

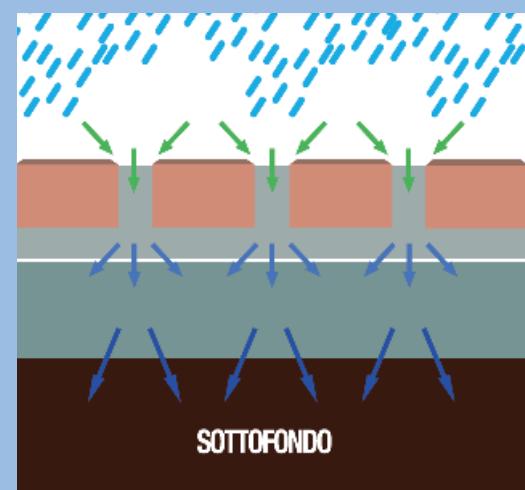
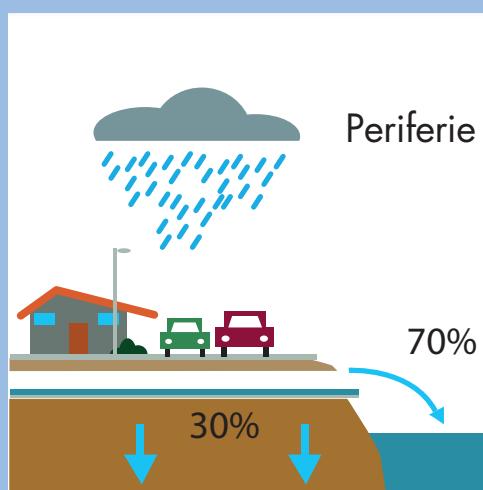
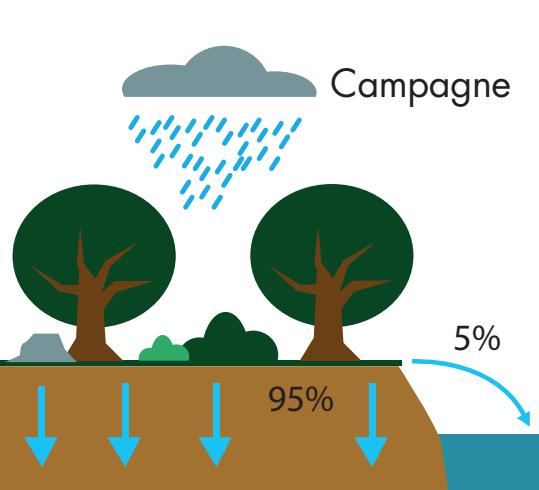
VOLUME

3

DRENANTI

Linee Guida per la determinazione
della capacità drenante
delle pavimentazioni modulari
in calcestruzzo

a cura di:
Prof. Ing. Marco Pilotti
Prof. Dott. Massimo Tomirotti



VOLUME 3

DRENANTI

Linee Guida per la determinazione
della capacità drenante
delle pavimentazioni modulari
in calcestruzzo

Ricerca scientifica a cura di:
Prof. Ing. Marco Pilotti
Prof. Dott. Massimo Tomiotti



INDICE

0 PREMESSA

pag. 6

1 INTRODUZIONE

pag. 7

2 GESTIONE TRADIZIONALE DELLE ACQUE METEORICHE

pag. 8

3 PAVIMENTAZIONI DRENANTI IN CALCESTRUZZO

pag. 9

4 GESTIONE SOSTENIBILE DELLE ACQUE METEORICHE

pag. 10

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 4.1 Aspetti qualitativi | pag. 10 |
| 4.2 Aspetti quantitativi | pag. 11 |
| 4.2.1 Pavimentazioni provate | pag. 12 |
| 4.2.2 Il simulatore di pioggia | pag. 14 |
| 4.2.3 Caratteristiche principali del generatore di pioggia | pag. 14 |
| 4.2.4 Caratteristiche principali del cassone contenente la parcella sperimentale | pag. 15 |
| 4.2.5 Valutazione della permeabilità della parcella sperimentale | pag. 16 |
| 4.2.6 Risultati delle prove | pag. 17 |

5 APPLICAZIONE PRATICA DEI RISULTATI DELLA RICERCA

pag. 18

6 BIBLIOGRAFIA

pag. 19

Edizione: Ottobre 2011

Il presente manuale annulla e sostituisce il precedente: *Raccomandazioni per l'impiego di elementi grigliati per pavimentazioni erbose e per il consolidamento dei terreni e criteri per la valutazione della qualità di tali prodotti*

PREMESSA

La Sezione Blocchi e Pavimenti continua nella pubblicazione di manuali tecnici destinati ad illustrare a professionisti e amministrazioni pubbliche strumenti chiari in grado di rispondere ad esigenze ambientali, sempre più presenti dentro le regole del buon costruire.

L'Associazione ha ritenuto necessario colmare l'attuale vuoto normativo in merito alla valutazione e verifica della capacità drenante di alcune superfici, soprattutto a fronte delle continue richieste che arrivano dai regolamenti edili in materia di tutela e gestione delle acque. Abbiamo stabilito un efficace rapporto di collaborazione con il Dipartimento DICATA dell'Università di Brescia che ha portato allo sviluppo di un valido metodo di prova.

