciato rapporto aria/acqua a massima saturazione



Figura 1.13\_Substrato

idrica, ridotto compattamento nel tempo, giusta quantità di sostanza organica, assenza di semi di infestanti, ottima resistenza al gelo e una struttura chimico-fisica idonea a garantire stabilità per eventi meteorici intensi.

In Italia non abbiamo molte esperienze nel campo delle coperture verdi e mancano soprattutto specifiche ricerche volte a studiare il tipo di precipitazione e di clima nelle varie zone che va poi a influenzare la scelta dei progettisti degli spessori dei materiali e chiaramente del tipo di vegetazione. Un esempio di inverdimento intensivo è, per esempio il giardino pubblico sull'ospedale di Bolzano; tuttavia, non sono molti gli interventi di adeguamento a verde estensivo per mancanza di ricerca e quindi direttive operative sulle tecniche da utilizzare nelle nostre zone. A tal scopo, la scuola professionale Laimburg si occupa già da alcuni anni del tema delle coperture a verde nell'ambito della propria attività di formazione e aggiornamento. Lo scopo della ricerca è dare indicazioni: sulla ritenzione idrica (capacità di evapotraspirazione nei diversi inverdimenti estensivi), sullo spessore minimo delle stratificazioni, sull'analisi della qualità dell'acqua di deflusso, sullo sviluppo della vegetazione

### 1.3.2 Recupero e utilizzo delle acque meteoriche

Il recupero e il riutilizzo dell'acqua meteorica consente un risparmio d'acqua pregiata. Infatti, l'acqua meteorica è adatta soprattutto per innaffiare il verde, per le acque di scarico dei servizi igienici, per la lavatrice, per la pulizia della casa o come acqua di raffreddamento.

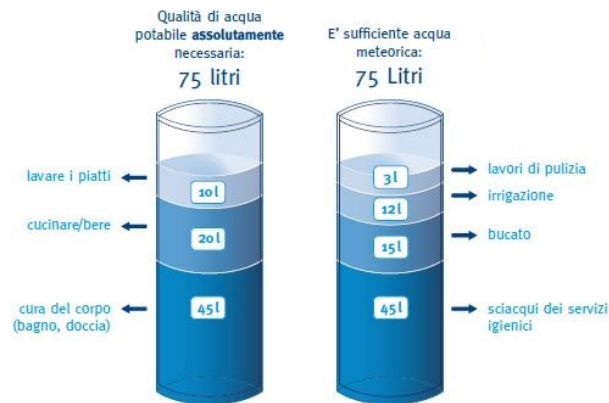


Figura 1.14\_Consumo domestico di acqua potabile

Si avrebbe in questo modo un risparmio del 50% di acqua potabile. Il fabbisogno giornaliero per persona, infatti, è di 150 l al giorno, di cui però solo 75 l sono di acqua potabile assolutamente necessaria.

La fattibilità dell'impianto di recupero dipende dalla tipologia di copertura in quanto alcuni materiali necessitano di trattamenti protettivi. Per il riutilizzo delle acque con il solo scopo irriguo è sufficiente un serbatoio di raccolta, mentre per il riutilizzo domestico è necessario un impianto più articolato dotato di filtro (che separa le particelle sospese) e di pompa (che garantisce una pressione sufficiente), inoltre deve essere predisposta una rete secondaria ben distinta da quella dell'acqua potabile e tutti i dispositivi di sicurezza e di reintegro dell'approvvigionamento.



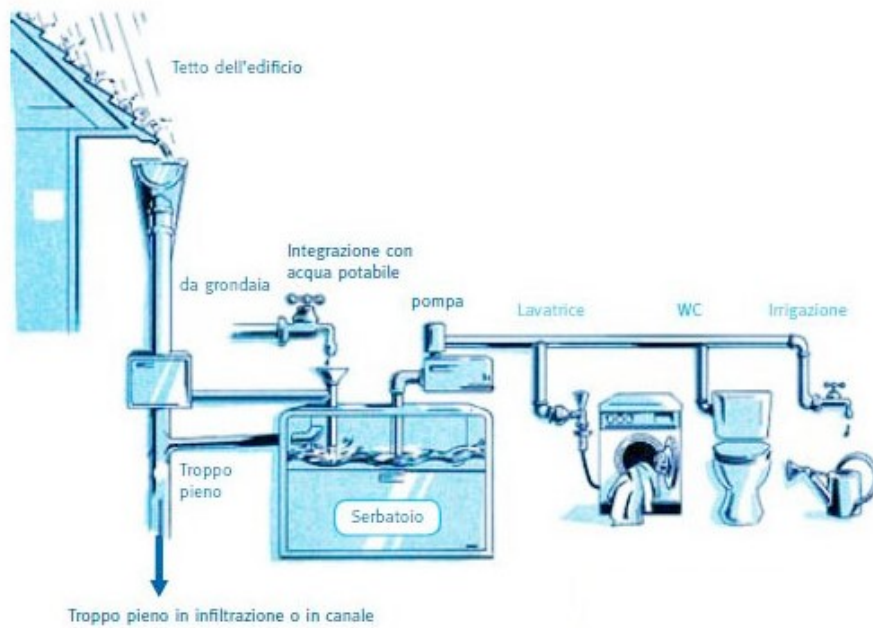


Figura 1.15\_Schema di raccolta e utilizzo delle acque meteoriche

### 1.3.3 Infiltrazione delle acque meteoriche

La progettazione dell'infiltrazione delle acque meteoriche deve tener conto soprattutto delle condizioni locali di inquinamento. Il suolo deve avere una sufficiente permeabilità e deve essere garantito uno spessore di filtrazione almeno pari a 1 m prima che le acque giungano in falda [20].

#### 1.3.3.1 Sistemi d'infiltrazione superficiale

Avviene tramite immissione superficiale delle acque meteoriche in superfici piane, in fossi o bacini. L'infiltrazione avviene attraverso uno strato superficiale di terreno organico rinverdito che permette una buona depurazione.

#### 1.3.3.1.1 Superfici d'infiltrazione

Le acque meteoriche si infiltrano su superfici piane in maniera omogenea senza possibilità di accumulo.

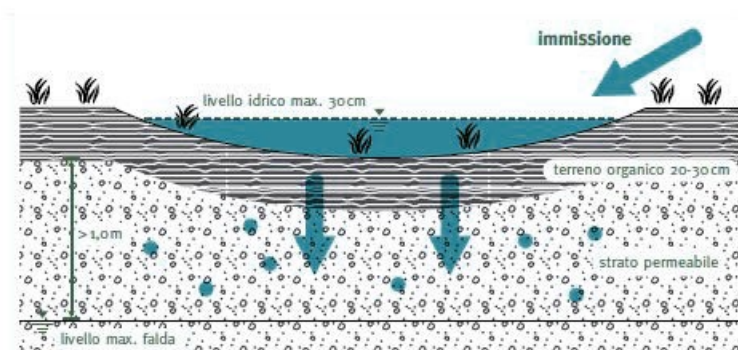
Le acque si possono infiltrare tramite diversi impieghi: terreno invertito, pavimentazione permeabile o aree limitrofe ad aree impermeabilizzate.



*Figura 1.16\_Superficie di infiltrazione di tipo pavimentazione permeabile*

#### 1.3.3.1.2 Fossi (o cunette) d'infiltrazione

Le acque meteoriche vengono immesse in fossi rinverditati poco profondi con uno strato di terreno organico pari a 30 cm, raggiungendo un livello d'acqua massimo pari a 30 cm.



*Figura 1.17\_Schema fosso di infiltrazione*

#### 1.3.3.1.3 Bacini d'infiltrazione

È indicato per l'infiltrazione di acque meteoriche raccolte da superfici estese. È realizzato con un fondo permeabile con uno strato di terreno organico di circa 30 cm. Il bacino è in grado di svuotarsi in pochi giorni dopo le piogge.

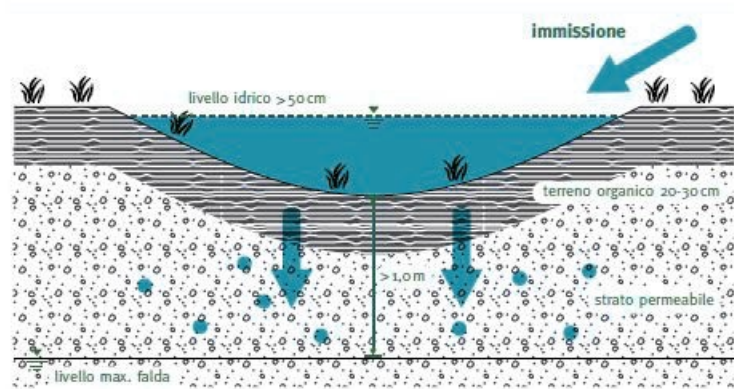


Figura 1.18\_Schema bacino di infiltrazione

#### 1.3.3.1.4 Bacini di ritenzione e infiltrazione

Questi bacini sono più grandi e comportano un'elevata infiltrazione. Sono bacini in terra con fondo impermeabilizzato provvisti di sfioro con infiltrazione delle acque meteoriche, che defluiscono dalle aree di drenaggio, in surplus in fossi o depressioni del terreno.

I rain garden sono una tipologia di bacini di ritenzione a piccola scala: sono efficaci per trattare le acque di dilavamento in zone urbane. In particolare, sono sistemi di bio-ritenzione, costituiti da una depressione superficiale che attraverso apposite tubazioni incanalano le acque meteoriche; il mezzo poroso e le piante presenti effettuano l'azione filtrante e di risanamento.

La progettazione consiste nel:

- fissare il valore di intensità di pioggia (Hrain);

- determinare l'area di drenaggio (A) delle superfici impermeabili;
- dimensionare il rain garden in funzione del volume di pioggia che si desidera trattare per fissata  $H_{rain}$ ;  

$$V=A \ast H_{rain}$$
- calcolare l'area del rain garden.  

$$A_r=V/h_r$$

$$h_r=\text{profondità del rain garden}$$

### 1.3.3.2 Sistemi sotterranei di infiltrazione

In questi sistemi l'acqua viene immessa in trincee di infiltrazione o in pozzi perdenti. Questi sistemi hanno il vantaggio di avere un minor fabbisogno di superficie filtrante, ma minore vantaggio depurativo perché non viene attraversato lo strato filtrante di terreno; per questo devono essere utilizzati solo in presenza di acque meteoriche poco inquinate.

#### 1.3.3.2.1 Trincee d'infiltrazione

Sono scavi riempiti con ghiaia o elementi prefabbricati in materiali plastici. Questi sistemi permettono all'acqua meteorica di infiltrarsi lentamente nel sottosuolo. Per aumentare la capacità di accumulo può essere posto in opera un tubo forato. Vengono realizzati quando mancano le

superfici per realizzare i fossi di infiltrazione oppure quando il terreno non è abbastanza permeabile.

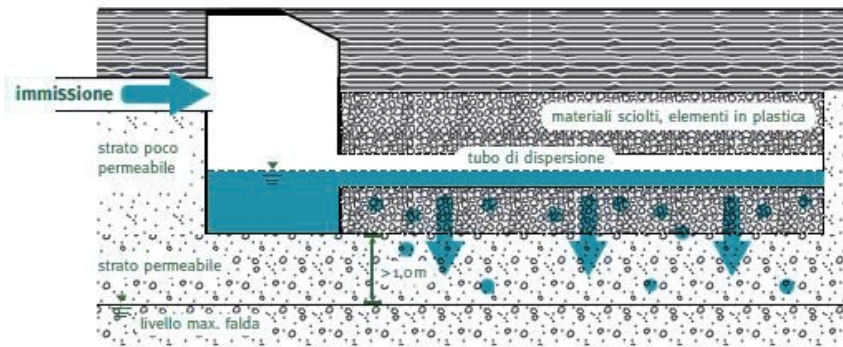


Figura 1.19\_Schema trincea di infiltrazione

#### 1.3.3.2.2 Pozzi perdenti

Sono un'alternativa alle trincee di infiltrazione. L'acqua si infiltra nel sottosuolo in modo concentrato e quindi sono indicati nei centri abitati dove non si ha spazio a disposizione. Come per le trincee devono essere immesse acque

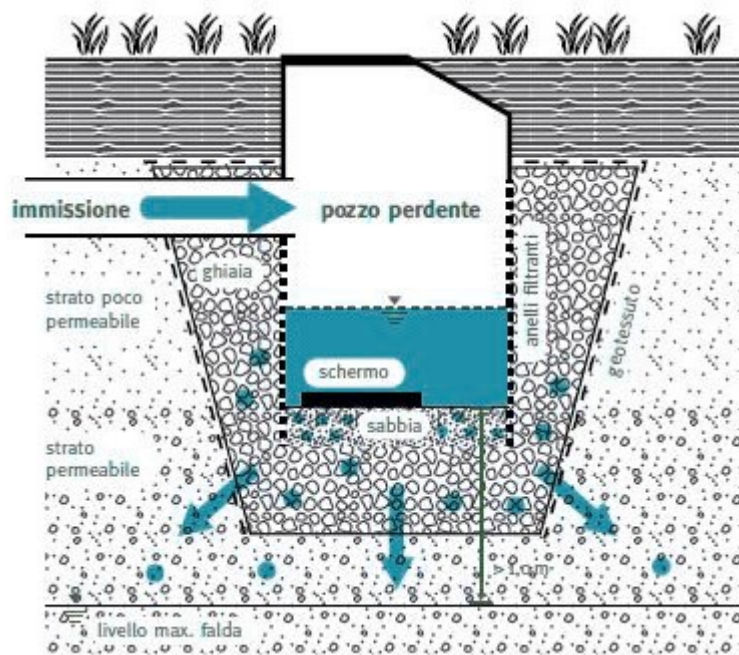


Figura 1.20\_Schema pozzo perdente

### 1.3.3.3 Sistemi combinati di infiltrazione

Accoppiano i sistemi di infiltrazione superficiale e quella profonda: sono fossi con trincea di infiltrazione. I fossi rinverditi assicurano una buona depurazione, mentre le trincee aumentano la capacità di accumulo.

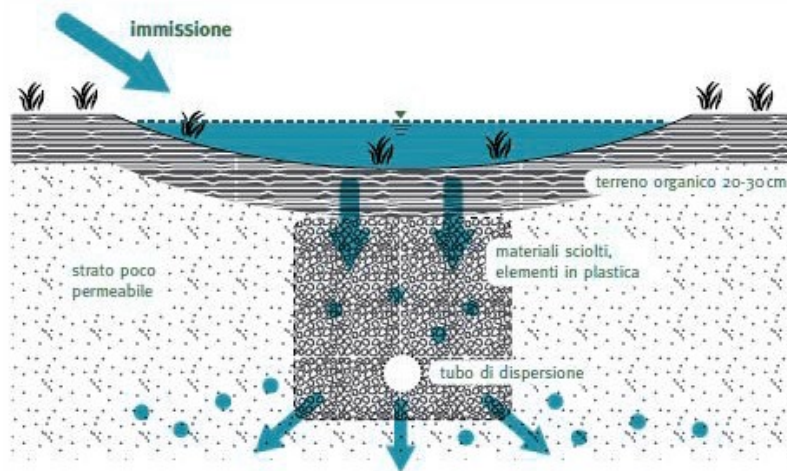


Figura 1.21\_Sistemi combinati di infiltrazione

#### 1.3.4 Immissione delle acque meteoriche in acque superficiali

Le acque meteoriche risultano inquinate a causa dell'inquinamento presente in atmosfera, ma soprattutto dell'inquinamento superficiale delle superfici dilavate. Per queste ragioni le immissioni di acque meteoriche, specie se inquinate, in acque superficiali dovrebbe essere ridotto il più possibile e quindi solo in casi eccezionali in cui non è possibile contenere il deflusso delle acque meteoriche, il cui non è possibile il riutilizzo di acque e l'infiltrazione delle acque non è realizzabile tecnicamente.

Se sono predisposti tetti verdi, serbatoi o sistemi di ritenzione, le acque possono essere immesse in acque superficiali senza essere pretrattate. L'eventuale pretrattamento, in assenza delle opere citate in precedenza, può essere fisico, biologico o combinato. I trattamenti fisici consistono nel far depositare sul fondo sostanza inquinanti in manufatti di sedimentazione, possono trattenere sostanze anche più leggere dell'acqua, ma hanno bisogno di una elevata manutenzione. I trattamenti biologici utilizzano il passaggio attraverso uno strato di sottosuolo inverdito.

#### 1.3.5 Controllo in tempo reale di un impianto fognario (RTC)

Per contenere il fenomeno di gestione delle acque meteoriche, affiancato ai sistemi di drenaggio tradizionali, potrebbe essere utile l'introduzione di soluzioni tecnologiche innovative ed interventi sostenibili con il fine di offrire numerosi vantaggi sia dal punto di vista tecnico-ambientale che economico. Una valida soluzione è l'inserimento, all'interno della rete mista tradizionale, di dispositivi che monitorino e regolino il funzionamento in tempo reale (Real Time Control: RTC). Infatti, le reti tradizionali funzionano con un approccio di tipo statico e ciò comporta che in tempi asciutti le condotte collestano portate nere nettamente ridotte rispetto alla loro potenzialità, generando così velocità di deflusso inferiori alle condizioni di autopulizia del collettori; mentre in tempi piovosi le elevate portate meteoriche spingono gli impianti di depurazione a lavorare

sotto carichi idraulici insostenibili e, se non si vogliono sfiorare le eccedenze, l'unica soluzione accettabile risulta quella dell'invaso. Questi sistemi sono caratterizzati dall'inefficienza dal punto di vista degli invasi e degli scarichi e non presentano feed-back di campo basato su osservazioni/misure di ciò che sta accadendo nella rete.

L'approccio dinamico basato sui sistemi RTC, invece, prevede l'introduzione di parti mobili che, guidate direttamente o indirettamente tramite delle misure rilevate da sensori, consentono una gestione dinamica del drenaggio in funzione delle condizioni del sistema e dell'evento che lo sta caratterizzando. Adottando questi sistemi si può evitare la completa sostituzione dei vecchi tubi con altri adeguati dimensionalmente alle nuove esigenze con la creazione di volumi di accumulo dislocati in vari punti della rete in modo da permettere la laminazione delle portate di punta e delle portate meteoriche. L'introduzione di sistemi di controllo in tempo reale, quindi hanno lo scopo di diminuire il rischio allagamento, ridurre la frequenza e la portata degli sfiori di liquame non trattato, ottimizzando i consumi energetici migliorando la gestione degli organi di regolazione del fluido in rete e aumentare l'efficienza degli impianti di trattamento equalizzando il carico inquinante in ingresso.

Le componenti principali dei sistemi RTC sono:

- misuratori: sono dei sensori che devono avere un ampio campo di misura con rapporto tra valori minimi e massimi che spesso superano i due ordini di grandezza, devono essere dei sistemi con una precisione sufficiente e devono permettere una facilità di installazione e manutenzione; inoltre è richiesto che siano resistenti agli urti, all'usura e all'umidità;
- regolatori: possono essere impianti di sollevamento, paratoie mobili, soglie mobili, sifoni, valvole, sbarramenti gonfiabili; inoltre, devono garantire la sicurezza dell'impianto, le parti esposte all'ambiente aggressivo della fognatura devono resistere alla corrosione, le parti elettriche devono essere collocate in un



ambiente adatto, tutte le parti del regolatore devono essere accessibili per manutenzione e sostituzione, le funzioni del regolatore devono essere monitorabili a distanza per poterne verificare l'efficienza;

- unità di controllo: controllo locale (misuratori locali), controllo remoto (misuratori in punti remoti della rete), controllo remoto globale (una stazione centrale riceve le misure da punti remoti della rete e coordina tutti i regolatori sulla base di una strategia globale);
- sistemi di trasmissione.

Il controllo in tempo reale può essere semplificato come un ciclo continuo di operazioni che trasferiscono dati provenienti dai sensori di monitoraggio disposti lungo la rete ad un elaboratore centrale in modo da attivare gli organi di controllo dei flussi di portata; ciò rende possibile una verifica puntuale della risposta della rete fognaria al processo in atto. Per fare ciò è necessario lo studio della rete fognaria e quindi un'accurata conoscenza delle caratteristiche della rete esistente con tutti i dati relativi in fase di studio che possono essere immessi in un sistema informativo di software. A partire dalla rete si può procedere alla simulazione delle condizioni di funzionamento sia in tempo asciutto, che in tempo piovoso attraverso la costruzione e la calibratura di un modello di simulazione. Quindi si passa alla parte operativa con il monitoraggio e il controllo dell'impianto fognario grazie al sistema di telecontrollo SCADA (System Control And Data Acquisition) che consente di raccogliere e organizzare i dati provenienti dalle stazioni di controllo periferiche installate nei punti strategici di sistema. A questo punto si può attuare il vero e proprio RTC modificando i flussi di portata in base ai dati meteorologici. L'acquisizione dei dati permette di individuare la quantità degli afflussi meteorici e consentire la previsione dell'evoluzione della perturbazione, sia per attivare lo stato di preallarme per la effettiva attuazione del controllo in tempo reale, sia per migliorare la pianificazione del funzionamento dell'impianto [21], [22], [23], [24], [25], [26].

## CAPITOLO 2

### ANALISI DEL CONSUMO DI SUOLO

#### 2.1 ASPETTI GENERALI

Per suolo si intende il sottile mezzo poroso che ricopre la crosta terrestre. Esso è l'interfaccia tra terra, aria e acqua e ospita gran parte della biosfera, per questo è essenziale per l'esistenza delle specie viventi. Visti i suoi lunghi tempi di formazione, il suolo, si può ritenere una risorsa non rinnovabile e per questo motivo deve essere salvaguardato poiché è troppo spesso trattato come un contenitore degli scarti della produzione umana, oppure come un mezzo da sfruttare con una scarsa consapevolezza degli effetti derivanti dalla perdita delle sue funzioni.

Le scorrette pratiche agricole, la concentrazione in aree localizzate della popolazione, delle attività economiche e delle infrastrutture, le variazioni d'uso e gli effetti locali dei cambiamenti ambientali globali possono originare gravi processi degradativi, che limitano o inibiscono totalmente la funzionalità del suolo e che spesso diventano evidenti solo quando sono irreversibili.

Per copertura del suolo (Land Cover) si intende la copertura biofisica della superficie terrestre comprese superfici artificiali, le zone agricole, i boschi e le foreste, le aree seminaturali, le zone umide, i corpi idrici come definita dalla direttiva 2007/2/CE [2].

L'uso del suolo (Land Use) è il riflesso delle interazioni tra l'uomo e la copertura del suolo e quindi come questo viene impiegato in attività antropiche; la direttiva sopra citata lo definisce come una classificazione del territorio in base alla

dimensione funzionale o alla destinazione socioeconomica presenti e programmati per il futuro.

Il consumo di suolo può essere permanente (edifici, fabbricati, strade pavimentate, sede ferroviaria, aeroporti, porti, altre aree impermeabili) oppure reversibile (strade non pavimentate, cantieri e altre aree in terra battuta, aree estrattive non rinaturalizzate, cave in falda, impianti fotovoltaici a terra, altre coperture artificiali non connesse alle attività agricole la cui rimozione ripristini le condizioni iniziali del suolo).

In questo capitolo viene analizzato in particolare l'uso del suolo inteso come copertura e impermeabilizzazione, che si verifica quando la terra è coperta da un materiale impermeabile come il cemento e l'asfalto. In particolare, è interessante ai fini dello studio analizzare l'andamento del consumo di suolo perché è la causa principale di inondazioni e scarsità idrica. Al contrario, la superficie libera è il suolo agricolo in condizione di naturalità o seminaturalità, anche in ambito urbano, non impermeabilizzato [27].

## 2.2 IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO

Il consumo di suolo può essere visto come un fenomeno collegato all'utilizzo per fini insediativi di suolo extraurbano, adibito ad uso agricolo o naturale. Il territorio viene coperto da nuove costruzioni e infrastrutture divenendo inevitabilmente una risorsa limitata non rinnovabile. L'uso antropico del territorio comporta oltre alla frammentazione degli habitat e all'innalzamento della temperatura del clima urbano che, a livello idraulico, il suolo non sia più in grado di trattenere gran parte delle acque di precipitazione atmosferica e regolare il deflusso superficiale. Il dilavamento dei suoli, a causa delle acque di scorrimento superficiale, determina un incremento del carico solido provocando, in molti casi, un forte impatto sulla qualità delle acque. Infatti, un suolo perfettamente funzionante può incamerare fino a 3750 tonnellate di acqua per ettaro, o circa 400 mm di precipitazioni (un metro cubo di suolo poroso può trattenere tra 100 e 300 litri di acqua) [2], [28], [29].

Gli effetti dell'impermeabilizzazione sulle risorse idriche possono causare cambiamenti nello stato ambientale dei bacini alterando gli ecosistemi e i servizi idrici che offrono. L'impermeabilizzazione riduce l'assorbimento di pioggia nel suolo, talvolta impedendolo completamente con gli effetti che ne derivano sulla variazione del ciclo idrogeologico tra cui:

- Tasso di infiltrazione: la tessitura del suolo è la principale variabile per il tasso di infiltrazione, infatti, le precipitazioni che si infiltrano nei suoli fanno aumentare in misura significativa il tempo necessario per raggiungere i fiumi riducendo il flusso di picco e quindi il rischio alluvione.
- Deflusso superficiale: il suolo coperto da vegetazione assorbe molta più acqua di uno coperto da materiale impermeabile, per questo l'impermeabilizzazione del suolo nelle aree edificate riduce la capacità di immagazzinare acqua, aumentando il rischio di alluvione e danni da inondazione.
- Evapotraspirazione: la perdita di superficie di evaporazione e di copertura vegetale dovuta all'impermeabilizzazione può essere un fattore che contribuisce ai cambiamenti climatici locali.

## 2.3 CONSUMO DI SUOLO IN EUROPA E IN ITALIA

I dati sulla copertura, sull'uso del suolo e sulla transizione tra le diverse categorie sono importanti per la formulazione delle strategie di gestione e pianificazione sostenibile del territorio. Per questo motivo l'iniziativa Corine Land Cover (CLC) è nata al livello europeo per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio. Lo scopo dell'iniziativa è verificare lo stato dell'ambiente al fine di fornire supporto per lo sviluppo di politiche comuni, controllarne gli effetti e proporre eventuali correttivi. I prodotti del CLC sono basati sulla fotointerpretazione di immagini satellitari realizzata dai team nazionali degli stati che vi partecipano seguendo una metodologia e una nomenclatura standard e

sono gli unici che garantiscono un quadro europeo nazionale completo con quasi trent'anni di informazioni.

In Europa e in Italia il confronto dei dati Corine Land Cover ha permesso di delineare una tendenza che evidenzia un incremento generalizzato delle aree urbane a discapito delle aree agricole con un aumento di suolo urbanizzato di 143.000 ettari tra il 1990-2006. Le aree di insediamento ammontavano al 4,1% (176000 km<sup>2</sup>), 4,3% (186000 km<sup>2</sup>) e 4,4% (192000 km<sup>2</sup>) del territorio dell'UE rispettivamente nel 1990, 2000 e 2006. Nel 2006, l'area di insediamento media per ciascun cittadino dell'Unione era di circa 390 m<sup>2</sup>, vale a dire 15 m<sup>2</sup> (3,8%) in più rispetto al 1990.

La superficie impermeabilizzata totale nel 2006 era stimata in circa 100 000 km<sup>2</sup>, ovvero il 2,3% del territorio dell'UE, in media 200 m<sup>2</sup> per cittadino [Figura 2.1]. Gli Stati Membri con tassi elevati di impermeabilizzazione suolo (oltre il 5% del territorio nazionale) sono Malta, Paesi Bassi, Belgio, Germania e Lussemburgo [Figura 2.1].

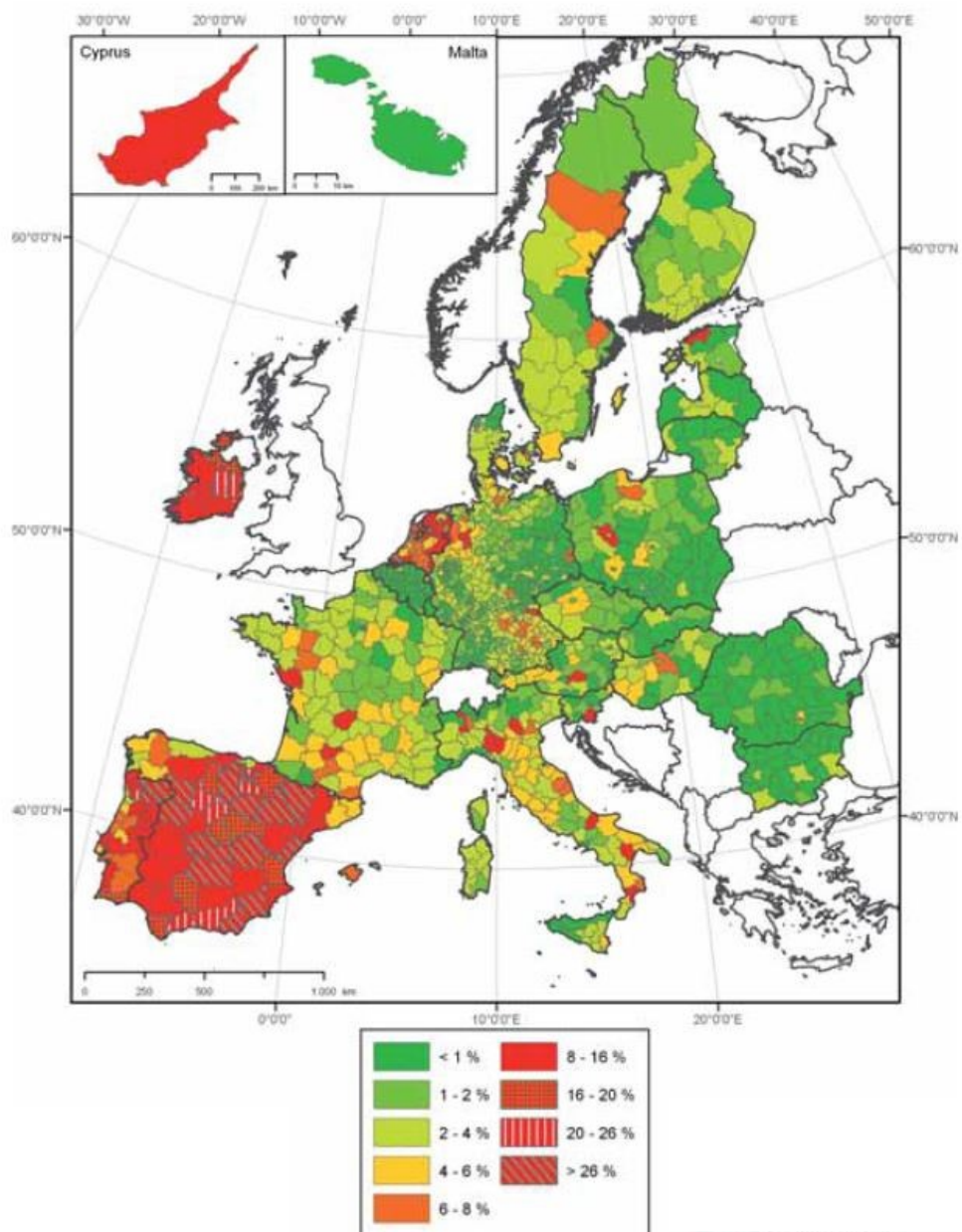


Figura 2.1\_Terreno occupato per unità amministrativa nel periodo 2000-2006

Il consumo di suolo in Italia nel 2017 secondo il rapporto dell'ISPRA è pari al 7,65% [30], [31], [32]. In Italia più di un quinto (il 21,5% quasi 5000 km<sup>2</sup>) del suolo consumato fino al 2015, è concentrato nel territorio amministrativo delle 14 città metropolitane che presentano livelli di suolo consumato generalmente sopra la media nazionale. I maggiori incrementi percentuali tra il 2012 e il 2015 si concentrano, invece, nelle province del centro-sud [Figura 2.2].

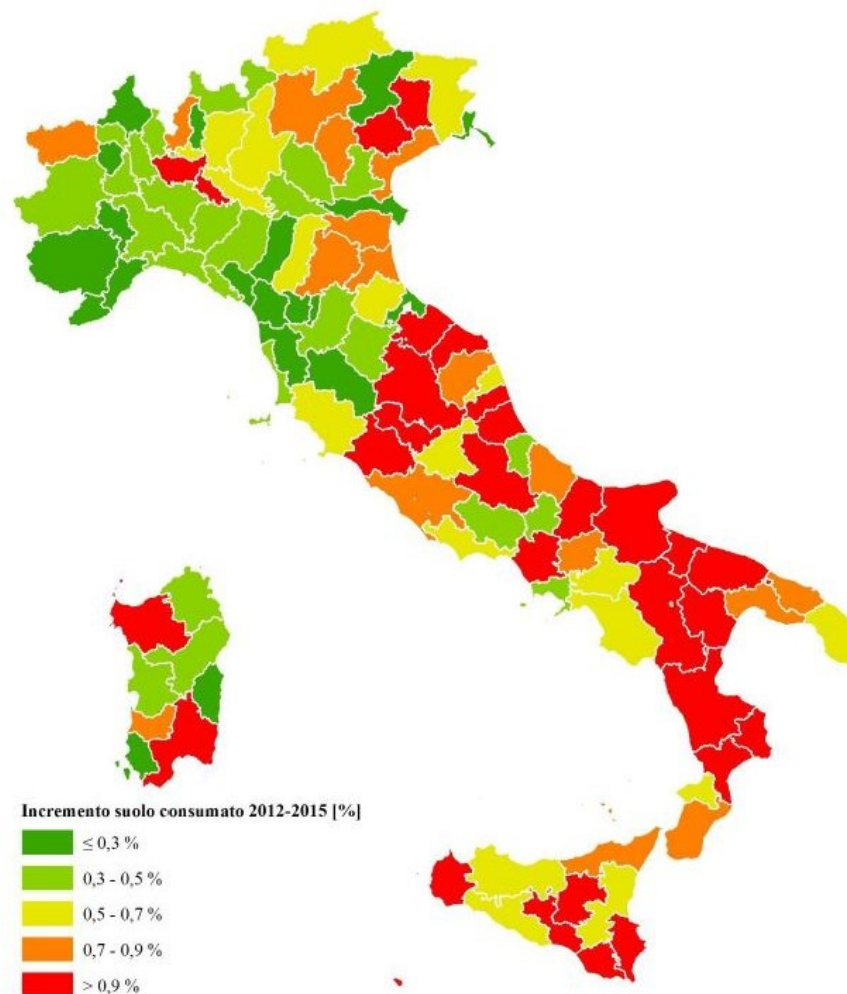


Figura 2.2\_Incremento del suolo consumato a livello provinciale tra il 2012 e il 2015 (%). Fonte: elaborazioni ISPRA su carta nazionale del consumo di suolo ISPRA-ARPA-APPA

### 2.3.1 Analisi comune di Cupra Marittima

Cupra Marittima è un comune della regione Marche situato sulla costa adriatica in provincia di Ascoli Piceno. Il comune si trova a valle di tre colline: Sant'Andrea, Marano e Boccabianca; inoltre confina a nord con Massignano, a sud con Grottammare a ovest con Ripatransone e a est è bagnato dal mar Adriatico.



Figura 2.3\_Posizione del comune di Cupra Marittima all'interno della provincia di Ascoli Piceno

Il comune conta 5406 abitanti (dato ISTAT in aggiornamento) e si estende per 17,34 km<sup>2</sup> per una densità abitativa media di 311,76 ab/ km<sup>2</sup>. Ci sono diverse infrastrutture che attraversano il comune; lungo la costa ci sono: la linea ferroviaria, l'autostrada E55 e la provinciale SS16. All'interno il comune è collegato nella parte più a nord dalla strada provinciale SP91 che si ramifica nella strada provinciale SP142 e da strade comunali che collegano la costa all'entroterra. La parte abitativa si concentra principalmente sulla costa e in piccola percentuale in corrispondenza delle principali arterie della città. La parte residenziale è densamente abitata mentre la parte interna è scarsamente popolata con abitazioni sparse e capannoni industriali.



Di seguito sono riportati i dati relativi al consumo di suolo del comune di Cupra Marittima, sia graficamente sulle mappe [*Figura 2.4*] [*Figura 2.5*], [*Figura 2.6*], [*Figura 2.7*], [*Figura 2.8*] che nelle tabelle [*Tabella 2.1*], [*Tabella 2.2*], [*Tabella 2.3*], [*Tabella 2.4*], [*Tabella 2.5*], relativi al periodo 1954-2016 e le rispettive variazioni percentuali nel tempo. Questa analisi è utile a comprendere soprattutto quanto varia il consumo di suolo rispetto ai periodi di riferimento precedenti ed è svolta analizzando l'incremento in percentuale sulla superficie amministrativa.

Le fonti dalle quali sono state ricavate le informazioni sia al livello di dati che al livello di cartografie e layer di supporto sono: il sito della Regione Marche che ha fornito le ortofoto storiche e i confini amministrativi relativi agli anni di analisi; Corine Land Cover e Ispra ambiente per il confronto dei vari dati con la Regione. L'elaborazione grafica è stata svolta con l'utilizzo del programma ArcGis Pro, il quale ha permesso non solo di realizzare immagini georeferenziate, ma ha anche permesso di calcolare le superfici di suolo consumato esatte.

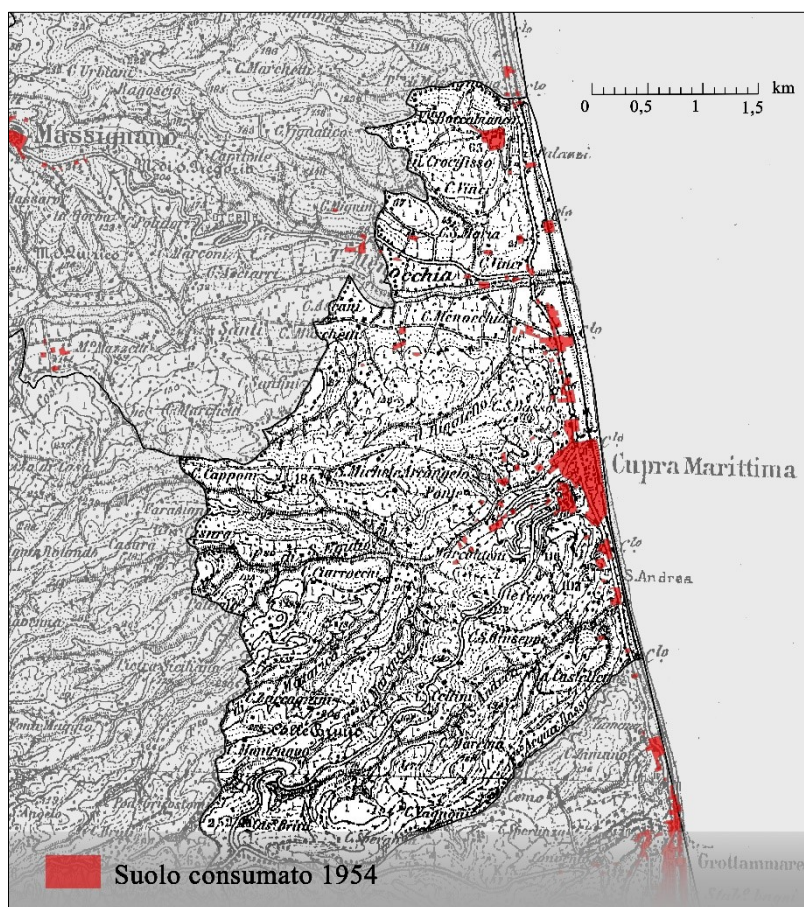


Figura 2.4 \_Mappa del consumo di suolo 1954

Tabella 2.1 \_Suolo consumato 1954: percentuale sulla superficie amministrativa (%)

Comune	Incremento	
	%	km <sup>2</sup>
	1954	1954
Cupra Marittima	2,95	0,512

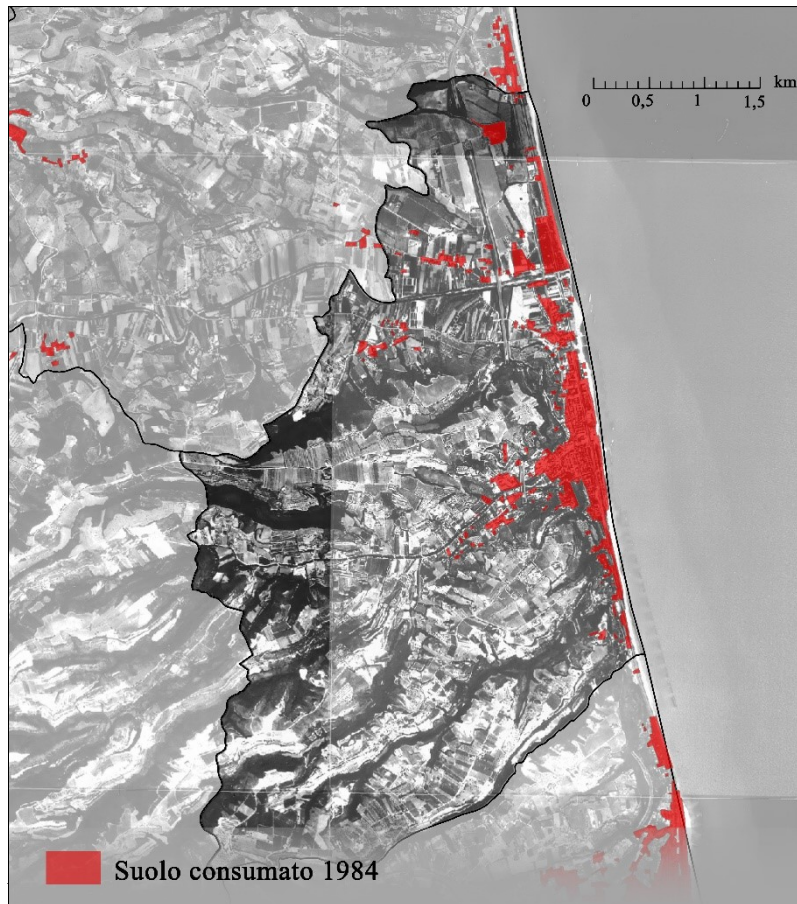


Figura 2.5\_ Mappa del consumo di suolo 1984

Tabella 2.2\_Suolo consumato 1984: percentuale sulla superficie amministrativa (%)

Comune	%	km <sup>2</sup>	Incremento
	1984	1984	1954-1984
Cupra Marittima	5,94	1,03	2,99

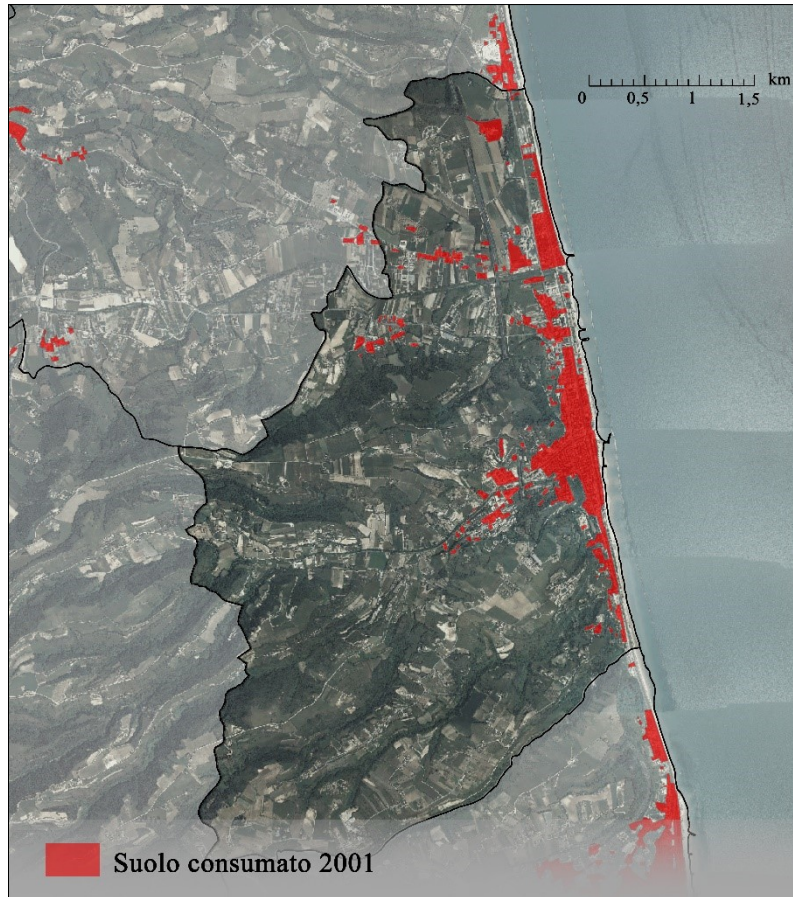


Figura 2.6\_Mappa del consumo di suolo 2001

Tabella 2.3\_Suolo consumato 2001: percentuale sulla superficie amministrativa (%)

Comune	%	km <sup>2</sup>	Incremento
	2001	2001	1984-2001
Cupra Marittima	5,94	1,03	-

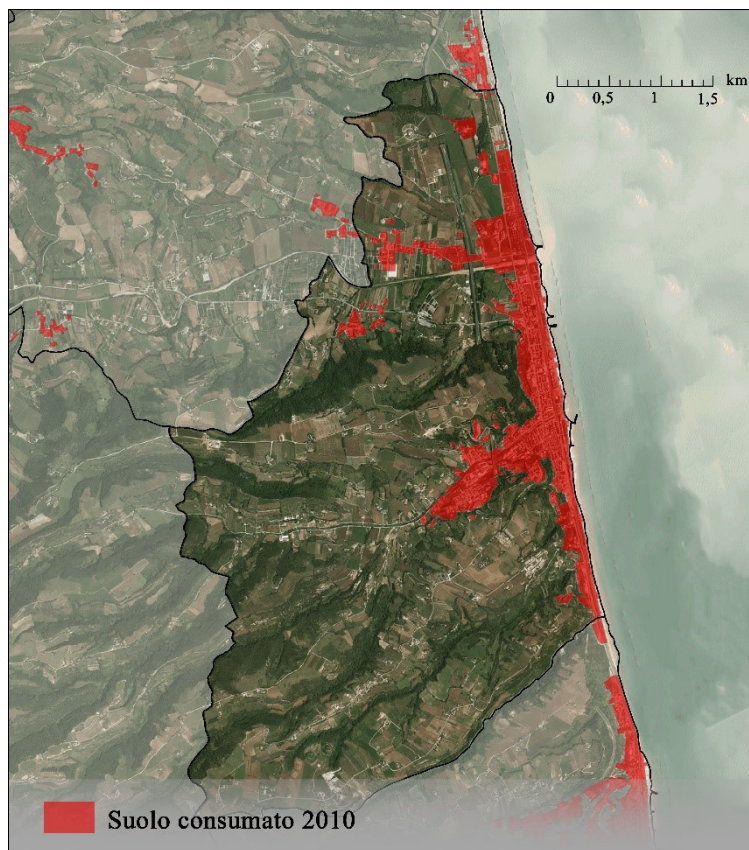


Figura 2.7\_Mappa del consumo di suolo 2010

Tabella 2.4\_Suolo consumato 2010: percentuale sulla superficie amministrativa (%)

Comune	%	km <sup>2</sup>	Incremento
	2010	2010	% 2001-2010
Cupra Marittima	11,10	1,925	5,16

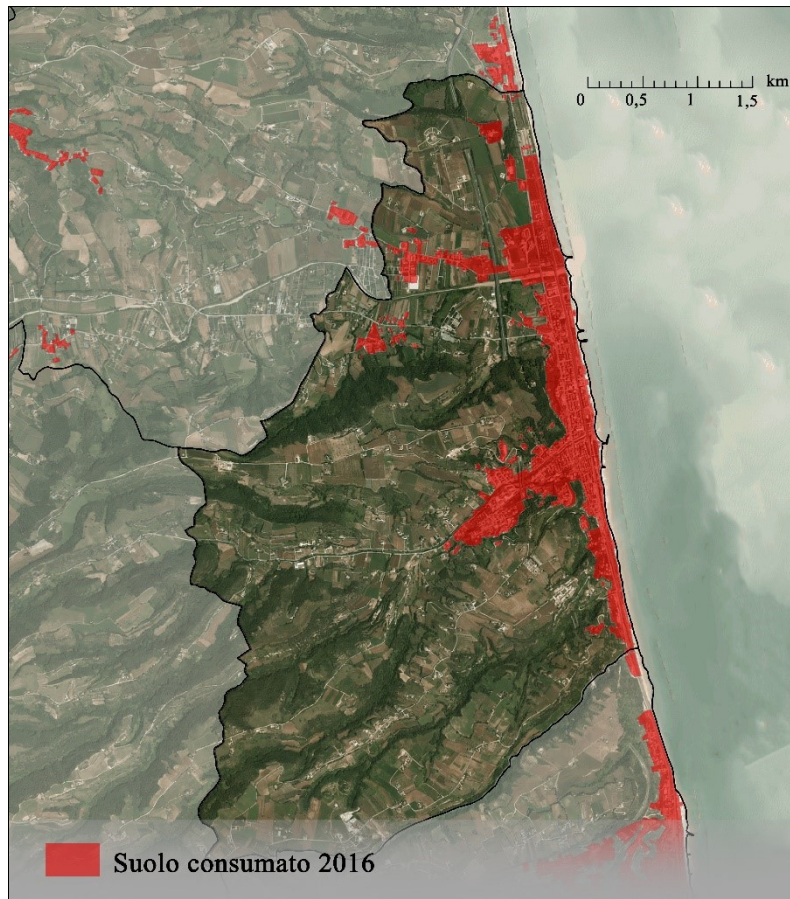


Figura 2.8\_Mappa del consumo di suolo 2016

Tabella 2.5\_Suolo consumato 2016: percentuale sulla superficie amministrativa (%)

Comune	%	km <sup>2</sup>	Incremento
	2016	2016	2010-2016
Cupra Marittima	11,10	1,925	-

Le tabelle [Tabella 2.1], [Tabella 2.2], [Tabella 2.3], [Tabella 2.4], [Tabella 2.5] mostrano: la percentuale sulla superficie amministrativa, la superficie di suolo consumato in km<sup>2</sup> e l'incremento percentuale rispetto al periodo precedente.

Alcuni periodi non riportano alcun incremento percentuale perché non c'è stata alcuna variazione tra questo intervallo temporale, mentre l'anno 1954 riportato in [Tabella 2.1] **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**] non ha un periodo precedente di riferimento con cui confrontare i dati.

Sia a livello grafico che a livello numerico notiamo come il consumo di suolo nel periodo in esame sia cresciuto enormemente e di come l'espansione della città abbia seguito naturalmente la forma dell'insediamento espandendosi sempre intorno alla costa più che disperdersi nella periferia. Questo fenomeno, tipico delle città costiere, è molto diffuso e vede una densità maggiore di abitatio concentrarsi nella parte costiera.

Mettendo in relazione i dati sul consumo di suolo dell'ultimo periodo in esame con quelli della regione e della provincia di riferimento come riportato in [Tabella 2.6], si nota che i dati riscontrati nel comune di Cupra Marittima sono al di sopra della media soprattutto come incremento percentuale: infatti è fondamentale mettere a punto dei protocolli di intervento per far sì che l'incremento percentuale si mantenga il più basso possibile facendo corrispondere ad ogni nuova espansione interventi di demolizione, deimpermeabilizzazione e rinaturalizzazione.

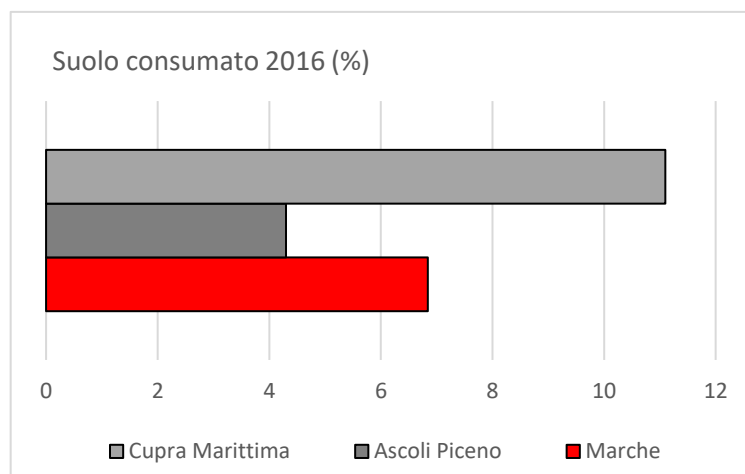


Figura 2.9\_Istogramma suolo consumato 2016: confronto regione, provincia e comune

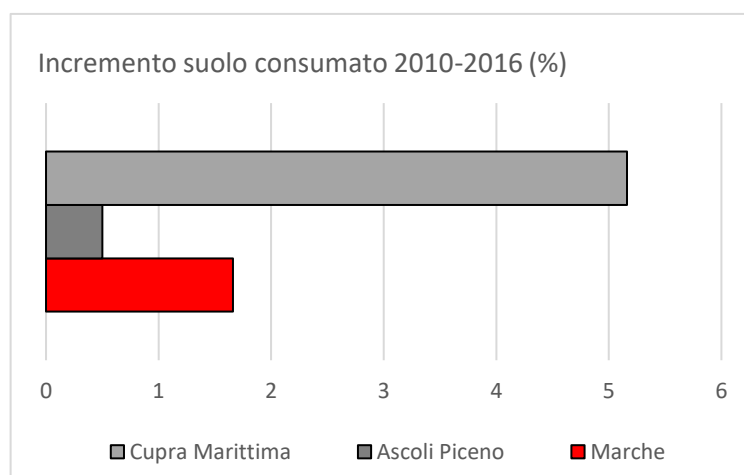


Figura 2.10\_Istogramma incremento suolo consumato 2010-2016: confronto regione, provincia e comune

Tabella 2.6\_Suolo consumato 2016 confronto regione, provincia, comune percentuale sulla superficie amministrativa %

	%	km <sup>2</sup>	Incremento %
	2016	2016	2010-2016
Marche	6,84	641,7	1,66
Ascoli Piceno	4,3	52,5	0,5
Cupra Marittima	11,1	1,925	5,16



Il consumo di suolo è stato aggiornato all'ultimo periodo di riferimento utilizzando l'ortofoto di ArcGis, come riportato in [Figura 2.11], che permette di avere una versione quasi attuale del consumo di suolo includendo anche le strade principali e le autostrade. Sono state trascurate le strade secondarie poiché l'ortofoto non ha una definizione tale da permettere di sapere se si tratta di strade asfaltate o permeabili. Il consumo di suolo ammonta a 2,42 km<sup>2</sup> e l'incremento rispetto al 2016 è solo del 2,88%, quindi negli ultimi anni c'è stato un calo di consumo di suolo e l'incremento percentuale ha smesso di crescere rapidamente come aveva fatto nei periodi precedenti. Tuttavia, non si può sottovalutare neanche un incremento di suolo impermeabile minimo poiché, se non accompagnato da adeguati interventi che creano degli spazi di compensazione, caratterizza un problema ambientale legato agli aspetti descritti in precedenza. Infatti, il PRG riporta "I Piani attuativi di iniziativa pubblica e privata contengono ai sensi della L.R. 22/2011 una verifica di compatibilità idraulica atta a riscontrare che l'intervento non aggravi il rischio idraulico perseguendo il principio dell'invarianza idraulica. Le opere necessarie per il perseguimento della finalità di cui sopra sono classificate tra le opere di urbanizzazione primaria".



*Figura 2.11\_Mappa del consumo di suolo 2018*

Per completare lo studio del consumo di suolo nei vari anni viene riportata la mappa del consumo di suolo in [Figura 2.12] dove si evidenzia attraverso i colori le varie espansioni della città. Inoltre, si riportano di seguito la [Figura 2.11] e la [Figura 2.12] le quali rappresentano due istogrammi: il consumo di suolo nei vari anni, dove sono riportate le colonne per ogni anno con i colori della [Figura 2.12] e dove notiamo la stretta crescita del suolo consumato negli anni, e l'incremento di suolo consumato nei vari anni dove si evidenzia chiaramente che gli anni di maggiore incremento sono rappresentati dal decennio 2001-2010.

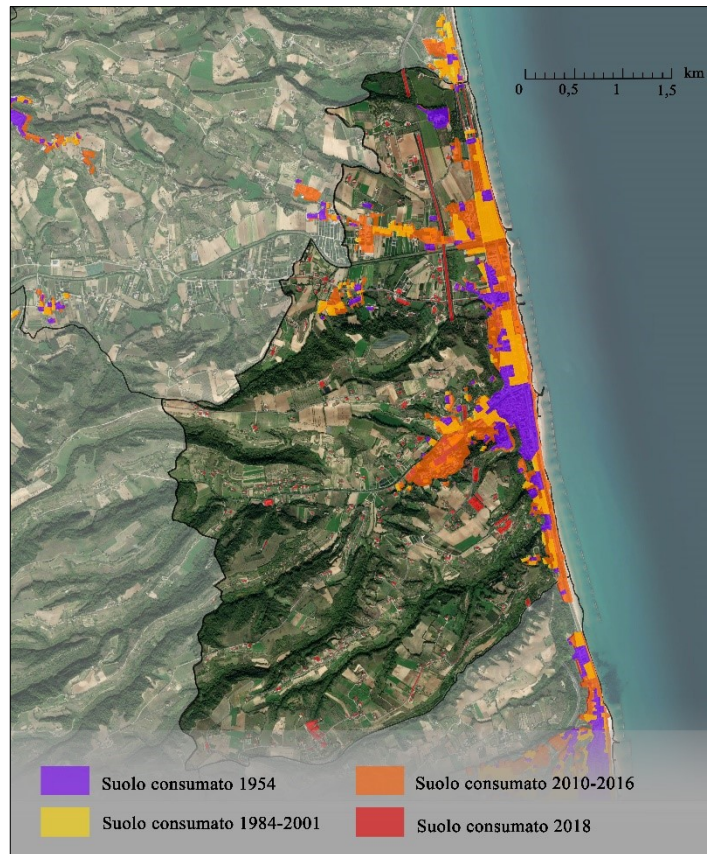


Figura 2.12\_Mappa del consumo di suolo 1958-2018

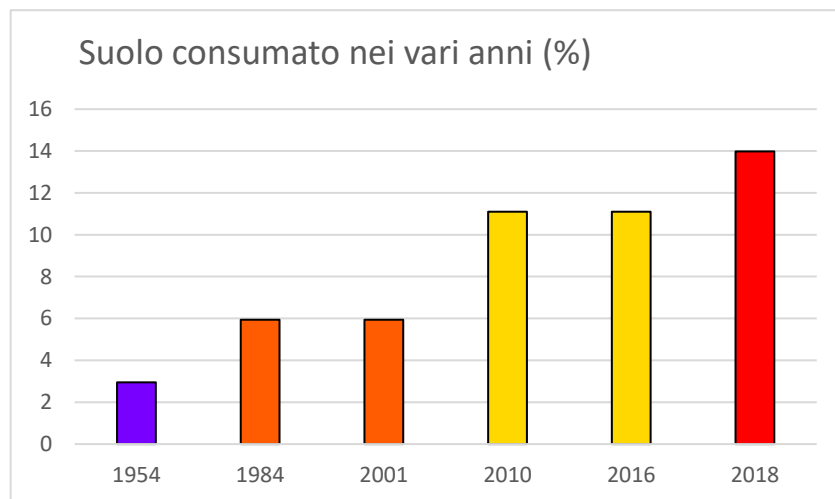
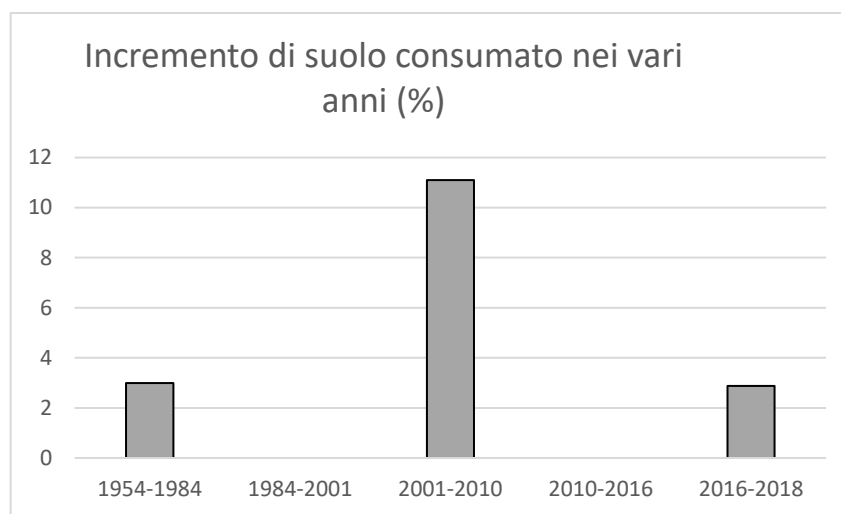


Figura 2.13\_Istogramma suolo consumato nei vari anni: percentuale su superficie amministrativa (%)



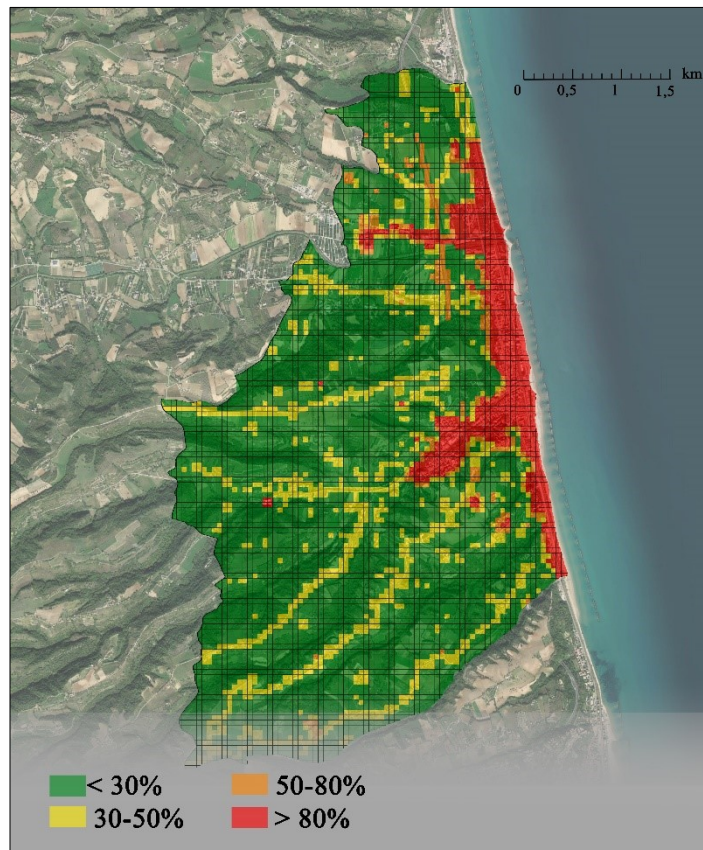
*Figura 2.14\_Istogramma incremento di suolo consumato nei vari anni (%)*

Oltre a condurre un'analisi sulla variazione del tempo di suolo consumato è interessante, ai fini dello studio, analizzare la densità di suolo consumato del periodo più recente in modo da tracciare un vero e proprio schema di riferimento sulla distribuzione del fenomeno. Si distinguono tre tipi di aree: le “aree dense” sono costituite dalle porzioni di territorio urbanizzato aventi un impianto urbanistico significativo; le “aree di transizione” sono caratterizzate da porzioni di territorio di limitata estensione; le “aree libere” hanno prevalentemente una funzione agricola o insediamenti minori sparsi generalmente esterni al tessuto densificato[33].

