

SITEBSi srl

Rassegna del bitume

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **38/01**

Le pavimentazioni drenanti: aspetti strutturali e funzionali

Porous pavements: structural and functional aspects

Giovanni Gatti

Politecnico di Bari, Dipartimento di Vie e Trasporti

Le pavimentazioni drenanti: aspetti strutturali e funzionali

Porous pavements: structural and functional aspects

GIOVANNI GATTI

Politecnico di Bari, Dipartimento di Vie e Trasporti

Riassunto

Dopo aver tracciato un profilo "storico" e critico delle pavimentazioni drenanti, dalle prime applicazioni inglesi e statunitensi a quelle successive europee, l'articolo illustra le caratteristiche strutturali di tali pavimentazioni, gli aspetti funzionali e quanto esperito dalle applicazioni, anche in merito all'uso del bitume modificato.

Vengono riportate alcune esperienze fatte presso il Politecnico di Bari.

Summary

The paper includes a "historical" and critical overview of porous pavements, from first American applications to the latter European ones. The Author describes structural and functional aspects of these pavements and also summarizes the experiences derived from the application, also for what concerns the use of modified bitumen. Some experimental data obtained at the University of Bari are also reported.

1. Premessa

Le prime esperienze di pavimentazioni drenanti risalgono ad oltre quarant'anni fa e sono state effettuate in Inghilterra e negli Stati Uniti sulle piste aeroportuali. Obiettivo principale, il rapido allontanamento delle acque meteoriche di ruscellamento dalle superfici delle piste, per ridurre il rischio del fenomeno dell'aquaplaning, particolarmente pericoloso nella fase di

atterraggio degli aerei. Il legante impiegato era un bitume modificato con caucciù, o gomma riciclata di pneumatici dismessi, per accrescere il suo potere legante, mentre gli inerti erano costituiti da materiale grosso quasi monogranulare. (Fig. 1 e 2).

In Europa le applicazioni alle pavimentazioni stradali

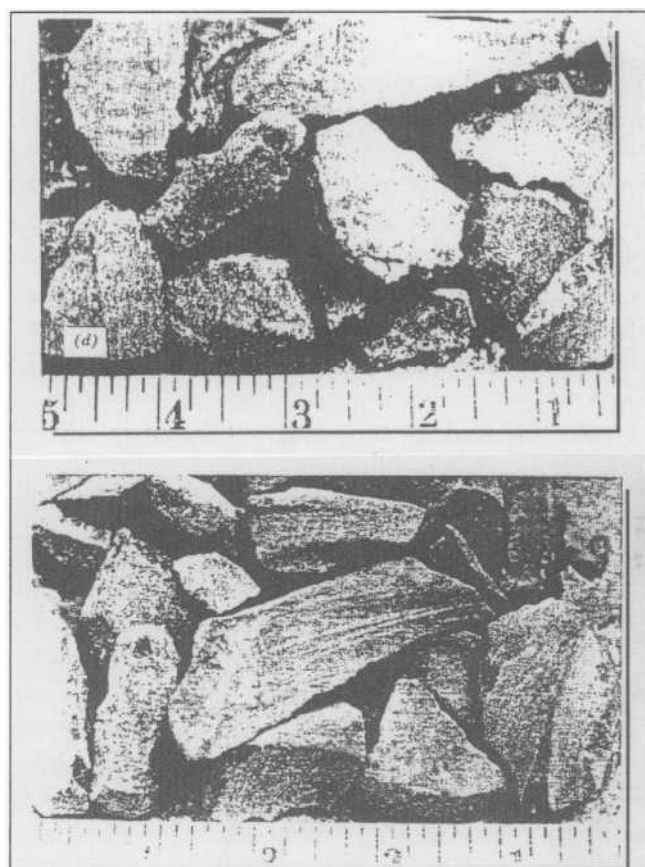


Fig. 1 e 2 - Materiale inerte impiegato nelle prime pavimentazioni drenanti per piste aeroportuali

sono state effettuate in Olanda, Francia e Spagna, seguendo uno sviluppo indicato in Fig. 3.