Oggi possiamo valutare sperimentalmente l'effettiva permeabilità di una pavimentazione, non più solo come percentuale di foratura, ma in base al comportamento di una parcella di prova analoga ad una situazione reale (pavimento + sottofondo) sottoposta ad eventi meteorici di diversa intensità.

Le indicazioni qui riportate sono tratte dalle più importanti esperienze a livello internazionale, nonché dalla normativa nazionale vigente in materia di progettazione di impianti fognari, dal Regolamento Locale d'Igiene e dal Piano Regionale di Risanamento delle Acque.

Lo scopo è quello di offrire una guida per l'utilizzo delle pavimentazioni drenanti in calcestruzzo come elementi utili per realizzare recapiti alternativi allo scarico di acque piovane in pubblica fognatura.

Presidente Sezione Blocchi e Pavimenti

INTRODUZIONE

A livello internazionale, l'uso delle pavimentazioni drenanti in calcestruzzo aumenta rapidamente ogni anno, con applicazioni che spaziano dai parcheggi, ai piazzali di carico e scarico industriali. Numerose prove sui sistemi di drenaggio sono state realizzate negli ultimi 15 anni in paesi come Germania, Inghilterra, Stati Uniti e Australia; i risultati sono stati focalizzati non solo sulle caratteristiche idrauliche, ma anche sul comportamento rispetto agli inquinanti presenti nei deflussi meteorici.

Esiste una estesa bibliografia sull'uso responsabile di questa tecnologia. Nel caso della "gestione delle portate meteoriche" si devono valutare aspetti quali il calcolo delle portate raccolte, i flussi di scarico e l'integrazione del sistema pavimentazione drenante con gli altri sistemi di drenaggio tradizionali.

Uno studio sul campo realizzato da Bean e altri nel 2004 ha comparato volumi dilavati da pavimentazioni drenanti in calcestruzzo contro volumi dilavati da pavimentazioni in asfalto trovando che le concentrazioni di sedimenti solidi, zinco, azoto e fosforo sono significativamente inferiori nei volumi risultanti dalle pavimentazioni in cls. Un altro studio di laboratorio simile⁷ ha comparato caratteristiche quantitative e qualitative delle acque e del loro drenaggio per pavimentazioni in cls rispetto a quelle in asfalto dimostrando, anche in questo caso, che l'acqua infiltrata attraverso le prime tende ad occasionare importanti diminuzioni nelle concentrazioni di azoto e fosforo, totalizzando inoltre minori concentrazioni di metalli, oli e batteri.

Le pavimentazioni drenanti in cls rispetto alle proprie caratteristiche prestazionali consentono:

- ✓ Sostanziale diminuzione delle acque superficiali;
- ✓ Condizioni ottimali di percorribilità automobilistica nonché pedonale grazie all'ottima capacità drenante (equivalente a quella delle pavimentazioni coltivate a prato);
- ✓ Una migliore qualità delle acque infiltrate nella pavimentazione rispetto a quella delle acque dilavate da pavimentazioni in asfalto⁸ e/o tetti.

⁷ James and Shahin (1998)

⁸ Kelly A. Collins – William F hunt. – Hathaway "Evaluation of various types of permeable pavements with respect to water quality improvement and flood control."

GESTIONE TRADIZIONALE DELLE ACQUE METEORICHE

Il continuo sviluppo urbanistico ha portato nel corso degli anni ad una drammatica diminuzione delle superfici drenanti naturali, con effetti visibilmente negativi soprattutto per i flussi delle acque superficiali.

Superfici impermeabili quali tetti e pavimentazioni in asfalto, aumentano la portata delle acque che affluiscono negli impianti fognari, occasionando non solo incrementi dei **coefficienti di afflusso**¹ ma anche l'aumento di sedimenti e sostanze potenzialmente inquinanti con effetti devastanti sulla salubrità delle acque e degli habitat acquatici.

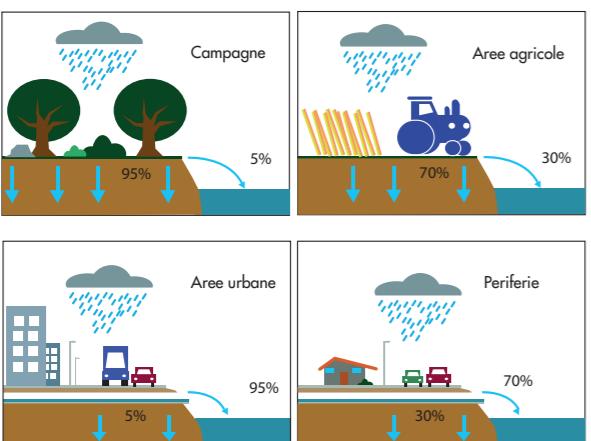


Fig. 1 - Ciclo delle acque: zone naturali e impermeabilizzate

Come prescritto dalla stragrande maggioranza dei Piani Regionali per la tutela e gestione delle Acque, le reti di raccolta degli scarichi reflui dovrebbero essere differenziate in base alla loro origine:

- ✓ acque bianche o meteoriche
- ✓ acque nere

Sfortunatamente, gran parte delle nostre città sono ancora servite da un'unica rete di raccolta fognaria che raccoglie tutti i deflussi meteorici, con una serie di indesiderate conseguenze:

- ✓ Onde di piena sempre più frequenti con conseguente sovraccarico della pubblica fognatura e modifiche repentine delle portate nei corsi d'acqua.

