

COMUNE DI CASTIGLIONE D'ADDA

Provincia di Lodi



studio della componente geologica, idrogeologica e sismica della variante generale al Piano di Governo del Territorio

Aggiornamento alle DGR 30 novembre 2011 - n. IX/2616 riguardante la componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, alla DGR del 30 marzo 2016 n. 5001 concernente le funzioni trasferite ai comuni in materia sismica, DGR 6738 del 19 giugno 2017 relativa all'attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza e Regolamenti regionali 23 novembre 2017 - n. 7 e 19 aprile 2019 n. 8 sull'invarianza idraulica e idrologica.

Allegato 3 alla relazione geologica generale

Criteria di applicazione del RR 07 2017 riguardante l'invarianza idraulica,
idrologica e il drenaggio urbano sostenibile

NOVEMBRE 2021

Dott. Angelo Scotti

via Lungo Adda 24 Pizzighettone (Cr)

n° 763 Ordine dei Geologi della Lombardia

1 Analisi delle condizioni pluviometriche a Castiglione d'Adda

1.1 Premessa - art.14 punto 7 lettera a) del RR 07/2017

L'analisi della pluviometria attesa consiste nel determinare, per un dato tempo di ritorno, una stima dell'altezza di pioggia per differenti durate degli eventi. Il tempo di ritorno (TR) è definito come l'intervallo temporale entro cui una certa altezza di precipitazione è eguagliata o superata mediamente una sola volta ed è quindi una misura inversa della frequenza dell'evento. La stima dell'altezza di precipitazione attesa avviene individuando una distribuzione teorica di probabilità che ben si accordi con i valori osservati.

1.2 Dati ed elaborazioni considerati

L'elaborazione attualmente fornita da ARPA con il WebGIS LIRIS all'indirizzo <https://iris.arpalombardia.it/gisINM/login.php>, deriva dal Modello di Previsione Statistica delle Precipitazioni di Forte Intensità e Breve Durata (DIAR-CIMI, Politecnico di Milano 2005) che ha individuato i relativi parametri di distribuzione probabilistica GEV (Generalized Extreme Value) per l'intera Regione Lombardia. Gli elaborati sono esposti mediante una griglia quadrata di 1,5 Km di lato nella quale sono riportati i parametri che in corrispondenza dell'abitato di Castiglione d'Adda presentano i valori qui riferiti

a_1 - Coefficiente pluviometrico orario	26.51
n - Coefficiente di scala	0.2844
GEV - parametro alpha (α)	0.276
GEV - parametro kappa (κ)	-0.068
GEV - parametro epsilon (ϵ)	0.8206

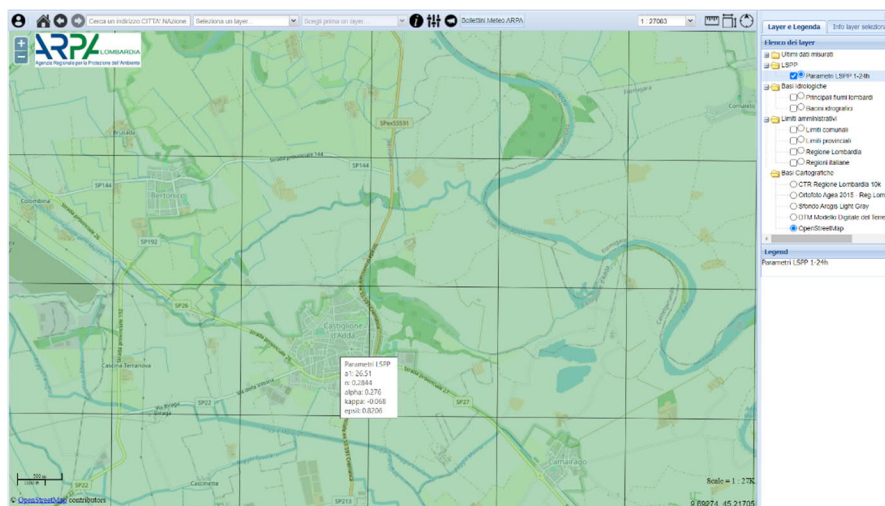


Figura 1: Parametri impiegati per la determinazione di valori di LSP (Linea Segnalatrice di Probabilità Pluviometrica) tratti dal sito ARPA <https://iris.arpalombardia.it/gisINM/login.php>.

Tali valori applicati alle relazioni del modello GEV: $w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$; $h_T(D) = a_1 w_T D^n$

dove T è il tempo di ritorno in anni e D la durata della pioggia in ore, consentono di determinare le curve di probabilità pluviometrica (CPP) a due parametri $h = at^n$ per l'intervalli di durata delle piogge

comprese tra 1 e 24 ore e per differenti tempi di ritorno. In quest'ultima relazione h è l'altezza della pioggia in mm, a è il prodotto $a_1 w_T$, t è il tempo di durata dell'evento piovoso in ore e n il coefficiente di scala.

Fino ai primi mesi del presente del corrente anno erano disponibili sul GIS

<http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml> i dati che consentono la rappresentazione delle curve di probabilità pluviometrica per eventi di durata di 1-5 giorni, ma attualmente le informazioni sono esposte solo in forma tabellare e quindi sono di più scomodo impiego. La questione è però di scarsa rilevanza pratica perché per i progetti che interessano piccoli territori gli eventi critici sono principalmente quelli inferiori all'ora, escludendo il fiume Adda il cui comportamento idraulico è analizzato dai documenti prodotti dall'Autorità di Bacino Distrettuale, che per l'area di Castiglione d'Adda sono sintetizzati nell'allegato 2 del presente studio geologico di PGT.

L'impiego delle relazioni sopra citate è richiesto dal Regolamento (Art.11, comma 2, lettera b), anche se al professionista è data facoltà di assumere valori differenti qualora disponga di dati ufficiali più specifici.

Per gli eventi di durata compresa tra 1 e 24 ore e con tempo di ritorno TR 50 anni, che il regolamento richiede di impiegare per valutare le condizioni locali di rischio di allagamento residuo (Art.11, comma 2, lettera a)), i parametri relativi all'abitato di Castiglione d'Adda sono i seguenti: $a = 54,45$, $n = 0.2844$, mentre quelli dell'area a nord di Cascina Vinzaschina, che è distante dal centro urbano circa 3 Km, sono $a = 54,69$, $n = 0.2825$, che evidenzia differenze sostanzialmente irrilevanti tra le due località in termini di precipitazioni attese. Ad esempio le piogge di 3 ore di durata con TR di 50 anni sono infatti di 74,42 mm per il centro abitato e di 74,60 mm per l'area a nord la Cascina Vinzaschina con una differenza di circa lo 0,3%.

Nella Tabella 1 sono riportati i parametri a ed n per eventi con tempi di ritorno differenti, sempre di durata compresa tra 1 e 24 ore, ottenuti individuando con un foglio di calcolo i parametri delle espressioni di potenza che corrispondono ai valori forniti dal documento ARPA.

TR	a	n	TR	a	n
2	24.47	0.2844	2	24.71	0.2844
5	33.31	"	5	33.61	"
10	39.55	"	10	39.86	"
20	45.35	"	20	45.34	"
50	54.45	"	50	54.69	"
100	61.27	"	100	61.45	"
200	68.40	"	200	68.47	"

Tabella 1: parametri a ed n delle curve di probabilità pluviometrica CPP per i vari tempi di ritorno ottenuti per l'area urbana di Castiglione d'Adda, a sinistra, e per i terreni a nord della cascina Vinzaschina, a destra.

E' importante segnalare che per tempi critici inferiori all'ora, che riguardano principalmente la determinazione delle portate massime scolanti da bacini urbani di dimensioni comprese tra poche centinaia

di mq ed alcune migliaia di mq, il regolamento regionale suggerisce (Allegato G, punto 1) di *"utilizzare, in carenza di dati specifici, tutti i parametri indicati da ARPA tranne il parametro n per il quale si indica il valore n = 0,5 in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica idrologica."*

Questa semplificazione è particolarmente utile per valutare le portate massime scolanti da superfici come abitazioni, piccoli capannoni o simili che possono avere tempi di corrivazione di pochi minuti.

Le durate critiche per bacini di laminazione al servizio di aree di maggiori dimensioni, come il PdR1 tra la SP26 e SP 22 s e l'AT6 – SP591, infatti, si possono stimare ad esempio mediante il metodo delle sole piogge in circa 3,5 ore se la portata allo scarico è di 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile e di circa 9 ore se la portata è di 10 l/s, ovvero nel caso si debbano applicare allo scarico le norme più restrittive, quelle dell'area A di alta criticità in presenza di ambiti comunali di trasformazione o di piani attuativi (Art. 7 comma 5).

Quanto sopra specificato segnala che in tutti i casi ragionevolmente prevedibili per il territorio di Castiglione d'Adda i parametri pluviometrici utili per definire intensità delle precipitazioni e i volumi da immagazzinare sono quelli derivabili dalla

Tabella 1 e non provengono dai parametri relativi a eventi di maggiore durata che si produrrebbero in caso di esteso collettamento dei bacini scolanti. Tale osservazione suggerisce che l'attuazione dei principi del drenaggio sostenibile promossi dal regolamento regionale, è orientato a promuovere scelte progettuali volte all'immagazzinamento e al recapito locale delle acque di pioggia, mediante riuso, evaporazione e infiltrazione, proponendo che ciò avvenga di preferenza nelle aree prossime a quelle di formazione del deflusso e limitando il più possibile la canalizzazione e il trasferimento delle acque verso valle.


In altri termini le aree produttive sopra citate, per adeguarsi al principio di invarianza idraulica in modo coerente con gli indirizzi promossi dalla Regione Lombardia, ma anche con quelli già consolidati nei paesi del nord Europa per la riduzione degli effetti dei cambiamenti climatici e della diffusione degli inquinanti, non dovrebbero orientare le proprie scelte verso un unico grande bacino di laminazione, ma preferibilmente mediante la realizzazione di piccole opere diffuse di raccolta e smaltimento locale delle acque, che essendo al servizio di porzioni limitate di aree impermeabili, hanno tempi critici di breve durata.

Di seguito si riportano per completezza le curve relative alle piogge di durata tra 1 e 24 ore (Figura 2), che come detto saranno quelle maggiormente impiegate per la progettazione dei sistemi di ritenzione.

I parametri sotto riportati per piogge con tempo di ritorno TR di 50 anni devono essere impiegati per il calcolo dei volumi di laminazione, mentre per le verifiche idrauliche dei collettori e dei sistemi di accumulo locali, ovvero per il dimensionamento delle tubazioni è opportuno fare riferimento alla curva di

probabilità pluviometrica con TR di 100 anni e alle piogge intense di 5-10 minuti di durata (scrosci o *short duration rainfall - SDR*), adottando per il parametro *n* il valore di 0,5.

Tempi di ritorno di 100 anni devono inoltre essere utilizzati per definire i franchi di sicurezza delle opere (Art.11, comma 2, lettera a.).



Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: *Castiglione d'Adda area urbana*

Coordinate: _____

Linea segnatrice
 Tempo di ritorno (anni)

Evento pluviometrico
 Durata dell'evento [ore]
 Precipitazione cumulata [mm]

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

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 26.51

N - Coefficiente di scala 0.2844

GEV - parametro alpha 0.276

GEV - parametro kappa -0.068

GEV - parametro epsilon 0.8206

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/lsp.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	0.923	1.256	1.492	1.729	2.054	2.311	2.580	2.05
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	24.5	33.3	39.5	45.8	54.4	61.3	68.4	54.4
2	29.8	40.6	48.2	55.8	66.3	74.6	83.3	66.3
3	33.4	45.5	54.1	62.6	74.4	83.7	93.5	74.42
4	36.3	49.4	58.7	68.0	80.8	90.9	101.5	80.8
5	38.7	52.6	62.5	72.4	86.1	96.8	108.1	86.1
6	40.7	55.4	65.8	76.3	90.6	102.0	113.9	90.6
7	42.6	57.9	68.8	79.7	94.7	106.6	119.0	94.7
8	44.2	60.2	71.4	82.8	98.4	110.7	123.6	98.4
9	45.7	62.2	73.9	85.6	101.7	114.5	127.8	101.7
10	47.1	64.1	76.1	88.2	104.8	117.9	131.7	104.8
11	48.4	65.9	78.2	90.7	107.7	121.2	135.3	107.7
12	49.6	67.5	80.2	92.9	110.4	124.2	138.7	110.4
13	50.7	69.1	82.0	95.1	112.9	127.1	141.9	112.9
14	51.8	70.6	83.8	97.1	115.3	129.8	144.9	115.3
15	52.9	71.9	85.4	99.0	117.6	132.4	147.7	117.6
16	53.8	73.3	87.0	100.8	119.8	134.8	150.5	119.8
17	54.8	74.6	88.5	102.6	121.9	137.2	153.1	121.9
18	55.7	75.8	90.0	104.3	123.9	139.4	155.6	123.9
19	56.5	77.0	91.4	105.9	125.8	141.6	158.0	125.8
20	57.4	78.1	92.7	107.5	127.6	143.6	160.3	127.6
21	58.2	79.2	94.0	109.0	129.4	145.6	162.6	129.4
22	58.9	80.2	95.3	110.4	131.2	147.6	164.8	131.2
23	59.7	81.3	96.5	111.8	132.8	149.5	166.8	132.8
24	60.4	82.2	97.6	113.2	134.4	151.3	168.9	134.4

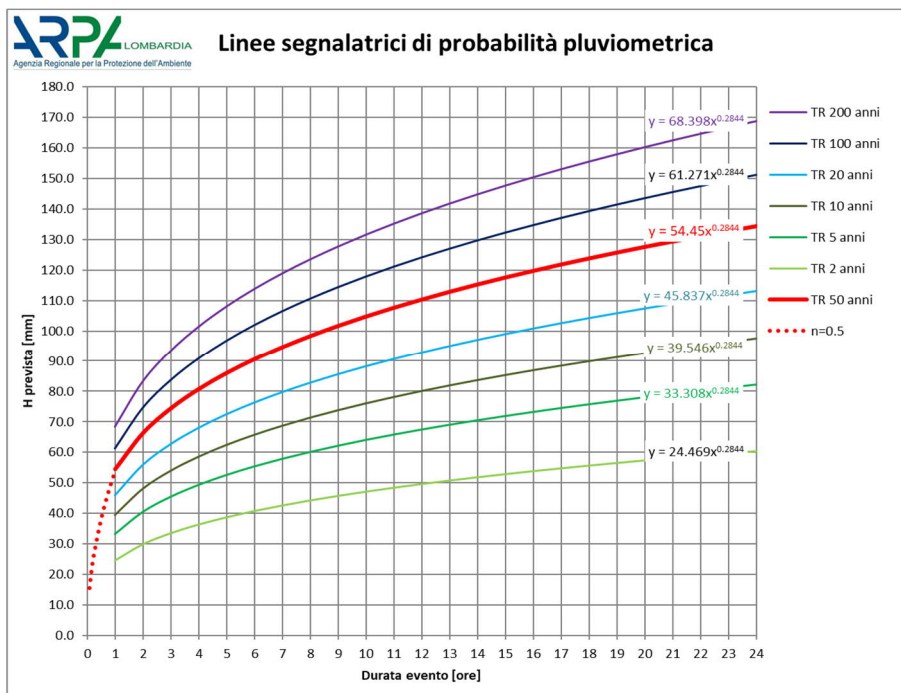


Figura 2: Curve di Probabilità Pluviometrica (CPP) al centro di Castiglione d'Adda da ARPA Lombardia. Grafico con modifiche rispetto al documento ARPA, con aggiunta della curva relativa a eventi di durata inferiore a 1 ora e TR 50 anni.

Riconoscimento dei terreni e test di infiltrazione

Sommario

1	INDIVIDUAZIONE DEL SOTTOSUOLO ADATTO ALL'INFILTRAZIONE.....	1
1.1	Premessa.....	1
1.2	Aspetti generali.....	1
1.3	Metodo semplificato per la stima dell'idoneità dei terreni all'infiltrazione	3
1.4	Prova della capacità di infiltrazione nei terreni sopra falda.....	8
1.4.1	Misure con infiltrometro a doppio anello (ASTM d3385, semplificato)	8

1 INDIVIDUAZIONE DEL SOTTOSUOLO ADATTO ALL'INFILTRAZIONE

1.1 Premessa

Il presente capitolo ha lo scopo di suggerire tecniche semplici ed economiche per eseguire un'identificazione preliminare, da parte di chi fosse interessato e non possieda una specifica preparazione in materia, delle caratteristiche del sottosuolo per valutare la possibilità di realizzare sistemi d'infiltrazione delle acque meteoriche.

Le indicazioni possono essere direttamente impiegate in caso d'interventi che comportano impermeabilizzazioni delle dimensioni massime di 300 mq (classe 0 di intervento della tabella 1, art. 9 del Regolamento) dove NON è richiesta la redazione di un progetto d'invarianza per l'infiltrazione delle acque nel sottosuolo (art. 12.comma 1 lettera a)), ma ovviamente non sostituiscono la necessaria consulenza di un tecnico che ai sensi del Regolamento dovrà predisporre il progetto di invarianza per gli interventi riguardanti superfici di maggiore dimensione, anche se in tutti i casi potrà essere di aiuto per eseguire una preliminarmente valutazione della sua fattibilità.

1.2 Aspetti generali

Il documento preso a riferimento per questa guida è una pubblicazione della Contea di Los Angeles specificamente indirizzata alle problematiche connesse alle tecniche standard di costruzione a basso impatto ambientale (*Low Impact Development Standard*)¹, con modifiche e commenti concernenti l'applicabilità delle procedure a Castiglione d'Adda.

¹ Administrative Manual Gs200.2 County of Los Angeles 6/30/17 "guidelines for geotechnical investigation and reporting low impact development stormwater infiltration".

Il manuale californiano precisa che per caratterizzare il sottosuolo dove può avvenire l'infiltrazione, devono essere effettuate esplorazioni ad una profondità di almeno 3 metri al di sotto della base del sistema proposto, preferibilmente mediante i sondaggi a carotaggio continuo e in subordine realizzando trincee con escavatore e /o prove penetrometriche.

Poiché la falda freatica a Castiglione d'Adda è presente nell'ambito urbano a profondità comprese tra 14,0 e 3,0 metri e la stratigrafia locale, individuata in modo affidabile da molte decine di prove, mostra che sotto un suolo di spessore compreso 1,0 /2,0 metri sono presenti depositi sabbioso limosi o franco limosi, l'incognita principale è la determinazione dello spessore del suolo (in prevalenza franco limosi o limosi) e del tipo di terreno presente nel metro sottostante.

Generalmente la soluzione minima più semplice ed economica è ricorrere a un piccolo escavatore che consenta di raggiungere la profondità di almeno 2,5 metri dalla superficie, potendo presumere, in relazione a quanto detto, che a Castiglione d'Adda il terreno riconosciuto al fondo di tale scavo scavo prosegua senza rilevanti differenze fino alla quota della falda freatica e oltre.

La guida raccomanda che sia sempre realizzato un piezometro di almeno 2 cm di diametro interno in prossimità dell'edificio o del piazzale da cui derivano le acque, approfondito almeno 3 metri oltre la base del sistema di infiltrazione e se possibile entro la falda freatica per consentire la verifica nel tempo delle ipotesi sui livelli. Tale soluzione nel caso di Castiglione d'Adda è indispensabile solo nelle aree a valle della scarpata principale, ossia nelle aree a NW di via Umberto Primo e nei terreni pianeggianti intorno a via della Valle Bassa, mentre nel restante territorio è utile solo in caso di terreni fini oltre i primi 2 metri.

I campioni raccolti sotto la base del sistema d'infiltrazione devono essere sottoposti a setacciatura per misurare o stimare la granulometria e per determinare o stimare la plasticità (come di seguito descritto), parametri che sono indicatori efficaci del potenziale di infiltrazione. Si sottolinea che è preferibile esaminare vari campioni in modo sommario piuttosto che pochi campioni definiti con precisione, che possono non essere realmente rappresentativi.

La Figura 1 individua sinteticamente i tipi di terreno classificati secondo il sistema USCS (*Unified Soil Classification System*) e i valori di permeabilità di riferimento.

Le velocità d'infiltrazione che interessano i tipi di terreno adatti per alla realizzazione dei sistemi d'infiltrazione è di difficile determinazione, perché i valori si estendono per almeno due ordini di grandezza e persino con le più rigorose procedure di test si manifestano importanti incertezza ⁽²⁾, per cui è importante

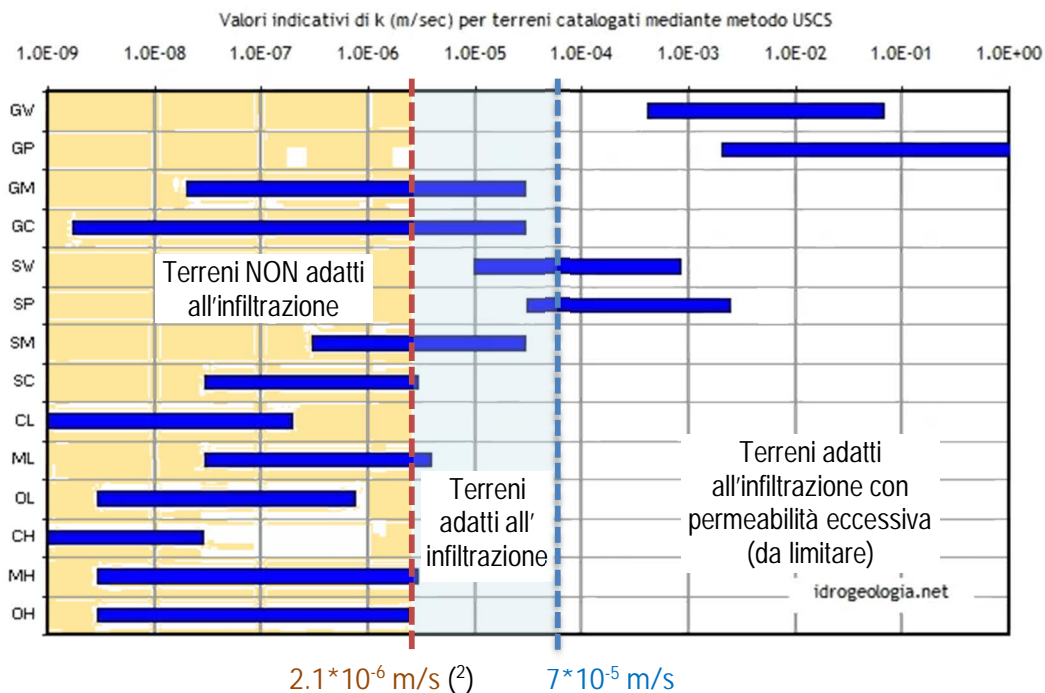
² *Guidelines for geotechnical investigation and reporting low impact development stormwater infiltration.* County of Los Angeles department of public works, 06/2017.

osservare se il tasso d'infiltrazione individuato cade nell'ordine di grandezza del tipo di suolo in sito e in caso di discrepanza tra i dati misurati e le velocità di infiltrazione di riferimento, dovranno essere rivisti i dati sul suolo e la procedura di analisi.

Nel territorio di Castiglione d'Adda le numerose prove penetrometriche eseguite hanno costantemente mostrato la presenza oltre il primo metro, più raramente oltre i -2 metri, di terreni classificabili come SW-SM (Figura 1) e quindi potenzialmente adatti a ospitare sistemi d'infiltrazione, ma poiché è impossibile applicare un parametro di riferimento all'intero territorio, di seguito si suggerisce una procedura utilizzabile per eseguire con semplici mezzi e costi irrilevanti una valutazione dell'idoneità potenziale dei terreni all'infiltrazione delle acque meteoriche.

1.3 Metodo semplificato per la stima dell'idoneità dei terreni all'infiltrazione

Per valutare il tipo di terreno ⁽³⁾ e stabilire se è possibile realizzare un sistema d'infiltrazione, si può procedere con stime su campioni prelevati lungo il profilo dello scavo e in particolare al fondo del sistema previsto, sia che si ipotizzi un pozzo o una trincea sotterranea, sia che si voglia realizzare un avvallamento superficiale da allagare in occasione dei eventi meteorici. Nelle misure non occorre procedere con precisione e incertezze di $\pm 10\%$ nella determinazione dei pesi e dei volumi sono del tutto tollerabili.



³ Sintesi di procedure ottenute semplificando la norma: ASTM Designation: D 2488 – 00 "Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)".

Terreni grossolani trattenuto al #200 > 50% ③	Ghiaie ①	passante #200 <5% ④	C>4	GW	Ghiaie ben pulite e ben gradate
			C<4	GP	Ghiaie poco graduate
		passante #200 >12%		GM	Ghiaie limose p<4
			GC	Ghiaie argillose p>7	
	Sabbie ②	passante #200 <5% ④	C>4	SW	Sabbie ben pulite e ben gradate
			C<4	SP	Sabbie poco graduate
passante #200 >12%			SM	Sabbie limose p<4	⑤
			SC	Sabbie argillose p>7	
Terreni fini passante al #200 > 50%	Argille con W<50 limi con W>50	Sotto retta A e zona tratteggiata diagramma di plasticità<5%		OL	Limi organici e argille limose
				ML	Limi inorganici, limi argillosi
		Sopra la retta A del diagramma di plasticità		CL	Argille inorganiche a bassa plasticità
		Sotto la retta A del diagramma di plasticità		OH	Argille organiche di media alta plasticità
				MH	Limi inorganici
		Sopra la retta A del diagramma di plasticità		CH	Argille inorganiche ad alta plasticità
terre fortemente organiche				Pt	torbe ed altre terre fortemente organiche

Figura 1: in alto stima degli intervalli di permeabilità dei terreni denominati secondo la classificazione USCS (*Unified Soil Classification System*). La linea a tratteggio marrone indica il limite tra terreni adatti a essere impiegati per l'infiltrazione (a destra) e quelli non adatti. Base del grafico tratto da idrogeologia .net. La linea a tratteggio è tratta da (?).

In basso schema semplificato della classificazione USGS, da Wikipedia con annotazioni. I colori di fondo degli schemi evidenziano i terreni adatti all'infiltrazione (fondo azzurro) distinguendoli da quelli che non possono essere impiegati per tale soluzione (fondo giallo scuro). Il valore di $7 \cdot 10^{-5}$ m/s individua il limite massimo oltre il quale opportuno adottare particolari cautele per progettare l'infiltrazione, per consentire al terreno di esercitare il suo ruolo di filtro a protezione della falda (da Pennsylvania Department of Environmental Protection (PDEP). 2006. *Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual*).

- ① Ghiaie se più del 50% del campione è trattenuto dal setaccio n. 4 (con luce da 4.75 mm) :
- ② Sabbie se più del 50 % del campione passa dal setaccio n. 4 (con luce da 4.75 mm)
- ③ Setaccio n. 200 : maglie con luce da 0,075 mm - limite tra sabbie molto fini e limo, circa corrispondente al limite visibile dei grani ad occhio nudo.
- ④ C = coefficiente di uniformità, pari a D_{60}/D_{10} dove D indica in diametro passante sulla curva granulometrica, rispettivamente al 60% e al 10%. (4)
- ⑤ Ip = indice di plasticità, determinato con prove di laboratorio sulla frazione di campione passante dal setaccio n. 40 (0,42 mm), oppure stimato in sito con prove speditive di seguito descritte.

La superficie che si può ritenere definita dall'esito di una verifica con almeno tre campioni, può essere stimata estesa per un raggio di circa 30 metri intorno al punto esaminato, ma solo l'esperienza locale potrà consentire di giudicare se tale indicazione è affidabile o dovrà essere modificata. Date le caratteristiche medie del territorio di Castiglione d'Adda lo scavo esplorativo potrà essere svolto a mano solo entro il primo metro o meno, mentre sarà necessario impiegare, come detto, un piccolo escavatore per raggiungere profondità maggiori.⁵

⁴ La condizione $C > 4$ e $C < 4$ indicata in Figura 1, che per convenzione separa rispettivamente i terreni poco uniformi da quelli uniformi è trascurabile ai fini della presente procedura, ma si precisa che quelli più uniformi ($C < 4$) sono in genere più permeabili e porosi.

⁵ Per ragioni di sicurezza si raccomanda di non scendere in scavi più profondi di 1,0 metri, di disporre adeguate segnalazioni (nastro Bianco /rosso e/o transenne) intorno all'area di scavo e di richiudere lo stesso una volta

Il campione di terreno da prelevare dovrà essere di 0.3 kg (il volume di un bicchiere) per terreni contenenti grani di dimensioni massime di 1 cm, ma dovrebbe avere dimensioni maggiori con terreni grossolani, peraltro molto improbabili a Castiglione d'Adda nell'area urbanizzata: 1 kg per terreni contenti grani di dimensioni massime di 2 cm (poco meno di un litro), di circa 8 kg se i grani hanno dimensioni massime di 4 cm (poco meno di 4 litri) e di alcune decine di kg i caso di dimensioni superiori a 8 cm.

Per individuare la dimensione massima degli elementi di ghiaia (le dimensioni fino a 6 cm) o dei ciottoli (da 6 a 25 cm), occorre misurare con un centimetro l'asse di massima lunghezza del ciottolo e di seguito misurarne la dimensione massima perpendicolare a questo, che costituisce il valore cercato. L'operazione equivale a identificare idealmente la luce minima della rete o del crivello (fori tondi) che ne consente il passaggio.

Se il campione è molto umido o bagnato e contiene per oltre 1/10 materiale di dimensioni inferiori a circa 1 cm, condizione molto probabile a Castiglione d'Adda, deve essere lasciato asciugare stendendolo all'aperto su fogli di plastica o simili.

Una volta asciutto, il campione totale deve essere pesato (Peso Totale campione **PT**) per eventuali controlli, ad esempio impiegando una bilancia da cucina, che comunemente dispone di portate massime di 3-5 kg e risoluzione di 1-2 g, oppure una bilancia pesa persone per i campioni contenenti molti ciottoli che richiedono decine di Kg.

Se presenti, si devono separare manualmente gli elementi di dimensioni superiori ai 6 cm e pesare il sotto-campione (**PC**, peso ciottoli).

La frazione rimanente deve essere suddivisa tramite un setaccio o una rete da 5 mm di luce (nominalmente da 4,75 mm), comunemente reperibile tra gli articoli per il giardinaggio.



Pesare quindi il materiale trattenuto dal setaccio, che rappresenta la frazione ghiaiosa (**PG**, peso ghiaia) e quello che passa dai fori, che rappresenta la sabbia e le frazioni più fini e che potrà essere indicato come **PS** (peso sabbia).

Avremo due condizioni possibili, tra le quali solo la seconda dovrebbe riguardare i terreni a Castiglione d'Adda:

- 1) se **PC + PG** è maggiore di **PS** il terreno ricadrà nella categoria "ghiaie" della tabella di Figura 1
- 2) se **PC + PG** è minore di **PS** il terreno ricadrà nella categoria "sabbie" della tabella di Figura 1

In tutti i casi è necessario esaminare la frazione che passa dal setaccio da 5 mm e comprendere se il terreno ricade nei campi GM o SM di Figura 1 (ghiaie limose o sabbie limose), oppure nei campi GC o SC

terminate le operazioni. Per i riferimenti normativi sulla sicurezza degli scavi si vedano gli artt. da 118 a 121 Dlgs 81/08.

(ghiaie argillose o sabbie argillose) perché queste ultime, di massima, non hanno caratteristiche di permeabilità sufficienti a consentire la progettazione di sistemi di infiltrazione.

Se il passante al setaccio da 5 mm (peso sabbia, PS) è inferiore al 10 % si è sicuramente in presenza di terreni molto grossolani e permeabili, adatti a ospitare sistemi di infiltrazione e la verifica può considerarsi terminata con esito positivo.

Se il terreno non passa dal setaccio da 5 mm perché è formato di grumi questi dovranno essere disgregati a mano, oppure se non è possibile perché molto duri, dovranno essere aggiunti al terreno "passato" dal setaccio.

Per definire le caratteristiche del terreno passato dal setaccio da 5 mm occorre prelevare da quest'ultimo un campione di circa 200 grammi, pesarlo ad esempio con la bilancia da cucina e utilizzare un setaccio più fine, da circa 0,4 mm (nominalmente 0,42 mm), reperibili tra le forniture per cucina.



In questo caso, se sono presenti grumi non disgregabili con le mani, è necessario inumidirli con l'acqua e raccogliere il "passante" in una bacinella.

Se meno del 10 % del sotto-campione da circa 200 grammi passa dal setaccio da circa 0,4 mm si è sicuramente nella condizione favorevole per l'infiltrazione (terreni GW-GP o SW -SP) mentre se il "passante" non è trascurabile è necessario effettuare la prova di plasticità seguita descritta (per stimare il valore di I_p di Figura 1).

La plasticità è la capacità del materiale di cambiare forma continuamente sotto l'influenza di una pressione applicata sulla superficie e di mantenere la forma ottenuta quando la forza è tolta.

In pratica si preleva dal "passante" un campione di circa 1 cm³ e con questo si forma una pallina tra le mani, se necessario aggiungendo acqua con una spruzzetta fino a raggiungere una consistenza uniforme simile a quella della plastilina. Se il campione è ottenuto dal lavaggio effettuato a causa della presenza di grumi di terreno, l'acqua non sarà necessaria ma al contrario la lavorazione con le mani dovrà asciugarlo.

Se la pallina non si riesce a formare, ossia il campione non ha alcuna plasticità è probabilmente costituito solo da sabbia fine e limo grossolano e il campione è sicuramente GM o SM ed è probabilmente adatto all'infiltrazione (Figura 1).

Se la pallina si può formare, una volta resa della consistenza della plastilina occorre comprimerla e rotolarla gradualmente tra le mani fino a ottenere un bastoncino di circa 3 mm di diametro come indicato dalla Figura 2 a sinistra.

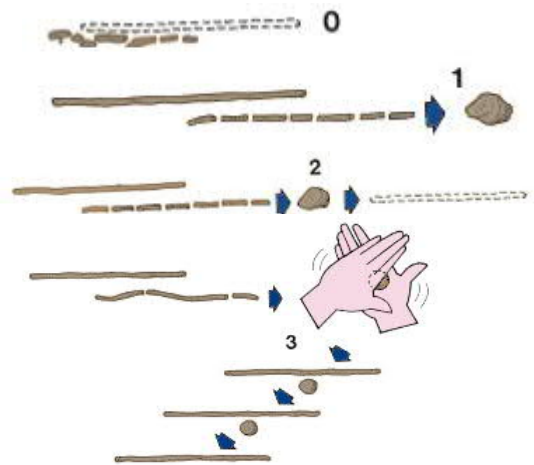
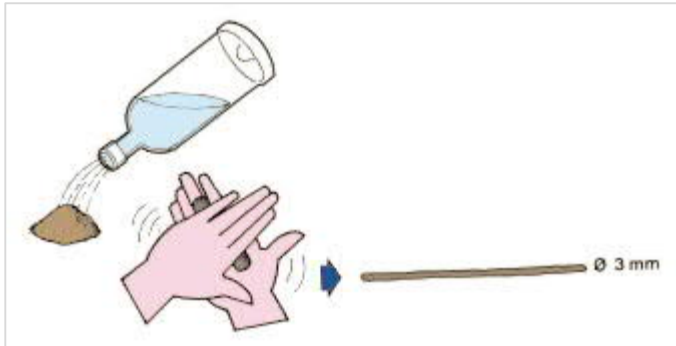


Figura 2: prova di plasticità del terreno, tratta da una pubblicazione FAO.

I casi che possono essere osservati sono riassunti nella Figura 2 con le immagini numerate da 0 a 3.

- 0) Non si riesce a formare un bastoncino continuo. La plasticità è quasi nulla ($IP = 0$) e il terreno è GM o SM e probabilmente adatto all'infiltrazione.
- 1) Si riesce a formare un bastoncino continuo ma questo si rompe immediatamente se si tenta di piegarlo ad anello⁶. La plasticità è bassa ($IP < 4$) e il terreno è GM o SM ma probabilmente NON adatto all'infiltrazione.
- 2) Si riesce a formare un bastoncino continuo ma quando questo con la continua lavorazione (perdita d'acqua) inizia a rompersi, non può più essere reimpostato e non può più formare un bastoncino continuo. La plasticità è media ($IP > 4$) e il terreno è a cavallo tra GM-GC o tra SM-SC e NON adatto ad assorbire le acque di infiltrazione.
- 3) si riesce a formare un bastoncino continuo e anche dopo che questo inizia a rompersi, può essere rimpiastato e si possono formare di nuovo dei bastoncini di 3 mm. Terreno NON adatto all'infiltrazione.

In presenza di situazioni intermedie o complesse, ad esempio con terreni ghiaiosi contenenti un'abbondante frazione passante dal setaccio 0,42 mm dotata di bassa plasticità, è necessario fare valutazioni più approfondite ricorrendo a prove di permeabilità delle quali di seguito si riportano due procedure relativamente semplici.

In ogni caso l'interpretazione delle prove di permeabilità non può prescindere dalla conoscenza del tipo di terreno presente in corrispondenza e sotto la superficie d'infiltrazione, ovvero dell'applicazione della procedura sopra esposta o di metodi più dettagliati come quello riferito dal citato documento di ASTM (nota ³) ma che richiedono più tempo e sensibilità.

⁶Specificata tratta da: *Guidelines for soil description, Fourth edition*, FAO, Roma 2006.

1.4 Prova della capacità di infiltrazione nei terreni sopra falda

Il test di percolazione deve essere eseguito in ogni posizione e quota in cui viene proposta l'infiltrazione di acqua meteorica per progetti di media e su larga scala.

I metodi di misura di seguito descritti sono applicabili a terreni con permeabilità k comprese tra 10^{-7} m/s e 10^{-4} m/s, ovvero con riferimento alla Figura 1 sono utilizzabili in quella fascia di terreni a cavallo del limite minimo suggerito ⁽²⁾ di applicabilità dei sistemi di infiltrazione ($k = 2.1 \cdot 10^{-6}$ m/s).

Sebbene la velocità d'infiltrazione che si ottiene dalle misure e la conducibilità idraulica dei terreni ricercata (k) siano parametri simili, non possono essere direttamente correlati a meno che non siano note le condizioni al contorno, come il gradiente idraulico e l'estensione del flusso laterale dell'acqua che però non possono essere determinati con adeguata precisione con test semplici.