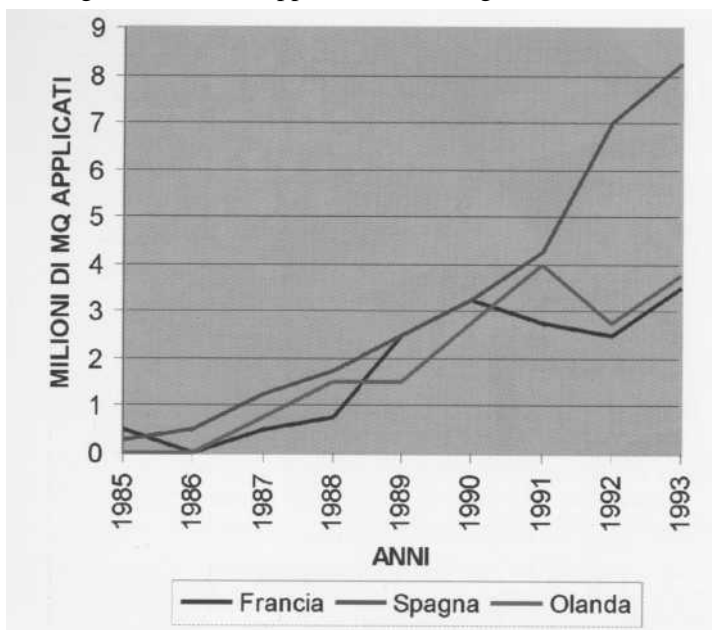


Fig. 3 - Applicazioni di pavimentazioni drenanti in Europa

In Francia le pavimentazioni drenanti si sono sviluppate a partire dalla metà degli anni ottanta. In queste prime esperienze gli inerti utilizzati erano per lo più a granulometria discontinua del tipo 0-14 o 0-10 mm, con una percentuale di sabbia di circa il 15 %, una percentuale di fine totale del 4 %, una percentuale di bitume compresa tra il 4,5 e 5,5 % in relazione al tipo di bitume utilizzato ed alla percentuale di frazione passante al setaccio con maglia di apertura di 5 mm. Le principali caratteristiche fisiche ed idrauliche di questi conglomerati bituminosi, subito dopo la loro posa in opera, erano:

- percentuale dei vuoti intorno al 20 %;
- velocità media di permeazione di circa 1,2 cm/s.

Questo tipo di pavimentazione mirava all'eliminazione del fenomeno *dell'aquaplaning*, già detto, e della proiezione di minuscole particelle solide, formanti una nube al seguito del veicolo, determinando una riduzione di visibilità per i conducenti dei veicoli accodati e notevole stress di guida. Pertanto, obiettivo principale era quello di assicurare idonei livelli di sicurezza e di comfort di marcia, anche in presenza di condizioni meteorologiche avverse.

Le prime applicazioni, inoltre, evidenziarono che queste pavimentazioni erano anche fonoassorbenti, (una riduzione media di circa 3 dB), riducendo notevol-

mente l'energia acustica finale emessa da una corrente veicolare.

L'esperienza di campo però dimostrò anche i seguenti inconvenienti:

- la capacità drenante di queste pavimentazioni degradava piuttosto rapidamente nel tempo per effetto della occlusione dei vuoti intergranulari con particelle solide provenienti sia dall'usura della stessa pavimentazione sia da quella dei pneumatici degli autoveicoli e sia per cause accidentali;
- l'elevata porosità, necessaria per assicurare una buona capacità drenante, spesso determinava insufficienti caratteristiche meccaniche del conglomerato risultante, soprattutto per la scarsa capacità legante dei bitumi utilizzati;
- difficoltà di manutenzione di questi tipi di pavimentazioni, in particolare riguardo alla capacità drenante. I tentativi effettuati nei vari Paesi europei per conservare nel tempo le caratteristiche drenanti iniziali (lavaggio con getti d'acqua in pressione, o la termorigenerazione) non sempre fornivano risultati soddisfacenti;
- facilità di formazione di superfici ghiacciate nella stagione invernale, in relazione alla minore temperatura (circa due o tre °C in meno) rispetto ad un conglomerato bituminoso tradizionale con conseguenti maggiori oneri di gestione per le quantità di sale antigelo da spargere;
- maggiori costi unitari rispetto ai conglomerati bituminosi tradizionali.

L'esperienza francese citata evidenziò che la perdita di permeabilità nel tempo era molto rapida. Dopo 2 anni e mezzo la velocità di permeazione si era dimezzata (circa 0,6 cm/s, Fig. 4) e dopo quattro anni si era ridotta ad un quarto (0,3 cm/s)

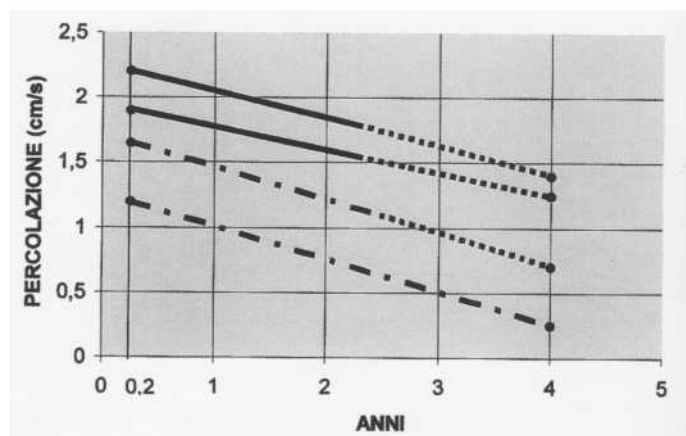


Fig. 4 - Perdita di permeabilità

Inoltre nei primi due anni di vita si verificarono anche ammaloramenti superficiali sotto forma di distacco dei granuli litici dalla superficie, la cosiddetta sgranatura superficiale. Questi primi parziali insuccessi sono da attribuire sia alle caratteristiche fisico-chimiche dei bitumi utilizzati, aventi insufficiente potere legante, sia alla composizione della miscela degli inerti.

