

# UTILIZZAZIONE DELLA PRESSA GIRATORIA PER LA FORMULAZIONE DI MISCELE BITUMINOSE DRENANTI

**BRUNO CRISMAN**  
**ROBERTO ROBERTI**

Dipartimento di Ingegneria Civile - Università di Trieste  
Dipartimento di Ingegneria Civile - Università di Trieste

## SOMMARIO

Il mix-design di conglomerati bituminosi di tipo drenante deve porsi come obiettivo principale la realizzazione di miscele in grado di assicurare, per tutta la vita utile della sovrastruttura, un'elevata percentuale di vuoti tale da garantire un'efficace capacità drenante.

Per la progettazione di queste miscele si utilizzano i metodi tradizionali, che prevedono il controllo delle qualità fisiche e meccaniche di provini addensati in laboratorio con l'apparecchiatura Marshall, ed il confronto con campioni prelevati in sito dopo la stesa. La modalità di addensamento Marshall, concettualmente così diversa dall'addensamento che avviene durante la stesa e da quella successiva dovuta ai carichi da traffico, rende difficile tale comparazione. In particolare risulta impossibile simulare in laboratorio, con questa metodologia, l'evoluzione della percentuale dei vuoti residui durante la vita utile della sovrastruttura.

Per cercare di superare queste problematiche, presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Trieste, è stato realizzato un primo studio, su una miscela drenante, mediante il compattatore giratorio.

Dallo studio è stato possibile ottenere una correlazione, per le miscele drenanti, delle percentuali dei vuoti ottenuti con il metodo impulsivo (Marshall), con il compattatore giratorio, con il rullo di stesa e con il traffico.

## ABSTRACT

The mix-design of porous bituminous concretes should ensure, for the life cycle of the pavement, high void ratio in order to obtain an opportune permeability.

The traditional methods for the design of these mixtures provide for checking of the physical and mechanical qualities of samples compacted in laboratory with Marshall hammer and the comparison with samples taken in situ during the construction. The modality of Marshall compactation is very different from the compactation during the construction and from the traffic. In particular it is impossible to simulate in laboratory, with this methodology, the evolution of the air void content during the life of the pavement.

In order to exceed these problems, in the Department of Civil engineering of the University of Trieste, has been realized a first study, on one porous asphalt concrete, with giratory compactor. From the study it has been possible to obtain the correlations, for porous asphalt concretes, between air void contents obtained with the impulsive method (Marshall), with the giratory compactor, during the construction and the traffic. It has been able moreover to verify like the shape and the kind of the aggregates is important, for the estimate of the air void content and consequently the permeability.

## **1. INTRODUZIONE**

Il mix-design di conglomerati bituminosi di tipo drenante deve porsi come obiettivo principale la realizzazione di miscele in grado di assicurare, per tutta la vita utile della sovrastruttura, un'elevata percentuale di vuoti tale da garantire un'efficace capacità drenante.

La riduzione di permeabilità in un tappeto drenante è causata principalmente dall'intasamento dei vuoti per la presenza di polveri ed altri agenti esterni e dall'addensamento in sito per il traffico che normalmente, per miscele di buona qualità e correttamente progettate, dovrebbe risultare contenuto o addirittura nullo.

Il problema dell'intasamento può essere risolto con un opportuno programma di manutenzione, mentre la riduzione della percentuale dei vuoti dovuta al traffico deve essere necessariamente affrontata già nella fase di progettazione della miscela.

La progettazione di queste miscele segue ancora un approccio tradizionale, che prevede, preliminarmente, uno studio per la formulazione della miscela attraverso valutazioni di alcune proprietà fisiche e meccaniche su provini confezionati in laboratorio con la modalità di addensamento Marshall, seguito da verifiche della percentuale dei vuoti su campioni prelevati in sito dopo la stesa, e da controlli della permeabilità. La modalità di addensamento Marshall, di tipo impulsivo, concettualmente così diversa dall'addensamento che avviene durante la stesa e da quello che potrebbe verificarsi successivamente per effetto dei carichi da traffico, rende difficile tale comparazione. In particolare risulta impossibile simulare in laboratorio, con questa metodologia, l'evoluzione della percentuale dei vuoti residui durante l'esercizio della sovrastruttura.

Per cercare di superare queste problematiche, presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Trieste, viene presentato un primo studio, su una miscela drenante utilizzata per il rifacimento del tappeto di un importante asse stradale nella provincia di Trieste, partendo dalle consuete misure e controlli previsti in questi casi dai Capitolati stradali. Per comprendere meglio il comportamento della miscela nella fase di stesa, e durante l'esercizio viene verificata l'addensabilità con l'utilizzo della pressa giratoria.

L'indagine sperimentale ha voluto preliminarmente individuare l'influenza di alcuni parametri della prova, quali la temperatura e la dimensione dei provini, sulla qualità della compattazione, nonché verificare il comportamento della miscela al variare della percentuale di legante.

Nella seconda parte dello studio si è posto l'obiettivo di confrontare la modalità di addensamento Marshall con quella della pressa giratoria, e verificare il comportamento della miscela durante la stesa e dopo due anni di apertura della strada al traffico.

La sperimentazione, effettuata per il momento su una sola miscela drenante, dovrà essere necessariamente estesa ad altre miscele con diversa tipologia e composizione degli inerti e del legante in modo da consentire ulteriori verifiche dei risultati ottenuti.

## **2. LA PROGETTAZIONE DELLE MISCELE PER MANTI DI USURA DRENANTI**

La progettazione di miscele per manti di usura in conglomerato bituminoso di tipo drenante parte da presupposti completamente diversi da quelli previsti per i manti di usura chiusi. Infatti, per questi ultimi si va alla ricerca della massima densità e quindi della minor percentuale dei vuoti residui, in modo da limitare le deformazioni permanenti in fase di esercizio ed evitare il rifluimento del legante compatibilmente con

una buona resistenza alla fessurazione per fatica. Per contro, nei manti drenanti si deve garantire soprattutto valori costanti nel tempo della percentuale dei vuoti in grado di conservare la capacità drenante dello strato superficiale prevista inizialmente. Per essi quindi, non solo sarà necessario verificare al momento della stesa, che la percentuale dei vuoti sia tale da garantire un efficace drenaggio, ma anche controllare che durante l'esercizio non avvenga che un'eccessiva riduzione per effetto dei carichi stradali possa compromettere la loro principale funzione. La progettazione di queste miscele dovrà essere necessariamente più accurata e rivolta anche ad individuare l'evoluzione della percentuale dei vuoti nel tempo.

