



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

Resilienza del costruito

A.a. 2022/2023

Sessione di Laurea Marzo 2023

Tesi di Laurea Magistrale

Uso del suolo e acque meteoriche Analisi a scala di area metropolitana e di edificio

Relatori:

Ing. Ilaria Butera

Ing. Matteo Carollo

Ing. Roberto Revelli

Candidato:

Maria Giulia Esposito

292456

*A nonna bis,
che con i suoi 101 anni mi ricorda ogni
giorno quanto meravigliosa sia la vita*

Indice

Abstract.....	4
1. Introduzione.....	6
2. Il cambiamento climatico.....	7
2.1. I gas serra	7
2.2. I modelli climatici	14
2.3. Le conseguenze del cambiamento climatico	17
3. L'uso del suolo	21
3.1. Il consumo di suolo in Italia	25
3.2. Gli usi del suolo in Italia	30
4. L'acqua	34
4.1. Gli usi dell'acqua in Italia	37
4.1. Il ciclo dell'acqua: dalla captazione alla restituzione	42
5. L'invarianza idraulica e idrologica.....	46
5.1. Processi per conseguire l'invarianza idraulica e idrologica	47
5.2. Opere per conseguire l'invarianza idraulica e/o idrologica	59
6. Caso studio.....	70
6.1. Deflusso superficiale.....	70
6.2. Ricarica potenziale della falda superficiale attraverso le acque meteoriche	74
6.3. Prelievi potenziali annui dalla falda superficiale.....	77
6.4. Risultati	78
6.5. Ikea – Collegno (TO).....	91
7. Conclusioni.....	103
Bibliografia.....	105
Sitografia	107
Ringraziamenti	108

Abstract

Il tema del cambiamento climatico sta animando sempre più il dibattito internazionale.

Le conseguenze del global warming sono ad oggi note e ad esso sono stati collegati numerosi fenomeni meteorologici violenti con conseguenze catastrofiche riscontrati negli ultimi anni. Un ambito in cui studiare gli effetti del climate change è quello delle precipitazioni estreme, temporali di grande intensità con forti piogge concentrate in un ridotto periodo di tempo, che possono provocare allagamenti improvvisi nelle città.

L'uso di suolo per l'urbanizzazione e la costruzione di infrastrutture è aumentato incessantemente negli ultimi decenni ed è bene sottolineare come l'impermeabilizzazione accresca il rischio di allagamenti urbani poiché riduce o impedisce completamente l'infiltrazione della pioggia nel suolo, mettendo in crisi il sistema fognario incapace di gestire l'elevato flusso idrico.

La tesi si propone, quindi, di analizzare la gestione delle acque piovane a livello urbano, specialmente in occasione di eventi meteorici intensi, e le possibili azioni da mettere in atto per mitigare il problema, facendo riferimento al concetto di invarianza idraulica e idrologica.

Nel presente lavoro si è presa in esame l'area metropolitana di Torino e per ciascun comune si è confrontato i prelievi di acqua potenziali annui con la ricarica piovana potenziale annua in funzione del tipo di suolo, quindi del suo coefficiente di deflusso, e della percentuale di evapotraspirazione.

Si è quindi passati all'analisi di un caso studio considerando un sito particolarmente interessato dal processo di impermeabilizzazione. Facendo riferimento a diversi valori di intensità di pioggia, si è calcolata la portata defluente dell'area in esame e si sono proposte diverse soluzioni al fine di incrementare l'infiltrazione per evitare picchi di portata in fognatura e allagamenti dovuti all'insufficienza dei sistemi di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche.

The issue of climate change is increasingly animating the international debate.

The consequences of global warming are by now well known, and there have been numerous violent weather phenomena linked to it, with catastrophic events recorded especially in recent years. One area in which the effects of climate change can be studied is the one of extreme rainfall, namely, thunderstorms of great intensity with heavy rainfall concentrated in a short period of time that can cause flash flooding in cities.

Land use for urbanization and infrastructure development has increased unceasingly in recent decades. In this respect, it is worth noting how sealing increases the risk of urban flooding because it reduces or completely prevents rain infiltration into the soil, undermining the sewer system which consequently becomes unable to handle the high water flow.

Therefore, this thesis aims to analyze urban stormwater management especially during intense rain events and the possible actions to implement to mitigate the problem, referring to the concept of hydraulic and hydrological invariance.

This work examines the metropolitan area of Turin, comparing the annual potential water withdrawals for each municipality with the annual potential rainfall recharge as a function of soil type, thus its runoff coefficient, and the percentage of evapotranspiration.

This paper then includes a case study analysis considering a site particularly affected by the sealing process. Referring to different values of rainfall intensity, the runoff rate of the area under consideration was calculated and different solutions were proposed in order to increase infiltration to avoid peak flow rates in sewers and flooding due to insufficient stormwater collection and disposal systems.

1. Introduzione

Un intenso sfruttamento del territorio dovuto alla progressiva urbanizzazione delle città ha influenzato negativamente il ciclo naturale dell'acqua.

In seguito al verificarsi di un evento di precipitazione intensa, l'acqua che cade su una superficie naturale può essere assorbita all'interno del suolo o dalle piante, evaporare ed eventualmente giungere all'interno di un ruscello o di un fiume, cosa che non può accadere in caso di presenza di ampie superfici impermeabili.

A fronte della crescente impermeabilizzazione dei suoli, infatti, i picchi di piena delle fognature si raggiungono molto velocemente aumentando la probabilità di esondazione dei corpi idrici in cui le reti scaricano o allagamenti dovuti a sezioni di fognatura non sufficienti a smaltire le portate che si generano in occasione di eventi di precipitazione intensa.

Il drenaggio urbano sostenibile (SUDS, Sustainable Drainage Systems), ovvero la gestione sostenibile delle acque meteoriche, si pone l'obiettivo di prevenire e ridurre l'impatto degli eventi climatici estremi, sia sui corpi idrici superficiali sia sulle reti urbane di smaltimento, riequilibrando il bilancio idrologico e riducendo il carico inquinante e consiste nella realizzazione di infrastrutture verdi in grado di sfruttare tutti i benefici forniti dai servizi ecosistemici delle *nature-based solutions*.

2. Il cambiamento climatico

Dati stratigrafici e geologici indicano che il clima della Terra non è stabile, infatti, nei circa 4.5 miliardi di anni di storia del nostro pianeta, le condizioni climatiche sono variate più volte. La documentazione geologica sui cambiamenti climatici del passato ci mostra come i tempi legati ai cicli naturali hanno scale temporali dell'ordine delle decine-centinaia di migliaia di anni per i cicli orbitali o di milioni di anni per i cicli legati alla dinamica interna del nostro pianeta mentre i tempi delle variazioni climatiche attuali sono alla scala dei decenni, ovvero si sviluppano con una rapidità maggiore di un fattore di scala di 10⁴-10⁶.

Questi tempi di variazione non hanno riscontro nei cicli naturali del pianeta e sono correlati alla rapida crescita nelle emissioni di gas serra legate all'utilizzo di combustibili fossili e alle attività umane in generale.

2.1. I gas serra

Per comprendere a fondo il cambiamento climatico è necessario analizzare in che modo un aumento della presenza di gas effetto serra nell'atmosfera possa influenzare le variazioni climatiche citate.

L'atmosfera terrestre è un involucro di gas che circonda il nostro pianeta e rende possibile la vita sulla Terra.

La troposfera, ovvero lo strato fino a 25 km dalla superficie della Terra, è costituita prevalentemente da ossigeno, azoto e altri gas che rappresentano meno dell'1% in volume dell'aria, i cosiddetti gas serra (GHG, Greenhouse Gases), che svolgono un ruolo importante nella regolazione del bilancio energetico dell'atmosfera o del ciclo energetico che controlla il clima globale. Questa frazione è costituita da biossido di carbonio, metano, ozono, tracce di protossido d'azoto, ossidi di azoto, idrocarburi alogenati, monossido di carbonio e composti organici volatili. L'effetto serra è un processo naturale che rende la Terra vivibile per gli esseri umani: senza l'effetto serra naturale, la temperatura media globale sarebbe di circa 33°C più bassa di quella attuale.

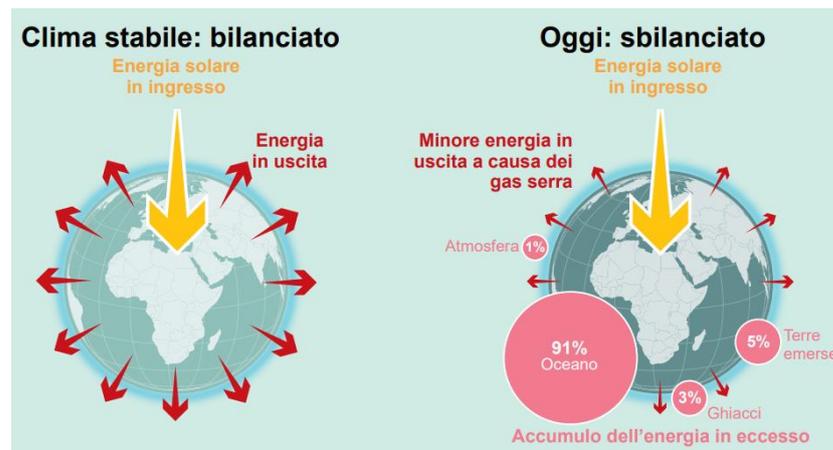


Figura 2.1 Bilancio energetico della Terra

(Fonte: IPCC, *Cambiamento climatico 2021: Sintesi per tutti*)

L'energia solare viene irradiata dalla superficie del Sole, che ha una temperatura equivalente di circa 5800K, la radiazione viene diffusa in tutte le direzioni e soltanto una frazione molto piccola dell'energia emessa dal Sole è intercettata dalla Terra.

Le radiazioni solari che arrivano nell'atmosfera sono in parte assorbite dai gas, in parte diffuse e in parte riflesse nello spazio dalle nubi o dalla superficie terrestre, la parte più consistente è assorbita dalla superficie della Terra.

La radiazione riemessa dalla superficie terrestre, di lunghezza d'onda sensibilmente maggiore rispetto a quella solare incidente, è, per la maggior parte, riassorbita dai gas serra e soltanto una piccola parte fuoriesce attraverso la cosiddetta "finestra atmosferica", cioè l'intervallo di lunghezze d'onda tra 8 e 13 nm, la cui graduale chiusura è proprio uno degli effetti delle emissioni antropiche di GHG.

Attraverso l'analisi delle carote di ghiaccio prelevate nelle aree polari, è stato possibile rilevare come il diossido di carbonio, uno dei principali gas ad effetto serra responsabile della mutazione del sistema climatico, sia rimasto al di sotto delle 300 ppm da 800.000 anni fa fino ai primi decenni nel Novecento.

Dal grafico è possibile notare l'incremento di oltre 120 ppm nell'arco di un solo secolo, passando dalle 290-300 ppm dei primi del '900 alle attuali 417 ppm.

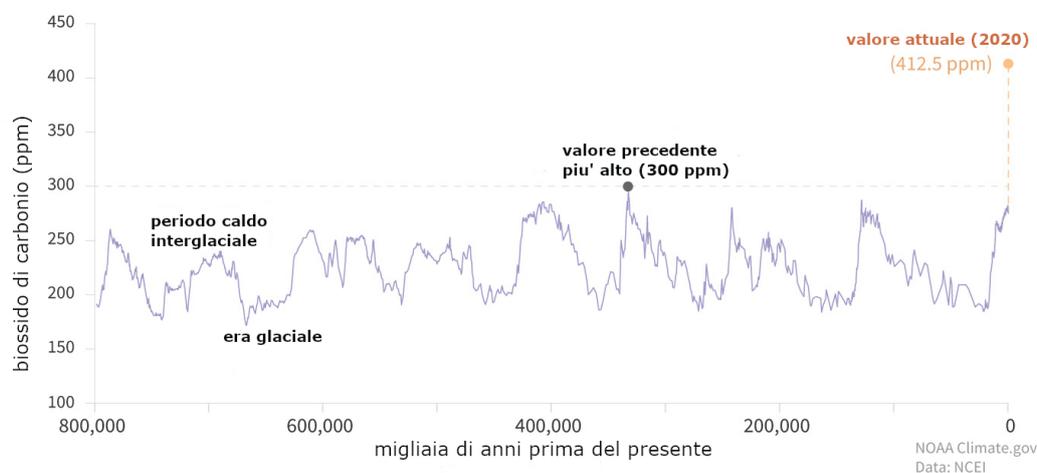


Figura 2.2. Concentrazioni di biossido di Carbonio (CO₂) negli ultimi 800.000 anni

(Fonte: NOAA Climate.gov, NCEI)

Maggiori sono le concentrazioni di GHG nell'atmosfera, maggiore è la radiazione emessa dalla Terra assorbita nella bassa atmosfera, con conseguente aumento della temperatura in superficie. Il sistema biogeochimico globale, come il sistema clima, è in un equilibrio dinamico e i flussi energetici devono essere bilanciati, pertanto, se la concentrazione di un particolare GHG nel sistema aumenta, la risposta sarà quella di aumentare i meccanismi di rimozione.

Il problema odierno sta proprio nel fatto che attualmente la quantità di GHG immessa nell'atmosfera è superiore a quella che può essere rimossa dai meccanismi naturali. Infatti, dal XIX secolo, la quantità di gas serra emessa in atmosfera è sempre maggiore e ciò è dovuto principalmente alle attività umane, tra queste possiamo citare la combustione di carbone, petrolio e gas, la deforestazione, lo sviluppo dell'allevamento di bestiame, l'utilizzo di fertilizzanti azotati e di gas fluorurati. Tutto ciò ha portato ad un incremento dell'effetto serra e ad un generale aumento delle temperature, il riscaldamento globale.

Come detto in precedenza però, i gas serra sono più di uno e ciascuno di essi contribuisce al cambiamento climatico in misura diversa a seconda:

a) della sua concentrazione attuale e futura (alcuni composti già assorbono il 100% della radiazione, un eventuale ulteriore aumento di concentrazione non produrrà alcun effetto);

- b) della lunghezza d'onda alla quale avviene l'assorbimento (per esempio, nel caso in cui la regione di assorbimento sia la stessa di altri composti con assorbimento completo, ulteriori incrementi non avranno effetto, mentre se le specie in aumento assorbono nella 'finestra atmosferica', si avranno effetti potenzialmente superiori);
- c) dell'entità dell'assorbimento;
- d) del tempo di permanenza nell'atmosfera.

Per tenere conto di tutti questi effetti sono stati sviluppati due indici: il RIRF, Relative Instantaneous Radiative Forcing, un indice che misura l'aumento dell'assorbimento della radiazione infrarossa di un gas per incrementi unitari di concentrazione, e il GWP, Global Warming Potential, potenziale di riscaldamento globale, che è definito come:

$$GWP = \int_0^t \frac{a_i(t)C_i}{a_c(t)C_c} dt \quad (1.1.1)$$

Dove:

a_i è l'assorbimento istantaneo per incremento unitario di concentrazione del gas i -esimo;

C_i è la concentrazione del gas i -esimo al tempo t ;

a_c è l'assorbimento analogo del biossido di carbonio;

C_c la concentrazione del biossido di carbonio al tempo t .

Espresso in questo modo, il GWP fornisce sul lungo termine il contributo al riscaldamento di un qualunque gas rispetto al biossido di carbonio.

$$RIRF = \frac{a_i}{a_0} \quad (1.1.2)$$

Dove:

a_0 è l'assorbimento istantaneo al tempo $t=0$.

I gas effetto serra vengono emessi da numerose fonti. La sorgente antropica più importante è associata alla produzione di energia e all'impiego di combustibili fossili nei trasporti, nelle attività industriali e nel riscaldamento, oltre che alle pratiche agricole.

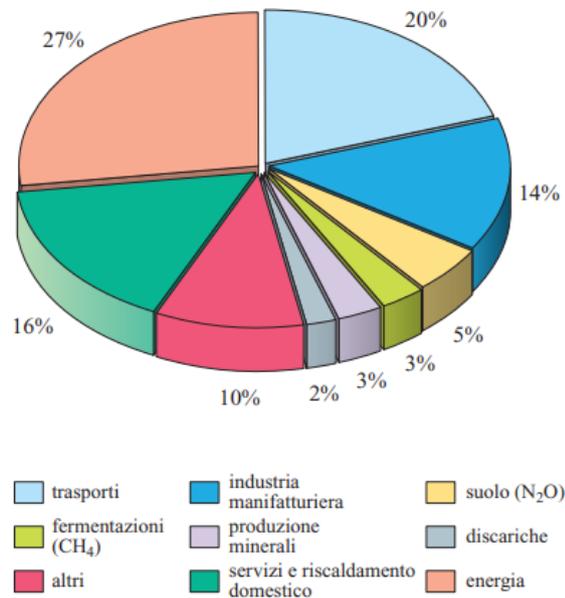


Figura 2.3. Contributo delle diverse fonti all'emissione di gas serra nel 2001 in Europa (EEA, 2004)

In Europa nel 2001, il settore connesso con la produzione di energia rappresenta la più grande fonte di GHG. La produzione di calore e di elettricità ammonta a circa l'85% delle emissioni da questo settore mentre la raffinazione del petrolio a circa l'11%. Le emissioni da trasporto, cioè la combustione di prodotti fossili per trasporti su strada, nell'aviazione civile, nelle ferrovie, nella navigazione e altre tipologie, sono la seconda sorgente in ordine di importanza

nella contabilità dell'inventario europeo del CO₂. Il trasporto su strada è di gran lunga dominante, costituendo il 92% delle emissioni da trasporto sul totale del CO₂. Le emissioni dal settore dei servizi e del riscaldamento domestico sono la terza più grande fonte delle emissioni di GHG in Europa, con il 16% delle emissioni totali (2001). L'uso dei combustibili fossili nell'industria manifatturiera è la quarta sorgente delle emissioni di GHG in Europa (14%). Il terreno agricolo è invece la più importante sorgente di emissioni di protossido d'azoto e contribuisce per una quota pari al 5% del totale.

Le sostanze e i processi naturali e antropogenici che alterano il bilancio energetico della Terra sono i driver del cambiamento climatico. Il forzante radiativo (radiative forcing - RF) misura la variazione dei flussi di energia causata dai cambiamenti di questi driver, valori positivi portano a un riscaldamento della superficie terrestre, valori negativi portano invece a un suo raffreddamento tale. Il forzante radiativo è stimato sulla base di osservazioni in-situ e a distanza, sulla base delle proprietà dei gas serra e degli aerosol, e sulla base di modelli numerici in grado di rappresentare i processi osservati e può essere rapportato alle variazioni di concentrazione di

ciascuna sostanza. In alternativa, si può quantificare il forzante radiativo di un composto attraverso le emissioni, che forniscono un collegamento più diretto con le attività umane, comprendendo i contributi di tutte le sostanze interessate da tale emissione.

I meccanismi dell'effetto serra li conosciamo fin da metà dell'Ottocento, ma è solo a partire dal 1950 che si è iniziato ad effettuare studi scientifici su larga scala per capire effettivamente in che modo stesse stravolgendo il clima. Fino al 1960 la percezione dei problemi ambientali provocati dall'attività umana di produzione e consumo era limitata quasi esclusivamente a scienziati e studiosi. Fu il ripetersi di incidenti, principalmente in mare e legati agli idrocarburi, a suscitare l'interesse generale e a condurre alla decisione di organizzare una conferenza mondiale sull'ambiente.

Nel 1972, dal 5 al 16 giugno, a Stoccolma si tenne la prima conferenza delle Nazioni Unite sulla protezione dell'ambiente naturale. La Carta delle Nazioni Unite non parla espressamente di ambiente, ma nel preambolo si afferma di voler promuovere il progresso sociale e migliorare lo standard di vita. Nel primo capitolo si individua, quale principale obiettivo, quello di risolvere i problemi internazionali attraverso la cooperazione.

Nel 1988 nacque un nuovo organismo, l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Istituito dalla World Meteorological Organization (WMO) e dallo United Nations Environment Programme (UNEP), aveva lo scopo di fornire al mondo una visione chiara e scientificamente fondata dello stato attuale delle conoscenze sui cambiamenti climatici e sui loro potenziali impatti ambientali e socio-economici. Nello stesso anno, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha avallato l'azione di WMO e UNEP, istituendo l'IPCC.

L'IPCC esamina e valuta le più recenti informazioni scientifiche, tecniche e socio-economiche prodotte in tutto il mondo, e importanti per la comprensione dei cambiamenti climatici.

Migliaia di ricercatori provenienti da tutto il mondo contribuiscono al lavoro dell'IPCC su base volontaria, il quale aspira a riflettere una varietà di punti di vista e competenze diverse.

L'attività principale dell'IPCC consiste nel produrre periodicamente Rapporti di Valutazione scientifica sullo stato delle conoscenze nel campo del clima e dei cambiamenti climatici (Assessment Reports).

L'IPCC redige anche Rapporti Speciali (Special Reports) e Articoli Tecnici (Technical Papers) su argomenti ritenuti di particolare interesse scientifico e necessità.

Nel suo primo report, nel 1990, l'IPCC evidenziò il rischio di un riscaldamento globale con effetti sul clima a causa dell'aumento delle emissioni antropogeniche di gas serra, causato principalmente dall'uso di combustibile fossile. Da questo presupposto discende la necessità di ridurre le emissioni antropogeniche di gas serra, soprattutto per i paesi più industrializzati.

Il 21 Marzo 1994 entrò in vigore la Convenzione quadro sui cambiamenti climatici, un accordo ambientale internazionale prodotto dalla Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite (UNCED, *United Nations Conference on Environment and Development*), informalmente conosciuta come Summit della Terra, tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992. L'accordo ha come obiettivo la stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche dei gas serra, ad un livello tale da prevenire interferenze antropogeniche pericolose con il sistema climatico terrestre. L'accordo non pone limiti obbligatori per le emissioni di gas serra alle nazioni individuali; si tratta quindi di un accordo legalmente non vincolante.

Il Protocollo di Kyoto, che fa seguito alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), è uno dei più importanti strumenti giuridici internazionali volti a combattere i cambiamenti climatici. Sottoscritto nel 1997 da più di 160 paesi, è entrato in vigore il 16 febbraio 2005. La caratteristica principale del Protocollo di Kyoto è che stabilisce obiettivi vincolanti e quantificati di limitazione e riduzione dei gas ad effetto serra per i paesi aderenti. I paesi industrializzati, elencati nell'allegato I della UNFCCC, riconosciuti come principali responsabili dei livelli di gas ad effetto serra presenti in atmosfera, si impegnavano a ridurre le loro emissioni di gas ad effetto serra, nel periodo 2008-2012, di almeno il 5 % rispetto ai livelli del 1990.

Nel dicembre 2015, alla conferenza sul clima di Parigi (COP21), 195 paesi hanno adottato il primo accordo universale e giuridicamente vincolante sul clima

mondiale, è stata di fatto abrogata la distinzione di principio tra Paesi industrializzati e Paesi in via di sviluppo. Tale accordo persegue l'obiettivo di limitare ben al di sotto dei 2 gradi Celsius il riscaldamento medio globale rispetto al periodo preindustriale, puntando a un aumento massimo della temperatura pari a 1,5 gradi Celsius. Nel 2018 la COP24 di Katowice ha poi approvato le regole di attuazione dell'Accordo di Parigi (il cosiddetto "Paris Rulebook"). Nel 2021, la Cop26 di Glasgow ha poi ribadito l'impegno a raggiungere entro il 2050 la cosiddetta Carbon Neutrality a livello globale.

2.2. I modelli climatici

La comprensione dei recenti cambiamenti del sistema climatico deriva dalla combinazione di osservazioni, studi dei processi di feedback, e simulazioni dei modelli

Un modello numerico è un sistema di formule e algoritmi fisico-matematici, che descrivono le interazioni nel sistema climatico terrestre in modo semplificato. I modelli climatici hanno una struttura simile a quella dei modelli utilizzati per le previsioni meteorologiche. Essi non si limitano tuttavia a descrivere lo strato inferiore dell'atmosfera, dove avvengono i processi meteorologici, ma simulano anche le correnti oceaniche e in parte pure le interazioni con la neve, il ghiaccio e la vegetazione.

Grazie ai modelli climatici e a calcolatori di elevata potenza, è possibile simulare, passo dopo passo, come evolverà il clima in futuro partendo dal clima attuale. Ciò consente di determinare gli effetti delle emissioni di gas a effetto serra sul clima. I modelli globali mostrano come potrebbe cambiare in generale il clima a livello mondiale. Per determinare il clima locale di un paese si impiegano, per le diverse parti della Terra, dei modelli climatici regionali. Attualmente i risultati sono disponibili con una risoluzione spaziale compresa fra 12 e 50 chilometri.

Quale base di riferimento per calcolare il possibile sviluppo del clima si utilizzano quindi gli scenari di emissione dei gas a effetto serra e degli aerosol. L'ultima generazione di scenari di emissione, i Percorsi Rappresentativi di Concentrazione (Representative Concentration Pathways, RCP), indicano un andamento rappresentativo delle concentrazioni dei gas a effetto serra e degli aerosol per un

determinato obiettivo climatico, che corrisponde a sua volta a un determinato andamento delle emissioni umane.

L'entità delle future emissioni antropiche dipende fortemente dalle decisioni prese sul piano politico a livello internazionale, dall'evoluzione della popolazione e dal progresso tecnologico. Queste incertezze sono rappresentate attraverso diversi scenari di emissione.

Lo scenario di emissione RCP2.6, ad esempio, parte dal presupposto che la comunità internazionale si accordi sulla riduzione drastica dei gas a effetto serra. Questo scenario ipotizza un ulteriore forzante radiativo di $2,6 \text{ W/m}^2$ entro la fine del XXI secolo. Lo scenario RCP8.5 suppone che l'umanità continui come finora emettendo sempre più gas a effetto serra. Ciò corrisponde a un forzante radiativo di $8,5 \text{ W/m}^2$ alla fine del secolo. Fra questi due scenari estremi ve ne sono altri che presuppongono un progresso tecnologico che porterebbe a una parziale diminuzione delle emissioni di gas serra. Più elevato è il valore del forzante radiativo, maggiore sarà il cambiamento climatico. I modelli climatici sono stati inizializzati con i diversi scenari per illustrare l'influsso delle decisioni politiche e di altri fattori sul futuro del clima, costituendo, pertanto delle opzioni di intervento. Essi consentono di quantificare le conseguenze climatiche di queste azioni, senza che si possa stabilire quale scenario sia il più probabile.

Scenario RCP	Caratteristiche
RCP 2.6	Assume strategie di mitigazione 'aggressive' che comportano la diminuzione delle emissioni globali di gas serra dopo circa un decennio e il raggiungimento di livelli prossimi allo zero intorno al 2070. In tal modo è possibile raggiungere gli obiettivi dell'Accordo di Parigi del 2016. Nel 2100 il forzante radiativo ammonterà a 2,6 W/m ² .
RCP 4.5	(medio-basso) Comporta la riduzione delle emissioni di CO ₂ al di sotto dei livelli attuali entro il 2070 e la stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche entro la fine del secolo a circa il doppio di quelle del periodo preindustriale. Il forzante radiativo ammonterà a 8,5 W/m ²
RCP 6.0	(medio-alto) Comporta l'aumento delle emissioni di CO ₂ fino al 2080 (circa) e un tempo maggiore richiesto per la stabilizzazione ad un livello circa superiore del 25% rispetto a RCP4.5
RCP 8.5	Assume un approccio 'business-as-usual'. Non viene preso alcun provvedimento in favore del clima. Comporta che le concentrazioni atmosferiche di CO ₂ siano da tre a quattro volte superiori ai livelli preindustriali entro il 2100 e il forzante radiativo ammonterà a 8,5 W/m ²

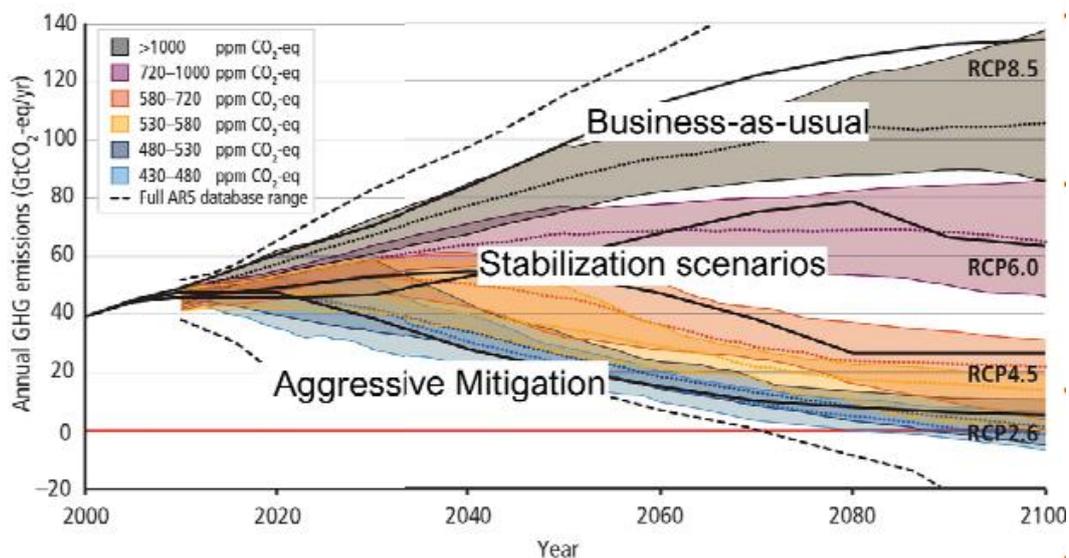


Figura 2.4. Scenari RCP, IPCC 5th assessment report, Synthesis Report, 2014

2.3. Le conseguenze del cambiamento climatico

Valutando la temperatura atmosferica superficiale dall'Ottocento ad oggi, è possibile evidenziare come ciascuno degli ultimi quattro decenni sulla superficie della Terra sia stato, in sequenza, più caldo di qualsiasi decennio precedente dal 1850 ad oggi. Pertanto, è doveroso approfondire quali siano le conseguenze di questo significativo aumento delle temperature e quali fenomeni, ad oggi, stiamo osservando in tutto il mondo.

Nel corso degli ultimi vent'anni, le calotte glaciali di Groenlandia e Antartide hanno perso la loro massa, i ghiacciai hanno continuato a ritirarsi in quasi tutto il pianeta, mentre l'estensione del ghiaccio marino artico e la copertura nevosa primaverile nell'emisfero nord hanno continuato a diminuire in estensione. L'influenza umana è la causa principale del ritiro dei ghiacciai a livello globale dagli anni '90. Questa diminuzione è di circa il 40% a Settembre, in cui si verifica il minimo annuale.