La [Figura 2.15] riportata evidenzia il consumo di suolo relativo all'ultimo periodo di riferimento, ma dettagliata in percentuale rispetto ad una superficie di riferimento di 50m x 50m quindi 2500 m<sup>2</sup>.

In dettaglio, le aree in verde sono aree libere quindi quelle che hanno un consumo di suolo < 3%, le aree in giallo e in arancione sono aree di transizione cioè quelle che hanno rispettivamente 30-50% e 50-80% di

consumo di suolo ed infine le aree in rosso sono aree dense con una percentuale > 80%.



*Figura 2.15\_Mappa del consumo di suolo 2018: percentuale rispetto ad una superficie di riferimento*

## CAPITOLO 3

### ANALISI DEI DEFLUSSI DEL COMUNE DI CUPRA MARITTIMA

#### 3.1 DESCRIZIONE DEL BACINO DI PROGETTO

Ai fini della comprensione del bacino di studio è utile analizzare l'orografia del territorio a partire dai corsi d'acqua che lo attraversano e dai rilievi.

Il territorio comunale è caratterizzato da due valli disposte più o meno perpendicolarmente alla costa; le altezze massime dei rilievi sono di 173 m.s.l.m. per il crinale più a nord e di 166 m.s.l.m. per il crinale più a sud. I versanti hanno una pendenza di circa l'8% essendo quasi tutti equidistanti dai corsi d'acqua. I torrenti hanno invece una pendenza media di circa il 4%.

Il bacino idrografico di Cupra Marittima è attraversato da diversi corsi d'acqua; pertanto, si può distinguere un'orografia primaria e una secondaria. È attraversata in senso orizzontale a nord dal torrente Menocchia, lungo la parte centrale dal torrente Sant'Egidio e più a sud dal fosso di Sant'Andrea aventi una superficie di influenza rispettivamente di 516 ha, 930 ha e 251 ha nell'area amministrativa di Cupra Marittima. Le aree di influenza che più interessano lo studio sono quella appartenente al torrente Menocchia e quella appartenente al torrente Sant'Andrea. In corrispondenza dei fossi e dei torrenti, infatti, troviamo la rete di drenaggio urbano principale. Oltre a essere le aree più estese sono anche le aree che hanno la densità abitativa maggiore per questo è importante analizzare l'orografia, poiché fa comprendere a pieno come si estende e si sviluppa la rete di drenaggio urbano in relazione ai corsi d'acqua in cui va a scolare. Il bacino di influenza del torrente

Menocchia si estende oltre il comune di Cupra Marittima andando ad interessare altri comuni, tra cui il comune di Massignano.

In figura [Figura 3.1] sono riportati i bacini idrografici e l'idrografia che attraversa il comune di Cupra Marittima.

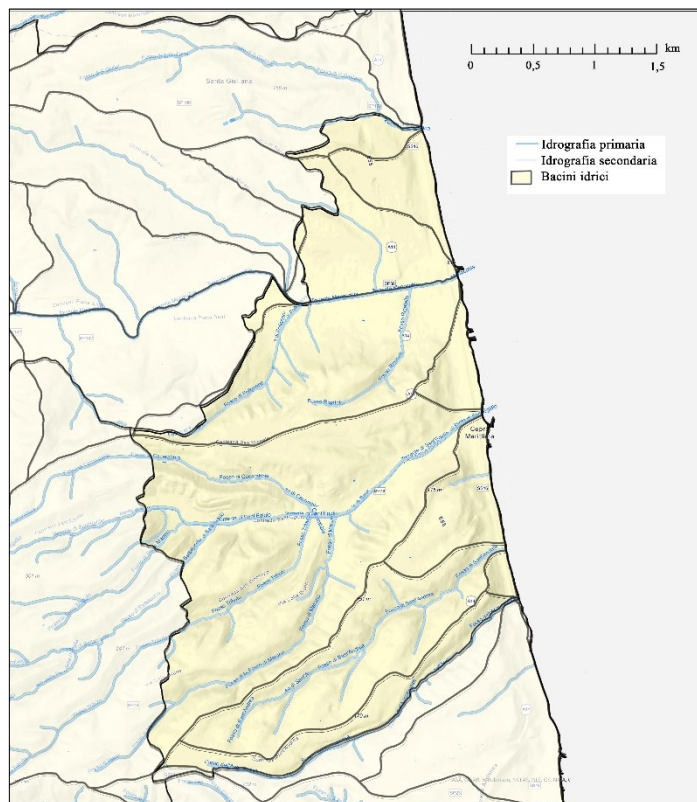


Figura 3.1\_Bacini idrografici e idrografia

L'area in esame si estende per 620 ha e comprende il bacino servito dal depuratore di Cupra Marittima [Figura 3.2] che si estende per tutta la costa e parte dell'entroterra in corrispondenza delle parti più densamente popolate. In particolare, lo studio non si limita solo al comune di Cupra Marittima, ma interessa in parte a nord-ovest il comune di Massignano facente parte dell'area servita dal depuratore a causa della presenza del bacino idrografico del torrente Menocchia che si estende oltre la superficie amministrativa del comune.

Il bacino di studio si estende a tutte le aree servite dal depuratore di Cupra Marittima. La rete è affidata al servizio idrico integrato CIIP: nella gestione è compresa una rete fognaria di 2.302 Km (di cui 680 Km di allacci) che risponde alle necessità depurative dell'89% della popolazione servita [34]. La depurazione è decisiva per salvaguardare l'ambiente e deve garantire che le acque affluenti dalla pubblica fognatura siano trattate dagli impianti, rispettando i limiti allo scarico prescritti dalla legge ed evitando la contaminazione dell'ambiente. Nel controllo di questa attività, la qualità dell'acqua depurata risulta conforme agli standard di legge per il 100% dei casi.

Il depuratore è situato a nord di Cupra Marittima e la rete può essere divisa in due parti: un ramo che viene da nord e un ramo che viene da sud. L'intera rete comprende collettori di fognatura mista oppure fognatura nera che va a scaricare nei collettori di fognatura mista che raccolgono anche le acque meteoriche.

In corrispondenza della ferrovia e dei torrenti sono presenti due impianti di sollevamento di acque nere o miste che servono per superare fisicamente questi ostacoli.

Le misure in impianto fornivano la portata totale in ingresso da cui, conoscendo gli abitanti equivalenti totali, si arrivava ad una portata specifica o dotazione idrica.

Utilizzando poi gli abitanti equivalenti forniti dalla CIIP in corrispondenza degli scolmatori e la portata specifica si potevano determinare le portate nere immesse dalle varie aree in modo tale che la somma di esse fosse uguale alla totale misurata al depuratore. Nel fare questa operazione la dotazione idrica può variare rispetto a quella calcolata sul totale della portata.

Le vasche indicate sono solitamente utilizzate come scolmatori. Gli scolmatori sono scarichi di troppo pieno dei sollevamenti e quindi le portate inserite sono quelle calcolate dalle pompe. La portata è sempre stimata in eccesso e i livelli dei sollevamenti sono imprecisi perché a volte in telecontrollo rivela solo un'indicazione sull'on-off delle pompe, oppure viene misurata attraverso un pressurimetro a fondo della vasca, (di cui non conosciamo l'altezza precisa, che misura la pressione in quel punto). In generale si assume che quando il livello della



vasca supera l'altezza del tubo è entrato in funzione lo scolmatore. Gli scolmatori funzionano anche da scarichi di emergenza attraverso tubi messi nei pozzetti e che in caso di sovrafflussi scolmano nei fossi, oppure di rami di fognatura bianca che scolmano nella fognatura mista.

Di seguito si riporta la figura [Figura 3.2] che mette in evidenza: lo schema della rete, la posizione del depuratore rispetto alla rete e i confini dell'area che è servita dal depuratore.

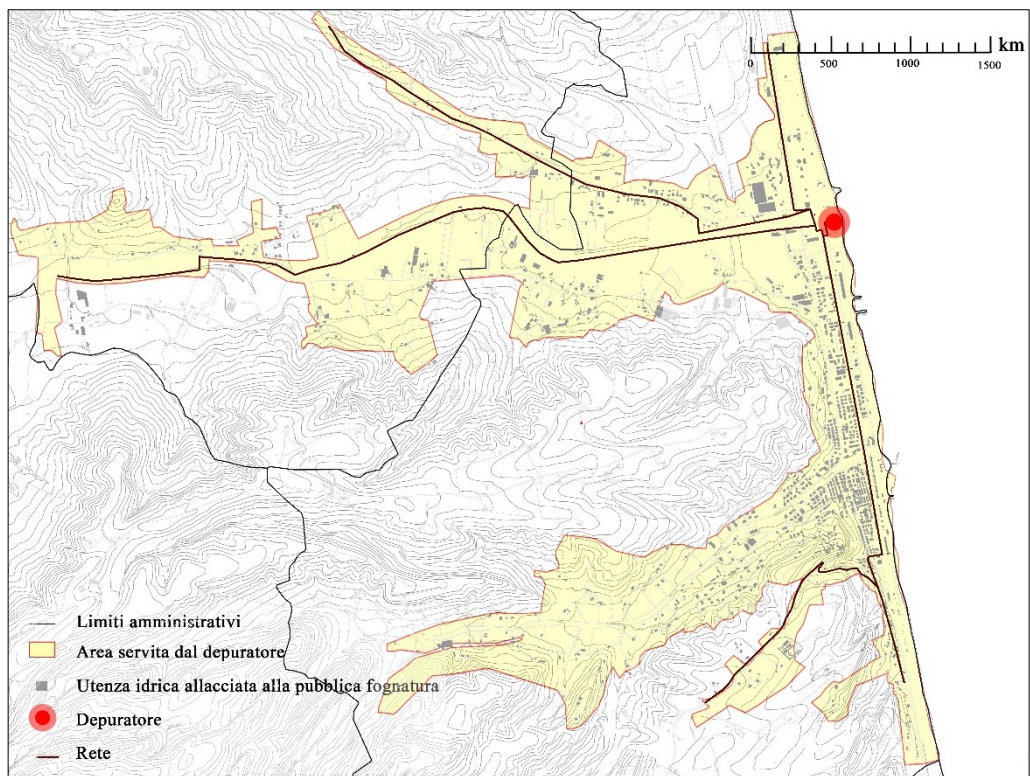


Figura 3.2\_Bacino servito dal depuratore di Cupra Marittima

## CAPITOLO 4

### MODELLAZIONE DEI DEFLUSSI (SWMM)

#### 4.1 STORM WATER MANAGEMENT MODEL

Il modello EPA Storm Water Management Model (SWMM) è un modello dinamico di simulazione del deflusso generato dalle precipitazioni utilizzato per la simulazione di un singolo evento o a lungo termine (continuo) della quantità e qualità del deflusso da aree principalmente urbane. Esso viene utilizzato in questo studio per l'analisi tecnica dei LID.

La componente di deflusso di SWMM opera su un insieme di aree di "subcatchment", o sottobacini, che ricevono le precipitazioni e generano deflusso e carichi inquinanti. La parte di instradamento di SWMM trasporta questo deflusso attraverso un sistema di tubi, canali, dispositivi di stoccaggio/trattamento, pompe e regolatori. SWMM tiene traccia della quantità e della qualità del deflusso generato all'interno di ogni subcatchment, e della portata, della profondità del flusso e della qualità dell'acqua in ogni tubo e canale durante un periodo di simulazione che comprende più fasi temporali.

SWMM è stato sviluppato per la prima volta nel 1971 e da allora ha subito diversi aggiornamenti importanti. Continua ad essere ampiamente utilizzato in tutto il mondo per la pianificazione, l'analisi e la progettazione relativa al deflusso delle acque piovane, fognature combinate, fognature sanitarie e altri sistemi di drenaggio in aree urbane, con molte applicazioni anche in aree non urbane. L'edizione utilizzata, versione 5.1, fornisce un ambiente integrato per modificare i dati di input dell'area di studio, eseguire simulazioni idrologiche, idrauliche e di qualità

dell'acqua, e visualizzare i risultati in una varietà di formati. Questi includono mappe colorate delle aree di drenaggio e dei sistemi di trasporto, grafici e tabelle delle serie temporali, grafici dei profili e analisi statistiche di frequenza.

Quest'ultima riscrittura di SWMM è stata prodotta dalla Divisione per l'approvvigionamento idrico e le risorse idriche del Laboratorio nazionale di ricerca sulla gestione dei rischi dell'Agenzia di protezione ambientale degli Stati Uniti con l'assistenza della società di consulenza CDM, Inc [35].

## 4.2 MODELLAZIONE

SWMM tiene conto di vari processi idrologici che producono il deflusso dalle aree urbane. Questi includono: le precipitazioni variabili nel tempo, l'evaporazione da superfici d'acqua, l'accumulazione e scioglimento della neve, l'infiltrazione delle acque meteoriche in terreni non saturi e la cattura e ritenzione della pioggia e del deflusso tramite l'utilizzo di diverse tipologie di LID.

L'area di studio viene divisa in una serie di sottobacini per facilitare il calcolo e quindi ogni sottobacino ha le sue caratteristiche. Essi poi possono essere connessi tra loro attraverso le condotte che vengono assegnate all'interno del software.

SWMM permette inoltre di:

- gestire le reti di dimensione infinita;
- modellare elementi speciali come unità di immagazzinamento e trattamento, pompe, valvole, divisori e definire le regole di controllo dinamico personalizzate;
- utilizzare la metodologia dell'onda cinematica o dell'onda dinamica
- stimare la produzione di carichi inquinanti associati al deflusso.

### 4.3 PARAMETRI GENERALI DEL BACINO

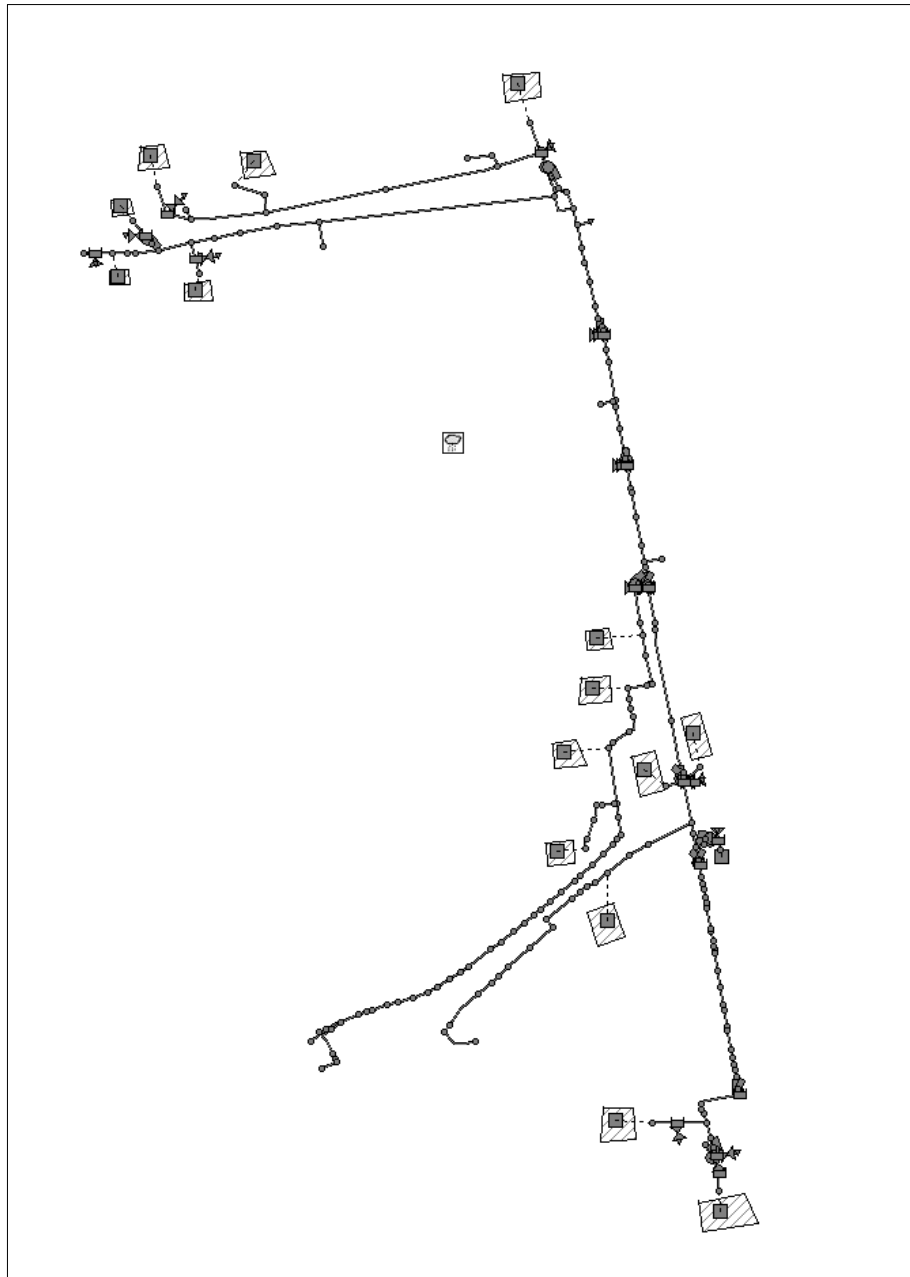
La creazione dei bacini di riferimento avviene attraverso lo strumento “subcatchment” sul quale vanno specificate le sue caratteristiche. I sottobacini sono stati suddivisi a loro volta in sottobacini più piccoli con il fine di agevolare il calcolo la creazione degli scenari e proporre degli interventi mirati su porzioni di territorio più piccole. Predisponendo delle porzioni ridotte di sottobacino, inoltre, è più semplice valutare se l’introduzione dei LID controls sia effettivamente di beneficio nella simulazione del modello.

I parametri che influenzano maggiormente la calibrazione del modello sono l’area quindi la superficie dell’intero sottobacino di riferimento e il Width che è il rapporto tra la superficie del bacino e la lunghezza media del massimo percorso che il deflusso può compiere prima di generare ruscellamento. La lunghezza di questo percorso in un bacino reale non è di facile deduzione poiché la forma del bacino è irregolare e quindi bisogna affidarsi ad un valore medio.

Altri parametri considerati sono la pendenza media del sottobacino e la percentuale di superficie impermeabile. La pendenza varia per ogni sottobacino essendo l’area di riferimento molto vasta di valori compresi tra 1,1 e 10,1 %.

I parametri N-Imperv e N-perv sono i valori della n di Manning per le superfici impermeabili e permeabili, mentre i parametri Dstore-Imperv e Dstore-Perv rappresentano l’intervallo medio delle depressioni superficiali rispettivamente per aree impermeabili e permeabili. Questi parametri sono considerati uguali per tutti i sottobacini con i valori forniti di default dal software per facilitare la calibrazione degli altri parametri in modo da poter giungere in maniera lineare ai risultati attesi poiché questi ultimi parametri non hanno un grosso impatto sul calcolo delle precipitazioni. I valori sono 0.01 e 0.1 per N-Imperv e per N-Perv rispettivamente 0.05 per entrambi i Dstore. Infine, il parametro %Zero-Imperv, rappresentante la percentuale di area priva di depressioni superficiali è preso pari a 25.

Si riporta di seguito in figura [Figura 4.1] lo schema della modellazione del software prima di aver effettuato l’intervento di divisione delle aree.



*Figura 4.1\_Modello SWMM situazione attuale con aree non divise*

Si riportano di seguito [Tabella 4.1] i dati utilizzati per la definizione di ogni sottobacino. L'outlet rappresenta il nodo di scarico del sottobacino in condotta, in quel punto i flussi provenienti dalla condotta si sommano a quelli immessi da parte del sottobacino introdotto.

Tabella 4.1\_Caratteristiche subcatchments

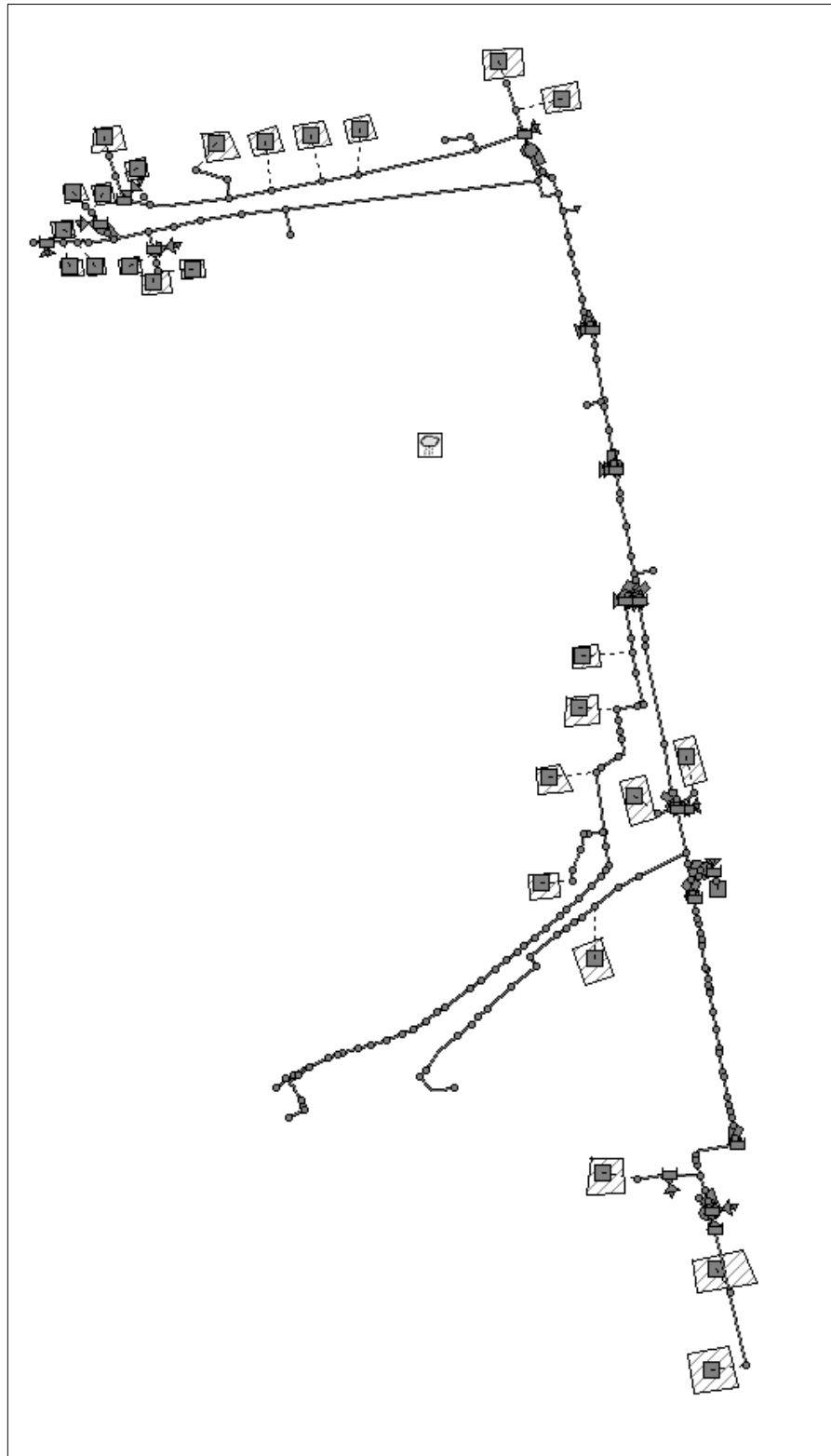
Name	Outlet	Area (ha)	Width (m)	% Slope	% Imperv
SUB1	202088	1.36	138.42	2	22
SUB2	13	0.98	243.14	8.5	20
SUB3	14	3.31	829.81	10.1	13
SUB4	15	1.31	137.7	4.8	15
SUB5	28	2	400	2.6	15
SUB6	16	1.5	200	4.7	12
SUB8	24	0.2	53.14	0.9	11.44
SUB9	200226	1.12	141.16	1.1	59
SUB9a	201988	1.12	141.16	1.1	59
SUB9b	201993	1.12	141.16	1.1	59
SUB9c	202101	1.12	141.16	1.1	59
SUB10	25	1.68	223.01	1.1	63
SUB11	200337	2.34	129.07	1.1	53
SUB12	200560	4	200	15	25
SUB13	22	0.3	100	5.5	13
SUB14	26	2.54	126.87	1.1	34

A questo punto dello studio, dove possibile, si procede all’inserimento di nuovi sottobacini in modo da dividere le vecchie aree in sottobacini più piccoli con il fine di avere una migliore schematizzazione dei deflussi. I nuovi sottobacini hanno caratteristiche uguali alle precedenti in termini di pendenza e percentuale impermeabile e il width calcolato in maniera proporzionale all’area scelta. L’area è stata divisa in base a diversi criteri: posizione della condotta rispetto al sottobacino e eventuale presenza di condotte secondarie non presenti nel modello; posizione e distribuzione degli edifici all’interno del sottobacino anche in base alle curve di livello quindi seguendo l’orografia del terreno. Per le sopracitate motivazioni, spesso le aree non risulteranno divise in maniera proporzionale; pertanto, lo scopo di questa fase è alleggerire la rete dai deflussi sovrastimati a causa di un sovradimensionamento delle aree di sottobacino–, agevolando il calcolo e la gestione dei risultati e delle proposte di progetto. I criteri utilizzati per la divisione, quindi, risultano efficaci ai fini dello studio.

Si riporta di seguito in figura [Figura 4.2] schema della modellazione del software dopo aver effettuato l'intervento di divisione delle aree.

Di seguito sono riportati [Tabella 4.2] i dati della nuova configurazione. Sono indicati con le lettere (es. 1a, 1b, 1c) i sottobacini che hanno le stesse caratteristiche, in termini di configurazione del terreno quali pendenza e percentuale di superficie impermeabile, dei precedenti sottobacini più grandi.

Per l'introduzione di questi sottobacini, inoltre, sono stati introdotti nuovi Outlet per collegarli correttamente alla condotta di scarico del sottobacino di riferimento. Per la definizione di questo parametro che sul software si configura come "Junction", sono stati definiti due parametri principali: invert elevation e max. depth, entrambi calcolati geometricamente sulla base delle altezze dei nodi alle estremità della condotta.



*Figura 4.2\_Modello SWMM situazione attuale con aree divise*



Tabella 4.2\_Caratteristiche subcatchments con la nuova configurazione

Name	Outlet	Area (ha)	Width (m)	% Slope	% Imperv
SUB1					
1a	202088	1,08	109,92	2	22
1b	202087	0,12	12,21	2	22
1c	202090	0,15	15,26	2	22
SUB2					
2a	13	0,21	52,1	8,5	20
2b	48	0,76	188,56	8,5	20
SUB3					
3a	50	0,87	218,11	10,1	13
3b	51	1,99	498,89	10,1	13
3c	14	0,46	155,32	10,1	13
SUB4					
4a	15	0,44	46,25	4,8	15
4b	52	0,87	91,45	4,8	15
SUB5					
5a	28	0,38	76	2,6	15
5b	56	0,88	176	2,6	15
5c	57	0,47	94	2,6	15
5d	19	0,25	50	2,6	15
SUB6					
6a	16	0,89	118,67	4,7	12
6b	53	0,61	81,33	4,7	12
SUB7	202101	1,12	141,16	1,1	59
SUB8					
8a	201993	1,12	141,16	1,1	59
8b	201998	1,12	141,16	1,1	59
8c	200226	1,12	141,16	1,1	59
SUB9	26	2,54	126,87	1,1	34
SUB10	25	1,68	223,01	1,1	63
SUB11	200337	2,34	129,07	1,1	53
SUB12	24	0,2	53,14	0,9	11,44
SUB13	22	0,3	100	5,5	13
SUB14					
14a	60	1,11	55,5	15	25
14b	200560	2,89	28,5	15	25

## 4.4 PARAMETRI DEI TERRENO

Il modello di infiltrazione del terreno scelto è quello di Curve Number. Questo metodo è stato proposto dal SCS (Soil Conservation Service) per determinare la quantità di precipitazione che penetra nel terreno a partire dalla conoscenza della pioggia totale e dagli usi del suolo. Rispetto al metodo numerico originale lo SWMM utilizza una forma modificata e incrementale del metodo che tiene conto solo delle perdite per infiltrazione perché le altre sono modellate separatamente.

Il modello Curve Number mette in relazione il deflusso totale dell'evento  $Q$  con la precipitazione totale  $P$ .

$$Q = \frac{P^2}{P+S_{max}} \quad (2)$$

$S_{max}$ : capacità massima di accumulo dell'umidità del terreno oppure differenza del volume d'acqua contenuto in un terreno completamente saturo rispetto ad un terreno drenato.

$S_{max}$  è derivato da un valore CN "curve number" tabulato che varia con la tipologia di suolo e le precedenti condizioni.

$$S_{max} = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3)$$

Le equazioni utilizzano le unità di misura in pollici.

Nel metodo formale la  $P$  è sostituita da  $P$ -la che tiene conto del volume di pioggia catturato dall'intercettazione vegetativa, dal riempimento delle depressioni e dalla saturazione iniziale del suolo. SWMM tiene già conto di questi fenomeni attraverso il parametro di accumulo, quindi non è necessario questo perfezionamento.

Assumendo che tutte le precipitazioni che non defluiscono siano perse per infiltrazione ( $P-Q=F$ ) l'equazione (1) può essere estesa per prevedere l'infiltrazione totale.

$$F = P - \frac{p^2}{P+S_{max}} \quad (4)$$

Siano  $P_1$  e  $F_1$  le precipitazioni e le infiltrazioni cumulate, rispettivamente, all'inizio del passo temporale. Alla fine, si avrà:

$$P_2 = P_1 + i * \Delta t \quad (5)$$

$$F_2 = P_2 - \frac{p_2^2}{P_2 + S_e} \quad (6)$$

Per una simulazione di un singolo evento,  $S_e$  è uguale a  $S_{max}$ , ma può essere inferiore quando l'esaurimento e il recupero della capacità di accumulo dell'umidità avvengono in un periodo di simulazione più lungo.

La velocità di infiltrazione  $f$  (ft/sec) può quindi essere calcolata come:

$$f = (F_2 - F_1) / \Delta t \quad (7)$$

e i valori cumulativi vengono aggiornati a  $P1=P2$  e  $F1=F2$  per prepararsi al passo temporale successivo. Si noti che, allo stato attuale, questo modello non consentirebbe l'infiltrazione dell'acqua stagnante quando c'è un periodo di assenza di precipitazioni all'interno di un evento. Per ovviare a questa limitazione, si assume che il tasso di infiltrazione per tali periodi rimanga lo stesso del periodo immediatamente precedente.

Con il metodo CN sono necessari solo due parametri:

- numero di curva;
- tempo di asciugatura (tempo necessario a un terreno saturo per tornare allo stato asciutto).

La determinazione di tale parametro presuppone la conoscenza del gruppo idrologico di ciascun suolo appartenente al bacino in esame. Ci sono quattro classi in base alla capacità di assorbimento:

- Gruppo A: costituito da suoli con basso potenziale di deflusso e alto tasso di infiltrazione quando sono completamente umidi. Sono suoli costituiti da sabbie e ghiaie e usualmente vengono incluse anche sabbie limose e limi sabbiosi; tali terreni hanno una trasmissività maggiore di 0,76 cm/h;
- Gruppo B: costituito da suoli con moderato tassi di infiltrazione quando sono completamente bagnati e da terreni da poco profondi a profondi, poco o molto drenati con tessitura da fine a grossolana. In questo gruppo rientrano i limi e i limi siltosi, con una trasmissività compresa tra 0,38 e 0,76 cm/h;

- Gruppo C: costituito da suoli con un basso tasso di infiltrazione quando sono completamente bagnati e sono costituiti da suoli con uno strato che limita il movimento verso il basso dell'acqua e i suoli con una tessitura da moderatamente fine a fine; sono incluse le argille sabbiose e limose; hanno trasmissività compresa tra 0,13 a 0,38 cm/h;
- Gruppo D: costituito da suoli con un elevato potenziale di deflusso e un tasso di infiltrazione molto basso. Sono costituiti da argille con elevato potere di ritenzione idrica, suoli con uno strato argilloso vicino alla superficie e suoli poco profondi che poggiano su uno strato impermeabile tra cui: argille limose, argille siltoso-limose, argille siltose, argille ed argille sabbiose; questi suoli hanno una trasmissività molto bassa che va da 0 a 0,13 cm/h.

Il CN viene utilizzato per calcolare la capacità massima di immagazzinamento di umidità al suolo, il tempo  $T_{dry}$  viene utilizzato per calcolare la costante  $k_r$ .

$$k_r = \frac{1}{24 * T_{dry}} \quad (8)$$

In primo luogo, i numeri di curva si applicano solo alle normali condizioni di umidità. Per AMC I (bassa umidità) o AMC III (alta umidità) è possibile apportare le seguenti modifiche ai valori tabulati:

$$CN(I) = \frac{4,2 * CN(II)}{10 - 0,058 * CN(II)} \quad (9)$$

$$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0,13 * CN(II)} \quad ($$

10)

Per le simulazioni a lungo termine si dovrebbe utilizzare il numero di curva AMC I per consentire al suolo di raggiungere la massima umidità possibile durante i periodi di siccità prolungata. In secondo luogo, le descrizioni di uso del suolo della [Tabella 4.2] raggruppano le porzioni permeabili e impermeabili dell'area del sottobacino a cui viene assegnato un numero di curva. Il sottobacino in questione deve quindi essere modellato come se fosse completamente permeabile senza alcuna suddivisione in aree permeabili e impermeabili. Se si vogliono continuare a suddividere i propri sottobacini in aree permeabili e impermeabili, si dovranno aggiustare i numeri della curva per rimuovere gli effetti dell'impervietà [25].

Tabella 4.3\_Valori del CN per differenti gruppi di terreno (NRCS, 2004a)

Descrizione dell'uso del suolo		Gruppo del suolo idrologico			
		A	B	C	D
Terreno coltivato					
Senza trattamento conservativo		72	81	88	91
Con trattamento conservativo		62	71	78	81
Pascoli o prati					
Condizioni precarie		68	79	86	89
Buone condizioni		39	61	74	80
Prati					
Buone condizioni		30	58	71	78
Terreno boschivo o forestale					
Popolamento sottile, copertura scarsa, assenza di pacciamatura		45	66	77	83
Buona copertura		25	55	70	77
Spazi aperti, prati, parchi, campi da golf, cimiteri, ecc.					
Buone condizioni: copertura erbosa sul 75% o più dell'area		39	61	74	80
Condizioni discrete: copertura erbosa sul 50-75% dell'area		49	69	79	84
Aree commerciali e direzionali (85% impermeabili)		89	92	94	95
Quartieri industriali (72% di superfici impermeabili)		81	88	91	93
Residenziale					
Dimensione media del lotto	% media impermeabile				
1/8 ac o meno	65	77	85	90	92
1/4 ac	38	61	75	83	87
1/3 ac	30	57	72	81	86
1/2 ac	25	54	70	80	85
1 ac	20	51	68	79	84
Parcheggi pavimentati, tetti, vialetti, ecc.		98	98	98	98
Strade e vie					
Pavimentate con cordoli e fognature		98	98	98	98
Ghiaia		76	85	89	91
Sterrato		72	82	87	89

## 4.5 PRECIPITAZIONI

Le precipitazioni in SWMM vengono modellate attraverso lo strumento “Rain Gage” che rappresenta i dati pluviometrici forniti dall’utente. Ad ogni sottobacino è possibile assegnare un Rain Gage per effettuare la simulazione.

Le piogge sono state elaborate utilizzando i dati provenienti dalla stazione pluviografica di Pedaso con dati del periodo 1933-2007. Per ricavare l’equazione sono state utilizzate le piogge orarie. L’equazione di possibilità pluviometrica è calcolata per un prefissato tempo di ritorno di 1 anno e risulta:

$$h = 10.666 * t^{0.2982} \quad (11)$$

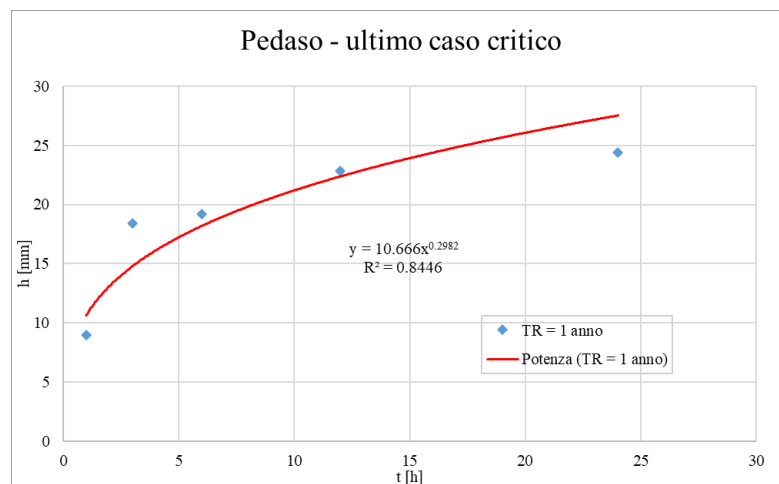


Figura 4.3\_ Ultimo caso critico, piogge di Pedaso

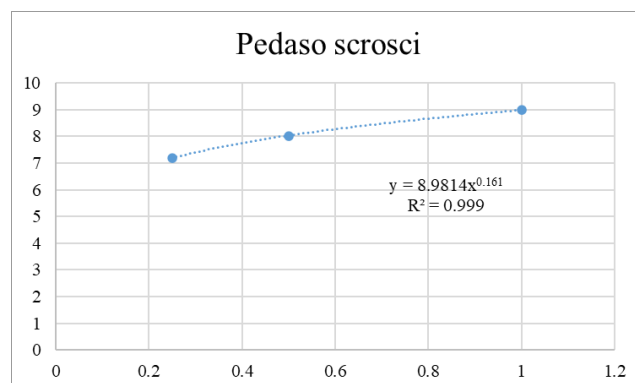


Figura 4.4\_ Scrosci, piogge di Pedaso

Sono state utilizzate anche le curve con il tempo di ritorno di 5 e 10 anni per un'analisi completa dello studio.

Nel caso di studio è stato modellato un unico Rain Gage, essendo il bacino non molto esteso, ovvero il Rain Gage “R1” [Figura 4.5\_Parametri del Rain GageFigura 4.5].

Rain Gage R1	
Property	Value
Name	R1
X-Coordinate	351.823
Y-Coordinate	9271.537
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:15
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	TR5Y
DATA FILE:	
- File Name	
- Station ID	*
- Rain Units	IN

Figura 4.5\_Parametri del Rain Gage

I valori di intensità inseriti sono stati calcolati dopo aver fatto il ragguglio all'area dei coefficienti a e n con le formule di Puppini. Il ragguglio delle piogge all'area serve per tenere in considerazione la variazione dell'altezza di pioggia e dell'intensità in funzione dell'area S del bacino considerato.

Il Rain Format è impostato su “Intensity” perché viene imposta un'intensità di pioggia. È necessario inoltre associare una “Time Serie” cioè una serie temporale definita attraverso gli intervalli di tempo e il valore della precipitazione che in questo caso sarà costante in tutti gli intervalli di tempo. Gli intervalli di tempo sono di 15 minuti, fino alla fine della precipitazione che dura un'ora. Vengono create tre Time Series rispettivamente per il tempo di ritorno di 1 anno, 5 anni e 10 anni. Tutte e tre le Time Series hanno stessi intervalli di tempo considerati, ma differiscono per il valore della precipitazione preso costante nel tempo [Figura 4.6].

Time Series Editor

Time Series Name  
TR1Y

Description

Use external data file named below

Enter time series data in the table below  
No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
04/14/2020	0:00	0
04/14/2020	0:15	9.57
04/14/2020	0:30	9.57
04/14/2020	0:45	9.57
04/14/2020	1:00	9.57

View

OK

Cancel

Help

Time Series Editor

Time Series Name  
TR5Y

Description

Use external data file named below

Enter time series data in the table below  
No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
04/14/2020	0:00	0
04/14/2020	0:15	30.07
04/14/2020	0:30	30.07
04/14/2020	0:45	30.07
04/14/2020	1:00	30.07

View

OK

Cancel

Help

Time Series Editor

Time Series Name  
TR10Y

Description

Use external data file named below

Enter time series data in the table below  
No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
04/14/2020	0:00	0
04/14/2020	0:15	36.08
04/14/2020	0:30	36.08
04/14/2020	0:45	36.08
04/14/2020	1:00	36.08

View

OK

Cancel

Help

Figura 4.6\_Serie temporali per tempo di ritorno 1 anno, 5 anni e 10 anni



## 4.6 RISULTATI

In questo paragrafo vengono riportati i risultati relativi alla simulazione effettuata mediante il software SWMM. In questo capitolo vengono messi a confronto i risultati relativi al modello con le aree divise e con le aree non divise, entrambi senza l'applicazione dei sistemi LID in modo da fotografare la situazione allo stato attuale. In particolare, vengono messi in risalto i risultati relativi alle portate di alcune condotte significative, i deflussi superficiali e i volumi di acqua infiltrati per ogni tempo di ritorno.

Al termine delle operazioni di definizione del bacino di studio, è possibile effettuare una simulazione che ci permetterà di leggere i risultati e la risposta del bacino prima dell'introduzione dei sistemi di drenaggio; quindi, fotografa la situazione allo stato attuale. Per semplicità di trattazione chiameremo la situazione pre-progetto Scenario 0, per distinguerlo e confrontarlo agevolmente con gli altri scenari che verranno introdotti in seguito.

### 4.6.1 Portate in condotta

In primo luogo, si analizzano i risultati con il bacino di studio non suddiviso in tanti sottobacini, in modo da poterli confrontare con quelli della configurazione attuale. Si vanno a confrontare le portate a valle delle condotte dove scaricano i sottobacini oggetto di modifica che sono quelle dove potremmo trovare delle variazioni significative [*Tabella 4.4*]. Le condotte che si vanno ad analizzare sono le due a valle dei rami che vengono da est che colleghino i sottobacini 1, 2, 3 quello più in basso (condotta 75) e i sottobacini 4, 5 quella più in alto (condotta 141), il ramo che viene da nord e che colletta il sottobacino 6 (condotta 178) e il ramo che viene da sud che colletta il sottobacino 12 (condotta 133) come riportato nello schema [*Figura 4.7*].

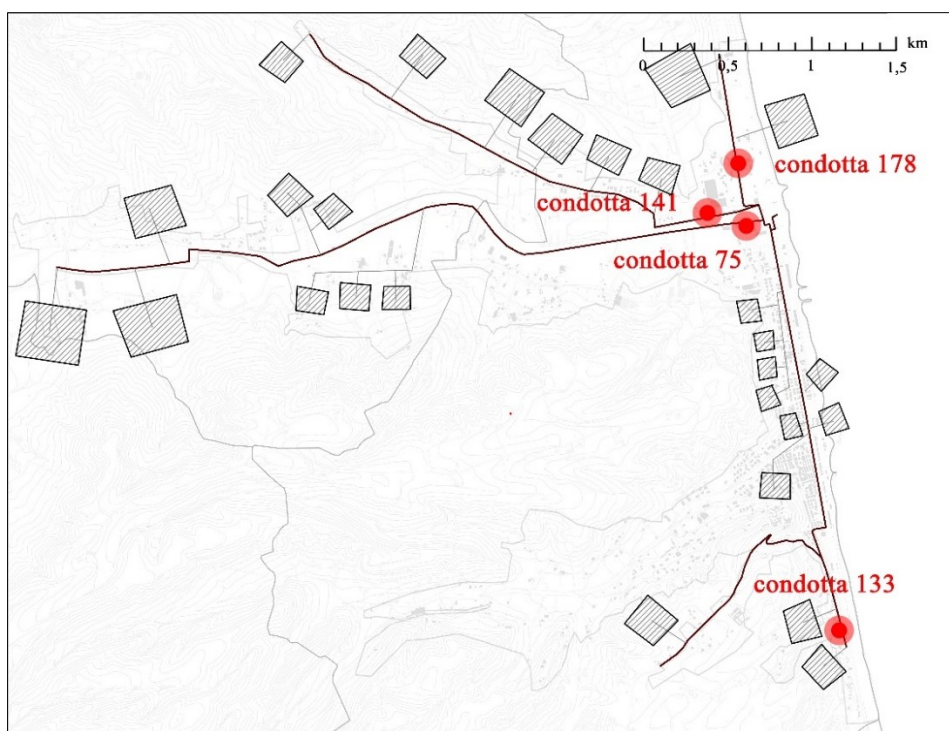


Figura 4.7\_Schema SWMM del posizionamento delle condotte analizzate

Tabella 4.4\_Portate delle condotte analizzate per ogni tempo di ritorno

	Flow max (l/s) TR1Y		Flow max (l/s) TR5Y		Flow max (l/s) TR10Y	
	Aree non divise	Aree divise	Aree non divise	Aree divise	Aree non divise	Aree divise
Condotta 141	24.25	11.26	28.59	10.54	31.88	31.88
Condotta 75	20.01	3.9	147.85	45.52	153.09	58.68
Condotta 178	10.65	6.98	14.71	14.71	14.71	14.71
Condotta 133	45.79	19.54	52.14	52.14	52.14	52.14

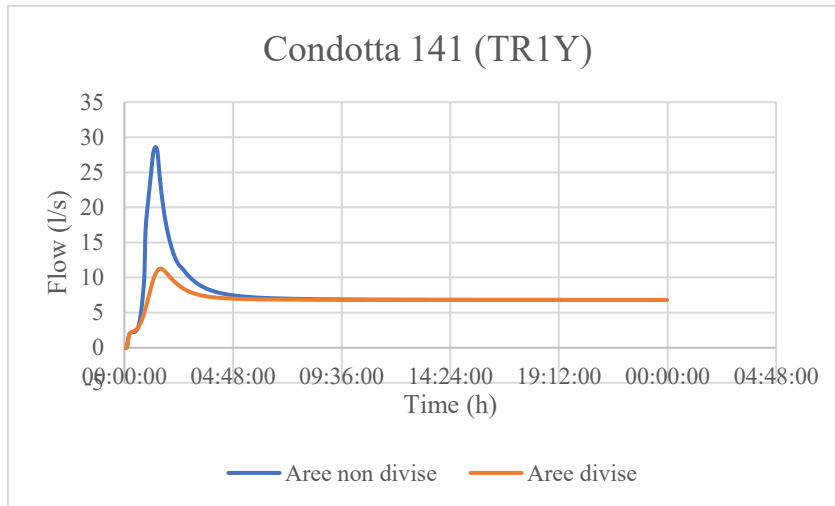


Figura 4.8\_Idrogramma di flusso della condotta 141 per tempo di ritorno 1 anno

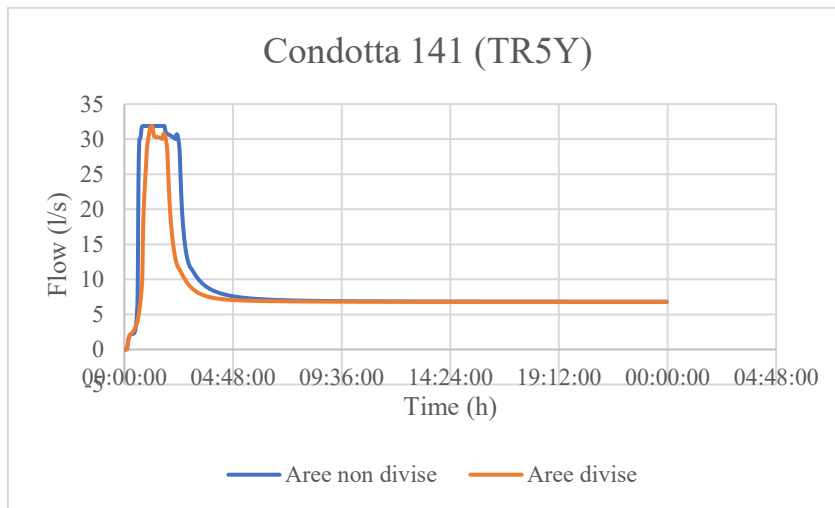


Figura 4.9\_Idrogramma di flusso della condotta 141 per tempo di ritorno 5 anni

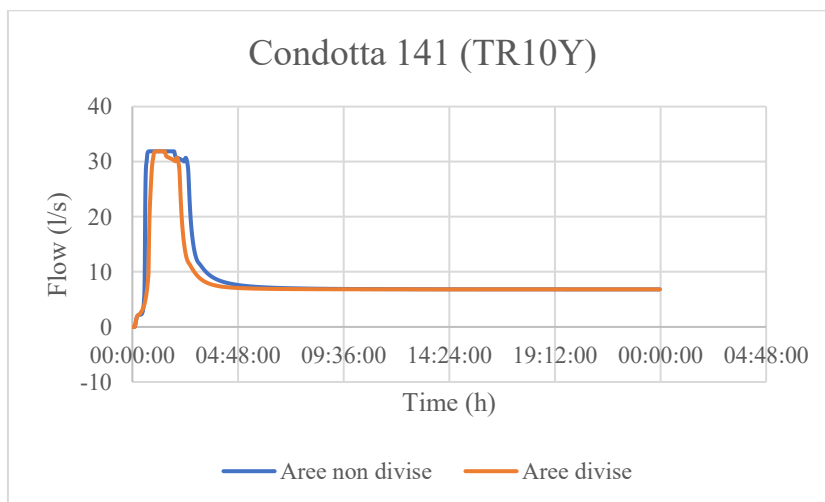


Figura 4.10\_Idrogramma di flusso della condotta 141 per tempo di ritorno 10 anni

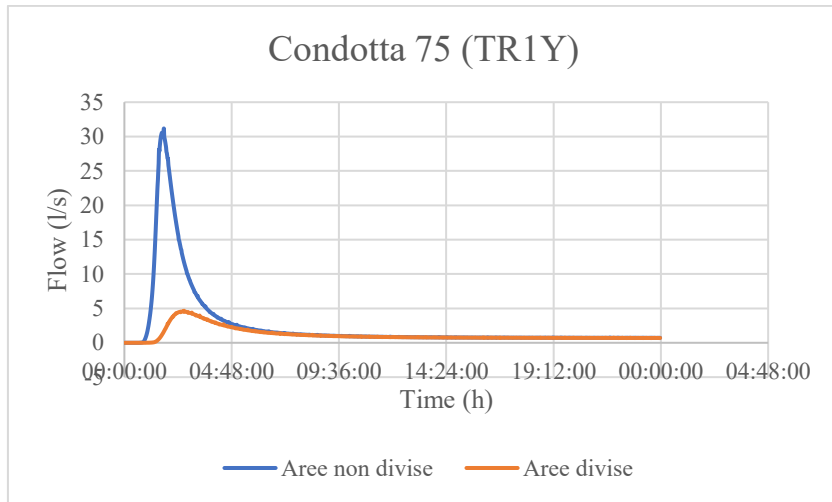


Figura 4.11\_Idrogramma di flusso della condotta 75 per tempo di ritorno 1 anno

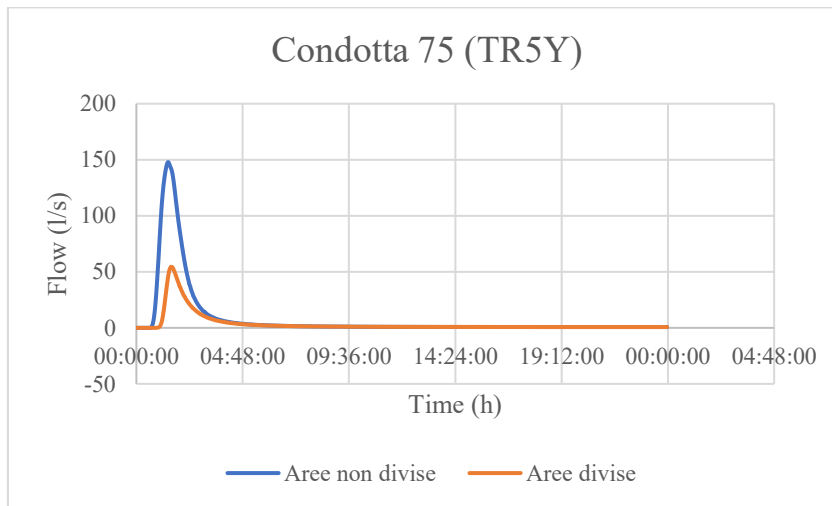


Figura 4.12\_Idrogramma di flusso della condotta 75 per tempo di ritorno 5 anni

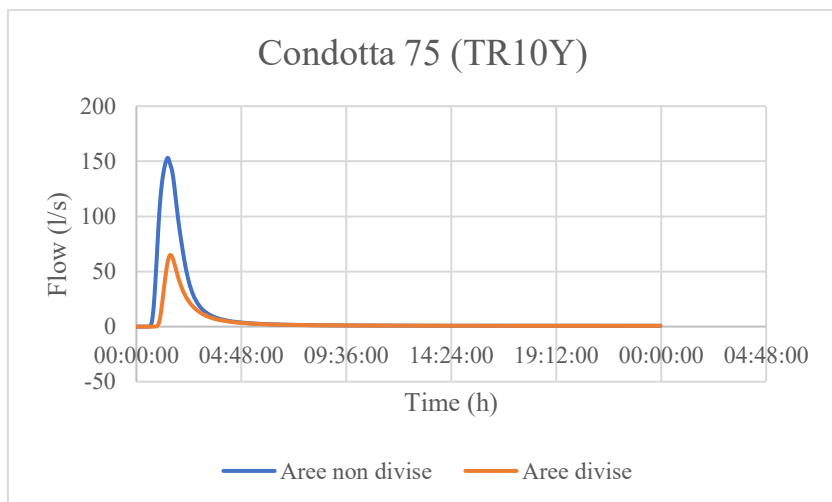


Figura 4.13\_Idrogramma di flusso della condotta 75 per tempo di ritorno 10 anni

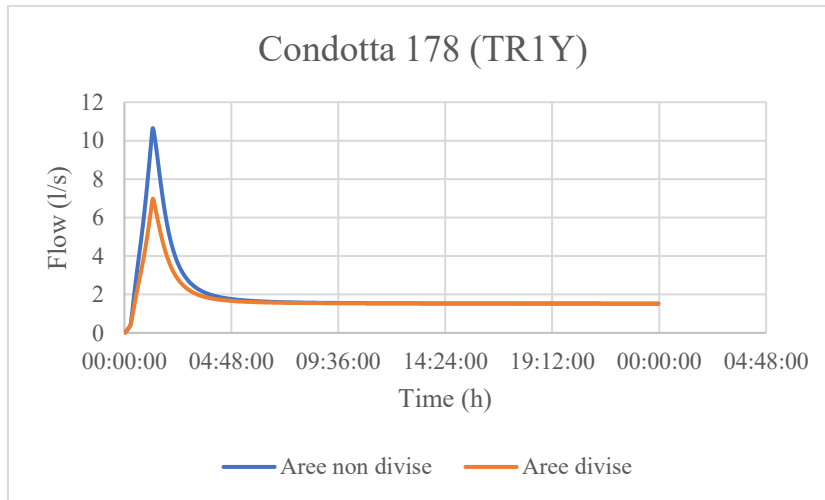


Figura 4.14\_Idrogramma di flusso della condotta 178 per tempo di ritorno 1 anno

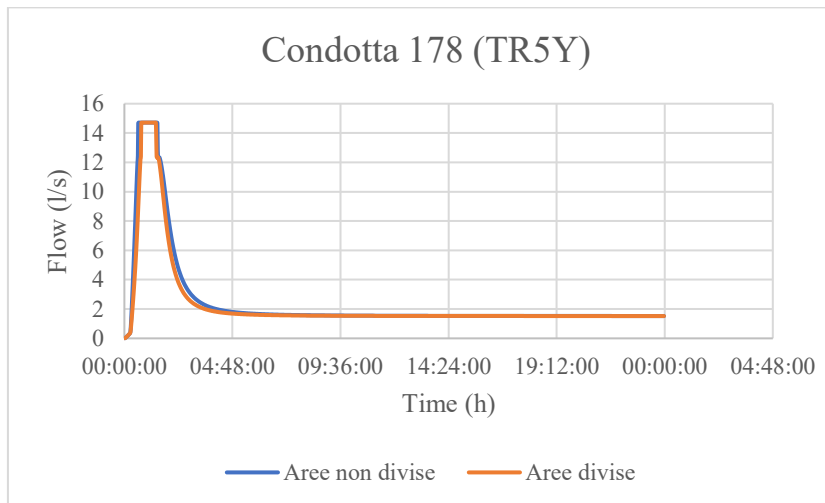


Figura 4.15\_Idrogramma di flusso della condotta 178 per tempo di ritorno 5 anni

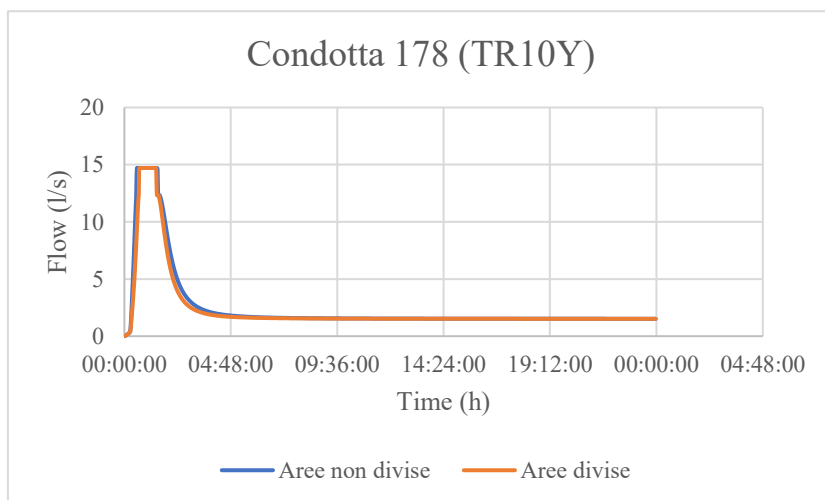


Figura 4.16\_Idrogramma di flusso della condotta 178 per tempo di ritorno 10 anni

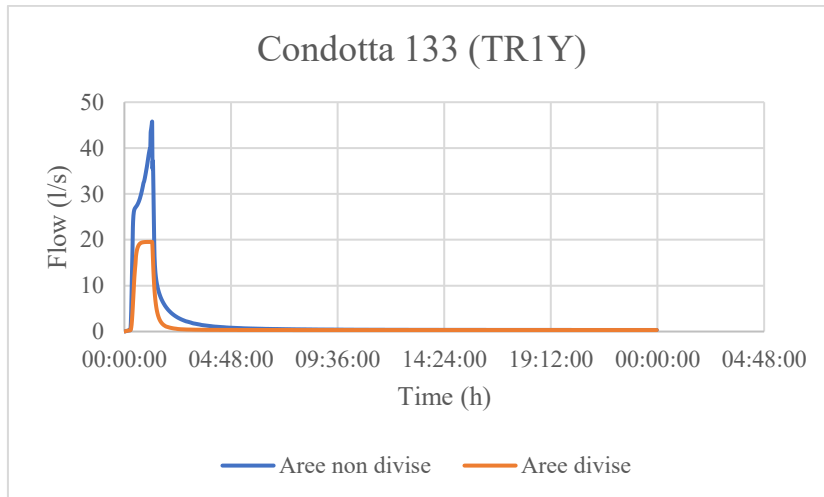


Figura 4.17\_Idrogramma di flusso della condotta 133 per tempo di ritorno 1 anno

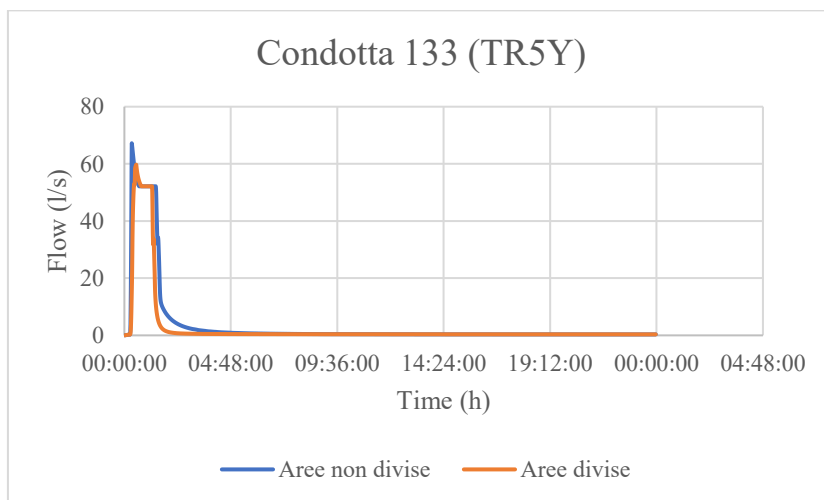


Figura 4.18\_Idrogramma di flusso della condotta 133 per tempo di ritorno 5 anni

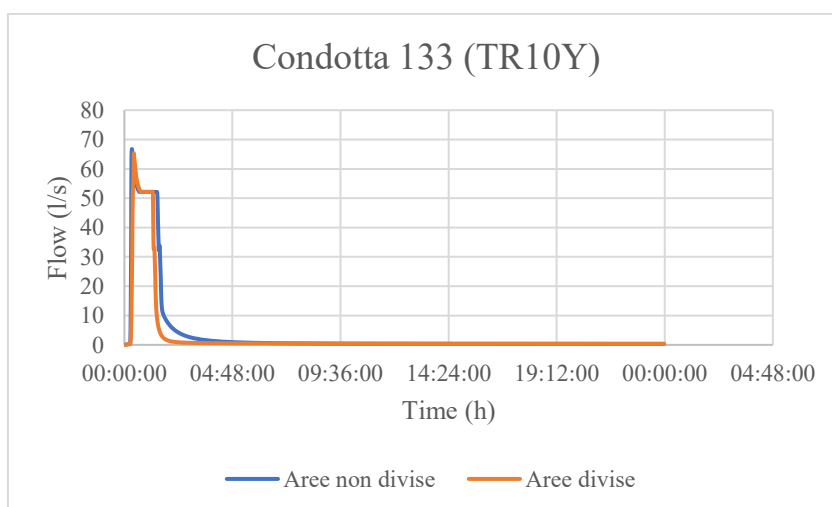


Figura 4.19\_Idrogramma di flusso della condotta 133 per tempo di ritorno 10 anni

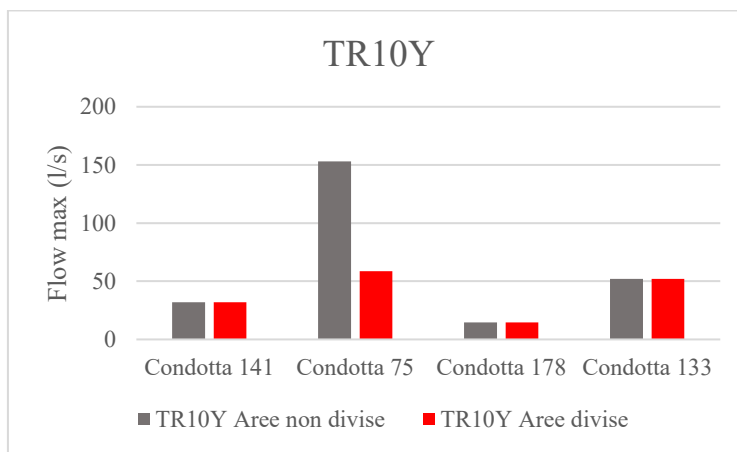
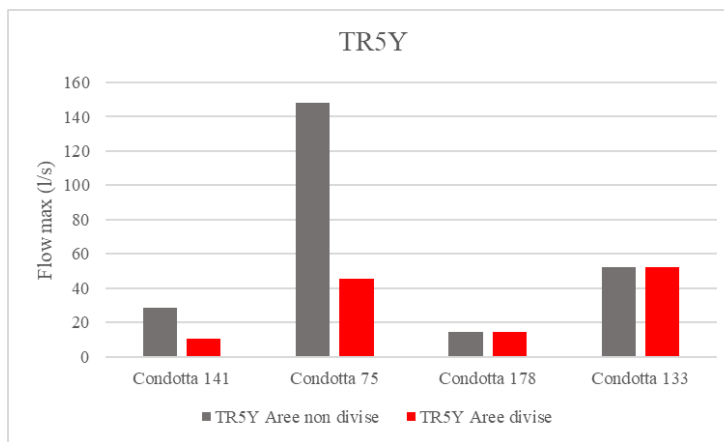
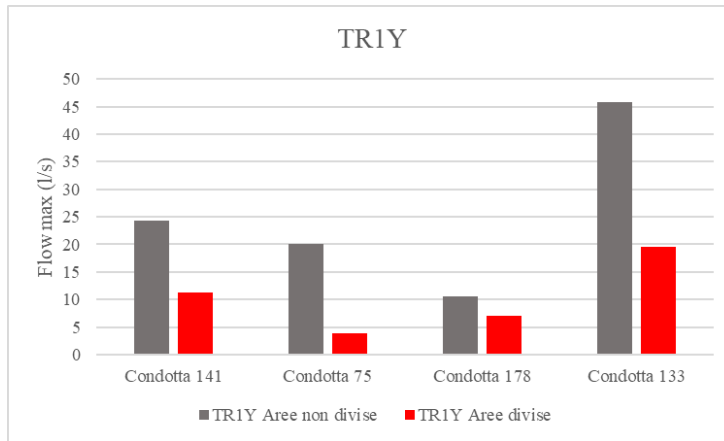


Figure 4.1 \_Portate massime nelle condotte confronto tra aree divise e non divise per ogni tempo di ritorno

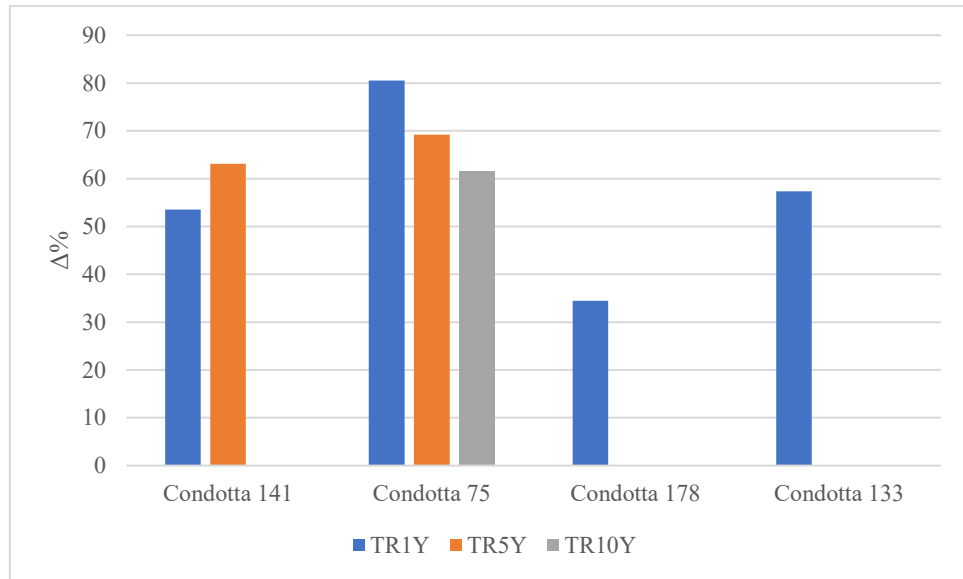


Figura 4.20\_Variazione percentuale tra aree divise e non divise delle portate nelle condotte

Confrontando i dati possiamo notare una parziale riduzione delle portate nelle aree divise e quindi un miglioramento del modello di studio e una riduzione del tempo di flusso anche quando il picco massimo non si abbassa.