¹ Il coefficiente d'afflusso è il rapporto tra il volume d'acqua defluito e il volume affluito sulla superficie e rappresenta la percentuale di afflusso che da luogo al dilavamento.

² L'isola di calore è il fenomeno che determina un microclima più caldo nelle aree maggiormente urbanizzate rispetto alle zone rurali. Il maggior



Fig. 2 - Onde di piena

- ✓ Malfunzionamento degli impianti di depurazione causato dal sovraccarico idrico che li rende poco performanti.
- ✓ Peggioramento della qualità delle acque defluite per il contenuto di inquinanti raccolti sulle superfici impermeabili, quali tetti e pavimentazioni in asfalto, durante gli eventi di pioggia intensa e di breve durata.
- ✓ Riduzione dell'alimentazione della falda acquifera nelle zone a forte impermeabilizzazione e conseguente interruzione del naturale ciclo delle acque.
- ✓ Aumenti delle temperature superficiali dovuti all'effetto isola di calore².

Risulta evidente l'esigenza di privilegiare le soluzioni atte a ridurre "a monte" le portate meteoriche circolanti nelle reti – siano esse unitarie o separate – prevedendo, per le acque meteoriche non contaminate, il loro smaltimento sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e, solo in via subordinata, in corsi d'acqua superficiali.

Il calore di calore è determinato da cause quali le superfici asfaltate (che prevalgono nettamente rispetto alle aree verdi), le emissioni degli autoveicoli, degli impianti industriali e dei sistemi di riscaldamento e di aria condizionata ad uso domestico. Si annovera anche la scarsa capacità di trattenere acqua delle superfici impermeabilizzate, che con una minore evaporazione riducono ulteriormente il raffrescamento dell'aria in prossimità del terreno.

PAVIMENTAZIONI DRENANTI IN CALCESTRUZZO

Le pavimentazioni drenanti, pedonali o carrabili, permettono il passaggio dell'acqua piovana attraverso la superficie pavimentata. Quest'acqua, in base ai regolamenti vigenti, può essere smaltita in due modi: direttamente sugli strati superficiali del sottosuolo (Sistema A, Fig. 3) oppure raccolta in vasche di accumulo (per eventuali trattamenti, per riutilizzi in irrigazione o per impianti antincendio) o semplicemente convogliata in fognatura (Sistema B, Fig. 4).

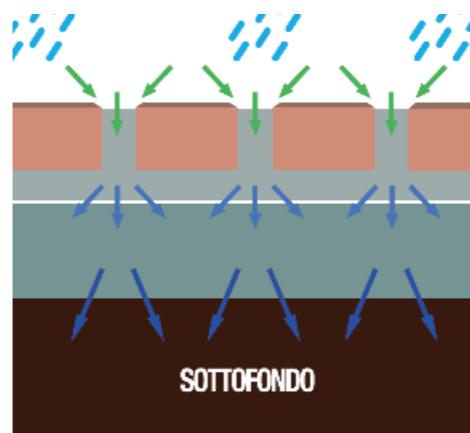


Fig. 3 - Sistema A

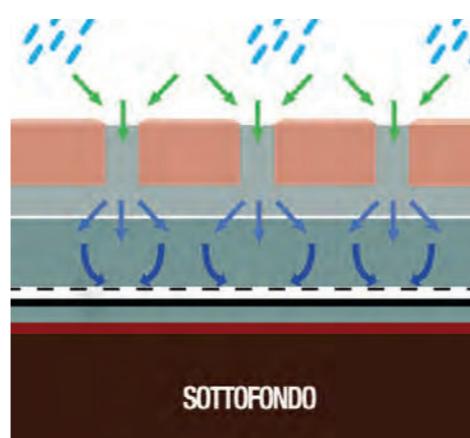


Fig. 4 - Sistema B

In base alle indicazioni prescritte dall'allegato 2 del PRRA – DCR VII/402 del 15/01/2002, entrambi i sistemi sopra indicati (A e B) possono essere utilizzati nelle zone di ampliamento e di espansione residenziale.

Il primo è indicato nelle zone con una bassa contaminazione delle acque meteoriche e che prevedono il totale smaltimento in loco delle acque dei tetti e delle superfici impermeabilizzate; il secondo invece è consigliabile per le zone caratterizzate dalla presenza di inquinanti e dove si deve prevedere lo smaltimento delle acque meteoriche in fognatura o l'accumulo in apposite vasche.

L'uso di queste pavimentazioni non si limita alle nuove costruzioni ma anche ai casi di risanamenti, manutenzioni straordinarie e/o ampliamenti, realizzando così dei sistemi di drenaggio che sostituiscono le coperture impermeabili. Inoltre sono particolarmente utili in aree dove non è economicamente fattibile il rifacimento delle fognature, e nelle aree che prescrivono una percentuale massima di scarico delle acque piovane nella rete di raccolta pubblica (per ogni ettaro di superficie scolante impermeabile presente).