Il livello del mare è aumentato di circa 20 centimetri tra il 1901 e il 2018 e il tasso medio di innalzamento è stato di 1,3 mm/anno tra il 1901 e il 1971. Recentemente tra il 2006 e il 2018 il tasso di innalzamento ha raggiunto i 3,7 mm per anno. È più rapido che in qualsiasi altro periodo da almeno 3.000 anni a questa parte e la

velocità di innalzamento sta continuando ad aumentare. Questo innalzamento è dovuto a due cause principali: l'espansione termica dovuta al riscaldamento dell'oceano e lo scioglimento dei ghiacci sulla terraferma.

Inoltre, circa il 25% delle emissioni annue di CO₂ viene assorbito dall'oceano, con conseguente acidificazione delle acque. Lo strato superficiale dell'oceano è ora insolitamente acido rispetto agli ultimi due milioni di anni.

Nel 2022 gli oceani hanno raggiunto i livelli più caldi mai registrati per il quarto anno consecutivo, alimentando l'innalzamento del livello del mare e contribuendo a disastri climatici. Il calore immagazzinato dalle masse oceaniche, infatti, è il carburante che rende più intensi fenomeni come i tifoni e gli uragani e ha altri effetti di portata globale.

Secondo lo scenario RCP8.5, è probabile che le regioni alle alte latitudini e l'Oceano Pacifico equatoriale sperimenteranno un aumento delle precipitazioni medie annuali per la fine di questo secolo e che in molte regioni secche alle medie latitudini e nell'area sub-tropicale, le precipitazioni medie diminuiranno, mentre in molte regioni umide alle medie latitudini, le precipitazioni medie probabilmente aumenteranno per la fine di questo secolo.

Sulla maggior parte delle aree terrestri alle medie latitudini e delle regioni umide tropicali, gli eventi estremi di precipitazione saranno molto probabilmente più intensi e più frequenti entro la fine di questo secolo, all'aumentare della temperatura superficiale media globale ed è probabile che l'area interessata dal sistema dei monsoni aumenti nel corso del XXI secolo. Mentre è probabile che le precipitazioni monsoniche si intensifichino per effetto dell'aumento dell'umidità atmosferica, che le date di inizio arrivino in anticipo e che le date di fine posticipino, causando un'estensione della stagione monsonica in molte regioni.

		2046–2065		2081–2100	
	Scenario	Media	Intervallo probabile ^c	Media	Intervallo probabile ^c
Variazione della temperatura superficiale media globale (°C)^a	RCP2.6	1.0	da 0.4 a 1.6	1.0	da 0.3 a 1.7
	RCP4.5	1.4	da 0.9 a 2.0	1.8	da 1.1 a 2.6
	RCP6.0	1.3	da 0.8 a 1.8	2.2	da 1.4 a 3.1
	RCP8.5	2.0	da 1.4 a 2.6	3.7	da 2.6 a 4.8
	Scenario	Media	Intervallo probabile ^d	Media	Intervallo probabile ^d
Innalzamento del livello medio globale del mare (m)^b	RCP2.6	0.24	da 0.17 a 0.32	0.40	da 0.26 a 0.55
	RCP4.5	0.26	da 0.19 a 0.33	0.47	da 0.32 a 0.63
	RCP6.0	0.25	da 0.18 a 0.32	0.48	da 0.33 a 0.63
	RCP8.5	0.30	da 0.22 a 0.38	0.63	da 0.45 a 0.82

Figura 2.5. Variazione prevista della temperatura superficiale media globale dell'aria e l'innalzamento del livello medio globale del mare per la metà e la fine del XXI secolo rispetto al periodo di riferimento 1986-2005

Tra le conseguenze dei cambiamenti climatici, quindi, c'è anche l'aumento dei fenomeni meteorologici violenti. In molte zone geografiche si stanno verificando con maggiore frequenza eventi catastrofici come inondazioni, precipitazioni estreme, temporali, tifoni, uragani e tempeste. Secondo quanto riportato nei report dell'IPCC, entro il 2100 su scala globale si assisterà a un aumento dell'intensità delle precipitazioni estreme anche del 8-20% rispetto al periodo 1981-2000. Inoltre, le precipitazioni considerate estreme sino a qualche tempo fa diventeranno più comuni e frequenti, rappresentando quasi la normalità: è stato stimato che le precipitazioni che prima occorreano una volta ogni 20 anni, potrebbero presentarsi una volta ogni 5-15 anni.

Quando si parla di precipitazioni estreme si fa riferimento a temporali di grande intensità con forti piogge concentrate in un ridotto periodo di tempo. Tuttavia, è doveroso sottolineare come la percezione diffusa di un aumento della gravità dei temporali estremi non abbia ancora trovato una chiara conferma nella letteratura scientifica, che spesso mostra risultati molto diversi.

Dall'equazione di Clausius–Clapeyron, è noto che la temperatura influisce fortemente sulla capacità dell'atmosfera di trattenere acqua. Questa relazione permette di stabilire la quantità di acqua che può essere presente in un volume d'aria in funzione dal valore di temperatura, ed è particolarmente rilevante per gli eventi intensi di precipitazione quelli che più di tutti tendono a svuotare la colonna d'acqua

disponibile in atmosfera. Secondo l'equazione di Clausius-Clapeyron, per ogni aumento di temperatura di 1°C, l'atmosfera aumenta la propria capacità di trattenere acqua del 7%. Quindi, il maggiore contenuto di vapore in atmosfera e la capacità dell'atmosfera stessa di trattenerne quantità sempre maggiori, prima di raggiungere condizioni idonee alle precipitazioni, modificano il quando e il dove avvengano questi ultimi fenomeni, condizionando, anche aspramente, la vita di molte persone. Questa argomentazione teorica sembra suggerire un quadro relativamente semplice per la comprensione degli studi empirici che hanno trovato una forte correlazione tra l'aumento della temperatura atmosferica e l'intensificazione delle precipitazioni estreme superando persino l'aumento previsto dalla teoria appena citata. D'altra parte, risultati di altri studi sembrano suggerire un nesso più complesso, che dipende da molteplici fattori, ad esempio la zona climatica considerata, le caratteristiche orografiche locali e la natura degli eventi considerati.

3. L'uso del suolo

Il suolo è lo strato superiore della crosta terrestre, costituito da componenti minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi, rappresenta uno dei presupposti fondamentali per la vita sulla Terra. Esso, infatti, regola il ciclo naturale dell'acqua, dell'aria e delle sostanze organiche e minerali. Svolge un ruolo cruciale per la produzione di alimenti, nella fornitura di materie prime, fa da sostrato ai boschi, agli agglomerati, alle infrastrutture di trasporto e agli impianti di approvvigionamento e smaltimento, oltre a svolgere funzioni estetiche a livello paesaggistico.

Il suolo, inoltre, filtra e modera il flusso d'acqua verso le falde, rimuove le sostanze contaminanti, riduce frequenza e rischio di alluvioni e siccità, inoltre aiuta a regolare il microclima in ambienti ad alta densità urbana.

La maggior parte di queste funzioni però, può essere assicurata dal suolo soltanto se il bilancio idrico e la porosità non sono compromessi, le piante trovano sufficiente spazio per le radici, vi è equilibrio tra i nutrienti e il tipo e la quantità di organismi che vivono nel terreno e il tenore di inquinanti si mantiene a un livello tollerabile per le piante e gli organismi del suolo. È evidente come quanto appena citato sia nettamente in contrasto con la massiccia occupazione di terreno per l'urbanizzazione e la costruzione di infrastrutture degli ultimi decenni.

Possiamo dire che il suolo sia una risorsa fragile che viene spesso considerata con scarsa consapevolezza e ridotta attenzione nella valutazione degli effetti derivanti dalla perdita delle sue funzioni; le scorrette pratiche agricole, zootecniche e forestali, le dinamiche insediative, le variazioni d'uso e gli effetti locali dei cambiamenti ambientali globali possono originare gravi processi degradativi che limitano o inibiscono totalmente la sua funzionalità.

Il consumo di suolo è quindi da associare alla perdita di una risorsa ambientale fondamentale, limitata e non rinnovabile, dovuta all'occupazione di una superficie originariamente agricola, naturale o seminaturale con una copertura artificiale, un processo prevalentemente dovuto alla costruzione di nuovi edifici, fabbricati, infrastrutture, all'espansione delle città, alla densificazione o alla conversione di terreno entro un'area urbana.

È possibile fare una distinzione tra il concetto della copertura del suolo e quello dell'uso del suolo.

Il primo si riferisce alla copertura biofisica della superficie terrestre, definizione che deriva dalla direttiva 2007/2/CE : la copertura fisica e biologica della superficie terrestre comprese le superfici artificiali, le zone agricole, i boschi e le foreste, le aree seminaturali, le zone umide, i corpi idrici. L'impermeabilizzazione del suolo costituisce la forma più evidente di copertura artificiale, le altre vanno dalla perdita totale della "risorsa suolo" attraverso l'asportazione per escavazione, alla perdita parziale, più o meno rimediabile, della funzionalità della risorsa a causa di fenomeni quali la contaminazione e la compattazione dovuti alla presenza di impianti industriali, infrastrutture, manufatti, depositi permanenti di materiale o passaggio di mezzi di trasporto.

L'uso del suolo è, invece, un riflesso delle interazioni tra l'uomo e la copertura del suolo e costituisce quindi una descrizione di come il suolo venga impiegato in attività antropiche. La direttiva 2007/2/CE lo definisce come una classificazione del territorio in base alla dimensione funzionale o alla destinazione socioeconomica presenti e programmate per il futuro.

Si è in precedenza citato il processo di impermeabilizzazione del suolo, ritenuto essere una delle principali cause del suo degrado, definito come la costante copertura di un'area di terreno e del suo suolo con materiali impermeabili artificiali. I suddetti materiali, come asfalto e cemento, impermeabilizzano il suolo inibendo parzialmente o totalmente la possibilità di esplicare le proprie funzioni vitali.

La problematica è principalmente concentrata nelle aree metropolitane, dove è più alta la percentuale di suolo coperta da costruzioni, e nelle aree interessate da strutture industriali, commerciali e infrastrutture di trasporto, ma un effetto simile si riscontra anche nelle aree adibite ad agricoltura intensiva a causa della formazione di strati compattati.

L'impermeabilizzazione accresce il rischio di allagamenti urbani poiché riduce o impedisce completamente l'infiltrazione della pioggia nel suolo, mettendo in crisi il sistema fognario incapace di gestire l'elevato flusso idrico e riduce anche la

capacità di ricarica delle falde, dato che il suolo non è più in grado di funzionare da serbatoio.

Inoltre, le superfici pavimentate con asfalto scuro e costruite in cemento assorbono calore e non permettono un'adeguata traspirazione ed evaporazione del terreno. Allo stesso tempo nei centri urbani si concentrano un maggior numero di attività che producono calore; il traffico e le emissioni delle automobili, le industrie, i sistemi di riscaldamento e raffrescamento degli edifici sprigionano una grande quantità di calore che non viene adeguatamente dispersa, ma si accumula nei centri urbani.

A tutto ciò vanno sommati gli effetti del cambiamento climatico e quindi l'aumento di intensità, frequenza e durata delle ondate di calore che contribuiscono alla formazione di microclimi localizzati a temperature più elevate.

Si tratta di un problema ben noto alla Commissione Europea e alle Nazioni Unite, i quali richiamano gli stati membri alla tutela del suolo, del patrimonio ambientale, del paesaggio, al riconoscimento del valore del capitale naturale e chiedono di azzerare il consumo di suolo netto entro il 2050, di allinearlo alla crescita demografica e di non aumentare il degrado del territorio entro il 2030.

L'obiettivo dell'azzeramento del consumo di suolo è stato definito a livello europeo già nel 2006 con la Strategia tematica per la protezione del suolo, che ha evidenziato la necessità di mettere in atto delle azioni per ridurre gli effetti negativi del consumo di suolo e dell'impermeabilizzazione. Ciò è stato ulteriormente richiamato nel 2011, con la Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse, nella quale si propone il traguardo di un incremento dell'occupazione netta di terreno pari a zero da raggiungere, in Europa, entro il 2050. Obiettivo rafforzato nel 2013 dal Parlamento Europeo con l'approvazione del Settimo Programma di Azione Ambientale.

La Commissione ha anche indicato le priorità di azione e le modalità per raggiungere tale obiettivo e, nel 2012, ha pubblicato le linee guida per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo attuando politiche e azioni da definire dettagliatamente negli Stati membri. Inoltre, ha pubblicato uno studio, "Orientamenti in materia di buone pratiche per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo" dove sono stati elencati esempi di buone pratiche

già attuate in Austria, Belgio Germania e Lussemburgo. In questi paesi, infatti, sono stati posti dei limiti quantitativi all'occupazione di terreno, e indicata una strategia per limitare l'impermeabilizzazione del suolo.

Nel 2015, l'Agenda Globale per lo sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite, ha definito gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals, SDGs) e ha indicato alcuni target di particolare interesse per il territorio e per il suolo, da integrare nei programmi nazionali a breve e medio termine e da raggiungere entro il 2030. Con la sottoscrizione dell'Agenda, tutti i paesi, compresa l'Italia hanno accettato di partecipare ad un processo di monitoraggio di questi obiettivi gestito dalla Commissione Statistica delle Nazioni Unite, attraverso un sistema di indicatori, tra cui alcuni specifici sul consumo di suolo, sull'uso del suolo e sulla percentuale del territorio soggetto a fenomeni di degrado.

Alla fine del 2021 la Commissione Europea ha approvato la nuova strategia dell'UE per il suolo per il 2030 per ribadire come la salute del suolo sia essenziale per conseguire gli obiettivi in materia di clima e di biodiversità del Green Deal europeo. La prospettiva di quest'ultima strategia è di avere entro il 2050 tutti gli ecosistemi dei suoli dell'UE in buona salute e dunque più resilienti. Per questo, sono ritenuti necessari cambiamenti molto profondi nel corso dell'attuale decennio e vengono definiti obiettivi di medio termine e di lungo periodo. Tra questi vi è quello di integrare la "gerarchia del consumo di suolo" nei piani comunali e dare priorità al riutilizzo e al riciclo di terreni già costruiti e impermeabilizzati, tutelando i suoli a livello nazionale, regionale e locale, attraverso le idonee iniziative di regolamentazione e la graduale abolizione degli incentivi finanziari contrari a questa gerarchia, come ad esempio eventuali incentivi fiscali locali per la conversione di terreni agricoli o naturali in ambienti edificati.



Figura 3.1. La “gerarchia del consumo di suolo” prevista dalla strategia dell’UE per il suolo per il 2030 (Commissione Europea, 2021)

3.1. Il consumo di suolo in Italia

Nel nostro Paese le attività di monitoraggio del territorio in termini di uso, copertura e consumo di suolo, sono svolte dal Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente (SNPA) come previsto dalla L.132/201611. Lo scopo di questo costante controllo è quello di avere un quadro aggiornato annualmente dell’evoluzione dei fenomeni di consumo di suolo, delle dinamiche di trasformazione del territorio e della crescita urbana.

La norma sopra citata istituisce i LEPTA, i Livelli Essenziali delle Prestazioni Tecniche Ambientali, che costituiscono il livello minimo delle attività che il Sistema nazionale è tenuto a garantire su tutto il territorio in modo omogeneo. Proprio in tale ambito, il SNPA assicura il monitoraggio del territorio e del consumo di suolo attraverso la redazione di cartografia tematica e l'utilizzo di reti di monitoraggio puntali o di tecniche di Earth Observation, costituendo un’apposita rete di referenti coordinata dall’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), a cui partecipano le 21 Agenzie per la protezione dell’ambiente delle Regioni e delle Province Autonome (ARPA-APPa).

I dati raccolti sono sottoposti a processi di fotointerpretazione e di classificazione semiautomatica. Il sistema di classificazione, elencato in seguito, prevede che il consumo di suolo sia suddiviso in due categorie principali, permanente e reversibile; vi sono poi alcune classi di copertura che sono state escluse dal computo del consumo di suolo.

11. Consumo di suolo permanente

- 111. Edifici, fabbricati
- 112. Strade pavimentate
- 113. Sede ferroviaria
- 114. Aeroporti (piste e aree di movimentazione impermeabili/pavimentate)
- 115. Porti (banchine e aree di movimentazione impermeabili/pavimentate)
- 116. Altre aree impermeabili/pavimentate non edificate (piazzali, parcheggi, cortili, campi sportivi, etc.)
- 117. Serre permanenti pavimentate
- 118. Discariche

12. Consumo di suolo reversibile

- 121. Strade non pavimentate
- 122. Cantieri e altre aree in terra battuta (piazzali, parcheggi, cortili, campi sportivi, depositi permanenti di materiale, etc.)
- 123. Aree estrattive non rinaturalizzate
- 124. Cave in falda
- 125. Impianti fotovoltaici a terra
- 126. Altre coperture artificiali non connesse alle attività agricole la cui rimozione ripristini le condizioni iniziali del suolo

20. Altre forme di copertura non incluse nel consumo di suolo

- 201. Corpi idrici artificiali (escluse cave in falda)
- 202. Aree permeabili intercluse tra svincoli e rotonde stradali
- 203. Serre non pavimentate
- 204. Ponti e viadotti su suolo non artificiale

Dall'analisi dei dati del SNPA e della cartografia prodotta dalla rete dei referenti per il monitoraggio del territorio e del consumo di suolo (ISPRA/ARPA/APPA), raccolti tra il 2020 e 2021, e dal confronto con quelli relativi agli anni passati, è possibile evidenziare come la trasformazione del territorio nazionale stia avanzando a velocità sempre maggiori.

Secondo il Report SNPA, 32/22 solo nell'ultimo anno le nuove coperture artificiali hanno riguardato, in media, circa 19 ettari al giorno, facendo perdere al nostro Paese circa 2,2 metri quadrati di suolo ogni secondo. Questa crescita è in parte compensata dal ripristino di 5,8 km² di aree naturali, dovuta al passaggio da suolo consumato a non consumato, in genere grazie al recupero di aree di cantiere o di superfici che erano state già classificate come consumo di suolo reversibile.

Consumo di suolo (km ²)	69,1
Ripristino (km ²)	5,8
Consumo di suolo netto (km ²)	63,3
Consumo di suolo permanente (km ²)	13,6
Impermeabilizzazione di aree già consumate reversibilmente (km ²)	11,9
Impermeabilizzazione complessiva (km ²)	25,5
Incremento di altre coperture non considerate (km ²)	8,9
Nuove aree con superficie inferiore ai 1.000 m ² (km ²)	8,2

Tabella 3.1. Stima del consumo di suolo annuale tra il 2020 e il 2021. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

quindi cresciuta di 25,5 km². Inoltre, altri 8,9 km² sono stati coperti da serre permanenti e da altre forme di copertura che non sono incluse nel consumo di suolo. Si possono, infine, aggiungere ulteriori 8,2 km² dovuti alle nuove aree rilevate nel 2021 di dimensione inferiore ai 1.000 m². La crescita netta delle superfici artificiali dell'ultimo anno equivale a una densità di consumo di suolo pari a 2,1 m² per ogni ettaro di territorio italiano e a un incremento dello 0,3%. La velocità del consumo di suolo netto tocca i valori massimi tra quelli rilevati dal 2012, tendenza opposta a quella che bisognerebbe avere per raggiungere gli obiettivi di azzeramento del consumo netto di suolo indicati dalla Commissione Europea. I livelli di artificializzazione e di impermeabilizzazione del territorio, quindi continuano a

Tuttavia, il consumo di suolo netto è risultato essere pari a 63,3 km², di cui 13,6 di consumo permanente. In aggiunta, si deve considerare che altri 11,9 km² sono passati da suolo consumato reversibile a permanente tra il 2020 e il 2021, sigillando ulteriormente il territorio.

L'impermeabilizzazione è

crescere e ciò porta alla perdita di aree naturali e agricole, che vengono sostituite da nuovi edifici, infrastrutture, insediamenti commerciali, logistici, produttivi e di servizio e da altre aree a copertura artificiale all'interno e all'esterno delle aree urbane esistenti. Per una migliore comprensione delle caratteristiche dei 63,3 km² di consumo di suolo netto, si deve tenere conto che oltre 56 km² (circa l'89%) sono avvenuti all'interno di quella parte di territorio teoricamente disponibile o comunque più idonea ai diversi usi, anche definita in alcuni casi come suolo utile. La caratteristica conformazione del territorio italiano comporta il fatto che è considerata utile circa il 59,55% della superficie nazionale e che in questa parte del territorio la densità del consumo di suolo raggiunga i 3,13 m² per ettaro, quasi il 50% in più della media nazionale

A livello nazionale, si ha una copertura artificiale del suolo pari a circa 21.500 km², a cui devono essere aggiunti 624 km² di aree soggette ad altre forme di alterazione diretta a causa della copertura artificiale del suolo non considerate come causa di consumo di suolo e altri 759 km² legati alla presenza di aree artificiali, dove la dimensione degli spazi residui non artificiali è inferiore a 1.000 m².

La copertura artificiale del suolo in Italia è giunta così al 7,13% se si aggiungono le altre coperture non considerate e le aree più piccole di 1.000 m², il totale sale al 7,59% del territorio nazionale, mentre la media dell'Unione europea si aggira al 4,2%

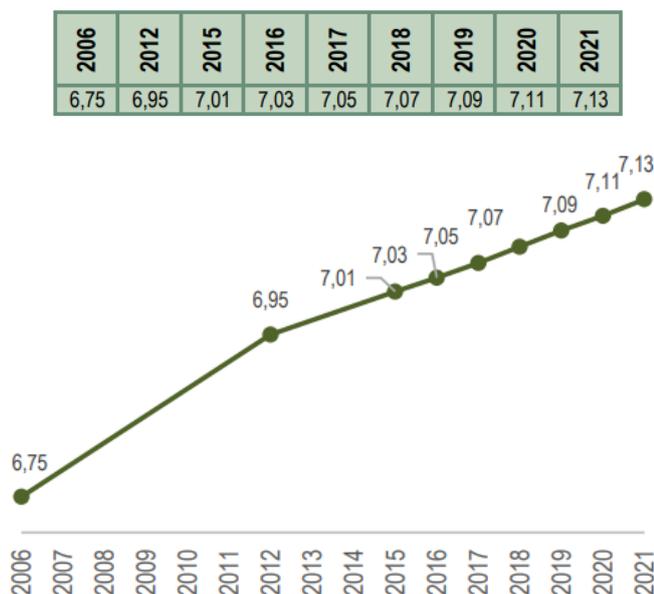


Figura 3.2. Stima del suolo consumato (2006-2021) in percentuale a livello nazionale.
Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

I cambiamenti si concentrano maggiormente in alcune aree del Paese: sono molto elevati nella Pianura Padana, in particolare in Lombardia e Veneto, lungo tutta la costa adriatica, con elevate densità di trasformazione in tratti del litorale marchigiano e abruzzese, e in Puglia.

Regione	Suolo consumato 2021 (ha)	Suolo consumato 2021 (%)	Consumo di suolo netto 2020-2021 (ha)	Consumo di suolo netto 2020-2021 (%)	Consumo di suolo netto 2006-2021 (ha)	Densità consumo di suolo netto 2020-2021 (m ² /ha)	Densità consumo di suolo netto 2006-2021 (m ² /ha)
Piemonte	169.655	6,68	629,88	0,37	8.792	2,48	34,61
Valle d'Aosta	7.001	2,15	10,52	0,15	201	0,32	6,17
Lombardia	289.386	12,12	882,98	0,31	13.858	3,70	58,04
Liguria	39.299	7,25	39,30	0,10	824	0,73	15,20
Nord-Ovest	505.341	8,72	1.562,68	0,31	23.675	2,70	40,85
Friuli-Venezia Giulia	63.375	8,00	98,44	0,16	2.722	1,24	34,37
Trentino-Alto Adige	41.624	3,06	87,78	0,21	1.835	0,65	13,49
Emilia-Romagna	200.320	8,90	658,16	0,33	10.351	2,92	46,00
Veneto	218.230	11,90	683,58	0,31	12.309	3,73	67,13
Nord-Est	523.549	8,40	1.527,96	0,29	27.217	2,45	43,64
Umbria	44.543	5,27	111,97	0,25	2.636	1,32	31,18
Marche	64.751	6,94	137,95	0,21	3.755	1,48	40,27
Toscana	141.827	6,17	293,75	0,21	4.238	1,28	18,44
Lazio	139.918	8,13	407,42	0,29	8.610	2,37	50,05
Centro	391.039	6,75	951,09	0,24	19.239	1,64	33,19
Basilicata	31.701	3,17	76,95	0,24	2.258	0,77	22,59
Molise	17.414	3,92	54,09	0,31	751	1,22	16,91
Abruzzo	54.210	5,02	418,69	0,78	3.428	3,88	31,75
Calabria	76.319	5,06	83,68	0,11	4.475	0,55	29,67
Puglia	158.695	8,20	498,60	0,32	13.752	2,58	71,05
Campania	142.625	10,49	490,04	0,34	6.984	3,60	51,36
Sud	480.963	6,56	1.622,05	0,34	31.648	2,21	43,20
Sardegna	80.029	3,32	180,49	0,23	3.591	0,75	14,89
Sicilia	167.590	6,52	487,17	0,29	9.898	1,89	38,48
Isole	247.619	4,97	667,66	0,27	13.489	1,34	27,07
ITALIA	2.148.512	7,13	6.331,44	0,30	115.268	2,10	38,24

Tabella 3.2. Indicatori di consumo di suolo a livello regionale. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

I valori più elevati di suolo consumato sono in Lombardia (12,12%), Veneto (11,90%) e Campania (10,49%). Nel 2021 gli incrementi maggiori sono avvenuti in Lombardia con più 883 ettari rispetto al 2020, Veneto (684 ettari), Emilia-Romagna (658 ettari), Piemonte (630 ettari) e Puglia (499 ettari). Le province dove il consumo di suolo netto è cresciuto maggiormente nel 2021

rispetto al 2020 sono Brescia, più 307 ettari, Roma (2016 ettari) e Napoli (204 ettari). La città metropolitana di Roma è quella con la maggiore superficie consumata al 2021, con oltre 70.100 ettari, seguita, su scala provinciale, da Torino (58.075 ettari), Brescia (50.022 ettari) e Milano (quasi 50.000 ettari).

Questi processi di urbanizzazione e di infrastrutturazione non trovano però giustificazione in un'ingente crescita demografica, infatti, si assiste a una crescita delle superfici artificiali anche in presenza di stabilizzazione, o decrescita, della popolazione residente. Anche a causa della flessione demografica, il suolo consumato pro-capite aumenta dal 2020 al 2021 di 3,46 m² /ab e di 5,46 m² /ab in due anni.

Per rappresentare l'efficienza delle trasformazioni è utile analizzare il consumo marginale di suolo, indicatore dato dal rapporto tra il consumo di suolo netto e i nuovi residenti tra un anno e il successivo. A livello nazionale, il consumo di suolo netto di 63,3 km² avviene a fronte di una decrescita di popolazione di circa 405 mila abitanti, tenendo conto anche dell'eccesso di mortalità a causa della pandemia di COVIS-19 del 2020. L'indicatore di consumo di suolo marginale è esplicativo di come, negli ultimi dodici mesi, per ogni abitante in meno si sia consumato suolo per 161 m². Nell'anno precedente la diminuzione della popolazione aveva prodotto valori negativi ancora più marcati, pari a 338 m²/ab.

3.2. Gli usi del suolo in Italia

Attenendoci alla classificazione del consumo di suolo precedentemente descritta, è interessante analizzare i flussi di transizione avvenuti tra il 2020 e il 2021, ovvero gli ettari che in un anno sono passati da una classe all'altra del sistema di classificazione. (*Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2022. SNPA*)

Analizzando la matrice dei cambiamenti fornita dall'ISPRA, è possibile notare che i flussi maggiori rilevati sono quelli da suolo naturale o seminaturale a cantieri e altre aree in terra battuta ed edifici e fabbricati. Per il primo, di classe 122, si registra un incremento pari a 4840 ha mentre per il secondo, classe 111, di 706 ha.

Dei 1693 ettari che, invece, risultavano essere aree di cantiere (classe 122) nel 2020, 512 sono stati ripristinati a suolo non consumato, 427 sono diventati edifici e fabbricati, 416 aree impermeabili/pavimentate e i restanti 313 sono adibiti a strade pavimentate.

		2021																	TOT		
		1	11	111	112	113	114	115	116	117	118	12	121	122	123	124	125	126	2	TOT	
2020	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	
	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	3	
	111	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	16	-	-	-	-	3	23	
	112	-	-	1	-	1	-	-	3	-	-	-	1	8	-	-	-	-	1	15	
	113	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	9	
	114	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	116	-	-	13	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	2	32
	117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
	121	-	-	1	12	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	1	16
	122	-	-	427	313	-	-	-	416	9	6	-	3	-	3	1	-	1	512	1.693	
	123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	54	58
	124	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3
	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2
	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	3	5
2	-	-	706	66	1	-	-	553	15	22	-	198	4.840	390	45	69	6	-	6.911		
TOT	0	0	1.148	393	2	0	0	982	25	28	0	202	4.894	394	47	71	8	580			

1. Consumo di suolo non classificato; 11. Consumo di suolo permanente non classificato al terzo livello; 111. Edifici, fabbricati; 112. Strade pavimentate; 113. Sede ferroviaria; 114. Aeroporti (piste e aree di movimentazione impermeabili/pavimentate); 115. Porti (banchine e aree di movimentazione impermeabili/pavimentate); 116. Altre aree impermeabili/pavimentate non edificate (Piazzali, parcheggi, cortili, campi sportivi); 117. Serre permanenti pavimentate; 118. Discariche; 12. Consumo di suolo reversibile non classificato al terzo livello; 121. Strade non pavimentate; 122. Cantieri e altre aree in terra battuta (piazzali, parcheggi, cortili, campi sportivi, depositi permanenti di materiale); 123. Aree estrattive non rinaturalizzate; 124. Cave in falda; 125. Impianti fotovoltaici a terra; 126. Altre coperture artificiali non connesse alle attività agricole la cui rimozione ripristini le condizioni iniziali del suolo; 2. Suolo non consumato.
I valori riferiti ai cambiamenti al di sotto della soglia di 0,5 ha non appaiono nella matrice ma concorrono nei conteggi per i totali di classe.
Con sfondo e bordo grigio vengono evidenziate le superfici dove è avvenuta una nuova impermeabilizzazione del suolo.
Con bordo rosso vengono evidenziate le superfici dove è avvenuto nuovo consumo di suolo (carattere rosso: permanente; carattere arancione: reversibile).
Con sfondo e bordo verde scuro vengono evidenziate le superfici dove è avvenuto un ripristino o una rinaturalizzazione.

