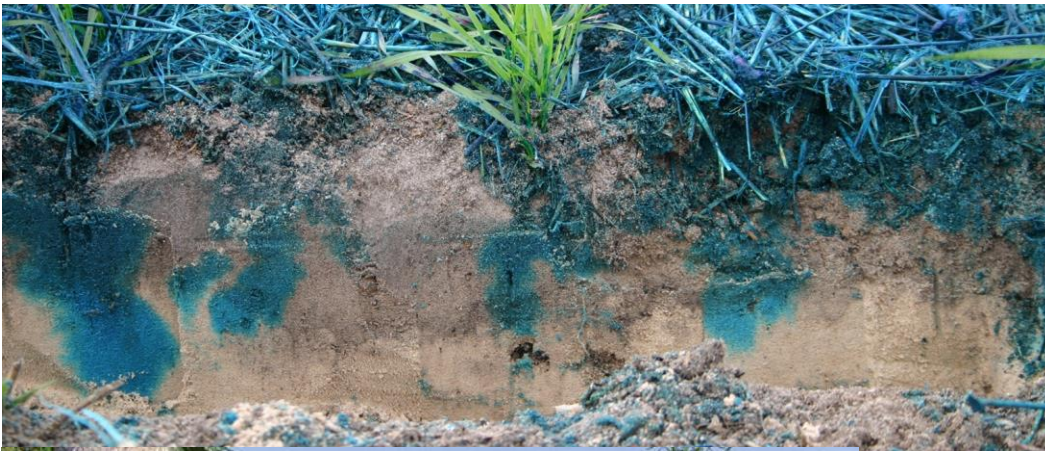


L'infiltrazione nel Regolamento regionale 23 novembre 2017 - n. 7



Paolo Frattini

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra , Università degli Studi di Milano Bicocca

Smaltimento del volume invasato

Regolamento regionale 23 novembre 2017 - n. 7 - Art. 5, comma 3

Smaltimento del volume invasato (in ordine)

- **Riuso dei volumi stoccati** (inaffiamento, acque grigie, lavaggio pavimentazioni, lavaggio auto)
- **Infiltrazione nel suolo o nel sottosuolo**
- **Scarico in corpo idrico** superficiale
- **Scarico in fognatura**

Art. 11, comma 1, lettera c, numero 1

«Il progetto deve valutare ogni possibilità di incentivare l'infiltrazione delle acque meteoriche allo scopo di tendere alla restituzione delle stesse ai naturali processi di infiltrazione preesistente all'intervento»

Art. 11, comma 1, lettera c, numero 2

Infiltrazione da escludere se:

- 1) La qualità delle acque meteoriche è **qualitativamente insufficiente**
- 2) Esistono possibili problemi di **stabilità** (frane, collasso di cavità)
- 3) Esiste la possibilità di **interferenza con fondazioni e/o piani interrati** (es: Milano)

Limitazioni all'infiltrazione – esempio Canton Ticino

Federazione Elvetica: Legge federale sulla protezione delle acque del 24 gennaio 1991
«Le acque di scarico non inquinate devono essere eliminate mediante infiltrazione giusta le prescrizioni dell'autorità cantonale. Se le condizioni locali non lo permettono, possono essere immesse in un'acqua superficiale; in tal caso occorre provvedere per quanto possibile affinché, in caso di grande afflusso, misure di ritenuta consentano di far defluire l'acqua in modo regolare»

Canton Ticino, Dipartimento del Territorio, Sezione della protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo (2013) Istruzioni per l'infiltrazione e la ritenzione delle acque chiare e meteoriche dei fondi

https://www4.ti.ch/fileadmin/DT/temi/protezione_acque/documenti/smaltimento/Istruzioni_infiltrazione_e_ritenzione.pdf

La **fattibilità** dell'infiltrazione è valutata in funzione di:

- caratteristiche locali, diritto del vicinato
- condizioni idrogeologiche

L'**ammissibilità** dell'infiltrazione è valutata in base al rischio d'inquinamento delle acque sotterranee, in funzione di:

- vulnerabilità delle acque sotterranee
- classe d'inquinamento delle acque da infiltrare
- caratteristiche locali (ubicazione del punto di infiltrazione)

Fattibilità infiltrazione – esempio Canton Ticino

Diritto del vicinato

Il vicino, segnatamente colui che si trova a valle, non deve essere danneggiato dall'infiltrazione artificiale delle acque meteoriche.

In particolare questo vale per l'infiltrazione concentrata in zone in pendenza (pericolo di instabilità, scoscendimenti, ecc.).

Si richiama l'art. 689 del Codice civile svizzero, cpv 2: *«A nessuno è lecito modificare il deflusso naturale dell'acqua a danno del vicino».*

Condizioni idrogeologiche

- capacità d'infiltrazione specifica degli strati del terreno (suolo, sottosuolo) e del pacchetto filtrante
- spessore degli strati di copertura (suolo)
- livello massimo raggiunto dalla falda: il fondo dell'impianto di infiltrazione deve trovarsi ad almeno 1 metro sopra il livello massimo delle acque sotterranee (misurato su un periodo di 10 anni)

Ammissibilità infiltrazione – esempio Canton Ticino

Tabella sintetica sinottica per la valutazione dell'ammissibilità dell'infiltrazione

Settore di protezione delle acque	Vulnerabilità delle acque sotterranee	Tipo di superficie le cui acque devono essere evacuate								
		Superfici di tetti			Spiazzi in zone edificate					
		Tetti con copertura vegetale senza materiali contenenti pesticidi, tetti interti, tetti in vetro ^a , tetti terrazzati ^a	Superfici di tetti in materiali prevalentemente inerti., con parti usuali di installazioni non rivestite contenenti Cu, Zn, Sn, Cr, Ni o Pb	Superfici di tetti con parti importanti di installazioni o coperture non rivestite contenenti Cu, Zn, Sn, Cr, Ni o Pb $A_{metallo} > 50$ m ² /impianto	Accessi alle abitazioni ^a , piazzali ^a , terrazzi ^a , posteggi privati per autovetture ^a	Aree di lavoro, piazze di trasbordo, travaso e deposito				
		Classe d'inquinamento delle acque meteoriche								
		debole	medio*	elevato	debole	medio	elevato			
A _v , S1-S3, aS, giusta la carta dei settori e delle zone di protezione delle acque	Dipende dalla conformazione del suolo e dalla natura del sottosuolo. Vedi tabella B pag. 12							senza	con	
								travasato di liquidi suscettibili di inquinare le acque		
Altri settori aS (territorio rimanente)	bassa	+	+	●	+	+	+			
	media	+	+	●	+	+	+			
	alta	+	+	●	+	●	●			
	molto alta	+	○	-	○	○	○			
Settore A _v	bassa	+	+	●	+	+	+			
	media	+	+	●	+	+	○			
	alta	+	+	-	○ ^b	○	○			
	molto alta	+	●	-	○	○	○			
S3	bassa/media	+	+	-	○ ^b	-	-			
	alta/molto alta	-	-	-	-	-	-			

Legenda

+	infiltrazione ammissibile
○	infiltrazione ammissibile solo con misura di trattamento
●	infiltrazione ammissibile solo con misura di trattamento con adsorbente artificiale
-	infiltrazione non ammissibile

a se su queste superfici vengono effettuati lavori di pulizia, si applicano i criteri di ammissibilità della classe d'inquinamento "elevato"

* Se $A_{metallo} > 20$ m²/impianto, si raccomanda una misura di trattamento tecnica con adsorbente artificiale per proteggere lo strato filtrante o il suolo.

b L'infiltrazione diffusa sul luogo di caduta della pioggia, attraverso elementi grigliati, prati ghiaiosi, vie non pavimentate in duro, ecc. è ammessa senza alcuna misura di trattamento, purché la parte di superficie sigillata impermeabile (es. piste di transito di parcheggi) non sia preponderante.

Infiltrazione

Il **tasso di infiltrazione** dipende da...