Nelle figure sono analizzate le portate delle condotte a confronto tra aree divise e non divise nei vari tempi di ritorno. Le condotte che hanno portate maggiori sono: la condotta 75 per tutti i tempi di ritorno e la condotta 133 per il tempo di ritorno di 1 anno.

Nella figura si nota la variazione delle portate nelle condotte per i vari tempi di ritorno: sono presenti variazioni che vanno dal 30% all'80% per il tempo di ritorno di 1 anno; sono presenti variazioni maggiori del 60% per il tempo di ritorno di 5 anni, ma solo per le condotte 141 e 75 è presente una variazione pari a circa il 60% per la condotta 75 nel tempo di ritorno di 10 anni. La condotta 75, che è quella che presenta portate maggiori nell'analisi precedente, è anche quella che ha riscontrato maggiori benefici in termini di riduzione della portata dovuta alla divisione delle aree.

Poiché sia in termini di abbassamento del picco di flusso che in termini di riduzione di tempo di flusso la seconda ipotesi di divisione dei sottobacini



risulta più vantaggiosa, si assume quest'ultima come configurazione di base per lo studio.

#### 4.6.2 Runoff

Di seguito si riportano i deflussi superficiali per ogni tempo di ritorno relativi ai sottobacini di riferimento e si confrontano quelli della configurazione attuale [Tabella 4.5] cioè quella con i sottobacini non divisi con quelli riportati nella tabella [Tabella 4.6\_Deflusso massimo dei sottobacini per ogni tempo di ritorno Tabella 4.6] relativi ai sottobacini divisi.

*Tabella 4.5\_Deflusso massimo dei sottobacini per ogni tempo di ritorno*

	TR1Y	TR5Y	TR10Y
subcatchment	runoff max [l/s]	runoff max [l/s]	runoff max [l/s]
SUB1	13,42	81,72	105,26
SUB2	12,93	64,89	81,53
SUB3	39,88	214,22	270,48
SUB4	12,42	80,18	102,87
SUB5	20,88	126,02	160,40
SUB6	14,18	92,38	118,28
SUB8	1,78	12,12	15,59
SUB9	20,80	82,05	101,05
SUB9a	20,80	82,05	101,05
SUB9b	20,80	82,05	101,05
SUB9c	20,80	82,05	101,05
SUB10	32,84	125,30	153,71
SUB11	37,25	156,06	195,56
SUB12	45,46	254,16	323,20
SUB13	3,61	19,41	24,51
SUB14	27,60	138,89	179,83

Tabella 4.6\_Deflusso massimo dei sottobacini per ogni tempo di ritorno

subcatchment	TR1Y	TR5Y	TR10Y
	runoff max [l/s]	runoff max [l/s]	runoff max [l/s]
SUB1			
1a	12.64	78,46	101,85
1b	0,7	2,23	2,7
1c	0,88	2,79	3,37
SUB2			
2a	2,77	13,91	17,47
2b	4,04	13,29	16,25
SUB3			
3a	3,01	10.19	12.6
3b	23,97	128.79	162.62
3c	1,59	5.46	6.77
SUB4			
4a	4,17	26.93	34.55
4b	3,47	11.19	13.62
SUB5			
5a	3.97	23.94	30.48
5b	3.51	11.41	13.94
5c	1.87	6.1	7.44
5d	1	3.24	3.96
SUB6			
6a	8.41	54.81	70.18
6b	1.95	6.36	7.79
SUB7	20.8	82.05	101.05
SUB8			
8a	20.8	82.05	101.05
8b	20.8	82.05	101.05
8c	20.8	82.05	101.05
SUB9	27.6	138.89	179.83
SUB10	32.84	125.3	153.71
SUB11	37.25	156.06	195.56
SUB12	1.78	12.12	15.59
SUB13	3.61	19.41	24.51
SUB14			
14a	12,62	70,53	89,69
14b	19,21	60,53	72,76

Si riporta in figura [Figura 4.21] lo schema SWMM con i nomi dei sottobacini analizzati a seguito della divisione. Dalla simulazione si analizzano gli idrogrammi dove viene evidenziato come varia il deflusso nel tempo dei vari sottobacini.

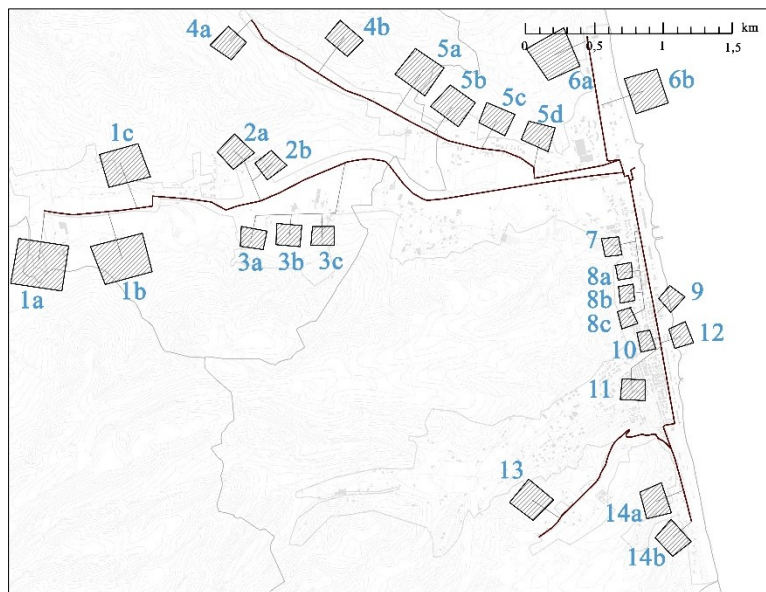


Figura 4.21\_Schema SWMM della rete con nomi sottobacini

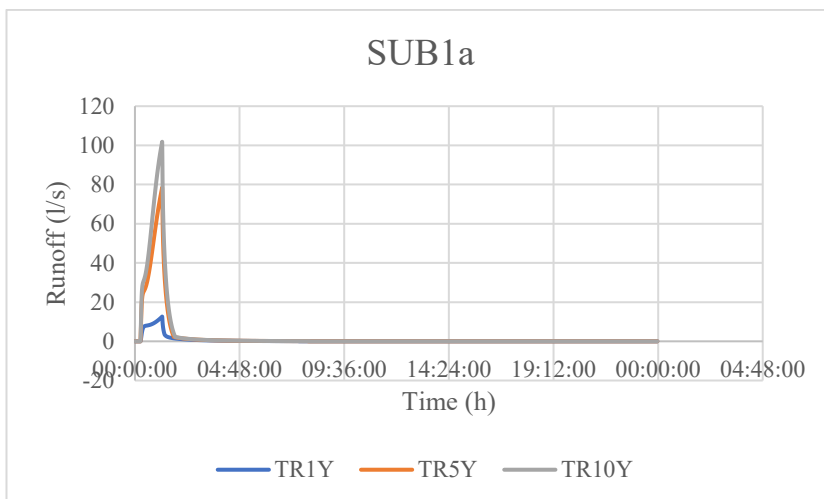


Figura 4.22\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB1a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

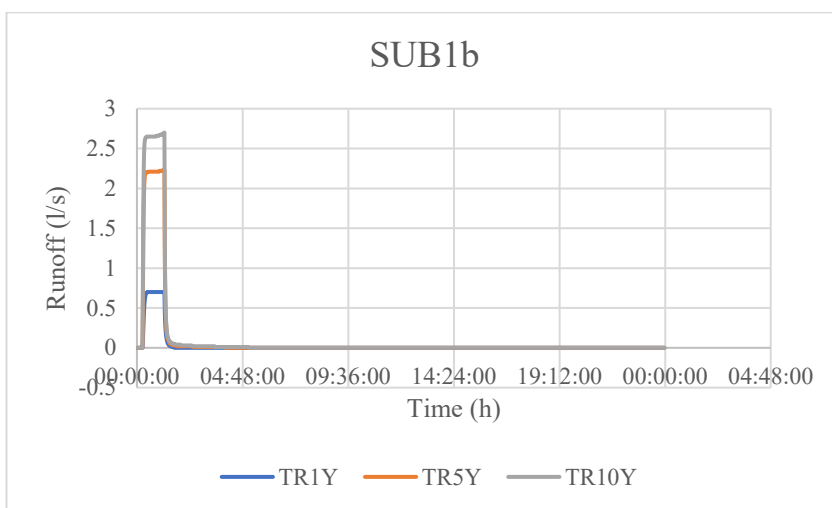


Figura 4.23\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB1b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

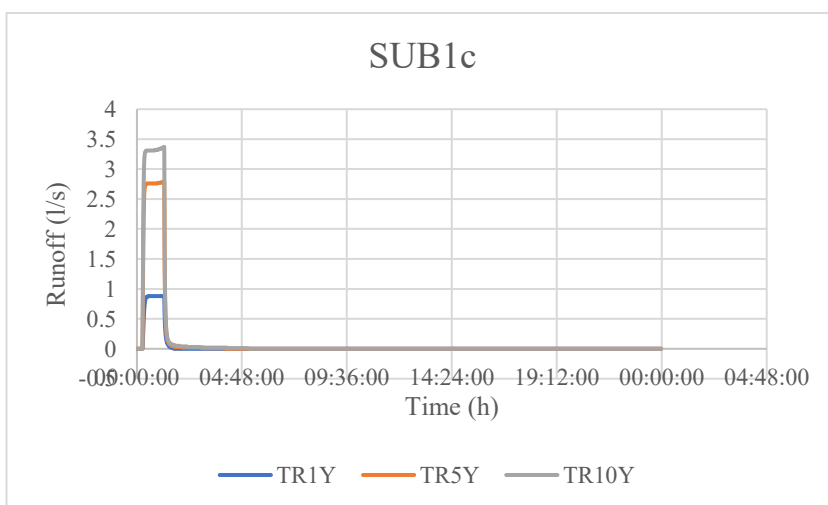


Figura 4.24\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB1c per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

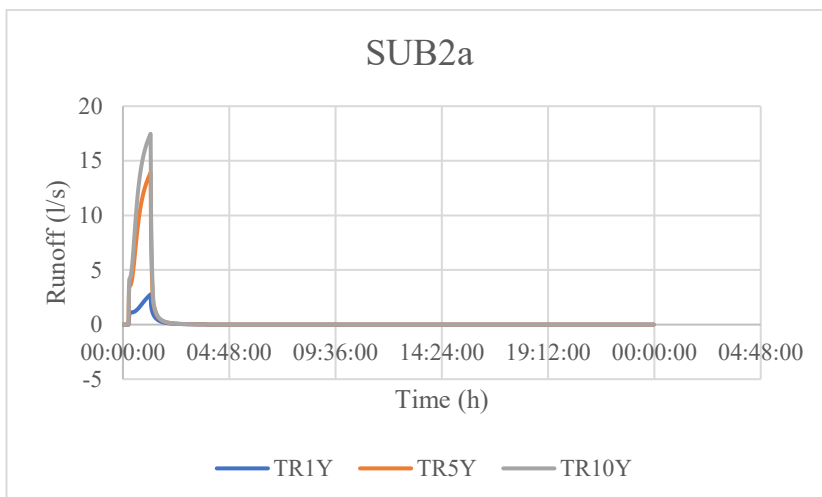


Figura 4.25 \_Idrogramma di piena del sottobacino SUB2a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

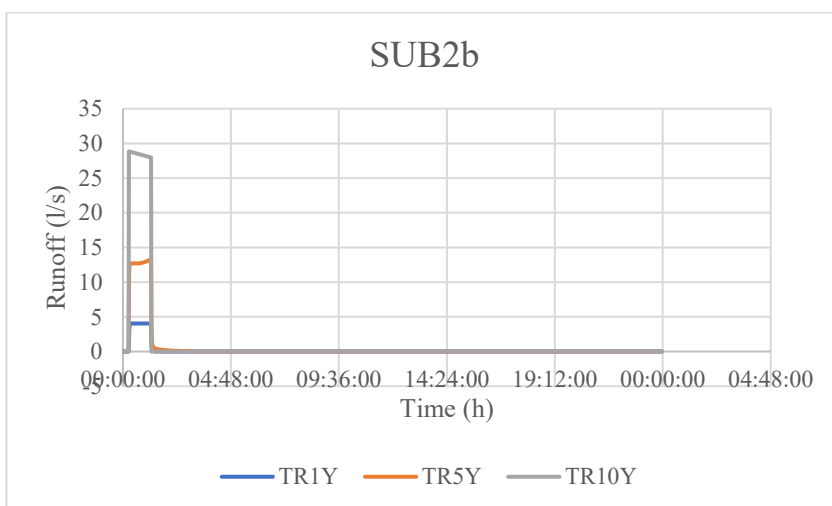


Figura 4.26 \_Idrogramma di piena del sottobacino SUB2b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

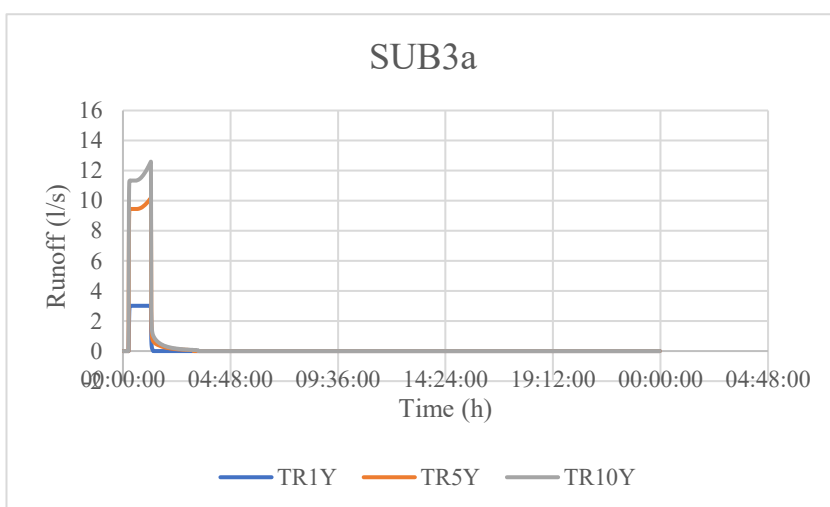


Figura 4.27 \_Idrogramma di piena del sottobacino SUB3a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

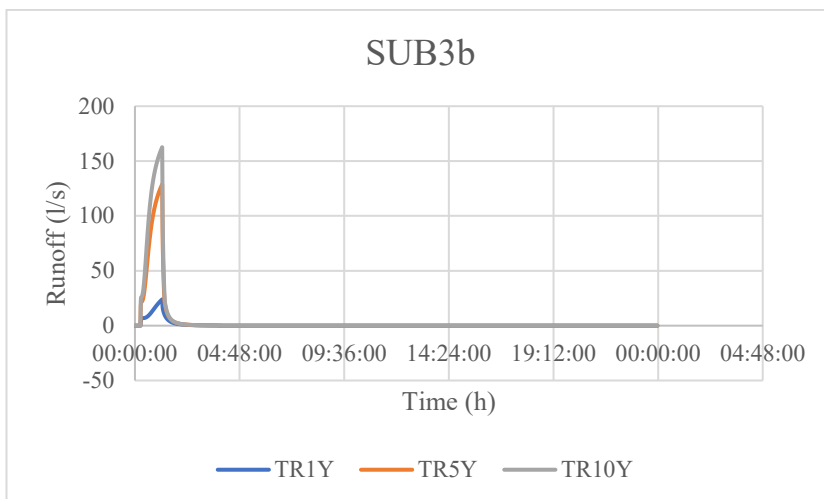


Figura 4.28\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB3b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

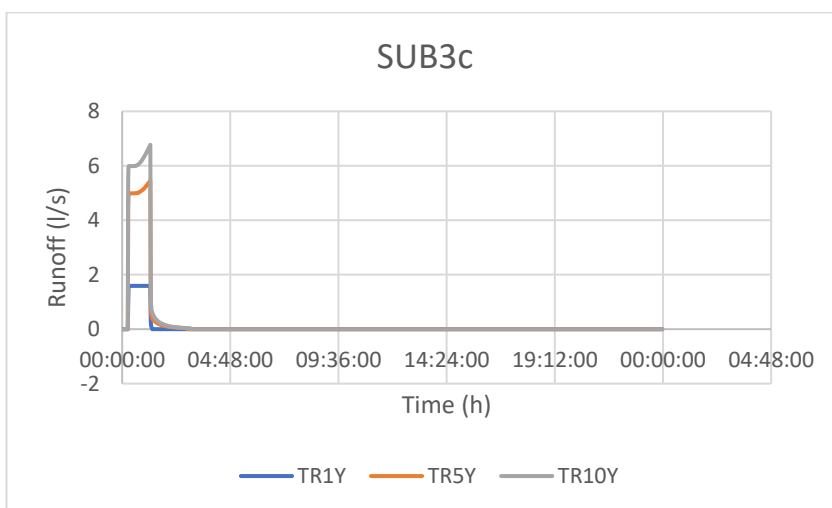


Figura 4.29\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB3c per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

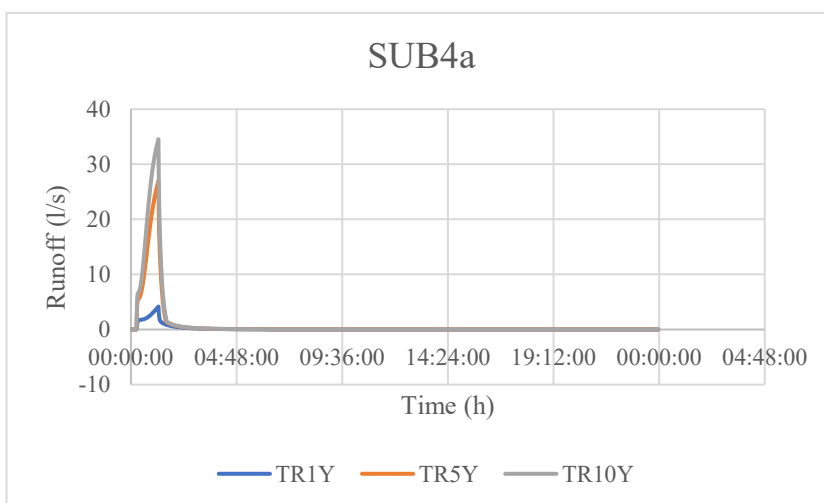


Figura 4.30\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB4a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

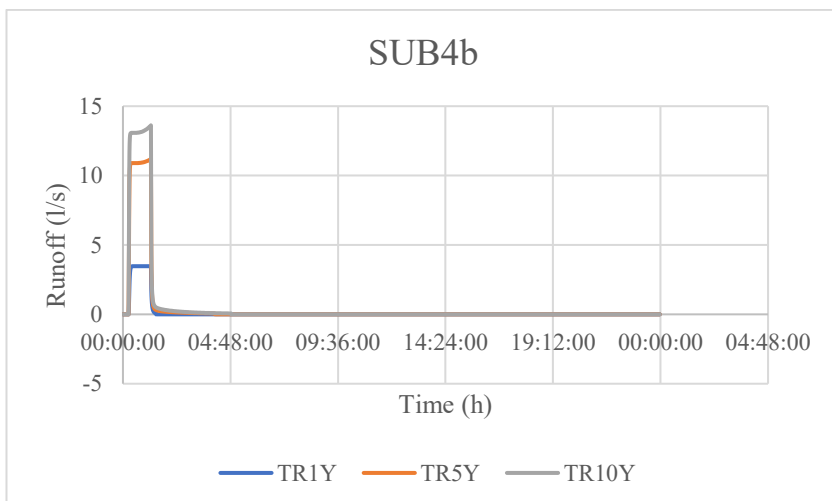


Figura 4.31\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB4b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

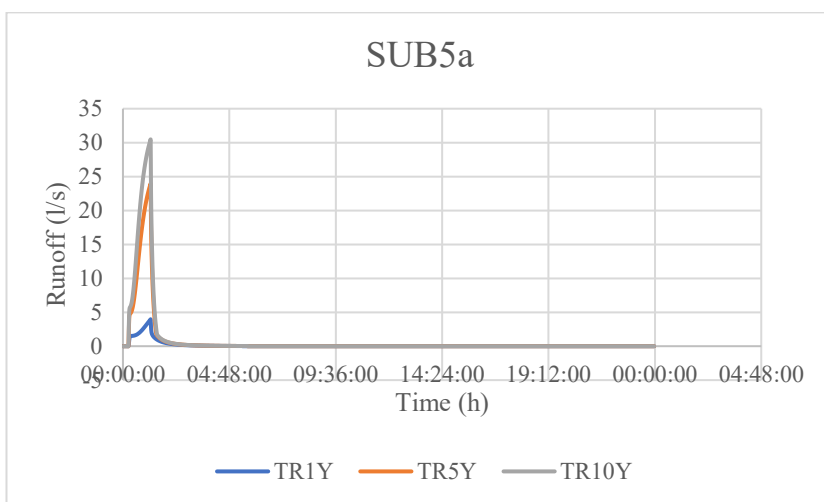


Figura 4.32\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB5a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

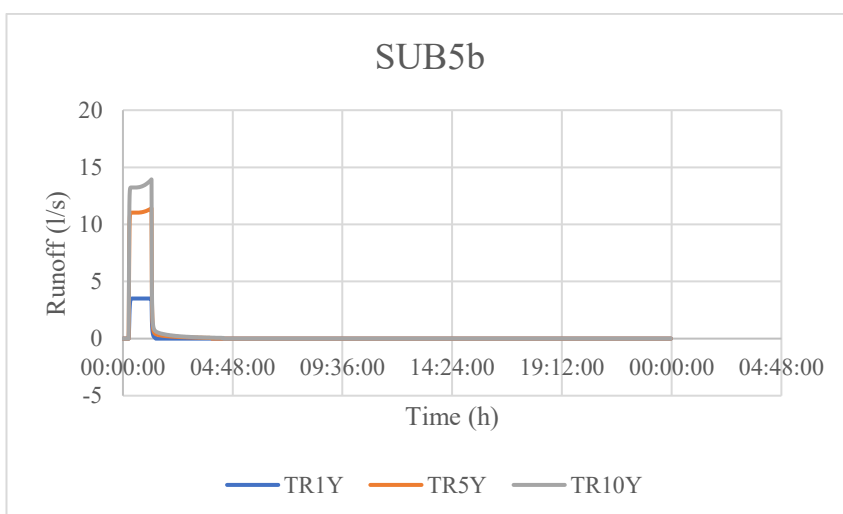


Figura 4.33\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB5b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

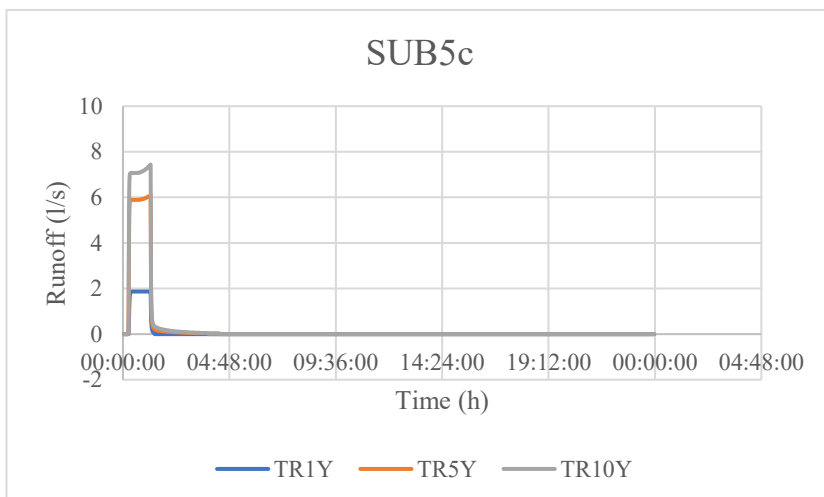


Figura 4.34\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB5c per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

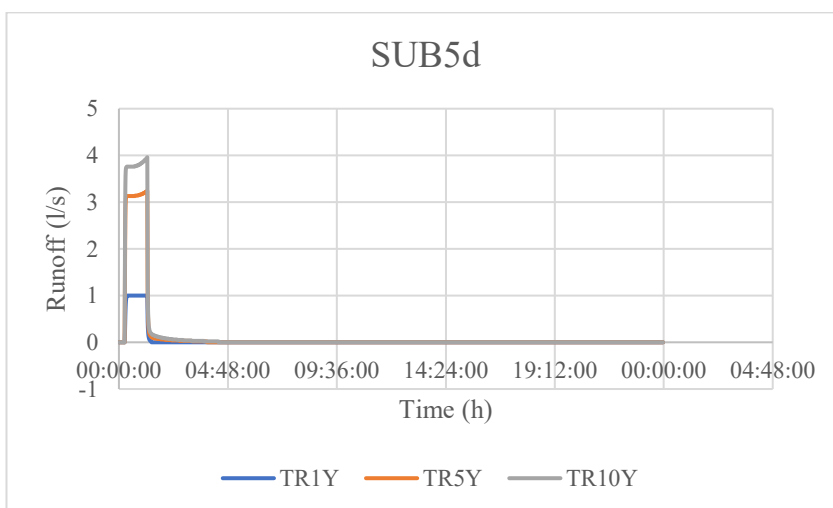


Figura 4.35\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB5d per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

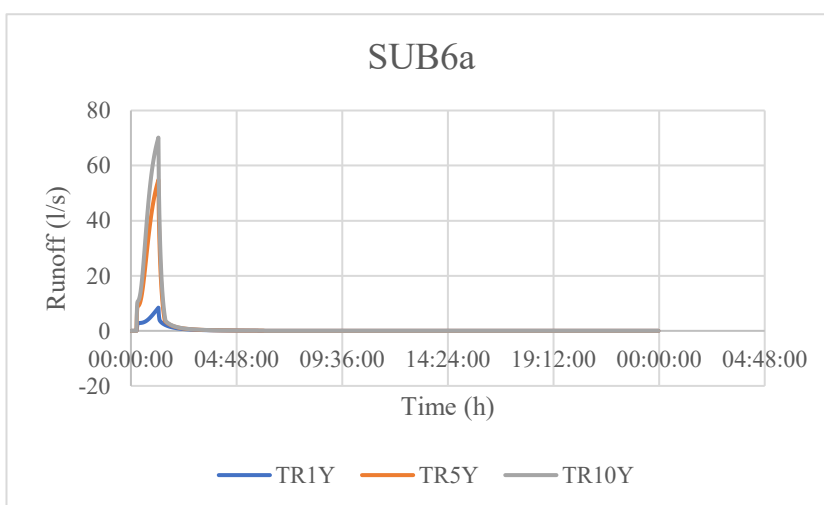


Figura 4.36\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB6a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.



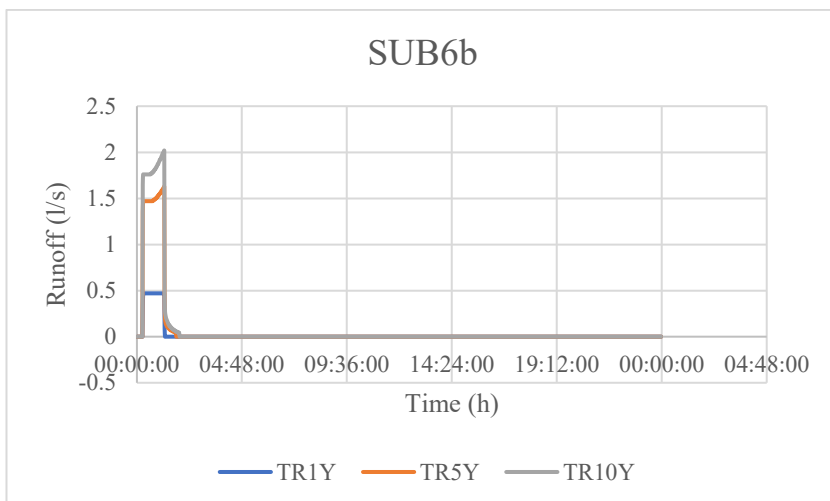


Figura 4.37\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB6b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

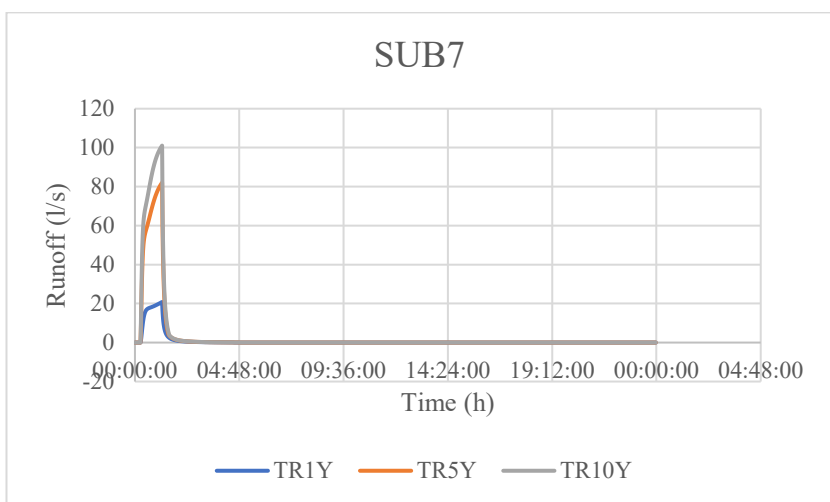


Figura 4.38\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB7 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

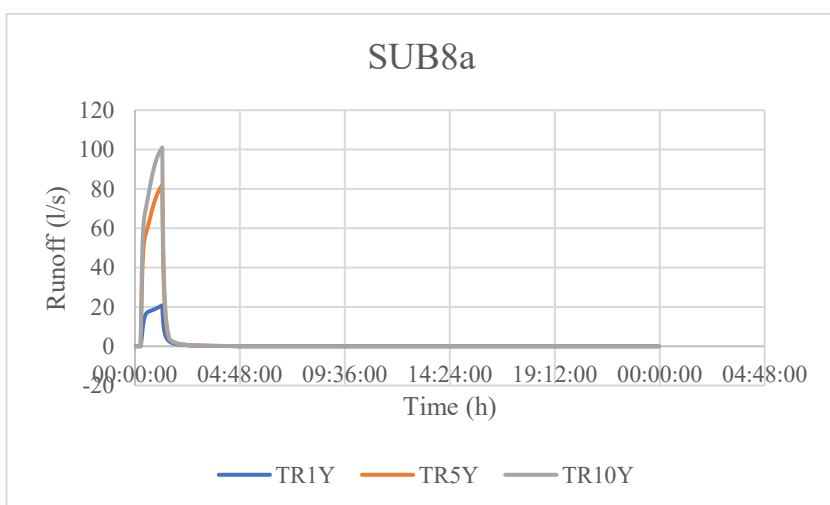


Figura 4.39\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB8a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

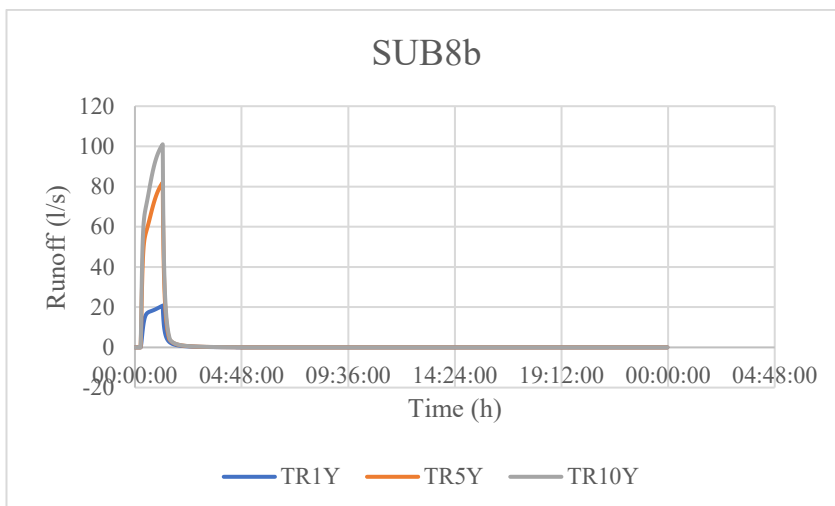


Figura 4.40 \_Idrogramma di piena del sottobacino SUB8b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

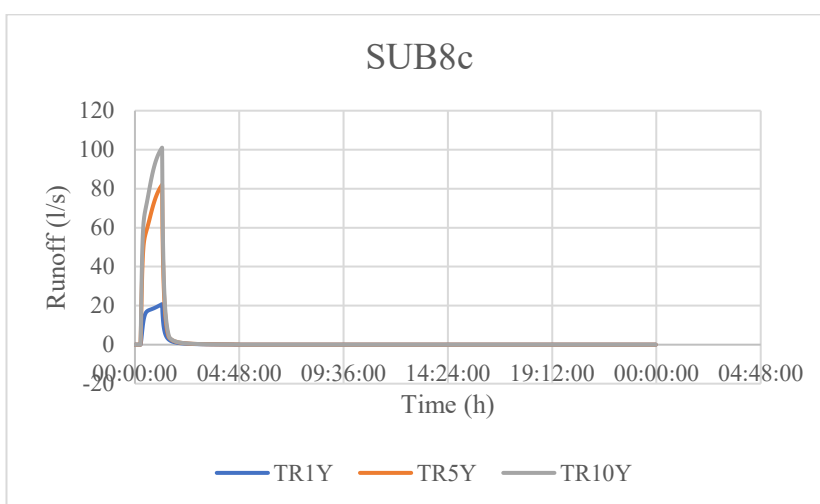


Figura 4.41 \_Idrogramma di piena del sottobacino SUB8c per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

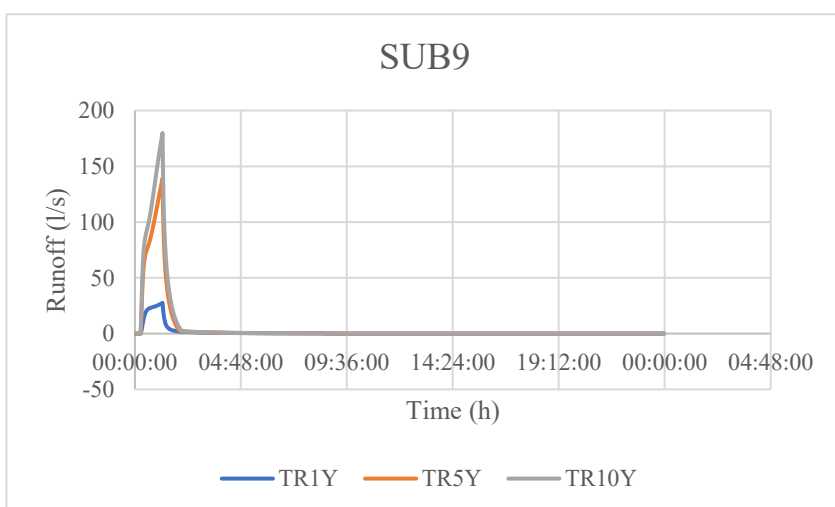


Figura 4.42 \_Idrogramma di piena del sottobacino SUB9 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

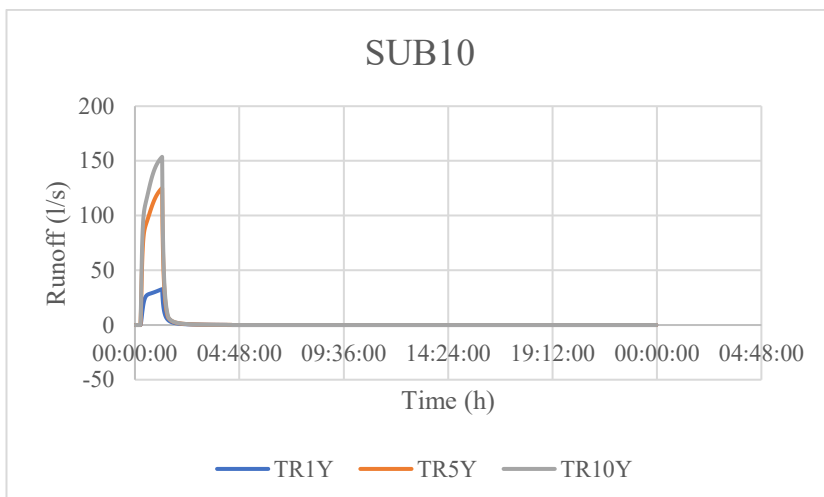


Figura 4.43 \_Idrogramma di piena del sottobacino SUB10 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

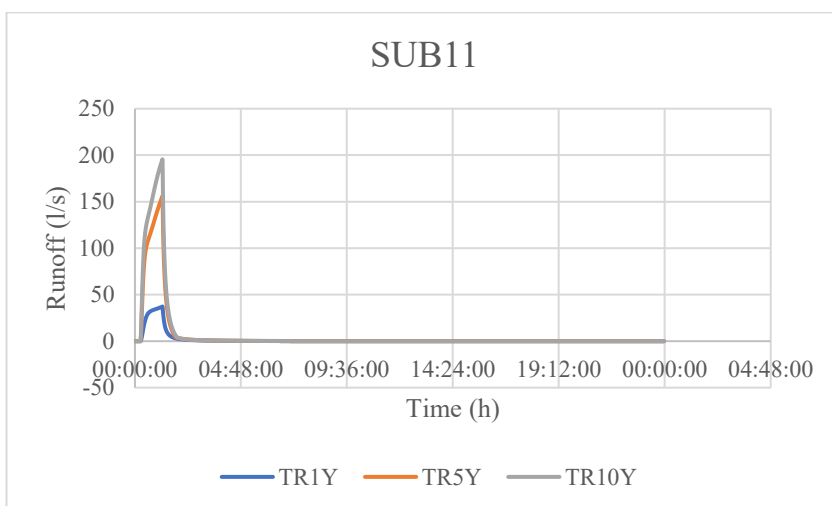


Figura 4.44 \_Idrogramma di piena del sottobacino SUB11 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

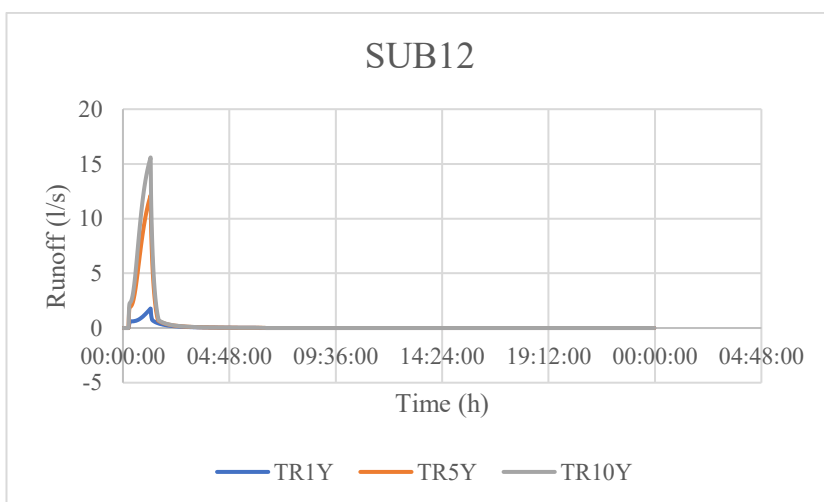


Figura 4.45 \_Idrogramma di piena del sottobacino SUB12 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

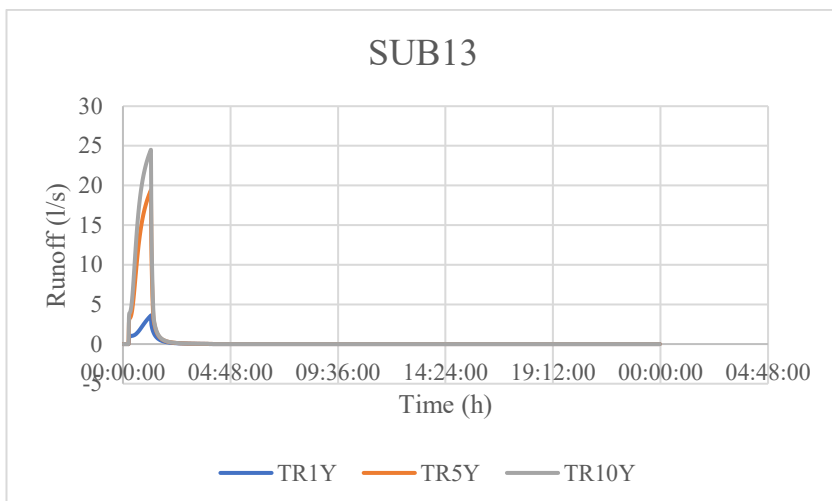


Figura 4.46\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB13 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

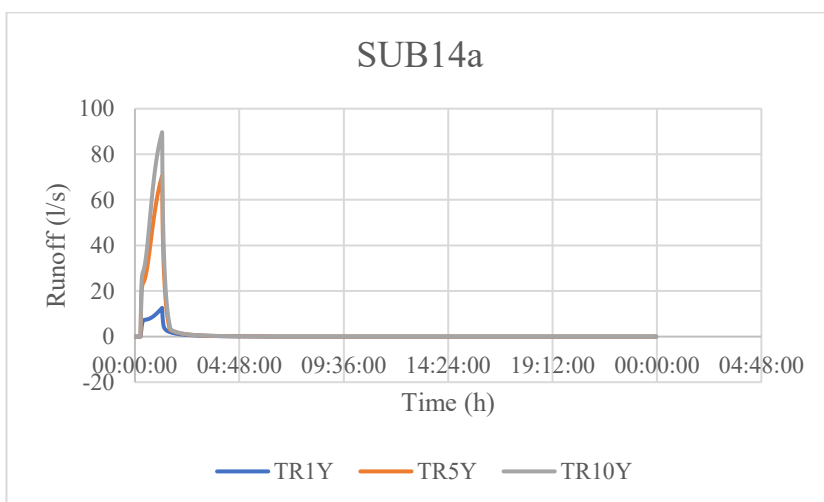


Figura 4.47\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB14a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

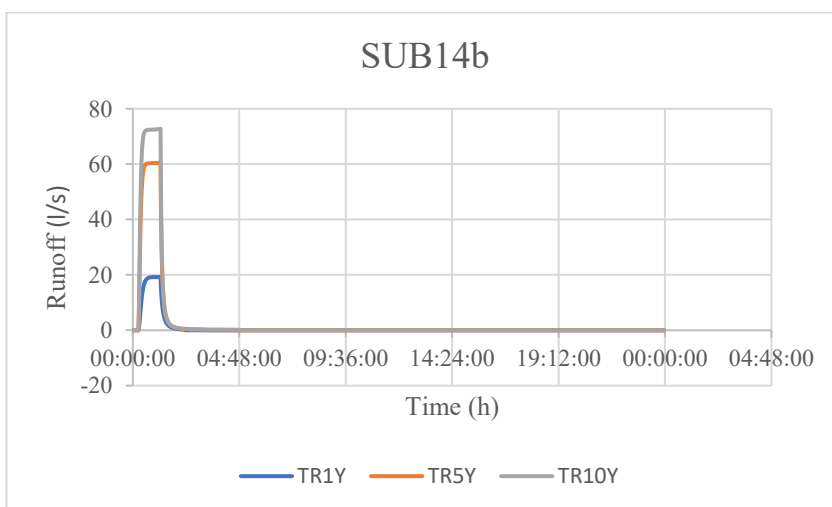


Figura 4.48\_Idrogramma di piena del sottobacino SUB14b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

### 4.6.1 Infiltration

Un altro risultato significativo che si vuole riportare in questa fase è la quantità d'acqua infiltrata nel terreno. Lo studio risulterà efficace, infatti, se, attraverso gli interventi proposti si riscontreranno delle variazioni significative di questi parametri ovvero riduzione del deflusso superficiale e riduzione del volume d'acqua infiltrata.

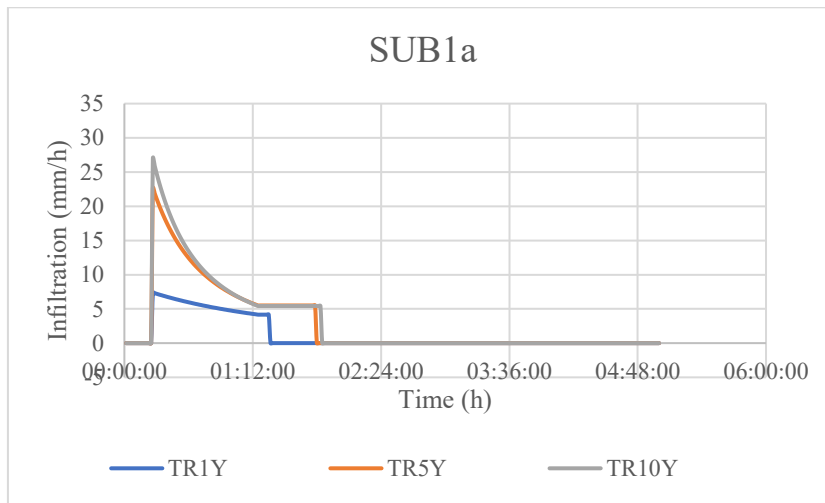


Figura 4.49\_Volume d'acqua infiltrata SUB1a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

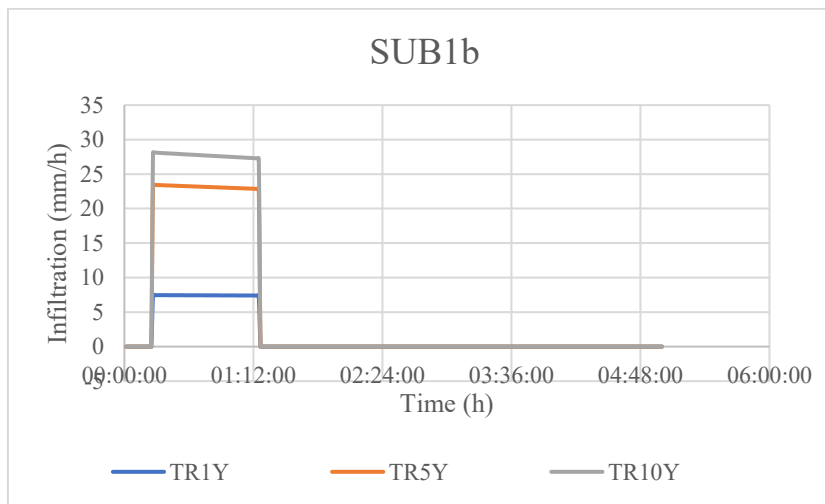


Figura 4.50\_Volume d'acqua infiltrata SUB1b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

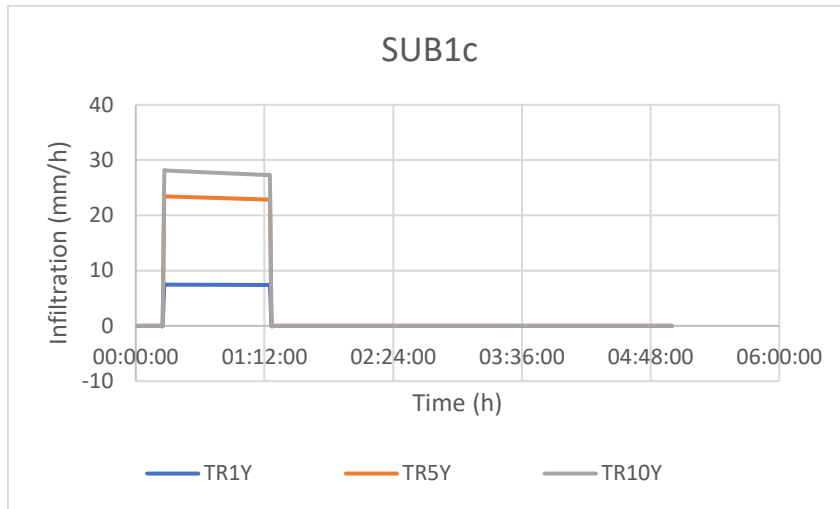


Figura 4.51\_Volume d'acqua infiltrata SUB1c per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

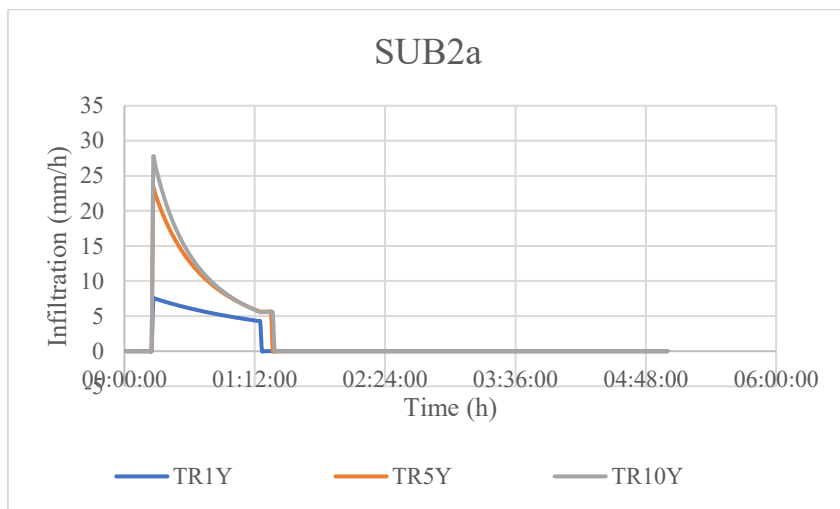


Figura 4.52\_Volume d'acqua infiltrata SUB1a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

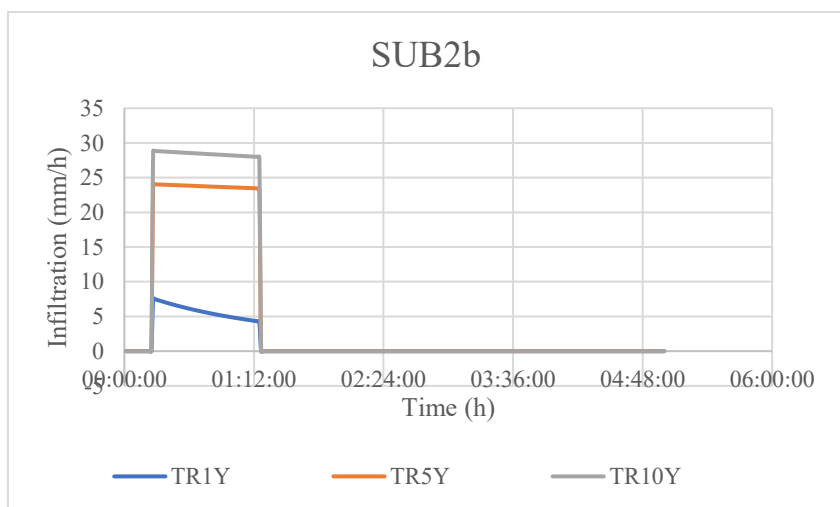


Figura 4.53\_Volume d'acqua infiltrata SUB2b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

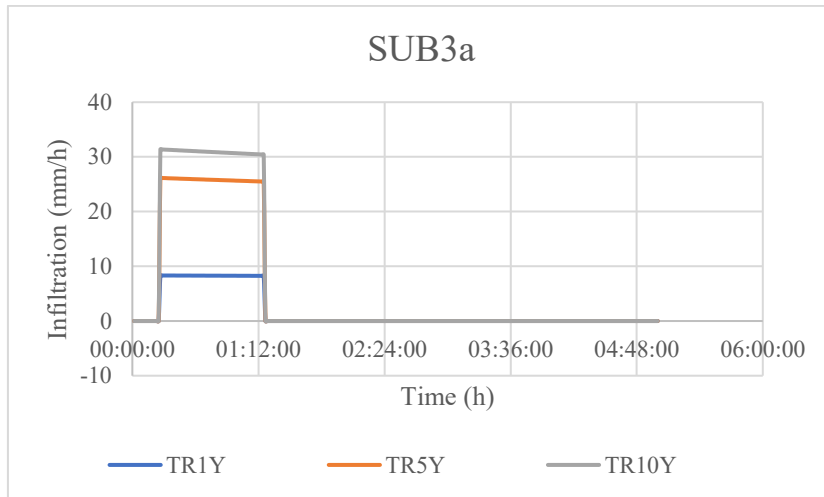


Figura 4.54\_Volume d'acqua infiltrata SUB3a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

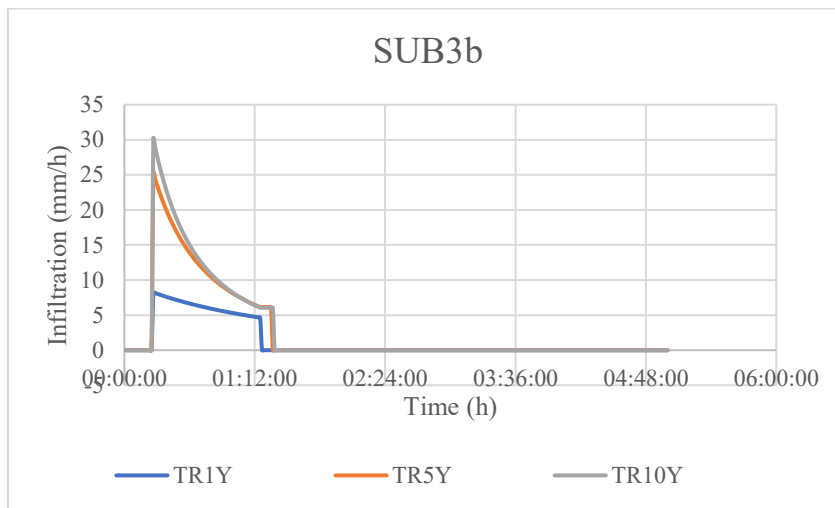


Figura 4.55\_Volume d'acqua infiltrata SUB3b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

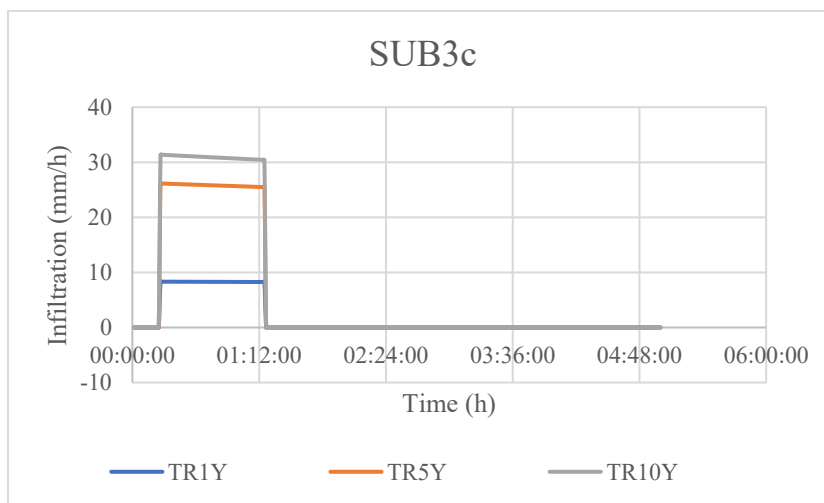


Figura 4.56\_Volume d'acqua infiltrata SUB3c per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

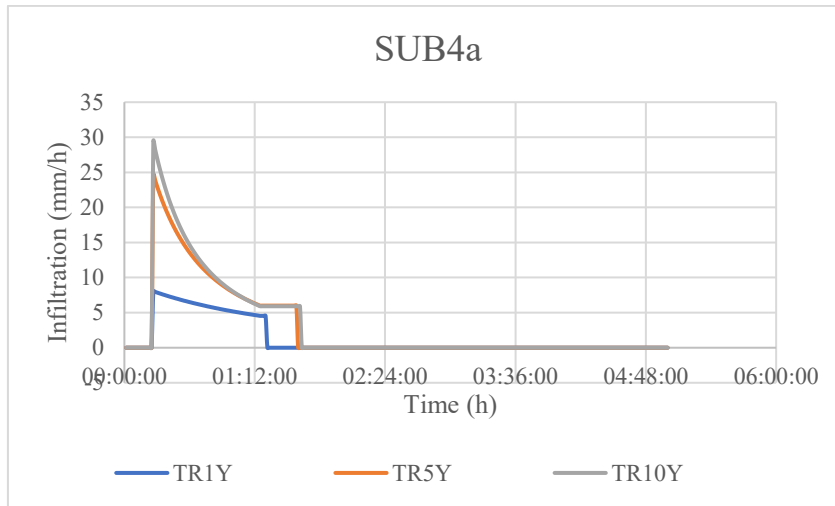


Figura 4.57\_Volume d'acqua infiltrata SUB4a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

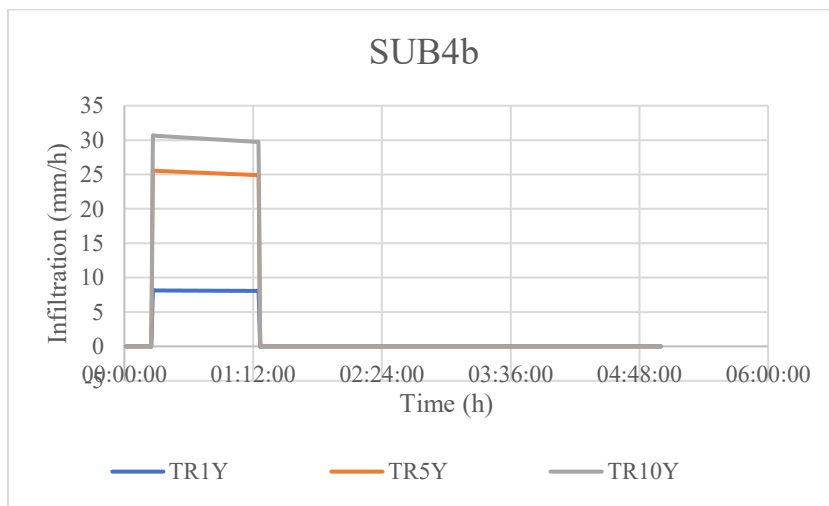


Figura 4.58\_Volume d'acqua infiltrata SUB4b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

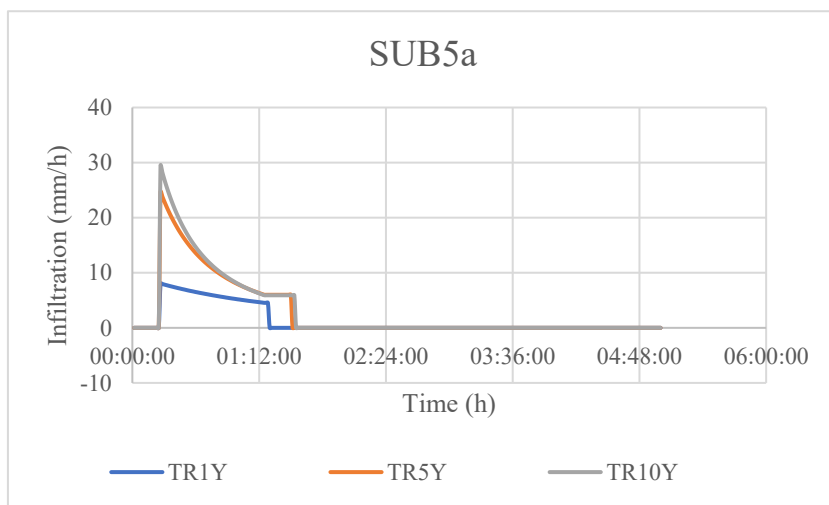


Figura 4.59\_Volume d'acqua infiltrata SUB5a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.



