



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
ARCHITETTURA, TERRITORIO, AMBIENTE E DI
MATEMATICA

Corso di Laurea Magistrale a ciclo unico
in Ingegneria Edile-Architettura

Tesi di Laurea

APPLICAZIONE DEL PRINCIPIO DI INVARIANZA
IDRAULICA NEL COMUNE DI PADERNO
FRANCIACORTA

Riduzione del rischio idraulico tramite soluzioni di
drenaggio urbano sostenibile

Relatrici: Prof.ssa Giovanna Grossi
Prof.ssa Michèle Pezzagno
Correlatore: Ing. Claudio Granuzzo

Laureanda:
Sara Bianchi
Matricola n. 706607

Anno Accademico 2018/2019

Indice

Premessa	1
1 Introduzione	4
1.1 <i>L'impermeabilizzazione dei suoli</i>	4
1.1.1 Le cause	4
1.1.2 Le conseguenze	5
1.1.3 Gli obiettivi comunitari.....	7
1.2 <i>Il dissesto idrogeologico</i>	10
1.3 <i>L'impatto dell'urbanizzazione sul ciclo dell'acqua</i>	16
1.4 <i>Principi e scopi dell'invarianza idraulica ed idrologica</i>	19
2 Il caso studio di Paderno Franciacorta	24
2.1 <i>Inquadramento territoriale e storico</i>	24
2.2 <i>Espansione urbana</i>	27
2.3 <i>Caratteristiche geologiche e idrogeologiche</i>	34
2.4 <i>Il sistema di drenaggio urbano</i>	38
2.5 <i>Esposizione al rischio idraulico</i>	41
3 Modellazione idrodinamica	52
3.1 <i>Digitalizzazione della rete di drenaggio urbano</i>	52
3.2 <i>Digitalizzazione del reticolo idrico</i>	56
3.3 <i>Ricostruzione delle aree colanti</i>	58
3.4 <i>Quantificazione delle aree impermeabili</i>	59
3.5 <i>Specificità del comparto produttivo</i>	70
3.6 <i>Definizione delle precipitazioni di progetto</i>	74
3.7 <i>Calcolo delle portate di colmo affluenti ai ricettori</i>	81
3.8 <i>Verifica della capacità di smaltimento delle portate</i>	91
3.9 <i>Verifica nello scenario futuro</i>	98

4	Fase progettuale	106
4.1	<i>Linee guida per la progettazione</i>	<i>106</i>
4.2	<i>Sistemi di drenaggio urbano sostenibili</i>	<i>108</i>
	4.2.1 Raccolta e riuso	111
	4.2.2 Riduzione del deflusso	113
	4.2.3 Laminazione e rallentamento del deflusso	127
	4.2.4 Confronto di sintesi	133
4.3	<i>Localizzazione dei SuDS nel territorio comunale di Paderno Franciacorta</i>	<i>134</i>
4.4	<i>Definizione delle aree di intervento</i>	<i>137</i>
4.5	<i>Parametri idraulici di sistemi per l'infiltrazione e la laminazione</i>	<i>143</i>
4.6	<i>Principi generali di dimensionamento</i>	<i>150</i>
4.7	<i>Dimensionamento delle opere</i>	<i>153</i>
	4.7.1 Trincee d'infiltrazione	154
	4.7.2 Pozzi perdenti	157
	4.7.3 Superfici permeabili	160
	4.7.4 Pavimentazioni stradali drenanti	163
	4.7.5 Vasche e bacini	164
4.8	<i>Confronto scenari di progetto</i>	<i>165</i>
	4.8.1 Fattori economici	165
	4.8.2 Vantaggi ambientali e sociali	169
	4.8.3 Sintesi e confronto	171
4.9	<i>Applicazione al caso di Paderno Franciacorta</i>	<i>174</i>
	4.9.1 Il progetto per l'area industriale	174
	4.9.2 Il progetto sul laghetto a protezione del centro sportivo	179
	Conclusioni	189
	Bibliografia	193
	Sitografia	196
	Ringraziamenti	198

Premessa

I cambiamenti climatici, la crescita della popolazione, l'esaurimento delle risorse, l'inquinamento e l'urbanizzazione sono le principali sfide globali che l'umanità si trova ad affrontare. La domanda di risorse naturali è cresciuta fortemente a causa dell'aumento della popolazione umana e della crescita dei consumi, con conseguente espansione di insediamenti e d'infrastrutture, frammentazione e degrado dei paesaggi naturali, perdita di biodiversità e di servizi ecosistemici.

Il cambiamento climatico pone serie sfide per le città: eventi meteorologici estremi come ondate di calore, inondazioni e siccità sono sempre più ricorrenti. L'aumento della frequenza e dell'entità delle inondazioni è probabilmente uno degli effetti più gravi dei cambiamenti climatici e si dimostra in crescita a causa del progressivo ed incontrollato consumo del suolo.

L'urbanizzazione riduce le aree naturali disponibili per la gestione delle alluvioni e aumenta il numero di abitazioni ed attività economiche collocate in zone a rischio. Inoltre, la sostituzione di vegetazione naturale con superfici artificiali impermeabili modifica le condizioni microclimatiche alterando temperatura, umidità, direzione del vento e modelli di pioggia. L'eccesso di acqua meteorica che non riesce a defluire nel terreno laddove il grado di urbanizzazione è più elevato, aumenta il rischio di inondazioni; al contempo l'elevata quantità di superfici artificiali accumula calore e provoca un innalzamento delle temperature (EEA, 2012, p 6).

Le conseguenze di questi fenomeni non sono trascurabili: perdite economiche, blocchi di produzione causati da danni alle infrastrutture di trasporto e dell'energia, impatti socio-economici, impatti sul patrimonio culturale ed ambientale, problemi di salute pubblica per contatto con acque contaminate o per stress da trauma, sfollamenti di persone e perdita di vite umane (EEA, 2017 A, p 140).

Numerose città, regioni e paesi convergono verso azioni di adattamento ai cambiamenti climatici, alla ricerca di buone pratiche coordinate e condivise a livello globale che ne mitighino cause ed effetti.

Material impacts	Economic impacts	Health impacts	Emergency assistance impacts
Damage to: <ul style="list-style-type: none"> • residential, commercial and public buildings, space and assets; • transport infrastructure; • public utility objects and networks (electricity, communication, gas, water); • other vulnerable objects, e.g. petrol stations. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disruption of electricity network; • disruption of communication network; • disruption of traffic: Motor vehicles, public transport, bicycles, emergency services; • loss of business. 	<ul style="list-style-type: none"> • Death; • health impacts due to contact with contaminated flood water; • health impacts due to damp and associated fungi; • citizens' experience of all relevant impacts in a flood event — post traumatic stress disorder due to dislocation and loss. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fire department services; • police department services; • sewer management services; • water board services.

Tab.1.1 - Lista dei potenziali impatti dovuti ad inondazioni in area urbana.

Fonte: EEA, 2012, p 35.

Obiettivo di questo lavoro di tesi è studiare gli indirizzi d'azione da adottare nella pianificazione del territorio alla scala locale per assicurare uno sviluppo urbano sostenibile, rendendo il più possibile le città resilienti ai cambiamenti climatici.

La resilienza, ossia la capacità della popolazione, di organizzazioni e di sistemi vulnerabili a resistere e persino prosperare in seguito ad imprevedibili eventi distruttivi, è un concetto relativamente nuovo ma strategico per rispondere prontamente ad eventi estremi. Pianificare città resilienti è anche uno degli obiettivi definiti nell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (United Nations General Assembly, 2015, p 21):

Goal 11. Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable

11.b By 2020, substantially increase the number of cities and human settlements adopting and implementing integrated policies and plans towards inclusion, resource efficiency, mitigation and adaptation to climate change, resilience to disasters, and develop and implement, in line with the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, holistic disaster risk management at all levels.

Regione Lombardia, attraverso nuove regolamentazioni regionali, pone l'attenzione verso il riequilibrio progressivo di un regime idraulico ed idrologico naturale il più possibile simile a quello antecedente l'urbanizzazione. Partendo dal rispetto dei principi d'invarianza idraulica ed idrologica si vogliono analizzare i margini di intervento realizzabili su tessuti urbani esistenti, al fine di mitigare le probabilità di accadimento delle alluvioni.

Il caso studio affrontato in questo lavoro di tesi, riguardante il comune di Paderno Franciacorta sito in provincia di Brescia, si pone come occasione di analisi dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile disponibili per diminuire le conseguenze di una forte impermeabilizzazione già avvenuta nel nostro territorio.

Il lavoro è stato svolto grazie alla possibilità di disporre dei dati forniti dal Comune di Paderno Franciacorta e grazie alla collaborazione con lo studio professionale d'ingegneria SePrAm Srl.

Obiettivo di questa tesi è fornire un modello di riferimento per la parametrizzazione di alcune opere idrauliche drenanti, come utile strumento per il confronto tra diversi scenari progettuali di cui avvalersi in fase di definizione degli indirizzi d'intervento. Questo modello può trovare applicazione in altre realtà comunali, diverse da quella di Paderno Franciacorta.

Dotare gli organi di governo del territorio, ovvero l'amministrazione comunale nel caso in esame, degli strumenti necessari per individuare le criticità presenti al fine di poter attenuare l'impatto idrico ed ambientale di cui lo sviluppo antropico è causa, è il primo passo verso una pianificazione futura più consapevole, volta alla messa in sicurezza del territorio e più rispettosa degli equilibri naturali. Tecniche innovative per ridurre al minimo i danni causati da inondazioni o siccità possono rivelarsi allo stesso tempo ottime scelte per la valorizzazione dell'ambiente, con effetti positivi sulla qualità della vita delle popolazioni locali (EEA, 2014, p 9).

Grey measures	Green measures	Soft measures
<ul style="list-style-type: none"> • Make new buildings and infrastructure flood proof by appropriate design and material use. • Maintenance/upgrade of drainage system. • Temporary water storage in basins or fascines. • Separate treatment of rain water, disconnected from sewage, improved ground drainage. • Innovative design of buildings and areas such as elevated entrances, building on poles, floating houses, temporary water storage, green roofs. • Dams, flood defences. 	<ul style="list-style-type: none"> • Avoid/remove impervious surfaces whenever possible. • Maintain and further increase green infrastructure in cities, parks and gardens, wetlands, water bodies but also green roofs. • Maintain and manage green areas outside and inside the cities for flood retention including the use of appropriate agricultural and forest practices. • 'Re-naturalisation' of rivers and wetlands. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapping of flood risks taking into account climate change scenarios and information distribution. • Forecasting and early warning systems. • Awareness raising, knowledge and capacity building for all groups to cope with floods and flood risks. • Strategic planning in river basins – ban building in flood prone areas, protect flood retention and other green areas. • Flood risk management plans. • Rain water management. • Guidance for behaviour changes such as not storing valuables in basements. • Adapting building and planning codes to include flood resistance. • Taxes or incentives, such as concerning the amount of sealed area per property, amount of waste water used (including rain water). • Insurance of damages.

Tab.1.2 - Misure di adattamento alle inondazioni urbane e territoriali.

Fonte: EEA, 2012, p 48.

1 Introduzione

1.1 L'impermeabilizzazione dei suoli

L'impermeabilizzazione del suolo si verifica in genere quando parte del terreno viene coperta da materiali artificiali impermeabili, oltre che per fenomeni più o meno naturali quali la possibile compattazione degli strati del suolo, ed è considerata una delle principali cause di degrado del suolo.

Nel corso degli ultimi decenni, l'urbanizzazione e la costruzione di infrastrutture hanno portato ad un aumento delle superfici impermeabili più di due volte superiore rispetto al tasso di crescita demografica. Dalla metà degli anni 50 la superficie totale delle aree urbane nell'Unione europea è aumentata del 78%, mentre la crescita demografica è stata di appena il 33% (Commissione europea, 2012, p 12). Tale tendenza, dovuta allo *sprawl* urbano e alla diffusione di insediamenti caratterizzati da una bassa densità demografica, si rivela essere una minaccia allo sviluppo territoriale sostenibile.

1.1.1 Le cause

Le cause della continua espansione urbana sono dunque da ricercare nel cambiamento degli stili di vita e di consumo della popolazione, più che nella crescita demografica. L'uso accresciuto delle forme individuali di mobilità e la rendita differenziale dei terreni indotta dall'urbanizzazione entro i confini comunali hanno contribuito all'abbandono dei centri cittadini a favore delle aree periurbane, dove la disponibilità di superfici abitative pro-capite e di aree verdi risulta essere maggiore.

Inoltre, la dipendenza delle autorità locali dal gettito degli oneri di urbanizzazione inducono i comuni a promuovere la costruzione di nuove aree residenziali, commerciali o industriali. In aggiunta, lo scarso apprezzamento del valore del suolo e del paesaggio quale risorsa limitata, porta ad un rapido consumo dei terreni

agricoli attorno alle città, solitamente fertili ma meno tutelati rispetto a foreste o ad altre zone naturali.

1.1.2 Le conseguenze

Il suolo ha un ruolo insostituibile nel ciclo degli elementi nutritivi e, poiché i tempi per la sua formazione sono estremamente lunghi, può essere ritenuto una risorsa non rinnovabile nel breve periodo. L'impermeabilizzazione del suolo porta con sé molteplici conseguenze, dirette ed indirette, sulle risorse idriche, energetiche ed alimentari, sulla biodiversità, sul clima, sulla qualità dell'aria e sul benessere umano.

L'impermeabilizzazione riduce la naturale capacità d'infiltrazione dell'acqua piovana nel suolo, aumentando i deflussi meteorici superficiali e diminuendo i tempi con cui questi giungono nei ricettori finali. Il conseguente aumento delle portate di colmo comporta una maggiore esposizione al rischio alluvioni, in quanto la capacità del sistema ricettore può dimostrarsi insufficiente allo smaltimento dei picchi di precipitazione ricorrenti durante gli eventi meteorici più intensi.

L'occupazione del terreno dovuta agli insediamenti urbani dimostra avere un impatto anche sulla sicurezza alimentare ed energetica, poiché ha da sempre coinvolto le zone più fertili e più produttive, nelle quali risiede anche gran parte delle riserve di carbonio organico (Commissione europea, 2012, p 16).

Effetti sul cambiamento climatico locale sono dovuti alla riduzione dell'evapotraspirazione nelle aree urbane. La perdita di terreno vegetato, insieme con l'aumento dell'irraggiamento solare delle superfici impermeabili e del calore prodotto da sistemi di condizionamento e dal traffico, contribuiscono all'aumento delle temperature estreme favorendo l'effetto "isola di calore".

Come dimostrano alcune misurazioni dell'effetto refrigerante della vegetazione, la temperatura all'ombra di un albero risulta mediamente inferiore di 3 °C rispetto a quella misurata su un marciapiede direttamente esposto all'irraggiamento solare quando la temperatura ambiente è intorno ai 30 °C. Parallelamente l'umidità

relativa aumenta circa del 5%¹ (Commissione europea, 2012, p 55). L'effetto refrigerante cresce ulteriormente in presenza di gruppi di alberi, siti vegetati di piccole dimensioni e ben distribuiti a livello di quartiere o di città, come conferma un rapporto dell'EPA *Environmental Protection Agency* (2008). A questo possono contribuire anche i tetti verdi, nonostante non producano molta ombra.

La presenza di spazi verdi e aperti di qualità in aree fortemente urbanizzate è essenziale per il benessere e la salute degli abitanti, per la vitalità delle attività sociali, per la comunicazione, lo svago e l'intrattenimento.

L'impermeabilizzazione e lo *sprawl* urbano contribuiscono alla perdita e al degrado del paesaggio, soprattutto rurale, che invece è un punto di riferimento per l'identità degli abitanti. La densificazione delle aree urbane non dovrebbe andare a scapito di spazi pubblici aperti e di parchi, luoghi ricchi di attrattività e vivacità.

La copertura del suolo con materiali impermeabili, dunque, compromette permanentemente le sue funzionalità ecologiche, economiche e sociali, con effetti diretti sui quelli che vengono definiti i servizi ecosistemici² essenziali (ISPRA, 2018 B, p 1):

- servizi di approvvigionamento (fornitura di prodotti alimentari, biomassa e materie prime);
- servizi di regolazione e mantenimento (regolazione del clima, cattura e stoccaggio del carbonio, controllo dell'erosione e dei nutrienti, protezione e mitigazione dei fenomeni idrologici estremi, regolazione della qualità dell'acqua e conservazione della biodiversità);
- servizi culturali (servizi ricreativi e culturali, funzioni etiche e spirituali, paesaggio e patrimonio naturale).

¹ Dati rilevati a Creta su campioni di diverse specie arboree.

² Secondo quanto ricordato da Boyd e Banzhaf (2005) "I servizi ecosistemici sono i prodotti finali della natura che producono benessere umano. Tre condizioni necessarie definiscono un servizio ecosistemico. Innanzitutto, e più ovvio, il servizio deve emergere dall'ambiente naturale. In secondo luogo, un servizio deve migliorare il benessere umano. Terzo, un servizio è un prodotto finale della natura utilizzato direttamente dalle persone".

Dall'analisi del flusso di servizi ecosistemici, elaborata dall'ISPRA tra il 2012 e il 2017, risulta che l'impatto economico del consumo di suolo in Italia produce perdite annuali molto elevate, tra le quali il valore più significativo è associato al servizio di regolazione del regime idrologico.

	Valore minimo [€/anno]	Valore massimo [€/anno]
Stoccaggio e sequestro di carbonio	102.056	538.898
Qualità degli habitat	11.615.539	11.615.539
Produzione agricola	61.796.023	61.796.023
Produzione di legname	26.945.760	26.945.760
Impollinazione	4.109.804	5.487.373
Regolazione del microclima	2.251.732	9.006.928
Rimozione particolato e ozono	950.980	2.938.569
Protezione dall'erosione	10.521.848	112.385.949
Disponibilità di acqua	1.977.636	47.463.254
Regolazione del regime idrologico	1.535.630.715	1.789.521.660
Purificazione dell'acqua dai contaminanti	226.033	60.297.780
Totale	1.656.128.126	2.127.997.732

Tab.1.3 - Valori dei servizi ecosistemici persi a causa del consumo di suolo registrato tra il 2012 e il 2017 in Italia.

Fonte: ISPRA, 2018 B, p 60.

1.1.3 Gli obiettivi comunitari

Al fine di promuovere un uso efficiente e sostenibile delle risorse del suolo e di tutelare il patrimonio ambientale del paesaggio, nella tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse (COM (2011) 571) la Commissione Europea ha fissato come obiettivi per le politiche dell'Unione europea di (Commissione europea, 2012, p 47):

- considerare l'impatto diretto e indiretto sull'uso del suolo nell'UE entro il 2020
- raggiungere un'occupazione netta di terreno pari a zero entro il 2050.

Le priorità di azione e le linee guida da seguire per raggiungere tale obiettivo sono state indicate dalla Commissione stessa nel 2012 attraverso le *Linee guida per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo*.

Gli Stati membri dovrebbero, prioritariamente, assicurare la limitazione dell'impermeabilizzazione del suolo attraverso il riuso delle aree già edificate e dei siti dismessi, i programmi di riqualificazione urbana, la promozione del

trasporto pubblico e di incentivi all'affitto di case disabitate. Secondariamente, laddove si è verificata un'impermeabilizzazione, gli stessi dovrebbero prevedere misure di mitigazione, volte al mantenimento delle principali funzioni del suolo e alla riduzione degli effetti negativi sull'ambiente e sul benessere umano, grazie all'impiego di materiali permeabili, di sistemi naturali di raccolta delle acque e grazie all'infrastruttura verde.

Infine, qualora le misure di mitigazione adottate siano ritenute insufficienti, dovrebbero essere adottate misure di compensazione che assicurino la rinaturalizzazione di terreni già impermeabilizzati o corrispettivi economici volti a sostenere unicamente azioni di protezione o ripristino del suolo.

Nel 2015 l'Agenda Globale per lo sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite (UN, 2015), 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:

- assicurare che il consumo di suolo non superi la crescita demografica;
- assicurare l'accesso universale a spazi verdi e spazi pubblici sicuri, inclusivi e accessibili;
- raggiungere un *land degradation neutral world*, quale elemento essenziale per mantenere le funzioni e i servizi ecosistemici.

Tutti i paesi che come l'Italia hanno sottoscritto l'Agenda hanno accettato di partecipare ad un processo di monitoraggio gestito dalla Commissione Statistica delle Nazioni Unite. Il controllo dei suddetti obiettivi avviene attraverso un sistema di indicatori, tra cui alcuni specifici sul consumo di suolo, sull'uso del suolo, sulle aree artificiali e sulla percentuale del territorio soggetto a fenomeni di degrado.

A livello nazionale lo strumento per la messa a sistema dell'attuazione dell'Agenda 2030 è rappresentato dalla Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS), presentata al Consiglio dei Ministri a ottobre 2017 e approvata dal Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica (CIPE) a dicembre dello stesso anno (ISPRA, 2018 B, p 6).

Per il raggiungimento degli obiettivi relativi al 2030 e al 2050, l'Italia deve intraprendere un rapido contenimento del consumo di suolo agricolo e naturale. Un cambiamento questo significativo, ma che necessita di atti normativi efficaci che indirizzino le politiche di governo verso le azioni di trasformazione sostenibile del territorio (ISPRA, 2018 B, p 7).

1.2 Il dissesto idrogeologico

Il forte incremento delle aree urbanizzate e dunque del consumo di suolo, verificatosi a partire dal secondo dopoguerra, spesso in assenza di una corretta pianificazione territoriale, ha portato ad un considerevole aumento dei territori esposti al rischio di frane e di alluvioni. Tra gli anni 50 ed il 2017 le superfici artificiali sono passate, infatti, dal 2,7% al 7,65%; conseguentemente, il 91% dei comuni italiani risultano essere a rischio per frane e/o alluvioni, con 1,28 milioni di abitanti a rischio frane e oltre 6 milioni di abitanti a rischio alluvioni (ISPRA, 2018 A, p 1).

Per le caratteristiche morfologiche del territorio, il dissesto idrogeologico costituisce un tema di particolare rilevanza per l'Italia: il reticolo idrografico, spesso stretto tra i rilievi montuosi ed il mare, con spazi e distanze assai modesti, risulta essere particolarmente esposto ad eventi alluvionali. Repentini eventi di piena, noti come “*flash floods*” e innescati spesso da fenomeni meteorologici brevi e intensi, hanno importanti conseguenze sulla popolazione, sulle infrastrutture lineari di comunicazione e sul tessuto economico e produttivo.

La *Direttiva 2007/60/CE* o *Direttiva Alluvioni (Floods Directive FD)*, sottolinea come sebbene le alluvioni siano fenomeni naturali impossibili da prevenire, alcune attività antropiche risultano essere decisive nell'aumentarne la probabilità di accadimento ed aggravarne le conseguenze. La crescita degli insediamenti umani, l'incremento delle attività economiche, la riduzione della naturale capacità di laminazione del suolo per la progressiva impermeabilizzazione delle superfici e la sottrazione di aree di naturale espansione delle piene, sono tutti fattori decisivi (ISPRA, 2018 A, p 27).

La maggior frequenza di eventi meteorici brevi ed intensi, dovuta all'effetto combinato di variazioni climatiche significative, che alterano il regime termopluviometrico, e del sempre crescente consumo di suolo, accentua il carattere impulsivo della conseguente risposta al suolo in termini di deflussi.

L’Agenzia Europea per l’Ambiente propone una classificazione tipologica delle alluvioni che colpiscono le aree urbane (EEA, 2012, pp 36,37):

TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
Esondazione di fiumi	Alluvioni innescate da forti piogge, dallo scioglimento della neve nelle aree a monte o dalle influenze delle maree; si verificano quando il volume di deflusso del fiume supera le capacità di flusso locali. Le condizioni d’uso del suolo e la presenza di vegetazione hanno un impatto diretto sulla quantità di deflusso generato.
Inondazioni improvvise (“flash floods”)	Si verificano a causa del rapido accumulo e rilascio di acque di deflusso dalle aree montuose a monte, che possono essere causate da precipitazioni estreme, nubifragi, frane, un’improvvisa rottura di una diga o dal fallimento di sistemi di controllo delle inondazioni. Tali inondazioni sono caratterizzate da un forte aumento di intensità seguito da un rapido declino che causa elevate velocità di flusso. Le alluvioni improvvise dipendono da una complessa serie di fattori tra cui l’intensità e la durata delle precipitazioni, le caratteristiche superficiali, la topografia e la pendenza del bacino ricevente. Il previsto aumento della frequenza di eventi di precipitazione estrema e la crescente pressione sull’uso dei suoli ne aumenterà il rischio.
Inondazioni costiere	Si verificano durante i temporali in concomitanza con la crescita temporanea del livello del mare al di sopra della normale fascia di marea; possono portare alla creazione di grandi estuari o delta urbani lungo la costa, con conseguenti fenomeni di erosione. Le inondazioni costiere possono divenire più gravi provocando successive inondazioni fluviali se, a causa dell’innalzamento del livello del mare, il fiume non è in grado di defluirvi. Sebbene l’aumento del livello del mare durante una tempesta possa essere temporaneo, gli episodi di inondazioni urbane possono durare molto più a lungo a seconda della capacità dell’area urbana di drenare l’acqua in eccesso. Effetti diretti delle mareggiate sono l’erosione costiera accelerata, la perdita di proprietà, di terreni e di vite umane.
Inondazioni di drenaggio urbano	Inondazioni conseguenti all’insufficiente capacità del sistema di drenaggio di smaltire le acque affluenti durante eventi di precipitazione estremi. L’impermeabilizzazione delle superfici impedisce alle precipitazioni di infiltrarsi nel terreno, causando un deflusso superficiale molto elevato; l’acqua in eccesso scorre superficialmente lungo le strade ed altri percorsi preferenziali, allagando le aree depresse.
Inondazioni di acque sotterranee	Innalzamento delle acque sotterranee generato dalla situazione idrogeologica locale. Durante estesi periodi di precipitazioni, le acque sotterranee possono subire rallentamenti nel raggiungere le aree a bassa deposizione.

Tab.1.4 - Classificazione tipologia delle alluvioni

Fonte: EEA, 2012, pp 36,37.

Nel caso affrontato in questo studio, relativo a Paderno Franciacorta, le inondazioni tipiche ricorrenti sono quelle causate da insufficienze del sistema di drenaggio urbano.

Le alluvioni sono dunque il risultato di fattori meteorologici e idrologici, ma nella maggior parte dei casi risultano determinanti anche fattori derivanti dall'operato umano.

Meteorological factors	Hydrological factors	Human factors aggravating natural flood hazards
<ul style="list-style-type: none"> • Rainfall • Storm surges • Temperature • Snowfall and snowmelt 	<ul style="list-style-type: none"> • Soil moisture level • Groundwater level • Presence of impervious cover • Channel cross-sectional shape and roughness • Topography, slope, basin geometry • Presence or absence of over bank flow, channel network • Synchronisation of run-offs from various parts of watershed • High tide and heavy swell impeding drainage • Presence of strong ice cover on rivers 	<ul style="list-style-type: none"> • Land-use changes (e.g. surface sealing due to urbanisation, deforestation) • Inefficiency or non-maintenance of sewage system; river margins clearing • Building in flood-prone areas • Reducing/cutting off retention areas

Tab.1.5 - Fattori causa di allagamenti

Fonte: EEA, 2012, p 37.

La *Direttiva Alluvioni (FD)*, recepita nell'ordinamento legislativo nazionale dal D.Lgs. 49/2010, è nata con lo scopo di istituire un quadro di riferimento per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, volto alla riduzione delle potenziali conseguenze negative sulla salute umana, sulle attività economiche, sull'ambiente e sul patrimonio culturale (ISPRA, 2018 A, p 27). Conoscere i rischi che interessano il proprio territorio ha un importante risvolto sociale ed economico in quanto, favorendo una maggiore consapevolezza nella definizione dei luoghi nei quali stabilire la propria casa o ubicare nuove attività economiche, contribuisce alla riduzione dei danni e dei costi.

Intendendo per pericolosità da alluvione la probabilità di accadimento di un evento alluvionale di data intensità in un intervallo temporale prefissato e su una determinata area, la FD richiede che siano redatti i seguenti documenti (ISPRA, 2018 A, p 29):

- mappe di pericolosità contenenti la perimetrazione delle aree che potrebbero essere interessate da alluvioni, distinte secondo tre scenari di probabilità: scarsa, media, elevata;

- mappe del rischio indicanti le potenziali conseguenze negative per le persone, le attività economiche, l'ambiente e i beni culturali nell'ambito dei tre scenari di probabilità suddetti.

Tali conseguenze negative sono espresse in termini di:

- numero indicativo degli abitanti potenzialmente interessati;
- tipo di attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata;
- impianti che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di alluvione;
- aree protette potenzialmente interessate (aree per l'estrazione di acqua potabile, corpi idrici intesi a scopo ricreativo comprese le aree di balneazione, aree per la protezione degli habitat e delle specie compresi siti Natura 2000);
- altre informazioni considerate utili dagli Stati membri (aree in cui possono verificarsi alluvioni con elevato volume di sedimenti trasportati e colate detritiche, o notevoli fonti di inquinamento).

Tra gli obiettivi della FD c'è la redazione del *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni* (PGR), il quale contiene le misure atte a ridurre le potenziali conseguenze avverse delle alluvioni sulla salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, le attività economiche e le infrastrutture nelle aree soggette a inondazione, declinati sulle specificità territoriali. Tali misure devono essere definite considerando tutti gli aspetti della gestione del rischio riconducibili alle quattro categorie: prevenzione, protezione, preparazione e valutazione e ricostruzione post-evento (ISPRA, 2018 A, p 30).

Nel 2017 l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), al fine di aggiornare la mappa della pericolosità idraulica sull'intero territorio nazionale, ha proceduto alla nuova mosaicatura nazionale delle aree a pericolosità

idraulica, perimetrata dalle Autorità di Bacino Distrettuali³. La mosaicatura di pericolosità è stata realizzata secondo i tre scenari del D. Lgs. 49/2010:

- P3 elevata probabilità con tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (alluvioni frequenti);
- P2 media probabilità con tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (alluvioni poco frequenti);
- P1 bassa probabilità (scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)⁴.

Le aree a pericolosità idraulica elevata in Italia sono pari a 12.405 km² (4,1% del territorio nazionale), le aree a pericolosità media ammontano a 25.398 km² (8,4%), quelle a pericolosità bassa a 32.961 km² (10,9%) (ISPRA, 2018 A, p 32).

Su base provinciale, le aree a pericolosità idraulica presenti sul territorio di Brescia ammontano a:

Scenario di pericolosità Elevata - P3	370,5 km ²	7,7%
Scenario di pericolosità Media - P2	426,8 km ²	8,9%
Scenario di pericolosità Bassa - P1	568,4 km ²	11,9%

Tab.1.6 - Aree a pericolosità idraulica su base provinciale, Mosaicatura 2017.

Fonte: ISPRA, 2018 A, p 40.

³ L'attività di mosaicatura è stata realizzata nell'ambito della Convenzione stipulata tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ed ISPRA in data 16/10/2016 per il monitoraggio, controllo e verifica sull'attuazione e sulla coerenza con la pianificazione, delle misure di mitigazione del rischio idrogeologico sul territorio nazionale.

⁴ Lo scenario P1, che rappresenta lo scenario massimo atteso ovvero la massima estensione delle aree inondabili in Italia, contiene gli scenari P3 e P2, al netto di alcune eccezioni. I dati relativi ai tre scenari non vanno quindi sommati.

Il rischio è calcolato tenendo conto della pericolosità presente (P), della presenza di elementi ad essa esposti (E) e della loro vulnerabilità (V), tramite la seguente equazione:

$$R = P \times E \times V$$

Con riferimento agli elementi esposti alla pericolosità, tra gli indicatori di rischio alluvioni viene presa in considerazione la presenza nelle aree a rischio di: popolazione residente, famiglie, edifici, unità locali di imprese e beni culturali.

Nella provincia di Brescia i dati sono i seguenti:

ELEMENTI ESPOSTI		P3	P2	P1
Popolazione residente	Totale n.	42469	65544	233340
	Percentuale	3,4%	5,3%	18,8%
Famiglie	Totale n.	11645	27179	100598
	Percentuale	3,4%	5,3%	19,6%
Edifici	Totale n.	9001	14156	44744
	Percentuale	3,4%	5,3%	16,7%
Unità locali di imprese	Totale n.	4253	6458	21622
	Percentuale	3,8%	5,7%	19,2%
Beni culturali	Totale n.	233	325	645
	Percentuale	8,0%	11,1%	22,0%

Tab.1.7 - Elementi esposti sul territorio provinciale di Brescia - Elaborazione 2018.

Fonte: ISPRA, 2018 A, p 116, 124, 132, 140,147.

1.3 L'impatto dell'urbanizzazione sul ciclo dell'acqua

La forte pressione esercitata dall'impermeabilizzazione del suolo sulle risorse idriche può causare cambiamenti nello stato ambientale dei bacini di raccolta delle acque, alterando gli ecosistemi e i servizi idrici che essi offrono.

La capacità del suolo di immagazzinare acqua dipende da vari fattori, tra cui tessitura, struttura, profondità e contenuto di materia organica. L'impermeabilizzazione riduce la naturale capacità di assorbimento del suolo, in casi estremi impedendolo completamente, con conseguenti effetti diretti sul ciclo idrogeologico ed indiretti sul microclima. I tre maggiori impatti diretti sul ciclo dell'acqua dovuti alla maggiore impermeabilizzazione del suolo sono la riduzione del tasso di infiltrazione idrica, la diminuzione dei tempi di corrivazione e una minore evapotraspirazione (Commissione europea, 2012, p 49).

Una minore infiltrazione di acqua nel terreno porta ad avere impostanti deflussi meteorici superficiali, più consistenti e maggiormente inquinati, e portate di colmo crescenti.

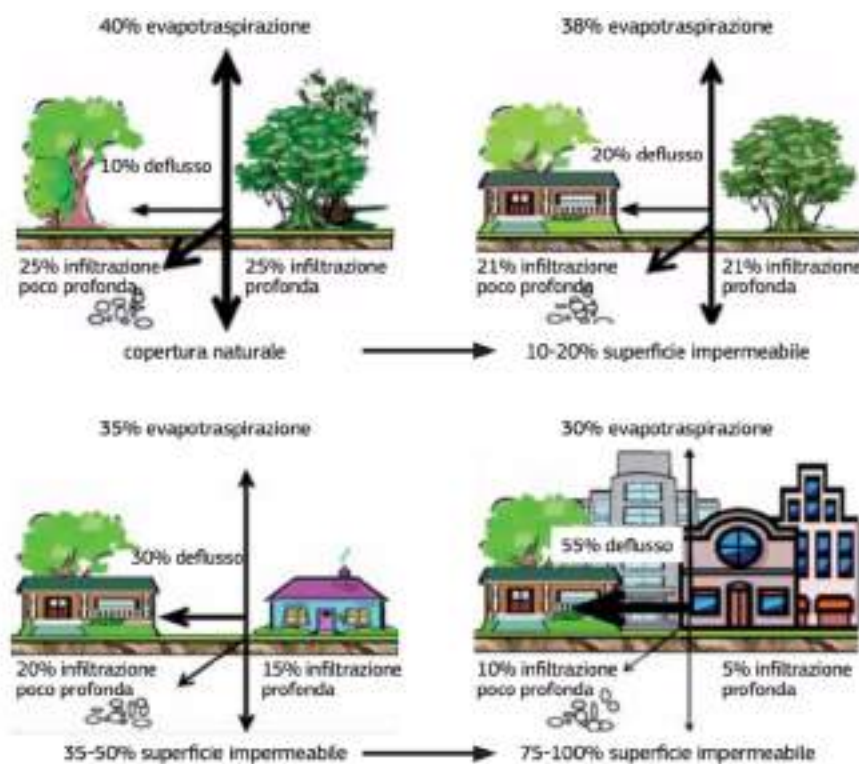


Fig.1.1 - Schema dell'influenza della copertura del suolo sul ciclo idrogeologico.

Fonte: Commissione europea, 2012, p 49.

Il terreno impermeabile perde la sua capacità di laminare acqua, di immagazzinarla e rilasciarla lentamente alla falda, aumentando la dipendenza da impianti artificiali per lo smaltimento delle acque e accrescendo il rischio di alluvioni. Le infrastrutture di drenaggio urbano artificiali si rivelano spesso obsolete e non al passo con lo sviluppo urbano crescente; di conseguenza, l'aumento della percentuale di superfici impermeabili sovraccarica, soprattutto durante eventi estremi, la capacità del sistema fognario già carente di manutenzioni adeguate.

La tombinatura inadeguata dei corsi d'acqua urbani, inoltre, causa una riduzione della loro capacità idraulica originaria ed impedisce la ricarica della falda sotterranea.

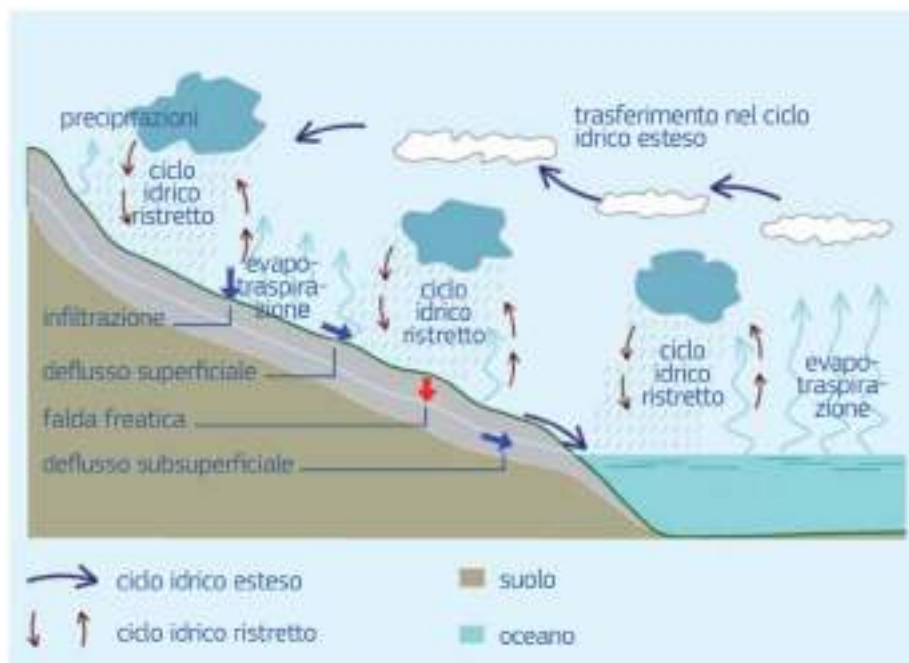


Fig.1.2 - L'impermeabilizzazione del suolo e i cambiamenti di uso del suolo influenzano i cicli dell'acqua.

Fonte: Commissione europea, 2012, p 51.

Le precipitazioni sono alimentate da cicli dell'acqua piccoli (a terra o in mare) o grandi (tra oceani e continenti). Un aumento del deflusso di pioggia o una riduzione dell'infiltrazione e dell'evaporazione, dovuto all'impermeabilizzazione e ai cambiamenti d'uso del suolo, priva il ciclo dell'acqua piccolo delle sue fonti. La perdita di superficie di evaporazione e di copertura vegetale può quindi essere

un fattore che contribuisce ai cambiamenti climatici locali (Commissione europea, 2012, p 51).

I cambiamenti climatici stanno aggravando la pressione sui corpi idrici. Come testimoniato dagli eventi alluvionali o di siccità crescenti, dall'acidificazione degli oceani e dall'innalzamento del livello dei mari, si prevede che gli impatti dei cambiamenti climatici sull'acqua si intensificheranno nei prossimi anni, rendendo la disponibilità di acqua meno prevedibile (EEA, 2014, p 5).

1.4 Principi e scopi dell'invarianza idraulica ed idrologica

Consapevoli degli effetti negativi della forte urbanizzazione avvenuta sul territorio italiano, alcune Regioni hanno iniziato a valutare provvedimenti in materia di mitigazione del rischio idraulico.

Il 27 novembre 2017 viene pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia il Regolamento Regionale 23 novembre 2017 - n.7., dal titolo:

«Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 (Legge per il governo del territorio)»

che si aggiunge ad altri regolamenti analoghi in vigore in altre Regioni italiane, e che è stato successivamente modificato dal Regolamento Regionale 19 aprile 2019 n. 8.

Obiettivo del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica è il mantenimento delle condizioni di deflusso superficiale delle acque meteoriche il più possibile simili a quelle precedenti all'urbanizzazione, al fine di arginare i sempre più frequenti allagamenti di aree urbane.

All'Art. 1 del RR7 e delle s.m.i. viene specificato l'oggetto del regolamento, mentre all'Art. 2 sono definiti i concetti di base:

Art.1 (Oggetto)

1. Al fine di perseguire l'invarianza idraulica e idrologica delle trasformazioni d'uso del suolo, riequilibrare progressivamente il regime idrologico e idraulico naturale, conseguire la riduzione quantitativa dei deflussi, l'attenuazione del rischio idraulico e la riduzione dell'impatto inquinante sui corpi idrici ricettori tramite la separazione e gestione locale delle acque meteoriche non suscettibili di inquinamento, il presente regolamento definisce, in attuazione dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge

per il governo del territorio), criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica, che devono essere anche utilizzati dai regolamenti edilizi comunali per disciplinare le modalità per il conseguimento dei principi stessi, e specifica, altresì, gli interventi ai quali applicare tale disciplina ai sensi dell'articolo 58 bis, comma 2, della stessa l.r. 12/2005.

Art. 2 (Definizioni)

invarianza idraulica: 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, di cui all'articolo 58 bis, comma 1, lettera a), della l.r. 12/2005;

invarianza idrologica: 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, di cui all'articolo 58 bis, comma 1, lettera b), della l.r. 12/2005;

drenaggio urbano sostenibile: sistema di gestione delle acque meteoriche urbane, costituito da un insieme di strategie, tecnologie e buone pratiche volte a ridurre i fenomeni di allagamento urbano, a contenere gli apporti di acque meteoriche ai corpi idrici ricettori mediante il controllo alla sorgente delle acque meteoriche, e a ridurre il degrado qualitativo delle acque, di cui all'articolo 58 bis, comma 1, lettera c), della l.r. 12/2005.

Le strategie operative per l'applicazione di tali principi si basano sull'imposizione di limiti alle massime portate ed ai volumi scaricati nel sistema di drenaggio naturale e artificiale.

Per ridurre le portate massime di piena si può agire su tre fattori:

- riduzione dei coefficienti di deflusso
- aumento dei tempi di corrivazione
- accumulo temporaneo, laminazione

Per ridurre il volume complessivo di deflusso si può agire su tre fattori:

- intercettazione delle acque piovane
- raccolta e riuso
- infiltrazione

Diminuire il volume di deflusso superficiale consente, come conseguenza diretta, di avere minori valori di portate massime. Dunque, perseguire il principio di invarianza idrologica è più ambizioso poiché implica il rispetto dell'invarianza idraulica; non vale il viceversa.

Il regolamento in esame, oltre ad applicarsi agli interventi edilizi descritti all'Art. 3 dello stesso RR7 e s.m.i, deve essere integrato alla pianificazione urbanistica comunale secondo quanto descritto all'Art. 14:

Art. 14 (Modalità di integrazione tra pianificazione urbanistica comunale e previsioni del piano d'ambito, al fine del conseguimento degli obiettivi di invarianza idraulica e idrologica)

1. I comuni ricadenti nelle aree ad alta e media criticità idraulica, di cui all'articolo 7, sono tenuti a redigere lo studio comunale di gestione del rischio idraulico di cui al comma 7, ad approvarlo con atto del consiglio comunale e ad adeguare, di conseguenza, il PGT entro i termini di cui al comma 5. Tali comuni, nelle more della redazione di tale studio comunale di gestione del rischio idraulico, redigono il documento semplificato del rischio idraulico comunale, con i contenuti di cui al comma 8, e lo approvano con atto del consiglio comunale. È facoltà dei comuni redigere unicamente lo studio comunale di gestione del rischio idraulico qualora lo stesso sia

redatto entro il termine indicato al comma 4 per il documento semplificato.

2. I comuni non ricadenti nelle aree di cui al comma 1 sono tenuti a redigere il documento semplificato del rischio idraulico comunale di cui al comma 8, ad approvarlo con atto del consiglio comunale e ad adeguare di conseguenza il PGT entro i termini di cui al comma 5. Tali comuni hanno comunque facoltà di redigere lo studio comunale di gestione del rischio idraulico di cui al comma 7, soprattutto qualora vi sia evidenza di allagamenti all'interno del territorio comunale.

3. Sia lo studio comunale di gestione del rischio idraulico che il documento semplificato del rischio idraulico comunale contengono la rappresentazione delle attuali condizioni di rischio idraulico presenti nel territorio comunale e delle conseguenti misure strutturali e non strutturali atte al controllo e possibilmente alla riduzione delle suddette condizioni di rischio.

Le indicazioni presenti nei documenti sopra descritti dovranno poi essere recepite negli strumenti urbanistici comunali; sempre all'Art. 14 si specifica:

5. Gli esiti dello studio comunale di gestione del rischio idraulico e, per i comuni ricadenti nelle aree a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7, gli esiti del documento semplificato del rischio idraulico comunale devono essere recepiti nel PGT approvato ai sensi dell'articolo 5 comma 3 della L.R. 31/2014 e comma 4, quinto periodo. A tal fine, il comune:

a) inserisce la delimitazione delle ulteriori aree individuate come soggette ad allagamento, di cui al comma 7, lettera a), numero 3, e al comma 8, lettera a), numero 1, nella componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, redatta in conformità ai criteri attuativi di cui all'articolo 57 della l.r. 12/2005;

b) inserisce le misure strutturali di cui al comma 7, lettera a), numeri 5 e 6 e di cui al comma 8, lettera a), numero 2, nel piano dei servizi.