... fattori stazionari

- **Topografia** (ruscellamento vs. infiltrazione)
- Geometria del suolo e del sottosuolo → **profondità del contatto**
- **Granulometria** dei terreni / **tessitura**
- Coefficiente di **uniformità** dei terreni
- Natura e **permeabilità del sottosuolo** (primaria e secondaria)
- Presenza di **vie preferenziali** (macropori, fessure)
- **Compattazione** naturale o artificiale
- Eventuali **livelli idrofobi** (croste, livelli contaminati, post-incendio)

... fattori dinamici

- Grado di **umidità iniziale** / parziale saturazione
- **Vegetazione** (controllo su umidità e struttura del suolo)
- *Temperatura (controlla viscosità e densità dei fluidi)*

→ **Variabile nello spazio (eterogeneità, anisotropia)**

→ **Variabile nel tempo**

Infiltrazione

Il parametro fondamentale è la **tipologia di terreno**.

Ai fini idrologici è utile la classificazione NRCS (ex SCS) gruppi idrologici di terreno (Hydrologic Soils Groups, HSG), che sono basati su:

- Tessitura e struttura
- Profondità rispetto a livello limitante (bedrock, cambio tessiturale abrupto, fragipan, suoli cementati);
- Profondità della falda;
- Conducibilità idraulica;
- Grado di rigonfiamento.

A: bassa capacità di deflusso, elevata capacità infiltrazione, sabbie e ghiaie ben drenate, permeabilità satura elevata

B: modesta capacità infiltrazione, medio-grossolani, mediamente drenate, permeabilità satura media

C: bassa capacità infiltrazione, medio-fini o con cappello poco perm., permeabilità satura bassa

D: elevata capacità di deflusso, suoli argillosi, con copertura argillosa o sottili con substrato impermeabile, permeabilità satura molto bassa

Infiltrazione – equazione di Richards

Il processo di infiltrazione è controllato dall'**equazione di Richards** (1931)

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \left[K(\theta) \frac{d\psi}{d\theta} \nabla \theta \right] + \frac{\partial K_z(\theta)}{\partial z}$$

dove:

θ = contenuto di umidità

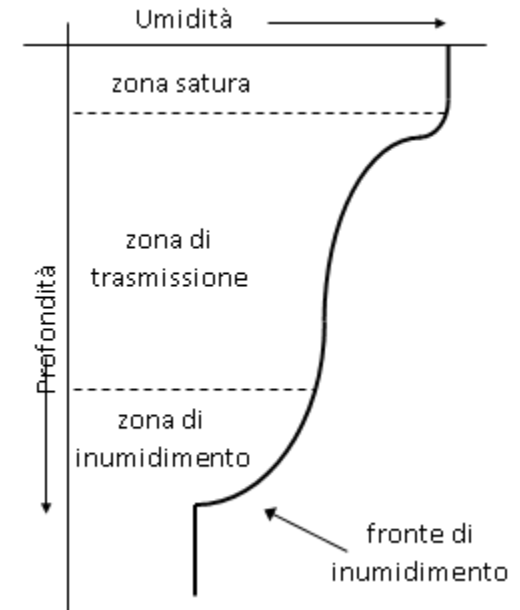
ψ = carico di pressione (negativo)

$K(\theta)$ = conducibilità non satura del terreno $< K_s$

$K(\theta) \frac{d\psi}{d\theta} = D(\theta)$ = diffusività del terreno

L'equazione è non lineare e richiede soluzioni numeriche, salvo condizioni particolari. Inoltre richiede delle leggi che descrivano la relazione tra θ , ψ , $K(\theta)$ (leggi caratteristiche dei terreni).

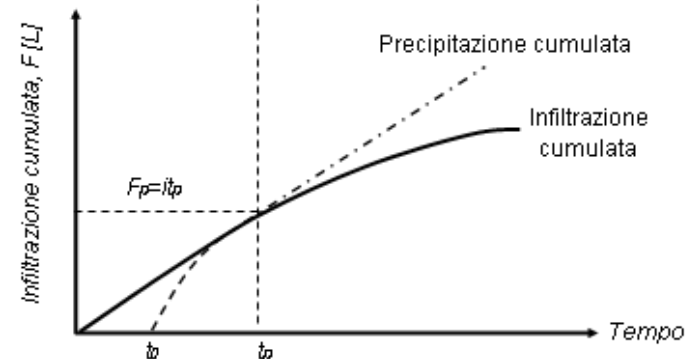
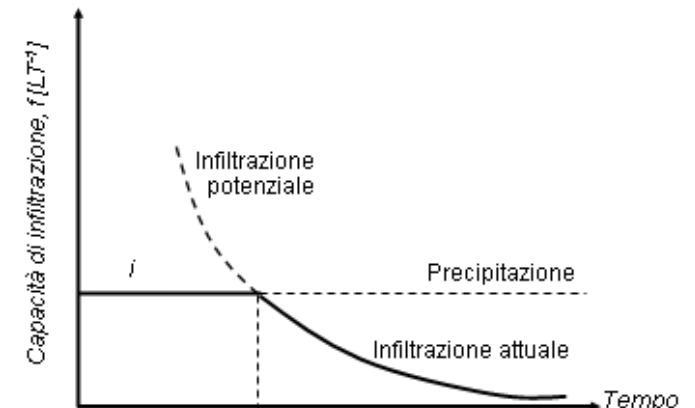
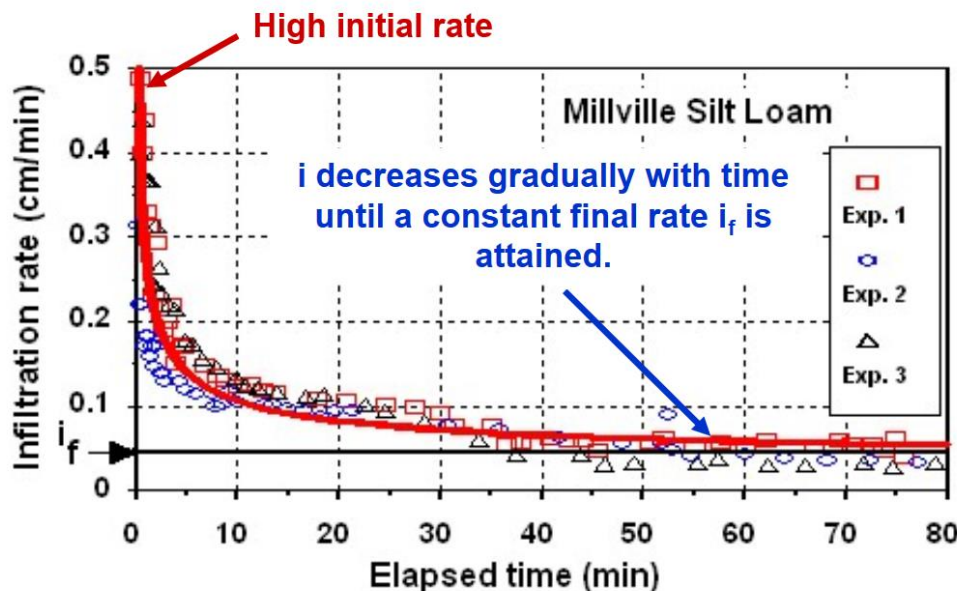
Esistono numerosi modelli numerici in grado di simulare l'equazione di Richards in 1D, 2D e 3D (es: *HYDRUS*, Šimůnek and van Genuchten, 2008), ma l'applicazione di tali modelli va oltre le esigenze di calcolo per la progettazione dell'invarianza idraulica e idrologica.



Infiltrazione – descrizione fenomenologica

L'osservazione empirica di un processo di infiltrazione evidenzia:

- tassi inizialmente elevati di infiltrazione → effetto della suzione che tende ad assorbire acqua nel terreno insaturo
- un calo del tasso di infiltrazione con il tempo → riduzione della suzione a causa dell'aumento di contenuto d'acqua
- Una stabilizzazione del tasso di infiltrazione ad un valore asintotico pari alla conducibilità idraulica satura → dovuto alla saturazione del terreno e all'aumento dello spessore del fronte saturo tanto da annullare l'effetto della suzione



Stime dell'infiltrazione – equazione di Horton

Equazione di infiltrazione di Horton (1933, 1939)

Il metodo suggerito nell'allegato F della legge regionale è l'equazione di Horton (1933, 1939).

Trattasi di un metodo empirico che descrive un andamento esponenziale di decadimento del tasso di infiltrazione con il tempo.