Il processo di filtrazione, infatti, non è governato solo dalla gravità ma anche dalla capillarità, che a sua volta dipende dalle dimensioni e dall'umidità dei terreni presenti nel sottosuolo.

Per tale ragione test differenti effettuati nello stesso sito non sono in grado di fornire risultati identici ma possono individuare l'ampiezza della fascia d'incertezza del valore di permeabilità k .

1.4.1 Misure con infiltrometro a doppio anello (ASTM d3385, semplificato)

Un infiltrometro a doppio anello è costituito da due anelli concentrici di metallo di 30 e 60 cm di diametro (le misure possono però variare es. 28/53 cm, 30/55 cm e 32/57 cm nei prodotti in commercio), alti 25-50 cm e con un bordo tagliente al fondo, che sono spinti nel terreno per 10 - 20 cm.

La superficie di prova deve presentarsi piana o essere spianata ed occorre rimuovere i piccoli ostacoli come pietre o ramoscelli dalla superficie di prova. L'erba deve essere tagliata e lo sfalcio rimosso dalla superficie di prova.

Per infiggerli nel terreno, che può essere anche molto consistente, occorre un sistema a croce metallica con testa di battuta, come nella figura a fianco, o qualche soluzione più artigianale come quella visibile nella figura più in basso, inserendo per primo l'anello più esterno



L'infissione deve essere uguale per i due anelli e la verticalità deve essere controllata con una livella a bolla.

Per evitare di arrecare disturbo al suolo di prova e distribuire l'acqua in modo uniforme, si può posizionare al fondo dell'anello interno una piastra forata come indicato in figura, oppure proteggere il punto di caduta dell'acqua coprendolo temporaneamente con un panno di juta, una spugna o uno strato di ghiaia di 1-2 cm

Versare quindi acqua pulita per un'altezza di 5 - 10 cm sopra il fondo, iniziando con l'anello esterno e proseguendo con quello interno fino a raggiungere un livello uguale tra i due scomparti.

Il valore moderato dell'altezza dell'acqua sul fondo serve a favorire la verticalità del flusso.

L'acqua nell'anello esterno, infatti, ha il solo scopo di mantenere verticale il flusso dell'acqua nel terreno entro l'anello interno, la cui diminuzione di livello nel tempo è la misura utilizzata per stabilire la velocità di percolazione verticale.

Le misure si eseguono annotando il tempo d'inizio e l'altezza dell'acqua dal fondo, compiendo misure ogni minuto o meno nei primi minuti per poi proseguire con intervalli maggiori.

Lasciare percolare l'acqua nel terreno assicurandosi di ripristinarla prima sia totalmente assorbita: aggiungere acqua quando rimangono solo pochi centimetri di acqua sul fondo e prendere nota del livello ripristinato.

Occorre mantenere l'acqua nell'anello interno ed esterno ad un livello simile.

Se il livello d'acqua nell'anello esterno è più alto di quello dell'anello interno, si registrerà una diminuzione della velocità d'infiltrazione nell'anello interno, che è quello che è impiegato per la misurazione.



Figura 3: infiltrometri commerciali di varie misure e prodotti fatti in modo artigianale ed infissione nel terreno

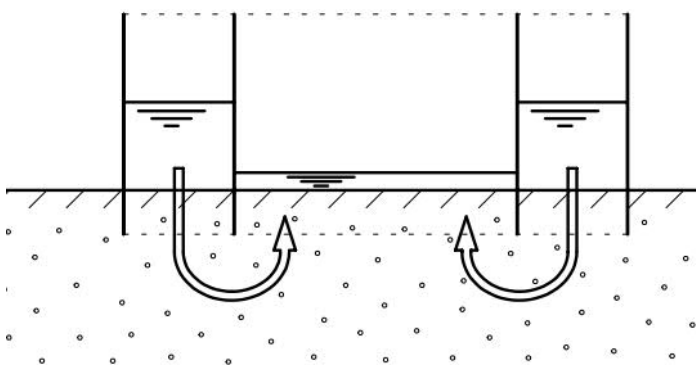


Figura 4: condizione errata, con differenze rilevati tra il livello dell'acqua nell'anello interno rispetto a quello esterno. La misura ottenuta è inferiore al valore reale.

Al contrario un livello d'acqua più basso nell'anello esterno diminuirà l'effetto di tamponamento contro la diffusione laterale e quindi si otterranno valori d'infiltrazione più elevati di quelli reali.

La misurazione termina quando la velocità di infiltrazione ha raggiunto un valore costante, ovvero quando la differenza tra tre successive misure è inferiore al 10%.

A seconda del tipo di terreno, la durata della prova è di 1 o 2 ore e in casi eccezionali, che però non sono probabili a Castiglione d'Adda, dopo un giorno.

Questa procedura di test è utile per valutare le caratteristiche vicino alla superficie del terreno ma con adeguate accortezze le misure possono essere eseguite anche in profondità in una trincea.

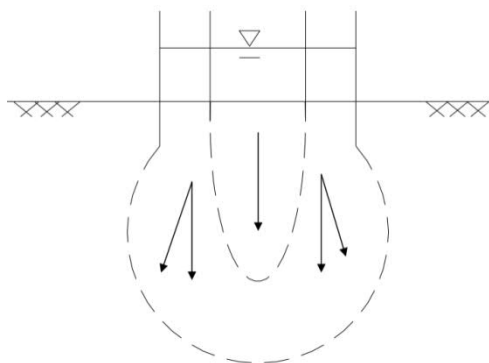


Figura 5: schema di flusso sotto l'infiltrometro e immagini di misure in corso

Esecuzione delle misure

Una volta riempiti di acqua l'anello esterno e quello interno per un'altezza di circa 100 mm, s'inizia la misura del livello dell'acqua, non prima però di aver predisposto una tabella come quella riportata di seguito come esempio (Figura 6), per annotare le misure (l'elenco corrisponde ai campi nella tabella).

- 1) Ora - minuti - secondi di inizio prova e di tutte le letture di livello dell'acqua nell'anello interno;
- 2) La differenza di tempo tra ogni successiva misura e quella precedente. Nell'esempio è riportata in minuti, ma può essere utile impiegare i secondi nei primi dieci minuti;
- 3) Il tempo totale trascorso da inizio prova (cumulative time) in minuti o in secondi;
- 4) La lettura del livello, che può essere fatta dal fondo se si è disposta un'astina graduata poggiante stabilmente sul disco forato o su una base comunque stabile, oppure dal bordo superiore dell'anello.

La tabella indica la lettura *before filling* (prima del riempimento) e *after filling* (dopo il riempimento). Inizialmente non c'è acqua e quindi non è indicato alcun valore, poi al minuto 14.05.00 l'anello interno e lo spazio anulare tra i

due anelli sono riempiti con 100 mm di acqua e inizia la misura (start = 0).

Conoscendo il diametro dell'anello interno è immediato individuare quanta acqua deve essere versata per coprire il fondo con 100 mm. Ad esempio, con anello interno di 30 cm occorrono 0,707 litri al cm, ovvero 7,07 litri per stabilire in battente iniziale sul fondo di 100 mm.

Dopo due minuti nella tabella si legge la misura di 92 mm e quindi il livello dell'acqua nell'anello interno è sceso di 8 mm. Immediatamente si aggiunge altra acqua nell'anello interno fino a riportare la misura a 100 mm, rabboccando anche l'anello esterno per mantenerlo circa lo stesso livello.

Dopo altri tre minuti, al minuto 14.10.00 si effettua una seconda misura leggendo 93 mm e si procede di nuovo al versamento dell'acqua, in questo caso commettendo una lieve imprecisione, riportando il valore a 99 in luogo di 100 mm. Si proseguono poi le misure e i ripristini di livello, mantenendo come mostrato in tabella una differenza di 1 - 2 cm tra la quota massima dell'acqua che si ottiene versando l'acqua e quella della misura. Le misure terminano quando il calcolo della velocità di infiltrazione (punto 6 della tabella) mostra un valore costante (nel caso in esempio 0.45 mm al minuto).

- 5) La colonna *infiltration* riporta i singoli abbassamenti che intervengono tra una misura e quella successiva, ovvero tra un rabbocco fino alla quota di 100 mm sul fondo e quello successivo. E' l'altezza in mm dell'acqua infiltrata in ogni intervallo tra le misure.
- 6) *Infiltration rate* è la velocità di infiltrazione che si calcola dividendo il valore del punto 5) con il valore del tempo indicato nel punto 2), e rappresenta in sostanza il parametro cercato. La prova può considerarsi terminata quando i valori della velocità divengono circa costanti per tre intervalli di misura (nella tabella di Figura 6 sono considerate solo due misure).
- 7) La colonna del punto 7 indica semplicemente la conversione dei valori del punto 6) in un'altra unità di misura, eseguita solo se necessario.
- 8) La colonna 8 riporta il valore dell'infiltrazione cumulata che consente la verifica del comportamento dell'intera prova e di eseguire alcune valutazioni su parametri fisici del terreno, in particolare sulla capacità di assorbimento del terreno in condizioni transitorie, prima di raggiungere la piena saturazione (v. approfondimenti).

In Figura 7 è riportata la rappresentazione grafica dei dati della prova. Il valore di 0,45 mm/minuto è il valore da considerare per il dimensionamento delle opere di infiltrazione ipotizzando cautelativamente che si raggiunga sempre un condizione di saturazione. Dal confronto con il grafico di Figura 1 si osserva che il valore della prova (0.45 mm/minuto = $7.5 \cdot 10^{-6}$ m/s) è superiore di quasi 4 volte quello minimo che si considera adatto per la progettazione di opere di infiltrazione.

Site location: EXAMPLE Soil type: Loam Test date: 5 DEC 1987

1 Reading on the clock	2 Time difference	3 Cumulative time	4 Water level readings		5 Infiltration	6 Infiltration rate	7 Infiltration rate	8 Cumulative infiltration
hr min sec	min	min	before filling	after filling	mm	mm/min	mm/hour	mm
14 05 0	start = 0	start = 0		100				start = 0
14 07 0	2	(0+2) 2	92	100	(100-92) 8	(8/2) 4.00	240	(0+8) 8
14 10 0	3	(2+3) 5	93	99	(100-93) 7	(7/3) 2.33	140	(8+7) 15
14 15 0	5	(5+5) 10	89	101	(99-89) 10	(10/5) 2.00	120	(15+10) 25
14 25 0	10	(10+10) 20	84	100	(101-84) 17	(17/10) 1.70	102	(25+17) 42
14 35 0	10	(20+10) 30	89	102	(100-89) 11	(11/10) 1.10	66	(42+11) 53
14 45 0	10	(30+10) 40	95	101	(102-95) 7	(7/10) 0.70	42	(53+7) 60
15 05 0	20	(40+20) 60	92	100	(101-92) 9	(9/20) 0.45	27 *	(60+9) 69
15 25 0	20	(60+20) 80	91		(100-91) 9	(9/20) 0.45	27 *	(69+9) 78

* basic infiltration rate

Figura 6: da Irrigation Water Management: Irrigation Methods Annex 2 - Infiltration rate and infiltration test. FAO, Roma 1986 (?).

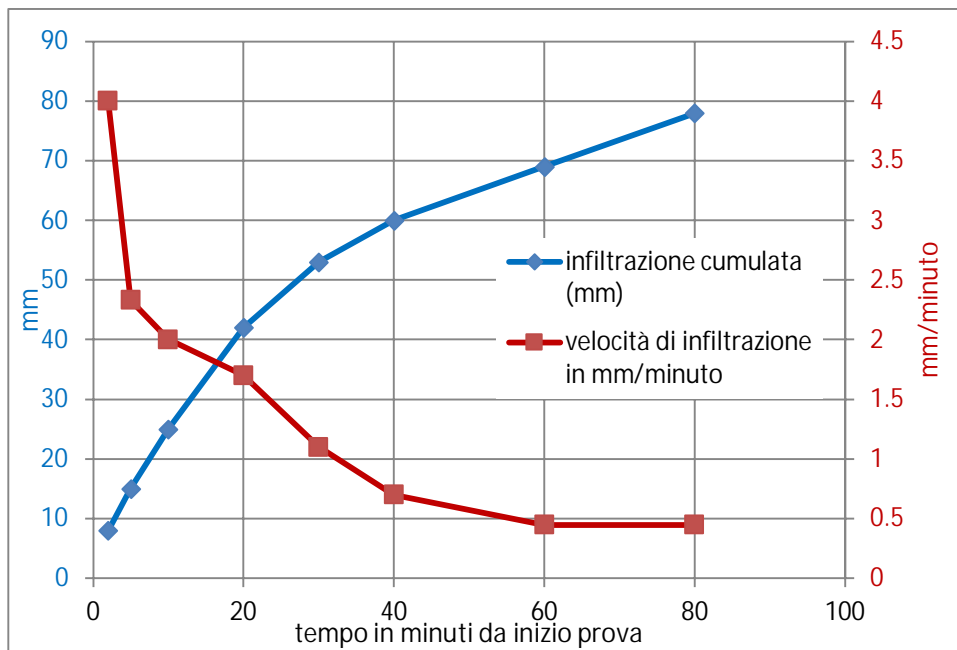


Figura 7: rappresentazione grafica dei dati delle colonne 6 e 8 della tabella di Figura 6.

I risultati delle misurazioni dell'infiltrometro a doppio anello devono essere considerati solo come valori di riferimento, ma sono ritenuti sufficientemente precisi per molte applicazioni.

Considerazioni su possibili problemi

Se si osserva un aumento della velocità d'infiltrazione durante la prova, vuol dire che il suolo presenta particolari problematiche o che si sono compiuti errori nella conduzione della prova, perché la circostanza è in contrasto con i modelli teorici d'interpretazione del processo di infiltrazione.

1. Una delle cause è la presenza di macropori, che talora si formano in suoli suscettibili di restringimento (fessure dovute alla siccità in terreni contenenti argilla), o per effetto della vegetazione (radicazione), della attività della fauna o del forte disturbo generato dall'aratura. La misura deve essere scartata e ripetuta in punti differenti per ottenere una curva d'infiltrazione media affidabile.
2. L'installazione dell'anello ha determinato una frantumazione di croste di suolo (di strati induriti). La bentonite o altri tipi di argilla possono essere usati per chiudere gli spazi tra l'anello di infiltrazione e il terreno .
3. Il livello dell'acqua nell'anello interno supera quello dell'anello esterno e quindi il tamponamento contro la diffusione laterale non è sufficiente. Assicurarsi che l'acqua in entrambi gli anelli abbia circa lo stesso livello.
4. Nei terreni molto stratificati, l'acqua tenderà a muoversi lateralmente, nonostante l'uso del doppio anello. Se necessario, realizzare uno scavo e determinare la curva di infiltrazione separatamente per i singoli strati.
5. Un livello troppo alto dell'acqua nell'anello interno d'infiltrazione farà sì che l'acqua si diffonda lateralmente. Il livello massimo dell'acqua deve essere di 5-10 cm.
6. La misurazione prolungata può aumentare la diffusione laterale.

Se l'infiltrazione è al di sotto delle aspettative, diversi fattori potrebbero esserne la causa:

1. Il terreno è incrostato. Determinare la curva di infiltrazione del terreno indisturbato (incrostato), quindi rimuovere la crosta e misurare nuovamente. Una grande differenza tra le prove indica la presenza di una crosta, che di solito misura meno di 1 centimetro (Bouwer, 1986).
2. Se il livello dell'acqua nell'anello esterno supera il livello nell'anello interno, l'acqua dall'anello interno avrà difficoltà ad infiltrarsi e la misura ottenuta potrebbe diventare negativa. Assicurarsi che l'acqua abbia lo stesso livello in entrambi gli anelli.
3. Il versamento dell'acqua ha disturbato la struttura del terreno. Durante il versamento dell'acqua occorre proteggere il punto di caduta mediante un panno di juta, una spugna o uno strato di ghiaia di 1-2 cm.
4. L'acqua utilizzata per misurare, se contiene sedimenti o altri elementi sospesi può determinare la formazione di uno strato a bassa permeabilità. Utilizzare acqua pulita e di temperatura simile a quella del terreno.

Recupero e riutilizzo delle acque meteoriche

Sommario

1	RECUPERO E RIUTILIZZO DELLE ACQUE METEORICHE.....	1
1.1	Premessa normativa	1
1.2	Impiego delle acque.....	2
1.3	Dimensionamento del sistema di accumulo	4
1.4	Esempio di calcolo con metodo semplificato uni/ts 11445:2012.....	7
2	Proposta di REGOLAMENTAZIONE per Castiglione d'Adda	8
2.1	Proposta di normativa:.....	8

1 RECUPERO E RIUTILIZZO DELLE ACQUE METEORICHE

1.1 Premessa normativa

Un contributo al contenimento della formazione dei fenomeni di piena e alla riduzione dei volumi scaricati a valle è fornito dal riutilizzo delle acque di dilavamento dei tetti e da altre superfici di copertura, oltre che da piazzali e vialetti di aree residenziali che si può ritenere non siano produttori di inquinamento. Le acque sono facilmente accumulabili e riutilizzabili per fini non potabili mediante serbatoi o simili e semplici trattamenti di filtraggio. Il RR 07/2017 sostiene espressamente questo utilizzo in vari articoli.

Art. 5, comma 1 : *"Il controllo e la gestione delle acque pluviali è effettuato, ove possibile, mediante sistemi che garantiscono l'infiltrazione, l'evapotraspirazione e il riuso."*

Art. 5, comma 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."*

La normativa regionale precedente aveva già indicato il riuso come obiettivo.

Il Regolamento Regionale Regione Lombardia n° 2 del 24 Marzo 2006 all'Art. 6 (Disposizioni finalizzato al risparmio e al riutilizzo della risorsa idrica) precisa:

1. I progetti di nuova edificazione e gli interventi di recupero del patrimonio edilizio esistente:

...
b) come stabilito dall'art. 25, comma 3 del d.lgs. 152/1999, prevedono la realizzazione della rete di adduzione in forma duale;

...

e) *prevedono, per gli usi diversi dal consumo umano, ove possibile, l'adozione di sistemi di captazione, filtro e accumulo delle acque meteoriche provenienti dalle coperture degli edifici; nonché, al fine di accumulare liberamente le acque meteoriche, la realizzazione, ove possibile in relazione alle caratteristiche dei luoghi, di vasche di invaso, possibilmente interrate...*

Nelle norme nazionali, è il D.Lgs 152/2006 all' ART. 98 (risparmio idrico) che indica :

1. *Coloro che gestiscono o utilizzano la risorsa idrica adottano le misure necessarie all'eliminazione degli sprechi ed alla riduzione dei consumi e ad incrementare il riciclo ed il riutilizzo, anche mediante l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili.*

All'ART. 99 (riutilizzo dell'acqua)

1. *Il ((Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare)) con proprio decreto, sentiti i Ministri delle politiche agricole e forestali, della salute e delle attività produttive, detta le norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue.*
2. *Le regioni, nel rispetto dei principi della legislazione statale, e sentita l'Autorità di vigilanza sulle risorse idriche e sui rifiuti, adottano norme e misure volte a favorire il riciclo dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue depurate.*

1.2 Impiego delle acque

Le acque meteoriche sono una fonte che si rinnova continuamente e secondo le norme vigenti nel Cantone Ticino (¹) "*quelle provenienti dai tetti sono di regola considerate non o poco inquinate, ad eccezione dei tetti costituiti da parti importanti di metalli pesanti e se non vi sono svolti lavori di pulizia*". Con le necessarie cautele, oltre a quelle provenienti dalle residenze anche quelle che derivano da impianti sportivi e dagli stabilimenti artigianali e industriali possono garantire una riserva ottimale per vari usi domestici e assimilabili.

In assenza di specifiche normative che indichino quali siano le acque meteoriche che possono essere riutilizzate per scopi non potabili, si cita come riferimento tecnico l'art. 39 (Classificazione delle acque meteoriche) del Regolamento di esecuzione alla legge provinciale di Bolzano del 18 giugno 2002 n. 8, che indica come "*acque meteoriche non inquinate*", quelle derivanti dalle seguenti superfici:

1. tetti in zone residenziali e miste;
2. piste pedonali e ciclabili;
3. impianti sportivi e di ricreazione;
4. cortili in zone residenziali con traffico motorizzato molto limitato;
5. strade in zone residenziali con traffico giornaliero medio (TGM), inferiore a 500 autoveicoli al giorno;
6. parcheggi in zone residenziali a bassa densità abitativa, costituite prevalentemente da case singole, case a schiera, ecc.;

Occorre comunque precisare che tutte le acque meteoriche presentano dei picchi di concentrazione più o meno pronunciati di contaminanti all'inizio della pioggia (*first flush*), dovuti in particolar modo a sostanze depositate in tempo secco o dilavate da materiali di superficie, come piombo nelle converse, idrocarburi e polimeri nelle guaine impermeabili, polveri e frammenti dalle tegole, coppi, lastre, ecc. nonché parassiti, batteri e virus derivati dallo sterco di uccelli ed animali che hanno accesso alla copertura

¹ Da : *Istruzioni per l'infiltrazione e la ritenzione delle acque chiare e meteoriche dei fondi*. Repubblica e Cantone Ticino, Dipartimento del Territorio, 02/2013.

In relazione ai tetti, il first flush di metalli pesanti si riscontra generalmente nei primi 4 mm di deflusso delle acque meteoriche ed è particolarmente pronunciato per i primi 2 mm ⁽¹⁾.

Il problema si può risolvere installando un deviatore (*first flush diverter*) che trattiene la prima parte dell'evento meteorico e lo invia nella fognatura mista, oppure verso un trattamento con filtro a coalescenza prima di reimmetterlo nel circuito di riuso delle acque. Il volume da smaltire o trattare è quindi di 200 / 400 litri per una superficie impermeabile di 100 mq.

Gli utilizzi non alimentari sono principalmente costituiti dall'innaffio di orti e giardini, dall'uso per lavaggi esterni (aree cortilizie, marciapiedi etc.), dallo scarico del WC, dal lavaggio di biancheria e simili ma anche per usi tecnologici relativi a sistemi di climatizzazione attiva o raffreddamento evaporativo.

Nell'uso residenziale circa il 50% del fabbisogno giornaliero d'acqua, stimato in Lombardia in 200 litri a residente al giorno, può essere fornito dal recupero delle acque piovane.

Per altri ambiti di utilizzo civile come uffici o scuole l'impiego giornaliero di acqua non potabile è stimato in circa 10 litri per utente al giorno ⁽²⁾.

Tra i vantaggi dell'acqua piovana vi è la bassa durezza, che la rende preferibile per i lavaggi dove genera minori depositi calcarei nelle condotte e sulle resistenze elettriche delle lavatrici e migliora l'efficacia dei tensioattivi consentendo di risparmiare nell'uso nei detersivi.

L'innaffio con acque di pioggia è vantaggioso per la bassa durezza, l'assenza di cloro e la temperatura vicina a quella ambientale rispetto alle acque da pozzo o da acquedotto. Gran parte dell'acqua pluviale impiegata all'esterno dell'edificio è eliminata per evaporazione e quindi non affluisce nel sistema fognario.

Lo schema di funzionamento comprende la raccolta dell'acqua piovana dalle gronde di tetti, pergolati, verande e balconi, che mediante pluviali raggiunge i filtri realizzati con maglie da 5,0 - 0,5 mm necessari a rimuovere le frazioni grossolane e di seguito il serbatoio di accumulo, interrato o fuori terra dal quale è inviato alle utenze mediante pompa sommersa

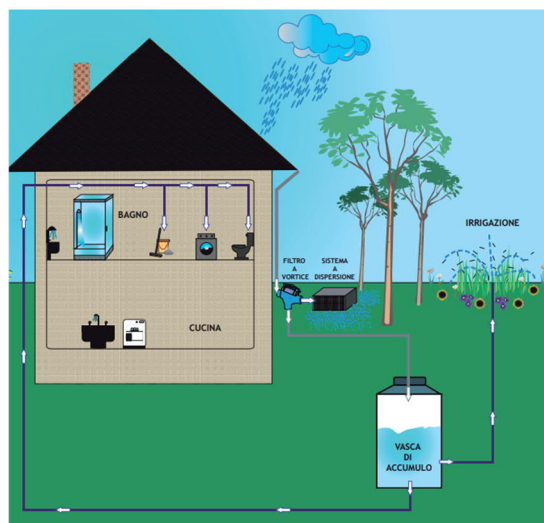
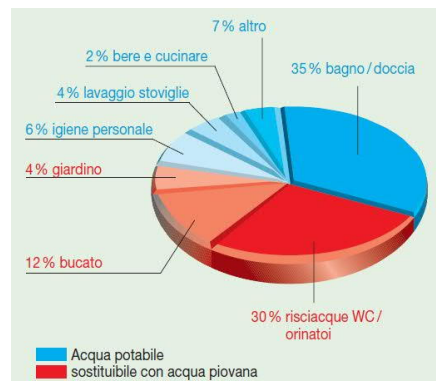


Figura 1: schema di recupero e uso acque pluviali. Da Idrodepurazione Srl Seregno - (MB)

² CIRIA report C753 *The SuDS Manual*- © CIRIA 2015 ISBN: 978-0-86017-760-9.

I filtri possono essere posti lungo i pluviali diretti alla cisterna per separare e scaricare nel recapito fognario o all'esterno il materiale più grossolano, mentre filtri più fini, a cestello o autopulenti di vario tipo sono collocati prima dell'imbecco della cisterna.

Il filtraggio rappresenta una parte essenziale dell'impianto e la norma "E DIN 1989-1: 2000-12- Impianti per l'utilizzo dell'acqua piovana", che è considerata il riferimento più attendibile per il riuso delle acque pluviali, dedica a tale aspetto un intero capitolo (DIN 1989-2/2004).

Figura 2: esempio di filtro lungo il pluviale



Più recentemente (2012) è stata emanata la specifica tecnica UNI/TS 11445:2012 "Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano. Progettazione, installazione e manutenzione", strutturata secondo gli schemi della citata norma tedesca e delle norme austriaca (ÖNORM B 2572/2005) e inglese (BS 8515/2009), indirizzate all'edilizia residenziale.

1.3 Dimensionamento del sistema di accumulo

Secondo la specifica citata, per il dimensionamento delle opere si possono impiegare metodologie di calcolo: una semplificata ed una analitica. Nell'applicazione del primo metodo, qui esposto a titolo di esempio, occorre siano rispettate le seguenti condizioni:

1. La richiesta per uso non potabile deve essere caratterizzata da consumi pressoché uniformi durante l'anno;
2. La tipologia prevalente delle superfici di captazione deve essere la copertura;
3. Il sistema di accumulo deve essere chiuso e/o coperto, in modo da evitare sensibili perdite per evaporazione.

Per quanto riguarda il primo punto si sottolinea che l'applicazione del sistema a una pluralità di abitazioni rende il valore medio più verosimile.

Il primo parametro da considerare è il regime pluviometrico, espresso della precipitazione media annua ottenuta da una serie storica di osservazioni di durata almeno trentennale ⁽³⁾, per consentire una valutazione della variabilità interannuale sulla stima del risparmio idrico e sullo scarico superficiale per troppo pieno (overflow). Per il territorio di Castiglione d'Adda una prima stima è fornita dal documento di ⁽⁴⁾, che indica 850 mm/anno.

³ Palla, A.; Gnecco, I.; Lanza, L.G. (2011): "Non dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems", Journal Hydrology, Ed. Elsevier, Philadelphia.

⁴ CARTA DELLE PRECIPITAZIONI MEDIE, MASSIME E MINIME ANNUE DEL TERRITORIO ALPINO DELLA REGIONE LOMBARDIA (registrate nel periodo 1891 – 1990).

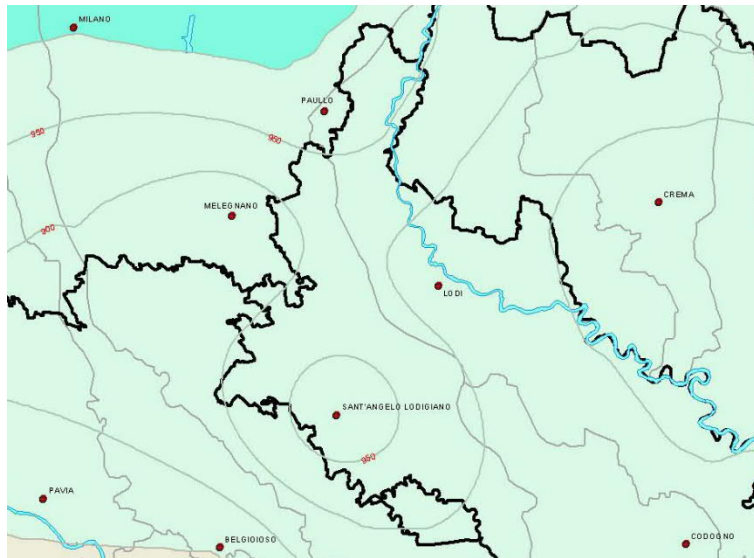


Figura 3: precipitazione media annua a Castiglione d'Adda e territori circostanti

In mancanza di dettagli sulle condizioni pluviometriche locali e sulle sue variazioni pluriennali, si ritiene opportuno prendere in esame i dati di Milano Linate del servizio dell'Aeronautica Militare, rilevati 40 Km a nord ovest in un ambito climaticamente affine a quello di Castiglione d'Adda, che hanno il vantaggio di presentare numerose elaborazioni e di provenire da fonte autorevole.

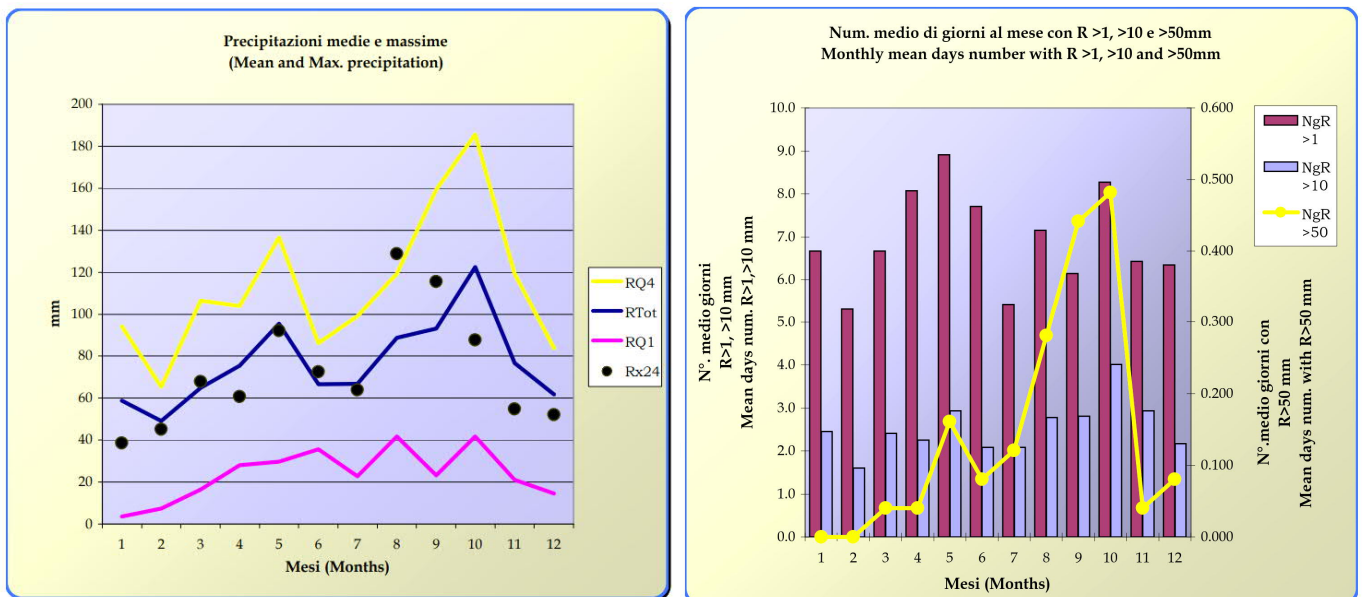


Figura 4: Da Atlante climatico Copyright Aeronautica Militare - Servizio Meteorologico Milano Linate (107 m. s.l.m.) dal 1971 al 2000.

- RTot= Precipitazione totale media mensile (mm)
- RQ1 Primo quintile della distribuzione delle precipitazioni (solo nel grafico)
- RQ4 Quarto quintile della distribuzione delle precipitazioni (solo nel grafico)
- Rx24 Precipitazione massima in 24 ore
- R12a precipitazione massima fra le ore 00 e le 12 ;
- R12b precipitazione massima fra le ore 12 e le 24

I dati forniscono un quadro completo d'informazioni che possono consentire approfondimenti sia per la problematica ora in esame sia per il dimensionamento dei sistemi di infiltrazione a Castiglione d'Adda.

Il valore medio annuo di tutto il periodo è di 920 mm, di poco superiore a quello indicato in per Castiglione d'Adda, ed oscilla tra circa 400 mm e 1300 mm.

	RTot	Rx12a	Rx12b	Rx24
Gen	58.7	24.8	25.6	38.6
Feb	49.2	24.4	27.8	45
Mar	65	49.4	28.8	67.8
Apr	75.5	53.2	33	60.6
Mag	95.5	51.6	61.2	92.2
Giu	66.7	47.4	65.4	72.4
Lug	66.8	49.8	52.8	63.8
Ago	88.8	76	103.8	128.8
Set	93.1	55.4	64.2	115.4
Ott	122.4	75.6	69.8	87.6
Nov	76.7	37.6	38.2	54.8
Dic	61.7	28.8	40	52
Totale	920			
Media mensile	77			
D.s.	20			

Numero di giorni con precipitazione maggiore di 1 mm, 5 mm, 10 mm, 50 mm; NgFog: numero di giorni di nebbia

	>1	>5	>10	>50	NgFog
Gen	6.7	3.8	2.4	0	21.4
Feb	5.3	2.5	1.6	0	11.8
Mar	6.7	3.8	2.4	0	4.5
Apr	8.1	4.5	2.2	0	1.5
Mag	8.9	5.5	2.9	0.2	0.9
Giu	7.7	3.8	2.1	0.1	0.5
Lug	5.4	3.3	2.1	0.1	0.5
Ago	7.1	4.3	2.8	0.3	0.7
Set	6.1	3.9	2.8	0.4	4
Ott	8.3	5.5	4	0.5	12
Nov	6.4	4.3	2.9	0	16.1
Dic	6.3	3.8	2.2	0.1	17.2
Totale	83.0	49.0	30.4	1.7	91.1
Media mensile	6.9	4.1	2.5	0.1	7.6
D.s.	1.1	0.8	0.6	0.2	8

Tabella 1: elaborazioni di alcuni dati climatici a Linate

L'andamento stagionale medio mostra due picchi, quello primaverile di minore altezza e quello più pronunciato a ottobre e precipitazioni intense concentrate in particolare nei mesi di agosto e settembre. Altra informazione necessaria per il dimensionamento del sistema di accumulo è il numero di giorni con intensità di pioggia superiore a 1 mm, che rappresenta la soglia al di sotto della quale nei bacini urbani non si verificano deflussi.

La superficie di captazione corrisponde alla proiezione sul piano orizzontale dell'edificio, comprese le sporgenze della copertura.

Il coefficiente di deflusso ϕ (sempre < 1) rappresenta il rapporto tra il volume totale che arriva all'ingresso del serbatoio e il volume totale di precipitazione piovosa caduto sulla superficie impermeabile. A fianco si riporta il valore del coefficiente ricavato dalla Norma EN DIN 1989-1:2000-12.

Si determina l'afflusso meteorico annuo come $Q = \phi P A$, dove:

Q è l'afflusso meteorico annuo, espresso in litri [l];

ϕ è il coefficiente di afflusso; [-]

P è la precipitazione media annua, in millimetri [1 mm = 1 l/m²];

A è la proiezione orizzontale della superficie di captazione [m²].

La richiesta pro-capite di acqua non potabile, r, che può essere assunta pari a 100 l/giorno per abitante, oppure essere ottenuta dalla somma delle componenti della Tabella 3.

Tipo di copertura	ϕ
Tetto piano ricoperto di materiale plastico	1,00
Tetto piano ricoperto di materiale metallico	0,98
Tetto inclinato con fogli metallici	0,95
Tetto inclinato con fogli plastici	0,93
Tetto inclinato con ondulati plastici	0,90
Tetto inclinato con tegole	0,90
Tetto piano ricoperto con lastre di cemento	0,80
Tetto piano ricoperto con lastre generiche	0,80
Tetto piano ricoperto con asfalto	0,80
Tetto piano ghiaioso	0,60
Tetto verde intensivo	0,50
Tetto verde estensivo	0,30

Tabella 2: coefficienti di deflusso

Tipologia dello scarico	Fabbisogno idrico specifico per utente (litri/ giorno)
WC domestico	46
WC uffici	12
WC scuole	6
Orinatoio	2
Lavatrice	14
Pulizie	2
Tipo di irrigazione	Fabbisogno idrico specifico (L/giorno * m ²)
Irrigazione Orto	0.16
Impianti sportivi	0.55

Tabella 3: stima dei fabbisogni di acque non potabili

Il volume totale annuo in litri richiesto per uso non potabile è quindi $R = n r 365$ dove: n è il numero di abitanti serviti ed r è la richiesta giornaliera pro-capite in litri.

1.4 Esempio di calcolo con metodo semplificato uni/ts 11445:2012

Facendo l'ipotesi di una abitazione monofamiliare a Castiglione d'Adda con le seguenti caratteristiche:

- o superficie tetto in tegole (proiettata sul piano orizzontale) = 160 mq
- o superficie a verde e/o orti = 120 mq
- o residenti = $n. 4$

$$Q = 0.9 * 920 * 160 = 132.480 \text{ litri}$$

$$R = 4 * 100 * 365 = 146.00 \text{ litri stimando } r = 100 \text{ l/giorno,}$$

oppure utilizzando la Tabella 3

$$\text{Se } r = 46+14+2+120*0.2 \text{ (circa) } = 86.0 \text{ l/giorno, da cui } R = 4*86*365 = 125.560 \text{ litri}$$

Il volume utile si ottiene moltiplicando il valore minimo tra Q ed R per il coefficiente adimensionale F_p pari al rapporto fra il periodo medio annuo di giorni consecutivi con assenza di precipitazioni "Tempo Secco Medio", e di i giorni dell'anno.