In base all'articolo 3.2.3 RLI della Regione Lombardia negli interventi di nuova edificazione e riqualificazione deve essere garantita una superficie scoperta e drenante non inferiore al 30% per i complessi residenziali e misti e al 15% per le zone destinate ad insediamenti produttivi, incentivando in questo modo la realizzazione di recapiti alternativi e/o sostenibili per lo scarico delle acque meteoriche.

Le pavimentazioni drenanti in calcestruzzo rappresentano un sistema ecologico ed ormai collaudato per creare ampie zone permeabili, particolarmente gradite al progettista dell'arredo urbano e all'utente. Grazie all'ampia disponibilità di forme e dimensioni che le rendono estremamente versatili e capaci di armonizzarsi con i più svariati contesti ambientali sono indicate per cortili, spiazzi, stradine, piste pedonali e ciclabili, strade di accesso e parcheggi. In conclusione, sono la soluzione ottimale per realizzare pavimentazioni pedonali o carrabili nel rispetto delle misure di tutela e gestione sostenibile delle acque.

GESTIONE SOSTENIBILE DELLE ACQUE METEORICHE

Da decenni nei paesi del Nord d'Europa viene incentivato l'utilizzo di sistemi di drenaggio sostenibili denominati SUDS³, alternativi ai sistemi di drenaggio tradizionali. Si tratta di una serie di tecniche per soddisfare requisiti di portata di scarico, riduzione di inquinanti nei corpi acquiferi e miglioramento complessivo di zone intensamente antropizzate. Queste tecniche producono evidenti vantaggi:

- ✓ Il ciclo naturale delle acque può essere mantenuto quasi inalterato oppure essere ristabilito.
- ✓ La qualità di vita nelle zone urbanizzate può essere influenzata positivamente.

Le Pavimentazioni drenanti in calcestruzzo per le loro caratteristiche prestazionali sono parte essenziale di una gestione sostenibile delle acque meteoriche. I principi fondamentali alla base di questa filosofia sono:

Aspetti qualitativi:

- ✓ Miglioramento della qualità delle acque defluite grazie alla caratteristica filtrante delle pavimentazioni.
- ✓ Contenimento degli inquinanti pericolosi all'interno della struttura.
- ✓ Miglioramento delle acque superficiali dove non vengono più scaricati inquinanti provenienti da superfici impermeabili quali strade in asfalto e/o tetti.

Aspetti quantitativi:

- ✓ Riduzione dei fenomeni di allagamento dovuti al sovraccarico della rete fognaria;
- ✓ Riduzione dei coefficienti di Afflusso durante gli eventi meteorici;
- ✓ Prevenzione di fenomeni quali l'aquaplaning o veli d'acqua superficiali.

4.1 Aspetti qualitativi:

La funzione filtrante coinvolge numerosi aspetti, ed è fortemente legata a diverse caratteristiche quali modello del massello, percentuale di foratura, materiale di riempimento dei giunti, caratteristiche geotecniche del terreno sottostante, variabili che, in funzione dell'intensità delle precipitazioni per la zona di riferimento, determinano i parametri necessari alla progettazione della struttura drenante.

Le pavimentazioni drenanti, come dimostrano numerosi studi esteri⁴, sono uno strumento molto efficace per la rimozione degli agenti inquinanti provenienti dal dilavamento superficiale, grazie ad una struttura a strati: veri e propri filtri che catturano la maggior parte degli elementi inquinanti (Fig. 5). Gli Idrocarburi che cadono in superficie vengono depositati negli strati superficiali del pacchetto di posa, dove vengono smaltiti nel lungo periodo⁵. Altri inquinanti come i metalli pesanti sono invece immagazzinati dentro la struttura, per gran parte della vita utile della pavimentazione.

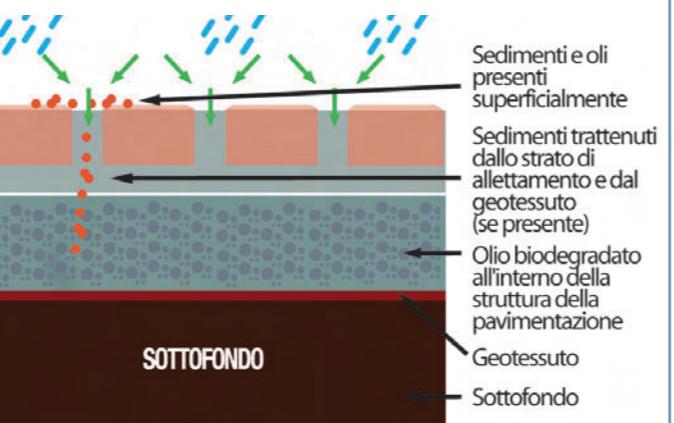


Fig. 5

Oltre all'aumento irregolare delle portate e al trasporto di sedimenti, lo sbilancio del coefficiente di afflusso (o Runoff) genera l'incremento delle temperature delle acque superficiali con effetti particolarmente nocivi per specie ittiche e habitat acquatici. I principali agenti inquinanti defluiti dalle superfici impermeabili urbane includono sedimenti, fertilizzanti, batteri, metalli pesanti, combustibili e lubrificanti. Il dilavamento dei terreni, sui quali sono stati utilizzati fertilizzanti, trasporta azoto e fosforo nelle acque superficiali, generando il fenomeno dell'eutrofizzazione, cioè la proliferazione di alghe microscopiche che non essendo smaltite dai consumatori primari, determinano una maggiore attività batterica aumentando così il consumo di ossigeno che viene a mancare ai pesci, provocandone la morte.

