

COMMITTENTE



COMUNE DI BRESCIA

TITOLO

**VARIANTE URBANISTICA AI SENSI DELL'ART. 56 DELLE NTA DEL PIANO DELLE REGOLE DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI BRESCIA  
-LOCALIZZAZIONE/REALIZZAZIONE NUOVA BASE HEMS IN VIA GHISLANDI-**

Regione Lombardia Provincia di Brescia Comune di Brescia

PROGETTISTA



EQUIPE-CONTRIBUTI SPECIALISTICI



ELABORATO

**SUB-ALLEGATO B ALL'ALLEGATO 03 AL RAPPORTO AMBIENTALE  
STUDIO PRELIMNARE DI INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA**

TAVOLA	SCALA	COMMESSA	SETTORE-TIPOLOGIA	N. AGGIORNAMENTO
-	-	<b>E210312</b>	<b>EP-R</b>	n. 00 data 12.10.2022
AGGIORNAMENTO	DATA	REDATTO	VERIFICATO/APPROVATO	
<b>00</b>	<b>12.10.2022</b>	<b>R.B.</b>	<b>R.B.</b>	

Studio Associato Professione Ambiente di Bellini Dott. Leonardo e Bellini Ing. Roberto  
Via S.A. Morcelli 2 – 25123 Tel. +39 030 3533699 Fax +39 030 3649731  
info@team-pa.it / www.team-pa.it

A termine delle vigenti leggi sui diritti di autore, questo elaborato non potrà essere copiato, riprodotto o comunicato ad altre persone o ditte senza autorizzazione dello Studio Associato Professione Ambiente

## INDICE

1.	Premesse .....	3
2.	Oggetto dello studio .....	3
3.	Inquadramento normativo.....	3
4.	Inquadramento del progetto .....	5
5.	Possibili linee guida per una soluzione progettuale.....	12
6.	Calcolo delle precipitazioni di progetto.....	12
7.	Aspetti tecnici da approfondire nelle successive fasi progettuali.....	18
7.1.	Possibili metodi di calcolo del processo di infiltrazione .....	18
7.2.	Sistemi di controllo e gestione delle acque pluviali delle superfici scolanti soggette alle misure di invarianza idraulica e idrologica.....	21
7.3.	Individuazione e progettazione delle possibili opere di infiltrazione.....	21
7.3.1.	<i>Generalità.....</i>	<i>21</i>
7.3.2.	<i>Trincee d'infiltrazione.....</i>	<i>22</i>
7.3.3.	<i>Pozzi d'infiltrazione.....</i>	<i>25</i>
7.3.4.	<i>Bacini e vasche d'infiltrazione.....</i>	<i>26</i>
7.3.5.	<i>Pavimentazioni permeabili.....</i>	<i>27</i>
7.3.6.	<i>Caditoie filtranti .....</i>	<i>31</i>
7.3.7.	<i>Opere di compensazione idrologica: tetti e pareti verdi.....</i>	<i>31</i>

## 1. PREMESSE

L'aumento delle portate meteoriche associato alla progressiva urbanizzazione ed impermeabilizzazione del territorio incrementa i fenomeni di piena di fiumi e torrenti e, in caso di inadeguatezza delle capacità di deflusso, è in grado di provocare esondazioni diffuse e danni anche per precipitazioni non particolarmente intense.

Il continuo aumento delle impermeabilizzazioni porta con sé anche un potenziale impatto significativo sulla qualità chimico-fisica e biologica delle acque dei corpi idrici ricettori, nonché sul progressivo impoverimento di ecosistemi, habitat della qualità idromorfologica degli ambienti fluviali.

Risulta quindi indispensabile adottare nuove politiche di drenaggio sostenibile delle acque meteoriche in ambito urbano per conseguire, tramite la separazione e gestione locale delle acque a monte delle reti di fognatura, la riduzione quantitativa dei deflussi meteorici, il progressivo riequilibrio del regime idrologico e idraulico e quindi l'attenuazione del rischio idraulico.

In particolare è necessario adottare provvedimenti diffusi sia strutturali (infiltrazioni, invasi temporanei e riusi delle acque meteoriche) che non strutturali per garantire che le portate o i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non siano maggiori di quelli preesistenti alla trasformazione: perseguire, cioè, l'invarianza idraulica e possibilmente idrologica delle trasformazioni di uso del suolo.

Un ulteriore obiettivo è quello della riduzione dell'impatto inquinante sui corpi idrici ricettori. Assume infatti rilevanza la separazione e la gestione locale delle acque meteoriche non esposte ad emissioni e scarichi inquinanti al fine di poterle smaltire nei ricettori, nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo senza necessità di trattamento preventivo. Ciò conduce anche ad una maggiore concentrazione dei restanti reflui collettati dalle reti fognarie con conseguente maggiore efficienza dei sistemi di depurazione.

## 2. OGGETTO DELLO STUDIO

Il presente studio specialistico costituisce un primo approfondimento alla scala urbanistica del tema relativo all'invarianza idraulica e idrologica, prendendo spunto/riferimento dal nuovo Regolamento Regionale n.7 del 23/11/2017 (in seguito RR 7/2017), relativo per all'intervento di Localizzazione/Realizzazione nuova Base HEMS di Brescia in Variante allo strumento urbanistico (PGT) del Comune di Brescia ai sensi dell'art. 56 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano delle Regole. Seguirà, nelle successive fasi progettuali, la predisposizione di tutti gli elaborati (studi e progetti) richiesti ex lege dalla normativa vigente.

## 3. INQUADRAMENTO NORMATIVO

La Legge Regionale n. 4/2016 nell'art. 7, comma 2 prevede che: *I principi di invarianza idraulica e idrologica siano applicati agli interventi edilizi definiti dall'art. 3, comma 1, lettere d), e), f) del d.p.r. 380/2001 e a tutti gli interventi che comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione, secondo quanto specificato nel regolamento regionale di cui al comma 5. Sono compresi gli interventi relativi a infrastrutture stradali e autostradali e loro pertinenze e i parcheggi.*

Gli interventi edilizi richiamati dal suddetto articolo sono:

d) *“interventi di ristrutturazione edilizia, gli interventi rivolti a trasformare gli organismi edilizi mediante*

*un insieme sistematico di opere che possono portare ad un organismo edilizio in tutto o in parte diverso dal precedente. Tali interventi comprendono il ripristino o la sostituzione di alcuni elementi costitutivi dell'edificio, l'eliminazione, la modifica e l'inserimento di nuovi elementi ed impianti. Nell'ambito degli interventi di ristrutturazione edilizia sono ricompresi anche quelli consistenti nella demolizione e ricostruzione con la stessa volumetria di quello preesistente, fatte salve le sole innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica nonché quelli volti al ripristino di edifici, o parti di essi, eventualmente crollati o demoliti, attraverso la loro ricostruzione, purché sia possibile accertarne la preesistente consistenza. Rimane fermo che, con riferimento agli immobili sottoposti a vincoli ai sensi del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e successive modificazioni, gli interventi di demolizione e ricostruzione e gli interventi di ripristino di edifici crollati o demoliti costituiscono interventi di ristrutturazione edilizia soltanto ove sia rispettata la medesima sagoma dell'edificio preesistente.”*

*e) “interventi di nuova costruzione, quelli di trasformazione edilizia e urbanistica del territorio non rientranti nelle categorie definite alle lettere precedenti. Sono comunque da considerarsi tali:*

*e.1) la costruzione di manufatti edilizi fuori terra o interrati, ovvero l'ampliamento di quelli esistenti all'esterno della sagoma esistente, fermo restando, per gli interventi pertinenziali, quanto previsto alla lettera e.6);*

*e.2) gli interventi di urbanizzazione primaria e secondaria realizzati da soggetti diversi dal comune;*

*e.3) la realizzazione di infrastrutture e di impianti, anche per pubblici servizi, che comporti la trasformazione in via permanente di suolo inedificato;*

*e.4) l'installazione di torri e tralicci per impianti radio-ricetrasmittenti e di ripetitori per i servizi di telecomunicazione;*

*e.5) l'installazione di manufatti leggeri, anche prefabbricati, e di strutture di qualsiasi genere, quali roulotte, campers, case mobili, imbarcazioni, che siano utilizzati come abitazioni, ambienti di lavoro, oppure come depositi, magazzini e simili, e che non siano diretti a soddisfare esigenze meramente temporanee e salvo che siano installati, con temporaneo ancoraggio al suolo, all'interno di strutture ricettive all'aperto, in conformità alla normativa regionale di settore, per la sosta ed il soggiorno di turisti;*

*e.6) gli interventi pertinenziali che le norme tecniche degli strumenti urbanistici, in relazione alla zonizzazione e al pregio ambientale e paesaggistico delle aree, qualifichino come interventi di nuova costruzione, ovvero che comportino la realizzazione di un volume superiore al 20% del volume dell'edificio principale;*

*e.7) la realizzazione di depositi di merci o di materiali, la realizzazione di impianti per attività produttive all'aperto ove comportino l'esecuzione di lavori cui consegua la trasformazione permanente del suolo inedificato.”*

*f) gli “interventi di ristrutturazione urbanistica, quelli rivolti a sostituire l'esistente tessuto urbanistico edilizio con altro diverso, mediante un insieme sistematico di interventi edilizi, anche con la modificazione del disegno dei lotti, degli isolati e della rete stradale.”*

L'art. 7 comma 2, della LR 4/2016 indica che sono da ricomprendere, ai fini dell'applicazione di principi di invarianza idraulica e idrologica, solo gli interventi che “comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione”.

Ne conseguono le seguenti indicazioni:

- le misure di invarianza idraulica e idrologica necessarie per compensare interventi comportanti una riduzione della permeabilità del suolo sono da calcolare in rapporto alle condizioni preesistenti all'urbanizzazione; quindi non alla condizione urbanistica pre-intervento, eventualmente già alterata rispetto alla condizione “zero” preesistente all'urbanizzazione. Ad esempio una ristrutturazione che preveda in qualche sua parte un aumento del grado di impermeabilizzazione rispetto all'esistente già parzialmente impermeabilizzato deve comprendere gli interventi di invarianza idraulica e idrologica calcolati in rapporto alla permeabilità “naturale” originaria del sito. Così una nuova costruzione che riguardi in tutto o in parte un lotto già edificato e quindi avente un esistente grado di impermeabilizzazione deve comprendere gli interventi di invarianza

- idraulica e idrologica calcolati in rapporto alla permeabilità “naturale” originaria del sito dell’intervento e non rispetto alla situazione già urbanizzata esistente;
- le misure di invarianza idraulica e idrologica sono da calcolare con riferimento alla *superficie interessata dall’intervento comportante una riduzione della permeabilità* del suolo *rispetto alla sua condizione preesistente all’urbanizzazione*. Dunque una ristrutturazione della superficie parziale di un lotto con aumento del suo grado di impermeabilizzazione rispetto alla condizione preesistente all’urbanizzazione deve esser compensata da misure di invarianza idraulica e idrologica calcolate rispetto alla superficie modificata e non anche rispetto alla restante superficie del lotto che mantiene l’esistente grado di impermeabilizzazione. Così una nuova costruzione in ampliamento di una edificazione già esistente deve esser compensata da misure di invarianza idraulica e idrologica calcolate rispetto alla superficie di nuova costruzione e non anche rispetto alla esistente superficie già edificata.
  - Nell’ambito degli interventi edilizi definiti dall’art. 3 del D.P.R.380/2001, lettere d), e), f), si distinguono i seguenti casi:
    - gli interventi che comprendono il ripristino o la sostituzione o la modifica o l’inserimento di elementi costitutivi che non comportino una maggiore superficie della proiezione sul suolo del filo esterno dell’edificio non sono soggetti ai requisiti di invarianza idraulica e idrologica del presente regolamento;
    - gli interventi di nuova costruzione o di demolizione e ricostruzione anche parziale ma comunque fino al piano terra o di ampliamento o di trasformazione edilizia e urbanistica o di ristrutturazione urbanistica sono soggetti ai requisiti di invarianza idraulica e idrologica del presente regolamento;
  - le misure di invarianza idraulica e idrologica riguardano anche gli interventi *relativi a infrastrutture stradali e autostradali e loro pertinenze e i parcheggi*. Ne consegue che le misure di invarianza idraulica e idrologica sono da prevedere sia per interventi di riassetto, adeguamento, allargamento di infrastrutture già presenti sul territorio, sia per nuove sedi stradali o di parcheggio, con riferimento alle componenti che comportano una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all’urbanizzazione. Le corrispondenti misure di invarianza idraulica e idrologica sono da calcolare in rapporto alla superficie interessata da tali interventi.