Il numero medio di giorni di "assenza" di precipitazioni meteoriche TSM è dato da: $(365-F) / 12$ dove F = numero di giorni piovosi in un anno, che nel caso di Castiglione d'Adda, considerando validi i dati di Tabella 1, sono 83 (numero di giorni con pioggia > 1 mm). Quindi $TSM = (365-83) / 12 = 23,5 \text{ gg}$ e $F_p = 23.5/365 = 0.064 [-]$

Il volume ottimale del sistema di accumulo, che consente di massimizzare le prestazioni dell'impianto di raccolta ed utilizzo dell'acqua piovana, è quindi

$$(Q * F_p) = 132.480 * 0.064 = 8.478 \text{ litri se } Q < R, \text{ oppure con } (R * F_p) = 125.560 * 0.064 = 8.035 \text{ litri.}$$

Nel calcolo si è trascurata l'efficienza dei filtri, variabile dal 70 al 90 %, che riduce il volume che affluisce nella cisterna e la necessità di applicare un coefficiente di sicurezza per tenere conto di variazioni della pluviometria (periodi siccitosi) e delle modalità di utilizzo dell'acqua, ma lo scopo dell'esempio è quello di indicare principali parametri che operano sulla valutazione dei volumi di immagazzinamento.

Notazioni aggiuntive sul funzionamento del sistema:

- ✓ In caso di carenza di acqua nel serbatoio, questa potrà essere automaticamente reintegrata dalla rete dell'acquedotto per garantire il servizio costante alle utenze di acque non potabili .
- ✓ In caso di mal funzionamento del sistema o di portate eccedenti quelle previste, un by-pass dovrà assicurare lo scarico in fognatura;
- ✓ Il serbatoio dovrà garantire la tenuta all'acqua, la resistenza agli agenti chimici e biologici e la durabilità.
- ✓ Il progetto e l'installazione e la manutenzione devono essere conformi alle norme UNI EN 806:2008 (*Impianti per il convogliamento di acqua all'interno di edifici*), UNI EN 806:2010 (*Parte 4: Installazione ed esercizio*), UNI EN 806:2012 (*Parte 5: Esercizio e manutenzione*) UNI 9182:2014 (*Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua: Progettazione, installazione e collaudo*).
- ✓ La rete destinata all'acqua piovana (la rete duale), deve essere contrassegnata in tutto il suo percorso e in corrispondenza dei punti di prelievo dovranno essere apposte etichette di "ACQUA NON POTABILE" e relativo pittogramma (da UNI/TS 11445:2012)



2 Proposta di REGOLAMENTAZIONE per Castiglione d'Adda

La realizzazione di impianti di recupero e riuso delle acque pluviali non inquinate è possibile in tutto il territorio comunale, ed essendo la falda freatica posta a profondità moderatamente elevata in quasi tutta l'area urbanizzata, con la sola eccezione delle superfici e NW di via Umberto Primo e nella parte inferiore di via La valle Bassa dove comunque la soggiacenza non è mediamente inferiore a 4 metri, la collocazione di serbatoi o strutture simili ⁽⁵⁾ di dimensioni ordinarie entro il terreno è sempre convenientemente accoglibile, potendosi di massima escludere il rischio di interferenza delle opere in sotterraneo con la falda freatica.

La collocazione di serbatoi interrati finalizzati al recupero delle acque pluviali è soggetta alle medesime prescrizioni che interessano in genere le opere da eseguire nel sottosuolo e nessuna limitazione di carattere geotecnico è invece data per serbatoi collocati sulla superficie del terreno, sul tetto o nel sottotetto, per i quali i vincoli sono principalmente costituiti dalla capacità strutturale dell'edificio e riguarda quindi aspetti che esulano la presente regolamentazione.

2.1 Proposta di normativa:

Gli edifici di nuova costruzione e/o ristrutturazione totale, con superficie destinata a verde pertinenziale e/o a cortile superiore a 30 mq, dovranno essere realizzati in modo tale da recuperare attraverso sistemi di captazione, filtro e accumulo almeno il 50% dell'acqua meteorica proveniente dalle coperture per consentirne l'utilizzo per usi compatibili, con la contestuale realizzazione di una rete di adduzione e distribuzione idrica delle stesse acque (rete duale).

Le coperture dei tetti devono essere munite, tanto verso il suolo pubblico quanto verso gli spazi interni, di canali di gronda atti a convogliare le acque meteoriche dei pluviali nel sistema di raccolta.

Il volume della vasca di accumulo sarà in funzione del volume di acqua intercettato dalla superficie di captazione e dal valore medio annuo delle precipitazioni individuato per Castiglione d'Adda nella misura di 900 mm.

Il fabbisogno idrico per l'uso a cui l'acqua recuperata è destinata e le dimensioni della vasca di accumulo dovranno essere calcolate secondo le prescrizioni della UNI/TS 11445:2012 e la vasca stessa deve essere dotata di un sistema di filtraggio per l'acqua in entrata, di uno sfioratore sifonato collegato al sistema disperdente interno alla proprietà (o alla rete fognaria comunale) per smaltire acqua in

eccesso e di un adeguato sistema di pompaggio per fornire l'acqua alla pressione necessaria agli usi non potabili.

L'impianto di pompaggio può non essere necessario in caso di collocazione di serbatoi sul tetto o nel sottotetto.

L'impianto idrico così formato non può essere collegato alla normale rete idrica e le sue bocchette devono essere dotate di dicitura "acqua non potabile" secondo la normativa vigente.

Per l'edificio esistente la captazione e il riuso delle acque pluviali è incoraggiato come contributo volontario alla riduzione dei deflussi e alla adesione ai principi del drenaggio sostenibile ed uso razionale delle acque.

Per tale finalità l'amministrazione si riserva di ...bandire apposite erogazioni nella misura del XX % delle spese sostenute per la realizzazione delle opere di captazione e riuso delle acque meteoriche.

[in alternativa] ...di operare una riduzione permanente del XX% sul canone di fognatura e depurazione delle acque reflue.

Tratto con modifiche da rapporto ON-RE 2010 sui regolamenti edilizi comunali - Cresme e Legambiente.

⁵ Per l'immagazzinamento dell'acqua è possibile realizzare volumi adatti anche ricorrendo a sistemi modulari a geocelle, che sono più frequentemente impiegati per l'infiltrazione ma che possono svolgere funzioni di accumulo mediante l'uso di una geomembrana impermeabile che li isola dal terreno. Es. <https://www.geoplastglobal.com/it/prodotti/acqua/drainpanel>

Pavimentazioni drenanti

Sommario

1	PAVIMENTAZIONI DRENANTI.....	2
1.1	Premessa.....	2
1.2	Principali tipologie di pavimentazioni drenanti.....	3
1.3	Sistemi di gestione dell'acqua nelle pavimentazioni drenanti	4
1.3.1	Considerazioni generali sulla progettazione.....	7
1.4	Scelta e collocazione delle pavimentazioni permeabili.....	8
1.5	Aspetti idraulici.....	11
1.5.1	Infiltrazione di acqua piovana attraverso la superficie permeabile.....	11
1.5.2	Capacità di immagazzinamento sotto la superficie della pavimentazione	12
1.5.3	Il fenomeno dell'intercettazione.....	14
1.5.4	Controllo del flusso di picco.....	14
1.5.5	Progetto della portata eccedente	14
1.5.6	Aspetti sul trattamento delle acque.....	15
1.6	ASPETTI STRUTTURALI.....	16
1.6.1	Scarichi	20
1.7	MATERIALI	21
1.7.1	Sabbia di riempimento e lo strato di posa per prati rinforzati	21
1.7.2	Caratteristiche del filtro geotessile	21
1.7.3	CARATTERISTICHE DELLA FONDAZIONE	22
1.7.4	REQUISITI DI MESSA IN OPERA	23
1.8	MANUTENZIONE	23
2	PROGETTO IDRAULICO dei sistemi di infiltrazione().....	26

1 PAVIMENTAZIONI DRENANTI

1.1 Premessa

Le pavimentazioni permeabili sono adatte all'uso per il traffico pedonale e / o veicolare e consentono al tempo stesso all'acqua piovana di infiltrarsi dalla superficie verso gli strati di sostegno sottostanti. L'aspetto principale è che **l'acqua viene immagazzinata temporaneamente sotto la superficie prima del suo reimpiego, che consiste nell'infiltrazione nel terreno o nel convogliamento verso uno scarico controllato.**

Le superfici permeabili, insieme alle loro associate sottostrutture, sono un mezzo efficace per la gestione del deflusso perché le acque meteoriche vengono intercettate in corrispondenza della fonte, eliminando o riducendo il deflusso (lo scorrimento superficiale).

In una sperimentazione alcuni Autori ⁽¹⁾ hanno riscontrato che era necessaria un'intensità di pioggia superiore a 20 mm/h per provocare ruscellamento. Dal confronto con i dati di frequenza e intensità di pioggia presentati nel capitolo 2, emerge che a Castiglione d'Adda mediamente solo un giorno al mese potrebbe dare luogo a deflusso, comunque ridotto in volume e portata dalla laminazione del serbatoio sotto la pavimentazione.

Uno studio di Brattebo e Booth, 2003 ⁽²⁾ ha esaminato l'efficacia a lungo termine di quattro sistemi di pavimentazioni permeabili in un parcheggio dopo 6 anni di utilizzo, considerando i parametri di durata strutturale, capacità di infiltrazione e qualità delle acque che percolano attraverso il materiale. Tutti i sistemi di pavimentazione permeabili non hanno mostrato segni importanti di usura e quasi sempre l'acqua piovana si è infiltrata senza provocare deflusso superficiale.

Ridurre la quantità e migliorare la qualità dell'acqua sono gli obiettivi di una superficie drenante, perché tali sistemi costituiscono contestualmente un mezzo di laminazione e di trattamento, che realizza processi di filtrazione, adsorbimento, biodegradazione e sedimentazione. Secondo Pezzaniti et al. 2008 ⁽³⁾ gli inquinanti presenti in superficie si infiltrano nella pavimentazione e la maggioranza di essi viene intrappolata all'interno degli strati.

Esistono due tipi di pavimenti permeabili definiti sulla base dei materiali di rivestimento:

- Le pavimentazioni permeabili hanno una superficie formata da materiale impermeabile, ma contenente spazi vuoti che consentono il drenaggio verso la sottostruttura, come nel caso della pavimentazione in blocchi di calcestruzzo che permettono il passaggio dell'acqua piovana attraverso i giunti o i vuoti tra i blocchi.

¹ Ball James and Rankin Kate, *The hydrological performance of a permeable pavement*, Taylor & Francis Ltd., vol. 7, no. 2, pp. 79-90, 2010.

² Brattebo B.O., Booth D.B., *Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems*, Water Research, vol. 37, Is. 18, pp. 4369-4376, 2003.

³ Pezzaniti D., Beecham S., Kandasamy J., *Influence of clogging on the effective life of permeable pavements*, in Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water Management, 2008.

- Le pavimentazioni porose che permettono l'infiltrazione dell'acqua attraverso tutta la loro superficie, come le superfici rinforzate di erba o ghiaia, il calcestruzzo poroso e l'asfalto poroso.

1.2 Principali tipologie di pavimentazioni drenanti

PAVIMENTAZIONE PERMEABILE MODULARE a BLOCCHI

Il tipo più diffuso è costituito da blocchi di calcestruzzo, ma possono anche essere usati anche altri materiali come mattoni di argilla vetrificati, pietra naturale, ecc. nei quali sono sempre presenti giunti allargati riempiti di ghiaietto per consentire all'acqua di penetrare. Queste pavimentazioni trovano impiego in:

- aree pedonali
- passaggi carrai privati
- parcheggi
- strade da poco a pesantemente trafficate
- zone portuali

Comunemente la soluzione è impiegata negli stalli delle aree di parcheggio alternati a normali corsie asfaltate perché l'asfalto può tollerare in modo più efficace gli sforzi trasmessi dalle sterzate.

In questo caso lo strato di stoccaggio dell'acqua nella sottofondazione è esteso anche sotto l'asfalto impermeabile.

Nella Figura 1 sono specificate le dimensioni per i riempimenti e per la sottofondazione suggerite da *The Brick Industry Association*;

D448 # 8 (2-10 mm, ghiaia molto fine e fine) ;

D 448 # 57 (2-20 mm, da ghiaia molto fine a grossolana);

D 448 # 2 (10-76 mm, da ghiaia media a molto grossolana).

La raccomandazione esclude la presenza di sabbia e lo spazio tra gli elementi suggerito è di 6,4 - 13 mm.

ASFALTO POROSO

L'asfalto poroso può essere usato come una superficie indipendente o per fornire una base più resistente alle pavimentazioni formate da blocchi di calcestruzzo permeabile quando è previsto traffico pesante (Figura 8 e Figura 9).

La superficie porosa dell'asfalto riduce il rumore del traffico.

I potenziali usi includono:

- passaggi carrai privati
- parcheggi
- strade poco trafficate
- scuole

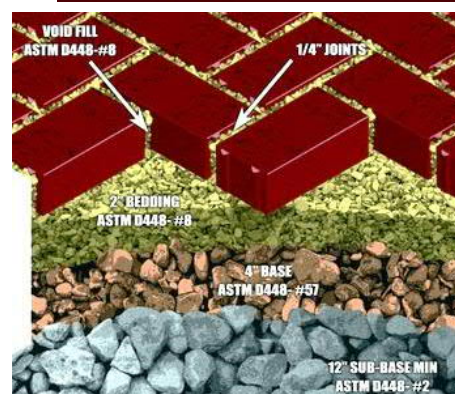
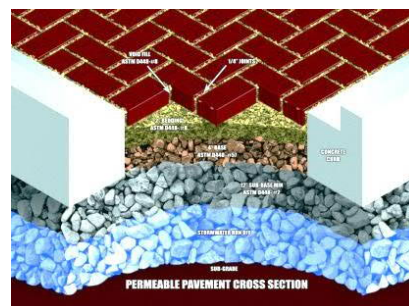
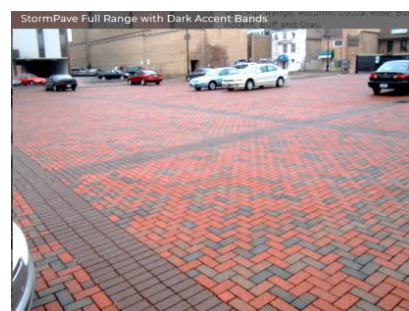


Figura 1: tratte dal sito Pine Hall Brick.

PRATI RINFORZATI (*Grass reinforcement*)

I prati rinforzati utilizzano griglie in plastica o cemento riempite di erba o ghiaia.

Questo tipo di pavimento è più adatto per luoghi con traffico limitato, specialmente ad uso stagionale, in modo che l'erba abbia il tempo per ricrescere. I potenziali usi includono:

- o parcheggi di strutture per il tempo libero
- o passaggi carrai privati, per hotel e uffici
- o scuole

È importante che la realizzazione sia fatta in modo da garantire che i terreni non siano compattati e che il tipo di erba sia adatto al clima locale.

CALCESTRUZZO POROSO (*Porous concrete*)

Il calcestruzzo poroso può essere utilizzato come materiale di rivestimento o per fornire una stabilità strutturale migliorata alla base di pavimentazioni permeabili a blocchi di cemento dove si prevede un traffico frequente di autocarri. I potenziali usi includono:

- o parcheggi e strade leggermente trafficate.

PAVIMENTAZIONE POROSA IN BLOCCHI

La soluzione con blocchi di calcestruzzo poroso (o altri materiali riciclati come vetro) fanno affidamento sulla permeazione attraverso le unità di materiale poroso piuttosto che attraverso larghi giunti tra i blocchi. Le esperienze nel Regno Unito indicano che questo tipo di pavimentazione è molto più incline a intasamento di tutti gli altri tipi di sistema, a causa della piccola dimensione dei vuoti dell'unità di pavimentazione. Pertanto, il loro potenziale utilizzo è limitato a causa di questo rischio di intasamento.

1.3 Sistemi di gestione dell'acqua nelle pavimentazioni drenanti

Esistono tre principali modelli di gestione delle acque al di sotto della superficie delle pavimentazioni permeabili descritte nella Figura 2.

Il **tipo A** riflette un sistema in cui tutte le precipitazioni passano nella sottostruttura (dove è temporaneamente immagazzinata) da dove s'infiltra nel terreno sottostante. Normalmente non ci sarà scarico dal sistema in fognatura o in corso d'acqua, tuttavia, potrebbe essere necessario un troppo pieno di emergenza per far fronte a eventi superiori a quello di progettazione o per tenere conto della possibile diminuzione di efficienza del sistema (riduzione del tasso di infiltrazione) durante la sua vita utile.

In un sistema di **tipo B**, la porzione delle precipitazioni che supera la capacità d'infiltrazione dei sottosuoli scorre verso un sistema di drenaggio. Ciò può avvenire per evacuazione diretta attraverso il sottofondo o tramite tubazioni forate all'interno o sotto di esso. Per raccogliere e convogliare l'acqua sotto

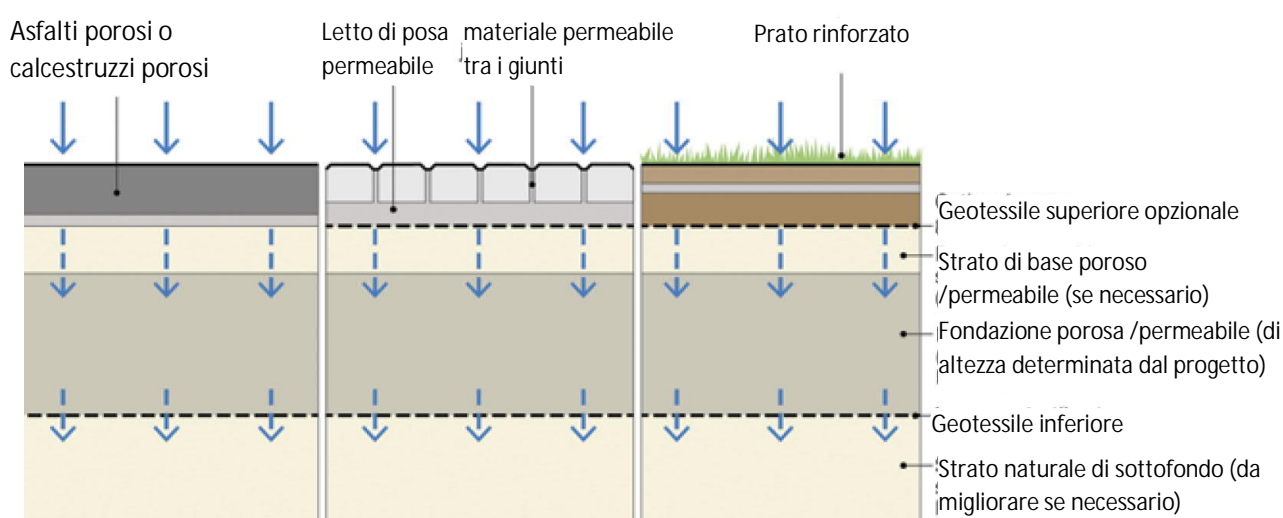
lo strato di fondazione è possibile impiegare dei manti geocompositi, che possono essere anche posizionati verticalmente ai bordi della costruzione per consentire il collegamento a un tubo di drenaggio.

Non ci sono infiltrazioni invece con un sistema di tipo C. Il sistema è generalmente avvolto in una membrana impermeabile e flessibile posta sopra il sottofondo (livello di formazione). Una volta che l'acqua è filtrata attraverso lo strato di fondazione, viene convogliata verso l'uscita tramite tubi perforati. Questo sistema può essere usato in questi casi:

- o i terreni con bassa permeabilità o bassa resistenza, che potrebbero essere danneggiati dall'acqua di infiltrazione;
- o dove l'acqua deve essere raccolta e utilizzata;
- o l'acqua sotterranea sottostante è vulnerabile all'inquinamento (sensitive) e richiede protezione;
- o la falda freatica si trova a meno di 1 m dalla sottofondazione;
- o il sito è contaminato e i rischi di mobilizzazione di contaminanti devono essere ridotti al minimo.

A questi tre tipi fondamentali di costruzione di pavimentazione permeabile si aggiungono i seguenti:

1. I prati rinforzati, che possono costituire una pavimentazione standard non drenante. Questi sistemi intercettano le piogge, ossia trattengono la parte iniziale di un evento intenso e le piogge poco intense e prolungate, ma richiedono di trattare il deflusso residuo in quanto non prevedono alcun accumulo di acqua nello strato di fondazione.
2. Si può realizzare una superficie impermeabile di asfalto o calcestruzzo sopra una fondazione permeabile (nota come superfici macro permeabili [MPPS], o pavimentazioni serbatoio) in cui l'acqua viene introdotta nello stoccaggio attraverso una serie di punti di ingresso distinti, abbastanza velocemente da impedire allagamenti durante l'evento meteorico di progetto, ma senza consentire a limo e detriti di entrare nella fondazione.



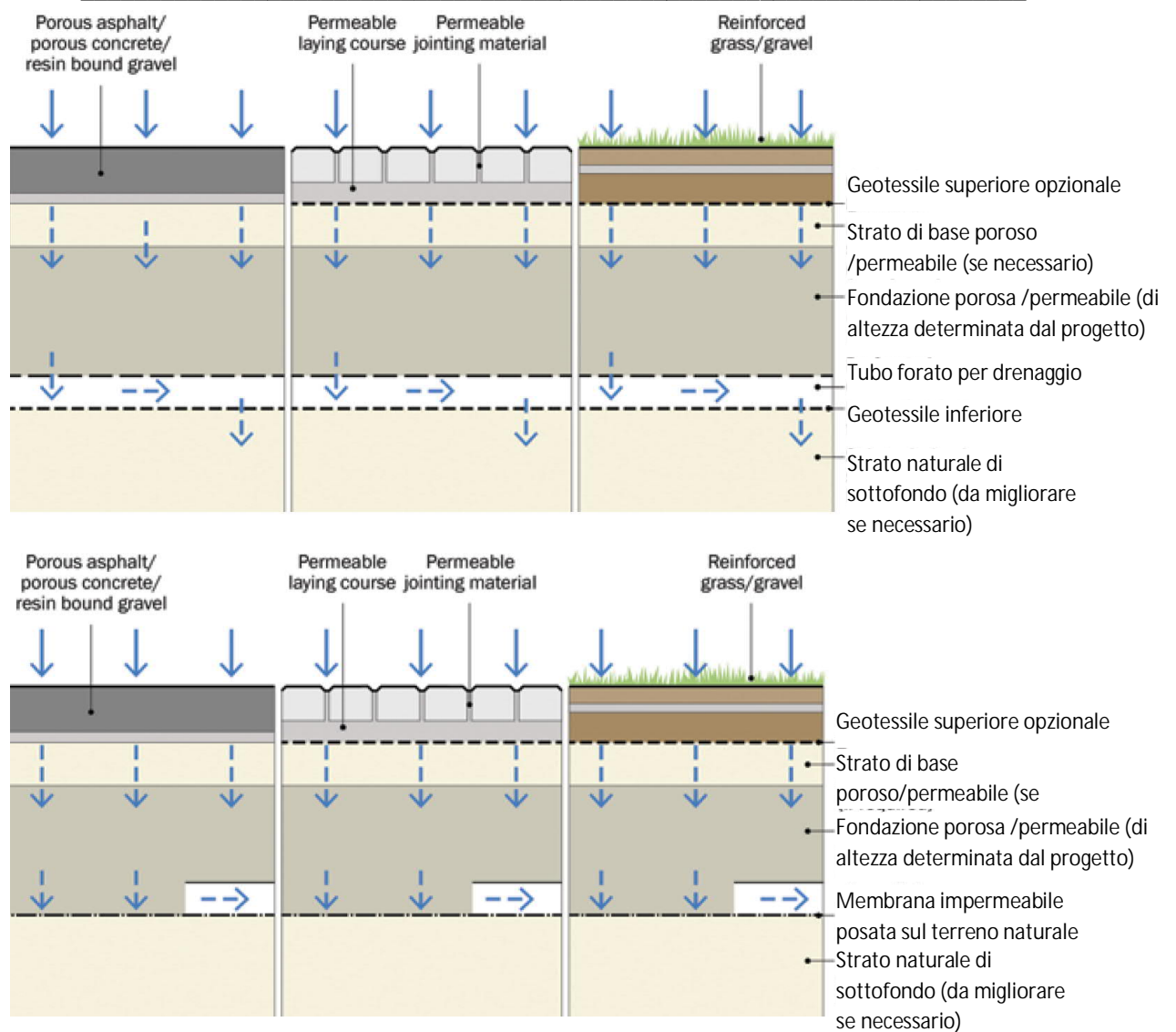


Figura 2: soluzioni di tipo A, B e C, la prima totalmente drenante nel terreno, che si può ritenere attuabile a Castiglione d'Adda (da 17).

Il sistema offre l'opportunità di ottenere i benefici di una pavimentazione permeabile quando l'uso di superfici di pavimentazione tradizionali è preferito a causa del traffico. Le prestazioni dei dispositivi atti a intercettare il limo sono fondamentali in questa applicazione poiché è impossibile rimuovere successivamente il limo dalla sottostruttura senza il ripristino completo del sistema.

1.3.1 Considerazioni generali sulla progettazione

I progetti di tipo C possono essere modificati per consentire di immagazzinare una parte della precipitazione da impiegare per varie applicazioni non potabili ⁽⁴⁾, come indicato in Figura 3.

A causa dell'evaporazione, la parte catturata è inferiore a quella delle superfici impermeabili e si raccomanda l'uso di un coefficiente pari a 0,4 ⁽⁵⁾.

Il pietrisco che agisce da serbatoio nei marciapiedi permeabili può a volte essere sostituito con sistemi geocellulari, che hanno una capacità d'immagazzinamento (porosità > 90%) superiore a quella fornita dagli strati di base con pietrisco (porosità 35-40%) ma è richiesto l'uso di un geotessile per garantire un'adeguata filtrazione delle acque.

Le strutture geocellulari poste sotto le pavimentazioni carrabili possono essere esposte a carichi molto alti ed è quindi fondamentale una progettazione strutturale attenta.

Solitamente le pavimentazioni drenanti sono usate per immagazzinare e infiltrare le piogge che cadono sulla superficie stessa, ma possono essere utilizzate anche per gestire apporti provenienti da tetti e da altre aree impermeabili adiacenti come parcheggi di auto.

In caso di ingresso di acqua da altre strade o parcheggi, il rapporto massimo tra la superficie impermeabile e quella permeabile dovrebbe essere 2: 1, per ridurre al minimo il rischio che la frazione limosa ostruisca la superficie della pavimentazione. Quando accade, l'intasamento si sviluppa inizialmente al contatto tra le due superfici, per poi estendersi gradualmente attraverso la pavimentazione permeabile.

La portata proveniente dai tetti può essere molto elevata e può essere necessario collocare un diffusore all'uscita per regolare le velocità del flusso, circostanza che richiede però una progettazione molto attenta soprattutto dove è presente un drenaggio del tetto con sifone.

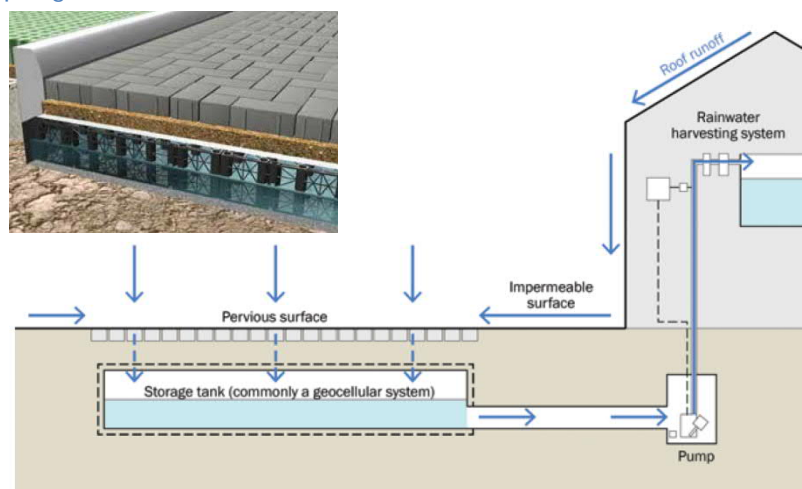


Figura 3 immagazzinamento di acque pluviali provenienti da tetti (roof runoff), da superfici impermeabili e direttamente sulla superficie permeabile (pervious surface) in serbatoi (storage tank) sotto il piano stradale (di solito formati da sistemi a geocelle) e invio tramite pompa a un sistema di raccolta (harvesting system).

⁴ BEECHAM, S, LUCKE, T and MYERS, B (2010) "Designing porous and permeable pavements for stormwater harvesting and re-use". In: Proc first int European congress of the International Association for Hydro-Environment Engineering and Research, 4-6 May 2010, Edinburgh, Scotland.

⁵ INTERPAVE (2010) Permeable pavements. Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements, sixth edition, Interpave, Leicester, UK.

In Figura 4 è rappresentata una condizione con pozzetto e sistema di filtrazione del limo.

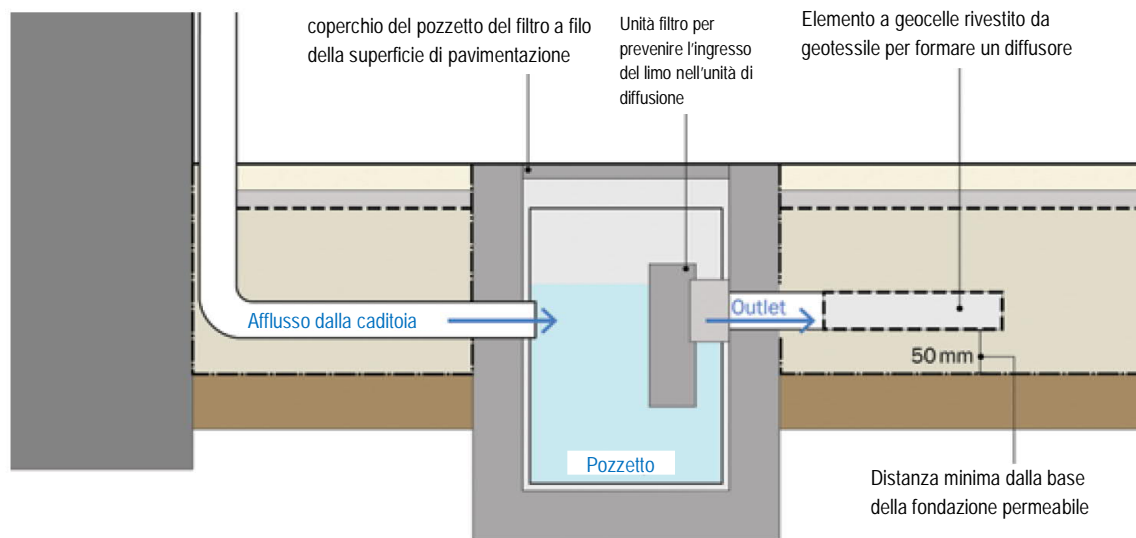


Figura 4: Diffusore di flusso per distribuire lo scarico del tetto nella fondazione permeabile (da Interpave, 2013⁶)

Nel caso in cui l'acqua dai tetti sia scaricata tramite pozzetti di cattura direttamente nella fondazione, il rapporto impermeabile/ permeabile di cui sopra può essere incrementato e per tetti di piccole dimensioni è possibile scaricare il pluviale direttamente sulla pavimentazione permeabile, nel qual caso il rapporto massimo dovrebbe essere ancora 2:1.

1.4 Scelta e collocazione delle pavimentazioni permeabili

Le pavimentazioni permeabili possono essere utilizzate nella maggior parte dei siti e spesso essere combinate con altre soluzioni come fossi inerbiti, bacini di detenzione e zone umide, permettendo di realizzare questi successivi sistemi di attenuazione e trattamento di dimensioni inferiori e meno profondi.

L'uso di pavimentazione permeabile deve essere evitato laddove esiste un elevato rischio di presenza di limo sulla superficie, ossia nei cantieri, presso le ditte di costruzioni e in condizioni simili.

Le pavimentazioni permeabili sono per lo più utilizzate per drenare strade importanti con volumi e velocità di traffico ridotti (meno di 50 km all'ora), aree di parcheggio auto e altre superfici a traffico limitato o non trafficate, tuttavia, sono in grado di supportare il traffico di veicoli commerciali pesanti (HGVs)⁷.

Le preoccupazioni principali nascono dalle frequenti frenate e sterzate che possono causare solchi nelle superfici, espansione dei blocchi di cemento e frantumazione dell'asfalto poroso.

⁶ INTERPAVE (2013) *Understanding permeable paving. Guidance for designers, developers, planners and local authorities*, fifth edition, Interpave, Leicester, UK.

⁷ Chaddock and Nunn, (2010) *A pilot scale trial of reservoir pavements for drainage attenuation*, PPR 482, Transport Research Laboratory, Berkshire, UK.

Dove è impedita l'infiltrazione, ovvero nelle soluzioni di tipo C, il livello massimo stagionale delle acque sotterranee dovrebbe sempre essere inferiore alla base della formazione della pavimentazione.

I servizi sotterranei, se possibile, dovrebbe essere posti in aree con pavimentazione impermeabile convenzionale, **che possono scaricare in aree permeabili adiacenti; in genere un'adeguata combinazione di superfici permeabili ed impermeabili è in grado di fornire una struttura ottimale.**

Ad esempio, una carreggiata centrale impermeabile potrebbe essere impiegata per contenere servizi, differenziandola visivamente dalla superficie permeabile dei parcheggi.

Caratteristiche del terreno naturale		Tipo A	Tipo B	Tipo C
Permeabilità del terreno naturale sotto la fondazione K in m/s	$10^{-6} - 10^{-3}$	Si	Si	Si
	$10^{-8} - 10^{-6}$	No	Si	Si
	$10^{-10} - 10^{-8}$	No	No	Si
Acqua di falda a profondità inferiori a 1,0 m		No	No	Si
Inquinanti presenti nel suolo		No	No	Si
Condizioni tali da sconsigliare l'infiltrazione (instabilità, presenza di vuoti, argille rigonfianti etc)		No	No	Si

Tabella 1: Guida alla selezione del tipo di sistema di pavimentazione, da ⁽⁵⁾.

Le pavimentazioni permeabili si comportano in modo efficace in climi freddi e sopportano bene le condizioni di gelo-disgelo, meglio delle pavimentazioni standard ⁽⁸⁾ a causa dell'aria presente nello strato di base che agisce come isolante termico limitando la penetrazione del gelo nella pavimentazione, unito a un più alto calore latente interno dovuto al maggiore contenuto di umidità e non tendono a ghiacciare sulla superficie perché l'acqua e la neve si sciolgono e drenano direttamente nel pavimento dove tendono a sciogliersi più velocemente delle strade normali. Gli studi hanno anche dimostrato una piccola perdita nelle prestazioni durante la stagione fredda e una maggiore tendenza a sviluppare brina sulla superficie rispetto alla normale pavimentazione.

Le pavimentazioni permeabili svolgono quindi due funzioni.

1. Catturare in modo efficace l'evento pluviometrico intenso scaricandolo in modo controllato nei sistemi di sottofondo o in drenaggi.

⁸ KEVERN, J T, SCHAEFER, V R and WANG, K (2009) "Temperature behavior of pervious concrete systems" Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol 2098, Washington, DC USA, pp 94-101.

-
2. Possedere una resistenza strutturale sufficiente a sopportare i carichi dai veicoli che viaggiano sulla superficie (Figura 8, Figura 9).

La progettazione richiede quindi due serie di calcoli, e lo spessore maggiore della sottofondazione derivata dai due calcoli è impiegato come spessore di progetto.

1.5 Aspetti idraulici

1.5.1 Infiltrazione di acqua piovana attraverso la superficie permeabile

Le capacità d'infiltrazione delle superfici permeabili sono significativamente maggiori delle massime intensità di pioggia ipotizzabili e generalmente non sono fattori limitanti per l'uso di una pavimentazione permeabile. La capacità d'infiltrazione della superficie non ha alcuna relazione con la capacità di infiltrazione dei terreni sotto la costruzione della pavimentazione.

Si può considerare ragionevole un valore minimo 2500 mm / h (per pavimentazioni nuove).

Esperienze americane e tedesche ⁽⁵⁾ raccomandano di considerare per il progetto attraverso la superficie una velocità di infiltrazione pari al 10% di quella iniziale, per tenere conto dell'effetto di intasamento su una durata di progettazione di 20 anni senza manutenzione. Anche dopo aver permesso l'intasamento, gli studi hanno dimostrato che la capacità di filtrazione a lungo termine delle pavimentazioni permeabili normalmente supererà in modo sostanziale le piogge alle nostre latitudini.

Le pavimentazioni permeabili possono quindi essere progettate per gestire sia le piogge prolungate sia le precipitazioni intense e di breve durata: in base alle curve di probabilità pluviometrica a Castiglione d'Adda (capitolo *Analisi delle condizioni pluviometriche a Castiglione d'Adda*) le precipitazioni possono raggiungere intensità prossime a 200 mm/ora solo per episodi di brevissima durata (6 minuti) con tempi di ritorno di 100 anni.

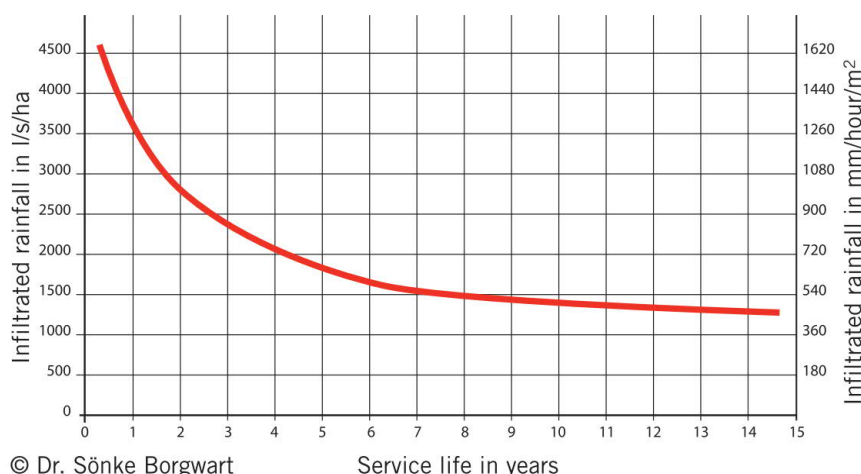


Figura 5: Riduzione tipica della velocità di filtrazione negli anni di servizio (ascissa). La velocità di infiltrazione è espressa sulle ordinate in litri/s/ha e in mm/ora.⁽⁵⁾

Non esiste una procedura di prova standard europea per misurare il tasso d'infiltrazione delle superfici permeabili, ma le norme statunitensi ASTM C1781M-13 sviluppata per la pavimentazione permeabile a blocchi in calcestruzzo e la ASTM C1701M-09 per il calcestruzzo permeabile possono essere applicate ad altri materiali porosi come l'asfalto poroso e sistemi di erba rinforzata.