Il procedimento comunemente usato e valido per qualsiasi tipologia di conglomerato bituminoso, prevede la scelta dei materiali, inerti e legante, della composizione granulometrica, e la determinazione della percentuale ottima di legante, in modo da ottenere le migliori proprietà fisiche e meccaniche della miscela. Nei conglomerati bituminosi tradizionali le resistenze meccaniche sono affidate quasi esclusivamente allo scheletro litico: quanto più la curva granulometrica è assortita tanto più numerosi sono i punti di contatto tra gli inerti e quindi più elevata risulta la stabilità; in questo caso il bitume non contribuisce in maniera essenziale a tale funzione. Nei conglomerati drenanti invece, la scelta delle granulometrie discontinue, in cui prevale la frazione più grossa, per realizzare un'elevata percentuale dei vuoti, riduce i punti di contatto tra gli inerti, con conseguente aumento della pressione specifica intergranulare. In questo caso il legante viene chiamato a contribuire in modo decisivo alla stabilità del conglomerato e pertanto deve possedere elevate caratteristiche di adesività, stabilità alle temperature di esercizio e rigidità che i bitumi convenzionali generalmente non hanno e quindi risulta necessario utilizzare bitumi di tipo modificato.

Gli inerti necessariamente dovranno essere di qualità con elevate caratteristiche meccaniche. Ciò si traduce in un'elevata resistenza a compressione, una bassa perdita in peso Los Angeles (< 15-20 %) nonché un elevato coefficiente di levigabilità accelerata (> 0,44-0,50). Inoltre, cosa forse un po' trascurata o messa poco in evidenza, gli inerti dovrebbero provenire da frantumazione ed avere forma poliedrica.

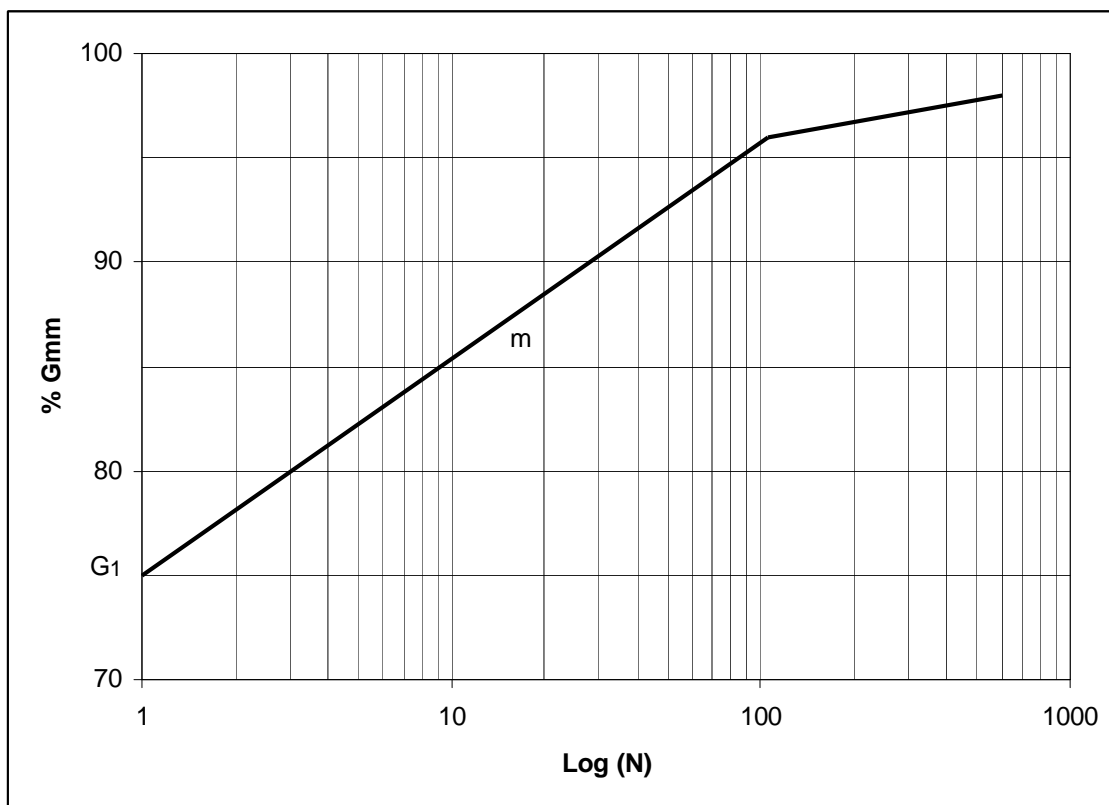
La procedura più diffusa e consolidata di Mix Design per i conglomerati di tipo chiuso si basa sui risultati di una prova convenzionale (Marshall), che fornisce solo indicazioni empiriche sul comportamento del conglomerato in sito. Spesso le miscele progettate con questa metodologia presentano una percentuale di bitume eccessiva con possibili fenomeni di ormaimento sotto un traffico molto intenso. Sulla base di queste osservazioni in alcuni paesi è stata sperimentata la progettazione delle miscele bituminose con i metodi volumetrici. Si è, infatti, visto che un conglomerato con adeguate caratteristiche volumetriche rispetta anche i requisiti di stabilità e rigidità Marshall e contemporaneamente garantisce un buon comportamento in opera, mentre in genere non avviene il contrario.