#### 4. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO

L’ubicazione dell’ambito in esame è illustrata nell’ortofotografia riportata nella figura che segue.



L'intervento oggetto di valutazione riguarda la Localizzazione/Realizzazione della nuova Base HEMS di Brescia in Variante allo strumento urbanistico (PGT) del Comune di Brescia ai sensi dell'art. 56 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano delle Regole. Tale iniziativa discende dalle necessità operative per la nuova base HEMS che risultano inadeguate nell'attuale sede operativa degli Spedali Civili di Brescia (momentaneamente dislocata presso l'aeroporto di Montichiari).

Come si evince dalla documentazione progettuale preliminare "Realizzazione nuova Base HEMS Brescia, Via Ghislandi - Studio di fattibilità tecnica":

*"La base di elisoccorso (HEMS) di Brescia è una delle cinque basi della Regione Lombardia e, segnatamente, una delle due individuate per l'esecuzione dell'attività H24.*

*(...)*

*La sua realizzazione risale all'inizio del 2000 e se ne rende ora necessario lo spostamento in altra sede. Se, infatti, le strutture presenti all'ASST sono tutt'ora ritenute sufficienti ad ospitare un'elisuperficie a servizio del nosocomio, non altrettanto si può affermare per quanto riguarda una base HEMS, destinata ad accogliere permanentemente aeromobile, equipaggio di condotta, equipaggio di missione e addetti all'assistenza antincendio, con tutto quel che ne consegue in termini di locali di stazionamento del personale, ricovero e manutenzione dell'aeromobile (raccomandazione di ricollocare la base è stata avanzata anche da ENAC).*

*A ciò si aggiunga che, in un'ottica di sempre maggiore utilizzo del mezzo su ala rotante, si è prospettato un incremento delle operazioni sia in termini quantitativi che qualitativi. In tale prospettiva è stata espletata ed aggiudicata recentemente da parte di ARLA la gara dei servizi aeronautici; l'offerta aggiudicataria prevede l'utilizzo di un vettore di elevate potenzialità ma di dimensioni maggiori a quelle dell'elicottero attuale. E' opportuno evidenziare che un aeromobile dotato di un vano sanitario di dimensioni maggiori garantisce anche una*

*maggior ergonomia operativa per gli operatori in occasione di operazioni speciali e complesse (es. calate in verricello), in particolare nelle ore notturne.*

*La dimensioni del nuovo elicottero rendono di fatto impercorribile la permanenza in loco della base stanti, tra l'altro, le insufficienti dimensioni dell'hangar, la cui presenza è condizione imprescindibile per il mantenimento della base stessa.*

*E' dunque indispensabile trasferire la base in un'altra sede che abbia caratteristiche conformi alle necessità cogenti. A tal fine è stata condotta una ricognizione (dettagliata nel documento allegato e approvata con delibera n. 244 del 1 luglio 2020), da cui è stata individuata l'area di via Ghislandi, subito a sud dell'autostrada A4, nei pressi dell'uscita Brescia Ovest, corrispondente al Foglio 227, particelle 200 e 202 del catasto terreni di Brescia, di proprietà della società SLAB Srl.*

*(...)*

### **Classificazione dell'area**

*In base al Catasto Terreni della provincia di Brescia, attualmente l'area fa parte delle particelle 200 e 202 comprese nel foglio 227, ed è classificata come terreno agricolo in un ambito di salvaguardia e mitigazione ambientale (NTC, art. 85c). Allo stato attuale, pertanto, non sarebbe consentita la realizzazione di opere edilizie.*

*Alla luce di quanto sopra, risultano propedeutici alla realizzazione della base la modifica del PGT da parte degli enti competenti e il frazionamento catastale delle particelle citate, in quanto la superficie necessaria all'opera sarebbe notevolmente inferiore alla loro estensione.*

*Si ritiene opportuno segnalare, tuttavia, che la restante parte dell'area, non sfruttata per la base HEMS (si veda l'area bordata in azzurro all'allegato 2), potrebbe essere utilmente messa a frutto realizzando ulteriori infrastrutture qualora si volesse estendere l'attività elicotteristica anche ad altri fruitori (Vigili del Fuoco, Protezione Civile o privati) addivenendo alla realizzazione del progetto di "eliporto cittadino", più volte citato nel corso delle riunioni propedeutiche tenute con le autorità comunali negli anni scorsi. Va anche segnalato il rapido sviluppo che sta avendo la cosiddetta Urban/Advanced Air Mobility che vedrà a brevissimo l'impiego di droni per una serie di attività, tra le quali il trasporto di passeggeri, e la conseguente necessità di vertiporti. Così come concepito, il layout qui presentato è tale da rendere l'infrastruttura utilizzabile anche da questa nuova tipologia di aeromobili. Brescia sarebbe la prima città a dotarsene.*

### **Opere previste**

*Sulla base delle norme aeronautiche e delle esigenze operative, all'interno della base HEMS sono previste le seguenti strutture:*

#### *Unità abitativa*

*E' destinata ad accogliere un nucleo di n. 8 persone composto da:*

- *Pilota comandante*
- *Copilota*
- *Tecnico aeronautico*
- *Medico*
- *Infermiere*
- *Tecnico del Soccorso Alpino (CNSAS)*
- *Squadra antincendio (n. 2 persone)*

*Ognuna di tali figure dovrà disporre di un proprio locale ad eccezione della squadra antincendio che potrà condividere la stessa stanza.*

*Inoltre dovranno essere presenti:*

- *locale operativo*
- *locale cucina e sala mensa*
- *magazzino*

- locale lavaggio materiale sanitario
- sala riunioni
- deposito farmaci
- servizi igienici completi di docce

per una superficie complessiva di almeno 300 mq (idealmente 500 mq).

L'unità abitativa dovrà avere classe energetica elevata (almeno A+), essere munita di pannelli fotovoltaici e/o altra fonte energetica sostenibile e prevedrà l'allacciamento energetico elettrico, non mediante altri fluidi. La climatizzazione sarà dunque assicurata mediante pompe di calore.

Si dovrà prevedere inoltre un cablaggio strutturato in categoria 6 per la distribuzione della rete dati, con un numero di prese sovrabbondante presso il locale operativo al fine di garantire la ridondanza (e quindi la continuità di servizio) nei punti strategici per l'attivazione delle missioni.

Adiacente all'unità abitativa dovrà essere previsto un parcheggio in grado di ospitare almeno 16 vetture (una per ogni membro di equipaggio considerando i cambi turno) e un'ambulanza.

#### Hangar

Si tratta di una struttura tipo capannone industriale con le seguenti caratteristiche minime:

- dimensioni in pianta non inferiori  $22 \times 22$  m e altezza compresa orientativamente tra 8 e 11 m.
- portellone di ingresso di dimensioni non inferiori a  $6$  (H)  $\times$   $15$  (L) m
- locale officina interno di circa 12 mq

Nel layout ipotizzato, si è optato per una soluzione ideale e più ampia, che comprenda all'interno del capannone anche una serie di locali destinati a magazzino tecnico. L'ingombro in pianta del capannone è pertanto di oltre 800 mq (circa  $25 \times 35$  m), di cui 250 dedicate ai vani tecnici di supporto.

#### Piazzole di sosta

Sono costituite da n. 2 platee in materiale di consistenza tale da supportare il peso di un elicottero di 9.000 Kg (es. calcestruzzo) e di diametro di circa 25 m. Devono essere poste nelle immediate vicinanze dell'ingresso dell'hangar, in numero di 2 al fine di consentire la sosta di un secondo aeromobile in caso di necessità operative quali il trasbordo di pazienti, membri di equipaggio o materiale sanitario tra 2 elicotteri.

#### Piazzola di atterraggio/decollo (FATO - Final Approach and Take-Off area)

Si tratta di una platea di dimensioni e caratteristiche strutturali simili a una piazzola di sosta ma dotata di segnaletica orizzontale e luci a norma aeronautica e collegata alle piazzole di sosta da un percorso (via di rullaggio – taxi-way) anch'esso dotato di luci dedicate. L'orientamento della piazzola è condizionato dalle rotte di atterraggio e decollo, che nel caso specifico sono vincolate dalla presenza delle linee elettriche.

#### Distributore di carburante

E' costituito da una cisterna per il carburante aeronautico e dal sistema di erogazione, che deve essere collocato in posizione favorevole al rifornimento degli elicotteri.

#### Aree complementari

Vanno previsti spazi idonei alla gestione di attività collaterali. In particolare:

- adeguato percorso di ingresso e di posizionamento di un'autobotte per rifornire il serbatoio del distributore di carburante;
- ricovero ed area di sosta per il mezzo antincendio;
- area di sosta per ambulanza
- recinzione dell'area

#### Impiantistica



*Come già citato, l'approvvigionamento energetico si limita all'utenza elettrica, non sono richiesti fluidi se non il carburante ad uso elicottero.*

*Tutto il complesso dovrà essere supportato da un gruppo elettrogeno di soccorso (si ritengono sufficienti 200 KVA), mentre si richiede alimentazione in continuità mediante UPS per le luci aeronautiche e le apparecchiature informatiche essenziali in dotazione a sanitari e personale aeronautico (stimati 10 kVA).*

*Per quanto riguarda le utenze elettriche servite si individuano:*

- *normali utenze civili presso le unità abitative (con la citata eccezione delle dotazioni informatiche essenziali), tenendo conto della climatizzazione mediante pompe di calore;*
- *luci aeronautiche;*
- *illuminazione esterna verso le piazzole, le aree di accesso alle unità abitative e il parcheggio;*
- *alimentazione di tipo industriale per l'hangar (illuminazione, prese industriali monofase e trifase per officina e vano principale, riscaldamento mediante apparecchi ventilanti); potenza massima richiesta 60KW.*
- *alimentazione industriale con prese monofase e trifase a bordo piazzola di sosta per la messa in moto dell'elicottero; potenza massima richiesta 6KW.*

*La sezione idrica riguarderà:*

- *utenze civili (cucina e bagni) presso l'unità abitativa;*
- *punto di erogazione acqua fredda interno all'hangar;*
- *punto di erogazione acqua fredda presso una piazzola di sosta.*

*(...)*

#### **Requisiti di fattibilità tecnica**

*Alla luce di quanto esposto, si riassumono di seguito i requisiti essenziali per la realizzazione del progetto di che trattasi presso l'area individuata in via Ghislandi.*

- *Opportuna modifica del PGT in modo da consentire la realizzazione delle opere.*
- *Eventuale frazionamento catastale delle particelle interessate (Foglio 227, particelle 200 e 202 del Catasto Terreni della provincia di Brescia).*
- *Eventuale riduzione degli ostacoli al volo tangibili attualmente presenti nell'area (alberi, pali stradali, e simili).*
- *Applicazione di segnaletica cromatica e luminosa alla linea elettrica che interessa le traiettorie di decollo e atterraggio”.*



Per ogni ulteriore riferimento si rimanda al suddetto studio di fattibilità.

Dal punto di vista prettamente urbanistico, l'intervento rappresenta la Variante allo strumento urbanistico (PGT) del Comune di Brescia ai sensi dell'art. 56 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano delle Regole. La Variante in oggetto riguarda pertanto sia il Piano delle Regole che il Piano dei Servizi del PGT.

Il presente studio ha lo scopo di fornire una prima quantificazione della grandezza da considerare (volumi e portate di acqua originata dalla nuova urbanizzazione) e prime valutazioni in merito alla possibilità di recapito delle acque meteoriche, anche al fine dell'attuazione del principio di invarianza idraulica e idrologica (Cfr. RR 7/2017).