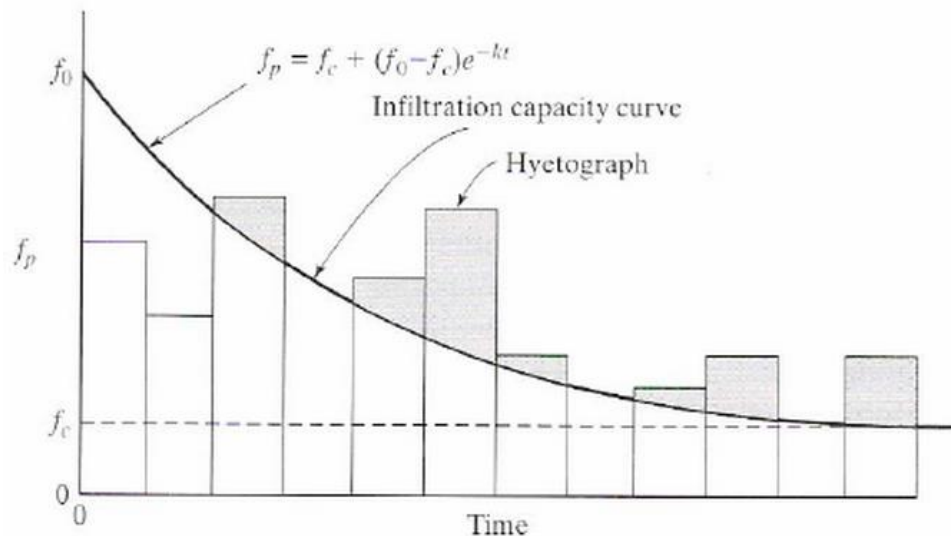
$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

dove:

f_c = tasso di infiltrazione iniziale

f_0 = tasso di infiltrazione finale

k = coefficiente empirico (rapidità del decadimento esponenziale)



Si può dimostrare (Eagleson, 1970) che l'equazione di Horton si può ricavare dall'equazione di Richards assumendo che la diffusività e la permeabilità del terreno siano costanti ed indipendenti dal contenuto d'acqua

Stime dell'infiltrazione – equazione di Horton

Applicazione pratica

I parametri da conoscere per l'applicazione della legge di Horton sono:

f_c = tasso di infiltrazione finale

f_0 = tasso di infiltrazione iniziale

k = coefficiente empirico (rapidità del decadimento esponenziale)

I parametri devono essere calcolato da test di infiltrazione oppure da equazioni empiriche

L'allegato F della legge regionale (Metodologie per il calcolo dei processi di infiltrazione) propone un approccio pratico, ovvero l'utilizzo degli Hydrologic Soil Groups (HSG) con relativi valori di riferimento.

tipo di terreno	f_0 [mm/h]	f_∞ [mm/h]	k [h ⁻¹]
A) <i>Terreno con scarsa potenzialità di deflusso.</i> Comprende forti spessori di sabbie con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili	250	25.4	2
B) <i>Terreno con potenzialità di deflusso moderatamente bassa</i> Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.	200	12.7	2
C) <i>Potenzialità di deflusso moderatamente alta.</i> Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.	125	6.3	2
D) <i>Potenzialità di deflusso molto alta.</i> Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressochè impermeabili in vicinanza della superficie.	76	2.5	2

←
SCS, 1956 (?)
Pubblicazione
praticamente introvabile

Mangrove , 1955 –
diversi tassi di
infiltrazione

SCS 1957 – non
menziona i tassi di
infiltrazione

Stime dell'infiltrazione – equazione di Horton

Valori di letteratura per f_c

Hydrologic soil group	<i>Musgrave, 1955</i>	<i>NRCS, 2007</i>
	mm/hr	mm/hr
A	7.6 - 11.4	> 36.1
B	3.8 - 7.6	14.5 - 36.1
C	1.3 - 3.8	1.5 - 14.5
D	0 - 1.3	0 - 1.5

Akan, 1993

<u>Soil Type</u>	<u>f_c mm/hr (in/hr)</u>		<u>k (1/min)</u>	<u>k (1/hr)</u>
Clay loam, silty clay loams	0–1.3	(0–0.05)	0.069	4.14
Sandy clay loam	1.3–3.8	(0.05–0.15)	0.069	4.14
Silt loam, loam	3.8–7.6	(0.15–0.30)	0.069	4.14
Sand, loamy sand, sandy loams	7.6–11.4	(0.30–0.45)	0.069	4.14

Musgrave G.W. (1955) How much of the rain enters the soil? Pages 151-150: A. Stefferud, ed. Water, the Yearbook of Agriculture. U.S. Dep. Agric, Washington, D.C.

Akan, O. A. (1993). Urban stormwater hydrology: a guide to engineering calculations. Crc Press.

NRCS, U. (2007). Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Chapter 7 Hydrologic Soil Groups.

Stime dell'infiltrazione – equazione di Horton

Valori di letteratura per f_0

<u>Soil Type</u>	Maximum (Initial) Infiltration Capacity, F_0	
	<u>(in/hr)</u>	<u>(mm/hr)</u>
Dry sandy soils with little or no vegetation	5.0	127
Dry loam soils with little or no vegetation	3.0	76.2
Dry clay soils with little or no vegetation	1.0	25.4
Dry sandy soils with dense vegetation	10.0	254
Dry loam soils with dense vegetation	6.0	152
Dry clay soils with dense vegetation	2.0	51
Moist sandy soils with little or no vegetation	1.7	43
Moist loam soils with little or no vegetation	1.0	25
Moist clay soils with little or no vegetation	0.3	7.6
Moist sandy soils with dense vegetation	3.3	84
Moist loam soils with dense vegetation	2.0	5.1
Moist clay soils with dense or no vegetation	0.7	18

Stime dell'infiltrazione – equazione di Philip

Equazione di infiltrazione di Philip (1957, 1969)

Il metodo di Philip deriva dall'equazione di Richards per condizioni meno restrittive di quelle di Horton.

$$f(t) = \frac{1}{2}St^{-\frac{1}{2}} + K$$

dove:

S = sorptivity

K = conducibilità idraulica satura (valore asintotico per $t \rightarrow 0$)

La sorptivity è un parametro funzione del carico di suzione $h(t_0)$, determinato dalla presenza d'acqua in condizione non sature all'istante iniziale t_0 .

Il parametro S deve essere calcolato da test di infiltrazione oppure da equazioni empiriche in funzione del contenuto di umidità satura (θ_t), del contenuto di umidità iniziale, θ_i , e del carico di suzione la fronte, ψ_f (Youngs, 1964):

$$S = [2(\theta_t - \theta_i)K\psi_f]^{\frac{1}{2}}$$

I parametri di questa equazione possono essere derivati da stime empiriche (vedi oltre)

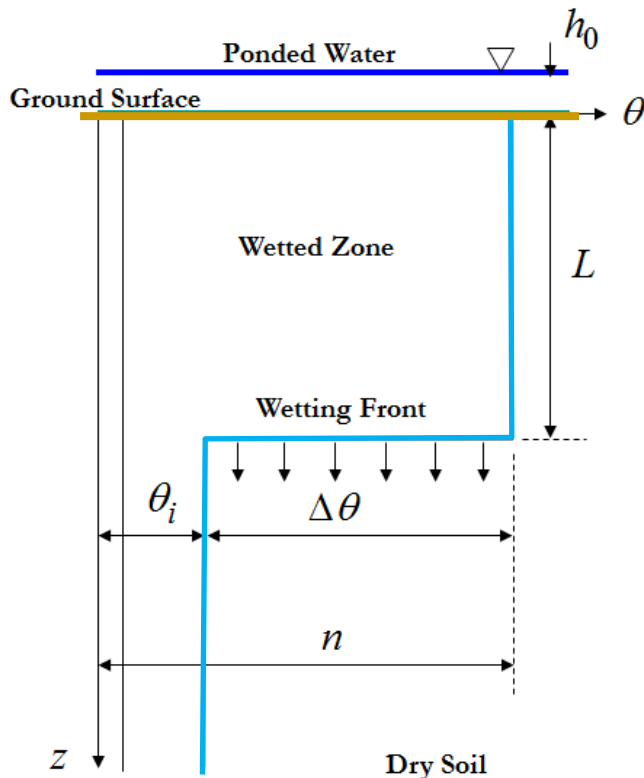
Stime dell'infiltrazione – equazione di Green-Ampt

Equazione di infiltrazione di Green-Ampt (1911)

Il metodo di Green-Ampt non è una approssimazione dell'equazione di Richards, ma un modello fisico semplificato del processo di infiltrazione che permette di giungere ad una soluzione analitica.