Il metodo volumetrico più conosciuto è quello SHRP-Superpave che prevede l'utilizzo del compattatore giratorio. Tale apparecchiatura consente di simulare meglio l'azione delle macchine operatrici nella fase di messa in opera e del traffico sulla pavimentazione e, quindi di conoscere il reale comportamento del conglomerato durante la sua vita.

Nel caso di miscele di tipo tradizionale è stato possibile correlare il grado di compattazione al numero di giri della pressa giratoria e quindi ricavare una relazione tra numero di giri e traffico.

Le curve di compattazione, ottenute riportando in ascissa il logaritmo del numero di

giri ed in ordinata la percentuale ottenuta sulla massima densità teorica, sono in genere assimilabili ad una bilatera (Fig. 1). Il primo tratto presenta in genere una pendenza più accentuata ed è di maggior interesse nella progettazione delle miscele in quanto dovrebbe corrispondere alla compattazione durante la posa ed alla post compattazione durante la vita utile della pavimentazione.



**Figura 1 - Curva di compattazione in funzione del numero di giri.**

Questo primo tratto della curva di compattazione ha una relazione analitica del tipo:

$$(\%)G_{mm} = G_1 + m \text{ Log } (N)$$

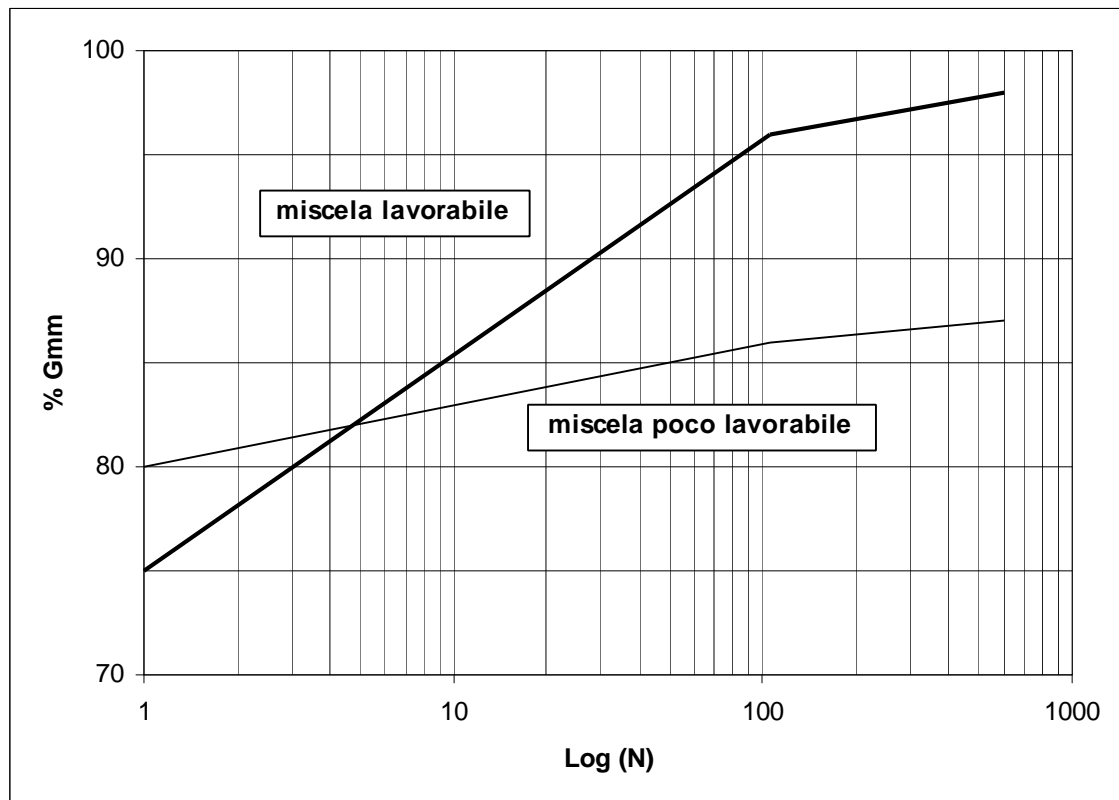
dove  $G_1$  rappresenta il valore in percentuale della densità massima corrispondente ad un giro della pressa giratoria e  $m$  rappresenta la pendenza della retta.

$G_1$  e  $m$  dal punto di vista fisico rappresentano l'addensabilità e la lavorabilità della miscela.

L'addensabilità è legata alle caratteristiche granulometriche degli aggregati ed è tanto maggiore quanto più la granulometria è vicina a quella del massimo addensamento; inoltre l'addensabilità varia con il valore di attrito interno della miscela che risulta molto sensibile alla forma degli inerti.

La lavorabilità dipende dalle caratteristiche e dal contenuto di bitume ed è generalmente maggiore quanto più elevata è la percentuale di bitume.

Per le miscele tradizionali si cerca di avere una bassa addensabilità ed un'alta lavorabilità; in questo modo con pochi passaggi del rullo compattatore si ottengono in sito una percentuale dei vuoti prossima a quel 4 % considerata come ottima per una pavimentazione di questo tipo (Fig. 2).



**Figura 2 – Addensabilità di miscele con caratteristiche diverse.**

Quanto esposto per i conglomerati bituminosi tradizionali ha trovato già ampie conferme nei paesi Europei, in condizioni ambientali e di traffico anche molto diverse da quelle previste dai ricercatori del programma SHARP.

Per quanto riguarda le miscele drenanti, l'elevata percentuale dei vuoti che le caratterizza, ha reso problematica l'applicazione dei metodi classici di progetto che si basano su misure eseguite su provini Marshall. Inoltre la modalità di addensamento dell'apparecchiatura Marshall, così diversa dalla compattazione che la miscela subisce durante la stesa, rende impossibile studi efficaci in laboratorio per la formulazione delle miscele.

E' possibile estendere la metodologia volumetrica SUPERPAVE anche ai conglomerati drenanti?