Regione Lombardia propone una classificazione territoriale in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori, così distinti:

- aree A ad alta criticità idraulica: comprendono i territori dei comuni ricadenti, anche parzialmente, in bacini idrografici dei fiumi segnalati all'Allegato B;
- aree B a media criticità idraulica: comprendono i territori dei comuni non rientranti nelle aree A e ricadenti, anche parzialmente, all'interno dei comprensori di bonifica ed irrigazione;
- aree C a bassa criticità idraulica: comprendono i territori dei comuni non rientranti nelle aree A e B. Si evidenzia che i territori montani e pedemontani ricadono in fascia C a bassa criticità idraulica; tuttavia, terreni rocciosi e pendii sono zone critiche per le quali si devono escludere opere di infiltrazione, in quanto possono sviluppare con facilità eventi franosi.

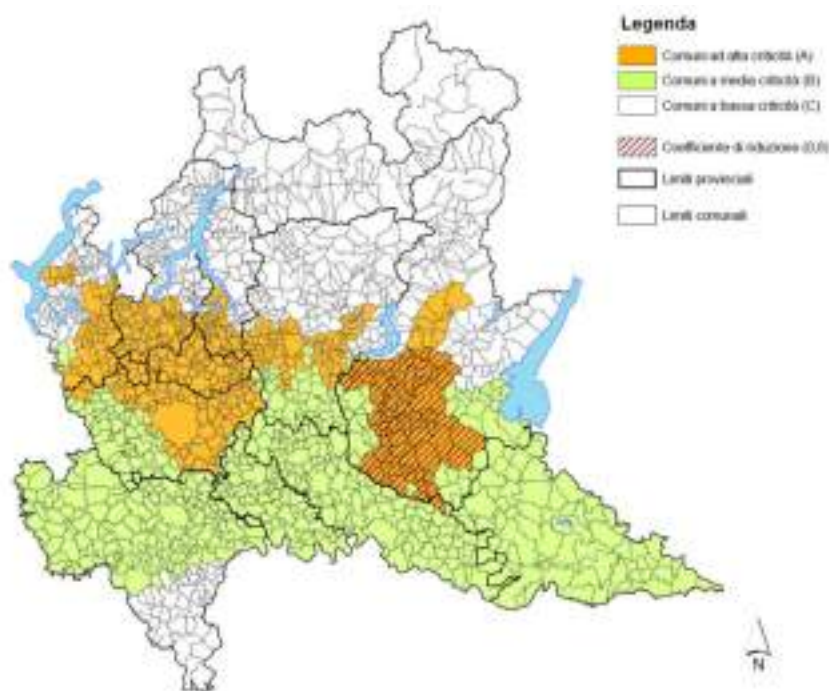


Fig.1.3 - Cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica.

Fonte: Allegato B - Regolamento Regionale 23 novembre 2017 - n.7 e s.m.i.

Nel nostro caso di studio, per l'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica, si andrà a considerare il territorio comunale di Paderno Franciacorta, inserito in area A ad alta criticità idraulica.

2 Il caso studio di Paderno Franciacorta

Il primo passo per affrontare temi di carattere idraulico in ambito urbano, come il rispetto dei principi di invarianza idraulica e idrologica, è la raccolta di tutti quei dati che permettono di descrivere il territorio e lo sviluppo edilizio e infrastrutturale avvenuto su di esso.

2.1 Inquadramento territoriale e storico

Il territorio del Comune di Paderno Franciacorta si colloca a nord-ovest della città di Brescia, è il più piccolo comune della Franciacorta e si estende per circa 5,6 km² su un territorio pianeggiante, riservando circa metà della sua superficie alla coltura agraria.

La Franciacorta è una zona collinare situata nella porzione occidentale della provincia di Brescia, tra le Prealpi meridionali e la pianura Padana. Si tratta dell'area delimitata ad oriente dalle colline moreniche, a occidente dalla sponda sinistra del fiume Oglio, a nord dal Lago d'Iseo e dalle ultime diramazioni delle Alpi Retiche, e a sud dalla fascia pianeggiante alluvionale in cui si trovano le importanti direttrici di comunicazione Brescia-Bergamo-Milano.

La derivazione quasi certamente latina del nome, "Paternus", sta ad indicare che il territorio di Paderno ha origini romane e costituì la sua eredità di padre in figlio. Alcune tracce di epoca romana furono rinvenute nei pressi del sito castellare degli Oldofredi; qui il ricetto venne edificato in epoca medievale per proteggersi dagli assalti barbari, come cita un documento datato anno 1009. A difesa di un territorio così accessibile in aperta campagna, il castello aveva funzione di ricovero per genti, animali e prodotti agricoli; mentre nei secoli successivi acquisì funzioni militari.

Il comune, che nel 1493 contava 580 anime, alla costituzione del Regno d'Italia nel 1681, aveva una popolazione residente di 998 abitanti.

Negli anni successivi all'Unità d'Italia vennero costruite le prime infrastrutture di collegamento tra il Sebino e la Valcamonica, per facilitare gli interscambi fra la pianura e l'alta montagna. Nel 1883 iniziarono i lavori per la costruzione della ferrovia che terminarono due anni dopo con l'inaugurazione ufficiale nel 1885.

Dal 1891 la popolazione di Paderno poté giovare del primo acquedotto pubblico dell'era industriale; una moderna struttura che captava l'acqua "dal lontano sasso di Ome". L'opera assicurò una condizione di benessere al paese che, in assenza di corsi d'acqua sul territorio, era spesso colpito da prolungati periodi di siccità.

Superate le Grandi Guerre con gravose perdite, gli anni del secondo dopoguerra furono particolarmente intensi per la comunità, che andava progressivamente aumentando di numero e si stava stabilizzando economicamente. Importanti opere pubbliche vennero potenziate in quel periodo: il rinnovamento della rete idrica e la costruzione di nuovi edifici scolastici e delle prime case popolari. La popolazione residente nel comune raggiunse i 1992 abitanti nel 1961.

Tra gli anni Sessanta e gli anni Novanta vi furono profonde trasformazioni all'interno del tessuto urbano padernese, grazie soprattutto all'incentivazione dell'edilizia popolare. La cooperativa "La Famiglia", ispirata da padre Marcolini, realizzò numerose abitazioni in diversi programmi di costruzione negli anni 1962-1965 (40 alloggi), 1969-1976 (13 alloggi), 1985-1993 (83 alloggi) e 1997-1999 (18 alloggi). Grazie a queste iniziative di edilizia popolare e al miglioramento della situazione socio-economica, la popolazione si dimostrò sempre in crescita: nel 1971 arrivò a 2266 abitanti e 10 anni dopo a 2548. Al censimento del 2001 Paderno superò i 3000 abitanti raggiungendo quota 3379 che diventarono 3700 alla fine del 2011. L'ultimo dato disponibile riporta un andamento in calo, con 3660 residenti a dicembre 2018.

CENSIMENTO ISTAT	1961	1971	1981	1991	2001	2011	2018
ABITANTI	1992	2266	2548	2831	3379	3700	3660

Tab.2.1: Popolazione residente

Fonte: Dati Istat

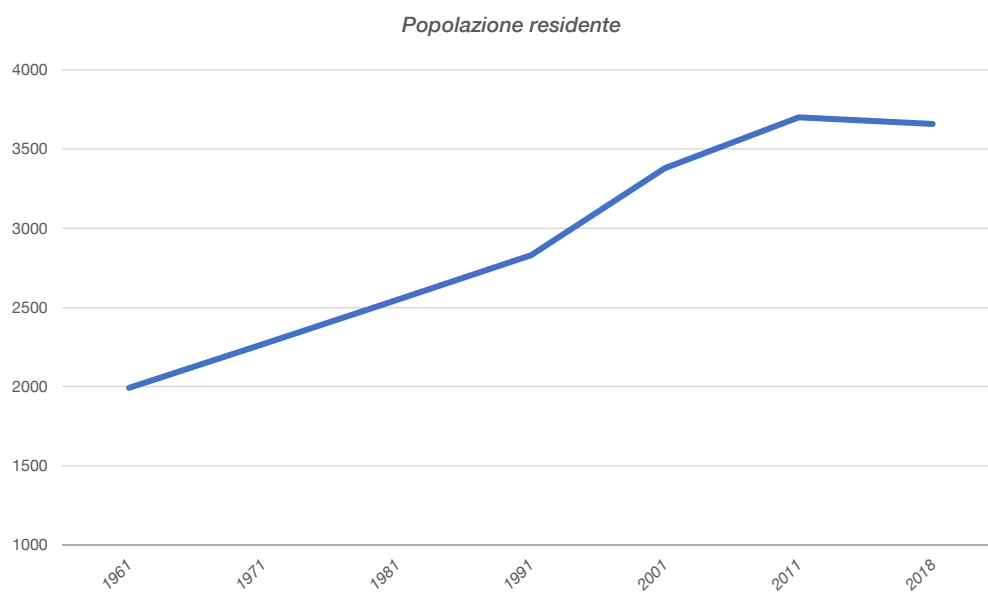


Fig.2.1: Popolazione residente
Fonte: Rielaborazione propria su dati Istat

2.2 Espansione urbana

Per quanto riguarda lo sviluppo storico delle aree urbanizzate, il primo nucleo rintracciabile negli elaborati cartografici è stato quello settecentesco documentato dalla *Carta del Catasto Napoleonico* del 1809, e successivamente da quelle del *Catasto Austriaco* del 1845 e del *Catasto del Regno d'Italia* del 1898. L'abitato originario si collocava a nord-ovest, nella zona dove sorge ancora oggi il Castello Oldofredi, in corrispondenza dell'area evidenziata dalla *prima levatura dell'Istituto Geografico Militare I.G.M.* risalente al 1885 (PGT, DP, 2019, Tav. A07.1).

Le mappe napoleoniche mostrano come sia ancora visibile all'inizio dell'Ottocento l'impianto delle antiche contrade, sviluppatesi lungo la direttrice storica est-ovest. Il castello assumeva un ruolo di forte centralità ed era delimitato da quattro strade, due orientate nord-sud e due est-ovest. I principali nuclei di antica formazione accorpatisi a formare il centro storico sono ora riconoscibili per la loro morfologia irregolare; altri rilevati antichi sono rintracciabili negli insediamenti rurali tradizionali, con funzione agricola in parte ancora attiva. Si può affermare che durante tutto l'Ottocento il tessuto urbano rimase per lo più invariato; si dovette aspettare il secondo dopoguerra per assistere alla ripresa dello sviluppo.

Dalla seconda metà del Novecento, infatti, una forte crescita urbana interessò il paese in direzione est, lungo la fascia meridionale della linea ferroviaria Brescia - Edolo, e in direzione sud rispetto al nucleo antico. Lo sviluppo avvenuto tra gli anni Settanta e Novanta evidenzia l'affermarsi dell'edilizia popolare, riconoscibile dalla morfologia molto regolare, e dei primi insediamenti industriali situati nella porzione sud del territorio comunale.

Con l'inizio del nuovo secolo, l'edificato si è sviluppato a completamento delle porzioni libere di territorio, saturando il triangolo che delimita il sistema residenziale di Paderno compreso tra la linea ferroviaria ad est, il sistema dei broli ad ovest e la strada provinciale S.P.19 a sud.

La presenza delle infrastrutture di collegamento sul territorio di Paderno dimostra aver avuto un'importanza storica, sia per l'accessibilità sia come elemento ordinatore della crescita urbana. La zona a sud-ovest oltre la S.P.19 è stata destinata unicamente all'insediamento del sistema produttivo e commerciale.

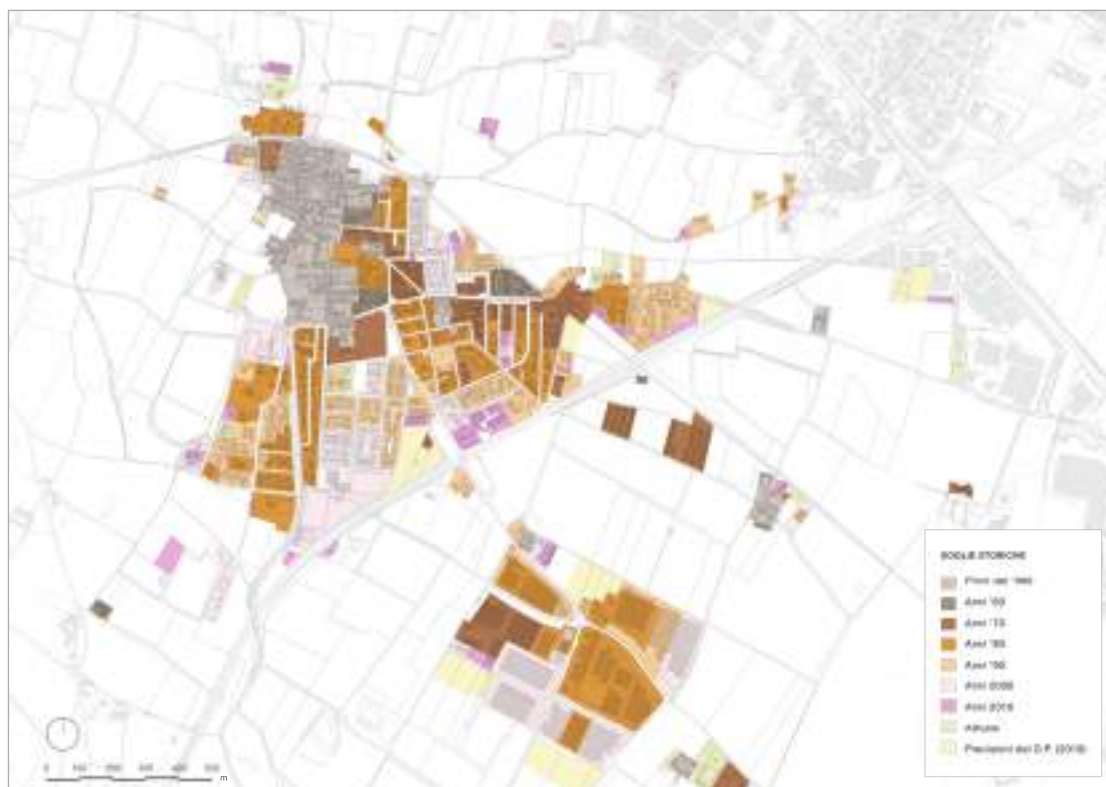


Fig.2.2: Espansione urbana di Paderno Franciacorta

Rif. Tav.1

Nell'analisi delle fasi di espansione urbana riguardanti il territorio di Paderno Franciacorta, sono state considerate soglie storiche decennali a partire dalla seconda metà del Novecento sino alla situazione attuale; in aggiunta troviamo le previsioni urbanistiche del Documento di Piano del P.G.T. (2019), riguardanti la ridefinizione degli ambiti di trasformazione finalizzata al contenimento del consumo di suolo.

Per ciascuna soglia storica è stato valutato il tasso di urbanizzazione, ovvero l'incidenza del territorio urbanizzato dell'epoca rispetto al Tessuto Urbano

Consolidato odierno (T.U.C.), ed il tasso di crescita, cioè la velocità di crescita dell'espansione urbana avvenuta in quel periodo storico rispetto al T.U.C⁵.



Fig.2.3: Espansione urbana: tasso di urbanizzazione e di crescita degli anni '60

⁵ Nel tessuto urbano consolidato non sono comprese le previsioni di espansione futura.



Fig.2.4: Espansione urbana: tasso di urbanizzazione e di crescita degli anni '70



Fig.2.5: Espansione urbana: tasso di urbanizzazione e di crescita degli anni '80



Fig.2.6: Espansione urbana: tasso di urbanizzazione e di crescita degli anni '90

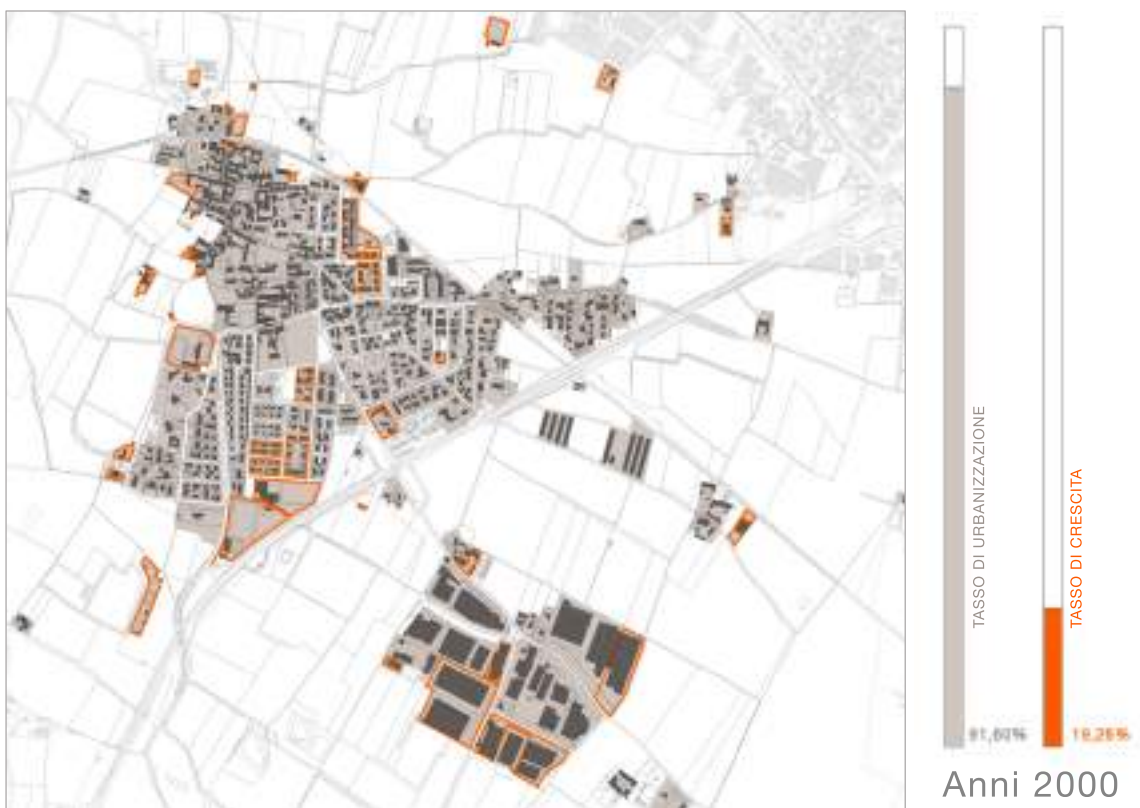


Fig.2.7: Espansione urbana: tasso di urbanizzazione e di crescita degli anni 2000



Fig.2.8: Espansione urbana: tasso di urbanizzazione e di crescita degli anni 2010



Fig.2.9: Espansione urbana: tasso di urbanizzazione e di crescita degli anni 2020

Si rileva che il tasso di crescita più significativo si ebbe alla soglia degli anni Ottanta, con il 24,85%; conseguentemente all'espansione urbana di quegli anni si ebbe un forte aumento demografico, con la crescita più significativa negli anni Novanta.

Nell'ultimo decennio la popolazione residente risulta essere in diminuzione, effetto dovuto in parte ad un tasso di crescita dell'urbanizzato notevolmente ridotto a 3,49%, prova di un importante rallentamento nel consumo di suolo.

2.3 Caratteristiche geologiche e idrogeologiche

Come riportato nello *Studio Geologico* del P.G.T. (2013), “il territorio comunale di Paderno Franciacorta si trova al limite sud-orientale dell’anfiteatro morenico pleistocenico del fiume Oglio. Il nucleo storico ed il settore nord-ovest del comune ricadono all’interno di un’area leggermente sopraelevata (con quote superiori a 180 m s.l.m.) caratterizzata da depositi morenici del Würm; mentre il resto del territorio presenta i caratteri tipici della piana fluvioglaciale, un piano leggermente inclinato verso sud-est (con quote degradanti da 175 a 160 m s.l.m.) formato da depositi fluvioglaciali attribuibili alla fase glaciale. L’azione antropica esercitata sul quest’area ha portato alla realizzazione di numerose cave di ghiaia, alcune delle quali sono poi state adibite a discarica, altre recuperate a verde oppure destinate alla coltivazione. Dai fronti di cava lo studio geologico riporta, dall’alto verso il basso, gli strati tipici del profilo litostratigrafico dei depositi fluvioglaciali:

- strato di suolo con spessore compreso tra 0,5 a 1,5 m;
- strato “coltivato” con spessori oscillanti tra 5 e 10 m costituito da ghiaie e sabbie pulite con clasti poligenici arrotondati e locali trovanti;
- strato di pochi metri costituito da argilla sabbiosa con presenza di ciottoli; oppure, conglomerato formato da ciottoli poligenici abbastanza cementato.

Dal punto di vista geopedologico vengono descritti i due gruppi principali di suoli:

Suoli evoluti e molto evoluti

Caratteristici dell’area fluvioglaciale con tessitura da franco-sabbiosa a franco-limosa, da moderatamente aggregata sino a livelli fortemente induriti. Nella parte ovest del settore fluvioglaciale prevalgono suoli con spessori compresi tra 65-90 cm, mentre nell’area più orientale i suoli hanno spessori anche superiori ai 120 cm. Il drenaggio di questi suoli è buono.

Suoli poco evoluti

Caratteristici dei depositi morenici presentano un profilo diverso dai precedenti e un drenaggio sempre molto inferiore. Si presentano con spessori complessivi inferiori ai 60-70 cm. La differenza sostanziale è di tipo granulometrico e

tessiturale, infatti questi suoli presentano orizzonti da franchi a franco-argillosi ed hanno una plasticità più elevata poiché sono molto più ricchi di argilla.

Il territorio di Paderno Franciacorta è privo di una rete idrografica superficiale naturale, sussistono esclusivamente alcune canalizzazioni artificiali ai fini irrigui di modesta entità.

Il contesto idrogeologico è caratterizzato da una falda superficiale con un livello piezometrico posto ad una quota variabile tra 117 e 109 m s.l.m., corrispondente ad una soggiacenza media di 40 m dal piano campagna. Le direzioni di deflusso sono prevalentemente da sud-est verso nord-ovest, mentre nella porzione settentrionale del territorio risultano da ovest verso est. Questo andamento costituisce un'anomalia rispetto alla direzione del deflusso idrico sotterraneo prevalente a scala regionale (generalmente NO-SE), che si configura al raccordo tra la fascia pedemontana e la pianura. La causa di tale anomalia potrebbe essere rappresentata da uno spartiacque sotterraneo che diverge localmente l'andamento prevalente regionale, anche se non esistono informazioni certe sulla sua natura e consistenza.

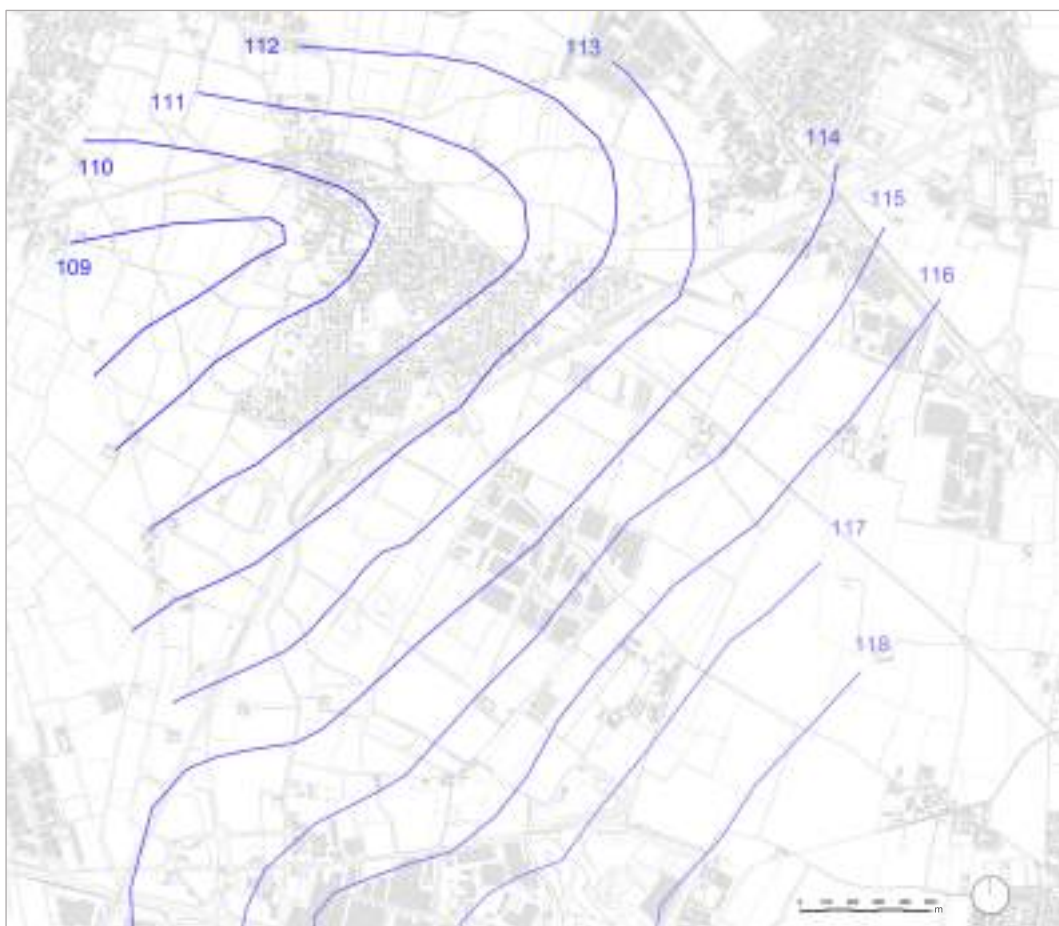


Fig.2.10: Linee isofreatiche (blu) con quota s.l.m. (soggiacenza media falda di 40 metri) - Direzioni di deflusso prevalente SE-NO

Fonte: Rielaborazione dati studio geologico (PGT, 2013)

Dall'esame delle stratigrafie dei pozzi lo studio geologico rileva la presenza di un livello argilloso, di apprezzabile continuità laterale e spessore variabile, a profondità comprese tra i 10 e 20 m dal piano campagna. Al di sotto di tale livello si alternano orizzonti permeabili e subordinatamente impermeabili (in particolare tra i 50 e 90 m dal p.c.) di limitata estensione areale.

Viene ipotizzata la presenza di falde sospese al di sotto del primo livello impermeabile, a profondità comunque inferiori a 10 m dal piano campagna.

Per quanto concerne la vulnerabilità degli acquiferi l'elevata soggiacenza della falda superficiale costituirebbe di sé un aspetto mitigante nei confronti delle eventuali infiltrazioni di sostanze inquinanti dalla superficie; tuttavia l'elevata permeabilità dei depositi fluvio-glaciali con prevalenza di sabbie e ghiaie favorisce una veloce infiltrazione verticale. Pertanto, si possono verificare localmente

situazioni di maggiore vulnerabilità della falda in corrispondenza delle aree precedentemente scavate ed attualmente in fase di ripristino ambientale; oppure, nelle aree attualmente oggetto di coltivazione o di attività di discarica.

I valori di permeabilità sono riportati in funzione delle caratteristiche delle unità litostratigrafiche presenti sul territorio comunale:

- Depositi fluvioglaciali permeabilità elevata 10^{-1} - 10^{-3} cm/s
- Depositi morenici permeabilità media 10^{-2} - 10^{-4} cm/s”

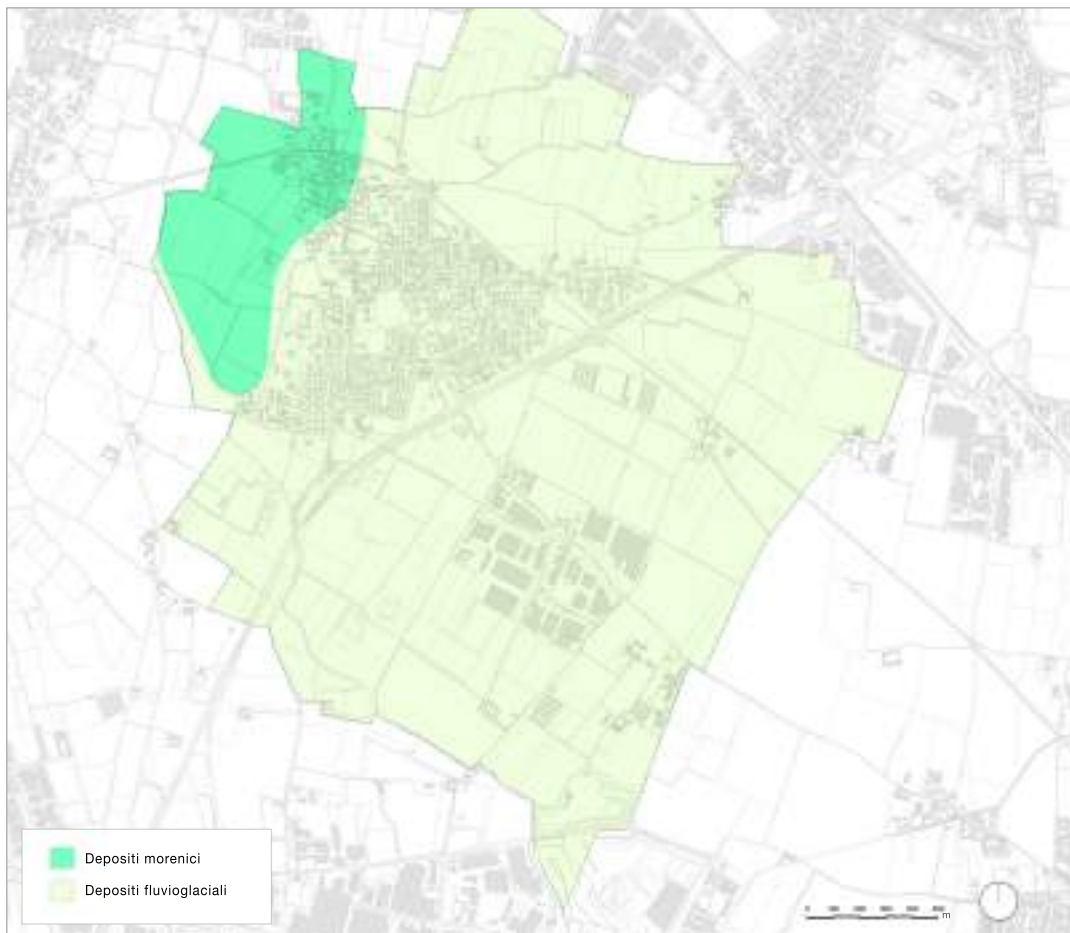


Fig.2.11: Unità litostratigrafiche del terreno

Fonte: Rielaborazione dati studio geologico (PGT, 2013)

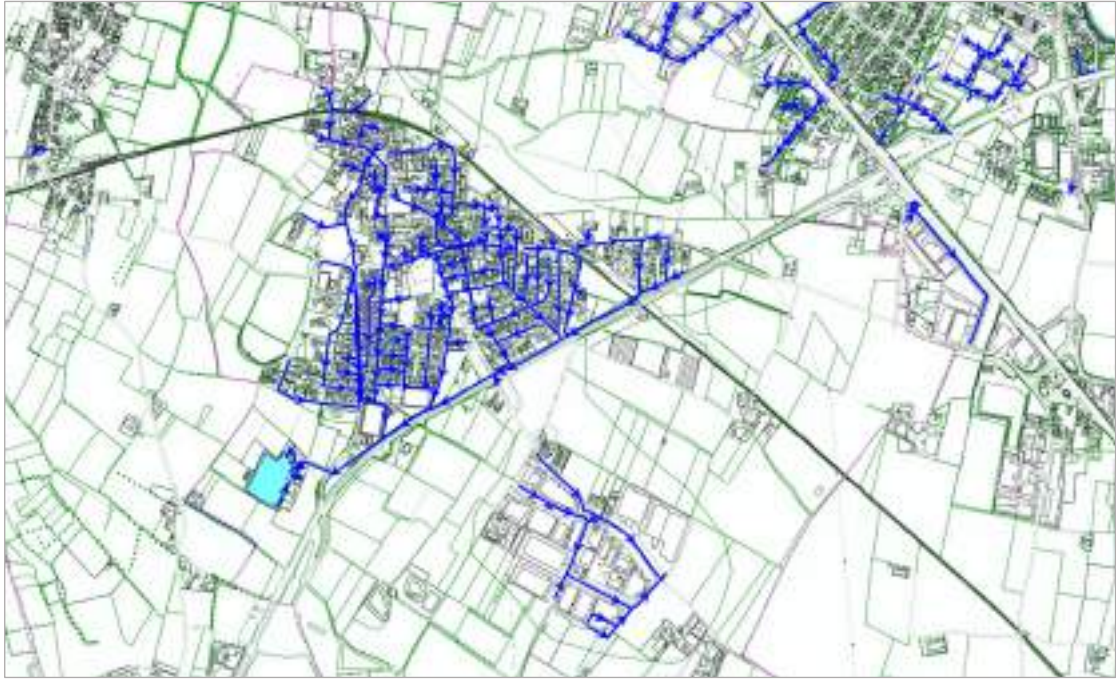
2.4 Il sistema di drenaggio urbano

La corretta disciplina delle acque che defluiscono nei bacini urbani, per effetto delle precipitazioni e degli scarichi civili e produttivi, rappresenta uno dei punti cardine delle politiche di salvaguardia dell'ambiente e più in generale della qualità complessiva della vita nei territori urbanizzati (AA.VV., 2008, p 1).

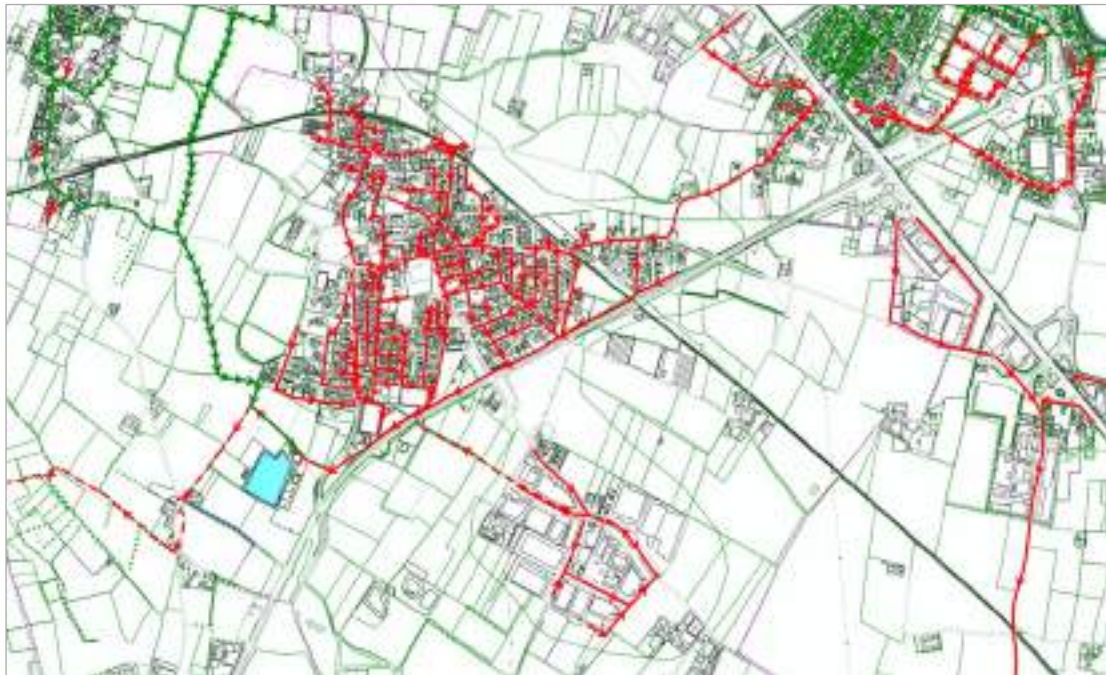
Fanno parte del sistema di drenaggio urbano l'insieme delle opere di raccolta e smaltimento delle acque in aree urbanizzate (condotti fognari, scaricatori di piena, vasche volano e di prima pioggia, impianti di sollevamento, organi di intercettazione, regolazione e scarico, ecc.), tra cui anche alcuni interventi urbanistici (aree verdi, invasi di portate meteoriche massime, laghetti ricreativi, pavimentazioni semipermeabili, vie superficiali di deflusso, ecc.). Il controllo di questo complesso sistema coinvolge diversi ambiti, da quelli tecnico-ingegneristici a quelli urbanistici, sociali ed economici.

Il territorio urbanizzato di Paderno Franciacorta dispone di un sistema di drenaggio separato: le acque reflue sono convogliate in collettori distinti (rete fognaria nera) rispetto a quelli destinati alle acque meteoriche (rete fognaria bianca). L'adozione di un sistema separato risulta essere favorevole per il funzionamento degli impianti di depurazione, che in questo modo ricevono solamente le portate nere, e per ridurre l'inquinamento delle acque da sostanze nocive o tossiche derivanti dalle lavorazioni industriali, spesso scaricate nei ricettori (AA.VV., 2008, p 18).

Nel caso di studio in esame, la rete presenta una configurazione planimetrica "a ventaglio": i collettori principali confluiscono in un unico punto da cui si diparte il collettore finale diretto verso il laghetto di spaglio (per le acque bianche) e verso l'impianto di depurazione (per le acque nere). Fa eccezione la porzione di sistema collocato a sud, dove le acque meteoriche del comparto produttivo vengono raccolte e smaltite in loco per infiltrazione.



*Fig.2.12: Rete fognatura bianca (in blu) Paderno Franciacorta
Fonte: Acque Bresciane S.r.l. (<https://geoweb3.acquebresciane.it>)*



*Fig.2.13: Rete fognatura mista (in verde) e nera (in rosso) Paderno Franciacorta
Fonte: Acque Bresciane S.r.l. (<https://geoweb3.acquebresciane.it>)*

Il laghetto di spaglio, sito in una ex cava a sud-ovest dell'abitato, oggi riceve le acque bianche della rete fognaria dei comuni di Paderno Franciacorta e di Passirano; da quest'ultimo provengono le acque della fognatura mista scaricate nel laghetto tramite sfioratori di piena.

Nelle sue vicinanze si trova un depuratore dismesso, sostituito nel 2013 dal nuovo Depuratore consortile "*Bassa Franciacorta*" realizzato da AOB2 Acque Ovest Bresciano Due⁶ (la società che gestisce il Servizio Idrico Integrato nell'Ovest bresciano) presso la frazione Duomo di Rovato; qui confluiscono anche le acque nere di Paderno Franciacorta.

Gli Enti gestori dei suddetti ricettori sono:

- il comune di Paderno Franciacorta per le fognature bianche e il laghetto
- la società Acque Bresciane S.r.l. per le fognature miste e nere

L'ente gestore del servizio idrico Acque Bresciane S.r.l. ha reso disponibili, qualora fossero noti, i dati relativi alla rete fognaria: le caratteristiche geometriche delle condotte (diametri e materiali) e la direzione di scorrimento delle acque al loro interno.

In mancanza del dato riguardante le altimetrie e le pendenze delle tubazioni, è stata assunta l'ipotesi, semplificativa ma verosimile, che il loro andamento fosse, dove possibile, parallelo alla quota del livello stradale. Laddove il terreno fosse pianeggiante o in contropendenza rispetto alla direzione di flusso, è stata invece attribuita una pendenza minima del 3 per mille.

⁶ La società AOB2 Srl ha conferito, nell'ambito della costituzione del Gestore unico del Servizio Idrico Integrato della Provincia di Brescia, le proprie attività ad Acque Bresciane Srl. La nuova società è operativa dall'1 maggio 2017.

2.5 Esposizione al rischio idraulico

Il rischio idraulico, così come definito dal *Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 180* del 29 settembre 1998 “*Atto di indirizzo e coordinamento per l’individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all’art. 1, commi 1 e del D.L. 11.06.98, n. 180*”, è dato dal prodotto di tre fattori:

- la pericolosità o probabilità di accadimento dell’evento calamitoso (P), data dal superamento della portata di colmo di piena (legata alle caratteristiche del fenomeno fisico);
- il valore degli elementi a rischio (E), quali persone, beni localizzati (proprietà ed attività economiche) e patrimonio ambientale a rischio in una data area;
- la vulnerabilità degli elementi a rischio (V), dipendente dalla loro capacità di resistere alle sollecitazioni indotte dall’evento e dall’intensità dell’evento stesso (corrisponde al grado di perdita indotto ed è legata all’uso del territorio).

Si fa riferimento alla formula seguente per l’individuazione dei fattori che determinano il rischio e non per una valutazione di tipo quantitativo:

$$R = P * E * V = P * D$$

Dove prodotto tra il valore degli eventi a rischio e la loro vulnerabilità definisce il danno atteso:

$$D = E * V$$

La pericolosità è la probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo si verifichi in un dato tempo ed in una data area. La pericolosità idraulica è funzione del tempo di ritorno medio tra due eventi calamitosi:

- molto elevata P4: in corrispondenza di alluvioni molto frequenti con T = 50 anni;
- elevata P3: in corrispondenza di alluvioni frequenti con T = 100 anni;
- media P2: in corrispondenza di alluvioni poco frequenti con T = 200 anni;
- moderata P1: in corrispondenza di alluvioni rare con T = 500 anni.

Il valore degli elementi a rischio viene così classificato:

CLASSE	ELEMENTI	PESO
E1	Aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva, zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato e/o edificabile.	0,25
E2	Aree con limitata presenza di persone, aree extraurbane, poco abitate, edifici sparsi. Zona agricola generica (con possibilità di edificazione), zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato. Parchi, verde pubblico non edificato: infrastrutture secondarie.	0,50
E3	Nuclei urbani non densamente popolati: infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche, ferrovie, lifelines, oleodotti, elettrodotti, acquedotti); aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori); zone per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti, zone di cava.	0,75
E4	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità (densità abitativa superiore al 20% della superficie fondiaria); nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; infrastrutture pubbliche; zona discariche speciali o tossici nocivi; zona alberghiera; zona campeggi e villaggi turistici; beni architettonici, storici e artistici).	1

Tab.2.2: Classi di elementi a rischio

Fonte: PGRA, 2016.

La vulnerabilità dipende dalle caratteristiche di uso del suolo nell'area esposta a rischio; la sua valutazione (con valori compresi tra 0-1) è piuttosto soggettiva, ad eccezione dei seguenti casi limite:

- Elemento Diga in materiali sciolti: $V = 1$
- Elemento Bunker antiatomico: $V = 0$
- Quando si ritiene a rischio la vita umana: $V = 1$

Il danno potenziale atteso, associato alla vulnerabilità e al numero di elementi a rischio, è distinto nelle quattro classi:

- altissimo D4: su tali aree fenomeni di esondazione possono provocare ingenti danni ai beni e perdita di vite umane;
- alto D3: su tali aree fenomeni di esondazione possono provocare danni per la funzionalità del sistema economico e problemi all'incolumità delle persone;
- medio D2: su tali aree è limitata la presenza di persone e sono limitati gli effetti che possono derivare al tessuto socioeconomico;
- basso D1: comprende le aree libere da insediamenti che consentono il libero deflusso delle piene.

La determinazione del grado di danno è eseguita in funzione delle zone omogenee del PGT in rapporto alle categorie di uso del suolo:

CLASSE	CATEGORIE D'USO DEL SUOLO
D1	Zona boschiva, zona agricola non edificabile, demanio pubblico non edificabile e non edificato.
D2	Infrastrutture pubbliche (strade comunali consortili non strategiche), zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato, parchi, verde pubblico non edificato.
D3	Ferrovie, lifelines (oleodotti, elettrodotti, acquedotti), zona agricola generica (con possibilità di edificazioni), zona per impianti tecnologici, discariche RSU e inerti, zone a cava.
D4	Centri urbani, nuclei rurali minori di particolare pregio, zona di completamento, zona di espansione, zona artigianale, industriale, commerciale, servizi pubblici prevalentemente con fabbricati, infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali e strategiche), zona di discarica di speciali o tossici-nocivi, zona alberghiera, zona per campeggi e villaggi turistici.

Tab.2.3: Classi di danno potenziale atteso

Fonte: PGRA, 2016

Il rischio idraulico viene così classificato in funzione della gravosità crescente in quattro classi:

- moderato R1: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- medio R2: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- elevato R3: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- molto elevato R4: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche.

Al crescere del danno atteso e della pericolosità, aumenta la classe di rischio:

	D1	D2	D3	D4
P1	R1	R1	R2	R2
P2	R1	R2	R2	R3
P3	R2	R2	R3	R4
P4	R3	R3	R4	R4

Tab.2.4: Classi di rischio

Fonte: PGRA, 2016.

La *Direttiva Alluvioni (FD)*, recepita nell'ordinamento legislativo nazionale dal D.Lgs. 49/2010, fornisce un quadro di riferimento per la valutazione e la gestione del rischio alluvioni, attraverso la redazione delle mappe di pericolosità e del rischio. Il *Piano di Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.)* è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, che dà attuazione alla *Direttiva Europea 2007/60/CE*, predisposto a livello di distretto idrografico.

Si riportano di seguito alcuni estratti del P.G.R.A. del Po (riferito al distretto padano di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel fiume Po), riguardanti il Comune di Paderno Franciacorta.