Tabella 3.3. Matrice dei cambiamenti (in ettari) 2020-2021. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA

Tra le principali cause del consumo di suolo, l'ISTAT annovera le aree edificate, i cantieri e le infrastrutture, gli impianti fotovoltaici e lo sviluppo dei poli logistici.

Le aree edificate includono tutte le superfici della classe 111 del sistema di classificazione del consumo di suolo. Analizzando i dati della cartografia SNPA risulta che le aree edificate occupano più di 5.400 km², per avere un ordine di grandezza basti pensare che l'intero territorio ligure si estende per un totale di 5418 km². Tale valore equivale all'1,8% del territorio nazionale e oltre il 25% dell'intero suolo consumato.

Durante il censimento 2011, l'Istat ha raccolto anche informazioni riguardanti la numerosità delle costruzioni, il loro utilizzo, la destinazione d'uso e lo stato di conservazione degli edifici ad uso residenziale e dall'analisi risultano, a livello nazionale, più di 248 km² di edifici non utilizzati. La superficie occupata dagli

edifici residenziali supera i 4.454 km² e a livello nazionale oltre il 51% di questi è in buono stato, equivalente a una superficie di circa 2.250 km², 1.510 km² sono coperti da abitazioni in ottimo stato, 627 km² di edifici residenziali sono in uno stato mediocre e circa 68 km² di edifici ad uso residenziale versano in pessimo stato. Tali dati risultano interessanti nell'ottica dell'applicazione della gerarchia del consumo di suolo prevista dalla strategia dell'UE.

Nelle tabelle sottostante sono riportati i valori di estensione delle superfici al 2021 per le classi che identificano le aree di cantiere (12, 121, 122) e dell'infrastruttura (112, 113, 114, 115).

Regione	Suolo consumato per cantieri e strade sterrate (ha)	Consumo di suolo per cantieri e strade sterrate (ha)	Suolo consumato per cantieri e strade sterrate (%)	Suolo consumato per cantieri e strade sterrate rispetto al suolo consumato totale (%)	Suolo consumato pro capite per cantieri e strade sterrate (m ² /ab)
Piemonte	13.750	493,5	0,5	8,1	32
Valle d'Aosta	587	9,7	0,2	8,4	47
Lombardia	12.144	580,6	0,5	4,2	12
Trentino-Alto Adige	1.547	83,7	0,1	3,7	14
Veneto	9.156	612,8	0,5	4,2	19
Friuli-Venezia Giulia	4.429	82,0	0,6	7,0	37
Liguria	858	34,3	0,2	2,2	6
Emilia-Romagna	17.421	486,3	0,8	8,7	39
Toscana	8.455	283,9	0,4	6,0	23
Umbria	2.001	91,1	0,2	4,5	23
Marche	2.094	173,6	0,2	3,2	14
Lazio	5.835	281,7	0,3	4,2	10
Abruzzo	1.777	354,1	0,2	3,3	14
Molise	1.006	43,8	0,2	5,8	34
Campania	3.841	418,0	0,3	2,7	7
Puglia	7.071	318,0	0,4	4,5	18
Basilicata	2.851	56,8	0,3	9,0	52
Calabria	2.150	58,3	0,1	2,8	12
Sicilia	5.515	416,9	0,2	3,3	11
Sardegna	5.060	158,4	0,2	6,3	32
Italia	107.547	5.037	0,4	5,0	18

Tabella 3.4. Suolo consumato 2021 e consumo di suolo 2020-2021 delle aree di suolo consumato reversibile (cantieri e strade sterrate, classi: 12,121, 122).

Regione	Suolo consumato per le infrastrutture (ha)	Consumo di suolo per le infrastrutture (ha)	Suolo consumato per le infrastrutture (%)	Suolo consumato per le infrastrutture rispetto al suolo consumato totale (%)	Suolo consumato pro capite per le infrastrutture (m ² /ab)
Piemonte	34.973	3,0	1,4	20,6	82
Valle d'Aosta	3.176	0,0	1,0	45,4	256
Lombardia	76.264	16,9	3,2	26,4	76
Trentino-Alto Adige	17.356	0,2	1,3	41,7	161
Veneto	54.258	5,7	3,0	24,9	111
Friuli-Venezia Giulia	15.585	0,3	2,0	24,6	130
Liguria	15.066	0,7	2,8	38,3	99
Emilia-Romagna	54.366	11,2	2,4	27,1	122
Toscana	46.147	3,2	2,0	32,5	125
Umbria	16.811	0,3	2,0	37,7	194
Marche	20.041	0,4	2,1	31,0	134
Lazio	38.110	4,0	2,2	27,2	67
Abruzzo	20.229	0,7	1,9	37,3	158
Molise	8.136	0,1	1,8	46,7	276
Campania	34.269	3,4	2,5	24,0	61
Puglia	42.263	2,1	2,2	26,6	107
Basilicata	14.389	9,0	1,4	45,4	264
Calabria	27.163	0,9	1,8	35,6	146
Sicilia	48.419	3,4	1,9	28,9	100
Sardegna	28.864	0,8	1,2	36,1	182
Italia	615.885	66	2,0	28,7	104

Tabella 3.5. Suolo consumato 2021 e consumo di suolo 2020-2021 delle aree di suolo consumato permanente (strade pavimentate, ferrovie, aeroporti e porti, classi: 112, 113, 114, 115)

Tra le forme di consumo è stata indagata anche quella relativa agli impianti fotovoltaici a terra, la classe 125, il cui impiego è fortemente incentivato e quindi destinato a crescere vista la necessità di incrementare la produzione sostenibile di energia. Complessivamente, a livello nazionale, risultano occupati da impianti fotovoltaici circa 17.560 ettari, equivalenti a più di 9.000 MW di potenza.

In Italia bisogna anche tener conto del suolo consumato dalla logistica e dalla grande distribuzione organizzata. Sono state numerose, negli ultimi anni, le espansioni e gli adeguamenti dei fabbricati, dei piazzali e delle strade di accesso ai grandi poli e in particolare nei seguenti settori: grande distribuzione/commerciale, produttivo/industriale e l'E-commerce. La realizzazione di nuovi centri logistici si è concentrata prevalentemente nell'Italia settentrionale, più precisamente in Emilia-Romagna, Piemonte e Lombardia, e nel Lazio.

4. L'acqua

L'acqua è alla base dell'origine di ogni forma di vita sul pianeta Terra ed è in assoluto la risorsa naturale più importante per il mantenimento e lo sviluppo delle specie.

L'insieme delle acque allo stato liquido e allo stato solido presenti sulla superficie terrestre costituisce l'idrosfera. Una parte rilevante dell'idrosfera, circa il 97% delle acque totali, corrisponde alla massa dei mari e degli oceani, occupa un volume di 1.320 milioni di km³ ed è detta idrosfera marina. La parte rimanente delle acque presenti sulla superficie terrestre costituisce l'idrosfera continentale. Si tratta, per la maggior parte, di acque dolci, cioè a ridotto contenuto salino, utilizzate per i diversi usi domestici, sanitari, agricoli e industriali. Esse sono intrappolate, principalmente, nei ghiacci polari e nei ghiacciai, a cui seguono le acque sotterranee, quelle dei laghi d'acqua dolce e dei fiumi. All'idrosfera continentale appartengono inoltre le acque dei laghi salati, come il Mar Caspio e il Mar Morto, che a causa dell'elevata salinità costituiscono un'eccezione per i bacini interni.

Solo lo 0,75% di tutta l'acqua esistente sulla Terra si trova come acqua dolce liquida nei laghi, nei fiumi, e nel sottosuolo ma solo lo 0,01% del totale dell'acqua esistente sulla Terra è reperibile nei laghi e nei fiumi.

L'acqua dolce disponibile per il consumo umano varia tra i 12.500 km³ e i 14.000 km³ all'anno, ma a causa della crescita della popolazione sul Pianeta, il consumo d'acqua negli ultimi anni è sestuplicato e la disponibilità pro-capite è diminuita dai quasi 13 mila m³ per anno del 1970 ai meno di 7 mila del 2000.

Attualmente circa 2,2 miliardi di persone nel mondo non hanno accesso a fonti d'acqua, più di 1 persona su 4. La scarsità d'acqua può essere fisica o economica. La scarsità fisica è la mancanza o l'indisponibilità di acqua, perché è assente, lontana, inquinata o esaurita. Più del 75% delle acque fluviali e sotterranee sono prelevate per usi agricoli, industriali o domestici e lo sfruttamento delle risorse ha già oltrepassato il limite di sostenibilità. Come nel caso del lago d'Aral, fra Uzbekistan e Kazakistan: era il quarto più grande al mondo, ma oggi è quasi sparito perché l'acqua dei suoi fiumi immissari è stata prelevata per irrigare i campi di

cotone. Altra causa fisica della scarsità d'acqua è l'inquinamento proveniente dall'agricoltura, dai grandi agglomerati urbani, dall'industria.

Tra le cause della carenza idrica mondiale vi è il cambiamento climatico che si sta manifestando in modalità differenti, attraverso il verificarsi di eventi estremi con frequenza e intensità crescenti. Fra questi, ad esempio, ondate di calore, nubifragi, tempeste e mareggiate. Il riscaldamento globale avrà conseguenze differenti nelle varie zone del mondo, infatti provocherà, oltre allo scioglimento dei ghiacci, fenomeni estremi con ondate di calore e alluvioni, l'aumento della portata dei fiumi e della disponibilità d'acqua nell'emisfero settentrionale. Ma tale disponibilità subirà, invece, una riduzione significativa nelle aree tropicali e semi aride.

L'espressione "scarsità idrica economica" viene utilizzata per quelle aree geografiche in cui c'è disponibilità di risorse idriche ma la maggioranza della popolazione non dispone di acqua a sufficienza perché l'accesso e il suo utilizzo sono ostacolati da barriere istituzionali o economiche.

Nel 2010 l'Onu ha riconosciuto l'acqua come "diritto umano essenziale per il godimento di tutti gli altri diritti", ma le norme sull'uso delle acque condivise fra più nazioni sono inadeguate e questo può lasciare spazio ad abusi.

Secondo le stime dell'ONU, della FAO e dell'OMS un miliardo e 400 milioni di persone sul pianeta non hanno accesso all'acqua potabile. Basti pensare che negli ultimi cinquant'anni la disponibilità d'acqua è diminuita di ben tre quarti in Africa e due terzi in Asia. D'altra parte, è stato rilevato che in media ogni abitante del pianeta consuma oggi il doppio di acqua rispetto all'inizio del '900 e che negli ultimi cento anni l'utilizzo globale di acqua sia cresciuto di sei volte, una crescita che proseguirà costantemente ad un tasso pari a circa l'1% annuo in conseguenza dell'incremento della popolazione, dello sviluppo economico e del cambiamento dei modelli di consumo.

Nell'ambito dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile, sottoscritta il 25 Settembre 2015 da 193 paesi, l'acqua costituisce un elemento di connessione essenziale per il conseguimento dei diversi Obiettivi di Sviluppo.

Essa si fonda su 17 obiettivi (Sustainable Development Goals - SDGs) integrati e indivisibili che si impennano sul bilanciamento delle tre dimensioni dello sviluppo

sostenibile: economico, sociale e ambientale. Gli obiettivi si riferiscono a diversi temi, quali ad esempio la povertà, il lavoro, l'istruzione, la salute, l'accesso all'acqua e all'energia e ogni obiettivo è declinato in target. Al tema dell'acqua, alla sua disponibilità e gestione sostenibile, al tema dell'accesso all'acqua sicura, alla conservazione dei mari e degli oceani, sono dedicati in particolare due goals:

- Goal 6 - Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico sanitarie;
- Goal 14 - Conservare e utilizzare in modo sostenibile gli oceani, i mari e le risorse marine per uno sviluppo sostenibile.



Ma, come già detto, il tema dell'acqua è comunque correlato, anche se in modo indiretto, ad altri goals, quali ad esempio:

- Goal 2 - Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile;
- Goal 7 - Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni;
- Goal 13 - Adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e le sue conseguenze.



4.1. Gli usi dell'acqua in Italia

Nel 2018, il volume di acqua complessivamente prelevato per uso potabile sul territorio italiano da oltre 1.800 enti gestori di fonti di approvvigionamento è pari a 9,2 miliardi di metri cubi. Il confronto internazionale del volume pro capite di acqua che viene annualmente prelevata per uso potabile (freshwater abstraction for public water supply) da corpi idrici superficiali o sotterranei nei 28 Paesi dell'Unione Europea, mostra che l'Italia, con 153 metri cubi annui per abitante, si colloca in seconda posizione, preceduta dalla Grecia (157), a grande distanza dai successivi paesi in graduatoria: Irlanda (128), Bulgaria (119) e Croazia (111).

Le fonti di prelievo dipendono dalle caratteristiche dei corpi idrici utilizzati per l'approvvigionamento idropotabile. Secondo il CENSIMENTO DELLE ACQUE PER USO CIVILE redatto dall'ISTAT, nel 2015, l'84,3% del prelievo nazionale di acqua per uso potabile deriva da acque sotterranee (48% da pozzo e il 36% da sorgente), il 15,6% da acque superficiali (9,9 % da bacino artificiale, 4,8% da corso d'acqua superficiale 0,9% da lago naturale) e il restante 0,1% da acque marine o salmastre.

Dove disponibili, le acque sotterranee tendono a essere maggiormente utilizzate per il consumo umano in quanto sono generalmente di qualità migliore e non necessitano di trattamenti spinti di potabilizzazione. Queste, in Italia, sono la risorsa più grande e preziosa di acqua dolce e infatti rientra tra i paesi europei che sfruttano in grande maggioranza fonti di acque sotterranee per le esigenze dei servizi idrici pubblici.

Il *settore agricolo* contraddistingue come il più grande utilizzatore di acqua e questa ingente pressione sulla risorsa idrica è legata all'irrigazione. In particolare, a livello europeo, l'Italia si colloca tra i paesi europei che maggiormente fa ricorso all'irrigazione.

Nell'annata agraria 2015-2016 la superficie irrigabile delle aziende agricole italiane, ovvero la superficie attrezzata per l'irrigazione, era pari a 4.123 migliaia di ettari, distribuiti su circa 572 mila aziende. Rispetto al 1982 l'area irrigabile ha registrato una leggera variazione, con un incremento di circa il 4,2%. La superficie

irrigata misura la quantità effettiva di terreni irrigati e può variare notevolmente, di anno in anno e sul territorio, a seconda delle condizioni meteorologiche e delle colture praticate. Nell'annata agraria 2015-2016 l'irrigazione è stata effettuata dal 42,9% delle aziende agricole: quasi 491 mila le aziende che irrigano una superficie di 2.553 migliaia di ettari.

La *zootecnia* rappresenta un settore economico, trainante soprattutto in alcune aree del Paese, che, al pari di ogni altro settore, ha inevitabili impatti sull'ambiente, tra cui chiaramente anche sull'impiego delle risorse idriche. Elemento essenziale per il benessere degli animali allevati, l'acqua rappresenta anche un fattore fondamentale per il conseguimento dei risultati aziendali, produttivi e riproduttivi, nonché economici. Il volume di acqua utilizzata nella zootecnia è la risultante della somma dei volumi di "acqua di abbeverata" e di "acqua di servizio", ovvero rispettivamente della risorsa idrica impiegata per soddisfare il fabbisogno idrico del bestiame e per il lavaggio delle strutture e attrezzature necessarie alla produzione. I fabbisogni idrici e i relativi consumi risultano estremamente variabili tra le diverse specie animali e tra le diverse fasi di crescita, e sono inoltre influenzati da fattori ambientali e gestionali, come la temperatura dell'aria e la tecnica di allevamento. Si stima che nel 2016 il volume di acqua utilizzata nell'allevamento animale è stato pari a 317,5 milioni di metri cubi.

La disponibilità di informazioni su prelievo e uso di acqua nell'industria è piuttosto limitata in Italia. Ciò significa che, a differenza del civile, per questo settore esiste un alto grado di incertezza in relazione alla risorsa idrica utilizzata.

L'*industria manifatturiera* comprende vari settori industriali, come l'estrazione dei minerali, la produzione di cellulosa e carta, il tessile, il cibo e le bevande e i settori chimici, che utilizzano l'acqua nella produzione. Il volume di acqua complessivamente utilizzata dall'industria manifatturiera nazionale si stima ammonti a circa 3,79 miliardi di metri cubi nel 2015, con l'esclusione dell'acqua utilizzata per i servizi igienici e il consumo umano all'interno degli stabilimenti produttivi.

Tre settori manifatturieri esercitano una elevata domanda di acqua, utilizzando da soli più del 40% del volume totale nazionale. Il primo di questi è il settore 'Coke, prodotti petroliferi raffinati e prodotti chimici' seguito da 'Prodotti in metallo esclusi macchinari' e 'Gomma e materie plastiche'. Un altro gruppo di settori si posiziona in un range medio-alto nell'utilizzo di acqua come input dei processi produttivi dell'industria manifatturiera, con una domanda che, per ciascuno, oscilla fra il 5% e il 9% del totale nazionale: fra questi i più idroesigenti sono il 'Tessile' e 'Alimentari'.

L'energia termoelettrica rappresenta ancora la maggior fonte di energia elettrica in Italia, sebbene in decrescita dal 2007. D'altra parte, si sta verificando un incremento nella produzione idroelettrica da fonte eolica-fotovoltaica e geotermica, per le quali però vengono impiegati ingenti volumi di acqua in funzione dell'energia elettrica prodotta. La produzione netta di energia termoelettrica in Italia nel 2012 è stata complessivamente di 207.327 GWh prodotti da 2.725 impianti in esercizio. La presenza sul territorio di impianti termoelettrici è legata alla presenza di sorgenti, infatti, la maggior parte di essi si trova lungo la costa nel meridione e lungo i corsi d'acqua nell'Italia settentrionale. L'acqua viene utilizzata sia nel processo produttivo delle centrali termoelettriche, per produrre energia elettrica e calore, sia per il raffreddamento degli impianti di produzione e tali volumi sono stimati, nel 2012, pari a 18,5 miliardi di metri cubi. L'88% del volume totale proviene dal mare, mentre le acque interne complessivamente utilizzate si stimano in 2,2 miliardi di metri cubi e derivano, oltre che da corsi di acqua, canali e pozzi, anche da acquedotti industriali, da altri processi produttivi degli stabilimenti vicini e dagli impianti di depurazione delle acque reflue. Nel complesso il volume di acque interne effettivamente prelevato dai corpi idrici superficiali e sotterranei è di 1,6 miliardi di metri cubi, di cui la quota effettivamente utilizzata è di 1,4 miliardi.

In Italia, uno dei principali problemi nell'ambito di una gestione corretta e sostenibile dei sistemi acquedottistici è quello delle perdite idriche. Esse equivalgono alla differenza tra acqua immessa in rete e acqua fatturata e si verificano lungo la catena di distribuzione. La loro presenza comporta problemi di tipo ambientale, finanziario, energetico, e sociale.

La percentuale di perdite idriche totali della rete nazionale di distribuzione dell'acqua potabile è del 42%: ogni 100 litri immessi nel sistema, ben 42 non arrivano agli utenti finali. Per le cattive condizioni dell'infrastruttura idrica si disperdono 3,4 miliardi di metri cubi di acqua: 156 litri al giorno per abitante. Stimando un consumo giornaliero pro capite di 215 litri, le perdite potrebbero garantire le esigenze idriche per circa 44 milioni di persone l'anno.

Nel confronto tra le regioni italiane il divario è ampio. Nel mezzogiorno sono concentrate le perdite idriche maggiori mentre le regioni più virtuose sono tutte localizzate nel nord del Paese.

La prima norma in materia di acque nell'ordinamento italiano è la legge 319/1976, anche detta Legge Merli. Essa indicava le sostanze inquinanti, ponendo dei limiti al loro scarico nelle acque e alla loro concentrazione. Gli scarichi erano ripartiti sulla base della loro provenienza e si disponeva che lo scarico effettuato in assenza della necessaria autorizzazione fosse sempre soggetto a sanzione penale.

Con il D.P.R. 236/88 si attuò la Direttiva 80/778 CEE, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. Essa regolamentava la qualità delle acque destinate al consumo umano e definiva le concentrazioni massime ammissibili e i valori guida per differenti parametri chimici e microbiologici,

Con la Legge n. 36 del 5 gennaio 1994, la cosiddetta Legge Galli, relativa alle disposizioni in materia di risorse idriche, si è proceduto ad una riorganizzazione radicale della materia. Si sono identificati ambiti territoriali ottimali (ATO), all'interno dei quali giungere ad una gestione unitaria ed integrata del ciclo idrico, inteso come l'insieme dei servizi di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e depurazione delle acque reflue. In seguito, particolare rilievo assunse anche la direttiva CEE n. 91/271, destinata al tema del trattamento delle acque reflue urbane e successivamente divenuta punto di riferimento centrale per l'elaborazione del nuovo TU in materia di acque, il D.lgs. 152/1999, "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della

direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti dalle fonti agricole”.

Questo decreto, con le sue successive integrazioni, si poneva quale obiettivo quello di tutelare tutte le acque per prevenire e ridurre l'inquinamento, attuare il risanamento dei corpi idrici inquinati, conseguire un miglioramento dello stato delle acque e perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, prevedendo una ripartizione delle competenze e un sistema di sanzioni amministrative e penali per garantire il rispetto della normativa.

Per quanto riguarda gli scarichi, il decreto individuava tre tipologie di acque reflue: industriali, domestiche e urbane, fissando per ciascuna una regolamentazione differente. Gli scarichi vennero differenziati in: scarichi sul suolo, vietati salvo particolari eccezioni; scarichi nel sottosuolo e nelle acque sotterranee, generalmente vietati, ma con eccezioni, previa autorizzazione; scarichi in acque superficiali, diversamente disciplinati a seconda della tipologia. Si prevedeva, comunque, che tutti gli scarichi dovessero essere autorizzati e che la competenza al rilascio delle relative autorizzazioni spettasse alle Province.

In questo contesto si inserì la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE, i cui obiettivi principali, conformi a quelli della Comunità Europea, consistevano nel contribuire a perseguire salvaguardia e tutela della qualità ambientale e nell'utilizzo razionale delle risorse naturali. Essa, in particolare, mirava ad ottenere la graduale riduzione delle emissioni di sostanze pericolose nelle acque per raggiungere l'obiettivo finale di eliminare le sostanze pericolose prioritarie.

Da ultimo, la disciplina in materia di tutela delle acque è in gran parte confluita all'interno del D.Lgs. n. 152 dell'Aprile 2006, norme in materia ambientale, di cui una sezione è dedicata alla tutela delle acque dall'inquinamento e alla gestione delle risorse idriche. L'intero territorio nazionale è ripartito in distretti idrografici; in ciascun distretto idrografico è istituita l'Autorità di bacino distrettuale ed adottato il Piano di bacino distrettuale, che è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ed

alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Gli obiettivi perseguiti dalla norma sono: prevenire e ridurre l'inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici inquinati; conseguire il miglioramento dello stato delle acque ed adeguate protezioni di quelle destinate a particolari usi; perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili; mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, nonché la capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate; mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità contribuendo quindi a garantire una fornitura sufficiente di acque superficiali e sotterranee di buona qualità per un utilizzo idrico sostenibile; proteggere le acque territoriali e marine; impedire un ulteriore deterioramento, proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici, degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici sotto il profilo del fabbisogno idrico.

L'Autorità di bacino distrettuale o Autorità di bacino è un ente pubblico non economico, volto ad assicurare la difesa del suolo, il risanamento idrogeologico, la tutela quantitativa e qualitativa della risorsa idrica e provvede principalmente all'elaborazione del Piano di bacino distrettuale.

4.1. Il ciclo dell'acqua: dalla captazione alla restituzione

È chiaro che una filiera dell'acqua efficiente e sostenibile potrebbe dare delle risposte al problema finora discusso, è pertanto interessante analizzare quale sia il ciclo artificiale dell'acqua in ambito urbano per comprendere i problemi ad esso connesso, discussi nei prossimi capitoli, e le possibili soluzioni per una gestione efficiente e sostenibile di questo prezioso bene primario destinato a scarseggiare.

Il servizio idrico è suddivisibile in sette fasi:

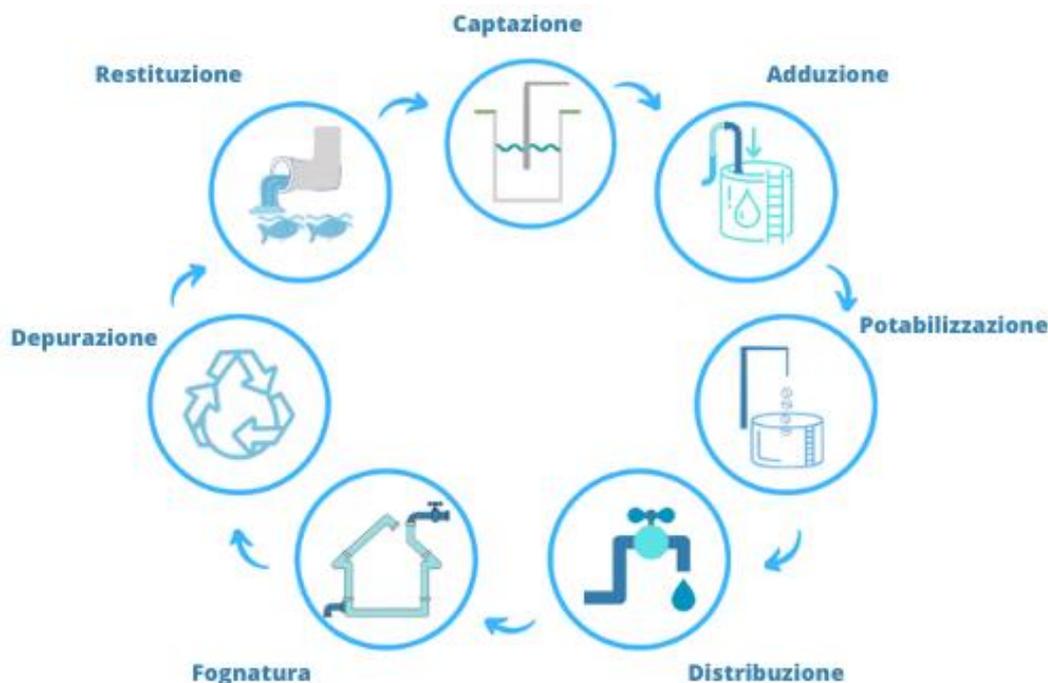


Figura 4.1. Il ciclo artificiale dell'acqua (Fonte: amanscpa.it)

La *captazione* consiste nel prelevare dall'ambiente l'acqua grazie ad opere di presa che consentono di gestire e proteggere la risorsa idrica. Le captazioni possono essere eseguite in differenti modalità, le quali dipendono dalla tipologia della fonte di approvvigionamento utilizzata.

La captazione da sorgente: prevede una struttura di captazione posta nello stesso punto in cui l'acqua sgorga naturalmente. L'opera di presa è costituita da una serie di vasche che permettono il controllo delle portate e, eventualmente, l'allontanamento di solidi in sospensione tramite sedimentazione.

La captazione da falda: avviene tramite la realizzazione di pozzi che intercettano acqua di falda, sia freatica sia artesiani, dotati di sistemi di pompaggio per trasportare l'acqua fino alla quota a cui è posta la condotta di adduzione.

La captazione da acque superficiali correnti: le opere di presa per la captazione di acqua da fiumi o torrenti è realizzabile attraverso diversi metodi: impianti di sollevamento, sifoni a cavaliere d'argine, traverse o dighe.

La captazione da acque superficiali stagnanti: effettuata solitamente tramite la costruzione di torri aventi finestre richiudibili per il passaggio dell'acqua, poste a varie altezze. In questo modo è possibile captare l'acqua a profondità diverse in

funzione del livello del lago in quel periodo, della torbidità dell'acqua di fondo e della temperatura dell'acqua superficiale.

La captazione tramite dighe.

Nella seconda fase, detta di *adduzione*, l'acqua prelevata dall'ambiente viene trasportata tramite condotta nei serbatoi per essere immessa nella rete di distribuzione.

A seguire si effettuano i trattamenti di *potabilizzazione* che rendono l'acqua potabile migliorando gli aspetti organolettici, chimici e microbiologici. Questa fase consiste nella rimozione delle sostanze contaminanti per ottenere acqua potabile che sia congrua con quanto stabilito dalla legge per il normale consumo domestico o per usi industriali. Ciò viene effettuato attraverso il monitoraggio e il controllo qualitativo, con i sistemi di telecontrollo, il campionamento e le analisi.

In generale il processo di potabilizzazione delle acque avviene per: migliorare sapore, odore e colore, diminuire la durezza, che rappresenta il contenuto di sali di calcio e magnesio, rimuovere nutrienti quali azoto, fosforo e BOD, la cosiddetta domanda biochimica di ossigeno, che rappresenta una misura del contenuto di materia organica biodegradabile presente in un campione d'acqua, rimuovere solidi sospesi e sedimentabili e rimuovere patogeni tramite disinfezione.

Una volta resa potabile, l'acqua viene immessa nel sistema di *distribuzione*, cioè una fitta e complessa rete di tubazioni che consente di mantenere la pressione e il livello costanti, preservando le caratteristiche dell'acqua. Da questa rete di distribuzione si dirama la rete di distribuzione secondaria, che permette di consegnare l'acqua a ciascuna utenza.

Le acque reflue, sia domestiche che urbane e industriali, vengono raccolte e incanalate attraverso un fitto sistema di *reti fognarie*, negli impianti di *depurazione* dove vengono trattate affinché non abbiano un carico inquinante e quindi non alterino gli ecosistemi una volta reimmesse in natura. I corpi idrici hanno una loro capacità autodepurativa, ovvero riescono a “smaltire” in modo naturale gli inquinanti presenti, a patto che le quantità immesse si mantengano entro un certo

limite, senza superare cioè la normale capacità autodepurativa e vedere così compromessa la qualità delle proprie acque e i normali equilibri dell'ecosistema.