Come detto la velocità d'infiltrazione attraverso superfici porose e permeabili si riduce nel tempo, principalmente a causa dell'accumulo di limo e detriti nelle giunture o negli spazi porosi della superficie e l'uso della sabbia come materiale di riempimento nella pavimentazione permeabile formata da blocchi in calcestruzzo, è tuttavia molto raro che l'intasamento provochi l'ostruzione completa della superficie che normalmente continuerà a fornire capacità di drenaggio sufficiente: applicando un fattore di sicurezza pari a 10 a tutti i tipi di superficie, il tasso di infiltrazione atteso a lungo termine sarà quindi di 250 mm/h.

Anche in caso di completa ostruzione, le pavimentazioni possono essere ripristinate come indicato nella Tabella 2.

Tipo di pavimentazione permeabile	Meccanismo di ostruzione	Probabile velocità ed estensione dell'ostruzione	Procedimenti di recupero
Prati rinforzati	Gli spazi riempiti di sabbia con la crescita eccessiva dell'erba si comportano come filtri e intrappolano i sedimenti vicino alla superficie	Profondità di intasamento di 6-12 mm ⁽⁹⁾ ; perdita del 60-75% del tasso di infiltrazione	La sabbia deve essere rimossa e sostituita con spazzatrici meccaniche e l'erba riseminata
Asfalti porosi	Polvere e sedimenti sono intrappolati nei pori della superficie	Intasamento interessa 25-75 mm e si può verificare rapidamente dove i carichi limo sono significativi.	Spazzatrice rotante e lavaggio a getto; progettare uno strato superficiale con pori più fini in aumento con la profondità ⁽¹⁰⁾
Calcestruzzi porosi	Polvere e sedimenti sono intrappolati nei pori della superficie	Intasamento interessa 25-75 mm e si può verificare rapidamente dove i carichi limo sono significativi.	Spazzatrice rotante e oscillante specializzata (il tipo utilizzato per rimuovere i residui di pneumatici dalle piste aeroportuali): Progettare uno strato superficiale con pori più fini in aumento con la profondità ⁽¹⁰⁾
Pavimentazione permeabile in blocchi di cemento	Polvere e sedimenti sono intrappolati nelle giunture tra i blocchi	Penetrazione a 50 mm ⁽⁹⁾ ; perdita del 70-90% del tasso di infiltrazione della superficie nuova nei primi anni di utilizzo, poi stabilizzazione dell'infiltrazione ⁽¹¹⁾ ;	Spazzamento e aspirazione spazzata della superficie. Sostituzione dei 20 mm superiori del materiale di giunzione, applicazione di erbicidi e rimozione delle infestanti

Tabella 2: durata e ostruzione delle superfici delle pavimentazioni drenanti.

1.5.2 Capacità di immagazzinamento sotto la superficie della pavimentazione

La capacità richiesta allo strato di fondazione dipende dalle caratteristiche delle precipitazioni considerate, in particolare dal tempo di ritorno di progetto (50-100 anni da RR 07/2017), dalla capacità d'infiltrazione del sottofondo naturale, dai vincoli allo scarico e dalle dimensioni dell'area impermeabile drenante nella pavimentazione permeabile.

⁹ URBAN WATERWAYS (2011) *Maintaining permeable pavements*, NC Cooperative Extension, State University and A&T State University, North Carolina, USA.

¹⁰ BEELDENS, A and HERRIER, G (2006) "Water pervious pavement blocks: the Belgian experience". In: Proc eighth int conf on concrete block paving, 6-8 November 2006, San Francisco, California USA.

¹¹ BORGWARDT, S (2006) "Long-term in-situ infiltration performance of permeable concrete block pavement". In: Proc of the eighth int conf on concrete block paving, 6-8 November 2006, San Francisco, California USA

Lo spessore della sottostruttura richiesta può essere ottenuto con un semplice calcolo (si veda il capitolo 2) o con una dettagliata modellistica idrologica e idraulica. Va notato che la procedura più semplice trascura il tempo di concentrazione e conduce a risultati cautelativi.

Il volume di accumulo nello strato di serbatoio - fondazione è comunemente quello fornito da una porosità stimata del 30% per gli aggregati a grana grossa, ed esempio secondo la norma BS 7533-13: 2009, cui corrisponde la composizione riportata in Tabella 6. Valori di porosità superiori al 30% devono essere direttamente verificati.

In aree dove le pendenze sono pari o superiori al 3%, si dovrebbero realizzare sbarramenti e terrazzi all'interno nella fondazione per costituire una serie di compartimenti, facilmente progettabili in quanto i diversi comparti non devono essere interconnessi con tubi: si tratta comunque di circostanze che difficilmente possono interessare Castiglione d'Adda e quindi le varie soluzioni proposte non vengono qui riferite se non con lo schema di Figura 6.

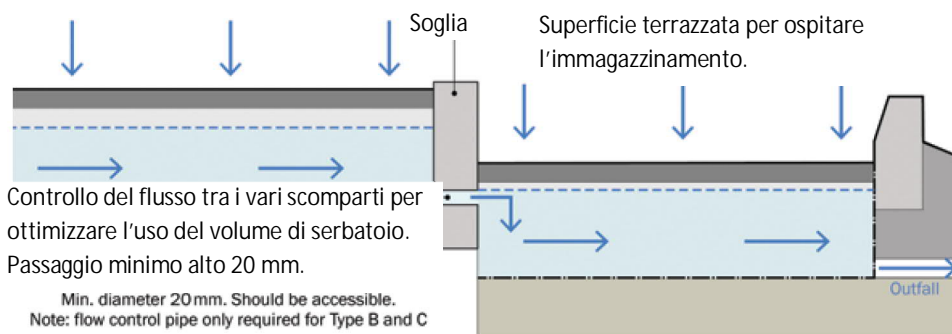


Figura 6: gestione dell'acqua in aree con pendenze (12).

In una pavimentazione di tipo C, quindi che non infiltra le acque nel sottosuolo, la portata massima di afflusso superficiale che può essere rimossa dalla fondazione permeabile attraverso drenaggi, può essere valutata con equazione

$$q = k (h/b)^2, \text{ dove}$$

- q è la massima intensità di pioggia entrante nella pavimentazione e che può essere drenata (m/s);
- k è la permeabilità della fondazione, che deve essere almeno pari a $6 \cdot 10^{-2}$ (m/s);
- h è l'altezza massima della fondazione rispetto alla formazione impermeabile o alla geomembrana di separazione;
- 2b = distanza tra i tubi di drenaggio.

q= massima intensità di pioggia che entra nella fondazione e che può essere drenata dai tubi spazati 2b e spessore della fondazione

massima altezza (h) dell'acqua che può essere immagazzinata nella fondazione (e nella base se adatta)

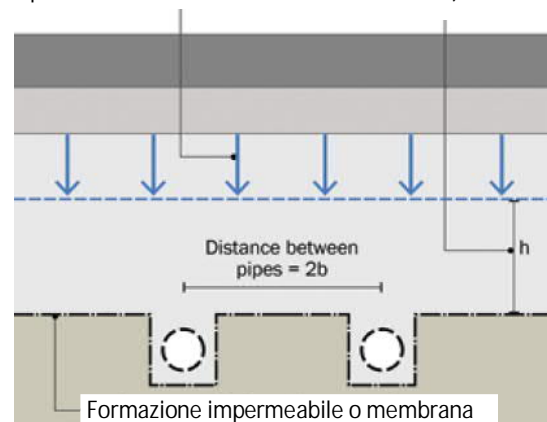


Figura 7: funzionamento di una pavimentazione con soluzione tipo C

¹² INTERPAVE (2013) *Understanding permeable paving. Guidance for designers, developers, planners and local authorities*, fifth edition, Interpave, Leicester, UK.

Ad esempio se

$h = 0.3 \text{ m}$; $2b = 4 \text{ m}$ ($b = 2 \text{ m}$) si ottiene $q = 0.00135 \text{ m/s} = 1,35 \text{ mm/s}$

confrontandola con una pioggia massima i di $200 \text{ mm/ora} = 0.055 \text{ mm/s}$, si vede che $q > i$ e quindi si possono distanziare maggiormente i tubi drenanti

con $h = 0.3$ $2b = 8 \text{ m}$ ($b = 4 \text{ m}$) si ottiene $q = 0.00034 \text{ m/s} = 0,34 \text{ mm/s}$, valore superiore di circa 6 volte la pioggia in ingresso e che può essere ulteriormente ridotto o accettato per tenere conto delle incertezze di funzionamento del sistema.

1.5.3 Il fenomeno dell'intercettazione

Gli studi hanno dimostrato che la frequenza del deflusso da tutti i tipi di pavimentazione permeabile è fortemente ridotta rispetto ai sistemi di condotte e tubature che drenano le superfici impermeabili, perché durante piccoli eventi l'acqua che penetra nella superficie permeabile bagna le superfici interne della fondazione e viene rilasciata nell'atmosfera per evaporazione quando le piogge cessano.

I dati bibliografici indicano che piogge da 3 fino a 17 mm possono essere interamente restituite all'atmosfera per evaporazione, con un valore medio di 5 mm.

Si deve sottolineare che il carico inquinante che sarebbe scaricato in qualsiasi corpo idrico superficiale che riceve il deflusso da tutti i piccoli eventi (il *first flush*), in questo caso è trattenuto sul posto, dove avrà il tempo di biodegradarsi e / o di essere sottoposto a processi di trattamento naturale.

L'intercettazione non può essere garantita per ogni evento di pioggia, a causa della variabilità dell'evapotraspirazione e delle precipitazioni durante l'anno e della corrispondente variabilità dei livelli di immagazzinamento dell'umidità del suolo. Di questo aspetto dovrebbe occuparsi il progetto, stimando le portate in uscite per le differenti condizioni invernali ed estive.

1.5.4 Controllo del flusso di picco

Le pavimentazioni permeabili aiutano a ridurre le portate da un sito fornendo spazio di laminazione. Il volume disponibile è fornito dallo spazio vuoto nella fondazione.

Il controllo del flusso è necessario per limitare la velocità dell'acqua scaricata dalla fondazione tramite un tubo di scarico. Laddove i progetti riguardino piccole aree di pavimentazione (ad es. strade private e vie di accesso), potrebbe essere opportuno collegare tra loro i marciapiedi adiacenti in modo che il sistema di controllo possa essere più grande. Il volume di stoccaggio richiesto per il controllo del flusso di picco deve essere valutato con i metodi indicati in seguito.

1.5.5 Progetto della portata eccedente

I sistemi di pavimentazione permeabili devono essere progettati considerando la gestione degli eventi che superano quelli di progetto, ad esempio eventi con TR di 100 anni o più. Una possibilità è quella di impostare eventuali scarichi a quote leggermente superiori a quella della pavimentazione, per consentire ristagni di sopra della superficie della pavimentazione da utilizzare come volume di immagazzinamento di riserva.

Lo stoccaggio temporaneo di deflusso da eventi estremi sopra la superficie della pavimentazione non dovrebbe essere consentito se esiste il rischio che possano essere coinvolti sedimenti sciolti e altri detriti in grado di ostruire la pavimentazione.

1.5.6 Aspetti sul trattamento delle acque

È stato dimostrato che il drenaggio della pavimentazione permeabile diminuisce la concentrazione di una serie di inquinanti superficiali rispetto al drenaggio superficiale impermeabile, inclusi metalli pesanti, olio e grasso, sedimenti e alcuni nutrienti (Pratt e altri, 1995 e 1999, James e Shahin, 1998), Brattebo and Booth, 2003, Bean et al, 2007, Drake et al, 2012).

I processi che avvengono all'interno pavimentazioni permeabili comprendono:

- o filtrazione del limo e degli inquinanti collegati la maggior parte del limo è intrappolato all'interno dei 30 mm superiori del materiale di giunzione tra i blocchi;
- o biodegradazione di inquinanti organici, come benzina e gasolio all'interno della pavimentazione
- o adsorbimento di inquinanti (gli agenti inquinanti si attaccano o si legano alle superfici all'interno della pavimentazione) che dipende da fattori quali la trama, la struttura aggregata e il contenuto di umidità.

Gli inquinanti sono intrappolati all'interno della costruzione in varie posizioni e gli oli contenuti in alcuni tipi di pavimentazione permeabile possono essere degradati dai microrganismi (Pratt, 1999¹³). Una perdita di petrolio potrebbe superare la risposta del sistema e se si temono queste condizioni è opportuno collocare un geotessile specifico nella costruzione.

Se è utilizzato un sistema a geocelle al posto di pietrisco, i benefici del trattamento all'interno della fondazione andranno persi, ma l'uso di un geotessile sopra le geocelle può contribuire a mitigare questa perdita (Puehmeier e Newman, 2008). Inoltre, è stata dimostrata una percentuale significativa della rimozione dell'inquinamento nella parte superiore dei vuoti di giunzione nella pavimentazione permeabile a blocchi di calcestruzzo, nello strato superiore dell'asfalto poroso e nello strato di erba fino alle radici dei sistemi di prato rinforzato.

Drake et al (2012) hanno riscontrato chiare differenze nella qualità dell'acqua emessa dalla pavimentazione porosa a blocchi (CBPP - *Concrete Block Permeable Paving*) e dal calcestruzzo poroso. Le due superfici sembrano catturare diversi inquinanti. Questo può essere il risultato delle condizioni di pH superiori all'interno del calcestruzzo poroso che agisce sull'adsorbimento dei metalli. Anche la lisciviazione iniziale di alcuni contaminanti dal calcestruzzo (fosfato e pH elevato) richiede tempo per stabilizzarsi e dopo un anno o più le prestazioni sembrano avvicinarsi a quelle del CBPP.

¹³ PRATT, C J (1999) "Use of permeable, reservoir pavement constructions for stormwater treatment and storage for reuse" Water Science and Technology, vol 39, 5, Elsevier BV, UK, pp 145-151

1.6 ASPETTI STRUTTURALI

Anche se non esistono metodi di progettazione strutturale approvati in Europa per pavimentazioni permeabili, esistono principi generali che dovrebbero essere seguiti, esposti ad esempio nella pubblicazione di Pratt (14), che può essere un riferimento per i dettagli sui metodi e materiali di progettazione.

La pavimentazione deve poter sopportare il traffico quando è saturata e l'acqua fluisce liberamente al suo interno. I materiali utilizzati devono garantire buone prestazioni strutturali e la presenza di sufficiente permeabilità e porosità; inoltre devono garantire che non si verifichino perdite di particelle tra gli strati, perché ciò può ridurre la stabilità di strati granulari. Allo scopo saranno impiegati geotessili o criteri geotecnici adatti alla formazione di filtri.

Per la progettazione di pavimentazioni permeabili i valori della prova CBR (California Bearing Ratio), devono essere quelli che si ottengono quando il contenuto di umidità del terreno di sottofondo è in equilibrio con le forze di suzione dei pori, che variano con le quote delle acque sotterranee e/o per effetto dell'immagazzinamento dell'acqua nella fondazione.

La determinazione può essere fatta eseguendo test CBR di laboratorio al contenuto di umidità di equilibrio come descritto da Powell et al (15). Tipici valori CBR sono i seguenti

Tipo di sottofondo	Valori tipici di CBR
Argilla compatta	2 - 5
Argilla limosa	3 - 6
Argilla sabbiosa	5 - 20
Sabbia poco gradata	10 - 20
Sabbia ben gradata	10 - 40
Ghiaia sabbiosa ben gradata	30 - 80

Tabella 3: valori di riferimento di CBR : da (5).

Una delle caratteristiche positive di una pavimentazione permeabile è che i materiali utilizzati per trattenere l'acqua sono gli stessi che conferiscono resistenza alla pavimentazione e consentono quindi alle pavimentazioni permeabili di sostenere carichi di traffico.

Molti progettisti integrano la progettazione idraulica e strutturale per ottenere un pavimento in cui tutti i suoi componenti contribuiscono ai suoi dupli scopi idraulici e strutturali.

I componenti tipici di una pavimentazione permeabile con masselli di cemento sono:

Blocchi di cemento: permettono all'acqua di entrare mediante l'uso di distanziatori di grandi dimensioni o mediante forme che creano uno spazio tra i blocchi vicini.

¹⁴ PRATT, C, WILSON, S and COOPER, P (2001) *Source control using constructed pervious surfaces*. Hydraulic, structural and water quality performance issues, C582, CIRIA, London (ISBN: 978-0-86017-582-7).

¹⁵ POWELL, W D, POTTER, J F, MAYHEW, H C and NUNN, M E (1984) *The structural design of bituminous roads*, LR1132, Transport Research Laboratory, Berkshire, UK.

Letto di posa: I blocchi di pavimentazione sono installati su un materiale di posa passante per un setaccio da 6,3 mm e in gran parte trattenuto su un setaccio da 3 mm.

Se la pavimentazione permeabile deve essere percorsa durante la fase di costruzione, per impedire la contaminazione dei materiali è possibile posare uno strato di bitume denso Macadam (DBM) con fori disposti su una griglia ortogonale da 750 mm, ma possono essere utilizzati anche altri metodi.

La base permeabile : Il principale strato funzionale strutturale e idraulico comprende aggregato a gradazione grossolana (CGA - *Coarse Grade Aggregate*) con particelle comprese tra 5 mm e 20 mm. Nel caso di pavimentazioni permeabili pesantemente trafficate, è inserito uno strato di aggregati a grana grossa con legante idraulico, in aggiunta o in sostituzione del CGA, per rafforzare e irrigidire la pavimentazione.

Nel caso delle pavimentazioni tipo C, cioè quelle in cui l'acqua è trattenuta all'interno della pavimentazione, sotto la membrana Impermeabile è posto un materiale di chiusura al fine di ottenere una piattaforma di lavoro per installare correttamente gli strati sovrastanti. Bisogna anche provvedere a proteggere la membrana impermeabile da danni e perforazioni coprendola con un materiale sabbioso.

Il processo di progettazione strutturale comprende quattro fasi nell'esempio qui riportato ⁽⁵⁾:

- 1) Utilizzare la Tabella 4 per selezionare la categoria di carico, da 1 a 6.
- 2) Utilizzare gli schemi di progettazione mostrati in Figura 8 nel caso di pavimenti permeabili tipo A e B, e in Figura 9 nel caso di pavimentazioni tipo C, per determinare gli spessori della pavimentazione.
- 3) Regolare gli spessori di progettazione per le pavimentazioni poste su sottogruppi di CBR inferiori al 5% utilizzando appositi schemi, qui non riferiti. Nel caso di pavimentazioni C (detenzione), il valore CBR impiegato è quello con equilibrio di suzione e nel caso del sistema A e B, è utilizzato il CBR in condizioni umide.
- 4) valutare le necessità che nascono dall'accesso al sito, perché i materiali per la costruzione delle pavimentazioni permeabili devono essere mantenuti puliti durante la fase di costruzione. Questo può essere sconsigliato quando il metodo di costruzione richiede che le strade possano essere utilizzate per l'accesso al sito.

La Tabella 4 mostra le categorie di carico e il corrispondente numero massimo di assi standard da 8.000 kg in base al presupposto che le pavimentazioni siano progettate per una vita utile di 25 anni.

Utilizzando il numero di assi standard da 8000 kg o l'uso del pavimento, occorre selezionare una delle categorie da 1 a 6. Si noti che esiste una differenza importante tra le pavimentazioni progettate per le categorie di carico 2 e 3.

Le pavimentazioni con categorie di carico da 3 a 6 devono comprendere la realizzazione di una base idraulicamente legata, non necessaria per le categorie di carico 1 e 2, che richiedono solo materiali non legati. Le Figura 23 o la Figura 24 consentono di selezionare lo spessore della pavimentazione e i tipi di materiale in base al fatto che la pavimentazione sia di tipo A o B (infiltrazione totale o parziale) o C

(detenzione delle acque). La pavimentazione è adatta per sottogruppi di CBR 5%, valore che dovrebbe corrispondere a quello inferiore atteso durante la vita del sottotipo di pavimentazione

1 parcheggio residenziale interno	2 Presenza di automobili	3 Zona pedonale	4 centro commerciale	5 Area commerciale	6 Traffico pesante
Nessun veicolo commerciale di grandi dimensioni	veicolo commerciale di grandi dimensioni solo per emergenze	Un veicolo commerciale di grandi dimensioni alla settimana	10 veicoli commerciali di grandi dimensioni alla settimana	100 veicoli commerciali di grandi dimensioni alla settimana	1000 veicoli commerciali di grandi dimensioni alla settimana
Zero assi standard	100 assi standard	0.015 msa	0.15 msa	1.5 msa	15 msa
Terrazzi	Parcheggio auto e corridoi	Area pedonale urbana	Percorso di accesso alla consegna commerciale	aree industriali	Strade principali
Viale privato	Piattaforma di stazione ferroviaria	Accesso a scuole	Strada di accesso a scuole	Strade pubbliche leggermente trafficate	Centro di distribuzione
Percorso ludico	Showroom esterno di auto	Aree di parcheggio residenziali	Percorso di consegna del blocco di uffici	Area di sviluppo industriale leggero	Stazione autobus
Parco giochi chiuso	Strada pedonale per stadio sportivo	Area esterna di un centro di giardinaggio	Consegna a piccoli insediamenti residenziali	Area miste commerciali industriali	Zona di sosta per camion in autostrada
Percorso pedonale senza veicoli	Percorso pedonale con occasionali veicoli	Cimiteri	Strada di consegna a un centro di giardinaggio	Piazza cittadina	Fermata autobus
	Strada privata / incrocio di strade pedonali	Parcheggio di Hotel	cortile della stazione dei pompieri		Rotatoria
		Parcheggio aeroportuale senza autobus e pick-up	Parcheggio aeroportuale con terminal autobus	Strade franche aeroportuali	Corsia degli autobus
		Centro sportivo	Strada / cortile esterno di accesso allo stadio sportivo		

Tabella 4: categorie di carico, da⁽⁵⁾. Nota msa = milioni di assi standard (8000 kg)

Nel caso di pavimentazioni con detenzione (tipo C), la Figura 9 mostra la posizione della membrana Impermeabile che copre i materiali che si deteriorerebbero se fossero saturi, che è installata tra l'aggregato a grana grossa e lo strato di fondo (*capping layer*, definito in calce alla legenda). La membrana impermeabile deve essere estesa lungo il suo perimetro fin quasi alla superficie del pavimento per massimizzare il volume di detenzione.

Le pavimentazioni di tipo A e B comprendono invece un geotessile all'interfaccia tra l'aggregato a grana grossa e il sottofondo, che non deve essere esteso verso la superficie.

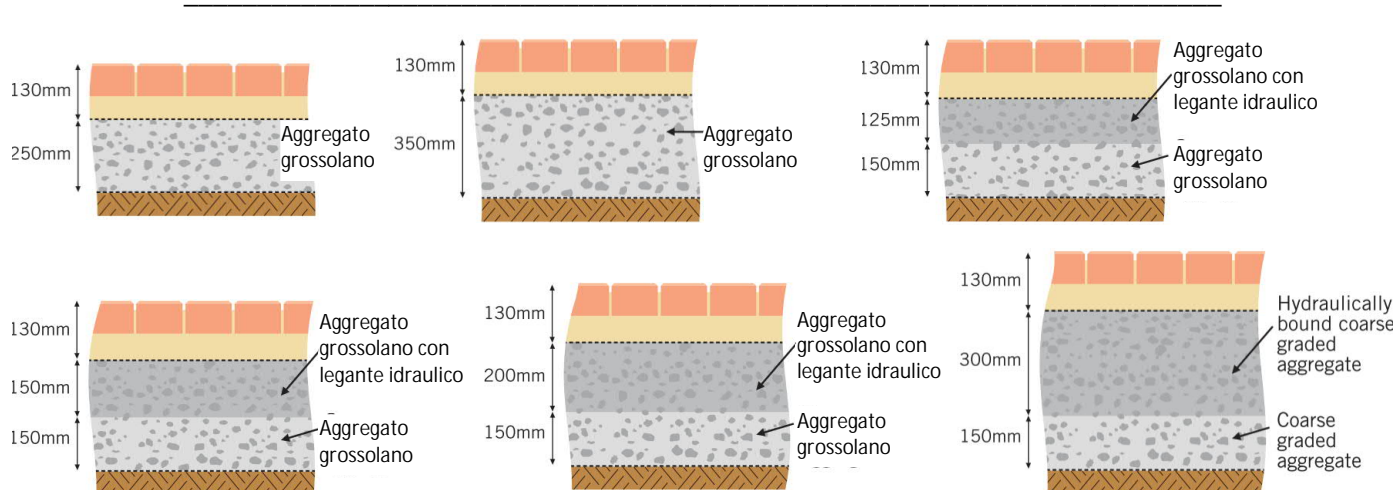


Figura 8 Schemi di progettazione per pavimentazioni permeabili tipo A e B (infiltrazione) su substrati con CBR > 5%. Le categorie di carico sono da 1 a 6 a partire dalla figura in alto a sinistra. - - - - Geotessile opzionale.

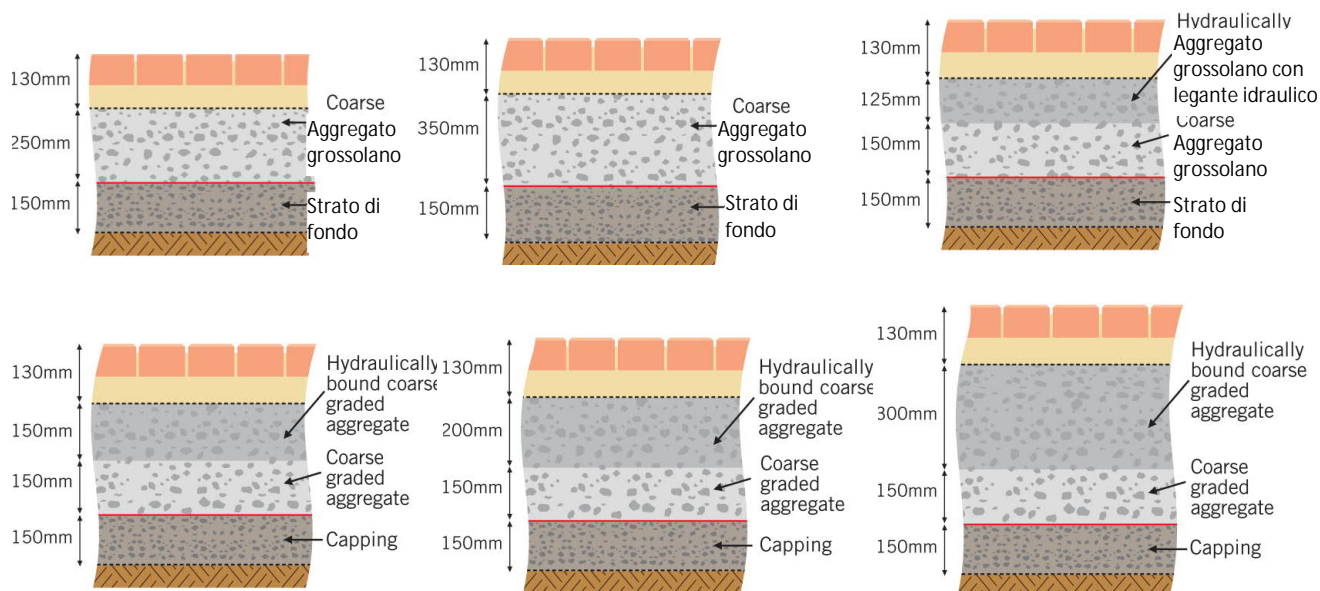


Figura 9: Schemi di progettazione per pavimentazioni permeabili tipo C (detenzione) su substrati con CBR > 5%. Le categorie di carico sono da 1 a 6 a partire dalla figura in alto a sinistra.

- - - - Geotessile opzionale; ————— membrana impermeabile

Capping = strato di aggregato non legato di qualità inferiore rispetto alla fondazione, utilizzato per migliorare le prestazioni dei terreni prima della posa della struttura e per proteggere il sottofondo dai danni causati dal traffico di costruzione, da (5).

Gli schemi di progettazione delle Figura 8 e Figura 9 si applicano in caso di sottofondo con CBR > 5%.

Nel caso di valori inferiori del CBR, deve essere effettuato un adeguamento, che per le pavimentazioni di tipo C, comprenderà normalmente la realizzazione di uno strato di fondo aggiuntivo o la fornitura dell'aggregato a grana grossa. Nel caso di pavimentazioni tipo A e B, a causa della percolazione dell'acqua, la resistenza aggiuntiva è fornita aumentando lo spessore dell'aggregato non legato a grana grossa.

L'obiettivo è assicurare che gli strati soprastanti possano essere compattati con successo. Lo spessore effettivo deve essere determinato da prove sul posto fatte da personale esperto.

Nel caso di pavimentazioni permeabili pesantemente trafficate, è incluso uno strato di aggregato a grana grossa con legante idraulico per rinforzare e irrigidire la pavimentazione.

Il materiale deve essere fabbricato utilizzando un aggregato tipo 4-20 mm e deve avere un contenuto di cemento minimo in massa = 3%, una classe di resistenza = C 5/6 (Tabella 2 della norma BS EN 14227-1: 2004.), permeabilità minima 20 m/ora e un modulo elastico a 28 giorni di circa 10.000 N / mm².

Lo schema sopra riprodotto illustra l'uso di superfici con blocchi di calcestruzzo, ma può essere ugualmente impiegato con differenti tipi di superfici drenanti.

Software per progettazione per pavimentazione in calcestruzzo permeabile sono prodotti da ACPA (*American Concrete Pavement Association*) chiamato PerviousPave e ICPI (*Interlocking Concrete Pavement Institute*) chiamato Permeable Design Pro.

1.6.1 Scarichi

Se la pavimentazione è un sistema di tipo A progettato per consentire a tutta l'acqua di infiltrarsi nel terreno, non è necessario alcuno scarico, ma se il sistema è di tipo B o di tipo C, dove l'acqua fluisce verso la parte successiva del sistema di drenaggio, è necessario collocare una serie di tubi perforati dimensionati secondo lo spessore del sottofondo e dei carichi del traffico.

I tubi possono essere posti all'interno della fondazione o ai bordi o nelle trincee sottostanti (Figura 7), secondo lo spessore del sottofondo, dei carichi del traffico e della resistenza dei tubi.

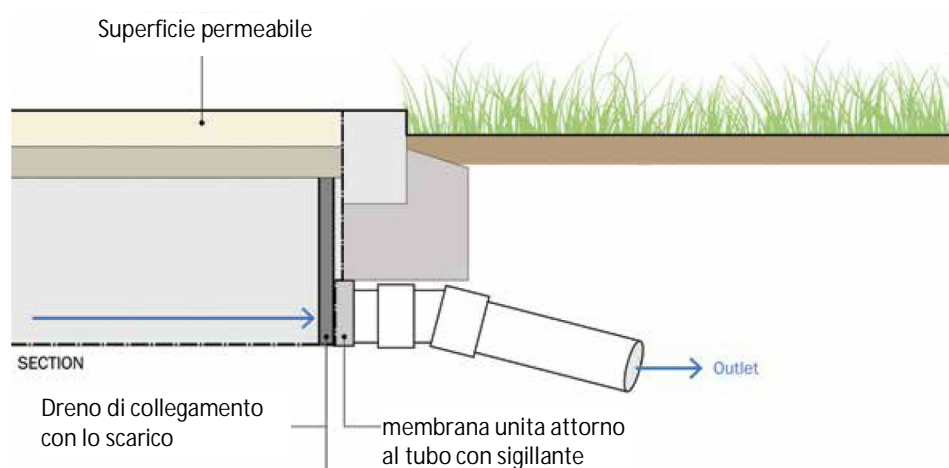


Figura 10: scarico da una pavimenta permeabile.

Un punto di osservazione costituito da un tubo verticale perforato 150 mm, deve essere posizionato all'estremità a valle della struttura per misurare i tempi di svuotamento effettive del sistema della pavimentazione e osservarne le variazioni con il tempo.

1.7 MATERIALI

La fondazione dei sistemi di pavimentazione permeabile è differente da quello standard e deve avere sufficiente permeabilità, porosità e resistenza all'abrasione.

Per la pavimentazione a blocchi di calcestruzzo, la giunzione deve essere drenante ed avere una durata sufficiente per resistere all'usura da piccoli movimenti tra i blocchi.

Una specifica di classificazione tipica è riportata nella Tabella 5, ma si dovrebbe sempre chiedere consiglio al produttore di pavimentazione permeabile riguardo l'esatto tipo di materiale che è adatto per ciascun sistema. Il materiale di giunzione in alcuni sistemi può avere particelle più fini di 3 mm se i giunti tra i blocchi sono piccoli.

Setaccio dimensioni (mm)	Passante
14	100
10	90-100
6.3	80-99
2	0-20
1	0-0.5

Tabella 5: materiale per letto di posa e di giunzione per pavimentazione a blocchi di calcestruzzo.

1.7.1 Sabbia di riempimento e lo strato di posa per prati rinforzati

La sabbia di riempimento per i sistemi di erba rinforzata deve essere a scarico libero ma con un contenuto organico sufficiente a supportare le piante.

Un tipico materiale adatto per la zona radice può essere composto da:

- 15-30 % frazione inferiore 0.063 mm (limo)
- 70-85% sabbia, di cui almeno il 70% costituita da grani nell'intervallo 0.25 - 1,0 mm.
- Assenza di ghiaia e di pietre
- Conducibilità idraulica in condizioni sature compresa tra 25 e 115 mm/ora
- Sostanza organica tra il 3 ed il 5%
- Fosforo estraibile tra il 12 e il 36 %

Ci sono comunque anche molte altre miscele consigliate dai fornitori delle griglie.

1.7.2 Caratteristiche del filtro geotessile

Geotessili possono essere prodotti come tessuto o materiale non tessuto.

Quelli tessuti tendono ad avere relativamente poche aperture di dimensioni abbastanza grandi, mentre i geotessili non tessuti hanno aperture molte piccole e sono più adatti per la filtrazione, offrendo anche una maggiore velocità di flusso.

Nella progettazione di un SuDS che ha l'obiettivo di filtrare il limo proveniente dalle acque meteoriche all'interno di un sistema e di supportare il suolo sovrastante, la permeabilità dovrebbe essere considerata il requisito più importante.

Geotessile deve avere permeabilità sufficiente per permettere all'acqua di passare attraverso di esso con la portata richiesta e deve trattenere le particelle di terreno delle dimensioni richieste senza intasarsi.

Esistono vari criteri utilizzati per valutare l'uso di geotessili con funzione principale di filtro, trattati nella pubblicazione di Giroud ⁽¹⁶⁾. L'intasamento di un geotessile è causato dalla ritenzione di particelle all'interno del tessuto, che si verifica quando le particelle bloccano singole aperture sul lato a monte del tessuto.

Se il geotessile realizza un buon contatto con la massa di terreno e l'acqua scorre in condizioni stazionarie attraverso il suolo e quindi attraverso il tessuto verso una zona vuota, il flusso costante e la struttura del suolo consentono lo spostamento solo di una piccola quantità di particelle verso il tessuto durante una fase iniziale di circa quattro settimane, dopo di che il flusso dovrebbe avvenire in assenza di solidi.

Dopo un "flush" iniziale, le particelle medie e fini di terreno sono trattenute all'interno della massa granulare e non si spostano verso il tessuto. Questo meccanismo fa sì che il tessuto presenti un leggero calo di prestazioni iniziali, ma che in seguito non sia più soggetto al trasporto di particelle per tutta la vita di progetto.

1.7.3 CARATTERISTICHE DELLA FONDAZIONE

La fondazione deve avere una porosità minima almeno del 30% e una permeabilità minima di $6 \times 10^{-2} \text{ m/s}$.⁽¹⁷⁾

Il requisito di basso contenuto di particelle fini, comporta che il carico superficiale sia essenzialmente sopportato dai punti di contatto tra i grani della fondazione.

Al fine di massimizzare l'attrito tra le particelle, i grani dovrebbero essere spigolosi per fornire un buon incastro e per tale scopo è fondamentale impiegare pietrisco di rocce come granito, basalto o gabbro non alterate, oppure cemento con più del 90% delle superfici di frattura, o scorie d'altoforno.

Sabbia e ghiaia con particelle arrotondate non devono essere utilizzati in tale funzione.

Granulometria tipica per BS 7533-13:2009 e DfT, 1998

Dimensioni setaccio mm	Passante		
	Aggregato grossolano 4-40 mm (BS 7533-13:2009 ¹⁸)	Aggregato grossolano 4-20 mm (BS 7533-13:2009)	Type 3 fondazione 0-40 mm (DfT 1998) ¹⁹
80	100	–	100
63	98-100	–	80-99
40	90-99	100	50-78
31.5	–	98-100	31-60
20	25-70	90-99	18-46
10	–	25-70	10-35
4	0-15	0-15	6-26
2	0-5	0-5	0-20
1	–	–	0-5

Tabella 6: distribuzione granulometrica tipica per l'aggregato di fondazione

¹⁶ GIROUD, J.P. (2000) "Filter criteria". In: Brandl (ed) Jubilee Volume 75th Anniversary of K Terzaghi's Erdbaumechanik (Soil Mechanics), vol 5/2000, Technical University, Vienna, Austria

¹⁷ CIRIA report C753 *The SuDS Manual* - © CIRIA 2015 ISBN: 978-0-86017-760-9.

¹⁸ BS 7533-13:2009 *Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Guide for the design of permeable pavements constructed with concrete paving blocks and flags, natural stone slabs and setts and clay pavers*

¹⁹ DfT (1998) *Manual of contract documents for highway works, Volume 1 Specification for highway works*, HMSO, London, UK (ISBN: 978-0-11552-705-0).

Tuttavia, non vi è alcun motivo per cui altre categorie non possano essere utilizzate se sono disponibili e soddisfano tutti i requisiti necessari e se il materiale di base è sufficientemente durevole.