2. Aspetti strutturali

Lo schema strutturale di una pavimentazione drenante differisce da quello di una pavimentazione tradizionale soltanto per gli ultimi due strati superficiali (Fig. 5 e 6).

Lo strato impermeabile posto immediatamente al di

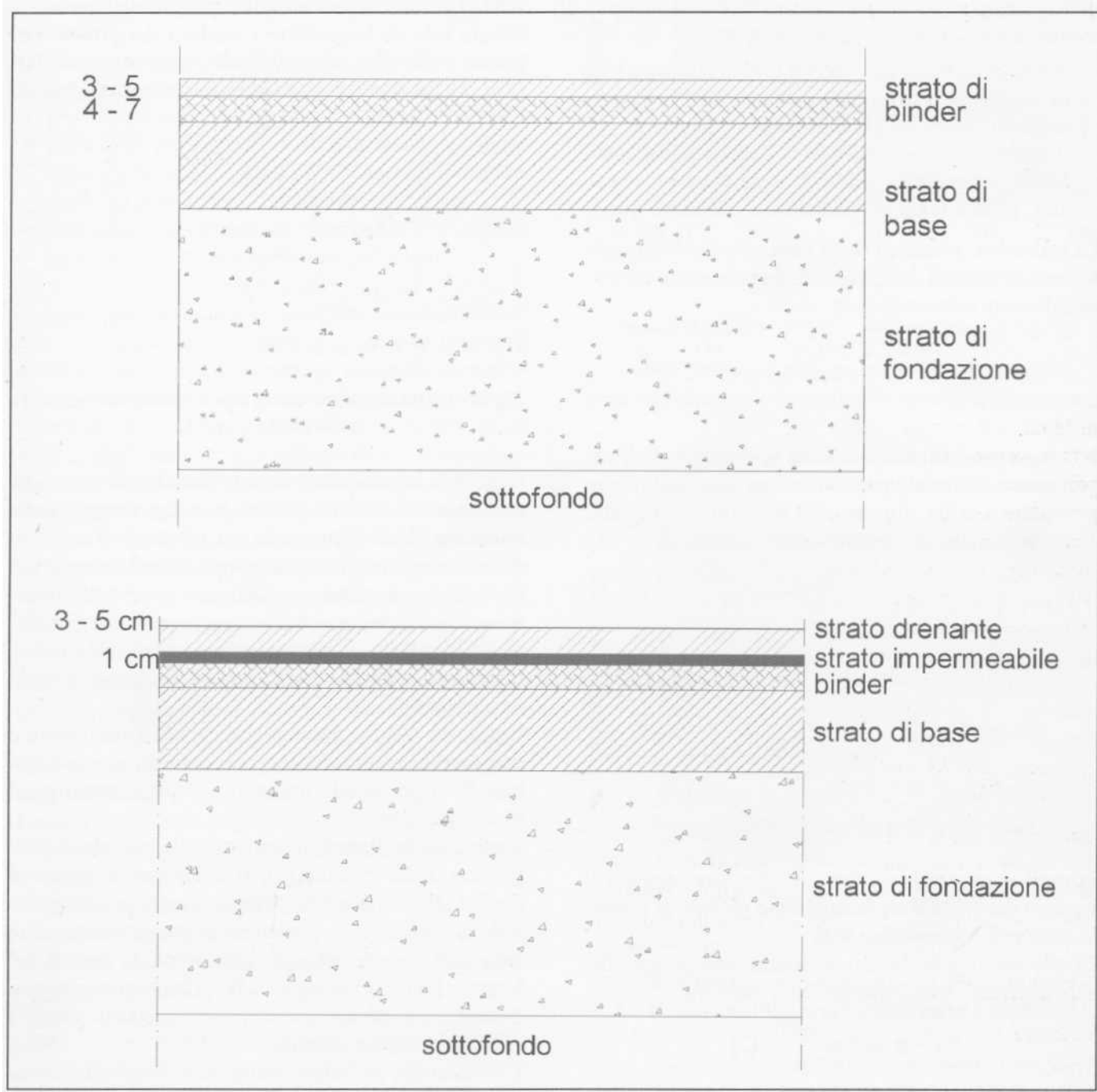


Fig. 5 e 6 - Schema strutturale di una pavimentazione convenzionale (sopra) e di una drenante (sotto)

sotto dello strato superficiale, drenante, è costituito da una malta bituminosa chiusa, con lo scopo evidente di impedire percolazioni di acque negli strati portanti della pavimentazione, di formare un facile piano di raccolta e scorrimento per le acque di drenaggio e compensare piccole irregolarità superficiali dello strato di binder.

Il comportamento meccanico dell'aggregato lito-bituminoso dello strato drenante dipende dalla complessa interazione di due gruppi principali di fattori:

- il primo direttamente correlato alle caratteristiche dell'aggregato litico (granulometria, stato di addensamento, forma dei granuli, dimensione, ecc.);
- il secondo alle caratteristiche fisico-chimiche del legante bituminoso (composizione chimica, viscosità, potere legante, presenza di additivi, ecc.).