A tale scopo è stato determinato il volume di acque meteoriche da smaltire in corrispondenza di un evento critico di breve durata ed elevata intensità (tempo ritorno 50 anni).

Ai fini dell'individuazione della modalità di calcolo dei volumi da gestire per il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica, si illustrano di seguito le caratteristiche dell'area di intervento, con riferimento all'art. 9, tabella 1 del RR 7/2017 (le superfici di cui sopra sono state arrotondate per eccesso ai fini dei calcoli idraulici):

- Superficie interessata dall'intervento: circa 24.840 m<sup>2</sup> (circa 2,5 Ha);
- Ambito di criticità idraulica del Comune di Brescia: A\*\* (rif. Allegato C, RR 7/2017);
- Coefficiente medio ponderale: 0,5986 (calcolato applicando i coefficienti di deflusso riportati in forma tabellare nella sezione dedicata che segue).

In base ai valori sopra riportati, la classe di intervento risultante (rif. tabella 1 del RR 7/2017) corrisponde alla categoria "impermeabilizzazione potenziale alta".

*\*\* Art. 7 (Individuazione degli ambiti territoriali di applicazione) comma 5 Indipendentemente dall'ubicazione territoriale, sono assoggettate ai limiti indicati nel presente regolamento per le aree A di cui al comma 3, anche le aree lombarde inserite nei PGT comunali come ambiti di trasformazione o anche come piani attuativi previsti nel piano delle regole.*

Considerato l'attuale utilizzo dell'area (incolto), l'opera prevista dal PA è tenuta al rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica di cui all'articolo 58 bis, comma 2, della l.r. 12/2005.

Le superfici interessate dallo studio, acquisite dagli elaborati di PA, sono riportate nella tabella seguente che presenta quantificazioni di massima riconducibili alla tipologia progettuale in corso (piano attuativo) e che potranno essere oggetto di revisioni successive nell'ambito dello sviluppo delle ulteriori fasi progettuali dell'intervento:

Superficie totale	Superfici coperte (tetti e piazzali)	Viabilità pubblica/privata	Superfici semi-permeabili (camminamenti, parcheggi semipermeabili)	Superficie non scolante (aree verdi)
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
24.840	10.595	---	---	14.245

## **5. POSSIBILI LINEE GUIDA PER UNA SOLUZIONE PROGETTUALE**

Come comunicato dai progettisti del PA, la lottizzazione sarà dotata di reti fognarie separate nere/bianche con recapito delle prime in pubblica fognatura e delle seconde negli strati superficiali del sottosuolo verso cui confluiranno, in particolare, tutte le acque meteoriche ricadenti sulle aree coperte e pavimentate scoperte (per una superficie totale di circa 21.800 m<sup>2</sup>), che verranno captate mediante reti di raccolta dedicate. In sede di successiva fase progettuale verranno condotte ulteriori valutazioni in merito alla opportunità di rendere semipermeabili aree oggi cautelativamente (ai fini delle stime preventive) indicate come impermeabili (es. parcheggi).

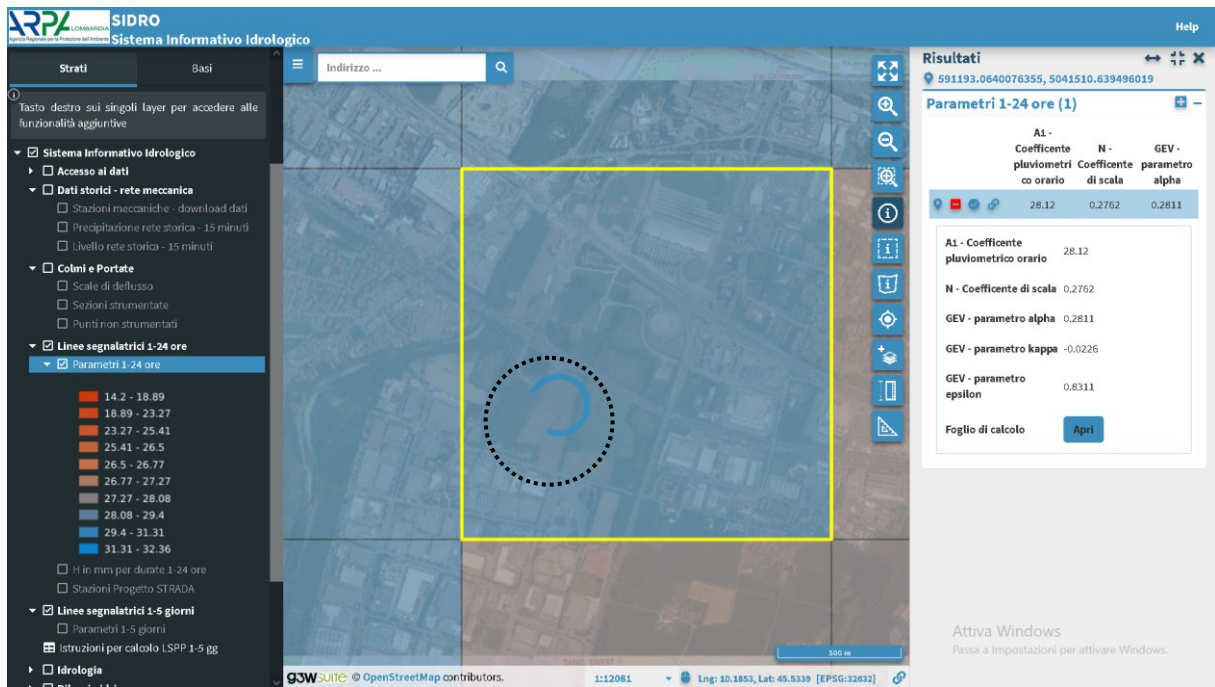
Per le attività soggette a separazione, le acque di prima pioggia saranno raccolte in vasche dedicate, dimensionate per i volumi necessari, dalle quali saranno rilanciate in fognatura nera previo trattamento nelle unità di disoleazione e separazione fanghi associate alle vasche. In via cautelativa e esclusivamente ai fini delle presenti verifiche idrauliche/idrologiche preventive, a questa scala progettuale (urbanistica) detti volumi di prima pioggia verranno fittiziamente considerati anch'essi nei computi per l'invarianza, alla stessa stregua delle acque di seconda pioggia.

Le acque di seconda pioggia potranno:

- passare a vasche di accumulo acque di recupero, dalle quali andranno ad alimentare la rete di distribuzione acqua industriale e potranno essere riutilizzate per irrigazione aree verdi, ripristino riserva antincendio o altri usi consentiti;
- essere convogliate unitamente alle acque provenienti dalle coperture e, dal punto di vista del calcolo, anche dalle aree verdi, verso sistemi disperdenti opportunamente dimensionati, dotati di pozzetto di campionamento ispezionabili;
- laddove ritenuto utile/necessario essere recapitate, nella quota parte concessa, a corpi idrici superficiali posti nelle vicinanze e idonei a ricevere i flussi d'acqua regimati.

## **6. CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO**

Per il calcolo delle precipitazioni di progetto si è fatto riferimento alla determinazione della linea segnalatrice di possibilità pluviometrica (LSP) ricavata dai dati messi a disposizione sul portale informatico di ARPA Lombardia per i dati di precipitazione intensa relativamente alle durate comprese nell'intervallo 1-24 ore per il sito in esame (cfr. figura che segue).



Parametri caratteristici LSP, calcolati per l'area di progetto

Nella figura seguente, sono riportate le linee segnalatrici per diversi tempi di ritorno utilizzate per l'area in oggetto, calcolate utilizzando la distribuzione generalizzata del valore estremo (GEV).

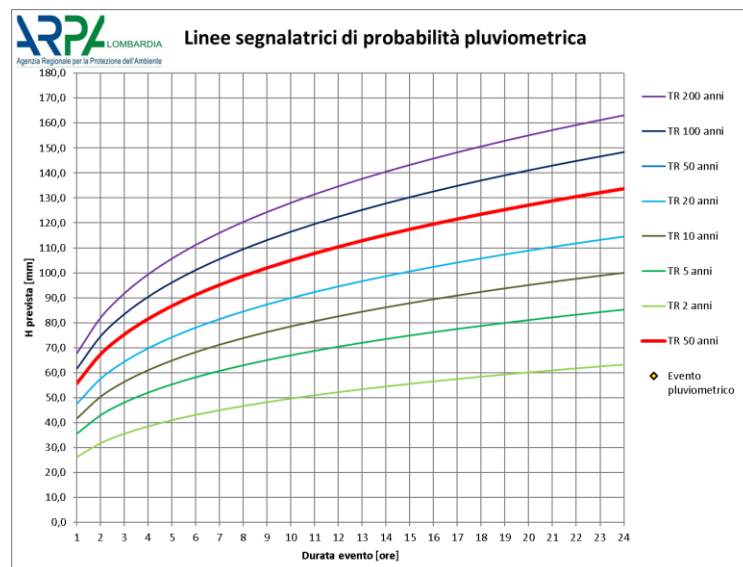


Grafico delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSP), calcolate per l'area di progetto

## Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: *Sito in Via Ghislandi snc, Comune di Brescia*

Coordinate: *X=591175,9633; Y=5041505,8449* **Linea segnatrice**

**Tempo di ritorno (anni)**

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 28,12

N - Coefficiente di scala 0,2762

GEV - parametro alpha 0,2811

GEV - parametro kappa -0,0226

GEV - parametro epsilon 0,8311

**Evento pluviometrico**

**Durata dell'evento [ore]**

**Precipitazione cumulata [mm]**

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:

<http://idro.arpalombardia.it/manual/lssp.pdf>

[http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA\\_report.pdf](http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf)

### Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	50
wT	0,93455	1,25996	1,48004	1,69468	1,97775	2,19381	2,41250	1,977750
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 50 anni
1	26,3	35,4	41,6	47,7	55,6	61,7	67,8	55,61
2	31,8	42,9	50,4	57,7	67,3	74,7	82,2	67,35
3	35,6	48,0	56,4	64,5	75,3	83,6	91,9	75,33
4	38,5	52,0	61,0	69,9	81,6	90,5	99,5	81,56
5	41,0	55,3	64,9	74,3	86,7	96,2	105,8	86,74
6	43,1	58,1	68,3	78,2	91,2	101,2	111,3	91,22
7	45,0	60,6	71,2	81,6	95,2	105,6	116,1	95,19
8	46,7	62,9	73,9	84,6	98,8	109,6	120,5	98,77
9	48,2	65,0	76,4	87,4	102,0	113,2	124,5	102,03
10	49,6	66,9	78,6	90,0	105,0	116,5	128,1	105,05
11	51,0	68,7	80,7	92,4	107,8	119,6	131,6	107,85
12	52,2	70,4	82,7	94,7	110,5	122,5	134,8	110,47
13	53,4	72,0	84,5	96,8	112,9	125,3	137,8	112,94
14	54,5	73,4	86,3	98,8	115,3	127,9	140,6	115,28
15	55,5	74,9	87,9	100,7	117,5	130,3	143,3	117,50
16	56,5	76,2	89,5	102,5	119,6	132,7	145,9	119,61
17	57,5	77,5	91,0	104,2	121,6	134,9	148,4	121,63
18	58,4	78,7	92,5	105,9	123,6	137,1	150,7	123,56
19	59,3	79,9	93,9	107,5	125,4	139,1	153,0	125,42
20	60,1	81,0	95,2	109,0	127,2	141,1	155,2	127,21
21	60,9	82,1	96,5	110,5	128,9	143,0	157,3	128,94
22	61,7	83,2	97,7	111,9	130,6	144,9	159,3	130,61
23	62,5	84,2	98,9	113,3	132,2	146,7	161,3	132,22
24	63,2	85,2	100,1	114,6	133,8	148,4	163,2	133,78

### Linee segnatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), calcolate per l'area di progetto

Per determinare la precipitazione critica sulla superficie scolante è stato quindi applicato il modello di previsione statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata messo a punto da ARPA Lombardia.