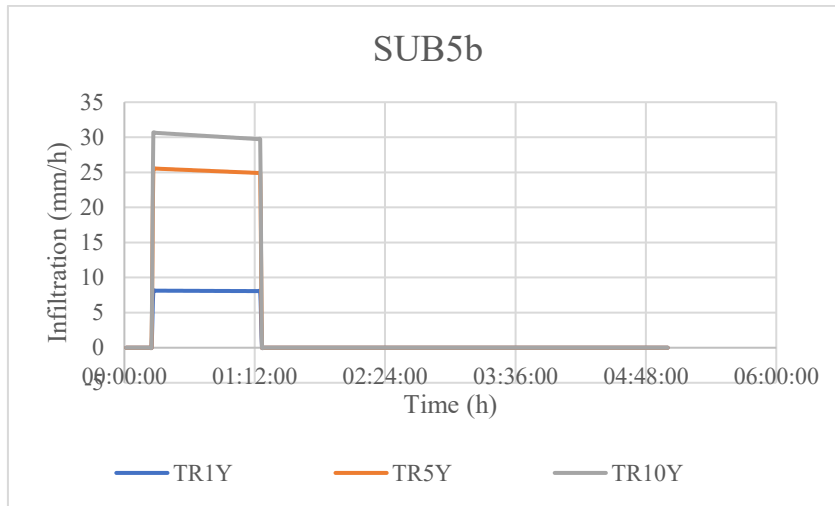


Figura 4.60\_Volume d'acqua infiltrata SUB5b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

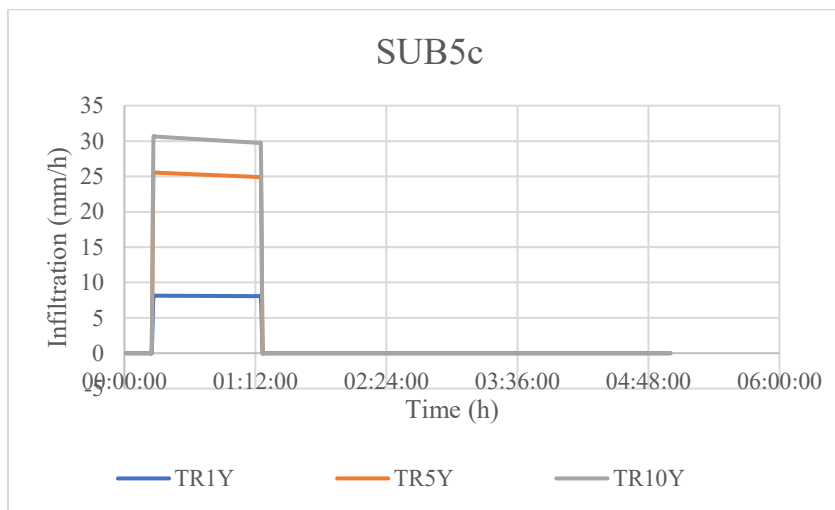


Figura 4.61\_Volume d'acqua infiltrata SUB5c per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

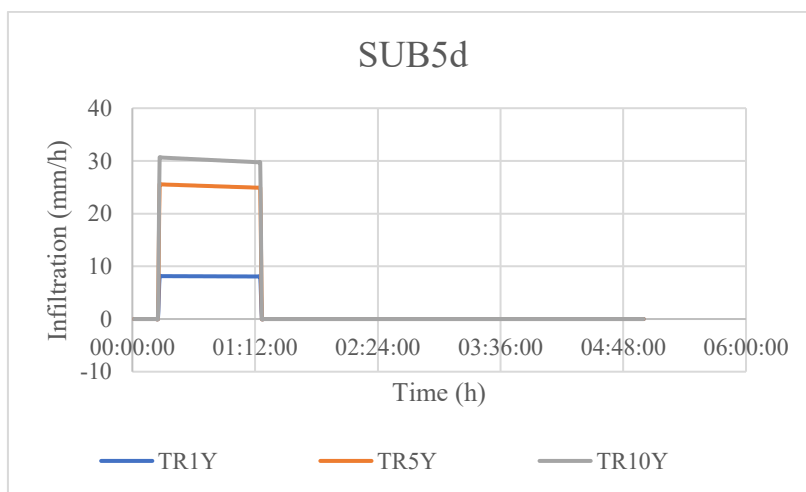


Figura 4.62\_Volume d'acqua infiltrata SUB5d per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

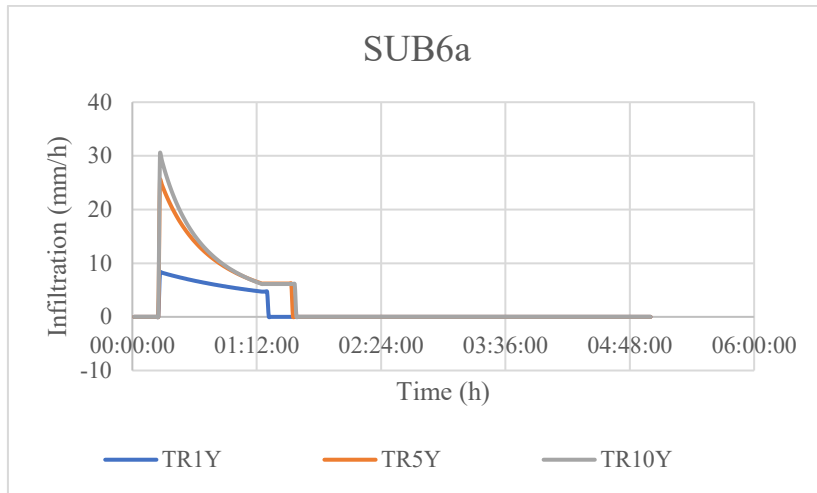


Figura 4.63\_Volume d'acqua infiltrata SUB6a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

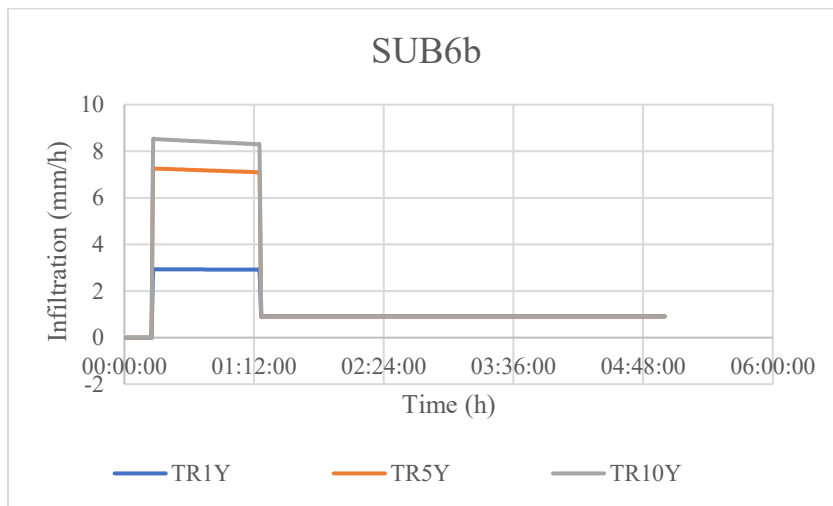


Figura 4.64\_Volume d'acqua infiltrata SUB6b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

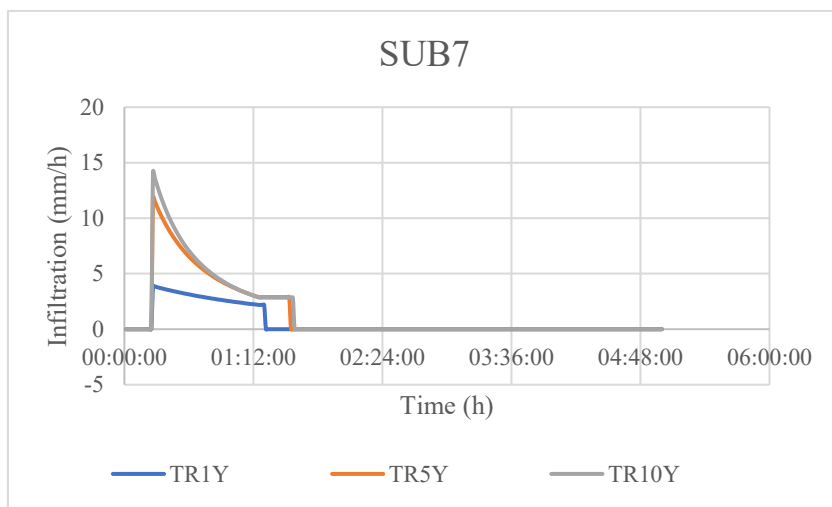


Figura 4.65\_Volume d'acqua infiltrata SUB7 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

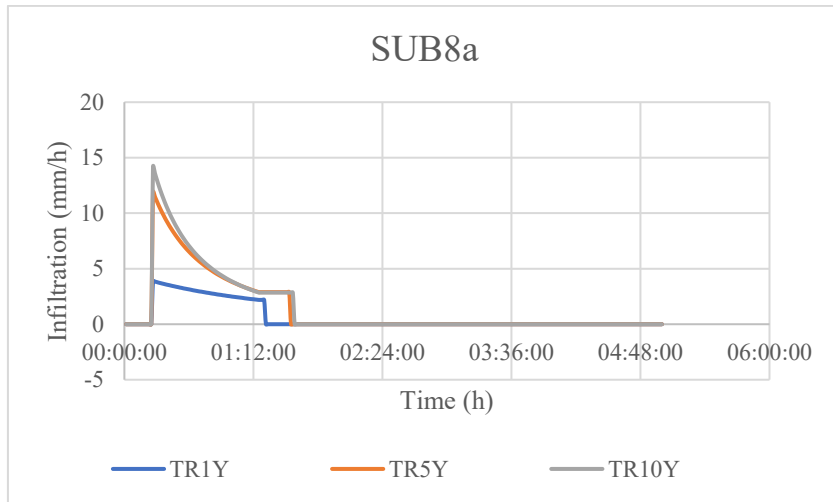


Figura 4.66\_Volume d'acqua infiltrata SUB8a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

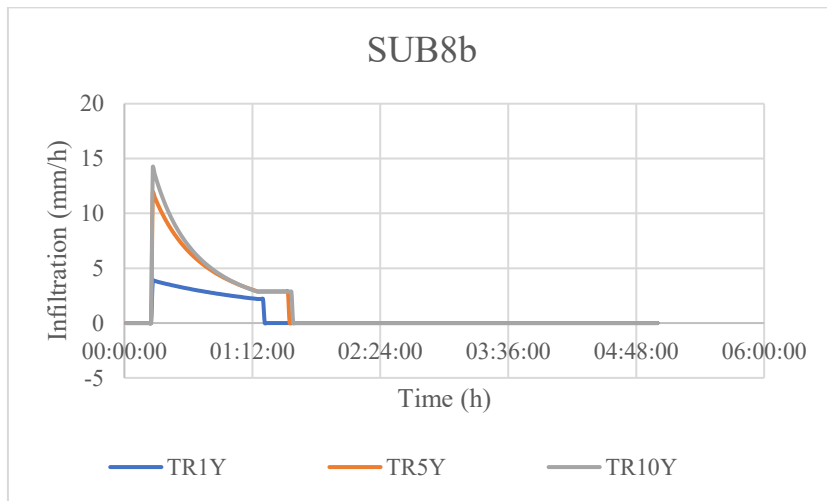


Figura 4.67\_Volume d'acqua infiltrata SUB8b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

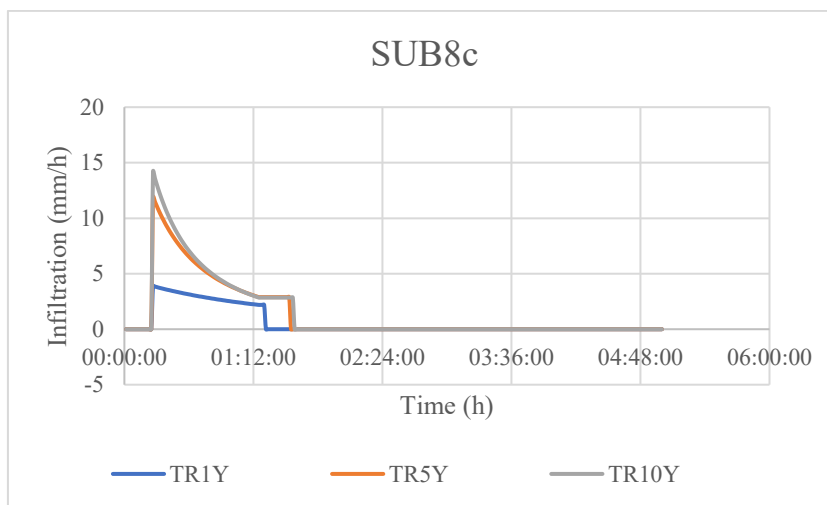


Figura 4.68\_Volume d'acqua infiltrata SUB8c per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

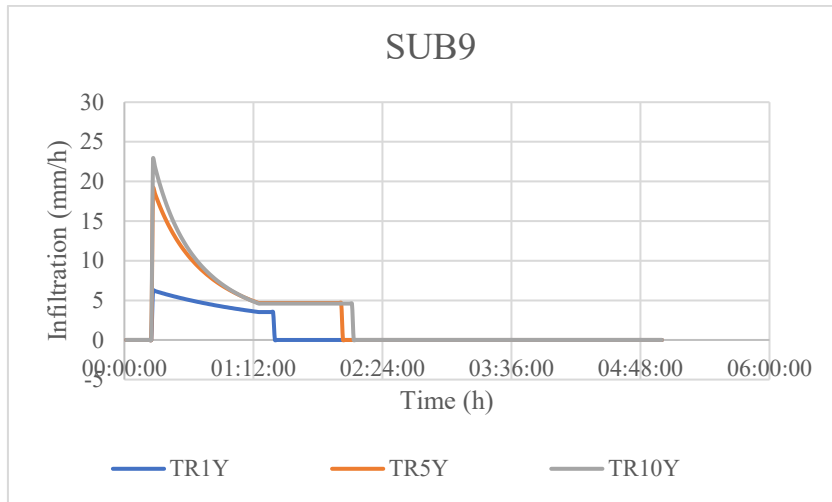


Figura 4.69\_Volume d'acqua infiltrata SUB9 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

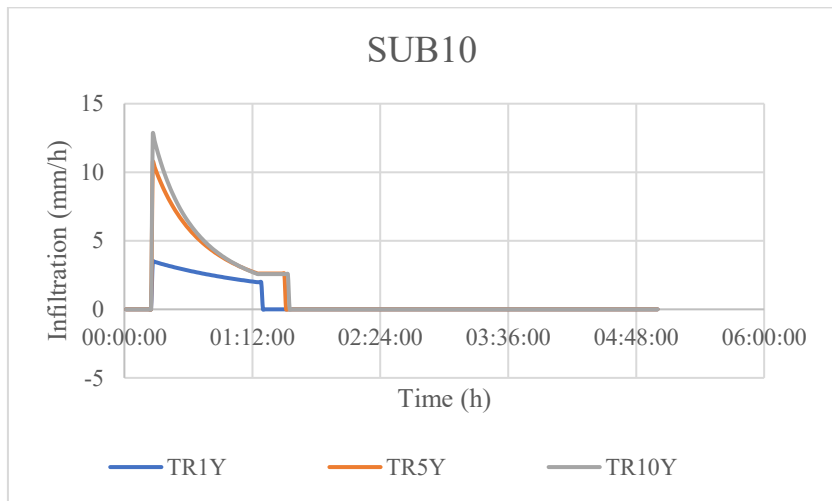


Figura 4.70\_Volume d'acqua infiltrata SUB10 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

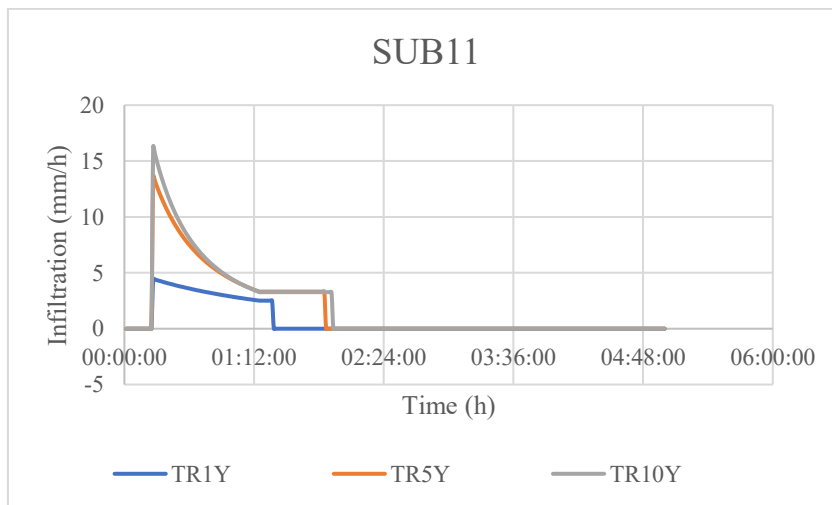


Figura 4.71\_Volume d'acqua infiltrata SUB11 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

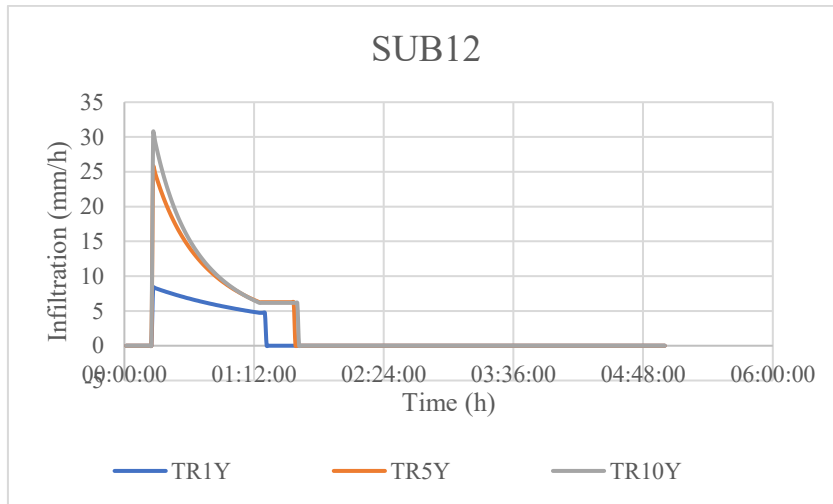


Figura 4.72\_Volume d'acqua infiltrata SUB12 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

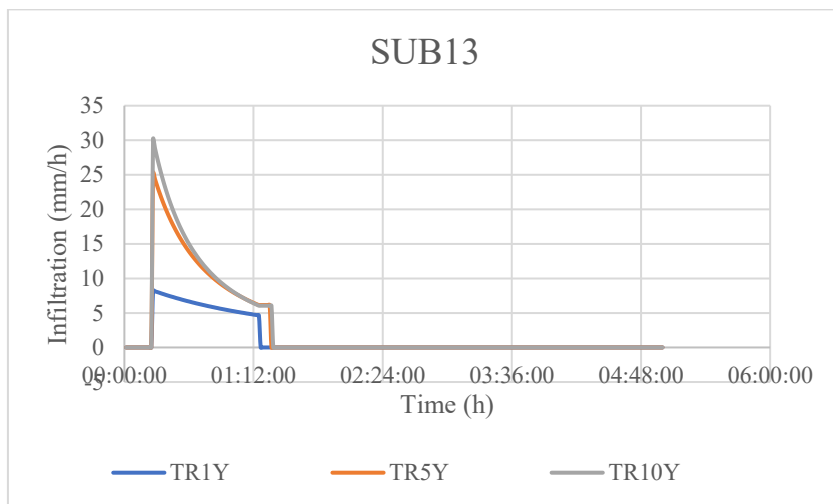


Figura 4.73\_Volume d'acqua infiltrata SUB13 per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

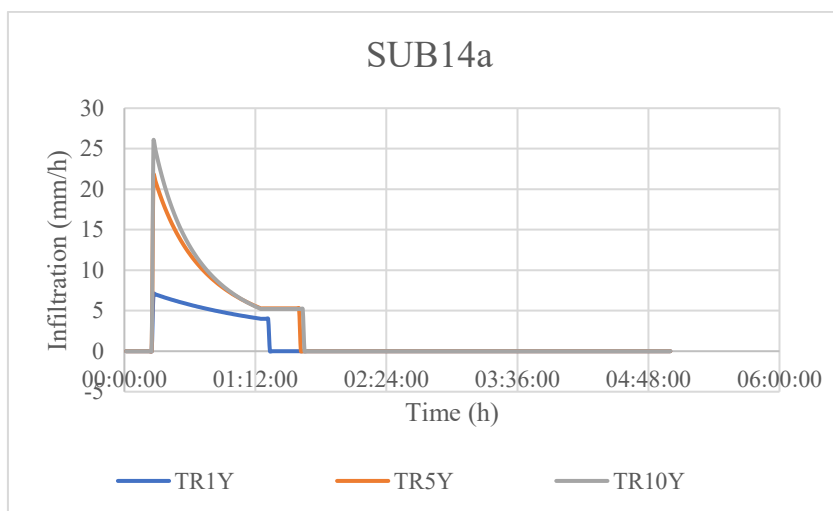


Figura 4.74\_Volume d'acqua infiltrata SUB14a per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

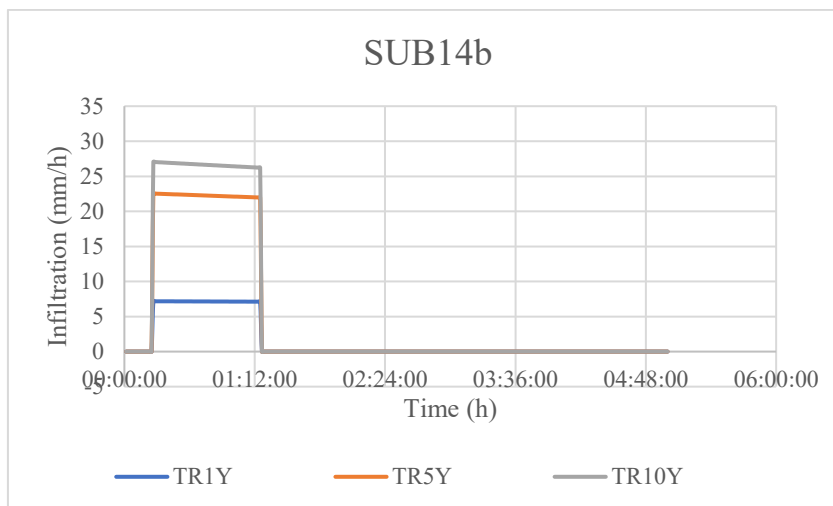


Figura 4.75\_Volume d'acqua infiltrata SUB14b per Tempo di Ritorno 1 anno, TR 5 anni, TR 10 anni.

#### 4.6.2 Commento risultati

Dai confronti dei vari idrogrammi di piena si nota che le condizioni più gravose avvengono per tempi di ritorno maggiori e che il runoff è concentrato in poco più di un'ora. Infatti, il picco avviene a 1:15 e di seguito c'è un decremento repentino dei deflussi superficiali in corrispondenza della fine dell'evento piovoso. I risultati ci mostrano, quindi, che i picchi sono troppo alti, in alcuni casi superando anche i 100 l/s e non sono distribuiti nel tempo comportando quindi un accumulo in rete e di conseguenza sovraccaricando gli scolmatori che si devono attivare.

Gli idrogrammi dei volumi infiltrati ci mostrano che l'andamento non è sempre uguale per tutti i sottobacini: alcuni sottobacini hanno un andamento nel tempo quasi costante o comunque lineare (1b, 1c, 2b, 3a, 3c, 4b, 5b, 5d, 6b, 14b), mentre, i volumi infiltrati di altri sottobacini (1a, 2a, 3b, 4a, 5a, 6a, 7, 8a, 8b, 8c, 9, 10, 11, 12, 13, 14a) hanno un andamento parabolico decrescente. Questo fenomeno è legato alla tipologia di terreno quindi alla percentuale di superficie impermeabile rispetto all'area poiché la permeabilità del terreno influisce in maniera sostanziale sui volumi d'acqua infiltrati.

## CAPITOLO 5

### MODELLAZIONE DEI SISTEMI LID

#### 5.1 SISTEMI LID

Si analizzano di seguito i sistemi LID impiegati in questo studio con il fine di studiarne le caratteristiche e ottenere come dato la loro capacità di immagazzinare, infiltrare ed evaporare i deflussi dei sottobacini.

I sistemi analizzati sono: trincea di infiltrazione, tetto giardino, asfalto poroso, vasca di laminazione e recupero delle acque piovane. Si analizzano questi sistemi perché sono quelli maggiormente utilizzati e sono implementati nel software SWMM. La progettazione è realizzata su base unitaria in modo da poter essere collocato in un numero qualsiasi di sottobacini con dimensioni e caratteristiche differenti. Vengono di seguito descritte nel dettaglio le caratteristiche funzionali e costruttive con i dati utilizzati in SWMM per la loro configurazione che comprendono una combinazione dei seguenti elementi, a seconda del tipo di LID selezionato: strato di superficie, strato di pavimentazione, strato di terreno, strato di accumulo e sistema di drenaggio. Di seguito sono riportate le varie schede che occorre compilare per l'inserimento dei LID ciascuno con le voci corrispondenti e il loro significato [35].

## Surface

La sezione “Surface” è usata per descrivere le proprietà della superficie di diversi LID quali: celle di bio-ritenzione, pavimentazioni porose, trincee di infiltrazione e vasche vegetative. Queste proprietà sono:

- **Berm Height:** è la profondità massima a cui l'acqua può stagnare al di sopra della superficie dell'unità prima che si verifichi il traboccamento (in pollici o mm). Per il tetto è la profondità di accumulo della depressione del tetto, mentre per i canali vegetativi è l'altezza della sezione trasversale trapezoidale.
- **Vegetation Volume Fraction:** La frazione del volume all'interno della profondità di stoccaggio riempita di vegetazione. Si tratta del volume occupato da steli e foglie, non dalla loro superficie di copertura. Normalmente questo volume può essere trascurato, ma può arrivare a 0,1-0,2 per una crescita vegetativa molto densa.
- **Surface Roughness:** è la n di Manning che rappresenta il flusso di sfioro sulla copertura superficiale del suolo, sulla pavimentazione, sulla superficie del tetto o su un canale vegetativo. Per gli altri tipi di LID questo valore è pari a 0
- **Surface Slope:** è la pendenza della superficie di un tetto, di una pavimentazione o di un canale vegetativo (percentuale).

## Soil

La sezione “Soil” descrive le proprietà della miscela di terreno ingegnerizzata utilizzato nei tipi di LID a bio-ritenzione. Queste proprietà sono:

- **Thickness:** è lo spessore dello strato di terreno (pollici o mm). I valori tipici variano da 18 a 36 pollici (da 450 a 900 mm) per i giardini pluviali, le fioriere stradali e altri tipi di unità di bio-ritenzione basate sulla terraferma, ma solo da 3 a 6 pollici (da 75 a 150 mm) per i tetti verdi.
- **Porosity:** è il volume dello spazio dei pori rispetto al volume totale del terreno (come frazione).



- Field Capacity: è il volume dell'acqua dei pori rispetto al volume totale dopo che il terreno è stato lasciato drenare completamente (come frazione). Al di sotto di questo livello, il drenaggio verticale dell'acqua attraverso lo strato di terreno non avviene.
- Wilting Point: è il volume dell'acqua dei pori rispetto al volume totale di un terreno ben essiccato in cui rimane solo l'acqua legata (come frazione). Il contenuto di umidità del terreno non può scendere al di sotto di questo limite.
- Conductivity: è la conducibilità idraulica del terreno completamente saturo (in/hr o mm/hr).
- Conductivity Slope: è la pendenza della curva log(conduttività) rispetto al contenuto di umidità del terreno (adimensionale). I valori tipici vanno da 30 a 60. Può essere stimata da un'analisi granulometrica standard del suolo come  $0,48(\%Sabbia) + 0,85(\%Argilla)$ .
- Suction Head: è il valore medio dell'aspirazione capillare del suolo lungo il fronte di bagnatura (pollici o mm). Si tratta dello stesso parametro utilizzato nel modello di infiltrazione di Green-Ampt.

### Storage

La sezione “Storage” descrive le proprietà dello strato di pietrisco o ghiaia utilizzato nelle celle di bio-ritenzione, nei sistemi di pavimentazione permeabile e nelle trincee di infiltrazione come strato di accumulo/drenaggio inferiore. Si usa anche per specificare l'altezza di un barile di pioggia (o cisterna). Vengono visualizzati i seguenti campi dati:

- Thickness (or Barrel Height): è lo spessore di uno strato di ghiaia o l'altezza di una cisterna per la pioggia (pollici o mm). Gli strati di pietra frantumata e di ghiaia hanno in genere uno spessore che va dai 6 ai 18 pollici (da 150 a 450 mm), mentre i barili pluviali delle case unifamiliari hanno un'altezza compresa tra i 24 e i 36 pollici (da 600 a 900 mm).
- Void Ratio: è il volume dello spazio vuoto rispetto al volume dei solidi nello strato. I valori tipici vanno da 0,5-0,75 per i letti di ghiaia. Si noti che la porosità = rapporto di vuoto / (1 + rapporto di vuoto).

- Seepage Rate: è la velocità massima con cui l'acqua può defluire dal fondo dello strato dopo la sua costruzione (in/ora o mm/ora). I valori tipici per le ghiaie sono da 10 a 30 in/ora (da 250 a 750 mm/ora). Se lo strato contiene un letto di sabbia, si deve utilizzare la conducibilità della sabbia. Se c'è un pavimento o rivestimento impermeabile al di sotto dello strato, utilizzare un valore pari a 0. Il tasso effettivo di esfiltrazione attraverso il fondo sarà il minore tra questo valore limite e il normale tasso di infiltrazione nel terreno sottostante lo strato.
- Clogging Factor: è il volume totale del deflusso trattato necessario per intasare completamente il fondo dello strato. Utilizzare un valore pari a 0 per ignorare l'occlusione.

Ogni sistema di misure è rappresentato da diverse combinazioni di surface, soil, storage and drain layer. Si mostra in [Tabella 5.1] le specifiche combinazioni di livelli contenuti in ogni tipologia di Layer.

Tabella 5.1 *Strumenti obbligatori (√), facoltativi (O) e non necessari (x) per la definizione dei LID*

LID type	Surface	Soil	Pavement	Storage	Drain
Bio-retention cell	√	√	x	O	O
Infiltration trench	√	x	x	√	O
Permeable pavement	√	O	√	√	O
Rain barrel	x	x	x	√	√
Vegetative swale	√	x	x	x	x
Rain garden	√	√	x	x	x
Green roof	√	√	x	x	√ (drainage mat)

### Pollutant Removals

La sezione “Pollutant Removals” permette di misurare la percentuale di riduzione delle sostanze inquinanti prodotta dall’effetto dei LID.

La percentuale di riduzione di ciascun inquinante dipende dal coefficiente di permeabilità satura, misurato sperimentalmente nello studio [36], facendo saturare il terreno all'interno di un tubo con pioggia artificiale contenente inquinamento e prelevando campioni d'acqua in modo da analizzare le concentrazioni di inquinanti. Il coefficiente di permeabilità satura riflette una relazione proporzionale tra la velocità di infiltrazione e il gradiente idraulico nei terreni saturi.

*Dallo studio precedentemente descritto, si ottengono la [Tabella 5.2] dalla quale ottenere il coefficiente di permeabilità satura, e la [*

*Tabella 5.3] dalla quale ottenere la percentuale di riduzione delle sostanze inquinanti.*

*Tabella 5.2\_Misurazione del coefficiente di permeabilità satura dei terreni*

Classi	A	B	C	D	E	F
Coefficiente di permeabilità satura (mm/min)	3,17	7,58	18,90	11,20	5,12	1,61

*Tabella 5.3\_Riduzione inquinanti (%)*

Classi	Riduzione inquinanti (%)			
	TSS	COD	TKN	PTOT
A	61,2	42,5	33,1	39,5
B	48,3	36,2	28,4	35,2
C	43,3	33,5	27,0	21,0
D	48,3	37,5	21,7	29,0
E	60,0	47,5	30,9	33,5
F	68,3	59,8	39,0	48,0

I carichi inquinanti valutati in questo studio includono TSS, COD, TN e TP, che sono inquinanti comuni presenti nel deflusso stradale. Per simulare la qualità del deflusso nell'ambiente stradale urbano del caso di studio e per tenere conto dell'effetto di prima pioggia nel deflusso.

Nella modellazione dei sistemi LID vengono inseriti, quindi, anche i parametri che riguardano l'inquinamento che aggiungono allo studio un dato riguardante l'efficacia dell'introduzione di tali sistemi sulla qualità delle

acque reflue. Questo garantirebbe, nel caso in cui l'introduzione dei sistemi LID porti ad una riduzione degli inquinanti in sede di risultato, ad un aumento della qualità delle acque scolmate in occasione di eventi di picco.

### 5.1.1 Bioretention Cell

Il sistema LID di tipo Bioretention cell viene applicato per la modellazione delle trincee di infiltrazione (1.3.3.2.1).

La creazione di una Bioretention cell ci permette di compilare tre schede relative ai parametri del terreno, tra cui la porosità, la capacità di invaso, pendenza, conduttività idraulica, coefficienti di scabrezza e fattore di occlusione. I parametri inseriti influiscono in maniera differente sull'efficienza del LID e quelli che pesano di più sono: l'estensione del LID, gli spessori e la stratigrafia del terreno.

La trincea di infiltrazione non è altro che uno scavo, riempito di roccia che riceve i deflussi meteorici attraverso delle misure di pretrattamento; i volumi idrici si accumulano negli spazi vuoti e si infiltrano all'interno del terreno attraverso il fondo e i lati della trincea. La trincea di infiltrazione può far parte di un sistema di convogliamento delle acque meteoriche ed è progettata in modo da comportare una riduzione del volume del deflusso durante il trasporto in condotta. Quindi possono essere realizzate in due situazioni differenti: nelle immediate prossimità di edifici adibiti a civile abitazione o parallelamente ad infrastruttura stradale.

Lo schema costruttivo della [Figura 5.1] ci mostra la stratigrafia della trincea di infiltrazione a partire dallo strato superficiale dove avviene la crescita della vegetazione, uno strato di ghiaia, uno strato drenante e un tessuto geotessile per impedire ai materiali di intasare la trincea.

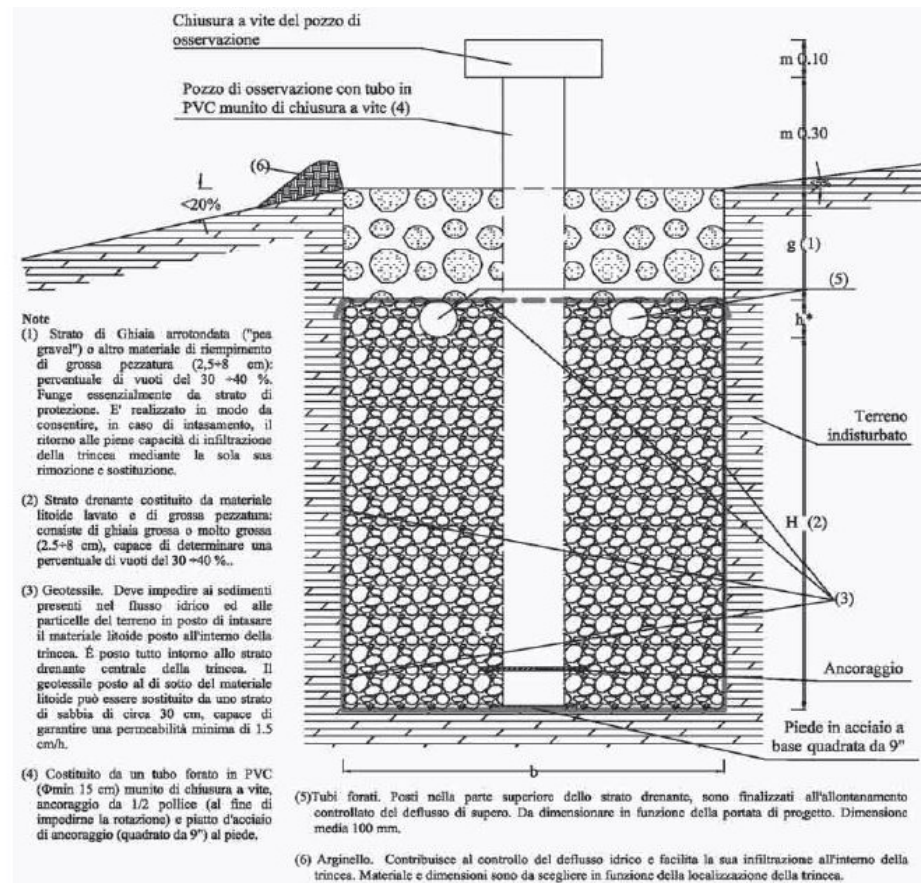


Figura 5.1\_Schema trincea di infiltrazione

Si riportano le tabelle [Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.] relative ai parametri inseriti all'interno del software per la definizione di questo LID.

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:

\*Optional

Drain	Pollutant Removals	
	Surface	Storage
Berm Height (in. or mm)	<input type="text" value="0.0"/>	
Vegetation Volume Fraction	<input type="text" value="0.0"/>	
Surface Roughness (Mannings n)	<input type="text" value="0.13"/>	
Surface Slope (percent)	<input type="text" value="3.0"/>	

OK Cancel Help

Drain	Pollutant Removals	
	Surface	Storage
Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="1000"/>	
Porosity (volume fraction)	<input type="text" value="0.5"/>	
Field Capacity (volume fraction)	<input type="text" value="0.2"/>	
Wilting Point (volume fraction)	<input type="text" value="0.1"/>	
Conductivity (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="0.5"/>	
Conductivity Slope	<input type="text" value="10.0"/>	
Suction Head (in. or mm)	<input type="text" value="3.5"/>	

Drain	Pollutant Removals	
	Surface	Storage
Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="1000"/>	
Void Ratio (Voids / Solids)	<input type="text" value="0.54"/>	
Seepage Rate (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="12.7"/>	
Clogging Factor	<input type="text" value="0"/>	

Figure 5.1 \_Schede SWMM per la modellazione della trincea di infiltrazione

In aggiunta, SWMM permette di assegnare una percentuale di rimozione degli inquinanti alle LID che sono dotate di un sistema di drenaggio [Figura 5.2]. La percentuale è applicata solo alla porzione di deflusso rilasciata dalle LID attraverso il sistema di drenaggio. Come prima analisi, viene valutato il quantitativo di inquinanti accumulati dilavati durante la simulazione in assenza dell'area Bioretention. In seguito, con l'applicazione dei LID, eseguendo la simulazione si possono confrontare come varia il deflusso dei vari inquinanti.

Surface	Soil	Storage
Drain	Pollutant Removals	
Pollutant	% Removal	
TKN	33.1	
COD	42.5	
BOD5		
TSS	61.2	
PTOT	39.5	
E.COLI		
Enter percent removal for pollutants in underdrain outflow.		

Figura 5.2\_Percentuale di riduzione di sostanze inquinanti

### 5.1.2 Green roof

La tipologia di LID green roof permette la modellazione dei tetti verdi quindi nei sottobacini dove si ipotizza di andare ad inserire negli edifici delle coperture a tetti verdi in modo tale che una quota parte di pioggia caduta sui tetti possa infiltrarsi nel terreno senza andare ad aumentare la portata nei condotti fognari. Sono costituiti da una membrana impermeabile, che protegge la struttura dell'edificio e un adeguato sistema di drenaggio che consente lo sviluppo della vegetazione [Figura 5.3].

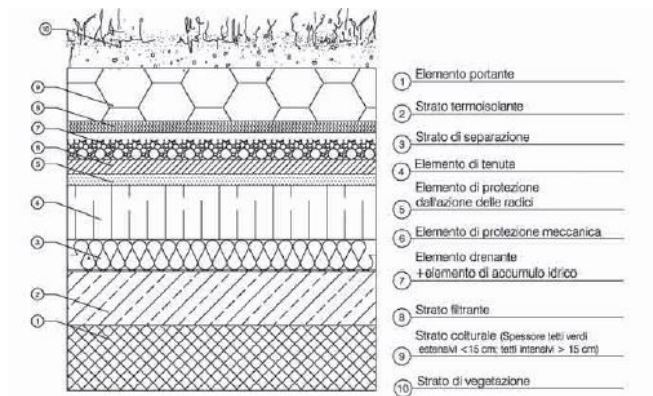


Figura 5.3\_Schema tetto verde estensivo

Si riportano le tabelle relative ai parametri inseriti all'interno del software per la definizione di questo LID.

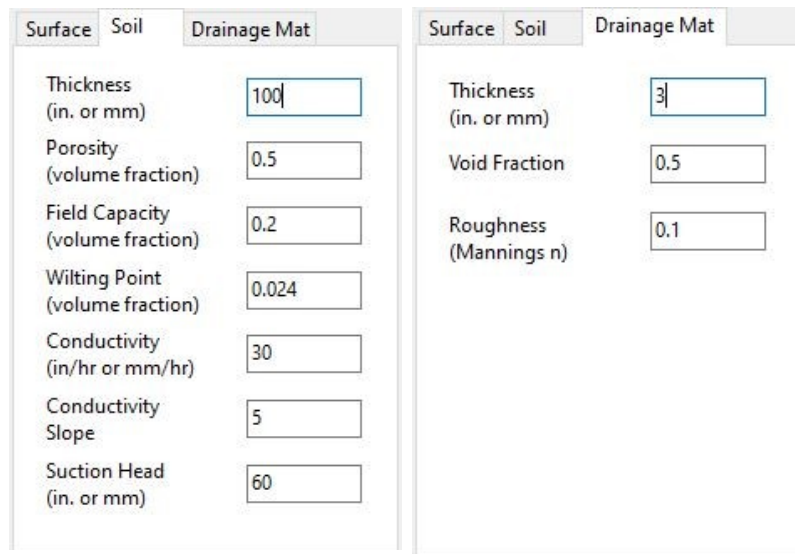
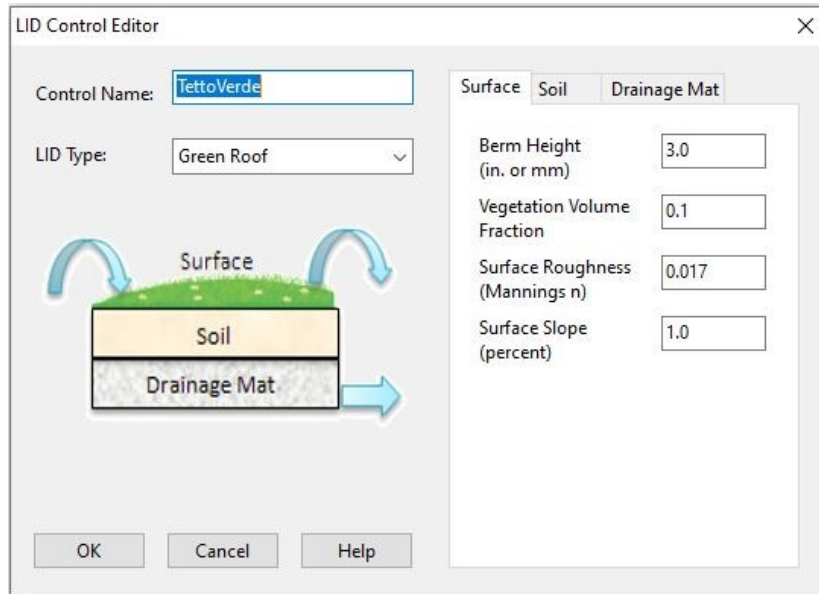


Figure 5.3 \_Schede SWMM per la modellazione dei tetti verdi



### 5.1.3 Permeable Pavement

La modellazione dell'asfalto poroso è possibile grazie all'introduzione del sistema LID di tipo Permeable Pavement. Le pavimentazioni drenanti sono strutture che consentono alle acque di infiltrarsi attraverso la superficie e dentro gli strati sottostanti dove l'acqua viene temporaneamente accumulata prima dell'infiltrazione del terreno. attraverso i processi di infiltrazione, filtrazione e accumulo consentono l'attenuazione del deflusso superficiale e forniscono anche un mezzo di trattamento dell'inquinante prima di scaricare il deflusso idrico nel recettore [Figura 5.4].

Le pavimentazioni permeabili possono essere ad elementi interbloccanti, in calcestruzzo permeabile, in asfalto poroso.

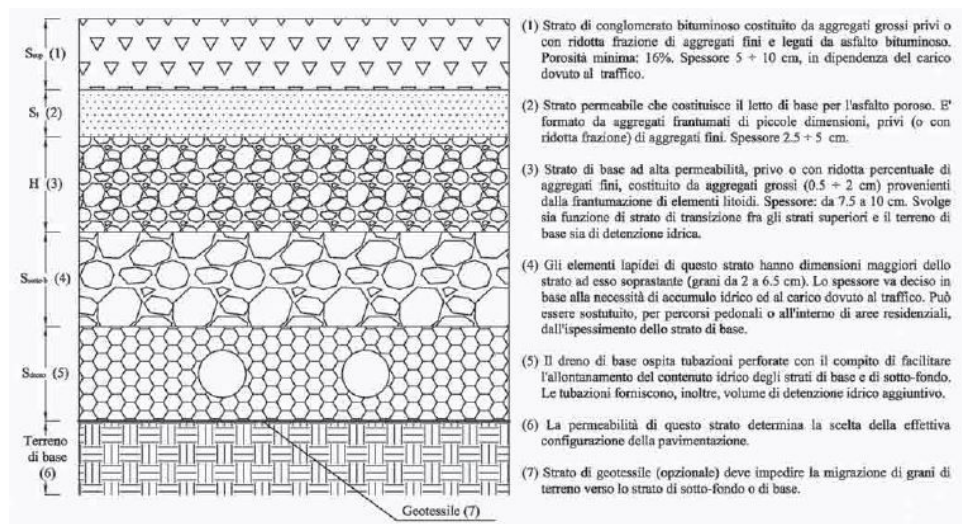


Figura 5.4\_Schema pavimentazione permeabile

Si riportano le tabelle relative ai parametri inseriti all'interno del software per la definizione di questo LID.

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:

\*Optional

OK Cancel Help

Storage	Drain	Pollutant Removals
Surface	Pavement	Soil
Berm Height (in. or mm)	<input type="text" value="2.0"/>	
Vegetation Volume Fraction	<input type="text" value="0.0"/>	
Surface Roughness (Mannings n)	<input type="text" value="0.014"/>	
Surface Slope (percent)	<input type="text" value="1.0"/>	

Surface	Pavement	Soil
Storage	Drain	Pollutant Removals
Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="150"/>	
Void Ratio (Voids / Solids)	<input type="text" value="0.4"/>	
Seepage Rate (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="1.2"/>	
Clogging Factor	<input type="text" value="0"/>	

Storage	Drain	Pollutant Removals
Surface	Pavement	Soil
Thickness (in. or mm)	<input type="text" value="100"/>	
Void Ratio (Voids / Solids)	<input type="text" value="0.25"/>	
Impervious Surface Fraction	<input type="text" value="0"/>	
Permeability (in/hr or mm/hr)	<input type="text" value="250"/>	
Clogging Factor	<input type="text" value="0"/>	
Regeneration Interval (days)	<input type="text" value="0"/>	
Regeneration Fraction	<input type="text" value="0"/>	

Surface	Pavement	Soil
Storage	Drain	Pollutant Removals
Flow Coefficient*	<input type="text" value="0"/>	
Flow Exponent	<input type="text" value="0.5"/>	
Offset (in or mm)	<input type="text" value="6"/>	
Open Level (in or mm)	<input type="text" value="0"/>	
Closed Level (in or mm)	<input type="text" value="0"/>	
Control Curve	<input type="text"/>	

[Drain Advisor](#)

Figure 5.4\_Schede SWMM per la modellazione delle pavimentazioni permeabili

Surface	Pavement	Soil
Storage	Drain	Pollutant Removals
Pollutant	% Removal	
TKN	30.9	
COD	47.5	
BOD5		
TSS	60.6	
PTOT	33.5	
E.COLI		

Figura 5.5 \_Percentuale di riduzione di sostanze inquinanti

#### 5.1.4 Rain Barrel

Per i sistemi di recupero dell'acqua piovana e le vasche di laminazione si definiscono dei parametri che servono a calcolare il volume raccolto in cisterna e l'ipotetico ritardo con cui l'acqua invasata viene poi riammessa all'interno del bacino.

I sistemi di recupero delle acque piovane sono stati inseriti nel modello SWMM andando a considerare un'altezza di 1000 mm e un ritardo di svuotamento di 6 h, ma presentano il coefficiente di flusso pari a 25 poiché questo manufatto viene considerato dal software drenante. Inoltre, essendo dei veri e propri recipienti vengono modellati spuntando la voce "covered" in modo che il software percepisce che si tratta di un sistema chiuso; per questa ragione quando si assegna il LID alla porzione di sottobacino designata bisogna indicare la percentuale di superficie occupata dal LID come impermeabile.

Si nota una differenza tra scarico in zona permeabile e in area impermeabile, infatti, ipotizzando che l'acqua accumulata nelle cisterne sia poi riutilizzata ad uso domestico come ad esempio per innaffiare il giardino o reimpressa in una rete separata per scarichi del wc e lavatrice, la parte decrescente

dell'idrogramma dovrebbe rimanere stabile mentre se viene riutilizzata in altro modo per poi defluire nei condotti fognari allora la parte decrescente della curva avrà un picco che corrisponde al momento in cui effettivamente l'acqua raggiunge lo scarico fognario.

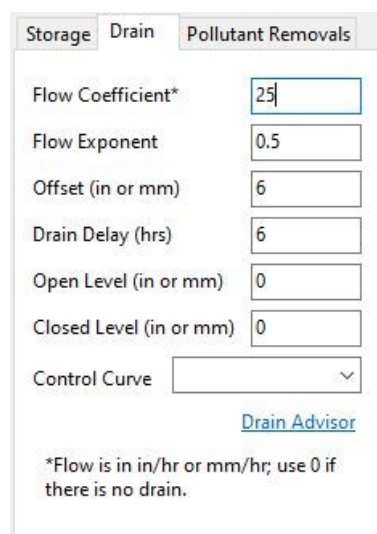
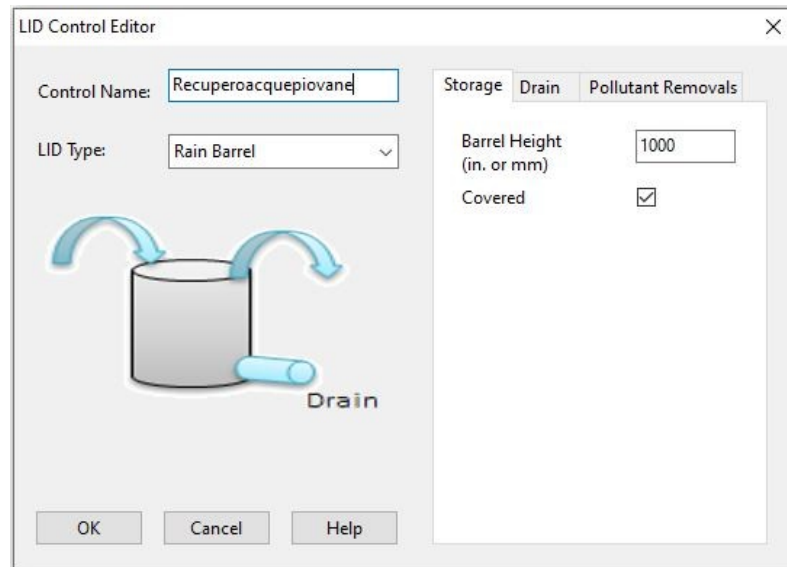


Figure 5.6\_Schede SWMM per la modellazione del recupero delle acque piovane

Le vasche di laminazione vengono modellate sul software in maniera analoga al recupero delle acque piovane, ma non presentano nessun tipo di drenaggio poiché sono solo delle vasche di raccolta e quindi il coefficiente di flusso risulta 0.

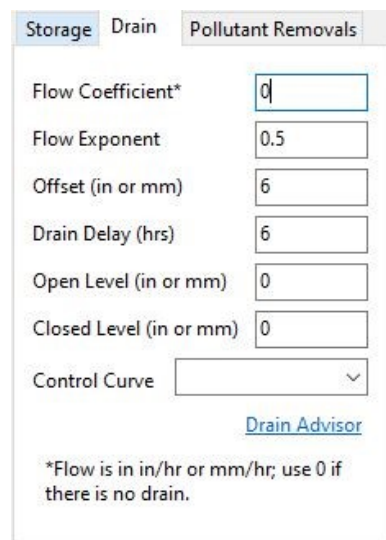
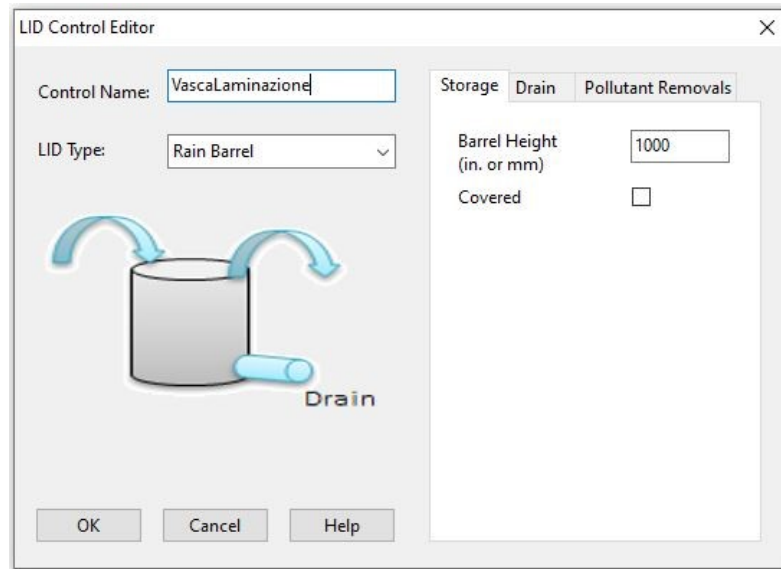


Figure 5.7\_Schede SWMM per la modellazione della vasca di laminazione

Storage	Drain	Pollutant Removals														
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pollutant</th> <th>% Removal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TKN</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>COD</td> <td>59.8</td> </tr> <tr> <td>BOD5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TSS</td> <td>68.3</td> </tr> <tr> <td>PTOT</td> <td>48.0</td> </tr> <tr> <td>E.COLI</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Pollutant	% Removal	TKN	39	COD	59.8	BOD5		TSS	68.3	PTOT	48.0	E.COLI	
Pollutant	% Removal															
TKN	39															
COD	59.8															
BOD5																
TSS	68.3															
PTOT	48.0															
E.COLI																
<p>Enter percent removal for pollutants in underdrain outflow.</p>																

*Figura 5.8\_Percentuale di riduzione di sostanze inquinanti*

## CAPITOLO 6

### APPLICAZIONE DEI SISTEMI LID

#### (LOW IMPACT DEVELOPMENT)

##### 6.1 ASSEGNAZIONE DEI LID AI SOTTOBACINI

I sistemi LID (Low Impact Development) sono quelle infrastrutture, verdi e no, volte alla riduzione dei deflussi superficiali di acque meteoriche.