L'esperienza è ancora limitata anche se i primi risultati sembrano indicare che, pur con qualche accorgimento e limitazione, i metodi volumetrici e l'impiego della pressa giratoria, possono portare vantaggi ancora più evidenti.

Gli studi di addensabilità con la pressa giratoria condotti sulle miscele drenanti con l'obiettivo di valutare l'influenza della tipologia e forma degli inerti, delle caratteristiche meccaniche del legante, della composizione granulometrica e della temperatura di stesa, già ora risultano di fondamentale importanza per garantire il successo di questa tecnologia innovativa nel campo della sicurezza stradale. Inoltre, visto che tali miscele spesso in esercizio evidenziano una diminuzione dei vuoti non solo per intasamento ma anche per effetto dei carichi stradali, non sarebbe utile prevedere tale comportamento sin dal momento del progetto al fine di garantire durante la vita della pavimentazione sempre delle percentuali di vuoti compatibili con la capacità drenante?

A queste domande si è cercato di dare delle risposte con un primo programma di

indagini sperimentali i cui risultati sono riportate in questa nota.

### 3. L'INDAGINE SPERIMENTALE

L'indagine sperimentale ha interessato per il momento una sola miscela drenante progettata con il metodo Marshall e impiegata per il rifacimento del manto di usura di un tratto stradale nella provincia di Trieste interessato da una forte componente di traffico pesante, circa 6500 veicoli leggeri e 2000 veicoli commerciali al giorno e per senso di marcia. L'obiettivo era di verificare l'addensabilità delle miscele drenanti, confrontare le curve con quelle ottenute con le miscele tradizionali e di verificare la possibilità di estendere la metodologia di progettazione SHARP anche a tali miscele.

Un altro aspetto che si voleva indagare era il comportamento delle miscele drenanti nel tempo. Sono stati programmati controlli della percentuale dei vuoti su carote da prelevare immediatamente dopo la stesa e dopo alcuni anni di esercizio della strada e misure di drenabilità in sito, per capire se la riduzione dei vuoti fosse dovuta al naturale ed inevitabile intasamento dei vuoti o anche ad un processo di addensamento per effetto dei forti carichi presenti su quella strada.

La campagna di indagine ha previsto il prelievo di 18 carote dalla pavimentazione in tre sezioni che corrispondevano ai siti oggetto dei prelievi in fase di posa.

Per ogni sito si sono prelevate 6 carote (Fig. 3), tre delle quali sulla corsia di marcia dei mezzi pesanti in corrispondenza dei wheel path ed altre tre carote nella stessa posizione longitudinale ma sulla banchina.

Negli stessi punti di prelievo delle carote si sono eseguite delle prove di permeabilità con lo scopo di verificare quanto influiva l'occlusione dei vuoti e quanto l'addensamento e quindi il traffico sulla permeabilità.



**Figura 3 - Carote estratte dalla corsia di marcia e dalla banchina.**

### 3.1 I materiali

Sono stati analizzate due miscele: quella drenante utilizzata per il rifacimento del manto di usura del tratto stradale indicato, e una miscela tradizionale per manto di usura utilizzata come confronto.

Il conglomerato drenante, costituito da una miscela di inerti di natura diabasiaca e di legante bituminoso modificato con l'aggiunta di una percentuale di "betaplast" è stato progettato dall'Impresa esecutrice dei lavori con prove di trazione indiretta, di impronta e Cantabro su provini Marshall addensati con 50 colpi per faccia. Le caratteristiche fisiche del legante, degli inerti e della miscela sono riportati nelle tabelle 1 e 2

Le caratteristiche della miscela tradizionale rispondente ai requisiti di accettazione del Capitolo ANAS sono riportate nelle tabelle 3 e 4. Nella figura 4 sono evidenziate le composizioni granulometriche delle due miscele.

Viscosità di fusione a 190 °C	Palla - anello	Penetrazione a 25 °C	Punto di rottura Frass
7850 mPas	101 °C	25 dmm	- 28 °C

**Tabella 1 – Caratteristiche polimero per modifica.**

Palla - anello	Penetrazione a 25 °C	Punto di rottura Frass	Viscosità din. a 80 °C	Viscosità din. a 160 °C
62 °C	56 dmm	-19 °C	4200 Poise	0,27 Poise

**Tabella 2 – Caratteristiche del bitume modificato.**

Massa volumica della miscela	Percentuale di bitume sugli inerti	Massa volumica del bitume	Massa volumica apparente degli inerti	Percentuale dei vuoti della miscela
2,22 g/cm <sup>3</sup>	4,5 %	1,03 g/cm <sup>3</sup>	2,93 g/cm <sup>3</sup>	18,3 %

**Tabella 3 – Caratteristiche della miscela drenante costipata con il pestello Marshall a 170 °C e 50 colpi per faccia.**

Massa volumica della miscela	Percentuale di bitume sugli inerti	Massa volumica del bitume	Massa volumica apparente degli inerti	Percentuale dei vuoti della miscela
2,368 g/cm <sup>3</sup>	5,6 %	1,02 g/cm <sup>3</sup>	2,743 g/cm <sup>3</sup>	5,9 %