Inquinanti rimossi in percentuale	
Sedimenti solidi	60-95%
Idrocarburi	70-90%
Residui fosforici	50-80%
Residui azoto	65-80%
Metalli pesanti	60-95%

(Fonte: CIRIA C609, 2004)

Potenziale miglioramento nel trattamento delle acque	
Rimozione del totale di sedimenti solidi presenti	ALTA
Rimozione di metalli pesanti	ALTA
Rimozione di residui fosforici e di azoto	ALTA
Rimozione batterica	ALTA

(Fonte: CIRIA C697, 2007)

4.2 Aspetti quantitativi:

Verifica sperimentale della capacità filtrante delle pavimentazioni drenanti.

ASSOBETON insieme all'Università di Brescia e al Laboratorio di Idraulica del dipartimento DICATA, ha realizzato una serie di prove sperimentali volte alla verifica della capacità filtrante di sei diverse tipologie di materiale utilizzato per la realizzazione di pavimentazioni, in modo da permettere una valutazione quantitativa corretta delle prestazioni idrauliche ed offrire a professionisti e amministrazioni pubbliche maggiori strumenti per la valutazione di queste pavimentazioni.

Al fine di valutare l'effettiva efficacia di un pavimento drenante è stata determinata la permeabilità della struttura nel suo complesso (sottofondo + pavimentazione), eseguendo delle prove su parcelli opportunamente strumentate, in risposta ad eventi meteorici generati artificialmente a intensità costante di durata pari a 6, 3, 1, 0,5 ore e 10 e 5 minuti, con un tempo di ritorno T pari a 10 anni.

Le prove sono state realizzate anche per verificare sperimentalmente l'affermazione spesso sostenuta in letteratura internazionale secondo la quale, grazie all'impiego di pavimentazioni drenanti in calcestruzzo, si possa ottenere una riduzione dei picchi di scorrimento superficiale delle acque durante i fenomeni meteorologici equivalente alla riduzione ottenuta dalle aree inverdite a prato.

³ SUDS (Sustainable urban drainage systems): Rappresentano l'insieme di pratiche in grado di definire sistemi di drenaggio maggiormente sostenibili rispetto ai sistemi tradizionali per la gestione delle acque.

⁴ CIRIA Reports C 697, C 609 and C 582 (CIRIA 2007, 2004 and 2001)
⁵ Newman-Coupe-Lynch-Robinson "Maintenance of oil-degrading permeable pavements: microbes, nutrients and long-term water quality provision"

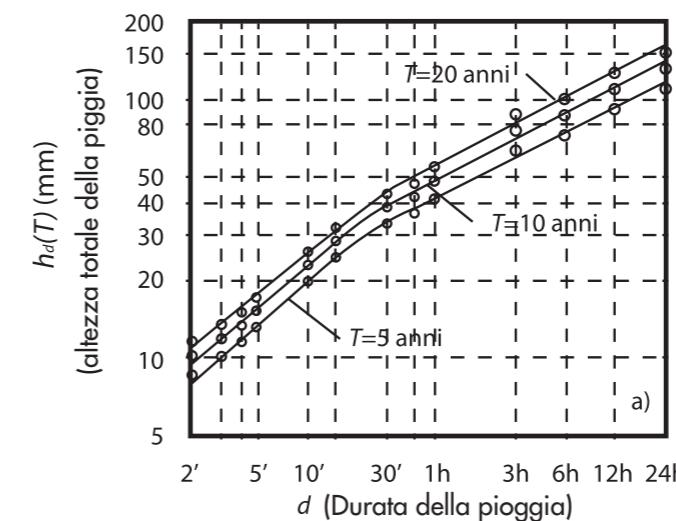
⁶ "Permeable Pavements" – guide to design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements [Precast Concrete Paving and Kerb Association].

4.2.1 Pavimentazioni private

	Foratura (%)	Materiale di sigillatura	Stratigrafia	
Prato	—	—		
Massello in calcestruzzo drenante	influente	Sabbia fine 0-1 mm		
Grigliato erboso in calcestruzzo	41%	Pietrisco 2-5 mm		
Massello in calcestruzzo con distanziatore	20%	Pietrisco 2-5 mm		
Massello in calcestruzzo con distanziatore	5%	Pietrisco 2-5 mm		

Si è fatto riferimento ai dati della stazione pluviografica di Milano - Via Monviso, per la quale erano disponibili i dati ottenuti dalla digitalizzazione in grande dettaglio dei tracciati restituiti dal pluviografo relativamente al periodo 1971-1991. Tali dati consentono infatti di estrarre le altezze di precipitazione massime annue in durata arbitraria, anche inferiore all'ora (informazione, quest'ultima, di non facile reperibilità in quanto non pubblicata in modo sistematico sugli Annali Idrologici del Servizio

Per ciascuna tipologia di copertura sono state realizzate quattro serie di prove: due in corrispondenza di una pendenza della parcella pari a 1.5% e due in corrispondenza di una pendenza del 4%; tale scelta è stata operata al fine di saggiare la ripetibilità delle prove stesse. Inoltre, al fine di garantire che le condizioni iniziali fossero le stesse per ciascuna prova, soprattutto in merito alle condizioni di umidità della parcella sperimentale, si è stabilita una procedura standard.