Per procedere all'assegnazione dei sistemi LID ai vari sottobacini ed effettuare una simulazione che permetta il confronto con i risultati della situazione attuale (0), occorre effettuare un'analisi idraulica e un'analisi urbanistico-funzionale. In questo modo la scelta di progetto sarà ponderata sia dal punto di vista idraulico per massimizzare la prestazione dell'intervento a discapito del costo dell'opera, sia dal punto di vista urbanistico nel rispetto delle tipologie edilizie, degli spazi serviti e della conformazione dei vari bacini. Il criterio di scelta dell'intervento si basa sulla creazione di scenari che permettano al meglio la valutazione della scelta progettuale più conveniente, cioè quella che dà una risposta in termini di riduzione di deflusso abbastanza consistente da giustificare l'investimento.

### 6.1.1 Approccio idraulico

In prima istanza, si effettua un'analisi idraulica andando ad individuare quei gruppi di sottobacino che presentano quantità di runoff simili: in questo modo, durante l'assegnazione dei drenaggi sostenibili ai vari sottobacini, sarà possibile escludere uno o più gruppi di sottobacino per valutare l'ipotesi migliore di intervento. In particolare, come riportato nella tabella [

*Tabella 6.1]* e successivamente nella mappa [*Figura 6.1]* si vanno ad escludere dallo studio i sottobacini aventi un runoff minore di 20 l/s. Per fare questa approssimazione si prende come riferimento la normativa della Regione Lombardia (1.2.3) che, per le aree B e C cioè a media e bassa criticità idraulica considera il range di valori massimi ammissibili quelli inferiori a 20 l/s per superficie impermeabile. Nei bacini analizzati la superficie impermeabile è spesso al di sotto di 1 ettaro e quindi la portata assoluta scaricabile sarebbe maggiore di 20 l/s. Tuttavia, poiché il bacino è composto da aree che vanno da alta a bassa densità, si sceglie di assumere una soglia comune che comprenda anche i sottobacini con una superficie impermeabile maggiore. I sottobacini con un runoff minore di 20 l/s, quindi, non avranno alcuna proposta di intervento. Questa distinzione in sede di progetto servirà ad escludere eventuali sottobacini che non danno una risposta abbastanza efficace in termini di riduzione del deflusso.

Di seguito viene riportata la tabella relativa ai runoff max per ogni sottobacino, relativi ai risultati dello scenario 0 analizzato nel (4.6). Si riporta solo la tabella relativa al TR10Y perché essendo la simulazione che genera i deflussi più alti sarà a maggior ragione a vantaggio di sicurezza rispetto agli altri. Inoltre, per la progettazione dei sistemi di drenaggio urbano la progettazione deve essere sempre svolta con tempi di ritorno alti per capire se le loro misure hanno un'influenza positiva sulla rete soprattutto a lungo termine. Sono evidenziati in grigio i sottobacini che hanno un runoff trascurabile, pertanto, nei paragrafi successivi non verranno analizzati e non saranno oggetto di proposte di intervento.



Tabella 6.1\_Runoff maggiori e minori di 20 l/s

subcatchment	TR10Y		
	precipitation [mm]	infiltration [mm/hr]	runoff max [l/s]
SUB1			
1a	36.08	27.03	101.85
1b	36.08	28.13	2.7
1c	36.08	28.13	3.37
SUB2			
2a	36.08	27.72	17.47
2b	36.08	28.85	16.25
SUB3			
3a	36.08	31.37	12.6
3b	36.08	30.15	162.62
3c	36.08	31.37	6.77
SUB4			
4a	36.08	29.45	34.55
4b	36.08	30.65	13.62
SUB5			
5a	36.08	29.45	30.48
5b	36.08	30.65	13.94
5c	36.08	30.65	7.44
5d	36.08	30.65	3.96
SUB6			
6a	36.08	30.49	70.18
6b	36.08	31.73	7.79
SUB7	36.08	14.21	101.05
SUB8			
8a	36.08	14.21	101.05
8b	36.08	14.21	101.05
8c	36.08	14.21	101.05
SUB9	36.08	22.87	179.83
SUB10	36.08	12.82	153.71
SUB11	36.08	16.29	195.56
SUB12	36.08	30.69	15.59
SUB13	36.08	30.15	24.51
SUB14			
14a	36.08	25.99	89.69
14b	36.08	27.05	72.76

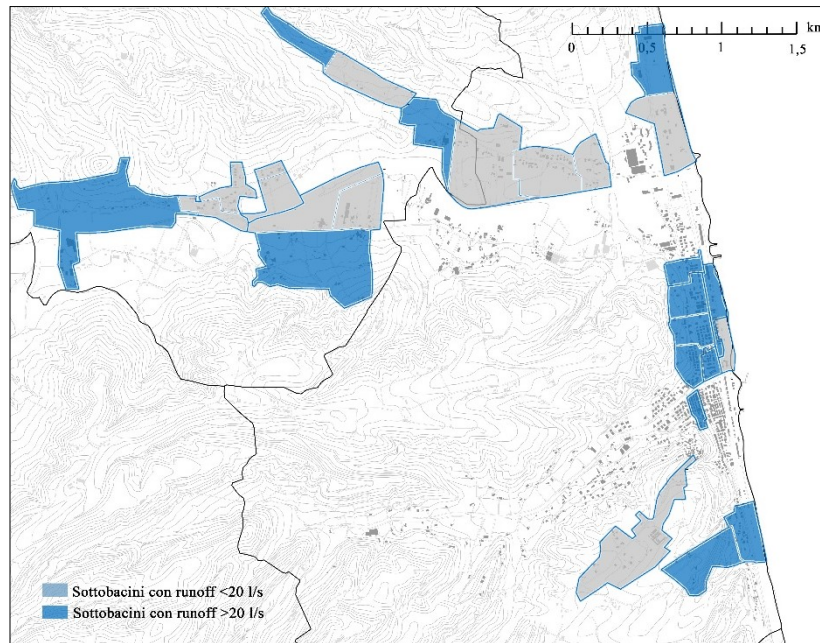


Figura 6.1 \_Runoff maggiori e minori di 20 l/s

### 6.1.2 Approccio urbanistico e funzionale

Il secondo approccio è quello urbanistico- funzionale. Questa analisi consente in via di progetto di assegnare in modo ponderato e appropriato il LID più consono alla tipologia di sottobacino in esame. L'analisi è necessaria perché, trattandosi di un intero bacino, i sottobacini hanno caratteristiche molto diverse tra loro e assegnando i sistemi LID senza differenziare le varie caratteristiche si rischierebbe di non ottimizzare al meglio l'intervento o di renderlo addirittura infattibile in termini tecnici per motivi di spazi, tipologie edilizie ed incompatibilità del sistema.

Per procedere all'assegnazione di uno o più LID nei sottobacini presi in esame, quindi, quelli che hanno un runoff specifico maggiore di 20 l/s per ettaro di superficie impermeabile. Si analizza ogni singolo sottobacino evidenziando gli ambiti forniti dai PRG dei Comuni di Cupra Marittima e Massignano. Ad ogni ambito corrisponderà un intervento più idoneo tra

quelli proposti e modellati nel sistema. In questo modo sarà rispettato il requisito di fattibilità in termini di corrispondenza per destinazione d'uso.

Una volta studiati i vari sottobacini e assegnati i LID selezionati per questa destinazione d'uso in percentuale rispetto ai vari ambiti, si procede alla creazione di scenari in modo da poter confrontare agevolmente i risultati con lo “Scenario 0”, cioè quello di partenza. I LID vengono inseriti all'interno del software in ogni sottobacino in maniera proporzionale alla superficie scelta per quella tipologia edilizia.

Lo “Scenario 1” prevede, in sede di analisi, che tutti i LID siano introdotti per ogni sottobacino. In questo modo verranno considerate anche quelle porzioni di sottobacino più piccole che daranno il loro contributo. Si definisce, poi, uno “Scenario 2” che prevede l'attivazione del LID che nel sottobacino occupa la porzione maggiore in termini percentuali. In questo modo, confrontando i due scenari con lo scenario base si potranno avere informazioni in termini di riduzioni del deflusso superficiale delle acque meteoriche e conseguente aumento dei volumi infiltrati; inoltre, confrontando i nuovi scenari definiti, si potranno avere informazioni circa l'utilità di creare più interventi all'interno dello stesso sottobacino e quanto questo impatta sulla riduzione dei deflussi in modo tale da ottenere la combinazione migliore in termini di impiego di risorse e di impatto sulla riduzione dei deflussi.

Nell'analisi le voci prese in considerazione per l'assegnazione dei LID ai vari sottobacini potrebbero variare perché provenienti da due stralci di PRG diversi ovvero quello relativo al Comune di Cupra Marittima e quello relativo al Comune di Massignano.

### 6.1.2.1 Sottobacino 1a

Il sottobacino 1a [Figura 6.2] cade all'interno del comune di Massignano. Attingendo al PRG si evidenzia una prevalenza di aree agricole collinari, le quali risultano vincolate per la maggior parte dalla tutela dei corsi d'acqua. Pertanto, il LID che rispecchia maggiormente la natura dell'area è la trincea di infiltrazione. L'area di pertinenza del PRG si distribuisce in maniera omogenea su tutta l'area, quindi, viene assegnata la trincea di infiltrazione effettuando la simulazione sulla percentuale di aree agricole collinari ovvero il 95%. Questo sottobacino avrà in sede di simulazione un unico LID e per questo lo scenario 1 e 2 coincideranno.

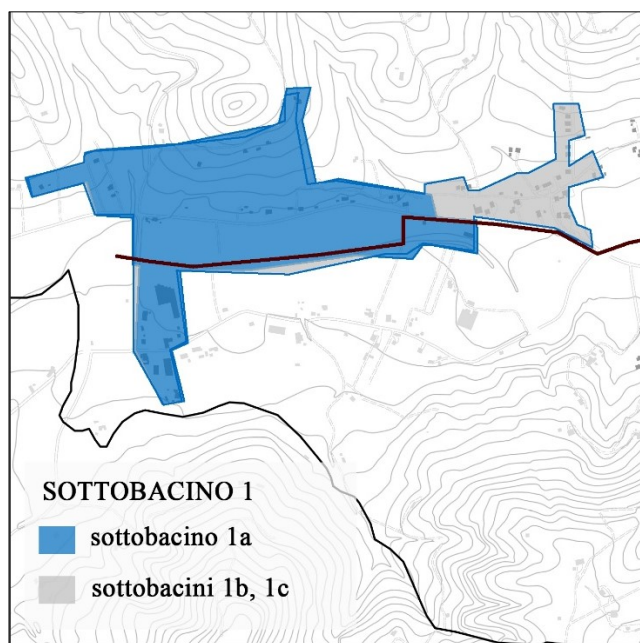


Figura 6.2\_Sottobacino 1a

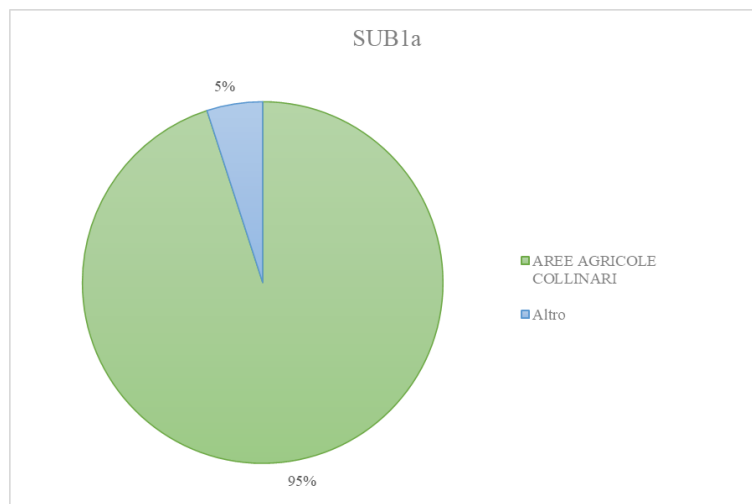


Figura 6.3\_ Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 1a

#### 6.1.2.2 Sottobacino 3b

Il sottobacino 3b [Figura 6.4] è situato all'interno del comune di Massignano. Dal PRG si evidenzia la prevalenza di aree agricole collinari con incidenza dell'88% e una parte minore di tessuto prevalentemente residenziale pari al 12%. Per le aree agricole sono state predisposte delle trincee di infiltrazione, mentre per il tessuto residenziale è prevista l'installazione di cisterne di raccolta delle acque meteoriche. In questa zona di bacino si predilige per il tessuto residenziale predisporre cisterne perché c'è più spazio per l'installazione, mentre nelle zone più densamente popolate più vicine al centro storico, i LID da proporre in zone residenziali saranno i tetti verdi poiché non ci sarebbe lo spazio per l'installazione delle cisterne. Per questo sottobacino è previsto uno scenario 2 in cui entra in funzione solo il LID con la percentuale di estensione maggiore, che in questo caso è la trincea di infiltrazione.

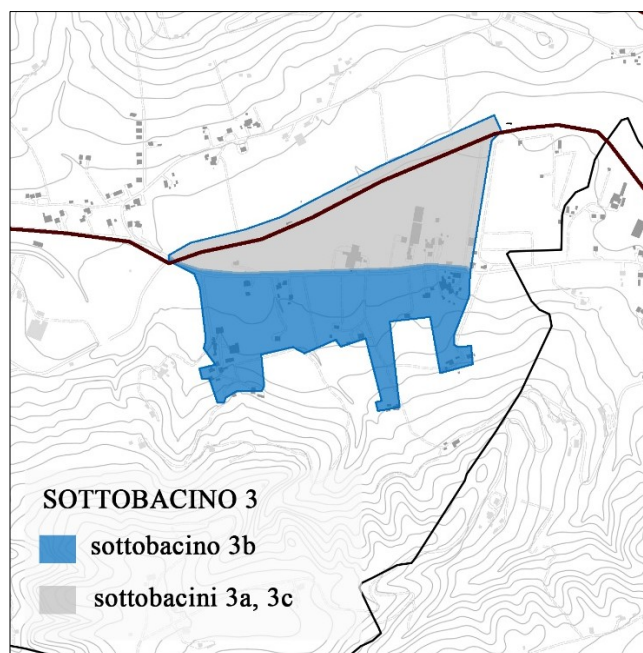


Figura 6.4 \_Sottobacino 3b

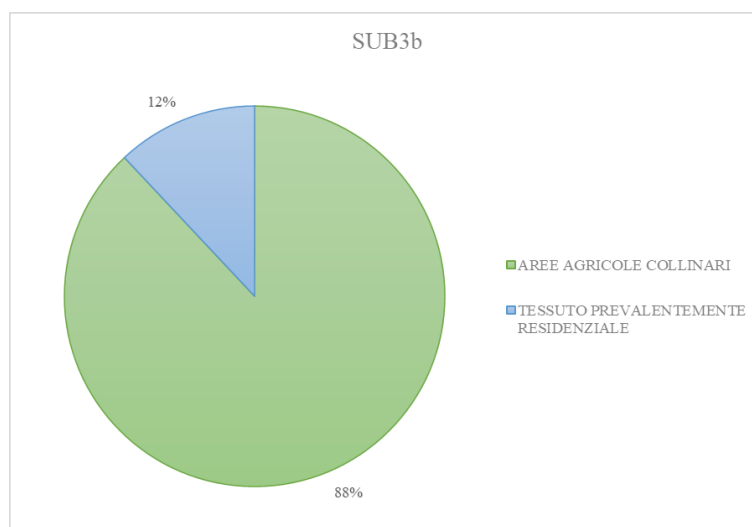


Figura 6.5 \_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 3b

### 6.1.2.3 Sottobacino 4a

Il sottobacino 4a [Figura 6.6], situato all'interno del comune di Massignano, è ricoperto in prevalenza di aree agricole collinari per

il 95%. Il LID più appropriato è la trincea di infiltrazione. Avendo assegnato un solo LID il sottobacino non avrà uno scenario 2.

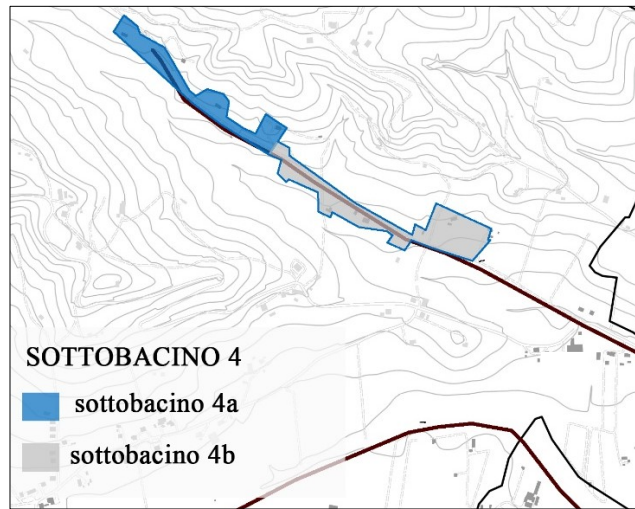


Figura 6.6 \_Sottobacino 4a

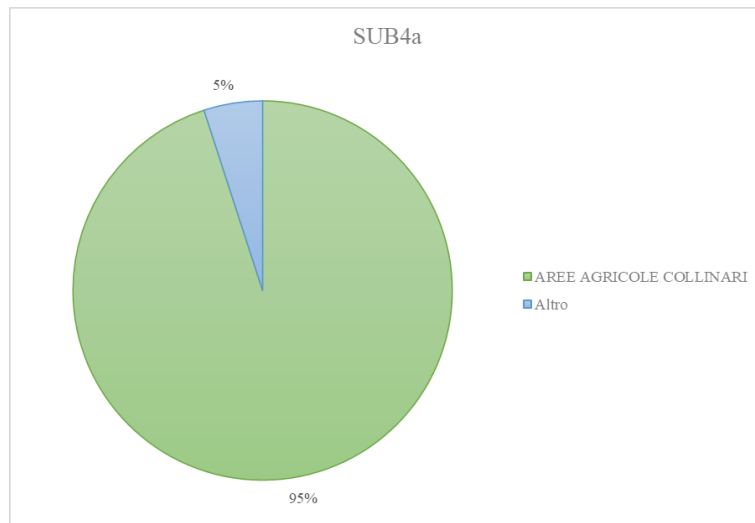


Figura 6.7 \_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 4°

#### 6.1.2.4 Sottobacino 5a

Il sottobacino 5a [Figura 6.8] si trova al margine del comune di Massignano. Al suo interno la destinazione d'uso è principalmente agricola collinare pari al 90%, tuttavia troviamo un 5% di tessuto produttivo e un altro 5% di tessuto di impianto medievale. Trascurando il tessuto di impianto medievale, soggetto a vincoli e sul quale non sarebbe possibile effettuare interventi, si dispongono trincee di infiltrazione per l'area agricola e i tetti verdi per il tessuto produttivo. La proposta di intervento di tetti verdi sull'area del tessuto produttivo deriva del fatto che queste aree sono generalmente coperte da edifici ampi e quindi la superficie da coprire è sufficiente per effettuare un intervento efficace.

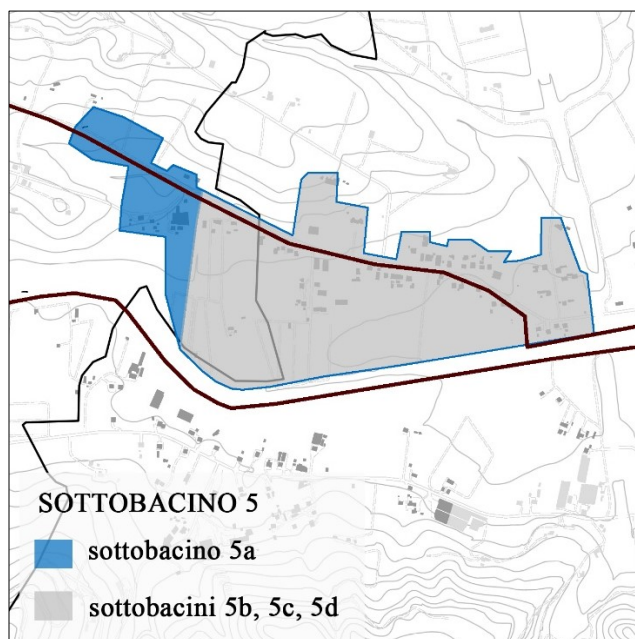


Figura 6.8\_Sottobacino 5a



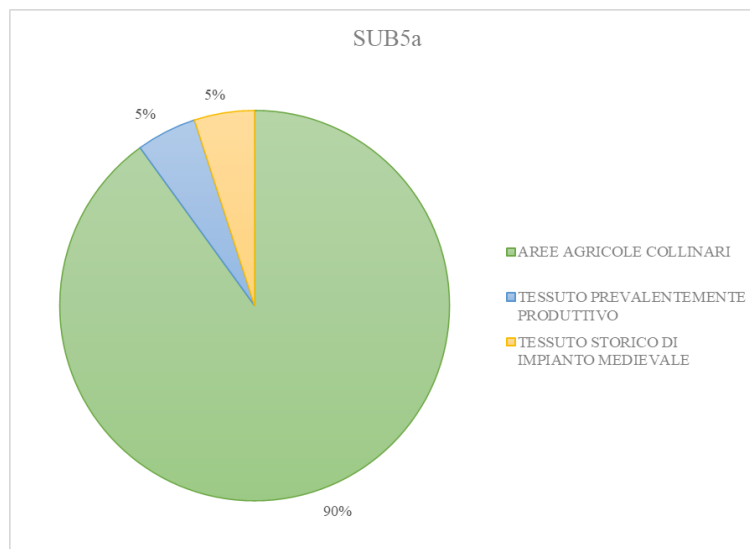


Figura 6.9\_ Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 5a

#### 6.1.2.5 Sottobacino 6a

Il sottobacino 6a [Figura 6.10] si trova nella parte nord del comune di Cupra Marittima. Esso contiene delle zone con villette balneari pari al 48% nelle quali si predispongono cisterne di raccolta delle acque meteoriche; per il 22% è coperto da villaggi turistici e camping nei quali vengono predisposte delle pavimentazioni permeabili, poiché si tratta di superfici impermeabilizzate piane; ed infine è coperto per il 25% da aree agricole, alle quali vengono assegnate le vasche di laminazione poiché queste zone sono attigue al centro abitato e quindi sono attraversate da strade e superfici scolanti impermeabili. Lo scenario 1 vedrà in funzione tutti e 3 i LID, mentre nello scenario 2 rimarranno in funzione solo le cisterne poiché la zona delle villette balneari occupa una superficie più elevata.

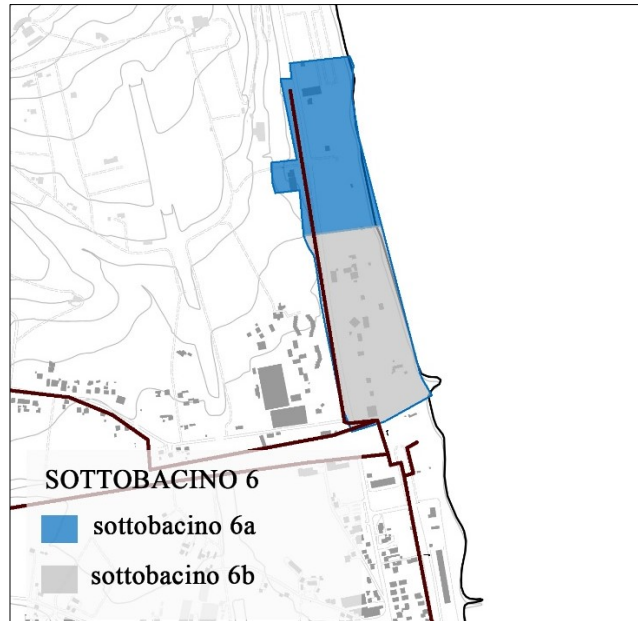


Figura 6.10 \_Sottobacino 6a

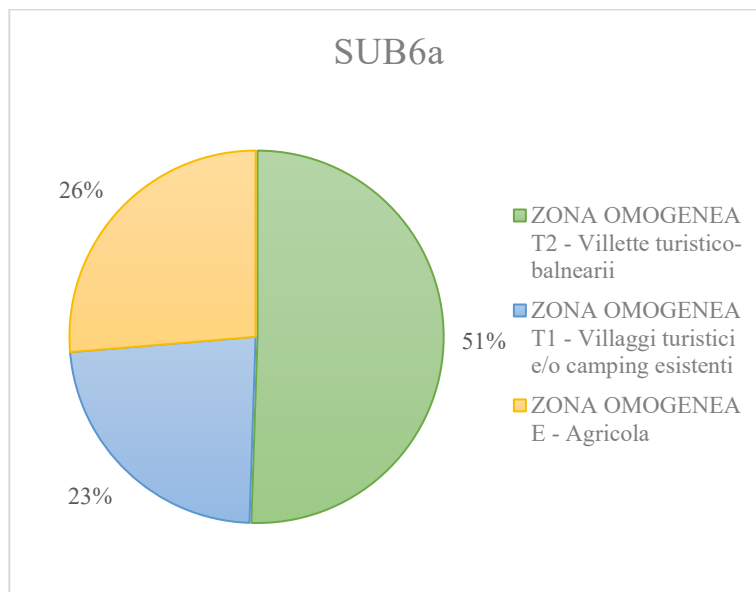


Figura 6.11 \_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 5a

#### 6.1.2.6 Sottobacino 7

Il sottobacino 7 [Figura 6.12], situato in prossimità della costa di Cupra Marittima è composto dalle seguenti zone:

- ZONE OMOGENEE B - Soggette a prescrizioni particolari: 22%
- ZONA OMOGENERA E - Agricola: 50%
- ZONA OMOGENEA T1 - Villaggi turistici e/o camping esistenti: 15%
- Altro: 12,5%

Trascurando la zona B, si dispongono trincee di infiltrazione per le aree agricole e pavimentazioni permeabili per la zona camping. Queste ultime non saranno inserite nella simulazione dello scenario 2.

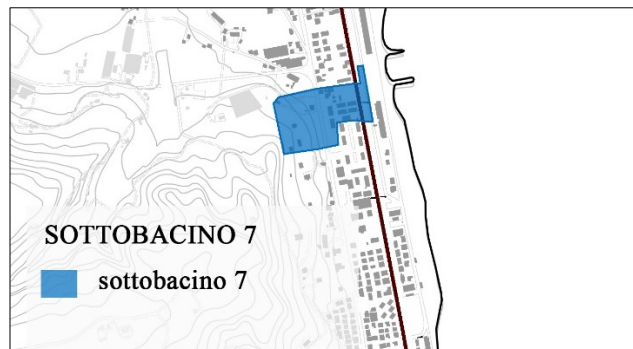


Figura 6.12\_Sottobacino 7

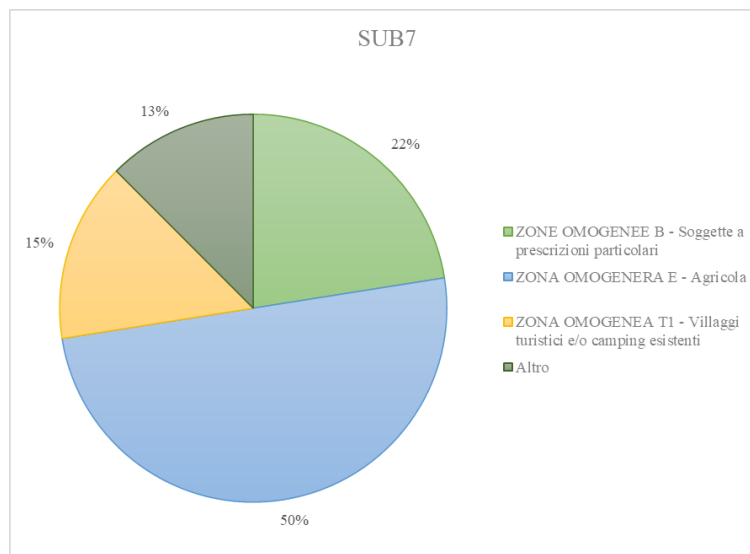


Figura 6.13\_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 7

#### 6.1.2.7 Sottobacino 8a

Il sottobacino 8a [Figura 6.14], situato in prossimità della costa di Cupra Marittima è composto dalle seguenti zone:

- ZONA OMOGENEA F1 - Spazi attrezzati a verde pubblico: 31%
- ZONE OMOGENEE B - Soggette a prescrizioni particolari: 23%
- ZONA OMOGENEA C1: 27 %
- ZONA OMOGENEA B1 - Tessuto prevalentemente residenziale ad alta densità: 19%

Analizzando le varie zone e trascurando quelle soggette a prescrizioni particolari, si dispongono: pavimentazioni permeabili per gli spazi attrezzati al verde pubblico, recupero acque piovane per le zone C1 e tetti verdi per il tessuto ad alta densità. In questo caso poiché non c'è un'area predominante sulle altre in termini percentuali, si sceglie di disporre tetti verdi anche sulla zona C1 in modo da avere un totale del 46% che verrà considerato da solo nella simulazione dello scenario 2.

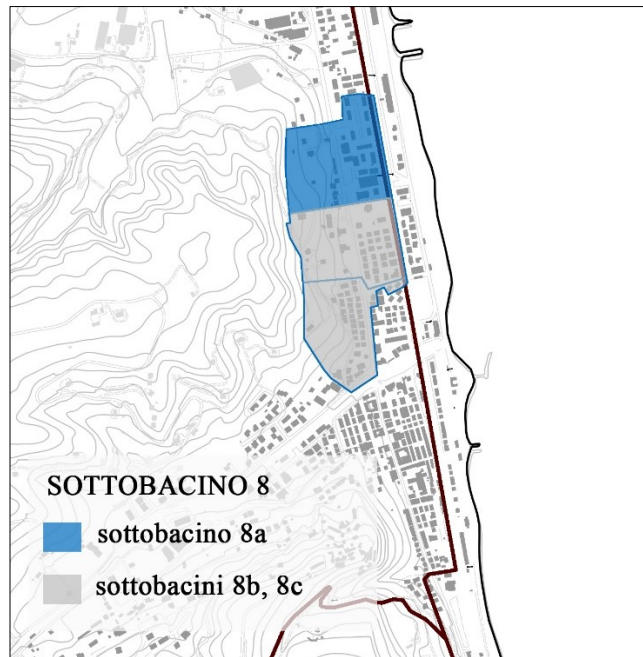


Figura 6.14\_Sottobacino 8a

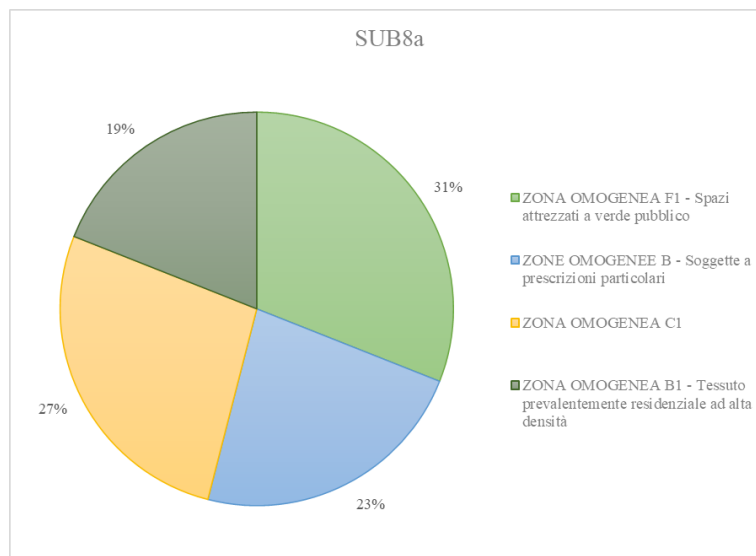


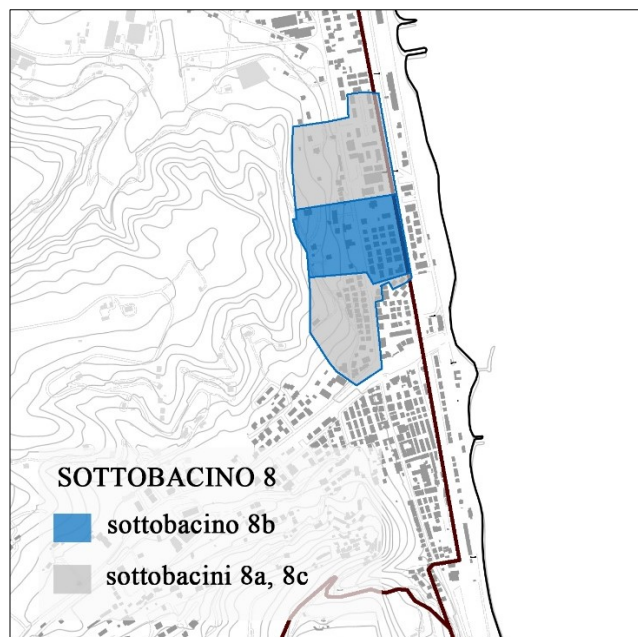
Figura 6.15\_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 8a

#### 6.1.2.8 Sottobacino 8b

Il sottobacino 8b [Figura 6.16], situato in prossimità della costa di Cupra Marittima è composto dalle seguenti zone:

- ZONA OMOGENEA F1 - Spazi attrezzati a verde pubblico: 42%
- ZONA OMOGENEA TS - Turistiche speciali: 29%
- VERDE PRIVATO: 21%
- ZONA OMOGENEA F2 - Area per attrezzature tecnologiche per servizi urbani: 8%

In questo caso vengono trascurate le zone turistiche speciali e si dispone di pavimentazioni permeabili per spazi attrezzati al verde pubblico e tetti giardino per le attrezzature e i servizi urbani. Per la simulazione dello scenario 2 verranno prese in considerazione solo le pavimentazioni permeabili essendo presenti in percentuale maggiore.



*Figura 6.16\_Sottobacino 8b*

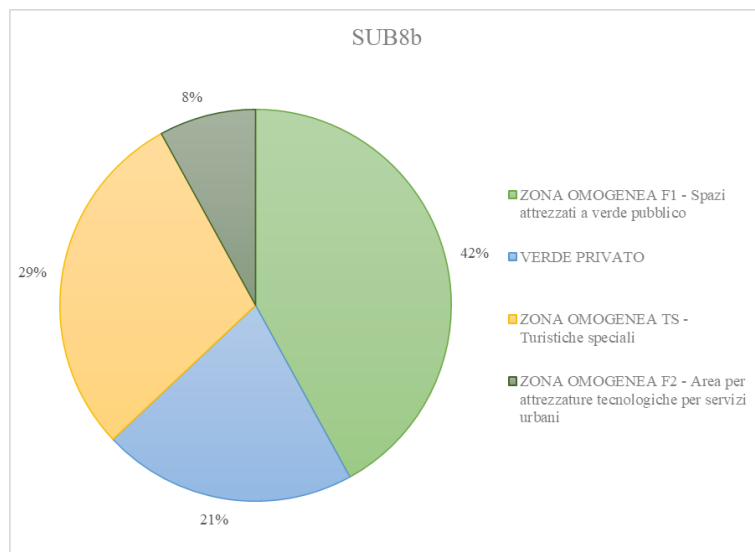


Figura 6.17 \_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 8b

#### 6.1.2.9 Sottobacino 8c

Il sottobacino 8c [Figura 6.18], situato in prossimità della costa di Cupra Marittima è composto dalle seguenti zone:

- ZONA OMOGENEA B1 - Tessuto prevalentemente residenziale ad alta densità: 65%
- ZONA OMOGENEA E – Agricola: 35%

Si dispongono tetti giardino per il tessuto ad alta densità e trincee di infiltrazione per la zona agricola; quest'ultima non viene simulata nello scenario 2.

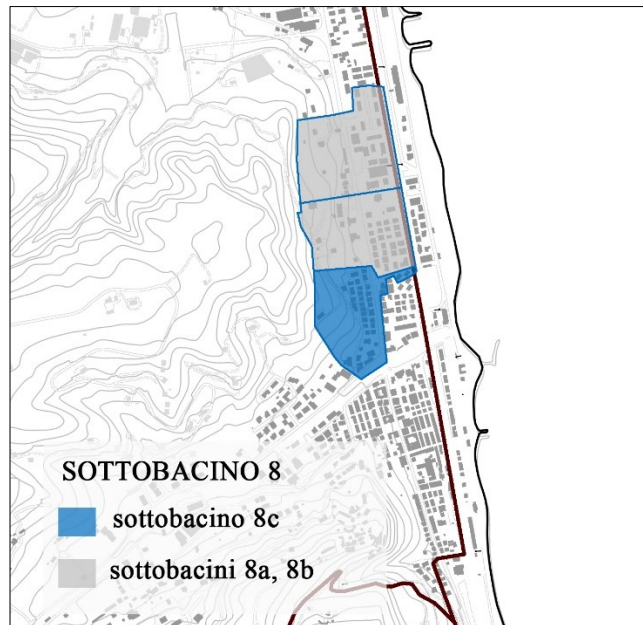


Figura 6.18\_Sottobacino 8c

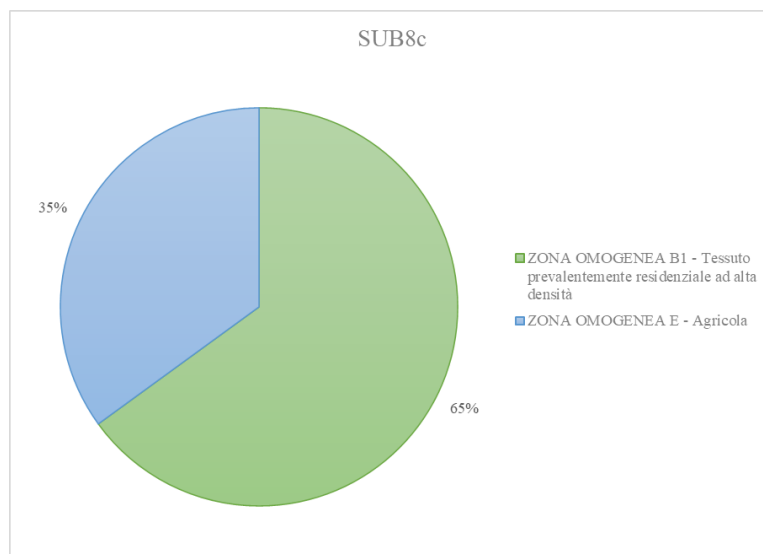


Figura 6.19\_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 8c

#### 6.1.2.10 Sottobacino 9

Il sottobacino 9 [Figura 6.20], situato in prossimità della costa di Cupra Marittima è composto dalle seguenti zone:



- ZONA OMOGENEA B1 - Tessuto prevalentemente residenziale ad alta densità: 40%
- ZONA C6: 21%
- ZONA OMOGENEA F2 - Area per attrezzature tecnologiche per servizi urbani: 17,5%
- ZONE OMOGENEE B - Soggette a prescrizioni particolari: 3,5%
- Parcheggi: 1%
- Altro: 17%

Questo sottobacino comprende molte zone. Per la scelta dei LID si esclude di tenere in considerazione la zona soggetta a prescrizioni particolari e si propone: tetti verdi per tessuto ad alta densità, aree per servizi urbani e zona C6 per un totale del 78,5%; mentre pavimentazioni permeabili per i parcheggi. I parcheggi non vengono considerati nella simulazione dello scenario 2.

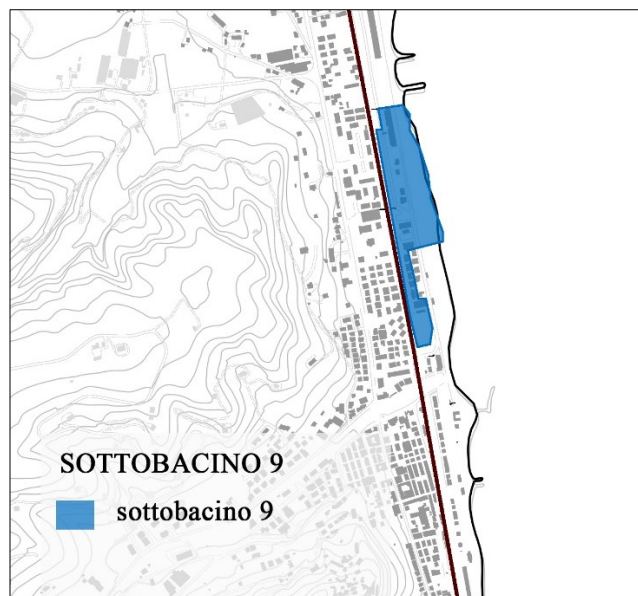


Figura 6.20\_Sottobacino 9

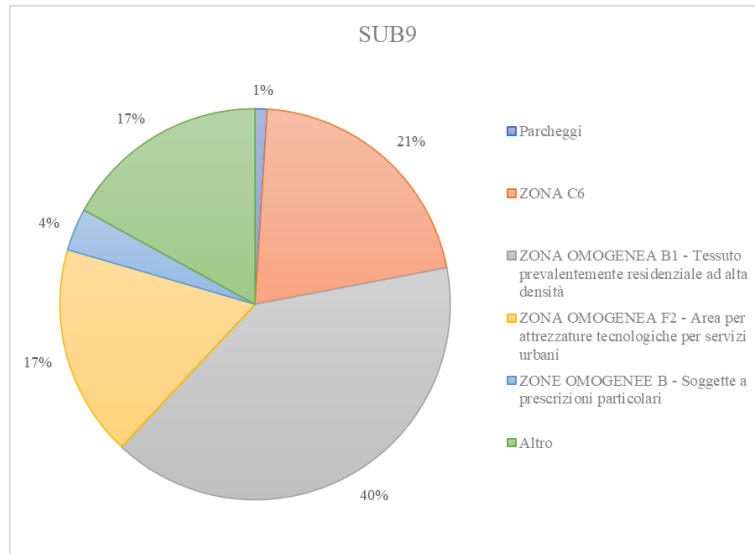


Figura 6.21\_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 9

#### 6.1.2.11 Sottobacino 10

Il sottobacino 10 [Figura 6.22], situato in prossimità della costa di Cupra Marittima è coperto per il 92% da tessuto residenziale ad alta densità, quindi, si propone in sede di intervento di inserire dei tetti verdi. Questo sottobacino ha solo un LID quindi lo scenario 2 coinciderà con lo scenario 1.

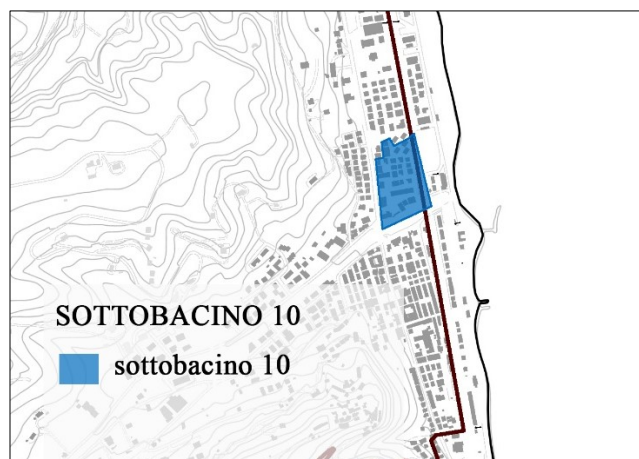


Figura 6.22\_Sottobacino 10

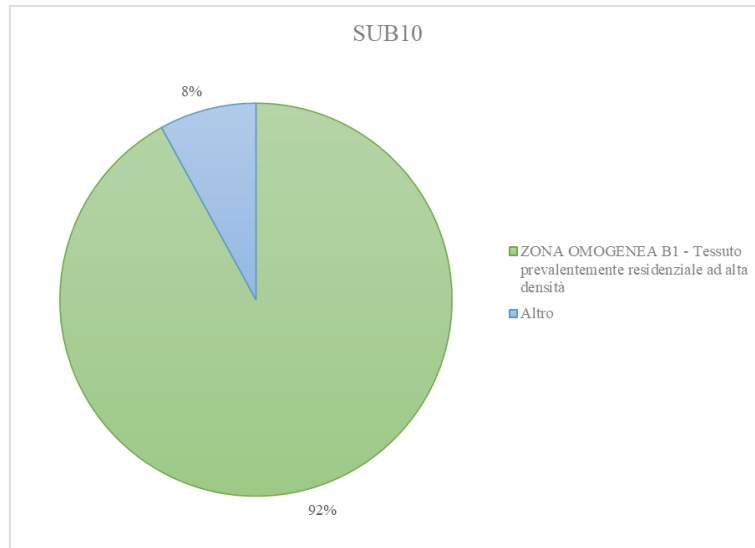


Figura 6.23 \_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 10

#### 6.1.2.12 Sottobacino 11

Il sottobacino 11 [Figura 6.24], situato in prossimità della costa di Cupra Marittima è composto dalle seguenti zone:

- ZONA OMOGENERA E – Agricola: 59%
- ZONA OMOGENEA B1 - Tessuto prevalentemente residenziale ad alta densità: 36,5%
- Parcheggi: 4,5%

Si dispongono vasche di laminazione per la zona agricola poiché è attigua al tessuto abitato, tetti verdi per la zona residenziale e pavimentazioni permeabili per i parcheggi. Lo scenario 2 avrà nella simulazione solo le vasche di laminazione poiché la zona agricola è occupa la porzione più ampia di sottobacino.

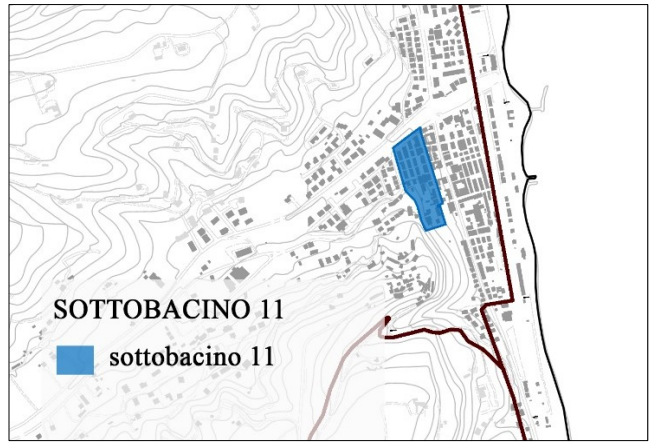


Figura 6.24\_Sottobacino 11

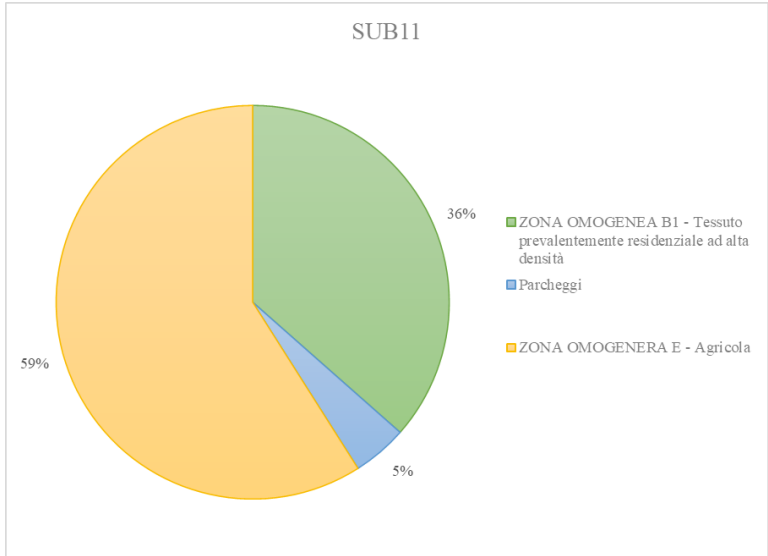


Figura 6.25\_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 11

### 6.1.2.13 Sottobacino 14a

Il sottobacino 14a [Figura 6.26], situato in prossimità a sud di Cupra Marittima è composto dalle seguenti zone:

- ZONA OMOGENEA E – Agricola: 29%;
- ZONA OMOGENEA B2.1 - Tessuto prevalentemente residenziale a media densità: 23%;
- ZONA OMOGENEA C3 - A bassa densità: 17,4%;
- VERDE PRIVATO: 12%;
- ZONA OMOGENEA T2 - Villette turistico-balnearii: 10%;
- ZONA OMOGENEA F2 - Parchi urbani: 8,6%.

Vengono inseriti: le trincee di infiltrazione per le zone agricole, il recupero acque piovane per le zone a bassa e media densità e le villette balneari per un totale di 33% e le pavimentazioni permeabili per i parchi urbani. Al fine di simulare lo scenario 2 vengono considerate solo le cisterne.

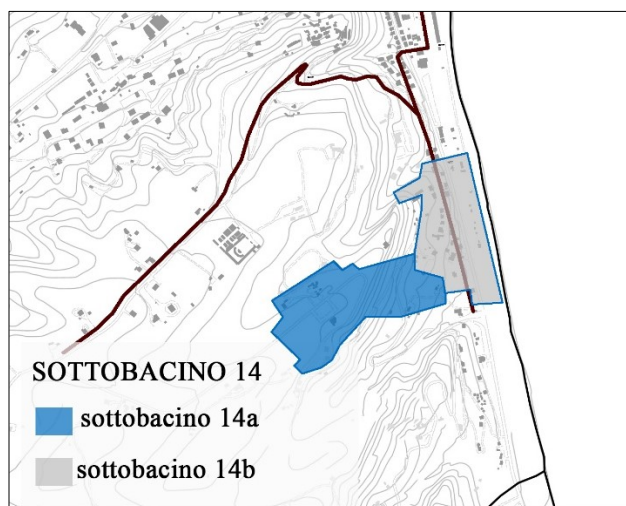


Figura 6.26\_Sottobacino 14a

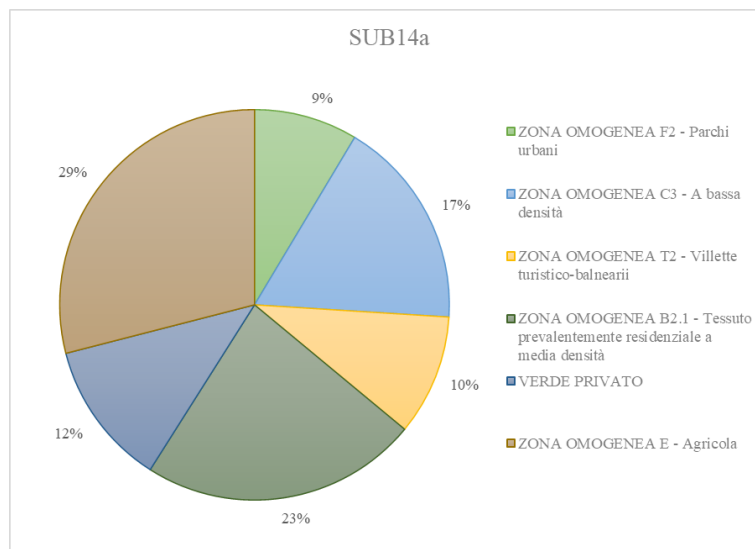


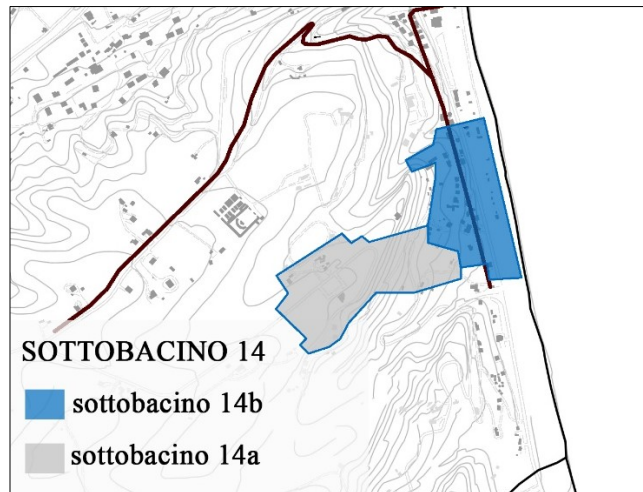
Figura 6.27 \_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 14a

#### 6.1.2.14 Sottobacino 14b

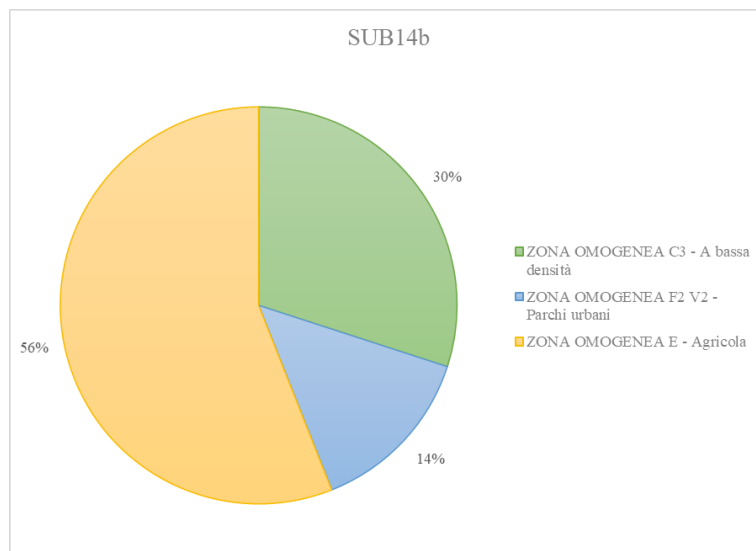
Il sottobacino 14b [Figura 6.28], situato in prossimità a sud di Cupra Marittima è composto dalle seguenti zone:

- ZONA OMOGENEA E – Agricola: 56%;
- ZONA OMOGENEA C3 - A bassa densità: 30%;
- ZONA OMOGENEA F2 V2 - Parchi urbani: 14%.

Le proposte di intervento riguardano le trincee di infiltrazione per le zone agricole, il recupero acque piovane per le aree a bassa densità e le pavimentazioni permeabili per i parchi urbani. Nella simulazione dello scenario 2 verranno considerate le sole trincee di infiltrazione.



*Figura 6.28\_Sottobacino 14b*



*Figura 6.29\_Identificazione destinazioni d'uso sottobacino 14b*

Tabella 6.2\_Riepilogo assegnazione LID ai vari sottobacini

Sottobacini	Zone	(%)	LID-Scenario 1	LID-Scenario 2
SUB1a	AREE AGRICOLE COLLINARI	95	trincea infiltrazione	trincea infiltrazione
	Altro	5	/	/
SUB3b	AREE AGRICOLE COLLINARI	88	trincea infiltrazione	trincea infiltrazione
	TESSUTO PREVALENTEMENTE RESIDENZIALE	12	recupero acque piovane	/
SUB4a	AREE AGRICOLE COLLINARI	95	trincea infiltrazione	trincea infiltrazione
	Altro	5	/	/
SUB 5a	AREE AGRICOLE COLLINARI	90	trincea infiltrazione	trincea infiltrazione
	TESSUTO PREVALENTEMENTE PRODUTTIVO	5	tetti verdi	/
	TESSUTO STORICO DI IMPIANTO MEDIEVALE	5	/	/
SUB 6a	ZONA OMOGENEA T2 - Villette turistico-balnearii	48	recupero acque piovane	recupero acque piovane
	ZONA OMOGENEA T1 - Villaggi turistici e/o camping esistenti	22	pavimentazioni permeabili	/
	ZONA OMOGENEA E - Agricola	25	vasche laminazione	/
	Altro	5	/	/
SUB7	ZONE OMOGENEE B - Soggette a prescrizioni particolari	22.5	/	/
	ZONA OMOGENEA E - Agricola	50	trincea infiltrazione	trincea infiltrazione
	ZONA OMOGENEA T1 - Villaggi turistici e/o camping esistenti	15	pavimentazioni permeabili	/
	Altro	12.5	/	/
SUB8a	ZONA OMOGENEA F1 - Spazi attrezzati a verde pubblico	31	pavimentazioni permeabili	/
	ZONE OMOGENEE B - Soggette a prescrizioni particolari	23	/	/



	ZONA OMOGENEA C1	27	recupero acque piovane	
	ZONA OMOGENEA B1 - Tessuto prevalentemente residenziale ad alta densità	19	recupero acque piovane	recupero acque piovane
	ZONA OMOGENEA F1 - Spazi attrezzati a verde pubblico	42	pavimentazioni permeabili	pavimentazioni permeabili
	VERDE PRIVATO	21	/	/
SUB8b	ZONA OMOGENEA TS - Turistiche speciali	29	/	/
	ZONA OMOGENEA F2 - Area per attrezzature tecnologiche per servizi urbani	8	tetti verdi	/
SUB8c	ZONA OMOGENEA B1 - Tessuto prevalentemente residenziale ad alta densità	65	tetti verdi	tetti verdi
	ZONA OMOGENEA E - Agricola	35	trincea infiltrazione	/
	Parcheggi	1	pavimentazioni permeabili	/
	ZONA C6	21	tetti verdi	
SUB9	ZONA OMOGENEA B1 - Tessuto prevalentemente residenziale ad alta densità	40	tetti verdi	tetti verdi
	ZONA OMOGENEA F2 - Area per attrezzature tecnologiche per servizi urbani	17.5	tetti verdi	
	ZONE OMOGENEE B - Soggette a prescrizioni particolari	3.5	/	/
	Altro	17	/	/
SUB10	ZONA OMOGENEA B1 - Tessuto prevalentemente residenziale ad alta densità	92	tetti verdi	tetti verdi
	Altro	8	/	/
SUB11	ZONA OMOGENEA B1 - Tessuto prevalentemente residenziale ad alta densità	36.5	tetti verdi	/

	Parcheggi	4.5	pavimentazioni permeabili	/
	ZONA OMOGENEA E - Agricola	59	vasche laminazione	vasche laminazione
	ZONA OMOGENEA F2 - Parchi urbani	8.6	pavimentazioni permeabili	/
	ZONA OMOGENEA C3 - A bassa densità	17.4	recupero acque piovane	
SUB14a	ZONA OMOGENEA T2 - Villette turistico-balnearii	10	recupero acque piovane	recupero acque piovane
	ZONA OMOGENEA B2.1 - Tessuto prevalentemente residenziale a media densità	23	recupero acque piovane	
	VERDE PRIVATO	12	/	/
	ZONA OMOGENEA E - Agricola	29	trincea infiltrazione	/
	ZONA OMOGENEA C3 - A bassa densità	30	recupero acque piovane	/
SUB14b	ZONA OMOGENEA F2 V2 - Parchi urbani	14	pavimentazioni permeabili	/
	ZONA OMOGENEA E - Agricola	56	trincea infiltrazione	trincea infiltrazione

## 6.2 CONFRONTO RISULTATI

Di seguito si riportano i risultati dei sottobacini analizzati. Vengono riportate le tabelle relative ai valori massimi di deflusso superficiale, i valori di volume infiltrato a confronto e, infine, gli idrogrammi di piena in modo da avere un'analisi completa che metta in risalto la riduzione dei deflussi superficiali prodotta dall'influenza dei sistemi LID in azione nelle simulazioni. Nei risultati si analizzano i dati relativi al tempo di ritorno di 10 anni trascurando gli altri perché è quello che presenta portate e deflussi maggiori quindi cioè che sarà verificato per questo tempo di ritorno lo sarà in automatico per gli altri due; inoltre, le linee guida di progettazione di sistemi di drenaggio urbano sostenibile suggeriscono di utilizzare tempi di ritorno lunghi in modo da essere più cautelativi in sede di progettazione.

### 6.2.1 Runoff e infiltration

Di seguito sono riportati in tabella [Tabella 6.3] e nelle figure i risultati relativi al confronto tra i vari scenari dei deflussi superficiali e dei volumi d'acqua infiltrati per ciascun sottobacino nel tempo di ritorno di 10 anni come descritto in precedenza.