Quando la quantità degli scarichi, prodotta da paesi e città densamente popolati, è talmente elevata da non poter essere depurata in questo modo, è necessario intervenire con i trattamenti di depurazione delle acque che comprendono tre stadi: trattamento primario, che ha lo scopo di separare le sostanze sospese nei liquami e viene attuato con processi fisici e meccanici (grigliatura, sedimentazione); trattamento secondario, che serve a eliminare le sostanze organiche che consumano ossigeno e le sostanze azotate, ed è realizzato con metodi biologici che sfruttano l'opera dei microrganismi aerobi; trattamento terziario, che ha lo scopo di migliorare ulteriormente la qualità delle acque provenienti dal trattamento secondario, eliminando le ultime tracce di sostanze sospese e consumatrici di ossigeno, rimuovendo i composti nutritivi delle alghe e i detergenti sintetici, e distruggendo i microrganismi patogeni. Viene effettuato per lo più tramite processi chimico-fisici.

Una volta effettuate queste operazioni, si passa alla fase conclusiva del ciclo, ovvero alla *restituzione* all'ambiente. Si tratta di una fase fondamentale perché permette di non perdere una quantità imponente di risorse idriche e di limitare o evitare il deficit idrico.

5. L'invarianza idraulica e idrologica

Come visto in precedenza, l'incremento del consumo di suolo e del grado di impermeabilizzazione dei bacini hanno portato ad una riduzione della superficie permeabile e, quindi, della quantità di acqua che viene assorbita dal terreno, riducendo i volumi naturali d'invaso e il tempo di corrivazione, ovvero il tempo che impiega l'acqua a ruscellare verso il recettore finale. Tutto ciò si traduce in un grande aumento delle portate defluenti che le opere di drenaggio esistenti potrebbero non essere in grado di far defluire correttamente, portando ad allagamenti urbani ed esondazioni.

L'aumento della frequenza e della gravità degli eventi di allagamento nelle aree urbane ha condotto le comunità a sollecitare i soggetti preposti alla gestione del territorio e il mondo tecnico-scientifico alla ricerca di nuove soluzioni che possano mitigare gli effetti di tali eventi, arrivando alla formulazione dei principi di invarianza idraulica e di invarianza idrologica delle trasformazioni del suolo.

Il principio dell'invarianza idraulica e idrologica discende da un inter-normativo molto complesso, che ha riguardato la materia idrica in tutti i suoi aspetti a livello europeo, nazionale e regionale. Attualmente l'Italia non dispone di una normativa nazionale, tuttavia, alcune regioni hanno provato ad applicare il principio dell'invarianza idraulica e idrologica per una gestione sostenibile dei deflussi meteorici, emanando delle normative locali, tra cui:

- Lombardia LR n.7 del 23/11/2017 e n.8 del 19/4/2019
- Emilia-Romagna Direttiva idraulica PAI-PGRA DGR 2112/2016
- Veneto DGR 2948 del 6/10/2009 relativo Allegato A
- Marche L.R.2272011
- Friuli DGR n.800/2018

I concetti di invarianza idraulica e idrologica sono definiti come segue dall'articolo 58 bis comma 1 della Legge Regionale della Lombardia 12/2005.

L'invarianza idraulica è il principio in base al quale le portate massime di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione.

In tal modo nei ricettori finali si mantiene il grado di sicurezza correlato ai picchi di piena preesistente alla trasformazione, quindi, non è necessario incrementare le esistenti opere di trasporto delle piene.

Per invarianza idrologica si intende il principio in base al quale sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione.

Così nei ricettori di valle si mantiene il grado di sicurezza correlato sia ai picchi di piena sia ai volumi di piena preesistente all'urbanizzazione e, quindi, non è necessario incrementare le esistenti opere di trasporto delle piene.

L'attuazione dei principi di invarianza non comporta che le portate defluenti dopo la trasformazione siano in ogni istante non superiori a quelle precedenti la trasformazione. Anzi, se si persegue solo l'invarianza idraulica, soltanto il picco di piena non risulterà superiore al picco prima della trasformazione, mentre le portate defluenti dopo la pioggia risulteranno, per un certo tempo, maggiori di quelle che si avrebbero in assenza di opere per l'invarianza idraulica, allo stesso modo, perseguendo l'invarianza idrologica è possibile che dopo la pioggia si abbiano portate maggiori di quelle che si avrebbero in assenza di opere per l'invarianza.

5.1. Processi per conseguire l'invarianza idraulica e idrologica

I sistemi per conseguire l'invarianza idraulica sono basati su processi di quattro tipi:

- laminazione (detention): il temporaneo accumulo in un invaso di una parte del volume di deflusso superficiale e il successivo rilascio con portata massima ridotta entro il valore preesistente la trasformazione. Questi sistemi necessitano di una capacità di invaso per l'accumulo delle acque raccolte che verranno poi rilasciate lentamente nella rete di drenaggio durante la fase di esaurimento dell'evento di piena;

- infiltrazione (infiltration): l'incremento del deflusso profondo, con conseguente decremento del deflusso superficiale, mediante l'incremento dell'estensione (o della permeabilità) delle superfici permeabili;
- evapotraspirazione (evapotranspiration): l'incremento dell'evaporazione e della traspirazione, con conseguente decremento del deflusso superficiale, mediante l'incremento delle superfici vegetate e/o l'impianto di vegetazione più idroesigente;
- recupero (harvesting): la raccolta ed accumulo del volume di deflusso superficiale in un vaso e il successivo utilizzo per usi compatibili. In questo caso, l'acqua viene accumulata in vasche opportunamente dimensionate in base al regime pluviometrico e all'utilizzo previsto.

Vi sono anche dei sistemi detti "a ritenzione" caratterizzati dalla combinazione dei processi di infiltrazione, laminazione ed evapotraspirazione. Essi consistono nell'intercettazione ed accumulo del volume di deflusso superficiale e nella successiva immissione, anche parziale, nel ciclo idrologico per infiltrazione nel suolo e/o evapotraspirazione.

I quattro processi non sono implementabili alternativamente fra loro poiché assolvono a funzioni differenti, ma possono essere utilizzati congiuntamente conseguendo risultati migliori.

Infatti, è possibile raggiungere l'invarianza idraulica con il solo impiego del processo di laminazione o di recupero, ma impiegando la sola laminazione non si può ottenere l'invarianza idrologica poiché tali sistemi non consentono di sottrarre volumi all'evento di piena in arrivo al sistema, ma solo di trattenerne una parte temporaneamente.

Ai fini della presente tesi di laurea è interessante indagare più nel dettaglio i vari processi, con particolare attenzione a quello di laminazione.

Per il dimensionamento delle opere per conseguire l'invarianza idraulica o idrologica di una trasformazione del suolo occorre innanzitutto valutare il volume di deflusso dal bacino sotteso dall'area oggetto di trasformazione, nelle condizioni ante e post operam. Ciò richiede la definizione di uno o più eventi di pioggia di

progetto e la prefigurazione della condizione dopo la trasformazione. La differenza fra i volumi di deflusso nella condizione post e ante operam costituisce il volume da sottrarre al deflusso superficiale di valle.

5.1.1 Laminazione

La laminazione è il processo con il quale l'onda di piena, generata dal deflusso superficiale conseguente ad un evento di precipitazione, viene parzialmente appiattita per effetto dell'immagazzinamento temporaneo di parte del volume di piena. Tale volume verrà poi lentamente rilasciato, quindi si verificherà un aumento della portata di piena nella fase di esaurimento che però non supererà il colmo che si aveva prima della trasformazione.

Per realizzare la laminazione è necessario realizzare una capacità d'invaso prima dell'immissione nella rete di drenaggio a valle dell'area oggetto di trasformazione. L'invaso può essere:

- in linea (o di transito) se è sul percorso delle acque, e quindi è attraversato dall'intero volume della piena

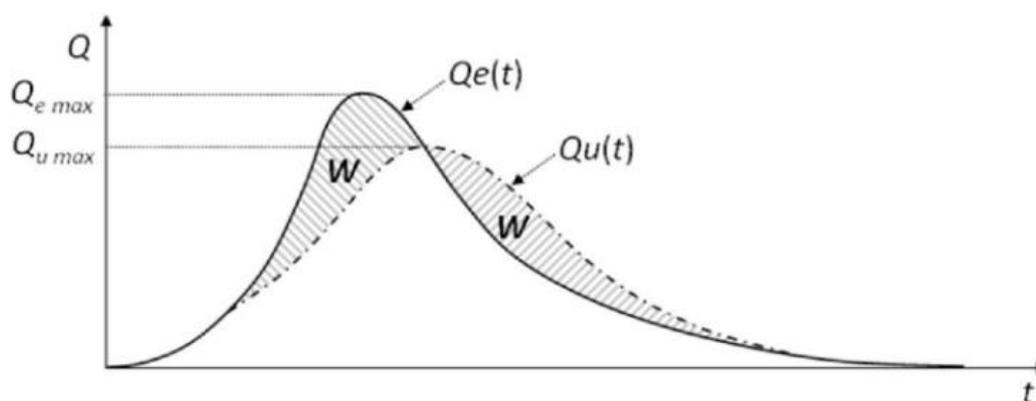


Figura 5.1. Rappresentazione grafica del processo di laminazione di un'invaso in linea (da Bollettino Ufficiale Regione Lombardia, 2017).

Nel grafico sono riportate le onde entranti e uscenti da un'invaso in linea generico, il massimo volume d'invaso W_{max} è dato dall'area compresa tra le due curve fino al raggiungimento della portata uscente massima $Q_{u\ max}$. Si osserva che l'effetto di laminazione consiste sia nella riduzione della portata al colmo uscente $Q_{u\ max}$ rispetto alla portata al colmo entrante $Q_{e\ max}$, sia nello sfasamento temporale tra i

due colmi con un benefico rallentamento complessivo della piena uscente rispetto a quella entrante.

- fuori linea (o di cattura), se non è sul percorso ordinario delle acque, e viene attraversato solo da una parte del volume di piena. In questo caso occorre definire le funzioni di trasformazione fra le portate, che sono determinate dalle caratteristiche dei dispositivi d'immissione e d'efflusso fra la linea di drenaggio e l'invaso.

Facendo riferimento al Regolamento della Regione Lombardia, il dimensionamento dell'invaso di laminazione avviene applicando le equazioni seguenti al fine di computare l'idrogramma uscente $Q_u(t)$ dalla bocca di scarico dell'invaso e quindi verificare il rispetto del valore della massima portata ammissibile nel caso in esame e del tempo massimo di svuotamento, rispettivamente definiti all'articolo 8 e 11 del regolamento. I fattori che influiscono sull'effetto di laminazione operato da un vaso sono il volume massimo in esso contenibile, la sua geometria e le caratteristiche delle opere di scarico. Il processo di laminazione nel tempo t è descritto matematicamente dal seguente sistema di equazioni:

- equazione differenziale di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (4.1.1)$$

- legge di efflusso che governa le opere preposte allo scarico dall'invaso o in generale allo svuotamento dell'invaso:

$$Q_u = Q_u [H(t)] \quad (4.1.2)$$

- curva d'invaso, esprime il legame geometrico tra il volume invasato ed il carico idrico H nell'invaso:

$$W = W[H(t)] \quad (4.1.3)$$

Dove:

$Q_e(t)$ rappresenta la portata entrante;

$Q_u(t)$ rappresenta la portata complessivamente uscente dall'insieme delle opere di scarico e/o di infiltrazione e/o di riuso;

$W(t)$ rappresenta il volume invasato;

$H(t)$ rappresenta il carico idrico nell'invaso.

In alternativa alla risoluzione del sistema di equazioni appena descritto tramite integrazione numerica, per il dimensionamento dell'invaso si può ricorrere ai seguenti metodi semplificati.

a) Laminazione ottimale

La "laminazione ottimale" è quella che si ottiene quando la portata uscente è costante durante la fase di colmo. Preassegnato il valore $Q_{u \max}$ e mantenuto costantemente pari ad esso la portata uscente, si osserva che è minimo il volume di laminazione W_0 necessario; ovvero, a parità di volume di invaso disponibile W_0 , è minimo il conseguente valore di $Q_{u \max}$ ottenendosi così il massimo effetto di laminazione.

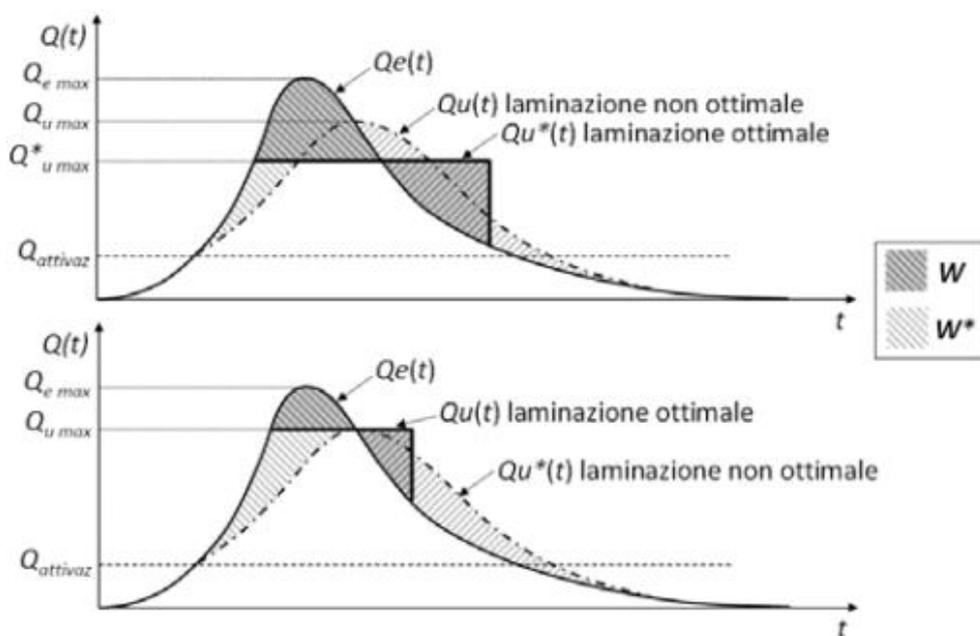


Figura 5.2. Laminazione ottimale a parità di volume invasato W e a parità di portata uscente massima $Q_{u \max}$ (Fonte: Bollettino Ufficiale Regione Lombardia, 2017).

Per l'applicazione di tale metodo si ipotizza la presenza di un invaso fuori linea, di un dispositivo limitatore di portata dimensionato in modo da lasciar defluire a valle della sezione di controllo una portata non superiore a $Q_{u \max}$ e immettere la portata

in eccesso nell'invaso e di un impianto di sollevamento o un opportuno dispositivo di regolazione degli scarichi che regoli la portata in uscita dall'invaso in modo che, sommata a quella lasciata defluire dalla sezione di controllo, non superi la portata $Q_{u \max}$. Alla sezione di controllo, quando la portata di afflusso $Q_e(t)$ raggiunge la portata $Q_{u \max}$, che non si vuole superare, il dispositivo limitatore di portata devia la portata in eccesso nell'invaso fuori linea, lasciando defluire a valle della sezione di controllo la portata costante $Q_{u \max}$ finché è $Q_u(t) > Q_{u \max}$. La portata in eccesso viene temporaneamente accumulata nell'invaso fuori linea e poi rilasciata successivamente con portata variabile $Q_u(t)$ tale per cui, sommata a quella lasciata defluire dalla sezione di controllo, risulti minore di $Q_{u \max}$.

b) Metodo delle sole piogge

Anche detto metodo a portate costanti, il metodo delle sole piogge si basa sulle seguenti assunzioni, accettabili se la superficie scolante è omogenea e di piccola estensione:

- invaso in linea;
- pioggia con intensità costante, la cui altezza totale è espressa con la curva di probabilità pluviometrica monomia

$$h = a KT * D^n \quad [mm] \quad (4.1.4)$$

Dove:

a [mm/oraⁿ] ed n sono i parametri della curva di probabilità pluviometrica per il tempo di ritorno scelto e $a = a_1 * KT$

D [ore] è la durata della precipitazione

- coefficiente di deflusso costante;
- onda entrante nell'invaso costante, pari alla portata di deflusso costante;
- portata in uscita dall'invaso costante commisurata al limite prefissato in aderenza alle indicazioni sulle portate massime ammissibili.

Il volume complessivamente entrante nell'invaso è pari a:

$$W_e = 10 S \varphi a D^n \quad [m^3] \quad (4.1.5)$$

Dove:

S [ha] è la superficie scolante del bacino afferente all'invaso;

φ è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino.

Il prodotto $S\varphi$, è la superficie impermeabile equivalente mentre $a D^n$ è l'altezza totale dell'evento di precipitazione di progetto espressa in mm.

Si ipotizza che la portata uscente costante sia pari al valore massimo che si avrebbe a valle in assenza della vasca di laminazione; pertanto, il volume complessivamente uscito nel corso della durata dell'evento è pari a:

$$W_u = 3600 Q_{u,lim} D \quad [m^3] \quad (4.1.6)$$

$$Q_{u,lim} = 10^{-3} S u_{lim} \quad \left[\frac{m^3}{s}\right] \quad (4.1.7)$$

Dove:

u_{lim} è la portata specifica limite ammissibile allo scarico, di cui all'articolo 8 comma 1 del regolamento lombardo.

Alla fine dell'evento meteorologico resta all'interno dell'invaso la differenza fra i volumi totali entranti e uscenti:

$$\Delta W = W_e - W_u = 10 S \varphi a D^n - 3600 Q_{u,lim} D \quad [m^3] \quad (4.1.8)$$

Il valore massimo di questa differenza, W_0 , determina la capacità che deve essere assegnata all'invaso e si ottiene ponendo uguale a zero la derivata prima di 4.1.8 rispetto alla durata D .

$$\Delta W' = n 10 S \varphi a D^{n-1} - 3600 Q_{u,lim} = 0 \quad (4.1.9)$$

Da cui si ricava la durata critica D_w :

$$D_w = \left(\frac{3600 Q_{u,lim}}{10 S \varphi a n}\right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (4.1.10)$$

E quindi il volume W_0 dell'invaso:

$$W_0 = 10 S \varphi a D_w^n - 3600 Q_{u,lim} D_w \quad [m^3] \quad (4.1.11)$$

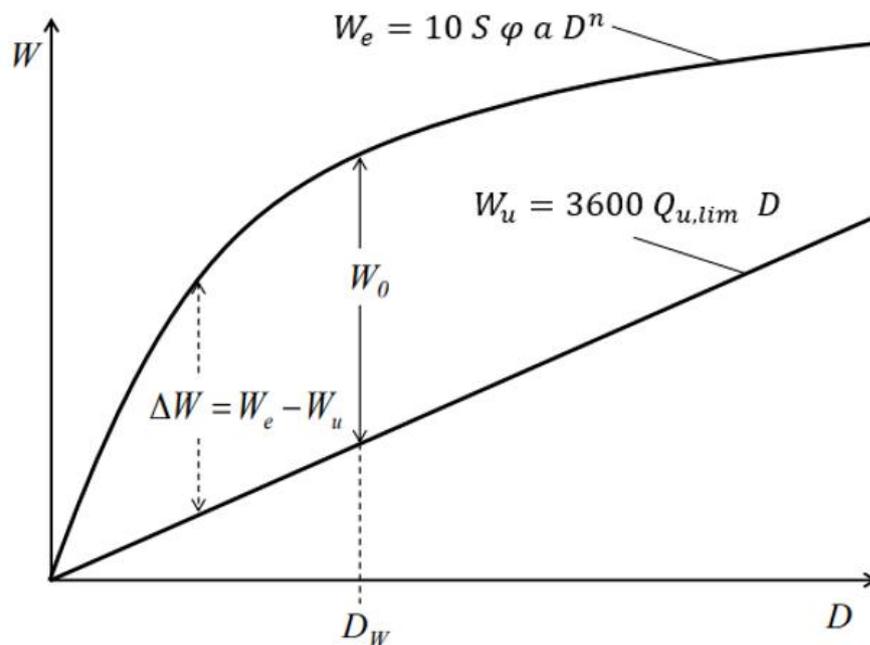


Figura 5.3. Individuazione con il metodo delle sole piogge dell'evento critico D_W e del corrispondente volume critico W_0 di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invasato (Fonte: Bollettino Ufficiale Regione Lombardia, 2017).

5.1.2 Infiltrazione

L'infiltrazione $f(t)$ è definita come la portata per unità di superficie che all'istante t si infila nel sottosuolo ed è misurata, generalmente, in mm/ora in analogia all'intensità di pioggia.

Una classe di modelli di infiltrazione particolarmente importante è quella dei cosiddetti modelli di Horton che individua una legge decrescente di tipo esponenziale per rappresentare l'andamento nel tempo dell'infiltrazione $f(t)$. Secondo tale legge esponenziale, la capacità di infiltrazione del suolo decresce da un valore massimo iniziale f_0 , legato alle caratteristiche del suolo, ad un valore minimo asintotico f_c , che eguaglia la conduttività idraulica a saturazione K_s , legata alle caratteristiche di porosità del terreno, alla stratigrafia del sottosuolo, alla presenza e distanza dalla falda.

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (4.1.12)$$

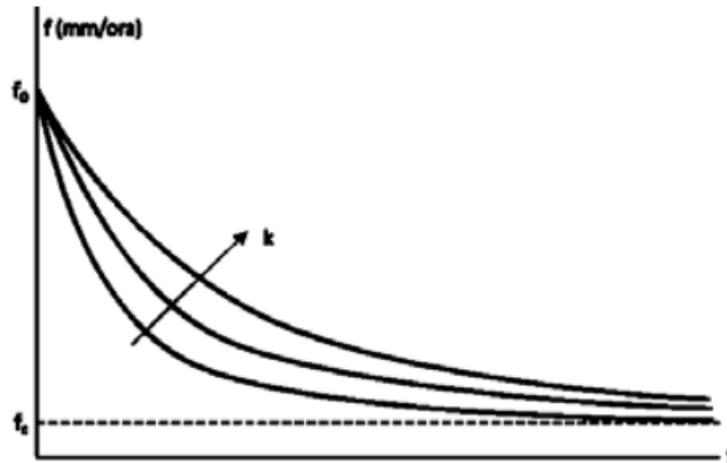


Figura 5.4. Legge di Horton. Andamenti della capacità di infiltrazione in presenza di sovrabbondanza di acqua sulla superficie disperdente (Fonte: Bollettino Ufficiale Regione Lombardia, 2017).

La rapidità con cui decade la funzione è misurata dal parametro k , e indica la rapidità con cui l'infiltrazione tende al valore asintotico corrispondente alla saturazione. Durante il processo di infiltrazione il suolo è soggetto ad un progressivo fenomeno di saturazione che ne limita progressivamente l'infiltrazione. È bene sottolineare che l'infiltrazione effettiva segue l'andamento esponenziale quando l'intensità di pioggia è maggiore della portata di infiltrazione stessa. In tal caso la funzione (4.1.12) rappresenta la capacità di infiltrazione essendo commisurata al valore massimo che l'infiltrazione può raggiungere al generico istante t .

Se, invece, l'adacquamento è minore della capacità di infiltrazione, cioè il suolo presenta nell'istante considerato una capacità di infiltrazione maggiore della portata idrica in arrivo sulla superficie, l'infiltrazione non può che assorbire la portata d'acqua disponibile mantenendosi quindi ad un valore minore della capacità di infiltrazione.

Il modello di Horton consente di valutare l'infiltrazione della pioggia nel suolo e, per differenza con la precipitazione totale, di valutare il deflusso superficiale. Tale modello rappresenta adeguatamente il reale processo fisico quando viene utilizzato per valutare l'infiltrazione diffusa, come per le pavimentazioni permeabili. Quando invece viene applicato al dimensionamento delle opere con infiltrazione

concentrata, ad esempio le cunette e le trincee d'infiltrazione, i pozzi disperdenti ed i bacini d'infiltrazione, nelle quali l'infiltrazione avviene attraverso una superficie sulla quale insiste un certo tirante idrico, il modello di Horton risulta eccessivamente cautelativo e porta a sovradimensionare le opere di infiltrazione .

Per quanto riguarda i valori da attribuire ai parametri della legge di Horton, f_0 , f_c , e k , il Soil Conservation Service (SCS) (1956), propone le seguenti quattro classi di suoli con copertura erbosa:

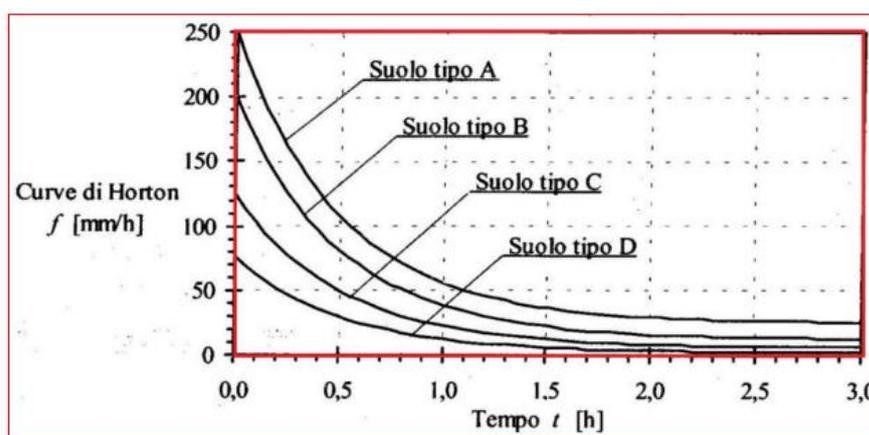


Figura 5.5 Diagramma dell'infiltrazione potenziale, per i vari Gruppi SCS (Fonte: STIMA DEL DEFLUSSO SUPERFICIALE TRAMITE IL MODELLO DI R. E. HORTON, Luigi Fanizzi - ECOACQUE ®)

- Classe A: Scarsa potenzialità di deflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
- Classe B: Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
- Classe C: Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
- Classe D: Potenzialità di deflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Classe suolo	f₀ [mm/ora]	f_c [mm/ora]	k [ore⁻¹]
A	250	25,4	2
B	200	12,7	2
C	125	6,3	2
D	76	2,5	2

Tabella 5.1 Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956] (Fonte: Bollettino Ufficiale Regione Lombardia, 2017).

Mentre l'American Society of Civil Engineers (1949) fornisce dei valori più prudentiali:

Tipo di suolo	f₀ [mm/ora]	f_c [mm/ora]	k [ore⁻¹]
Suoli molto permeabili	117	17	5,34
Suoli mediamente permeabili	76	13	4,14
Suoli scarsamente permeabili	76	6	4,14

Tabella 5.2. Valori dei parametri d'infiltrazione di Horton consigliati dal manuale ASCE (da Artina et. al., 1997) (Fonte: QUADERNI CSEI Catania, INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA)

I valori di f_c riportati nelle tabelle sono notevolmente più bassi rispetto ai valori delle intensità di pioggia che si possono raggiungere durante i picchi degli eventi meteorici intensi, i quali possono toccare valori anche maggiori di 200 mm/ora. È evidente quindi che le prestazioni dei terreni di origine naturale sono, generalmente, inadeguate in termini di capacità di infiltrazione delle punte massime di pioggia. Pertanto, tutti i sistemi di devono essere adeguatamente e attentamente progettati, in funzione delle caratteristiche proprie dei suoli esistenti e secondo le indicazioni di letteratura, in termini di progettazione degli opportuni strati filtranti. Ciò implica che l'infiltrazione debba essere accompagnata da opere di laminazione che consentano di accumulare temporaneamente le portate pluviali degli eventi intensi che non riescono ad essere scaricate per infiltrazione.

Vi sono inoltre altri fattori che possono limitare anche notevolmente, o addirittura azzerare nel tempo, la capacità limite di infiltrazione del suolo f_c , come la presenza di una falda o di strati impermeabili a debole profondità e la progressiva riduzione della capacità di infiltrazione causata dall'occlusione indotta dalle sostanze solide trasportate dalle acque meteoriche e dallo sviluppo di biomasse adese alle particelle

del terreno, e il ripristino della primitiva capacità di infiltrazione può risultare molto difficile.

È inoltre da aggiungere che l'infiltrazione di acque meteoriche contenenti carichi inquinanti è da considerarsi inaccettabile poiché, l'inquinamento del sottosuolo o di un acquifero sotterraneo può costituire un danno ambientale definitivo o che comunque si ripercuote per molti decenni in futuro. Se quindi il territorio oggetto di possibile infiltrazione è caratterizzato da attività in grado di produrre rilasci sulle superfici pavimentate di sostanze tossiche, l'infiltrazione non dovrebbe essere adottata, a meno di installare anche sistemi di depurazione a monte delle strutture di infiltrazione. C'è da evidenziare però che lo strato filtrante della struttura adibita all'infiltrazione, così come anche lo strato superficiale di terreno in caso di aree verdi filtranti, è in grado di trattenere una quantità significativa di inquinanti, quindi, è importante che da un lato si esalti al massimo questo fenomeno e dall'altro si rinnovi periodicamente lo strato filtrante per minimizzare il rischio che gli inquinanti trattenuti siano mobilizzati e quindi rilasciati in falda.

5.1.3 Recupero

I sistemi per il recupero delle acque meteoriche consentono la raccolta dei deflussi meteorici per l'utilizzo sul posto. Il deflusso deve provenire da acque meteoriche precipitate localmente su tetti e altre aree impermeabili. Tale deflusso viene immagazzinato, trattato e quindi utilizzato per approvvigionamento idrico per gli usi compatibili in ambito domestico, o anche commerciale e industriale e per scopi ricreativi. Laddove il deflusso provenga da aree carrabili, l'eventuale presenza di sostanze inquinanti limita le possibilità di uso delle acque raccolte, e gli usi compatibili restano condizionati dal tipo di inquinanti presenti in tali acque e dal loro trattamento. Generalmente, le acque raccolte vengono utilizzate escludendo il consumo umano, poiché ciò richiede specifici trattamenti e un monitoraggio per eliminare i rischi di contaminazione, ma possono essere utilizzate per il risciacquo dei WC, come riserva antincendio, e usi esterni come il lavaggio delle auto e di cortili o piazzali e l'irrigazione giardini o altri spazi a verde.

Il documento principale che fornisce indicazioni sulla progettazione dei sistemi di recupero in Italia è la norma UNI/TS 11445 "Impianti per la raccolta e utilizzo

dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano – progettazione, installazione e manutenzione”. La norma prevede che il dimensionamento del serbatoio possa avvenire tramite una procedura semplificata o tramite una procedura di dettaglio basata sul bilancio idrico del serbatoio a una scala giornaliera utilizzando serie storiche di precipitazione di opportuna lunghezza.

5.2. Opere per conseguire l'invarianza idraulica e/o idrologica

Si possono individuare due approcci per le opere finalizzate a conseguire l'invarianza idraulica o idrologica e, più in generale, per mitigare gli effetti delle piene in ambito urbano: l'approccio tradizionale e l'approccio sostenibile.