Il modello fisico è detto modello del pistone, e prevede un fronte di saturazione che avanza nel sottosuolo con un limite abrupto tra zona satura e umidità iniziale.

Il modello assume che sia raggiunta una condizione di ponding



L = profondità del pistone

θ_i = contenuto di umidità iniziale

n = porosità

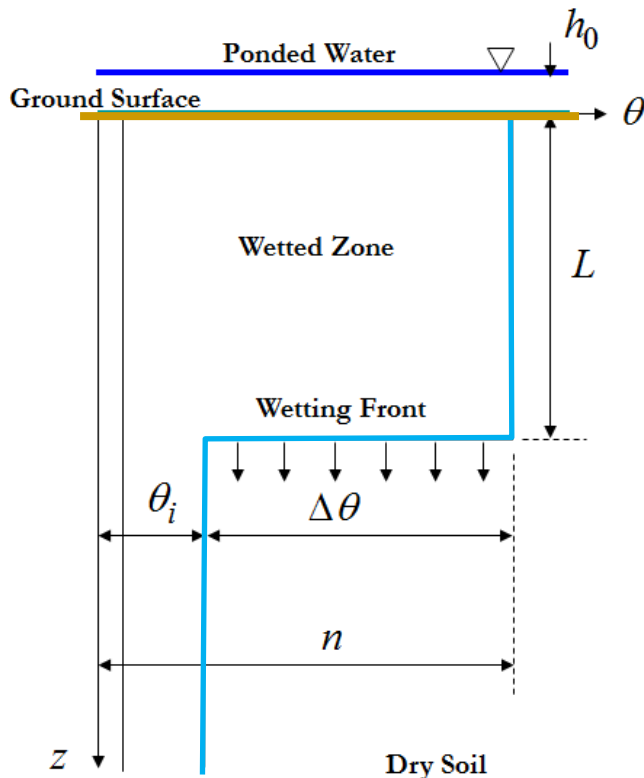
Stime dell'infiltrazione – equazione di Green-Ampt

Equazione di infiltrazione di Green-Ampt (1911)

Il metodo di Green-Ampt non è una approssimazione dell'equazione di Richards, ma un modello fisico semplificato del processo di infiltrazione che permette di giungere ad una soluzione analitica.

Il modello fisico è detto modello del pistone, e prevede un fronte di saturazione che avanza nel sottosuolo con un limite abrupto tra zona satura e umidità iniziale.

Il modello assume che sia raggiunta una condizione di ponding



Set di equazioni:

$$f(t) = K \left(\frac{\psi \Delta \theta}{F(t)} + 1 \right) \quad [1]$$

$$F(t) = Kt + \psi \Delta \theta \ln \left(1 - \frac{F(t)}{\psi \Delta \theta} \right) \quad [2]$$

L'equazione è non lineare in F . Può essere risolta con un approccio iterativo, assumendo un valore di $F(t)$ e sostituendolo in [2]. Questo viene ripetuto fino a convergenza del valore di $F(t)$.

Noto $F(t)$ è possibile calcolare $f(t)$ con l'equazione [1]

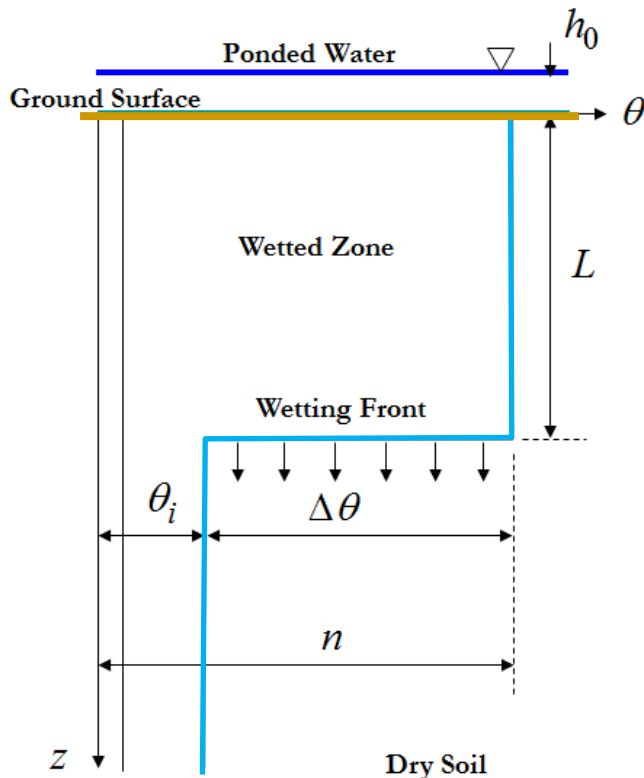
Stime dell'infiltrazione – equazione di Green-Ampt

Equazione di infiltrazione di Green-Ampt (1911)

E' possibile anche risolvere l'equazione di Green e Ampt con soluzioni esplicite approssimate, tipo la soluzione di Salvucci e Entekhabi, 1994

$$\frac{f(t)}{K_s} = \frac{\sqrt{2}}{3} \left(\frac{t}{t+\chi} \right)^{-1/2} + \frac{2}{3} - \frac{\sqrt{2}}{6} \left(\frac{t}{t+\chi} \right)^{-1/2} + \frac{1-\sqrt{2}}{3} \left(\frac{t}{t+\chi} \right)$$

$$\chi = \frac{(\psi_s - \psi_f)(\theta_s - \theta_0)}{K_s}$$



dove:

$f(t)$ [LT⁻¹] = tasso di infiltrazione alla superficie;

K_s [LT⁻¹] = conducibilità satura del terreno;

ψ_s [L] = carico di pressione capillare (suzione) in superficie;

ψ_f [L] = carico di pressione capillare (suzione) al fronte di umidità;

θ_s [-] = contenuto volumetrico d'acqua alla saturazione;

θ_0 [-] = umidità iniziale del terreno.

L'errore massimo nella stima di $f(t)/K_s$ è stato stimato tra 0.02 e 2% (Salvucci e Entekhabi, 1994).

Stime dell'infiltrazione – equazione di Green-Ampt

Equazione di infiltrazione di Green-Ampt (1911)

I parametri del modello di Green-Ampt sono:

K = *conducibilità idraulica satura*

ψ = *potenziale di suzione al fronte di saturazione*

η = *porosità*

$\Delta\theta$ = *variazione di contenuto di umidità* ($\eta - \theta_i$) = $(1 - s_e) \theta_e$

s_e = *saturazione efficace* = $\frac{\theta - \theta_r}{\eta - \theta_r}$

θ_e = *porosità efficace* = $(\eta - \theta_r)$

I parametri possono essere stimati tramite valori empirici su base granulometrica/tessiturale

Table 7.4.1 Green-Ampt Infiltration Parameters for Various Soil Classes*

Soil class	Porosity η	Effective Porosity θ_e	Wetting Front Soil Suction Head ψ (cm)	Hydraulic Conductivity K (cm/h)
Sand	0.437 (0.374–0.500)	0.417 (0.354–0.480)	4.95 (0.97–25.36)	11.78
Loamy sand	0.437 (0.363–0.506)	0.401 (0.329–0.473)	6.13 (1.35–27.94)	2.99
Sandy loam	0.453 (0.351–0.555)	0.412 (0.283–0.541)	11.01 (2.67–45.47)	1.09
Loam	0.463 (0.375–0.551)	0.434 (0.334–0.534)	8.89 (1.33–59.38)	0.34
Silt loam	0.501 (0.420–0.582)	0.486 (0.394–0.578)	16.68 (2.92–95.39)	0.65
Sandy clay loam	0.398 (0.332–0.464)	0.330 (0.235–0.425)	21.85 (4.42–108.0)	0.15
Clay loam	0.464 (0.409–0.519)	0.309 (0.279–0.501)	20.88 (4.79–91.10)	0.10
Silty clay loam	0.471 (0.418–0.524)	0.432 (0.347–0.517)	27.30 (5.67–131.50)	0.10
Sandy clay	0.430 (0.370–0.490)	0.321 (0.207–0.435)	23.90 (4.08–140.2)	0.06
Silty clay	0.479 (0.425–0.533)	0.423 (0.334–0.512)	29.22 (6.13–139.4)	0.05
Clay	0.475 (0.427–0.523)	0.385 (0.269–0.501)	31.63 (6.39–156.5)	0.03

*The numbers in parentheses below each parameter are one standard deviation around the parameter value given.