Fig.2.14: Estratto Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2015

Fonte: Viewer geografico geoportale regione Lombardia (<https://www.regione.lombardia.it>)

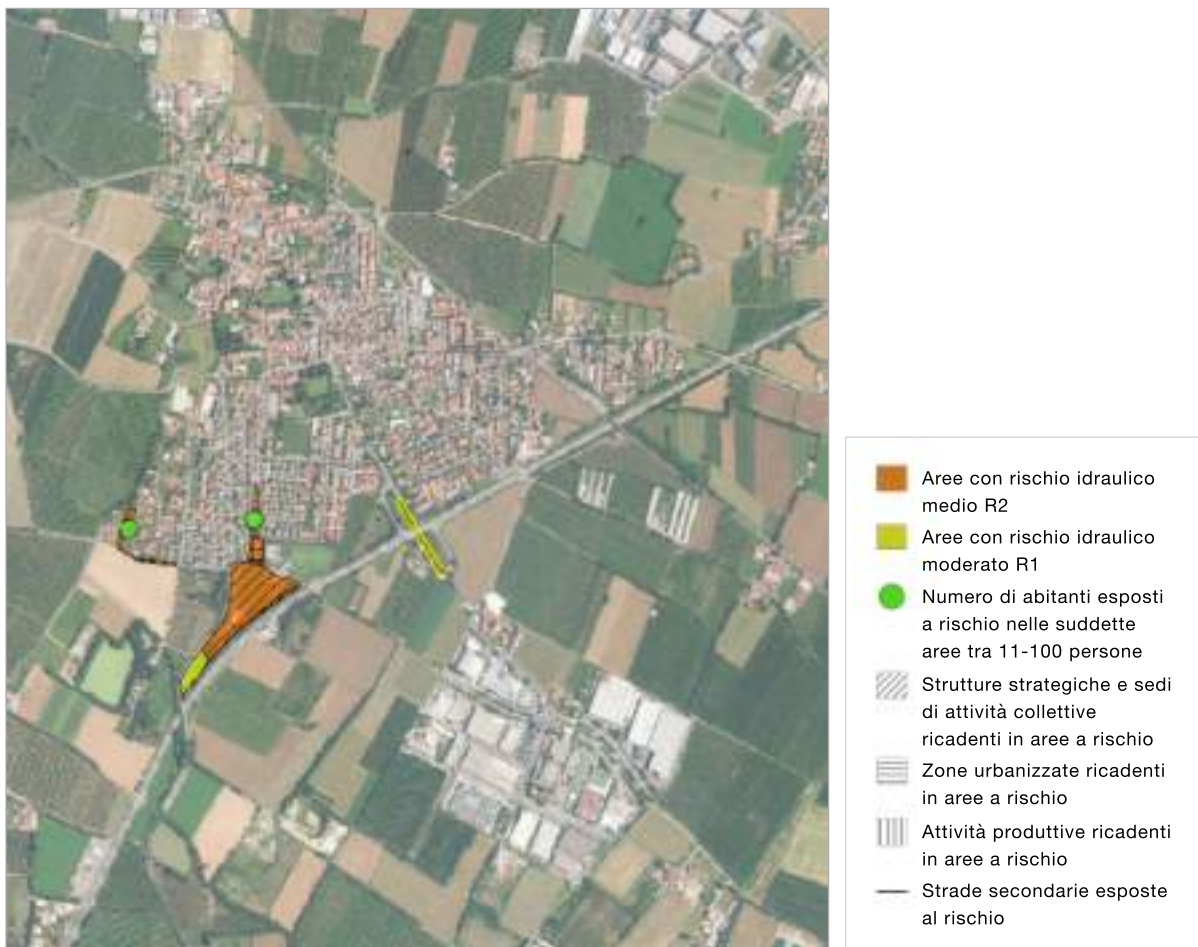


Fig.2.15: Estratto Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2015

Fonte: Viewer geografico geoportale regione Lombardia (<https://www.regione.lombardia.it>)

In particolare, ricadono in aree a rischio idraulico il centro sportivo comunale ed il sottopasso stradale. Il rischio è classificato come moderato (R1) e medio (R2) in base alla presenza di abitazioni, strutture collettive, attività produttive ed infrastrutture ricadenti nelle zone allagabili. Le stesse aree segnalate dalla Direttiva Alluvioni sono riportate tra gli elementi di sintesi dello *Studio Geologico del Piano di Governo del Territorio* (PGT, 2013, Tav. A31.3), dove vengono classificate come di seguito:

Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

C.2: Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minor frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori ai 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezza d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche.

Ricadono in questa classe alcune porzioni di territorio debolmente depresse dove i deflussi superficiali, non smaltiti dalla rete fognaria, tendono ad accumularsi.

All'interno della stessa componente geologica, idrogeologica e sismica comunale segnaliamo altri ambiti di vulnerabilità ed esposizione al rischio idrogeologico sul territorio di Paderno Franciacorta, di seguito descritti.

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti

Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate. Ricade in questa classe di sintesi l'ambito territoriale (ATE), ubicato nell'estrema porzione meridionale del territorio comunale.

Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico

Aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano, individuate in prossimità del pozzo pubblico (Pozzo Nuovo) ad uso idropotabile sito in via Brana:

- Zona di tutela assoluta (10 metri di raggio dal punto di captazione);
- Zona di rispetto (200 metri di raggio dal punto di captazione).

Queste aree sono da proteggere rispetto al possibile inquinamento della falda sorgente; non è quindi possibile destinarvi opere d'infiltrazione.

Inoltre, dal *primo Studio Geologico* realizzato nel 1994, si rilevano alcune aree ad elevata vulnerabilità idrogeologica collocate prevalentemente nella porzione a Sud dell'urbanizzato.

Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche

- Aree prevalentemente limo-argillose con limitata capacità portante e consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali. Dal *primo Studio Geologico* (1994), tali aree sono classificate aventi permeabilità medio bassa.
- Aree con riporti di materiale, aree colmate. Ricadono in questa classe le aree degradate, soggette in passato ad attività estrattiva non sempre regolamentata, e successivamente riempite con materiali di varia natura. Alcune risultano essere discariche autorizzate, altre sono state riempite senza alcun controllo o progetto di recupero e non vi è quindi certezza sulla natura dei materiali scaricati.

Oltre alle aree soggette ad allagamento per effetto della conformazione morfologica del territorio, sono state rilevate le criticità idrauliche causate da insufficienza della rete fognaria così come segnalate dall'Amministrazione comunale, grazie alla sua attività di gestione e manutenzione della rete.

AREA	CRITICITA'
Zona via Toselli	L'area prossima alla scuola elementare è stata oggetto di un allagamento.
Zona via Trento	Lungo via Trento è frequente che si sollevino i tombini e che l'acqua invada il sottopasso della SP19 con allagamenti importanti nei casi in cui vengano ostruite le griglie delle caditorie o durante le piogge più intense.
Zona via Romanino	In caso di abbondanti piogge si hanno allagamenti che interessano il centro sportivo, la strada e le aree limitrofe.
Zona via della Bosca e via Romiglia	Sono frequenti allagamenti su via Romiglia che coinvolgono anche i piazzali industriali; lungo via della Bosca è presente un tombino soggetto a sollevamento.
Via Volta, via Bettoni, via Roma, via San Gottardo, vicolo Patuzzi	Casi di sollevamento di tombini. Poiché non si è a conoscenza delle cause di dettaglio di tali criticità, si rimanda ad una valutazione approfondita con verifica dell'idoneità delle condotte.
Hotel Franciacorta in via Donatori di Sangue	Fenomeni di allagamento hanno interessato l'area a parcheggio, con fuoriuscita di acque miste.

Tab.2.5: Criticità idrauliche causate dall'insufficienza della rete fognaria

Seguono le elaborazioni grafiche delle aree di esposizione al rischio idraulico ed idrogeologico precedentemente descritte.

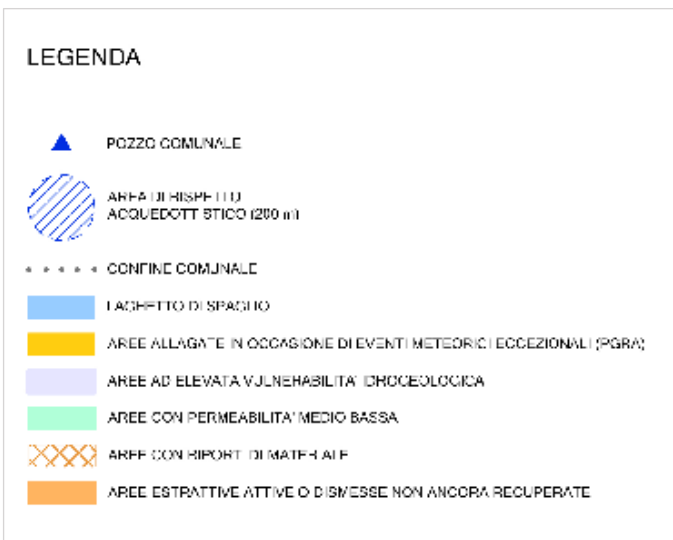
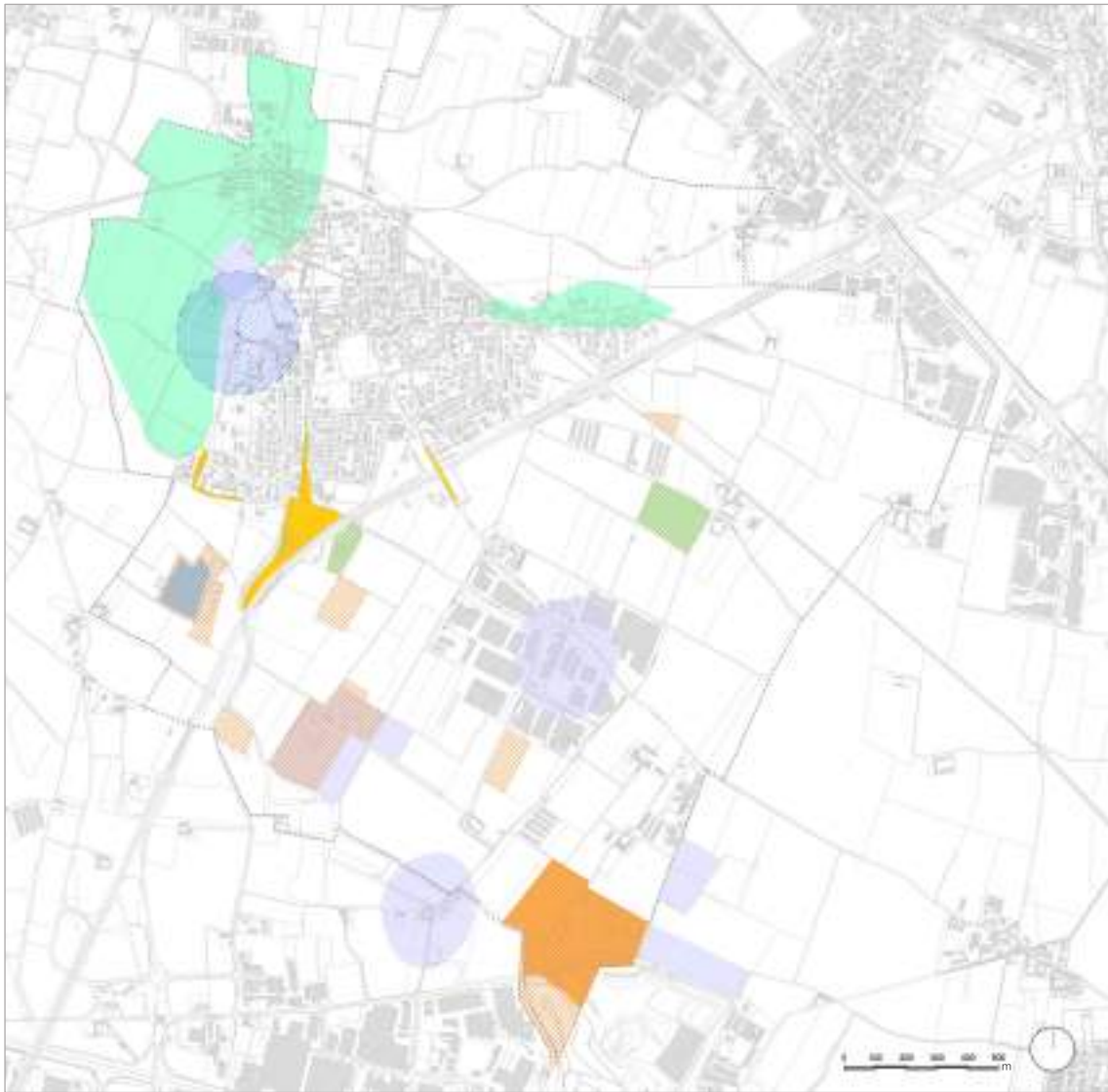


Fig.2.16: Criticità idrauliche dovute alla morfologia del territorio

Rif. Tav.3



Fig.2.17: Criticità idrauliche dovute alla rete di drenaggio urbano

Rif. Tav.4

3 Modellazione idrodinamica

La modellazione idrodinamica prevede lo sviluppo di diverse fasi, tra cui quella preparatoria di digitalizzazione dei dati necessari al calcolo idraulico.

Si riportano le fasi affrontate, successivamente trattate nel dettaglio:

- Ricostruzione della rete di drenaggio urbano
- Ricostruzione del reticolo idrico
- Ricostruzione delle aree colanti
- Quantificazione delle superfici impermeabili
- Definizione della legge di pioggia
- Calcolo delle portate di colmo
- Verifiche della capacità di smaltimento

3.1 Digitalizzazione della rete di drenaggio urbano

È stato possibile ricostruire digitalmente le reti di fognatura del territorio urbanizzato di Paderno Franciacorta grazie alla cartografia resa disponibile dall'Ente gestore del Servizio Idrico del comune, la società Acque Bresciane Srl.

In particolare, sono state considerate le reti di fognature che smaltiscono i deflussi derivanti dalle acque meteoriche, ovvero le reti bianca e mista, con i relativi punti di scarico nei ricettori.

Paderno Franciacorta possiede un sistema di drenaggio separato, per cui su tutto il territorio comunale è presente la fognatura bianca che porta le acque piovane al laghetto di spaglio. L'unico tratto di fognatura mista, che cinge a sud-ovest l'edificato, deriva dalla rete di drenaggio di Passirano, la quale scarica le acque pulite nel medesimo laghetto di spaglio tramite uno sfioratore di piena; le acque reflue vengono invece mandate al Depuratore consortile "*Bassa Franciacorta*" sito a Rovato.

Tramite il software *Fognature+* è stato possibile digitalizzare in *AutoCAD* i singoli tratti di fognatura, ai quali sono state attribuite le caratteristiche proprie riportate nelle cartografie consultate: materiale, geometria (diametri) e direzione di scorrimento del flusso. Ciascun tratto è stato nominato agli estremi al fine di renderlo identificabile e di ricostruire l'ordine sequenziale della maglia fognaria, da monte a valle.



Fig.3.1: Rete fognaria digitalizzata bianca (in verde) e mista (in magenta) con indicazione di materiali e diametri



Fig.3.2: Dettaglio rete fognaria digitalizzata bianca con indicazione di materiali e diametri

In mancanza dei dati relativi alle altimetrie della rete fognaria (quote e pendenze), si è dovuto assumere la seguente ipotesi: il tracciato delle condotte segue un andamento, dove possibile, parallelo all'altimetria del livello stradale; mentre dove il terreno risulta essere pianeggiante o in contropendenza rispetto alla direzione di scorrimento, viene attribuita una pendenza minima del 3 per mille.

È buona pratica assicurare una pendenza minima affinché la velocità di scorrimento delle acque all'interno delle condotte non scenda mai al di sotto di certi valori di sicurezza ($v \geq 0,4m/s$) e, di conseguenza, si eviti la formazione di depositi di sedimenti sabbiosi. I valori minimi comunemente citati in letteratura (Becciu G. et al., 2005, p 453) fanno riferimento a pendenze minime attorno a 0,002; si sceglie la soglia pari a 0,003.

Nei sistemi separati, solitamente, i problemi legati ai sedimenti si verificano essenzialmente nella rete destinata al convogliamento delle acque nere, le cui condotte presentano, soprattutto nei centri urbani pianeggianti e nei tronchi secondari, problemi di autopulizia legati all'esiguità delle portate convogliate e alle pendenze insufficienti. Nelle condotte destinate allo smaltimento delle sole acque meteoriche, in genere, il problema del controllo dei sedimenti assume aspetti di non grande criticità, sia per l'entità rilevante delle portate, sia per la natura dei materiali trasportati (sabbie e limi) di facile rimozione (Papiri S. et al, 2007, p 6).

3.2 Digitalizzazione del reticolo idrico

Il territorio di Paderno Franciacorta è privo di una rete idrografica superficiale naturale, sussistono esclusivamente alcune canalizzazioni artificiali ai fini irrigui di modesta entità.

Il ricettore finale delle acque meteoriche è il laghetto sito in una ex cava a sud-ovest dell'abitato.

Il sito è inserito nell'ambito di trasformazione A.T.9 del Documento di Piano del P.G.T. per il quale sono previste le seguenti prescrizioni:

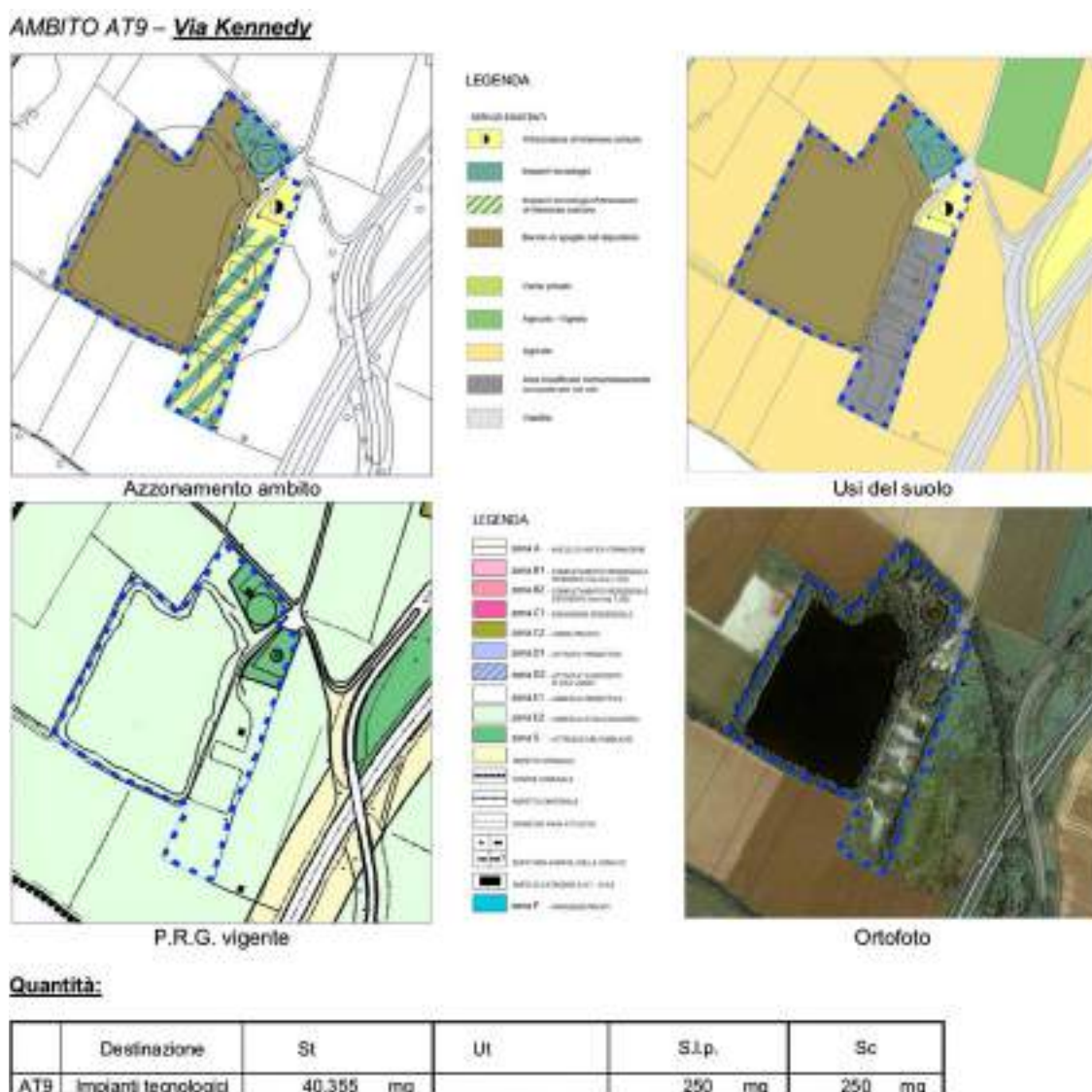


Fig.3.3: Scheda d'ambito A.T.9

Fonte: Norme Tecniche di Attuazione del Documento di Piano (PGT, 2019).

“Descrizione dell’ambito

Il comparto A.T.9 si trova all’esterno del margine sud-ovest dell’edificio, con accesso da Via Kennedy. L’area attualmente è interessata dal depuratore con annesso bacino di spaglio delle acque, dell’isola ecologica e da una porzione di territorio occupata per usi vari.

Descrizione dell’intervento

L’ambito è soggetto a Piano Particolareggiato di iniziativa pubblica, da sottoporre a successivo parere di compatibilità con il P.T.C.P. previa valutazione ambientale strategica. L’ambito prevede di confermare le destinazioni in atto del depuratore, del bacino di spaglio e dell’isola ecologica. Nell’ambito occupato per usi vari sono previste le seguenti funzioni:

- Ampliamento isola ecologica;
- Impianto di produzione energia elettrica tramite l’impiego di fonti rinnovabili;
- Impianto di fitodepurazione;
- Piccole strutture a servizio delle attività insediate.

Prescrizioni particolari

- Il terreno in precedenza è stato utilizzato come discarica ed è indicato dalla regione Lombardia come sito inquinato. Per tale motivo è oggetto di un piano di caratterizzazione ed è necessario un intervento di bonifica preordinato all’attuazione del P.P.
- È prescritto ai sensi dell’art. 83 delle NTA del PTCP della Provincia di Brescia l’obbligo di allegare alla richiesta di attuazione dell’ambito la documentazione attestante la non sussistenza di vincoli di destinazione connessi a finanziamenti per l’attività agricola.
- È prescritta la redazione di uno studio paesistico con dettagli estesi al contesto”.

3.3 Ricostruzione delle aree colanti

Per la determinazione dei bacini idrografici dei singoli tratti, ovvero delle aree in cui le acque defluiscono verso la sezione di chiusura fissata, sono state fatte considerazioni geometriche relativamente alle quote del terreno e alla configurazione della rete fognaria.

Le aree dei bacini colanti afferenti ai ricettori sono state ricostruite come di seguito illustrato:

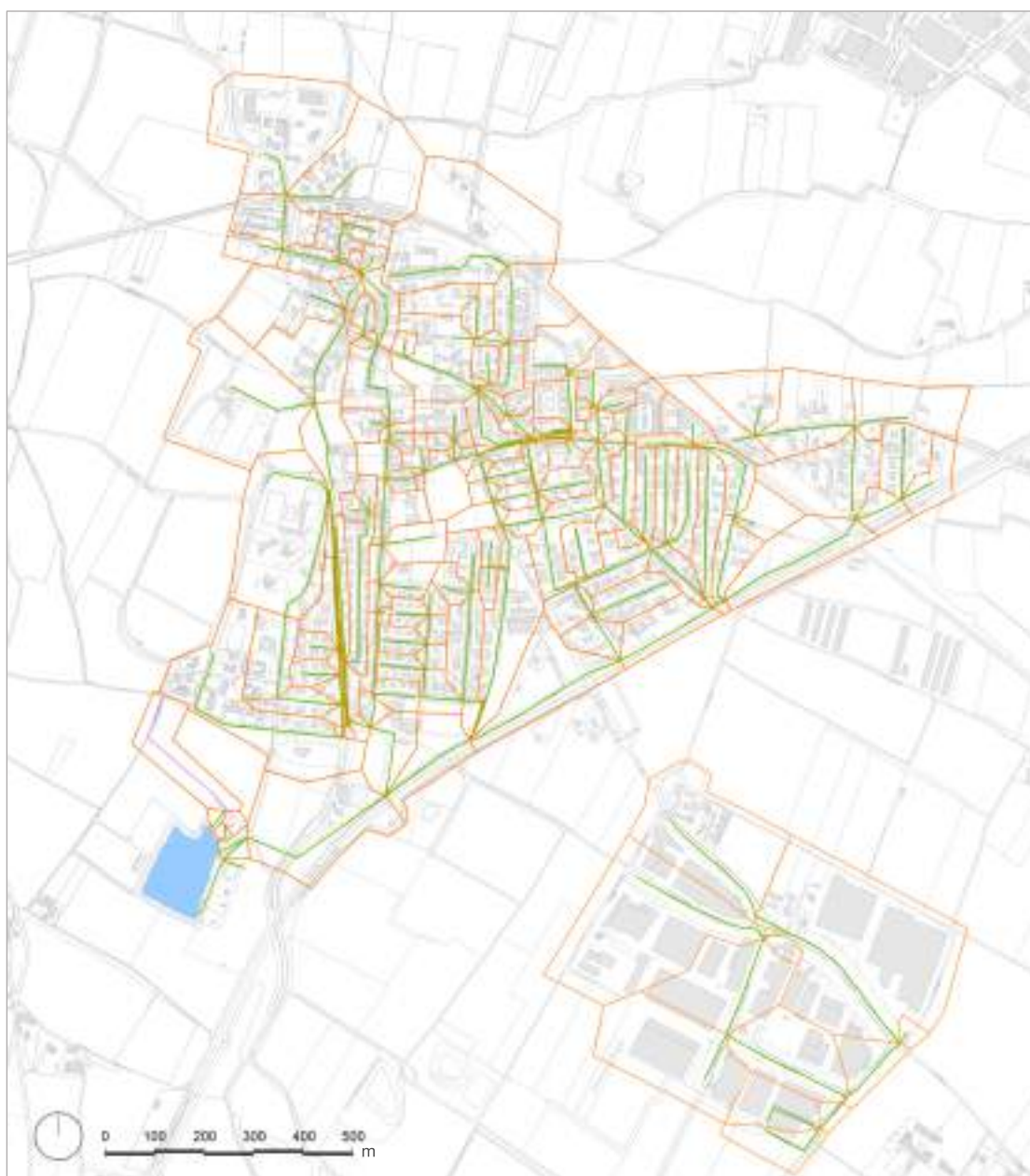


Fig.3.4: Aree colanti (in arancio) afferenti ai ricettori fognati (in verde)

3.4 Quantificazione delle aree impermeabili

Completata la fase di digitalizzazione delle reti e dei bacini colanti di loro competenza, sono state definite le superfici impermeabili afferenti a ciascun tratto ricettore, successivamente attribuitegli.

Per la quantificazione delle suddette superfici, è stato utilizzato il Data Base Topografico regionale (D.B.T.) della Lombardia, la base cartografica digitale di riferimento per tutti gli strumenti di pianificazione predisposti sia dagli enti locali che dalla Regione.

L'intero territorio comunale di Paderno Franciacorta è stato quindi classificato secondo precise classi di superfici⁷, organizzate in diversi temi successivamente descritti. A ciascuna tipologia di superficie è stato attribuito il proprio coefficiente di deflusso, il cui valore variabile tra 0 e 1 indica la quantità di acqua meteorica defluita superficialmente ai ricettori rispetto al volume di pioggia totale caduto sulla superficie.

Non tutta la pioggia che cade su un bacino, infatti, si trasforma in deflusso nella rete fognaria, ma parte di questa viene intercettata dalla vegetazione e assorbita da questa o restituita all'atmosfera per evaporazione, parte s'infiltra nel suolo, altra si accumula in piccoli invasi naturali o artificiali.

I coefficienti di deflusso attribuiti sono stati assunti conformi al Regolamento Regionale n. 7 e alle s.m.i.:

Art. 11 (Metodologia di calcolo delle misure di invarianza idraulica e idrologica per il rispetto dei limiti allo scarico in caso di interventi di impermeabilizzazione potenziale media o alta ricadenti negli ambiti territoriali di criticità media o alta)

2.d) Calcolo dell'idrogramma netto:

⁷ Ciascuna classe corrisponde ad uno shapefile, documento in formato .shp, scaricabile direttamente dal geoportale di Regione Lombardia (<http://www.geoportale.regione.lombardia.it>).

1. la valutazione delle perdite idrologiche per il calcolo dell'idrogramma netto di piena in arrivo nell'opera di laminazione o nell'insieme delle opere di laminazione, può essere effettuata anche in via semplificata adottando i seguenti valori standard del coefficiente di deflusso, in luogo del calcolo dell'infiltrazione come da Allegato F:

1.1. pari a 1 per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture, e pavimentazioni continue di strade, vialetti, parcheggi;

1.2. pari a 0,7 per i tetti verdi, i giardini pensili e le aree verdi sovrapposti a solette comunque costituite, per le aree destinate all'infiltrazione delle acque gestite ai sensi del presente regolamento e per le pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi;

1.3. pari a 0,3 per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, comprese le aree verdi munite di sistemi di raccolta e collettamento delle acque ed escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo;

Il valore del coefficiente deflusso varia, da evento ad evento, in funzione di molteplici elementi, tra cui l'entità delle precipitazioni e l'umidità iniziale nel suolo; tuttavia, nel caso dei modelli di progetto si fa riferimento a una pioggia critica che può portare il suolo verso condizioni di alto contenuto di umidità (AA.VV., 2008, p 225).

Nella tabella che segue è riportata la classificazione effettuata.

TEMA	CLASSE	DEFINIZIONE	COEFF. DEFLUSSO
EDIFICATO	Corpo edificato	Ingombro al suolo degli edifici	1,00
MANUFATTI	Attrezzatura sportiva	Campi da calcio	0,30
		Campi da tennis	0,70
		Campi basket e pallavolo	1,00
		Piscine	1,00
	Area attrezzata del suolo	Spazi aperti semipermeabili diversamente attrezzati a seconda degli usi (cortili, chiostri, vialetti, etc)	0,70
	Manufatto industriale	Cabine per le reti (acqua, gas, energia), contenitori industriali protetti (serbatoi in superficie o silos)	1,00
Serre			
Vasche			
VEGETAZIONE	Area verde	Verde profondo e verde semipermeabile: aree adibite a verde a scopo ornamentale o inserite in aree ricreative (prati, giardini, aiuole, aree alberate inserite nell'urbano ad uso pubblico, giardini privati).	0,30
	Coltura agricola	Porzione di territorio destinata alle attività agricole	0,10
	Pascolo incolto	Porzione di territorio caratterizzata prevalentemente dalla presenza di vegetazione erbacea ed arbustiva destinate al pascolo libero degli animali domestici, governata o meno dall'uomo.	
VIABILITÀ	Area di circolazione ciclabile	Parte longitudinale della strada, opportunamente delimitata, riservata alla circolazione dei velocipedi	1,00
	Area di circolazione pedonale	Area destinata alla circolazione dei pedoni	
	Area di circolazione veicolare	Area destinata al transito e alla sosta dei veicoli	
	Viabilità mista secondaria	Viabilità non interessata da sovrastrutture ed opere stradali (percorsi di "carrareccia", "tratturo", "rotabile secondaria", sentieri, etc)	0,70
FERROVIE	Sede di trasporto su ferro	Estensione della piattaforma ferroviaria, costituita dalla massicciata in ghiaia dove vengono alloggiati i binari e le traversine	0,70
SUPERFICI IDROGRAFICHE	Invaso artificiale	Superficie di bacini artificiali ottenuti da sbarramenti con dighe o generati da attività produttive (attività estrattive, saline, etc.)	Ricettore finale delle portate meteoriche (non considerato nel computo)

Tab.3.1: Classificazione superfici permeabili, semipermeabili e impermeabili
Fonte: Rielaborazione delle classi D.B.T. regionale della Lombardia - Rif. Tav.2



Fig.3.5: Superfici permeabili, semipermeabili e impermeabili

Fonte: Rielaborazione dati D.B.T. regionale della Lombardia

Rif. Tav.2

Raggruppando le superfici in funzione del loro coefficiente di deflusso, il suolo urbanizzato di Paderno Franciacorta ad elevato livello di impermeabilizzazione costituisce circa il 20% dell'intero territorio comunale, pari a 1,13 km²; mentre le superfici naturali agricole o incolte ammontano a circa il 69% corrispondente a 3,81 km² del territorio comunale.

IMPERMEABILIZZAZIONE	COEFF. DEFLUSSO	SUPERFICIE (km2)		PERCENTUALE (%)	
TOTALE O ALTA	1,00	0,81	1,13	14,5	20
MEDIA	0,70	0,32		5,5	
BASSA	0,30	0,62		11	
MOLTO BASSA	0,10	3,81		69	

Tab.3.2: Impermeabilizzazione delle superfici comunali

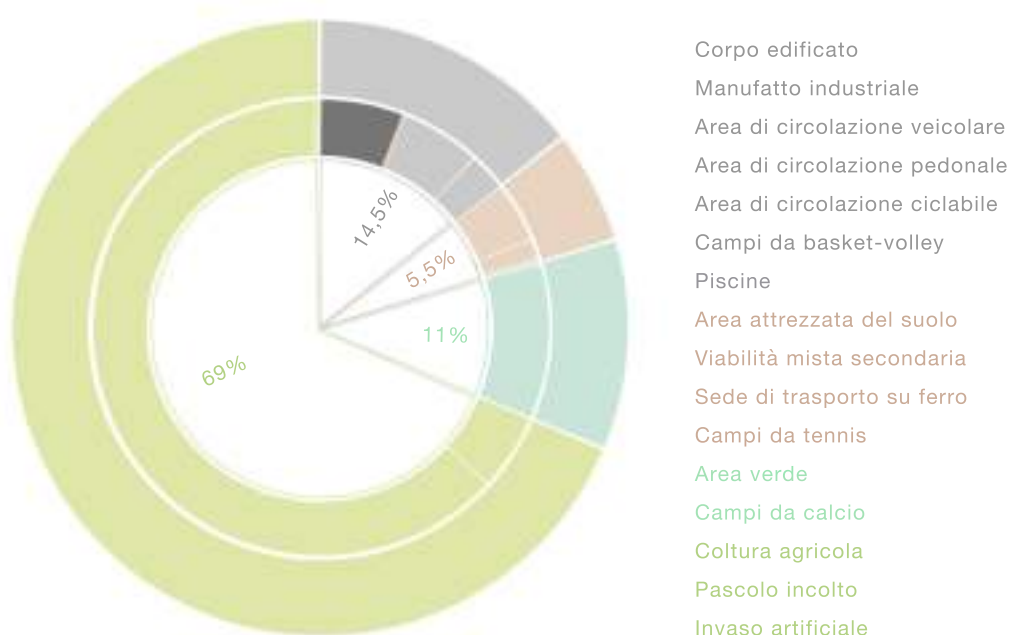


Fig.3.6: Percentuali superfici impermeabili

Considerando l'intero territorio comunale di Paderno Franciacorta, di estensione pari a circa 5,56 km², la superficie impermeabile viene ricavata dal prodotto delle singole aree per il loro coefficiente di deflusso ed è pari a circa 1,60 km². Il coefficiente di deflusso medio ponderale riferito ai confini comunali ammonta a circa 0,30; il dato riflette l'elevata area destinata all'uso agricolo.

Successivamente all'attribuzione dei coefficienti di deflusso φ_i alle diverse superfici S_i , per ciascun bacino colante afferente alla rete fognaria è stata calcolata la superficie scolante impermeabile totale $S_{scol,imp,tot}$ ed il coefficiente di deflusso medio ponderale φ_m :

$$S_{scol,imp,tot} = \sum_i \varphi_i * S_i$$

$$\varphi_m = \frac{\sum_i \varphi_i * S_i}{\sum_i S_i} = \frac{S_{scol,imp,tot}}{S_{scol,tot}}$$

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile totale $S_{scol,imp,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m
		ha	ha	
1	26C-26A	0,10	0,09	0,91
2	51C-51B	0,28	0,22	0,78
3	45E-45C	0,41	0,29	0,71
4	38G-38D	0,14	0,13	0,92
5	45B-45A	0,19	0,14	0,73
6	37A-37	0,35	0,31	0,87
7	36G-36E	0,35	0,26	0,74
8	18S-18A	0,00	0,00	0,93
9	20D-20B	0,67	0,46	0,69
10	64B-64	0,47	0,43	0,92
11	65-SCA14	1,41	0,91	0,65
12	20A-20	0,43	0,33	0,75
13	31I-31G	0,29	0,21	0,71
14	46D-46B	0,68	0,53	0,78
15	68S-67	0,65	0,49	0,75
16	19B-19A	4,44	2,55	0,58
17	62B-62	6,21	5,22	0,84
18	62A-62	0,30	0,25	0,84
19	63-61	3,38	2,87	0,85
20	64A-64	1,37	1,28	0,93
21	59-58	3,06	2,58	0,84

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile totale $S_{scol,imp,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m
		ha	ha	
22	56-55	0,74	0,46	0,62
23	10C-10A	1,57	1,16	0,74
24	53C-53B	1,07	0,52	0,48
25	53D-53B	1,08	0,45	0,42
26	53A-53	1,64	0,92	0,57
27	52C-52A	1,23	0,78	0,63
28	52B-52A	0,64	0,36	0,56
29	47A-47	0,18	0,15	0,87
30	47B-47	0,77	0,64	0,83
31	51D-51B	0,68	0,47	0,68
32	51A-51	0,16	0,09	0,56
33	50C-50	0,79	0,51	0,65
34	50B-50A	0,93	0,58	0,63
35	50D-50	1,24	0,76	0,61
36	66-SCA16	3,31	2,28	0,69
37	68G-68F	0,71	0,39	0,55
38	68E-68D	2,33	1,38	0,59
39	69-68B	1,47	1,04	0,71
40	68C-68A	0,38	0,24	0,63
41	68I-68H	0,21	0,12	0,58
42	45D-45C	0,78	0,59	0,75
43	67B-67A	0,29	0,20	0,70
44	44-43	0,36	0,23	0,65
45	46C-46B	0,13	0,11	0,89
46	46A-46	0,28	0,21	0,75
47	71C-71B	0,19	0,11	0,60
48	71D-71B	0,74	0,58	0,78
49	71A-71	0,76	0,40	0,52
50	40B-40A	1,14	0,79	0,69
51	38B-38A	0,08	0,07	0,93
52	31A-31	0,23	0,21	0,88
53	38C-38A	0,29	0,25	0,85
54	38F-38D	0,17	0,15	0,84

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile totale $S_{scol,imp,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m
		ha	ha	
55	38E-38D	0,79	0,62	0,78
56	36D-36B	0,39	0,28	0,71
57	36C-36A	0,38	0,22	0,58
58	36F-36E	0,62	0,36	0,58
59	39-SCA15	0,27	0,20	0,73
60	32B-32A	0,31	0,21	0,69
61	35B-35	0,62	0,41	0,66
62	35A-35	0,36	0,22	0,61
63	34-33C	0,23	0,16	0,70
64	33F-33C	0,40	0,22	0,56
65	33E-33B	0,45	0,26	0,57
66	33D-33A	0,47	0,28	0,60
67	31H-31G	0,09	0,09	0,92
68	26S-31D	0,71	0,64	0,90
69	31F-31C	0,50	0,35	0,70
70	31E-31B	0,15	0,14	0,91
71	13H-13D	0,47	0,20	0,43
72	13G-13C	0,40	0,27	0,66
73	13F-13B	0,08	0,05	0,58
74	13E-13A	0,51	0,31	0,61
75	21A-21	0,57	0,43	0,74
76	17A-17	3,87	2,08	0,54
77	20C-20B	0,40	0,27	0,66
78	23-22	0,81	0,74	0,90
79	25-24	1,06	0,80	0,75
80	26B-26A	0,25	0,23	0,92
81	26H-26G	0,39	0,32	0,84
82	29-27	4,04	2,09	0,52
83	28-27	3,83	2,28	0,60
84	26F-26E	0,43	0,38	0,87
85	30B-30	0,26	0,21	0,82
86	30A-30	0,25	0,17	0,67
87	11S-10A	0,14	0,11	0,76

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile totale $S_{scol,imp,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m
		ha	ha	
88	17-16	0,04	0,03	0,54
89	20B-20	0,09	0,07	0,69
90	27-26E	1,13	0,90	0,59
91	26G-26D	0,56	0,50	0,87
92	30-21	1,33	1,03	0,77
93	31G-31D	0,12	0,10	0,79
94	35-33	1,60	1,04	0,65
95	33C-33B	0,30	0,20	0,63
96	36E -36	0,44	0,22	0,60
97	38D-38	0,07	0,07	0,82
98	71B-71	0,98	0,62	0,69
99	46B-46	0,02	0,02	0,80
100	68H-68	2,33	1,38	0,59
101	68F-68D	0,54	0,31	0,57
102	50A-50	0,68	0,50	0,68
103	51B-51	0,62	0,43	0,70
104	53B-53	1,69	0,97	0,51
105	55-54	0,12	0,10	0,65
106	62-61	3,47	3,05	0,85
107	53-52	2,16	1,44	0,57
108	64-60	0,15	0,11	0,92
109	21-14	0,32	0,17	0,74
110	46-42	0,26	0,19	0,77
111	20-18	0,20	0,17	0,72
112	26E-26D	0,75	0,62	0,62
113	31D-31C	1,60	1,06	0,74
114	33B-33A	0,27	0,15	0,60
115	38A-38	1,00	0,40	0,53
116	71-70	0,98	0,62	0,64
117	47-41	0,90	0,59	0,75
118	45C-45A	0,75	0,50	0,71
119	68D-68B	0,15	0,10	0,59
120	50-48	0,04	0,04	0,65

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile totale $S_{scol,imp,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m
		ha	ha	
121	51-49	0,89	0,57	0,67
122	10A-SCA10B	0,30	0,22	0,74
123	55-SCA12	0,17	0,08	0,59
124	19A-19	1,51	0,90	0,58
125	54-SCA11	0,43	0,29	0,66
126	45A-45	0,01	0,01	0,71
127	26D-26	0,00	0,00	0,64
128	19-18	0,69	0,49	0,59
129	31C-31B	0,16	0,13	0,74
130	33A-33	0,63	0,46	0,63
131	38-37	0,16	0,11	0,66
132	68B-68A	0,60	0,45	0,64
133	52A-52	0,52	0,30	0,60
134	61-60	2,96	2,51	0,85
135	58-57	8,94	7,69	0,86
136	18-16	0,12	0,09	0,62
137	26A-26	0,00	0,00	0,92
138	26-24	0,32	0,29	0,65
139	16-15	0,05	0,04	0,60
140	31B-31	0,39	0,35	0,76
141	33-32	0,00	0,00	0,64
142	37-36B	0,19	0,13	0,69
143	68A-68	0,00	0,00	0,63
144	52-49	5,22	3,75	0,62
145	60-57	0,88	0,81	0,86
146	24-22	1,69	1,13	0,66
147	31-13D	0,90	0,68	0,77
148	36B-36A	0,25	0,13	0,68
149	68-67A	0,21	0,17	0,63
150	57-SCA13	0,15	0,11	0,86
151	22-18A	1,53	1,00	0,67
152	13D-13C	0,24	0,21	0,74
153	36A-36	0,52	0,20	0,64

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile totale $S_{scol,imp,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m
		ha	ha	
154	67A-67	0,27	0,18	0,63
155	18A-15	0,03	0,03	0,67
156	67-45	0,08	0,07	0,64
157	13C-13B	0,21	0,17	0,74
158	36-32A	2,11	1,36	0,63
159	49-48	0,07	0,07	0,63
160	15-14	0,00	0,00	0,64
161	14-13	0,16	0,11	0,65
162	13B-13A	0,38	0,30	0,74
163	32A-32	2,11	1,36	0,64
164	48-40	1,35	0,97	0,64
165	45-43	0,01	0,01	0,65
166	13A-13	0,29	0,23	0,73
167	43-42	0,15	0,11	0,65
168	13-12	0,96	0,78	0,67
169	42-41	0,45	0,32	0,66
170	41-70	1,48	0,87	0,67
171	70-40A	0,62	0,38	0,66
172	40A-40	0,67	0,47	0,66
173	40-32	2,66	1,94	0,66
174	32-12	1,97	1,28	0,65
175	12-11	2,12	1,65	0,66
176	11-SCA10	0,20	0,13	0,66
		150,87	106,03	0,70

Tab.3.3: Calcolo delle superfici scolanti impermeabili e dei coefficienti medi ponderali delle aree afferenti ai ricettori fognari

Si ricava il valore del coefficiente di deflusso medio ponderale dell'intero bacino scolante comunale, pari a $\varphi_m = 0,70$; espressione del livello di impermeabilizzazione delle superfici urbanizzate.

3.5 Specificità del comparto produttivo

Si deve fare ora una precisazione circa l'area industriale di Paderno Franciacorta, situata nella porzione sud del territorio comunale oltre la strada S.P.19, il cui sistema di drenaggio delle acque bianche è completamente separato da quello dell'urbanizzato più a nord.

In quest'area fortemente impermeabilizzata, lo smaltimento delle acque meteoriche avviene per disperdimento in loco tramite pozzi perdenti siti in via Trento.

Inoltre, si rileva la presenza di numerosi pozzi perdenti di proprietà privata dediti allo smaltimento delle acque dilavanti dalle superfici dei lotti delle industrie, quali coperture e piazzali. Spesso le acque di prima pioggia scolanti dai piazzali industriali contengono carichi inquinanti derivanti da particolari lavorazioni effettuate in fabbrica; di conseguenza vengono raccolte in vasche apposite e scaricate in qualità di acque nere al termine dell'evento meteorico. In mancanza di ricettori naturali, la lontananza della falda sotterranea permette che le restanti acque bianche vengano infiltrate nel terreno. Per questo motivo si è fatta l'ipotesi che non vi siano allacciamenti alla rete fognaria bianca e che gli scarichi privati riguardino le sole acque nere.