Il modello permette di calcolare le linee segnatrici di probabilità pluviometrica in ogni punto del territorio utilizzando lo specifico software GIS messo a punto dall'Agenzia.

Tra i vantaggi dell'applicazione del metodo vi è l'aggiornamento continuo dei dati pluviometrici mediante la rete di stazioni idro-termo-pluviometriche gestite da ARPA. I dati tengono conto delle serie storiche aggiornate alla data attuale. Il modello si basa sull'applicazione della seguente equazione:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Che, previa parametrizzazione per la zona oggetto di studio (Zona Industriale “Noce” del Comune di Brescia) porta alla curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno (Tr) di 50 anni caratterizzata dai seguenti valori:

$a_1$ - Coefficiente pluviometrico orario	28,12
$n$ - Coefficiente di scala	0,2762
GEV - parametro alpha	0,2811
GEV - parametro kappa	-0,0226
GEV - parametro epsilon	0,8311
$w_T$ (per $Tr=50$ anni)	1,977750

Con  $n = n_1 = 0,5$  per durate  $D < 1$  ora e  $n = n_2 = 0,2762$  per durate  $D \geq 1$  ora.

Per l'analisi della precipitazione critica è stato considerato un evento della durata di 15' in accordo con le analisi degli eventi estremi effettuate generalmente in ambito lombardo.

L'equazione utilizzata è quindi la seguente:

$$a_1 w_T = 28,12 \times 1,977750 = 55,614$$

$$t = 0,25; n = n_1 = 0,5 \text{ (valore stabilito per tempi inferiori all'ora nel RR n.7/2017)}$$

La curva considerata è in definitiva la seguente:

$$h = 55,614 \times t^{0,5}$$

L'evento è stato simulato mediante un software di analisi idrologica, simulando un ietogramma di tipo “Chicago”. Il tempo di corrivazione adottato è pari a 5 minuti.

A partire dalle precipitazioni di progetto, sono state valutate le perdite idrologiche per il calcolo dell'ietogramma netto di piena.

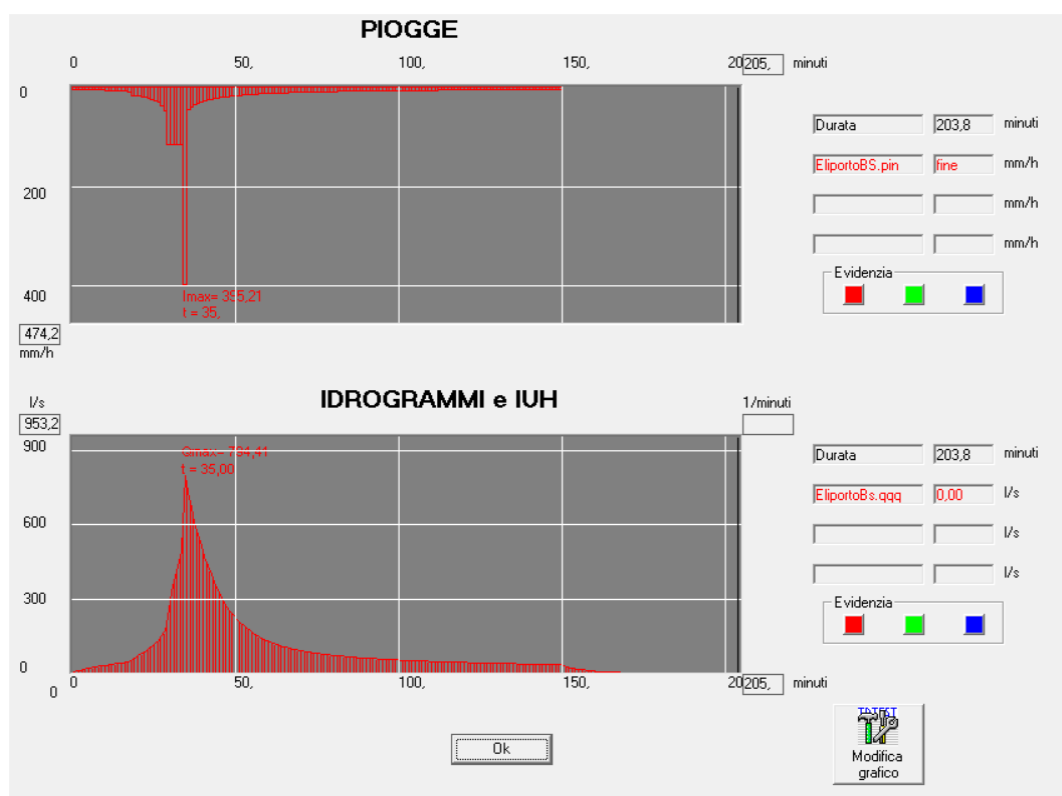
Tale valutazione è stata eseguita in via semplificata adottando i valori standard del coefficiente di deflusso  $\Phi$  indicati dall'art. 11 del RR 7/2017:

- *pari a 1 per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture, tetti verdi e giardini pensili sovrapposti a solette comunque costituite e pavimentazioni continue quali strade, vialetti, parcheggi;*
- *pari a 0,7 per le pavimentazioni drenanti o semipermeabili, quali strade, vialetti, parcheggi;*
- *pari a 0,3 per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo.*

Superficie totale	Superfici coperte (tetti e piazzali)	Viabilità pubblica/privata	Superfici semi-permeabili (camminamenti, parcheggi semipermeabili)	Superficie non scolante (aree verdi)
m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
24.840	10.595	---	---	14.245
	$\Phi=1$	$\Phi=1$	$\Phi=0,7$	$\Phi=0,3$
14.868,5	10.595	---	---	4.273,5

Risultando il coefficiente medio ponderale pari a 0,5986 e una superficie scolante impermeabile equivalente pari a circa 14.868,5 m<sup>2</sup>.

In applicazione di quanto sopra esplicitato, sono stati ottenuti i seguenti ietogramma/idrogramma di piena che portano alla determinazione della portata al colmo Q<sub>MAX</sub> pari a circa 794,5 l/s:



Ietogramma e Idrogramma calcolati per l'area di progetto

Essendo  $u_{lim} = 10 \text{ l/sHa}_{imp}$  per ettaro di superficie scolante impermeabile interessata dall'intervento, il rispetto della portata limite ammissibile complessiva eventualmente recapitabile in corpo idrico è pari a:



$$Q_{inv} = 2,5 \text{ Ha} \times 0,5986 \times 10 \text{ l/sHa}_{imp} = 14,965 \text{ l/s}$$

I requisiti minimi, di cui all'art. 12 comma 2 del RR n.7/2017 impongono, per le aree ad alta criticità, un valore minimo di invaso pari a 800 mc per ogni ettaro di superficie impermeabile scolante dell'intervento, con eventuale applicazione del coefficiente riduttivo P (laddove applicabile).

Applicando preventivamente tale valore minimo al caso in esame risulta:

$$W_{min} = 800 \text{ m}^3/\text{Ha}_{imp} \times 0,8 \times 2,5 \text{ Ha} \times 0,5986 \approx 960 \text{ mc}$$

Il tempo di svuotamento del volume laminato deve essere, ai sensi dell'art. 11 comma f ed All. G del RR n. 7/2017, inferiore a 48 ore.

Il calcolo viene così eseguito:

$$T_{sv} = W / (Q_{inf} + Q_{inv})$$

con il seguente significato dei simboli:

$T_{sv}$  = tempo di svuotamento

W = volume invasato

$Q_{inf}$  = portata di infiltrazione

$Q_{inv}$  = portata che, per invarianza idraulica, è ancora possibile scaricare nel ricettore di valle.

Il calcolo della portata di infiltrazione viene calcolato, in via approssimativa, con la legge di Darcy, così definita:

$$Q_{inf} = k \times i \times A$$

Dove:

k = coefficiente di permeabilità (m/s)

i = gradiente idraulico (m/m); si è posto preliminarmente pari ad 1

A = superficie disperdente (mq).

Considerando: in prima battuta e in termini cautelativi, una superficie totale disperdente pari alla sola area di fondo (e non anche delle sponde) e quantificando quest'ultima in 1.000 m<sup>2</sup>; il coefficiente di permeabilità adottato, in base alla litologia della zona (sulla base di dati bibliografici e delle indicazioni propedeutiche date dai geologi incaricati, pur nelle more della definizione di dettaglio), considerata pari a  $k = 10^{-4}/10^{-5}$  m/s.

Risulta  $Q_{inf} \approx 10/100 \text{ l/s}$  (cautelativamente in questa fase si considera 10 l/s)

La portata che può essere ancora ipoteticamente scaricata nel ricettore di valle è quella calcolata in precedenza e pari a  $Q_{inv} = 14,965 \text{ l/s}$

Pertanto, il tempo di svuotamento è:

$$T_{sv} = 960.000 / (10+14,965) / 3.600 \approx 10,7 \text{ ore} < 48 \text{ ore (rispettato il limite)}$$

Ovviamente la portata  $Q_{inv}$  dovrà essere sollevata meccanicamente.

Nelle suddette condizioni cautelative (rivalutabili acquisito il valore sito specifico del coefficiente  $k$ ), è peraltro possibile ricorrere solamente all'infiltrazione poiché il tempo di svuotamento sarebbe infatti:

$$T_{sv} = 960.000 / 10 / 3.600 \approx 26,7 \text{ ore} < 48 \text{ ore (rispettato il limite)}$$

Ogni ulteriore approfondimento non potrà prescindere dall'acquisizione del coefficiente di permeabilità sito specifico.

A partire da tali quantificazioni e considerazioni, nelle fasi progettuali successive in cui verrà data forma e dettaglio alla proposta di intervento edificatorio (passando dalla scala urbanistica a quella edilizio-realizzativa), potranno essere individuate e dimensionate tutte le opere utili al rispetto dei criteri di invarianza idraulica e idrologica previsti dal RR 7/2017.

Nei capitoli successivi si riportano alcune considerazioni e aspetti tecnici ritenuti da approfondire nelle successive fasi progettuali in merito al processo di infiltrazione e a possibili interventi da porre in atto per sfruttarne l'utilità.

## **7. ASPETTI TECNICI DA APPROFONDIRE NELLE SUCCESSIVE FASI PROGETTUALI**

### **7.1. Possibili metodi di calcolo del processo di infiltrazione**

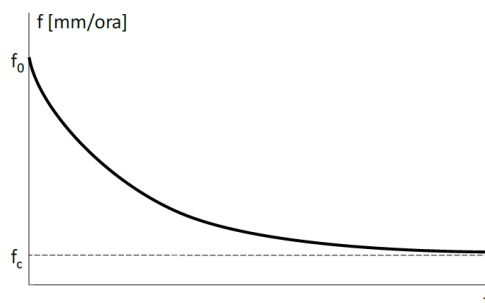
L'infiltrazione  $f(t)$  è definita come la portata per unità di superficie che all'istante  $t$  si infiltra nel sottosuolo ed è misurata, generalmente, in mm/ora in analogia all'intensità di pioggia.

Ferma restando la possibilità di adottare i metodi di calcolo indicati nella letteratura tecnica che si ritengono adeguati, una classe di modelli di infiltrazione particolarmente importante è quella dei cosiddetti modelli di Horton che, in base a numerose risultanze sperimentali, individua una legge decrescente di tipo esponenziale per rappresentare l'andamento nel tempo dell'infiltrazione  $f(t)$  (figura che segue). Tale legge esponenziale indica che l'infiltrazione decresce da un valore massimo iniziale  $f_0$ , che è legato al tipo di suolo ed al suo stato di imbibizione all'inizio dell'evento, ad un valore minimo asintotico  $f_c$ , che eguaglia la conduttività idraulica a saturazione  $K_s$ , la quale è legata alle caratteristiche di porosità del terreno, alla stratigrafia del sottosuolo, alla presenza e distanza dalla falda. La rapidità dell'esponenziale con cui l'infiltrazione tende al valore asintotico è anch'essa legata al tipo di suolo. L'andamento esponenziale risponde bene all'osservazione sperimentale che mostra come durante il processo di infiltrazione il suolo sia soggetto ad un progressivo fenomeno di saturazione che limita progressivamente il valore dell'infiltrazione.