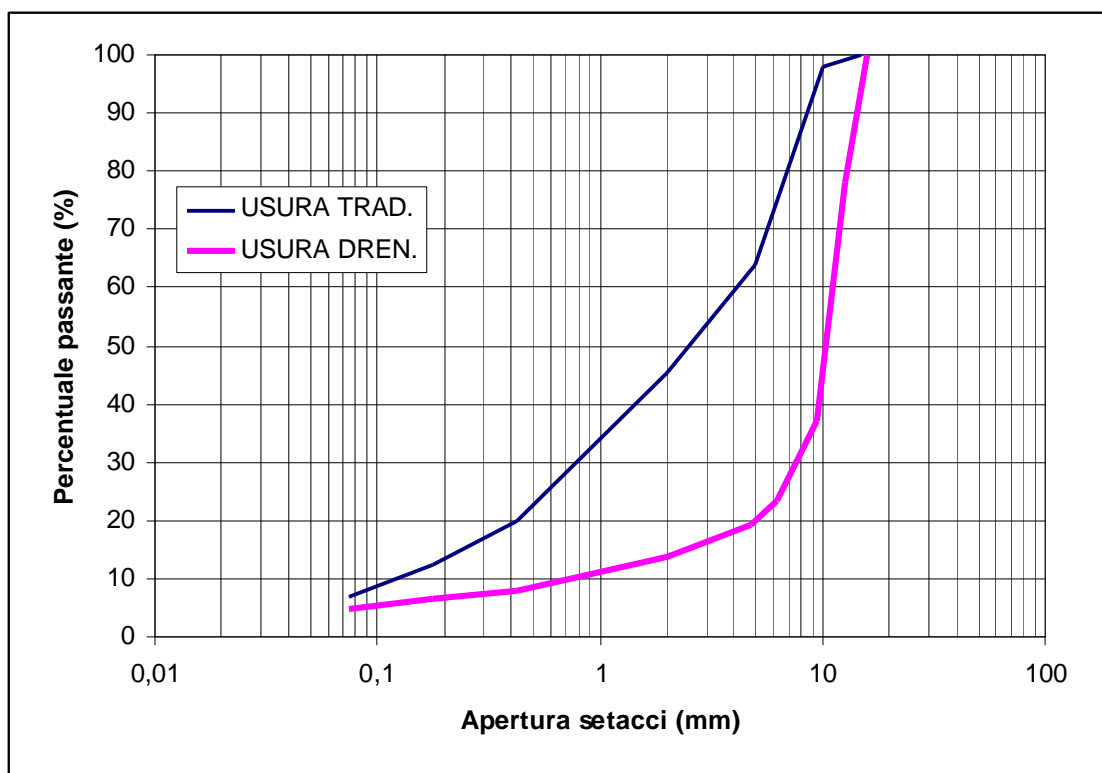
**Tabella 4 – Caratteristiche della miscela tradizionale costipata con il pestello Marshall a 140 °C e 50 colpi per faccia.**

## 4. ANALISI DEI DATI E RISULTATI OTTENUTI

### 4.1. Confronto di addensabilità tra la miscela drenante e quella tradizionale

L'addensamento delle due miscele con la pressa giratoria con i parametri di prova previsti dal programma SHARP è stato spinto fino al limite massimo consentito dall'apparecchiatura, ben oltre la soglia massima (Nmax) di riferimento per le miscele tradizionali per caratterizzare meglio l'addensabilità di tali miscele e individuare eventuali differenze. Le curve sono riportate in figura 5.

Si può notare, a parte l'evidente maggiore addensabilità delle miscele tradizionali rispetto quelle a granulometria discontinua, una netta differenza nella compattazione con cambio della pendenza in corrispondenza di circa 100 giri della pressa.



**Fig. 4 – Granulometrie della miscele.**

Nel primo tratto le due curve hanno un andamento simile, ciò indica un analogo lavorabilità delle miscele. Le miscele drenanti, all'aumentare dell'energia di compattazione continuano ad addensarsi con la stessa legge almeno fino a quando la percentuale di vuoti non scende sotto il 4 - 5 %.

Per verificare questo fatto ed escludere l'influenza di una possibile modifica della granulometria degli inerti, per effetto delle forti azioni meccaniche della pressa, si sono eseguiti dei controlli sugli inerti estratti dopo le prove di compattazione. Si è osservato una lieve modifica della curva con spostamento verso l'alto per una riduzione della quantità delle frazioni più grosse, comunque di entità lieve e non tale da giustificare tale comportamento.

Questi risultati, anche se per il momento ottenuti su una sola tipologia di manto drenante, portano ad una importante riflessione. Se il legante, nonostante le sue elevate caratteristiche strutturali, non sarà in grado di bloccare o limitare, alle temperature ordinarie di esercizio, il processo di addensamento, si rischia di realizzare dei manti che in breve tempo perderanno quella caratteristica per la quale sono stati ideati e per la quale vengono accettati costi più alti: la capacità drenante.

In questo caso, che sembra essere non tanto improbabile, sarà fondamentale nella formulazione granulometrica delle miscele individuare la composizione che dà le migliori garanzie. Questo potrebbe essere raggiunto proprio valutando l'addensabilità di miscele diverse con l'obiettivo di individuare quella che presenta la minore lavorabilità.