Da Chow et al, 1988

Stime dell'infiltrazione – equazione di Green-Ampt

Equazione di infiltrazione di Green-Ampt (1911)

I parametri del modello di Green-Ampt:

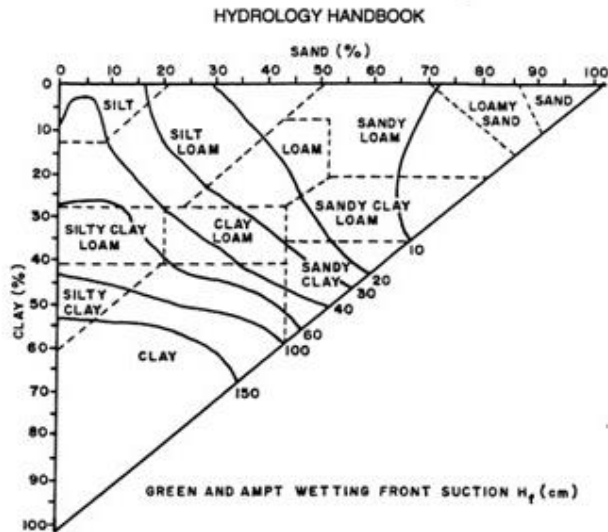


Figure 3.40.—Green-Ampt Wetting Front Suction Classified According to Soil Texture (Rawls et al., 1990).

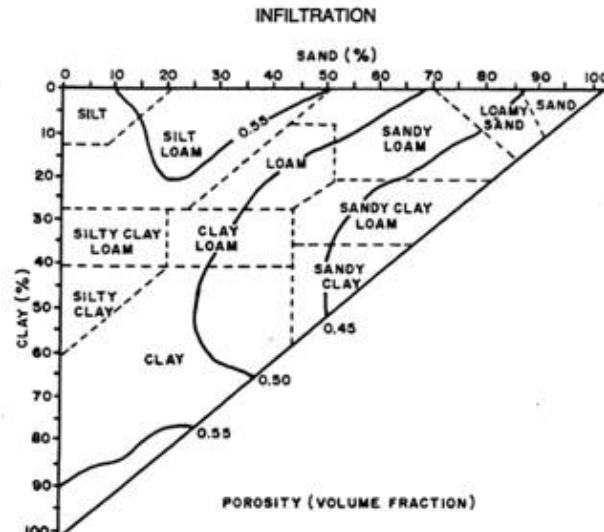


Figure 3.39.—Porosity Classified According to Soil Texture (Rawls et al., 1990).

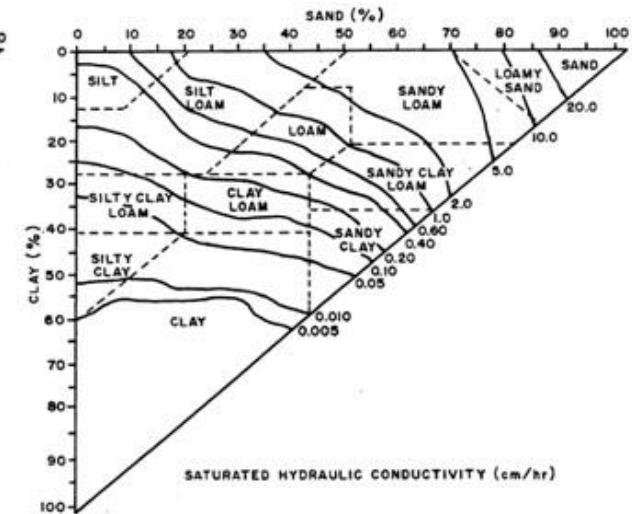


Figure 3.42.—Saturated Conductivity Classified by Soil Texture (Rawls et al., 1990).

Misure dell'infiltrazione

Le equazioni empiriche o semi-empiriche tipo Horton e Philips richiedono parametri che possiamo derivare dalla letteratura con ampi margini di incertezza.

Il modo ottimale per parametrizzare tali equazioni è quello di fittare **prove di infiltrazione**.

Possiamo distinguere tra **misure areali** e **misure puntuali**.

Misure areali dell'infiltrazione

Si basano sul principio di misurare le portate in entrata ed in uscita da un piccolo bacino per stimare le quantità infiltrate durante la prova.

Vantaggi: rappresenta meglio un processo areale di infiltrazione, che è quello reale

Svantaggi:

- richiede un bacino chiuso monitorato
- restituisce un valore mediato, che, in caso di forti eterogeneità, non rappresenta nessun suolo specifico

Misure dell'infiltrazione

Le equazioni empiriche o semi-empiriche tipo Horton e Philips richiedono parametri che possiamo derivare dalla letteratura con ampi margini di incertezza.

Il modo ottimale per parametrizzare tali equazioni è quello di fittare **prove di infiltrazione**.

Possiamo distinguere tra **misure areali** e **misure puntuali**.

Misure puntuali dell'infiltrazione

Si basano sul principio di misurare le portate in una piccola porzione di terreno, attraverso diversi approcci:

- **Simulatori di pioggia** in bacini delimitati per valutare afflussi e deflussi
- **Infiltrometro ad anello e doppio anello**
- **Infiltrometro a tensione**
- **Test di canale** (metodo inflow-outflow, ponding test)

L'infiltrometro ad anello è il più adatto per simulare l'infiltrazione in condizioni di ponding.

L'infiltrometro a tensione permette di controllare la tensione e ottenere tassi di infiltrazioni per condizioni non sature alla superficie. Inoltre limita l'effetto dei macropori.

Misure dell'infiltrazione

Infiltrometro ad anello

Si usano normalmente due dischi coassiali per studiare il flusso verticale del disco interno (confinato lateralmente dal disco esterno)

Diametri standard ASTM ((ASTM D 3385): 60 e 30 cm. Possono essere diversi, ma il rapporto è sempre 2:1.

Necessità di mantenere il livello uguale e costante nei due dischi (manualmente, oppure tramite valvole flottanti, o con un tubo di Mariotte).

Maggiore il diametro, maggiore l'accuratezza



Misure dell'infiltrazione

Infiltrometro ad anello (ASTM D 3385)

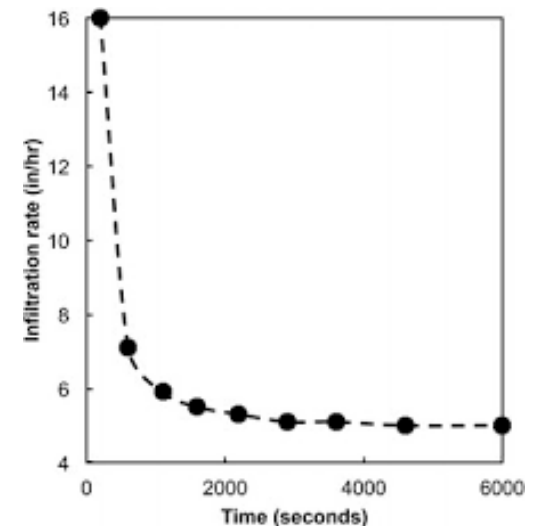
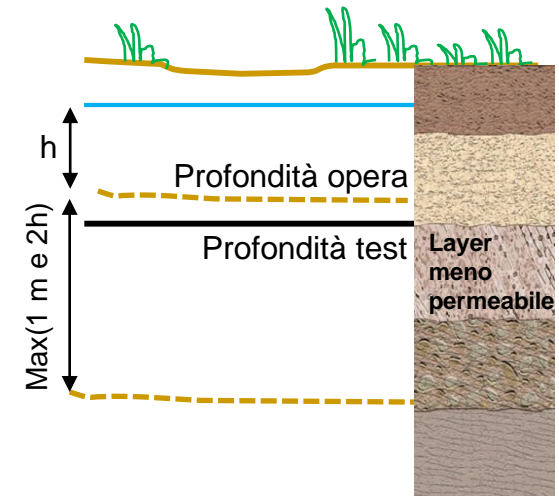
Dove eseguire il test:

- Per valutare il tasso di infiltrazione in sito per il calcolo dell'idrogramma di piena, il test viene condotto in superficie
- Per dimensionare opere di infiltrazione, il test dovrebbe essere condotto nel livello meno permeabile compreso tra il piano dell'opera di infiltrazione e circa 1 metro sotto (o circa 2 volte il livello di invaso nell'opera)

Procedura:

- 1 – rimuovere la vegetazione, senza strappare le radici
- 2 – infiggere il disco esterno tra 5 e 10 cm di profondità (bisogna evitare flusso laterale)
- 3 – infiggere il disco interno della stessa profondità
- 4 – riempire di acqua i due dischi, e mantenere sempre lo stesso livello.
- 5 – misurare la quantità d'acqua aggiunta per mantenere il carico costante a diversi tempi (in funzione della permeabilità del terreno)
- 6 – fittare equazione di Horton o Philips o altre per ottenere i parametri dell'equazione

Il valore di infiltrazione viene diviso per 2 per sicurezza



Opere di infiltrazione

La normativa (r.r. 7/2017, allegato L) prevede 5 tipologie di **opere di infiltrazione**, oltre ai **tetti verdi**:

- Trincee di infiltrazione
- Pozzi drenanti-perdenti (o di infiltrazione)
- Bacini di infiltrazione
- Pavimentazioni permeabili
- Ceditoie filtranti

Per ogni tipologia viene fornita una **definizione** ed alcune **indicazioni costruttive** sommarie

Opere di infiltrazione – trincea di infiltrazione

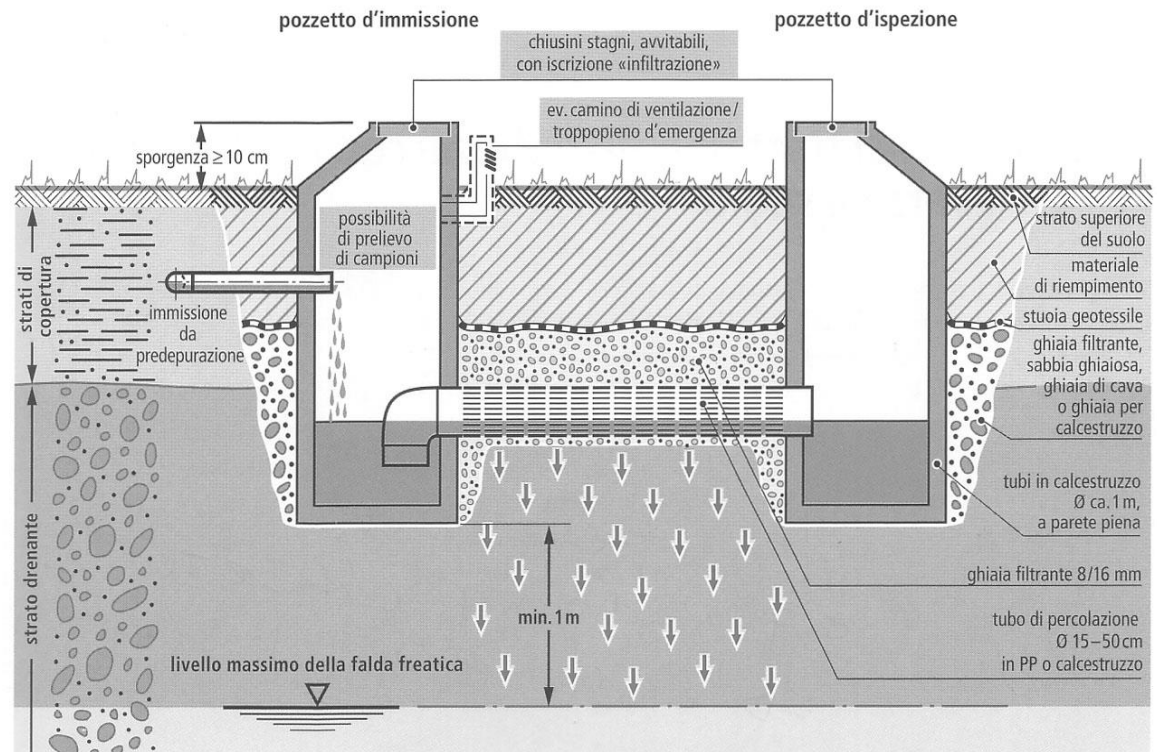
La **trincea drenante** è uno scavo lungo e profondo, riempito con materiale ad elevata conducibilità idraulica (es: ghiaia o moduli geocellulari).

La trincea prevede tipicamente un tubo forato per tutta la lunghezza per distribuire l'acqua uniformemente e possibilmente pozzetti di ispezione e immissione.

La pendenza in superficie della trincea d'infiltrazione deve essere inferiore al 5%, mentre è consigliabile che quella del fondo sia prossima a zero

La trincea d'infiltrazione è raccomandata solo in presenza di un sottosuolo con buona capacità drenante.

I pozzetti d'immissione e d'ispezione possono essere realizzati con fondo permeabile (pozzi perdenti) per aumentare la capacità d'infiltrazione dell'impianto.



Opere di infiltrazione – trincea di infiltrazione

Vantaggi:

possibilità di essere posizionate al di sotto della superficie del terreno (installazione sotto le zone di parcheggio) e la richiesta di spazi ridotti → ideale per zone urbane

Svantaggi:

elevati costi di costruzione

manutenzione e possibilità di intasamento (<< rispetto a trincee drenanti)



Opere di infiltrazione – trincea di infiltrazione

Per il **dimensionamento** è necessario conoscere:

Portata in ingresso da smaltire, Q_{in} (m^3/s , variabile nel tempo)

Portata infiltrata = $Q_{inf} = f_c A_{inf}$ dove:

f_c = Capacità specifica di infiltrazione ($m^3/s/m^2 = m/s$)

A_{inf} = Area di infiltrazione (m^2),

Per mantenere costante il livello $Q_{in} = Q_{inf} \rightarrow A_{inf} = Q_{in} / f_c$

Una soluzione rigorosa richiede un approccio iterativo che tenga conto in ogni istante della dell'altezza dell'acqua nella trincea, per determinare correttamente l'area di infiltrazione delle pareti.

Una **soluzione semplificata** (e conservativa) prevede che l'infiltrazione avvenga solo alla base verticalmente:

$$Q_{inf} = K J A_{inf}$$

dove:

K = conducibilità idraulica satura (valore cautelativo = $K/2$ per condizioni ancora parzialmente sature) \rightarrow ghiaia > 1000 cm/h

J = cadente piezometrica (gradiente idraulico) = 1 «se il tirante idrico sulla superficie filtrante è molto minore dell'altezza dello strato filtrante e la superficie piezometrica della falda è convenientemente al di sotto del fondo disperdente» \rightarrow flusso verticale oppure flusso in pozzo disperdente (vedi oltre)