Il primo prevede interventi per lo più basati su strutture di laminazione e consiste nella realizzazione di nuove e più capaci canalizzazioni fognarie e infrastrutture idrauliche connesse, normalmente concentrate nelle porzioni di valle del bacino oggetto di trasformazione, e a monte del recettore con capacità di portata insufficiente e quindi possibile causa di esondazioni ed allagamenti.

Il secondo privilegia invece interventi di tipo distribuito sull'intero bacino, che possano includere anche le porzioni più a monte e periferiche del bacino per intervenire già nelle fasi iniziali del processo di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi. Tale approccio viene attuato sfruttando i processi di ritenzione e/o recupero, anche abbinati alla laminazione. Questo tipo di interventi vengono definiti dalla letteratura anglosassone Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), ovvero Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibile, poiché i includono un insieme di tecnologie e tecniche per il controllo dei deflussi urbani più sostenibili rispetto all'approccio tradizionale. L'idea alla base dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile è cercare di replicare i modelli di drenaggio dei sistemi naturali utilizzando soluzioni economiche a basso impatto ambientale per drenare le acque superficiali mediante un'operazione di raccolta e pulizia prima di consentirne il lento rilascio nell'ambiente, ad esempio nei corsi d'acqua o nelle falde acquifere. I SuDS ideali dovrebbero essere facili da gestire, dovrebbero richiedere poca o nessuna immissione di energia, dovrebbero essere resistenti all'uso e inserirsi gradevolmente nell'ambiente, con gradevoli effetti paesaggistici ed anche con usi ricreativi.

5.2.1. Opere per la laminazione

Le strutture di laminazione sono le opere da più tempo utilizzate per ridurre le portate di piena. Infatti, la laminazione è il processo più affidabile fra quelli utilizzabili per ridurre i picchi delle piene, e quello per il quale si dispone dei modelli matematici più attendibili.

Nel seguito verranno descritte le principali opere per la laminazione.

Prime fra tutte bisogna citare le *vasche di laminazione*, anche dette vasche volano, ovvero dei serbatoi la cui funzione è quella di regolare la portata di pioggia scaricata nel corpo recettore a seguito di un evento meteorico.

Tali vasche possono essere realizzate attraverso l'impiego di tecniche e materiali differenti. Le pareti del serbatoio possono essere impermeabili realizzate in calcestruzzo, muratura, materiali metallici o plastici, oppure permeabili con rivestimenti in materassi reno, geocelle, geostuoie o geotessili. Esistono inoltre delle vasche prive di rivestimento con fondo e pareti in terra, sulle quali è impiantata una vegetazione protettiva mediante idrosemina o altre tecniche.

Le vasche con pareti impermeabili possono essere di diverso tipo:

- serbatoi formati da più vasche prefabbricate di dimensioni e forme differenti in funzione del volume, dell'allocazione, e dell'eventuale utilizzo delle acque.
- tubazioni di grande diametro interrate, affiancate e collegate fra loro, in modo da costituire complessivamente il volume di invaso richiesto.

Le vasche con pareti permeabili verdi sfruttano sia il processo di laminazione che quello di infiltrazione e per questo richiedono un volume d'invaso inferiore a quelle con pareti impermeabili. Per la loro realizzazione si possono sfruttare depressioni naturali presenti nel terreno o, in ambito urbano, le rotatorie stradali, in questo caso la collocazione è anche appropriata perché quel verde non è frequentato da persone e non è nemmeno computabile come verde pubblico negli strumenti urbanistici.

Un altro metodo per conseguire l'invarianza idraulica attraverso il processo di laminazione consiste nel sovradimensionamento delle tubazioni della rete fognaria e nell'inserimento di sezioni ristrette che costringano le acque ad accumularsi

temporaneamente nella sezione sovradimensionata, oppure nella costruzione di una rete fognaria con tubazioni che seguono percorsi più lunghi del necessario e con minore pendenza.

I sistemi a tetto blu, infine, sono concepiti con l'obiettivo di consentire una laminazione alla sorgente a rilascio ritardato delle acque piovane precipitate sul tetto.

Alcune grandi città negli USA dispongono di linee guida per il controllo delle acque piovane urbane che includono anche protocolli di progettazione per le infrastrutture a tetto blu. La maggior parte di queste regole si basa sui risultati di una campagna di esperimenti condotti in sistemi pilota installati sui tetti di alcuni edifici della città di New York. I sistemi pilota utilizzati hanno riguardato diverse tecnologie basate sull'uso di limitatori di portata montati all'imbocco dei pluviali, sbarramenti metallici posizionati sulla copertura in maniera concentrica agli scarichi, nonché l'uso di recipienti modulari per l'invaso delle acque meteoriche e il loro lento rilascio a valle.

5.2.2. Opere per l'infiltrazione

Esistono diverse tipologie di soluzioni SUDS che possono essere utilizzate per facilitare l'infiltrazione nei suoli delle acque meteoriche. Tra le soluzioni più diffuse vi sono le pavimentazioni permeabili, le trincee di infiltrazione, i pozzi disperdenti, i bacini di infiltrazione; ma anche i sistemi di bio-ritenzione che affiancano all'infiltrazione il processo di evapotraspirazione, e i tetti verdi che affidano la loro funzione principalmente all'evapotraspirazione, oltre che alla laminazione. Queste opere possono essere progettate con l'obiettivo di ridurre il deflusso superficiale per raggiungere l'invarianza idraulica e idrologica in ambito urbano.

Le *pavimentazioni permeabili*, oltre a garantire una durabilità maggiore rispetto ad altre tipologie di pavimentazioni, aiutano a ristabilire un equilibrio idrologico naturale e mitigano i fenomeni di ruscellamento superficiale intrappolando e rilasciando lentamente le precipitazioni nel terreno, aumentando l'infiltrazione e i processi di ricarica delle falde, inoltre, creano un microclima favorevole in quanto accumulano meno calore durante l'esposizione al sole e conseguentemente irradiano meno calore al tramonto.

Queste tipologie di pavimentazione sono particolarmente indicate per piazzali, aree pedonali, piste pedonali e vengono utilizzate anche per parcheggi, strade carrabili poco trafficate, piazzali carrabili e aree di sosta, ma alcune normative vietano questi usi poiché, tra i principali svantaggi di questo tipo di opera, oltre al rischio di intasamento dovuto alle particelle solide convogliate dalle acque di dilavamento, vi è il rischio di inquinamento del suolo o della falda a causa dell'accumulo di materiali inquinanti.

Le pavimentazioni permeabili possono essere di vario tipo e si distinguono in:

- Pavimentazioni discontinue disperdenti: costituite da elementi modulari, che possono essere lastre o blocchi realizzati in calcestruzzo poroso, pietra o legno.
- Pavimentazioni continue porose: realizzate con conglomerati porosi a base di asfalto o cemento.
- Prati armati: tappeti erbosi rinforzati con griglie in materiale plastico o calcestruzzo che garantiscono la capacità di resistere ai carichi esercitati dal passaggio di persone e veicoli.



Figura 5.6 Esempi di pavimentazioni permeabili: discontinue disperdenti, continue porose, prati armati (Fonte: Ferrari Bk)

Le *trincee di infiltrazione* sono strutture a prevalente sviluppo lineare scavate nel terreno e riempite con materiale drenante di opportuna pezzatura e ad alta porosità. Sono normalmente realizzate in prossimità di punti depressi rispetto alla superficie del bacino da drenare in modo da poter invasare temporaneamente i deflussi

collettati per poi consentirne la graduale infiltrazione nel terreno circostante attraverso le superfici permeabili laterali e il fondo. Sul fondo della trincea viene spesso inserito, un tubo di drenaggio perforato che garantisca un'uniforme distribuzione dell'acqua per tutta la lunghezza. Esse possono essere, eventualmente, posizionate sotto il piano campagna e ricoperte con vegetazione o pavimentazioni drenanti. Sulla parte alta della trincea, inoltre, può essere installato un dispositivo di intercettazione dei sedimenti fini e uno scarico di troppo pieno munito di pozzetto piezometrico per il monitoraggio del corretto funzionamento dell'opera.

Raccogliono il run-off proveniente dalle superfici circostanti, aiutano a regolarne la portata, ne consentono l'infiltrazione nel sottosuolo e lo convogliano verso la rete di drenaggio principale o ad altre strutture di gestione delle acque meteoriche. Il principale svantaggio sta nel fatto che perdono efficienza nel tempo per via dell'intasamento e hanno alti costi di costruzione e manutenzione.

I pozzi disperdenti sono strutture con la stessa geometria dei pozzi adibiti al prelievo dal sottosuolo ma con funzione inversa, ovvero realizzati allo scopo di smaltire le portate di piena nel sottosuolo, entro limiti prefissati, dipendenti dalla conducibilità idraulica del terreno.

Solitamente raccolgono le acque di precipitazione provenienti dai pluviali dei tetti degli edifici e non sempre è consentito utilizzarli per raccogliere le acque defluenti da parcheggi o strade carrabili per via della potenziale concentrazione di inquinanti che, se dispersi in aree ristrette, possono comportare maggiore rischio di contaminazione dei suoli. I pozzi sono normalmente realizzati in calcestruzzo, laterizi o in materiali plastici e circondati da uno strato di pietrame o ghiaia.

I principali svantaggi, anche in questo caso, sono il rischio di intasamento e di contaminazione del suolo, pertanto, è bene prevedere l'inserimento di dispositivi per l'intercettazione dei sedimenti e per la separazione e raccolta degli oli e dei grassi contenuti nelle acque provenienti da superfici carrabili.

I *bacini di infiltrazione* svolgono funzioni di laminazione e di infiltrazione, sono quindi finalizzati all'accumulo del deflusso superficiale e alla successiva infiltrazione. Sono bacini artificiali di modesta profondità con fondo normalmente in lieve pendenza ricoperto da un tappeto erboso, al fine sia di stabilizzare le superfici che di esercitare l'azione filtrante per trattenere le sostanze inquinanti

presenti nelle acque di deflusso. Dovendo mantenere uno specchio d'acqua con un livello minimo costante, sono poco adatti ad aree con basse precipitazioni o terreno troppo permeabile mentre sono ottimi per aree con precipitazioni frequenti. Quando sono costruiti come vasche, adatte ad aree urbane ad alta densità, la pendenza delle sponde e la profondità del bacino devono essere valutate in base alle leggi sulla sicurezza. Un vantaggio di tali opere è la possibilità di realizzare un inserimento gradevole nell'ambiente, consentendo usi ricreativi e conseguenti benefici paesaggistici.

Lo svantaggio legato al rischio di inquinamento della falda, legato alla realizzazione dell'opera a servizio di bacini carrabili o prossimi a siti industriali, può essere mitigato con l'inserimento di un impianto di trattamento delle acque di prima pioggia. Se i bacini non sono preceduti da una vasca di sedimentazione, si presenta il rischio di intasamento, quindi occorre rimuovere periodicamente il primo strato di suolo del fondo nel quale si concentra il deposito degli eventuali inquinanti e provvedere alla sua decontaminazione.

Le *fasce filtranti vegetate* sono aree verdi in leggera pendenza, inerbite o coperte con vegetazione fitta, che ricevono le acque meteoriche provenienti dalle superfici circostanti, ne migliorano la qualità attraverso processi di sedimentazione e filtrazione e ne consentono l'infiltrazione nel terreno, per poi convogliarle verso altre soluzioni di gestione delle acque. Il run-off attraversa la superficie delle fasce filtro in modo uniforme e a bassa velocità, con conseguente riduzione del contenuto di sedimenti, materia organica e metalli. Esse possono quindi essere utilizzate come aree di pretrattamento a monte di canali vegetati, rain gardens o trincee drenanti o come sistemi di trattamento delle acque indipendenti. Laddove l'infiltrazione è possibile, le portate filtranti attraverso le fasce possono contribuire efficacemente alla diminuzione dei deflussi superficiali.

Le *cunette filtranti*, canali aperti ampi e poco profondi con vegetazione, progettati per convogliare, trattare e limitare il deflusso delle acque superficiali, vengono spesso utilizzate per il drenaggio di strade, sentieri o parcheggi, dove risulti conveniente convogliare deflussi distribuiti, o come mezzo per convogliare deflussi superficiali. Esse possono sostituire le convenzionali cunette di drenaggio delle

acque meteoriche ai lati delle strade e, in casi particolari, anche le tubazioni di fognatura capillari.

I tetti verdi sono superfici vegetate installate su soletta che intercettano e trattengono le acque meteoriche, riducendo il volume e la portata di deflusso superficiale generato dalle coperture degli edifici, ritardandone l'ingresso nel sistema di drenaggio e in fognatura. Essi utilizzano prevalentemente i processi di infiltrazione e fanno parte, quindi, delle tecniche per la gestione sostenibile dei flussi urbani utilizzabili per conseguire l'invarianza idraulica o idrologica. Essi hanno numerosi vantaggi, in quanto consentono di ridurre il carico idraulico del sistema di drenaggio urbano, migliorano le prestazioni termiche e acustiche degli edifici e contribuiscono alla riduzione degli inquinanti atmosferici ed in particolare delle polveri sottili.

I tetti verdi possono distinguersi in estensivi e intensivi. I primi sono realizzabili sia su coperture piate che in pendenza, tramite la semina di specie erbose adatte al clima locale ed infestanti. Richiedono uno strato di terriccio di modesto spessore e una modestissima manutenzione.

Per i secondi invece vengono utilizzate delle piante ornamentali che possono arrivare ad avere apparati radicali importanti, richiedendo quindi uno strato di terriccio di maggiore spessore. Si creano, in questo modo, dei giardini pensili che, da un lato, forniscono un uso ricreativo e offrono notevoli benefici estetici, ma, dall'altro, richiedono una manutenzione molto più attenta e costosa con la necessità di installare anche impianti di irrigazione.

I tetti verdi insieme a quelli blu sono spesso denominati "sistemi a tetto", ma i processi utilizzati sono differenti: i tetti blu sfruttano la sola laminazione, mentre quelli verdi sfruttano, congiuntamente, i processi di infiltrazione, laminazione ed evapotraspirazione.

La struttura di un tetto verde prevede di norma più strati. Partendo dal più profondo al più superficiale si possono avere:

- strato di protezione: poggiato direttamente sopra la copertura dell'edificio, previene la crescita delle radici verso la barriera impermeabile, proteggendola;

- strato impermeabile: protegge la soletta dall'acqua;
- strato drenante: drena l'acqua in eccesso e può essere progettato per trattenere anche un determinato volume d'acqua, fungendo da riserva idrica sfruttabile dalla vegetazione. È costituito da argilla espansa, ghiaia, o pannelli perforati, per allontanare le acque meteoriche o di irrigazione in eccesso;
- strato filtrante: costituito da tessuti resistenti, per proteggere lo strato di drenaggio dai sedimenti;
- substrato: costituito dal terreno vegetale, consente la coltivazione delle piante ed è leggero e con ottima capacità di ritenzione idrica;

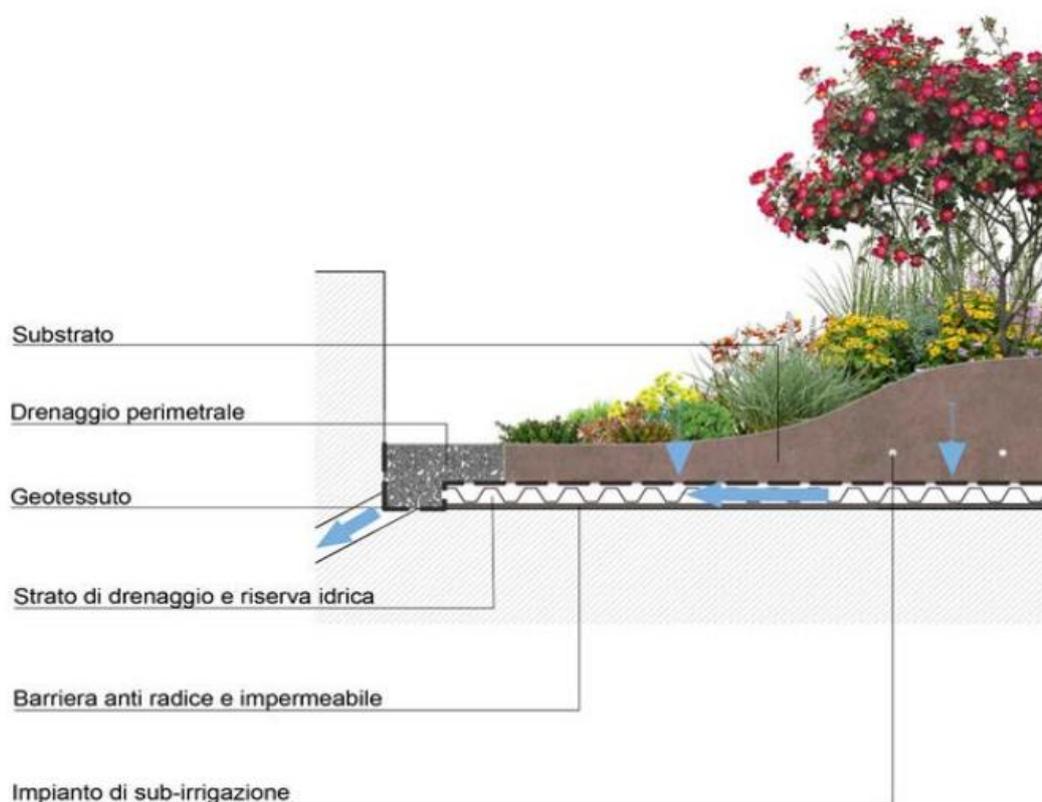


Figura 5.7 Schema costruttivo di un tetto verde (Fonte: Raffaele Bonsignori, *Sustainable Drainage Systems Soluzioni progettuali tipo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche*)

5.2.3. Opere per il recupero

Il recupero dell'acqua piovana si pone come una soluzione alla crisi idrica sempre più probabile e imminente in gran parte del nostro pianeta. I sistemi per il recupero

delle acque meteoriche dalle coperture sono relativamente poco costosi, efficienti e facilmente integrabili alla costruzione esistente, l'unico limite è imposto dalla capacità del serbatoio di stoccaggio e dalla superficie di raccolta, mentre, più complesso può essere il recupero delle acque defluenti da superfici al livello del suolo o comunque prossime al suolo.

Per quanto concerne il recupero dai tetti, i pluviali da essi discendenti vanno canalizzati su uno o più serbatoi nei quali attinge una pompa per prelevare l'acqua e immetterla nella rete di distribuzione destinata solo agli usi compatibili, che infatti deve essere ben riconoscibile e separata dalla rete destinata al consumo umano.

È importante interporre fra i pluviali ed il serbatoio un dispositivo deviatore, per l'allontanamento delle acque di prima pioggia che, dilavando il tetto, potrebbero trascinare nel serbatoio polveri, sedimenti, foglie e sostanze inquinanti.

Le acque così recuperate possono essere destinate a diversi utilizzi, tra cui gli scarichi WC, le pulizie domestiche, la lavatrice e l'irrigazione del giardino, riducendo di molto anche il consumo di acqua potabile.

Sono numerosi i casi nel mondo in cui si sono impiegati sistemi di drenaggio urbano sostenibile ed è evidente come, oltre a svolgere le funzioni idrologiche per cui sono stati concepiti, siano di grande impatto visivo e si inseriscano armoniosamente nell'ambiente costruito.

Di seguito alcuni esempi di SUDS forniti dall'ing. Anacleto Rizzo, socio di IRIDRA, società di ingegneria specializzata nell'analisi, progettazione e assistenza alla realizzazione di *nature-based solutions* per la gestione ecosostenibile delle risorse idriche.



Figura 5.8. Vasche d'acqua per recupero acque piovane presso il centro ricerche Kerakoll (Sassuolo - MO), progettata da IRIDRA, in collaborazione con BIOS-IS S.r.l.



Figura 5.8 Sistema di fitodepurazione per sfioro fognario realizzato a Gorla Maggiore (VA), progettato da IRIDRA. Intervento multiobiettivo che integra diversi servizi ecosistemici (ecosystem services) nel nuovo "Parco dell'Acqua".



Figura 5.9. L'Eco-boulevard e l'Arena dell'Acqua per il quartiere Lazzaretto di Bologna. Proposte progettuali di IRIDRA SRL per l'adattamento ai Cambiamenti Climatici del comune di Bologna nell'ambito dell'assistenza tecnica fornita ad Atkins per lo studio "Climate Change Adaptation and Resilient Cities" (finanziato dalla European Investment Bank -EIB). Proposte progettuali inserite nelle "Linee guida sull'adozione di tecniche di drenaggio urbano sostenibile per una città più resiliente ai cambiamenti climatici", una delle azioni del Piano di Adattamento al cambiamento climatico di Bologna, sviluppato nell'ambito del progetto Life BlueAp.

6. Caso studio

Anche il Piemonte, come il resto dell'Italia, è fortemente soggetto ai fenomeni descritti finora. Basti pensare che, secondo il report SNPA 2020/21, è una delle regioni che ha riscontrato gli incrementi maggiori di consumo di suolo netto in ettari nell'ultimo anno esaminato e, a livello comunale, Torino si colloca al terzo posto per ettari di superficie consumata, preceduta solamente da Roma e Milano.

Per tale ragione si è deciso di analizzare gli impatti che l'incessante processo di impermeabilizzazione sta avendo sul territorio, concentrandosi, oltre che sulla città di Torino, anche sui 53 comuni della sua prima e seconda cintura. Prendendo in esame l'altezza di pioggia giornaliera per un lasso temporale di sei anni, dal 2017 al 2022, si è svolta un'analisi semplificata delle ricariche piovane potenziali annue in funzione del tipo di suolo, rapportate, in seguito, ai prelievi di acqua potenziali annui, e del potenziale deflusso superficiale.

6.1. Deflusso superficiale

Con deflusso superficiale si intende quel volume d'acqua che scorre sulla superficie del suolo prima di raggiungere il recettore finale attraverso il sistema di drenaggio urbano, ovvero quella portata di acqua piovana che va gestita e smaltita in modo opportuno al fine di evitare allagamenti ed esondazioni.

Per ciascun comune di nostro interesse questo valore è stato calcolato come segue:

$$q = \frac{(\sum_{j=1}^N A_j \varphi_j)}{A_{tot}} i \quad \left[\frac{l}{sha} \right] \quad (6.1.1)$$

Dove:

A_j è la superficie del tipo di suolo j-esimo

φ_j è il coefficiente di deflusso associato al j-esimo tipo di suolo

A_{tot} è la superficie totale del comune in esame

i è l'intensità di pioggia

$\frac{(\sum_{j=1}^N A_j \varphi_j)}{A_{tot}}$ rappresenta il coefficiente di deflusso medio dell'intero comune

Per ottenere l'area di ciascun tipo di suolo per ogni comune in esame si è utilizzato il software QGIS, un software GIS (Geographic Information System), che permette di analizzare ed editare dati spaziali e di generare cartografia.

QGIS permette di far confluire dati provenienti da diverse fonti in un unico progetto di analisi territoriale. I dati, divisi in layers, possono essere analizzati e da essi viene creata l'immagine mappa con il graficismo che può essere personalizzato dall'utente ed eventualmente rispondere alle analisi tipiche del GIS - gradazione di colori, sfumatura di colore, valore unico. La mappa può essere arricchita da icone e da etichette dipendenti dagli attributi degli elementi cartografici.

Di seguito i layers che sono stati importati in Qgis per l'analisi oggetto di studio:

Nome Classe	Descrizione	Tipo
AATT	Area attrezzata del suolo	Poligono
AC_PED	Area di circolazione pedonale	Poligono
AC_VEI	Area di circolazione veicolare	Poligono
AR_VRD	Area Verde	Poligono
ATTR_SP	Attrezzatura sportiva	Poligono
BOSCO	Bosco	Poligono
CL_AGR	Coltura agricola	Poligono
CV_DIS	Area adibita a discarica di rifiuti di varia natura	Poligono
EDI_MIN	Edificio minore	Poligono
EDIFC	Edificio	Poligono
MAN_TR	Manufatto d' infrastruttura di trasporto	Poligono
MN_IND	Manufatto industriale	Poligono
PS_INC	Pascolo o incolto	Poligono

Tabella 6.1. Layer importati nel software QGIS

COMUNE	Ac_Vei strade	Ar_vrd	Bosco	Edific	Aatt superfici pavimentate	Cl_agr terreno agricolo	ac_ped area circolazione pedonale	edi_min	mn_ind manifattorie	atr_sp attrezzature sportiva	cv_dis discarica	ps_inc erbose	mn_ind	mn_tr Aeroporto	Superficie totale	qmedio
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	km ²					
Airasca	333488	718632	1331220	413181	639988	11607100						325572			15,4	0,42
Alpignano	435662	1715320	1477310	827365	1402800	5149150						210747			11,4	0,48
Avigliana	826966	2969320	9051790	977624	1428460	4863190						990828			22,6	0,39
Baldissero	260886	1475300	8381290	267817	211119	4274130						321634			15,2	0,31
Beinasco	1098750	657012	173644	912057	884021	1553520	164515	162880	105810	92085,6	84577,5	614738			6,5	0,65
Borgaro	454940	774420	1048190	797345	1297560	5386100				27501,1		658617			10,7	0,49
Brandizzo	402064	740280	577514	499462	950896	2122290				23997,9	37565,3	351571			6,0	0,53
Bruino	274724	1022740	441805	669595	1115960	1893890						60732,5			5,5	0,56
Buttigliera	239044	1103710	2598180	497739	502046	2666580					56325,8	183228			7,9	0,41
Cambiano	291633	891678	1317050	574763	1133000	9121850						190704			13,5	0,45
Candiolo	289311	594360	1694670	429848	914225	7572150						143974			11,6	0,44
Carignano	621030	1198530	2969930	860320	1485530	39526400					126468	356986			49,1	0,42
Carmagnola	1696920	4277820	3267100	2426140	4669390	74610000						740596			91,7	0,44
Caselle	200509	805983	6464720	306503	365399	4725510						820991			13,7	0,34
Caselle	617738	1577310	2081150	928159	1660730	14941400					61775,9	324970		398880	22,9	0,46
Castiglione	343858	1844260	6500610	426373	689261	3004890						431020	225218		13,8	0,36
Chieri	265396	4569360	2241390	2043030	3382530	38856100						804425			52,0	0,44
Chivasso	1479640	2630070	5248400	1776520	3859460	29484200					333581	2259730			48,9	0,45
Cirè	543094	2145360	1877580	1270650	1924030	9039940						143762			16,9	0,48
Collegno	2015550	1369130	68137,2	1623790	3004440	7140360	429176	246308		111218	408913	133048			16,8	0,61
Druento	336005	2729810	9736000	587836	1117950	11676200						451521			26,6	0,36
Gassino	361777	1739310	9768900	454674	588906	6054180						476850			19,4	0,33
Grugliasco	864247	2575220	109961	1934400	3035680	3928630						253480			12,7	0,61
La Loggia	383770	879135	928420	702751	1019650	6262930	10030,2			16077,7	486871	150993		27334,7	12,4	0,48
Leini	713094	2337410	1567870	1824010	3123170	20823600						499689			30,9	0,47
Mappano	265396	591507	563612	593132	1157170	6082160						190251			9,4	0,49
Moncalieri	2340100	7806160	6873160	3289420	4976610	18160600						937548			44,4	0,48
Nichelino	2017160	2362140	3144450	1613450	1357070	7987550	233648			86984,8		682396		122389	19,7	0,50
None	359034	1019560	1770610	876227	1691630	18220300						139855			24,1	0,44
Orbassano	1023440	2299350	2113240	1402630	3230010	10380400						971114			21,4	0,50
Pecetto	248977	1838760	3484210	289109	245153	2883350						43409,2			9,0	0,37
Pianezza	595830	2001470	315168	986981	1956770	9661700						225055			15,7	0,50
Pino	477073	3077750	10721200	489360	370735	6175980						284681			21,6	0,33
Piobesi	260709	546280	1323890	520428	976968	15568300						95282,9			19,3	0,43
Piossasco	628281	2214030	15779300	838340	1431060	17793400						794972			39,5	0,35
Porino	924471	2190130	4339020	1250770	2103750	62295400						527986			73,6	0,42
Riva	501244	1355050	216906	569996	979227	31125600						274426			35,0	0,43
Rivallta	825606	2439740	3734340	1806420	3192930	12572700						700369			25,3	0,48
Rivoli	2727420	3524770	4497770	2414230	2135250	12572700						975483			28,8	0,49
Robassomero	229095	999687	1948730	410161	653249	3801560						127037			8,2	0,43
Rosta	337371	967709	3160240	407494	600874	3282940						119168			8,9	0,40
San Francesco	269842	1127490	2326150	425754	598762	9309740						423359			14,5	0,41
San Maurizio	414444	1572560	993469	893133	1494550	10852500					111625	137053		295513	16,7	0,47
San Mauro	543766	2595290	4792410	1064600	1405540	929978						273542			12,2	0,44
Santena	431465	1226190	2250240	870735	1622220	9227610						152996			15,8	0,46
Settimo	3455830	4425540	816330	2730240	3670250	12409100	228343			203943		1521040	109455		30,0	0,56
Torino	13987600	27975800	15942600	24330100	28363300	7907780				911464	943133	3062630			125,8	0,63
Torfarello	518342	1071110	899397	757945	1529880	7026270						153293			12,0	0,49
Venaria	762775	2953130	4349800	1294180	1993670	7606270						566235			19,5	0,45
Villarbasse	218641	1032890	4237520	313857	371333	3955200						154924			10,3	0,36
Villastellone	378942	676638	1510380	527671	959093	15112000						164107			19,3	0,43
Vinovo	471047	1283920	1622960	888537	1786320	10332200				423847	53774,6	338201			17,2	0,47
Volpiano	1029880	2320870	5487180	1389800	2784790	17026400						877064			30,9	0,44
Volvera	593867	1320700	997819	775445	1591510	14827500						235419			20,3	0,46

Tabella 6.2. Tipi di superfici e coefficiente di deflusso medio per ciascun comune.

Per ogni layer, all'interno del software, si è calcolata la superficie effettiva, come riportato nella Tabella 6.2, e questi valori sono stati poi moltiplicati per i rispettivi coefficienti di deflusso in relazione al tipo di superficie in esame, ricavati da letteratura, al fine di definire il coefficiente di deflusso medio per ogni località e quindi il deflusso superficiale per unità di superficie.