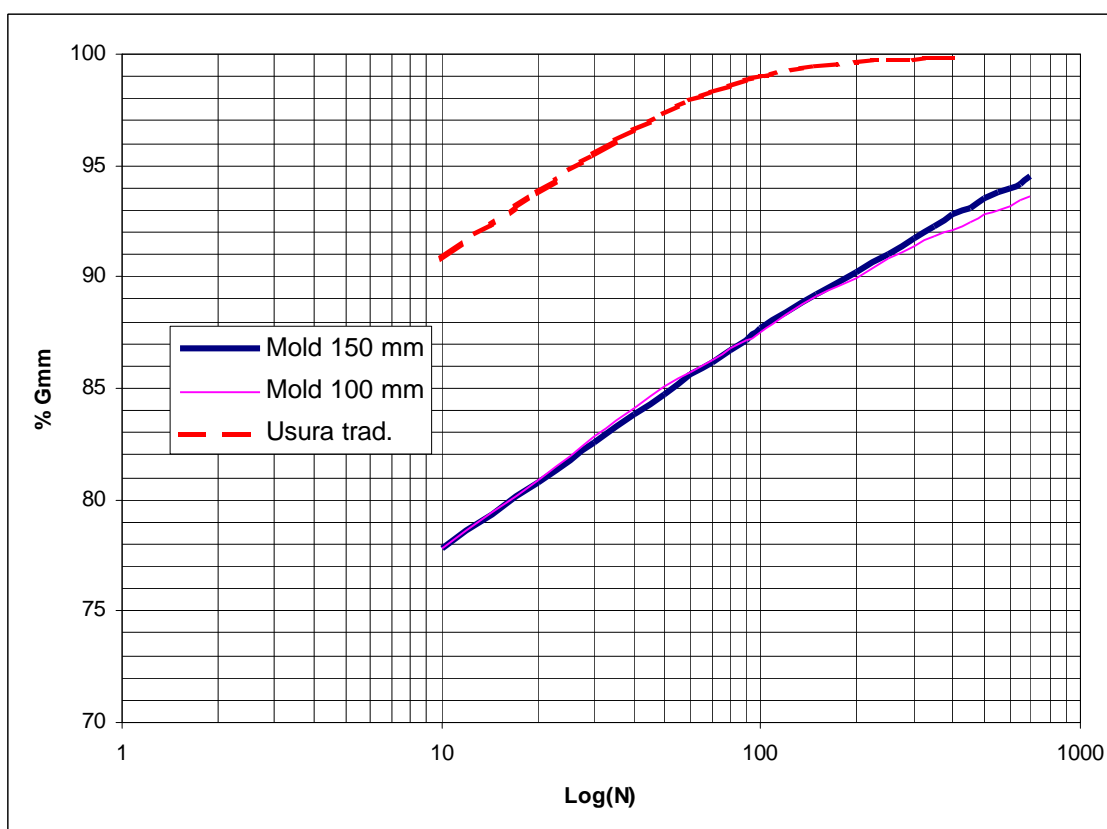


#### 4.2. Parametri della prova.

In questa fase preliminare di studio sul comportamento delle miscele drenanti si è voluto valutare l'influenza di due parametri caratteristici dell' addensamento, la temperatura e il diametro della fustella.

Sono state utilizzate fustelle di diametro di 100 e 150 mm. Dai risultati delle prove riportate in fig.5 si può osservare che la dimensione delle fustelle è ininfluente sull'addensamento, soprattutto se il numero di giri non è elevato.

Le curve di addensamento sono praticamente coincidenti fino ad un numero di giri pari a 300; per energia maggiore si osserva una lieve variazione di circa 1 % in meno di vuoti per la fustella di diametro minore.

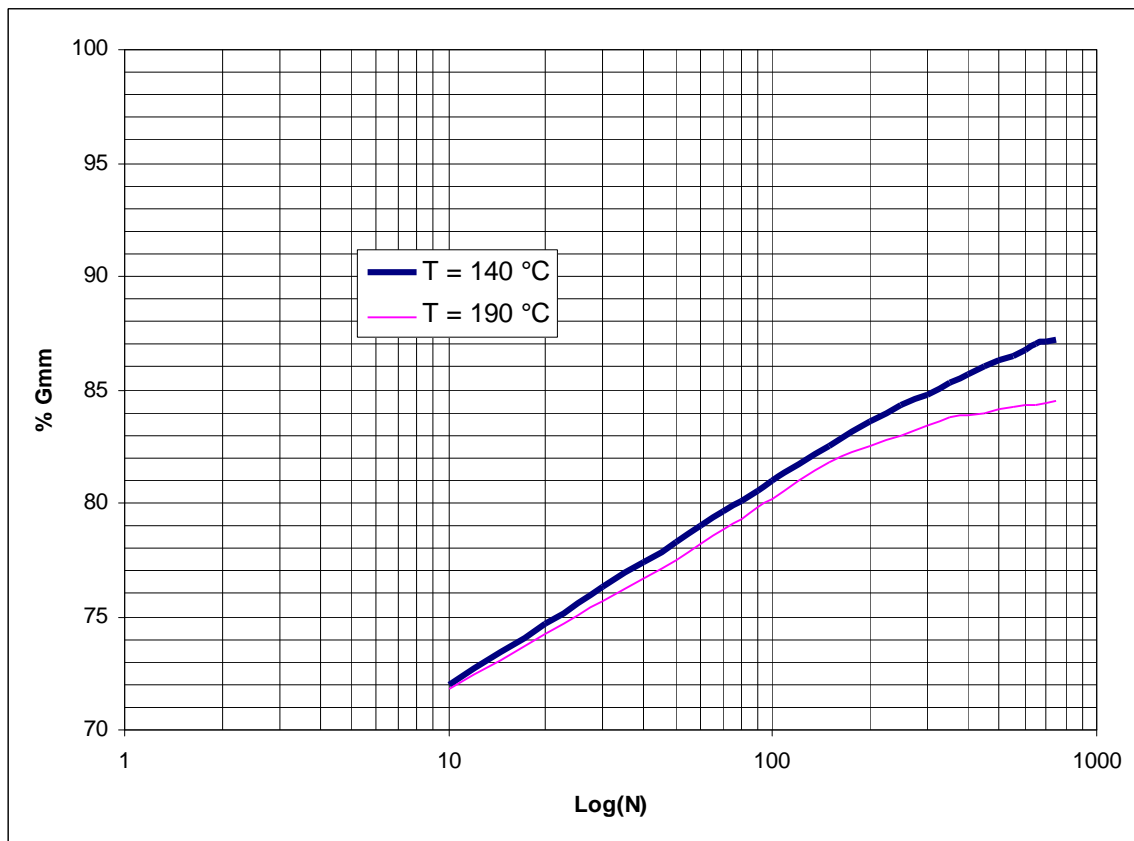


**Figura 5 – Addensamento con pressa giratoria di una miscela drenante con fustelle da 100 e 150 mm di diametro e di una miscela per manto di usura tradizionale.**

Per quanto riguarda la temperatura sono state effettuate prove con valori della temperatura inferiori e superiori a quella normalmente prevista per la stesa (170° C).

Dalla figura 6 si evince che per un numero di giri non elevato la differenza del grado di compattazione è minima se non trascurabile, e questo sembra essere il linea con altri studi effettuati nell'ambito del NCHRP (National Cooperative Highway Research Program).

Per un numero di giri elevato la miscela, ad una temperatura più elevata, si compatta di meno. Questo fatto non risulta facilmente spiegabile per cui si ritiene utile un approfondimento.