Tabella 6.3\_Runoff massimi per ogni scenario

subcatchment	SCENARIO	SCENARIO	SCENARIO
	0	1	2
	runoff max [l/s]	runoff max [l/s]	runoff max [l/s]
SUB1a	101.85	5.74	/
SUB3b	162.62	3.21	19.82
SUB4a	34.55	1.83	/
SUB5a	30.48	1.58	2.95
SUB6a	70.18	21.64	54.71
SUB7	101.05	35.87	51.1
SUB8a	101.05	50.56	80.66
SUB8b	101.05	51.1	59.18
SUB8c	101.05	0	35.87
SUB9	179.83	44.12	46.2
SUB10	153.71	12.48	/
SUB11	195.56	0	84.96
SUB14a	89.69	40.58	73.33
SUB14b	72.76	16.18	0

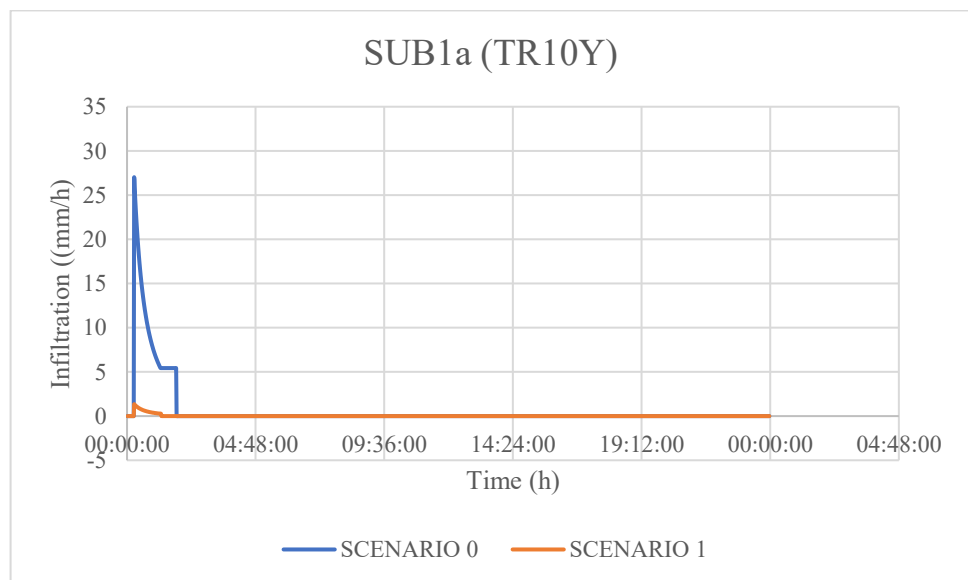
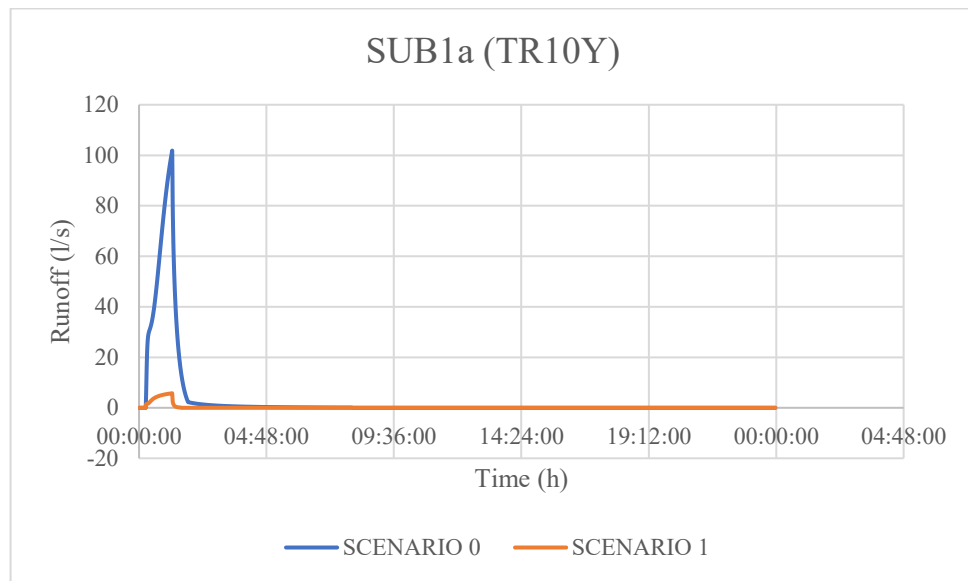


Figure 6.1 Idrogrammi sottobacino SUB1a deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

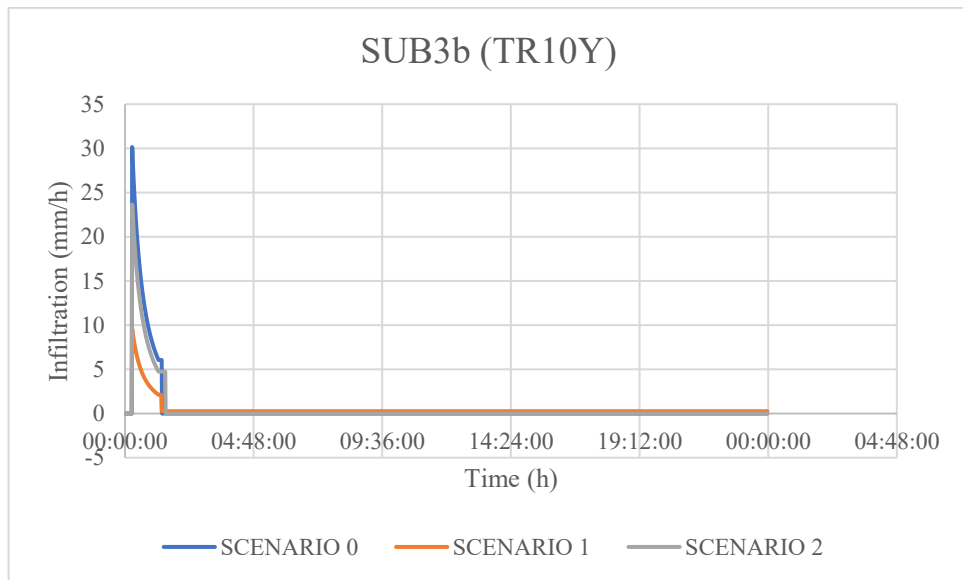
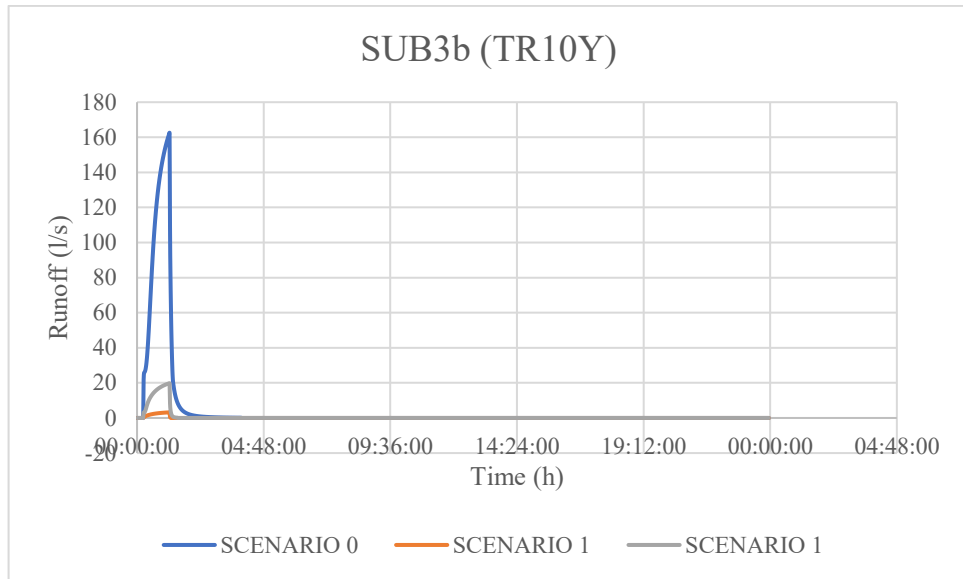


Figure 6.2\_Idrogrammi sottobacino SUB3b deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

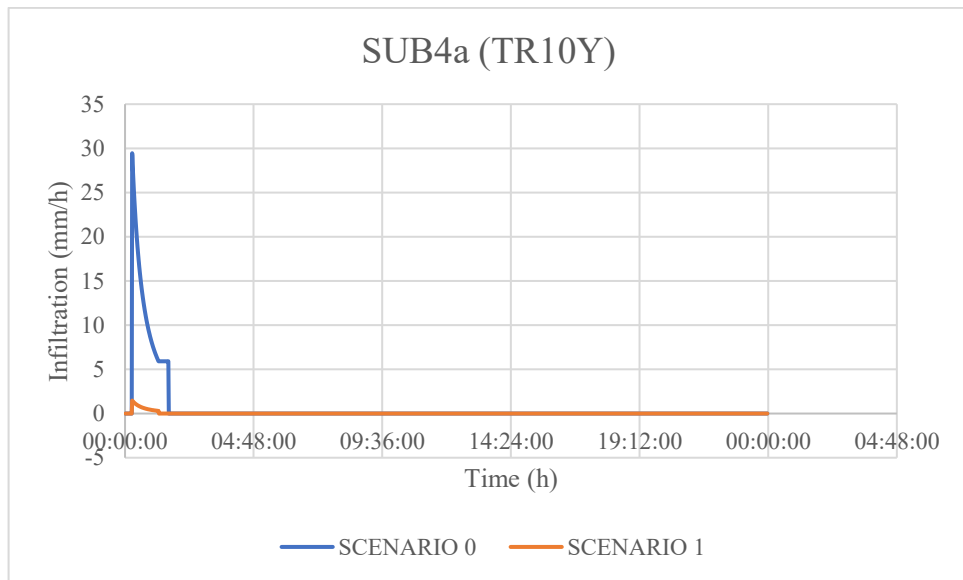
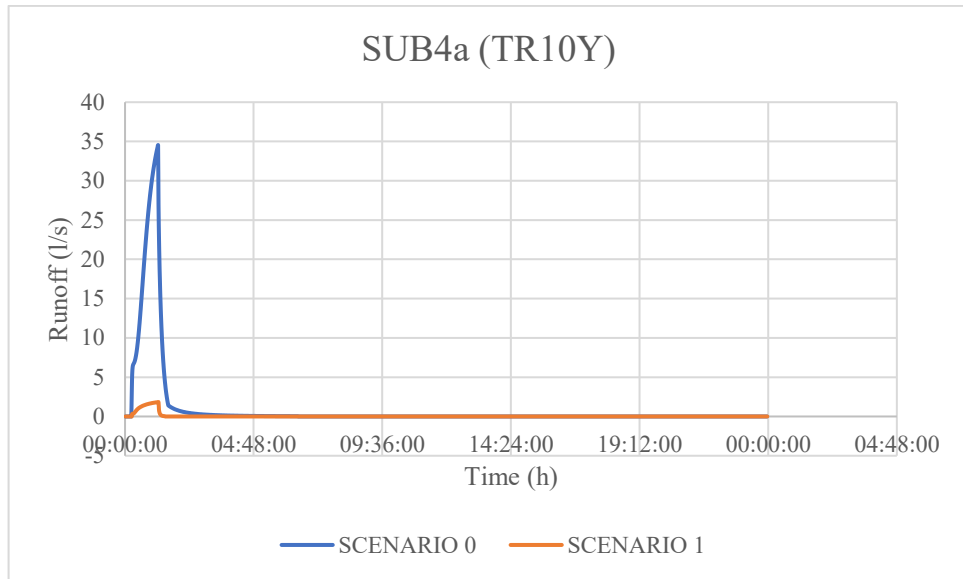


Figure 6.3\_Iidrogrammi sottobacino SUB4a deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

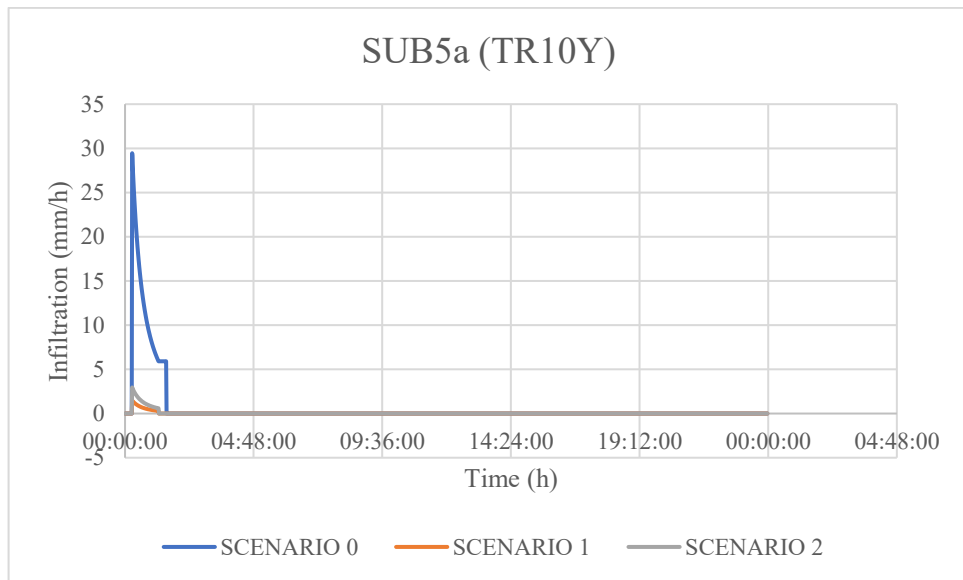
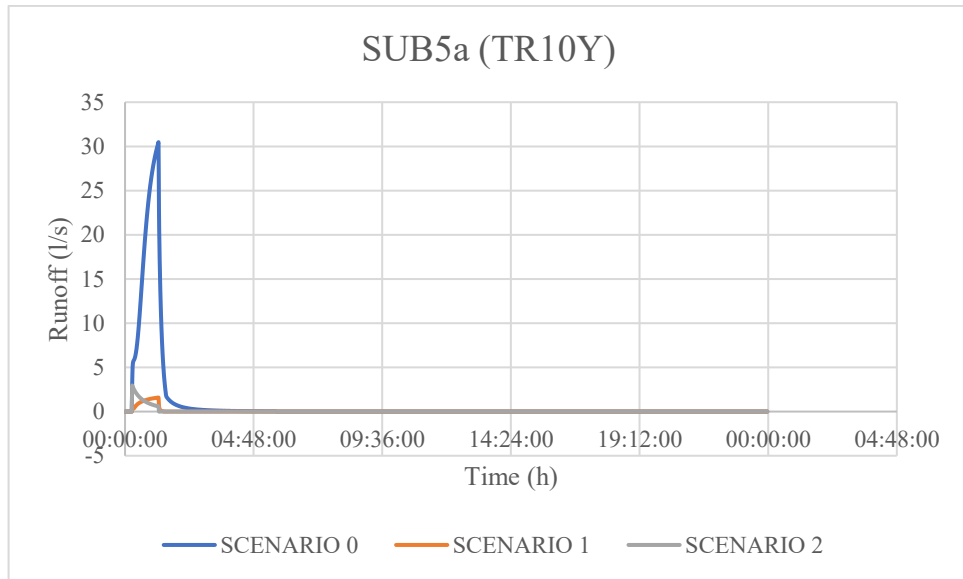


Figure 6.4 Idrogrammi sottobacino SUB5a deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

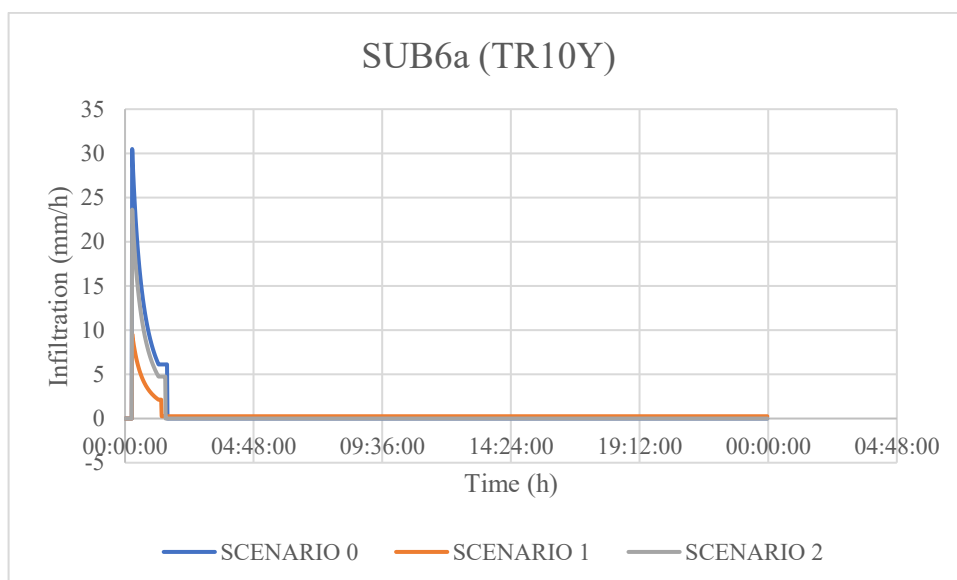
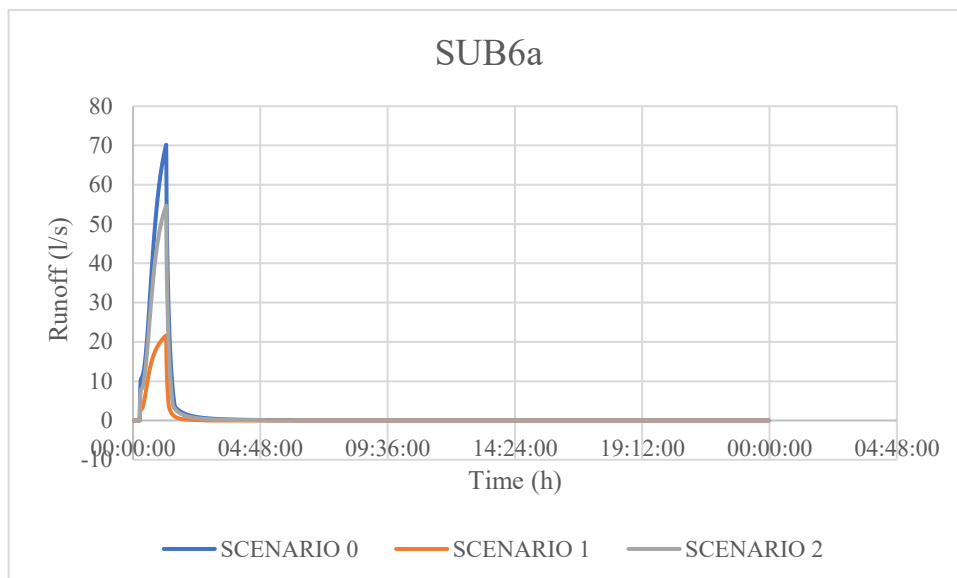


Figure 6.5\_Idrogrammi sottobacino SUB6a deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni



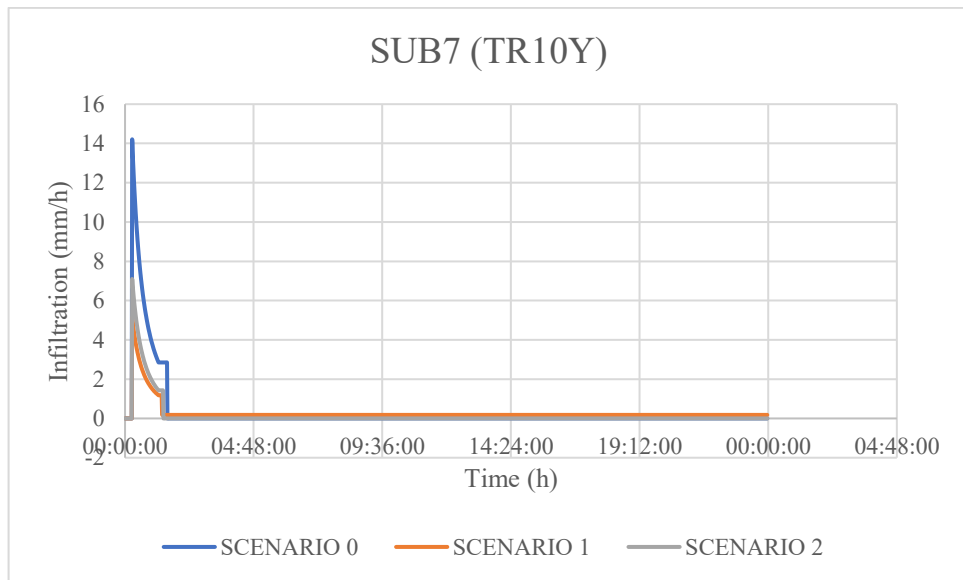
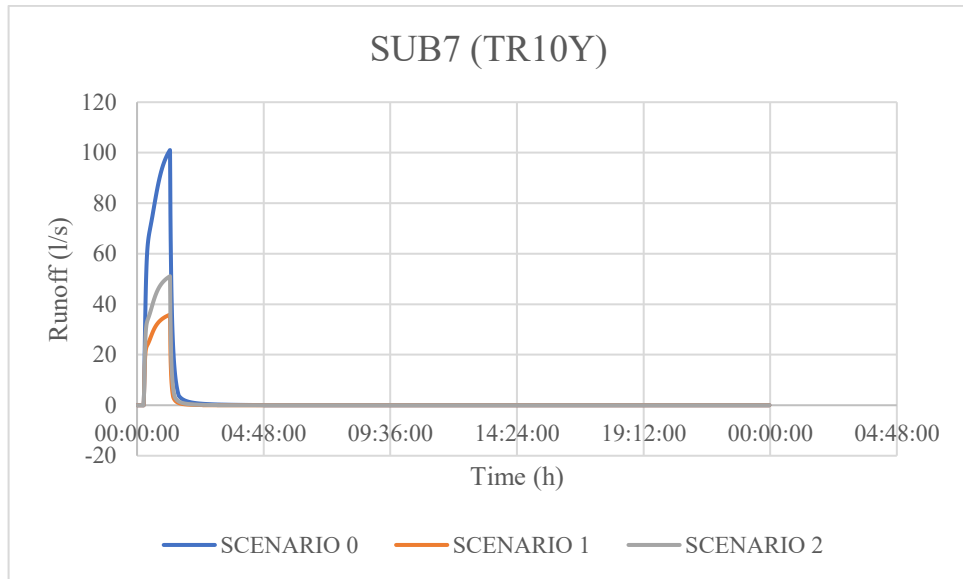


Figure 6.6\_Iidrogrammi sottobacino SUB7 deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

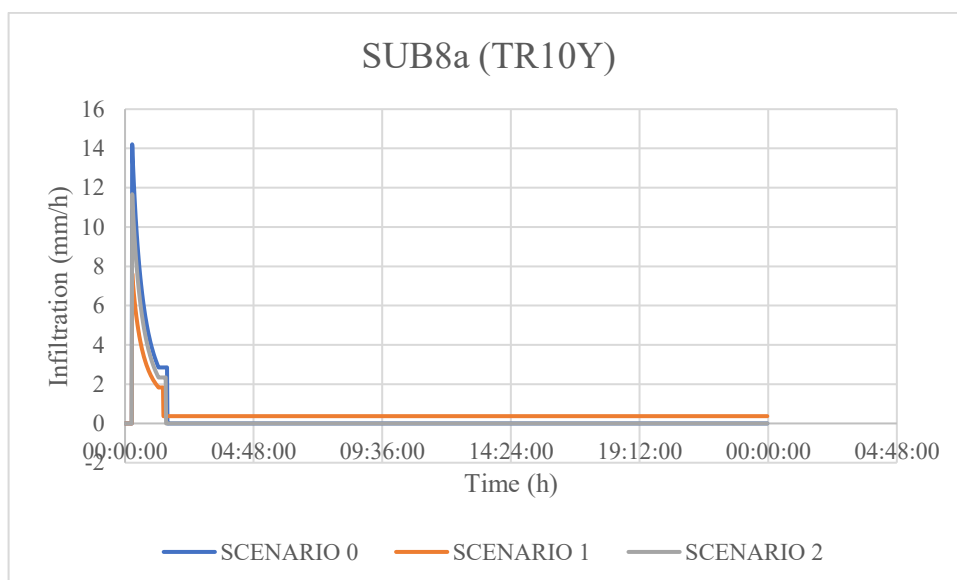
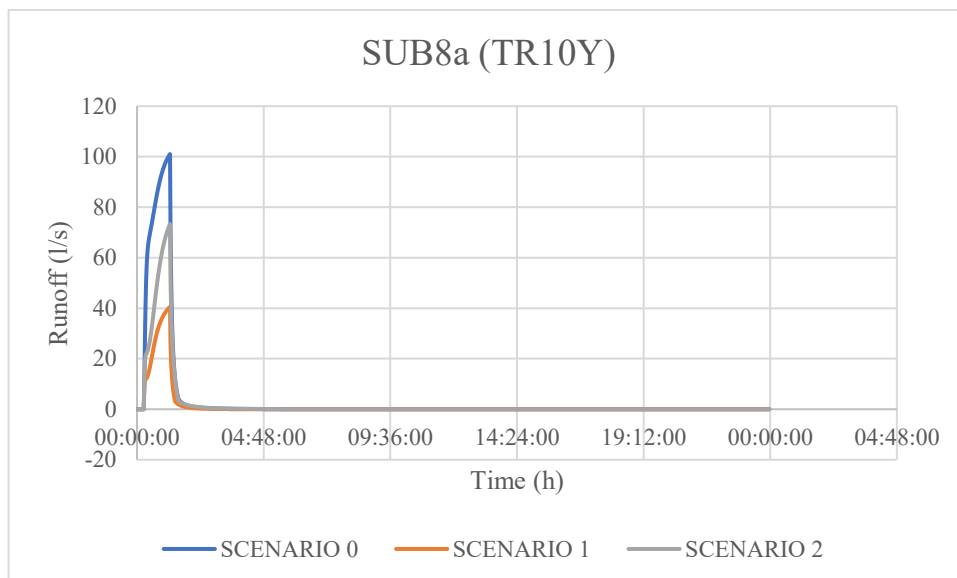


Figure 6.7\_Idrogrammi sottobacino SUB8a deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

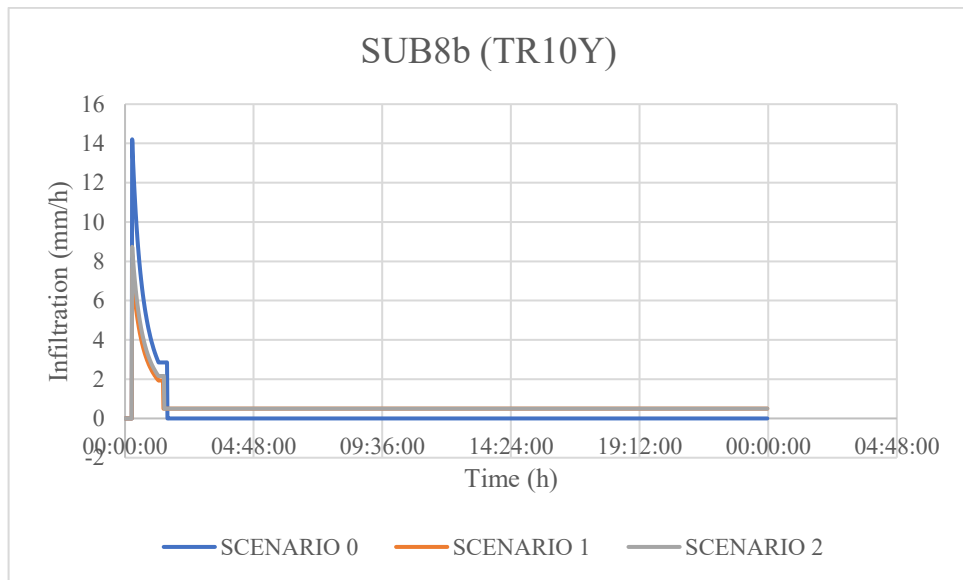
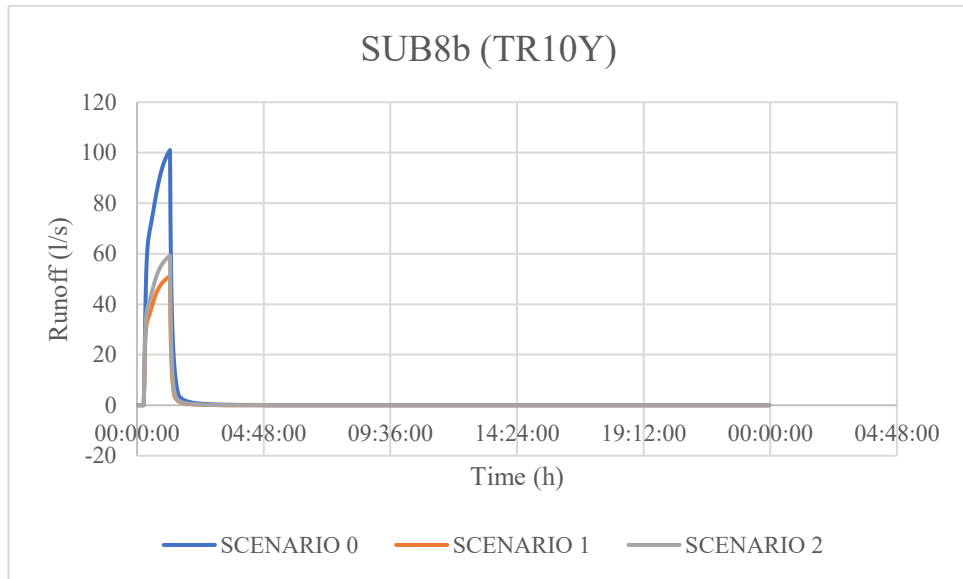


Figure 6.8 Idrogrammi sottobacino SUB8b deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

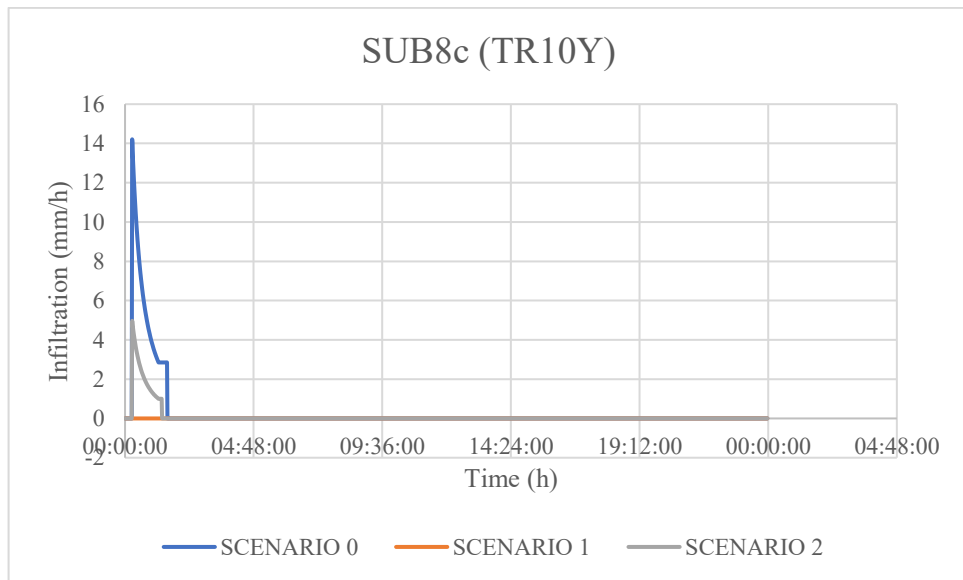
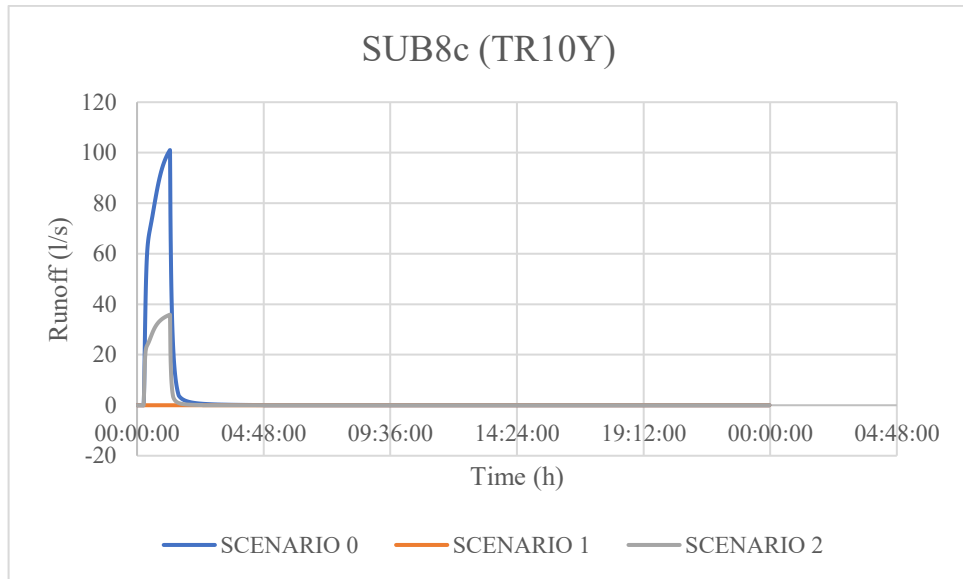


Figure 6.9\_Iidrogrammi sottobacino SUB8c deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

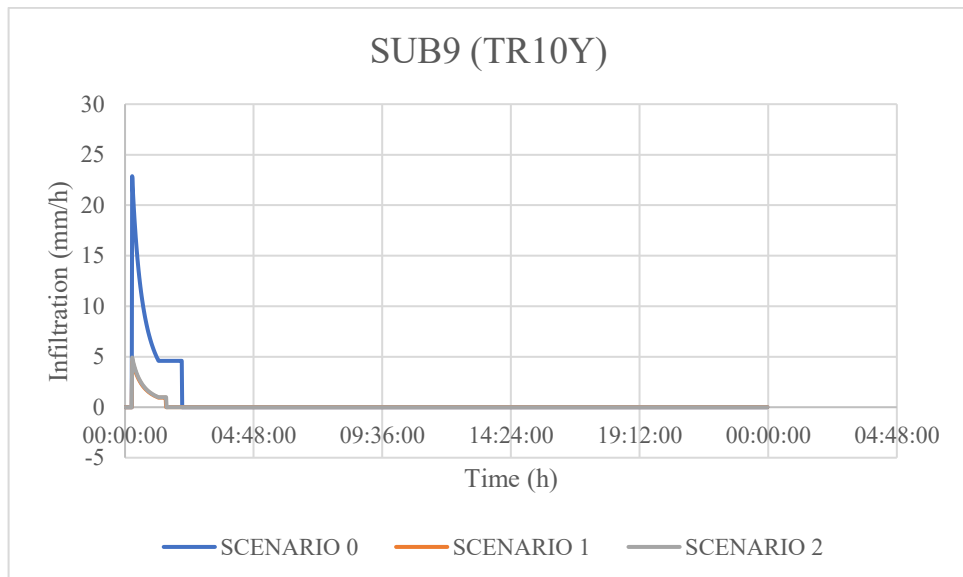
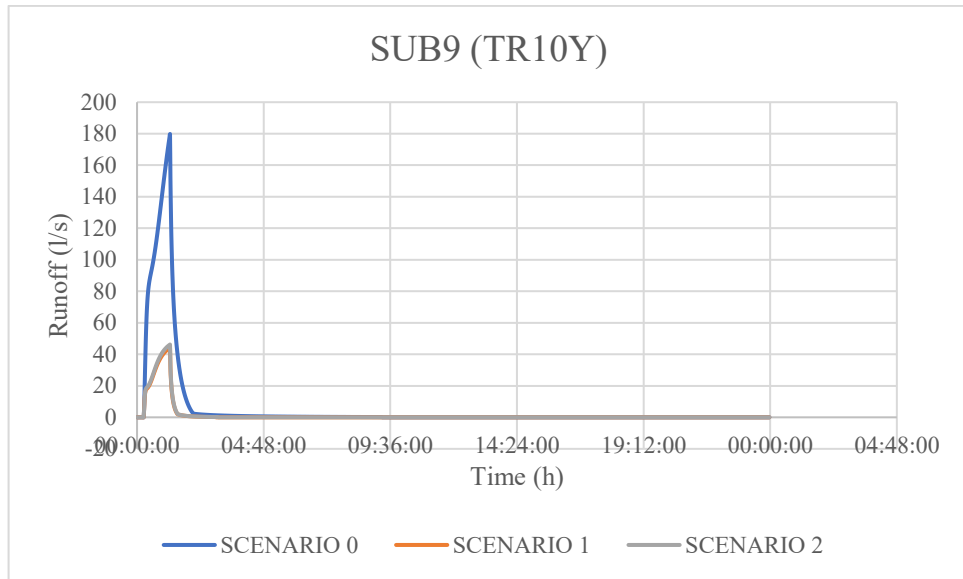


Figure 6.10\_Iidrogrammi sottobacino SUB9 deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

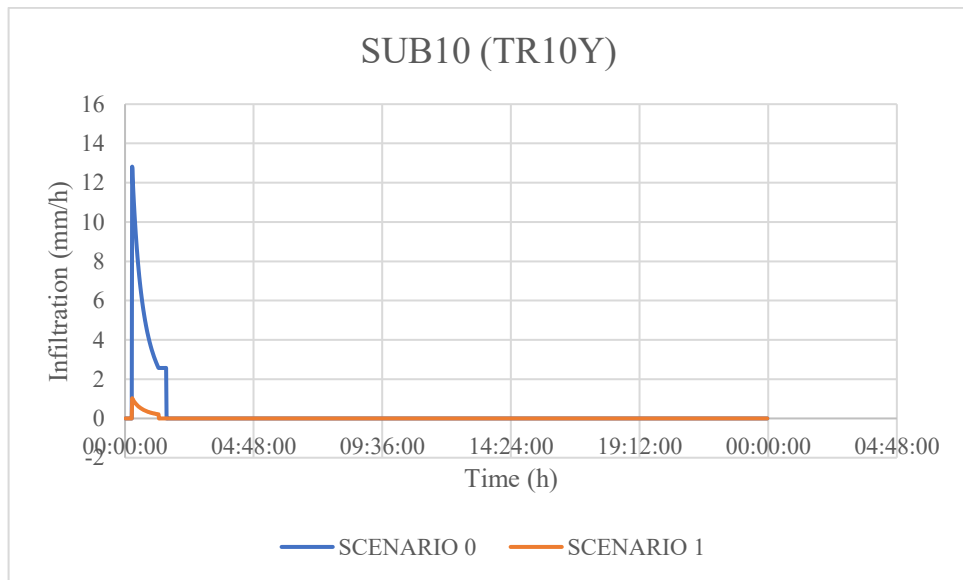
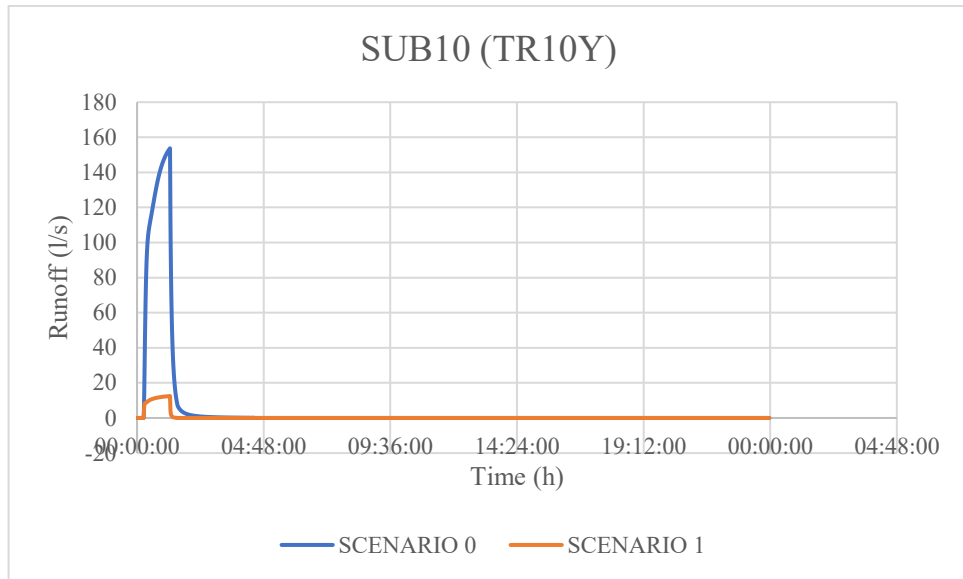


Figure 6.11\_Idrogrammi sottobacino SUB10 deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

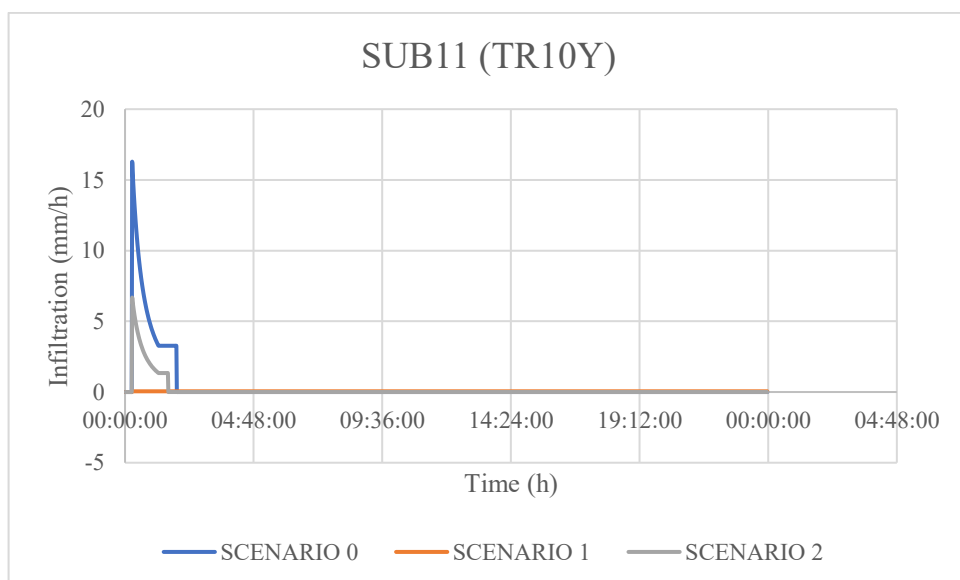
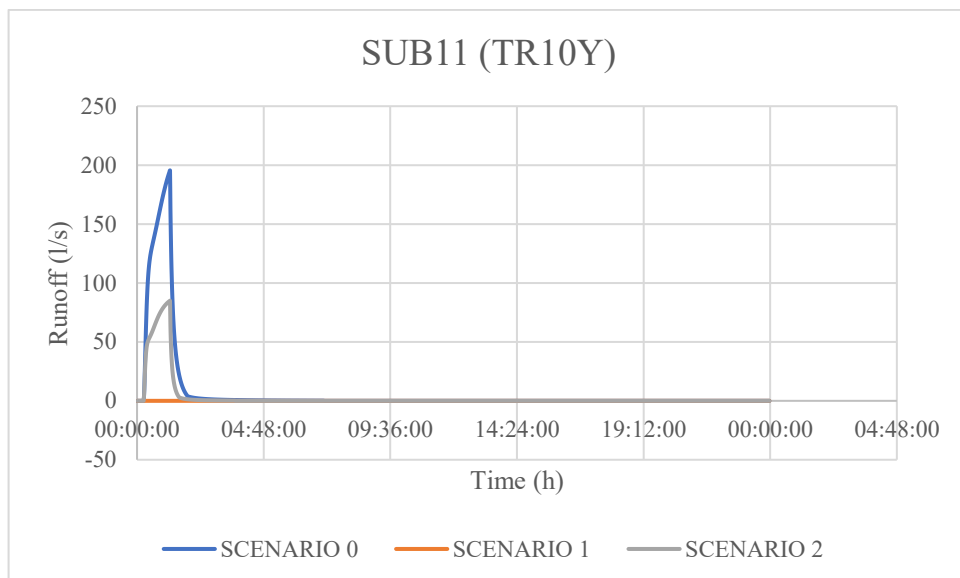


Figure 6.12\_Iidrogrammi sottobacino SUB11 deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

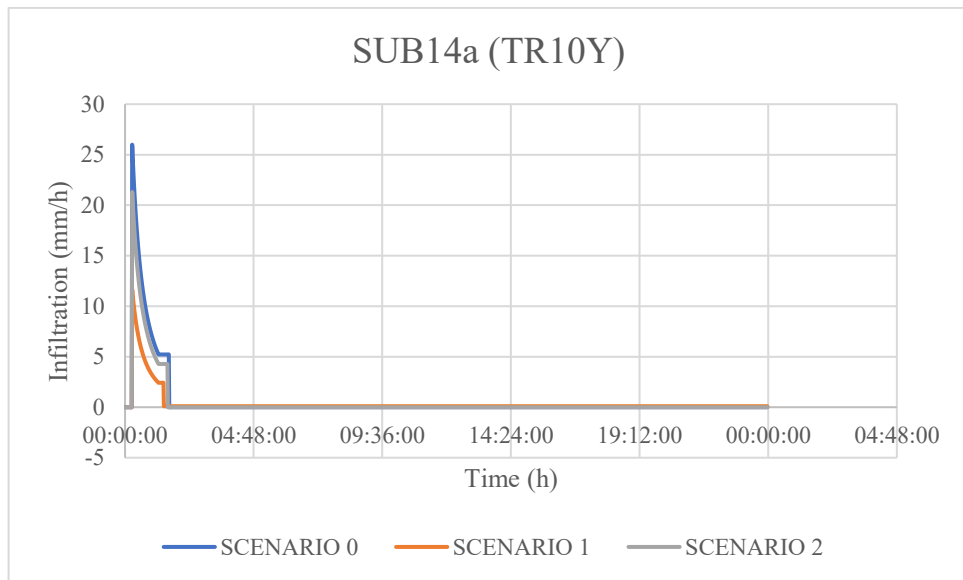
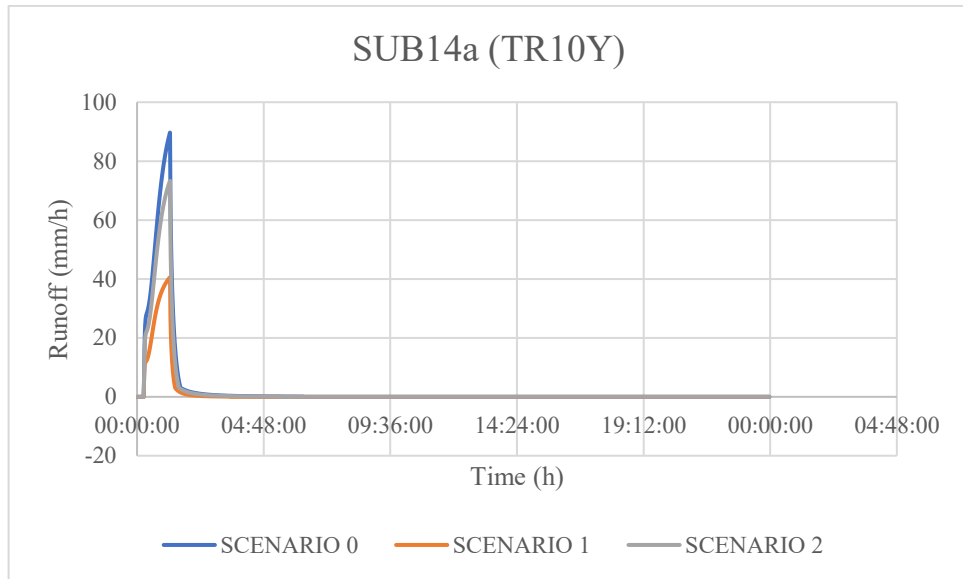


Figure 6.13\_Iidrogrammi sottobacino SUB14a deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni



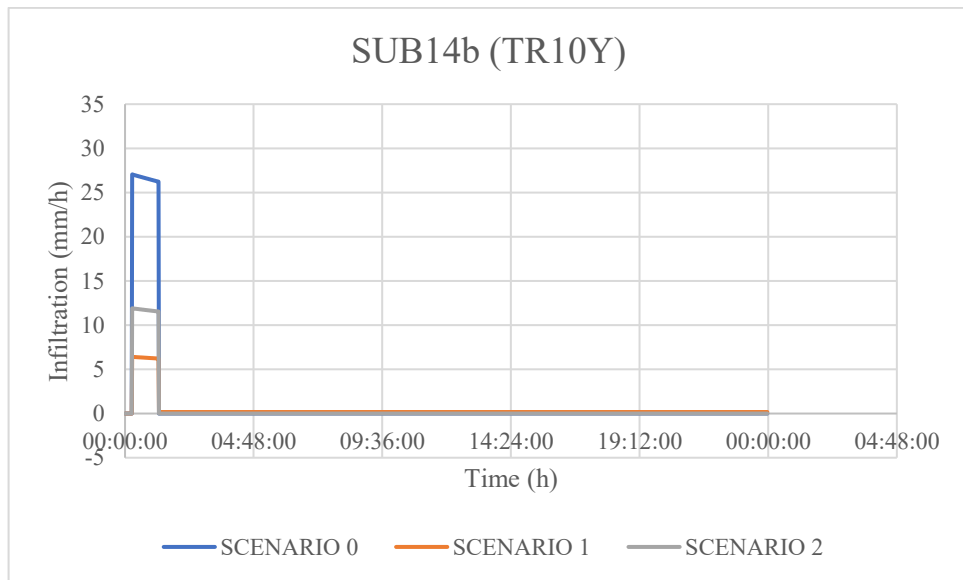
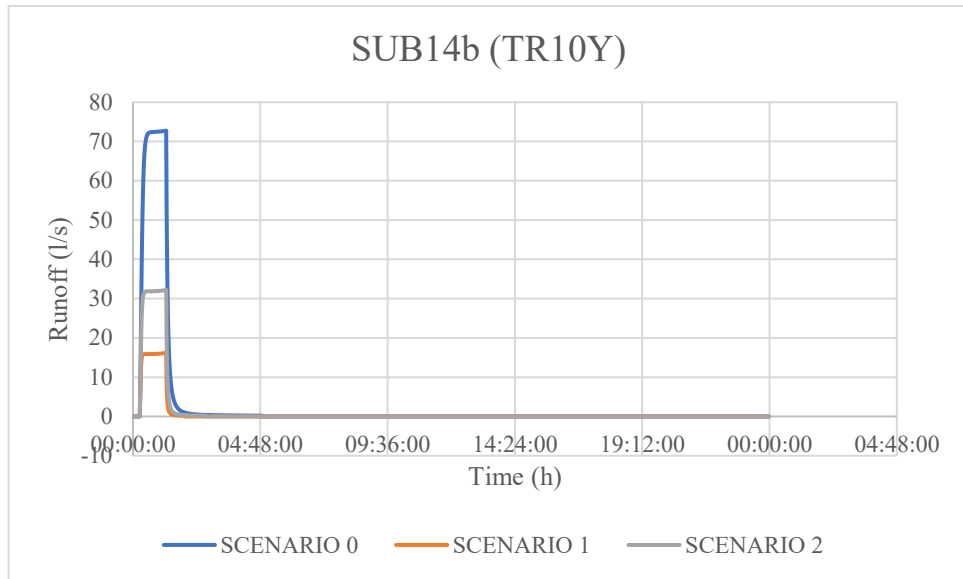


Figure 6.14 Idrogrammi sottobacino SUB14a deflusso superficiale (fig. sopra) e volume d'acqua infiltrato (fig. sotto) per ogni scenario. Tempo di ritorno 10 anni

Nelle figure [Figura 6.30] e [Figura 6.31] sono riportati gli istogrammi relativi ai deflussi superficiali massimi per ogni sottobacino analizzati per ogni scenario e la variazione percentuale risultante tra lo scenario 0 e gli altri due scenari a confronto.

Analizzando i risultati sopra riportati si può notare come la risposta del bacino in termini di riduzioni dei deflussi sia positiva. Si nota una notevole riduzione del deflusso superficiale a seguito dell'introduzione dei sistemi LID; tuttavia, nella maggior parte dei casi non c'è molta differenza di variazione di deflusso tra lo scenario 1 e lo scenario 2. Questo implica che, nell'analisi dell'assegnazione del LID ai vari sottobacini, bisogna cercare di implementare il manufatto che può coprire la maggiore percentuale di area del sottobacino, poiché quelli che ne coprono una piccola percentuale contribuiscono in piccolissima parte e non giustificano l'investimento speso.

L'andamento degli idrogrammi di piena, inoltre, ricalca esattamente l'andamento dello scenario 0. In particolare, possiamo evidenziare tre macrogruppi di comportamento.

1. Nei sottobacini 1a, 4a e 10 c'è una notevole riduzione dei deflussi superficiali che risulta a maggior ragione significativa poiché in questi sottobacini è presente un unico sistema LID e quindi scenario 1 e 2 coincidono. Nella figura [Figura 6.31] si nota, infatti, che le variazioni percentuali dello scenario 1 rispetto a quello di partenza superano l'80% arrivando a coprire con l'utilizzo di un solo LID l'intera riduzione dei deflussi.
2. Nei sottobacini 3b, 5a, 7, 8b, 8c, 9, 11 e 14b la riduzione dei deflussi superficiali è notevole per entrambi gli scenari. Introducendo un solo sistema LID nella porzione con maggiore percentuale di area, quindi, si ha ugualmente una consistente variazione percentuale di deflusso. Nella figura [Figura 6.31] si nota che il decremento in percentuale nelle aree sopra elencate oscilla dal 50% a valori superiori all'80%.
3. Nei sottobacini 6a, 8a e 14a la riduzione non è molto significativa tra scenario 0 e scenario 2, questo perché i sistemi di recupero delle acque piovane, che in queste aree sono impiegati nello scenario 2, non danno un

contributo sufficientemente adeguato alla riduzione dei deflussi. La figura [Figura 6.31] mette in evidenza la variazione percentuale dei deflussi tra lo scenario 0 e 2 che è del 20%. Questa percentuale è molto bassa e indica che il manufatto proposto nell'intervento non è prestante rispetto ai bacini di studio. La progettazione dovrebbe essere condotta per queste aree in particolare più nel dettaglio e cioè modellando la rete secondaria all'interno del sottobacino, trattando come sottobacino ogni singola area urbanizzata ed assegnando agli edifici il sistema LID "rain barrel", in modo da avere un'analisi più nel dettaglio del sistema. In questo caso non è possibile dettagliare la rete poiché mancano i dati della rete secondaria; pertanto, i risultati sono utili a comprendere il funzionamento e l'ottimizzazione dei manufatti implementati.

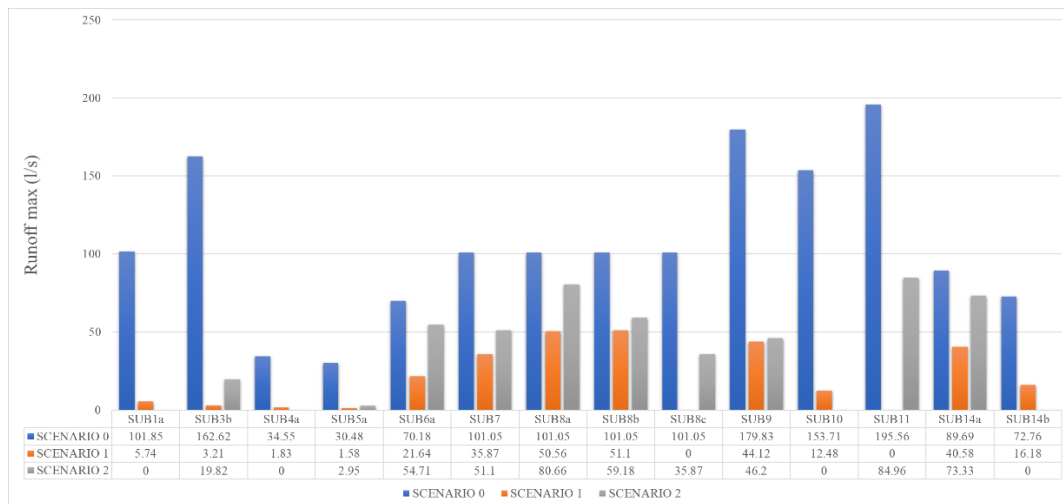


Figura 6.30\_Defflussi superficiali massimi (l/s) dei sottobacini per ogni scenario analizzato

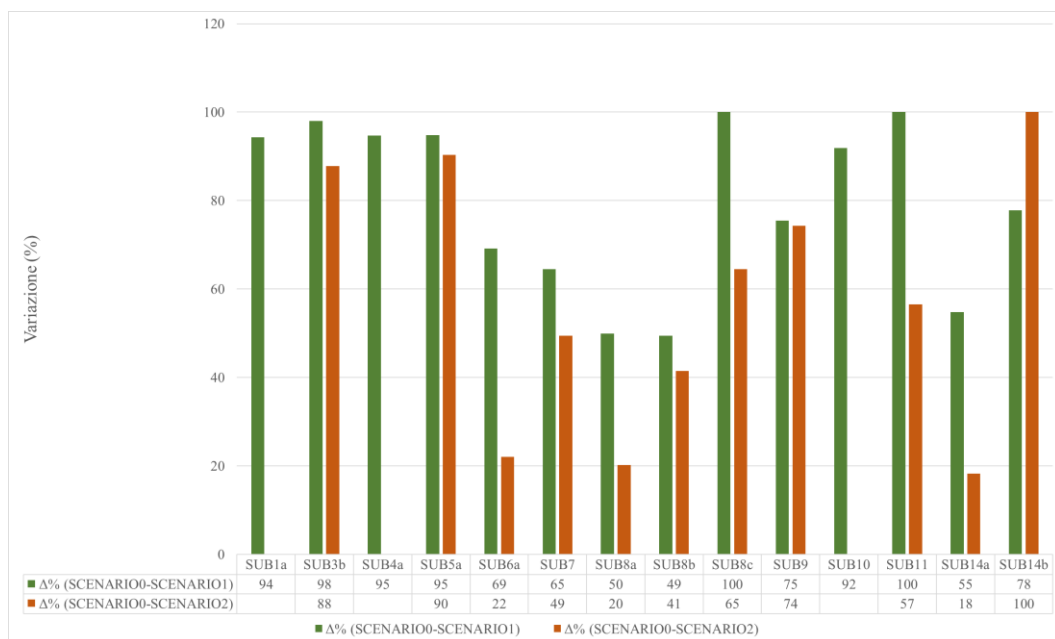


Figura 6.31\_Variazione percentuale dei deflussi superficiali tra lo scenario0 gli scenari 1 e 2

## 6.2.2 Portate in condotta

In primo luogo, si analizzano le variazioni di portata a confronto nei vari scenari. Vengono prese in considerazione le condotte o gli orifizi che si trovano a valle dei sottobacini oggetto di intervento. Infine, viene analizzato l'afflusso totale a valle del depuratore nel quale confluiscono i rami di condotte provenienti da nord e da sud.