È da sottolineare che l'infiltrazione segue tale andamento esponenziale quando la superficie di infiltrazione è alimentata da acqua in misura sovrabbondante rispetto all'infiltrazione stessa; in tal caso essa rappresenta propriamente la "capacità di infiltrazione" essendo commisurata al valore massimo a cui può arrivare l'infiltrazione istante per istante. Se, invece, l'adacquamento è minore della capacità di infiltrazione, cioè il suolo presenta nell'istante considerato una capacità di infiltrazione maggiore della portata idrica in arrivo sulla superficie, l'infiltrazione non può che assorbire la portata d'acqua disponibile mantenendosi quindi ad un valore minore della capacità di infiltrazione.

Prudenzialmente, quindi, nei calcoli di dimensionamento delle opere di infiltrazione è

opportuno riferirsi al valore minimo asintotico  $f_c$  che residua dopo che sia sostanzialmente terminato il processo di saturazione del suolo. Tanto più che l'evento meteorico intenso può avvenire dopo piogge che hanno già contribuito a saturare il suolo.



**Legge di Horton. Andamenti della capacità di infiltrazione in presenza di sovrabbondanza di acqua sulla superficie disperdente**

Per quanto riguarda i valori da attribuire ai parametri della legge di Horton, lo statunitense Soil Conservation Service (SCS) [1956], ora Natural Resources Conservation Service, propone le seguenti quattro classi (A, B, C e D) di suoli con copertura erbosa:

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

Classe suolo	$f_0$ [mm/ora]	$f_c$ [mm/ora]	$k$ [ore-1]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

**Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956]**

Come si vede la capacità di infiltrazione a lungo termine  $f_c$  varia per i diversi tipi di suolo tra circa 20 mm/ora e circa 2 mm/ora, valori che, cambiando unità di misura (1,0 mm/ora = 2,778 l/(sHa)), corrispondono rispettivamente a portate di infiltrazione di circa 55 l/(sHa) e circa 5,5 l/(sHa).

Se, quindi, sulla base dei dati sopra riportati, si considera che una pioggia intensa di elevato tempo di ritorno può raggiungere durante la fase di picco intensità anche maggiori di 200 mm/ora, si può subito comprendere come l'infiltrazione, a parità di superficie investita dalla pioggia e di infiltrazione, sia atta ad disperdere al più 1/10 della punta di portata di pioggia in arrivo, per i suoli più permeabili di classe A, e al più 1/100 della punta di portata di pioggia in

arrivo, per i suoli meno permeabili di classe D.

Pertanto, come ordine di grandezza, data una determinata superficie impermeabile  $S_{imp}$ , per disperdere con l'infiltrazione l'intera portata di pioggia di arrivo, occorre convogliare la pioggia raccolta su una superficie disperdente pari al minimo a 10 volte la superficie  $S_{imp}$ , per i suoli più permeabili di classe A, e al minimo 100 volte la superficie  $S_{imp}$ , per i suoli meno permeabili di classe D.

Da ciò emerge come le prestazioni dei terreni di origine naturale siano, generalmente, inadeguate in termini di capacità di infiltrazione delle punte massime di pioggia. Pertanto, tutti i sistemi di infiltrazione (cunette, aree di laminazione/infiltrazione, pozzi perdenti, ecc.) devono essere adeguatamente e attentamente progettati, in funzione delle caratteristiche proprie dei suoli esistenti (alle diverse profondità di progetto) e secondo le indicazioni di letteratura, in termini di progettazione degli opportuni strati filtranti.

Tutto ciò implica che l'infiltrazione, che, come più volte affermato, è comunque sempre auspicabile in relazione alle finalità di riequilibrio idrologico dei bacini urbanizzati, sempre che non sussistano le prima citate cause di esclusione, debba essere accompagnata nella maggioranza dei casi da opere di laminazione che consentano di accumulare temporaneamente le portate pluviali degli eventi intensi che non riescono ad essere scaricate per infiltrazione.

Naturalmente il dimensionamento delle strutture di infiltrazione deve discendere da un progetto idraulico dettagliato e specifico basato sui dati effettivi del sito di interesse (fasi progettuali successive a quella urbanistica oggetto del presente studio a supporto della valutazione ambientale del PII).

È necessario tener conto che, oltre alla natura del suolo e degli eventuali dreni artificiali, ulteriori fatti possono limitare anche notevolmente, o addirittura azzerare nel tempo, la capacità limite di infiltrazione  $f_c$ :

- presenza di una falda o di strati impermeabili a debole profondità;
- progressiva riduzione della capacità di infiltrazione causata dall'occlusione indotta dalle sostanze solide trasportate dalle acque meteoriche e dallo sviluppo di biomasse adese alle particelle del terreno.

La riduzione della capacità di infiltrazione può infatti giungere a limitare o vanificare rapidamente gli effetti favorevoli riscontrati nelle prime fasi di vita delle strutture di infiltrazione. Inoltre il ripristino della primitiva capacità di infiltrazione può risultare molto difficile, soprattutto se le strutture di infiltrazione sono a carico del singolo lotto e quindi molto diffuse, di piccola dimensione e di gestione caratterizzata da scarsa affidabilità.

È inoltre da aggiungere che l'infiltrazione di acque meteoriche contenenti carichi inquinanti è da considerarsi inaccettabile. Infatti l'inquinamento del sottosuolo o di un acquifero sotterraneo può costituire un danno ambientale definitivo o che comunque si ripercuote per molti decenni in futuro, data la grande durata richiesta dai fenomeni idrogeologici di ricambio. Se quindi il territorio oggetto di possibile infiltrazione è caratterizzato da attività producenti rilasci sulle superfici pavimentate di metalli pesanti e sostanze tossiche bioaccumulanti, l'infiltrazione non dovrebbe essere adottata, a meno di installare anche sistemi fisici o biochimici di depurazione a monte dell'ingresso nelle strutture di infiltrazione. Ma ciò ovviamente moltiplica i costi di infrastrutturazione e gestione.

È bene osservare che lo strato filtrante della struttura adibita all'infiltrazione, così come anche lo strato superficiale di terreno in caso di aree verdi filtranti, è in grado di trattenere una quantità significativa di inquinanti per adsorbimento. E' quindi importante che da un lato si esalti al massimo questo fenomeno modificando opportunamente le caratteristiche dello strato

filtrante, dall'altro si deve rinnovare periodicamente (indicativamente almeno una volta ogni 10 anni) lo strato filtrante per minimizzare il rischio che gli inquinanti trattenuti siano rimobilizzati e quindi rilasciati in falda.

Evidentemente l'analisi economica deve essere condotta caso per caso in funzione delle caratteristiche idrogeologiche e idrauliche locali per valutare sia l'effettivo beneficio conseguibile con l'infiltrazione sia l'affidabilità nel tempo.

Il Piano di manutenzione ordinaria e straordinaria costituisce lo strumento operativo fondamentale per consentire al titolare dell'insediamento o al suo gestore di programmare l'esercizio e gestione delle strutture di infiltrazione e della loro durabilità ed efficacia nel tempo.

## ***7.2. Sistemi di controllo e gestione delle acque pluviali delle superfici scolanti soggette alle misure di invarianza idraulica e idrologica***

L'infiltrazione rappresenta, se la situazione idrogeologica locale lo consente, un'utile e opportuna modalità di smaltimento delle acque pluviali. Peraltro, poiché nella generalità dei casi la capacità di infiltrazione dei suoli è inferiore, talora in modo significativo, rispetto all'intensità delle piogge più intense, il contenimento delle portate allo scarico richiede necessariamente la trattenuta temporanea delle acque pluviali in eccesso rispetto all'infiltrazione in invasi di laminazione.

La vasta possibilità di configurare tali invasi con differenti tipologie consente di individuare soluzioni tecnicamente fattibili e di costo percentualmente contenuto, rispetto al costo complessivo dell'intervento, qualora tali capacità di invaso siano attentamente previste in fase di progetto.

Lo smaltimento dei volumi invasati, nel rispetto dei valori limite ammissibili di portata più oltre indicati, deve avvenire secondo il seguente ordine di priorità:

- mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità (es. innaffiamento giardini, acque grigie, lavaggio pavimentazioni e auto, ecc.);
- mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio. L'infiltrazione induce così alla riduzione degli effetti dell'impermeabilizzazione anche in termini di rispetto del principio di invarianza idrologica;
- scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale o reticolo di bonifica, con i limiti di portata più oltre indicati e assoggettati al controllo dell'Autorità idraulica competente;
- scarico in fognatura, con i limiti di portata più oltre indicati.

## ***7.3. Individuazione e progettazione delle possibili opere di infiltrazione***

### ***7.3.1. Generalità***

Le opere strutturali più diffuse che incentivano lo smaltimento per infiltrazione nel terreno di una parte dei deflussi meteorici sono le seguenti:

- trincee di infiltrazione,
- pozzi drenanti,
- bacini di infiltrazione,
- pavimentazioni permeabili,

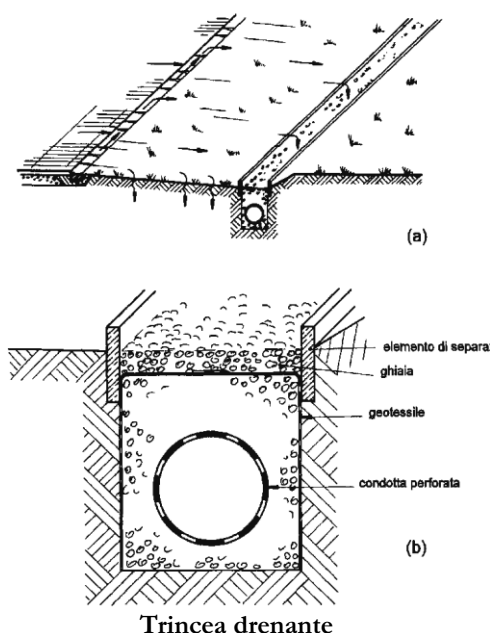
- caditoie filtranti

### 7.3.2. Trincee d'infiltrazione

La trincea d'infiltrazione (figura che segue) può descriversi, schematicamente, come uno scavo lungo e profondo (generalmente la profondità è compresa tra 1 e 3 metri) riempito con materiale ad alta conduttività idraulica, ad esempio ghiaia o ghiaietto. La trincea viene generalmente costruita in corrispondenza di una cunetta ribassata rispetto al terreno da drenare, così che il deflusso superficiale si accumula temporaneamente all'interno della trincea e gradualmente si infila nel terreno circostante attraverso le superfici laterali e il fondo.

Ogni trincea viene generalmente dotata di una condotta forata centrale, del diametro minimo DN200, che, oltre a costituire un significativo volume di laminazione, ha la funzione di distribuire omogeneamente le acque lungo tutta la trincea e di condurre le acque non infiltrate alla rete di scarico. Attraverso tale condotta è pure possibile operare interventi di pulizia o manutenzione straordinaria della trincea stessa.

Per mantenere più a lungo possibile le caratteristiche idrauliche della trincea, è sempre opportuno installare a monte delle trincee dei pre-trattamenti per la rimozione del particolato sottile al fine di evitare problemi di ostruzione della struttura.



Le trincee possono essere allocate in superficie o nel sottosuolo: quelle in superficie ricevono il deflusso superficiale direttamente dalle aree adiacenti mentre quelle nel sottosuolo possono ricevere il deflusso da altre reti drenanti, ma richiedono l'utilizzo di ulteriori pre-trattamenti per impedire che particolato grossolano, terreno e foglie occludano la struttura.