T (anni)	d<30 min		d≥30 min	
	a (mm/ora")	n	a (mm/ora")	n
5	52.46	0.55	42.22	0.33
10	59.02	0.53	49.12	0.33
20	65.17	0.52	56.17	0.33

Fig. 7 - Curve di possibilità climatica relative alla stazione pluviografica di Milano - Via Monviso

Durata	d	5 min	10 min	30 min	1 ore	3 ore	6 ore
intensità	h (altezza totale)	16 mm	23 mm	39 mm	49 mm	71 mm	89 mm
	I (mm/ora)	190 mm/h	137 mm/h	78 mm/h	49 mm/h	24 mm/h	15 mm/h
portata	Q (litri/ora)	615 l/h	444 l/h	253 l/h	159 l/h	76 l/h	48 l/h
	Q (mc/sec)	$1,71 \cdot 10^{-4}$	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$7,03 \cdot 10^{-5}$	$4,42 \cdot 10^{-5}$	$2,12 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-5}$

Tabella I - Caratteristiche delle precipitazioni simulate

Idrografico e Mareografico Italiano).

Elaborando i dati pluviometrici sopra richiamati, attraverso le classiche metodologie dell'idrologia statistica sono state ottenute le curve di possibilità climatica mostrate in Fig. 7. I valori dell'altezza di precipitazione e dell'intensità media per $T=10$ anni, sono raccolti in Tabella I insieme ai corrispondenti valori della portata di precipitazione riferita alla parcella sperimentale (aumente area pari a $3,2384 \text{ m}^2$).

Ciascuna serie di prove è stata fatta precedere da una pioggia di durata pari a 12 h e di intensità 18 mm/h (corrispondente ad una pioggia con tempo di ritorno pari a 10 anni e durata 6 h), in modo da portare la parcella il più possibile vicino ad una condizione di regime; trascorso un intervallo di tempo fissato pari a 30 min sono state imposte in sequenza le portate indicate in Tabella I (a cominciare da quella relativa alle 6 ore), ciascuna per un tempo pari alla relativa durata.

4.2.2 Il simulatore di pioggia

Per le prove sperimentali previste dal presente studio è stato realizzato un generatore di pioggia ad hoc, che unisce le caratteristiche del Dropper Simulator alla facilità realizzativa di un simulatore con tubi in parallelo. A tale scopo – dopo una nutrita serie di esperienze preliminari – si è fatto ricorso ad una particolare tipologia di tubo poroso per irrigazione.

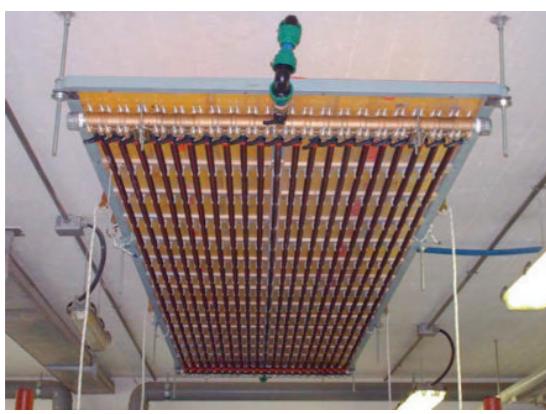


Fig. 8 - Generatore di pioggia utilizzato per le prove sperimentali

4.2.3 Caratteristiche principali del generatore di pioggia

Il simulatore di pioggia (dimensioni 4x1 metri) è fissato al soffitto del laboratorio (Fig. 8). La pioggia viene generata da 21 tubi porosi collegati alle estremità a due collettori simmetrici, costituiti da tubi zincati da 1", chiusi alle estremità, sui quali sono fissate le 21 prese a staffa complete di rubinetti (Fig. 9 a-b). I tubi porosi disposti ad una distanza assiale di 4,5 cm l'uno dall'altro, vincolata alle dimensioni delle prese a staffa. I rubinetti permettono di sostituire agevolmente eventuali tubi danneggiati (chiudendo i rubinetti si evita di svuotare l'intero impianto) e anche, eventualmente, di regolare il carico idraulico sulle linee, inducendo perdite di carico localizzate. Su entrambi i collettori, in corrispondenza della presa a staffa centrale, è disposto il rubinetto di ingresso dell'acqua (Fig. 9 a e Fig. 9 c), che viene portata al simulatore da una linea in

PVC da $\frac{3}{4}$ " disposta anch'essa in modo tale da creare una perfetta simmetria di distribuzione. (Fig. 9 d).



Fig. 9 a



Fig. 9 b



Fig. 9 c



Fig. 9 d

L'impianto consente di generare una precipitazione distribuita in modo uniforme sulla superficie e di selezionare l'intensità di pioggia desiderata, regolando la portata in mandata e acquisendone il valore con un misuratore di portata.