Poiché la fondazione sarà in contatto con l'acqua per gran parte del tempo, deve essere valutata la resistenza e la durata delle particelle soggette a bagnatura e asciugatura, mediante il test di Los Angeles che fornisce un'indicazione della resistenza alla frammentazione e il Micro Deval test (test MD) che misura la resistenza all'abrasione. Il materiale riciclato può essere utilizzato, ma occorre fare attenzione che questo abbia qualità costante e sia privo di materiali inaccettabili come sostanze organiche o rottami di acciaio. Il percolato da calcestruzzo frantumato potrebbe avere un valore pH elevato ed ostacolare la crescita della vegetazione (dove richiesta).

1.7.4 REQUISITI DI MESSA IN OPERA

Si sconsiglia di rullare il terreno per la realizzazione di pavimentazioni permeabili di tipo A e B perché l'operazione può ridurre la velocità di infiltrazione del terreno. Eventuali tratti teneri nel sottofondo possono essere identificati utilizzando un penetrometro portatile o simile e poi essere scavati e riempiti con materiale idoneo ben compattato e, per i pavimenti di tipo A, i materiali dovrebbero avere una permeabilità simile al sottofondo circostante.

Il terreno dovrebbe essere scavato con una tolleranza da +20 a -30 mm e per la formazione di pavimentazioni di tipo A e la superficie dovrebbe essere protetta da qualsiasi operazione che possa ridurre la permeabilità del suolo (ad es. passaggio di mezzi pesanti, stoccaggio di materiali fini, miscelazione di calcestruzzo).

Geotessili devono essere posati secondo le istruzioni del fabbricante e con sovrapposizioni tra le strisce adiacenti di 300 mm senza pieghe. Si raccomanda di chiedere la consulenza di uno specialista e di seguire le istruzioni del produttore o del fornitore del filtro geosintetici.

1.8 MANUTENZIONE

È importante effettuare ispezioni per verificare l'efficace funzionamento delle pavimentazioni permeabili, in particolare e dopo forti piogge per rilevare eventuali aree di ristagno.

Per mantenere la loro capacità d'infiltrazione, è necessario pulire i pavimenti dal limo e da altri sedimenti : un'ampia esperienza suggerisce che l'effettuazione della spazzamento una volta all'anno dovrebbe essere sufficiente a mantenere una percentuale accettabile di infiltrazione nella maggior parte dei casi.

Si può impiegare un pulitore a spazzola aspirante (che può essere un dispositivo su autocarro o una piccola spazzatrice), che deve però essere utilizzato con cautela facendo attenzione ad evitare la rimozione

del materiale tra i giunti. È anche possibile pulire la superficie utilizzando spazzole rotanti leggere combinate con lo spruzzo di acqua calda.

Se la superficie si è intasata può essere necessario un intervento specialistico, in particolare per le superfici di asfalto porose, sempre usando cautela per non strappare il legante dall'aggregato.

La probabile durata della progettazione di erba rinforzata è di circa 20 anni se progettata correttamente. Per la pavimentazione permeabile con blocchi di calcestruzzo, la durata del progetto non dovrebbe essere diversa dalla pavimentazione ordinaria, sempre che sia fatta un'adeguata manutenzione.

Con il tempo l'asfalto poroso perderà forza e inizierà manifestare segni di fatica a causa dell'ossidazione del legante. È probabile che questo si verifichi un po' più velocemente nell'asfalto poroso rispetto all'asfalto normale, quindi la vita utile del progetto si ridurrà leggermente. Il calcestruzzo poroso dovrebbe avere invece una vita di progetto simile a una normale lastra di cemento.

Il ripristino delle aree guaste della pavimentazione in blocchi di calcestruzzo dovrebbe essere meno costosa e problematica rispetto alla riabilitazione di superfici continue in cemento o asfalto porose a causa della ridotta area che potrebbe essere interessata. I materiali rimossi dai vuoti o dagli strati al di sotto della superficie possono contenere metalli pesanti e idrocarburi e potrebbero dover essere smaltiti come rifiuti controllati.

Programma di manutenzione	Azione richiesta	Frequenza tipica
Manutenzione regolare	Spazzolatura e aspirazione (spazzata standard in plastica su tutta la superficie)	Una volta all'anno, dopo la caduta delle foglie autunnali, o ridotta frequenza secondo le esigenze, sulla base di osservazioni specifiche . - prestare particolare attenzione alle aree in cui l'acqua scorre sulla superficie permeabile dalle aree impermeabili adiacenti in quanto questa zona è più probabile che raccolga una maggiore quantità di sedimenti
Manutenzione occasionale	Stabilizzare e falciare le aree adiacenti che scarico nell'area permeabile	Se necessario
	Rimozione di erbe infestanti con diserbante da un applicatore o mediante irrorazione	Se necessario, comunemente una volta l'anno o meno
Azioni correttive	Ripristinare le superfici che a causa della vegetazione o lo movimenti del terreno, sia stato sollevato di 5 cm dal livello della pavimentazione	Se necessario
	Correggere qualsiasi depressione e sostituire i blocchi spezzati dannosi per le prestazioni strutturali o un pericolo per gli utenti, e sostituire il materiale di giunzione perso.	Se necessario

	Riabilitazione della superficie e della sottostruttura superiore mediante spazzamento riparativo	Ogni 10 o 15 anni o secondo necessità (se le prestazioni di infiltrazione sono ridotte a causa di intasamenti significativi)
Monitoraggio	Ispezione iniziale	Mensile per i primi tre mesi
	Controllare se vi sono evidenze di cattiva operatività e / o crescita delle infestanti : se necessario, intraprendere azioni correttive	Trimestrale, 48 ore dopo grandi precipitazioni nei primi sei mesi
	Ispezionare i tassi di accumulo di limo e stabilire le appropriate frequenze di spazzamento	annuale
	Monitorare le camere di ispezione	annuale

Tabella 7: Requisiti di funzionamento e manutenzione per pavimentazioni permeabili, da (17).

In generale le pavimentazioni permeabili richiedono uno spargimento di sabbia meno frequente in inverno per evitare la formazione di ghiaccio e c'è anche meno rischio di formazione di ghiaccio dopo lo scioglimento della neve, perché l'acqua di fusione drena direttamente nella sottostruttura e non ha possibilità di ricongelare.

Una lieve brina può manifestarsi più frequentemente sulle superfici permeabili rispetto a quelle impermeabili adiacenti, ma è probabile che il fenomeno duri solo alcune ore. Non succede in tutte le installazioni e, se necessario, questo problema può essere affrontato mediante l'applicazione di sale.

2 PROGETTO IDRAULICO dei sistemi di infiltrazione ⁽¹⁷⁾

Nella maggior parte dei casi, ad eccezione dei suoli più permeabili, l'area su cui è progettata l'infiltrazione sarà considerevolmente più piccola di quella dell'area impermeabile e quindi l'afflusso supererà la portata dispersa (il prodotto del coefficiente di infiltrazione del suolo per l'area di infiltrazione) rendendo necessario immagazzinare l'acqua sul posto o nell'unità di infiltrazione.

Lo scopo della progettazione idraulica è indicare le dimensioni del sistema sufficienti per immagazzinare e infiltrare le portate di progetto e individuare le dimensioni di eventuali scarichi aggiuntivi indispensabili se non si può fare affidamento sull'infiltrazione in occasione di tutti gli eventi associati al periodo di ritorno di progetto.

A Castiglione d'Adda l'estesa rete fognaria consente di fare sempre affidamento su uno scarico adeguato a recepire i volumi e le portate laminate dal sistema di infiltrazione.

I dispositivi di infiltrazione sono comunemente progettati per precipitazioni con periodi di ritorno fino a 100 anni, ai quali si dovrebbe aggiungere una tolleranza per tenere conto dei cambiamenti climatici. Date le incertezze riguardanti il rischio di ostruzioni nel tempo, nella progettazione si applica al coefficiente di infiltrazione un fattore di sicurezza che riduce il valore misurato. Il fattore utilizzato dipende dalle conseguenze dell'insuccesso del sistema e quindi è richiesto un giudizio ingegneristico sul fattore da considerare.

Fattori di sicurezza suggeriti, F, per l'uso nella progettazione idraulica di sistemi d'infiltrazione, progettati utilizzando Bettess ⁽²⁰⁾, non sono rilevanti per il metodo BRE ⁽²¹⁾ che esclude la filtrazione al fondo.

Dimensione dell'area che viene drenata (m ²)	Assenza di danni o inconvenienti	Danni minori per aree esterne o inconvenienti (es acqua sulla superficie dei parcheggi)	Danni agli edifici o ad altre strutture o inconvenienti gravi (esempio allagamento di una strada)
100	1.5	2	10
100-1000	1.5	3	10
>1000	1.5	5	10

Tabella 8: Fattori di sicurezza suggeriti per il progetto di sistemi d'infiltrazione.

I sistemi di infiltrazione piani sono caratterizzati dall'essere relativamente sottili e del fatto che l'area laterale è trascurabile rispetto all'area di base. Per un determinato evento di pioggia che scarica nel sistema di infiltrazione piano, le equazioni idrauliche possono essere risolte per fornire la massima altezza

$$\text{dell'acqua, } h_{max} = \frac{D (Ri - q)}{n}$$

h_{max} = massima altezza d'acqua sopra la base del sistema di infiltrazione

²⁰ BETTESS, R (1996) *Infiltration drainage – manual of good practice*, R156, CIRIA, London, UK (ISBN: 978-0-86017-457-8).

²¹ BRE (1991) *Soakaway design*, BRE Digest 365, Building Research Establishment, Bracknell, UK (ISBN: 0-85125-502-7)

R = rapporto tra l'area drenata e l'area di infiltrazione, $R = A_D/A_b$

q = coefficiente di infiltrazione, dal test di percolazione (m/ora), regolato dal fattore di sicurezza appropriato

i, D = intensità e durata degli eventi di pioggia con il periodo di ritorno richiesto (m/h, h)

A_b = area di base del sistema di infiltrazione (m^2)

A_D = area da drenare (m^2)

n = porosità del materiale di riempimento (volume di vuoti / volume totale)

Il valore della porosità n è ottenuta in laboratorio, oppure si possono adottare i valori guida forniti nella tabella a fianco.

Porosità materiale, n	Porosità n
sistemi geocellulari	0.9-0.95
ghiaia uniforme	0,3-0,4
sabbia o ghiaia calibrata	0,2-0,3

Se viene utilizzato un valore maggiore di 0.3, il materiale deve essere testato in sito per garantire che soddisfi i requisiti di progettazione.

Se si utilizza un anello forato in calcestruzzo di raggio r' posato in uno scavo a pianta quadrata o rettangolare di lati L e W e lo spazio tra gli anelli e il terreno riempito con ghiaia o pietrisco puliti, la

porosità effettiva risulta essere: $n' = \frac{\pi(r')^2 + n[WL - \pi(r')^2]}{WL}$

Nel procedimento di calcolo si devono considerare vari eventi di durata D ed i corrispondenti valori di intensità di pioggia i , fino a determinare il valore h_{max} che costituirà l'altezza massima dell'acqua nel sistema di dispersione, sia per le pavimentazioni che per altri sistemi

Per le intensità di pioggia a Castiglione d'Adda si devono usare le curve dell'analisi di probabilità pluviometrica riportate nel capitolo 0.

Nel caso si volesse imporre h_{max} l'equazione sarà risolta rispetto ad A_b , variando la durata D e l'intensità di pioggia i fino a ottenere il valore di A_b massimo. $A_b = \frac{A_D i D}{n h_{max} + q D}$

I sistemi di infiltrazione tridimensionale sono quelli che hanno una forma di cubo o di trincea, come i pozzetti di smaltimento e trincee di infiltrazione e dove la superficie dei lati non è trascurabile rispetto a quella della base. Anche in questo caso le equazioni idrauliche possono essere risolte per fornire la massima profondità di acqua, h_{max} .

$$h_{max} = a (e^{(-bD)} - 1)$$

Dove $a = \frac{A_b}{P} - \frac{i A_D}{P q}$; $b = \frac{P q}{n A_b}$ P = perimetro della base del sistema di infiltrazione

Anche in questo caso, dopo aver definito i parametri geometrici e il valore di porosità n , si deve valutare la variazione di h_{max} al variare della durata della pioggia (in ore) e della sua intensità (in metri all'ora), fino a trovare il valore massimo di h_{max} . Se il valore trovato è inaccettabile, modificare le dimensioni del sistema di dispersione o l'area che deve essere drenata.

La procedura sopra riportata è valida con pareti verticali, mentre con pareti inclinate non esiste un semplice metodo analitico per il calcolo della profondità massima dell'acqua. Una procedura numerica per il calcolo della profondità è riportata in Bettess ⁽²⁰⁾.

TEMPO DI SVUOTAMENTO

Le equazioni idrauliche presentate tengono conto sia dell'immagazzinamento che dell'infiltrazione e garantiscono che il sistema incorpori una quantità sufficiente di spazio di accumulo. Tuttavia, se l'infiltrazione è troppo lenta, c'è la possibilità che il sistema non si svuoti a sufficienza prima che si manifesti un successivo evento.

La richiesta del RR 07/2017 è che lo svuotamento avvenga in 2 giorni (art.11, 2,f,2).

Nel metodo qui illustrato si precisa che laddove i componenti sono progettati per gestire l'evento con TR di 10 o 30 anni, normalmente si richiede che il dimezzamento avvenga entro 24 ore in modo che il rischio di non essere in grado di gestire un successivo evento piovoso sia ridotto al minimo.

Se i tempi di svuotamento sono troppo lunghi, potrebbe essere necessario incrementare lo spazio di immagazzinamento.

Le equazioni suggerite dalla procedura per ottenere il dimezzamento dei volumi accumulati:

per sistemi piani di infiltrazione : $T_{ore} = \frac{n h_{max}}{2 q}$;

per sistemi tridimensionali di infiltrazione : $T_{ore} = \frac{nA_b}{qP} \ln \left[\frac{h_{max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right]$

Poiché il coefficiente di permeabilità in condizioni di saturazione è ritenuto costante e la variazione di carico sul fondo infiltrante durante lo svuotamento è relativamente modesta, al più di qualche decina di centimetri nei sistemi piani, il tempo di totale svuotamento è prossimo al doppio di quello di dimezzamento.

Sistemi di infiltrazione - fasce filtranti - canali inerbiti- - sistemi di bioritenzione - alberi

Sommario

1	PREMESSA ALL'ALLEGATO 4	2
2	SISTEMI DI INFILTRAZIONE	2
2.1	POZZI, TRINCEE E BACINI DI DISPERSIONE - ASPETTI GENERALI.....	2
2.2	REALIZZAZIONE DEI SISTEMI DI INFILTRAZIONE	6
2.2.1	Selezione e ubicazione delle componenti del sito di infiltrazione.....	6
2.2.2	Aspetti del progetto idraulico.....	7
2.3	PROGETTAZIONE DEL PAESAGGIO E PIANTUMAZIONI	9
2.4	MANUTENZIONI	9
2.4.1	Pozzi e trincee d'infiltrazione.....	10
2.4.2	Bacini d'infiltrazione.....	10
3	FASCE FILTRANTI (filter strip)	12
3.1	ASPETTI GENERALI.....	12
3.2	SELEZIONE E UBICAZIONE DELLE FASCE FILTRANTI	14
3.3	IDRAULICA DELLE FASCE FILTRANTI.....	15
3.4	PARTICOLARI COSTRUTTIVI.....	16
3.5	MANUTENZIONE	17
4	CANALI INERBITI (SWALES).....	19
4.1	ASPETTI GENERALI.....	19
4.2	PROGETTO IDRAULICO.....	23
4.3	Altri aspetti del comportamento dei canali inerbiti.....	25
4.4	INSERIMENTO NEL PAESAGGIO.....	26
4.5	MANUTENZIONE	27
5	SISTEMI DI BIORITENZIONE	29
5.1	GIARDINI DELLA PIOGGIA (Rain garden)	30
5.2	CANALI INERBITI DI BIORITENZIONE (Bioretention swale o trench).....	31
5.3	ASPETTI COMUNI DEI SISTEMI DI BIORITENZIONE	32
5.4	PROGETTO IDRAULICO.....	33
5.5	EFFICIENZA DI RIMOZIONE INQUINANTI E INSERIMENTO AMBIENTALE	34
5.6	CARATTERISTICA DEI MEZZI FILTRANTI.....	36
5.7	PIANTE DA UTILIZZARE.....	37
5.8	MANUTENZIONE	37
6	RITENZIONE CON ALBERI.....	39
6.1	IL PROGETTO	41
6.1.1	I terreni strutturali di coltura	41
6.1.2	Le strutture modulari,	42
6.2	IDRAULICA DEI SISTEMI ALBERATI	44
6.3	MANUTENZIONE	44

1 PREMESSA AL CAPITOLO 4

Il presente allegato, analogamente ai primi quattro, è predisposto per costituire una rapida guida per valutare le possibili soluzioni e per verificare l'efficacia, di sistemi volti alla laminazione tramite il contenimento in sito e la parziale o totale eliminazione di parti del deflusso delle acque pluviali a Castiglione d'Adda, come previsto dall'articolo 7 della Legge Regionale n. 4/2016 e dall'articolo 5 (*Sistemi di controllo e gestione delle acque pluviali*) del Regolamento regionale n. 7 del 23 novembre 2017 aggiornato con il r.r. n. 8 del 19 aprile 2019.

Il richiamo della terminologia inglese nel testo è fatto per suggerire che i necessari approfondimenti bibliografici siano ricercati utilizzando i termini non tradotti, perché le analisi e le tecniche in materia sono state molto ampliate negli ultimi venti anni in ambito internazionale e hanno raggiunto un grado di maturazione in buona parte sconosciuto in Italia. Per percepire il livello di affinamento raggiunto dalla materia, si vedano ad esempio <http://www.bmpdatabase.org/>, <https://www.susdrain.org/>, <https://www.epa.gov/npdes/national-menu-best-management-practices-bmps-stormwater#edu>, e per cogliere l'evoluzione dei termini non di rado inesistenti in lingua italiana, si suggerisce l'articolo reperibile al seguente indirizzo <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1573062X.2014.916314>.

2 SISTEMI DI INFILTRAZIONE

Questo capitolo fornisce indicazioni sulla progettazione di sistemi specificamente previsti per promuovere infiltrazione delle acque pluviali nel suolo e nel sottosuolo e include pozzi di dispersione (*soakaways*), trincee d'infiltrazione e bacini di infiltrazione. Anche altri sistemi riportati di seguito nel presente allegato come le fasce filtranti (*filter strips*), i canali inerbiti (*swales*), i sistemi di bioritenzione e la messa a dimora degli alberi, prevedono come recapito parziale o totale delle acque pluviali il sottosuolo, ma ciò avviene dopo un trattamento di filtrazione superficiale o in terreni appositamente progettati che ne costituiscono la parte caratterizzante. Questi ultimi sistemi spesso formano la prima fase di trattamento delle acque pluviali che precede il loro ingresso nei sistemi d'infiltrazione ⁽¹⁾.

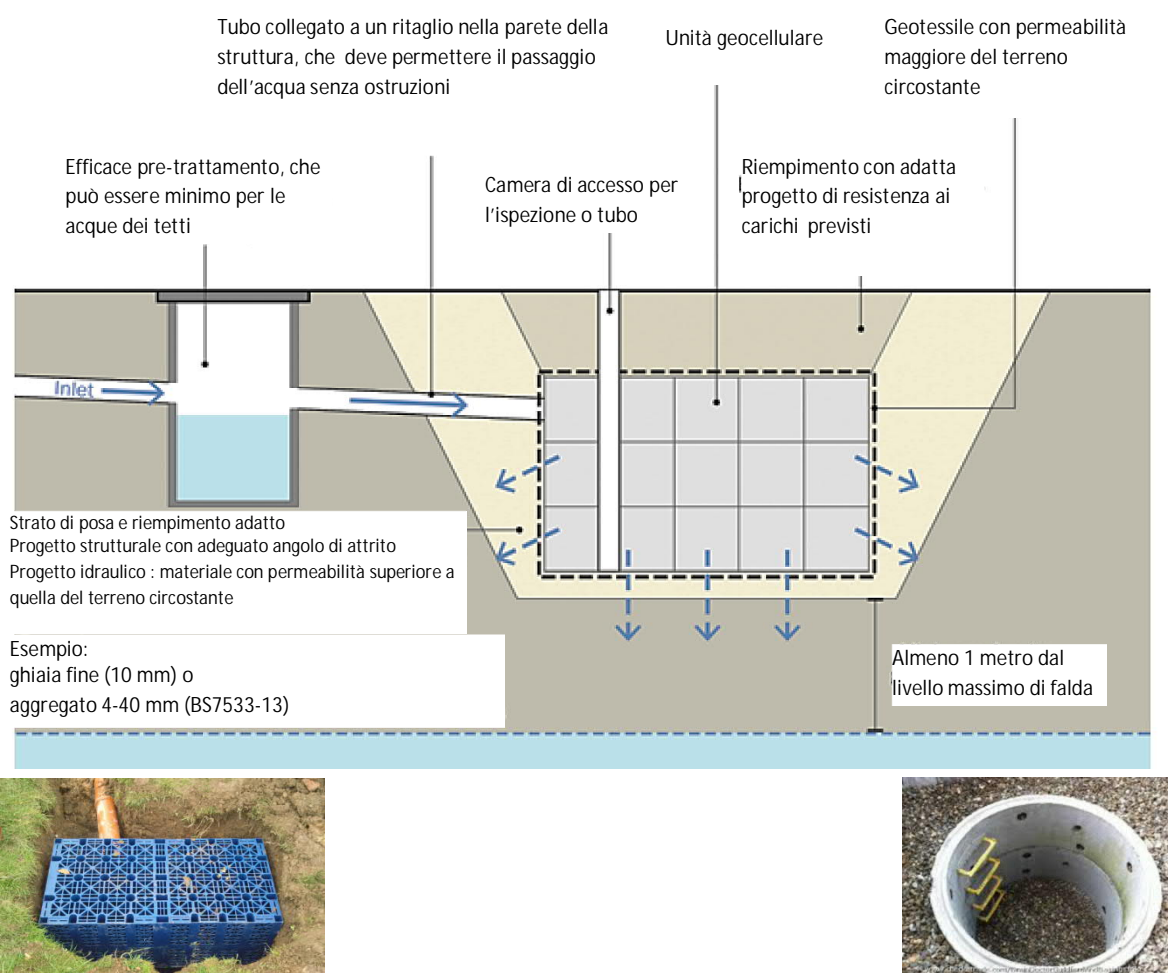
2.1 POZZI, TRINCEE E BACINI DI DISPERSIONE - ASPETTI GENERALI

I pozzi di dispersione sono gli scavi che sono riempiti con un materiale con elevata percentuale di vuoti che consente il temporaneo immagazzinamento di acqua prima che questa s'infiltri nel terreno. Storicamente i piccoli pozzi di dispersione di una singola proprietà erano pieni di macerie o rivestiti con mattoni a vista ed erano situati sotto i giardini senza alcuna struttura per l'accesso e l'ispezione.

¹ L'intero allegato è in gran parte tratto da CIRIA report C753 *The SuDS Manual* - © CIRIA 2015 ISBN: 978-0-86017-760-9.

Molti piccoli pozzi sono ora costruiti con unità geocellulari pre-avvolti da geotessile, che forniscono buona capacità di stoccaggio e consentono di ridurre al minimo le dimensioni della struttura necessaria per qualsiasi applicazione.

Strutture più grandi possono essere costruite con anelli perforati in calcestruzzo prefabbricato circondato da un riempimento granulare o utilizzando strutture geocellulari. Le strutture in cemento hanno il vantaggio di consentire l'accesso per l'ispezione e la manutenzione, anche se la ghiaia circostante non può essere ispezionata o facilmente mantenuta. Quando si considera l'uso di sistemi geocellulari, deve essere valutata la durata prevista dell'attività e l'integrità strutturale a lungo termine. In Figura 1 si riportano due schemi concernenti soluzioni rispettivamente con geocelle e con tubi forati in calcestruzzo.



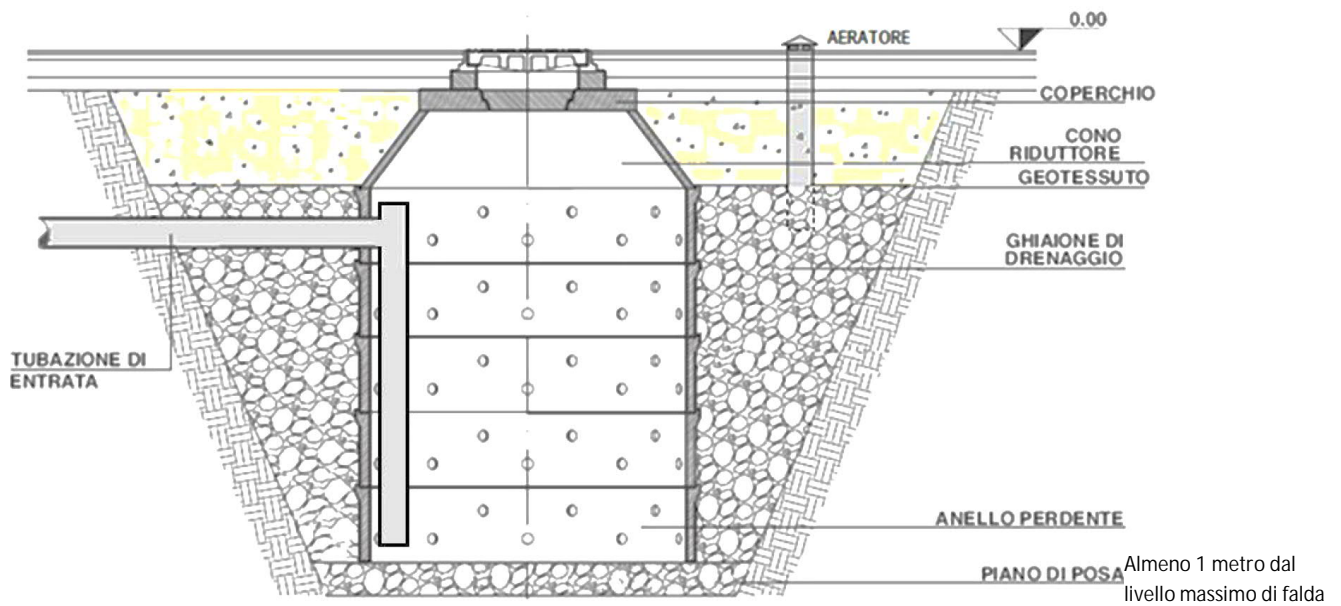


Figura 1: in alto dettaglio di un pozzetto di dispersione con geocellulari comprendente un pre-trattamento; in basso da "drenaggio urbano - i pozzi superficiali di infiltrazione e laminazione" L. Fanizzi, ECOACQUE 2013 .

Le trincee di infiltrazione sono semplicemente sistemi lineari di pozzi. I vantaggi di trincee è che spesso posso essere collocate a profondità inferiori e nei terreni variabili la distribuzione delle zone di infiltrazione riduce l'effetto delle zone meno permeabili. Un tubo perforato può essere inserito, se necessario, per distribuire l'acqua lungo la trincea (Figura 2).

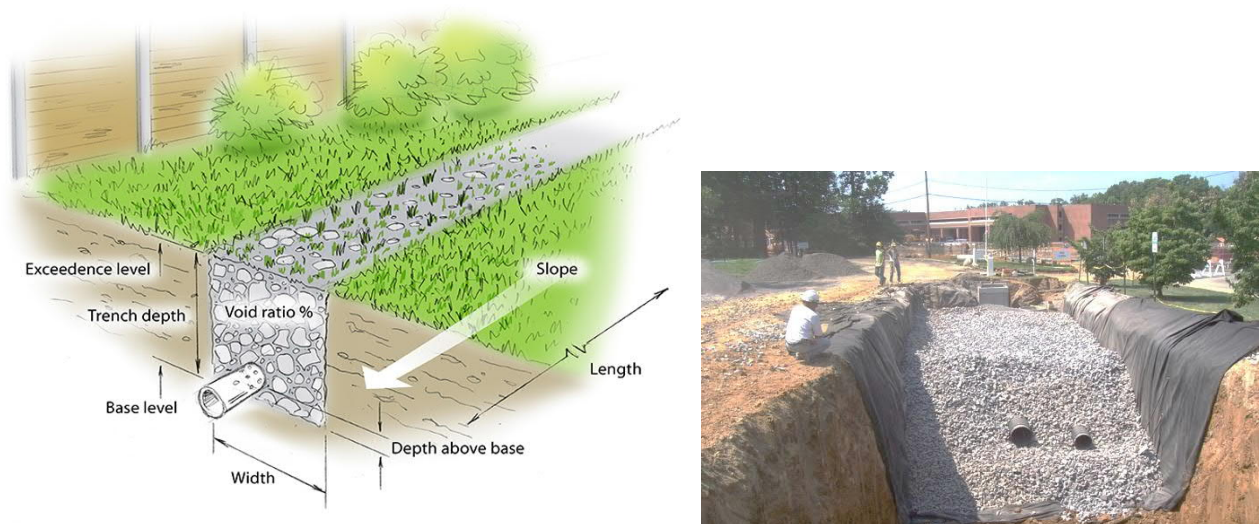


Figura 2: trincee di infiltrazione da *xpdrainage Help Documentation (Innovyze®)* e da *Enviro-Utilities, Inc.*

I bacini di infiltrazione sono paesaggi a fondo piatto, depressioni poco profonde che accumulano il deflusso (permettendo agli inquinanti di stabilizzarsi e filtrare), prima che si generi il passaggio nei suoli (Figura 3).

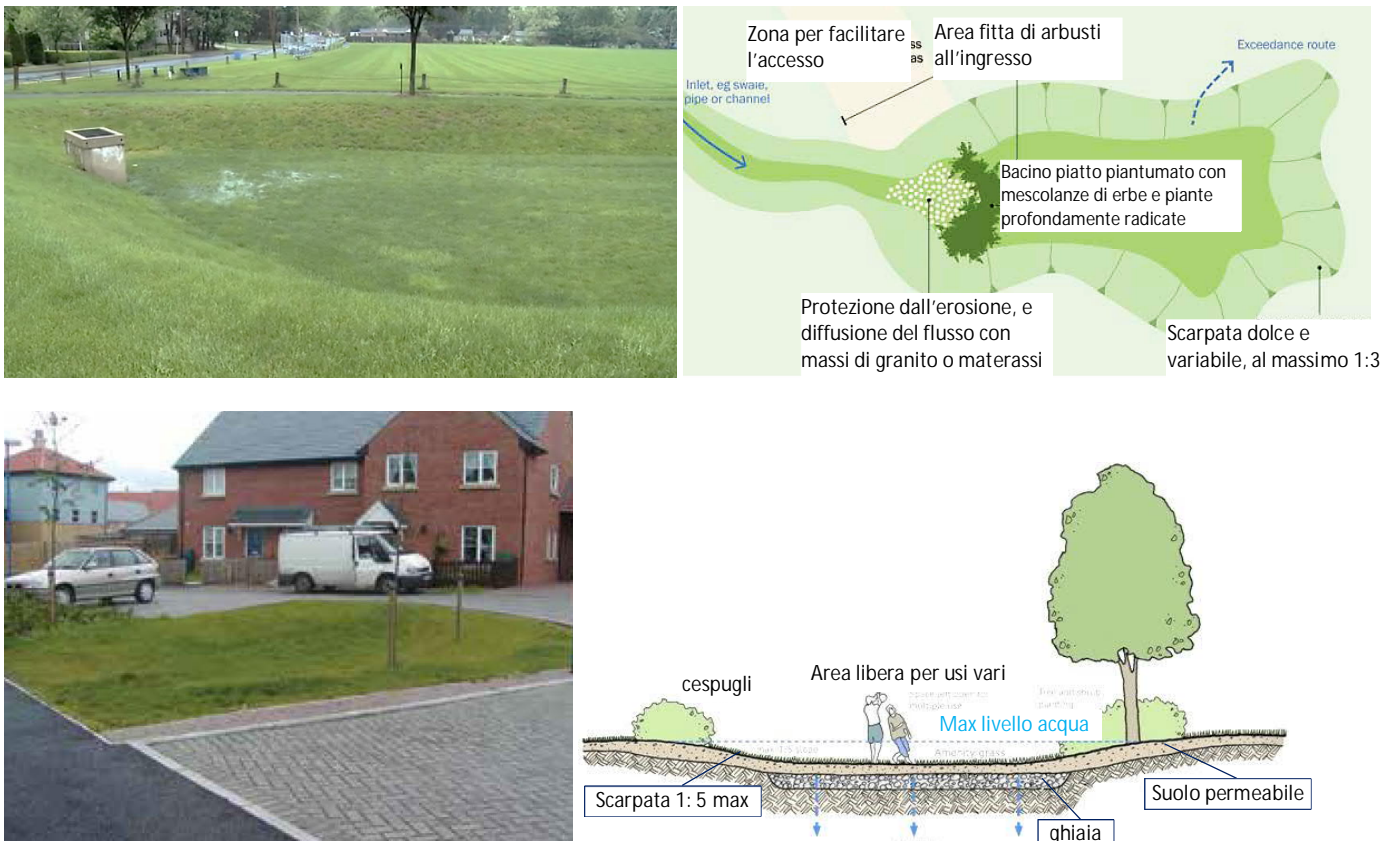


Figura 3: bacino di infiltrazione con elemento di scarico per il troppo pieno (GreenTreks Network, Inc.); planimetria di un bacino con definizione dei principali elementi costitutivi e bacino di piccole dimensioni in area urbana.

È importante che le acque in ingresso sia poco o non contaminate prima di entrare nel sistema d'infiltrazione in modo che le acque sotterranee non siano messe a rischio.

Le prestazioni dei sistemi d'infiltrazione dipendono dai parametri idraulici dei terreni circostanti, dalla profondità delle acque sotterranee e dall'eventuale pretrattamento necessario per rimuovere i carichi di sedimenti e impedire intasamento a lungo termine e la conseguente perdita di capacità del sistema. Le migliori pratiche di esecuzione dei sistemi sono fondamentali anche per prevenire danni alla struttura del sottosuolo, in particolare alla sua permeabilità, prima della messa in servizio del sistema.

Deve sempre essere adottata la distanza minima di 1 m tra la base del sistema d'infiltrazione e il livello massimo probabile della falda, per minimizzare il rischio che le acque sotterranee occupino parte del sistema di infiltrazione riducendo il volume di serbatoio disponibile e per proteggere la funzionalità del processo di infiltrazione con un sufficiente spessore di terreno insaturo.

I seguenti problemi devono essere valutati nella progettazione di sistemi di infiltrazione:

- rischio di instabilità del suolo, subsidenza o sollevamento dovuto infiltrazione.
- Rischio di instabilità di versante o solifluzione dovuto infiltrazione. A Castiglione d'Adda sono presenti scarpate il cui comportamento dovrà certamente essere valutato con un adeguato approfondimento geotecnico.

- Rischio di inquinamento delle acque sotterranee di mobilitare contaminanti esistenti
Se vi è il timore che l'area prescelta sia contaminata dovranno essere messe in atto le verifiche previste dal d. lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e fino al compimento delle relative procedure non sarà possibile eseguire le opere di infiltrazione.
- Rischio di inquinamento per l'infiltrazione di acque superficiali inquinate
Il rischio deve essere escluso realizzando tutte le verifiche idrauliche necessarie e realizzando le opere necessarie per garantire l'assenza di commistione con acque contaminate per fenomeni con tempi di ritorno elevati, da valutare in relazione al tipo e concentrazione dei contaminanti.
- Rischio che le acque d'infiltrazione determinino un innalzamento della falda freatica tale da provocare allagamenti in superficie.
Il progetto idraulico deve prevenire tale eventualità, prevedendo se necessario uno o più scarichi di troppo pieno o il contenimento in modo controllato degli allagamenti.
- rischio di dispersione delle acque sotterranee in fognature, scantinati, gallerie o altre strutture.
Come nel caso precedente il progetto dovrà tenere conto degli effetti sulle strutture esistenti, anche adottando adeguati modelli di interpretazione del fenomeno che consenta di considerare gli elementi interferenti.

La parte inferiore di qualsiasi sistema d'infiltrazione dovrebbe essere piatto e determinare ristagni uniformi; la tolleranza delle quote di base dovrebbe essere al massimo di 1/300.

I pendii laterali dei bacini di infiltrazione normalmente dovrebbero essere non più ripidi di 1 a 3 per consentire la stabilizzazione vegetativa, la falciatura, l'accesso e per motivi di sicurezza pubblica. Tuttavia, questo requisito può essere superato se il bacino è di limitata profondità (ad esempio meno di 500 mm). La formazione di gradini o terrazzini offre una gamma di micro ambienti che possono sopportare la fluttuazione dei livelli acqua e variazioni frequenti di condizioni da umide o asciutte del terreno.

La velocità di crescita dell'acqua nel bacino dovrebbe essere sufficientemente bassa da ridurre al minimo i rischi per gli utenti del sito e gli operatori, che a causa della natura temporanea dell'invaso non sono abituati alla presenza dell'acqua. Superfici piatte possono migliorare l'estetica, a scapito della capacità di invasore.

Bisogna realizzare un accesso appropriato al bacino di infiltrazione per le attività di manutenzione come il taglio dell'erba e il ripristino della superficie di infiltrazione. Gli alberi non dovrebbero impedire l'accesso o scoraggiare le opere di manutenzione ed eventuali botole di ispezione dovrebbero permettere la manutenzione dalla superficie senza l'accesso diretto dell'uomo.

2.2 REALIZZAZIONE DEI SISTEMI DI INFILTRAZIONE

2.2.1 Selezione e ubicazione delle componenti del sito di infiltrazione.

I pozzi d'infiltrazione sono i più adatti per l'infiltrazione delle acque provenienti da piccole aree come i tetti delle abitazioni residenziali. Varie componenti dei sistemi infiltrazione possono essere inseriti in aree

già sviluppate, per drenare piccole zone quali passi carrai privati e tetti, purché ci sia sufficiente distanza dalle strutture, da scarpate ecc.

I sistemi d'infiltrazione nel sottosuolo non richiedono l'occupazione di superfici e possono essere costruiti con diverse forme e dimensioni ed essere ospitati all'interno di sviluppi urbani ad alta densità. Solitamente non è opportuno utilizzare bacini d'infiltrazione ad "*accesso libero*" all'interno di spazi pubblici che sono interessati da un intenso passaggio di pedoni, a causa del rischio di deterioramento delle prestazioni della superficie di infiltrazione dovuto alla compattazione dei terreni superficiali.