**Figura 6 –Addensamento con pressa giratoria al variare della temperatura.**

#### 4.3 - Influenza della percentuale di bitume

Sono state condotte diverse prove di addensamento sulla stessa miscela variando il contenuto di legante. I risultati confermano ciò che anche altri studi hanno dimostrato e precisamente una elevata influenza nell'addensabilità e una lieve quasi trascurabile influenza della lavorabilità (Fig.7).

#### 4.4. Comportamento della miscela in sito e confronto con la modalità di compattazione Marshall

Per verificare il livello di compattazione della miscela nella posa in opera e per cogliere il comportamento della miscela anche durante l'esercizio sono state eseguiti controlli della percentuale dei vuoti su campioni prelevati in sito immediatamente dopo la stesa del tappeto drenante e dopo due anni di apertura della strada al traffico.

I dati ottenuti, e riportati nella tabella 5, hanno evidenziato una percentuale dei vuoti dopo la stesa variabile da 21% a 23 %, valore che scende dopo solo due anni a 12,5 ÷ 13,5 % con una riduzione del 40% dei vuoti. Questo fatto ha comportato una drastica riduzione della capacità drenante della pavimentazione. I tempi di deflusso valutati col permeometro Belga e secondo le norme passano da 15 s a 100 s.

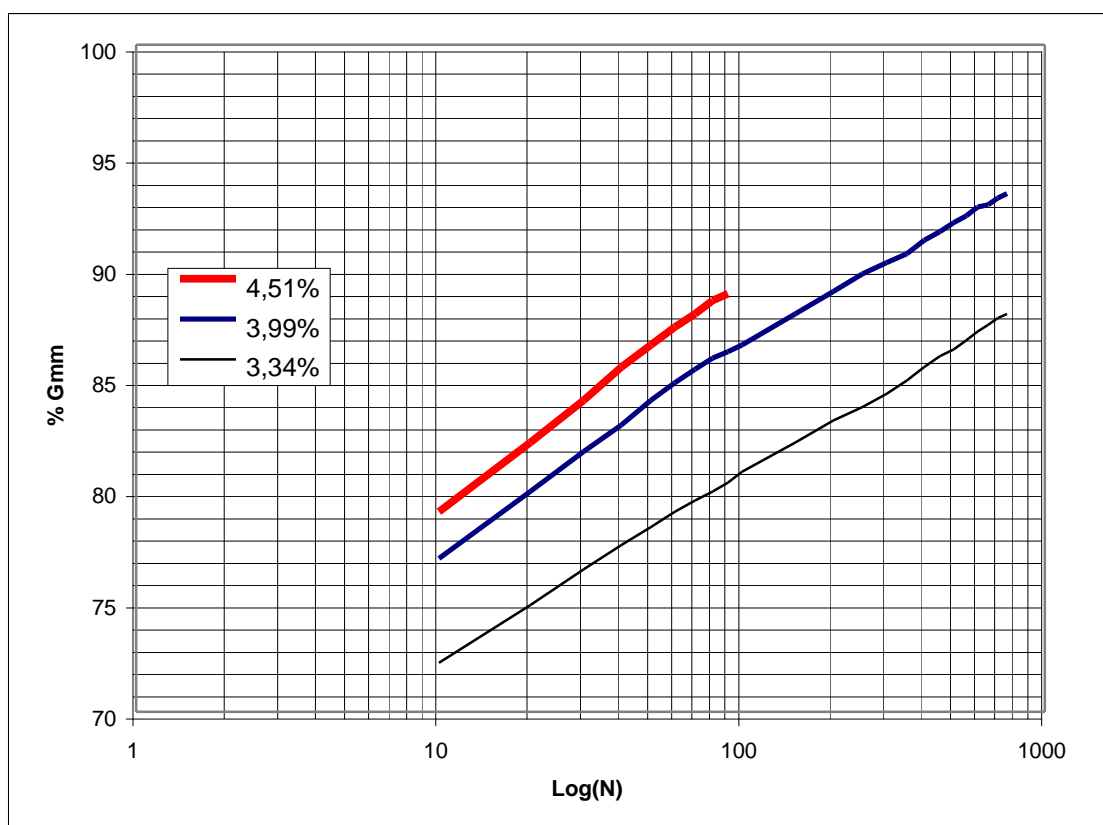
	Valori dopo la stesa	Valori dopo 2 anni Banchina	Valori dopo 2 anni Corsia di marcia
Tempo drenaggio (s)	13	31	96
% vuoti	22	21	13

**Tabella 5. Confronto tempi di drenaggio e percentuale dei vuoti.**

Per escludere che tale effetto possa essere legato all'intasamento si sono effettuate anche misure sulla banchina in corrispondenza delle sezioni di misura.

I dati ottenuti indicano modeste variazioni della percentuale dei vuoti 20 - 21 % e confermano che la forte diminuzione della percentuale dei vuoti riscontrata nelle corsie di marcia è dovuta principalmente all'addensamento per effetto dei forti carichi stradali.

Una ulteriore conferma viene dalle evidenti formazioni di ormaie osservato in alcune sezioni.



**Figura 7 – Addensamento con pressa giratoria al variare della percentuale del legante.**

Un altro interessante aspetto, messo in luce dall'analisi dei campioni prelevati in sito riguarda il comportamento dello strato di impermeabilizzazione e attacco che nelle corsie di marcia risale verso la superficie; anche tale aspetto, di non secondaria importanza, dovrebbe essere valutato in fase di progettazione della sovrastruttura.

Il confronto con la modalità di addensamento impulsivo Marshall ha evidenziato questi risultati:

- I provini Marshall confezionati con 50 colpi per faccia secondo quanto previsto nello studio della miscela e nelle prove di accettazione, mediamente hanno una percentuale di vuoti di 19 % che scende a 14% se l'energia di addensamento passa a 75 colpi per faccia.
- La stessa miscela addensata alla stessa temperatura con la pressa giratoria fornisce le stesse percentuali di vuoti rispettivamente per 20 e 70 giri della pressa.