Grazie all'operato dell'Amministrazione comunale di Paderno Franciacorta è stata effettuata un'indagine ricognitiva finalizzata all'individuazione dei pozzi perdenti privati. Le informazioni raccolte, seppur non sempre complete, hanno portato alla conferma delle ipotesi fatte.

Nell'attribuzione delle superfici scolanti alla rete di drenaggio del comparto produttivo, si fa riferimento quindi alle aree pubbliche di proprietà comunale, ovvero le strade e le aree a parcheggio, escludendo le proprietà private. Il calcolo delle portate massime affluenti terrà conto del solo contributo delle acque defluite dalle superfici pubbliche.

Di seguito si riportano i risultati dell'indagine comunale⁸, attraverso le risposte ottenute dai diretti proprietari coinvolti e da un precedente sopralluogo effettuato con un operaio del comune.

ID	PROPRIETA'	DOTAZIONE SCARICO ACQUE BIANCHE	CARTOGRAFIA	ALLACCIAMENTO FOGNATURA
1	Scolari Group S.r.l.	Attuale collegamento in pubblica fognatura. Progetto in corso per la dotazione di nuovi pozzi perdenti privati; è richiesto il posizionamento di questi nell'area a parcheggio privata ad uso pubblico.	Assente	Si, ma progetto in corso per pozzi perdenti.
2	Stamperia S.B. S.r.l.	Presenza di n.3 pozzi perdenti siti nell'area a parcheggio pubblico (D=2m; h=4m).	Presente	No
3	BGV S.r.l.	Nessuna informazione (rif. Geom. Moretti per documentazione C.E. n.59/90 del 25/05/90; rif. Prot.4303 per lavori successivi).	Assente	Informazione mancante
4	Bossini S.n.c.	Non sono in possesso di alcun documento circa i lavori di sistemazione stradale con fosse a perdere eseguiti dal Comune (negli anni 2010/2011/2012).	Assente	Informazione mancante
5	Fonderia Raineri S.n.c.	Presente n.1 pozzo perdente nel cortile della proprietà (D=3m; h=4m).	Presente	No
6	Meccafond di Bertoglio & Zanardelli S.n.c.	Le acque meteoriche delle coperture scaricano in parte nel pozzo collocato nel cortile, in parte nella proprietà Fonderia Raineri S.n.c. (entrambi D=3m; h=4m).	Presente	No
7	Tav Italia S.r.l.	Assenti pozzi perdenti. Le acque meteoriche raccolte dalle gronde della copertura, i cui pluviali sono ubicati nei pilastri dell'immobile, sono portate al di fuori della proprietà a raccordo con quelle derivanti dagli immobili adiacenti. L'allacciamento alla rete è ubicato verso via Romiglia.	Non consultabile	Si
8	Sirta S.p.a.	Presenti n.8 pozzi perdenti (D=2m; h=2m); n.3 pozzi perdenti (D=1.5m; h=2m); n.1 vasca (3mx3m); n.1 vasca (10mx4m; h=3.5m).	Presente non completa	No

⁸ Indagine ricognitiva effettuata nei mesi di ottobre e novembre 2019.

ID	PROPRIETA'	DOTAZIONE SCARICO ACQUE BIANCHE	CARTOGRAFIA	ALLACCIAMENTO FOGNATURA
9	Cittadini S.p.a.	Presenti n.2 pozzi perdenti (D=2m; h=3m); n.2 pozzi perdenti (D=2m; h=4m); una parte della superficie del piazzale è scolante in impianto di depurazione con recapito in fognatura.	Presente	No
10	Fab e Inverardi O.m.i.	Presenti n.2 pozzo perdente (D=2m; h=9.4m).	Presente	No
11	Proprietà di Este Luciana, Fenaroli Ada ed Enza	Presenti n.6 pozzi perdenti (D=1.5m; h=2m), due dei quali collocati nella proprietà confinante ad est, e n.3 fosse biologiche per acque nere.	Presente	No
12	Or.bu S.r.l.	Dichiarato n.1 pozzo perdente. .	Presente	No
13	B.M. Impianti	Denuncia generosa fossa perdente per acque meteoriche. Non vengono allegate planimetrie nè dimensioni (rif. Arch. Franco Fenaroli).	Assente	No
14	Proprietà Gio s.a.s. di Maccaboni	Presente n.1 pozzo perdente nel cortile della proprietà.	Presente	No
15	Turla S.r.l.	Dichiara di avere impianto di prima pioggia con pozzo perdente.	Assente	Informazione mancante
16	R.P.M. S.r.l.	Denunciano di aver inoltrato la domanda al titolare proprietario dei capannoni.	Assente	Informazione mancante
17	Proprietà Camozzi Industries S.p.a. in uso alla società Campress S.r.l.	Presenti n.6 pozzi perdenti nel piazzale ricevanti le acque delle coperture.	Presente	No
N	Altre	Non rispondenti all'indagine	Assente	Informazione mancante
C	Proprietà comunale	Dal sopralluogo (del 27.11.2018 con operaio del Comune di Paderno Franciacorta) sono stati individuati pozzi perdenti nell'area verde di proprietà comunale all'incrocio tra via Romiglia e via della Bosca (D=1.2m; h=3.6m) e nell'area a parcheggio pubblico tra via Trento e via dei Tre Cortili (D=1.2m; h=3.6m).	Presente	-

Tab.3.4: Risultati indagine pozzi perdenti

Rif. Tav.6



LEGENDA

- PROPRIETA' AVENTI POZZI PERDENTI
- PROPRIETA' SENZA POZZI PERDENTI
- PROPRIETA' SENZA INFORMAZIONI
- PROPRIETA' NON RISPONDENTI ALL'INDAGINE

- N** NUMERO IDENTIFICATIVO PROPRIETA'
- D
H O POZZO PERDENTE ACQUE METEORICHE SENZA COLLOCAZIONE PLANIMETRICA
CON INDICAZIONE DI DIAMETRO (D) E PROFONDITA' (H)
- D
H ● POZZO PERDENTE ACQUE METEORICHE
CON INDICAZIONE DI DIAMETRO (D) E PROFONDITA' (H)
- D
H ● POZZO PERDENTE ACQUE METEORICHE APPARTENENTE ALLA RETE COMUNALE
CON INDICAZIONE DI DIAMETRO (D) E PROFONDITA' (H)
- LXL
H □ VASCA CON FONDO DRINANTE PER ACQUE METEORICHE
CON INDICAZIONE DI DIMENSIONI (LXL) E PROFONDITA' (H)
- LXL
H □ VASCA CON FONDO DRENANTE PER ACQUE METEORICHE APPARTENENTE ALLA RETE COMUNALE
CON INDICAZIONE DI DIMENSIONI (LXL) E PROFONDITA' (H)

Fig.3.7: Presenza di pozzi perdenti privati nel comparto produttivo

Rif. Tav.6

3.6 Definizione delle precipitazioni di progetto

I fenomeni metereologici sono all'origine del processo di formazione delle portate di piena nelle fognature. Le precipitazioni che interessano maggiormente l'idrologia urbana sono quelle ad intensità molto forte e di breve durata; queste incidono significativamente sui deflussi, solitamente molto rapidi a causa della ridotta estensione dei bacini imbriferi della città. A causa della loro complessità, lo studio delle piogge deve limitarsi all'utilizzo di metodologie statistiche basate sulle osservazioni pluviometriche (AA.VV., 2008, p 111).

Il regolamento regionale n.7 e le s.m.i. indicano di far riferimento ai dati resi disponibili dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (A.R.P.A. Lombardia) per il calcolo delle precipitazioni:

Art. 11 (Metodologia di calcolo delle misure di invarianza idraulica e idrologica per il rispetto dei limiti allo scarico in caso di interventi di impermeabilizzazione potenziale media o alta ricadenti negli ambiti territoriali di criticità media o alta)

2.b) calcolo delle precipitazioni di progetto: i parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per la determinazione delle precipitazioni di progetto da assumere sono quelli riportati da A.R.P.A. Lombardia per tutte le località del territorio regionale; possono essere assunti valori diversi solo nel caso si disponga di dati ufficiali più specifici o più aggiornati per la località oggetto dell'intervento, dichiarandone l'origine e la validità; per maggiori dettagli si rimanda all'Allegato G.

Le curve di possibilità pluviometrica, dette anche linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (L.S.P.P.), forniscono la relazione tra la durata t e l'altezza di precipitazione h avente tempo di ritorno assegnato T .

A.R.P.A. Lombardia possiede la descrizione statistica aggiornata delle precipitazioni intense grazie ad una base dati consolidata, costituita dalle

osservazioni delle piogge massime annue di fissata durata (1, 2, 3, 6, 12 e 24 ore) effettuate per 105 stazioni meccaniche del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

Queste sono state utilizzate per lo sviluppo di un'attività di caratterizzazione statistica del territorio regionale, che ha prodotto la parametrizzazione delle L.S.P.P. su 69 punti strumentati e da questi su tutto il territorio regionale, tramite tecniche di estrapolazione geo-statistica⁹.

L'informazione pluviometrica fornisce la stima dei parametri della curva di possibilità pluviometrica (a ed n) espressa nella relazione:

$$h = a * t^n = a_1 * w_T * t^n$$

dove

h [mm] è l'altezza di precipitazione, caduta su una superficie nell'intervallo di tempo t . (Viene definita come il rapporto tra il volume di pioggia precipitato nel tempo t sulla superficie la cui proiezione orizzontale ha area S : $h_{t,S} = \frac{V_{t,S}}{S}$. Durante un evento pluviometrico l'altezza puntuale di precipitazione varia nello spazio e nel tempo);

a_1 è il coefficiente pluviometrico orario;

w_T è il coefficiente probabilistico, legato al tempo di ritorno T , espresso dalla formula: $w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left(1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right)$ con ε, α, k i parametri delle leggi probabilistiche G.E.V. adottate ed n il parametro di scala.

Poiché tali caratteri delle curve di possibilità pluviometrica riportati si riferiscono generalmente a durate di pioggia superiori all'ora, per le durate inferiori all'ora il Regolamento Regionale 23 novembre 2017 n.7 (Allegato G) prescrive l'utilizzo, in carenza di dati specifici, degli stessi parametri indicati da A.R.P.A. ponendo il parametro di scala $n = 0,5$. Da letteratura tecnica, si riporta la formula di Bell che

⁹ Il servizio è attualmente operativo e accessibile su piattaforma web-gis al sito web istituzionale di A.R.P.A. (<http://idro.arpalombardia.it>).

consente, con l'osservazione di dati di pioggia di brevissima durata, di stimare le altezze massime di precipitazione di durata inferiore all'ora e di dato tempo di ritorno:

$$\frac{h_-(d,T)}{h_{60,T}} = 0.54d^{0.25} - 0.5$$

dove

$h_-(d,T)$ [mm] è l'altezza di pioggia caduta nell'intervallo di tempo d [min] ;

$h_{60,T}$ è l'altezza di pioggia fornita dalla curva di possibilità pluviometrica, relativa al tempo di ritorno T , per durate $d > 60 \text{ min}$.

Sul territorio di Paderno Franciacorta i parametri della curva vengono definiti per i sei settori quadrati in cui questo viene suddiviso:

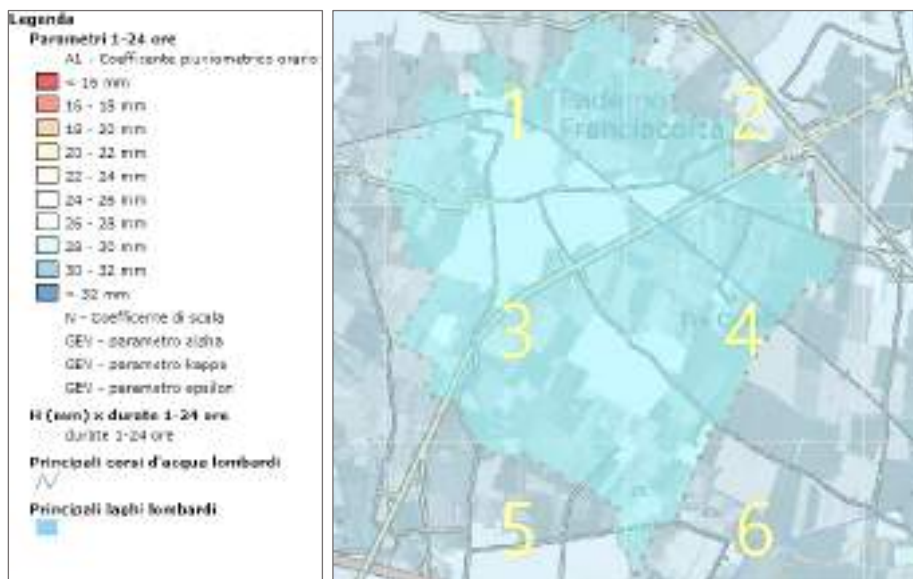


Fig.3.8: Suddivisione del territorio di Paderno Franciacorta nei sei settori

Fonte: Portale Idrologico Geografico di A.R.P.A. Lombardia

Dalla consultazione del servizio sono state ricavate le seguenti leggi di pioggia relative al territorio comunale per un tempo di ritorno pari a 50 anni:

SETTORI DI SUDDIVISIONE DEL TERRITORIO						
	1	2	3	4	5	6
a_1 - Coefficiente pluviometrico orario	28.480	28.380	28.450	28.470	28.470	28.450
n - Coefficiente di scala	0.284	0.284	0.283	0.281	0.281	0.280
α GEV - parametro alpha	0.287	0.286	0.286	0.285	0.285	0.285
k GEV - parametro kappa	-0.014	-0.015	-0.015	-0.015	-0.017	-0.019
ε GEV - parametro epsilon	0.830	0.831	0.831	0.831	0.830	0.830
CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA $h = a * t^n$ con $Tr = 50$ anni						
a	56.41	56.17	56.3	56.34	56.4	56.49
n ($t = 1 - 24$ ore)	0.284	0.284	0.283	0.281	0.281	0.280
n ($t < 1$ ora)	0.434	0.434	0.434	0.434	0.434	0.434
t [ore]	h altezza di pioggia con $t = 1 - 2$ ore					
1.1	57.96	57.71	57.84	57.87	57.93	58.02
1.2	59.41	59.16	59.28	59.30	59.36	59.45
1.3	60.77	60.52	60.64	60.65	60.72	60.80
1.4	62.07	61.80	61.92	61.93	61.99	62.07
1.5	63.29	63.03	63.15	63.14	63.21	63.28
1.6	64.47	64.19	64.31	64.29	64.36	64.44
1.7	65.58	65.31	65.42	65.40	65.47	65.54
1.8	66.66	66.37	66.49	66.46	66.53	66.60
1.9	67.69	67.40	67.51	67.48	67.55	67.61
2	68.68	68.39	68.50	68.46	68.53	68.59

Tab.3.5: Leggi di pioggia

Fonte: Portale Idrologico Geografico di A.R.P.A. Lombardia

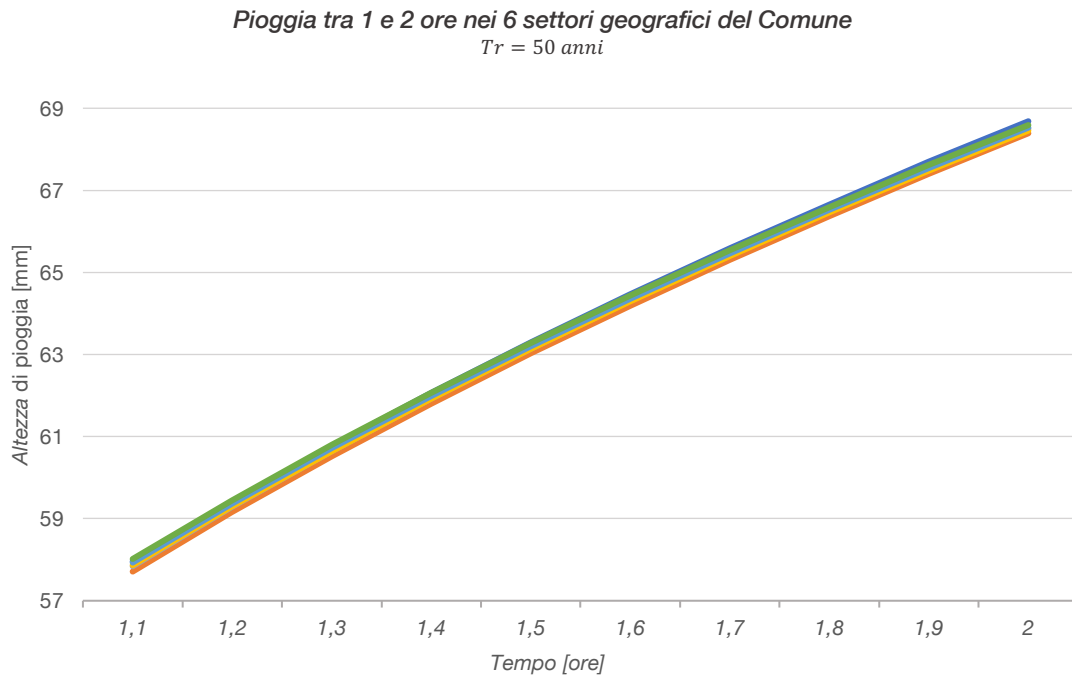


Fig.3.9: Legge di pioggia con Tr 50 anni

Fonte: Elaborazione dati di A.R.P.A. Lombardia

Tra le diverse curve di possibilità pluviometrica, a favore di sicurezza, si sceglie di utilizzare per l'intero territorio comunale quelle che generano i maggiori volumi d'acqua. Sono state identificate le curve pluviometriche per tempi di ritorno di 10, 50 e 100 anni, per le quali i settori con i maggiori volumi d'acqua sono il primo (come evidenziato in arancio in *Tab. 3.5-1*) ed il sesto.

Tr	t < 1 ora	t = 1 – 24 ore
10 anni	$h = 42,32 t^{0,434}$	$h = 42,32 t^{0,284}$
50 anni	$h = 56,41 t^{0,434}$	$h = 56,41 t^{0,284}$
100 anni	$h = 62,65 t^{0,434}$	$h = 62,65 t^{0,284}$

Tab.3.6: Leggi di pioggia per diversi tempi di ritorno

Fonte: Elaborazione dati di A.R.P.A. Lombardia

Il Regolamento Regionale n.7 e le s.m.i. prescrivono di condurre lo studio idrologico riferendosi ad un evento meteorico con tempi di ritorno alti, al fine di considerare importanti condizioni locali di rischio causate da eventi meteorici rari ed intensi.

Il dimensionamento delle opere idrauliche deve essere effettuato considerando un tempo di ritorno pari a 50 anni, mentre per la verifica si arriva fino ai 100 anni; casi che prevedono il superamento delle capacità di controllo delle strutture fognarie urbane progettate e realizzate con leggi di pioggia corrispondenti ai 10 anni.

Svolgendo il calcolo nei due casi, si evidenziano portate di colmo ben maggiori con T_r pari a 50 anni, caso che porterà ad identificare molti tratti di fognatura come insufficienti allo smaltimento delle portate calcolate. Tuttavia, nel lungo periodo il calcolo cinquantennale dovrebbe risultare meno critico grazie alla completa attuazione del regolamento regionale (realizzazione dei volumi laminati e/o infiltrati dai privati e degli interventi pubblici volti alla riduzione del deflusso urbano).

Di seguito il riferimento normativo cui si è fatto riferimento:

Art. 11 (Metodologia di calcolo delle misure di invarianza idraulica e idrologica per il rispetto dei limiti allo scarico in caso di interventi di impermeabilizzazione potenziale media o alta ricadenti negli ambiti territoriali di criticità media o alta)

2.a) tempi di ritorno di riferimento: considerato che l'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica contribuisce in modo fondamentale alle misure di prevenzione dell'erosione dei corsi d'acqua e delle reti di drenaggio urbano, il presente regolamento prevede che siano valutate le condizioni locali di rischio di allagamento residuo per eventi di tempo di ritorno alti, quelli cioè che determinano un superamento anche rilevante delle capacità di controllo assicurate dalle strutture fognarie; gli interventi di laminazione o anche infiltrazione delle acque pluviali sono

conseguentemente dimensionati, assumendo i seguenti valori di tempi di ritorno:

1. $T = 50$ anni: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere di laminazione o anche infiltrazione con un adeguato grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani;

2. $T = 100$ anni: tempo di ritorno da adottare per la verifica del grado sicurezza delle opere come sopra dimensionate. Tale verifica è mirata a valutare che, in presenza di un evento con $T 100$, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno. Il medesimo tempo di ritorno è adottato anche per il dimensionamento e la verifica delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi.

3.7 Calcolo delle portate di colmo affluenti ai ricettori

Per la determinazione delle portate di pioggia generate dalle superfici impermeabili è stato utilizzato il metodo italiano dell'invaso lineare, metodo concepito originariamente per la verifica e trasformato successivamente per la progettazione.

La portata di colmo defluente viene stimata in funzione del volume l'acqua immagazzinato, a seguito di una determinata pioggia, sulla superficie A del bacino sotteso e nella rete a monte (AA.VV., 2008, pp 238,239):

$$Q = u * A$$

dove

Q [l/s] è la portata di colmo defluente;

A [ha] è l'area del bacino sversante;

u [l/(s·ha)] è il coefficiente udometrico, una portata per unità di superficie, il cui valore è dato dalla relazione:

$$u = 2168 * n_0 \frac{a' \varphi^{1/n_0}}{w^{(1/n_0 - 1)}}$$

con

n_0, a' sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica che tengono conto dell'estensione dell'area tributaria del bacino:

$$n_0 = \frac{4}{3} \left[n + 0,0175 * \frac{A}{100} \right] \quad a' = a \left[1 - 0,052 * \frac{A}{100} + 0,002 * \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right];$$

φ è il coefficiente di afflusso alla fognatura/ricettore;

w [m³/ha] è il volume d'acqua invasata riferito all'unità di superficie del bacino; dipendente dal volume dei piccoli invasi (velo idrico presente sulle superfici scolanti e volume invasato nelle capacità secondarie, quali pozzetti, fognoli, caditoie, drenaggio stradale, ecc., che per le aree urbanizzate generalmente ha

valori compresi tra 10 e 40 m³/ha) e dal volume invasato all'interno dei collettori a monte.

Il calcolo completo delle portate di colmo affluenti alla rete fognaria di Paderno Franciacorta è stato sviluppato attraverso l'utilizzo del software *Fognature+*, un programma che lavora in *AutoCAD* per la costruzione e la gestione delle reti fognarie¹⁰.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per l'intera rete di drenaggio:

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile $S_{scol,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m	Portata di colmo Q_{Tr10}	Portata di colmo Q_{Tr50}
		ha	ha		l/s	l/s
1	26C-26A	0.10	0.09	0.91	18	30
2	51C-51B	0.28	0.22	0.78	39	65
3	45E-45C	0.41	0.29	0.71	48	80
4	38G-38D	0.14	0.13	0.92	27	44
5	45B-45A	0.19	0.14	0.73	24	39
6	37A-37	0.35	0.31	0.87	60	99
7	36G-36E	0.35	0.26	0.74	45	74
8	18S-18A	0.00	0.00	0.93	1	1
9	20D-20B	0.67	0.46	0.69	75	123
10	64B-64	0.47	0.43	0.92	87	144
11	65-SCA14	1.41	0.91	0.65	136	224
12	20A-20	0.43	0.33	0.75	57	94
13	31I-31G	0.29	0.21	0.71	35	58
14	46D-46B	0.68	0.53	0.78	93	154
15	68S-67	0.65	0.49	0.75	83	137
16	19B-19A	4.44	2.55	0.58	333	547
17	62B-62	6.21	5.22	0.84	878	1440
18	62A-62	0.30	0.25	0.84	48	79

¹⁰ Software sviluppato da Sepram S.r.l. Servizi Progettazione Ambiente (<http://www.sepram.it>).

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile $S_{scol,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m	Portata di colmo Q_{Tr10}	Portata di colmo Q_{Tr50}
		ha	ha		l/s	l/s
19	63-61	3.38	2.87	0.85	505	829
20	64A-64	1.37	1.28	0.93	251	412
21	59-58	3.06	2.58	0.84	451	741
22	56-55	0.74	0.46	0.62	68	111
23	10C-10A	1.57	1.16	0.74	191	313
24	53C-53B	1.07	0.52	0.48	64	104
25	53D-53B	1.08	0.45	0.42	50	83
26	53A-53	1.64	0.92	0.57	125	205
27	52C-52A	1.23	0.78	0.63	115	188
28	52B-52A	0.64	0.36	0.56	51	83
29	47A-47	0.18	0.15	0.87	31	50
30	47B-47	0.77	0.64	0.83	118	194
31	51D-51B	0.68	0.47	0.68	75	123
32	51A-51	0.16	0.09	0.56	13	21
33	50C-50	0.79	0.51	0.65	78	128
34	50B-50A	0.93	0.58	0.63	87	143
35	50D-50	1.24	0.76	0.61	109	180
36	66-SCA16	3.31	2.28	0.69	343	564
37	68G-68F	0.71	0.39	0.55	54	88
38	68E-68D	2.33	1.38	0.59	190	312
39	69-68B	1.47	1.04	0.71	167	274
40	68C-68A	0.38	0.24	0.63	37	61
41	68I-68H	0.21	0.12	0.58	18	29
42	45D-45C	0.78	0.59	0.75	100	164
43	67B-67A	0.29	0.20	0.70	33	55
44	44-43	0.36	0.23	0.65	36	59
45	46C-46B	0.13	0.11	0.89	23	37
46	46A-46	0.28	0.21	0.75	37	61
47	71C-71B	0.19	0.11	0.60	17	28
48	71D-71B	0.74	0.58	0.78	101	167
49	71A-71	0.76	0.40	0.52	52	86

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile $S_{scol,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m	Portata di colmo Q_{Tr10}	Portata di colmo Q_{Tr50}
		ha	ha		l/s	l/s
50	40B-40A	1.14	0.79	0.69	126	206
51	38B-38A	0.08	0.07	0.93	15	25
52	31A-31	0.23	0.21	0.88	41	68
53	38C-38A	0.29	0.25	0.85	48	79
54	38F-38D	0.17	0.15	0.84	28	47
55	38E-38D	0.79	0.62	0.78	110	180
56	36D-36B	0.39	0.28	0.71	46	76
57	36C-36A	0.38	0.22	0.58	32	53
58	36F-36E	0.62	0.36	0.58	51	85
59	39-SCA15	0.27	0.20	0.73	34	56
60	32B-32A	0.31	0.21	0.69	35	58
61	35B-35	0.62	0.41	0.66	64	106
62	35A-35	0.36	0.22	0.61	33	54
63	34-33C	0.23	0.16	0.70	27	45
64	33F-33C	0.40	0.22	0.56	31	51
65	33E-33B	0.45	0.26	0.57	37	60
66	33D-33A	0.47	0.28	0.60	41	68
67	31H-31G	0.09	0.09	0.92	18	29
68	26S-31D	0.71	0.64	0.90	125	205
69	31F-31C	0.50	0.35	0.70	58	96
70	31E-31B	0.15	0.14	0.91	29	48
71	13H-13D	0.47	0.20	0.43	24	39
72	13G-13C	0.40	0.27	0.66	42	70
73	13F-13B	0.08	0.05	0.58	7	11
74	13E-13A	0.51	0.31	0.61	47	77
75	21A-21	0.57	0.43	0.74	73	120
76	17A-17	3.87	2.08	0.54	259	426
77	20C-20B	0.40	0.27	0.66	42	69
78	23-22	0.81	0.74	0.90	143	236
79	25-24	1.06	0.80	0.75	134	221
80	26B-26A	0.25	0.23	0.92	47	77

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile $S_{scol,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m	Portata di colmo Q_{Tr10}	Portata di colmo Q_{Tr50}
		ha	ha		l/s	l/s
81	26H-26G	0.39	0.32	0.84	61	100
82	29-27	4.04	2.09	0.52	253	415
83	28-27	3.83	2.28	0.60	307	504
84	26F-26E	0.43	0.38	0.87	73	120
85	30B-30	0.26	0.21	0.82	40	66
86	30A-30	0.25	0.17	0.67	28	46
87	11S-10A	0.14	0.11	0.76	19	32
88	17-16	0.04	0.03	0.54	264	433
89	20B-20	0.09	0.07	0.69	126	207
90	27-26E	1.13	0.90	0.59	666	1093
91	26G-26D	0.56	0.50	0.87	155	254
92	30-21	1.33	1.03	0.77	238	391
93	31G-31D	0.12	0.10	0.79	70	116
94	35-33	1.60	1.04	0.65	242	398
95	33C-33B	0.30	0.20	0.63	87	143
96	36E -36	0.44	0.22	0.60	118	194
97	38D-38	0.07	0.07	0.82	172	283
98	71B-71	0.98	0.62	0.69	203	333
99	46B-46	0.02	0.02	0.80	118	194
100	68H-68	2.33	1.38	0.59	205	337
101	68F-68D	0.54	0.31	0.57	97	159
102	50A-50	0.68	0.50	0.68	167	275
103	51B-51	0.62	0.43	0.70	176	289
104	53B-53	1.69	0.97	0.51	233	382
105	55-54	0.12	0.10	0.65	84	138
106	62-61	3.47	3.05	0.85	1407	2307
107	53-52	2.16	1.44	0.57	538	882
108	64-60	0.15	0.11	0.92	348	571
109	21-14	0.32	0.17	0.74	322	529
110	46-42	0.26	0.19	0.77	181	297
111	20-18	0.20	0.17	0.72	208	341

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile $S_{scol,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m	Portata di colmo Q_{Tr10}	Portata di colmo Q_{Tr50}
		ha	ha		l/s	l/s
112	26E-26D	0.75	0.62	0.62	813	1334
113	31D-31C	1.60	1.06	0.74	335	551
114	33B-33A	0.27	0.15	0.60	140	230
115	38A-38	1.00	0.40	0.53	93	153
116	71-70	0.98	0.62	0.64	332	545
117	47-41	0.90	0.59	0.75	227	373
118	45C-45A	0.75	0.50	0.71	217	357
119	68D-68B	0.15	0.10	0.59	291	478
120	50-48	0.04	0.04	0.65	343	564
121	51-49	0.89	0.57	0.67	266	437
122	10A-SCA10B	0.30	0.22	0.74	241	396
123	55-SCA12	0.17	0.08	0.59	76	125
124	19A-19	1.51	0.90	0.58	445	731
125	54-SCA11	0.43	0.29	0.66	128	211
126	45A-45	0.01	0.01	0.71	239	393
127	26D-26	0.00	0.00	0.64	938	1537
128	19-18	0.69	0.49	0.59	513	842
129	31C-31B	0.16	0.13	0.74	408	670
130	33A-33	0.63	0.46	0.63	247	405
131	38-37	0.16	0.11	0.66	266	437
132	68B-68A	0.60	0.45	0.64	506	831
133	52A-52	0.52	0.30	0.60	198	326
134	61-60	2.96	2.51	0.85	2209	3619
135	58-57	8.94	7.69	0.86	1674	2744
136	18-16	0.12	0.09	0.62	707	1160
137	26A-26	0.00	0.00	0.92	64	105
138	26-24	0.32	0.29	0.65	1031	1690
139	16-15	0.05	0.04	0.60	937	1537
140	31B-31	0.39	0.35	0.76	493	809
141	33-32	0.00	0.00	0.64	472	774
142	37-36B	0.19	0.13	0.69	335	551

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile $S_{scol,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m	Portata di colmo Q_{Tr10}	Portata di colmo Q_{Tr50}
		ha	ha		l/s	l/s
143	68A-68	0.00	0.00	0.63	537	882
144	52-49	5.22	3.75	0.62	1211	1984
145	60-57	0.88	0.81	0.86	2614	4279
146	24-22	1.69	1.13	0.66	1282	2101
147	31-13D	0.90	0.68	0.77	628	1031
148	36B-36A	0.25	0.13	0.68	390	640
149	68-67A	0.21	0.17	0.63	742	1217
150	57-SCA13	0.15	0.11	0.86	4042	6601
151	22-18A	1.53	1.00	0.67	1515	2481
152	13D-13C	0.24	0.21	0.74	673	1105
153	36A-36	0.52	0.20	0.64	427	701
154	67A-67	0.27	0.18	0.63	793	1300
155	18A-15	0.03	0.03	0.67	1520	2489
156	67-45	0.08	0.07	0.64	871	1428
157	13C-13B	0.21	0.17	0.74	733	1203
158	36-32A	2.11	1.36	0.63	705	1157
159	49-48	0.07	0.07	0.63	1442	2362
160	15-14	0.00	0.00	0.64	2314	3780
161	14-13	0.16	0.11	0.65	2574	4202
162	13B-13A	0.38	0.30	0.74	783	1285
163	32A-32	2.11	1.36	0.64	905	1483
164	48-40	1.35	0.97	0.64	1846	3020
165	45-43	0.01	0.01	0.65	1076	1763
166	13A-13	0.29	0.23	0.73	855	1403
167	43-42	0.15	0.11	0.65	1118	1833
168	13-12	0.96	0.78	0.67	3350	5461
169	42-41	0.45	0.32	0.66	1307	2142
170	41-70	1.48	0.87	0.67	1587	2598
171	70-40A	0.62	0.38	0.66	1898	3104
172	40A-40	0.67	0.47	0.66	2052	3355
173	40-32	2.66	1.94	0.66	3840	6248

N	Tratto	Superficie scolante totale $S_{scol,tot}$	Superficie scolante impermeabile $S_{scol,tot}$	Coeff. di deflusso medio ponderale φ_m	Portata di colmo Q_{Tr10}	Portata di colmo Q_{Tr50}
		ha	ha		l/s	l/s
174	32-12	1.97	1.28	0.65	4951	8028
175	12-11	2.12	1.65	0.66	7628	12271
176	11-SCA10	0.20	0.13	0.66	7639	12288

Tab.3.7: Calcolo delle portate meteoriche di colmo con Tr 10 e 50 anni

I risultati tabellati sono illustrati nelle figure successive, in cui le portate meteoriche di colmo sono espresse sempre in l/s.

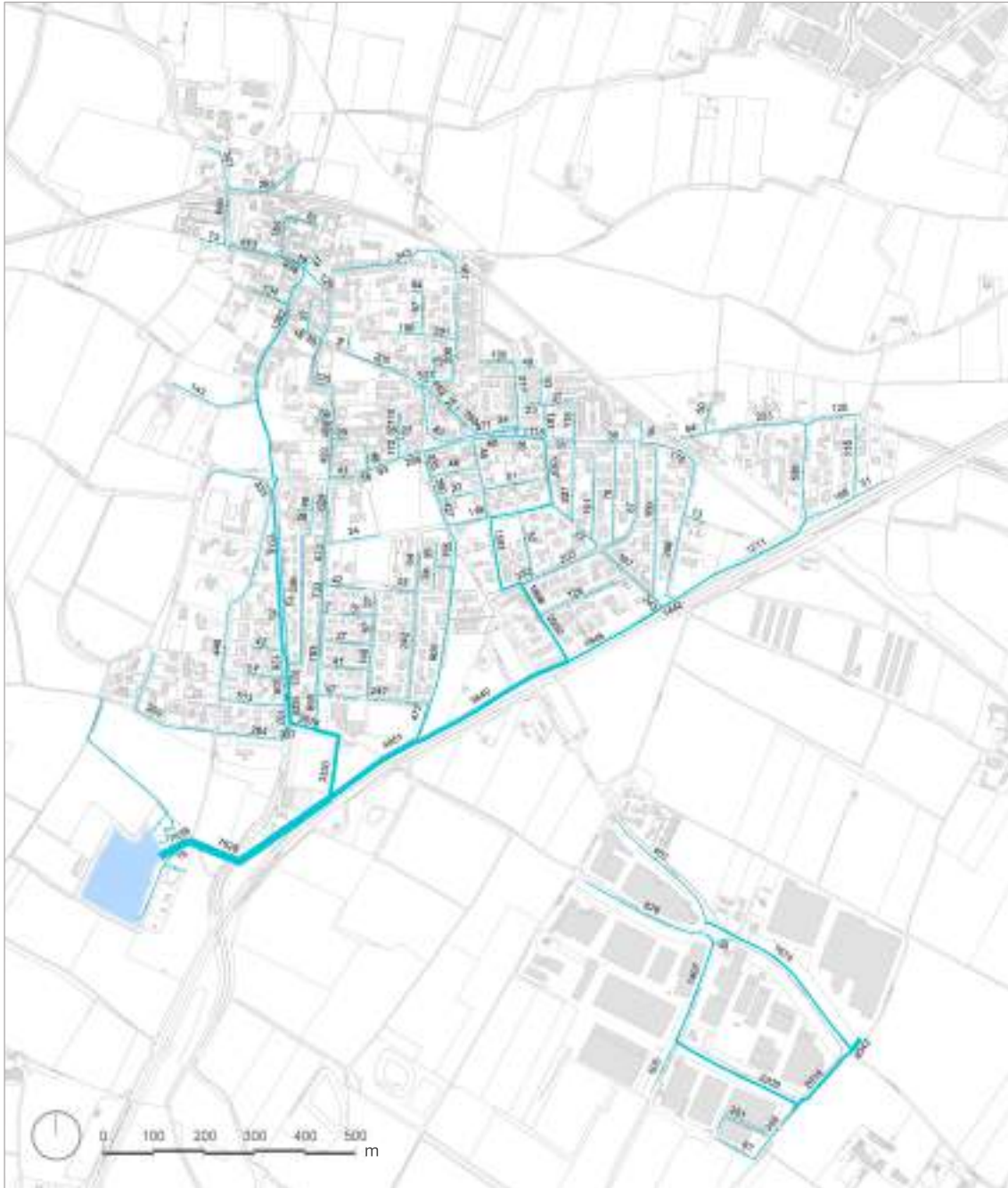


Fig.3.10: Portate di colmo in l/s nei vari tratti dei ricettori delle zone urbanizzate - T=10 anni

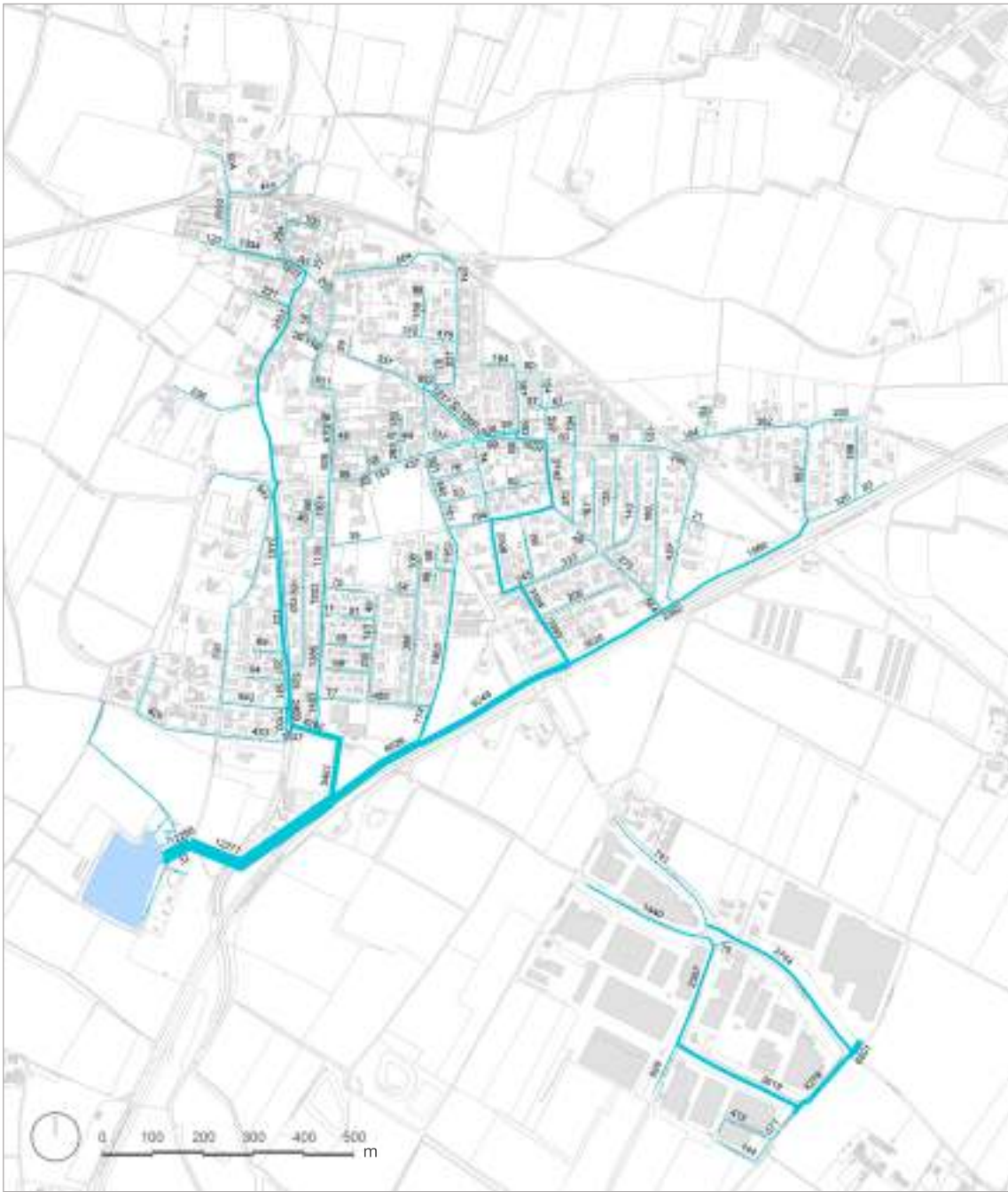


Fig.3.11: Portate di colmo in l/s nei vari tratti dei ricettori delle zone urbanizzate - T=50 anni

3.8 Verifica della capacità di smaltimento delle portate

Il precedente calcolo delle portate di colmo progressive transitanti in ciascun tratto ricettore ha permesso di effettuare la verifica della loro capacità di smaltimento.

Note le caratteristiche geometriche e definite, con le dovute assunzioni ed ipotesi, le caratteristiche altimetriche della rete fognaria, sono state calcolate le portate massime che ciascuna condotta è in grado di smaltire.

Dal confronto tra le portate di colmo transitanti¹¹ e le portate massime smaltibili, è stata definita l' idoneità o l' insufficienza di ciascun tratto:

- qualora la portata di colmo in un ricettore superi la portata massima transitante in esso a gravità $Q_{T_r,10} > Q_{max}$, allora la condotta va in pressione, caso non accettabile;
- se la portata di colmo è compresa tra l'80% e il 100% della capacità massima della condotta $0,8 * Q_{max} > Q_{T_r,10} > Q_{max}$, questa risulta essere in grado di transitare la portata, ma con insufficiente grado di sicurezza;
- nei restanti casi in cui la portata di colmo sia ben inferiore alla portata massima smaltibile $Q_{T_r,10} < 0,8 * Q_{max}$, i ricettori sono valutati idonei al transito delle portate in sicurezza.

¹¹ Per la verifica delle fognature, normalmente progettate e realizzate sul decennio, si considera il calcolo effettuato con $T = 10$ anni.