A_{inf} = solo superficie alla base

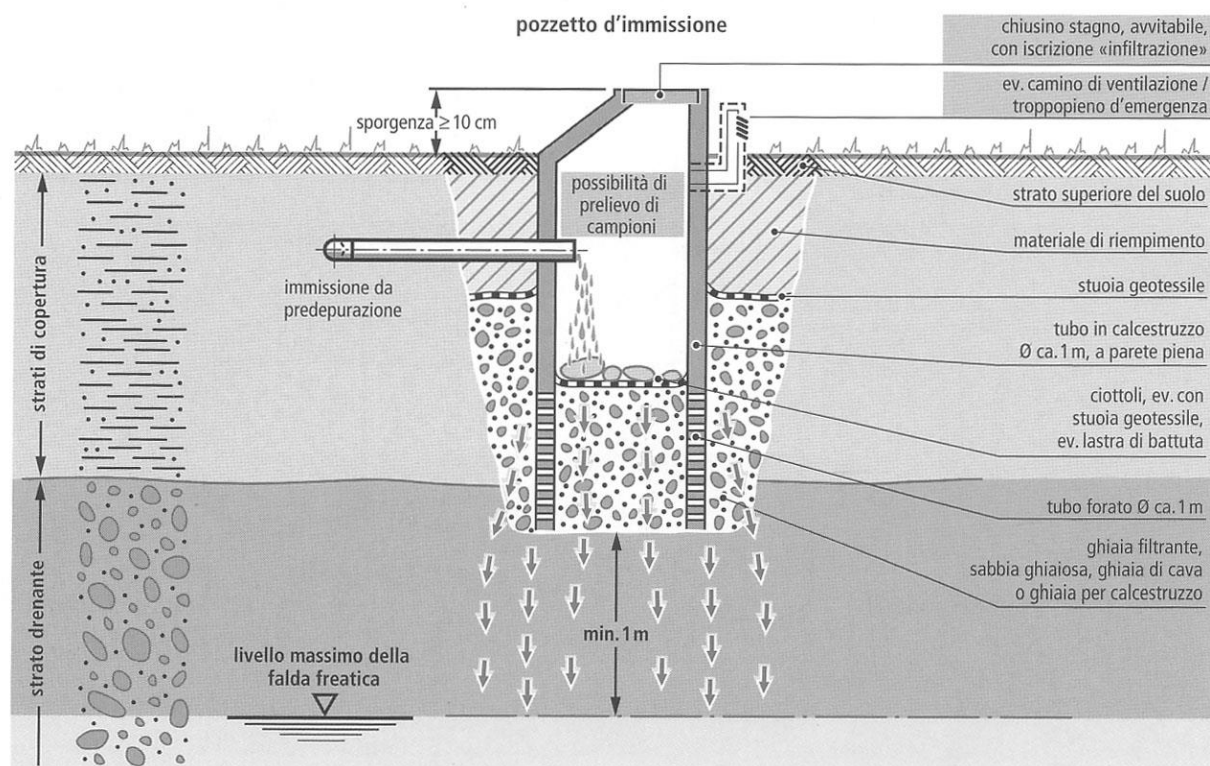
Opere di infiltrazione – pozzo perdente

I **pozzi d'infiltrazione** sono strutture sotterranee localizzate, utilizzate principalmente per raccogliere ed infiltrare le acque di pioggia provenienti dai tetti di edifici residenziali e commerciali e/o dai piazzali.

La struttura esterna è generalmente prevista in materiale rigido (per esempio in cemento), mentre l'interno viene riempito con materiale inerte (ghiaia) con una porosità di almeno il 30%. I pozzi perdenti sono preferibilmente dotati di accesso ispezionabile.

Il pozzo perdente è raccomandata solo in presenza di un sottosuolo con buona capacità drenante.

pre-trattamenti per l'intercettazione di sedimenti ed oli che possono ostruire la struttura. È opportuno inserire nelle grondaie dei filtri al fine di intrappolare particelle, foglie ed altri detriti.



Opere di infiltrazione – pozzo perdente

Vantaggi:

richiesta di spazi ridotti → ideale per singoli edifici
Possibilità di estendere il pluviale del tetto fino al pozzo

Svantaggi:

Limitata capacità infiltrante → piccole aree drenanti
Manutenzione e possibilità di intasamento.



Campo pozzi di infiltrazione in comune di Breganze – fase costruttiva e intervento finale

http://www.lifeaquor.it/it/progetto_aquor/azioni/azioni_di_intervento/c_2_breganze

Opere di infiltrazione – pozzo perdente

Per il **dimensionamento** è necessario conoscere:

Portata in ingresso da smaltire, Q_{in} (m³/s, variabile nel tempo)

$$\text{Portata infiltrata} = Q_f = K \left(\frac{L+z}{L+z/2} \right) A_f$$

dove:

L = distanza base pozzo – falda (m)

z = profondità parte drenante del pozzo (m)

K = conducibilità idraulica satura (valore cautelativo = $K/2$ per condizioni ancora parzialmente sature)

A_f = area infiltrante = sezione idrica infiltrante = anello di larghezza $z/2$

Per mantenere costante il livello

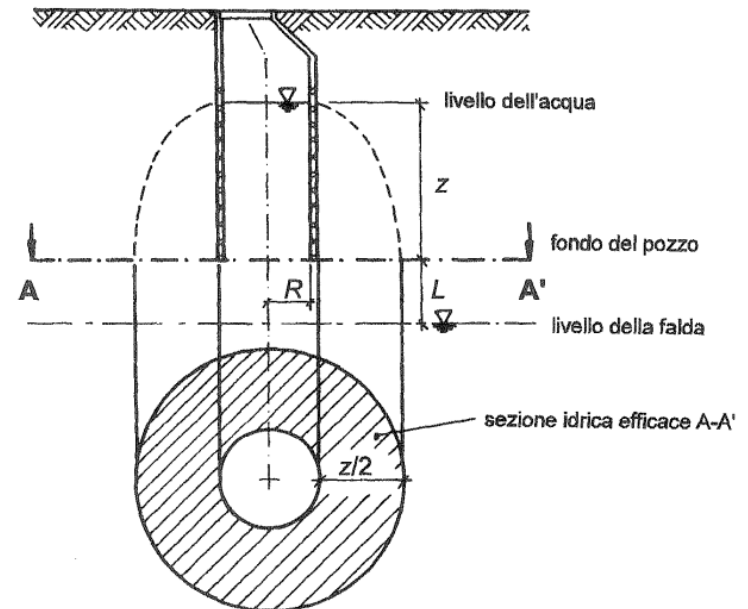
$$Q_{in} = Q_{inf}$$

$$A_{inf} = Q_{in} / K \left(\frac{L+z}{L+z/2} \right)$$

dove

$$A_f = \pi \left(R + \frac{z}{2} \right)^2 - \pi R^2$$

In questo modo è possibile dimensionare R e z



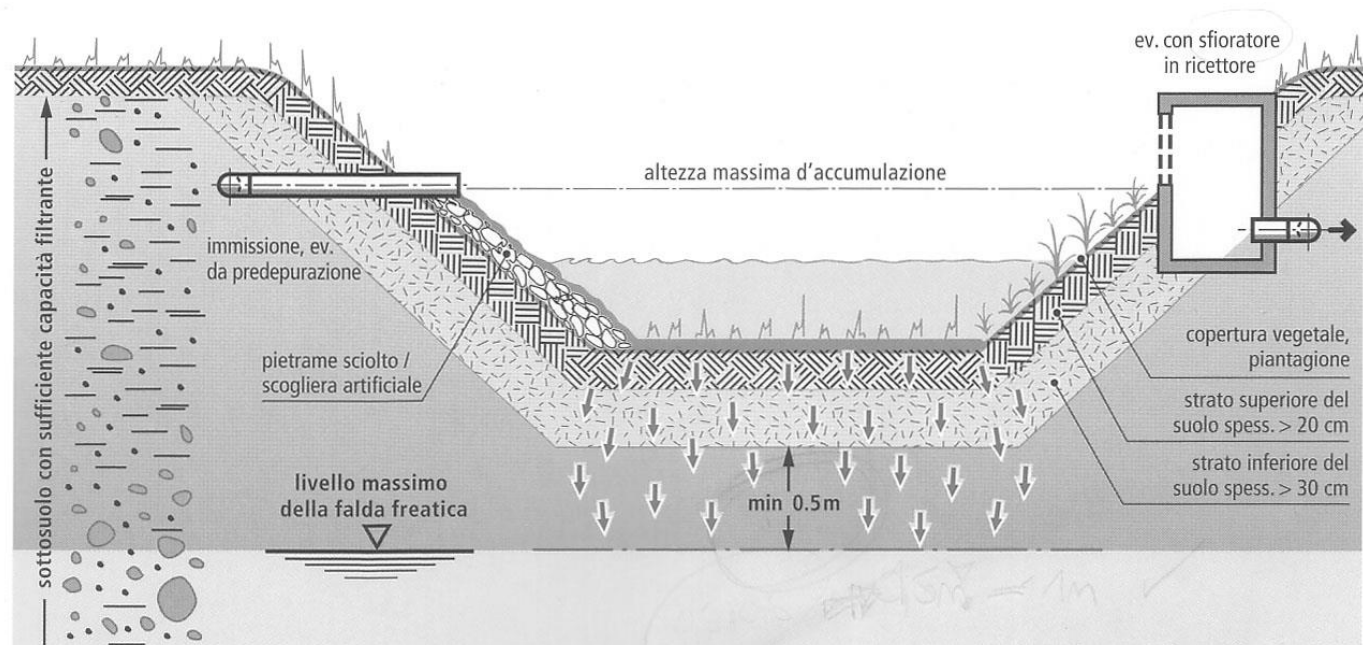
Opere di infiltrazione – bacini di infiltrazione

Le vasche di infiltrazione hanno i muri di contenimento in calcestruzzo e possono essere strutture anche sotterranee

I bacini di infiltrazione sono ricavati da depressioni naturali o artificiali nel terreno, quindi sempre a cielo aperto, ricoperti da tappeto erboso:

- stabilizzare le aree
- esercitare un'azione filtrante per rimuovere le sostanze inquinanti presenti nelle acque di pioggia, come nutrienti e metalli disciolti.
- aumentare la capacità di infiltrazione di un terreno poiché le radici creano nello stesso dei condotti preferenziali in cui l'acqua si infila.