- I valori delle percentuali di vuoti riscontrate dopo la stesa e dopo due anni di esercizio della strada, rispettivamente pari a 22 % e 13 % corrispondono ad un numero di giri rispettivamente pari a 10 e 170.

I risultati di questa indagine sperimentale hanno consentito di trarre alcune interessanti considerazioni.

Innanzitutto la grande differenza (circa 8 %) dei vuoti tra banchina e corsia di marcia porta a concludere che c'è stato un eccessivo addensamento della pavimentazione questo ha causato un ormaiamento della pavimentazione e soprattutto una riduzione drastica della permeabilità come verificato con le prove in sito.

Il secondo fatto è che la compattazione Marshall non ha consentito di simulare la situazione a lungo termine della miscela, soprattutto con i 50 colpi. Si è verificato, infatti, che l'energia di compattazione di 50 e 75 colpi corrispondeva a percentuali dei vuoti superiori rispettivamente a 6 % e 1 % a di quella ottenuta in sito dopo due anni e quindi molto prima della vita utile che si può stimare per questo tipo di pavimentazioni.

Il terzo fatto che può essere messo in luce è come la pressa giratoria, almeno per questo tipo di miscela, sia in grado di simulare meglio il comportamento della pavimentazione durante la stesa e durante la fase di esercizio.

Non sembra invece ancora possibile fornire una correlazione tra numero di giri della pressa giratoria e traffico reale, per questo tipo di miscele, in primo luogo perché mancano ancora dei dati per periodi più lunghi ed in secondo luogo per il fatto che presumibilmente ogni miscela drenate si comporta in maniera diversa in funzione del tipo di modifica che il legante ha subito.

Questo porta a concludere che, anche le miscele drenanti, per deficienze strutturali del legante e talvolta anche per incuria nella fase di stesa, possono comportarsi in esercizio come le miscele tradizionali con riduzione dei vuoti nel tempo. Con miscele di questo tipo sarà particolarmente utile lo studio volumetrico con l'utilizzazione della pressa giratoria, che può simulare il comportamento durante la vita utile. E' evidente dai dati ottenuti sui provini Marshall che la modalità di addensamento Marshall non è in grado di verificare il comportamento di tali miscele a lungo termine.

## **5. CONCLUSIONI**

Questo studio sull'addensabilità delle miscele di conglomerati bituminosi drenanti condotto presso il Laboratorio prove sui materiali stradali del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Trieste, ha consentito di evidenziare alcuni importanti aspetti connessi con la progettazione e la messa in opera delle miscele drenanti. La progettazione di tali miscele è mirata a garantire durante la vita utile della pavimentazione una percentuale di vuoti compatibile con la sua funzione principale che è la drenabilità delle acque meteoriche. Per raggiungere tale obiettivo vengono utilizzate miscele a granulometria discontinua e leganti "hard" con elevate prestazioni strutturali, che dovrebbero evitare o limitare la diminuzione dei vuoti per addensamento. Questo fatto, come visto, non sempre accade; spesso vengono messe in opera tappeti che continuano ad addensarsi nel tempo. Ciò impone per queste miscele una procedura di Mix design molto più accurata, che non può prescindere da studi di addensabilità con la pressa giratoria simili a quelli previsti dal programma SHARP per le miscele tradizionali. Attraverso l'individuazione delle curve di compattazione si potrà prevedere l'evoluzione della percentuale dei vuoti, non solo durante la stesa al variare dell'energia delle macchine compattatrici, ma anche durante la vita utile per effetto dei carichi stradali. In questo modo sarà possibile individuare come per le miscele chiuse un

numero di giri  $N_{des}$ , associato ad una soglia della percentuale dei vuoti alla fine della vita della pavimentazione, correlato con il numero di passaggi di un asse di riferimento.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] *Superpave Mix design Superpave series No 2 (SP-2)*, Asphalt Institute, USA 1995.
- [2] E. R. Brown, S. A. Cross, *Comparison of laboratory and field density of asphalt mixtures*, NCAT Report 91-1, USA 1991.
- [3] E. R. Brown, M. S. Buchanam, *Literature review: verification of gyrations levels in superpave Ndesign table*, NCHRP document 34 (Project D9-)[1] Final Report, USA 2001.
- [4] R. B. Mallick, M. S. Buchanam, E. R. Brown, M. Hunner, *An evaluation of superpave gyratory compaction of hot mix asphalt*, NCAT Report 98-5, USA 1998.
- [5] P. S. Kandhal, R. B. Mallick, *Design of new generation open graded friction courses*, NCAT Report 99-3, USA 1999.
- [6] D. M. Colwill, G.J. Bowskill, J. C. Nicholls, M. E. Daines, *Porous Asphalt Trials in the United Kingdom*, Transportation Research Record n1427, USA 1993.
- [7] R. J. Cominsky, B.M. Killingsworth, R. M. Anderson, W. W. Crockford, *Quality control and acceptance of superpave designed hot mix asphalt*, NCHRP report 409, USA 1998.
- [8] H.U. Bahia, D.I. Hanson, M. Zeng, H. Zhai, M. a: Khatri,, R. M. Anderson, *Characterization of modified asphalt binders in superpave mix design*, NCHRP report 459, USA 2001.
- [9] C. De Palma, E. Santagata, M. Bassani, *Indagine sperimentale sull'impiego della pressa a taglio giratoria*, Atti convegno S.I.I.V. Pisa 1997.
- [10] A. Bucchini, G. Dondi, A. Bonini, A. Simone, *Microtappeti drenanti con fibre: ottimizzazione con pressa giratoria*. Atti XXIII convegno nazionale stradale AIPCR, Verona maggio 1998.
- [11] F. Moutier, *Prevision de la Compactabilité des enrobés bitumineux a l'aide de la presse a cisaillement giratoire (PCG)*, Bulletin de liaison de laboratorie des ponts at chaussees n 121 sept. Oct. 1982 ref 2472 pp 29-40.