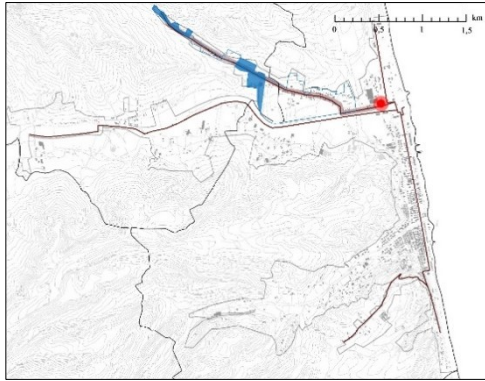


Figura 6.32\_Schema della condotta 141 relativa ai deflussi provenienti dai sottobacini 4a e 5°

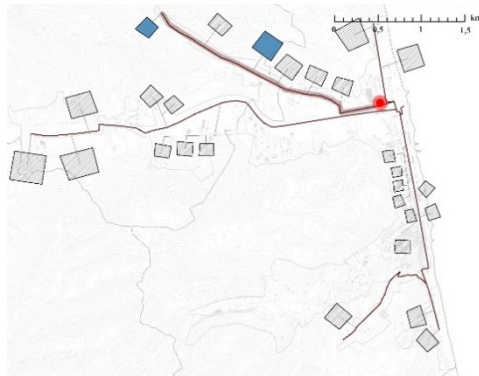


Figura 6.33\_Schema SWMM della condotta 141 relativa ai deflussi provenienti dai sottobacini 4a e 5a

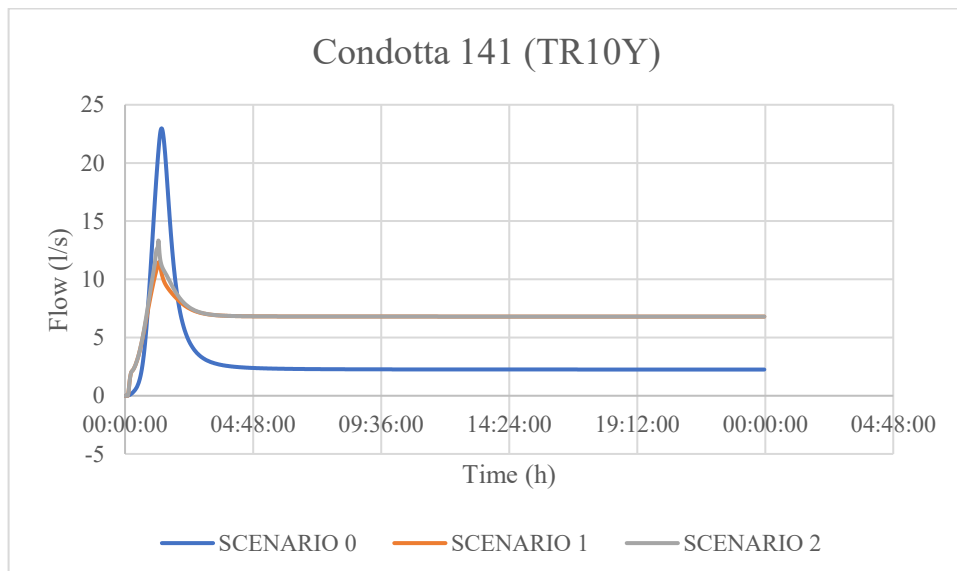


Figura 6.34\_Portata condotta 141 per ogni scenario Tempo di Ritorno 10 anni

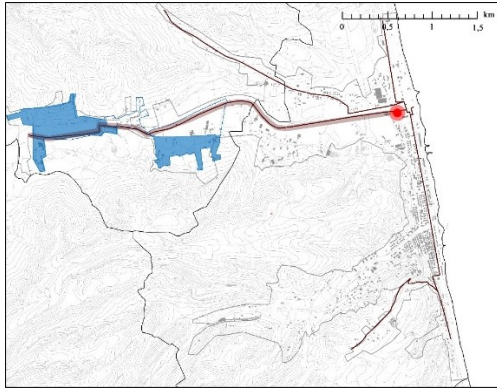


Figura 6.35\_Schema della condotta 75 relativa ai deflussi provenienti dai sottobacini 1a e 3b

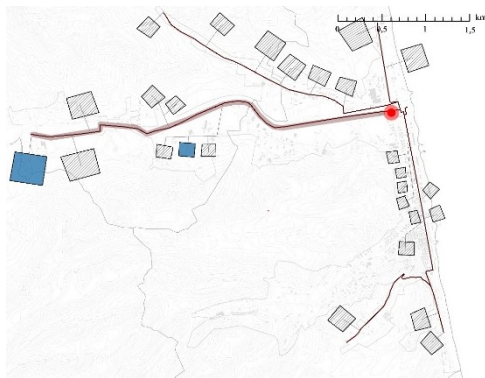


Figura 6.36\_Schema SWMM della condotta 75 relativa ai deflussi provenienti dai sottobacini 1a e 3b

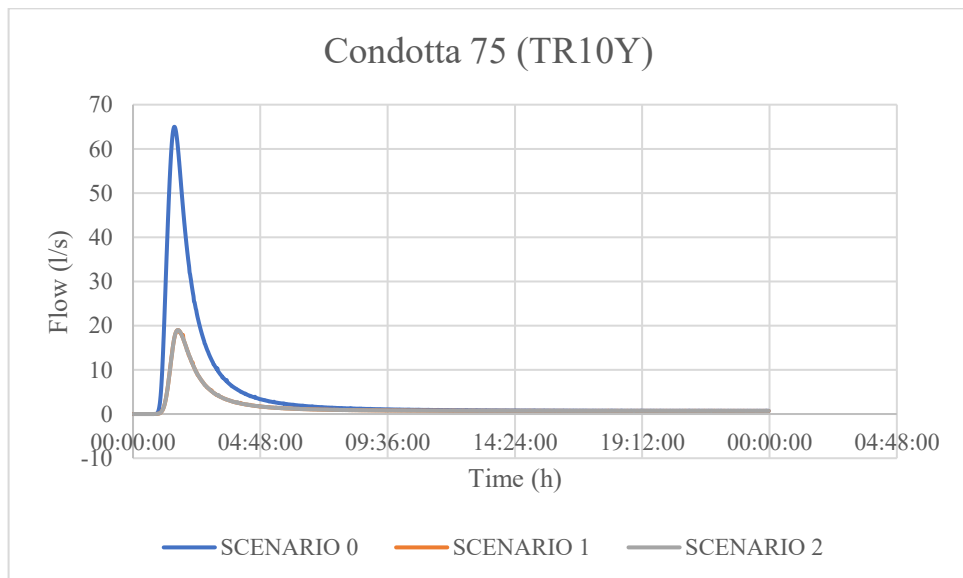


Figura 6.37\_Portata condotta 75 per ogni scenario Tempo di Ritorno 10 anni

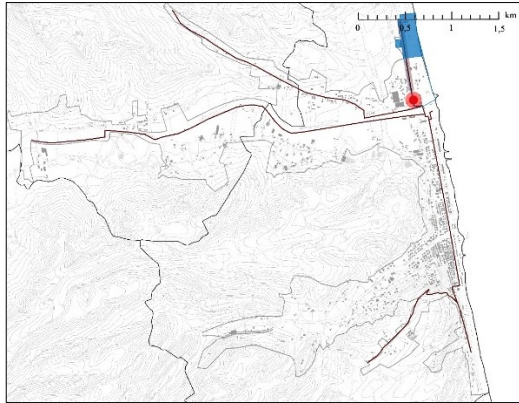


Figura 6.38\_Schema della condotta 178 relativa ai deflussi provenienti dal sottobacino 6°

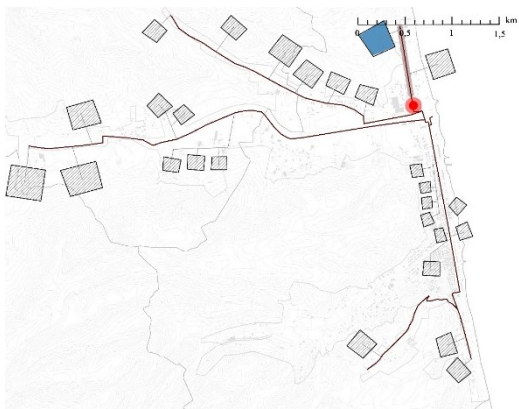


Figura 6.39\_Schema SWMM della condotta 178 relativa ai deflussi provenienti dal sottobacino 6a

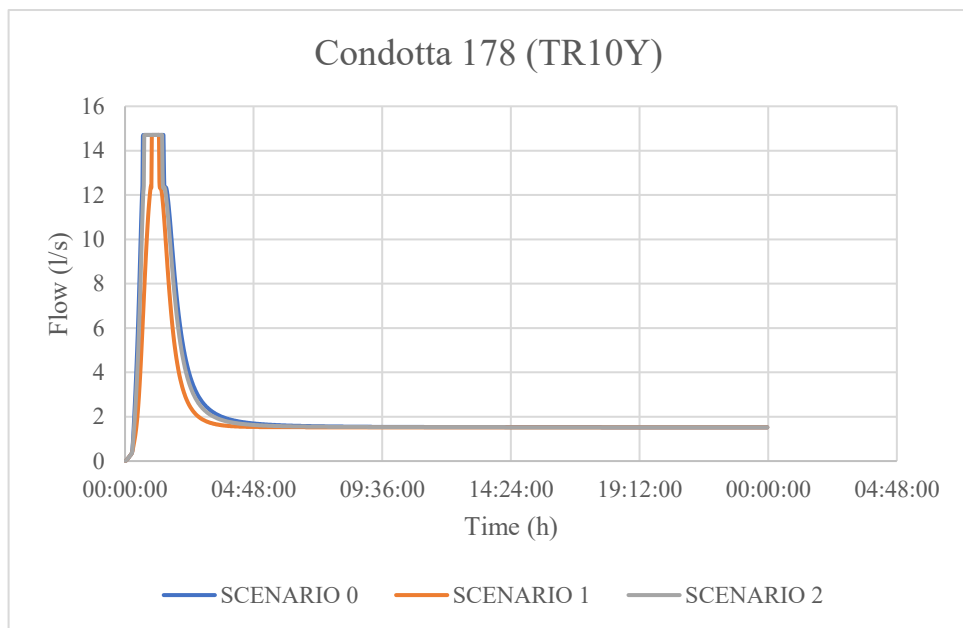


Figura 6.40\_Portata condotta 178 per ogni scenario Tempo di Ritorno 10 anni

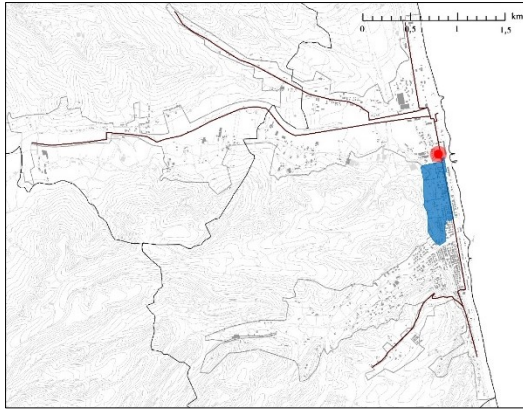


Figura 6.41\_Schema dell'orificio58 relativo ai deflussi provenienti dei sottobacini 7, 8a, 8b e 8c

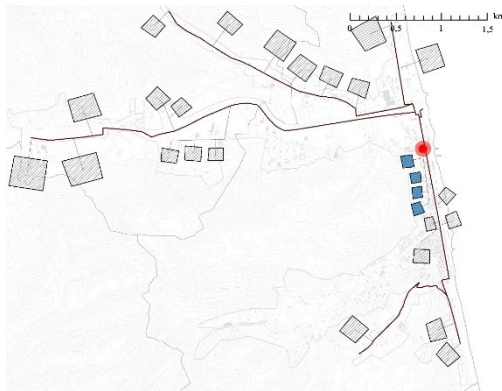


Figura 6.42\_Schema SWMM dell'orificio58 relativo ai deflussi provenienti dei sottobacini 7, 8a, 8b e 8c

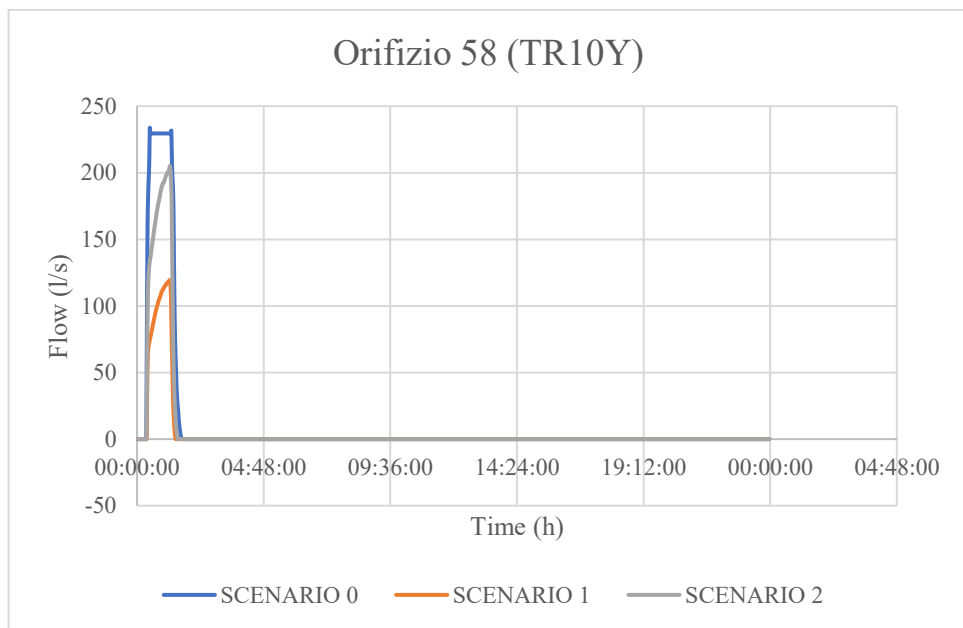


Figura 6.43\_Portata orificio 58 per ogni scenario Tempo di Ritorno 10 anni



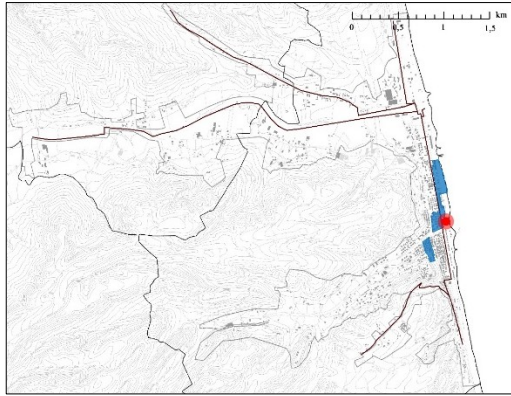


Figura 6.44\_Schema dell'orifizio50 relativo ai deflussi provenienti dei sottobacini 9, 10 e 11

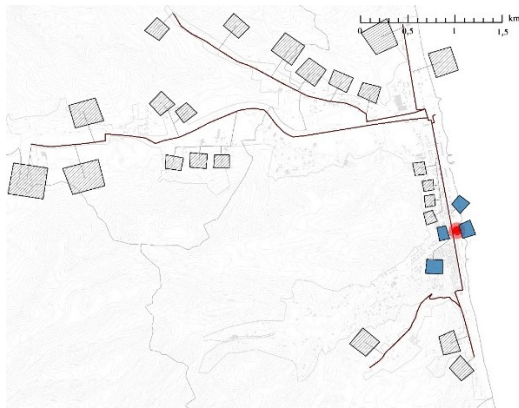


Figura 6.45\_Schema SWMM dell'orifizio50 relativo ai deflussi provenienti dei sottobacini 9, 10 e 11

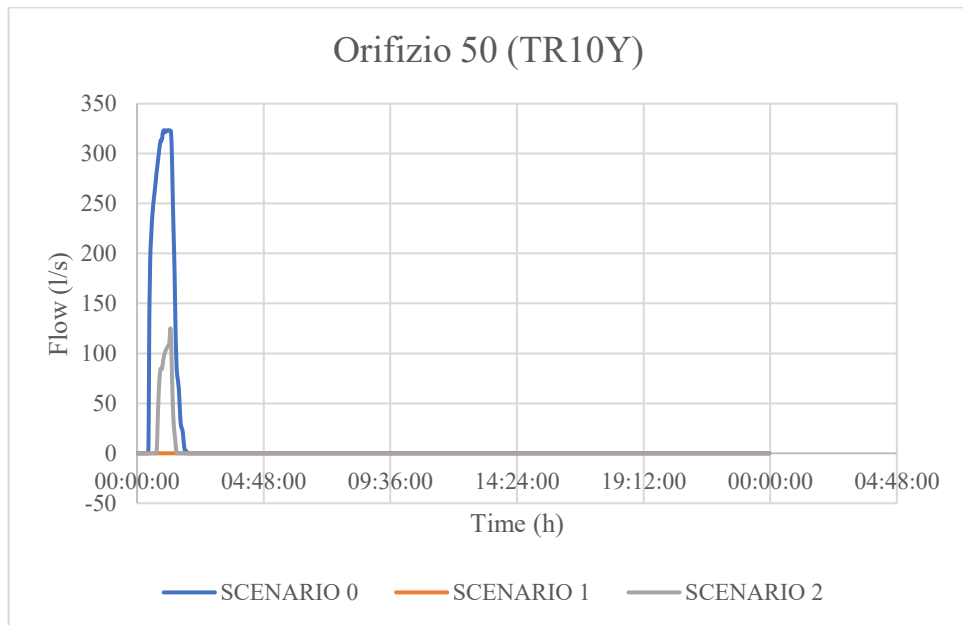


Figura 6.46\_Portata orifizio 50 per ogni scenario Tempo di Ritorno 10 anni

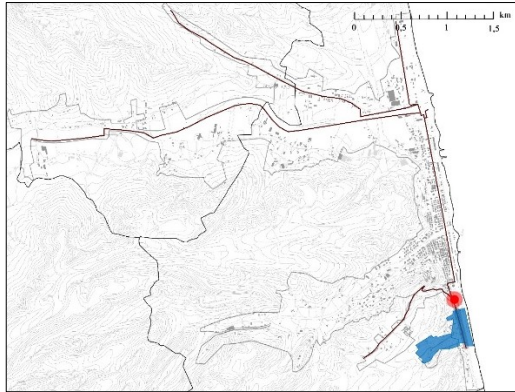


Figura 6.47\_Schema dell'orificio54 relativo ai deflussi provenienti dei sottobacini 14a e 14b

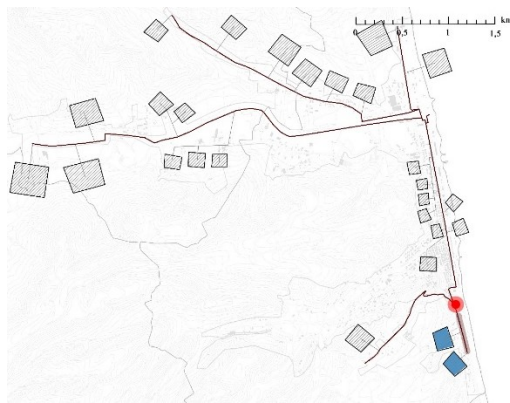


Figura 6.48\_Schema SWMM dell'orificio54 relativo ai deflussi provenienti dei sottobacini 14a e 14b

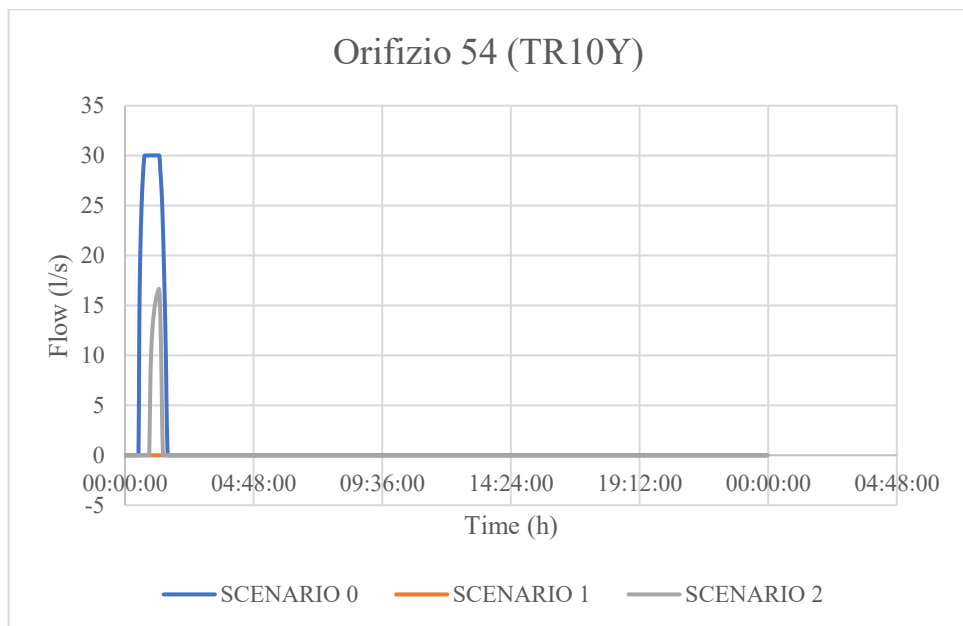


Figura 6.49\_Portata orificio 54 per ogni scenario Tempo di Ritorno 10 anni

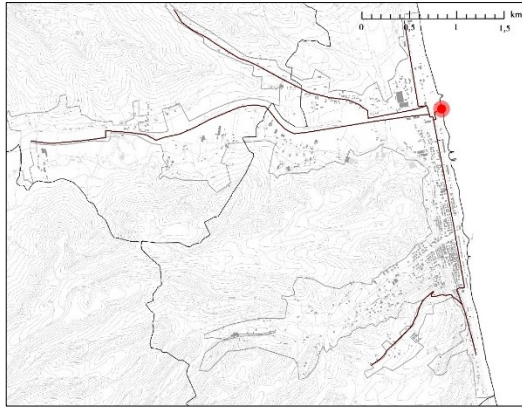


Figura 6.50\_Schema SWMM del depuratore relativo ai deflussi provenienti dalle condotte a nord e a sud

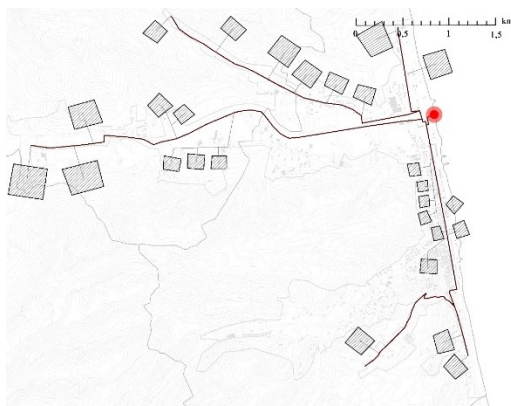


Figura 6.51\_Schema SWMM del depuratore relativo ai deflussi provenienti dalle condotte a nord e a sud

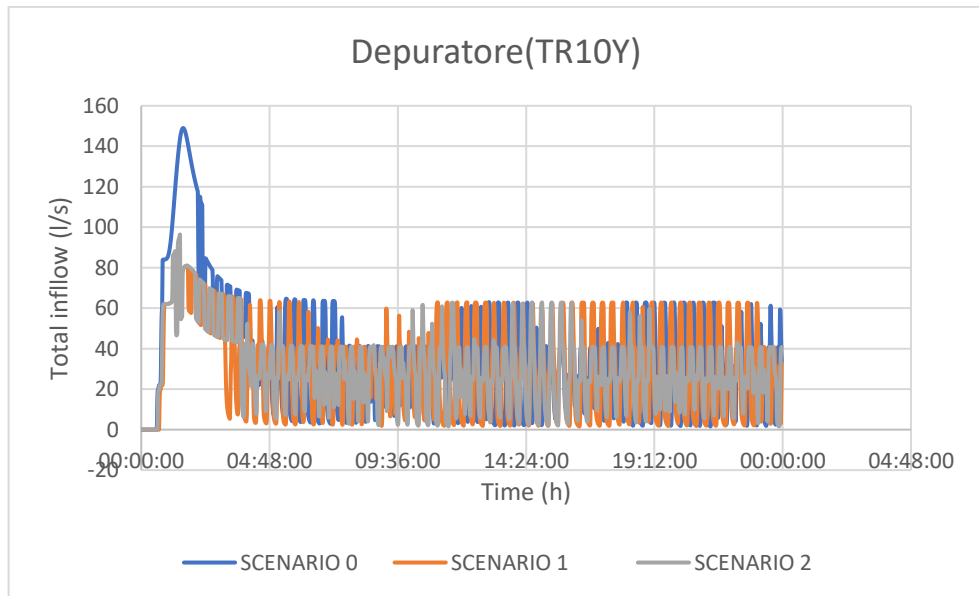


Figura 6.52\_Afflusso totale depuratore per ogni scenario Tempo di Ritorno 10 anni

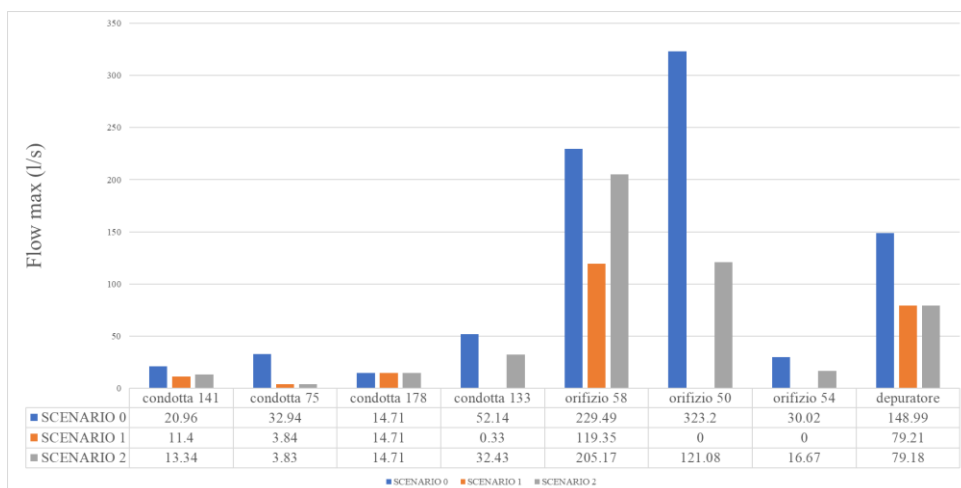


Figura 6.53\_Portate massime (l/s) in condotta per ogni scenario analizzato

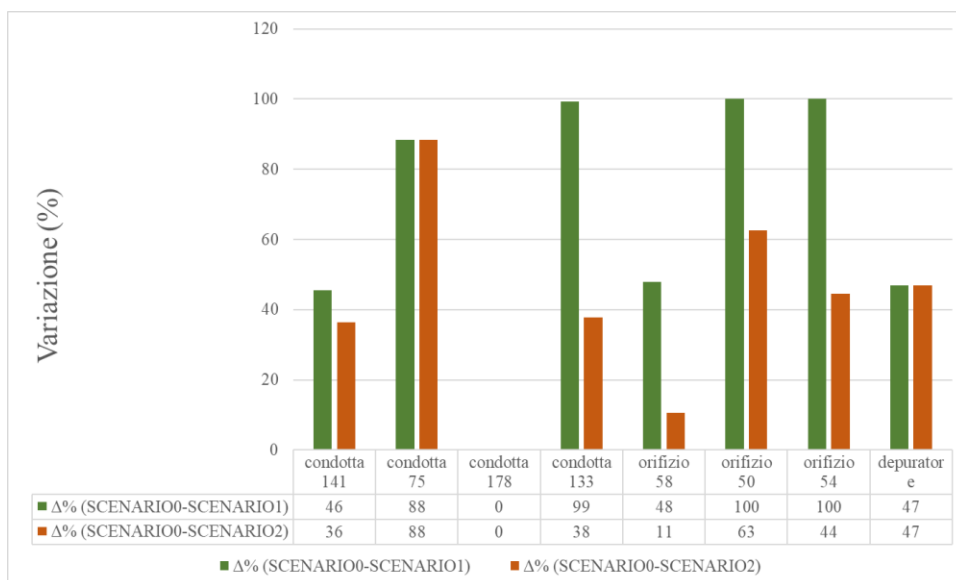


Figura 6.54\_Variazione percentuale delle portate tra lo scenario0 gli scenari 1 e 2

Analizzando le portate nei punti più salienti della rete si nota una riduzione tra lo scenario 0 e gli altri due scenari. La riduzione di portata tra lo scenario 1 e 2 è variabile nella rete.

In dettaglio:

- le condotte 141 e 75 presentano una notevole diminuzione flussi in entrambi gli scenari;

- la condotta 178 presenta un andamento simile allo scenario 0 non riscontrando alcun decremento di portata a causa della presenza di un solo sottobacino che contribuisce alla portata totale;
- gli orifizi 58, 50 e 54 presentano una notevole riduzione dei flussi che è ancora più evidente nello scenario 1. Nell'analisi degli orifizi 50 e 54 si nota che lo scenario 1 presenta una portata pari a 0, mentre lo scenario 2 presenta un picco che avviene in ritardo rispetto allo scenario 0;
- il depuratore presenta in entrambi gli scenari un notevole abbassamento del picco massimo e un leggero ritardo all'inizio del picco. L'andamento degli afflussi totali è fluttuante a causa della presenza delle pompe della vasca che creano questo andamento sinusoidale in conseguenza dell'accensione delle stesse.

## 6.3 CONFRONTO INQUINANTI

La riduzione delle sostanze inquinanti introdotta nei sistemi LID all'interno del software ha prodotto dei risultati che devono essere analizzati attraverso il confronto tra scenari. Questo permetterà di comprendere se i sistemi di drenaggio riescono a dare un contributo significativo anche a livello di riduzione delle sostanze inquinanti oppure no. Di seguito si riportano le figure che analizzano come varia ciascun inquinante nel tempo nei vari sottobacini sottoposti all'intervento.

Gli inquinanti presi in considerazione per l'analisi sono:

- TKN (azoto Kjeldahl): somma di  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  e  $\text{NO}_2\text{-N}$
- COD (Chemical Oxygen Demand): quantità di ossigeno richiesta per ossidare chimicamente le sostanze ossidabili presenti nei liquami
- TSS (Solidi Sospesi Totali): nocivi se presenti in eccesso nelle acque reflue
- PTOT (Particolato Totale): insieme di sostanze solide o liquide presenti nelle aree urbane