La resistenza intrinseca di un materiale lito-bituminoso, con sufficiente approssimazione può essere espressa dalla nota relazione:

$$\tau = c + \sigma \text{ tang } \varphi \quad (1)$$

assumendo il criterio di rottura di Coulomb-Navier o di Mohr.

Il comportamento meccanico del solo aggregato litico può essere analizzato partendo da un materiale monogranulare avente dimensione massima assegnata. Nella condizione di massimo addensamento (Fig. 7) i

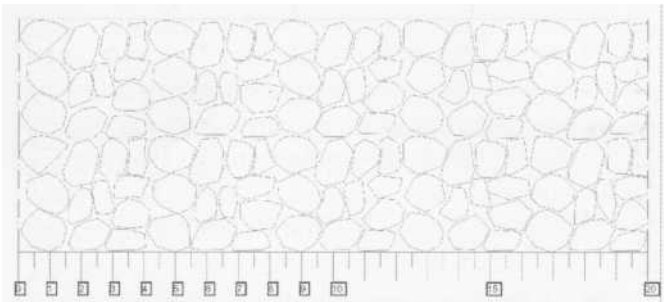


Fig. 7 - Massimo addensamento dei granuli

granuli sono a diretto contatto tra loro, ma sia il numero dei contatti sia la superficie globale di contatto sono relativamente modesti.

In tale condizione le caratteristiche meccaniche del solo aggregato sono espresse dalla relazione:

$$\tau = \sigma \text{ tang } \varphi \quad (2)$$

mentre la porosità è costituita dai vuoti intergranulari, la cui dimensione massima è direttamente proporzionale al diametro dell'inerte, secondo la relazione:

$$\delta = (0,18 - 0,41) D$$

in analogia allo strato di un ammasso di sfere di eguale diametro nella condizione di massimo e minimo addensamento.

Un incremento di resistenza si può ottenere aggiungendo all'inerte monogranulare una certa percentuale di frazione fine (aggregato passante al setaccio n. 4 ASTM, avente apertura della maglia di 5 mm), in misura tale da conservare i contatti dei granuli del grosso e riempire soltanto i suoi vuoti intergranulari (Fig. 8). In tale condizione la miscela di aggregato

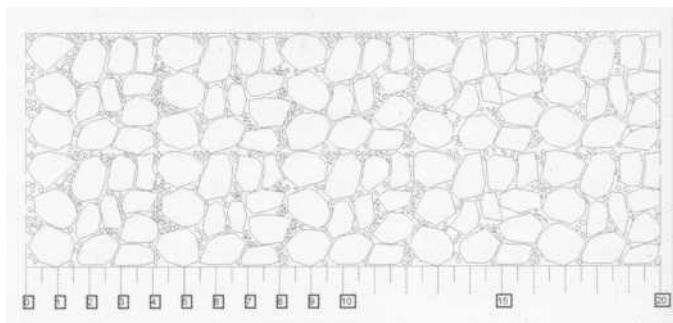


Fig. 8 - Inerte monogranulare con frazione fine aggiunta nella giusta quantità

raggiunge le condizioni di massima densità ed anche di massima resistenza perché la componente φ della relazione (1) si incrementa per effetto dell'aumento della superficie di contatto tra i granuli, mentre la porosità è notevolmente ridotta ma soprattutto diminuisce la dimensione massima dei vuoti intergranulari. Se l'aggiunta di materiale fine supera tale percentuale, esso si interpone tra i granuli del grosso e tende ad allontanarli.

Il peso di volume della miscela tende a decrescere e con esso le caratteristiche meccaniche, senza alcun beneficio per quelle drenanti che peggiorano per i motivi già detti.

L'aggiunta del legante bituminoso alla miscela di inerti attiva, nella formula (1), la componente resistente dovuta alla coesione "c", prima assente perché materiale non coesivo. Il contributo di questa componente sarà direttamente correlato alle proprietà leganti del bitume. I bitumi impiegati nelle prime esperienze non possedevano elevate qualità leganti e questo spiega i parziali insuccessi ottenuti.

L'avvento dei cosiddetti bitumi modificati sta fornendo un contributo significativo alla soluzione del problema. Il conglomerato bituminoso ideale, dal punto di vista drenante, dovrebbe essere realizzato con un

materiale monogranulare avente dimensione massima compatibile con lo spessore da realizzare, mescolato con un bitume modificato capace di conferire al conglomerato stesso caratteristiche meccaniche idonee per resistere alle previste sollecitazioni del traffico. Questo tipo di conglomerato presenta però l'inconveniente di avere una tessitura superficiale molto aperta, direttamente correlata alla dimensione massima dell'inerte impiegato e ciò può dar luogo ai seguenti inconvenienti:

- una scarsa aderenza delle ruote del veicolo per la limitata superficie di contatto disponibile;
- una rapida usura dei granuli superficiali, per cui è necessario utilizzare un materiale molto resistente all'usura del tipo basalto. I nostri materiali calcarei risultano poco idonei allo scopo;
- una possibile sgranatura superficiale per insufficiente potere legante del bitume utilizzato.