2.2.2 Aspetti del progetto idraulico

I sistemi d'infiltrazione devono essere progettati per gestire portate in ingresso con tempi di ritorno di 50 anni e di 100 anni per gli scarichi dei troppo pieni (art 11 RR 07-2017). Per il calcolo si può provvedere con i metodi riportati nel § 2 del progetto per le pavimentazioni drenanti (capitolo 3) impiegando per l'afflusso l'intensità delle piogge riferite il capitolo 0 riguardante le pluviometrie massime a Castiglione d'Adda.

L'infiltrazione può giocare un ruolo importante nel trattenere e immagazzinare i primi 5 mm di qualsiasi evento di pioggia (funzione detta *intercettazione*), anche in aree con infiltrazione limitata. Per gli eventi estremi, oltre al controllo della velocità di afflusso, è opportuno che sia controllato anche il volume per TR 100 anni con eventi di durata di 6 ore.

I flussi che superano i valori di progetto devono essere gestiti in modo efficace, individuando un percorso sicuro di scarico o un'area temporanea d'immagazzinamento, particolarmente in siti che presentano pendenze non trascurabili, dove possono crearsi percorsi di flusso concentrato e alte velocità, che possono generare rischi alle persone.

Anche se è relativamente facile individuare le aree a rischio inondazione esaminando la morfologia dell'area, lo è meno individuare la grandezza del fenomeno che può essere efficacemente determinato mediante modelli di simulazione idraulica di dettaglio.

Le strade possono costituire un'area opportuna di accumulo dell'acqua per brevi periodi in occasione di eventi rari, da valutare in relazione all'intensità del traffico e alle velocità di percorrenza, ma non devono essere utilizzate per immagazzinare l'acqua per eventi frequenti.

Dove non è possibile altrimenti, sarà necessario predisporre un sistema di pompaggio, con uno scarico a valle preferibilmente non superiore a 2 l/s per ettaro di bacino impermeabile affluente.

I sistemi d'infiltrazione possono non avere successo a causa dei sedimenti e richiedono pertanto efficace pre-trattamento per rimuovere la maggior quantità di solidi sospesi prima che entrino nel sistema.

I progetti idealmente dovrebbero incorporare " *pre-trattamenti multipli* ", utilizzando fossi inerbiti, bacini e fasce filtro anche in serie a monte del sistema di infiltrazione, ma spesso queste soluzioni non sono praticabili e per un pozzo assorbente a servizio di un tetto, un piccolo pozzetto di sedimentazione può essere l'unico pre-trattamento che può efficacemente essere fornito.

I canali di adduzione ai bacini d'infiltrazione dovrebbero essere consolidati per prevenire l'erosione ad esempio con pietrame di rivestimento, anche se in un sistema ben progettato i flussi dovrebbero essere limitati e le necessità di protezione minime. Un diffusore di portata in ingresso potrà favorire il flusso laminare sulla superficiale del bacino e migliorare la capacità di rimozione degli inquinanti.



Figura 4: pietrame posto a protezione dell'ingresso delle acque in un canale inerbito

Il deflusso in eccesso delle acque superficiali può avvenire tramite un tubo di scarico o dalla sommità del pozzo di dispersione, se ritenuto opportuno, o con una soglia di tracimazione in un bacino.

I materiali utilizzati nei sistemi di infiltrazione sono principalmente aggregati naturali, geotessili e terreni specifici per la zona di radicamento o modificati per i sistemi semplici di bioritenzione. I terreni superficiali presenti o appositamente predisposti per l'utilizzo nei bacini di infiltrazione, devono essere sufficientemente permeabili e il valore di progetto deve essere verificato dopo la posa in sito.

Il calcolo idraulico può essere fatto con il metodo indicato in precedenza oppure si può usare per il pozzo circolare la relazione di Sieker:

$$Q_f = \frac{k}{2} J A_f = 3600 \frac{k}{2} \left(\frac{L+h_w}{L+\frac{h_w}{2}} \right) A_f \quad \text{in m}^3/\text{ora}$$

Dove

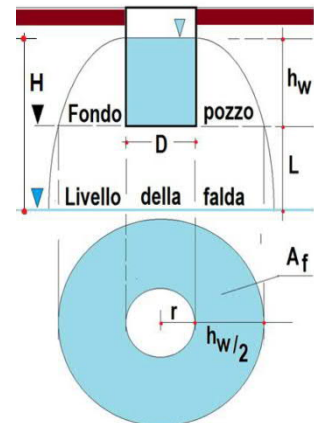
Q_f = portata di infiltrazione in (m³/ora);

$k/2$ = la permabilità media del terreno insaturo considerato pari alla metà di quello saturo (k) (m/s);

J = cadente piezometrica (m/m);

L = distanza tra la base del pozzo e la falda (m);

A_f = rappresenta la superficie orizzontale drenante effettiva, calcolabile come quella di un anello di larghezza $h_w/2$ (in questo caso, non si fa conto sulla capacità drenante del fondo del pozzo, per via della sua possibile occlusione), in m², dove h_w è il livello idrico nel pozzo (m).



L'evento critico per il sistema è rappresentato dalla condizione nella quale si ha il massimo volume invasato, che in base all'equazione di continuità ($Q_p(t) - Q_f(t) = dW(t) / dt$), dove $Q_p(t)$ la portata di pioggia

in ingresso), si realizza quando la portata in smaltimento diventa uguale a quella in entrata, ossia quanto $dW = 0$. La risoluzione del differenziale richiede un procedimento con metodo numerico di calcolo per il quale si fa rimando ai testi di idrologica.

2.3 PROGETTAZIONE DEL PAESAGGIO E PIANTUMAZIONI

I bacini d'infiltrazione sono strutture in genere inerbite, ma la vegetazione arbustiva e arborea può migliorare l'aspetto del bacino, stabilizzare le sponde, prevenire l'erosione e servire come habitat della fauna selvatica. La piantumazione dovrebbe essere progettata per adattarsi alle condizioni specifiche, che comprendono momenti di sommersione e lunghi periodi di siccità. La vegetazione aumenta anche l'efficacia d'infiltrazione rallentando i flussi in tutto il bacino e mantenendo o migliorando la porosità nei terreni sottostanti tramite i sistemi di radicazione più profondi. Gli arbusti e la pacciamatura riducono al minimo il rischio d'intasamento dei terreni superficiali ⁽²⁾.

Al fine di ridurre la manutenzione e aumentare il valore estetico e biodiversità, può essere considerato l'impianto con miscele di prato di fiori selvatici (*wild flower meadow*).

La concimazione e l'applicazione di erbicidi dovrebbero essere evitati per ridurre al minimo il rischio di introdurre sostanze inquinanti e nutrienti nelle acque sotterranee.

Ove possibile, la costruzione di bacini di infiltrazione deve avvenire dopo che il sito si è stabilizzato, al fine di minimizzare il rischio di danni prematuri a causa di alti carichi di sedimenti erosi dal terreno lavorato. Se questo non fosse possibile, lo scavo iniziale dovrebbe essere effettuato per 450 mm dal piano di bacino e lo scavo finale dovrebbe essere fatto dopo la stabilizzazione del sito. È essenziale che i bacini d'infiltrazione non siano usati per gestire i sedimenti che defluiscono da aree di cantiere.

Tutti gli scavi e il livellamento devono essere eseguiti con apparecchiature che esercitano pressioni molto limitate, per evitare la compattazione del piano del bacino e la riduzione della capacità di infiltrazione. La base del bacino dovrebbe essere priva di rilevanti ondulazioni e dopo la sistemazione finale, dovrebbe essere arato a una profondità di 150 mm per realizzare una struttura superficiale porosa e ben aerata. Il suolo usato per rifinire i pendii laterali deve essere fertile, poroso e di sufficiente profondità per assicurare la crescita di vegetazione.

2.4 MANUTENZIONI

Sistemi d'infiltrazione richiedono una manutenzione costante per garantire un funzionamento continuo e uniforme e tutti i progettisti dovrebbero fornire specifiche dettagliate.

² EMERSON, C H and TRAYER, R G (2008) "Multi-year and seasonal variation of infiltration from stormwater best management practices" Journal of irrigation and drainage engineering, vol 134, special issue Urban Storm-Water Management, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, pp 598–605

2.4.1 Pozzi e trincee d'infiltrazione

Il progetto dei pozzi di dispersione e delle trincee di infiltrazione devono comprendere punti di controllo. Per pozzi di dispersione piccoli può essere sufficiente la posa di un tubo di 50 mm forato.

La vita utile e il funzionamento efficace di un componente di infiltrazione è in rapporto con la frequenza di manutenzione e il rischio che sedimenti siano introdotti nel sistema. È opportuno stabilire una servitù dove più proprietà scaricano in un singolo sistema, per assicurare l'accesso a lungo termine per la manutenzione.

La manutenzione di solito avviene manualmente, anche se può essere utilizzato un aspiratore per la rimozione dei detriti nei grandi sistemi. Se la manutenzione non è intrapresa per lunghi periodi, i depositi possono consolidarsi e richiedere uno sforzo considerevole per rimuoverli.

SCHEDA DI MANUTENZIONE	AZIONE RICHIESTA	FREQUENZA TIPICA
Manutenzione regolare	Controllare il pozzetto di pre-trattamento e il fondo del tubo di ispezione o dell'anello del pozzo in calcestruzzo	Annuale
	Pulire le grondaie ed eventuali filtri sui pluviali	Annuale, o con frequenza diversa se necessaria in base alle ispezioni
	Eliminare eventuali radici che possono bloccare il flusso	Annuale, o se necessaria
Manutenzione occasionale	Rimuovere sedimenti e detriti dal pozzetto di pre-trattamento, dal fondo del tubo di ispezione o dell'anello del pozzo in calcestruzzo	Se necessaria in base alle ispezioni
Rimedi	Se la resa è bassa o si è rotta la struttura, ricostruire il sistema di infiltrazione e /o rimpiazzare o pulire i volumi che devono essere vuoti	Se necessaria
	Rimpiazzare il geotessile ostruito (questo richiederà la ricostruzione del sistema di infiltrazione)	Se necessaria
Controlli	Controllare la trappola dei sedimenti (principalmente limo) e annotare la velocità di crescita del deposito	Mensile nel primo anno e poi annuale
	Controllare il pozzo di dispersione e verificare che lo svuotamento sia avvenuto	Annuale

Tabella 1: schema per la manutenzione dei pozzi di infiltrazione e trincee.

Le strade e le aree di parcheggio drenanti verso i sistemi d'infiltrazione devono essere spazzate regolarmente per evitare che il limo sia lavato dalla superficie, riducendo così al minimo la necessità di manutenzione.

2.4.2 Bacini d'infiltrazione

La responsabilità della manutenzione di un bacino d'infiltrazione e della zona circostante deve essere affidata a un ente responsabile. Lo sfalcio regolare nei pressi di bacini d'infiltrazione è necessaria solo lungo

gli itinerari di accesso per la manutenzione, presso le aree attrattive (per esempio sentieri), tra i terrapieni e nell'area di stoccaggio principale.

Le zone restanti possono essere gestite come "prato" o altra vegetazione appropriata, a meno che non vi siano altre richieste per scopi estetici. Il taglio dell'erba potrebbe essere necessario per ospitare speciali cotiche erbose o miscele particolari secondo le raccomandazioni dei fornitori di sementi.

Come descritto in precedenza, il profondo radicamento della vegetazione può mantenere i tassi di infiltrazione voluti e ridurre al minimo la necessità di una manutenzione correttiva. Tutte le attività di gestione di vegetazione dovrebbero tener conto della necessità di massimizzare la biosicurezza (difesa dalle specie "aliene") e impedire la diffusione di specie invasive.

La Tabella 2 fornisce indicazioni sul tipo di requisiti organizzativi e di manutenzione che possono essere appropriati per i bacini d'infiltrazione. L'elenco delle azioni non è esaustivo e alcune azioni non sempre sono richieste.

I sedimenti accumulati sulla superficie dei sistemi d'infiltrazione hanno dimostrato di non rappresentare un pericolo per la salute umana delle persone che utilizzano il bacino come spazio aperto (Scott Wilson, 2010³), tuttavia secondo l'autore il materiale accumulato ha superato i limite per il carbonio organico totale (TOC) per i rifiuti pericolosi e il sedimento accumulato richiederebbe un trattamento preliminare per ridurre il contenuto organico prima dello smaltimento al di fuori del sito (altri contaminanti erano ben al di sotto criteri adottati (in UK) per essere considerati rifiuti pericolosi), che potrebbe essere fatto mediante il compostaggio o l'andatura.

I sedimenti estratti dallo scavo dai bacini di infiltrazione o dai pre-trattamenti che ricevono le acque di aree residenziali e di strade ordinarie e tetti non sono generalmente tossici e possono quindi essere smaltiti in modo sicuro sul terreno o al di fuori del sito, nei limiti e con le procedure indicate dal DPR 120 del 13 giugno 2017.

SCHEDA DI MANUTENZIONE	AZIONE RICHIESTA	FREQUENZA TIPICA
Manutenzione regolare	Rimuovere rifiuti, detriti e fogliame	Mensile
	Taglio dell'erba delle strade di accesso e aree verdi	Mensilmente durante la stagione di crescita, poi a seconda delle necessità
	Taglio dell'erba dei prati all'interno e intorno al bacino	In primavera, prima della stagione di nidificazione e in autunno

³ SCOTT WILSON(2010) *Fate of highway contaminants in the unsaturated zone, final synthesis report*, Highways Consultancy Group, Highways Agency, London, UK (unpublished).

	Gestire l'altra vegetazione e rimuovere le piante infestanti	Mensilmente all'inizio, poi secondo le necessità
Manutenzione occasionale	Riseminare aree di scarsa crescita della vegetazione	Annualmente o se necessario
	Potare e tagliare gli alberi e rimuovere i tagli	Se necessario
	Rimuovere i sedimenti dal sistema di pretrattamento quando è pieno al 50%	Se necessario
Rimedi	Riparazione dell'erosione o altri danni riseminando o con inerbimento	Se necessario
	Riallineare il rip-rap (massi)	Se necessario
	Riparare o ripristinare gli ingressi, le uscite e i troppo pieni	Se necessario
	Riabilitare la superficie di infiltrazione usando tecniche di scarificazione e punzonatura se le prestazioni si deteriorano	Se necessario
	Spianare le superfici irregolari e ripristinare le quote di progettazione	Se necessario
Controlli	Ispezionare gli ingressi, le uscite e gli troppo pieni per evitare i blocchi e pulire se necessario	Mensile
	Ispezionare le bancate, strutture, tubazioni ecc. per valutare eventuali danneggiamenti	Mensile
	Ispezionare ingressi, sistemi di pre trattamento del limo e stabilire la frequenza opportuna della sua rimozione	Semestrale
	Ispezionare le superfici d'infiltrazione per valutare la compattazione e presenza di ristagni	Mensile

Tabella 2: manutenzione dei bacini di infiltrazione. Nota: la tabella si riferisce a condizione medie in Gran Bretagna, quindi possono essere necessarie modifiche in merito alle modalità di manutenzione ordinaria a Castiglione d'Adda.

3 FASCE FILTRANTI (filter strip)

3.1 ASPETTI GENERALI

Le fasce filtranti sono strisce uniformi d'erba o di vegetazione arbustiva densa poste in leggera pendenza, progettate per il trattamento del deflusso dalle aree adiacenti impermeabili in modo da favorire la sedimentazione, la filtrazione e l'infiltrazione (dove possibile).

Il flusso deve fluire come una lama d'acqua sopra la striscia a velocità sufficientemente bassa da consentire che i processi di trattamento possano svolgersi in modo efficace. Le fasce verdi sono spesso usate come componenti di pre-trattamento prima di una canale inerbito (Swale), di sistemi di bioritenzione e di trincee, per estendere la vita di questi componenti catturando i sedimenti, o come componente singola di trattamento se la lunghezza della striscia è sufficiente.

A velocità moderate e basse di flusso, le fasce filtranti riducono efficacemente le particelle inquinanti rimuovendo i sedimenti, materiali organici e metalli pesanti. La deposizione del sedimento che contiene particelle di argilla porta con sé sostanze nutrienti assorbite e altri inquinanti. Quando gli inquinanti

s'infiltrano nel suolo si realizza anche una parziale rimozione delle sostanze inquinanti solubili, che sono catturate dalla vegetazione radicata.

Dove l'infiltrazione è possibile, l'effetto delle strisce filtranti durante gli eventi meteorici intensi tende ad essere limitato perché solo una piccola percentuale del deflusso viene perso (la perdita "iniziale"), ma dove c'è una sufficiente permeabilità del sottosuolo, sarà quest'ultimo il meccanismo principale per precipitazioni moderate e le fasce filtranti possono contribuire efficacemente all'intercettazione (trattenimento in superficie).

La zona di alimentazione del deflusso dovrebbe essere un declivio morbido che scende verso la fascia filtrante, la quale per funzionare correttamente e garantire le prestazioni, richiede che la lama d'acqua scorra con costanza, anche se con un'accurata progettazione si possono creare zone di diffusione per adattarsi a piccoli cambiamenti nelle pendenze longitudinali.

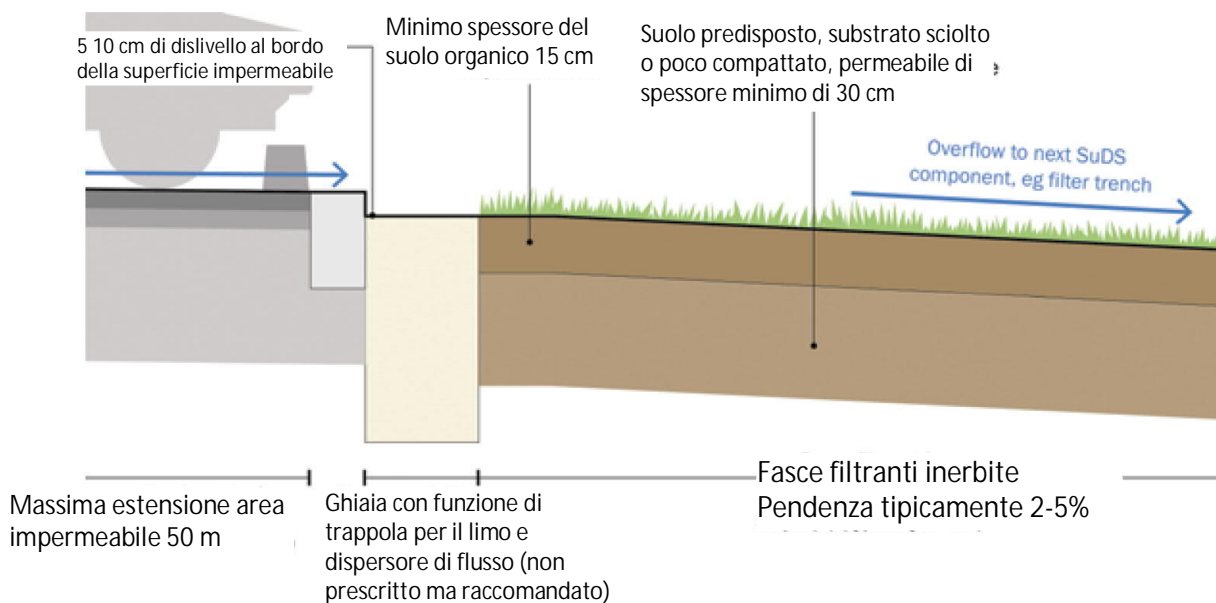


Figura 5: schema di una fascia filtrante, con flusso da sinistra verso destra.

La striscia filtro deve estendersi per l'intera lunghezza della zona che viene drenata e benché la fascia filtrante sia una tecnologia semplice, è richiesta una progettazione attenta nei dettagli.

Le principali questioni che portano all'insuccesso delle fasce filtro comprendono:

- Ostruzioni in prossimità dell'interfaccia superficie impermeabile / vegetazione che disturba il flusso della lamina d'acqua.
- Inadeguata morfologia, ad esempio mancanza di dislivello al bordo della superficie di flusso, che crea condizioni di erosione e ristagno.

I requisiti di progettazione delle fasce filtranti sono principalmente finalizzati a fornire vantaggi in termini di qualità dell'acqua (in particolare la cattura dei sedimenti che eviti il danneggiamento dei

componenti a valle) e le prestazioni delle fasce filtranti dipendono fortemente dalla loro lunghezza (nella direzione del flusso).

Le fasce filtranti permetteranno solo una modesta infiltrazione e i rischi di inquinamento per le acque sotterranee dovrebbero essere sempre accettabili a condizione che la zona non sia un sito ad alto rischio di inquinamento.

L'accettabilità delle infiltrazioni dalla striscia di filtraggio deve essere determinata rispettando tutti i requisiti dei sistemi di infiltrazione per quanto riguarda la stabilità del terreno, la profondità della falda freatica ecc. e la protezione delle acque sotterranee. Il livello massimo delle acque sotterranee dovrebbe essere sempre almeno 1 m sotto il livello più basso della striscia del filtro.

3.2 SELEZIONE E UBICAZIONE DELLE FASCE FILTRANTI

Le fasce filtro possono essere utilizzate in una varietà di situazioni, ma sono particolarmente adatte per la gestione del deflusso delle strade perché hanno una caratteristica lineare facilmente incorporabile nello spazio stradale. Sono adatte per gestire il deflusso dai parcheggi e di altre aree impermeabili e permeabili e possono essere incorporate efficacemente negli spazi verdi e negli spazi pubblici aperti, in modo che la loro funzione non sia compromessa dall'attività nell'area (ad es. danni da parcheggio o pedoni).

Sono utili in siti industriali perché qualsiasi inquinamento visibile può essere identificato, tracciata la fonte e rimossa la contaminazione. La striscia può essere in seguito riabilitata in modo relativamente facile.

Le fasce filtranti non devono essere utilizzate su siti dismessi a meno che non sia stato dimostrato chiaramente che il rischio derivante dalla lisciviazione di contaminanti sia accettabile.

Fasce filtro non devono essere situate in aree in cui gli alberi o altre strutture causeranno un'ombreggiatura tale da limitare la crescita dell'erba.

La pendenza longitudinale (lungo la direzione del flusso) dovrà essere compresa tra l'1% per evitare il ristagno e il 5% per impedire la canalizzazione del flusso. Laddove le pendenze della striscia filtrante fossero > 5%, è possibile utilizzare una serie di dispersori per mantenere il flusso della lama d'acqua sulla striscia.

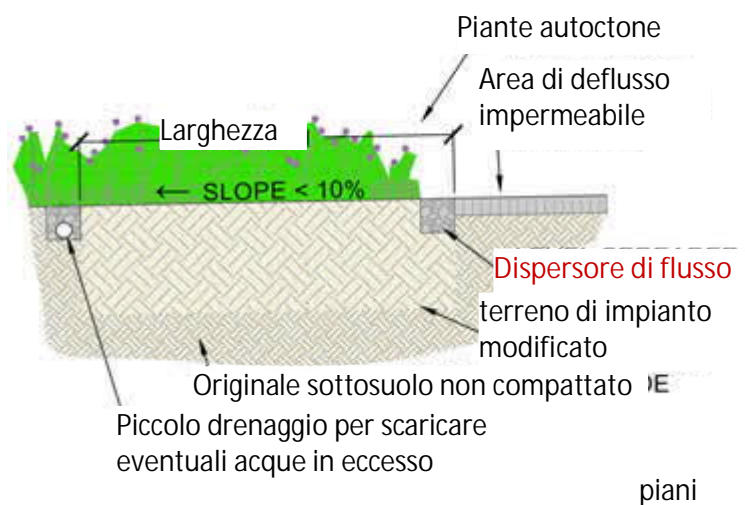


Figura 6: sezione di una striscia filtro con dispersore

La massima "lunghezza" delle strisce filtranti deve essere limitata al fine di ridurre il rischio di flussi concentrati, anche se ciò dipenderà principalmente dalla pendenza dell'area impermeabile e dall'efficacia delle tecniche di diffusione adottate.

Si consigliano velocità di flusso massime attraverso la striscia di filtro di 1,5 m / s per prevenire l'erosione durante i flussi di progetto, anche se per garantire una efficacia di trattamento è necessaria una velocità inferiore.

3.3 IDRAULICA DELLE FASCE FILTRANTI

Dove la striscia è progettata per facilitare anche una limitata infiltrazione, è necessario effettuare un controllo per determinare se la striscia è in grado di smaltire un'altezza di 5 mm di pioggia sul bacino contribuente (intercettazione).

Il flusso laminare attraverso le fasce filtro solitamente non è controllato e nei calcoli del progetto non è inclusa alcuna riduzione del flusso di picco. Per progettare il controllo di eventi a basso periodo di ritorno, è possibile disporre un terrapieno impermeabile nella parte terminale del pendio, con scarichi canalizzati che limitano le portate in uscita. Per determinare se un tale approccio sia affidabile a lungo termine, è necessario prendere in considerazione opportune procedure di manutenzione, che in particolare considerino il rischio di ostruzione degli scarichi.

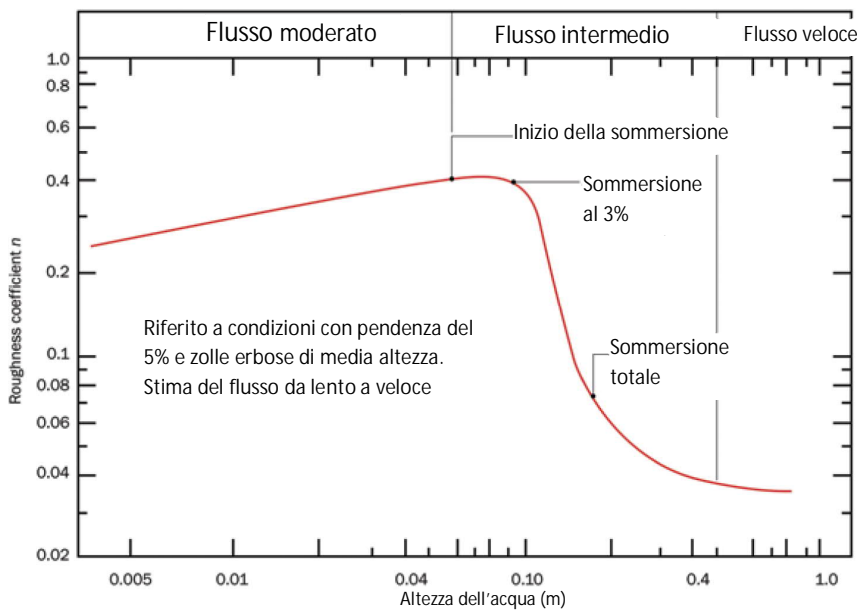
Fasce di lunghezza > 5 m hanno dimostrato di essere molto efficaci in termini di miglioramento della qualità dell'acqua ⁽⁴⁾ anche in presenza di pendenze maggiori del 1%. Eventi fino a quelli con Tr di un anno dovrebbero ottenere buone prestazioni di rimozione degli inquinanti.

Se la striscia filtro drena una strada, è probabile che l'evento critico sia la pioggia di 15 minuti, per il quale nel progetto si deve considerare che:

- o L'altezza della lama d'acqua deve essere inferiore a quella della vegetazione e quindi non superare i 10 cm circa;
- o La velocità di flusso di picco dovrebbe essere inferiore a 0,3 m / s per favorire la deposizione delle particelle;
- o il tempo di percorrenza del deflusso sulla striscia filtro dovrebbe essere di almeno 9 secondi.

Equazione di Manning può essere utilizzata per la progettazione della striscia filtro: $V = \frac{d^{2/3} S^{1/2}}{n}$

⁴ BARRETT, M, LANTON, A and AUSTRHEIM-SMITH, S (2004) "Surface water pollution removal in roadside vegetated buffer strips" Transportation research record no 1890, pp 129–40



dove

V = velocità media del flusso trasversale (m/s);

d = altezza della lama di flusso (m);

S = pendenza della scarpata in direzione del flusso (m/m);

n = coefficiente di scabrezza di Manning ($m^{-1/3}s$).

I valori di n possono essere stimati dal grafico di Figura 7.

Figura 7: Impatto dell'altezza del flusso sulla scabrezza idraulica (da Wong, 2006).

3.4 PARTICOLARI COSTRUTTIVI

La sistemazione della fascia filtrante e dell'area adiacente deve essere tale da ridurre al minimo il traffico pedonale e il ciclismo. La posizione delle fasce filtranti dovrebbe essere ben definita, in quanto la loro funzione per il sistema di gestione delle acque di superficie spesso non è ovvio per chi utilizza il sito.

Si dovrebbe prendere in considerazione la necessità di una segnaletica adeguata per prevenire l'alterazione e il diverso utilizzo delle aree delle fasce filtranti. Una semina diversificata, che includa eventualmente aree con fiori selvatici, favorirà una più ampia biodiversità.

Se i sottosuoli sono compatti o poco fertili o la composizione del terreno presenta una macro porosità molto bassa, la vegetazione difficilmente si potrà stabilizzare e i terreni dovrebbero essere lavorati per una profondità di 300 mm e modificati per raggiungere le specifiche dei terreni ingegnerizzati, che possono ed esempio composti da:

- o 15-30 % frazione inferiore 0.063 mm (limo+argilla)
- o 70-85% sabbia, di cui almeno il 70% formato da grani nell'intervallo 0.25 - 1.0 mm.
- o Assenza di ghiaia e di pietre
- o Conducibilità idraulica in condizioni sature compresa tra 25 e 115 mm/ora
- o Sostanza organica tra il 3 ed il 5%
- o Fosforo estraibile tra il 12 e il 36 %

È necessaria una copertura vegetale densa, fissata al terreno con radici profonde, che dovrà essere mantenuta a un'altezza di 75-150 mm per garantire filtrazioni efficaci durante gli eventi ordinari.

Il tappeto erboso in zolle offre una protezione immediata, a condizione che le cuciture siano protette stendendo le strisce perpendicolarmente al flusso d'acqua e siano pigiate manualmente dopo la posa. Una

fascia filtrante è opportuno sia seminata in primavera o nei primi mesi estivi per dare alla vegetazione tutta la stagione di crescita per stabilizzarsi.

Dove le strisce filtranti sono utilizzate per drenare il deflusso dalle strade o dalle aree di parcheggio che possono essere regolarmente cosparse di sale durante i mesi invernali, occorre scegliere un impianto tollerante al sale.

Generalmente gli alberi e la macchia densa non dovrebbero essere presenti, a meno che la lunghezza del percorso del flusso della fascia filtrante sia significativamente maggiore del necessario (ad es. Parchi e scuole in cui le aree dello spazio aperto possono essere grandi). Sebbene possano migliorare l'aspetto estetico, è difficile preservare la copertura del terreno vegetale salubre, l'uniformità della pendenza e la stabilità necessarie per una fascia filtrante ben funzionante.

Le fasce filtranti non devono essere poste in aree ombreggiate perché è necessaria la luce solare per garantire una crescita sana delle piante e l'uso di fertilizzanti dovrebbe essere evitato, se possibile, in particolare quando l'ambiente di recapito è sensibile ai carichi di nutrienti.

Una fascia filtrante di nuova costruzione dovrebbe essere protetta dai flussi di acqua superficiale fino a quando la vegetazione non sarà stata stabilizzata. Questo può essere ottenuto mediante:

- utilizzo di tappeti erbosi prestabiliti o di materassi con semi;
- coprendo la striscia filtrante con plastica trasparente fino a quando la vegetazione è ben radicata;
- posizionando un manto per il controllo dell'erosione sulla miscela di semi appena applicata.

Se oltre il 30% dell'area di trattamento è spoglio dopo quattro settimane, sarà necessario riseminare o ri piantumare per ottenere una copertura del 90%.

3.5 MANUTENZIONE

Le prestazioni delle fasce filtranti dipendono dalla manutenzione e saranno necessari piani di gestione affidabili per garantire che la manutenzione sia eseguita a lungo termine. La manutenzione delle fasce filtranti è relativamente semplice per le ditte di giardinaggio e in genere sono previsti solo piccoli interventi supplementari oltre a quelli necessari per lo spazio pubblico ordinario. La principale opera di manutenzione è la falciatura, per mantenere un'altezza dell'erba di 75-150 mm, tuttavia altezze maggiori, ove opportuno, non sono considerate come un rischio per la loro funzionalità.

I residui di erba devono essere eliminati dal sito e posti all'esterno dell'area della fascia filtrante per rimuovere sostanze nutritive e inquinanti. Tutte le attività di gestione della vegetazione dovrebbero tener conto della necessità di massimizzare la biosicurezza e di prevenire la diffusione di specie invasive.

Occasionalmente è necessario rimuovere i sedimenti, ad es. quando i depositi superano i 25 mm di profondità, ma ciò può essere prevenuto assicurando che le zone a monte siano completamente stabilizzate. Le prove disponibili degli studi di monitoraggio indicano che le piccole pratiche di infiltrazione distribuita, come le fasce filtranti non contaminano i terreni sottostanti, anche dopo oltre 10 anni di attività ⁽⁵⁾.

I sedimenti scavati da una striscia filtrante che riceve il deflusso da strade residenziali o ordinarie e da tetti non contengono generalmente materiale tossico o pericoloso e possono quindi essere smaltiti in modo sicuro mediante il riuso del terreno o il conferimento in discarica, nei limiti e con le procedure indicate dal DPR 120 del 13 giugno 2017.

SCHEDA DI MANUTENZIONE	AZIONE RICHIESTA	FREQUENZA TIPICA
Manutenzione regolare	Rimuovere rifiuti e detriti	Mensile o se richiesto
	Tagliare l'erba e mantenerla entro le altezze specificate dal progetto	Mensile durante la stagione di crescita, poi se richiesto
	Gestire l'altra vegetazione e rimuovere le piante infestanti	Mensile all'inizio, poi semestralmente
	Ispezionare la superficie della fascia filtro per individuare segni di erosione, vegetazione con scarsa crescita, compattazione, ristagni, sedimentazione e contaminazione (ad esempio oli)	Mensile all'inizio, poi semestralmente
	Verificare il dispersore del flusso e le pendenze della superficie della fascia filtro	Mensile all'inizio, poi semestralmente
	Controllare i tassi di accumulo di limo e stabilire le frequenze appropriata rimozione	Mensile all'inizio, poi semestralmente
Manutenzione occasionale	Riseminare aree di scarsa crescita della vegetazione e modificare il tipo di seminazione se necessario	Se richiesto o se suolo è esposto per più del 10%
Rimedi	Riparare l'erosione o altri danni ripristinando le zolle erbose o riseminando	Se necessario
	Livellare le superfici irregolari e reintegrare le superfici di progetto	Se necessario
	Scarificare e punzonare strato di terriccio per migliorare l'infiltrazione, rompere i depositi di limo e prevenire la compattazione della superficie del suolo	Se necessario
	Rimuovere l'accumulo di sedimenti sulla fossa di ghiaia a monte, sul dispersione di flusso o nella parte superiore della striscia di filtro	Se necessario
	Rimuovere e smaltire oli o residui di benzina utilizzando sicure pratiche standard	Se necessario

Tabella 3: manutenzione delle fasce filtranti (filter strip).

⁵ TRCA (2008) *Performance evaluation of permeable pavement and a bioretention swale*, Seneca College, King City, Ontario, Prepared by Toronto and Region Conservation under the Sustainable Technologies Evaluation Program (STEP), Ontario, Canada.

4 CANALI INERBITI (SWALES)

4.1 ASPETTI GENERALI

I canali inerbiti sono depressioni poco profonde con fondo piatto e vegetati, progettati per convogliare, trattare e spesso attenuare il deflusso delle acque superficiali. Se incorporati nella progettazione, possono migliorare il paesaggio naturale e fornire vantaggi estetici e biodiversità.

Sono spesso utilizzati per drenare strade, sentieri o parcheggi, dove è necessario raccogliere flussi distribuiti, o come mezzo per trasportare il deflusso sulla superficie, migliorando nel contempo i corridoi di accesso o altri spazi aperti. Possono avere una varietà di profili, possono essere uniformi o non uniformi e possono incorporare una gamma di strategie d'impianto diverse, a seconda delle caratteristiche del sito e degli obiettivi del sistema.

I canali inerbiti possono sostituire le tubazioni fognarie come mezzo per convogliare il ruscellamento, mentre l'uso di strisce filtranti e / o di dispersori di flusso (es Figura 4) adiacenti ai canali può consentire di eliminare la necessità di cordoli e condotte.

Il canale standard è largo, poco profondo e coperto da vegetazione, solitamente erba, per rallentare l'acqua e facilitare la sedimentazione e la filtrazione attraverso la zona delle radici e la matrice del suolo, l'evapotraspirazione e l'infiltrazione nel terreno sottostante. Uno *swale* può avere soglie di controllo o terrapieni installati lungo il percorso del flusso, che temporaneamente accumulano il deflusso per aumentare la ritenzione e l'infiltrazione di inquinanti e riducono ulteriormente la velocità del flusso, particolarmente nei siti con pendenze più ripide. Si possono individuare TRE TIPI PRINCIPALI di canali inerbiti:

Lo swale di trasporto è un canale con vegetazione superficiale, che sono particolarmente efficaci nel raccogliere e convogliare il deflusso dalla zona drenata per trasferirlo a un'altra tappa del treno di gestione dei sistemi SuDS. Essi possono essere progettati per il trattamento e/o attenuazione (dove richiesto), a seconda dei vincoli di flusso e delle profondità di ristagno volute dal progetto.



Figura 8: tipica sezione di un canale inerbito.