N	Tratto	Portata di colmo transitante Q_{Tr10}	Portata massima smallabile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata
		l/s	l/s	l/s	
1	26C-26A	18	500	400	
2	51C-51B	39	54	43	
3	45E-45C	48	68	54	
4	38G-38D	27	20	16	
5	45B-45A	24	20	16	
6	37A-37	60	119	95	
7	36G-36E	45	90	72	
8	18S-18A	1	1075	860	
9	20D-20B	75	737	590	
10	64B-64	87	54	43	
11	65-SCA14	136	237	190	
12	20A-20	57	71	57	
13	31I-31G	35	246	197	
14	46D-46B	93	98	78	
15	68S-67	83	118	94	
16	19B-19A	333	148	118	
17	62B-62	878	85	68	
18	62A-62	48	53	43	
19	63-61	505	54	43	
20	64A-64	251	118	94	
21	59-58	451	98	78	
22	56-55	68	181	145	
23	10C-10A	191	16	13	
24	53C-53B	64	55	44	
25	53D-53B	50	55	44	
26	53A-53	125	54	43	
27	52C-52A	115	80	64	
28	52B-52A	51	117	94	
29	47A-47	31	120	96	
30	47B-47	118	65	52	
31	51D-51B	75	67	54	
32	51A-51	13	18	14	
33	50C-50	78	112	89	
34	50B-50A	87	100	80	
35	50D-50	109	109	87	
36	66-SCA16	343	78	62	
37	68G-68F	54	52	42	
38	68E-68D	190	237	190	
39	69-68B	167	1557	1246	
40	68C-68A	37	134	107	
41	68I-68H	18	277	221	

N	Tratto	Portata di colmo transitante Q_{Tr10}	Portata massima smaltibile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata
		l/s	l/s	l/s	
42	45D-45C	100	193	155	
43	67B-67A	33	71	56	
44	44-43	36	11	9	
45	46C-46B	23	55	44	
46	46A-46	37	54	43	
47	71C-71B	17	84	68	
48	71D-71B	101	114	91	
49	71A-71	52	97	78	
50	40B-40A	126	73	58	
51	38B-38A	15	55	44	
52	31A-31	41	356	285	
53	38C-38A	48	54	43	
54	38F-38D	28	18	15	
55	38E-38D	110	108	87	
56	36D-36B	46	205	164	
57	36C-36A	32	229	183	
58	36F-36E	51	54	43	
59	39-SCA15	34	33	27	
60	32B-32A	35	54	43	
61	35B-35	64	112	90	
62	35A-35	33	236	189	
63	34-33C	27	126	100	
64	33F-33C	31	55	44	
65	33E-33B	37	54	43	
66	33D-33A	41	54	43	
67	31H-31G	18	97	77	
68	26S-31D	125	1082	866	
69	31F-31C	58	65	52	
70	31E-31B	29	55	44	
71	13H-13D	24	18	14	
72	13G-13C	42	119	95	
73	13F-13B	7	19	15	
74	13E-13A	47	119	95	
75	21A-21	73	233	186	
76	17A-17	259	336	269	
77	20C-20B	42	55	44	
78	23-22	143	70	56	
79	25-24	134	55	44	
80	26B-26A	47	48	38	
81	26H-26G	61	372	297	
82	29-27	253	118	94	

N	Tratto	Portata di colmo transitante $Q_{T_{r10}}$	Portata massima smaltibile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata
		l/s	l/s	l/s	
83	28-27	307	118	94	
84	26F-26E	73	87	70	
85	30B-30	40	353	283	
86	30A-30	28	71	57	
87	11S-10A	19	20	16	
88	17-16	264	477	382	
89	20B-20	126	380	304	
90	27-26E	666	257	205	
91	26G-26D	155	302	242	
92	30-21	238	409	327	
93	31G-31D	70	169	135	
94	35-33	242	414	331	
95	33C-33B	87	101	81	
96	36E- 36	118	107	86	
97	38D-38	172	54	43	
98	71B-71	203	65	52	
99	46B-46	118	51	41	
100	68H-68	205	697	557	
101	68F-68D	97	102	81	
102	50A-50	167	581	465	
103	51B-51	176	57	46	
104	53B-53	233	54	43	
105	55-54	84	152	121	
106	62-61	1407	87	70	
107	53-52	538	502	402	
108	64-60	348	118	94	
109	21-14	322	154	123	
110	46-42	181	55	44	
111	20-18	208	873	698	
112	26E-26D	813	234	188	
113	31D-31C	335	674	539	
114	33B-33A	140	280	224	
115	38A-38	93	120	96	
116	71-70	332	86	69	
117	47-41	227	203	162	
118	45C-45A	217	69	55	
119	68D-68B	291	237	190	
120	50-48	343	426	340	
121	51-49	266	502	402	
122	10A-SCA10B	241	67	54	
123	55-SCA12	76	1175	940	

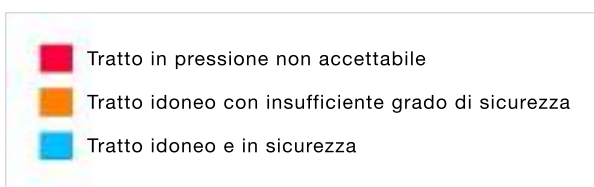
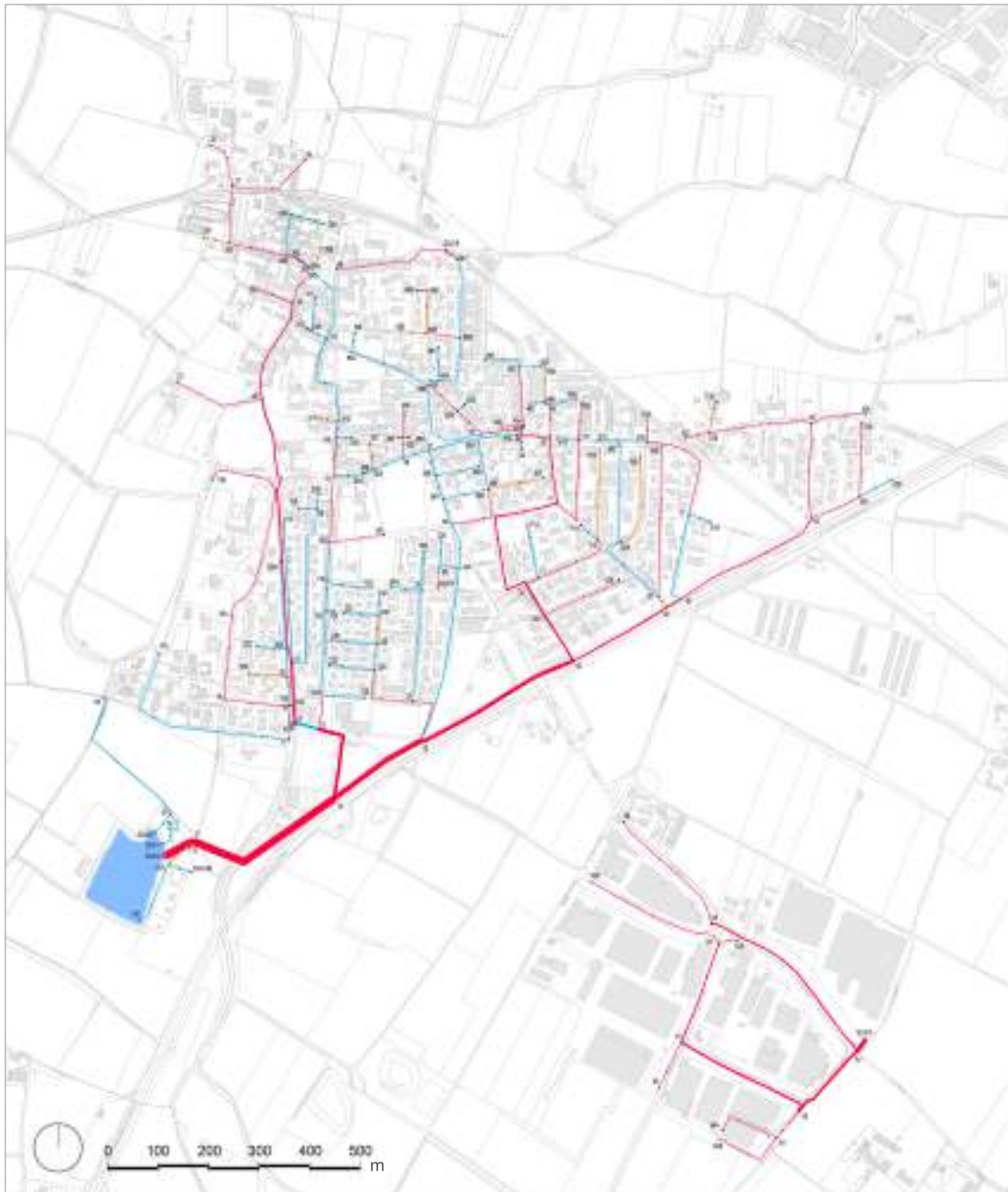
N	Tratto	Portata di colmo transitante Q_{T_r10}	Portata massima smallabile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata
		l/s	l/s	l/s	
124	19A-19	445	119	95	
125	54-SCA11	128	95	76	
126	45A-45	239	67	54	
127	26D-26	938	505	404	
128	19-18	513	444	356	
129	31C-31B	408	691	553	
130	33A-33	247	237	189	
131	38-37	266	380	304	
132	68B-68A	506	1668	1335	
133	52A-52	198	119	95	
134	61-60	2209	141	113	
135	58-57	1674	210	168	
136	18-16	707	696	557	
137	26A-26	64	225	180	
138	26-24	1031	847	678	
139	16-15	937	557	446	
140	31B-31	493	465	372	
141	33-32	472	381	305	
142	37-36B	335	2955	2364	
143	68A-68	537	1713	1370	
144	52-49	1211	819	655	
145	60-57	2614	119	95	
146	24-22	1282	975	780	
147	31-13D	628	575	460	
148	36B-36A	390	2262	1809	
149	68-67A	742	54	44	
150	57-SCA13	4042	384	307	
151	22-18A	1515	518	415	
152	13D-13C	673	1718	1375	
153	36A-36	427	2361	1889	
154	67A-67	793	72	57	
155	18A-15	1520	1390	1112	
156	67-45	871	119	96	
157	13C-13B	733	1600	1280	
158	36-32A	705	1792	1434	
159	49-48	1442	1296	1037	
160	15-14	2314	1189	951	
161	14-13	2574	3357	2686	
162	13B-13A	783	1539	1231	
163	32A-32	905	1773	1418	
164	48-40	1846	1584	1267	

N	Tratto	Portata di colmo transitante $Q_{Tr,10}$	Portata massima smaltibile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata	
		l/s	l/s	l/s		
165	45-43	1076	70	56		
166	13A-13	855	810	648		
167	43-42	1118	54	43		
168	13-12	3350	1888	1511		
169	42-41	1307	120	96		
170	41-70	1587	527	421		
171	70-40A	1898	534	427		
172	40A-40	2052	281	225		
173	40-32	3840	1820	1456		
174	32-12	4951	940	752		
175	12-11	7628	1888	1510		
176	11-SCA10	7639	2345	1876		
TRATTO IN PRESSIONE, CASO NON ACCETTABILE						48%
TRATTO IDONEO MA INSUFFICIENTE GRADO DI SICUREZZA						9%
TRATTO IDONEO E IN SICUREZZA						43%

Tab.3.8: Verifica dell'idoneità delle condotte allo smaltimento delle portate di colmo

Si evince che quasi la metà dei ricettori fognari, circa il 48% del totale, sono presumibilmente non idonei al transito della portata di colmo a gravità, solo il 9% ricade nella situazione intermedia di idoneità con insufficiente sicurezza, mentre circa il 43% della rete risulta certamente idonea.

Si riporta la visualizzazione della verifica riferita ad un tempo di ritorno pari a 10 anni:



*Fig.3.12: Verifica tratti ricettori - T=10 anni
Rif. Tav.5*

3.9 Verifica nello scenario futuro

La definizione di un possibile scenario futuro può avere molteplici finalità e vantaggi.

In prima analisi, la proiezione nel lungo periodo può essere utile nell'individuazione delle criticità più gravose e persistenti; nel caso di insufficienze consistenti attribuibili al sistema di drenaggio allo stato attuale, si tratta di identificare i collettori fognari maggiormente sollecitati.

Non meno importante è il riconoscimento dei margini di miglioramento disponibili per la riduzione del rischio idraulico, al variare del grado di ottimizzazione del sistema di drenaggio messo in atto. In particolare, considerando un primo scenario realistico si vuole analizzare il caso di un'ottimizzazione modesta, conseguita attraverso l'applicazione del principio di invarianza idraulica ai soli ambiti edificati passibili di trasformazioni e perciò sicuramente incidenti nel processo. Successivamente, ipotizzando uno scenario futuro ottimale si suppone di applicare il principio di invarianza idraulica a tutto il tessuto urbano consolidato; è questo il caso di un'ottimizzazione completa del sistema di drenaggio urbano, che comporta però un approccio diverso da quelli fino ad ora adottati.

La composizione ed osservazione di scenari futuri può essere, inoltre, uno strumento fondamentale per stabilire quali siano gli indirizzi normativi e le politiche più adeguate alla messa in sicurezza del territorio.

Applicare il principio di invarianza idraulica all'urbanizzato esistente significa considerare la completa attuazione del regolamento regionale. Tale condizione si ritiene verificata nel momento in cui tutte le proprietà sottoposte a interventi edilizi o comunque sottoposte al rispetto del principio di invarianza idraulica ed idrologica limiteranno le portate meteoriche scaricate nei ricettori (attraverso la realizzazione dei volumi di laminazione) secondo i seguenti valori:

Art. 8 (Valori massimi ammissibili della portata meteorica scaricabile nei ricettori)

1. Gli scarichi nel ricettore sono limitati mediante l'adozione di interventi atti a contenere l'entità delle portate scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore stesso e comunque entro i seguenti valori massimi ammissibili (u_{lim}):

a) per le aree A di cui al comma 3 dell'articolo 7: 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;

b) per le aree B di cui al comma 3 dell'articolo 7: 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;

c) per le aree C di cui al comma 3 dell'articolo 7: 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Nel comune di Paderno Franciacorta, classificato in area A, la portata massima meteorica scaricabile nei ricettori è fissata a 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Considerando lo scenario realistico, le aree maggiormente incidenti a livello di trasformazioni edilizie su cui applicare prioritariamente il limite di portata suddetto riguardano la zona industriale. Nel caso specifico, però, le proprietà industriali smaltiscono in autonomia le acque meteoriche defluite dalle coperture e dai piazzali attraverso propri pozzi perdenti; di conseguenza le portate scaricate nei ricettori da parte delle aziende sono state considerate fin dal principio non solo ridotte, bensì nulle.

Ne consegue che il margine di miglioramento in quest'area, generato da iniziative private, è limitato. Poiché non vi sono sul territorio ulteriori grandi aree, come potrebbero essere quelle commerciali, il cui contributo sarebbe rilevante nel processo, si deduce che eventuali miglioramenti dipendano da iniziative di carattere pubblico.

In uno scenario ottimale, si ammette che per limiti normativi più stringenti o per buona pratica nel riutilizzo delle acque piovane, tutte le proprietà appartenenti al

tessuto urbano consolidato realizzino volumi di laminazione che limitino le portate allo scarico come da regolamento.

In questo caso particolare, si possono quantificare le possibili future portate di colmo affluenti ai ricettori come somma di due contributi:

- la portata limitata a 10 l/(s·ha) applicata alle superfici urbanizzate, escluse le aree destinate alla viabilità;
- i deflussi invariati derivanti dalla superficie stradale pubblica.

Il risultato di questa simulazione ottimale porta ad una riduzione dei tratti insufficienti: circa il 27%-30% di condotte fognarie si dimostra presumibilmente ancora non idoneo allo smaltimento delle portate limitate con sufficiente grado di sicurezza.

N	Tratto	Portata di colmo transitante limitata $Q_{T_r-10,lim}$	Portata massima smaltibile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata
		l/s	l/s	l/s	
1	26C-26A	3	500	400	
2	51C-51B	39	54	43	
3	45E-45C	8	68	54	
4	38G-38D	7	20	16	
5	45B-45A	15	20	16	
6	37A-37	35	119	95	
7	36G-36E	20	90	72	
8	18S-18A	1	1075	860	
9	20D-20B	39	737	590	
10	64B-64	69	54	43	
11	65-SCA14	84	237	190	
12	20A-20	17	71	57	
13	31I-31G	13	246	197	
14	46D-46B	62	98	78	
15	68S-67	51	118	94	
16	19B-19A	222	148	118	
17	62B-62	272	85	68	
18	62A-62	18	53	43	
19	63-61	106	54	43	
20	64A-64	45	118	94	

N	Tratto	Portata di colmo transitante limitata $Q_{Tr,10,lim}$	Portata massima smallabile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata
		l/s	l/s	l/s	
21	59-58	222	98	78	
22	56-55	38	181	145	
23	10C-10A	163	16	13	
24	53C-53B	37	55	44	
25	53D-53B	22	55	44	
26	53A-53	104	54	43	
27	52C-52A	38	80	64	
28	52B-52A	42	117	94	
29	47A-47	19	120	96	
30	47B-47	81	65	52	
31	51D-51B	60	67	54	
32	51A-51	6	18	14	
33	50C-50	42	112	89	
34	50B-50A	65	100	80	
35	50D-50	48	109	87	
36	66-SCA16	166	78	62	
37	68G-68F	9	52	42	
38	68E-68D	78	237	190	
39	69-68B	103	1557	1246	
40	68C-68A	13	134	107	
41	68I-68H	15	277	221	
42	45D-45C	57	193	155	
43	67B-67A	18	71	56	
44	46C-46B	19	55	44	
45	46A-46	27	54	43	
46	71C-71B	8	84	68	
47	71D-71B	52	114	91	
48	71A-71	22	97	78	
49	40B-40A	61	73	58	
50	38B-38A	6	55	44	
51	31A-31	18	356	285	
52	38C-38A	27	54	43	
53	38F-38D	7	18	15	
54	38E-38D	71	108	87	
55	36D-36B	17	205	164	
56	36C-36A	13	229	183	
57	36F-36E	23	54	43	
58	39-SCA15	13	33	27	
59	32B-32A	20	54	43	
60	35B-35	36	112	90	
61	35A-35	22	236	189	

N	Tratto	Portata di colmo transitante limitata $Q_{T_r-10,lim}$	Portata massima smaltibile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata
		l/s	l/s	l/s	
62	34-33C	19	126	100	
63	33F-33C	18	55	44	
64	33E-33B	20	54	43	
65	33D-33A	21	54	43	
66	31H-31G	8	97	77	
67	26S-31D	71	1082	866	
68	31E-31B	10	55	44	
69	13H-13D	9	18	14	
70	13G-13C	31	119	95	
71	13F-13B	6	19	15	
72	13E-13A	29	119	95	
73	21A-21	38	233	186	
74	17A-17	137	336	269	
75	20C-20B	14	55	44	
76	23-22	92	70	56	
77	25-24	36	55	44	
78	26B-26A	27	48	38	
79	26H-26G	10	372	297	
80	29-27	157	118	94	
81	28-27	94	118	94	
82	26F-26E	57	87	70	
83	30B-30	28	353	283	
84	30A-30	9	71	57	
85	11S-10A	10	20	16	
86	31F-31C	28	65	52	
87	44-43	27	11	9	
88	17-16	142	477	382	
89	20B-20	65	380	304	
90	27-26E	356	257	205	
91	26G-26D	37	302	242	
92	30-21	108	409	327	
93	31G-31D	31	169	135	
94	35-33	130	414	331	
95	33C-33B	55	101	81	
96	36E-36	62	107	86	
97	38D-38	97	54	43	
98	71B-71	109	65	52	
99	46B-46	85	51	41	
100	68H-68	92	697	557	
101	68F-68D	29	102	81	
102	50A-50	109	581	465	

N	Tratto	Portata di colmo transitante limitata $Q_{T_r,10,lim}$	Portata massima smallabile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata
		l/s	l/s	l/s	
103	51B-51	146	57	46	
104	53B-53	158	54	43	
105	55-54	44	152	121	
106	62-61	374	87	70	
107	53-52	340	502	402	
108	64-60	126	118	94	
109	21-14	160	154	123	
110	46-42	126	55	44	
111	20-18	95	873	698	
112	26E-26D	451	234	188	
113	31D-31C	166	674	539	
114	33B-33A	88	280	224	
115	38A-38	55	120	96	
116	71-70	177	86	69	
117	47-41	152	203	162	
118	45C-45A	121	69	55	
119	68D-68B	120	237	190	
120	51-49	180	502	402	
121	10A-SCA10B	209	67	54	
122	55-SCA12	39	1175	940	
123	19A-19	275	119	95	
124	54-SCA11	47	95	76	
125	45A-45	137	67	54	
126	26D-26	484	505	404	
127	19-18	305	444	356	
128	31C-31B	199	691	553	
129	33A-33	142	237	189	
130	38-37	167	380	304	
131	68B-68A	262	1668	1335	
132	52A-52	114	119	95	
133	61-60	664	141	113	
134	58-57	665	210	168	
135	18-16	403	696	557	
136	26A-26	30	225	180	
137	26-24	535	847	678	
138	16-15	541	557	446	
139	31B-31	254	465	372	
140	33-32	266	381	305	
141	37-36B	216	2955	2364	
142	68A-68	274	1713	1370	
143	52-49	649	819	655	

N	Tratto	Portata di colmo transitante limitata $Q_{T_r,10,lim}$	Portata massima smaltibile Q_{max}	$80\%Q_{max}$	Idoneità al convogliamento della portata
		l/s	l/s	l/s	
144	60-57	830	119	95	
145	49-48	823	1296	1037	
146	24-22	604	975	780	
147	31-13D	323	575	460	
148	36B-36A	247	2262	1809	
149	68-67A	371	54	44	
150	57-SCA13	1458	384	307	
151	22-18A	804	518	415	
152	13D-13C	349	1718	1375	
153	36A-36	270	2361	1889	
154	67A-67	403	72	57	
155	18A-15	811	1390	1112	
156	67-45	459	119	96	
157	13C-13B	390	1600	1280	
158	36-32A	448	1792	1434	
159	50-48	197	426	340	
160	15-14	1309	1189	951	
161	48-40	1104	1584	1267	
162	14-13	1448	3357	2686	
163	13B-13A	426	1539	1231	
164	32A-32	585	1773	1418	
165	45-43	587	70	56	
166	13A-13	479	810	648	
167	43-42	624	54	43	
168	13-12	1883	1888	1511	
169	42-41	759	120	96	
170	41-70	952	527	421	
171	70-40A	1141	534	427	
172	40A-40	1212	281	225	
173	40-32	2468	1820	1456	
174	32-12	3283	940	752	
175	12-11	5080	1888	1510	
176	11-SCA10	5083	2345	1876	

CONDOTTA IN PRESSIONE, CASO NON ACCETTABILE

27%

IDONEO MA INSUFFICIENTE GRADO DI SICUREZZA

3%

IDONEO E IN SICUREZZA

70%

Tab.3.9: Verifica dell'idoneità delle condotte allo smaltimento delle portate di colmo limitate

Si riporta l'elaborazione grafica:

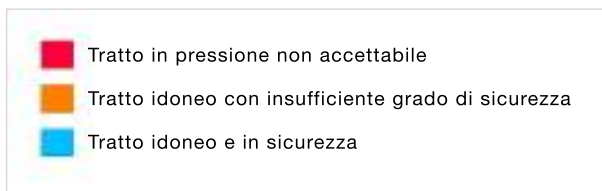
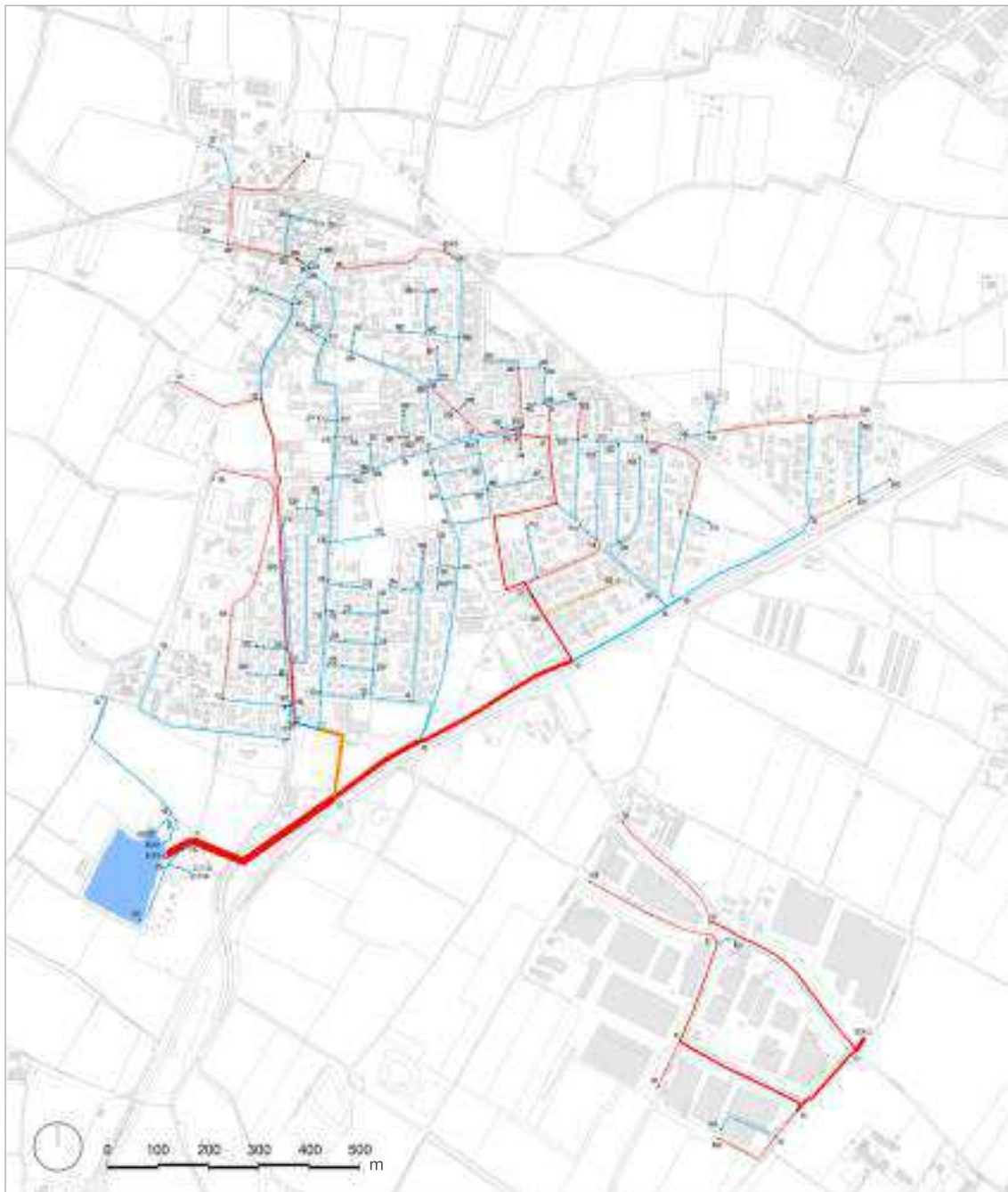


Fig.3.13: Verifica nello scenario futuro ottimale - T=10 anni

4 Fase progettuale

Nella definizione degli interventi atti alla mitigazione delle criticità idrauliche emerse sul territorio di Paderno Franciacorta, si propone una classificazione funzionale delle soluzioni tecniche più utilizzate nel campo della pianificazione di sistemi di drenaggio urbano sostenibile, in linea con i criteri guida del regolamento regionale per l'invarianza idraulica ed idrologica.

In funzione delle potenzialità del territorio comunale in esame nell'accogliere tali dispositivi, si vogliono analizzare le caratteristiche idrauliche delle opere più appropriate all'impiego nelle aree d'intervento comunale. I parametri funzionali ed idraulici, unitamente a quelli economici, ambientali e sociali permetteranno di mettere a confronto i diversi scenari progettuali e di individuare una virtuosa proposta tecnica d'intervento.

4.1 Linee guida per la progettazione

Tra le molteplici soluzioni progettuali possibili per il conseguimento dei principi di invarianza idraulica ed idrologica, atti alla riduzione delle criticità idrauliche sul territorio antropizzato, la scelta viene guidata dagli indirizzi d'azione suggeriti dal regolamento regionale stesso.

L'articolo 5 definisce un ordine gerarchico nella scelta dei sistemi di controllo e gestione delle acque pluviali, al fine di promuovere l'infiltrazione, l'evapotraspirazione ed il riuso:

Art. 5 (Sistemi di controllo e gestione delle acque pluviali)

3. Lo smaltimento dei volumi invasati deve avvenire secondo il seguente ordine decrescente di priorità:

- a) mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità, quali innaffiamento di giardini, acque grigie e lavaggio di pavimentazioni e auto;*
- b) mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del*

sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo che, in funzione dell'importanza dell'intervento, possono essere verificate con indagini geologiche ed idrogeologiche sito specifiche, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT) comunale;

c) scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale, con i limiti di portata di cui all'articolo 8;

d) scarico in fognatura, con i limiti di portata di cui all'articolo 8.

4 bis. Nella scelta degli interventi da realizzare per la gestione delle acque pluviali, sono da preferire, laddove possibile, quelli di tipo naturale quali avvallamenti, rimodellazioni morfologiche, depressioni del terreno, trincee drenanti, nonché quelli che consentono un utilizzo multifunzionale dell'opera.

Inoltre, l'accento viene posto verso le opere strutturali a basso impatto ambientale e portatrici di molteplici funzioni. La promozione di spazi multifunzionali ad uso e destinazione plurimi del territorio, attuabile attraverso un'attenta pianificazione, progettazione e gestione integrata del processo, è una componente chiave per offrire insieme difesa dagli eventi alluvionali e sostanziali benefici sociali, ambientali ed economici per la comunità.

4.2 Sistemi di drenaggio urbano sostenibili

I Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibili (Su.D.S. *Sustainable Design Systems*) riguardano interventi di trasformazione del suolo e dispositivi volti ad equilibrare il ciclo dell'acqua nell'ambiente urbano, riducendo l'impatto dello sviluppo antropico sulla qualità e la quantità dei deflussi e massimizzando le opportunità connesse alla qualità del paesaggio (fruizione, biodiversità, microclima, etc.) (Gibelli G. et al., 2015, p 15).

Conseguenza idraulica ed idrologica dell'impermeabilizzazione urbana è la crescita e l'accelerazione dei deflussi superficiali; conseguentemente la qualità delle acque che dilavano le superfici antropizzate diviene fortemente alterata per la presenza di inquinanti diffusi, derivanti prevalentemente dal traffico veicolare. Progettare sistemi di drenaggio urbano sostenibile permette di riequilibrare il bilancio idrologico e di ridurre il carico inquinante dei corpi idrici, tendendo al ripristino delle condizioni di equilibrio precedenti l'urbanizzazione.

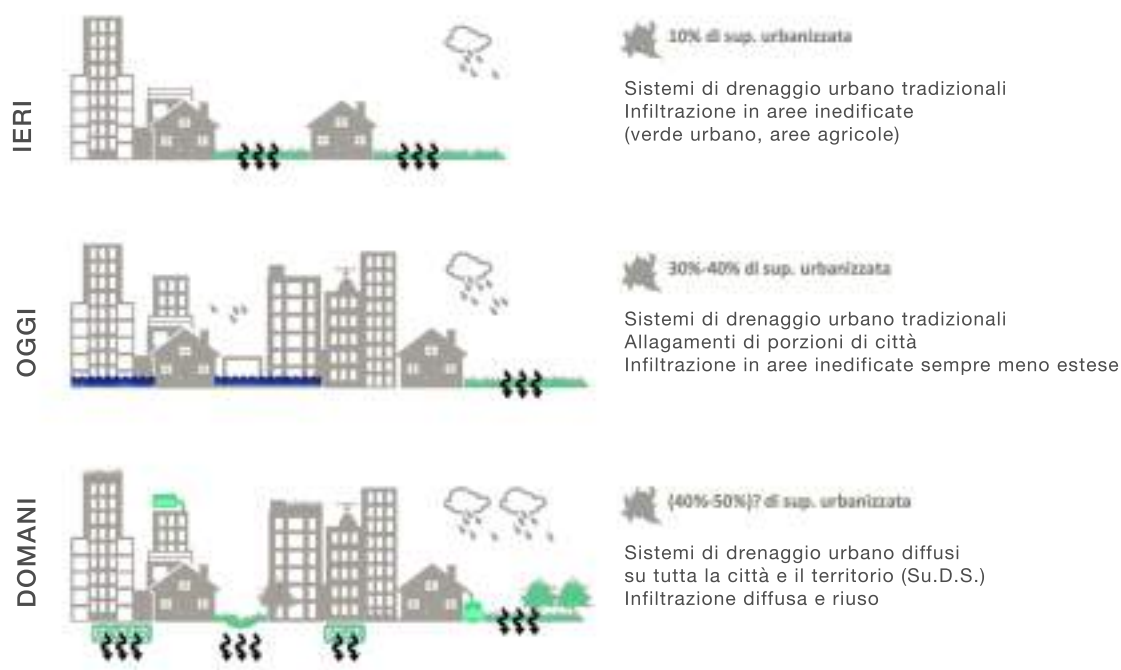


Fig.4.1: Trasformazione dei sistemi di drenaggio urbani

Fonte: Gibelli G. et al., 2015, p 11, modificato.

L'approccio progettuale ai Su.D.S. prevede, inoltre, un costante impegno verso l'integrazione del design del verde nella città, finalizzato al miglioramento del paesaggio urbano e della sua fruibilità, e alla conservazione della biodiversità e del microclima.

La diffusione dei sistemi di drenaggio urbano trova applicazione non solo a scala territoriale, ma anche alla scala locale, fino alla progettazione di quartiere e d'isolato; distribuendo le opere nel tessuto insediato e negli spazi aperti pubblici e privati si crea l'occasione per il disegno di spazi multifunzionali aventi sia funzioni sociali, sia un buon grado di adattamento agli eventi meteorici ricorrenti nei diversi periodi dell'anno (Gibelli G. et al., 2015, pp 23,26).

Nella pianificazione il coinvolgimento della popolazione diviene fondamentale al fine di trasmettere l'importanza della corretta gestione dell'acqua in loco, minimizzando la quantità d'acqua trasmessa in rete.

I sistemi di drenaggio urbano sostenibile assolvono insieme diverse e molteplici funzioni: quelle definite ora come primarie riguardano la gestione delle portate idriche, le secondarie sono legate agli effetti su ambiente e società.

FUNZIONI PRIMARIE	DESCRIZIONE
RACCOLTA E RIUSO	 Intercettazione dell'acqua piovana e riuso dei volumi per attività quotidiane.
RIDUZIONE DEL DEFLUSSO	 Riduzione delle acque defluite tramite l'aumento dell'evapotraspirazione, dell'infiltrazione con conseguente ricarica degli acquiferi, e della ritenzione idrica.
LAMINAZIONE E RALLENTAMENTO DEL DEFLUSSO	 Invaso temporaneo dei volumi dell'onda di piena successivamente rilasciati nel sistema di drenaggio a valle con portate limitate; metodi di rallentamento del deflusso superficiale senza stoccaggio.

Tab.4.1: Classificazione delle funzioni primarie dei Su.D.S.

Fonte: Rielaborazione dati da EEA, 2017 B, p 97.

FUNZIONI SECONDARIE		DESCRIZIONE
RIDUZIONE DELL'IMPATTO SULL'AMBIENTE		Protezione degli acquiferi da agenti inquinanti tramite trattamenti di filtraggio e fitodepurazione delle acque.
CONSERVAZIONE DELLA BIODIVERSITÀ		Difesa delle specie animali e vegetali, terrestri ed acquatiche, presenti sul territorio.
ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO		Riduzione dei fenomeni climatici estremi, come le isole di calore, favorendo l'evapotraspirazione e l'infiltrazione, e limitando le emissioni inquinanti.
OPPORTUNITÀ RICREATIVE E SOCIALI		Pubblico accesso ad aree multifunzionali riqualificate per l'incontro e lo svolgimento di attività ricreative all'area aperta, aventi anche valore culturale e didattico.
VALORE ESTETICO		Valorizzazione paesaggistica dell'ambiente urbano e del territorio.

Tab.4.2: Classificazione delle funzioni secondarie dei Su.D.S.

Fonte: Rielaborazione dati da EEA, 2017 B, p 97.

Ogni tipologia di opera può avere una o più funzioni ed un'attenta progettazione può permettere all'intervento di essere promotore di molteplici vantaggi, accrescendo le proprie prestazioni. I sistemi per il drenaggio urbano sostenibile vengono di seguito presentati secondo le funzioni primarie cui assolvono; in aggiunta saranno specificati i vantaggi secondari di cui sono portatori.

4.2.1 Raccolta e riuso

Cisterne per lo stoccaggio e il riuso privato dell'acqua meteorica

Ad oggi il consumo domestico di acqua potabile supera i 150 litri per persona al giorno; di questi circa il 50% potrebbe provenire dal riutilizzo delle acque meteoriche, in quanto impiegati in attività di pulizia o d'irrigazione che non richiedono necessariamente l'utilizzo di acqua potabile (Gibelli G. et al., 2015, pp 24).

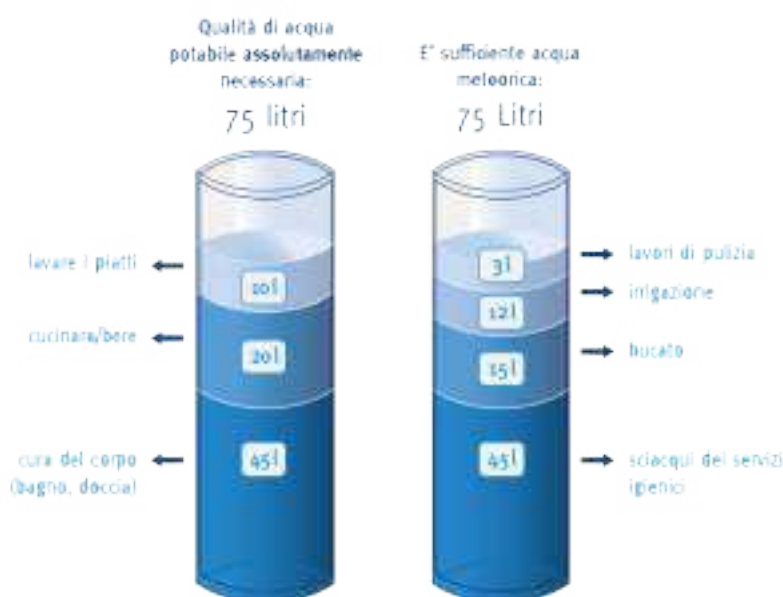


Fig.4.2: Consumo domestico di acqua potabile per persona al giorno

Fonte: Provincia autonoma di Bolzano, 2008, p 10.

L'acqua piovana proveniente dai tetti o dalle superfici impermeabili degli edifici può essere raccolta e temporaneamente accumulata in cisterne, superficiali o sotterranee, per essere successivamente riutilizzata a scopo non potabile.

Le cisterne domestiche più piccole e superficiali solitamente raccolgono le acque pluviali dei tetti, mentre in quelle interrato di dimensioni maggiori convergono anche le acque di dilavamento delle superfici impermeabili dei cortili. A seconda della superficie di provenienza, le acque meteoriche convogliate nelle cisterne devono essere preventivamente trattate.

Tali sistemi di raccolta possono invasare grandi volumi d'acqua, svolgendo in parte il compito della laminazione nel ritardo dei deflussi; tuttavia, in assenza di sistemi di pompaggio, si deve porre attenzione nel collocare l'altezza di massimo riempimento al di sotto della quota delle superfici drenati.

Infine, la prescrizione normata dell'utilizzo di tali dispositivi per la conservazione della risorsa idrica acquista un alto valore didattico nell'educazione e sensibilizzazione della popolazione verso modelli comportamentali e culturali sostenibili. Per la promozione del risparmio idrico l'acqua meteorica raccolta e riutilizzata potrebbe essere esentata dalla tassazione allo scarico.



Fig.4.3,4: Esempi di cisterne superficiali e sotterranee

Fonte: Masseroni D. et al., 2018, p 65.

4.2.2 Riduzione del deflusso

Numerosi sono i sistemi per il drenaggio urbano che conseguono il contenimento dei deflussi superficiali, sebbene attraverso diverse tecniche. I principali contributi per la sottrazione della pioggia al deflusso in rete sono dati da fenomeni naturali quali l'evaporazione, l'evapotraspirazione, l'infiltrazione e la ritenzione.

L'evaporazione e l'evapotraspirazione considerano l'acqua intercettata e trattenuta rispettivamente dalla vegetazione e dai primi strati del terreno, assorbita e successivamente restituita all'atmosfera. Dunque, la presenza di essenze naturali e di strati vegetati si dimostra sempre a vantaggio del suddetto obiettivo.

In alternativa, la ritenzione prevede che i deflussi vengano invasati, anche per lunghi periodi, e smaltiti per infiltrazione nel terreno: l'acqua si propaga attraverso la sua tessitura fino alla saturazione dei vuoti presenti, in funzione delle condizioni superficiali del terreno (del livello di compattazione o di pre-saturazione).

Fasce filtro e fasce tampone

Si tratta di fasce di terreno inerbito o vegetato con pendenza modesta, la cui funzionalità è quella di convogliare le acque di dilavamento verso i canali, attenuandone l'energia di deflusso e trattenendo i sedimenti.

Spesso posizionate ai bordi di strade e parcheggi, le fasce filtro possono essere realizzate singole o in accoppiamento ad altri sistemi, come ad esempio le fasce di vegetazione riparia, realizzando così strutture complesse e multifunzionali a protezione dei corsi d'acqua, le cosiddette le fasce tampone. Le fasce di vegetazione riparia rappresentano zone di transizione che separano gli ecosistemi terrestri da quelli acquatici, caratterizzate da frequenti inondazioni e da falde acquifere che permangono per lunghi periodi in prossimità della superficie.



Fig.4.5: Esempio di fascia filtro-tampone

Fonte: University of Arkansas Community Design Center, 2010, modificata.

Entrambe le fasce filtro o tampone sono in grado di favorire l'infiltrazione delle acque di ruscellamento, di rallentare il flusso delle acque superficiali attraverso un'adeguata vegetazione, di trattenere i sedimenti erosi, di ridurre l'apporto di sostanze inquinanti di origine antropica e di incrementare la biodiversità. La loro azione è strettamente legata al loro posizionamento, preferibilmente localizzate all'origine dei flussi di ruscellamento, al dimensionamento e alla loro gestione, finalizzata al mantenimento del manto erboso e protettiva rispetto i fenomeni di compattamento del terreno.

Trincee d'infiltrazione

Le trincee filtranti sono costituite da lunghi scavi riempiti con materiale ad alta conduttività idraulica, ghiaia e sabbia, generalmente costruiti in corrispondenza di una cunetta ribassata rispetto al terreno da drenare; in questo modo, il deflusso superficiale può essere temporaneamente accumulato all'interno della trincea e

gradualmente infiltrato nel terreno circostante attraverso le superfici laterali ed il fondo.

Ogni trincea viene generalmente dotata di una condotta forata centrale per aumentare la capacità d'accumulo e per garantire una più regolare distribuzione delle acque lungo lo sviluppo della trincea, eventualmente ricondotte alla rete di scarico.



Fig.4.6: Esempio di trincea d'infiltrazione

Fonte: University of Arkansas Community Design Center, 2010, modificata.

In superficie possono essere vegetate, attraverso l'introduzione di essenze erbacee, arbustive ed arboree, acquisendo un elevato valore decorativo. La presenza della vegetazione, inoltre, è fondamentale perché garantisce un aumento della permeabilità del suolo e la rimozione di agenti inquinanti attraverso meccanismi di fitodepurazione delle acque.

Le trincee d'infiltrazione sono generalmente realizzate per l'accumulo dei deflussi dalle superfici impermeabili limitrofe ad esse, ma possono ricevere anche le acque in eccesso derivanti da altri dispositivi di drenaggio.

Filtri a sabbia

Tecnica adatta alle aree densamente urbanizzate, solitamente impiegata lungo il margine di superfici impermeabili, come ad esempio nelle aree a parcheggio. I filtri a sabbia possono essere realizzati a cielo aperto o interrati a due camere, la prima di sedimentazione e la seconda di filtrazione.

Le acque convogliate in queste vasche perdenti, talvolta provenienti anche da altri sistemi di drenaggio urbano, vengono filtrate da strati di sabbia a granulometria variabile e ridistribuite o convogliate altrove da sistemi di tubazioni drenanti posti sul fondo. Questa tipologia di filtro richiede un corretto dimensionamento in relazione alle portate da trattare, al fine di evitare fenomeni di intasamento.

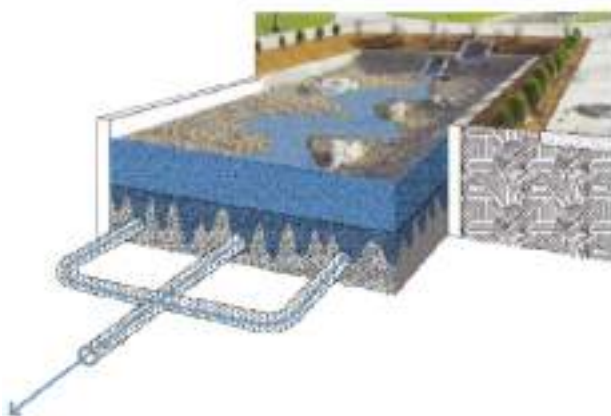


Fig.4.7: Esempio di filtro a sabbia a cielo aperto

Fonte: University of Arkansas Community Design Center, 2010, modificata.

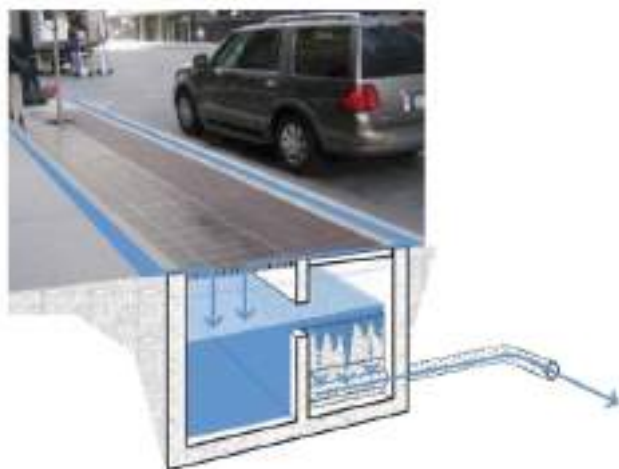


Fig.4.8: Esempio di filtro a sabbia interrato a due camere

Fonte: University of Arkansas Community Design Center, 2010, modificata.

Bioswale

Appartengono a questo sistema i fossati a fondo poroso con vegetazione superficiale, una sorta di trincea d'infiltrazione, con strato ghiaioso e tubo di dispersione, il cui strato superiore consiste in terreno arricchito da vegetazione.

Le bioswales raccolgono i deflussi delle aree impermeabilizzate, quali strade, piazzali e coperture; possono essere incorporate all'infrastruttura verde e contribuiscono al miglioramento della biodiversità e del valore estetico-naturalistico dell'area urbana.



Fig.4.9: Esempio di bioswale

Fonte: Risorsa online (Google)

Rain garden

I rain gardens seguono il medesimo funzionamento delle bioswales, ma occupano dimensioni contenute adatte alle piccole porzioni di verde urbano. Si presentano come piccole depressioni vegetate atte ad intercettare, trattenere e disperdere le acque meteoriche per infiltrazione graduale nei substrati sabbiosi e ghiaiosi; la vegetazione garantisce meccanismi di fitodepurazione. Questo sistema di drenaggio viene impiegato in spazi aperti di vario genere e dimensione, possono occupare aiuole e rotonde, spazi di pertinenza delle abitazioni, oppure far parte del sistema del verde di interi lotti.