Pertanto, per realizzare un conglomerato bituminoso con caratteristiche strutturali e drenanti ottimali occorre, come detto, utilizzare un materiale monogranulare, resistente all'usura, avente la dimensione massima compatibile con lo spessore da realizzare ed un legante che conferisca alla miscela livelli di resistenza compatibili con le sollecitazioni indotte dal traffico. Va utilizzato un bitume modificato con polimeri (elastomeri e plastomeri) e all'aggregato monogranulare va aggiunta una certa quantità di sabbia tale da non occludere completamente i vuoti intergranulari del grosso, per conservare buone caratteristiche drenanti ma raggiungendo nel contempo livelli di resistenza meccanica compatibili con le sollecitazioni del traffico. Qualche anno fa è stata effettuata una sperimentazione nel laboratorio del Dipartimento di Vie e Trasporti del Politecnico di Bari, i cui risultati si espongono brevemente.

I materiali utilizzati (Fig. 9) sono i seguenti:

- pietrischetto basaltico con pezzatura 15-20 mm;
- graniglia basaltica 10-15 mm;
- sabbia calcarea frantumata 0-5 mm;
- sabbia silicea lavata 0-7 mm;
- bitume modificato del tipo 80/100 con l'aggiunta del 4 % di SBS.

Con tali materiali è stata confezionata una miscela costituita dall'80 % di grosso e 20 % di fino (frazione 0-5 mm). La relativa curva è riportata nella Fig. 10. La percentuale ottimale di bitume, determinata con la prova Marshall, è intorno al 3,5 % in peso rispetto agli

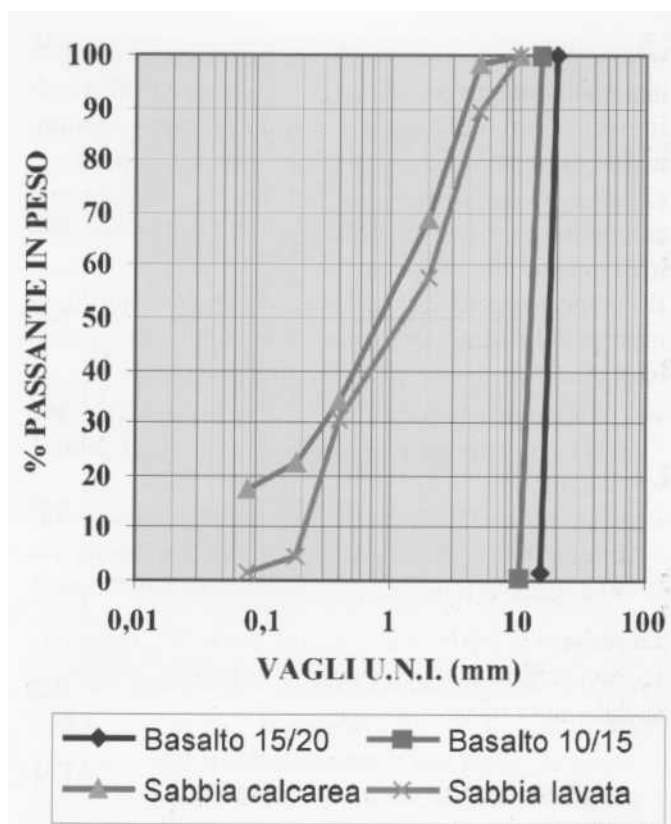


Fig. 9 - Curve granulometriche degli aggregati

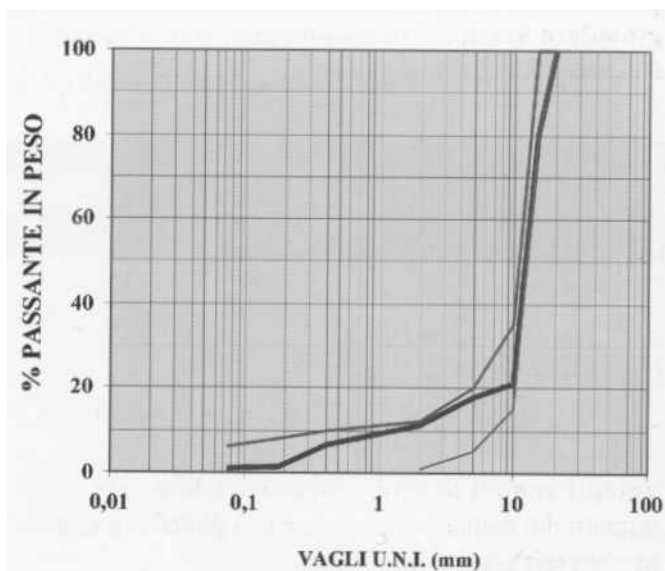


Fig. 10 - Curva granulometrica per il drenante avente bitume modificato (4 % SBS) come legante

inerti (Fig. 11). È stata determinata anche la capacità drenante mediante prove di permeabilità a carico costante, ottenendo un valore della costante di Darcy $k = 0,10 \text{ cm/s}$; è stata, inoltre, valutata la porosità effi-