In figura che segue è possibile osservare una tipica trincea d'infiltrazione. Essa è costituita da uno scavo nel quale sono posti tre strati di terreno:

- 1 il primo, partendo dall'alto, è uno strato che ha buone qualità relativamente alla crescita della vegetazione. Si evidenzia, a proposito, un aspetto molto importante: la vegetazione, nelle trincee e, generalmente, nelle aree di infiltrazione, è fondamentale non solo per

- garantire l'aspetto estetico, ma anche per la rimozione dei nutrienti e la fitodepurazione delle acque e, non ultimo, perché migliora la permeabilità del suolo;
- 2 il secondo (opzionale), sabbioso, ha buone caratteristiche filtranti;
  - 3 il terzo è costituito da ghiaia o materiale naturale di elevata permeabilità per l'accumulo temporaneo d'acqua piovana.

I tre strati prima detti sono caratterizzati inoltre dall'aver conduttività idraulica crescente dall'alto verso il basso. Al contorno dello strato di detenzione è, generalmente, collocato un tessuto permeabile (geotessuto) che ostacola l'ingresso delle particelle fini all'interno del sistema.

Nella parte superiore dello strato ad alta permeabilità si può trovare un tubo forato d'imbocco (avente diametro di 100÷150mm) che favorisce sia un'infiltrazione più uniforme sia la raccolta del flusso d'acqua piovana derivante da altre strutture.

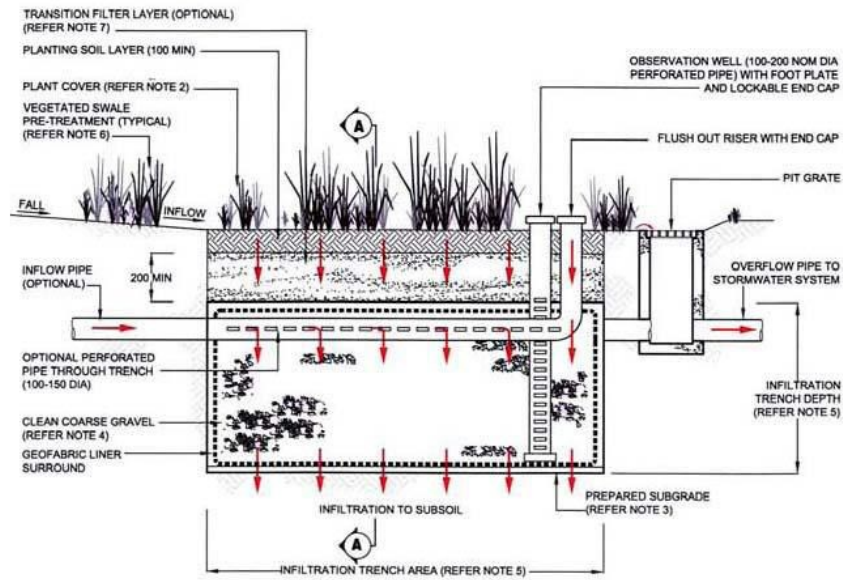
In superficie si installa uno scarico di troppo pieno munito di pozzo d'osservazione, utile ad allontanare l'acqua in eccesso che provocherebbe inondazione in superficie.

Infine, nella trincea si colloca una condotta verticale forata, avente un diametro di circa 100÷200mm e munita di coperchio in superficie, allo scopo di osservare in ogni momento il livello idrico nello strato di base.

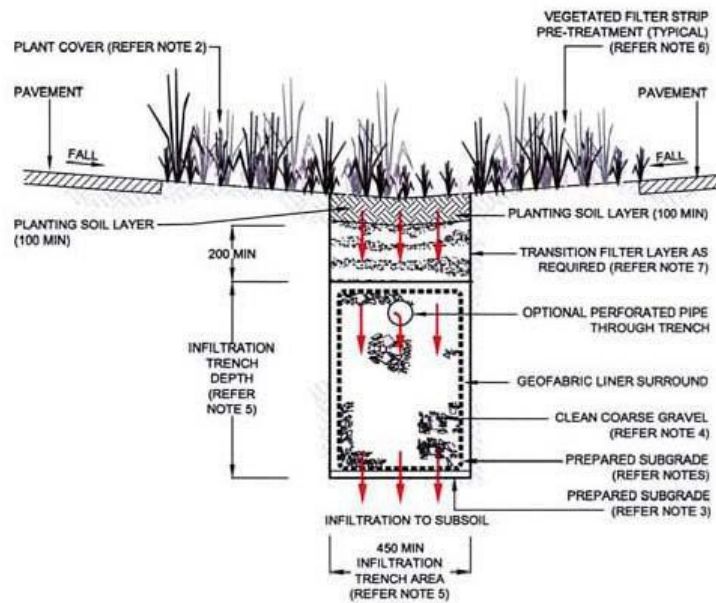
Per quel che riguarda il materiale di riempimento dello strato di base della struttura, può essere convenzionale (es. granito frantumato) ovvero non convenzionale (es. gabbie modulari in materiale plastico che a parità di volume di scavo garantiscono un maggiore volume dei vuoti). Nel primo caso il diametro massimo degli aggregati non deve eccedere i 40÷80 mm, il volume dei vuoti del riempimento deve aggirarsi intorno il 30-40% e l'intero strato di riempimento è circondato da un tessuto filtrante.

La pendenza in superficie della trincea d'infiltrazione deve essere inferiore al 5%, mentre è consigliabile che quella del fondo sia prossima a zero per evitare che il liquido trovi delle traiettorie preferenziali d'infiltrazione.

Tra i vantaggi delle trincee vi sono la possibilità di essere posizionate al di sotto della superficie del terreno (installazione sotto le zone di parcheggio) e la richiesta di spazi ridotti, fatto che le rende idonee alle zone urbane. Tra gli svantaggi vi sono gli elevati costi di costruzione e manutenzione e la possibilità di intasamento.



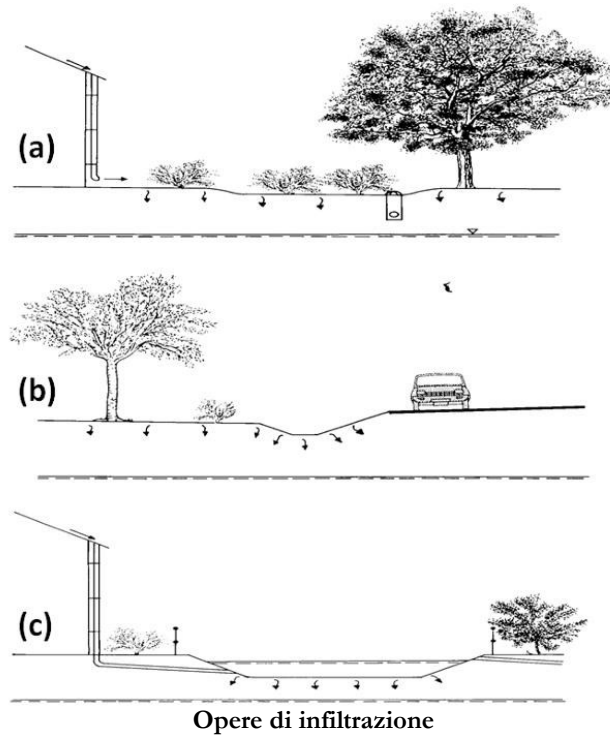
**LONGITUDINAL SECTION**



**SECTION A - A**

Trincea d'infiltrazione (Technical Guidelines for Western Sydney 2004)



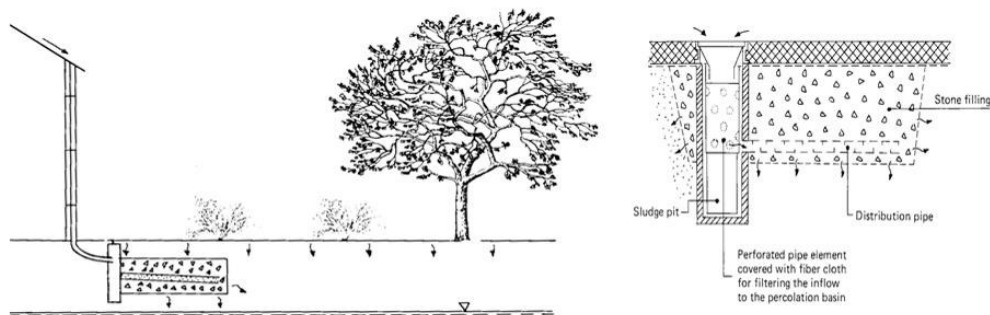


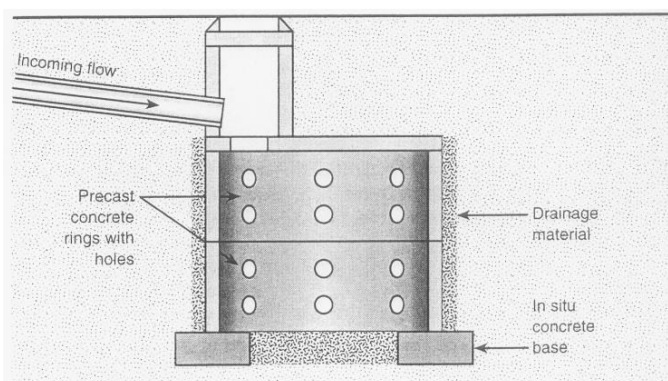
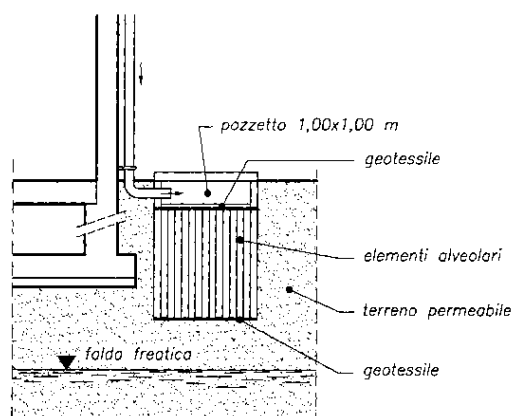
### 7.3.3. Pozzi d'infiltrazione

I pozzi d'infiltrazione sono delle strutture sotterranee localizzate, utilizzate principalmente per raccogliere ed infiltrare le acque di pioggia provenienti dai tetti di edifici residenziali e commerciali e/o dai piazzali (mentre, come visto, le trincee di infiltrazione sono preferibilmente utilizzate nelle strutture lineari).

I pluviali, per esempio, possono essere estesi fino al pozzo (figura che segue), che deve essere posizionato a distanza adeguata (almeno 3 metri) dalle fondamenta degli edifici.

La struttura esterna è generalmente prevista in materiale rigido (per esempio in cemento), mentre l'interno viene riempito con materiale inerte (ghiaia) con una porosità di almeno il 30%. I pozzi perdenti sono preferibilmente dotati di ispezione al fine di garantirne la manutenzione e le prestazioni nel tempo.





**Esempi di pozzi d'infiltrazione**

Anche per i pozzi d'infiltrazione può essere necessario prevedere l'inserimento di pre-trattamenti per l'intercettazione di sedimenti ed oli che possono ostruire la struttura. È opportuno inserire nelle grondaie dei filtri al fine di intrappolare particelle, foglie ed altri detriti.

Esistono anche in commercio dei piccoli manufatti che si inseriscono nelle grondaie e consentono il transito dell'acqua e l'espulsione delle foglie.

#### 7.3.4. Bacini e vasche d'infiltrazione

Le vasche e i bacini d'infiltrazione sono degli invasi a fondo permeabile.

I primi hanno generalmente i muri di contenimento in calcestruzzo e possono essere strutture anche sotterranee, mentre i secondi sono ricavati da depressioni naturali o artificiali nel terreno, quindi sempre a cielo aperto.

In entrambi i casi è indispensabile la formazione di una capacità di accumulo, come volano tra l'idrogramma di piena in arrivo e il regime delle portate infiltrate.

Nei bacini d'infiltrazione, in genere le pareti e il fondo del bacino sono ricoperte da un tappeto erboso, al fine sia di stabilizzare queste aree sia di esercitare un'azione filtrante per rimuovere le sostanze inquinanti presenti nelle acque di pioggia, come nutrienti e metalli disciolti. Inoltre, le radici vegetali possono aumentare la capacità di infiltrazione di un terreno poiché creano nello stesso dei condotti preferenziali in cui l'acqua si infiltra.