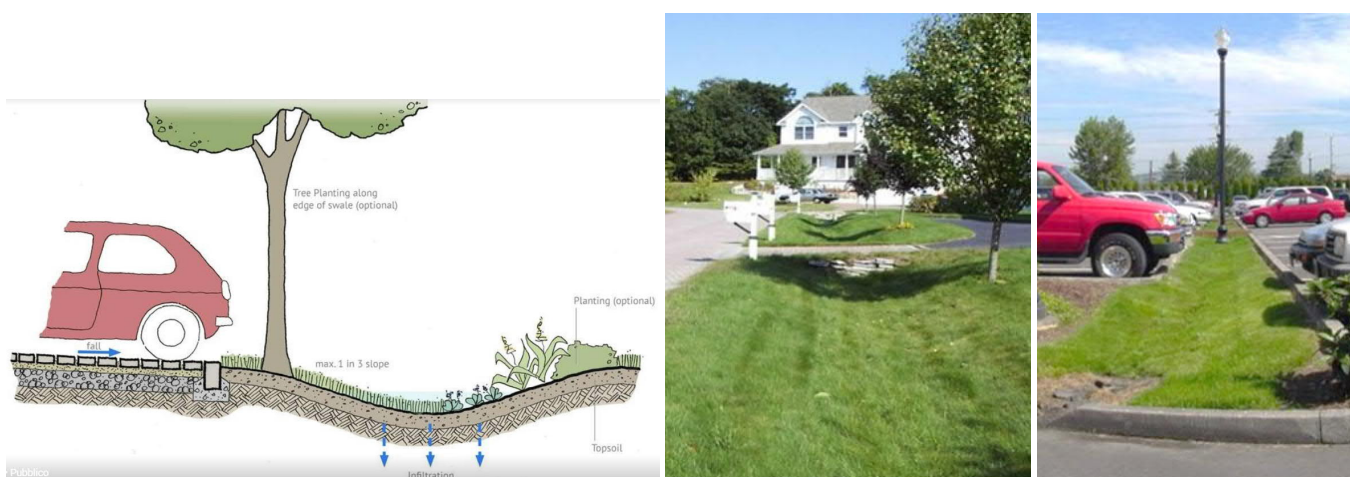


Figura 9: rappresentazioni di canali inerbiti di trasporto, da susdrain.org website sketches (CIRIA) e foto da Low Impact Development Principles - MAPC, Massachusetts.

Lo swale asciutto è un canale di trasporto con vegetazione, progettato per includere un letto filtrante di terreno preparato che si sovrappone a un sistema di drenaggio. Questo sistema fornisce un trattamento delle acque e portate supplementari sotto la base del canale ed evita ristagni. Per evitare infiltrazioni, o dove i livelli delle acque sotterranee sono alti può essere introdotto un manto impermeabile alla base.

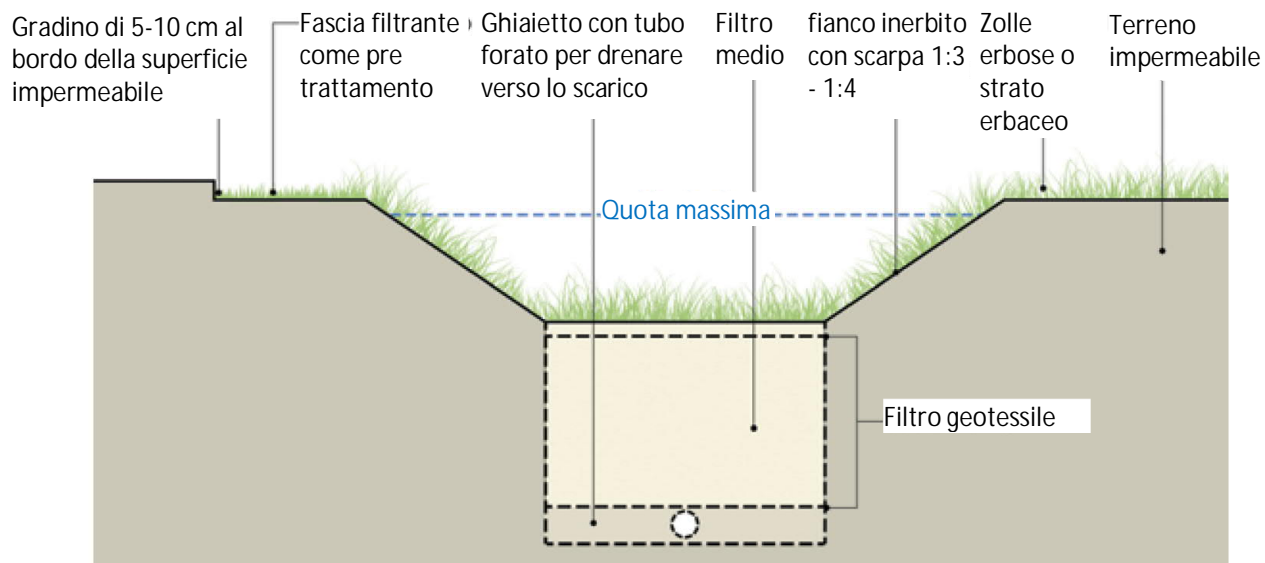


Figura 10: tipico canale inerbito asciutto.



Figura 11: rappresentazioni di canali inerbiti asciutti, da susdrain.org website sketches (CIRIA) e foto da <http://nemo.uconn.edu/>

La swale umido equivale al canale inerbito di trasporto, ma è progettato specificatamente per mantenere condizioni umide e/o paludose nella base. Può essere impiegato in siti piatti e scarsamente drenati e/o per rispondere alle esigenze di funzionalità o di attrattività o di biodiversità, con l'impianto di specifica vegetazione per la base.

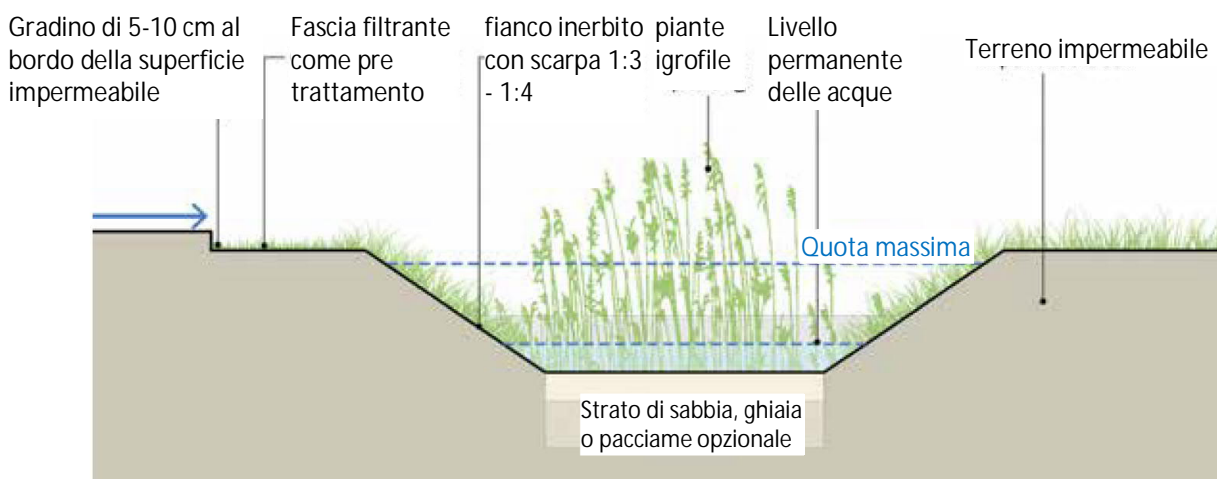


Figura 12: tipico canale inerbito umido, da (1).



Figura 13: rappresentazioni di canali umidi, da Trinkaus Engineering e Mitt Watershed Council. Petoskey, Michigan.

I canali inerbiti generalmente sono progettati con una larghezza alla base di 0,5 – 2,0 m, per consentire flussi superficiali e trattamenti di adeguata qualità delle acque, evitando flussi concentrati e la creazione di canali di erosione. Per larghezze > 2 m si deve considerare la necessità di dividere la sezione trasversale con un divisore di flusso, utilizzando un dispersore per ogni lato.

Le pendenze longitudinali devono essere comprese tra 0,5 e 6%, con soglie di controllo quando si utilizzano pendenze superiori al 3% e stuoie di rinforzo permanente dove le velocità sono superiori a quelle raccomandate per progetti standard.

I pendii laterali dovrebbero essere modesti per aiutare il pre-trattamento dei flussi in entrata lateralmente, massimizzare il filtraggio superficiale, migliorare la sicurezza e consentire un facile accesso per la falciatura. È consigliata una pendenza massima del 33% ma una pendenza di 25% è preferibile se lo spazio lo consente.

Quando usato per accogliere e trattare lo scolo di una strada, la lunghezza del canale dovrebbe essere uguale o maggiore a quello della carreggiata.

La profondità normale massima è 400 – 600 mm., che può essere aumentata se si ritiene di aver valutato adeguatamente i rischi per la sicurezza. La profondità può dipendere dalla profondità degli scarichi di afflusso, ad esempio dalla base di una pavimentazione permeabile o altro componente posto a monte.

Dove i canali inerbiti hanno modeste capacità di infiltrazione (vale a dire sono progettati come componenti di trasporto), se i terreni fino alle acque sotterranee forniscono protezione adeguata ed hanno appropriato contenuto di sostanze organiche e di argilla, i rischi di inquinamento nelle acque sotterranee dovrebbero essere accettabili purché l'area non sia un sito di alto rischio. Dove la vulnerabilità della falda sottostante richiede di escludere l'infiltrazione, il canale inerbito può essere progettato sopra geomembrane impermeabili poste ad una profondità di almeno 0,5 m, ma in questo caso bisogna considerare con attenzione il rischio di formazione di ristagni.

L'accettabilità dell'infiltrazione dalla base deve essere determinata seguendo le indicazioni fornite nel paragrafo precedente, considerando che siano soddisfatti tutti i requisiti per i sistemi di infiltrazione relativamente alla stabilità del terreno, profondità delle acque sotterranee ecc.,. Il livello massimo probabile della falda dovrebbe sempre essere almeno 1 m sotto la base del canale o della quota dalla quale inizia l'infiltrazione.

Swales possono essere utilizzati in un'ampia varietà di situazioni, in particolari strade e parcheggi e negli spazi aperti del paesaggio e pubblici, ma sono difficili da inserire in sviluppi urbani densi in cui lo spazio è limitato, anche se in alcune situazioni è possibile fornire pendenze laterali più ripide - ad esempio,

una bassa profondità (150 mm di profondità) o pendenze verticali se il bordo è reso opportunamente inaccessibile.

I canali inerbiti sono ideali per l'uso in siti industriali (rivestiti e con componenti di trattamento a valle aggiuntivi), perché qualsiasi inquinamento è visibile e può essere affrontato prima che causi danni al corso d'acqua ricevente. Inoltre sono molto più facili da mantenere su siti con carichi di sedimenti elevati rispetto a qualsiasi altro tipo di componente SuDS.

L'impiego dovrebbero essere attentamente valutato in siti dismessi a meno che non sia stato dimostrato che il rischio derivante dalla lisciviazione di contaminanti sia a concentrazioni accettabili. Quando si utilizza un rivestimento per impedire l'infiltrazione, il livello stagionale alto delle acque sotterranee deve essere inferiore a quello del rivestimento.

Infine i canali inerbiti non dovrebbero essere situati in aree con estese coperture di alberi o strutture sopraelevate che causano ombre che possono limitare la crescita dell'erba e dell'altra vegetazione.

4.2 PROGETTO IDRAULICO

Il progetto del canale inerbito ha lo scopo di trattare e infiltrare le acque durante gli eventi meteorici modesti e di trasportare il flusso di picco durante gli eventi più grandi. In tutti i progetti idraulici si deve tenere conto dei seguenti aspetti:

1) Il canale inerbito dovrebbe avere un'adeguata capacità di trasmettere e/o immagazzinare l'evento per periodo di ritorno di progetto, osservando che i canali bagnati tenderanno a non riprendersi con rapidità dopo aver trasmesso flussi elevati.

2) Deve avere la capacità di trasmettere in modo sicuro le portate di eventi estremi, altrimenti i flussi in eccesso devono essere convogliati in modo sicuro verso aree di stoccaggio temporaneo appropriate.

3) I volumi di deflusso dell'evento di progetto dovrebbero dimezzarsi entro 24 ore, sia per rendere disponibile il canale al trattamento di eventi successivi, sia perché nei canali inerbiti a secco e per trasporto occorre assicurare la protezione della vegetazione dai danni di una prolungata saturazione.

Canali inerbiti di trasporto

In genere, la vegetazione deve essere mantenuta a un'altezza di 75-150 mm per evitare lo schiacciamento al fondo durante il flusso delle acque. Sono possibili buone prestazioni di rimozione degli inquinanti per tutti gli eventi con tempi di ritorno di circa 1 anno e per tali eventi la altezza della lama d'acqua deve restare al di sotto dell'altezza della vegetazione (cioè di solito <100 mm).

La velocità dovrebbe essere di 0,3 m / s per garantire un adeguato tempo di residenza (tempo di residenza = lunghezza / velocità) che deve essere di almeno 9 minuti (18 minuti dalla parte superiore del canale inerbito se lo stesso riceve afflussi laterali lungo la sua lunghezza).

Per calcolare la velocità media del flusso in canale inerbito, è necessario utilizzare l'equazione di Manning (Figura 7), adottando il valore raccomandato di 0,35 per una profondità d'acqua inferiore o uguale all'altezza dell'erba. Questo coefficiente dovrà essere aumentato per i canali che comprendono piante più grandi e/o una gamma più ampia di dimensioni di piante. Le velocità di flusso per eventi estremi devono essere mantenute inferiori a 1,0 m/s (o 2,0 m/s se la stabilità del pendio, l'erosione del suolo e le condizioni di sicurezza lo consentono), per prevenire l'erosione.

Il valore "n" di Manning medio per i flussi superiori all'altezza dell'erba sopra dovrà essere stimato a seconda della altezza del flusso.

Le soglie e i sistemi di pretrattamento appropriati possono essere utilizzati per migliorare le prestazioni idrauliche e di qualità dell'acqua riducendo le velocità, aumentando il tempo di permanenza e aumentando l'infiltrazione e / o lo stoccaggio. Se i canali inerbiti sono progettati per scaricare volumi significativi attraverso l'infiltrazione, i sistemi dovrebbero essere progettati con i criteri illustrati per un insieme di pozzi di dispersione o un bacino di infiltrazione.

Canali inerbiti asciutti

Il drenaggio migliorato sotto il canale inerbito può fornire un flusso e una capacità di stoccaggio maggiori, prestazioni migliori di intercettazione, un rischio ridotto di formazione di zone di ristagno dove i gradienti sono nulli e condizioni migliorate per l'infiltrazione (dove le condizioni del terreno lo consentono).

I canali vegetati secchi che sono serviti da un drenaggio sotterraneo non devono avere uno scarico in superficie e possono quindi agire come un insieme di bacini di detenzione. Le loro prestazioni sono complesse perché il carico relativo di ogni canale collegato al drenaggio definirà la sua prestazione idraulica. È necessario un progetto accurato di ciascun elemento per valutare le prestazioni del sistema e garantire che gli eventi di progetto possano essere gestiti senza inondazioni a valle.

I limiti di velocità per gli eventi regolari ed estremi indicati per i canali di trasporto sono qui confermati, ma poiché i presenti sistemi sono più adatti ad aree relativamente piatte o a brevi lunghezze, il vincolo progettuale è normalmente la sua capacità di trasporto e l'immagazzinamento, piuttosto che la velocità. Il dreno dovrebbe avere una capacità di flusso di almeno 2 l /s/ha per garantire che i sistemi possano gestire scenari multi-evento. Se la filtrazione nel dreno si verificherà più velocemente del limite di scarico richiesto, sarà necessario controllare lo scarico di questo elemento.

Canali inerbiti umidi

La capacità di trasporto dei canali inerbiti umidi può essere determinata utilizzando lo stesso approccio utilizzato per quelli di trasporto. La limitazione della velocità per garantire un'adeguata filtrazione vegetativa non sarà normalmente rilevante, poiché i pendii longitudinali più bassi (o pendenza zero) associati ai canali inerbiti umidi assicureranno tempi di ritenzione adeguati. La base permanentemente bagnata può fornire zone calme per la rimozione di particelle fini - agendo come un piccolo stagno lineare o sistemi di zone umide. Le swale umide sono solitamente appropriate in siti molto piatti e con suoli sono poco drenanti, ma possono essere progettati per siti più permeabili utilizzando rivestimenti impermeabili per fornire prestazioni di trattamento specifiche o formare aree attrattive o migliorare la biodiversità. La condizione tipica di un canale umido si verifica naturalmente quando le falde acquifere si alzano al di sopra della base del canale, ma ciò comporta un collegamento idraulico diretto tra il deflusso superficiale e le acque sotterranee che non deve essere consentito.

Un pre-trattamento adeguato dovrebbe essere collocato a monte del recapito nel canale inerbito per evitare il rapido accumulo di sedimenti nelle zone di ristagno, difficile da rimuovere. Una profondità minima di acqua di 150 mm è in genere appropriata per proteggere la vegetazione delle zone umide dai flussi erosivi e mantenere un'adeguata resilienza del sistema alla siccità. Le profondità massime dell'acqua dovrebbero essere stabilite in base al sito, tenendo conto dei criteri tecnici, degli obiettivi (inclusa la sicurezza) e della biodiversità.

4.3 Altri aspetti del comportamento dei canali inerbiti

Gli swales di trasporto e gli swales secchi / potenziati garantiscono l'intercettazione perché di solito non vi è alcun deflusso per la maggior parte dei piccoli eventi piovosi. L'acqua penetra negli strati del suolo vegetato superficialmente e nei terreni sottostanti o in altri terreni e viene rimossa mediante evapotraspirazione e infiltrazione (ove consentito).

I canali inerbiti possono contribuire a ridurre le portate di picco da un sito facilitando l'infiltrazione e fornendo immagazzinamenti. La progettazione del controllo del flusso di picco e la valutazione del volume di stoccaggio superficiale possono essere determinate utilizzando le tecniche di calcolo idraulico standard. I contributi dell'infiltrazione dovrebbero essere inclusi solo per i canali inerbiti asciutti o potenziati, dove le pendenze sono <1,5% e dove i contributi alla laminazione del flusso massimo sono indicati esplicitamente dal progetto. Gli afflussi di progetto devono sempre includere il deflusso dalle sponde che scaricano verso il canale inerbito.

Altri volumi di stoccaggio possono essere forniti sotto la base dei canali inerbiti utilizzando ghiaia o altri mezzi di filtraggio/drenaggio o elementi geocellulari.

4.4 INSERIMENTO NEL PAESAGGIO

Swales può essere progettato per adattarsi a molti tipi di paesaggio diversi in modo esteticamente piacevole, offrendo spesso attraenti corridoi vegetati in ambienti stradali e parcheggi.

La conformazione in pianta deve evitare curve strette che possono essere causa di erosione e possono essere utilizzati morbidi meandri per fini estetici e per rallentare i flussi. In spazi verdi dovrebbero prevalere bordi delicati e forme fluide mentre alcuni bordi netti e linee rette possono essere presenti in paesaggi urbani densi. Il progetto dovrebbe sempre mirare a contribuire a migliorare la gradevolezza del paesaggio locale.

Le specie vegetali dovrebbero essere selezionate per adattarsi alle caratteristiche paesaggistiche esistenti e per soddisfare i suoi scopi estetici e progettuali. Piccole schede di interpretazione possono essere poste in prossimità dei canali inerbiti, includendo informazioni relative alla funzione del canale, alla fauna e alla flora locali supportate dal sistema.

Gli swales generalmente non presentano rischi significativi per la salute e la sicurezza del pubblico e rischi residui possono essere mitigati attraverso la progettazione di dolci pendenze laterali e profondità limitate di flusso.



In certe località, può essere opportuno collocare qualche forma di barriera fisica per evitare la presenza di parcheggio sui bordi del canale inerbito (es. impianto di alberi, dissuasori o ringhiere in basse). Grandi massi tendono a portare danni al rivestimento erboso e in alternativa il bordo del swale può essere rinforzato per evitare i deterioramenti causati da veicoli.

La biodiversità di qualsiasi sistema SuDS può essere massimizzata e lo swale può includere varietà di impianti (compresi fiori di campo e mescole di sementi di erba in aree dove non è necessario che la lunghezza di erba sia mantenuta) che aiuteranno a dare un contributo positivo alla biodiversità urbana – fornendo habitat e il cibo per gli insetti, invertebrati e uccelli. Specie vegetali autoctone dovrebbero essere usate normalmente per realizzare una copertura densa e resistente della vegetazione, che crea habitat appropriati per le specie indigene.

L'acqua dovrebbe preferibilmente affluire lateralmente (drenando il deflusso come una lama d'acqua) piuttosto che entrare come un afflusso da un punto singolo.

4.5 MANUTENZIONE

Gli swales richiedono una manutenzione regolare per garantire il funzionamento continuo e mantenere lo standard delle prestazioni. I progetti dovrebbero fornire indicazioni specifiche sulle frequenze delle attività richieste, insieme ai probabili requisiti dei macchinari e ai costi annuali tipici, all'interno del piano di manutenzione.

L'intervento principale è la falciatura, che dovrebbe idealmente mantenere una lunghezza dell'erba a 75-150 mm per aiutare a filtrare gli inquinanti e conservare i sedimenti e per ridurre il rischio di appiattimento durante gli eventi di ruscellamento. Tuttavia lunghezze di vegetazione maggiori non rappresentano un rischio significativo per la funzionalità.

I residui di erba devono essere smaltiti fuori dal sito o all'esterno dell'area di swale, per rimuovere sostanze nutritive e inquinanti. Non è richiesta la falciatura della vegetazione dei canali inerbiti umidi, tuttavia la raccolta di una vegetazione molto densa è auspicabile in autunno dopo la morte del vegetale, per impedire lo scarico di un eccesso di materiale organico nelle acque riceventi. Tutte le attività di gestione della vegetazione dovrebbero tener conto della necessità di massimizzare la biosicurezza e prevenire la diffusione di specie invasive.

Occasionalmente è necessario rimuovere i sedimenti, se i depositi superano i 25 mm di altezza. Le prove fornite da studi di monitoraggio indicano che le piccole pratiche di infiltrazione distribuita come i canali inerbiti non contaminano i terreni sottostanti, anche dopo più di 10 anni di attività (TRCA, 2008). I sedimenti scavati da un alveo che riceve il deflusso da strade residenziali o ordinarie e le aree del tetto non sono generalmente materiali tossici o pericolosi e possono quindi essere smaltiti in modo sicuro mediante il deposito del terreno o il conferimento in discarica.

SCHEDA DI MANUTENZIONE	AZIONE RICHIESTA	FREQUENZA TIPICA
Manutenzione regolare	Rimuovere rifiuti e detriti	Mensile o se richiesto
	Tagliare l'erba e mantenerla entro le altezze specificate dal progetto	Mensile durante la stagione di crescita, poi se richiesto
	Gestire l'altra vegetazione e rimuovere le piante infestanti	Mensile all'inizio, poi semestralmente
	Controllare gli scarichi in ingresso e le uscite per prevenire eventuali intasamenti, provvedendo alla pulizia se necessario	Mensile
	Ispezionare le superfici di infiltrazione per valutare i ristagni, la compattazione e accumulo di limo, registrare le zone dove l'acqua è stagnante per più di 48 ore	Mensile o se necessario
	Controllare la copertura vegetale	Mensile per 6 mesi, ogni 4 mesi nei successivi due

		anni, poi semestralmente
Manutenzione occasionale	Riseminare le aree con scarsa crescita della vegetazione, modificare i tipi di piante per adattarle meglio alle condizioni, se necessario	Se richiesto o se suolo è esposto per più del 10%
Rimedi	Riparare l'erosione o altri danni ripristinando le zolle erbose o riseminando	Se necessario
	Livellare le superfici irregolari e reintegrare le superfici di progetto	Se necessario
	Scarificare e punzonare strato di terriccio per migliorare l'infiltrazione, rompere i depositi di limo e prevenire la compattazione della superficie del suolo	Se necessario
	Rimuovere l'accumulo di sedimenti sulla fossa di ghiaia a monte, sul dispersione di flusso o nella parte superiore della striscia di filtro	Se necessario
	Rimuovere e smaltire oli o residui di benzina utilizzando sicure pratiche standard	Se necessario

Tabella 4: schema di manutenzione per canali inerbiti.

5 SISTEMI DI BIORITENZIONE

I sistemi di bioritenzione sono depressioni del paesaggio poco profonde che possono ridurre i tassi di deflusso e i volumi, trattando l'inquinamento attraverso l'uso di terreni ingegnerizzati e della vegetazione.

Sono particolarmente efficaci nell'intercettare le acque pluviali e possono anche fornire:

- caratteristiche paesaggistiche interessanti che sono auto-irriganti e fertilizzanti
- habitat e biodiversità
- raffreddamento del microclima locale dovuto all'evapotraspirazione.

Sono un componente di gestione delle acque superficiali molto flessibile che può essere integrato in un'ampia varietà di paesaggi di sviluppo utilizzando forme, materiali, piantine e dimensioni diverse. In un'area a bassa densità, il sistema potrebbe presentare bordi morbidi e pendenze laterali delicate, mentre un'applicazione in aree ad alta densità abitativa possono presentare bordi netti e pareti verticali.

Sono generalmente utilizzati per la gestione e il trattamento del deflusso da eventi di pioggia frequenti e di bassa o media intensità, mentre gli eventi maggiori è opportuno siano deviati a componenti di drenaggio più a valle, tramite un troppopieno o bypass.

Il deflusso è raccolto temporaneamente da depressioni della superficie e quindi filtra attraverso la vegetazione e i terreni sottostanti. Miscele di terreno ingegnerizzate specifiche possono essere utilizzate come mezzi filtranti per migliorare le prestazioni del trattamento di bioritenzione e possono essere implementati progetti che includono zone anaerobiche sommerse per promuovere la rimozione dei nutrienti.

Il deflusso filtrato è raccolto utilizzando un sistema drenante al fondo, o se le condizioni del sito lo consentono, completamente o parzialmente infiltrato nel terreno circostante.

Una parte del volume di deflusso sarà rimosso attraverso l'evaporazione e la traspirazione delle piante. Il principale vantaggio idraulico è fornito dall'intercettazione, ma l'immagazzinamento in superficie o all'interno dello strato di drenaggio può essere utile per contribuire alla gestione del deflusso. Per rallentare il flusso dell'acqua che si muove attraverso la superficie del sistema possono essere impiegate soglie o sbarramenti.

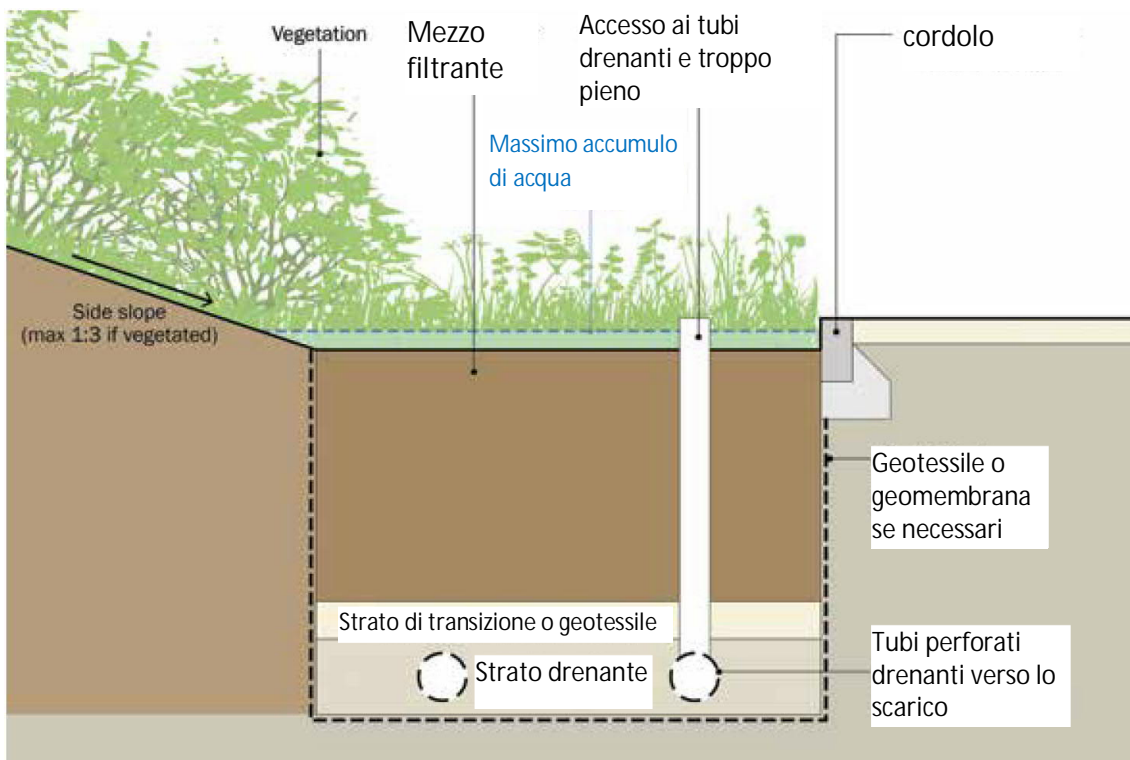


Figura 14: componenti di un sistema di bioritenzione, da (1).

5.1 GIARDINI DELLA PIOGGIA (Rain garden)

I giardini delle piogge (Figura 15) sono in genere piccoli sistemi che servono parte di una singola proprietà (tetto o strada privata). Normalmente sono meno ingegnerizzati rispetto ai componenti di bioritenzione completi e nelle soluzioni più semplici, gli strati filtranti e di drenaggio sono generalmente sostituiti da uno strato sottile (200-500 mm) di terreno nativo modificato da compost / sabbia o da miscele specifiche di terreno (terreni ingegnerizzati).

Di solito ricevono un semplice afflusso di acqua piovana che entra nel giardino e hanno una profondità massima di acqua stagnante di 150 mm. Possono avere un troppopieno fuori terra in cui esce acqua in eccesso, anche se in alcuni casi sono dotati di un semplice dreno di fondo. Un'ampia guida sui giardini della pioggia è fornita da Bray et al (6).

⁶ BRAY, R, GEDGE, D, GRANT, G and LEUTHVILAY, L (2012) *Rain garden guide*, Thames Water, Environment Agency, CIRIA, UK.

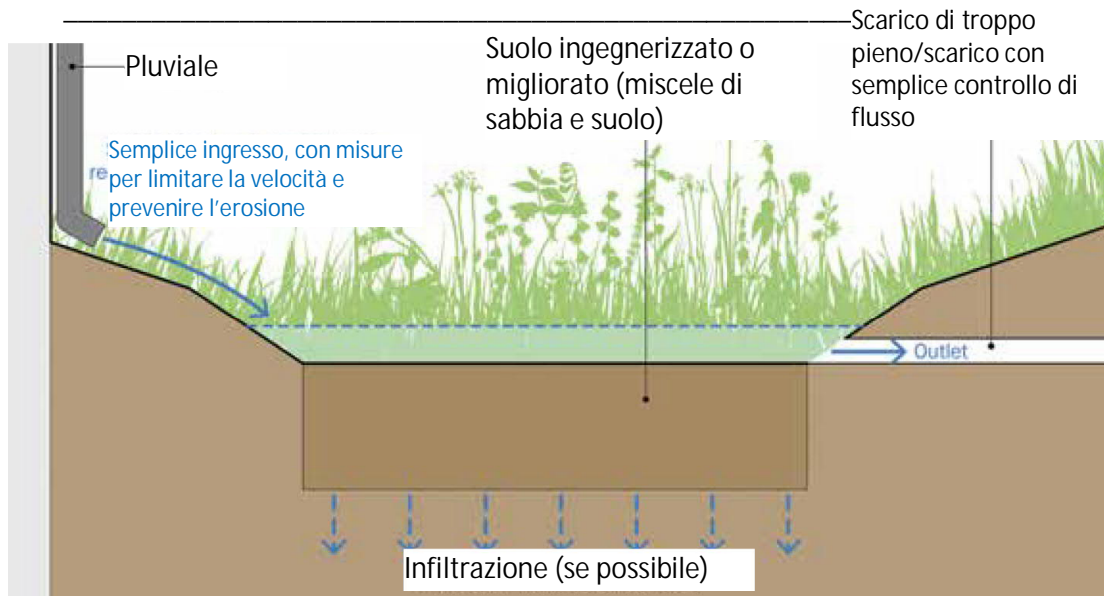


Figura 15: giardino di pioggia, da (!).

Queste strutture consentono di realizzare una varietà creativa di progetti, scelti per dare pregio ai giardini.

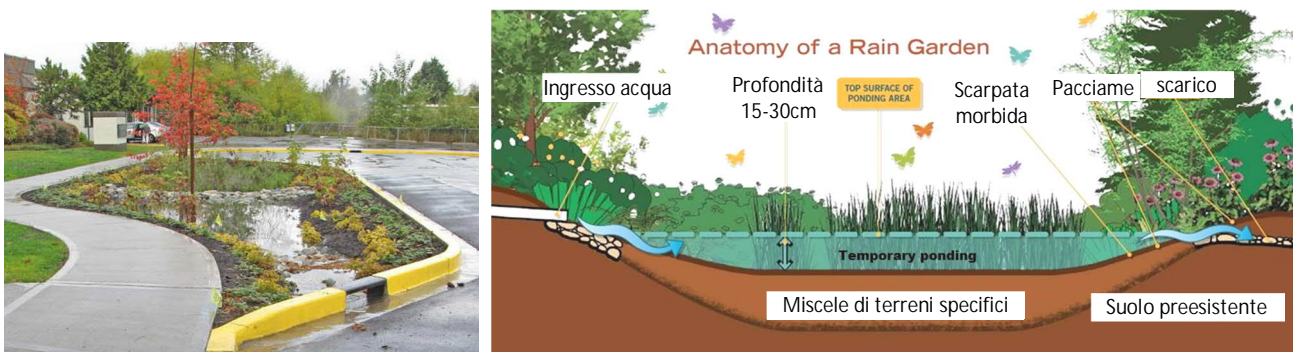


Figura 16 da Rain Garden Handbook for Western Washington - Washington State Department of Ecology 2013.

5.2 CANALI INERBITI DI BIORITENZIONE (Bioretention swale o trench)

Questi sono sistemi di bioritenzione che si trovano all'interno della base di un canale inerbito (spesso indicato come bioswale negli USA). Possono essere una componente continua di bioritenzione lungo la lunghezza del canale inerbito, o una parte di bioritenzione prima dell'uscita dal canale. Sono simili a uno swale con drenaggio.

I flussi fino all'evento di progetto del trattamento (ad esempio un evento con TR 1 di anno o meno) saturano il filtro e vengono raccolti dal substrato. Durante gli eventi che superano il tempo di ritorno considerato, l'acqua scorrerà lungo il canale. La velocità del flusso e la vegetazione dovrebbero essere progettate in modo tale che quando l'acqua scorre lungo la fascia di bioritenzione il materiale del filtro non sia eroso. Per ottenere una biofiltrazione efficace, la base del canale deve essere costruita come una serie di aree piane disposte a terrazze lungo l'estensione dello stesso.

La vegetazione utilizzata nel sistema dovrebbe tollerare la probabile saturazione che si verifica in questo tipo di sistema.



Figura 17: sistemi di bioritenzione

5.3 ASPETTI COMUNI DEI SISTEMI DI BIORITENZIONE

I sistemi di bioritenzione possono essere progettati per gestire un'ampia gamma di eventi di pioggia sia in zone residenziali che non residenziali per mitigare il deflusso inquinato dalle strade, tuttavia, come principio generale, dovrebbero drenare aree relativamente piccole vicino alla fonte del deflusso. Per bacini più grandi, al massimo di 0,8 ha secondo Davis ⁽⁷⁾, si possono prendere in considerazione una serie di sistemi a cascata dove gli eventi più piccoli possono essere filtrati attraverso il sistema e gli eventi più grandi bypassare tramite un trabocco.

Tipicamente, l'area superficiale del sistema di bioritenzione dovrebbe rappresentare il 2-4% dell'area complessiva del sito da drenare, per impedire un rapido intasamento della superficie di bioritenzione.

Se si temono inquinamenti delle acque sotterranee si deve evitare l'infiltrazione con una geomembrana impermeabile e una connessione al drenaggio principale; in questo caso il livello massimo della falda deve essere inferiore alla quota del rivestimento. Se l'infiltrazione è consentita, il livello massimo di falda dovrebbe essere alla distanza di almeno 1 m sotto la base del sistema.

I sistemi di bioritenzione possono essere utilizzati per trattare l'acqua prima del suo utilizzo nei sistemi di raccolta, ma con tale soluzione si riducono i volumi di deflusso e quindi l'acqua disponibile.

I giardini della pioggia non rivestiti devono essere posti a una distanza superiore a 5 m dalle fondazioni degli edifici; in caso di distanze inferiori è opportuna una valutazione da parte di un geotecnico.

⁷ DAVIS, A (2008) "Field performance of bioretention: Hydrology impacts" Journal of Hydrologic Engineering, vol 13, 2, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, pp 90-95

5.4 PROGETTO IDRAULICO

Il flusso in ingresso non deve erodere la superficie del sistema e deve essere distribuito uniformemente sul filtro, con velocità inferiori a 0,5 m/s (o 1,5 m/s per l'evento TR 100 anni).

La permeabilità del generico suolo come mezzo filtrante dovrebbe essere compresa tra 100-300 mm/h, ma per tenere conto dei tassi iniziali di intasamento, che tendono ad attenuarsi man mano che la comunità di piante si sviluppa e la profondità di radicazione aumenta, il progetto dovrebbe essere basato sul 50% della conducibilità idraulica misurata.

La maggiore efficienza nella rimozione degli inquinanti dovrebbe riguardare tutti gli eventi di pioggia fino a tempi di ritorno di un anno, che dovrebbe rappresentare la durata critica per il sistema di bioritenzione. Per questo evento di progetto, i sistemi di bioritenzione dovrebbero essere progettati in modo da fornire un'area di accumulo temporaneo del volume da trattare realizzando una lama d'acqua di non più di 150-200 mm di altezza, per migliorare l'evaporazione e limitare il tempo di sommersione delle piante. Un sistema di ritenzione dovrebbe comunque drenare entro 24-48 ore per consentire un tempo di contatto sufficiente per rimuovere gli inquinanti, ma garantire che il sistema sia pronto a ricevere eventi successivi.

Il calcolo della superficie necessaria può essere fatto con la seguente relazione:

$$A_f = \frac{V_t L}{k t (h + L)} \quad \text{dove}$$

A_f = superficie del letto filtrante in mq

V_t = volume dell'acqua che deve essere trattata (mc) relativa all'evento massimo con TR 1 anno

L = altezza del suolo filtrante

k = coefficiente di permeabilità in m/s del mezzo filtrante

h = altezza media dell'acqua sopra il letto filtrante (metà dell'altezza massima) (m)

t = tempo richiesto per il trattamento con percolazione del volume di acqua (s)

Individuate le caratteristiche del bacino e della pioggia che determinano V_t , l'equazione sarà risolta per tentativi modificando i parametri A_f ed L , o il tipo di suolo - filtro (k).