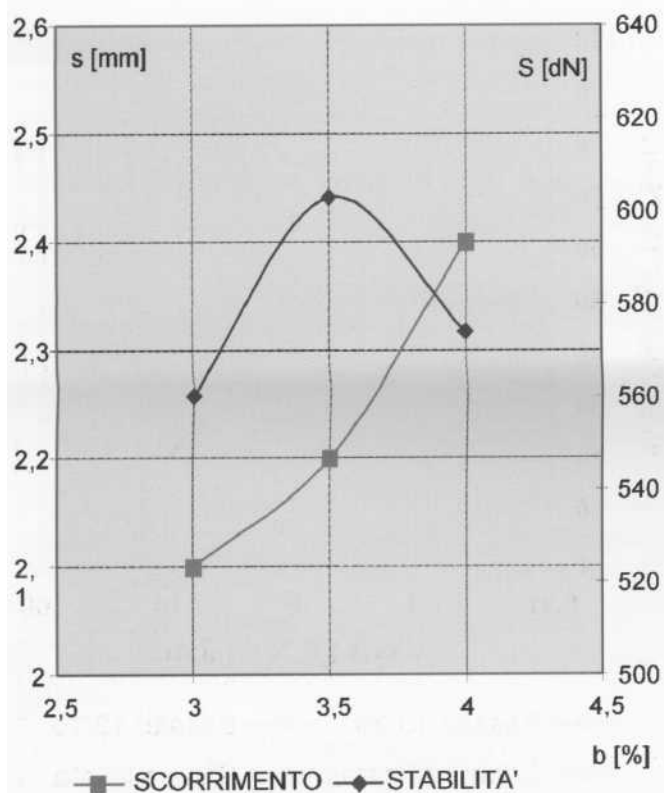


Fig. 11 - Percentuale ottimale di bitume (in ascissa), calcolata sulla base della stabilità Marshall (ordinata di destra) e dello scorrimento (ordinata di sinistra)

cace, cioè la percentuale dei vuoti comunicanti, che è risultata pari a circa il 20 %, mediamente inferiore a quella totale del 2,8 %.

È stato inoltre tentato un primo approccio per la valutazione della dimensione massima dei canalicoli intergranulari, facendo passare attraverso ciascun provino una certa quantità di materiale fino monogranulare. Sono state utilizzate le seguenti frazioni:

- passante al setaccio 0,074 mm;
- frazione con diametro medio 0,11 mm;
- frazione con diametro medio 0,22 mm;
- frazione con diametro medio 0,44 mm;
- frazione con diametro medio 0,88 mm.

I risultati ottenuti evidenziarono che il diametro medio dell'intera rete dei canalicoli era superiore a 0,11 mm ma inferiore a 0,88 mm.

Pertanto il conglomerato drenante progettato rispondeva alle prescrizioni dei capitolati (ANAS e Autostrade) per le caratteristiche di resistenza, ma è probabile che le caratteristiche drenanti non avrebbero avuto lunga durata in relazione alle dimensioni dei canalicoli intergranulari.

L'esperienza francese nel tempo, sintetizzata nella Tab.1, conferma quanto in precedenza esposto.

Tab. 1 - Caratteristiche dei drenanti delle prime generazioni confrontate con quelle dei drenanti ad alta porosità

BBDr	1 ^a generazione	2 ^a generazione	alta porosità
% sabbia (passante a 2 mm)	15	da 10 a 13	da 4 a 8
V ₄₀ %	da 18 a 22	da 22 a 26	da 26 a 32
V ₂₀₀ %	da 14 a 18	da 20 a 24	da 28 a 32
% vuoti (misurati col densimetro a raggi γ)	19	22	da 25 a 30
Permeabilità (in cantiere) V _p (cm/s)	da 0,6 a 0,8	da 1,0 a 1,5	da 2,0 a 3,5

Essa evidenzia che dai conglomerati drenanti della prima generazione contenenti una percentuale di sabbia del 15%, si è passati a quelli attuali in cui la sabbia è stata del tutto eliminata, conseguendo incrementi di porosità del 10% circa e valori di permeabilità tre volte superiori. Ciò è stato possibile utilizzando bitumi con maggiore potere legante, ottenuti incrementando la percentuale di modificante aggiunta al bitume.

3. Aspetti funzionali

L'impiego dei conglomerati drenanti migliora decisamente le condizioni di sicurezza della circolazione stradale in relazione ai seguenti aspetti:

- riduzione del rischio di *aquaplaning*;
- miglioramento delle condizioni di visibilità;
- riduzione del livello del rumore prodotto nella banda delle frequenze medio alte;
- miglioramento delle caratteristiche di aderenza sul bagnato.

Per quanto attiene il primo aspetto, l'allontanamento rapido dell'acqua di ruscellamento dalla superficie stradale, assorbita dalla pavimentazione, riduce notevolmente il rischio *dell'aquaplaning*, che consiste in una improvvisa e totale perdita di aderenza dell'autoveicolo e conseguente perdita del controllo di guida da parte del conducente. Questo fenomeno si attiva durante la marcia di un autoveicolo quando si interpone tra pneumatico e pavimentazione stradale un velo liquido. Esiste una velocità di soglia per l'attivazione del fenomeno che è funzione dei seguenti principali parametri:

- spessore del velo liquido;
- caratteristiche reologiche del liquido;
- disegno e profondità del battistrada;
- peso dell'autoveicolo.