Tipo di superficie	Coefficiente di deflusso
Tetti rivestiti con lamiera o tegole	0,95
Tetti piani con rivestimento in cls	0,75
Superfici pavimentate	0,8
Strade in terra	0,5
Superfici erbose	0,4
Aree residenziali	0,5
Boschi	0,2
Terreni coltivati	0,4
Asfalto	0,9

Tabella 6.3. Coefficienti di deflusso

Per quanto concerne l'intensità di pioggia, si è fatto riferimento al servizio atlante delle piogge intense dell'ARPA, che consente di ricavare, in un qualsiasi punto del territorio regionale, le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno per le durate da 10 minuti a 24 ore. Le suddette curve di probabilità pluviometrica esprimono la relazione fra le altezze di precipitazione h e la loro durata t , per un assegnato valore del periodo di ritorno T , definito come il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

Per consultare la tabella delle piogge, usando lo strumento di localizzazione denominato "Trova luogo o indirizzo" posizionatisi nel punto desiderato, si è interrogato il servizio che ha restituito una finestra con un link alla scheda di nostro interesse che fornisce direttamente i valori delle altezze di precipitazione per ciascuna durata.

Attenendoci alle prescrizioni in materia di invarianza idraulica del RR 23 Novembre 2017, emanato dalla regione Lombardia, ci si è riferiti ad un tempo di ritorno pari a 50 anni e si sono prese in esame le altezze, espresse in mm, relative alle durate di 10 minuti, 20 minuti, 30 minuti, 1 ora, 6 ore e 24 ore.

Dividendo ciascuna altezza per la rispettiva durata è stato possibile ottenere i valori dell'intensità media di precipitazione e quindi procedere con il calcolo del deflusso superficiale.

6.2. Ricarica potenziale della falda superficiale attraverso le acque meteoriche

In seguito all'analisi del deflusso superficiale, si è passati allo studio delle ricariche potenziali annue, ovvero il possibile volume d'acqua che, in seguito ad eventi meteorici, ricaricherà la falda per infiltrazione nel suolo. Si tratta di un valore potenziale, e non esatto, poiché la formulazione adottata per il calcolo dell'evapotraspirazione tiene conto unicamente delle temperature massime, minime e medie, trascurando la presenza di vegetazione e alberi. Inoltre, si trascura il contenuto d'acqua già presente nel suolo che a sua volta influenza il processo di infiltrazione. Infatti, quando il suolo è asciutto l'infiltrazione dell'acqua è più veloce e diminuisce man mano che il suolo si satura.

L'espressione utilizzata per il calcolo dell'infiltrazione potenziale giornaliera è la seguente:

- Se $h_t > ET$

$$R_t = \left(\sum_{j=1}^N A_j (1 - \varphi_j) \right) (h_t - ET) \quad [m^3] \quad (6.2.1)$$

- Se $h_t \leq ET$

$$R_t = 0 \quad (6.2.2)$$

Dove:

A_j è la superficie del tipo di suolo j-esimo

$(1 - \varphi_j)$ è il coefficiente di assorbimento associato al j-esimo tipo di suolo

h_t è l'altezza di pioggia giornaliera

ET è l'evapotraspirazione

Una volta ottenuti i valori giornalieri di ricarica potenziale per tutti i giorni compresi tra il 01/01/2017 e il 31/12/2022, escludendo il 29/02/2020, se ne è calcolata la media sul periodo temporale di riferimento, ovvero 6 anni. In seguito, tale valore lo si è rapportato all'altezza di pioggia annua per poter stimare la ricarica potenziale della falda.

Per l'applicazione della suddetta formula è stato necessario reperire tutti i dati di nostro interesse, attraverso la consultazione di diverse fonti e l'utilizzo di software di calcolo numerico.

L'altezza di pioggia giornaliera, h_t , è stata ricavata per tutti i giorni compresi tra il 01/01/2017 e il 31/12/2022, per ciascun comune oggetto di studio. Dal sito di Arpa Piemonte è possibile scaricare i dati relativi all'altezza di pioggia rilevata dalle diverse stazioni metereologiche.

Sebbene siano distribuite sull'intero territorio nazionale, non tutti i comuni di nostro interesse sono dotati di una stazione di rilevamento entro i propri confini ed è per questo che è stato necessario apportare delle correzioni ai valori rilevati attraverso il metodo delle distanze inverse.

A tal scopo per ciascun comune non munito di stazione, si sono individuate le tre stazioni più vicine in linea d'aria e si è calcolata la distanza tra il punto in cui si trova la stazione e un punto strategico del comune di interesse, in questo caso si è scelto di utilizzare la posizione del municipio.

Da questi valori è stato dunque possibile ricavare anche l'altezza di pioggia annua per ciascuna località oggetto di studio.

Le piante, attraverso le radici, assorbono acqua dal suolo e la trasmettono sotto forma liquida agli apparati fogliari, da qui passa dallo stato liquido a quello di vapore, diffondendosi nell'atmosfera. Questo fenomeno si indica con il termine di traspirazione. Allo stesso tempo il suolo perde acqua per evaporazione diretta. La somma della quantità d'acqua persa dal suolo per evaporazione e dalle piante per traspirazione costituisce il fenomeno dell'evapotraspirazione.

Per la sua stima si è fatto riferimento alla formulazione di Hargreaves e Samani. Questa, che è valida per il calcolo di valori giornalieri di evapotraspirazione.

Tale modello semplificato fa dipendere l'evapotraspirazione solo dalla temperatura media e dalla radiazione solare totale e, a scala giornaliera, ha la seguente espressione:

$$ET = 0,0135 * [(T_{med,g}) + 17,8] * [k_R * \sqrt{(T_{max,g}) - (T_{min,g})} * R_a \left[\frac{mm}{giorno} \right] \quad (6.2.3)$$

Dove:

$T_{med,g}$, $T_{max,g}$, $T_{min,g}$, sono le temperature espresse in [°C] rispettivamente medie, massime e minime giornaliere. La temperatura media giornaliera è data dalla semisomma della temperatura massima e minima.

k_R , è un coefficiente [°C^{-0.5}] che assume valori tra 0.16 e 0.19. Comunemente si attribuisce il valore 0.17.

R_a , è la radiazione extraterrestre giornaliera, media mensile nel mese i-esimo, espressa in [mm/giorno] equivalenti di acqua evaporata.

I valori delle temperature, come per l'altezza di pioggia, sono stati ricavati dalle stazioni di rilevamento. Anche in questo caso, per le località non munite di stazione di rilevamento, in conformità a quanto prescritto dalla normativa UNI 10349, si sono apportate delle correzioni. Si è identificata la stazione di rilevazione dei parametri climatici più vicina in linea d'aria e si è apportata una correzione al valore della temperatura della stazione di rilevazione per tenere conto della differenza di altitudine rispetto alla località di studio.

$$\theta_e = \theta_{e,Ref} - (h - h_{Ref}) * d \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6.2.4)$$

Dove d è il gradiente termico e , nell'Italia settentrionale transpadana, assume un valore pari a 1/178.

Per quanto concerne i valori di R_a , si è fatto riferimento ai valori della tabella sottostante. Torino si trova ad una latitudine pari a 45°04'24.60" nord, pertanto, i valori della radiazione solare sono stati ottenuti come media di quelle alle latitudini immediatamente superiore e inferiore, ovvero 44° e 46°.

LAT N	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
50	3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2
48	4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7
46	4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3
44	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6
34	7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2
32	8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8
30	8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3

Tabella 6.4. Valori della radiazione extraterrestre giornaliera media mensile espressa in mm/giorno equivalenti di acque evaporata per diverse latitudini (Doorenbos e Pruitt, 1977)

Per il calcolo dell'evapotraspirazione è stato necessario fare ricorso al software Matlab, una piattaforma di programmazione e calcolo numerico che, in seguito all'implementazione di un codice con l'appropriato linguaggio di programmazione, è stato in grado di risolvere le operazioni matematiche matriciali e ci ha fornito i valori richiesti.

6.3. Prelievi potenziali annui dalla falda superficiale

I dati riguardanti le derivazioni idriche sono stati scaricati dal Sistema Informativo delle Risorse Idriche (SIRI), in particolare si è fatto riferimento ai prelievi da falde superficiali.

Ci si riferirà a questi valori parlando di prelievi potenziali poiché i dati sono relativi alle portate di concessione, ovvero le portate che potenzialmente ogni concessionario è autorizzato a prelevare da una specifica fonte in un determinato periodo di tempo indicato.

Per ciascun comune si è quindi calcolato il volume massimo annuo che può prelevare ogni concessionario ipotizzando che esso sia costante nel periodo temporale a cui fa riferimento la concessione.

6.4. Risultati

Nei grafici che seguono sono rappresentati tutti e 54 i comuni per i quali si è svolta l'analisi appena descritta. Per una miglior comprensione dei valori ottenuti si è scelto di utilizzare delle mappe colorate con intensità differenti a seconda dei dati rilevati.

6.4.1 Coefficienti di deflusso medi

Nella figura 6.1 è riportata la mappa che rappresenta l'andamento del coefficiente di deflusso medio per ogni località esaminata.

A colori più intensi corrispondono valori maggiori del coefficiente di deflusso medio, che è a sua volta riportato nella tabella.

Al comune di Torino è associato un valore pari a 0,63, che può sembrare insolitamente basso visto l'alto grado di urbanizzazione della città. Tuttavia, è doveroso sottolineare che si tratta di un coefficiente di deflusso medio, il cui valore è ridotto dalla presenza di vaste zone collinari. Infatti, si può anche notare che i paesi con una colorazione più chiara sono proprio quelli in corrispondenza dell'area boschiva della collina torinese.

A catturare l'attenzione è poi il forte contrasto fra Bruino e Piossasco, che, sebbene confinanti, risultano caratterizzati da due coefficienti di deflusso medio molto diversi fra loro, rispettivamente 0,56 e 0,35. Tale differenza è data dalla carenza di aree verdi entro i confini del comune di Bruino che, invece, comportano una drastica riduzione del coefficiente di deflusso medio nel comune di Piossasco.

Un basso coefficiente di deflusso medio, quindi, non è necessariamente indice di assenza di difficoltà nella gestione delle acque meteoriche superficiali. Infatti, la presenza di vaste aree verdi entro i confini della località in esame riduce il valore del coefficiente, ma, nelle zone più urbanizzate del comune, tale criticità permane.

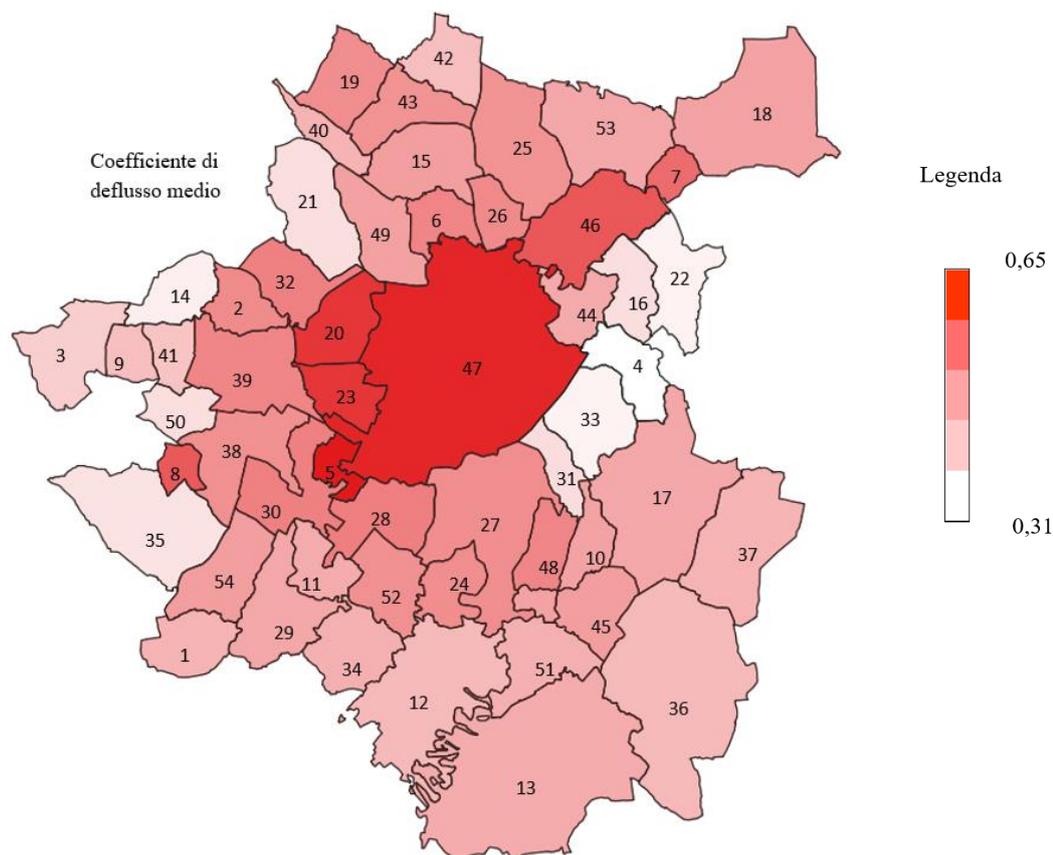


Figura 6.1. Mappa dei coefficienti di deflusso medi per ogni comune

n. sul grafico	Comune	Coeff. di deflusso	n. sul grafico	Comune	Coeff. di deflusso	n. sul grafico	Comune	Coeff. di deflusso
1	AIRASCA	0,42	19	CIRIE	0,48	37	RIVA	0,43
2	ALPIGNANO	0,48	20	COLLEGNO	0,61	38	RIVALTA	0,48
3	AVIGLIANA	0,39	21	DRUENTO	0,36	39	RIVOLI	0,49
4	BALDISSERO	0,31	22	GASSINO	0,33	40	ROBASSOMERO	0,43
5	BEINASCO	0,65	23	GRUGLIASCO	0,61	41	ROSTA	0,40
6	BORGARO	0,49	24	LA LOGGIA	0,48	42	SAN FRANCESCO	0,41
7	BRANDIZZO	0,53	25	LEINÌ	0,47	43	SAN MAURIZIO	0,47
8	BRUINO	0,56	26	MAPPANO	0,49	44	SAN MAURO	0,44
9	BUTTIGLIERA	0,41	27	MONCALIERI	0,48	45	SANTENA	0,46
10	CAMBIANO	0,45	28	NICHELINO	0,50	46	SETTIMO	0,56
11	CANDIOLO	0,44	29	NONE	0,44	47	TORINO GR	0,63
12	CARIGNANO	0,42	30	ORBASSANO	0,50	48	TROFARELLO	0,49
13	CARMAGNOLA	0,44	31	PECETTO	0,37	49	VENARIA	0,45
14	CASELLE	0,34	32	PIANEZZA	0,50	50	VILLARBASSE	0,36
15	CASELLE	0,46	33	PINO	0,33	51	VILLASTELLONE	0,43
16	CASTIGLIONE	0,36	34	PIOBESI	0,43	52	VINOVO	0,47
17	CHIERI	0,44	35	PIOSSASCO	0,35	53	VOLPIANO	0,44
18	CHIVASSO	0,45	36	POIRINO	0,42	54	VOLVERA	0,46

6.4.2 Acqua piovana che grava sulla rete di drenaggio

È interessante quindi analizzare la percentuale di acqua piovana che, non potendo infiltrarsi nel suolo per via dell'impermeabilizzazione, grava sulla rete di drenaggio delle diverse località esaminate. A tale scopo, si sono prese in esame le altezze di pioggia giornaliera dal 01/01/2017 al 31/12/2022, e si è ricavato il valore percentuale di acqua che, mediamente, si infiltra nel suolo ricaricando la falda freatica e quella che invece è necessario gestire in superficie su scala comunale. Nel grafico che segue sono riportati i valori percentuali di acqua piovana che grava sulla rete di drenaggio.

Coerentemente con il coefficiente di deflusso appena descritto, a Torino, si rilevano i valori minori di infiltrazione a cui corrispondono quindi volumi maggiori di acqua piovana superficiale da gestire.

I comuni di Gassino (49,6%), Caselette (50,6%), Pino (51,3%), Baldissero (51,4%), Piovascò (52,1%) e Villarbasse (42,4%) con un coefficiente di deflusso rispettivamente pari a 0,33, 0,34, 0,33, 0,31, 0,35 e 0,36, invece, spiccano sulla mappa per la scarsa intensità del loro colore, indice di un'alta percentuale di infiltrazione e quindi quantitativi minori di deflusso superficiale.

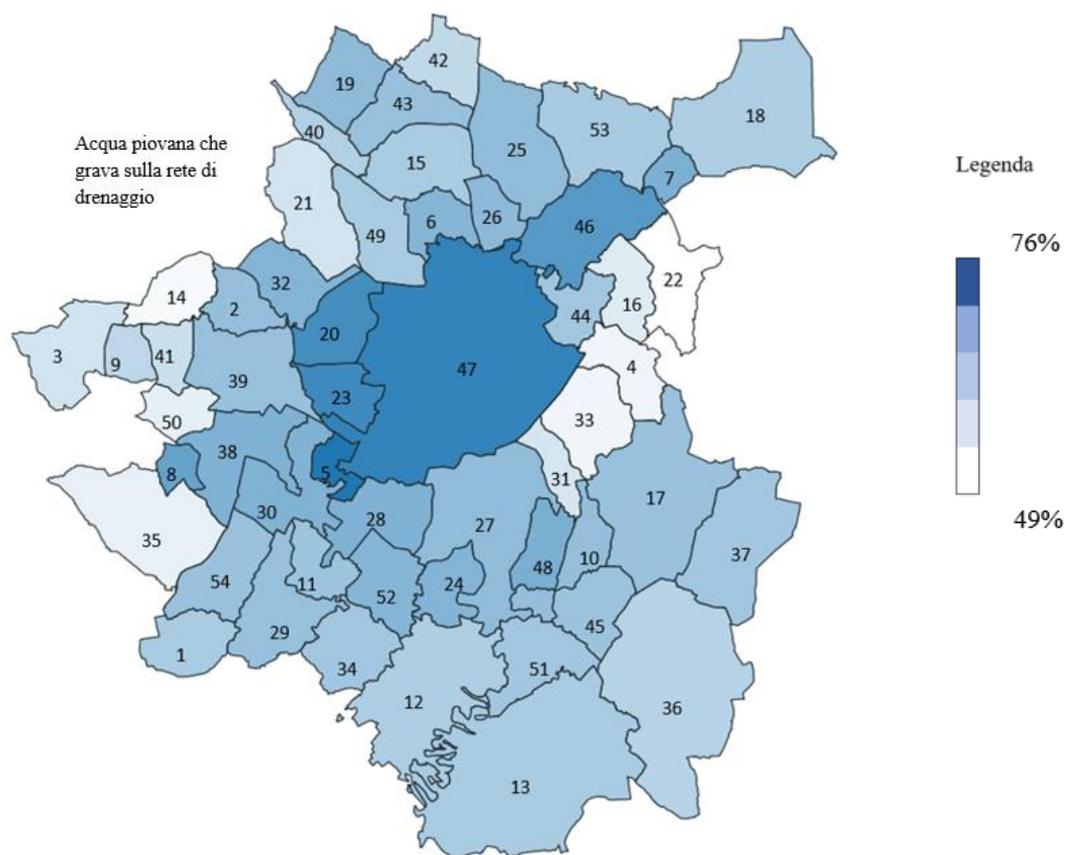


Figura 6.2. Mappa della percentuale d'acqua piovana che grava sulla rete di drenaggio

n. sul grafico	Comune	Ruscigliamento (%)	n. sul grafico	Comune	Ruscigliamento (%)	n. sul grafico	Comune	Ruscigliamento (%)
1	AIRASCA	59,3%	19	CIRIE	62,2%	37	RIVA	60,2%
2	ALPIGNANO	61,6%	20	COLLEGNO	70,7%	38	RIVALTA	64,1%
3	AVIGLIANA	54,7%	21	DRUENTO	54,6%	39	RIVOLI	61,4%
4	BALDISSERO	51,4%	22	GASSINO	49,6%	40	ROBASSOMERO	58,3%
5	BEINASCO	75,1%	23	GRUGLIASCO	71,6%	41	ROSTA	55,5%
6	BORGARO	63,3%	24	LA LOGGIA	63,5%	42	SAN FRANCESCO	56,7%
7	BRANDIZZO	64,4%	25	LEINÌ	62,2%	43	SAN MAURIZIO	61,4%
8	BRUINO	66,9%	26	MAPPANO	62,7%	44	SAN MAURO	60,0%
9	BUTTIGLIERA	57,0%	27	MONCALIERI	62,2%	45	SANTENA	60,8%
10	CAMBIANO	61,6%	28	NICHELINO	64,0%	46	SETTIMO	68,8%
11	CANDIOLO	60,5%	29	NONE	61,3%	47	TORINO GR	72,8%
12	CARIGNANO	58,7%	30	ORBASSANO	64,0%	48	TROFARELLO	64,6%
13	CARMAGNOLA	59,3%	31	PECETTO	54,2%	49	VENARIA	59,4%
14	CASELETTE	50,6%	32	PIANEZZA	63,5%	50	VILLARBASSE	52,4%
15	CASELLE	59,3%	33	PINO	51,3%	51	VILLASTELLONE	60,1%
16	CASTIGLIONE	53,2%	34	PIOBESI	60,1%	52	VINOVO	63,3%
17	CHIERI	61,0%	35	PIOSSASCO	52,1%	53	VOLPIANO	59,5%
18	CHIVASSO	58,8%	36	POIRINO	57,8%	54	VOLVERA	61,1%

6.4.3 Prelievi/Ricariche superficiali

Molto significativi sono i valori relativi al rapporto tra prelievi potenziali, ovvero quelli massimi consentiti all'anno, e le ricariche potenziali superficiali poiché forniscono un'idea di quale sia lo sfruttamento della falda e dell'importanza del riutilizzo delle acque piovane e della restituzione delle acque depurate all'ecosistema naturale.

Si parla di ricariche potenziali superficiali poiché si tiene conto solamente dell'acqua piovana che si infiltra nel suolo, trascurando il fatto che per le acque sotterranee non esistano confini amministrativi e che quindi un elevato indice di sfruttamento della falda potrebbe essere mitigato dalla ricarica mediante acqua sotterranea proveniente da altri comuni.

Ancora una volta a spiccare è la città di Torino con un valore di prelievi potenziali annui pari a 154.103.817 m³, che risultano più di cinque volte superiori alle ricariche, indice di un ingente sfruttamento delle sorgenti acquifere.

A seguire vi sono le città di Collegno, Beinasco e Nichelino.

Le località con un valore percentuale pari a zero sono quelle per le quali non è stato possibile reperire dati relativi ai prelievi potenziali e per questo motivo non verranno analizzate.

Interessante è invece evidenziare quei comuni in cui si ha una ricarica delle falde adeguata ai volumi di acqua che vengono prelevati. Fra questi spiccano Poirino, Druento, Riva e Chieri, dove l'acqua prelevata risulta essere inferiore al 2% di quella che annualmente si infiltra nella falda.

Si ritengono accettabili tutti quei volumi d'acqua potenzialmente prelevati che restano al di sotto dei valori relativi alla ricarica della falda tramite la superficie, quindi, quelli tali per cui il rapporto tra prelievi potenziali annui e ricariche potenziali annue risulta inferiore al 100%. Non rispettano questi parametri i seguenti comuni:

Airasca (141,8%), Beinasco (492,5%), Borgaro Torinese (103,9%), Chivasso (127,8%), Collegno (167,7%), Grugliasco (175,6%), La Loggia (171,3%), Moncalieri (126,3%), Nichelino (311,4%), None (168%), Piobesi Torinese (121,9%), San Mauro Torinese (121,4%), Settimo Torinese (129,4%), Torino (559,7%), Venaria Reale (111,3%), Vinovo (200,7%) e Volvera (113,5%).

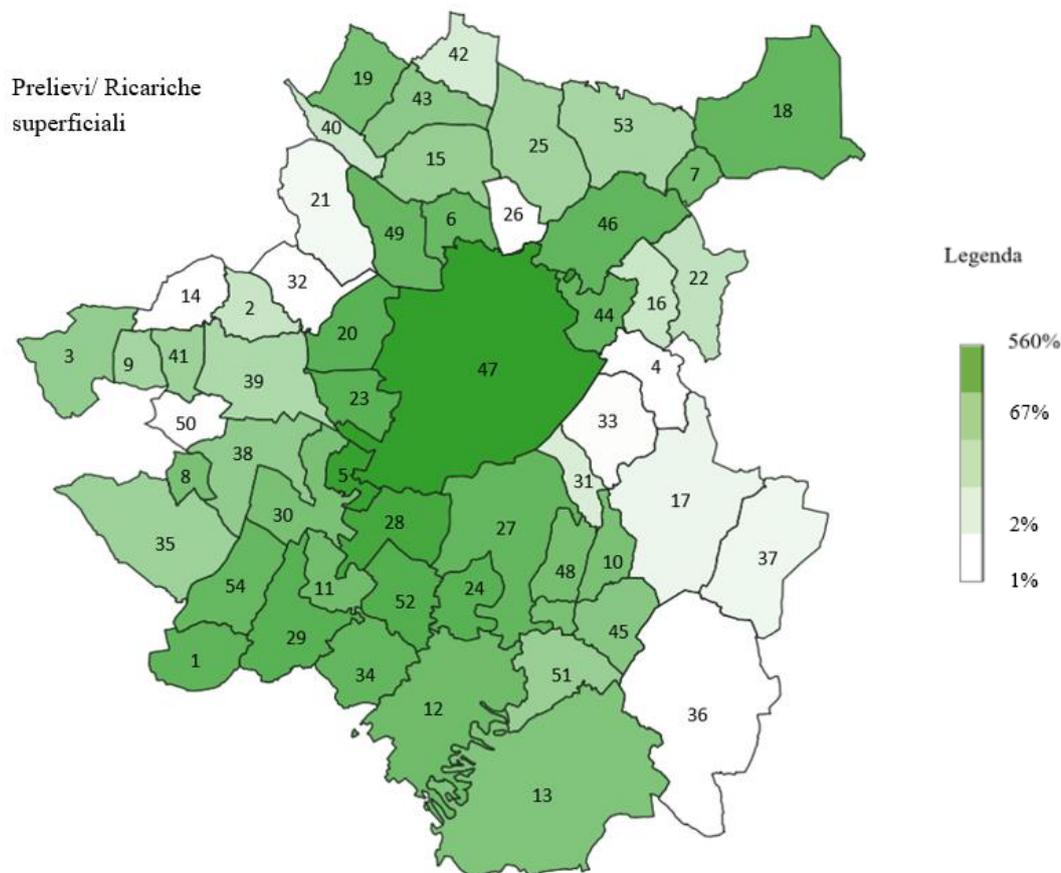


Figura 6.3. Mappa del rapporto Prelievi/Ricariche superficiali

n. sul grafico	Comune	P/R	n. sul grafico	Comune	P/R	n. sul grafico	Comune	P/R
1	AIRASCA	141,8%	19	CIRIE	66,0%	37	RIVA	1,8%
2	ALPIGNANO	5,9%	20	COLLEGNO	167,7%	38	RIVALTA	30,9%
3	AVIGLIANA	29,6%	21	DRUENTO	1,6%	39	RIVOLI	12,9%
4	BALDISSERO	0,0%	22	GASSINO	7,5%	40	ROBASSOMERO	4,9%
5	BEINASCO	492,5%	23	GRUGLIASCO	175,6%	41	ROSTA	22,0%
6	BORGARO	103,9%	24	LA LOGGIA	171,3%	42	SAN FRANCESCO	3,8%
7	BRANDIZZO	76,3%	25	LEINI	17,8%	43	SAN MAURIZIO	36,4%
8	BRUINO	63,2%	26	MAPPANO	0,0%	44	SAN MAURO	121,4%
9	BUTTIGLIERA	16,5%	27	MONCALIERI	126,3%	45	SANTENA	41,7%
10	CAMBIANO	62,9%	28	NICHELINO	311,4%	46	SETTIMO	129,4%
11	CANDIOLO	79,0%	29	NONE	168,0%	47	TORINO GR	559,7%
12	CARIGNANO	83,7%	30	ORBASSANO	62,4%	48	TROFARELLO	68,8%
13	CARMAGNOLA	52,8%	31	PECETTO	3,5%	49	VENARIA	111,3%
14	CASELETTE	0,0%	32	PIANEZZA	0,1%	50	VILLARBASSE	0,0%
15	CASELLE	26,1%	33	PINO	0,0%	51	VILLASTELLONE	24,9%
16	CASTIGLIONE	5,4%	34	PIOBESI	121,9%	52	VINOVO	200,7%
17	CHIERI	1,9%	35	PIOSSASCO	21,8%	53	VOLPIANO	48,2%
18	CHIVASSO	127,8%	36	POIRINO	1,1%	54	VOLVERA	113,5%

6.4.4 Deflusso superficiale

Si è calcolato il deflusso per unità di superficie (l/sha) per ciascuna località d'interesse facendo riferimento a sei durate differenti per un tempo di ritorno pari a 50 anni. È possibile notare come, al variare della durata, i comuni che detengono valori maggior del deflusso superficiale restino gli stessi. Questo è legato proprio alla percentuale di suolo impermeabilizzato per ciascuna area.

È altamente improbabile che una pioggia intensa possa verificarsi contemporaneamente sull'intero territorio comunale. È quindi doveroso sottolineare che il deflusso per unità di superficie, rappresentato con intensità di colori differenti per l'intero territorio comunale, sia indicativo di quello che potrebbe verificarsi, in un'area circoscritta, nel caso in cui si concretizzasse l'evento meteorico ipotizzato.

Il primato lo detiene la città di Torino, il cui deflusso superficiale va da un minimo di 9,8 l/sha per piogge di durata pari a 24 ore ad un massimo di 436 l/sha per durate pari a 10 minuti.

In merito a quest'ultima durata un altro comune per il quale si è evidenziato un valore di deflusso superficiale molto alto è Beinasco, che con un coefficiente di deflusso medio pari 0,65 risulta essere quello con una superficie impermeabilizzata maggiore. Coerentemente con quanto detto in precedenza, anche per durate maggiori i valori di deflusso superficiale restano tra i più alti.

Al contrario, risultano notevolmente bassi i valori relativi al comune di Baldissero, per il quale si rilevano i valori minimi del deflusso superficiale per ciascuna durata presa in considerazione, passando da un massimo di 171,9 l/sha per piogge di 10 minuti ad un minimo di 4,4 l/sha quando invece si analizzano piogge di durata pari a 24 ore.

Osservando poi i valori dei coefficienti di deflusso medio relativi a ciascuna località in tabella 6.2 e confrontandoli con i valori dei deflussi superficiali per le diverse durate, si vede come quest'ultimi riflettano perfettamente il grado di impermeabilizzazione dell'area. Infatti, a valori alti del deflusso superficiale corrispondono valori altrettanto alti del coefficiente di deflusso e ciò rende comprensibile in che modo il consumo di suolo si rifletta sulla capacità di gestione delle acque in ambito urbano.