E' necessario realizzare un sistema di scarico per gli eventi che superano le capacità di immagazzinamento del sistema, il cui dimensionamento deve essere calcolata usando i normali metodi di analisi idraulica (soglia, orifizio e flusso nelle tubazioni). Lo scarico dovrebbe essere collocato nel bacino di biofiltrazione e il più vicino possibile all'ingresso per ridurre al minimo il percorso dei flussi di portata superiore a quello di progetto, riducendo così il rischio di erosione.

Se il mezzo filtrante ha conduttività di uno o due ordini di grandezza maggiore di quella del suolo circostante, il percorso di flusso sarà verticale attraverso il mezzo filtrante e verso i dreni alla base del filtro, ma se la conducibilità idraulica è inferiore a 10 volte quella dei terreni circostanti, possono essere necessari rivestimenti impermeabili per impedire l'infiltrazione laterale.

5.5 EFFICIENZA DI RIMOZIONE INQUINANTI E INSERIMENTO AMBIENTALE

I sistemi di bioritenzione possono fornire un trattamento molto efficace attraverso:

- la rimozione di sedimenti (in particolare i sedimenti fini) e gli inquinanti associati (sostanze nutritive, olii / grassi e metalli) mediante filtrazione attraverso la vegetazione superficiale e la copertura del suolo.
- la rimozione di particolato fine e dei contaminanti associati attraverso gli strati sottostanti del filtro e un trattamento prolungato di detenzione, che determina un certo assorbimento biologico da parte della vegetazione e del biomassa del suolo.
- la rimozione di sostanze inquinanti disciolte per adsorbimento di sostanze inquinanti nel mezzo filtrante.

In numerosi studi è stato evidenziato che i sistemi di bioritenzione correttamente progettati e mantenuti trattengono gli inquinanti anche quando si riceve la fusione della neve, contenente sale antigelo. Le efficienze di rimozione degli inquinanti dei sistemi di bioritenzione progettati in conformità con le linee guida di FAWB ⁽⁸⁾ sono riassunte nella Tabella.

inquinante	Tipica efficienza di rimozione in %
TSS	> 90
Fosforo totale	> 80
Azoto	50 in media
Metalli (zinco, piombo, cadmio)	> 90
Rame	Fino a 60

Tabella 5: possibile rimozione di inquinanti da un sistema di bioritenzione da Facility of Advancing Water Biofiltration.

Mentre il tipo di vegetazione impiegata varia a seconda delle esigenze del paesaggio e del clima, il processo di filtrazione generalmente migliora con una vegetazione più densa e più sviluppata.

I sistemi di bioritenzione possono essere impiegati per trattare le acque prima dell'uso non potabile e possono creare utili aree umide, conservando il ruscellamento sotto forma di strato saturo al di sotto del sistema, con la formazione di un bacino idrico a cui le piante sovrastanti possono accedere. I sistemi di bioritenzione sono anche potenzialmente benefici per il microclima locale, raffreddando l'aria attraverso l'evapotraspirazione.

I sistemi formano habitat di qualità per la fauna selvatica, contribuendo positivamente al miglioramento della biodiversità nelle aree urbane e sono relativamente flessibili in termini di piantine utilizzabili, sebbene le specie autoctone siano desiderabili per sostenere i programmi di biodiversità locale.

Nel drenaggio di strade o aree più grandi, i sistemi



Figura 18 ingresso di acqua dalla strada con elementi in pietra per la dissipazione del flusso

⁸ FAWB (2009) *Stormwater biofiltration systems, adoption guidelines. Planning, design and practical implementation*, version 1, Facility for Advancing Water Biofiltration, Monash University, Victoria, Australia (ISBN: 978-0-98058-311-3).

possono avere specifici punti d'ingresso mediante tagli del cordolo che devono essere larghi almeno 500 mm per ridurre al minimo il rischio di blocco ed includere la protezione dall'erosione a valle per dissipare l'energia (Figura 18). Per i sistemi più grandi o dove i carichi di sedimento sono elevati, è necessario intrappolare il sedimento in un'area facilmente accessibile, altrimenti il limo tenderà a raccogliersi attorno all'ingresso, accecando la superficie del filtro.

Un pre-trattamento è richiesto solo per carichi elevati di sedimenti o carichi inquinanti, ossia non per acque provenienti da tetti, e può essere ottenuto usando una striscia filtrante, una striscia di ghiaia o un progetto con due scomparti che ha una zona depressa dalla quale il sedimento può essere facilmente rimosso. Se viene disposto un bacino di sedimentazione (*forebay*), questo dovrebbe rimuovere l'80% delle particelle che superano il diametro di 1 mm dall'evento di progetto per la qualità dell'acqua, ed essere separato dal mezzo filtrante.

Il volume del bacino può essere determinato utilizzando la seguente equazione: $V_s = A_c R L_0 F_c$ dove

V_s = volume del bacino di sedimentazione richiesto (mc)

A_s = dimensioni del bacino contribuyente (ha)

R = efficienza di cattura (raccomandato valore 0.8)

L_0 = carico di sedimenti (mc/ha/anno), da dati bibliografici del bacino

F_c = frequenza annua di pulizia

L'area del bacino di sedimentazione è determinabile con la seguente equazione (da Fair e Gayer,⁹) $R = 1 - \left[1 + \frac{v_s A_f}{nQ} \right]^{-n}$ dove

R = frazione dei sedimenti che si intendono rimuovere

v_s = velocità di sedimentazione dei sedimenti da rimuovere (0.1 m/s per particelle da 1 mm)

Q = portata critica del bacino con tempi di ritorno di 1 anno

A_f = minima area del bacino di sedimentazione (mq)

n = fattore di turbolenza (o corto circuito) , con valore suggerito di 0,5.

La profondità è determinata dividendo il volume per l'area e non deve essere superiore a 300 mm.

Per i piccoli bacini di meno di 10 mq, la profondità non deve superare i 200 mm. Per evitare la risospensione dei sedimenti e ridurre al minimo la frequenza di manutenzione, il progetto può essere basato su un evento di periodo di ritorno più elevato di quello proprio di progetto, specialmente se il sistema è progettato per fornire attenuazione delle portate anche per questi eventi.



Figura 19: aree di ingresso delle acque nei sistemi di bioritenzione

⁹ FAIR, G M and GEYER, J C (1954) *Elements of water supply and wastewater disposal*, John Wiley and Sons Inc, New York, USA (ISBN: 978-0-47125-115-6)

5.6 CARATTERISTICA DEI MEZZI FILTRANTI

Il mezzo filtrante dovrebbe essere sufficientemente permeabile da consentire all'acqua di attraversarlo, e deve contenere materiale organico e sostanze nutritive sufficienti per sostenere la vegetazione.

Una specifica indicativa è fornita di seguito, e se vengono utilizzate alternative, i parametri delle specifiche devono essere chiaramente indicati, in modo che, nel caso in cui un fornitore cessi dal mercato, il materiale filtrante possa ancora essere sostituito.

Si noti che la specifica riportata è diversa da quella del suolo degli alberi, e se nel sistema vengono piantati alberi, occorre una valutazione da parte di professionisti del settore.

Una specifica errata può causare una ridotta conduttività idraulica, la compattazione eccessiva o il collasso strutturale, con conseguente riduzione della capacità di trattamento e del rivestimento superficiale, perdita di vegetazione, ecc.

Conducibilità idraulica saturata: dovrebbe essere compresa tra 100 mm/h e 300 mm/h.

Porosità totale: dovrebbe essere > 30%.

La distribuzione delle dimensioni delle particelle (PSD) è d'importanza secondaria rispetto alla conduttività idraulica saturata.

- o argilla e limo (<0,063 mm) <5%
 - o sabbia fine (0,063-0,2 mm) <20%
 - o sabbia media (0,2-0,6 mm) dal 35% al 65%
 - o sabbia grossa (0,60-2,0 mm) dal 50% al 60%
 - o ghiaia fine (2,0-6,0 mm) <10%
- sostanza organica 3-5%
pH 5.5-8.5 (1: 2,5 terreno / estratto di acqua)
La conduttività elettrica (<3300 $\mu\text{S} / \text{cm}$ (terreno 1: 2,5 / estratto di CaSO_4)
L'azoto totale 0,10-0,30%
fosforo estraibili 16-100 mg /l
potassio estraibile 120-900 mg /l

Il mezzo filtrante deve essere installato correttamente con un livello adeguato di compattazione per impedire la migrazione di particelle fini.

Per i semplici giardini di pioggia al servizio di una piccola area di copertura (<20 mq), il mezzo filtrante potrebbe essere sostituito da uno strato di terreno ingegnerizzato di 200-500 mm, o può essere impiegato un "suolo modificato" comprendente: 55% di sabbia, 30% di terreno esistente, 15% di compost.

Lo strato di drenaggio dovrebbe essere molto più permeabile del mezzo filtrante. Ci sono vari materiali che possono essere adatti come lo strato di drenaggio:

- o materiali di fondazione per superfici permeabili, come ad esempio aggregati 4/20
- o unità geocellulari

Il calcestruzzo riciclato frantumato può essere appropriato per lo strato di drenaggio, ma non dovrebbero contenere particelle fini che potrebbero fuoriuscire dallo strato di drenaggio, contaminando il deflusso e potenzialmente bloccando le tubazioni sottostanti. Il calcestruzzo frantumato dovrebbe anche essere testato per assicurarsi che non liscivi i contaminanti nell'acqua.

5.7 PIANTE DA UTILIZZARE

Due tipi specifici di aree di impianto possono essere differenziati come segue:

- a) Aree di impianto ornamentale: il fogliame deve coprire l'intera area alla fine della seconda stagione di crescita, con piante perenni che danno colore dalla primavera all'autunno e erbe ornamentali e arbusti sempreverdi o frutti di bosco che garantiscono che l'area rimanga visivamente accettabile durante l'inverno.
- b) Prati aperti: queste aree possono essere utilizzate per la bioritenzione e tendono a ridurre significativamente i requisiti di manutenzione. L'impianto utilizzato in questo caso tende ad essere una varietà di erbe autoctone intrecciate con selezioni di fiori di campo.

Qualunque sia la piantagione specificata, i seguenti aspetti sono importanti:

- È necessario un impianto denso (tipicamente nell'ordine di 6-10 piante/mq, che aumenta la densità delle radici e aiuta a mantenere la permeabilità superficiale.
- Nei sistemi più grandi, prendere in considerazione la zonizzazione, con aree lontane dall'ingresso dell'acqua con specie diverse che devono essere più resistenti.

Gli arbusti sono piante molto efficaci se applicate ai sistemi di bioritenzione a causa del loro sistema di radici moderatamente fibroso e della grande biomassa di radice. Possono fornire dense barriere vegetative per dissuadere l'accesso pubblico se necessario e ridurre le erbe infestanti. Un minimo di tre tipi di arbusti dovrebbe essere usato per diversificare le specie e proteggere da parassiti e malattie. Il terreno erbaceo deve essere impiegato se le condizioni del sito sono adatte (almeno tre o quattro specie) perché le radici fibrose e la crescita rapida sono efficaci nella rimozione di sostanze inquinanti. Il tappeto erboso non è raccomandato a causa della tolleranza limitata ai periodi di siccità.

5.8 MANUTENZIONE

I sistemi di bioritenzione richiedono una manutenzione regolare per assicurare la prestazione di progetto, e tutti i progettisti dovrebbero fornire specifiche dettagliate e le frequenze per le attività di manutenzione richieste, insieme ai probabili requisiti del macchinario e ai costi annuali tipici all'interno del piano di manutenzione.

La principale causa di degradamento dei sistemi di bioritenzione è l'intasamento della superficie, che è facilmente visibile. Il malfunzionamento dei drenaggi profondi non è facile da rilevare e quindi potrebbe essere ignorato.

E' probabile che i risultati di qualsiasi malfunzionamento causino ristagni superficiali che si riflette sulla qualità dell'acqua in uscita che esce dal troppo pieno più frequentemente di quanto progettato. Durante i primi mesi dopo l'installazione, il sistema dovrebbe essere ispezionato visivamente dopo gli eventi piovosi e la quantità di deposizione misurata, per dare all'operatore un'idea del tasso previsto di

deposito di sedimenti. Dopo questo periodo iniziale, i sistemi dovrebbero essere ispezionati ogni trimestre, per verificare il livello appropriato di manutenzione.

Lo spazzamento stradale frequente nel bacino servito aumenterà l'intervallo di tempo tra la pulizia delle strutture o la superficie del filtro e ridurrà il carico di solidi fini sospesi che possono potenzialmente intasare il mezzo filtrante.

Tutte le attività di gestione della vegetazione dovrebbero tener conto della necessità di massimizzare la biosicurezza e prevenire la diffusione di specie invasive.

La Tabella 6 fornisce indicazioni sul tipo di programma di manutenzione che è più intensa durante il periodo di costituzione. Erbicidi e pesticidi (come Roundup) e fertilizzanti non dovrebbero essere usati sui sistemi di bioritenzione perché questi inquinanti sono lavati facilmente attraverso il sistema.

I sedimenti estratti da dispositivi di pretrattamento che ricevono deflusso da aree residenziali o standard di strade e tetti non sono generalmente materiali tossici o pericolosi, tuttavia analisi dei sedimenti sono necessari per determinare la loro classificazione e i metodi di smaltimento appropriati.

SCHEDA DI MANUTENZIONE	AZIONE RICHIESTA	FREQUENZA TIPICA
Ispezioni	Ispezionare le superfici d'infiltrazione per controllare l'insabbiamento e il ristagno, registrare tempo di drenaggio della struttura e valutazione l'altezza dell'acqua nei dreni di fondo (se del caso) per determinare se la manutenzione è necessaria	Trimestrale
	Controllare il funzionamento dei dreni sotterranei ispezionando i flussi dopo pioggia	Annuale
	Valutare le piante per malattie infettive, scarsa crescita, specie invasive ecc. e sostituire se necessario	Trimestrale
	Ispezionare gli ingressi e le uscite per evitare le ostruzioni	Trimestrale
Manutenzione regolare	Rimuovere rifiuti e detriti di superficie e le erbe infestanti	Trimestrale (o più frequentemente per ragioni di ordine o estetico)
	Sostituire le piante, per mantenere la densità d'impianto	Se necessario
	Rimuovere sedimenti, rifiuti e detriti accumulati presso lo scarico in ingresso e nel bacino di sedimentazione	Da trimestrale a semestrale
Manutenzione occasionale	Riempire eventuali fori o erosioni del mezzo filtrante, migliorare la protezione dell'erosione se necessario	Se necessario
	Riparare piccoli accumuli di limo rimuovendo il pacciame superficiale, scarificando la superficie del terreno e sostituendo il pacciame	Se necessario
Rimedi	Rimuovere e sostituire mezzo filtrante e la vegetazione soprastante	Se necessario ma probabilmente dopo più di 20 anni

Tabella 6: schema di manutenzione per i sistemi di bioritenzione, da (1).

6 RITENZIONE CON ALBERI

Alberi e grandi arbusti sono utili nei sistemi di bioritenzione in quanto:

- Intercettano le precipitazioni e lasciano evaporare l'acqua dalle superfici fogliari e dai rami
- Dissipano l'energia di deflusso delle precipitazioni
- Assorbono sostanze chimiche dannose, inclusi metalli, composti organici, combustibili e solventi che possono essere trasformate in sostanze meno dannose, utilizzate come sostanze nutritive e/o conservate in radici, steli e foglie.
- Facilitano l'infiltrazione e la ricarica delle acque sotterranee, per effetto del loro esteso sistema di radici
- Forniscono ombra e possono ridurre le temperature delle acque di deflusso
- Creano un habitat vitale, consentendo a più specie di prosperare nell'ambiente urbano

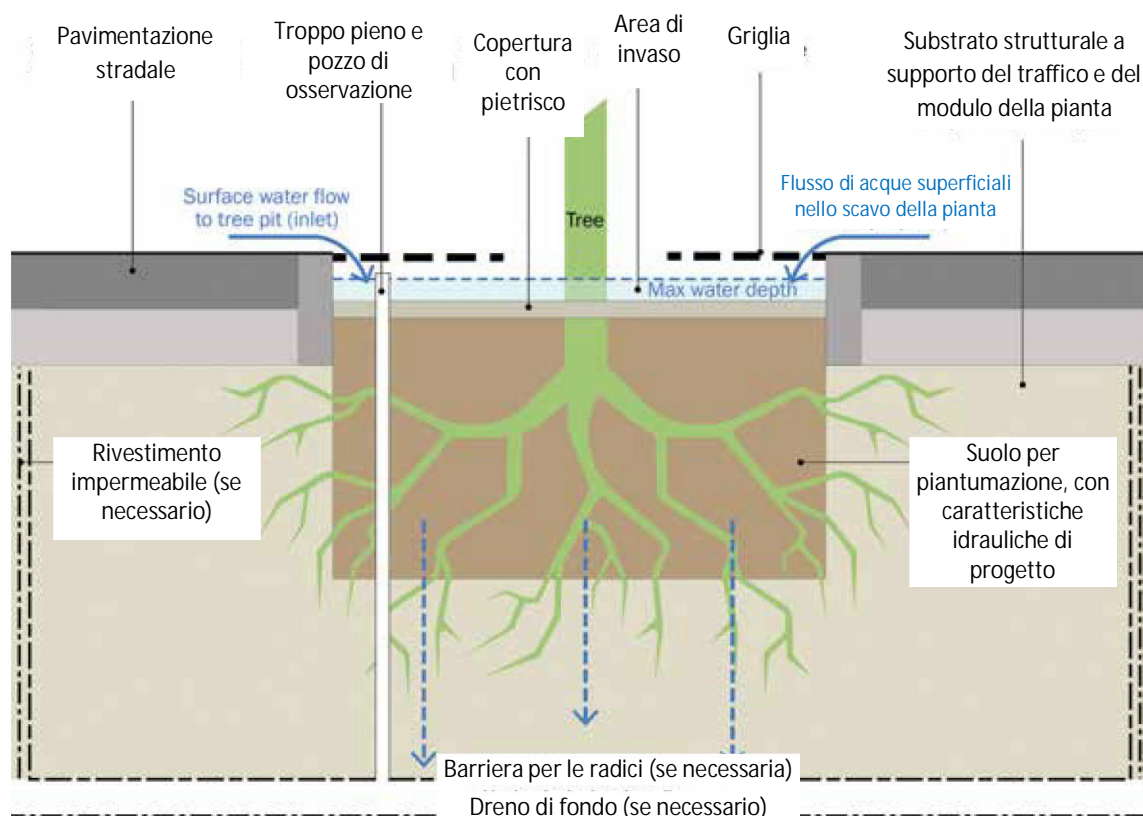


Figura 20: schema di impianto di un albero in ambito urbano, da (*).

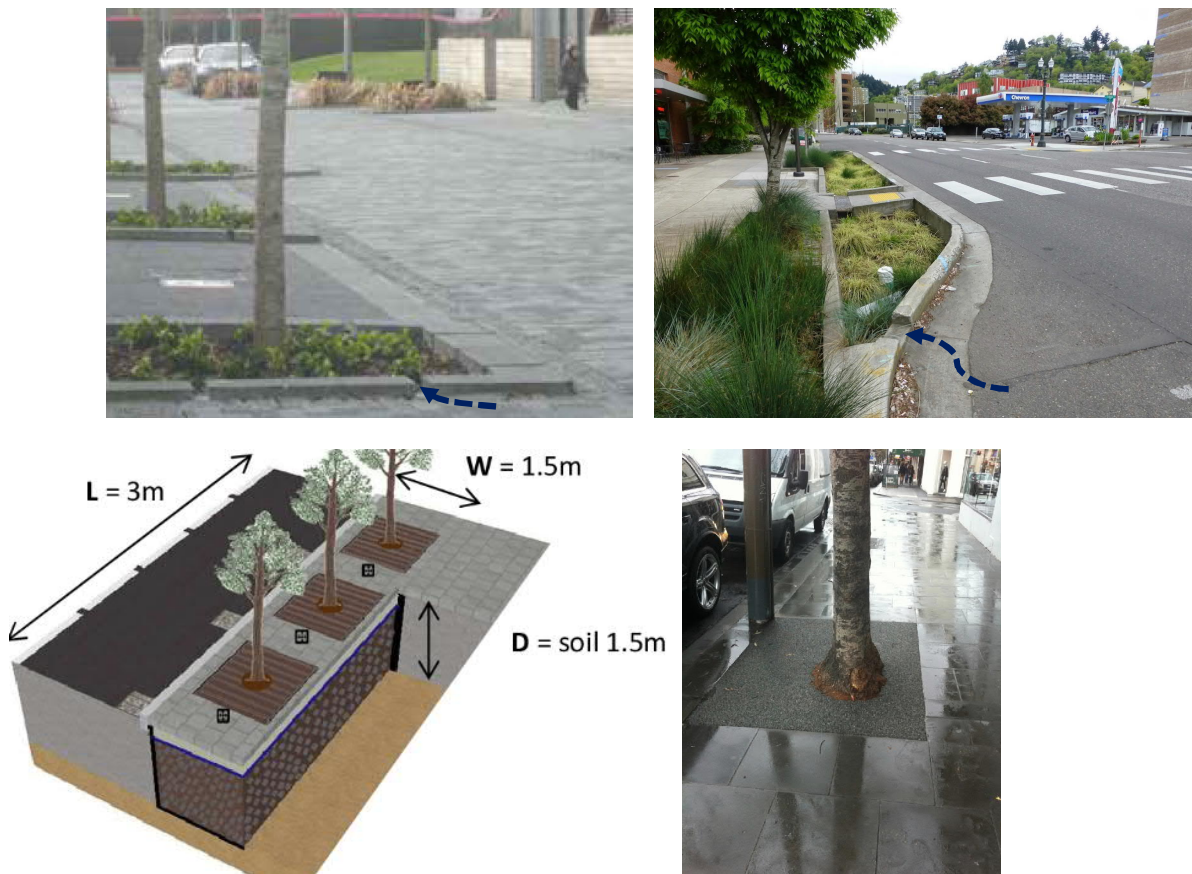


Figura 21: sistemazione in ambito urbano di alberi alimentati dal deflusso superficiale.

In un'ambiente con piovosità media annua di 1000 mm, la somma dell'intercettazione e della traspirazione delle conifere elimina il 55-80 % delle precipitazioni, mentre un valore del 40 -60% è attribuito alle latifoglie. I risultati preliminari di ricerche ⁽¹⁰⁾ indicano che gli alberi possono ridurre dell'80% il deflusso rispetto all'asfalto impermeabile.

La piantumazione può avvenire all'interno di una serie di componenti di infiltrazione SuDS come i sistemi di bioretentione, i bacini di detenzione, i canali inerbiti (swales) per migliorare le loro prestazioni, oppure possono essere previsti come elementi autonomi posti entro appositi spazi, fioriere alberate, strutture stradali, come parte del sistema di gestione delle acque superficiali.

Le cavità e le fioriere alberate possono attenuare il deflusso fornendo spazio di raccolta dell'acqua all'interno della sottostruttura che sostiene il sistema e filtrare direttamente il carico di inquinanti. Gli alberi sono adatti a gestire il deflusso locale, indicativamente quello che può drenare verso un'unica caduta stradale, ma non sono adatti per grandi volumi di acqua raccolti attraverso canali o provenienti da un bacino secondario.

¹⁰ ARMSON, D, STRINGER, P and ENNOS, A R (2011) " The effects of trees and grass upon the temperatures and surface water runoff in urban areas" Building and Environment, vol 80, 2014, Elsevier BV, UK, pp 32-35

6.1 IL PROGETTO

Gli alberi richiedono uno spazio e un terreno appropriato, uno scambio di gas e un drenaggio adeguato per i quali le proprietà del suolo sono fondamentali. L'apporto dell'acqua per i bisogni degli alberi deve essere bilanciata con la necessità di non saturare il suolo, garantendo che per la maggior parte del tempo l'acqua si mantenga al di sotto del volume radicato, anche se brevi periodi di saturazione sono accettabili, purché sia consentito alla stessa di fluire nel suolo fino alla base dell' area radicata.

La radicazione deve garantire la vitalità e la stabilità e secondo Crow ⁽¹¹⁾, le radici degli alberi sono scarse a profondità elevate (ad esempio > 2 m) e in genere il 90-99% della lunghezza totale delle radici è presente nel primo metro del suolo.

In un ambiente urbano gli alberi possono essere soggetti a condizioni che rendono difficile la crescita, a causa della compattazione del suolo da parte dei veicoli e delle scarsità di aria e di acqua apportate alle radici. Per migliorare le condizioni esistono diverse soluzioni ingegneristiche, che portano a espandere il più possibile l'ambiente di radicazione sotto le superfici pavimentate e ad utilizzare sistemi portanti per evitare la compattazione del terreno attorno alle radici.

6.1.1 I terreni strutturali di coltura

Sono un gruppo di miscele di terra e ghiaia progettati per supportare la crescita degli alberi e servire da sottofondo per le pavimentazioni stradali e devono possedere elevate caratteristiche di porosità e robustezza. I tre principali tipi di mezzi strutturali sono i seguenti:

Substrati a base di sabbia (noti anche come terreni arborei), comprendono prevalentemente sabbia da media a grossa (0,2-2 mm) miscelata con compost verde fine (che fornisce un contenuto di sostanza organica del 2-4%) e il 2 -4% di argilla per aggiungere adeguate proprietà di ritenzione idrica e nutritiva. Al posto della sabbia è possibile anche l'uso del vetro. Il loro impiego è limitato ad aree pavimentate non trafficate come quelle pedonali senza veicoli e piste ciclabili, dove non sono richiesti alti livelli di compattazione.

Substrati aggregati di medie dimensioni: utilizzano una miscela di aggregati angolari che può essere compattata al 95% della massima densità secca mantenendo comunque lo spazio vuoto tra le particelle che è riempito di terra. Le particelle dell'aggregato grossolano formano una matrice che supporta e distribuisce i carichi dai veicoli impedendo la compattazione del terreno più fine in cui possono crescere le radici dell'albero e impedendo il sollevamento della pavimentazione attorno all'albero. Ci sono molte varianti delle miscele di aggregato / suolo, ma in genere l'aggregato ha un diametro di 25-100 mm e la proporzione

¹¹ CROW, P (2005) *The influence of soils and species on tree root depth* , Information Note FCIN078, Forestry Commission, Edinburgh, Scotland.

di terreno è intorno al 20-35%. Poiché la capacità portante dell'aggregato dipende dalla resistenza e dalla durata delle particelle, si raccomanda che, laddove sia utilizzata sotto aree trafficate, soddisfi i requisiti di durabilità e forma delle particelle per le fondazioni sotto le strade permeabili. Il terreno può essere composto da varie miscele di argilla, sabbia e compost. Questo tipo di supporto può essere utilizzato in aree leggermente trafficate come i parcheggi.

Substrati con scheletro in pietrame, conosciuto anche come sistema di Stoccolma è simile al precedente ma utilizza particelle aggregate più grandi, con uno strato di base di 100-150 mm coperto da uno strato di aggregato di 63-90 mm. Gli aggregati vengono compattati e di seguito il terreno viene immerso negli spazi tra le particelle più grandi mediante irrigazione. Il sistema è dotato di prese che consentono all'acqua di superficie e all'aria di entrare liberamente nel substrato e può supportare carichi di traffico più pesanti rispetto ai sistemi sopra descritti, ad esempio veicoli pesanti e autobus.

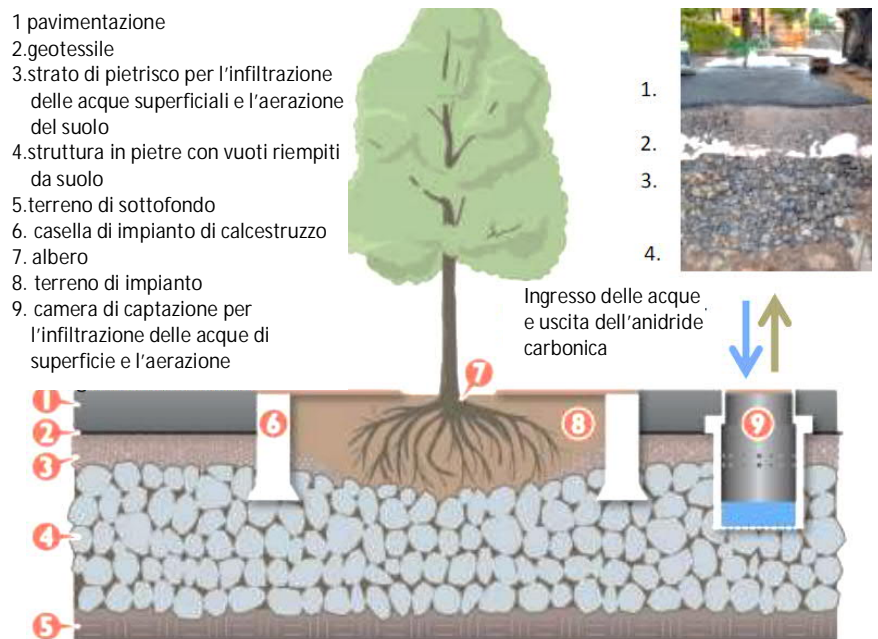


Figura 22: da *Trees and Stormwater Management – The Stockholm solution*. Street Department, Stockholm, 2016.

Altri sistemi di protezione dell'apparato radicale sono le seguenti:

6.1.2 Le strutture modulari,

Denominate "sistemi di gabbie", sono strutture di plastica, cemento, plastica/acciaio o plastica/cemento di forma cubica, che supportano i carichi dalla pavimentazione sovrastante e impediscono la compattazione del substrato. Possono essere utilizzate per supportare parcheggi e strade e prevenire la compattazione del suolo arboreo in modo simile all'aggregato nei terreni strutturali. Di solito sono coperti con griglie e si



Figura 23 struttura modulare da eWater Ltd9.

estendono al di sotto della superficie pavimentata adiacente. L'elemento strutturale occupa una piccola proporzione del volume complessivo rispetto ai sistemi basati su aggregati, quindi è disponibile un maggiore volume per l'apparato radicale.

I sistemi a zattera sono composti da uno strato strutturale piano che viene costruito sull'area di sviluppo delle radici, che distribuisce i carichi su un'area più ampia per prevenire la compattazione, ed è configurato in modo da consentire la libera circolazione di ossigeno e di acqua nei sistemi radicali. Si possono distinguere due tipi di sistema di zattere:

1 *Sistemi di confinamento cellulare* - Questi sono anche indicati come geocelle e sono formati da strisce di HDPE che sono aperte e bloccate per fornire una serie di celle a nido d'ape riempite con aggregato grossolano (in genere 4-40 mm o 20-40 mm) per promuovere lo scambio di aria e acqua con i terreni sottostanti. Questi elementi sono ampiamente utilizzati nella costruzione di strade non asfaltate e per strade e ferrovie su terreni di bassa portanza fino dagli anni '70, e sono normalmente progettati seguendo le indicazioni fornite dall'US Army Corp of Engineers (USACE).



Figura 24: protezione delle radici con confinamento cellulare. PRS Geo Technologies Ltd.

2 *Sistemi geocellulari*. Si tratta di unità con giunzioni che forniscono una connessione strutturale in modo che il sistema agisca come una zattera per distribuire il carico. Le unità possono essere riempite di terreno per ampliare l'ambiente di radicazione.

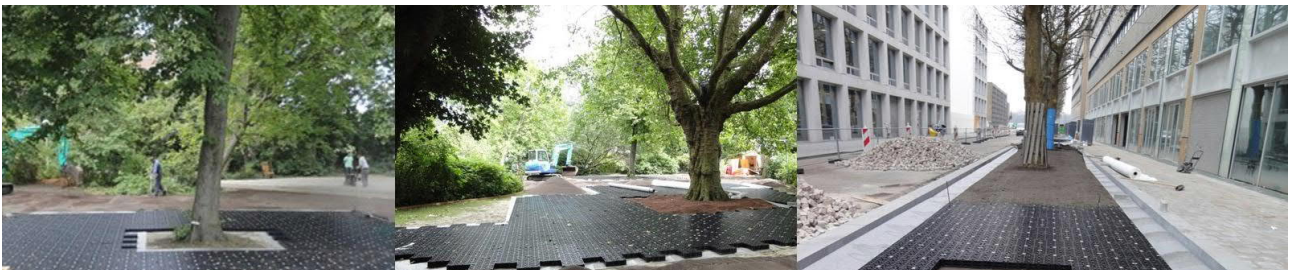


Figura 25: zattere per la protezione delle radici degli alberi, da Polypipe Group.

È importante posizionare gli alberi a una distanza ragionevole dai servizi interrati come cavi elettrici e condutture dell'acqua, ma il rischio di danni può essere ridotto al minimo installando barriere attorno al volume radicato come i geotessili specificamente progettati. Le utenze sotterranee possono comunque essere collocate intorno e anche attraverso le fosse degli alberi, nei moduli e nelle zattere geocellulari.

6.2 IDRAULICA DEI SISTEMI ALBERATI

Quando i sistemi descritti sono usati per immagazzinare l'acqua superficiale, il sottosuolo può a volte saturarsi e diminuire di resistenza, per cui nel progetto occorre tenere conto della stabilità della pianta in tali condizioni. Se la pianta è collocata in aree con terreni impermeabili, è possibile che l'acqua ristagni sopra la fossa; in questo caso è necessario realizzare troppo pieni e dreni sotterranei per impedire che l'acqua soffochi gli alberi ed evitare il rischio di allagamenti.

I singoli alberi normalmente sono meno efficaci dei sistemi integrati nel controllare il deflusso delle acque superficiali poiché questi ultimi offrono maggiore capacità e flessibilità, come mostrato in Figura 26 dove è rappresentato un sistema integrato di alberi e tetti verdi.

Il livello di acqua immagazzinata sulla superficie della fossa dovrebbe essere tale da svuotarsi entro 48 ore, sia per garantire uno sviluppo radicale sano, sia per controllare efficacemente i picchi di portata. Se è probabile che si manifesti comunemente un allagamento prolungato, è necessario collocare specie che tollerano la sommersione.

I principali requisiti del suolo per l'uso in strutture modulari e zattere sono:

1. la tessitura omogenea su tutto il profilo
2. la buona classazione del terreno
3. il contenuto di humus che dovrebbe essere di circa il 5%

Inoltre la permeabilità dovrebbe essere di 100-300 mm /h per equilibrare il drenaggio efficace con il trattamento durante la filtrazione. La composizione può essere la seguente:

diametro setaccio mm	% passante
2	100
0.2	40-50
0.063	15-30

Ph : 5.5-7.5 ; fosforo estraibile 12-36 mg/l ; conducibilità elettrica - 1500 μ S/cm.

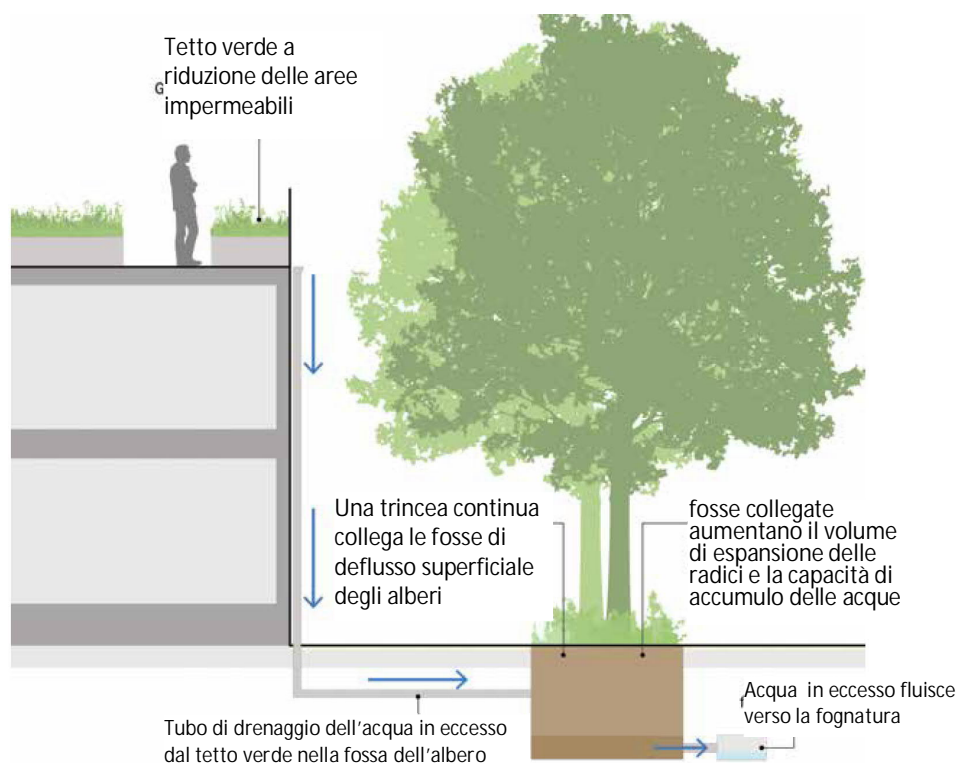


Figura 26: fossa inserita in un sistema integrato

6.3 MANUTENZIONE

Le manutenzioni saranno maggiori durante i primi anni, quando l'albero si sta consolidando, e dovrebbero comportare ispezioni regolari, rimozione della vegetazione invasiva e possibilmente irrigazione durante lunghi periodi di siccità, in particolare nei terreni con elevate percentuali di vuoti, perché le radici degli alberi devono stabilire un buon contatto tra la radice e il suolo prima di poter estrarre efficientemente l'acqua dal terreno.

Di seguito si fornisce una guida sul tipo di manutenzione che può essere opportuna. L'elenco delle azioni non è esaustivo e alcune azioni possono non essere necessarie.

SCHEDA DI MANUTENZIONE	AZIONE RICHIESTA	FREQUENZA TIPICA
Manutenzione regolare	Rimuovere rifiuti e detriti	Mensile o se necessario
	Gestire l'altra vegetazione e rimuovere le piante infestanti	Mensile all'inizio, poi se necessario
	Controllare gli scarichi in ingresso e le uscite	Mensile
Manutenzione occasionale	Controllare la salute dell'albero e gestire l'albero in modo appropriato	Annuale
	Rimuovere l'accumulo di limo dagli ingressi e dalla superficie e sostituire il pacciame secondo necessità	Annuale o se necessario
	Irrigazione	Se necessario, nei periodi secchi
Controlli	Ispezionare i tassi di accumulo di limo e stabilire le appropriate frequenze di rimozione	Semestrale