Fig.4.10: Esempio di rain garden

Fonte: Risorsa online (Google)

Tree box filter

Il tree box filter è una struttura scatolare in calcestruzzo, contenente strati di materiale drenante e filtrante (80% sabbia e 20% compost), all'interno della quale collocare una o più specie arboree possibilmente autoctone, resistenti a periodi di siccità o ad eccessi salini, e con uno sviluppo dell'apparato radicale non eccessivo, al fine di evitare l'intasamento dello scarico di drenaggio. Questi dispositivi possono essere installati in aree urbane pedonali, eseguendo un lavoro di rimozione di molte delle sostanze inquinanti presenti nei deflussi di strade e parcheggi.



Fig.4.11: Esempio di tree box filter

Fonte: University of Arkansas Community Design Center, 2010, modificata.

Pozzi perdenti

Opere in calcestruzzo vibrocompresso, composte da anelli forati sovrapposti e circondati da uno strato di ghiaia e pietrisco aventi granulometria crescente verso le pareti del pozzo. La tecnica dei pozzi perdenti ben si adatta all'utilizzo in centri urbani, per interventi a piccola scala e con limitata superficie disponibile per l'infiltrazione. In essi possono essere convogliate solamente le acque meteoriche scarsamente inquinate, preventivamente trattate tramite sedimentazione.

Il posizionamento dei pozzi deve prevedere distanze minime di sicurezza dalla falda freatica, da opere di captazione di acque potabili, dai fabbricati e da altri pozzi installati in batteria.

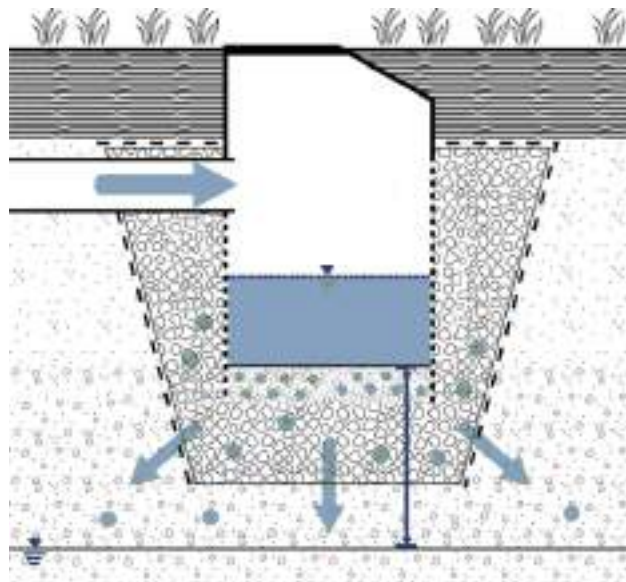


Fig.4.12: Schema di pozzo perdente

Fonte: Provincia autonoma di Bolzano, 2008, p 17, modificata.

Superfici permeabili

Le pavimentazioni permeabili sono costituite da uno strato superficiale realizzato in getto o in blocchi prefabbricati continui, in asfalto o conglomerati di cemento porosi, oppure attraverso elementi prefabbricati di forma alveolare in materiale lapideo o sintetico.

L'efficacia di una pavimentazione permeabile dipende anche dagli strati sottostanti quello superficiale, composti di sabbie e ghiaie, la cui struttura dipende dalle qualità del terreno presente e delle acque. In funzione del carico inquinante, ad esempio, può essere realizzata un'opera con fondo impermeabile e scarico in fognatura, invece che una stratigrafia completamente infiltrante.

L'utilizzo di queste superfici è indicato soprattutto per le aree a parcheggio, piazzali, zone pedonali, aree ciclabili e residenziali. Esse consentono la riduzione del livello di impermeabilizzazione di un sito, diminuendone i deflussi; inoltre, assicurano maggior valenza estetica ed un inferiore irraggiamento solare, attenuando il fenomeno delle isole di calore.



Fig.4.13: Esempi di superfici permeabili

Fonte: Masseroni D., et al., 2018, p 86.

Tetti e pareti verdi

Le superfici trattate a verde contribuiscono alla gestione delle acque piovane, riproducendo processi idrologici caratteristici dei terreni naturali: le piante assorbono la pioggia e favoriscono i processi di evapotraspirazione, riducendo così i volumi di deflusso. Il verde pensile si dimostra particolarmente efficace nel caso di eventi meteorici intensi di breve durata e, oltre a svolgere una funzione di assorbimento e filtrazione delle acque di pioggia, migliora l'aspetto energetico degli edifici e quello estetico del contesto urbano nel quale si inserisce.



Fig.4.14: Esempio di tetto verde (Chicago City Hall, USA)

Fonte: Risorsa online (Google)

In relazione alle caratteristiche tecnico-costruttive degli edifici ed agli usi previsti, si distingue tra verde estensivo ed intensivo.

Il verde pensile estensivo non richiede un numero elevato di manutenzioni, poiché riesce a svilupparsi autonomamente, né prevede la fruizione della copertura a giardino; il substrato arriva ad uno spessore massimo di 15 cm e viene installato prevalentemente su coperture piane o inclinate di elevate dimensioni (come in zone industriali e su edifici pubblici o commerciali).

Il verde pendile intensivo, invece, richiede costanti manutenzioni, in quanto le specie vegetali utilizzabili sono molte e comprendono anche piante arboree; il

substrato ha uno spessore variabile tra i 15 e i 150 cm, perciò trova maggior applicazione sulle superfici piane. In entrambe le tipologie, il substrato di coltivazione deve presentare elevata permeabilità e basso peso specifico.



Fig.4.15: Esempio di tetto verde (Sao Paulo, Brazil)

Fonte: Risorsa online (Google)

Le pareti vegetate, invece, vengono impiegate prevalentemente per le loro capacità di termoregolazione, piuttosto che per la gestione delle acque meteoriche. Si tratta di sistemi modulari ancorati alla struttura verticale, nei quali vengono installati singoli arbusti e i relativi terreni; un sistema di irrigazione deve comunque essere presente per far fronte all'irrigazione necessaria nei periodi di secca.

Queste superfici possono essere utilizzate in ambiente densamente urbanizzato come valido strumento di compensazione ambientale, per migliorare la qualità dell'aria, incrementare la biodiversità e ridurre l'irraggiamento solare.



Fig.4.16: Esempio di parete verde

Fonte: Risorsa online (Google)

Bacini di ritenzione

I bacini di ritenzione ed infiltrazione sono aree modellate in modo da creare invasi per l'accumulo temporaneo e l'infiltrazione di volumi d'acqua derivanti da superfici impermeabili estese. Generalmente si svuotano entro poche ore o al massimo nei due giorni successivi all'evento meteorico, ma possono prevedere una permanenza d'acqua al loro interno nel lungo periodo, purché si faccia fronte al problema della proliferazione di insetti e zanzare.



Fig.4.17: Esempio di bacino di ritenzione

Fonte: Risorsa online (Google)

Queste opere devono essere realizzate su suoli con elevata permeabilità che facilitano il drenaggio ed evitano il formarsi di ristagni idrici. Per mantenere nel tempo un'elevata permeabilità del bacino, e al fine di svolgere un'importante azione depurativa, è di fondamentale importanza la presenza di essenze vegetali.

Zone umide

Solitamente le zone umide riguardano ambienti di transizione tra terra e mare, come le lagune, o tra terra e fiumi, come le paludi o le torbiere, caratterizzati da significative variazioni del livello dell'acqua sia giornaliere, per effetto delle maree, sia stagionali.

Questi ambienti forniscono un'elevata quantità di servizi ecosistemici, tra cui la conservazione della biodiversità, lo stoccaggio del carbonio e la regolazione dei fenomeni idrogeologici e climatici.

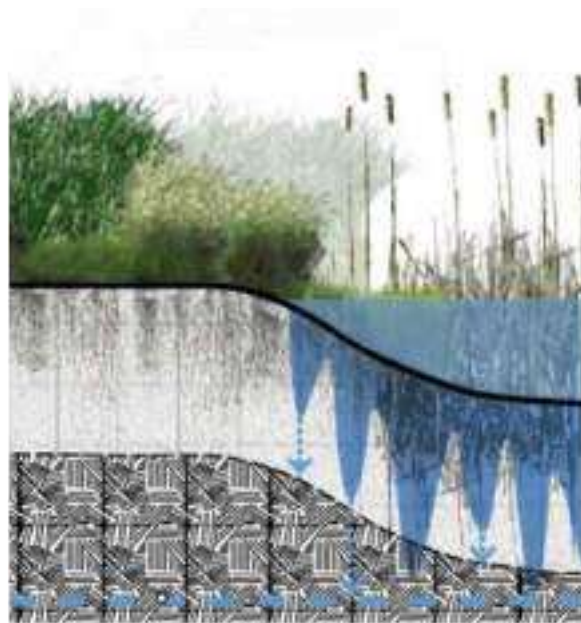


Fig.4.18: Schema di funzionamento di una zona umida

Fonte: University of Arkansas Community Design Center, 2010, modificata.

Le zone umide sono collocate in prevalenza esternamente alle urbanizzazioni; tuttavia è in crescita l'utilizzo di piccole zone umide all'interno della rete urbana. Queste aree possono riguardare interi parchi urbani ad alta valenza naturalistica, oppure piccole vasche a valenza architettonica; in entrambi i casi hanno impatti significativi sulla funzionalità e sulla vivibilità degli agglomerati urbani in cui sono inserite. Nei casi più estesi possono comprendere la rinaturalizzazione di canali o fiumi e la realizzazione di laghetti o stagni.



Fig.4.19: Esempio di zona umida in ambito urbano (Tanner Springs Park, Portland

Fonte: Risorsa online (Google)

4.2.3 Laminazione e rallentamento del deflusso

In certi casi le caratteristiche geomorfologiche del un territorio, così come l'impianto urbano, possono essere d'ostacolo alla messa in opera di alcuni sistemi favorevoli alla riduzione dei deflussi. In presenza di una falda freatica affiorante o prossima alla superficie, o di terreni con permeabilità ridotta oppure carsici e scoscesi, ad esempio, è opportuno limitare i fenomeni d'infiltrazione.

La laminazione può essere una valida alternativa per la messa in sicurezza del sistema di drenaggio urbano, poiché tramite l'invaso temporaneo dei volumi consente di rallentare il flusso d'acqua affluente ai ricettori durante l'onda di piena.

Invasi integrati nelle coperture

Al fine di realizzare un volume di laminazione integrato nella copertura degli edifici, è necessario realizzare sistemi di scolo che limitino le portate scaricate dai pluviali, attraverso cordoli di contenimento e griglie atti all'invaso dei volumi necessari. Nel caso di coperture a verde pensile, il volume di accumulo verrà realizzato tramite uno strato dalla struttura alveolare in materiale plastico e sarà utile per soddisfare l'irrigazione dello strato verde sovrastante (composto da terriccio e manto erboso).



Fig.4.20: Schema tetto verde con struttura alveolare di accumulo dell'acqua

Fonte: Risorsa online (Google)

Pavimentazioni stradali drenanti

Tipologia di asfalto stradale drenante, composto da una miscela di inerti, bitume e polimeri, caratterizzata dall'elevata porosità. Esso permette di ridurre notevolmente lo scorrimento dell'acqua sul manto stradale, aumentando la sicurezza di guida in condizioni meteorologiche avverse.

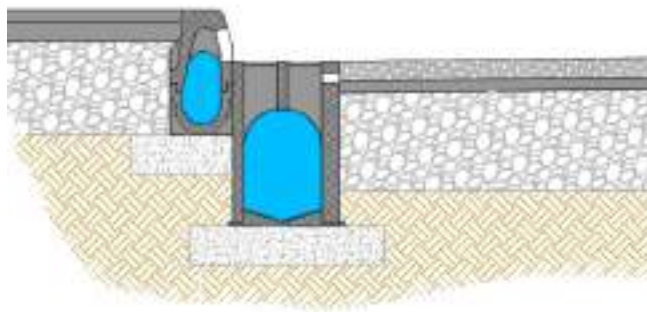


Fig.4.21: Sezione asfalto drenante con canalette di accumulo

L'acqua penetra attraverso i vuoti, riducendo il pericoloso fenomeno dell'acquaplaning, fino a raggiungere lo strato impermeabile sottostante; la pendenza di progetto permette all'acqua di defluire verso i bordi della strada, dove possono essere allocate delle canalette di accumulo.

Water squares

Una soluzione innovativa per la gestione dell'acqua piovana in eccesso in ambiente urbano è la progettazione di spazi pubblici multifunzionali, come sono le piazze, che in caso di eventi meteorici intensi possano venire parzialmente allagate, trasformandosi in bacini di stoccaggio delle acque piovane. Queste realtà urbane divengono luoghi attraenti e dinamici, dall'elevato valore estetico, didattico ed identitario per la comunità.



Fig.4.22,23: Esempio di water square (Piazza di Benthemplein, Rotterdam)

Fonte: Risorsa online (Google)

Canali a cielo aperto e bacini di espansione

Le opere di canalizzazione dei deflussi, solitamente poste a lato delle strade e collegate ai ricettori o ad altre strutture di drenaggio, oltre ad avere una funzione drenante all'interno degli strati del sottosuolo, offrono la possibilità d'invasare superficialmente parte dei volumi d'acqua di un evento meteorico intenso. La capacità di accumulo può essere favorita dall'utilizzo di sbarramenti posti trasversalmente al corso dell'acqua.



Fig.4.24: Esempio di bacino di espansione

Fonte: Risorsa online (Google)

Altro sistema dedito alla laminazione delle portate, in aggiunta al ruolo drenante e fitodepurativo classico, è quello dei bacini di espansione. Si tratta di opere di sbancamento artificiale che permettono ad un corso d'acqua di "espandersi" oltre il proprio alveo naturale, qualora sperimenti un evento di piena.

Realizzando gli adeguati manufatti di scarico la struttura può offrire la possibilità di adattarsi a differenti usi nel corso del tempo.

Bacini di detenzione

Bacini di grosse dimensioni poco permeabili che hanno la sola funzione di invasare temporaneamente parte delle portate in eccesso, dilazionando nel tempo i volumi scaricati nella rete di drenaggio.

La superficie del bacino è resa impermeabile, tramite getti in calcestruzzo, perciò non sono richiesti particolari tipologie di terreni; le zone non impermeabilizzate vengono piantumate, al fine di consolidare le sponde in terra e mitigare l'impatto ambientale e paesaggistico dell'intero bacino.



Fig.4.25: Esempio di bacino di detenzione

Fonte: Risorsa online (Google)

Vasche di laminazione

Invasi generalmente simili ai bacini di detenzione, aventi funzione di accumulo delle acque e rilascio a valle dell'onda laminata attraverso limiti di portata; essi sono però costituiti da vasche in c.a., prefabbricate o realizzate in opera, costruite in superficie o come strutture sotterranee.

Queste strutture richiedono interventi di manutenzione per la pulizia della vasca dai sedimenti interni; nel caso di vasche chiuse esistono, tuttavia, dei metodi efficaci per la rimozione dei depositi attraverso flussi d'acqua ad alta velocità, da effettuare al termine di episodi di riempimento e svuotamento della vasca.



Fig.4.26: Esempio di vasca di laminazione superficiale (Potsdamer Platz, Berlino)

Fonte: Risorsa online (Google)



Fig.4.27: Esempio di vasca di laminazione superficiale (Potsdamer Platz, Berlino)

Fonte: Risorsa online (Google)









Altre tipologie di vasche sono quelle costituite da elementi prefabbricati assemblati a creare un sistema di accumulo sotterraneo distribuito, solitamente installate al di sotto di ampi parcheggi, comparti stradali o nuove lottizzazioni. Tali cavità sotterranee riescono a laminare significativi volumi d'acqua, in parte smaltiti per infiltrazione sotterranea, in parte direzionata alla fognatura tramite tubazioni di scarico adeguate.



Fig.4.28: Esempio di sistema di accumulo sotterraneo in area a parcheggio

Fonte: University of Arkansas Community Design Center, 2010, modificata.

4.2.4 Confronto di sintesi

		FUNZIONI PRIMARIE			FUNZIONI SECONDARIE				
		RACCOLTA E RIUSO 	RIDUZIONE DEL DEFLUSSO 	LAMINAZIONE E RALLENTAMENTO DEL DEFLUSSO 	RIDUZIONE DELL'IMPATTO SULL'AMBIENTE 	CONSERVAZIONE DELLA BIODIVERSITÀ 	ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO 	OPPORTUNITÀ RICREATIVE E SOCIALI 	VALORE ESTETICO 
DISPOSITIVI suds	Cisterne	✓		✓				✓	
	Fasce filtro e fasce tampone		✓		✓	✓	✓	✓	✓
	Trincee d'infiltrazione		✓	✓	✓		✓		✓
	Filtri a sabbia		✓	✓	✓				
	Bioswale		✓	✓	✓	✓	✓		✓
	Rain garden		✓	✓	✓				✓
	Tree box filter		✓		✓				
	Pozzi perdenti		✓	✓					
	Superfici permeabili		✓				✓		✓
	Tetti e pareti verdi		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Bacini di ritenzione		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Zone umide		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Invasi integrati nelle coperture			✓					
	Pavimentazioni stradali drenanti			✓					
	Water squares			✓				✓	✓
	Canali a cielo aperto e bacini di espansione		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Bacini di detenzione			✓				✓	✓	
Vasche di laminazione			✓				✓	✓	

Tab.4.3: Funzioni dei dispositivi Su.D.S.

4.3 Localizzazione dei SuDS nel territorio comunale di Paderno Franciacorta

In relazione ai requisiti necessari all'utilizzo di ciascuna categoria funzionale di SuDS, si vuole fornire un'indicazione di massima circa l'idoneità potenziale che il territorio di Paderno Franciacorta possiede per la realizzazione dell'infrastruttura verde.

Dall'analisi delle caratteristiche geomorfologiche del territorio risulta evidente come l'elevata soggiacenza della falda freatica e valori medio-elevati di permeabilità dei suoli siano caratteristiche favorevoli nei confronti di fenomeni d'infiltrazione dei deflussi superficiali. Di conseguenza, la scelta di dispositivi quali superfici permeabili, fasce filtranti, trincee e pozzi perdenti risulta essere particolarmente adatta al caso in esame.

Qualora si debba intervenire nella porzione posta a nord-ovest dell'urbanizzato, si dovrà porre maggiore accortezza nella verifica delle capacità drenanti del suolo che, per la natura morenica dei depositi di cui è composto, presenta una permeabilità inferiore rispetto al resto del territorio comunale.

Inoltre, possono fare eccezione le zone in cui sono presenti vincoli di tutela rispetto al possibile inquinamento delle falde sotterranee, come nel caso di falde sorgenti destinate al consumo umano (la cui area di salvaguardia si estende fino a 200 metri dal punto di captazione), o in presenza di significative quantità di agenti inquinanti all'interno dei deflussi.

Indagini geologiche puntuali devono sempre essere eseguite con l'utilizzo di sistemi per l'infiltrazione; i valori di permeabilità, infatti, possono variare molto in relazione a diversi fattori sito specifici quali: la tessitura e la distribuzione granulometrica del terreno, la presenza di discontinuità e fessurazioni, il contenuto di umidità ed il grado di compattazione raggiunto nel tempo.

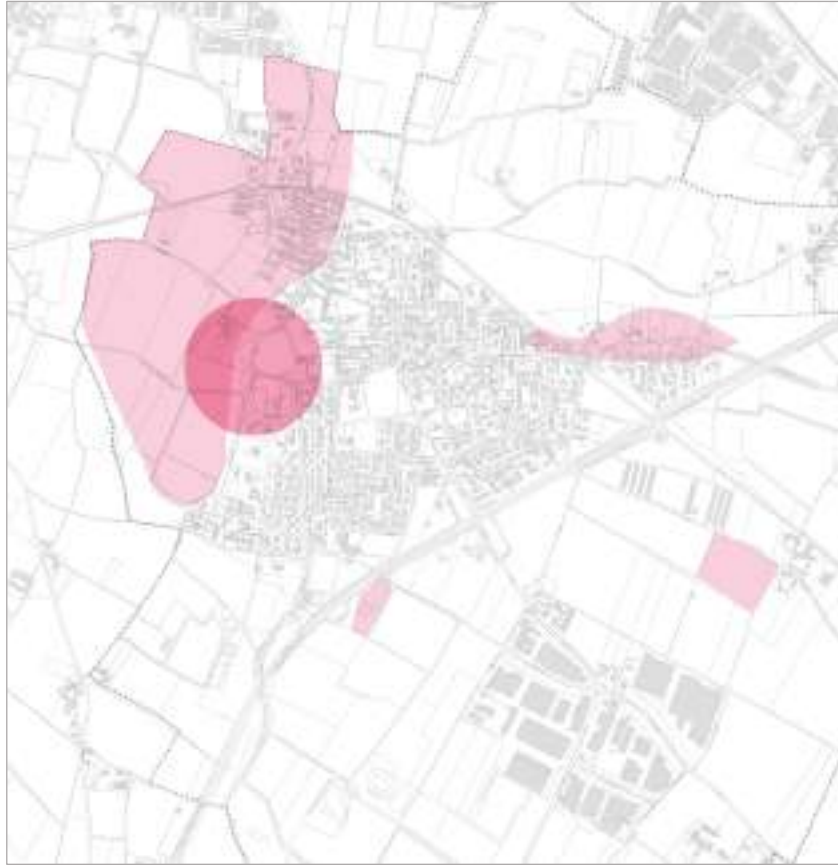


Fig.4.29: Potenzialità del territorio di Paderno Franciacorta per la realizzazione di SuDS - Limiti all'infiltrazione in zone a medio bassa permeabilità o con vincoli idropotabili

L'applicazione di infrastrutture volte all'accumulo e allo stoccaggio delle acque, invece, dipende molto dalla disponibilità di spazi dedicati. Cisterne e serbatoi atti al riuso domestico possono essere collocati sulle coperture, sulle superfici interne dei lotti edificati oppure nel sottosuolo. Nell'area del nucleo antico, dove il costruito possiede una maglia più fitta, questi spazi hanno estensione limitata; in questi casi la laminazione può essere svolta dalla rete di drenaggio urbano esistente, intervenendo sul sovradimensionamento delle condotte, oppure attraverso l'utilizzo di canalette bordo strada installate in sede di rifacimento della superficie stradale di tipo drenante.

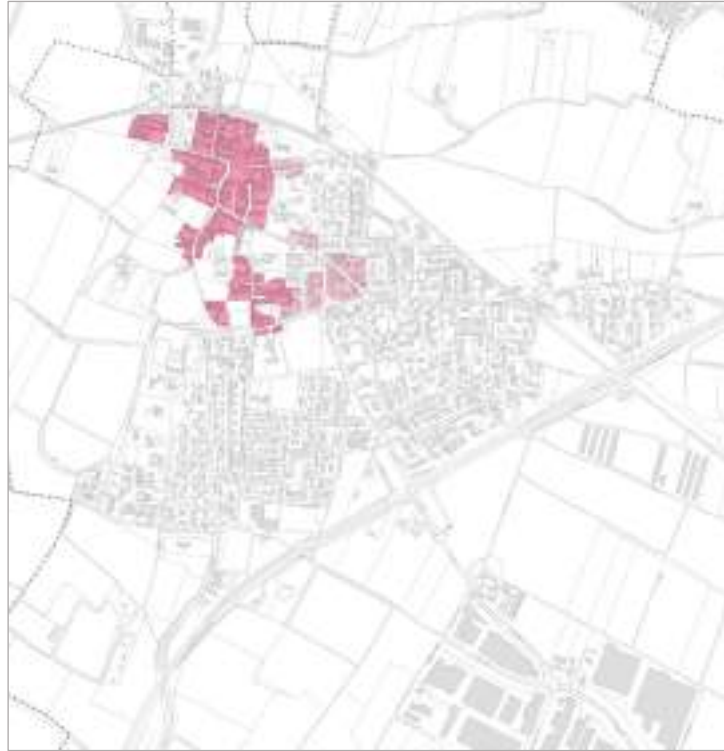


Fig.4.30: Potenzialità del territorio di Paderno Franciacorta per la realizzazione di SuDS - Limiti all'accumulo nel nucleo storico a maglia fitta

Per quanto riguarda i bacini per la detenzione o l'infiltrazione di grandi quantità di acqua, vaste superfici sono necessarie per la loro realizzazione; queste possono essere individuate nella porzione agricola del territorio comunale, salvaguardando la coltura della vite e mantenendosi a debita distanza dalle aree residenziali onde evitare problemi legati al ristagno prolungato ed insalubre delle acque.

4.4 Definizione delle aree di intervento

Al fine di effettuare una corretta pianificazione delle opere d'invarianza idraulica è necessario individuare una priorità tra le criticità emerse dall'analisi del territorio e dei tuoi servizi.

Due sono le aree che sperimentano un'esposizione al rischio maggiore:

- L'area segnalata dalla Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2015 e dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.), che ricade in classi di rischio medio (R1) e moderato (R2), corrispondente alla zona del centro sportivo comunale;
- La zona di via della Bosca e via Romiglia dove frequenti allagamenti coinvolgono entrambe la sede stradale ed i piazzali industriali, con conseguenti danni alle attività produttive.

Si ritiene che gli allagamenti verificatisi nella zona del centro sportivo comunale di Paderno Franciacorta siano causati dallo stato d'impermeabilizzazione del laghetto ricettore. Uno studio condotto da Cogeme S.p.a. In data 1996, su affidamento dell'amministrazione comunale, rileva la presenza di uno strato di fanghi depositatisi sul fondo, consistenti in circa 15000 – 18000m³.



Fig.4.31: Area del centro sportivo comunale 'Calvesi' segnalata a rischio

Il mancato drenaggio nel sottosuolo provoca una situazione di troppo pieno dell'invaso, momentaneamente risolta tramite pompaggio e sversamento dei volumi d'acqua in eccesso sui terreni limitrofi al laghetto, con esborsi economici da parte del comune.

Tuttavia, l'altezza del pelo libero interno al laghetto a riempimento risulta essere superiore alla quota del piano campagna delle aree segnalate a rischio dal P.G.R.A., le quali si trovano altimetricamente depresse in corrispondenza del centro sportivo. Di conseguenza, durante gli eventi meteorici più intensi, le condotte della rete fognaria provenienti dal laghetto possono andare in pressione causando un rigurgito d'acqua capace di allagare le suddette aree.



Fig.4.32: Fenomeno del rigurgito idraulico con conseguente allagamento del centro sportivo

Simulando una falda idrica affiorante ad una quota di 171 m s.l.m., l'area del centro sportivo risulta essere sommersa in quanto collegata idraulicamente rispetto al laghetto.

Per questo motivo è necessario intervenire per il ripristino della capacità drenante del laghetto ricettore; l'infiltrazione ed un'adeguata regolazione del pelo libero possono essere interventi efficaci.

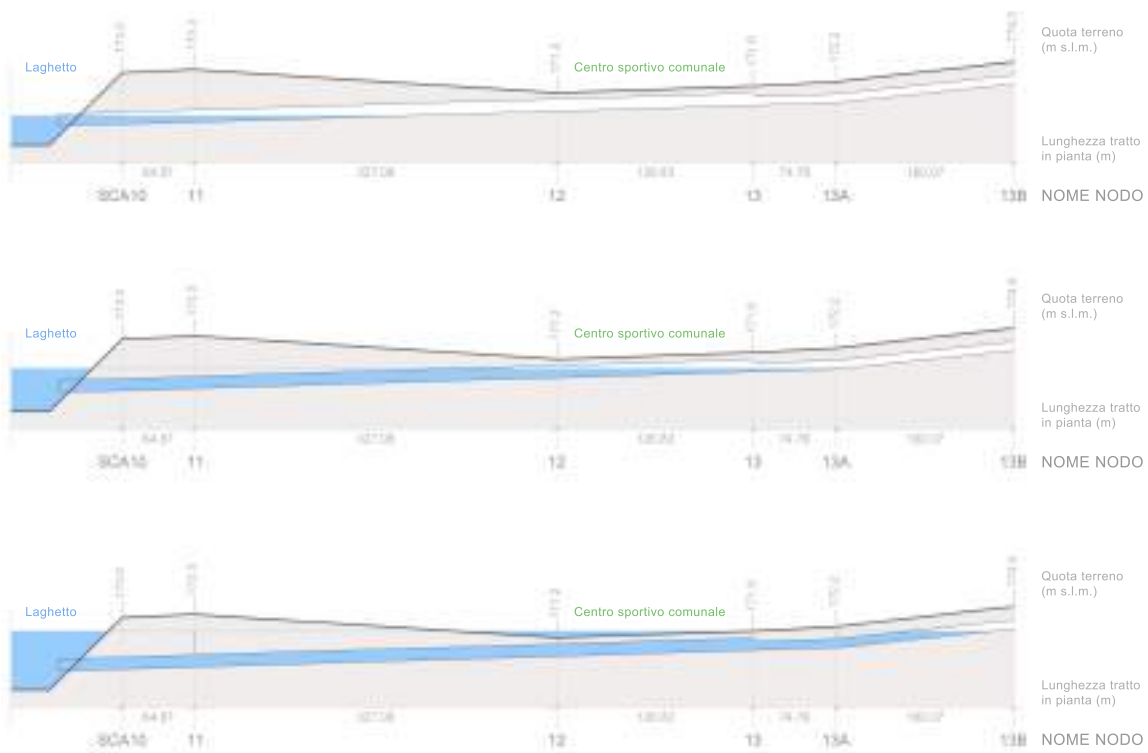


Fig.4.33: Fenomeno del rigurgito idraulico al crescere del livello di riempimento del laghetto - sezioni lungo la rete fognaria

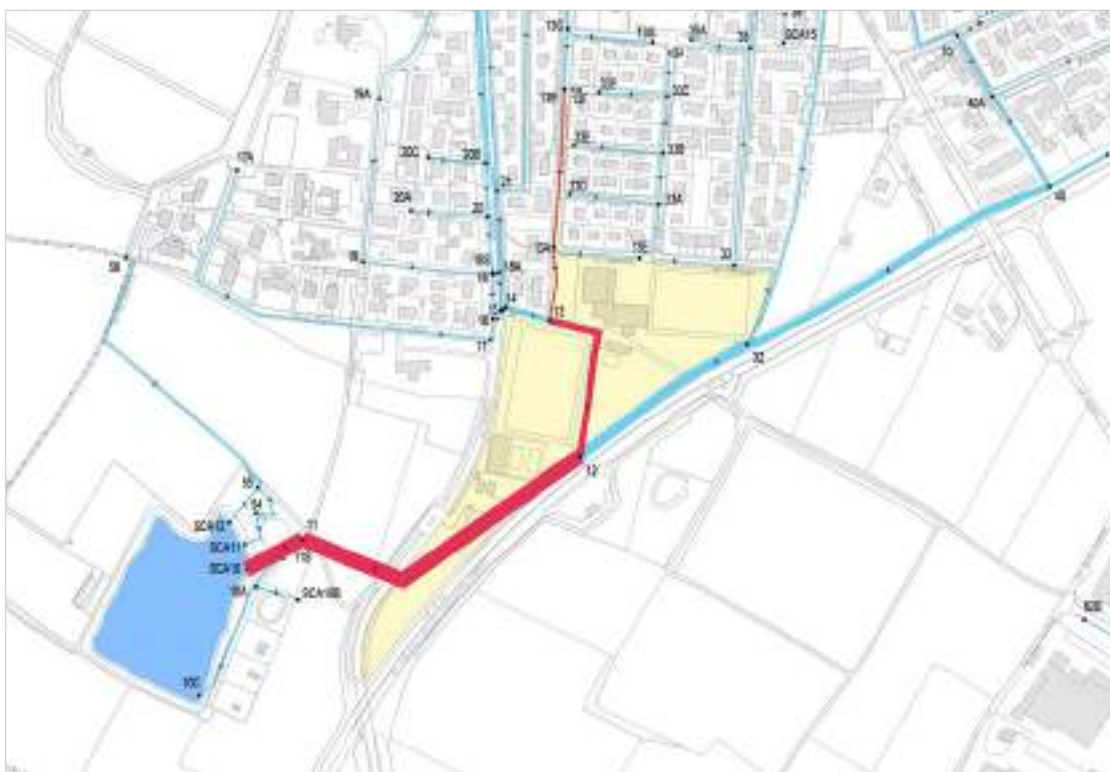


Fig.4.34: Sezione lungo tratto fognatura evidenziato in rosso: nodi SCA10 - 13B

La zona frequentemente allagata di via della Bosca e via Romiglia si inserisce, invece, nell'ambito produttivo fortemente impermeabilizzato posto a sud dell'edificato di Paderno Franciacorta. Qui lo smaltimento delle acque meteoriche avviene per disperdimento in loco tramite pozzi perdenti, a dimostrazione che il terreno possiede buone capacità drenanti.

L'area è frequentemente soggetta ad allagamenti che coinvolgono strade e piazzali, nonostante le acque meteoriche provenienti dai lotti privati non siano recapitate alla fognatura bianca, ma vengano scaricate in pozzi perdenti di proprietà privata (come individuati dall'indagine ricognitiva di cui al paragrafo 3.5).

Introducendo dispositivi Su.D.S favorevoli alla riduzione dei deflussi per infiltrazione ed evapotraspirazione, diviene possibile pianificare un intervento che risolva le criticità idrauliche presenti e riqualifichi al contempo l'intero comparto produttivo.



Fig.4.35: Zona di via della Bosca e via Romiglia nel comparto produttivo

Per quanto riguarda le criticità idrauliche minori segnalate sul territorio comunale di Paderno Franciacorta, si ritiene che possano essere causate dalle insufficienze della rete di drenaggio urbano e che possano quindi essere risolte tramite l'ammodernamento di alcune condotte.

L'utilizzo di diametri sovradimensionati può essere una valida scelta non solo per rendere le tubazioni sufficienti allo smaltimento delle portate di colmo in esse transitanti, ma anche per realizzare volumi di laminazione al loro interno. Un ulteriore contributo alla riduzione di tali criticità può derivare dalla laminazione dei deflussi stradali, realizzata tramite l'utilizzo di asfalti drenanti e di canalette laterali.

4.5 Parametri idraulici di sistemi per l'infiltrazione e la laminazione

L'infiltrazione nel suolo e negli strati superficiali del sottosuolo, oltre ad essere il secondo tra i metodi suggeriti dal Regolamento Regionale n.7 e dalle s.m.i. per lo smaltimento dei volumi invasati, ben si coniuga con le caratteristiche del territorio di Paderno Franciacorta. Molti dei dispositivi volti all'infiltrazione per la diminuzione dei deflussi superficiali, dimostrano avere anche disponibilità di invaso di volumi per la laminazione delle acque dirette alla rete di drenaggio; la combinazione di queste due proprietà potrebbe avere effetti significativi.

In sede di valutazione dei possibili interventi strutturali atti alla mitigazione del rischio idraulico nei casi di maggior criticità emersi nel caso di studio, si è voluto ricorrere ad un tentativo di parametrizzazione delle opere idrauliche infiltranti e laminanti, al fine di rendere confrontabili i diversi scenari progettuali. I dispositivi presi in considerazione sono: le trincee d'infiltrazione, i pozzi perdenti, le superfici permeabili, le pavimentazioni stradali drenanti e le vasche o bacini.

Di ciascun sistema di drenaggio considerato sono state valutate le capacità tecniche unitarie¹² in funzione della geometria assunta. Prendendo come riferimento le prescrizioni tecniche della normativa tedesca (AA.VV., 2005), i cui metodi di primo dimensionamento sono aderenti alle procedure di calcolo riportate nei manuali di progettazione idraulica (AA.VV., 2008), è stato effettuato il calcolo dei due parametri più incidenti nella riduzione e nel ritardo dei deflussi idrici alla rete, ovvero la portata infiltrata unitaria $Q_{p,u}$ ed il volume di laminazione unitario V_u .

Nella scelta del tipo d'impianto le caratteristiche del terreno, quali permeabilità, natura del sottosuolo, presenza di strati impermeabili a debole profondità, soggiacenza della falda, direzione di deflusso e pendenza, assumono grande importanza. Per suoli con valori di permeabilità maggiori di $1 * 10^{-3} m/s$ il tempo d'infiltrazione risulta essere troppo veloce affinché avvenga il processo chimico e

¹² I valori si intendono unitari in quanto espressi rispetto al m o al m² di sviluppo dell'opera.

biologico di depurazione dell'acqua infiltrata. Al contrario, valori di permeabilità inferiori a $1 * 10^{-6}m/s$ comportano processi d'infiltrazione troppo lenti, con accumulo di grandi volumi d'acqua superficiali e la formazione di aree insalubri. Concorrono a modificare la capacità drenante anche il grado di saturazione di un terreno e la progressiva occlusione delle porosità indotta da sostanze trasportate dalle acque meteoriche e dallo sviluppo di biomasse adese alle particelle del terreno. Di conseguenza, l'utilizzo nel lungo periodo di opere infiltranti tende a perdere la propria efficienza e, qualora non venga assicurata una corretta manutenzione, ad annullare la propria funzione.

Si riportano di seguito alcuni requisiti tecnici essenziali per la progettazione delle diverse opere drenanti analizzate, di cui viene data indicazione nel *Regolamento Regionale n.7* e nella *Normativa Tedesca DWA-A 138E*.

Trincee d'infiltrazione

Le trincee d'infiltrazione possono essere allocate in superficie o nel sottosuolo (con una profondità compresa tra 1 e 3 metri), sono composte da materiale ghiaioso (con volume dei vuoti pari a circa il 30-40%) e sono generalmente dotate di una condotta forata centrale (del diametro minimo di 200 mm) per la distribuzione uniforme delle acque lungo tutta la trincea e per lo scarico alla rete delle acque non infiltrate. L'utilizzo del tubo di dispersione è particolarmente raccomandato qualora la superficie d'infiltrazione disponibile non fosse sufficiente, o comunque per aumentare la capacità di laminazione del sistema.

Condizione necessaria affinché avvenga l'infiltrazione nel sottosuolo è che venga mantenuta una soggiacenza della falda freatica superiore al metro rispetto alla base drenante dell'opera.

Nel caso di canale superficiale, la sua profondità deve essere mantenuta inferiore ai 30cm, in modo da evitare il compattamento del terreno e per limitare i tempi di ristagno superficiale dell'acqua; a tal proposito i primi 10cm di terreno devono avere una permeabilità $k \geq 10^{-5}m/s$.

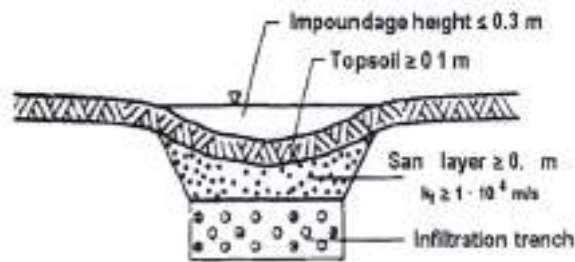


Fig.4.36: Schema di trincea d'infiltrazione con canale drenante superficiale

Fonte: AA.VV., 2005, p 26.

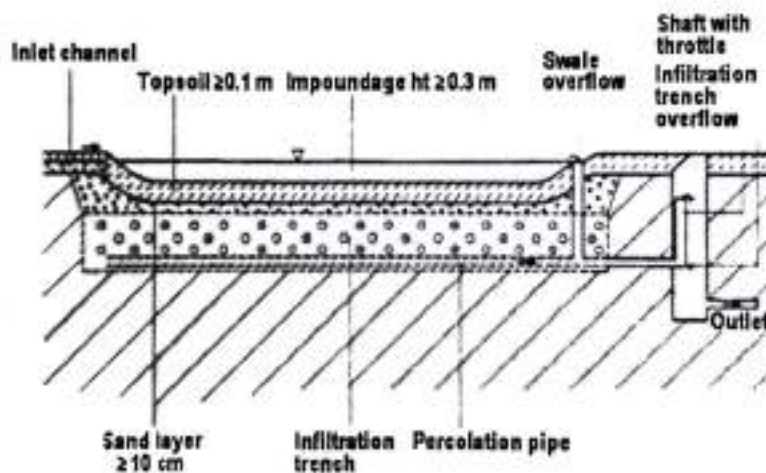


Fig.4.37: Schema di trincea d'infiltrazione con canale drenante superficiale e tubo di dispersione

Fonte: AA.VV., 2005, p 28.

La presenza della vegetazione nelle aree di infiltrazione è fondamentale non solo per l'effetto estetico, ma anche per la rimozione dei nutrienti, la fitodepurazione delle acque e l'aumento della permeabilità del suolo. Per ostacolare l'ingresso delle particelle fini all'interno del sistema e garantirne l'efficienza nel tempo, si prescrive l'utilizzo di un tessuto permeabile (geotessuto) posto al contorno dello strato di detenzione. È suggerito l'utilizzo di barriere che rallentino il deflusso nel canale drenante qualora vi siano pendenze superficiali (poste massime al 5%).

Le trincee si prestano molto all'utilizzo in ambiente urbano, in quanto possono essere posizionate al di sotto della superficie del terreno (ad esempio nelle aree a parcheggio) e non necessitano di ampi spazi; hanno invece lo svantaggio di

presentare alti costi di costruzione e di manutenzione, dovuti alla possibilità d'intasamento.

Pozzi perdenti

Distintamente dalle trincee, preferibilmente utilizzate in strutture lineari, i pozzi perdenti sono strutture sotterranee localizzate, generalmente utilizzate per infiltrare le acque provenienti dalle coperture e dai piazzali. I pluviali possono essere estesi fino al pozzo, ma questo deve essere posto ad una distanza di almeno 3 metri dalle fondamenta degli edifici.

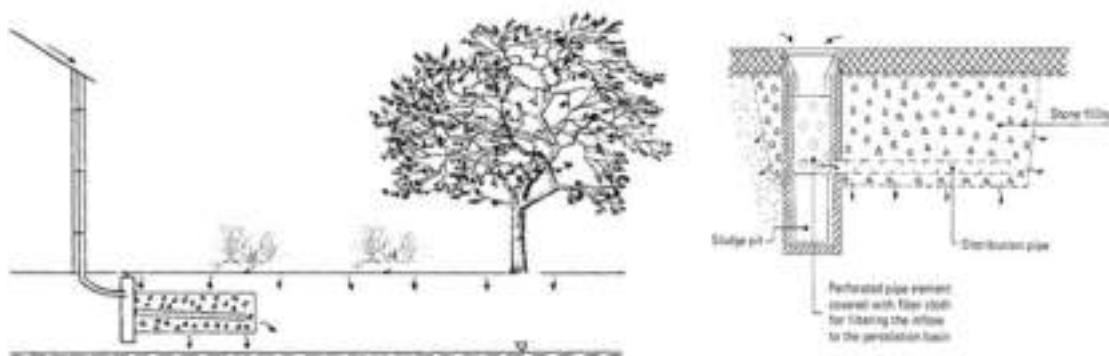


Fig.4.38: Schema di pozzo d'infiltrazione

Fonte: Regolamento Regionale 23 novembre 2017 n.7, Allegato L.

Nella normativa tedesca in particolare, i pozzi perdenti vengono trattati secondo due tipologie che si differenziano per gli anelli in calcestruzzo (forati o compatti di diametro minimo pari a 1m) e per gli strati filtranti alla base.

Importante condizione è data dalla distanza minima tra il bordo più alto della fascia filtro e la massima altezza di falda che deve mantenersi superiore a 1,5 m. Il materiale inerte di riempimento deve essere di tipo ghiaioso e con porosità minima pari al 30%, perciò si prescrive l'utilizzo di pretrattamenti o dispositivi per l'intercettazione di sedimenti ed oli che possono ostruire la struttura.

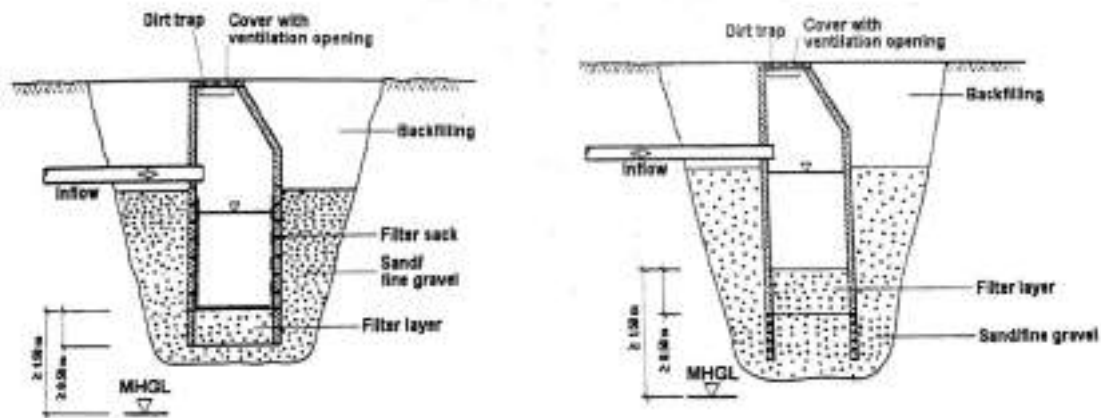


Fig.4.39: Schema pozzo perdente (tipologia A - B)

Fonte: AA.VV., 2005, p 27.

Questi sistemi trovano applicazione nei centri abitati con limitata superficie e disposizione, ma necessitano di un programma di manutenzione rigoroso per il mantenimento della capacità percolante.

Superfici permeabili

Una valida alternativa ai convenzionali lastricati di marciapiedi o zone pedonali sono le superfici permeabili; il loro impiego consente di diminuire il livello di impermeabilizzazione delle aree urbanizzate ed il deflusso superficiale che ne consegue.

Le pavimentazioni permeabili possono essere continue (realizzate con conglomerati bituminosi o calcestruzzi permeabili) o discontinue (in elementi prefabbricati in CLS perforati ed autobloccanti). Oltre ai materiali tradizionali (sabbia e ghiaia) possono essere utilizzati materiali sintetici con percentuale dei vuoti superiore al 90%, grazie alla particolare forma a nido d'ape.