L'allontanamento dell'acqua dalla superficie stradale dipende dalle condizioni idrodinamiche di deflusso all'interno dello strato drenante. La Fig. 12 illustra l'andamento del profilo idrico di deflusso che si instaura in una pavimentazione drenante.

Poiché la portata aumenta dalla mezzeria verso i bordi stradali, va correttamente dimensionato lo spessore della pavimentazione, per evitare che l'acqua fuoriesca in superficie lungo le fasce laterali, con grave pericolo per la sicurezza di circolazione. Analoga verifica va fatta per le livellette con pendenza longitudinale

superiore a quella della sezione trasversale, per la possibilità che l'acqua di drenaggio, prima di essere allontanata lateralmente, fuoriesca lungo la strada. Infine va notato che l'attuale configurazione delle sezioni stradali tipo, generalmente non prevede la raccolta laterale delle acque di drenaggio, ma il loro ruscellamento lungo il bordo laterale, come per le pavimentazioni tradizionali.

Pertanto le sezioni trasversali tipo vanno ripensate con le necessarie integrazioni che prevedano la raccolta e l'allontanamento delle acque di drenaggio dalla sede stradale.

L'assenza del velo liquido di ruscellamento sulla pavimentazione stradale elimina la nube di particelle liquide che l'autoveicolo solleva durante la sua marcia, migliorando la visibilità ai veicoli accodati o in fase di sorpasso.

Il livello sonoro generato da una corrente veicolare è il risultato di due fenomeni simultanei e di segno opposto. Il primo, che genera rumore, è direttamente correlato alla tessitura superficiale della pavimentazione (maggiore rugosità uguale maggior rumore); il secondo, che assorbe rumore, è correlato alla permeabilità dello strato superficiale. Inizialmente, con buone condizioni drenanti, a parità di rugosità, prevale la riduzione del rumore (di circa 3 dB) col passare del tempo però si occludono i canalicoli drenanti, così che l'effetto attenuante del rumore scompare e prevale la componente del rumore dovuta alla rugosità. In effetti, allo stato attuale delle conoscenze, è notevolmente complesso valutare in sede progettuale il livello sonoro iniziale di una pavimentazione drenante ed ancor più la sua evoluzione nel tempo. Interessante è l'esperienza francese sull'autostrada A63; sono state prese in considerazione per otto anni due tratte inizialmente con lo stesso livello sonoro e due tratte con un livello sonoro che differiva di circa 5 dB. Dopo un certo tempo le due tratte con lo stesso livello sonoro hanno mostrato una differenza di 3 dB mentre le altre due hanno raggiunto lo stesso livello. In definitiva, per quanto attiene alla rumorosità di una pavimentazione drenante, si possono fornire soltanto le seguenti indicazioni:

- evitare l'impiego di inerte avente dimensione massima superiore ai 20-25 mm, per limitare i valori della macrorugosità ;
- ridurre o eliminare la percentuale di sabbia nella miscela di inerti per migliorare le qualità drenanti;
- non realizzare bassi spessori con inerti aventi una