Deflusso per unità di superficie per D=10 minuti

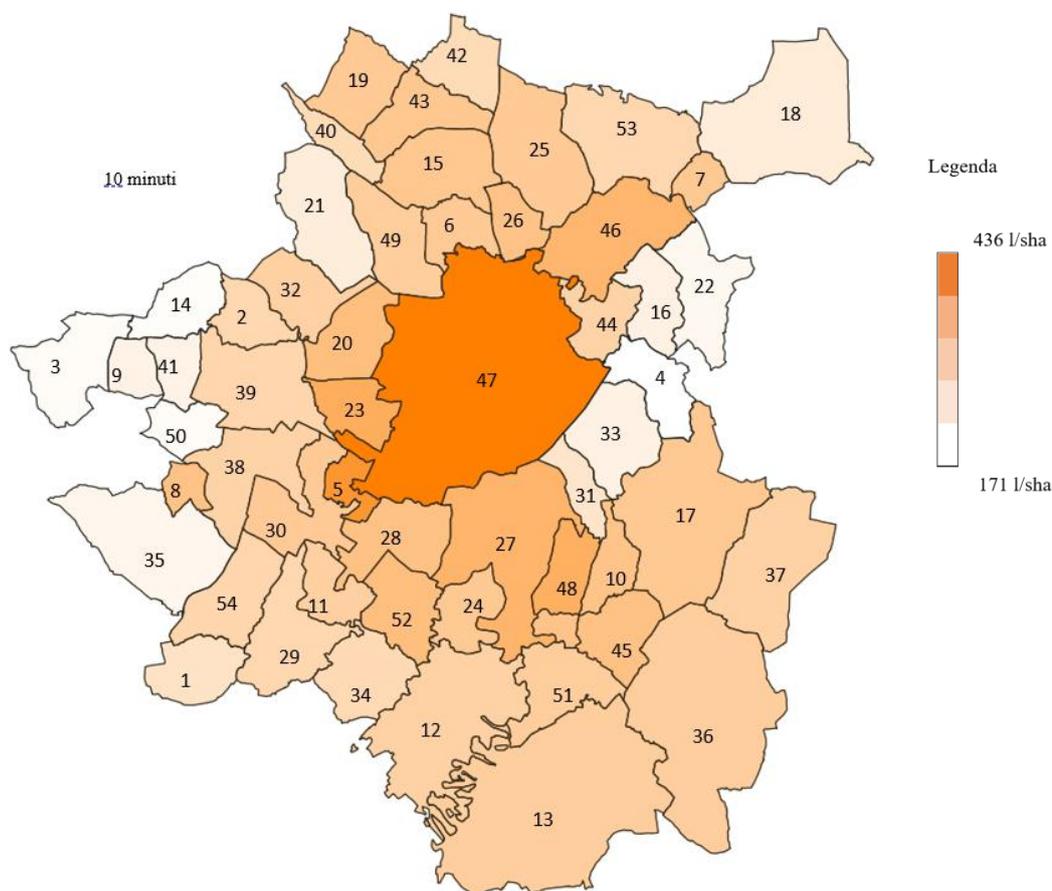


Figura 6.4. Mappa del deflusso per unità di superficie (10 minuti)

n. sul grafico	Comune	q. 10 min (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 10 min (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 10 min (l/sha)
1	AIRASCA	230,2	19	CIRIE	281,1	37	RIVA	264,9
2	ALPIGNANO	252,8	20	COLLEGNO	303,3	38	RIVALTA	261,4
3	AVIGLIANA	180,8	21	DRUENTO	208,2	39	RIVOLI	256,5
4	BALDISSERO	171,9	22	GASSINO	186,9	40	ROBASSOMERO	247,0
5	BEINASCO	386,9	23	GRUGLIASCO	338,4	41	ROSTA	196,1
6	BORGARO	294,9	24	LA LOGGIA	282,1	42	SAN FRANCESCO	245,9
7	BRANDIZZO	281,5	25	LEINI	281,4	43	SAN MAURIZIO	286,4
8	BRUINO	296,5	26	MAPPANO	295,5	44	SAN MAURO	261,1
9	BUTTIGLIERA	195,3	27	MONCALIERI	324,7	45	SANTENA	298,3
10	CAMBIANO	292,1	28	NICHELINO	297,6	46	SETTIMO	323,0
11	CANDIOLO	269,0	29	NONE	252,0	47	TORINO GR	436,0
12	CARIGNANO	263,5	30	ORBASSANO	281,1	48	TROFARELLO	335,8
13	CARMAGNOLA	271,7	31	PECETTO	225,8	49	VENARIA	275,1
14	CASELETTE	176,9	32	PIANEZZA	267,0	50	VILLARBASSE	178,5
15	CASELLE	285,7	33	PINO	202,0	51	VILLASTELLONE	274,6
16	CASTIGLIONE	198,4	34	PIOBESI	247,6	52	VINOVO	303,2
17	CHIERI	281,9	35	PIOSSASCO	189,5	53	VOLPIANO	252,6
18	CHIVASSO	212,0	36	POIRINO	272,7	54	VOLVERA	257,5

Deflusso per unità di superficie per D=20 minuti

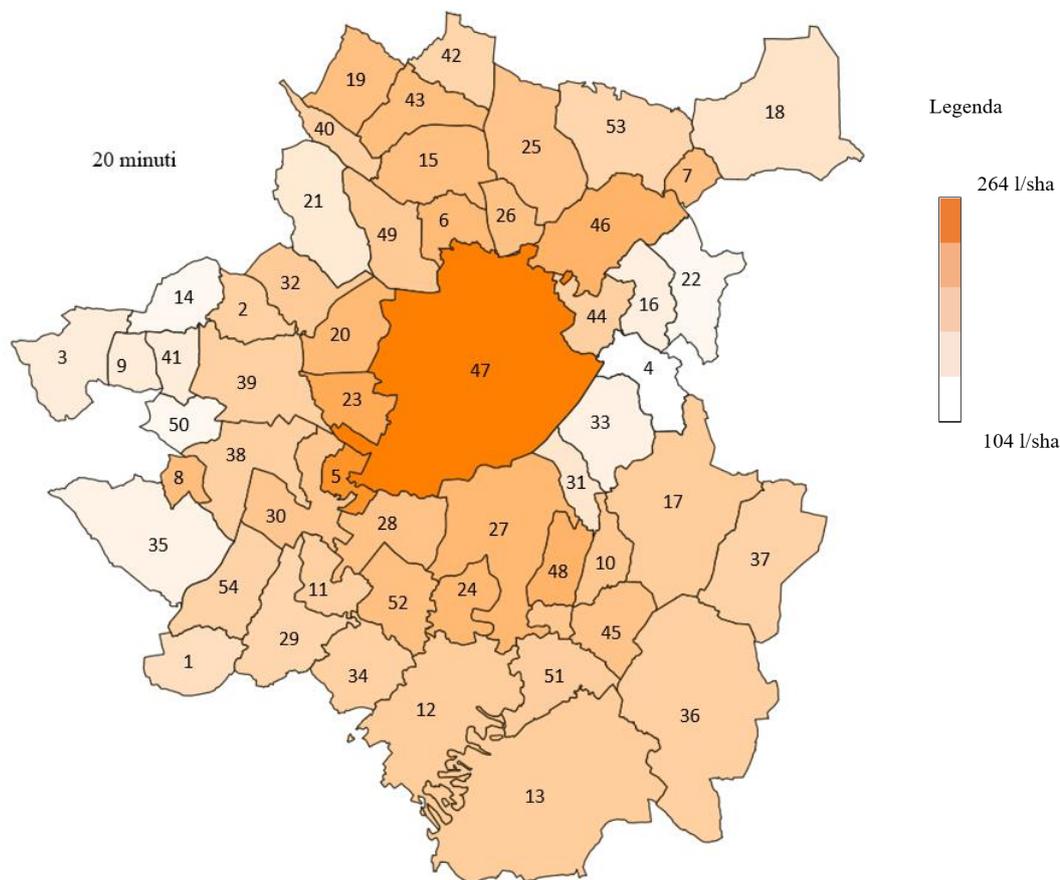


Figura 6.5. Mappa del deflusso per unità di superficie (20 minuti)

n. sul grafico	Comune	q. 20 min (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 20 min (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 20 min (l/sha)
1	AIRASCA	143,8	19	CIRIE	181,8	37	RIVA	158,7
2	ALPIGNANO	162,4	20	COLLEGNO	190,9	38	RIVALTA	162,8
3	AVIGLIANA	126,2	21	DRUENTO	131,6	39	RIVOLI	162,3
4	BALDISSERO	104,2	22	GASSINO	113,2	40	ROBASSOMERO	161,1
5	BEINASCO	237,8	23	GRUGLIASCO	209,5	41	ROSTA	126,4
6	BORGARO	188,3	24	LA LOGGIA	191,8	42	SAN FRANCESCO	157,5
7	BRANDIZZO	181,8	25	LEINI	175,5	43	SAN MAURIZIO	183,8
8	BRUINO	186,3	26	MAPPANO	181,7	44	SAN MAURO	163,1
9	BUTTIGLIERA	128,5	27	MONCALIERI	192,4	45	SANTENA	178,1
10	CAMBIANO	173,7	28	NICHELINO	179,3	46	SETTIMO	198,6
11	CANDIOLO	162,8	29	NONE	155,4	47	TORINO GR	264,0
12	CARIGNANO	166,4	30	ORBASSANO	173,9	48	TROFARELLO	197,9
13	CARMAGNOLA	166,1	31	PECETTO	134,5	49	VENARIA	169,6
14	CASELETTE	114,2	32	PIANEZZA	168,5	50	VILLARBASSE	114,4
15	CASELLE	183,3	33	PINO	119,7	51	VILLASTELLONE	165,2
16	CASTIGLIONE	122,6	34	PIOBESI	162,0	52	VINOVO	182,9
17	CHIERI	167,1	35	PIOSSASCO	119,2	53	VOLPIANO	156,1
18	CHIVASSO	137,3	36	POIRINO	163,0	54	VOLVERA	159,2

Deflusso per unità di superficie per D=30 minuti

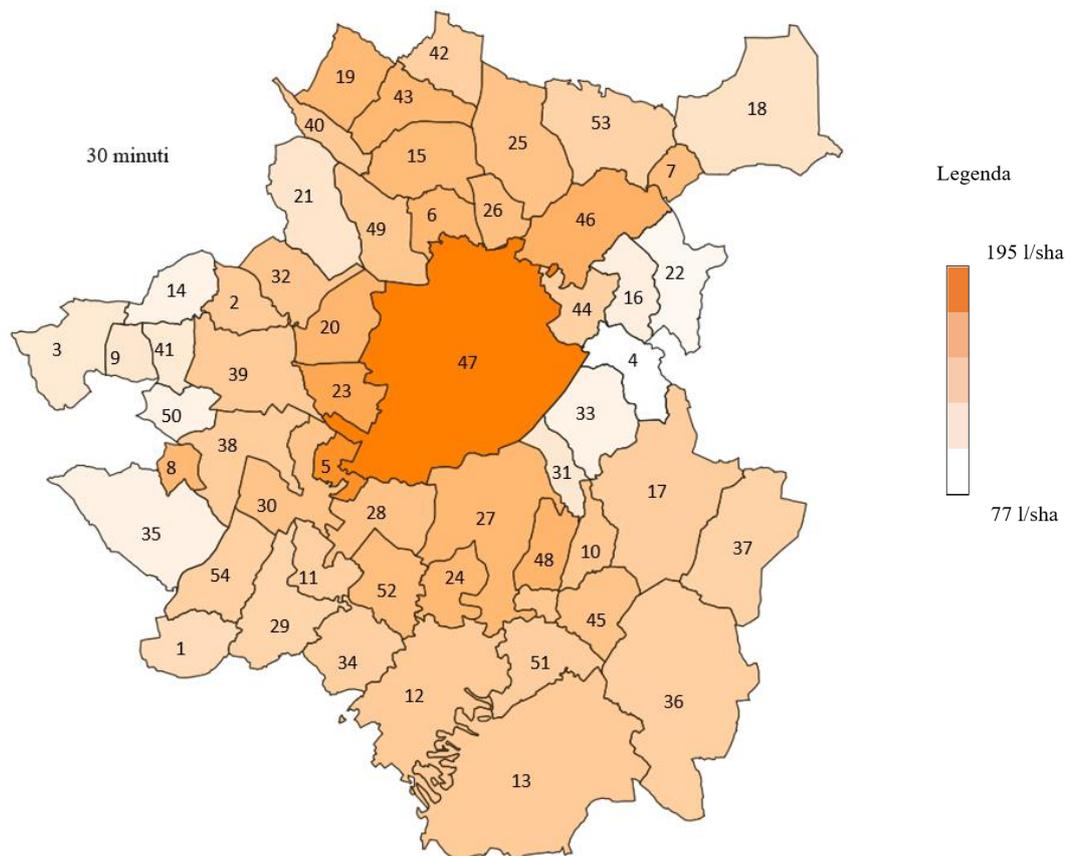


Figura 6.6. Mappa del deflusso per unità di superficie (30 minuti)

n. sul grafico	Comune	q. 30 minuti (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 30 minuti (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 30 minuti (l/sha)
1	AIRASCA	108,8	19	CIRIE	140,4	37	RIVA	117,2
2	ALPIGNANO	124,1	20	COLLEGNO	143,5	38	RIVALTA	123,1
3	AVIGLIANA	97,9	21	DRUENTO	100,4	39	RIVOLI	123,8
4	BALDISSERO	77,5	22	GASSINO	84,0	40	ROBASSOMERO	124,9
5	BEINASCO	177,4	23	GRUGLIASCO	157,3	41	ROSTA	97,4
6	BORGARO	141,7	24	LA LOGGIA	141,2	42	SAN FRANCESCO	120,7
7	BRANDIZZO	135,7	25	LEINÌ	132,5	43	SAN MAURIZIO	141,2
8	BRUINO	141,3	26	MAPPANO	136,0	44	SAN MAURO	120,0
9	BUTTIGLIERA	99,6	27	MONCALIERI	141,4	45	SANTENA	131,4
10	CAMBIANO	127,5	28	NICHELINO	132,4	46	SETTIMO	147,7
11	CANDIOLO	121,1	29	NONE	116,6	47	TORINO GR	194,3
12	CARIGNANO	123,9	30	ORBASSANO	130,7	48	TROFARELLO	144,8
13	CARMAGNOLA	124,1	31	PECETTO	99,0	49	VENARIA	127,4
14	CASELETTE	87,9	32	PIANEZZA	128,4	50	VILLARBASSE	87,9
15	CASELLE	139,9	33	PINO	87,7	51	VILLASTELLONE	122,3
16	CASTIGLIONE	91,0	34	PIOBESI	120,6	52	VINOVO	135,4
17	CHIERI	122,4	35	PIOSSASCO	90,7	53	VOLPIANO	117,1
18	CHIVASSO	103,7	36	POIRINO	120,2	54	VOLVERA	119,8

Deflusso per unità di superficie per D=1 ora

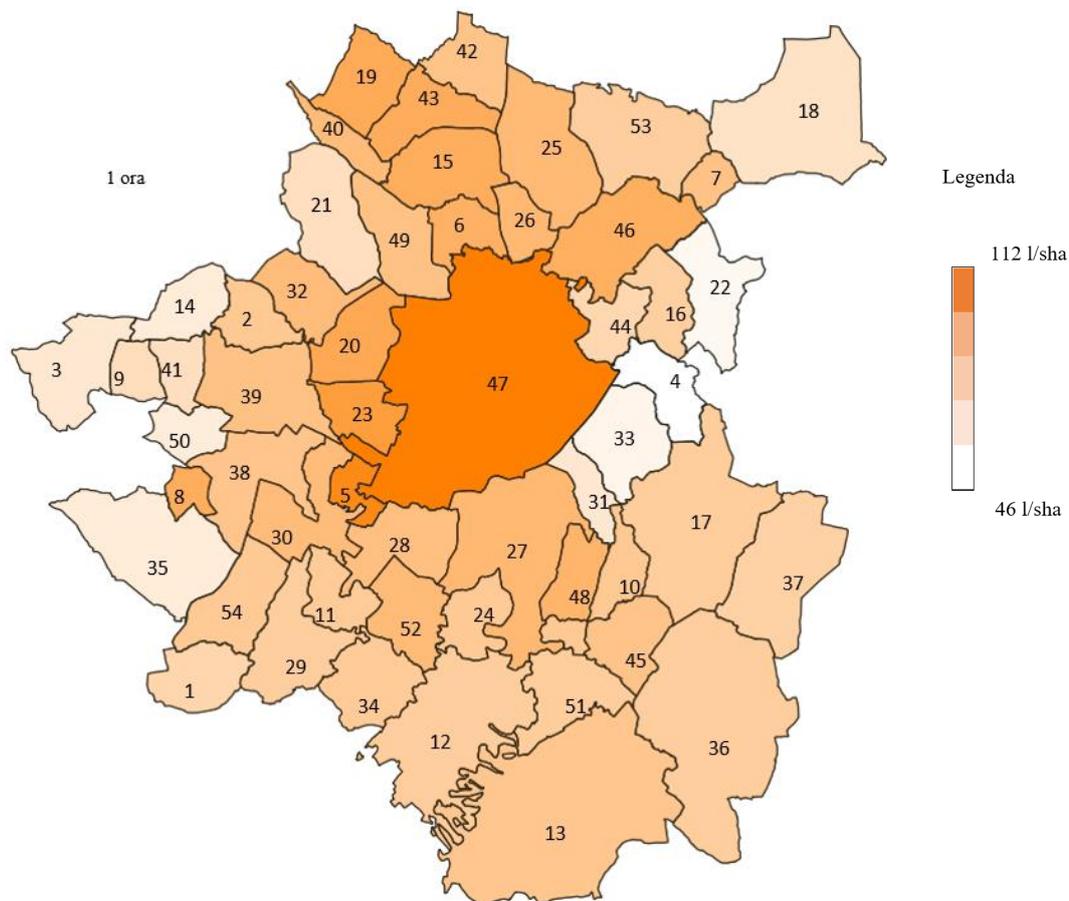


Figura 6.7. Mappa del deflusso per unità di superficie (1 ora)

n. sul grafico	Comune	q. 1 ora (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 1 ora (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 1 ora (l/sha)
1	AIRASCA	67,5	19	CIRIE	89,6	37	RIVA	69,4
2	ALPIGNANO	77,1	20	COLLEGNO	90,3	38	RIVALTA	75,9
3	AVIGLIANA	58,6	21	DRUENTO	62,8	39	RIVOLI	77,7
4	BALDISSERO	46,4	22	GASSINO	50,1	40	ROBASSOMERO	80,6
5	BEINASCO	106,1	23	GRUGLIASCO	96,3	41	ROSTA	62,6
6	BORGARO	85,6	24	LA LOGGIA	73,4	42	SAN FRANCESCO	76,5
7	BRANDIZZO	77,4	25	LEINI	82,1	43	SAN MAURIZIO	88,4
8	BRUINO	88,1	26	MAPPANO	82,7	44	SAN MAURO	67,1
9	BUTTIGLIERA	63,4	27	MONCALIERI	82,8	45	SANTENA	76,7
10	CAMBIANO	74,0	28	NICHELINO	78,7	46	SETTIMO	87,2
11	CANDIOLO	72,5	29	NONE	71,2	47	TORINO GR	112,1
12	CARIGNANO	71,6	30	ORBASSANO	80,4	48	TROFARELLO	84,4
13	CARMAGNOLA	75,1	31	PECETTO	58,4	49	VENARIA	78,3
14	CASELETTE	56,4	32	PIANEZZA	80,8	50	VILLARBASSE	55,8
15	CASELLE	87,7	33	PINO	51,5	51	VILLASTELLONE	72,3
16	CASTIGLIONE	70,7	34	PIOBESI	72,4	52	VINOVO	81,0
17	CHIERI	71,8	35	PIOSSASCO	56,4	53	VOLPIANO	71,6
18	CHIVASSO	61,2	36	POIRINO	71,2	54	VOLVERA	73,5

Deflusso per unità di superficie per D=6 ore

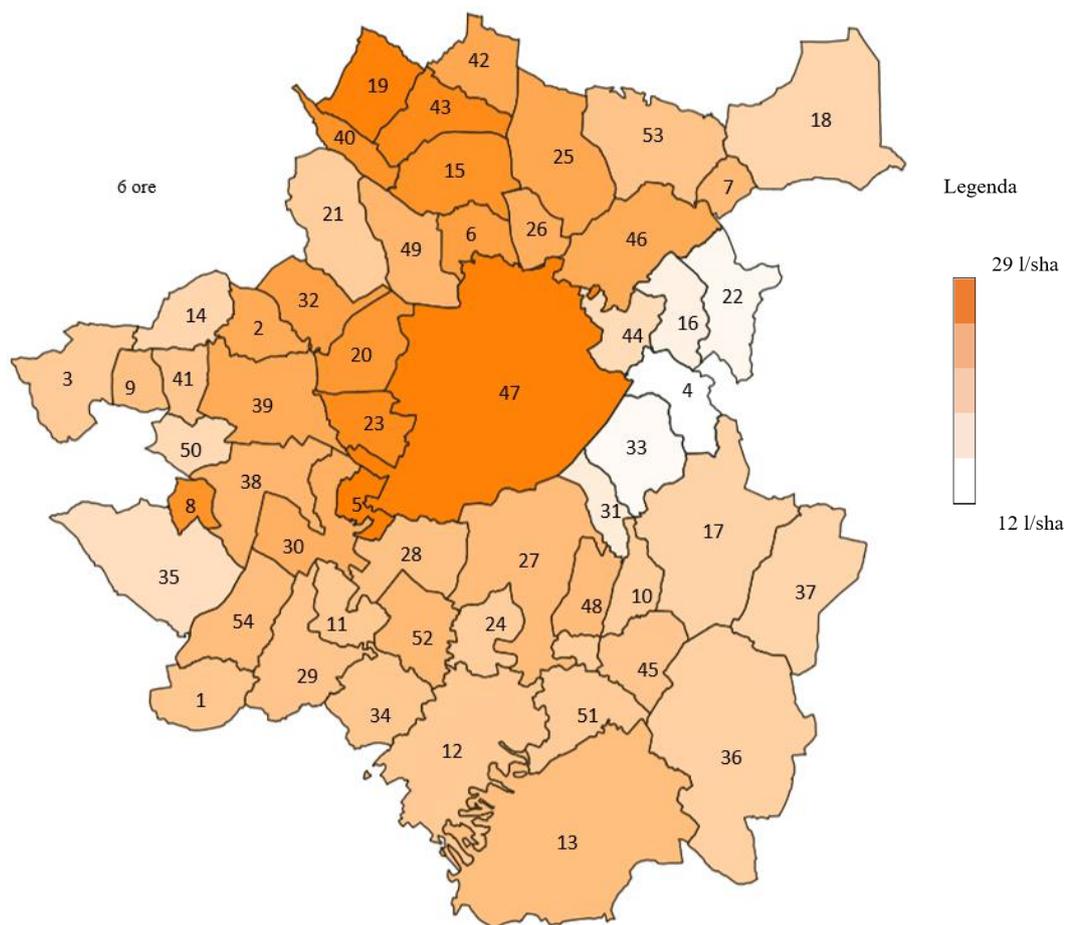


Figura 6.8. Mappa del deflusso per unità di superficie (6 ore)

n. sul grafico	Comune	q. 6 ore (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 6 ore (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 6 ore (l/sha)
1	AIRASCA	19,4	19	CIRIE	28,3	37	RIVA	17,8
2	ALPIGNANO	23,1	20	COLLEGNO	25,4	38	RIVALTA	21,8
3	AVIGLIANA	18,9	21	DRUENTO	18,7	39	RIVOLI	23,2
4	BALDISSERO	12,3	22	GASSINO	13,3	40	ROBASSOMERO	25,9
5	BEINASCO	28,8	23	GRUGLIASCO	26,9	41	ROSTA	19,6
6	BORGARO	24,4	24	LA LOGGIA	18,8	42	SAN FRANCESCO	23,5
7	BRANDIZZO	21,1	25	LEINÌ	23,5	43	SAN MAURIZIO	27,1
8	BRUINO	26,1	26	MAPPANO	22,7	44	SAN MAURO	17,0
9	BUTTIGLIERA	20,3	27	MONCALIERI	20,8	45	SANTENA	19,5
10	CAMBIANO	18,7	28	NICHELINO	20,2	46	SETTIMO	23,1
11	CANDIOLO	19,2	29	NONE	19,8	47	TORINO GR	28,3
12	CARIGNANO	19,0	30	ORBASSANO	22,4	48	TROFARELLO	20,8
13	CARMAGNOLA	20,5	31	PECETTO	14,9	49	VENARIA	21,7
14	CASELETTE	17,6	32	PIANEZZA	24,1	50	VILLARBASSE	17,1
15	CASELLE	26,2	33	PINO	12,9	51	VILLASTELLONE	18,9
16	CASTIGLIONE	14,0	34	PIOBESI	19,4	52	VINOVO	21,2
17	CHIERI	17,9	35	PIOSSASCO	16,4	53	VOLPIANO	19,9
18	CHIVASSO	17,5	36	POIRINO	18,3	54	VOLVERA	20,7

Deflusso per unità di superficie per D=24 ore

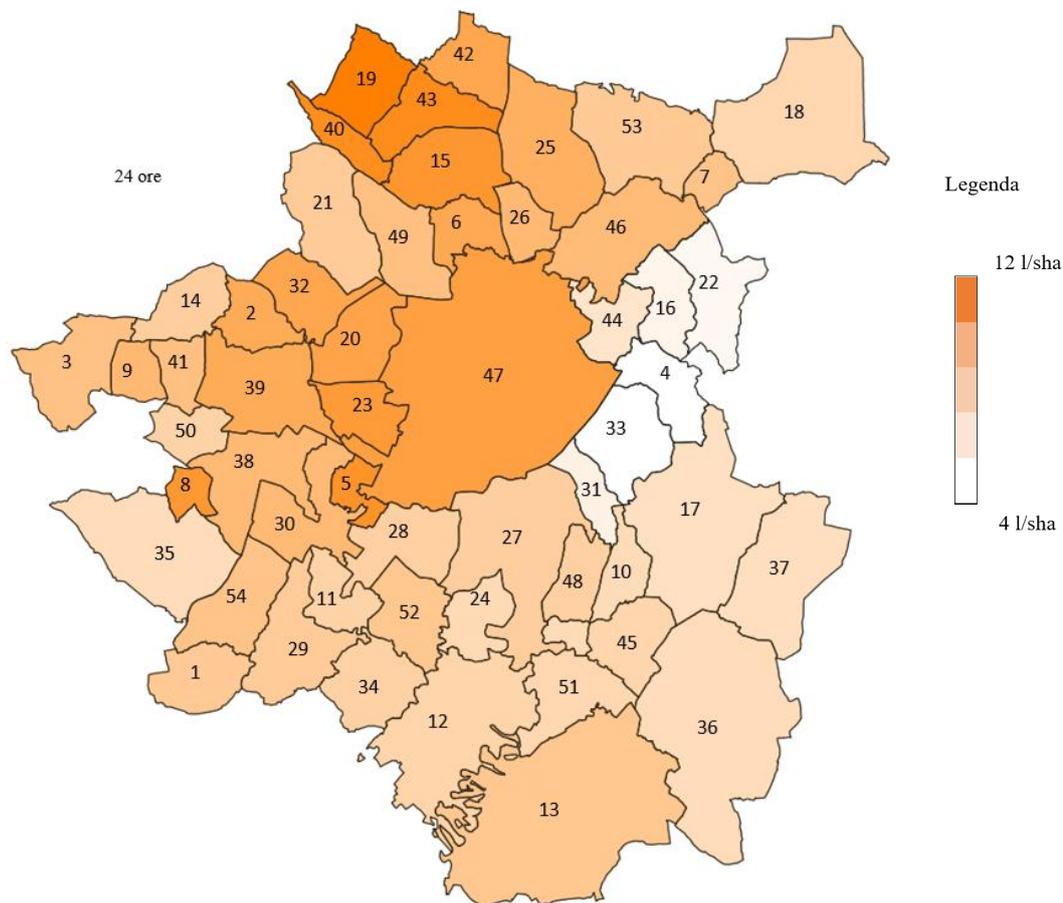


Figura 6.9. Mappa del deflusso per unità di superficie (24 ore)

n. sul grafico	Comune	q. 24 ore (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 24 ore (l/sha)	n. sul grafico	Comune	q. 24 ore (l/sha)
1	AIRASCA	7,4	19	CIRIE	11,6	37	RIVA	6,2
2	ALPIGNANO	9,1	20	COLLEGNO	9,6	38	RIVALTA	8,3
3	AVIGLIANA	7,9	21	DRUENTO	7,3	39	RIVOLI	9,1
4	BALDISSERO	4,4	22	GASSINO	4,8	40	ROBASSOMERO	10,8
5	BEINASCO	10,5	23	GRUGLIASCO	10,1	41	ROSTA	8,0
6	BORGARO	9,2	24	LA LOGGIA	6,5	42	SAN FRANCESCO	9,4
7	BRANDIZZO	7,7	25	LEINÌ	8,9	43	SAN MAURIZIO	10,9
8	BRUINO	10,2	26	MAPPANO	8,4	44	SAN MAURO	5,9
9	BUTTIGLIERA	8,4	27	MONCALIERI	7,2	45	SANTENA	6,7
10	CAMBIANO	6,5	28	NICHELINO	7,1	46	SETTIMO	8,2
11	CANDIOLO	6,9	29	NONE	7,3	47	TORINO GR	9,8
12	CARIGNANO	6,8	30	ORBASSANO	8,3	48	TROFARELLO	7,1
13	CARMAGNOLA	7,5	31	PECETTO	5,2	49	VENARIA	8,0
14	CASELETTE	7,2	32	PIANEZZA	9,4	50	VILLARBASSE	6,9
15	CASELLE	10,3	33	PINO	4,4	51	VILLASTELLONE	6,7
16	CASTIGLIONE	5,0	34	PIOBESI	7,0	52	VINOVO	7,5
17	CHIERI	6,1	35	PIOSSASCO	6,3	53	VOLPIANO	7,4
18	CHIVASSO	6,7	36	POIRINO	6,4	54	VOLVERA	7,7

6.5. Ikea – Collegno (TO)

Attualmente, la Regione Piemonte non dispone di una normativa in materia di invarianza idraulica, pertanto si è scelto di applicare quella Lombarda ad un caso studio in Piemonte al fine di effettuare le opportune verifiche e individuare le eventuali soluzioni più adeguate.