Lo strato di sottofondo filtrante viene realizzato con materiali a granulometria crescente e può essere isolato da una guaina impermeabile, acquisendo così una funzione di accumulo delle acque infiltrate successivamente convogliate al sistema di drenaggio, entro le 48 ore successive. Il livello della falda deve mantenersi ad una distanza di almeno 1 metro dalla sovrastruttura.

La pendenza accettabile prevista sta tra un minimo dello 0,5% ed un massimo del 5%; mentre le aree di contribuzione possono avere una pendenza massima del 20% ed un'estensione inferiore a cinque volte quella della superficie permeabile.

Si raccomanda la protezione del sottosuolo dalla propagazione di inquinanti, soprattutto nel caso di utilizzo in piazzali ed aree a parcheggio.

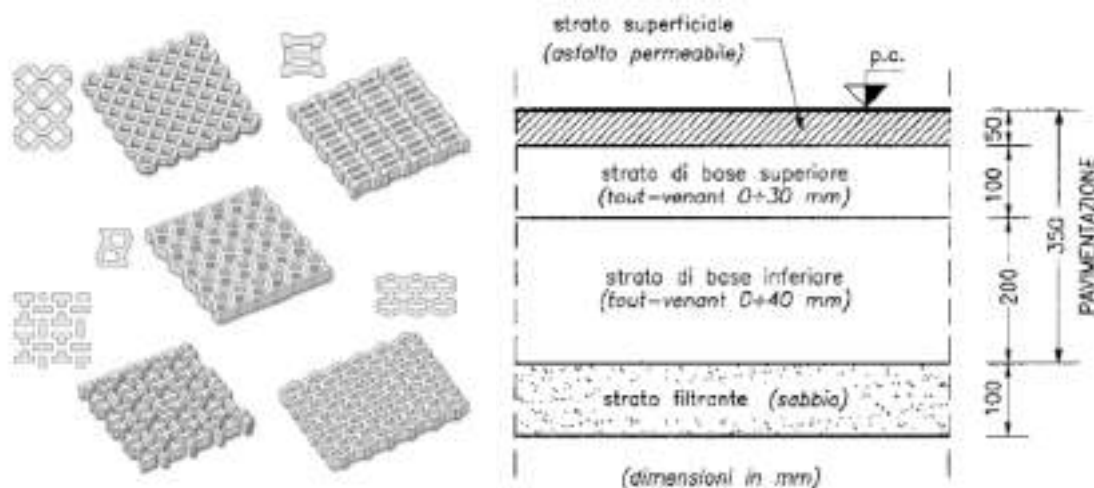


Fig.4.40,41: Elementi prefabbricati per pavimentazioni permeabili e schema stratigrafico

Fonte: Regolamento Regionale 23 novembre 2017 n.7, Allegato L.

Pavimentazioni stradali drenanti

La pavimentazione delle strade di tipo drenante è generalmente realizzata con una stratigrafia, dal basso verso l'alto, composta da un fondo di massiccata in tout-venant rullato (di circa 25-30cm di spessore), uno strato di conglomerato bituminoso di binder e un tappeto d'usura in asfalto drenante (entrambi di circa 5cm).

I vuoti presenti nello strato drenante (superiori al 20%) vengono sfruttati come volume di laminazione. Per non compromettere la capacità portante della pavimentazione, messa a rischio dal dilavamento delle particelle fini verso il basso, deve tuttavia essere mantenuto uno strato di binder impermeabile e, in aggiunta, devono essere posizionate delle canalette laterali per accogliere l'acqua drenata dall'asfalto permeabile.

Vasche e bacini

Le vasche sono realizzate con muri di contenimento in calcestruzzo, perciò possono essere strutture anche sotterranee. I bacini sono invece ricavati da depressioni naturali o artificiali nel terreno, presentano dunque un tappeto erboso sul fondo e sulle pareti che esercita un'azione filtrante nei confronti di sostanze inquinanti (come nutrienti e metalli disciolti), aumentando al contempo la capacità drenante del terreno. Tuttavia, un'elevata concentrazione di materiali inquinanti può dimostrarsi pericolosa nei confronti dell'approvvigionamento della falda; è opportuno perciò collocare il fondo del bacino ad una distanza di sicurezza dal livello massimo della falda e rispettare i vincoli di rispetto delle aree di salvaguardia (come per le aree di captazione ad uso idropotabile).

Nel caso dei bacini d'infiltrazione la normativa tedesca dà indicazione del rapporto minimo (pari a 15) tra la superficie impermeabile servita A_{imp} E la superficie d'infiltrazione A_p .

La profondità del bacino viene dimensionata in funzione del tempo massimo di ritenzione dell'acqua al suo interno (fissato a 48 ore). Anche la permeabilità influenza direttamente il tempo di drenaggio delle acque, di conseguenza, per evitare ristagni eccessivamente prolungati, deve mantenersi superiore ad un valore minimo $k \geq 1 * 10^{-5} m/s$. Eccessivi ristagni portano con sé la produzione di cattivi odori ed il proliferare di insetti (zanzare e moscerini), per cui il posizionamento di tali invasi rispetto alle abitazioni deve essere studiato con attenzione; ulteriori problematiche di vicinanza all'edificio potrebbero essere causate dall'infiltrazione, con danni materiali rispetto ai piani interrati e alle fondazioni degli edifici.

In generale, qualsiasi opera infiltrante è soggetta perdere la sua efficienza nel tempo, a causa dell'ostruzione della porosità per sedimentazione di componenti organici; un'attenta manutenzione è quindi necessaria nel lungo periodo. Un'azione adeguata prevede di disossare il terreno ogni 5-10 anni, in modo da rinnovare lo strato superficiale.

4.6 Principi generali di dimensionamento

Per il calcolo dei parametri idraulici, ovvero della permeabilità infiltrata unitaria $Q_{p,u}$ e del volume laminato unitario V_u , si sono utilizzate le procedure riportate dalla manualistica tecnica di progettazione idraulica (AA.VV., 2008) e le prescrizioni tecniche della normativa tedesca (AA.VV., 2005).

In particolare, l'approccio metodologico degli Standard DWA tedeschi per il dimensionamento dei sistemi d'infiltrazione potrebbe essere seguito per rendere l'iter progettuale più efficiente. Il metodo suggerito si dimostra essere una buona pratica in quanto distingue l'iter in due fasi:

1. Un primo processo di dimensionamento semplice effettuato attraverso l'uso di dati meteorologici statistici;
2. Una verifica successiva dell'efficacia del manufatto tramite simulazioni a lungo termine.

Per il calcolo della portata infiltrata Q_p la normativa si riconduce alla legge di Darcy:

$$Q_p = v * A_p = k_s * I * A_p$$

dove

v [m/s] è la velocità d'infiltrazione;

k_s [m/s] è il coefficiente di permeabilità del terreno considerato in condizioni omogenee e a saturazione, per cui la permeabilità viene considerata dimezzata rispetto alla condizione asciutta $k_s = k/2$;

I [m/m] è il gradiente idraulico che viene posto pari all'unità quando l'impianto ha una scarsa capacità di immagazzinamento (z piccola) e la falda sotterranea è distante dalla superficie d'infiltrazione (h_0 Grande), per cui si ha $I = \frac{h_0+z}{h_0+z/2} = 1$;

A_p [m²] è l'area d'infiltrazione che dipende dall'altezza di riempimento dell'impianto filtrante, spesso approssimata alla proiezione orizzontale della superficie d'acqua o definita come area media $A_{p,media} = \frac{(A_{p,min}+A_{p,max})}{2}$; nel caso di pozzi perdenti la superficie di percolazione effettiva può essere valutata considerando il fondo del pozzo e la superficie laterale a metà riempimento (pari a $z/2$) (AA.VV., 2005, p 51), oppure come quella di un anello di larghezza $z/2$ nel caso non si tenga conto della capacità drenante del fondo del pozzo, per via della sua possibile occlusione (AA.VV., 2008, p 658).

Si ottiene:

$$Q_p = \frac{k}{2} * A_p$$

Nella progettazione la capacità di percolazione della superficie drenante dovrà risultare almeno pari alla portata meteorica in ingresso nel dispositivo, al fine di poterla infiltrare nel terreno.

Il secondo parametro importante è il volume di laminazione necessario. Il volume d'acqua in ingresso e il volume d'acqua infiltrata sono legati dall'equazione di continuità:

$$V = (Q_{in} - Q_p) * D * 60 * f_S * f_R$$

dove

Q_{in} [m³/s] è la portata in ingresso nella durata D [min] dell'evento meteorico;

Q_p [m³/s] è la portata infiltrata nel medesimo arco di tempo;

f_S ed f_R sono i fattori correttivi di sovraccarico (variabile tra 1,1 e 1,2) e di riduzione¹³.

¹³ in accordo con la normativa DWA-A 117E.

In generale, il volume di laminazione di una trincea infiltrante viene calcolato come di seguito:

$$V_{IT} = b_{IT} * h_{IT} * l_{IT} * s$$

dove

b_{IT} , h_{IT} E l_{IT} [m] rappresentano le dimensioni della trincea (base, altezza e lunghezza);

s corrisponde alla percentuale dei vuoti del materiale poroso di riempimento s_{IT} , sommato alla sezione utile del tubo di dispersione di diametro d :

$$s = \frac{s_{IT}}{b_{IT} * h_{IT}} * \left[(b_{IT} * h_{IT}) + \frac{\pi * d^2}{4} \left(\frac{1}{s_{IT}} - 1 \right) \right].$$

Uguagliando la condizione di continuità con il volume laminato, si può arrivare alla determinazione della lunghezza della trincea l_{IT} necessaria.

Mentre per i pozzi perdenti si considera il volume cilindrico a riempimento, a cui può essere sommato il volume dei vuoti dello strato drenante (ghiaione):

$$V = \pi * \frac{d^2}{4} * z + n * V_{ghiaione}$$

con

d il diametro del pozzo;

z l'altezza del volume d'acqua;

n la porosità del ghiaione.

4.7 Dimensionamento delle opere

Di seguito vengono applicate le formule per il calcolo, descritte nel paragrafo precedente, ai diversi dispositivi di drenaggio scelti: trincee d'infiltrazione, pozzi perdenti, superfici permeabili, pavimentazioni stradali drenanti e vasche o bacini.

Per quanto riguarda il calcolo della quantità d'acqua infiltrata, si sottolinea la forte dipendenza dai valori di permeabilità caratteristici dello specifico sito considerato. Nel processo di parametrizzazione si vorrebbe eludere la definizione dei parametri idraulici delle opere drenanti dalle specificità del territorio di applicazione. In questo modo i parametri calcolati nell'analisi comparata diverrebbero uno strumento utile per stimare gli effetti dell'utilizzo di tali dispositivi in diversi luoghi.

Considerando macroscopicamente l'intera provincia di Brescia, a cui appartiene il caso studio di Paderno Franciacorta, si potrebbe identificare un intervallo di variazione della permeabilità media in modo da quantificare un range di escursione del parametro d'infiltrazione ($Q_{p,u}$). Tuttavia, la provincia di Brescia rappresenta un caso molto atipico, in quanto include ambienti che vanno dalla montagna, alla pianura, alle zone lacustri. Di conseguenza, questa spiccata eterogeneità nella natura e conformazione del suolo porterebbe a considerare un intervallo di variazione della permeabilità troppo ampio per la definizione di un range d'infiltrazione valido e sufficientemente circoscritto. Una soluzione potrebbe essere quella di suddividere il territorio provinciale in sottoambiti che restringano il campo di variabilità della permeabilità considerata e del parametro d'infiltrazione calcolato.

In occasione di questo studio verrà considerato un valore medio di permeabilità valido per il comune di Paderno Franciacorta. Secondo la componente geologica i terreni adatti all'utilizzo di sistemi d'infiltrazione sono quelli di origine fluvioglaciali aventi permeabilità elevata pari a $10^{-3} \div 10^{-5} m/s$; di conseguenza nel calcolo verrà considerato un valore medio di $10^{-4} m/s$.

Infine, si vuole porre l'attenzione sul metodo di definizione dei parametri idraulici unitari delle diverse opere: $Q_{p,u}$ e V_u sono rispettivamente espressi in l/sm e in m^3/m ; di conseguenza verranno fatte le opportune considerazioni per ricondurre il calcolo areale o puntuale a valori di sviluppo lineare dei dispositivi.

4.7.1 Trincee d'infiltrazione

Si prende in considerazione una trincea con involucro superficiale vegetato di sezione pari a 4 m di larghezza e profondità massima di 30 cm e con tubo forato di dispersione di diametro pari a 80 cm.

B _{sup}	4,00 m	A _{base}	1,50 m ²
b _{inf}	1,50 m	A _{lat}	3,53 m ²
h	1,25 m	A _{condotta}	0,50 m ²
h _{cunetta}	0,27 m	A _{sez}	3,44 m ²
d _{condotta}	0,80 m	A _{cunetta}	0,74 m ²

Tab.4.4: Dimensioni geometria trincea

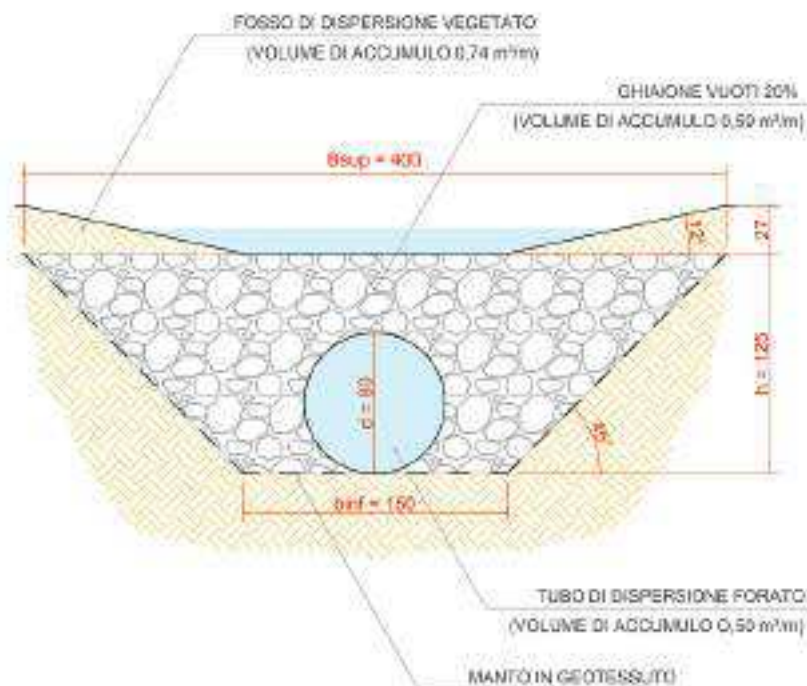


Fig.4.42: Sezione trincea d'infiltrazione

La portata infiltrata viene calcolata con la legge di Darcy:

$$Q_p = k_s * A_p$$

Utilizzando a favore di sicurezza il valore k_s a saturazione (fortemente ridotto rispetto alla condizione asciutta $k_s = k/2$), si tiene conto anche dell'ostruzione dei vuoti dell'opera drenante.

$$Q_{p,u,tringea} = k_s * A_p = k/2 * (A_{base} + A_{lat}) = k/2 * (1,5 m^2 + 3,53 m^2) = 5,03 * k/2$$

Adottando una permeabilità media per Paderno Franciacorta pari a $k = 1 * 10^{-4} m/s$, si ottiene:

$$Q_{p,u,tringea} = (5,03 * 10^{-4} / 2) m^3/sm = 0,25 * 10^{-3} m^3/sm = 0,25 l/sm$$

Assumendo che venga pianificata ed attuata un'adeguata manutenzione delle opere infiltranti, la funzionalità dell'opera verrebbe mantenuta nel lungo periodo e le perdite sarebbero causate solamente da situazioni di terreno saturo. Ipotizzando una riduzione della permeabilità del 20% si avrebbe:

$$Q_{p,u,tringea} = 0,8 * k * A_p = 0,8 * k * (1,5 m^2 + 3,53 m^2) = 4,02 * k$$

Adottando una permeabilità media per Paderno Franciacorta pari a $k = 1 * 10^{-4} m/s$, si ottiene:

$$Q_{p,u,tringea} = 4,02 * 10^{-4} m^3/sm = 0,40 * 10^{-3} m^3/sm = 0,40 l/sm$$

Il volume disponibile per la laminazione deriva da tre contributi: i vuoti della ghiaia pari al 20% del suo volume, la condotta disperdente e l'invaso superficiale.

$$V_{u,tringea} = (A_{sez} * 20\%) + (A_{condotta} * 80\%) + A_{cunetta} \\ = (3,44 m^2 * 0,2) + (0,50 m^2 * 0,8) + 0,74 m^2 = 1,83 m^3/m$$

Coerentemente con la normativa:

$$V_{IT} = b_{IT} * h_{IT} * l_{IT} * s = A_{sez} * l_{IT} * s$$

$$s = \frac{s_{IT}}{A_{sez}} * \left[A_{sez} + A_{condotta} \left(\frac{1}{s_{IT}} - 1 \right) \right] = \frac{0,2}{3,44 m^2} * \left[3,44 m^2 + 0,50 m^2 \left(\frac{1}{0,2} - 1 \right) \right] = 0,058 * 5,44 = 0,316$$

$$V_{IT,u,tringea} = 3,44 m^2 * 1m * 0,316 = 1,09 m^3/m$$

Che rappresenta il volume di laminazione nel caso di trincea sotterranea senza fosso vegetato superficiale; sommando il contributo dell'invaso superficiale $A_{cunetta} = 0,74m^2$ Si ha:

$$V_{IT,u,trincea} = (1,09 + 0,74) m^3/m = 1,83 m^3/m$$

Modificando le dimensioni proposte, ma lasciando invariate le pendenze delle superfici della trincea (angolo superficie laterale della trincea pari a 45° e angolo avvallamento superficiale pari a 12°), è stato effettuato il medesimo calcolo per le tre soluzioni individuate:

Avvallamento superficiale terreno 12°	DIMENSIONI		
Inclinazione lato ghiaione 45°	Bsup 3,00 m	Bsup 4,00 m	Bsup 5,00 m
Tubazione diametro 80 cm	Binf 1,00 m	Binf 1,50 m	Binf 2,00 m
Vuoti ghiaione 20%	H 1,00 m	H 1,25 m	H 1,50 m
PORTATA INFILTRATA UNITARIA (l/sm) (Calcolo cautelativo con $k_s = k/2$)	0,19	0,25	0,31
PORTATA INFILTRATA UNITARIA (l/sm) (Calcolo per buona manutenzione con $k_s = 80\%k$)	0,31	0,40	0,49
VOLUME LAMINATO UNITARIO (m³/m) (Per trincea sotterranea senza fosso vegetato)	0,80	1,09	1,45
VOLUME LAMINATO UNITARIO (m³/m) (Per trincea con fosso vegetato superficiale)	1,22	1,83	2,57

Tab.4.5: Caratteristiche tecniche trincee d'infiltrazione per tipologia dimensionale

4.7.2 Pozzi perdenti

Si sceglie un pozzo perdente avente diametro e profondità pari a 3,5 m, con un livello di riempimento di circa 2,7m e con 0,5 m di sviluppo lineare di ghiaione drenante disposto in modo radiale intorno all'opera.

d	3,50 m
h	3,50 m
z	2,70 m
L _{pozzo}	6,20 m
A _{fondo}	9,62 m ²

Tab.4.6: Dimensioni pozzo

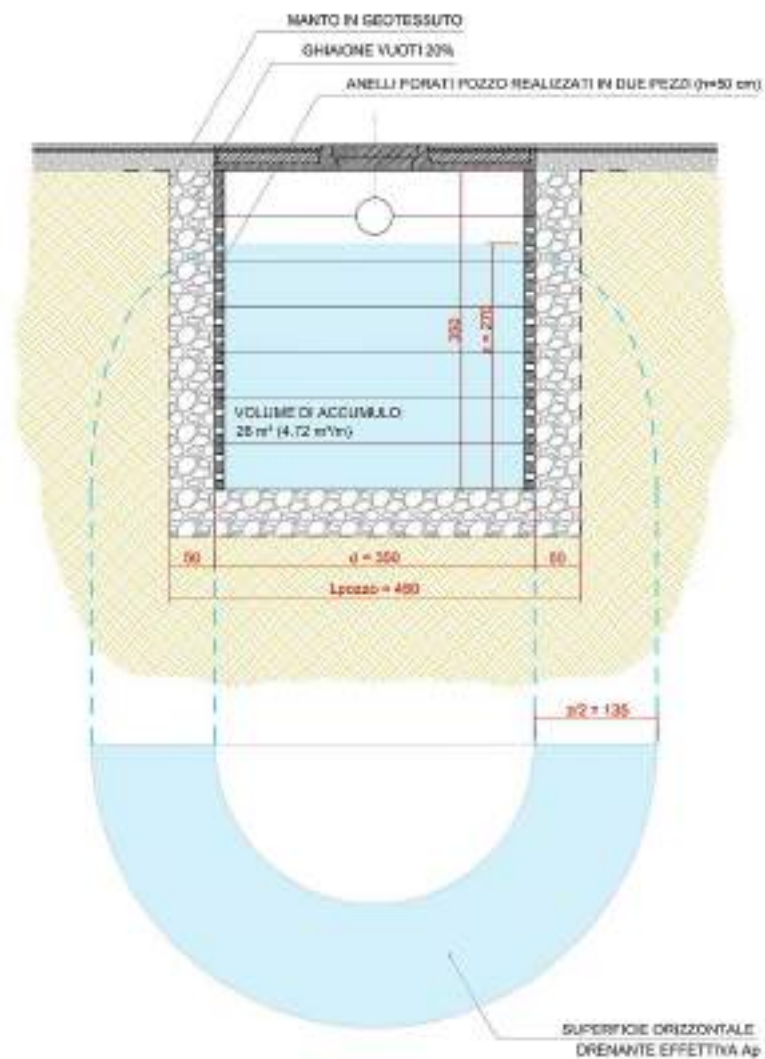


Fig.4.43: Sezione pozzo perdente

Procedendo come prima, la portata infiltrata risulta:

$$Q_{p,pozzo} = k_s * A_p$$

dove

$$A_p = \frac{\pi(d+z)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(3,5m+2,70m)^2}{4} - \frac{\pi(3,5m)^2}{4} = (30,19 - 9,62)m^2 = 20,57m^2$$

Rappresenta la superficie orizzontale drenante effettiva calcolabile come quella dell'anello di larghezza $z/2$ (come rappresentata in *Fig. 4.43*).

Escludendo il fondo del pozzo dal calcolo dell'area drenante, si tiene già conto della possibile ostruzione dell'opera d'infiltrazione causata dalla sedimentazione delle particelle fini trasportate dalle acque meteoriche o dalla compattazione del terreno. In questo caso la permeabilità a saturazione non verrà dimezzata, ma ridotta del 20%.

$$Q_{p,pozzo} = 0,8 * k * A_p = 0,8 * k * 20,57 m^2 = 16,46 * k$$

Adottando una permeabilità media per Paderno Franciacorta pari a $k = 1 * 10^{-4}m/s$, si ottiene:

$$Q_{p,pozzo} = 16,46 * 10^{-4} m^3/s = 1,65 * 10^{-3} m^3/s = 1,65 l/s$$

Considerando il fondo del pozzo drenante, caso in cui venga effettuata una buona manutenzione dell'opera oppure venga realizzato un impianto di sedimentazione delle acque a monte del pozzo, possiamo calcolare la superficie drenante effettiva come:

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4} + \pi d * \frac{z}{2} = \frac{\pi(3,5m)^2}{4} + \pi(3,5m) * \frac{2,7m}{2} = (9,62 + 14,84)m^2 = 24,46m^2$$

E utilizzare a favore di sicurezza il valore k_s a saturazione (dimezzato rispetto la condizione asciutta $k_s = k/2$):

$$Q_{p,pozzo} = k/2 * 24,46 m^2$$

Adottando la permeabilità media assunta pari a $k = 1 * 10^{-4}m/s$, si ottiene:

$$Q_{p,pozzo} = (24,46 * 10^{-4}/2) m^3/s = 12,23 * 10^{-3} m^3/s = 1,22 l/s$$

Tra i due casi non vi sono significative differenze.

Poiché l'obiettivo è raggiungere dei valori unitari confrontabili tra le diverse tipologie di opere, per passare dai l/s infiltrati dal singolo pozzo ($Q_{p,pozzo}$), ai l/sm infiltrati al metro di sviluppo lineare ($Q_{p,u,pozzo}$), come nel caso di utilizzo di una batteria di pozzi in sequenza, dividiamo il valore ottenuto per il passo dell'opera (L_{pozzo}):

$$Q_{p,u,pozzo} = \frac{Q_{p,pozzo}}{L_{pozzo}} = \frac{1,65 \text{ l/s}}{4,5m} = 0,37 \text{ l/sm}$$

Il volume disponibile per la laminazione è dato dal volume cilindrico a riempimento, non considerando, a favore di sicurezza, la porosità del ghiaione:

$$V_{pozzo} = \frac{\pi d^2}{4} * z = \frac{\pi(3,5m)^2}{4} * 2,70m = 9,62m^2 * 2,70m = 25,98m^3 \cong 26m^3$$

Anche per il volume dobbiamo passare dai m^3 laminati dal singolo pozzo (V_{pozzo}) ai m^3/m laminati al metro di sviluppo lineare dell'ipotetica batteria di pozzi in sequenza ($V_{u,pozzo}$), dividendo il valore ottenuto per il passo dell'opera (L_{pozzo}):

$$V_{u,pozzo} = \frac{V_{pozzo}}{L_{pozzo}} = \frac{26m^3}{4,50m} = 5,77 \frac{m^3}{m}$$

Riassumendo i parametri ottenuti:

PORTATA INFILTRATA (l/s) (Calcolo relativo al singolo pozzo)	1,65
PORTATA INFILTRATA UNITARIA (l/sm) (Calcolo al metro lineare)	0,37
VOLUME LAMINATO (m³) (Calcolo relativo al singolo pozzo)	26
VOLUME LAMINATO UNITARIO (m³/m) (Calcolo al metro lineare)	5,77

Tab.4.7: Parametri idraulici pozzo perdente

4.7.3 Superfici permeabili

Come superfici permeabili si sceglie di considerare dei grigliati in autobloccanti di CLS aventi spessore pari a 10cm e superficie filtrante inverdita pari al 40% dell'intera area pavimentata.

Sautobloccante	0,10 m
Ssabbia	0,04 m
Sbase	0,25 m
nbase	0,06 m
Lcat.E	12,50 m

Tab.4.8: Dimensioni geometria stratigrafia



Fig.4.44: Stratigrafia superficie permeabile

La capacità drenante di una pavimentazione in calcestruzzo permeabile dipende dalla permeabilità degli strati costituenti il sottofondo, dai giunti o dalle aperture, dalla composizione dei materiali utilizzati e dalle operazioni di posa.

La permeabilità della pavimentazione scelta è stata stimata calcolando la media ponderale delle permeabilità dei materiali componenti, ovvero il CLS degli autobloccanti e la sabbia posta a riempimento dei vuoti inerbite e come strato di allettamento.

In un metro quadrato di superficie il 60% è composto da autobloccanti ed il 40% da vuoti, per cui:

$$(60\% * k_{CLS}) + (40\% * k_{sabbia}) = k_{superficie} * 1m^2$$

Utilizzando un CLS tradizionale impermeabile, risulta:

$$k_{superficie} = 0,4 * k_{sabbia}$$

Considerando una permeabilità media della sabbia di circa $5 * 10^{-5} m/s$ si ottiene:

$$k_{superficie} = 0,4 * 5 * 10^{-5} m/s = 2 * 10^{-5} m/s$$

La portata infiltrata per unità di superficie avrà la semplice forma:

$$Q_{p,superficie} = k_{superficie} * 1m^2 = 2 * 10^{-5} m^3/sm^2 = 0,02 l/sm^2$$

Applicando il caso ad un'area destinata a parcheggio pubblico, si considerano le dimensioni standard di una strada urbana di quartiere (categoria E), come definita dal novo codice della strada: 6m di corsia di manovra, 5m di parcheggio a 90°, 1,5m di marciapiede, per una larghezza totale $L_{cat.E}$ pari a 12,5m. Per determinare la portata infiltrata unitaria al metro di sviluppo lineare basta moltiplicare il valore areale (al m^2) per la larghezza del parcheggio ($L_{cat.E}$):

$$Q_{p,u,superficie} = 0,02 l/sm^2 * L_{cat.E} = 0,02 l/sm^2 * 12,5m = 0,25 l/sm$$

Il volume laminato per unità di superficie è dato dalla porosità n_{base} dello strato di base avente spessore s_{base} :

$$V_{superficie} = 1m^2 * s_{base} * n_{base} = 1m^2 * 0,25m * 0,2 = 0,05 m^3/m^2$$

Il volume disponibile al metro di sviluppo lineare dell'area a parcheggio di larghezza pari a 12,5m risulta:

$$V_{u,superficie} = L_{cat.E} * 1m * s_{base} * n_{base} = 12,5m^2 * 0,25m * 0,2 = 0,63 m^3/m$$

Riassumendo i parametri ottenuti:

PORTATA INFILTRATA (l/sm²) (Calcolo areale)	0,02
PORTATA INFILTRATA UNITARIA (l/sm) (Calcolo lineare per $L_{cat.E} = 12,5m$)	0,25
VOLUME LAMINATO (m³/m²) (Calcolo areale)	0,05
VOLUME LAMINATO UNITARIO (m³/m) (Calcolo lineare per $L_{cat.E} = 12,5m$)	0,63

Tab.4.9: Parametri idraulici pavimentazione permeabile

4.7.4 Pavimentazioni stradali drenanti

Si considera la posa di asfalto drenante con l'aggiunta di una canaletta per la laminazione delle acque raccolte, posta lateralmente alla strada. Rispetto alla soluzione in figura, si fa riferimento alla canaletta con volume di accumulo pari a $0,050 \text{ m}^3/\text{m}$.

Stappettino	0,05 m
n	0,20
Sbinder	0,03 m
Smassicciata	0,25 m
Lcat.E	7,00 m
Vcanaletta	$0,05 \text{ m}^3/\text{m}$

Tab.4.10: Dimensioni geometria stratigrafia

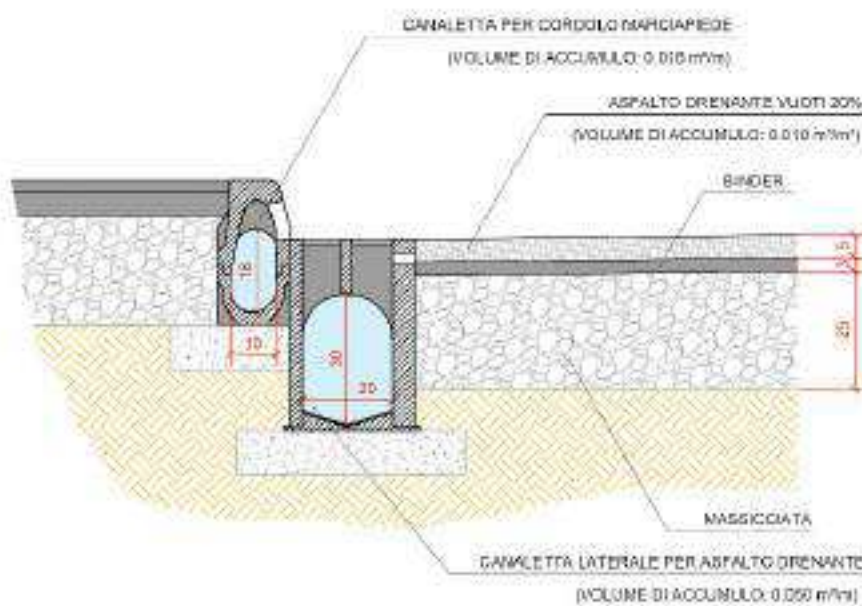


Fig.4.45: Stratigrafia pavimentazione stradale drenante

La portata drenata dallo strato superficiale non si infiltrata nel sottosuolo, ma viene convogliata tramite la pendenza dello strato impermeabile (binder) verso le canalette laterali. Il volume di accumulo delle canalette permette di laminare i deflussi rallentandone l'afflusso alla rete di drenaggio esistente.

Per il calcolo al metro lineare si sceglie, come in precedenza, la sezione standard delle strade di categoria E: 3m di corsia e 0,5m di banchina, per una larghezza totale $L_{cat.E}$ pari a 7m.

In mancanza d'infiltrazione sotterranea, la portata infiltrata è nulla:

$$Q_{p,u,asfalto} = 0,00 \text{ l/ms}$$

Il volume laminato unitario è dato dalla porosità n dello strato di asfalto drenante, cui si somma il contributo della canaletta laterale:

$$\begin{aligned} V_{u,asfalto+canaletta} &= (L_{cat.E} * 1m * S_{tappetino} * n) + V_{canaletta} \\ &= (7m^2 * 0,05m * 0,2) + 0,05 \text{ m}^3/m = (0,07 + 0,05) \text{ m}^3/m = 0,12 \text{ m}^3/m \end{aligned}$$

4.7.5 Vasche e bacini

Per gli invasi si mantiene la distinzione tra bacini di detenzione o vasche di laminazione a fondo impermeabile, aventi solamente funzione di accumulo delle acque e ritardo allo scarico, e bacini di ritenzione volti anche all'infiltrazione nel sottosuolo.

La portata infiltrata viene allora considerata solamente nel caso di bacini di ritenzione e dipende sempre dall'area dell'invaso A_p e dalle caratteristiche del terreno saturo:

$$Q_p = k_s * A_p$$

Il volume disponibile per la laminazione, in entrambi bacini e vasche, dipenderà solo dalla capacità di accumulo dell'invaso, ovvero dalle sue dimensioni.

Poiché di stratta di opere dall'elevata estensione areale, né lineari né puntuali, e il cui profilo geometrico varia a seconda del caso specifico, non è possibile ricondurre tali dispositivi nel processo di parametrizzazione secondo parametri unitari.

4.8 Confronto scenari di progetto

In aggiunta alle caratteristiche idrauliche, per ciascuna tipologia di sistema infiltrante sono stati valutati ulteriori parametri utili nel confronto tra i possibili scenari di progetto. Tra questi si sono considerati fattori economici e vantaggi ambientali e sociali sulla qualità dello spazio urbano.

4.8.1 Fattori economici

Per quanto riguarda i fattori economici sono state computate le diverse fasi lavorative necessarie alla realizzazione dei dispositivi, facendo riferimento al *Preziario regionale delle opere pubbliche* di Regione Lombardia e del Comune di Milano (2019). Nonostante la quantificazione dei lavori dipenda direttamente e forzatamente dalla geometria dell'opera considerata, si è cercato di rendere il computo il più possibile rispettoso delle dimensioni standard degli spazi urbani di applicazione. In particolare, come per la fase di dimensionamento, sono state considerate sezioni stradali caratteristiche delle strade urbane di quartiere, classificate dal nuovo codice della strada sotto la "categoria E". In funzione dello sviluppo spaziale dell'opera (lineare, areale o puntuale), ciascuna voce di lavoro è stata inizialmente computata in *euro/m*, *euro/m²* o *euro/cadauno* e successivamente ricondotta al valore unitario in *euro/m* con l'obiettivo di definire un indicatore di costo univoco e confrontabile tra i diversi interventi.

Per la realizzazione della trincea d'infiltrazione con canale superficiale vegetato, l'onere economico viene riferito ai metri di sviluppo lineare, in funzione delle tre geometrie proposte. Partendo dalla soluzione dimensionale intermedia (B_{sup} 4,00 m; b_{inf} 1,50 m; h 1,25 m), le lavorazioni sono state riassunte nelle seguenti fasi:

VOCE DI LAVORO	PREZZO UNITARIO (euro/m)
Taglio di superfici stradali piane (fino a 80mm)	2,28
Scavo a sezione obbligata (per profondità inferiori a 3m)	47,19
Trasporto e accesso a discarica	49,32
Tubo in CLS forato circolare a bicchiere Ø 800mm	108,37
Manto in geotessuto	5,33
Sottofondo in ghiaia grossa	119,89
Reinterro sponde canale superficiale (fino a 50cm)	0,94
Messa a dimora di alberi (1 ogni 10m)	2,04
Interferenze con sottoservizi	35,00
TOTALE COSTO UNITARIO (Cu)	370,36

Tab.4.10: Calcolo costo unitario realizzazione trincea d'infiltrazione

Affrontando il medesimo calcolo per le altre due geometrie proposte, si ottengono i seguenti valori totali:

DIMENSIONI	B _{sup} 3,00 m	B _{sup} 4,00 m	B _{sup} 5,00 m
	B _{inf} 1,00 m	B _{inf} 1,50 m	B _{inf} 2,00 m
	H 1,00 m	H 1,25 m	H 1,50 m
COSTO UNITARIO (euro/m)	269,50	370,36	496,00

Tab.4.11: Costo unitario in funzione delle dimensioni

Nel caso di dispositivi puntuali, quali sono i pozzi perdenti, la cui geometria con si sviluppa linearmente, le lavorazioni devono essere computate rispetto la singola opera (*euro/cadauno*). Le voci di lavoro sono state così suddivise:

VOCE DI LAVORO	PREZZO UNITARIO (euro/cad)
Taglio di superfici stradali piane (fino a 80mm)	20,52
Scavo a sezione obbligata (per profondità superiori ai 3m)	857,36
Trasporto e accesso a discarica	806,77
Manto in geotessuto	59,95
Sottofondo in ghiaia grossa	1220,55
Anelli perdenti Ø 3500mm e soletta di copertura	3565,24
Condotta di collegamento Ø 250mm in PVC	58,05
Interferenze con sottoservizi	35,00
TOTALE COSTO UNITARIO (Cu)	6623,44

Tab.4.12: Calcolo costo unitario realizzazione pozzo perdente

Il prezzo totale per la realizzazione di un pozzo perdente può essere successivamente diviso secondo il suo passo ($L_{\text{pozzo}} = 4,5\text{m}$) al fine di raggiungere l'indicatore di costo univoco (in *euro/m*), che ben si configura con l'ipotesi della realizzazione di una batteria di pozzi in successione:

COSTO UNITARIO (euro/cad)	6623,44
COSTO UNITARIO (euro/m)	1471,88

Tab.4.13: Costo unitario in funzione delle dimensioni

Per quanto riguarda la realizzazione di dispositivi superficiali, pavimentazioni permeabili e asfalto drenante, il calcolo dell'onere economico tipicamente si riferisce allo sviluppo areale (*euro/m²*). In questo caso l'indicatore di costo univoco (in *euro/m*) viene calcolato moltiplicando il valore di costo areale per la larghezza delle le sezioni tipo di strade urbane di quartiere (di categoria E) e delle relative aree a parcheggio.

La sostituzione delle superfici stradali impermeabili con la nuova tecnologia drenante necessita delle seguenti lavorazioni:

VOCE DI LAVORO	PREZZO UNITARIO (euro/m2)
Scarificazione per demolizione di manti stradali (di 5cm), posa del manto stradale drenante bituminoso e realizzazione delle canalette laterali	3,56
TOTALE COSTO UNITARIO (Cu)	3,56

Tab.4.14: Calcolo costo unitario realizzazione asfalto drenante

Moltiplicando questo valore per i 7m di larghezza della sezione stradale di cat.E si ottiene:

COSTO UNITARIO (euro/m2)	3,56
COSTO UNITARIO (euro/m) (sezione stradale pari a 7m)	24,93

Tab.4.15: Costo unitario in funzione della sezione stradale

La realizzazione di una superficie permeabile in masselli autobloccanti inerbiti per un'area destinata a parcheggio pubblico prevede le seguenti fasi lavorative:

VOCE DI LAVORO	PREZZO UNITARIO (euro/m2)
Taglio di superfici stradali piane (fino a 80mm)	0,18
Scavo a sezione obbligata (per profondità inferiori a 3m)	4,08
Trasporto e accesso a discarica	4,61
Manto in geotessuto	1,06
Reinterro (fino a 50cm) con fornitura di ghiaia	6,67
Pavimento in masselli autobloccanti drenanti prefabbricati in CLS (compresa la sabbia di sottofondo)	35,79
TOTALE COSTO UNITARIO (Cu)	52,38

Tab.4.16: Calcolo costo unitario realizzazione superficie permeabile

Moltiplicando questo valore per i 12,5m di larghezza della sezione a parcheggio delle strade di cat.E si ottiene:

COSTO UNITARIO (euro/m ²)	52,38
COSTO UNITARIO (euro/m) (sezione parcheggio pari a 12,5m)	654,81

Tab.4.17: Costo unitario in funzione della sezione a parcheggio

4.8.2 Vantaggi ambientali e sociali

L'introduzione di dispositivi volti ad un drenaggio urbano sostenibile nella pianificazione urbana porta con sé molteplici vantaggi, non solo riguardanti la rete di gestione delle acque, ma anche benefici ambientali e sociali.

Le funzioni secondarie attribuite ai dispositivi SuDS nei paragrafi precedenti ben dimostrano il ruolo che questi hanno nell'adattamento al cambiamento climatico: migliorano i microclimi urbani e la qualità dell'aria riducendo le isole di calore e l'inquinamento atmosferico, aumentano la resilienza del territorio a fenomeni estremi e favoriscono la conservazione della biodiversità.

L'uso della natura come motore per la progettazione degli ambienti urbani può offrire, inoltre, benefici alla comunità. Una maggiore accessibilità a spazi verdi ed aperti di alto valore paesaggistico ha effetti positivi sulla salute e sul benessere delle persone, accrescendo la coesione sociale, riducendo lo stress, l'isolamento e la criminalità.

La creazione di spazi dinamici e multifunzionali accresce la vitalità anche dal punto di vista economico, veicolando investimenti interni e provocando un possibile aumento nel valore di terreni ed immobili.

Environmental Benefits	Economic Benefits	Social Benefits
Improved Visual Amenity	Increased Property Prices	Encouraging Physical Activity
Enhanced Urban Microclimate	Increased Land Values	Improving Childhood Development
Improved Air Quality	Faster Property Sales	Improved Mental Health
Reduced Flood Risk	Encouraging Inward Investment	Faster Hospital Recovery Rates
Better Water Quality	Reduced Energy Costs via Microclimate Regulation	Improved Mental Health
Improved Biodiversity	Improved Chances of Gaining Planning Permission	Improved Workplace Productivity
Reduced Ambient Noise	Improved Tourist and Recreation Facilities	Increasing Social Cohesion
Reducing Atmospheric CO ₂	Lower Healthcare Costs	Reduction in Crime

Tab.4.18: Benefici dell'infrastruttura verde

Fonte: Arup, 2014, p110.

Si vuole proporre un tentativo di misurazione di tali benefici richiamando alcuni indicatori di Benessere Equo e Sostenibile (B.E.S.) che sono stati definiti e misurati dall'Istat e dal Cnel a partire dal 2013, al fine di esprimere una misurazione del benessere e monitorare quindi il conseguimento degli obiettivi di Sviluppo Sostenibile che accompagnano l'Agenda 2030. A partire dal 2016 l'Istat rende noti gli indicatori relativi al nostro Paese, tramite il Rapporto B.E.S., e dal 2018 alcuni di questi fanno parte del Documento di Economia e Finanza (D.E.F.). Sotto il dominio ambiente vengono definiti diciotto indicatori (Istat, 2018, p 132):

1. Emissioni di CO₂ e altri gas clima alteranti (tonnellate per abitante)
2. Consumo materiale interno (milioni di tonnellate)
3. Dispersione da rete idrica comunale (%)
4. Conferimento dei rifiuti urbani in discarica (%)
5. Qualità dell'aria urbana - PM10 (%)
6. Qualità dell'aria urbana - Biossido di azoto (%)
7. Coste marine balneabili (%)
8. Disponibilità di verde urbano (m² per abitante)
9. Soddisfazione per la situazione ambientale (%)
10. Siti contaminati (valori per 1.000)
11. Popolazione esposta al rischio di frane (%)
12. Popolazione esposta al rischio di alluvioni (%)
13. Trattamento delle acque reflue (%)

14. Aree protette (%)
15. Preoccupazione per la perdita di biodiversità (%)
16. Energia da fonti rinnovabili (%)
17. Raccolta differenziata dei rifiuti urbani (%)
18. Impermeabilizzazione del suolo da copertura artificiale (%)









Per valutare l'impatto ambientale a livello di trasformazione del suolo conseguente all'introduzione dei dispositivi per l'infiltrazione, è stato attribuito un punteggio percentuale alle seguenti voci:

- Disponibilità di verde urbano
- Impermeabilizzazione del suolo da copertura artificiale

Tra i quattro dispositivi analizzati la trincea d'infiltrazione con canale superficiale vegetato è la soluzione che, grazie all'introduzione di specie erbacee ed arbustive, offre il maggior effetto de-impermeabilizzante del suolo; mentre al secondo posto troviamo le superfici permeabili in autobloccanti, con almeno il 40% di superficie inerbata. L'utilizzo dei pozzi perdenti, invece, non determina una trasformazione materica superficiale, per cui la superficie esistente permeabile o impermeabile rimane inalterata; al contrario, la sostituzione di una pavimentazione stradale tradizionale con una di tipo drenante non comporta alcuna riduzione del livello d'impermeabilizzazione del suolo.

4.8.3 Sintesi e confronto

Di seguito viene proposta una tabella che riassume i diversi aspetti fino ad ora valutati, al fine di rendere immediato il confronto tra gli scenari di progetto parametrizzati. Per ciascuna opera sono specificate le funzioni assolute, le caratteristiche idrauliche, il costo stimato e l'impatto sulla trasformazione del suolo.