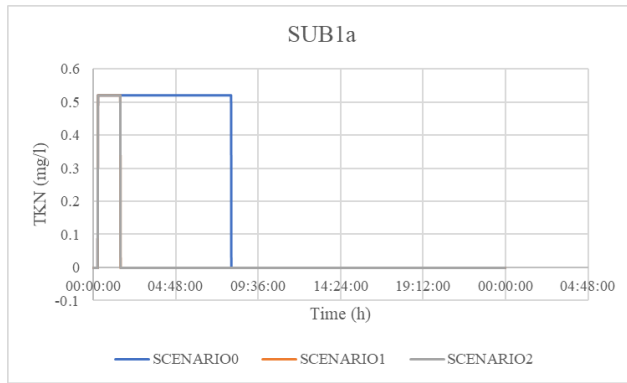


Figura 6.55 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 1a

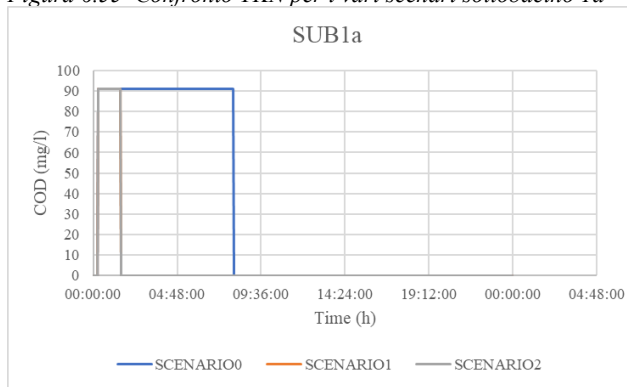


Figura 6.56 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 1a

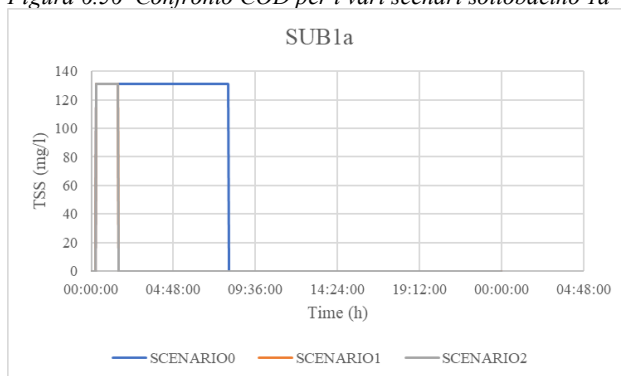


Figura 6.57 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 1a

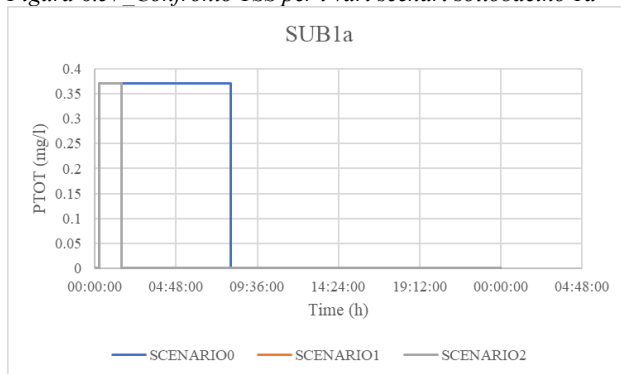


Figura 6.58 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 1a

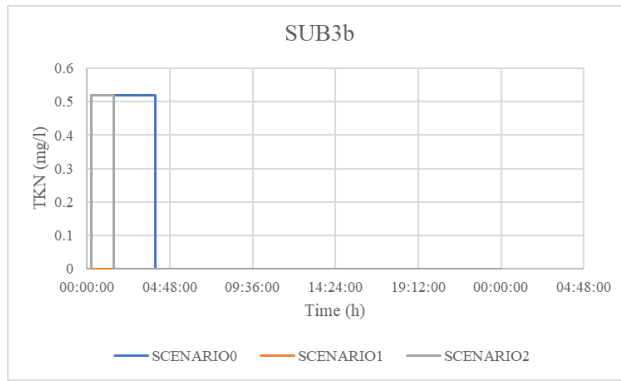


Figura 6.59 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 3b

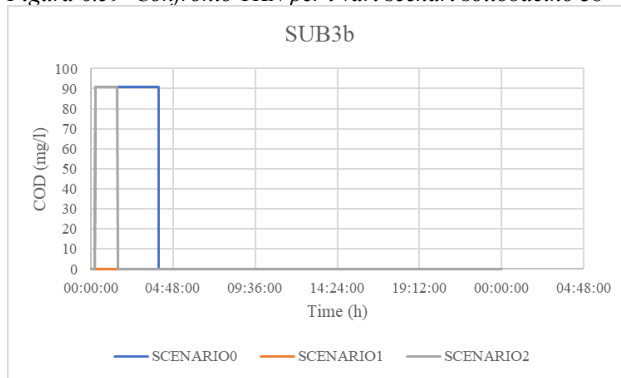


Figura 6.60 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 3b

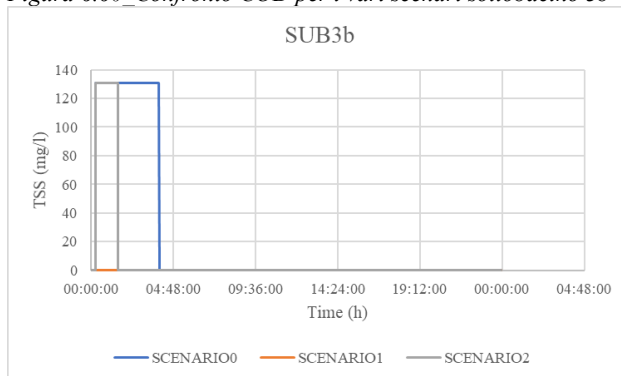


Figura 6.61 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 3b

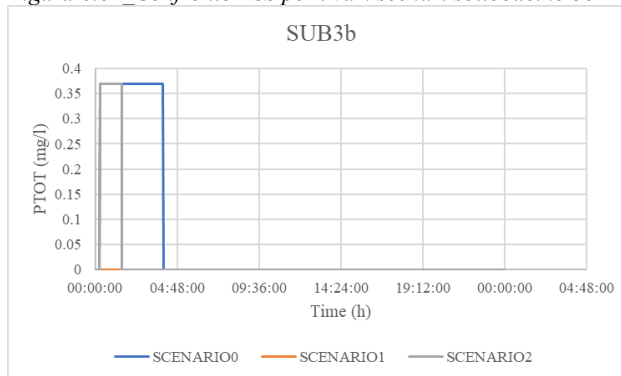


Figura 6.62 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 3b



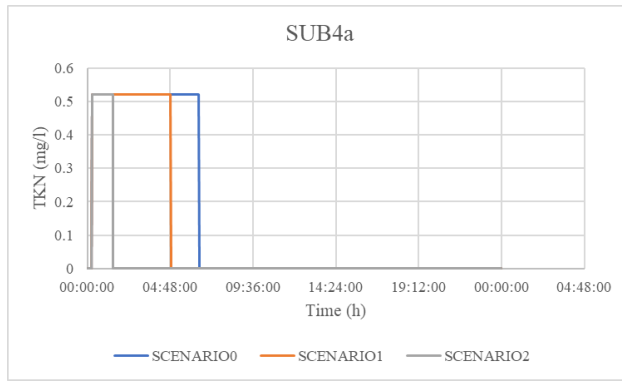


Figura 6.63 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 4a

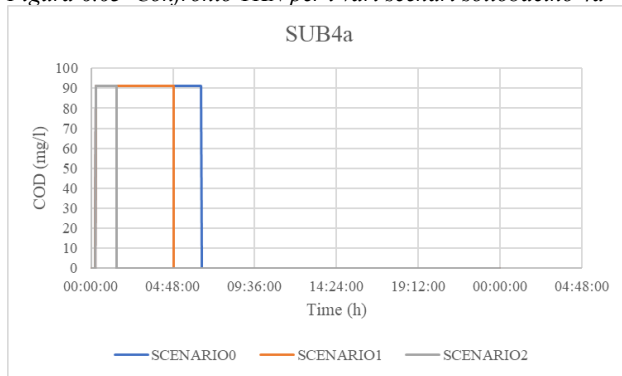


Figura 6.64 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 4a

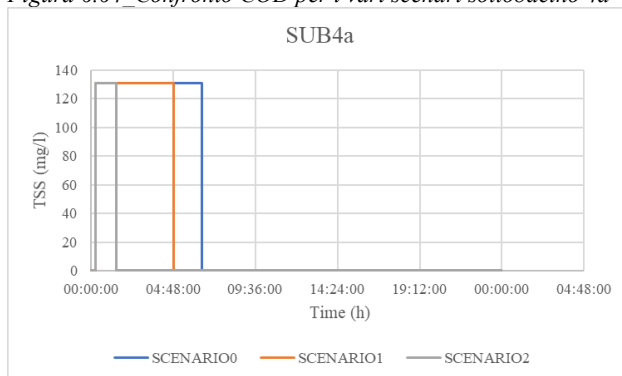


Figura 6.65 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 4a

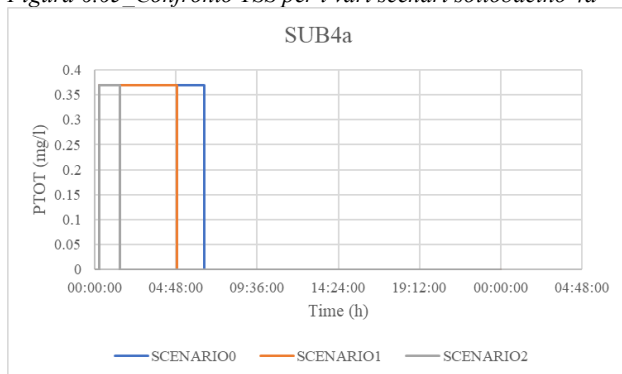


Figura 6.66 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 4a

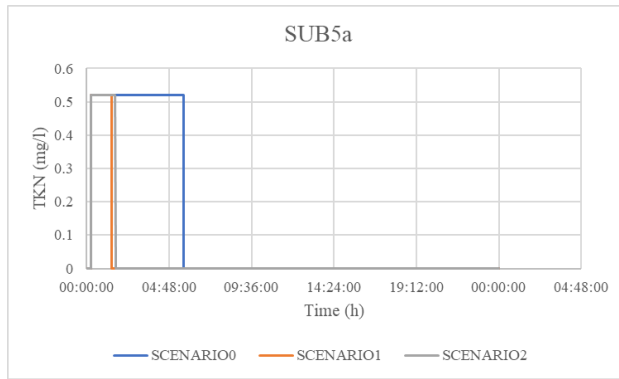


Figura 6.67 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 5a

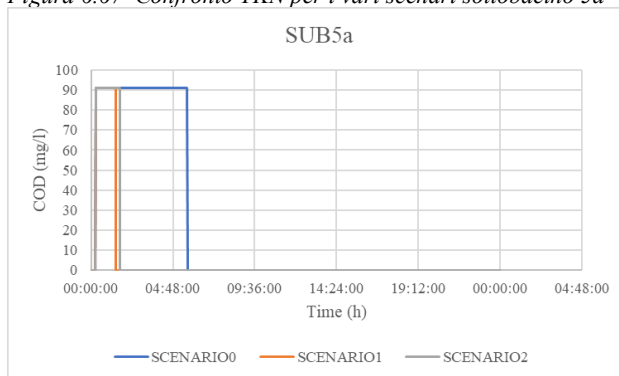


Figura 6.68 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 5a

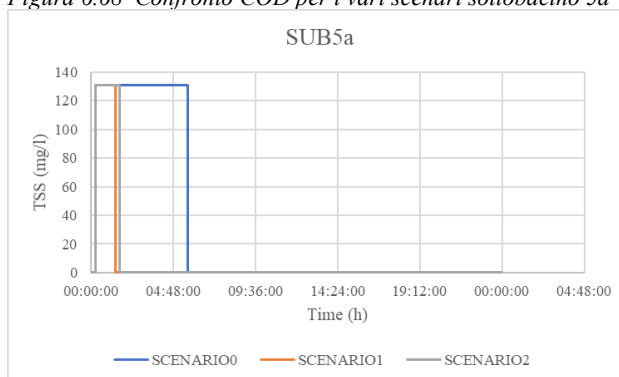


Figura 6.69 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 5a

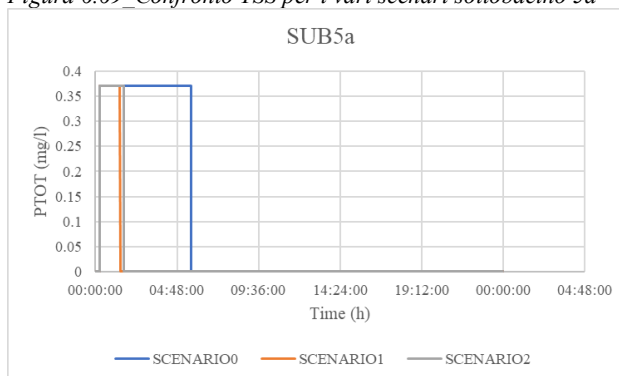


Figura 6.70 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 5a

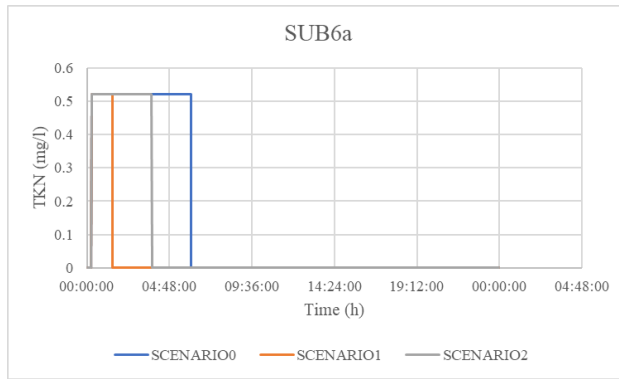


Figura 6.71 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 6a

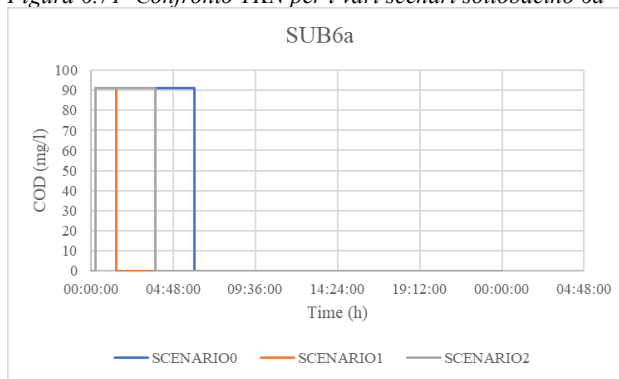


Figura 6.72 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 6a

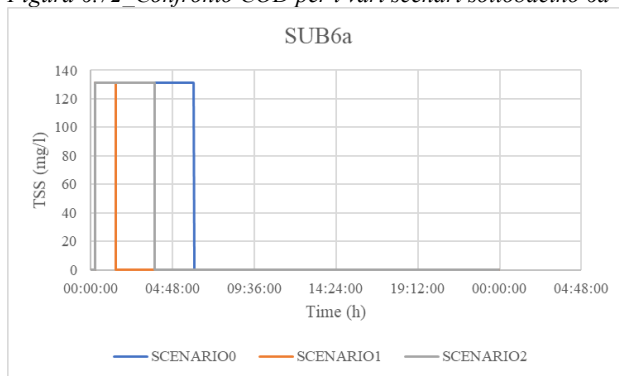


Figura 6.73 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 6a

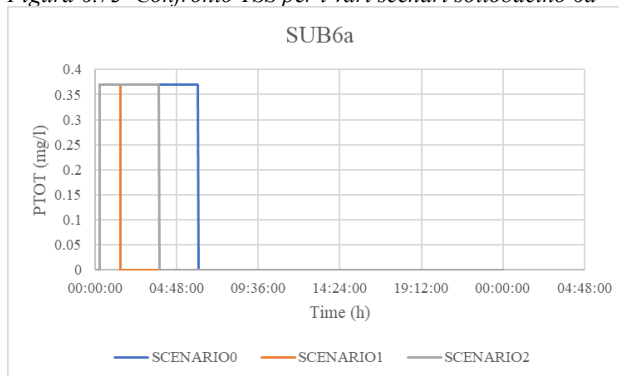


Figura 6.74 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 6a

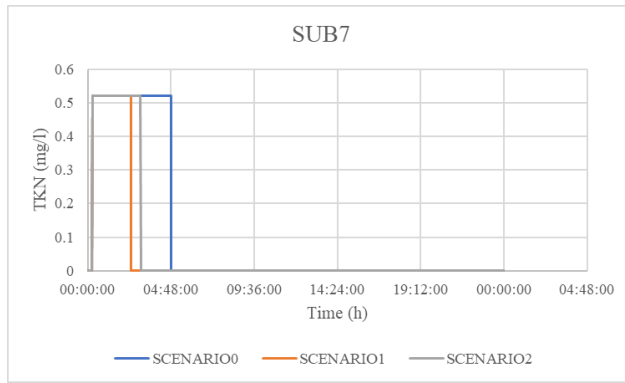


Figura 6.75 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 7

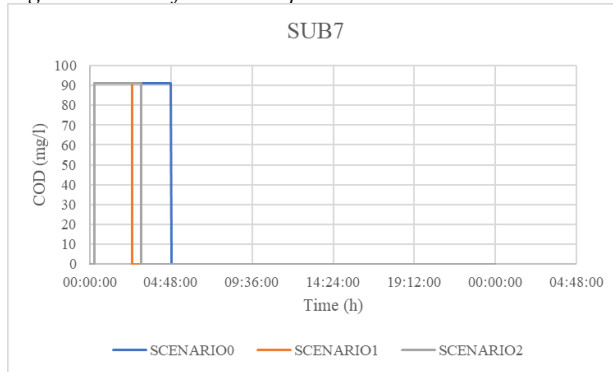


Figura 6.76 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 7

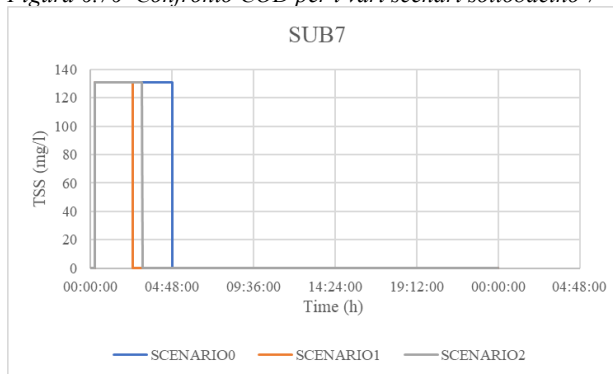


Figura 6.77 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 7

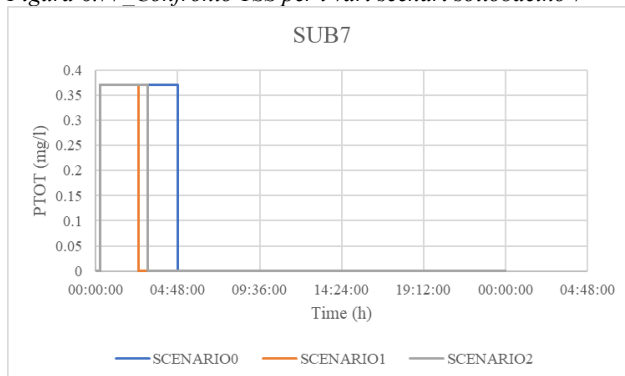


Figura 6.78 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 7

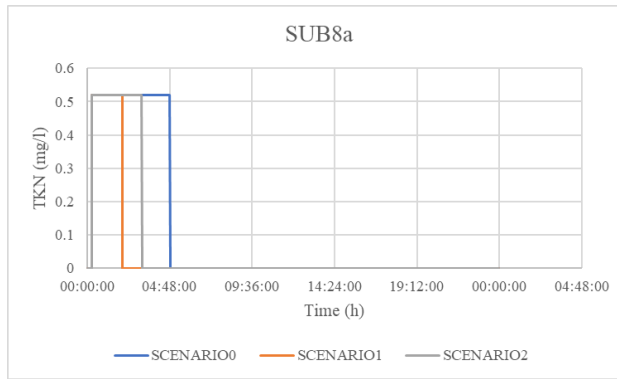


Figura 6.79 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 8a

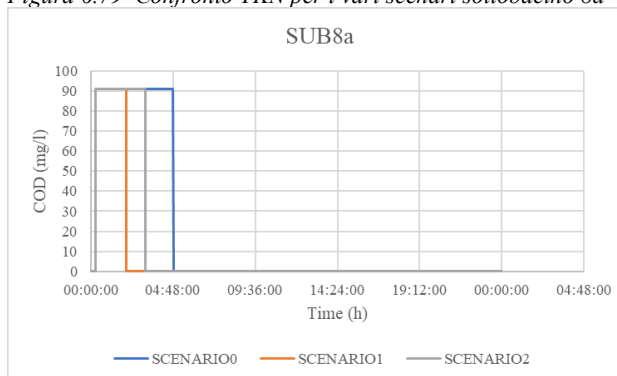


Figura 6.80 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 8a

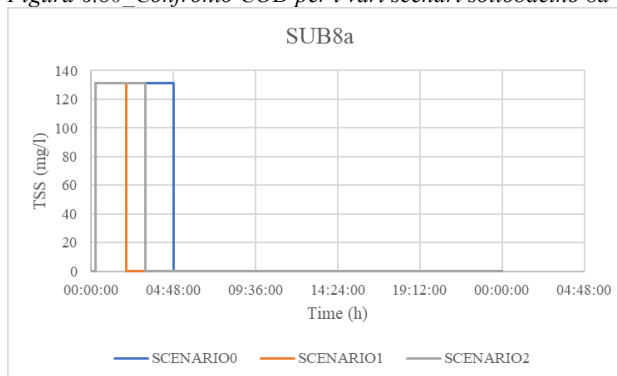


Figura 6.81 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 8a

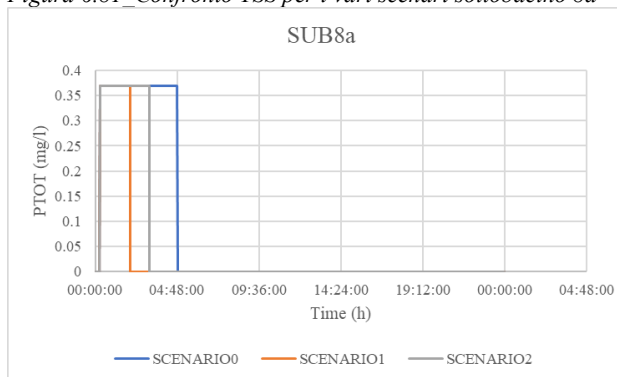


Figura 6.82 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 8a

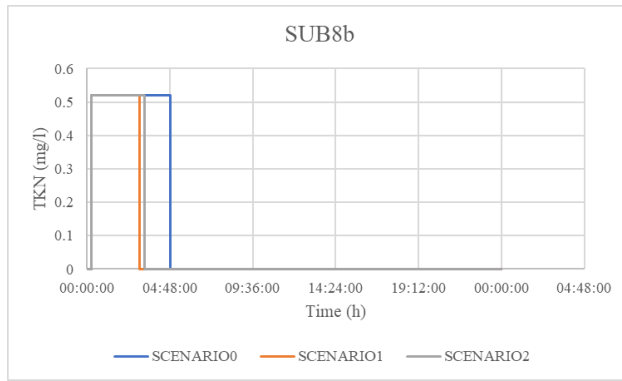


Figura 6.83 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 8b

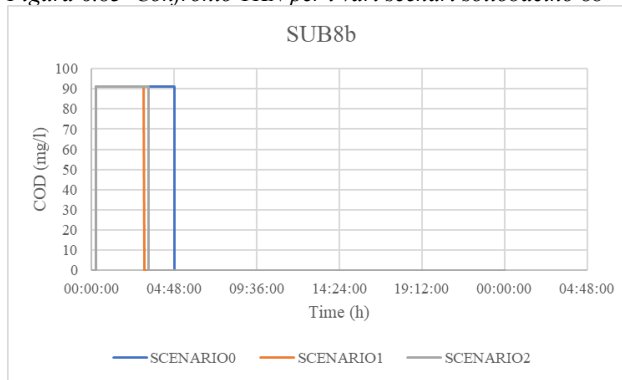


Figura 6.84 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 8b

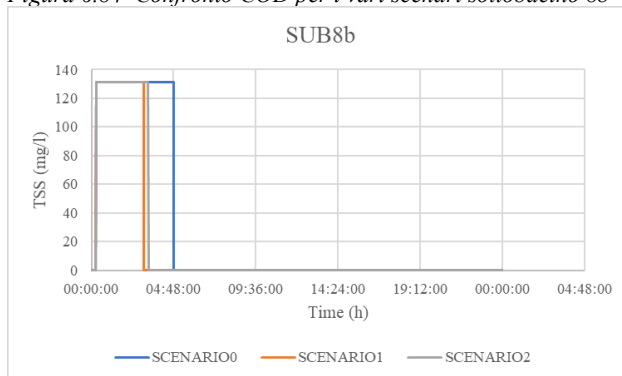


Figura 6.85 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 8b

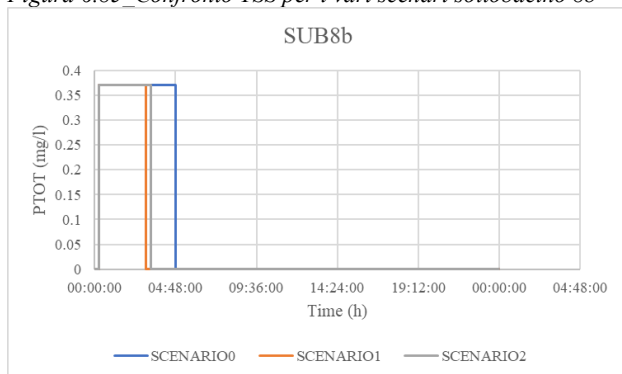


Figura 6.86 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 8b

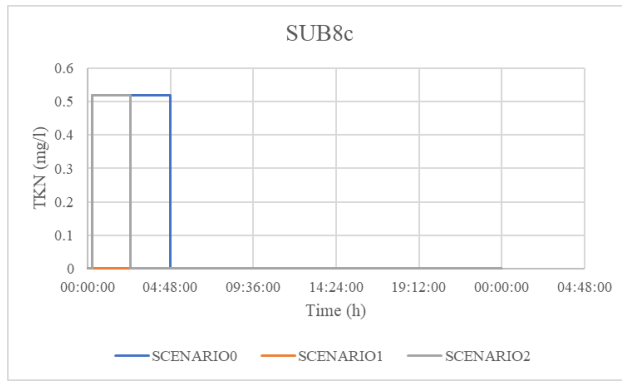


Figura 6.87 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 8c

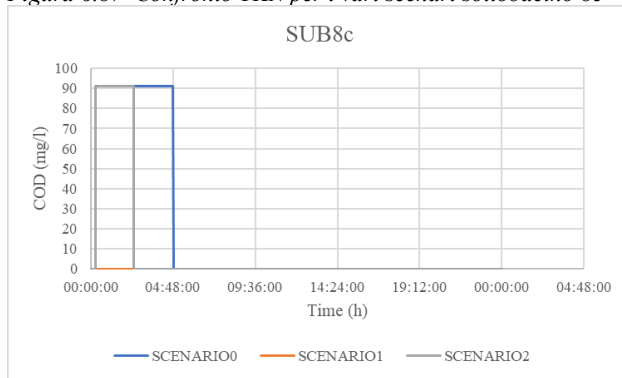


Figura 6.88 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 8c

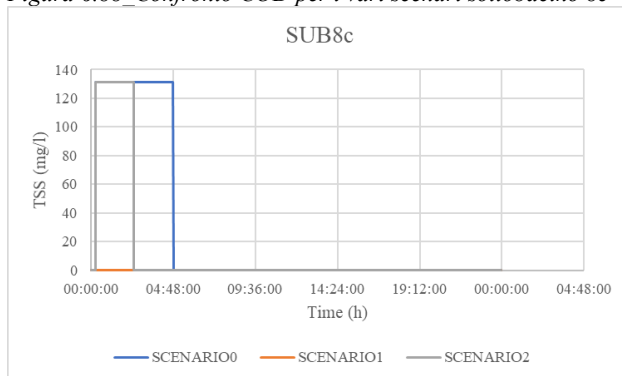


Figura 6.89 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 8c

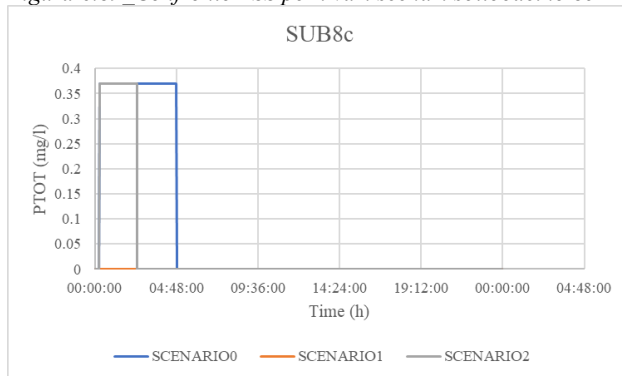


Figura 6.90 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 8c

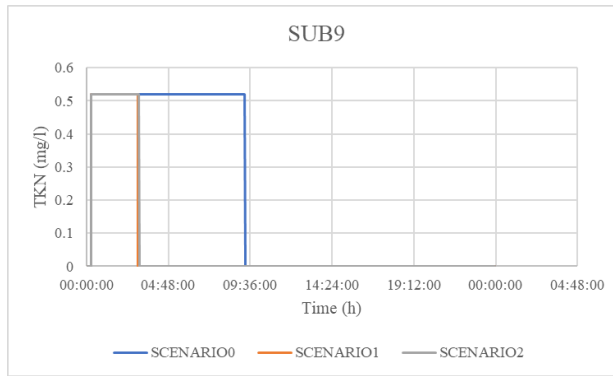


Figura 6.91 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 9

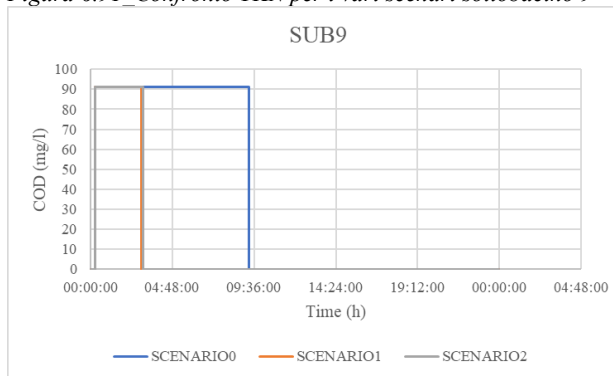


Figura 6.92 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 9

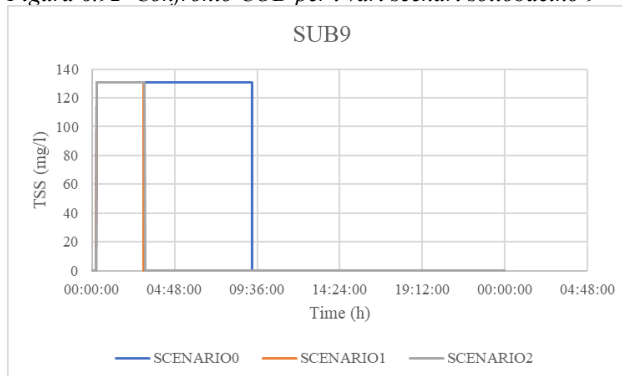


Figura 6.93 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 9

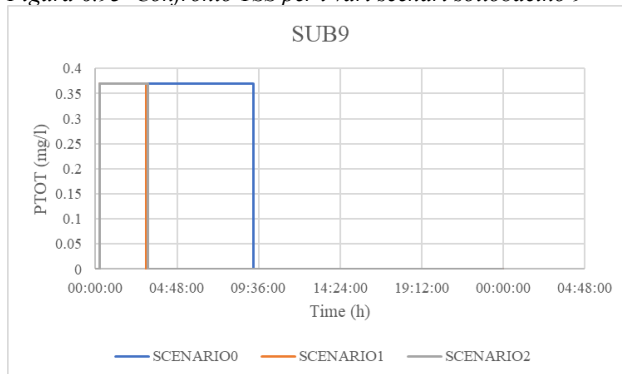


Figura 6.94 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 9



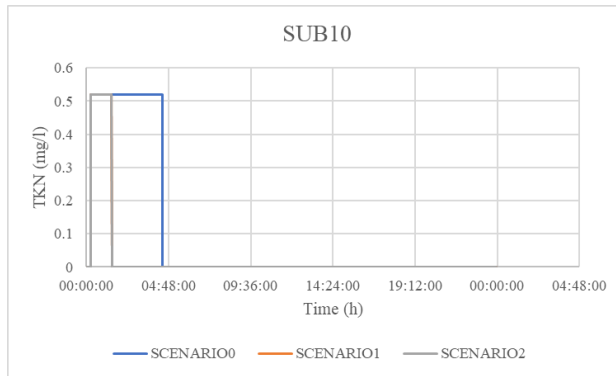


Figura 6.95 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 10

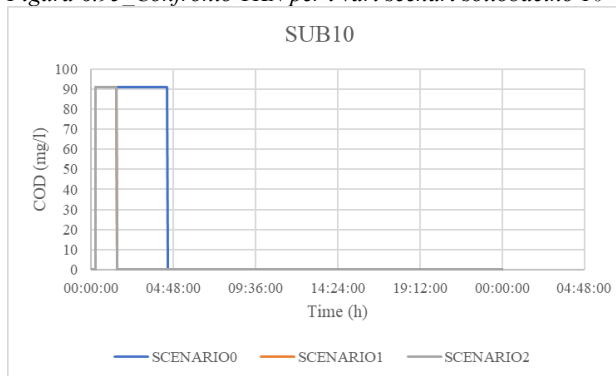


Figura 6.96 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 10

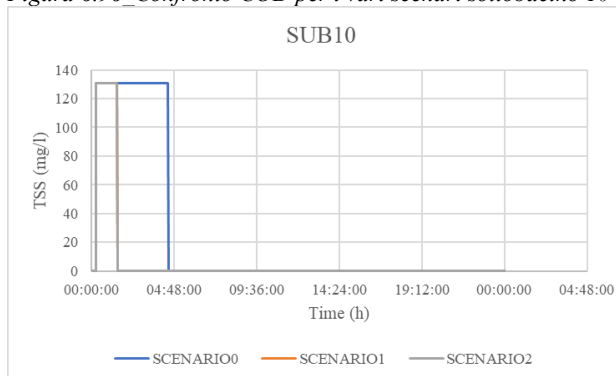


Figura 6.97 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 10

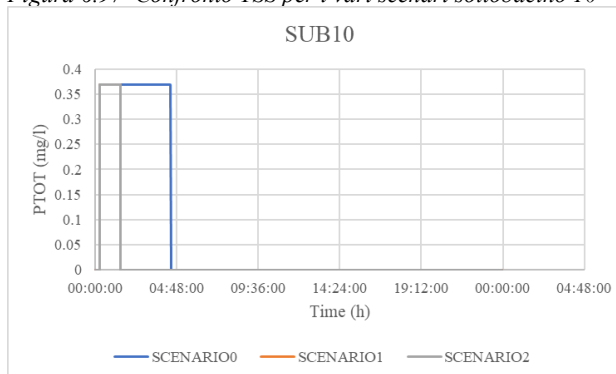


Figura 6.98 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 10

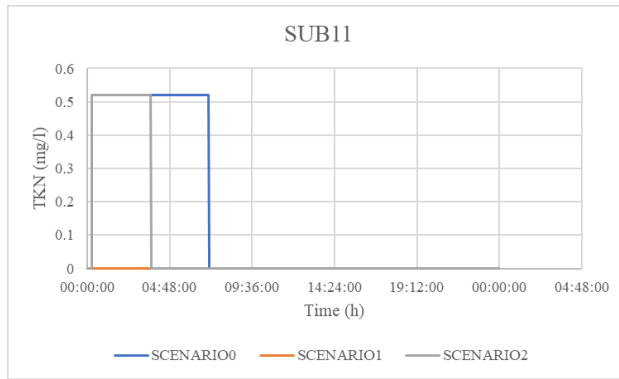


Figura 6.99 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 11

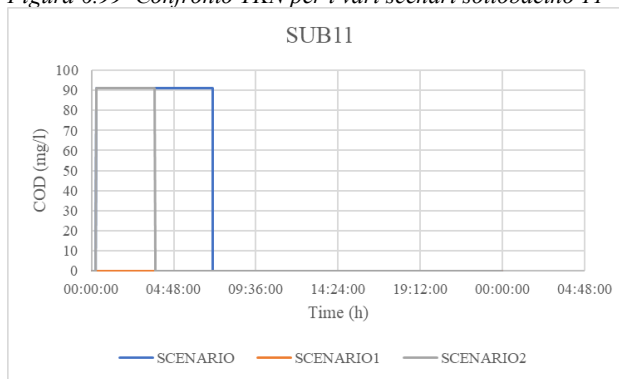


Figura 6.100 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 11

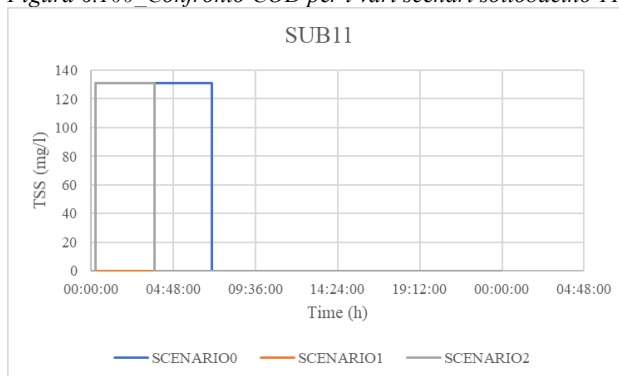


Figura 6.101 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 11

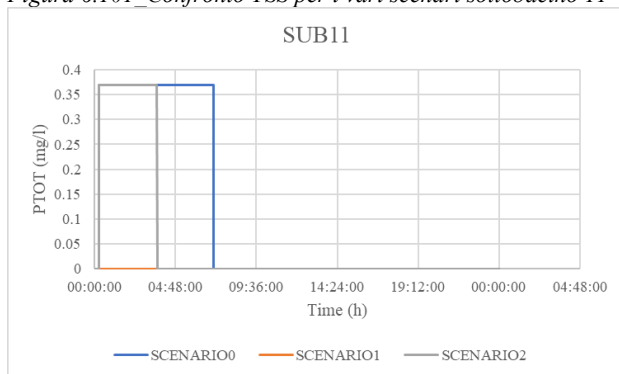


Figura 6.102 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 11

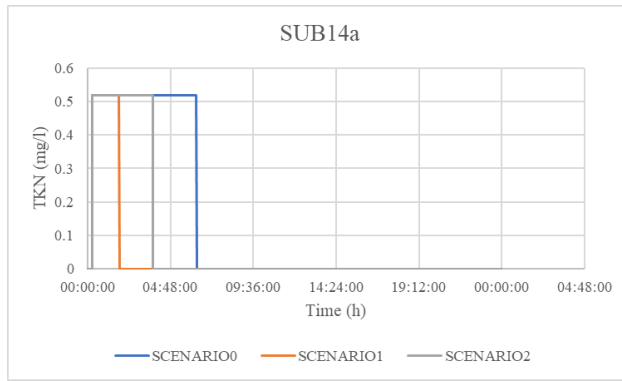


Figura 6.103 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 14a

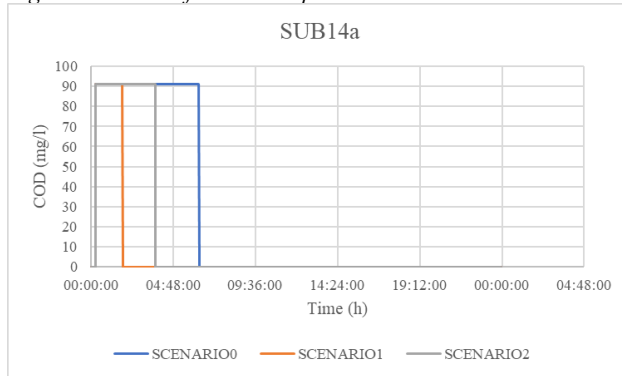


Figura 6.104 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 14a

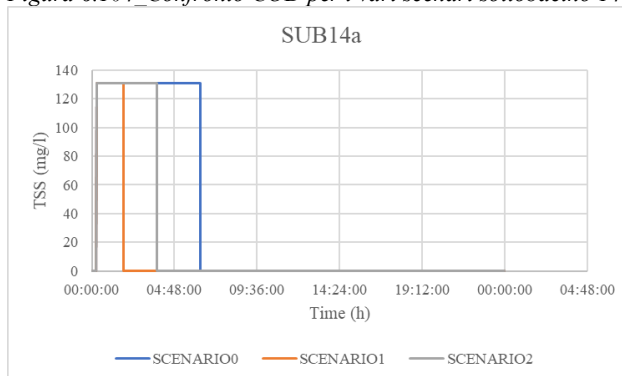


Figura 6.105 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 14a

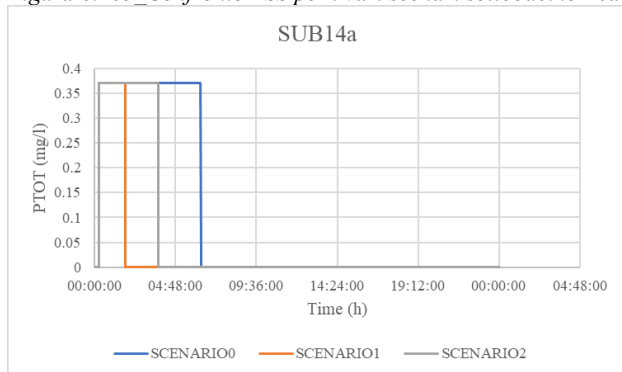


Figura 6.106 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 14a

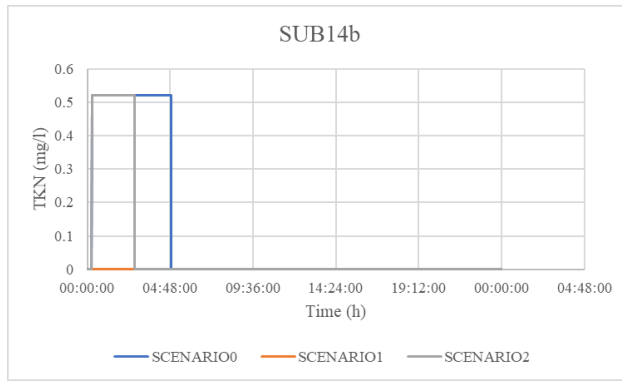


Figura 6.107 Confronto TKN per i vari scenari sottobacino 14b

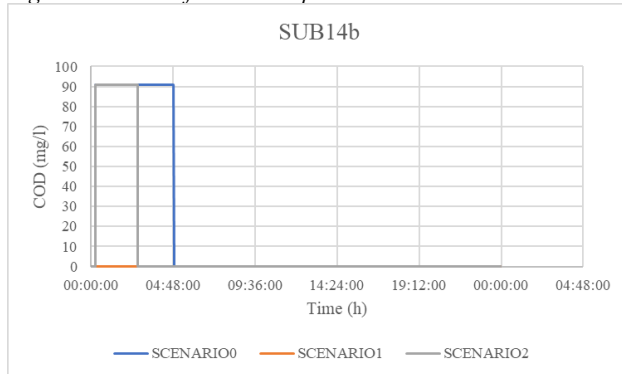


Figura 6.108 Confronto COD per i vari scenari sottobacino 14b

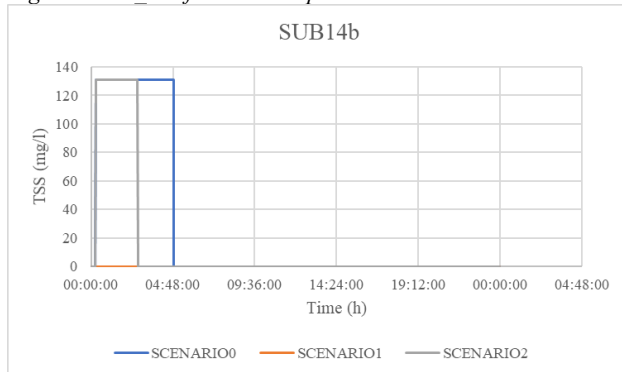


Figura 6.109 Confronto TSS per i vari scenari sottobacino 14b

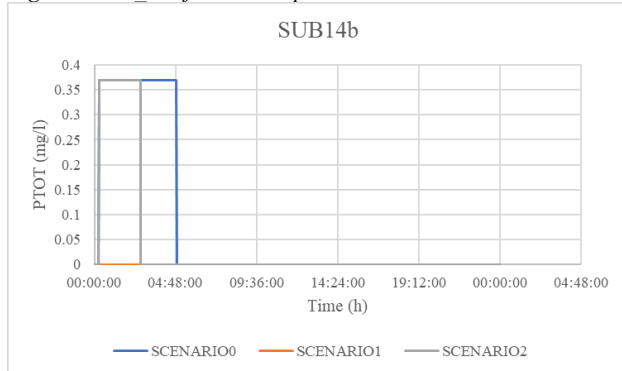


Figura 6.110 Confronto PTOT per i vari scenari sottobacino 14b

Dall'analisi dei risultati si nota che la concentrazione degli inquinanti resta costante nel tempo in tutti e tre gli scenari, tuttavia, c'è una drastica riduzione del tempo in cui questa concentrazione è presente all'interno della rete. Confrontando lo scenario 1 e 2 si nota che a volte coincidono e più raramente c'è un azzeramento della presenza degli inquinanti nello scenario 1, cioè quello che presenta tutti i LID attivi.

Analizzando tutti i sottobacini si può dire che il risultato è positivo anche con l'introduzione di un solo sistema LID, poiché consente di abbassare il tempo di permanenza in rete e di conseguenza gli inquinanti non sono presenti nel momento in cui, in caso di un evento di picco, si attivano gli scolmatori.

## CONCLUSIONI

Lo scopo dello studio era analizzare i deflussi superficiali urbani prendendo come riferimento in particolare un bacino presentante delle criticità e proporre degli interventi in questo caso di drenaggio urbano sostenibile che limitassero o risolvessero i problemi presenti nella rete. Il percorso seguito per la realizzazione di questo studio ha visto protagoniste analisi su più fronti per arrivare all'esplicitazione dei risultati, la complessità delle valutazioni svolte fanno sì che non ci sia un metodo univoco per condurre lo studio, ma che si debbano fare svariate considerazioni per arrivare ad avere un quadro complessivo completo.

In primo luogo, è stato fondamentale effettuare l'analisi sul consumo di suolo, per capire come gli effetti della crescente urbanizzazione siano impattanti su molti aspetti, tra cui l'incremento dei deflussi superficiali in ambito urbano. Lo studio è stato condotto sul periodo 1954-2018 e ha dimostrato che il consumo di suolo, inteso come impermeabilizzazione del suolo permeabile da parte dell'uomo è consistente ed è pari a circa il quadruplo rispetto al secolo precedente. Successivamente, lo scopo che si poneva lo studio era capire come i sistemi di drenaggio sostenibile possano ridurre i deflussi meteorici superficiali.

L'analisi è stata svolta seguendo un caso di studio reale, cioè quella del bacino di Cupra Marittima. Per condurre lo studio sono stati creati tre scenari: il primo, quello "0" dove si analizzava il bacino di studio allo stato attuale; il secondo, lo "scenario 1" dove si assegnava a ogni sottobacino una serie di LID a seconda delle zone urbanistiche di cui facevano parte; il terzo lo "scenario 2" dove entrava in funzione solo quel LID presente in percentuale maggiore all'interno della superficie del sottobacino.

I risultati hanno dimostrato che l'introduzione dei sistemi LID è in grado di ridurre i deflussi superficiali a volte anche in maniera considerevole, altre volte con pochissime variazioni. Tutte le analisi hanno tuttavia confermato che la riduzione di deflusso esercitata dalla presenza di LID presenti in piccole percentuali, quindi su superfici poco estese, è minima e non giustifica l'intervento.

Questo studio oltre che dimostrare l'efficacia dei sistemi LID, fornisce indicazioni su come assegnare i sistemi LID ai bacini di riferimento nel caso in cui si stia progettando, come in questo caso, il potenziamento di un bacino esistente. Vengono descritti due approcci che contribuiscono al corretto delineamento del progetto: quello idraulico e quello urbanistico-funzionale. L'approccio urbanistico e funzionale è stato molto utile ai fini della corretta progettazione territoriale in scala vasta; pertanto, va sempre accompagnato da un'analisi di fattibilità economica poiché solo uno studio che vede affiancarsi fattibilità tecnica a fattibilità economica può essere realmente eseguibile.

Tuttavia, è auspicabile per il futuro utilizzare sempre più sistemi di drenaggio sostenibile o in generale strumenti che limitino e contengano il consumo di suolo sia per la nuova progettazione, ma anche per la sistemazione e il rifacimento delle aree esistenti. Dovrebbe essere garantito e incentivato il riuso delle aree già urbanizzate evitando l'espansione e la diffusione delle città con nuovi insediamenti residenziali, direzionali, commerciali, industriali e il conseguente consumo e impermeabilizzazione del suolo agricolo o naturale. In questo modo si potrebbe ottenere invarianza idraulica nel caso di nuovi progetti e si potrebbero ridurre ulteriormente i deflussi nel caso di reti esistenti. Per questo motivo la normativa italiana dovrebbe essere potenziata e ci dovrebbero essere maggiori linee guida per una corretta progettazione dei LID mediante opportuni strumenti, livelli di governo del territorio e misure efficaci.





## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] P. Menegoni, “I territori montani, le aree interne: i luoghi dai quali ripartire,” 2016.
- [2] ISPRA, *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. 2016.
- [3] S. A. Palermo, M. Turco, F. Principato, and P. Piro, *Hydrological effectiveness of an extensive green roof in Mediterranean climate*, vol. 11. MDPI AG, 2019.
- [4] S. Consoli, D. Vanella, and A. D’emilio, *Le infrastrutture verdi urbane per la mitigazione del rischio idraulico: rain garden e tetti verdi*. 2017.
- [5] G. Gibelli and A. Gelmini, *Manuale di drenaggio urbano*. 2015.
- [6] S. delle Carrozze and Niscemi, *Prevenire il rischio idraulico urbano. Strumenti innovativi per una pianificazione sostenibile*. 2017.
- [7] <https://www.snpambiente.it/>.
- [8] Regione Lombardia, *Legge Regionale 15 marzo 2016, n. 4 Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua*, vol. 30. 2016.
- [9] R. Lombardia, *Testo coordinato del R.R. 23 novembre 2017, n. 7 «Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12*. 2019.
- [10] P. Kompatscher, *Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche*, no. 94. 2014.
- [11] A. Palla and L. G. Lanza, “Il verde pensile per il controllo della formazione dei deflussi superficiali Il verde pensile nel clima mediterraneo,” 2007.
- [12] Abram P.; Salchegger H., *Il verde pensile tra tecnica e natura*. 2017.

- [13] Laimer M.; Scarperi E., *Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche*.
- [14] L. A. Sañudo-Fontaneda, S. M. Charlesworth, D. Castro-Fresno, V. C. Andres-Valeri, and J. Rodriguez-Hernandez, "WATER QUALITY AND QUANTITY ASSESSMENT OF PERVIOUS PAVEMENTS PERFORMANCE IN EXPERIMENTAL CAR PARK AREAS."
- [15] G. Nigro, F. Principato, and F. Frega, "Modellazione idrologico-idraulica dei tetti verdi Hydrology MDPI Special Issue on Soil-Water-City Nexus in Urban Environment: Experimental Investigations and Numerical Analysis in Urban Hydrology Science View project Atmosphere MDPI Special Issue: "Climat," 2014.
- [16] G. Ercolani, E. A. Chiaradia, C. Gandolfi, F. Castelli, and D. Masseroni, *Evaluating performances of green roofs for stormwater runoff mitigation in a high flood risk urban catchment*, vol. 566. Elsevier B.V., 2018. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.09.050.
- [17] ISPRA, *Verde Pensile: prestazioni di sistema e valore ecologico*. 2012.
- [18] Laimer M., *Tetti verdi*. 2000.
- [19] H. SpA - Ufficio Tecnico SEIC verde pensile, *Progettazione coperture a verde - commenti alla norma UNI 11235*.
- [20] S. Papiri and S. Todeschini, *La Gestione Delle Acque Meteoriche Di Dilavamento E Gli Impianti Di Depurazione Urbani*. 1997.
- [21] R. Doring *et al.*, *Real-time control of urban drainage systems - The state-of-the-art*. 1996.
- [22] Ecomondo, *Monitoraggio e controllo in tempo reale dei sistemi di fognatura*. 2015.
- [23] M. Battisti; A. Peduzzi, *Caratteristiche principali del controllo in tempo reale*.
- [24] P. Piro, G. Nigro, and F. Principato, *Strategie sostenibili e Controllo in*

- tempo reale (RTC) per la mitigazione degli allagamenti in ambiente urbano: applicazioni sulla rete di drenaggio della città di Cosenza Special Issue: Improving the Building and Urban Sustainability Exploiting the High.* 2017.
- [25] L. A. Rossman and W. C. Huber, *Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology*, vol. I, no. January. 2016.
- [26] M. Maiolo *et al.*, “On the Use of a Real-Time Control Approach for Urban Stormwater Management,” *Water*, vol. 12, no. 10, p. 2842, Oct. 2020.
- [27] <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/suolo/copertura-del-suolo/corine-land-cover>.
- [28] M. Di Leginio, M. Munafò -Ispra, V. La, and G.-A. Puglia, *La copertura/uso e il consumo di suolo agricolo e naturale in Italia.* 2018.
- [29] ISPRA, *Suolo e territorio.*
- [30] Commissione delle comunità europee, *Comunicazione della commissione al consiglio, al parlamento europeo, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni.* 2006.
- [31] Commissione Europea, *Orientamento in materia di buone pratiche per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo.* 2012.
- [32] ISPRA, *TERRITORIO Processi e trasformazioni in Italia.* 2018.
- [33] Sannicandro V., *L'uso del GIS come strumento di analisi e rappresentazione del consumo di suolo.* 2016.
- [34] “<https://www.ciip.it/la-nostra-rete>.”
- [35] R. D’ambrosio, A. Longobardi, and B. Schmalz, “EPA SWMM5 MODELLING THE PERFORMANCE ASSESSMENT OF LOW IMPACT DEVELOPMENT UNDER CONTINUOUS AND EVENT-SCALE HISTORICAL RAINFALL AT THE CATCHMENT SCALE.”
- [36] L. Zhang, Q. Lu, Y. Ding, and J. Wu, “A procedure to design road bioretention soil media based on runoff reduction and pollutant removal performance,” *J. Clean. Prod.*, vol. 287, p. 125524, Mar. 2021.



## APPENDICE A: DEFINIZIONI

*Acque di prima pioggia:* le acque meteoriche che cadono nella prima parte di ogni evento di pioggia.

*Acque di dilavamento di superfici impermeabili:* le acque meteoriche che dilavano le superfici scoperte (piazzali, tetti, strade, etc.) che si rendono disponibili al deflusso superficiale, con recapito in reti fognarie, in corpi idrici superficiali sul suolo.

*Alveo:* porzione della fascia di pertinenza fluviale compresa tra le sponde incise del corso d'acqua stesso, normalmente sede dei deflussi idrici in condizioni di portata inferiori o uguali ai valori della piena ordinaria.

*Aree interessabili dalla possibile divagazione dell'alveo:* esse includono le aree potenzialmente interessabili dalla divagazione e mobilità dell'alveo, in assenza di interventi di difesa (indicativamente l'orizzonte temporale di riferimento è pari a 50-60 anni); l'individuazione di tali aree va effettuata sulla base dell'evoluzione storica dell'alveo (e delle scarpate fluviali che lo delimitano) relativa all'area di interesse ed a quelle contermini (considerando le aree interessate dalla divagazione storica dell'alveo almeno negli ultimi 50-60 anni), confrontata con la situazione attuale dell'alveo.


*Argine:* opera artificiale di difesa del territorio atta ad impedire lo straripamento dei corsi d'acqua; esso è generalmente costituito da un rilevato impermeabile in terra di forma trapezoidale la cui sommità è posta a quote superiori a quelle delle aree da difendere; tali manufatti possono essere ritenuti ufficialmente opere di difesa idraulica se ricadono in tratti/opere classificate in seconda o terza categoria ai sensi del R.D. 523/1904, oppure se sono disponibili i certificati di collaudo o regolare esecuzione delle opere, ovvero se l'Autorità idraulica competente attesta la presenza del Piano di controllo e manutenzione e la sua applicazione.

*Bacino naturale:* è l'area di raccolta delle acque che scorrono sulla superficie del suolo confluenti verso un determinato corpo idrico recettore.

*Coefficiente di deflusso*: percentuale della pioggia che raggiunge il corpo ricettore ovvero il rapporto tra deflussi (volume d'acqua defluito alla chiusura del bacino) e afflussi (volume d'acqua di precipitazione sul bacino).

*Coefficiente udometrico*: rappresenta la portata massima che defluisce nell'unità di superficie di un bacino.

*Esposizione*: entità/valore dei beni/elementi che possono subire un danno (intesa come perdita di vite umane o di beni economici pubblici e privati o di conseguenze per la collettività) a seguito del verificarsi di un evento di inondazione; ai fini dei presenti criteri si divide secondo le classi indicate nello schema seguente.

CLASSE	DESTINAZIONE D'USO	ESPOSIZIONE
	Attività agricole	Minore
II	Aree non edificate per servizi e opere di urbanizzazione (es. parchi pubblici, spazi aperti per attività sportive, strade, parcheggi), ad esclusione delle aree destinate a campeggio.	
	Attività Industriali e Artigianali, purché non siano previsti gli impianti inseriti nella classe V.	
III	Residenza, Uffici, Usi Commerciali aventi superficie di vendita non superiore a 250 metri quadrati.	
IV	Usi commerciali (con superficie di vendita superiore ai limiti di cui al precedente punto).	
V	Aree per servizi edificate (asili, scuole, ospedali, uffici postali, chiese, ecc.), aree destinate a campeggio, discariche, depuratori, impianti di trattamento dei rifiuti, impianti di cui all'allegato VIII alla parte II del D.Lgs 152/2006.	
		Maggiore

*Fascia a pericolosità idraulica meno elevata*: area, delimitata sulla base dell'analisi idrologica- idraulica e dell'analisi geomorfologica, contraddistinta da minore probabilità di essere interessata dalle dinamiche fluviali e minori probabilità di allagamento, con valori meno significativi di tiranti e velocità, sulla base delle indicazioni riportate nel Titolo II.

*Fascia a pericolosità idraulica media:* area, delimitata sulla base dell'analisi idrologica-idraulica e dell'analisi geomorfologica, contraddistinta da minore probabilità di essere interessata dalle dinamiche fluviali e minori probabilità di allagamento, con valori più significativi di tiranti e velocità, sulla base delle indicazioni riportate nel Titolo II.

*Fascia a pericolosità idraulica più elevata:* area, delimitata sulla base dell'analisi idrologica-idraulica e dell'analisi geomorfologica,, contraddistinta da maggiore probabilità di essere interessata dalle dinamiche fluviali e maggiore probabilità di allagamento, sulla base delle indicazioni riportate nel Titolo II.

*Fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica:* l'area, individuata sulla base dell'analisi geomorfologica, confrontata con l'analisi idrografica-storica-bibliografica, che comprende le aree inondabili per piene eccezionali relative a tempi di ritorno di alcune centinaia di anni, le forme fluviali riattivabili con piene eccezionali, le aree interessate/interessabili dall'evoluzione-mobilità dell'alveo e delle scarpate fluviali.

*Fascia di rispetto dai corpi arginali:* area, misurata dal piede esterno dell'argine, relativa alla zona dove si potrebbero risentire gli effetti dinamici nel caso di brecce/collasso degli arginali.

*Fossi e scoline:* opere di regimazione delle acque superficiali mediante la realizzazione di canalizzazione minori sul terreno che consentono il deflusso verso un ricettore posto più a valle.

*Invarianza idraulica:* processo relativo alla modifica di uso del suolo, in cui la laminazione è attuata in modo da mantenere inalterati i colmi di piena prima e dopo la trasformazione.

*Laminazione:* processo che agisce trattenendo i volumi che scorrono in superficie, facendoli transitare attraverso volumi disponibili e determinandone una restituzione rallentata.

*Marcata impermeabilizzazione potenziale:* Intervento su superfici superiori a 10 ha con  $Imp > 0,3$ . *Modesta impermeabilizzazione potenziale:* intervento su superfici comprese fra 0.1 e 1 ha.

*Picco di piena:* valore massimo della portata raggiunto per un dato evento di riferimento.

*Stramazzo:* un'apertura in uno sbarramento di un flusso liquido, che permette il passaggio del liquido a pressione atmosferica, rappresenta il sormonto di un ostacolo da parte di una corrente liquida.

*Significativa impermeabili Zazione potenziale:* "intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con  $Imp < 0,3$ .

*Tempo di corrivazione:* è il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame.

*Tirante idrico:* altezza raggiunta dall'acqua rispetto alla superficie solida sulla quale si invasa/scorre.

*Tempo di ritorno:* intervallo di tempo medio, espresso in anni, che intercorre tra due eventi di uguale entità, ovvero il tempo medio che intercorre tra due eventi superiori a una certa intensità. È equivalente alla probabilità del verificarsi di un evento di una certa intensità.

*Trascurabile impermeabilizzazione potenziale:* intervento su superfici di estensione inferiore a 0.1 ha.

*Trasformazione del territorio ad invarianza idraulica:* trasformazione di un'area che non provochi un aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa.

*Vasche di laminazione:* manufatti che consentono la riduzione della portata di colmo di un'onda di piena per mezzo del processo di laminazione.



*Vasche di prima pioggia:* manufatti che consentono l'invaso provvisorio dei volumi idrici prodotti dalla prima parte degli eventi meteorici per intrappolare gli inquinanti.

*Vasche volano:* manufatti che consentono l'invaso dei volumi idrici prodotti da eventi meteorici prima di inviarli all'impianto di depurazione o allo scarico esercitando quindi la funzione idraulica di laminazione insieme alla funzione di controllo qualitativo.

*Verifica di compatibilità idraulica:* analisi volta a valutare e definire se le scelte pianificatorie sono compatibili con la pericolosità idraulica del territorio, legata all'assetto-evoluzione dei corsi d'acqua e ai fenomeni di esondazione che si propagano dagli stessi, nonché con l'eventuale alterazione del regime idraulico indotto dalle scelte, secondo dati criteri.

*Verifica Preliminare (Idrografica-Bibliografica-Storica):* livello di analisi preliminare della Verifica di Compatibilità Idraulica necessario al fine per verificare la presenza di aree inondabili mappate in strumenti di programmazione delle Autorità di bacino/Autorità di distretto (es: PAI), o individuate in studi preesistenti e l'eventuale esistenza di segnalazioni di criticità per inondazioni/allagamenti a seguito di passati eventi, al fine dell'assoggettamento ai successivi livelli della Verifica di Compatibilità Idraulica. Tale livello di analisi è sempre richiesto.

*Verifica Semplificata (Idrografica-Bibliografica-Storica e Geomorfologica):* livello di analisi semplificata della Verifica di Compatibilità Idraulica richiesta al fine dell'individuazione della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica, per il reticolo idrografico individuato con la Verifica Preliminare; è basata sull'analisi geomorfologica del reticolo fluviale e delle aree perifluviali, tenendo conto dei dati raccolti con l'Analisi Idrografica-Bibliografica-Storica.

*Verifica Completa (Idrografica-Bibliografica-Storica, Geomorfologica e ideologico-idraulico):* livello di analisi completa della Verifica di Compatibilità Idraulica sviluppata al fine di individuare le fasce a differente pericolosità idraulica, nonché definire gli interventi eventualmente necessari per mitigare la pericolosità

idraulica; essa consiste generalmente in analisi geomorfologica, analisi idrologica, rilievi topografici e analisi idraulica, integrate e mutuamente congruenti tra loro e con i dati raccolti con l'analisi idrografica-bibliografica-storica.

*Volumi di invaso*: volumi di acque superficiali finalizzati al processo di laminazione.

*W*: misura del volume minimo d'invaso da prescrivere in aree sottoposte a trasformazioni (mc/ha).

*I*: quota di trasformazione di un'area (% dell'area che viene trasformata).

*P*: quota non oggetto di trasformazione (% dell'area inalterata).

*W°*: misura del volume minimo d'invaso prima della trasformazione (mc/ha), convenzionalmente stabilito pari a 50 mc/ha.

*I*= coefficiente di deflusso dopo la trasformazione.

*I°*= coefficiente di deflusso prima della trasformazione.

*St*: superficie territoriale, area totale dell'intervento.

*Imp*: frazioni dell'area totale da ritenersi impermeabile dopo la trasformazione.

*Imp°*: frazioni dell'area totale da ritenersi impermeabile prima della trasformazione; *Per*: frazioni dell'area totale da ritenersi permeabile dopo la trasformazione.

*Per°*: frazioni dell'area totale da ritenersi permeabile prima della trasformazione.

*Sb*: superficie dell'intero bacino scolante di cui l'area dell'intervento di trasformazione fa parte.

## APPENDICE B: MODELLARE IN SWMM

### B.1 Premesse

Il modello EPA Storm Water Management Model (SWMM) è un modello dinamico di simulazione del deflusso delle piogge utilizzato per la simulazione di un singolo evento o a lungo termine (continuo) della quantità e qualità del deflusso da aree principalmente urbane, rilasciato nel 1971 dal Water Supply and Water Resources Division dell'Environmental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory.

La componente di deflusso di SWMM opera su un insieme di aree di sottobacini che ricevono le precipitazioni e generano deflusso e carichi inquinanti. La parte di instradamento di SWMM trasporta questo deflusso attraverso un sistema di tubi, canali, dispositivi di stoccaggio/trattamento, pompe e regolatori. SWMM traccia la quantità e la qualità del deflusso generato all'interno di ogni sottobacino, e la portata, la profondità del flusso e la qualità dell'acqua in ogni tubo e canale durante un periodo di simulazione composto da più fasi temporali.

Per la modellazione di un caso studio in SWMM si procede creando le varie componenti del sistema di drenaggio tramite gli strumenti forniti e assegnando loro proprietà e i rispettivi valori, in modo da descrivere la situazione oggetto di analisi.

Fin dalla sua nascita, SWMM è stato usato in migliaia di studi su fognature e acque meteoriche in tutto il mondo. Le applicazioni tipiche includono:

- progettazione e dimensionamento dei componenti del sistema di drenaggio per il controllo delle inondazioni;
- dimensionamento delle strutture di detenzione e delle loro pertinenze per il controllo delle inondazioni e la protezione della qualità dell'acqua;
- mappatura delle pianure alluvionali dei sistemi di canali naturali;
- progettazione di strategie di controllo per ridurre al minimo gli straripamenti delle fognature combinate;
- valutazione dell'impatto dell'infiltrazione e dell'afflusso dipendenti dalle piogge sulle tracimazioni delle fognature sanitarie;

- generazione di carichi di inquinanti da fonti non puntuali per gli studi di allocazione del carico di rifiuti;
- valutare l'efficacia delle BMPs per ridurre il carico di inquinanti durante il tempo umido.

Le operazioni previste per la modellazione di un caso studio SWMM sono:

- rappresentazione e assegnazione delle proprietà delle componenti (visual e non- visual object) che descrivono la situazione in esame: regime delle precipitazioni (Rain Gage), sottobacini (Subcatchments), nodi e condotte, punto di scarico (Outfall), LIDs;
- settaggio dei parametri che caratterizzano l'analisi: modello di infiltrazione, regime di moto, estensione temporale della simulazione, frequenza di calcolo, ecc.;
- lancio della simulazione;
- lettura ed elaborazione dei risultati della simulazione: Status Report, Summary Results, profili longitudinali, idrogrammi di piena, graficizzazioni della mappa, ecc.

## B.2 Modello concettuale

Di seguito viene fornita una panoramica sui metodi di calcolo che SWMM usa per simulare l'idrologia, l'idraulica e il comportamento della qualità dell'acqua di un sistema di drenaggio.

SWMM concettualizza un sistema di drenaggio come una serie di flussi di acqua e materiale tra diversi comparti ambientali principali. Questi compartimenti e gli oggetti SWMM che contengono includono: atmosphere compartment, land Surface Compartment, groundwater compartment, transport compartment.

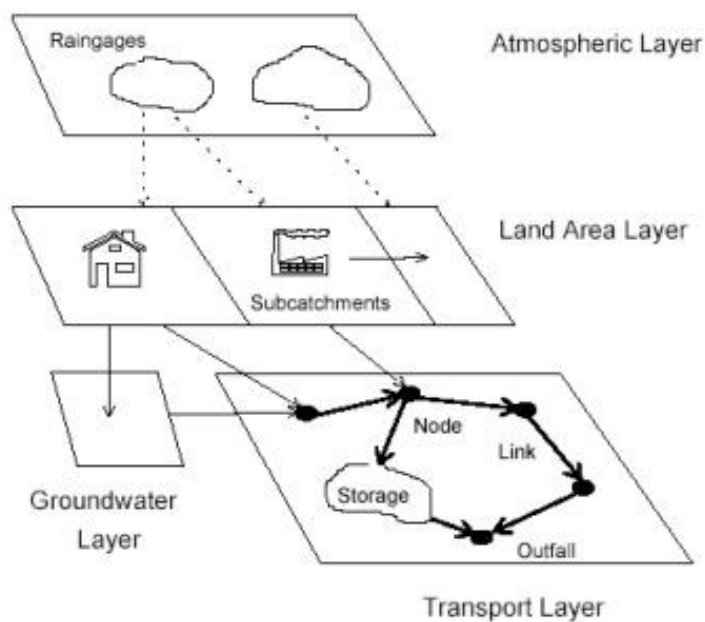


Figura 0.1\_Concettualizzazione di un'area di drenaggio in SWMM

*Atmosphere compartment:* che genera precipitazioni e deposita inquinanti sul compartimento della superficie terrestre. SWMM usa gli oggetti Rain Gage per rappresentare gli input di pioggia al sistema. È possibile lanciare simulazioni di eventi critici di pioggia che vanno a sollecitare il bacino di studio di diverso tipo:

- a “evento singolo” ovvero simulazioni della durata di poche ore”;
- “in continuo”, ovvero simulazioni della durata di diversi giorni o mesi.

*Land Surface Compartment:* che è rappresentato attraverso uno o più oggetti di sottobacino. Riceve le precipitazioni dal comparto Atmospheric sotto forma di pioggia o neve; invia il flusso in uscita sotto forma di infiltrazione al comparto Groundwater e anche come deflusso superficiale e carichi inquinanti al comparto Transport.

*Groundwater compartment:* riceve l'infiltrazione dal compartimento Land Surface e trasferisce una parte di questo afflusso al compartimento Transport. Questo compartimento è modellato usando gli oggetti Aquifer.

*Transport compartment*: contiene una rete di elementi di trasporto (canali, tubi, pompe e regolatori) e unità di immagazzinamento/trattamento che trasportano l'acqua verso le cascate o gli impianti di trattamento. Gli afflussi in questo compartimento possono provenire dal deflusso del surfaceracer, dall'interflusso delle acque sotterranee, dal flusso sanitario del tempo secco, o da idrografie definite dall'utente.

In questo comparto si procede al calcolo della propagazione in rete, scegliendo tra diversi moduli: moto uniforme, onda cinematica e moto vario, basato sulla risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant. Il programma consente di effettuare calcoli in maniera più accurata perché vengono modellati anche i fenomeni di rigurgito, moti a pelo libero e in pressione, inversione del flusso e nei rami.

Non tutti i compartimenti devono apparire in un particolare modello SWMM. Per esempio, si potrebbe modellare solo il comparto trasporto, usando idrografi predefiniti come input.

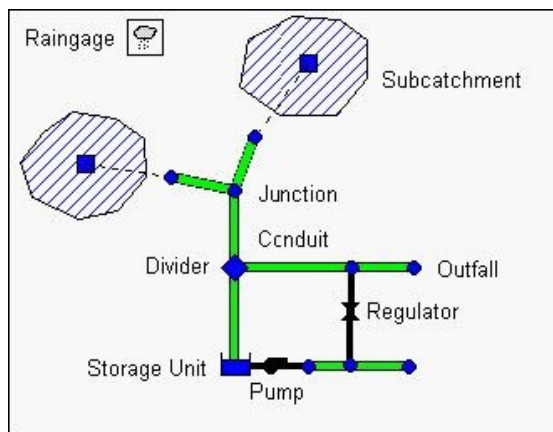


Figura 0.2\_Visual object che compongono una rete di drenaggio in SWMM

## B.3 Descrizione dei modelli idrologici

### B.3.1 Rain Gage

Rain Gage forniscono dati di precipitazione per una o più aree di sottobacino in una regione di studio. I dati delle precipitazioni possono essere una Time Series definita dall'utente o provenire da un file esterno. Sono supportati diversi formati di file delle precipitazioni attualmente in uso, oltre a un formato standard definito dall'utente. Una Time Series, creata attraverso un editor, consente di rappresentare un evento pluviometrico per punti, associando ad un istante un valore della grandezza di riferimento. L'intervallo temporale che intercorre può variare tra 1 minuto e 24 ore ed è richiesto che venga specificato tra le proprietà del Rain Gage. Inoltre, nello stesso modello è possibile inserire più di un Rain Gage, ciascuno in riferimento ad una Time Serie differente.

Le principali proprietà di input dei pluviometri includono

- tipo di dati sulle precipitazioni (ad esempio, intensità, volume o volume cumulativo)
- intervallo di tempo di registrazione (ad esempio, ogni ora, 15 minuti, ecc.)
- fonte dei dati sulle precipitazioni (serie temporale in ingresso o file esterno)
- nome della fonte dei dati sulle precipitazioni

### B.3.2 Subcatchments

I sottobacini sono unità idrologiche di terreno la cui topografia e gli elementi del sistema di drenaggio dirigono il deflusso superficiale verso un singolo punto di scarico. L'utente è responsabile della divisione di un'area di studio in un numero appropriato di sottobacini e di identificare il punto di scarico di ogni sottobacino. I punti di scarico possono essere sia nodi del sistema di drenaggio che altri sottobacini.

I sottobacini sono divisi in sottozone permeabili e impermeabili. Il deflusso superficiale può infiltrarsi nella zona superiore del suolo della sottozona pervia, ma

non attraverso la sottozona impervia. Le aree impervie sono a loro volta divise in due aree: una che contiene lo stoccaggio della depressione e un'altra che non lo fa. Il flusso di deflusso da una sottozona in un sottobacino può essere indirizzato all'altra sottozona, o entrambe le sottozone possono drenare verso lo sbocco del sottobacino.

La divisione dell'area in un adeguato numero di sottobacini consente di rappresentare un adeguato modello di superficie scolate poiché ogni sottobacino avrà caratteristiche differenti e potranno essere descritti al meglio geometria e superficie.

Per modellare l'accumulo, la ridistribuzione e lo scioglimento delle precipitazioni che cadono come neve su un sottobacino, deve essere assegnato un oggetto Snow Pack. Per modellare il flusso delle acque sotterranee tra una falda acquifera sotto il sottobacino e un nodo del sistema di drenaggio, al sottobacino deve essere assegnato un set di parametri Groundwater. L'accumulo di inquinanti e il dilavamento dai sottobacini sono associati agli usi del suolo assegnati al sottobacino. La cattura e la ritenzione delle precipitazioni/deflusso usando diversi tipi di pratiche di sviluppo a basso impatto (come celle di bio-ritenzione, trincee di infiltrazione, pavimentazione porosa, canali vegetativi e barili di pioggia) possono essere modellati assegnando un set di controlli LID pre-progettati al sottobacino.

### B.3.3 Infiltrazione

L'infiltrazione delle precipitazioni dall'area permeabile di un sottobacino nella zona insatura del suolo superiore può essere descritta usando cinque diversi modelli:

- Infiltrazione classica di Horton
- Infiltrazione Horton modificata
- Infiltrazione Green-Ampt
- Infiltrazione Green-Ampt modificata
- Infiltrazione SCS Curve Number



### B.3.3.1 Metodo di Horton

Questo metodo si basa su osservazioni empiriche che mostrano che l'infiltrazione diminuisce esponenzialmente da un tasso massimo iniziale a un tasso minimo nel corso di un lungo evento di pioggia. I parametri di input richiesti da questo metodo includono: i tassi di infiltrazione massimo e minimo, un coefficiente di decadimento che descrive quanto velocemente il tasso diminuisce nel tempo, e un tempo necessario a un terreno completamente saturo per asciugarsi completamente.

### B.3.3.2 Metodo di Horton modificato

Questa è una versione modificata del classico Metodo Horton che usa l'infiltrazione cumulativa in eccesso rispetto al tasso minimo come variabile di stato (invece del tempo lungo la curva di Horton), fornendo una stima più accurata dell'infiltrazione quando si verificano basse intensità di pioggia. Utilizza gli stessi parametri di input del metodo Horton tradizionale.

### B.3.3.3 Metodo Green-Ampt

Questo metodo per modellare l'infiltrazione presuppone che esista un fronte di bagnatura netto nella colonna di suolo, che separa il suolo con un certo contenuto di umidità iniziale in basso dal suolo saturo in alto. I parametri di input richiesti sono: il deficit di umidità iniziale del suolo, la conduttività idraulica del suolo e la testa di aspirazione al fronte di bagnatura. Il tasso di recupero del deficit di umidità durante i periodi di siccità è empiricamente correlato alla conduttività idraulica.

#### B.3.3.4 Metodo Green-Ampt modificato

Questo metodo modifica la procedura originale Green-Ampt non esaurendo il deficit di umidità nello strato superficiale superiore del suolo durante i periodi iniziali di basse precipitazioni, come veniva fatto nel metodo originale. Questa modifica può produrre un comportamento di infiltrazione più realistico per i temporali con lunghi periodi iniziali in cui l'intensità delle precipitazioni è inferiore alla conduttività idraulica satura del suolo.

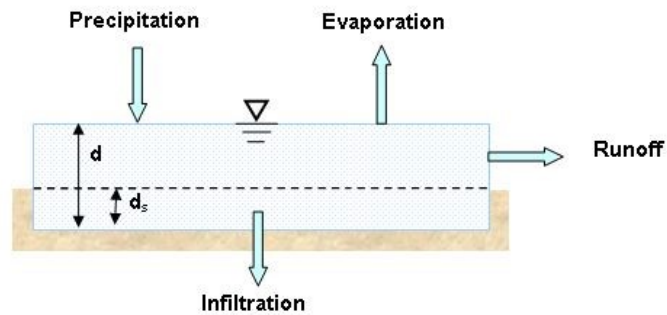
#### B.3.3.5 Metodo SCS curve number

Questo approccio è adottato dal metodo NRCS (SCS) Curve Number per la stima del deflusso e presuppone che la capacità di infiltrazione totale di un suolo possa essere trovata dal *curve number* del suolo. Durante un evento di pioggia questa capacità è esaurita in funzione delle precipitazioni cumulative e della capacità residua. I parametri di input per questo metodo sono: il curve number e il tempo che impiega un terreno completamente saturo ad asciugarsi completamente. SWMM permette anche di aggiustare il tasso di recupero dell'infiltrazione di una quantità fissa su base mensile per tenere conto delle variazioni stagionali in fattori come i tassi di evaporazione e i livelli delle acque sotterranee. Questo modello opzionale di recupero mensile del suolo è specificato come parte dei dati di evaporazione di un progetto.

#### B.3.4 Deflusso superficiale

La visione concettuale del deflusso superficiale usata da SWMM è illustrata nella Figura 0.3. Ogni superficie di sottobacino è trattata come un serbatoio non lineare. L'afflusso proviene dalle precipitazioni e da qualsiasi sottobacino designato a monte. Ci sono diversi deflussi, inclusi: infiltrazione, evaporazione e deflusso superficiale. La capacità di questo "serbatoio" è l'immagazzinamento massimo della depressione del volume dei vuoti e dal grado di saturazione del terreno. Il deflusso

superficiale per unità di superficie si verifica solo quando l'altezza dell'acqua ( $d$ ) nel "serbatoio" supera il massimo deposito di depressione ( $d_s$ ). L'altezza dell'acqua nel sottobacino è continuamente aggiornata nel tempo risolvendo numericamente un'equazione del bilancio idrico nel sottobacino.



*Figura 0.3\_Concettualizzazione del deflusso superficiale in SWMM*

### B.3.5 LID controls

Lo SWMM permette la modellazione di modelli LIDs che sono pratiche di sviluppo a basso impatto progettate per catturare il deflusso superficiale e fornire una combinazione di detenzione, infiltrazione ed evapotraspirazione. SWMM può modellare esplicitamente sette diversi tipi generici di controlli LID che si possono anche personalizzare:

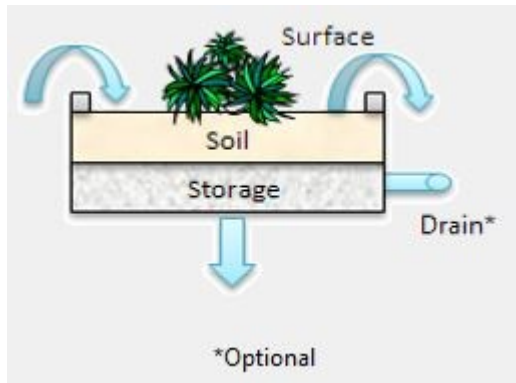


Figura 0.4\_Schema di una Bio-Retention Cell

### Bio-Retention Cell

Una cella di bio-ritenzione è uno strato di suolo posto sopra un letto di drenaggio in ghiaia. Forniscono lo stoccaggio, l'infiltrazione e l'evaporazione sia delle precipitazioni dirette che del deflusso delle aree circostanti.

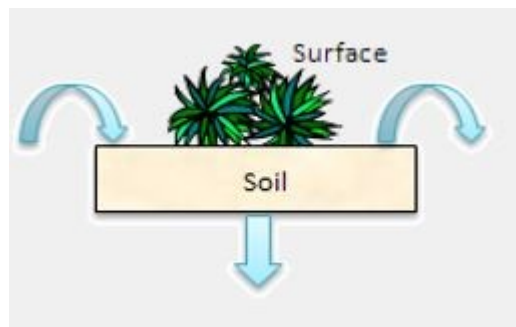


Figura 0.5\_Schema di una Rain Garden

### Rain Garden

Sono un tipo di cella di bio-ritenzione che consiste solo nello strato di terreno sprovvisto dello strato drenante. [Figura 0.5]

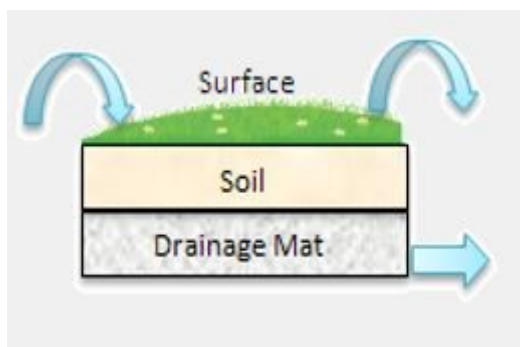


Figura 0.6\_Schema di un Rain Garden

### Green Roof

Sono un'altra variante di una cella di bio-ritenzione che hanno uno strato di terreno che giace sopra uno speciale materiale di drenaggio che trasporta l'eccesso di pioggia percolata fuori dalla copertura. [Figura 0.6]

## Infiltration Trench

Sono stretti fossati riempiti di ghiaia per il drenaggio, con lo scopo di infiltrare l'acqua nel suolo sottostante. [Figura 0.7]

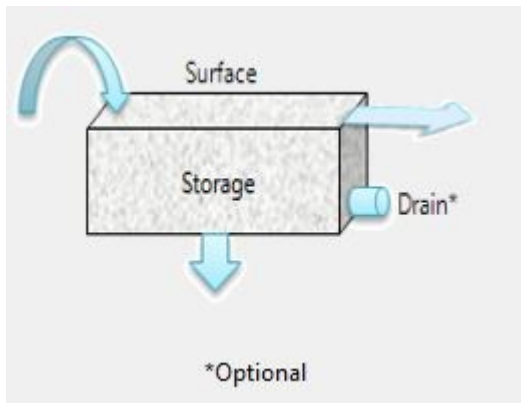


Figura 0.7\_Schema di un infiltration Trench

## Permeable Pavement

Sono aree scavate riempite di ghiaia e pavimentate con una miscela porosa di cemento o asfalto. Possono essere continue quando l'acqua attraversa lo strato di asfalto poroso o discontinue che raggiungono lo strato di drenaggio. [Figura 0.8]

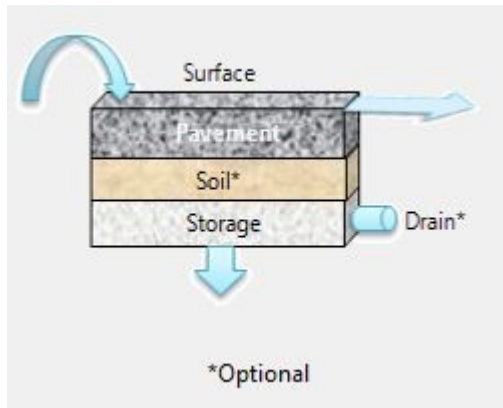


Figura 0.8\_Schema di un Permeable Pavement

## Rain Barrel

Sono contenitori che raccolgono il deflusso del tetto durante gli eventi temporaleschi e possono rilasciare o riutilizzare l'acqua piovana durante i periodi di siccità. [Figura 0.9]



Figura 0.9\_Schema di un Rain Barrel

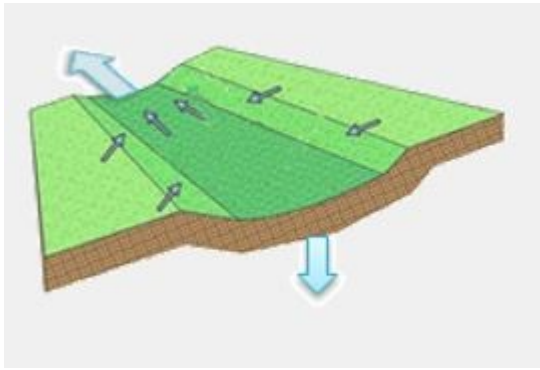


Figura 0.10\_Schema di un Vegetative Swale

## Vegetative Swale

Sono canali o aree depresse con lati in pendenza coperti da erba e altra vegetazione. Rallentano il trasporto del deflusso raccolto e gli permettono di avere più tempo per infiltrarsi nel suolo nativo sottostante. [Figura 0.10]

## B.4 Descrizione dei modelli idraulici

Gli altri principali parametri di input per i sottobacini includono:

- pluviometro assegnato
- nodo di uscita o sottobacino
- area totale
- percentuale di area impervia
- pendenza media
- larghezza caratteristica del flusso di superficie
- Rugosità di Manning (n) per il flusso di superficie su entrambe le aree pervie e impervie
- deposito di depressione in entrambe le aree pervie e impervie
- percentuale di area impervia senza stoccaggio in depressione.

Il sistema di drenaggio è modellato nel software mediante la giustapposizione dei rami (*links*) e nodi (*nodes*) in corrispondenza dei quali avvengono afflussi e deflussi.

## B.4.1 Nodes

I nodi sono i punti dove i sistemi di trasporto si intersecano; si distinguono quattro tipologie di nodes differenti: junctions, outfalls, dividers e storage units.

I junctions sono nodi del sistema di drenaggio dove i collegamenti si uniscono. Fisicamente possono rappresentare la confluenza di canali superficiali naturali, pozzetti in un sistema fognario, o raccordi di collegamento delle tubazioni. Afflussi esterni possono entrare nel sistema alle giunzioni. L'acqua in eccesso in una giunzione può diventare parzialmente pressurizzata mentre i condotti di collegamento sono sovraccarichi e può essere persa dal sistema o può essere permessa a un laghetto sopra la giunzione e successivamente drenare di nuovo nella giunzione.

Gli outfall sono nodi terminali del sistema di drenaggio usati per definire i confini finali a valle nell'instradamento del flusso Dynamic Wave. Per altri tipi di instradamento del flusso si comportano come una giunzione. L'outfall è un particolare tipo di junction perché costituisce il nodo finale della rete al quale può essere collegato un solo collettore.

I principali parametri di input per una giunzione sono:

- quota invertita (fondo del canale o del pozzetto);
- altezza alla superficie del terreno;
- area della superficie stagnante quando allagata (opzionale);
- dati di afflusso esterno (opzionale).

Le altre tipologie di nodo messe a disposizione: dividers e storage units, consentono di rappresentare condizioni frequenti in una rete di drenaggio urbano: manufatti che deviano in flussi i due collettori differenti e le unità di stoccaggio.

## B.4.2 Links

I *links* sono sistemi di trasporto che collegano i nodi del sistema.

I *conduits* sono l'insieme di tubi, collettori e canali, le cui sezioni trasversali possono essere selezionate da una varietà di geometria aperte e chiuse già presenti nel software. La maggior parte dei canali aperti può essere rappresentata con una sezione trasversale rettangolare, trapezoidale o irregolare definita dall'utente. Per le sezioni irregolari si usa un oggetto *Transect editor* per definire come la profondità varia con la distanza attraverso la sezione trasversale. Nel caso in cui le caratteristiche dovessero cambiare sarà necessario introdurre un nuovo collettore.

Altri *links* sono: *pumps*, *weirs* e *orifices* che consentono la rappresentazione di pompe di aspirazione, organi regolatori e manufatti come paratoie e diaframmi.

## B.4.3 Modelli di calcolo

Il flusso all'interno dei collettori in SWMM è governato dalle equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto per un flusso instabile a variazione graduale (cioè, le equazioni di flusso di Saint Venant). Esse si basano su tre ipotesi fondamentali:

- fluido incomprimibile;
- corrente gradualmente variata
- sezioni trasversali piane e verticali: la piezometrica della corrente coincide quindi con il pelo libero.

Ci sono tre diversi modelli di calcolo per poter risolvere questo sistema di equazioni in SWMM: *Steady Flow routing model*, *Kinematic Wave routing model* e *Dynamic Wave routing model*.



#### B.4.3.1 Steady Flow routing model

Rappresenta la tipologia di calcolo più semplice poiché si basa sulla semplificazione assumendo che in ogni fase temporale di calcolo il flusso sia uniforme e costante. L'equazione del flusso normale è usata per mettere in relazione la portata con l'area del flusso, escludendo tutti i fattori che dipendono dal tempo.

Questo metodo non può tenere conto degli effetti di rigurgito, degli effetti di ristagno, delle perdite di carico di entrata/uscita o delle pressurizzazioni delle condotte. Può essere usato solo con reti di trasporto convergenti dove ogni nodo ha solo un singolo collegamento di deflusso.

Il fatto di essere svincolato dal fattore tempo lo rende rapido e veramente appropriato solo per analisi preliminari usando simulazioni continue a lungo termine.

#### B.4.3.2 Kinematic Wave routing model

Questo metodo di calcolo risolve l'equazione di continuità insieme a una forma semplificata dell'equazione del moto presupponendo che la pendenza della superficie dell'acqua sia uguale alla pendenza del fondo del collettore.

Il flusso massimo che può essere trasportato attraverso un condotto è il valore del flusso normale completo. Qualsiasi flusso in eccesso che entra nel nodo di ingresso viene perso dal sistema o può stagnare in cima al nodo di ingresso ed essere reintrodotta nel condotto quando la capacità diventa disponibile.

Tuttavia, questo metodo non può tenere conto degli effetti di ristagno, delle perdite di carico in entrata/uscita, degli effetti di rigurgito o della pressurizzazione delle condotte, ed è anche limitata ai layout di reti convergenti. Di solito può mantenere la stabilità numerica con passi temporali moderatamente grandi, dell'ordine di 1-5 minuti, quindi, può essere utilizzato anche per le simulazioni a lungo termine.

### B.4.3.3 Dynamic Wave routing model

È un modello di calcolo che risolve in forma esatta le equazioni di Saint-Venant e quindi produce i risultati più accurati dal punto di vista teorico. Queste equazioni consistono nelle equazioni di continuità e quantità di moto per i condotti e un'equazione di continuità di volume ai nodi.

È possibile rappresentare anche condotte in pressione. quando la profondità dell'acqua in un nodo supera la profondità massima disponibile si verifica una fuoriuscita e il flusso in eccesso viene perso dal sistema o può stagnare in cima al nodo e rientrare nel sistema di drenaggio.

Questo metodo può tenere conto dell'immagazzinamento dei canali, delle correnti di ritorno, delle perdite all'entrata e all'uscita, del rigurgito e delle pressurizzazioni delle condotte. Poiché accoppia la soluzione sia per i livelli dell'acqua nei nodi che per il flusso nei condotti, può essere applicato a qualsiasi layout di rete generale, anche quelli che contengono deviazioni multiple a valle. È il metodo di scelta per sistemi soggetti a significativi effetti di ristagno dovuti a restrizioni di flusso a valle e con regolazione del flusso tramite stramazzi. L'impiego di questo metodo richiede di dover usare passi temporali molto più piccoli, dell'ordine di trenta secondi o meno.