In generale i bacini d'infiltrazione sono pensati e dimensionati per servire aree di estensione limitata. L'ordine di grandezza dell'area servita generalmente indicato in letteratura è inferiore a 8.000 m<sup>2</sup>.

La profondità del bacino viene calcolata tenendo conto di un tempo massimo di ritenzione

dell'acqua nel bacino stesso, usualmente posto inferiore alle 72 ore. Ordinariamente la profondità media di un bacino di ritenzione non dovrebbe superare 60 centimetri.

Il fondo del bacino dovrebbe essere il più orizzontale possibile (per favorire una infiltrazione omogenea ed evitare percorsi preferenziali), mentre le pareti dovrebbero avere una pendenza non maggiore di 3H:1V non solo per consentire la stabilizzazione delle piante, ma anche per garantire una maggiore sicurezza e per facilitare l'accesso. La lunghezza e la larghezza del bacino dovrebbero essere determinate in funzione delle caratteristiche del sito, ma in generale il loro rapporto dovrebbe essere 3:1 o superiore.

Uno dei problemi principali e delle critiche mosse a queste strutture è il rischio di inquinamento della falda. Se le acque di pioggia contengono elevate quantità di inquinanti, per esempio acque provenienti da siti industriali, i bacini d'infiltrazione non dovrebbero essere utilizzati, oppure dovrebbero essere preceduti da opportuni pre-trattamenti (come filtri o disoleatori). In ogni caso, è opportuno collocare il fondo del bacino a distanza di sicurezza dal livello massimo della falda. Devono, inoltre, essere rispettati i vincoli di rispetto delle aree di salvaguardia (pozzi, aree di ricarica della falda, ecc.) indicati nella normativa.

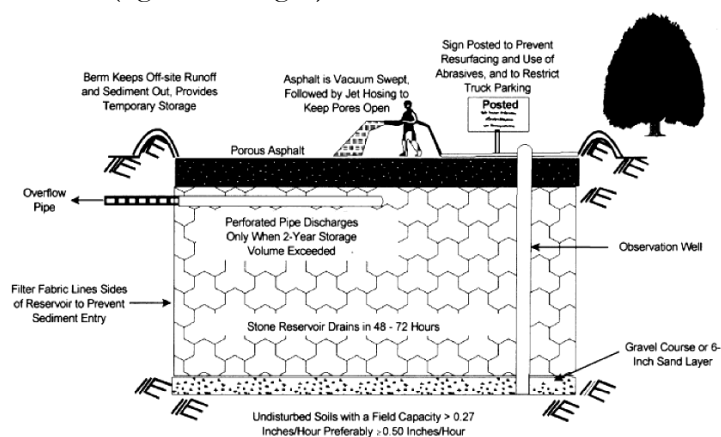
Anche con riferimento alle strutture (edifici) esistenti o in progetto, è bene collocare il bacino a distanza di sicurezza (indicativamente almeno pari ad un rapporto pari 1:1 tra la distanza dal piano seminterrato o interrato dell'edificio più vicino e il dislivello tra fondo vasca e quota dello stesso piano), per evitare problemi di infiltrazioni e conseguenti danni ai materiali.

Tra i rischi di errato dimensionamento o mancanza di manutenzione di queste strutture, vi è la possibilità di mal funzionamento dovuto a terreno inadatto o ad intasamento, che possono portare a produzione di cattivi odori e al proliferare di insetti (zanzare, moscerini).

Per quanto riguarda la manutenzione, occorre provvedere alla rimozione regolare di foglie e detriti e nel prevedere una frequente potatura delle piante, degli arbusti e della vegetazione in genere. Occorre inoltre prevedere ogni 5÷10 anni di dissodare il terreno, in modo da rinnovarne lo strato superficiale.

### 7.3.5. Pavimentazioni permeabili

Le pavimentazioni permeabili sono una valida alternativa ai convenzionali lastricati di marciapiedi o zone pedonali che si propone di ridurre le superfici impermeabili e, conseguentemente, di minimizzare il deflusso superficiale. Evitano in questo modo che il deflusso superficiale si riversi all'interno del sistema di raccolta, lasciando che penetri direttamente nel sottosuolo (figura che segue).



Schema di una pavimentazione permeabile (US EPA, 1998)

Esistono due tipi di pavimentazioni permeabili: porose e permeabili.

Lo strato superficiale della pavimentazione porosa è realizzato usando elementi prefabbricati che permettono l'immediata infiltrazione di acqua di pioggia nella struttura sottostante la superficie. I materiali utilizzati per le pavimentazioni porose possono essere: asfalto poroso e calcestruzzo poroso. La pavimentazione in asfalto poroso consiste in materiale inerte grossolano legato con cemento, con un sufficiente grado di vuoti comunicanti, che lo rendono estremamente permeabile all'acqua. Il calcestruzzo poroso è composto da una miscela costituita da cemento Portland, materiale inerte grossolano e acqua.

Le pavimentazioni permeabili, invece, sono costituite da materiali che non sono porosi, ma che creano un ingresso sulla superficie attraverso il quale l'acqua piovana penetra nella struttura sottostante. Un esempio sono i blocchi di calcestruzzo ed erba che formano una griglia di vuoti circondati da calcestruzzo compresso e offrono uno spazio di circa l'80% della superficie complessiva per far crescere l'erba e far infiltrare l'acqua.

Il vantaggio che le pavimentazioni permeabili presentano rispetto alle porose è in fase di ricostruzione per perdita di funzionalità. Per le prime, i mattoni o moduli permeabili sono rimossi, puliti e riutilizzati, riducendo così i costi di ricostruzione, per le seconde, invece, l'asfalto è rimosso e non più utilizzabile.

Sempre in fase di rifacimento il letto di ghiaia e il tessuto filtrante sono sostituiti, mentre lo strato di base è ripristinato.

Le pavimentazioni permeabili sono collocate sopra una struttura riempita di ghiaia molto permeabile in modo che i vuoti fungano da bacino di accumulo del deflusso. Un filtro in tessuto è posto sotto il riempimento, in modo da evitare che le sottili particelle di terreno entrino nella struttura provocandone l'ostruzione.

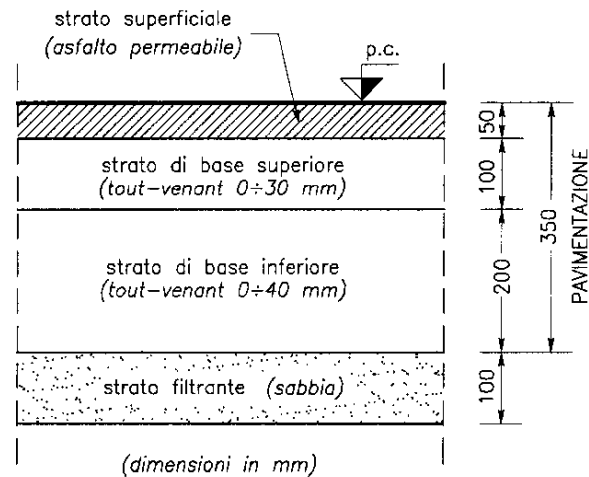
In ogni caso le pavimentazioni sia permeabili che non, possono essere sagomate in modo da consentire la raccolta e laminazione anche parziale delle acque, prima dell'immissione nel sistema di drenaggio.

Le pavimentazioni permeabili potrebbero sostituire le tradizionali pavimentazioni nelle aree di parcheggio o nelle zone con traffico leggero, in quanto tali strutture presentano una scarsa resistenza meccanica. Il terreno dovrebbe essere pianeggiante o comunque con pendenze molto ridotte.

Nel progettare questo tipo di strutture è necessario considerare una serie di fattori come l'efficienza, l'impatto inquinante sul corpo ricettore e la localizzazione di siti adatti.

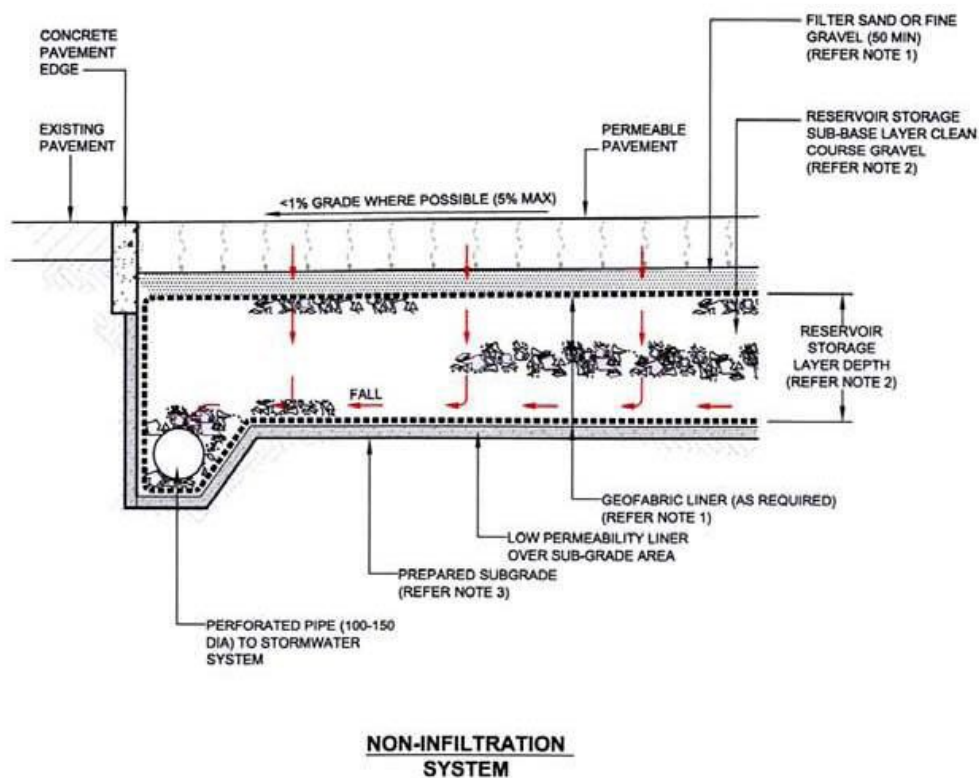
Bisogna sottolineare che l'efficienza di una pavimentazione permeabile dipende, oltre che dalla corretta esecuzione e manutenzione dello strato più superficiale, dalla tipologia adottata per gli strati sottostanti, posti fra quello più superficiale e il terreno di base. A sua volta, tale tipologia dipende dalla natura del sottosuolo: risulta infatti chiaro che, qualora questo possieda già buone caratteristiche drenanti, tali strati hanno solo la funzione di vettori delle portate infiltrate e di eventuale filtro nei confronti degli inquinanti da queste veicolate; invece, qualora non sussistano le garanzie di permeabilità del sottosuolo, l'intera pavimentazione assume un ruolo di accumulo, anche se temporaneo, delle acque infiltrate, che vengono gradualmente restituite al sistema drenante di cui la pavimentazione deve essere dotata e che è direttamente collegato alla rete fognaria o al corpo ricettore superficiale.