Suds			TRINCEA D'INFILTRAZIONE	POZZI PERDENTI	SUPERFICI PERMEABILI	PAVIMENTAZIONI STRADALI DRENANTI
FUNZIONI PRIMARIE	Raccolta e riuso					
	Riduzione del deflusso		✓	✓	✓	
	Laminazione e rallentamento del deflusso		✓	✓		✓
FUNZIONI SECONDARIE	Riduzione dell'impatto sull'ambiente		✓			
	Conservazione della biodiversità					
	Adattamento al cambiamento climatico		✓		✓	
	Opportunità ricreative e sociali					
	Valore estetico		✓		✓	
PARAMETRI IDRAULICI	Portata infiltrata unitaria (l/sm) ¹⁴	$Q_{p,u}$	0,40	0,37	0,25	0,00
	Volume laminato unitario (m ³ /m) ¹⁵	V_u	1,83	5,77	0,63	0,12
FATTORI ECONOMICI	Costo unitario (euro/m) ¹⁶	C_u	370,36	1471,88	654,81	24,93
IMPATTO SUL SUOLO	Disponibilità di verde urbano	% _p	100%	-	> 40%	0%
	Impermeabilizzazione del suolo da copertura artificiale	% _i	0%	-	< 60%	100%

Tab.4.19: Sintesi parametrizzazione SuDS riguardanti sistemi infiltranti

In generale il dispositivo che risulta essere più efficace dal punto di vista idraulico è quello dei pozzi perdenti, tuttavia l'elevato impatto economico e la mancanza di benefici ambientali e sociali rende questa soluzione la meno virtuosa.

La trincea d'infiltrazione, invece, oltre ad una buona gestione delle acque meteoriche offre numerosi benefici all'ambiente, al microclima e al paesaggio urbano, a fronte di un costo abbastanza contenuto.

¹⁴ Parametro d'infiltrazione unitario in l/sm desunto tramite alcune assunzioni geometriche specifiche per ciascuna tipologia di opera.

¹⁵ Parametro di laminazione unitario in m³/m desunto tramite alcune assunzioni geometriche specifiche per ciascuna tipologia di opera

¹⁶ Indicatore di costo univoco in euro/m desunto tramite alcune assunzioni geometriche specifiche per ciascuna tipologia di opera.

Per quanto riguarda le opere superficiali, infine, le scarse capacità idrauliche non giustificano l'importante dispendio economico necessario. Sebbene nel caso delle pavimentazioni permeabili il costo unitario risenta delle sezioni tipo considerate, prendendo in esame il prezzo al metro quadrato, si evidenzia che per raggiungere i livelli di infiltrazione e laminazione propri delle trincee, tali pavimentazioni devono coprire superfici tanto estese da annullare il vantaggio economico.

Anche le superfici stradali drenanti risultano essere poco efficaci a confronto con le altre opere, per questo motivo non possono da sole essere risolutive di criticità idrauliche importanti, ma possono dimostrarsi interventi di buona pratica per la manutenzione ed il rifacimento degli asfalti, volti a rallentare i deflussi stradali migliorando la sicurezza alla guida.

A questa prima lettura comparata deve accompagnarsi una riflessione circa la committenza degli interventi. Affrontando il tema delle trasformazioni sul costruito, alcuni dispositivi puntuali si prestano molto ad interventi di natura privata, come i pozzi perdenti. La capacità di raggiungere elevati standard idraulici in poco spazio ed in modo ipogeo risulta essere vincente in questi casi.

Al contrario, interventi più economici e virtuosi, come le trincee d'infiltrazione o sistemi di de-impermeabilizzazione delle superfici, si adattano bene ad azioni di trasformazione del territorio in carico all'amministrazione pubblica. Interventi di ammodernamento modulati nel tempo, distribuiti sul territorio, a contenuto impatto economico e di significativo valore ambientale e sociale, raggiungono maggiormente il consenso della comunità a fronte di spese sostenibili dal bilancio comunale.

4.9 Applicazione al caso di Paderno Franciacorta

I dispositivi studiati trovano una valida applicazione nel caso studio di Paderno Franciacorta per la riduzione delle criticità idrauliche presenti sul territorio. Applicando gli scenari di progetto parametrizzati ai due ambiti di intervento prioritari per il territorio comunale, sono state individuate le soluzioni maggiormente efficaci per la messa in sicurezza del territorio.

4.9.1 Il progetto per l'area industriale

L'intervento progettuale studiato per l'area industriale prevede l'utilizzo di dispositivi per l'infiltrazione, a sostegno dei fenomeni infiltrativi già in uso in quest'area, ed è volto alla riqualificazione dell'intero comparto fortemente impermeabilizzato.

La trincea d'infiltrazione come dispositivo per la riduzione e la laminazione dei deflussi superficiali, si dimostra essere particolarmente adatto per l'applicazione in questo comparto. L'ampia sezione stradale e la presenza di ampi parcheggi permettono l'inserimento di fossi di dispersione a bordo strada; contemporaneamente, l'aumento della presenza verde favorisce l'evapotraspirazione, diminuisce l'irraggiamento solare e migliora la qualità estetico-ambientale dell'intera area.

In funzione delle aree a parcheggio disponibili per l'installazione delle trincee vegetate, sono stati individuati i tratti stradali in cui realizzare trincee d'infiltrazione superficiali e dove, invece, ci si deve limitare allo sviluppo di soli impianti sotterranei. Inoltre, si suggerisce l'adeguamento di alcune condotte fognarie risultate maggiormente insufficienti all'interno del comparto.

Complessivamente si tratta di uno sviluppo lineare di circa 1060 m di trincea d'infiltrazione, di cui circa il 66% presenta avvallamento superficiale vegetato.

Scegliendo di utilizzare una trincea di larghezza pari a 4 m ed usufruendo dei parametri idraulici caratteristici di questo dispositivo, come calcolati nei paragrafi precedenti, i vantaggi in termini d'infiltrazione e laminazione sono i seguenti:

SVILUPPO TRINCEA (m)	1060
PORTATA TOT INFILTRATA Q_{inf} (l/s)	426,12
VOLUME TOT LAMINATO V_{lam} (m³)	1676,04

Tab.4.20: Parametri idraulici indicativi dei benefici derivanti dal progetto della trincea

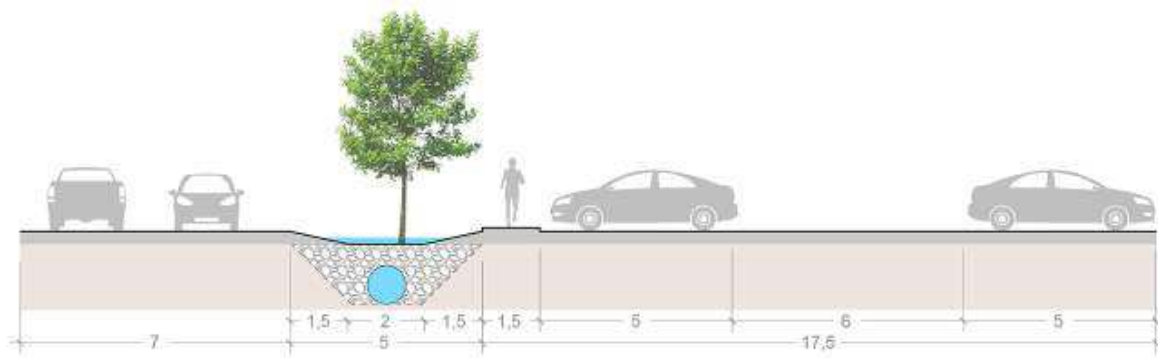


Fig.4.46: Sezione tipo area di circolazione veicolare, trincea lato strada e area a parcheggio (via Trento)

Dal confronto tra le criticità emerse e le possibilità dimostrate dall'Amministrazione comunale, sono state definite tre fasi realizzative in funzione della priorità d'intervento:

- P1: Trincea di infiltrazione e sostituzione condotta lungo via Romiglia e via del Pavione;
- P2: Trincea di infiltrazione lungo via Trento e via della Bosca, sostituzione condotta lungo via Cascina Croce;
- P3: Completamento trincea di infiltrazione lungo via Trento.



Fig.4.47: Fase di progetto P1 - via del Pavione e via Romiglia



Fig.4.48: Fase di progetto P2 - via Cascina croce, via Trento e via della Bosca



Fig.4.49: Fase di progetto P1 - via Trento

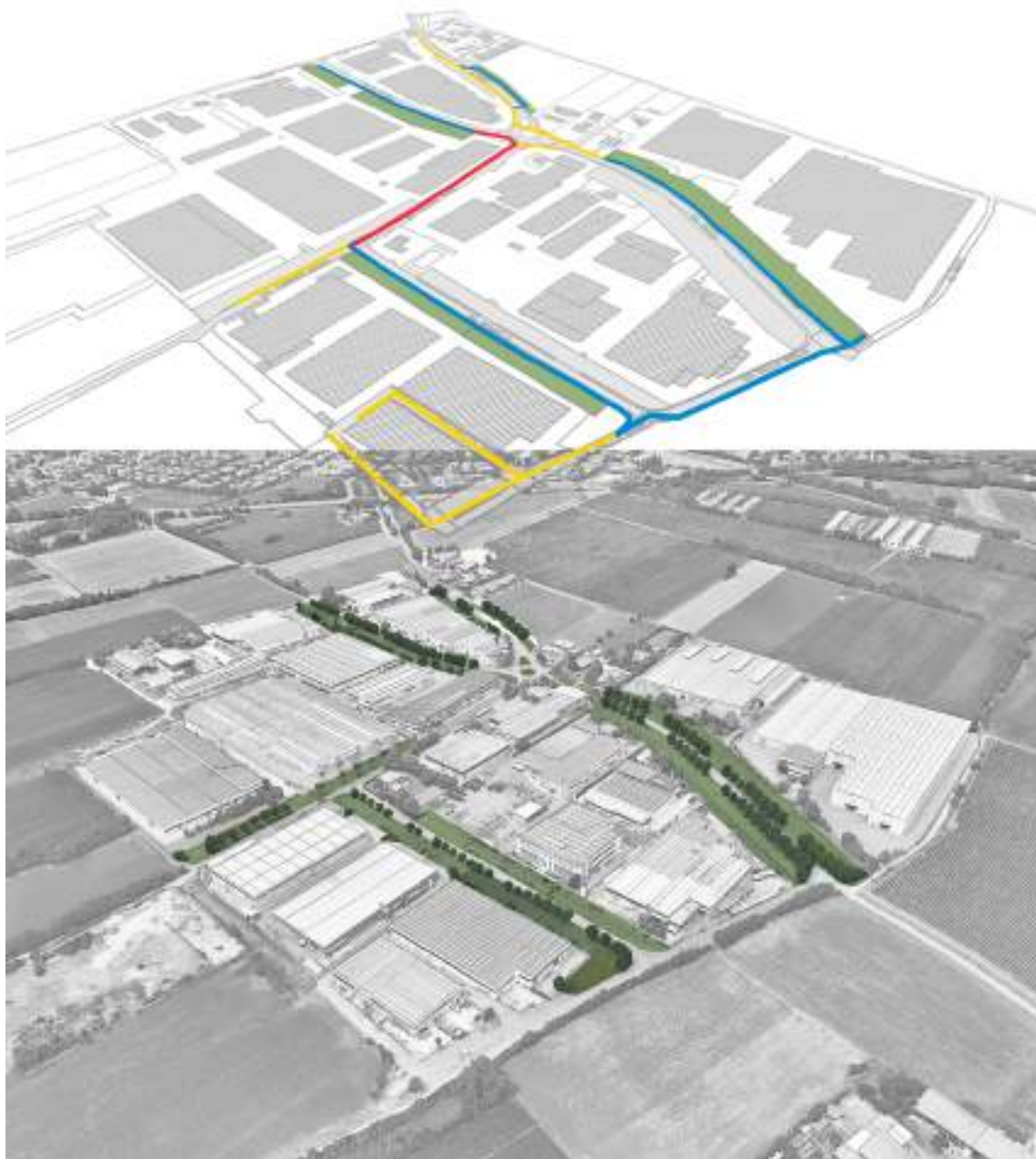


Fig.4.50: Progetto per l'area industriale

Rif. Tav.7

PRIORITA'	RAMO	SITO	INTERVENTO	SVILUPPO TOT TRINCEA (m)	Qtrans SENZA TRINCEA (l/s)	Qmax,acc	Qtrans CON TRINCEA (l/s)	Qinf (l/s)	SVILUPPO TRINCEA CON FOSSO (m)	Vlam (mc)	SVILUPPO TRINCEA SENZA FOSSO (m)	Vlam (mc)
-	62A-62	Via Trento	-		15,00	53,46						
P1	62B-62	Via del Pavione	Trincea d'infiltrazione e sostituzione condotta terminale	220	230,00	185,00	141,56	88,44	200	366,00	20	21,74
P2	62-61	Via Cascina Croce	Sostituzione condotta		300,00	190,00	211,56					
-	63-61	Via Cascina Croce	-		79,00	54,00						
P1	61-60	Via Romiglia	Trincea d'infiltrazione	250	546,00	974,00	357,06	100,50	190	347,70	60	65,22
-	64A-64	Via della Bosca	-		33,00	117,78						
-	64B-64	Via della Bosca	Tratto estremo al confine con i campi, considerato idoneo		68,00	54,00						
-	64-60	Via della Bosca	-		111,00	118,00						
P2	60-57	Via della Bosca	Trincea d'infiltrazione con solo impianti sotterranei	165	691,00	820,00	435,73	66,33	0	0,00	165	179,36
P3	59-58	Via Trento	Trincea d'infiltrazione	105	206,00	97,89	163,79	42,21	105	192,15	0	0,00
P2	58-57	Via Trento	Trincea d'infiltrazione	290	591,00	1447,00	432,21	116,58	210	384,30	80	86,96
P2	57-SCA13	Via Trento	Trincea d'infiltrazione	30	1245,00	822,00	818,88	12,06	0	0,00	30	32,61
P1				470				188,94	390	713,70	80	86,96
P2				485				194,97	210	384,30	275	298,93
P3				105				42,21	105	192,15	0	0,00
TOTALE				1060				426,12	705	1290,15	355	385,89

Tab.4.21: Calcolo benefici idraulici derivanti dalla trincea d'infiltrazione distinti per fasi d'intervento

4.9.2 Il progetto sul laghetto a protezione del centro sportivo

Per la messa in sicurezza delle aree a rischio alluvione situate in corrispondenza del centro sportivo comunale “Calvesi”, l’efficientamento del laghetto di spaglio è un intervento assolutamente necessario. Come spiegato nei paragrafi precedenti, la perdita della capacità drenante del laghetto causata dall’accumulo di sedimenti e da insufficienti interventi di manutenzione, importanti e necessari per opere quali bacini di ritenzione artificiali, provoca fenomeni di rigurgito all’interno delle condotte della rete di drenaggio. Un ritorno di acqua in pressione nelle tubazioni è sintomo di fuoriuscite d’acqua in corrispondenza di aree ribassate, come quella in esame.

Una scelta possibile è quella d’intervenire per il ripristino delle funzioni di infiltrazione del laghetto, attraverso la rimozione dei fanghi limosi, le necessarie opere di bonifica e, in aggiunta o in alternativa, avvalendosi di invasi secondari che assicurino volumi di laminazione maggiori e il mantenimento del livello idrico in situazioni di sicurezza rispetto alle aree ribassate.

L’intera zona ricade nell’ambito di trasformazione A.T.9 del P.G.T comunale, per il quale sono previste le seguenti prescrizioni particolari:

«Il terreno in precedenza è stato utilizzato come discarica ed è indicato dalla regione Lombardia come sito inquinato. Per tale motivo è oggetto di un piano di caratterizzazione ed è necessario un intervento di bonifica preordinato all’attuazione del P.P.».

In attesa che venga realizzata la bonifica e al fine di svincolare l’intervento per la riduzione del rischio idraulico dal risanamento dell’intero ambito, si prevede che lo sversamento dei volumi in eccesso in un nuovo bacino d’infiltrazione possa essere una prima azione risolutiva.

Questa nuova vasca consisterebbe in una porzione dei terreni coltivabili, definiti come “area agricola i salvaguardia” negli strumenti urbanistici comunali, adeguatamente modellata e resa allagabile tramite opere di movimentazione terra e di collegamento idraulico.

Dimensionamento idraulico del bacino

Il collegamento tra i due bacini sarebbe da realizzare tramite una condotta collocata al di sopra della quota dei fanghi limosi e inferiormente alla quota di troppo pieno, individuata cautelativamente minore della quota di allagamento delle aree critiche.

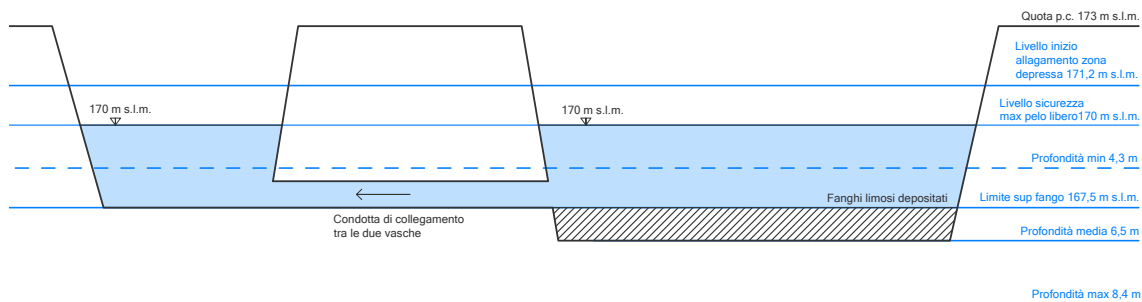


Fig.4.51: Schema di collegamento altimetrico del nuovo bacino al laghetto esistente

Per poter calcolare il volume da laminare nel caso di pioggia è necessario conoscere:

- la superficie impermeabile scolante a monte delle vasche, assunta pari a circa $A_{imp} = 79,1 \text{ ha}$ impermeabili, attribuibili all'intero bacino comunale decurtato delle aree del comparto produttivo¹⁷;
- la curva di possibilità pluviometrica dell'evento meteorico, corrispondente ad un tempo di ritorno $T_r = 50 \text{ anni}$ per il dimensionamento delle opere di laminazione:

$$a = 56,41$$

$$n_1(t < 1h) = 0,434$$

$$n_2(1h < t < 24h) = 0,284$$

- la permeabilità media del terreno, assunta pari a $k = 10^{-4} \text{ m/s}$, per tener conto della dispersione dell'acqua nel sottosuolo per drenaggio di circa $Q_p = 792 \text{ l/s}$.

¹⁷ Dato desunto dal calcolo delle superfici colanti della rete dei ricettori: alla somma delle superfici dell'intero territorio urbanizzato comunale sono state sottratte le aree colanti del comparto produttivo, poiché in tale zona industriale le acque meteoriche vengono smaltite in loco tramite pozzi perdenti.

Il dimensionamento del volume di invaso è stato condotto sulla base delle sole piogge, quindi sulla base della sola curva di possibilità pluviometrica e della portata massima, ipotizzata costante, che si vuole in uscita dalla vasca.

Utilizzando questo metodo viene completamente trascurata, ad eccezione delle sole perdite idrologiche, la trasformazione afflussi-deflussi che si realizza nel bacino a monte della vasca. Con questa ipotesi il volume entrante nella vasca per effetto di una pioggia di durata t risulta:

$$W_e = A_{imp} * \varphi * h(t) = A_{imp} * \varphi * a * t^n$$

dove φ è il coefficiente d'afflusso costante del bacino drenato a monte della vasca.

Nello stesso tempo t il volume uscito dal bacino sarà definito dalla portata in uscita, ovvero quella dovuta al solo drenaggio sul fondo vasca, che è funzione dalla permeabilità del terreno e dalla superficie dell'invaso:

$$W_u = Q_u * t = Q_p * t$$

Dalla differenza dei volumi in entrate ed in uscita si ricava il volume invasato:

$$W = W_e - W_u = A_{imp} * \varphi * a * t^n - Q_p * t$$

Il nuovo invaso deve disporre di un volume almeno pari al valore massimo del volume calcolato W_{max} , ottenuto per una precipitazione di durata t_c critica per la vasca.

Ne consegue un massimo volume di invaso di circa $W_{max} = 57739m^3$ corrispondente ad un tempo critico $t_c = 480' = 8 h$, determinato nella seguente tabella:

t (min)	t (ore)	h (mm)	Volumi vasca (m³)		
			Ingresso	Uscita	Immagazzinato
1	0.02	9.54	7548	48	7500
2	0.03	12.89	10197	95	10102
3	0.05	15.37	12159	143	12016
4	0.07	17.42	13776	190	13585
5	0.08	19.19	15176	238	14939
6	0.10	20.77	16426	285	16141
7	0.12	22.20	17563	333	17230

t (min)	t (ore)	h (mm)	Volumi vasca (m ³)		
			Ingresso	Uscita	Immagazzinato
8	0.13	23.53	18610	380	18230
9	0.15	24.76	19586	428	19159
10	0.17	25.92	20503	475	20028
11	0.18	27.01	21369	523	20846
12	0.20	28.05	22191	570	21621
13	0.22	29.05	22976	618	22358
14	0.23	30.00	23727	665	23061
15	0.25	30.91	24448	713	23735
16	0.27	31.79	25142	760	24382
17	0.28	32.63	25812	808	25005
18	0.30	33.45	26461	855	25605
19	0.32	34.25	27089	903	26186
20	0.33	35.02	27699	950	26748
21	0.35	35.77	28292	998	27294
22	0.37	36.50	28869	1045	27823
23	0.38	37.21	29431	1093	28338
24	0.40	37.90	29980	1140	28839
25	0.42	38.58	30516	1188	29328
26	0.43	39.24	31039	1236	29804
27	0.45	39.89	31552	1283	30269
28	0.47	40.52	32054	1331	30723
29	0.48	41.15	32546	1378	31168
30	0.50	41.76	33028	1426	31603
31	0.52	42.35	33502	1473	32029
32	0.53	42.94	33966	1521	32446
33	0.55	43.52	34423	1568	32855
34	0.57	44.09	34872	1616	33256
35	0.58	44.64	35313	1663	33650
36	0.60	45.19	35748	1711	34037
37	0.62	45.73	36175	1758	34417
38	0.63	46.27	36597	1806	34791
39	0.65	46.79	37012	1853	35158
40	0.67	47.31	37420	1901	35520
41	0.68	47.82	37824	1948	35875
42	0.70	48.32	38221	1996	36225
43	0.72	48.82	38614	2043	36570
44	0.73	49.31	39001	2091	36910
45	0.75	49.79	39383	2138	37245
46	0.77	50.27	39761	2186	37575
47	0.78	50.74	40133	2233	37900
48	0.80	51.20	40502	2281	38221
49	0.82	51.66	40866	2328	38537

t (min)	t (ore)	h (mm)	Volumi vasca (m ³)		
			Ingresso	Uscita	Immagazzinato
50	0.83	52.12	41226	2376	38850
51	0.85	52.57	41582	2424	39158
52	0.87	53.01	41933	2471	39462
53	0.88	53.45	42282	2519	39763
54	0.90	53.89	42626	2566	40060
55	0.92	54.32	42967	2614	40353
56	0.93	54.75	43304	2661	40643
57	0.95	55.17	43638	2709	40929
58	0.97	55.59	43969	2756	41212
59	0.98	56.00	44296	2804	41492
60	1.00	56.41	44620	2851	41769
...
438	7.30	99.21	78472	20814	57659
439	7.32	99.27	78523	20861	57662
440	7.33	99.33	78574	20909	57665
441	7.35	99.40	78625	20956	57668
442	7.37	99.46	78675	21004	57671
443	7.38	99.53	78726	21051	57674
444	7.40	99.59	78776	21099	57677
445	7.42	99.65	78826	21146	57680
446	7.43	99.72	78877	21194	57683
447	7.45	99.78	78927	21241	57685
448	7.47	99.84	78977	21289	57688
449	7.48	99.91	79027	21336	57691
450	7.50	99.97	79077	21384	57693
451	7.52	100.03	79127	21432	57695
452	7.53	100.10	79177	21479	57698
453	7.55	100.16	79226	21527	57700
454	7.57	100.22	79276	21574	57702
455	7.58	100.29	79326	21622	57704
456	7.60	100.35	79375	21669	57706
457	7.62	100.41	79424	21717	57708
458	7.63	100.47	79474	21764	57710
459	7.65	100.53	79523	21812	57711
460	7.67	100.60	79572	21859	57713
461	7.68	100.66	79621	21907	57714
462	7.70	100.72	79670	21954	57716
463	7.72	100.78	79719	22002	57717
464	7.73	100.84	79768	22049	57719
465	7.75	100.91	79817	22097	57720
466	7.77	100.97	79866	22144	57721
467	7.78	101.03	79914	22192	57722

t (min)	t (ore)	h (mm)	Volumi vasca (m ³)		
			Ingresso	Uscita	Immagazzinato
468	7.80	101.09	79963	22239	57723
469	7.82	101.15	80011	22287	57724
470	7.83	101.21	80060	22334	57725
471	7.85	101.27	80108	22382	57726
472	7.87	101.34	80156	22429	57727
473	7.88	101.40	80204	22477	57727
474	7.90	101.46	80253	22524	57728
475	7.92	101.52	80301	22572	57729
476	7.93	101.58	80349	22620	57729
477	7.95	101.64	80396	22667	57729
478	7.97	101.70	80444	22715	57730
479	7.98	101.76	80492	22762	57730
480	8.00	101.82	80540	22810	57730
481	8.02	101.88	80587	22857	57730
482	8.03	101.94	80635	22905	57730
483	8.05	102.00	80682	22952	57730
484	8.07	102.06	80730	23000	57730
485	8.08	102.12	80777	23047	57730
486	8.10	102.18	80824	23095	57730
487	8.12	102.24	80872	23142	57729
488	8.13	102.30	80919	23190	57729
489	8.15	102.36	80966	23237	57728
490	8.17	102.42	81013	23285	57728
491	8.18	102.48	81060	23332	57727
492	8.20	102.54	81107	23380	57727
493	8.22	102.60	81153	23427	57726
494	8.23	102.65	81200	23475	57725
495	8.25	102.71	81247	23522	57724
496	8.27	102.77	81293	23570	57723
497	8.28	102.83	81340	23617	57722
498	8.30	102.89	81386	23665	57721
499	8.32	102.95	81433	23712	57720
500	8.33	103.01	81479	23760	57719

Tab.4.22: Determinazione del tempo critico per l'invaso che genera il massimo volume d'invaso

Nel caso di due bacini collegati idraulicamente, il laghetto esistente e il nuovo invaso, volume appena calcolato $W_{max} = 57739 m^3$ sarà soddisfatto dalla somma di entrambi i volumi, esistenti e di progetto: $W_{max} = V_e + V_d$.

Il volume di primo stadio attribuibile al laghetto esistente viene stimato pari circa a $V_e = 42500 m^3$. Questo è stato determinato tenendo in considerazione la superficie del laghetto ed i limiti altimetrici fissati, ovvero la quota superiore ai fanghi ed il troppo pieno da mantenere inferiore al livello di allagamento per il centro sportivo.

Di conseguenza il volume del nuovo invaso è stato determinato, in modo iterativo, pari circa a $V_d = 15230 m^3$. Ipotizzando una profondità pari a $h = 2,5 m$ (definita dai limiti altimetrici fissati), il nuovo bacino necessiterà di un'estensione superficiale di circa $A = 6092 m^2$.

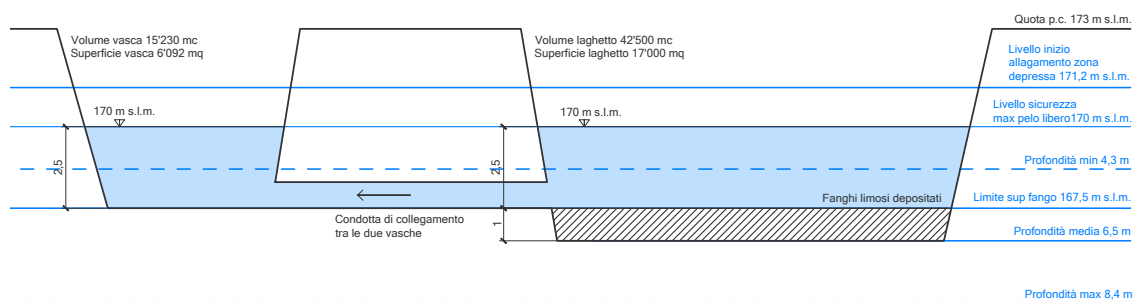


Fig.4.52: Schema di collegamento dei due bacini con indicazione dei volumi e delle superfici necessarie

Poiché si tratta di un calcolo di primo dimensionamento, basato su assunzioni altimetriche e geologiche medie, a favore di sicurezza il volume di laminazione necessario per il territorio urbanizzato di Paderno Franciacorta viene stimato tra i 15000 e 18000 m^3 . Successive valutazioni in sito, relative alla permeabilità reale odierna e a quella stimata a lungo termine, permetteranno di affinare il calcolo.

Localizzazione del bacino

Per la determinazione del posizionamento del nuovo bacino drenante, è doveroso fare alcune considerazioni pianificatorie, in quanto diviene necessario prevedere opere di esproprio o di acquisizione dei terreni limitrofi il laghetto. All'ottenimento delle aree, classificate ora come "zone agricole di salvaguardia", ne conseguirà l'essenziale modifica dello strumento urbanistico comunale (P.G.T.), con variazione di destinazione urbanistica ad "impianto" per la messa in sicurezza del territorio.

Sono stati individuati diversi scenari d'azione percorribili dall'Amministrazione comunale:

- l'acquisizione dell'area tramite esproprio;
- l'acquisizione dell'area tramite permuta;
- l'utilizzo dell'area tramite concessione d'uso.

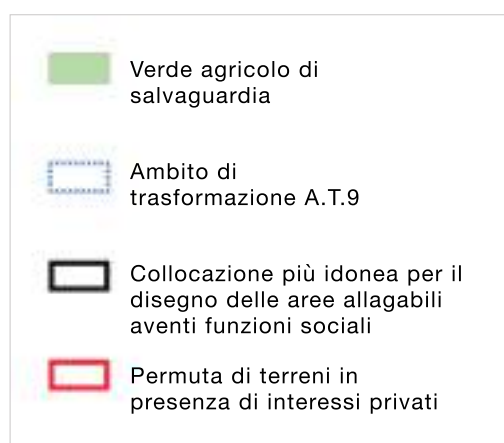
Nel primo caso i terreni d'interesse devono essere sottoposti a vincolo preordinato all'esproprio, efficace dall'atto di approvazione del piano urbanistico generale o di una sua variante; nei cinque anni successivi deve essere emanato l'atto di dichiarazione di pubblica utilità dell'opera prevista onde evitare il decadimento del vincolo. In seguito all'acquisizione dei terreni agricoli, adeguatamente indennizzati, può essere realizzata l'area allagabile composta dal nuovo bacino e da eventuali aree pubbliche di servizio destinate a funzioni sociali. Qualora la vasca perda la sua funzione, a seguito di opere di bonifica dell'intero ambito A.T.9, l'area di proprietà comunale potrà essere destinata completamente a verde pubblico con funzioni ricreative.

La seconda ipotesi, relativa alla permuta, può verificarsi in presenza di interessi privati da parte di proprietari di terreni confinanti con il laghetto. In questa circostanza, si tratta di avviare un procedimento di concertazione urbanistica, ovvero di consultazione preventiva delle parti sociali interessate allo scambio di proprietà territoriali.

Nel caso in esame, l'interesse di privati cittadini all'acquisizione di una parte della superficie del laghetto per lo svolgimento di attività che necessitano di una collocazione ipogea, quali ad esempio il trattamento di materiale inerte, potrebbe essere utile all'ottenimento di nuovi terreni dove realizzare la vasca di progetto. Qualora l'estensione di queste proprietà private risultasse insufficiente alla realizzazione del secondo invaso, il privato sarebbe consigliato all'acquisto delle aree limitrofe necessarie, al fine di concludere positivamente la concertazione.

Infine, allorché il bacino di progetto venga realizzato su proprietà privata (senza acquisizione della stessa), si prevede la definizione di una concessione d'uso per poter allagare l'area all'occorrenza, tramite meccanismi di sgravio fiscale. In questo caso il terreno, sebbene modellato altimetricamente, può conservare la propria destinazione ad uso agricolo. La definizione di un accordo di questo genere in alternativa all'esproprio va a vantaggio del proprietario dei terreni, il quale mantiene attiva la propria attività agricola. Tuttavia, poiché la laminazione di acque meteoriche è finalizzata alla messa in sicurezza del territorio, l'eventuale perdita della coltivazione non verrebbe indennizzata.

Di seguito vengono individuate le aree per la possibile collocazione della vasca drenante di progetto, secondo gli scenari individuati:



*Fig.4.53: Collocazioni possibili vasca di progetto
Rif. Tav.8*

Conclusioni

I risultati raggiunti in questo studio fanno emergere l'importanza dell'affermazione di una politica d'intervento mirata ad attenuare l'impatto dell'azione antropica sulla trasformazione del territorio. La pianificazione urbana riveste un ruolo essenziale nel controllare le conseguenze indotte dallo sviluppo della società odierna e nel difendere o ripristinare gli equilibri naturali dell'ambiente in cui viviamo.

Ciascun territorio presenta delle caratteristiche proprie particolari, che conferiscono unicità di analisi e, di conseguenza, unicità d'intervento. La sfida maggiore sarà quella di intervenire nei territori esposti a livelli di rischio importanti, nei quali però la situazione di emergenza vissuta dalla popolazione facilita l'azione verso il cambiamento.

Nel caso di studio, sebbene il territorio di Paderno Franciacorta non presentasse criticità idrauliche emergenziali e pur in mancanza di corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico, vengono segnalati alcuni scenari di rischio idraulico di media pericolosità e le azioni da intraprendere per la loro mitigazione non sono di debole entità.

Nella fase di raccolta dati è risultata essere determinante la disponibilità dei dati per la conoscenza delle caratteristiche dell'infrastruttura di drenaggio urbano esistente. Si ricorda che i risultati delle verifiche ottenuti sono derivati da alcune assunzioni fatte in mancanza di informazioni sufficienti circa le altimetrie e le pendenze delle condotte. L'obsolescenza della rete, le numerose modifiche puntuali apportate al servizio negli anni e l'eterogeneità degli Enti gestori dell'intera infrastruttura sono fattori che concorrono ad accrescere complessità nel recupero del dato.

Altro carattere decisivo risulta essere il livello di dettaglio e di aggiornamento del grado di impermeabilizzazione effettivo delle superfici urbanizzate appartenenti ai bacini idrografici sottesi ai ricettori. Nel caso di Paderno Franciacorta la classificazione delle trasformazioni del suolo avvenute è resa disponibile dal

database regionale (DBT), ma rimane sempre da verificare l'aggiornamento delle informazioni rispetto allo stato odierno.









Dai risultati delle analisi e delle verifiche effettuate (come riportato in *Tab.3.8* al capitolo terzo), si evince che quasi la metà dei ricettori della rete di drenaggio urbano (circa il 48% del totale) è presumibilmente non idonea al transito delle portate di colmo ricorrenti durante importanti eventi meteorici (aventi tempi di ritorno decennali).

Inoltre, si osserva che l'azione indicata dai regolamenti attuali viene ad essere calibrata rispetto a fenomeni che oggi divengono ricorrenti seppur di entità prima considerata eccezionale; tuttavia, la proiezione verso scenari futuri ottimali di completa attuazione dei principi d'invarianza idraulica ed idrologica ai tessuti urbani si dimostra non essere sufficiente per l'eliminazione degli scenari di pericolosità idraulica. La verifica nella simulazione futura ottimale (si veda la *Tab.3.9*), dimostra che solo un 43% circa dei ricettori oggi insufficienti raggiungerebbe l'idoneità (circa il 21% del totale dei ricettori). La simulazione realistica, invece, corrispondente ad una modesta ottimizzazione del sistema di drenaggio urbano, nel caso di Paderno Franciacorta garantirebbe un margine di miglioramento che può essere considerato nullo o trascurabile.

Di conseguenza, l'iniziativa al cambiamento indotta dall'alto degli organi pubblici di controllo del territorio è fondamentale per intraprendere un cambio di tendenza rispetto al passato. La messa in sicurezza del territorio supportata da progetti partecipati e sostenibili, volti al riequilibrio idrico naturale, può fare da guida per la sensibilizzazione e l'educazione della popolazione al rispetto dell'ambiente.

Tramite la parametrizzazione ed il confronto degli interventi progettuali, affrontati nel capitolo quarto (come si vede nella *Tab.4.19* di seguito riportata per comodità), si evince che molteplici aspetti concorrono alla definizione dell'efficacia e del valore dei diversi dispositivi volti all'infiltrazione e alla laminazione delle acque meteoriche. Infatti, valutando insieme capacità idrauliche, impatto economico e benefici ambientali e sociali, lo scenario più virtuoso si è dimostrato essere quello delle trincee d'infiltrazione con fosso vegetato superficiale e condotta disperdente,

soluzione proposta per la messa in sicurezza e la riqualificazione del comparto produttivo. Altri dispositivi, come ad esempio i pozzi perdenti, possono ben concorrere per capacità idrauliche, ma non dimostrano avere altrettanti benefici economici ed ambientali.

Suds			TRINCEA D'INFILTRAZIONE	POZZI PERDENTI	SUPERFICI PERMEABILI	PAVIMENTAZIONI STRADALI DRENANTI
FUNZIONI PRIMARIE	Raccolta e riuso					
	Riduzione del deflusso		✓	✓	✓	
	Laminazione e rallentamento del deflusso		✓	✓		✓
FUNZIONI SECONDARIE	Riduzione dell'impatto sull'ambiente		✓			
	Conservazione della biodiversità					
	Adattamento al cambiamento climatico		✓		✓	
	Opportunità ricreative e sociali					
	Valore estetico		✓		✓	
PARAMETRI IDRAULICI	Portata infiltrata unitaria (l/sm) ¹⁸	$Q_{p,u}$	0,40	0,37	0,25	0,00
	Volume laminato unitario (m ³ /m) ¹⁹	V_u	1,83	5,77	0,63	0,12
FATTORI ECONOMICI	Costo unitario (euro/m) ²⁰	C_u	370,36	1471,88	654,81	24,93
IMPATTO SUL SUOLO	Disponibilità di verde urbano	% _p	100%	-	> 40%	0%
	Impermeabilizzazione del suolo da copertura artificiale	% _i	0%	-	< 60%	100%

Tab.4.19: Sintesi parametrizzazione SuDS riguardanti sistemi infiltranti

Inoltre, i risultati riportati in tabella possono essere un valido punto di partenza per l'applicazione dei dispositivi di drenaggio urbano sostenibile ad altri casi di studio. I parametri indicati permettono di compiere in modo speditivo una stima degli

¹⁸ Parametro d'infiltrazione unitario in l/sm desunto tramite alcune assunzioni geometriche specifiche per ciascuna tipologia di opera.

¹⁹ Parametro di laminazione unitario in m³/m desunto tramite alcune assunzioni geometriche specifiche per ciascuna tipologia di opera

²⁰ Indicatore di costo univoco in euro/m desunto tramite alcune assunzioni geometriche specifiche per ciascuna tipologia di opera.

effetti benefici che le soluzioni idrauliche studiate possono produrre in un territorio esposto a rischio idraulico.

Per quanto riguarda il calcolo dei parametri idraulici, si ricorda la dipendenza dei valori ottenuti dalle caratteristiche sito-specifiche di Paderno Franciacorta. Per esportare il metodo ed utilizzare gli stessi parametri in altri territori, risulta indispensabile integrare la conoscenza del territorio con i valori medi di permeabilità da inserire nel calcolo; di conseguenza le voci unitarie indicate in tabella potranno subire variazioni.

Si ricorda che le specificità di applicazione, in termini di territorio e tipologia d'intervento, possa essere questa di natura pubblica o privata, possono andare a modificare priorità, obiettivi e conseguentemente l'efficacia di un intervento.

Le numerose ricerche per lo sviluppo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile, cui questo lavoro di tesi tenta di accostarsi, sono un segnale della chiara necessità e volontà a muoversi verso un significativo cambiamento.

Bibliografia

- AA.VV. (2005). German DWA-Rules and Standards - *Standards DWA-A 138E Planning, Construction and Operation of facilities for the Percolation of Precipitation Water*. Hennef.
- AA.VV. (2008). *Sistemi di fognatura. Manuale di progettazione*. Centro studi deflussi urbani, Milano.
- ACT (2013). *Costruire città resilienti. Linee guida per l'adattamento al cambiamento climatico*. Layman's Report.
- Arup (2014). *Cities alive. Rethinking green infrastructure*. London.
- Becciu G., A. Paoletti (2005). *Esercitazioni di costruzioni idrauliche*. CEDAM, Milano.
- Commissione europea (2012). *Orientamenti in materia di buone pratiche per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo. Documento di lavoro dei servizi della Commissione europea*. Lussemburgo.
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 180 del 29 settembre 1998. *Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e del D.L. 11.06.98, n. 180*.
- EEA (2012). *Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies*. Copenhagen. Rapporti No 2/2012.
- EEA (2014). *Cambiamenti climatici e acqua. Oceani più caldi, inondazioni e siccità*. Copenhagen. Articolo EEA.
- EEA (2017, A). *Climate change impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report*. Copenhagen. Rapporti No 1/2017.
- EEA (2017, B). *Green Infrastructure and Flood Management. Promoting cost-efficient flood risk reduction via green infrastructure solutions*. Lussemburgo. Rapporti No 14/2017.

- Gibelli G., A. Gelmini, E. Pagnoni, F. Natalucci (2015). *Gestione sostenibile delle acque urbane. Manuale di drenaggio 'urbano'. Perché, Cosa, Come*. Regione Lombardia, Ersaf, Milano.
- ISPRA (2018, A). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e fattori di rischio*. Rapporti No 287/2018.
- ISPRA (2018, B). *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Rapporti No 288/2018.
- Istat (2018). BES 2018. Il benessere equo e sostenibile in Italia. Istat, Roma.
- Masseroni D., F. Massara, C. Gandolfi, G.B. Bischetti, con la collaborazione di CAP Holding S.p.a. (2018). *Manuale sulle buone pratiche di utilizzo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile*. Milano, 2018.
- Papiri S., S. Todeschini (2007). *Il controllo dei sedimenti nei sistemi fognari e sue implicazioni progettuali*. Acqua e città - II convegno nazionale di idraulica urbana, Chia (CA), 2007.
- PGRA (2016). *Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni. Mappatura delle pericolosità e valutazione del rischio*. Autorità di Bacino del fiume Po, 2016.
- Piano di Governo del Territorio (PGT) di Paderno Franciacorta, *Documento di Piano* (2019).
- Piano di Governo del Territorio (PGT) di Paderno Franciacorta, *Studio Geologico* (2013).
- Provincia autonoma di Bolzano (2008). *Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche*. Bolzano.
- Regione Lombardia, Comune di Milano (2019). *Preziario regionale delle opere pubbliche. Opere compiute civili, urbanizzazione e difesa del suolo*. Vol.1.1. Edizione 2019.
- Regolamento Regionale 23 novembre 2017 - n.7. e smi. *Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed*

idrologica ai sensi dell'articolo 58bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 (Legge per il governo del territorio).

United Nations General Assembly (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York, 2015.

University of Arkansas Community Design Center (2010). *LID Low Impact Development. A design manual for urban areas*. University of Arkansas Press, Fayetteville.

Sitografia

Comune di Paderno Franciacorta

<http://www.comune.padernofranciacorta.bs.it>

Acque Bresciane S.r.l.

<https://geoweb3.acquebresciane.it>

Viewer geografico geoportale regione Lombardia

<https://www.regione.lombardia.it>

D.B.T. Geoportale di Regione Lombardia

<http://www.geoportale.regione.lombardia.it>

A.R.P.A. Lombardia

<http://idro.arpalombardia.it>

Sepram S.r.l. Servizi Progettazione Ambiente

<http://www.sepram.it>

Ringraziamenti

A conclusione di questo lavoro di tesi, vorrei porre i miei ringraziamenti a tutte le persone che hanno contribuito alla buona riuscita dello stesso e che sono state per me figure di riferimento e di grande stimolo per migliorarmi.

Ringrazio le mie relatrici, la Prof.ssa Giovanna Grossi e la Prof.ssa Michèle Pezzagno, per avermi esortata nell'affrontare situazioni e tematiche sempre nuove e per avermi guidata in questo lavoro a compimento del mio percorso universitario.

Un ringraziamento sentito va all'Ing. Claudio Granuzzo, mio correlatore e zio, per l'opportunità datami di svolgere presso il suo studio l'attività di ricerca e progetto utile alla stesura del mio elaborato; questa è stata per me un'esperienza professionale molto formativa. Gli sono grata per l'entusiasmo e lo spirito critico che mi ha trasmesso e la disponibilità e l'affetto con i quali mi ha incoraggiata in questi mesi.

Ringrazio, inoltre, il Comune di Paderno Franciacorta e la società Acque Bresciane Srl che mi hanno permesso di disporre delle informazioni in loro possesso, senza le quali non avrei potuto procedere con l'analisi alla base del mio lavoro di tesi.

Durante questi anni universitari ho avuto la fortuna di incontrare, conoscere ed avere al mio fianco molte persone care e preziose. Ringrazio i miei amici e compagni di studi, con cui ho condiviso momenti indimenticabili, difficoltà e traguardi, instaurando una sincera amicizia. Ringrazio le mie amiche più vicine perché so che posso contare sempre su di loro, sul loro affetto e sulla loro positività.

Infine, il più importante dei ringraziamenti va ai miei genitori e alla mia famiglia a cui dedico questo importante traguardo. Un infinito grazie per tutte le possibilità che mi donate, per l'amore ed il sostegno che in voi posso sempre trovare e per avermi insegnato ad essere la persona che sono. Siete il mio porto sicuro ed il mio esempio migliore.

Sara