4.2.4 Caratteristiche principali del cassone contenente la parcella sperimentale

Il cassone predisposto per il contenimento della parcella oggetto delle prove è costituito da un telaio di ferro rivestito da tavole di legno. Il basamento consiste di tre travi IPE 160, che garantiscono un'elevata resistenza alle deformazioni (Fig. 10)



Fig. 10 - Particolare del cassone contenente la parcella sperimentale

All'interno del cassone è stata predisposta ogni parcella sperimentale. L'obiettivo perseguito è stato quello di ricreare un sottofondo per la pavimentazione permeabile che fosse il più possibile simile a quello che caratterizza la normale messa in opera di questo tipo di pavimentazioni.

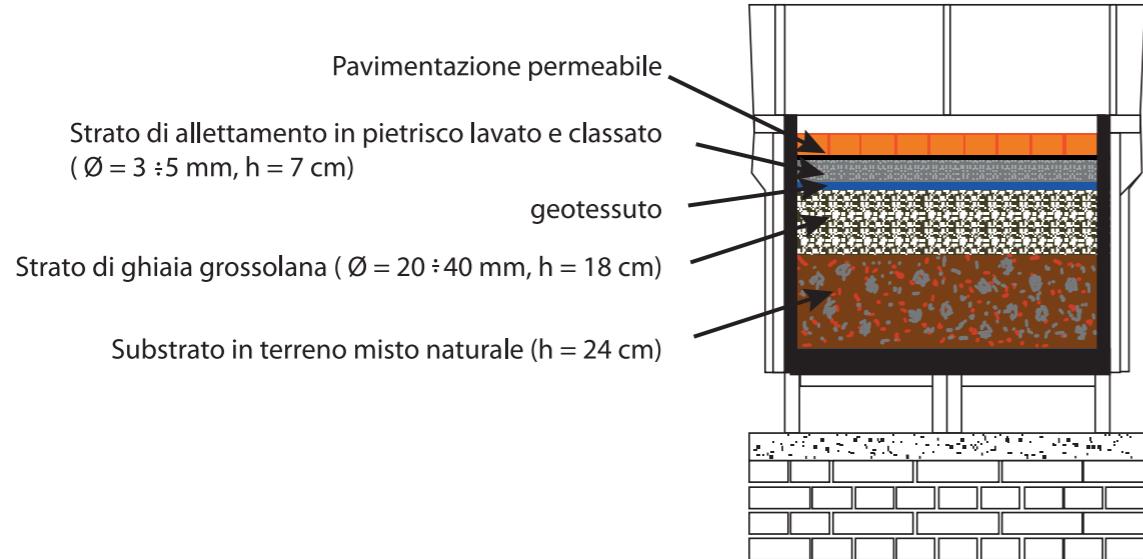


Fig. 10 - Sezione tipo della parcella sperimentale

4.2.5 Valutazione della permeabilità della parcella sperimentale

Per la determinazione della permeabilità è stato utilizzato il metodo di prova con infiltrometro da 35 cm (diametro interno) e altezza di 40 cm (Fig. 11).



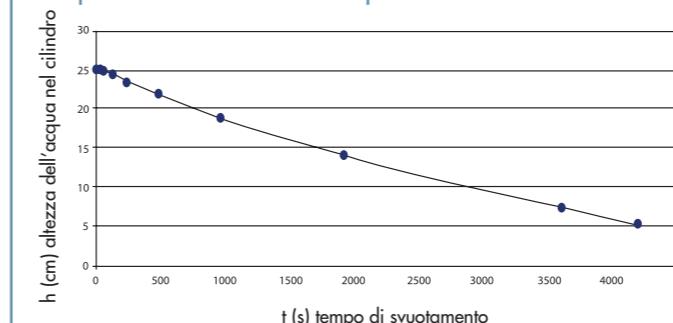
Fig. 11 - Infiltrometro da campo utilizzato per la valutazione della permeabilità del terreno naturale

L'infiltrometro viene infisso nel terreno per una profondità L e il terreno viene saturato in via iniziale riempiendo il cilindro per una prima volta e lasciando che tutta l'acqua si infiltrati. Quindi si procede alla prova di permeabilità, a carico variabile, riempiendo nuovamente il cilindro e misurando il tempo necessario affinché l'acqua si abbassi.

Nel corso della prova il campione di terreno è attraversato dal liquido e si misura il tempo t necessario a passare dal livello h_0 nel cilindro al livello h , tempo cui corrisponde il volume defluito $V = a(h_0 - h)$, ove a indica l'area della sezione del cilindro.

Si è provveduto ad effettuare una prova finale di permeabilità a compattamento avvenuto del pacchetto di sottofondo. L'andamento del livello dell'acqua nel cilindro in funzione del tempo è riportato in Fig. 12, in corrispondenza di una profondità di infissione di 10 cm. Tale prova ha fornito un **coefficiente di permeabilità media di $2.70 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$** , pari per ogni tipologia di pavimentazione provata.

Fig. 12 - Risultati delle prove sperimentali eseguite in laboratorio tramite infiltrometro sulla parcella di terreno compatto



4.2.6 Risultati delle prove

Nel corso delle prove si è rilevata in continuo la portata di alimentazione del simulatore di pioggia e dei livelli nelle due vasche di raccolta del deflusso superficiale e profondo. La misura della portata, divisa per l'area sulla quale la stessa portata viene distribuita, fornisce la misura della intensità di precipitazione. La misura dei livelli consente, tramite le curve di taratura delle vasche, di determinare gli idrogrammi di deflusso profondo e di deflusso superficiale. Inoltre, il rapporto dei volumi attribuibili al solo deflusso superficiale con quelli complessivamente affluiti alla parcella in ognuno degli eventi meteorici simulati fornisce il valore del **coefficiente di afflusso** che può quindi essere assunto quale indice di merito del materiale testato per determinare la "Capacità drenante" (vedi tabella. II).

