



PROCEDURE DI MIX DESIGN DELLE MISCELE IN CONGLOMERATO BITUMINOSO

Salvatore Cafiso

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (D.I.C.A.)
Università di Catania – V.le A.Doria 6 – 95125 Catania – Italia
Tel:+39.095.7382213
Fax: +39.095.7382247
E-mail: dcafiso@dica.unict.it

Sabina Taormina

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (D.I.C.A.)
Università di Catania – V.le A.Doria 6 – 95125 Catania – Italia
Tel:+39.095.7382215
Fax: +39.095.7382247
E-mail: taormina@dica.unict.it

PROCEDURE DI MIX DESIGN DELLE MISCELE IN CONGLOMERATO BITUMINOSO

SALVATORE CAFISO Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università di Catania.
SABINA TAORMINA Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università di Catania.

SOMMARIO

Le procedure tradizionali di definizione del mix design del conglomerato bituminoso prevedono il riferimento a fusi granulometrici per quanto riguarda la miscela di aggregati e l'utilizzo della prova Marshall per la definizione della percentuale ottima di bitume e il controllo delle caratteristiche volumetriche e meccaniche del conglomerato. Tale pratica è oggi sicuramente la più diffusa in Italia nell'ambito dei lavori di pavimentazione stradale in quanto prevista nei Capitolati Speciali di Appalto dei principali Enti committenti.

I limiti insiti nella modalità di prova hanno da tempo spinto alla ricerca di diverse procedure di controllo della miscela, in grado di riprodurre meglio il comportamento in esercizio del conglomerato e di determinarne le effettive caratteristiche prestazionali. In relazione al primo aspetto, la prova condotta con la pressa giratoria si è oggi affermata come diretta conseguenza della diffusione dei risultati del progetto Superpave.

Prendendo spunto da tali considerazioni, nella presente ricerca sono stati confrontati i risultati ottenuti con le due procedure, utilizzando conglomerati bituminosi per strati di usura confezionati con miscele di aggregati di diversa natura. Infatti, nella Sicilia orientale è diffusa la consuetudine di realizzare conglomerati bituminosi con aggregati basalto/calcarei, a causa della limitata disponibilità e dei costi degli aggregati in grado di soddisfare i valori restrittivi di accettazione in termini di coefficiente Los Angeles (L.A.).

Le indagini effettuate hanno fornito interessanti risultati circa la resistenza strutturale delle miscele in oggetto mettendo, ancora una volta, in evidenza i limiti della procedura tradizionale che può condurre a risultati non soddisfacenti per quanto riguarda l'effettivo comportamento in esercizio del conglomerato.

Abstract

The traditional procedures for the definition of asphalt concrete mix design predict the reference to particle size distribution to concern the aggregates mixture. For the definition of the optimum percentage of asphalt binder and the control of the volumetric and mechanical characteristics of the asphalt concrete, Marshall Tests is usually adopted.

This practice is today the most diffuse in Italy in the mix-design, because it is enclosed in the tender of the principal highway agency.

The limits of the traditional procedure have suggested a new research approach to define a different kind of test for the mixture that can reproduce the characteristics of asphalt concrete in field and define the pavement performance. In relation to the former aspect, as consequence of the diffusion of the Superpave Project, today there is the use of compactor gyratory.

In this research the results obtained with the two procedures have been compared, using

asphalt concrete for wear course with aggregates of different kind.

In fact, in western Sicily, usually asphalt concrete with basalt/calcareous aggregates is realised, because of their limited availability and of the costs of the aggregate with acceptable L.A. values.

The investigations carried out, furnished interesting results about the structural resistance of the mixtures, highlighting the limits of the traditional procedure that conducts to unacceptable results for as concern the performance of the asphalt concrete.

1. INTRODUZIONE

Le prestazioni delle pavimentazioni flessibili in termini di sicurezza stradale sono strettamente condizionate dal comportamento in opera dei conglomerati bituminosi. Questi infatti, sono soggetti ad una progressiva variazione delle proprie caratteristiche meccaniche e funzionali a causa dell'azione degradante indotta sia dal traffico che dagli agenti atmosferici. Conseguenza di ciò sono i numerosi ammaloramenti quali fessurazione, ormaie, avvallamenti e sgranamenti superficiali, levigazione degli aggregati, risalita di bitume per lo strato di usura.

Al verificarsi di tali fenomeni di degrado contribuiscono anche le caratteristiche degli aggregati lapidei poiché essi sono coinvolti nei fenomeni di frammentazione, abrasione e levigazione in funzione delle loro caratteristiche intrinseche e, in funzione della curva granulometrica, nelle caratteristiche meccaniche della miscela.

Nella presente nota sono stati confrontati, tramite la tecnica tradizionale della prova Marshall [1] e la più moderna basata sul Compattatore Giratorio [2] [3], due conglomerati bituminosi per strati di usura realizzati con una miscela di aggregati basaltici e con una miscela di aggregati basalto/calcarei. La seconda è generalmente più utilizzata a livello locale poiché la limitata disponibilità di aggregati in grado di soddisfare i valori restrittivi di accettazione in termini di L.A. [4], comporta un elevato costo di tali aggregati basaltici. Pertanto, si è diffusa la consuetudine, spesso indicata già in capitolato, di utilizzare delle miscele basalto/calcaree che forniscono un valore complessivo di L.A. adeguato.

La necessità di utilizzare la pressa giratoria nasce dai limiti della stessa prova Marshall [5]. Quest'ultima infatti, pur presentando il vantaggio della semplicità di esecuzione, si basa su un tipo di compattazione dei provini sicuramente diversa, in termini di energia di costipamento standard e modalità di costipamento, da quella che si realizza in cantiere all'atto della posa in opera. Inoltre, la stessa stabilità Marshall non riesce a caratterizzare le miscele in termini di resistenza a taglio [6].