I bacini hanno spesso la doppia funzione di ritenzione e infiltrazione



Opere di infiltrazione – bacini di infiltrazione

Vantaggi:

Limitata necessità di manutenzione

Capacità di infiltrazione potenzialmente elevate

Svantaggi:

Richiesta di spazi considerevoli

Possibili problemi di contaminazione superficiale



Canton Ticino (2013) ibidem



<http://ambiente.provincia.bz.it/acqua/gestione-sostenibile-acque-meteoriche.asp>

Opere di infiltrazione – pavimentazioni permeabili

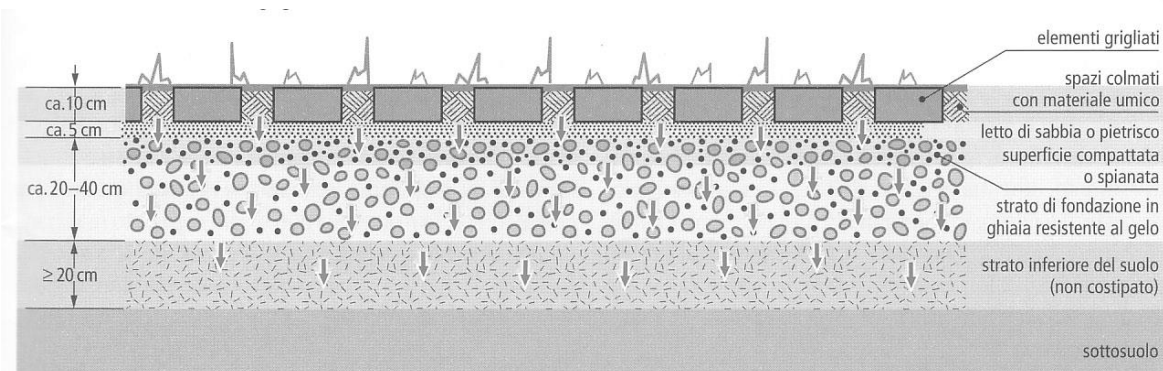
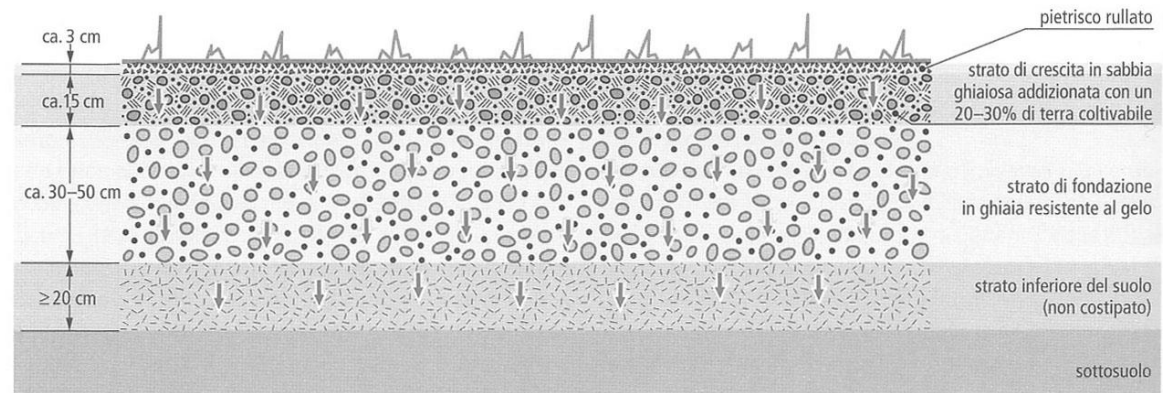
Le pavimentazioni permeabili sono una alternativa ai convenzionali lastricati di marciapiedi o zone pedonali che si propone di aumentare la permeabilità delle superfici.

Esistono pavimentazioni permeabili continue e discontinue

Le prime sono realizzate in modo apparentemente simile alle pavimentazioni stradali normali, ma con conglomerati bituminosi o calcestruzzi permeabili, ottenuti eliminando dalla miscela la sabbia e gli altri inerti di granulometria fine.

Le seconde sono invece ottenute accostando elementi prefabbricati in CLS, perforati e autobloccanti

In entrambi i casi al disotto della pavimentazione si realizza un sottofondo filtrante, composto da strati di granulometria crescente.



Opere di infiltrazione – pavimentazioni permeabili

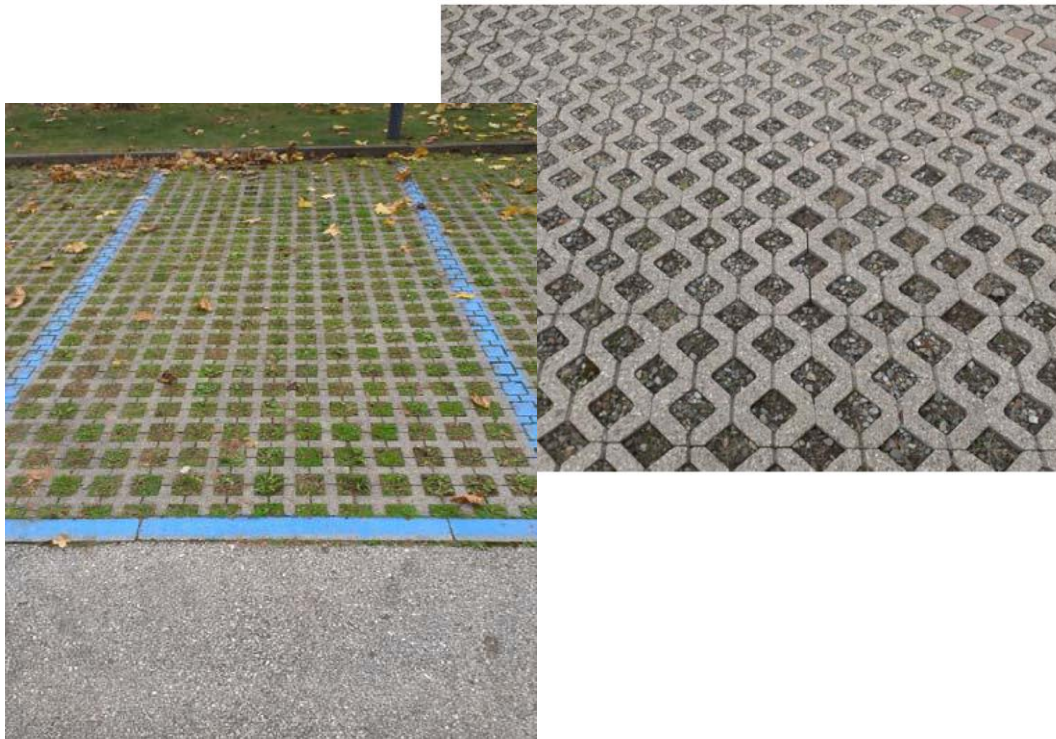
Vantaggi:

Minimo impatto sul progetto perché sostituiscono superfici altrimenti impermeabili

Svantaggi:

Limitata capacità di infiltrazione

Possibili problemi di contaminazione



Canton Ticino (2013) ibidem

http://www.asfalti2m.it/conglomerati_asfalti_drenanti_e_fonoassorbenti.html