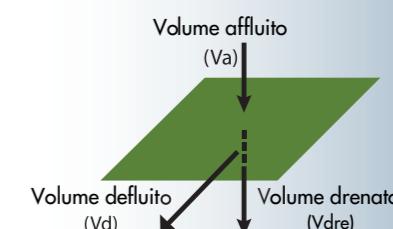
Come si può osservare dai risultati ottenuti per gli eventi meteorici considerati, **tutte le pavimentazioni drenanti in calcestruzzo provate possono equipararsi ai terreni naturali rinverditi**. I valori dei coefficienti di afflusso per le pavimentazioni n. 2, 3, 4 e 5 dimostrano che le percentuali affluite in superficie vengono totalmente defluite in profondità attraverso la struttura della pavimentazione senza creare alcun deflusso superficiale (infiltrazione del 100% pari al prato).

COEFFICIENTE DI AFFLUSSO: è definito come il rapporto tra il volume defluito superficialmente (V_d) e il volume affluito, cioè caduto sul pavimento. Rappresenta quindi la percentuale di acqua che scorre sul pavimento.

CAPACITÀ DRENANTE: è definita come il rapporto tra il volume che passa, per drenaggio, nel sottosuolo e il volume affluito, cioè caduto sul pavimento. Rappresenta quindi la percentuale di acqua che drena nel sottosuolo.

$Ca = \text{Coeff. di afflusso} = \% \text{ di acqua che scorre in superficie} = V_d / V_a$

$Cd = \text{Capacità drenante} = \% \text{ di acqua che drena nel sottosuolo} = V_{dr} / V_a = 1 - V_d / V_a$



Eventi meteorici simulati (h)	Portata media Q (l/h)	Capacità drenante				
6	48	100%	100%	100%	100%	100%
3	76	100%	100%	100%	100%	100%
1	159	100%	100%	100%	100%	100%
0,5	253	100%	100%	100%	100%	100%
0,167	444	100%	100%	100%	100%	100%
0,083	615	100%	100%	100%	100%	100%

Tabella II - Sintesi finale dei valori della capacità drenante per le sei tipologie di pavimentazione provate con pendenza da 1,5% a 4%

APPLICAZIONE PRATICA DEI RISULTATI DELLA RICERCA

La ricerca ha dimostrato che:

- Con i livelli di precipitazione assunti come riferimento dalla stazione pluviometrica di Milano - via Monvisio;
- Con una pavimentazione posata fino al 4% di pendenza e con i materiali di sottofondo e sigillatura dei giunti descritti per ogni tipologia di pavimentazione.

Il valore minimo di riferimento per la percentuale di foratura di una pavimentazione in grado di garantire il 100% di permeabilità a tutti gli eventi meteorici ricreati in laboratorio è del 5%.

BIBLIOGRAFIA

Guidance for designers, developers, planners and local authorities
edition 3
Interpave - www.paving.org.uk

Timothy Van Seters, Derek Smith and Glenn MacMillan, Toronto and Region Conservation Authority, Canada - Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving Sustainable Paving for our future

Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements
Interpave - www.paving.org.uk

*Pollution Retention and Biodegradation within Permeable Pavements
Alan P. Newman, Stephen J. Coupe, Coventry University and Kate Robinson, Formpave Ltd., United Kingdom - Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving Sustainable Paving for our future*

CIRIA Report C 697 - The SUDS Manual 2007

Study on the surface infiltration rate of permeable pavements

Eban Z. Bean, William Hunt, David Bidelsbach, Jonathan Smith, Biological and Agricultural Engineering Department, North Carolina State University, United States of America - Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving Sustainable Paving for our future

Permeable Paving Systems with Storing Capacity
Wijtze Boomsma, Aquaflo BV and Marinus Huurman, Delft University of Technology, The Netherlands - Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving Sustainable Paving for our future

Evaluation of Various Types of Permeable Pavements with Respect to Water Quality Improvement and Flood Control
Kelly A. Collins, William F. Hunt and Jon M Hathaway, North Carolina State University, United States of America - Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving Sustainable Paving for our future

Long-term In-situ Infiltration Performance of Permeable Concrete Block Pavement
Soenke Borgwardt, Büro BWB Norderstedt, Germany - Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving Sustainable Paving for our future

Performance Evaluation of Permeable Pavement and a Bioretention Swale

*Water Quality Improvements Provided By Concrete Block Permeable Paving
Gerry Pettit, Tarmac TopPave Ltd., United Kingdom - Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Block Paving Sustainable Paving for our future*

*Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche
Agenzia Provinciale per l'ambiente - Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige*

*Verifica della capacità filtrante di diverse tipologie di materiale utilizzate per la realizzazione di coperture drenanti
Marco Pilotti, Massimo Tomirotti, Università degli Studi di Brescia Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente - DICATA, Italia*



ASSOBETON

Associazione Nazionale Industrie Manufatti Cementizi

Sezione Blocchi e Pavimenti