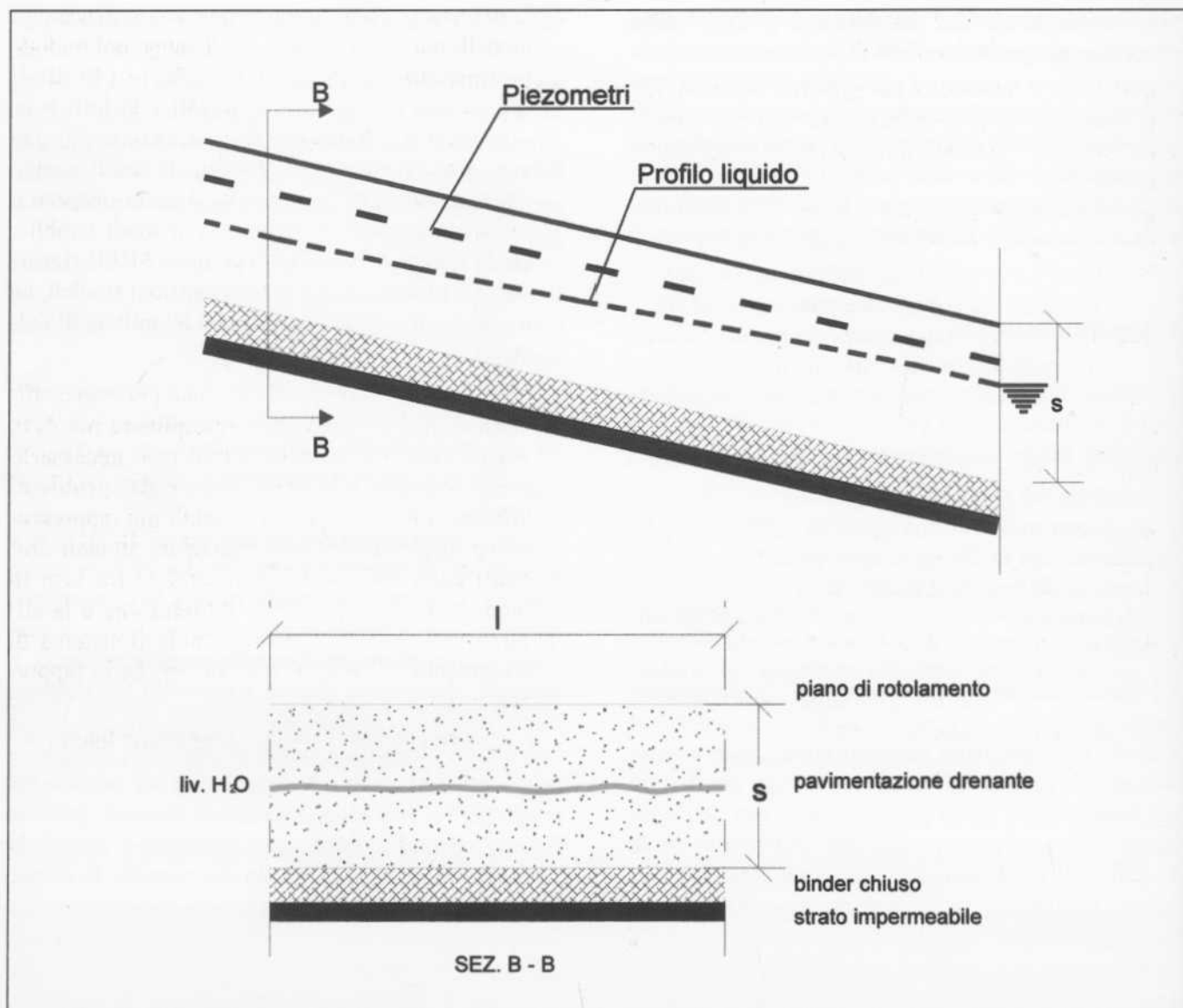


Fig. 12 - Andamento del profilo idrico di deflusso dell'acqua in una pavimentazione drenante

dimensione massima maggiore o uguale alla metà dello spessore da realizzare (ad es. $D_{max} = 10-14$ mm per uno spessore di 20 mm);

- realizzare spessori consistenti ($s > 4$ cm) per migliorare la fonoassorbenza e conservarla nel tempo;
- utilizzare bitume modificato ad alto potere legante, cioè ad alta percentuale di modificante.

Il fattore "aderenza" in una pavimentazione drenante segue anch'esso una evoluzione temporale che mediamente è la seguente:

- inizialmente i valori medi sono relativamente modesti perché il contatto ruota-strada avviene mediante la pellicola di legante che ricopre l'inerte;
- trascorso un certo tempo la pellicola si usura ed il contatto ruota-strada avviene con la superficie dell'inerte. I valori dell'aderenza migliorano notevolmente e raggiungono i valori massimi;
- l'effetto del traffico usura anche la superficie dell'inerte perciò la durata di valori elevati di aderenza è direttamente correlata alla resistenza all'usura dell'inerte impiegato nel conglomerato bituminoso.

Infine è recente la realizzazione di pavimentazioni drenanti costituite da due strati drenanti:

- quello sottostante realizzato con un materiale litico grosso quasi monogranulare miscelato con bitume modificato, avente funzione drenante e fonoassorbente;
- quello superiore realizzato con un materiale litico non superiore a 10 mm a bassa percentuale di sabbia, miscelato con bitume modificato, per conseguire una rugosità superficiale medio-bassa e limitare i livelli sonori, conservando buone caratteristiche drenanti e di aderenza superficiale.

4. Conclusioni

Una possibile conclusione per poter sintetizzare lo stato attuale del settore "pavimentazioni drenanti", ma soprattutto i suoi futuri sviluppi è la seguente:

- a) alcuni aspetti strutturali e funzionali sono sufficientemente noti, altri sono in fase di sperimentazione (fonoassorbenza), altri ancora del tutto sconosciuti (altre variabili ambientali);

- b) le ricerche progettate nelle università utilizzando i modelli più avanzati disponibili vanno poi tradotte in esperienze di campo per verificare i livelli di affidabilità dei modelli utilizzati e la loro congruenza con il fenomeno reale in esame. Ciò può avvenire o mediante collaborazioni con il mondo delle imprese e delle pubbliche Amministrazioni o mediante appositi stanziamenti di fondi pubblici per la ricerca. Negli USA il progetto SHRP, riguardante il problema delle pavimentazioni stradali, ha usufruito di uno stanziamento di 50 milioni di dollari;

- c) la ricerca, allo stato attuale non può più essere efficacemente svolta a livello disciplinare ma deve essere multidisciplinare. Ciò è reso necessario dalla "complessità" che emerge dai problemi affrontati. Ad esempio, le variabili più rappresentative riguardanti le pavimentazioni stradali drenanti sono numerose ed interrelate tra loro in modo sistemico, per cui la introduzione o la eliminazione di una di esse cambia il sistema di riferimento e l'insieme dei modelli che lo rappresentano.

Queste, in breve sintesi, le sfide del prossimo futuro.