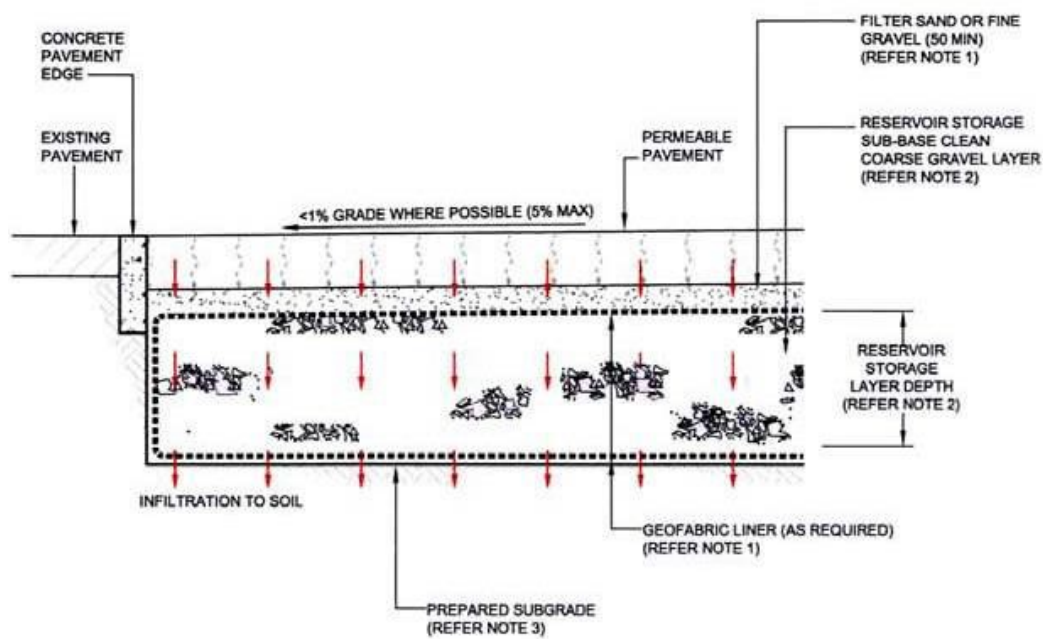
Nella seguente figura, è riportato uno schema di pavimentazione permeabile: da essa si rileva chiaramente l'obiettivo di garantire una sufficiente permeabilità della pavimentazione stessa, grazie a due strati in ghiaia o pietrisco di pezzatura non superiore a 30÷40 mm, oltre che di proteggere il sottosuolo dalla filtrazione di inquinanti, mediante lo strato di sabbia (Watanabe, 1995).



**Esempio di pavimentazione porosa**

Invece nella seguente figura vengono riportati due schemi di pavimentazioni drenanti con due differenti “strutture a serbatoio”, dimensionate al fine di garantire una prefissata capacità di accumulo. la prima struttura prevede uno scarico solamente mediante la rete di drenaggio, la seconda prevede l’infiltrazione. Oltre ai materiali tradizionali (sabbia, ghiaia), possono essere utilizzati anche quelli sintetici, caratterizzati da una percentuale di vuoti superiore al 90%, grazie alla particolare forma a nido d’ape (Balades e altri, 1995).

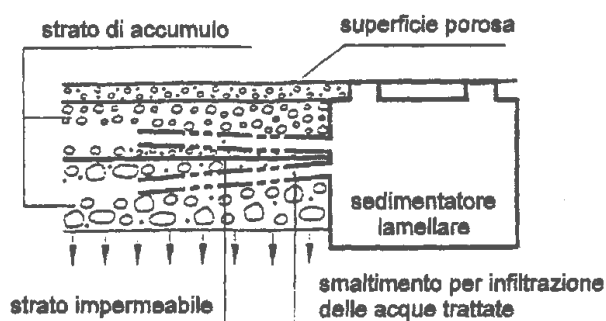




**INFILTRATION  
SYSTEM**

Schema di pavimentazioni drenanti con due diversi tipi di drenaggio

Nel caso in cui si voglia proteggere il sottosuolo dalla propagazione di inquinanti, e in particolar modo dai pericoli di occlusione prodotta dalla presenza di eccessive concentrazioni di solidi sospesi nelle acque infiltrate, si può ricorrere alla realizzazione di due strutture serbatoio sovrastanti, in comunicazione mediante due sistemi di dreni collegati da un bacino di sedimentazione, attraverso il quale le acque devono obbligatoriamente passare per raggiungere il serbatoio sottostante (figura che segue) (Balades e altri, 1991).



Esempio di strutture serbatoio con pretrattamento delle acque a monte dell'infiltrazione nel suolo

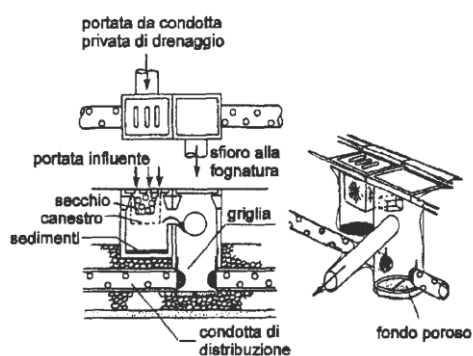
Indagini su campo eseguite in Florida hanno evidenziato che le pavimentazioni filtranti utilizzate nelle aree di parcheggio, se correttamente installate e controllate, continuano ad infiltrare le acque piovane anche dopo 15 anni.

### 7.3.6. Caditoie filtranti

Attraverso l'utilizzo delle caditoie filtranti si cerca di facilitare l'infiltrazione nel suolo delle acque di origine meteorica che si raccolgono sui tetti o sulle superfici stradali (figura che segue).

Le acque accumulate lungo le cunette stradali sono scaricate in caditoie munite di una prima camera finalizzata alla separazione dei solidi grossolani (foglie e inerti); successivamente, le acque passano in una seconda camera, munita di fondo drenante, da cui si diparte la trincea drenante.

L'ingresso in questa è protetto da una griglia, al fine di evitare pericoli di occlusione; anche in questo caso, un tubo centrale consente l'avvio delle acque in fognatura, qualora venga superata la capacità d'infiltrazione del sistema, evitando così il pericolo di allagamenti superficiali. La manutenzione di tali strutture consiste nella rimozione dei materiali grigliati o sedimentati alcune volte l'anno.



**Esempio di caditoia utilizzata per lo smaltimento delle acque provenienti da superfici stradali**

In relazione al dimensionamento delle caditoie si può fare riferimento agli stessi metodi validi per le trincee drenanti.

### 7.3.7. Opere di compensazione idrologica: tetti e pareti verdi

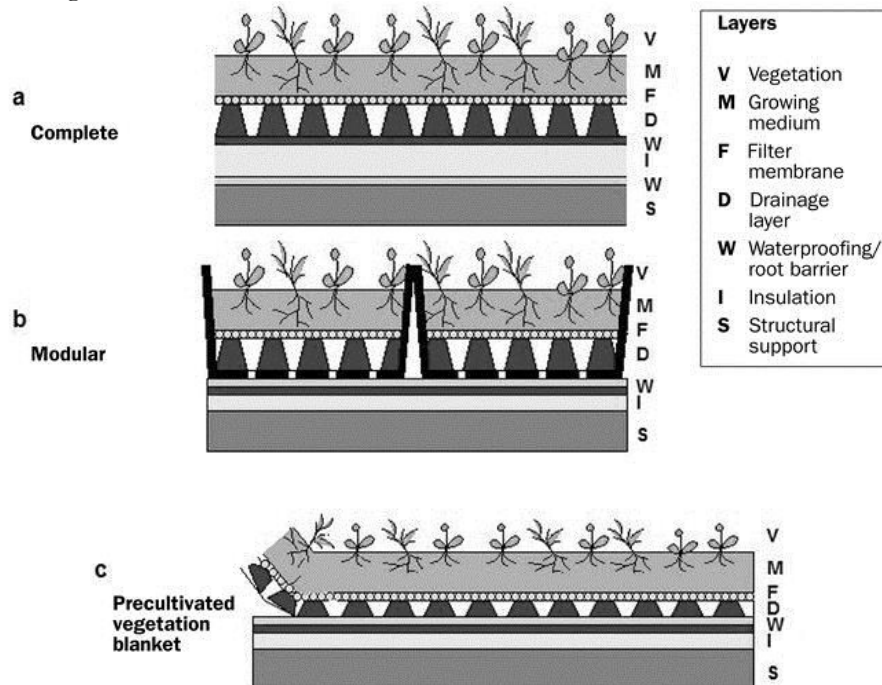
Il verde pensile ed in generale la diffusione di aree verdi in area urbana, si inseriscono a pieno titolo tra gli strumenti di mitigazione e compensazione ambientale, presentando le seguenti utilità:

- riduzione e controllo degli afflussi ai sistemi di drenaggio mediante la ritenzione e la detenzione delle acque meteoriche;
- permettono di contenere l'aumento delle temperature, attraverso l'evapotraspirazione e l'assorbimento della radiazione solare incidente;
- abbattano considerevolmente il ricircolo delle polveri inquinanti, mediante la capacità di assorbimento e trattenuta delle stesse;
- preservano la biodiversità grazie alla creazione di nuovi ambienti di vita per animali e piante;
- mitigano l'inquinamento acustico con la riduzione della riflessione del suono all'esterno e della diffusione all'interno;
- simulano i processi del ciclo dell'acqua, tramite la ritenzione (immagazzinamento e dispersione) del volume di pioggia.

Le diverse tecnologie attualmente impiegate per la realizzazione dei tetti verdi e, in generale, del verde pensile, devono riprodurre, in linea di principio, una stratificazione composta da diversi

elementi, oltre all'elemento di supporto strutturale (soletta, copertura) e all'elemento di tenuta (impermeabilizzazione) che rappresentano la superficie di posa per il verde pensile. Vengono, infatti, generalmente impiegati i seguenti elementi:

1. strato antiradice (integrato o meno) e strato d'accumulo e protezione meccanica;
2. strato drenante;
3. strato filtrante;
4. substrato di vegetazione;
5. accessori (per il drenaggio e l'irrigazione);
6. vegetazione.



*Tecniche costruttive convenzionali di tetto verde estensivo (tratti dall'articolo Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, pubblicato sul sito <http://www.bioone.org> dell'American Institute of Biological Sciences). (a) Impianti completi: ogni componente, compresa la membrana del tetto, viene installato come parte integrante del tetto. (b) Impianti modulari: vassoi di vegetazione coltivata ex situ vengono installati al di sopra del sistema di copertura esistente. (c) strati di vegetazione precoltivata: il terreno di coltura, le piante, stuoie di drenaggio, e le barriere vengono srotolate sulla copertura esistente. Grafica: Jeremy Lundholm*

Alcune indicazioni tecniche possono essere ricavate dal sito dell'EPA (United States Environmental Protection Agency), agenzia governativa statunitense per la protezione dell'ambiente, il cui sito internet risulta molto esaustivo e utile ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)), anche in base alla lunga esperienza in termini di utilizzo di sistemi LID.

Nel sito sono presenti anche utili riferimenti a studi condotti in merito all'efficienza dei tetti. Si riportano qui, in particolare, le conclusioni del seguente studio pubblicato dall'EPA: EPA/600/R-09/026 February, 2009 (Il lavoro è stato svolto dal Penn State Green Roof Center of The Pennsylvania State University at University Park, PA).

Questo progetto ha valutato i tetti verdi come strumento di gestione delle acque piovane, in termini di riduzione del volume scaricato e del controllo degli inquinanti. In particolare, sono stati confrontati: la quantità e la qualità del deflusso dai tetti verdi e asfaltati pianeggianti;



l'evapotraspirazione da tetti verdi piantumati e l'evaporazione da tetti spogli. Sono stati studiati l'influenza del tipo e dello spessore del supporto e l'effetto dei periodi asciutti (e secchi) durante l'impianto del sistema verde, sullo sviluppo delle piante e sulla gestione a lungo termine del pH dei supporti. L'obiettivo del progetto era quello di fornire dati di alta qualità che possano essere utilizzati per fornire indicazioni attendibili di volumi di deflusso e di carichi prevedibili dai tetti verdi, oltre a valutare i fattori di impatto sulla crescita e lo sviluppo delle piante. I risultati indicano che i tetti verdi sono in grado di rimuovere il 50% del volume annuale delle precipitazioni da un tetto attraverso la conservazione e l'evapotraspirazione. La rimanente parte di precipitazione deve essere trattenuta mediante una laminazione. Naturalmente ogni precipitazione reale può generare effetti molto variabili in funzione delle sue caratteristiche in termini di durata, intensità, nonché in funzione dello stato del supporto all'inizio del fenomeno. Si sottolinea anche il fatto che il deflusso dal tetto verde contiene concentrazioni non trascurabili di alcune sostanze nutritive e di altri parametri, ma i valori riscontrati sono in linea con altri sistemi piantumati.