Il caso oggetto di studio è lo stabilimento Ikea sito a Collegno in Viale Svezia 1. Si tratta di un fabbricato di 23.940 m² circondato da un'area, adibita a parcheggi e strade per il traffico veicolare, che occupa una superficie totale di circa 54.796 m². Le dimensioni appena citate sono state ricavate ricorrendo nuovamente al software QGis; dopo aver importato i layer relativi al comune di Collegno, si è ritagliata la zona di interesse e si sono quindi calcolate le aree per ogni tipo di superficie presente nel sito.

Di seguito sono elencati i tipi di superficie con le rispettive dimensioni e coefficiente di deflusso.

Nome classe	Descrizione	Caso 1 m ²	Caso 2 m ²	φ
AATT	Area attrezzata del suolo	1210,71	1210,71	0,8
ARGINE	Terra rinforzata/ghiaia	334,20	334,20	0,4
A_TRAS	Area in trasformazione	85,32	85,32	0,9
AC_VEI	Area di circolazione veicolare	52487,70	40225,20	0,9
EDIFC	Edificio	23939,70	23939,70	0,95
MAN_TR	Manufatto d' infrastruttura di trasporto	361,77	361,77	0,9
	Pavimentazione drenante		12262,5	0,5

Tabella 6.5. Layer importati in QGis, superficie e coefficiente di deflusso

Allo stato attuale, i posteggi delle auto sono realizzati mediante l'impiego di pavimentazioni drenanti. Tuttavia, non essendo a conoscenza dello stato di conservazione e manutenzione del manufatto, si è effettuata l'analisi del deflusso superficiale nei due casi:

1. trascurando la presenza di pavimentazioni drenanti e ipotizzando che i posteggi siano in asfalto.
2. considerando la presenza delle superfici drenanti;

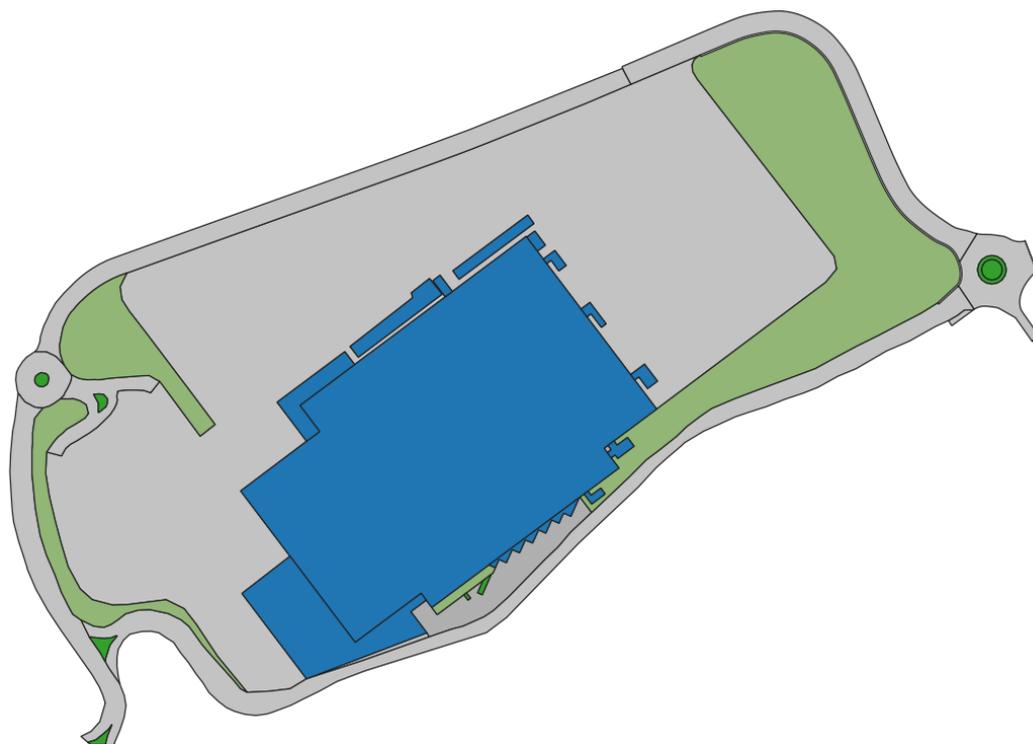


Figura 6.10. Modello dell'area di interesse in QGis, Ikea, Viale Svezia 1, Collegrno



Figura 6.11. Vista satellitare dell'area di interesse, Ikea, Viale Svezia 1, Collegrno

Il regolamento lombardo suddivide il territorio in tre ambiti in cui sono inseriti i comuni in base alla criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua recettori e a ciascuna categoria assegna la portata scaricabile nel ricettore finale. Per il caso in esame si è ipotizzato di ricadere nella categoria B, ovvero aree a media criticità per cui si ha una portata scaricabile nel ricettore finale pari a 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile.

Tale normativa impone dei limiti all'utilizzo del metodo delle sole piogge, il quale fornisce una valutazione del volume d'invaso dell'opera di mitigazione sulla base della sola conoscenza della curva di possibilità pluviometrica e della portata massima in uscita, ipotizzata costante nel tempo. Con questo metodo vengono trascurate completamente le perdite e i processi di laminazione che si realizzano durante la trasformazione afflussi-deflussi che interessa l'area scolante a monte dell'opera. Questa ipotesi semplicistica implica che le portate in ingresso al sistema di invaso siano sovrastimate e di conseguenza, nel caso si riesca a garantire la costanza della portata massima allo scarico, anche i volumi di laminazione risulteranno sovrastimati e cautelativi.

Le modalità di calcolo da applicare per ogni intervento sono definite nella Tabella 1 all'articolo 9 del regolamento.

CLASSE DI INTERVENTO	SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO		
			AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)		
			Aree A, B	Aree C	
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	$\leq 0,01$ ha (≤ 100 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da $> 0,01$ a $\leq 0,1$ ha (≤ 1.000 mq)	$\leq 0,4$	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da $> 0,01$ a $\leq 0,1$ ha (≤ 1.000 mq)	$> 0,4$	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11, comma 2, lettera d)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		da $> 0,1$ a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	$\leq 0,4$		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	$> 0,4$	Procedura dettagliata (vedi articolo 11, comma 2, lettera d)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

Tabella 6.6. Criteri di applicabilità dei diversi metodi di calcolo dei volumi d'invaso (Fonte: Bollettino Ufficiale Regione Lombardia, 2017).

L'area oggetto di studio ricopre una superficie compresa tra 1 e 10 ettari ed ha un coefficiente di deflusso superiore a 0,4, pertanto, come si evince dalla Tabella 6.6, non sarebbe applicabile il metodo delle sole piogge. Tuttavia, ai fini della presente analisi si è scelto di utilizzare questa metodologia quale riferimento normativo su

cui basare il possibile dimensionamento di un'eventuale vasca di laminazione, rimandando poi a chi di dovere per i calcoli accurati.

Ripercorrendo le procedure descritte al paragrafo 5.1.1b, si giunge al calcolo dei volumi di laminazione per il caso oggetto di studio.

Si presenteranno in successione entrambi i casi analizzati.

CASO 1 – Posteggi auto in asfalto

Di seguito si riportano tutti i dati necessari alla comprensione dei calcoli che si svolgeranno successivamente:

Superficie totale	S	7,84	ha
Coefficiente di deflusso medio	φ	0,91	-
Parametri curva di probabilità pluviometrica	a_1	25,91	mm/ora ⁿ
	a	53,71	mm/ora ⁿ
	n	0,29	-
Fattore di crescita	K50	2,073	-
Portata limite ammissibile allo scarico	u_{lim}	20	l/s

Si sono calcolati i valori dei volumi entranti e uscenti dall'invaso per le diverse durate analizzate applicando le formule 4.1.5 e 4.1.6. e la loro differenza secondo la 4.1.8. Si riportano in tabella i valori ottenuti:

Durata [ore]	$W_e [m^3]$	$W_u [m^3]$	$\Delta W [m^3]$
0,167	2283,63	94,10	2189,52
0,333	2792,06	188,21	2603,85
0,5	3140,44	282,31	2858,13
1	3839,63	564,62	3275,01
3	5280,25	1693,86	3586,39
6	6455,85	3387,72	3068,13
12	7893,18	6775,43	1117,74
24	9650,52	13550,87	-3900,35

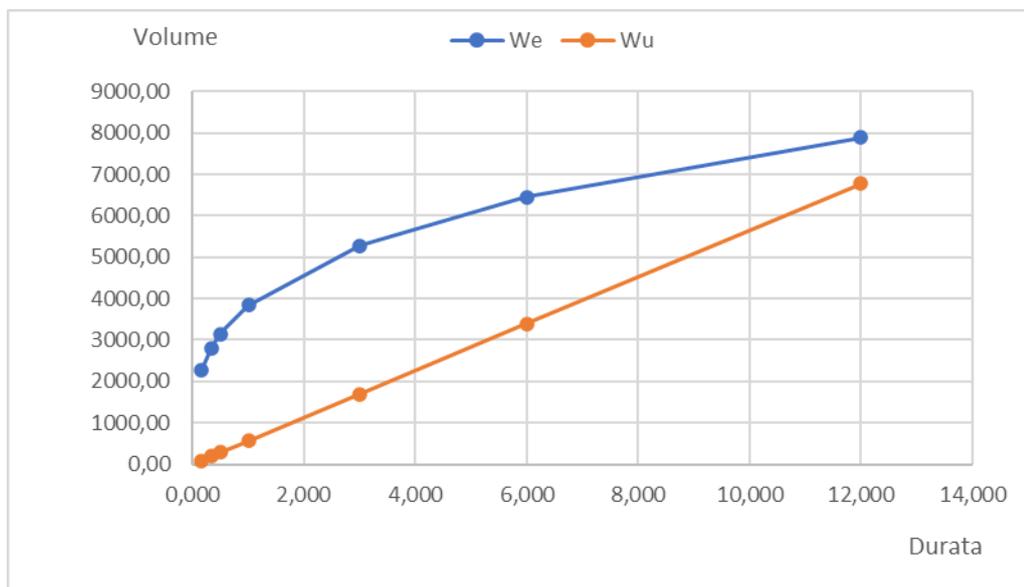


Figura 6.12. Individuazione con il metodo delle sole piogge dell'evento critico D_w e del corrispondente volume critico W_0 di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invasato

Al fine di ottenere il volume dell'invaso è necessario calcolare la durata critica, ovvero quella durata per cui è massimo ΔW . Dal grafico si può notare come questo valore sia all'incirca pari a 3 ore ma lo si ricava analiticamente come segue:

$$D_w = \left(\frac{3600 Q_{u,lim}}{10 S \varphi a n} \right)^{\frac{1}{n-1}} = 2,60 \text{ ore} = 156 \text{ minuti}$$

Il volume dell'invaso sarà quindi pari a:

$$W_0 = 10 S \varphi a D_w^n - 3600 Q_{u,lim} D_w = 3597,60 \text{ m}^3 = 3.597.597 \text{ l}$$

CASO 2 – Posteggi auto con pavimentazione drenante

Superficie totale	S	7,84	ha
Coefficiente di deflusso medio	φ	0,85	-
Parametri curva di probabilità pluviometrica	a_1	25,91	mm/ora ⁿ
	a	53,71	mm/ora ⁿ
	n	0,29	-
Fattore di crescita	K50	2,073	-
Portata limite ammissibile allo scarico	u_{lim}	20	l/s

In questo caso è possibile evidenziare la presenza di un valore inferiore al precedente del coefficiente di deflusso medio, proprio dovuto alla presenza delle pavimentazioni drenanti.

Si procede quindi con il calcolo dei volumi entranti e uscenti dall'invaso e della loro differenza.

Durata [ore]	We [m ³]	Wu [m ³]	ΔW [m ³]
0,167	2126,94	79,90	2047,04
0,333	2600,48	159,80	2440,68
0,5	2924,96	239,69	2685,27
1	3576,17	479,39	3096,79
3	4917,95	1438,16	3479,79
6	6012,88	2876,31	3136,57
12	7351,59	5752,62	1598,97
24	8988,35	11505,24	-2516,89

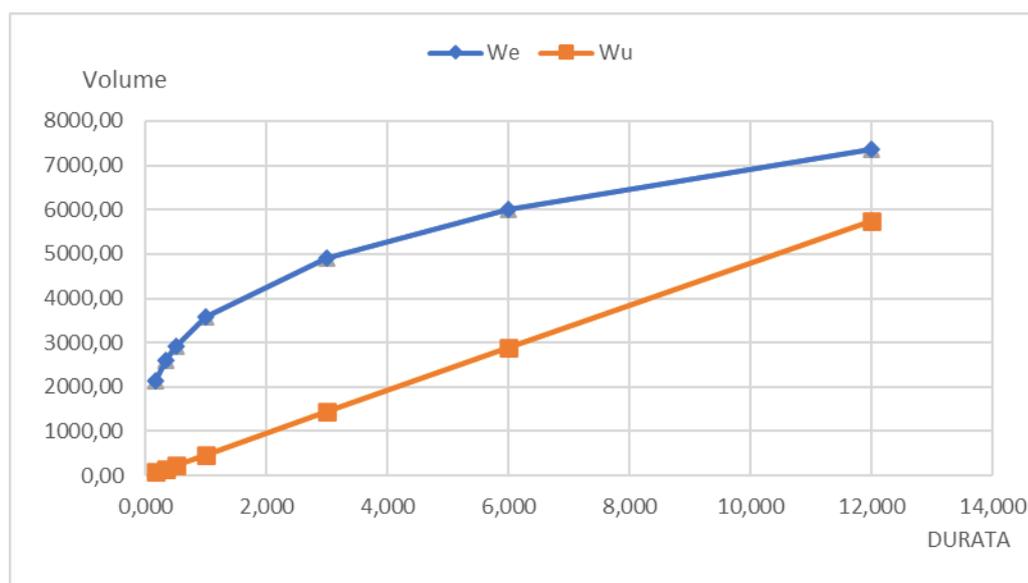


Figura 6.13. Individuazione con il metodo delle sole piogge dell'evento critico D_w e del corrispondente volume critico W_0 di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invasato

Il valore della durata critica sarà quindi pari a:

$$D_w = \left(\frac{3600 Q_{u,lim}}{10 S \varphi a n} \right)^{\frac{1}{n-1}} = 2,96 \text{ ore} = 178 \text{ minuti}$$

E il volume dell'invaso sarà:

$$W_0 = 10 S \varphi a D_w^n - 3600 Q_{u,lim} D_w = 3227,15 \text{ m}^3 = 3.227.146 \text{ l}$$

Osservando i risultati così ottenuti pare evidente come l'applicazione del metodo delle sole piogge porti ad una sovrastima delle dimensioni della vasca di laminazione. Tuttavia, ai fini della presente relazione, anche un valore così elevato risulta interessante per la ricerca di una soluzione applicabile nell'ambito in esame.

Uno spunto interessante, a tal fine, sono le esperienze danesi. La Danimarca, infatti, ha utilizzato un approccio olistico, includendo l'adattamento e la trasformazione per ripensare lo sviluppo urbano verso città più resilienti e vivibili.

Sono state implementate soluzioni per lo stoccaggio delle acque meteoriche con scopi multipli. L'idea è quella di gestire tutte le acque meteoriche in superficie realizzando un sistema di raccolta delle acque piovane in grado di rendere l'intera area resiliente ai cambiamenti climatici per evitare danni causati da forti piogge e nubifragi. Ma allo stesso tempo, nei periodi più secchi, le vasche di raccolta possono essere riutilizzate, divenendo delle strutture ricreative.

Interessante è il caso di Roskilde, dove l'architetto danese Søren Nordal Enevoldsen di Nordarch ha progettato una soluzione ingegnosa, creando un'oasi ricreativa che mette al sicuro la città da future inondazioni. Poiché l'area è soggetta a gravi eventi meteorici solo poche volte all'anno, Enevoldsen ha pensato che sarebbe stato un peccato dominare il paesaggio con un sistema di drenaggio. Allo stesso tempo, però, non prevederlo sarebbe stato catastrofico.

Egli ha quindi progettato il Rabalder Parken, un ampio complesso, che comprende attrezzature per il parkour, un'area fitness, punti di ritrovo arredati con griglie, trampolini, un palco per le esibizioni e un imponente skatepark, il quale, nei periodi di pioggia intensa, funge da vasca di raccolta divenendo un bacino in grado di contenere l'equivalente di 10 piscine olimpioniche di acqua piovana.



Figura 6.14. Skatepark di Rabalder Parken (Fonte: inhabitat.com)

Il più grande progetto climatico di Copenhagen è Enghavepark che, con un bacino idrico di 22.600 m³, risponde all'esigenza di gestire le sfide attuali e future della città in materia di acqua.

Quando le piogge rientrano nelle misure normali, l'acqua viene convogliata nel parco e in un bacino di ritenzione di 2000 metri cubi. Qui viene immagazzinata e utilizzata per innaffiare piante e alberi durante i periodi di siccità o per pulire le strade della città. Allo stesso tempo, l'acqua piovana viene gestita in superficie nel serbatoio multifunzionale per i nubifragi e nel muretto che lo circonda, progettato per trattenere 14.000 m³ di acqua.

Quando il bacino di ritenzione si svuota dopo lunghi periodi di siccità, sebbene le funzioni idriche scompaiano, resta comunque uno spazio vivibile per scopi ricreativi. È stato anche introdotto un meccanismo che spinge automaticamente verso l'alto i cancelli del muro perimetrale anche senza elettricità, cosicché, in caso di pioggia estrema, i cancelli automatizzati chiuderanno il parco al pubblico ed esso svolgerà la sua funzione di protezione, risparmiando gli edifici adiacenti dalle conseguenze della pioggia estrema.



Figura 6.15. Enghavepark a Copenhagen (Fonte: stateofgreen.com)

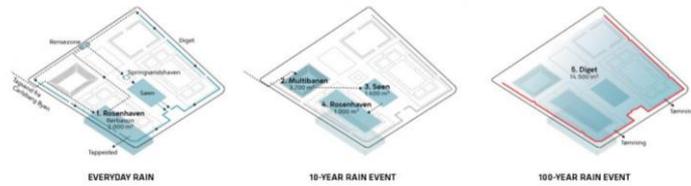
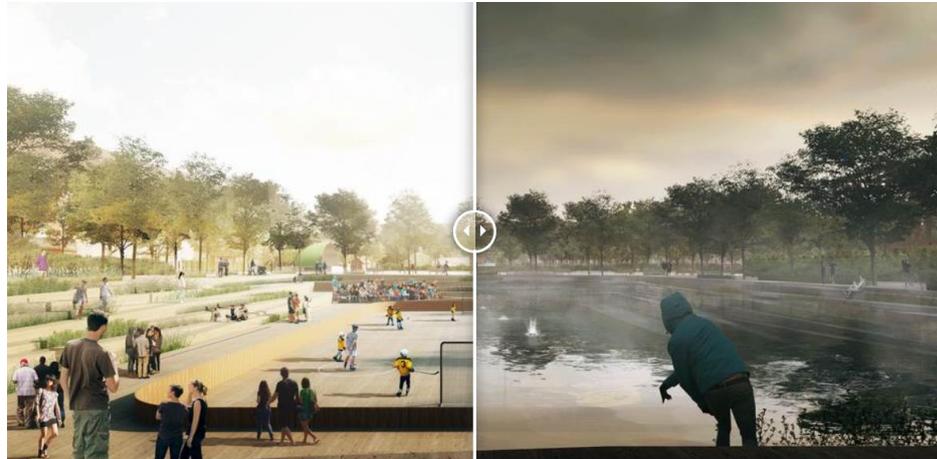


Figure 6.16 e 6.17. Enghavepark a Copenhagen (Fonte: tredjenatur.dk)

Alla luce di quanto visto finora e data la presenza di grandi zone verdi nei pressi dell'area oggetto di studio, un'ipotesi per il raggiungimento dell'invarianza idraulica e idrologica potrebbe essere la realizzazione di una vasca di laminazione con pareti verdi permeabili. Come visto in precedenza, questa soluzione sfrutta al contempo sia il processo di laminazione che quello di infiltrazione, riducendo quindi il volume minimo di invaso, ed è inoltre vantaggiosa poiché ha un impatto paesaggistico positivo, ovvero migliora il quadro paesaggistico e la fruizione del contesto.



Figura 6.18. Area nella quale si potrebbe realizzare la vasca di laminazione

Si potrebbe creare una depressione nel terreno che:

- in condizioni climatiche asciutte, abbia la funzione di parco ricreativo
- in condizioni di pioggia ordinaria, permetta l'infiltrazione del deflusso superficiale proveniente dall'area impermeabilizzata
- in caso di piogge estreme, svolga il ruolo di vasca di laminazione e infiltrazione.



Figura 6.19. SØNDER BOULEVARD (Fonte: ramboll.com)

Essendo un'opera a servizio di un bacino carrabile, è doveroso tener conto del rischio di inquinamento della falda. È possibile mitigare questo problema inserendo un impianto di trattamento delle acque di prima pioggia e ricoprendo le pareti e il fondo del bacino con un tappeto erboso, al fine sia di stabilizzare le superfici che di esercitare l'azione filtrante per trattenere le sostanze inquinanti presenti nelle acque di deflusso.

Occorre inoltre rimuovere periodicamente il primo strato di suolo del fondo nel quale si concentra il deposito degli eventuali inquinanti e provvedere alla sua decontaminazione in modo da limitare l'inquinamento del suolo.

7. Conclusioni

Nel presente elaborato si sono affrontate una serie di tematiche apparentemente differenti ma intrinsecamente collegate fra loro. Partendo dal tema bollente del cambiamento climatico, si è poi affrontato quello del consumo di suolo e della crescente impermeabilizzazione, parola che immediatamente richiama alla mente tematiche relative all'acqua, quindi alla sua importanza a livello globale e ai suoi usi a scala nazionale. Citato l'uso del suolo e l'acqua, è lampante il collegamento con i principi di invarianza idraulica e idrologica, nuova sfida che il mondo si sta preparando ad affrontare per ridurre l'impatto idrologico delle attività di trasformazione del territorio e per rendere le città resilienti, ovvero in grado di adeguarsi e adattarsi ai cambiamenti climatici in atto.

Molti studiosi sono concordi nell'attribuire al cambiamento climatico l'aumento della frequenza delle precipitazioni estreme.

Tra le tante conseguenze di queste condizioni metereologiche avverse, vi è un maggiore rischio di allagamenti urbani dovuti all'incapacità del sistema di drenaggio di gestire gli elevati volumi di acqua, che, non potendo infiltrarsi nel suolo dato l'ingente tasso di impermeabilizzazione, dà origine al fenomeno del ruscellamento, ovvero lo scorrimento delle acque piovane sulla superficie del terreno.

Alcune regioni italiane si sono munite di un proprio regolamento in materia di invarianza idraulica e idrologica per far fronte alle difficoltà del sistema fognario di smaltire i deflussi superficiali ed evitare l'esondazione dei recettori finali.

Nell'applicazione di tali principi trovano largo impiego i sistemi di drenaggio urbano sostenibile (SUDS), infrastrutture realizzate con un approccio multidisciplinare che sono, al contempo, in grado di gestire l'acqua urbana e fornire benefici aggiuntivi in termini di qualità delle acque, aumento della biodiversità e aumento della fruizione di aree pubbliche.

Alla luce dell'evidente necessità di agire al fine di proteggere il patrimonio costruito italiano dalle, ormai inevitabili, conseguenze del climate change, è inderogabile l'adozione di procedure standard a scala nazionale che regolamentino e incentivino

l'adozione e il rispetto dei principi di invarianza idraulica nei processi di trasformazione del territorio.

A tal proposito, non bisogna dimenticare come l'aumento del suolo edificato e impermeabilizzato comporti conseguenze molto pesanti sotto l'aspetto della sicurezza, in quanto viene meno la capacità drenante dei suoli e quindi aumenta il rischio idrogeologico, riduce la quantità di terreno disponibile per l'agricoltura, ma anche la capacità dell'ambiente di assorbire CO₂ e quindi di contrastare l'effetto serra e di ridurre il riscaldamento globale e le sue conseguenze nefaste.

È di fondamentale importanza quindi intervenire secondo le linee guida della nuova strategia dell'UE per il suolo per il 2030, approvata alla fine del 2021 dalla Commissione Europea, la cui prospettiva è quella di avere entro il 2050 tutti gli ecosistemi dei suoli dell'UE in buona salute e dunque più resilienti.

Sono numerosi gli esempi da cui attingere, infatti sono molti i paesi europei che si stanno muovendo in questa direzione adottando soluzioni innovative e sostenibili per la tutela delle città ma anche del suolo, dell'ambiente e dei cittadini.

Bibliografia

- [1] Enciclopedia degli idrocarburi, MARCHESE GRAFICHE EDITORIALI S.p.A, Roma, 2007, 937-950, Allegrini I., Buttini P., Emissioni e controllo dei gas serra.
- [2] Hossein Tabari, Climate change impact on food and extreme precipitation increases with water availability in “Scientific Reports”, a 2020, 10:13768.
- [3] IPCC, Cambiamento climatico 2021: sintesi per tutti, TECHNICAL SUPPORT UNIT
- [4] Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali, ISPRA, Stato dell’Ambiente 58/2015, Luglio 2015
- [5] Le emissioni di gas serra in Italia alla fine del secondo periodo del Protocollo di Tokyo: obiettivi di riduzione ed efficienza energetica, ISPRA, Aprile 2022
- [6] Mazzoglio P., Butera I., Claps P., I 2 -RED: A Massive Update and Quality Control of the Italian Annual Extreme Rainfall Dataset, in “Water 2020”, 12, 3308 Novembre 2020
- [7] Libertino A., Ganora D., Claps P., Evidence for Increasing Rainfall Extremes Remains Elusive at Large Spatial Scales: The Case of Italy, AGU, Luglio 2019
- [8] E. HORTON (Luigi Fanizzi - ECOACQUE ®)
- [9] MANUALE DRENANTI, a PERMEABILITÀ dei pavimenti in MASSELLI DRENANTI ECOFILTER®, Micheletto design the future
- [10] Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, edizione 2022, SNPA,32 3022, delibera del consiglio snpa Seduta del 22/07/2022 Doc. n. 177/22
- [11] Quaderni CSEI Catania III Serie Vol. 24, Invarianza idraulica e idrologica principi tecniche e normative, S. Alecci, S. Barbagallo, A. Campisano, Catania Novembre 2022
- [12] Il bilancio idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare-BIGBANG: metodologia e stime. Rapporto sulla disponibilità naturale della risorsa idrica, ISPRA, SNPA, Marzo 2021
- [13] Regolamento regionale 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 (Legge per il governo del territorio), Regione Lombardia

- [14] REGOLAMENTO REGIONALE 7/2017: IL PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA – IDROLOGICA, IL DOCUMENTO SEMPLIFICATO E LO STUDIO DI GESTIONE DEL RISCHIO IDRAULICO COMUNALE, Geol. Marco Cinotti, Ing. Giacomo Galimberti, Upel Varese, Dicembre 2019
- [15] UNI 10349-1 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici convenzionali
- [16] UTILIZZO E QUALITÀ DELLA RISORSA IDRICA IN ITALIA, ISTAT, 2019
- [17] Progetto di Revisione Piano di Tutela delle Acque, Relazione Generale, Regione Piemonte, Luglio 2018
- [18] Sustainable Drainage Systems Soluzioni progettuali tipo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche © Raffaele Bonsignori, Giulio Senes - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Milano
- [19] LE STATISTICHE DELL'ISTAT SULL'ACQUA | ANNI 2018-2020 Italia seconda in Europa per il prelievo di acqua potabile per abitante, 22 Marzo 2021.
- [20] L'itinerario invisibile, il ciclo idrico, Gruppo HERA, giugno 2008
- [21] CLOUDBURST MASTERPLAN FOR LADEGÅRDSÅ, FREDERIKSBERG EAST & VESTERBRO, Ramboll Group, Marzo 2019
- [22] CLIMATE ADAPTED CITIES, Solutions from Copenhagen, DI – Confederation of Danish Industry, klimatilpasning
- [23] Aggiornamento parametri climatici nazionali e zonizzazione del clima nazionale ai fini della certificazione estiva, G.Riva, G. Murano, ENEA, Settembre 2013
- [24] Anno 2015 CENSIMENTO DELLE ACQUE PER USO CIVILE, ISTAT Dicembre 2017
- [25] Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po, Sintesi dell'analisi economica sull'utilizzo idrico, riesame e aggiornamento 2021

Sitografia

- [1] ipccitalia.cmcc.it
- [2] webgis.arpa.piemonte.it
- [3] ilpianetatterra.it
- [4] treccani.it
- [5] amanscpa.it
- [6] tredjenatur.dk
- [7] stateofgreen.com

Ringraziamenti

Per concludere, desidero ringraziare tutte le persone che hanno contribuito alla realizzazione della presente tesi di laurea.

Ringrazio infinitamente la mia relatrice, la professoressa ing. Ilaria Butera, che mi ha guidata con disponibilità e gentilezza, e i miei correlatori, l'ing. Matteo Carollo e l'ing. Roberto Revelli, per il supporto e il tempo che mi hanno dedicato.

Un grazie speciale lo rivolgo a voi, mamma, papà, Albi e nonna, per tutte le volte in cui vi siete fatti carico delle mie ansie come fossero vostre attenuando le mie preoccupazioni e spronandomi a non mollare mai.

Un grande ringraziamento poi va a tutti coloro che sono stati al mio fianco durante questo lungo e tortuoso percorso.

All'ing. Antonino Giustiniani, per avermi sostenuta in un momento particolarmente difficile della mia carriera accademica.

Alle mie cugine e grandi amiche, Elena e Francesca, a mio nonno Filiberto e a tutti coloro che fanno parte della mia grande famiglia.

A Lambe, a Filo e a tutti i miei colleghi, sono grata di aver affrontato con voi questo viaggio.

A Erica ed Elena, le mie ingegnere, le mie compagne di danza ma soprattutto il mio porto sicuro.

A Sara, la mia grande certezza.

Al mio adorato Giulio e a Ludi, la mia migliore amica e compagna di vita.

Agli amici di vecchia data che sono al mio fianco da sempre, Ale, Cri, Fede e Fili, a quelli che sono capitati nel momento perfetto, quando più ne avevo bisogno, Adele, Alan, Fede e Gio, e a coloro per cui le parole non basteranno mai, Fabio, Dafne e Federica.

Infine, grazie a Simone, che mi ha insegnato ad affrontare con coraggio anche le sfide più grandi e che per sempre occuperà un posto speciale nel mio cuore.