I suddetti limiti condizionando la progettazione della composizione delle miscele rischiano di falsare i risultati in termini di prestazioni attese.

2. I MATERIALI

Miscela di aggregati

Per individuare la più opportuna percentuale di calcare da utilizzare nella miscela di aggregati, si è seguita la procedura normalmente adottata, che consiste nell'eseguire varie prove Los Angeles su miscele con percentuali diverse di calcare (70%, 50%, 40%) fino ad ottenere valori in grado di soddisfare le specifiche di capitolato.

I campioni sono stati preparati conformemente alle classi B e C previste dalla norma [7]. I risultati sono riportati nella tabella 1.

Tabella 1 - Risultati delle prove Los Angeles

TIPO DI AGGREGATO	Coefficiente L.A. (%)			
	Prova 1	Prova 2	Media effettiva	Media teorica
Basalto	15,5	17,5	16,5	
Calcare	26,6	25,7	26,1	
Basalto 30% + Calcare 70%	23,5	24,2	23,8	23,2
Basalto 50% + Calcare 50%	21,3	22,0	21,6	21,3
Basalto 60% + Calcare 40%	18,6	20,0	19,3	20,3

Nella tabella la media effettiva è ottenuta dai valori delle prove 1 e 2; la media teorica è stata calcolata, in funzione delle diverse percentuali, in base ai risultati forniti dalle L.A. relative al solo basalto ed al solo calcare.

Bitume

La caratterizzazione del bitume è stata eseguita attraverso la prova di penetrazione e la prova palla-anello [8] [9].

Tabella 2 – Penetrazione e punto di rammollimento del bitume

Penetrazione a 25°C (dmm)	46
Punto di rammollimento (°C)	47

Filler

Per entrambe le miscele è stato utilizzato filler prodotto dalla frantumazione di rocce basaltiche.

3. MIX-DESIGN DEL CONGLOMERATO BITUMINOSO

3.1 Curva granulometrica di progetto

Sono state progettate due miscele di aggregati aventi entrambe la stessa curva granulometrica, compatibili con il fuso del catalogo C.N.R. [10] per strati di usura con dimensione massima degli inerti pari a 15 mm. In particolare, sono state realizzate:

- una miscela di solo basalto (miscela 1)
- una miscela di basalto/calcare (miscela 2), nelle proporzioni: 60% di basalto, 40% di calcare, in modo da soddisfare i valori di L.A. richiesti per i conglomerati per strati di usura in condizioni di traffico pesante (P) [4].

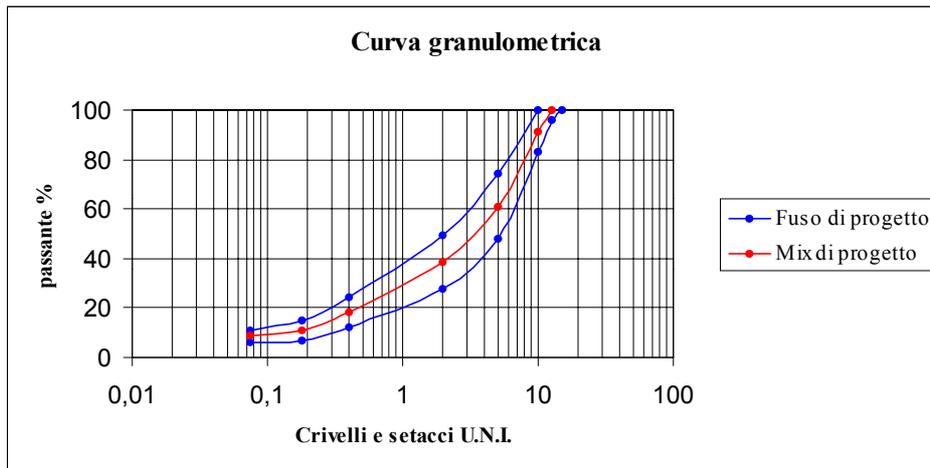


Figura 1 – Fuso e curva granulometrica di progetto

3.2 Misure di stabilità delle miscele, calcolo del contenuto ottimo di bitume

Con la curva granulometrica scelta, sia per la miscela di solo basalto (miscela 1) che per quella di basalto-calcare (miscela 2) sono state eseguite le prove Marshall [1] su conglomerati con diverse percentuali di bitume. I risultati sono riportati nella tabella 3.

Tabella 3 - Risultati della Prova Marshall

%bitume	Stabilità (kN)		scorrimento (mm)	
	Miscela 1	Miscela 2	Miscela 1	Miscela 2
3	14,92	16,66	1,54	1,99
4	18,22	17,152	2,535	2,822
6	8,61	10,1	3,772	5,137

Nelle figure 2, 4 e 6 sono state rappresentate graficamente la stabilità, la rigidezza e la percentuale dei vuoti per entrambe le miscele al variare della percentuale di bitume, inoltre, sono evidenziate le soglie di accettazione previste dal Catalogo Italiano delle Pavimentazioni Stradali, per la pavimentazione di progetto in condizioni di traffico Pesante (tabella 4).

Dall'osservazione dei diagrammi è possibile constatare che le percentuali di bitume che soddisfano contemporaneamente tutte le specifiche, sono rappresentate dagli intervalli:

- Miscela basalto-calcare: 4.7% ÷ 4.9%.
- Miscela basalto: 5.1% ÷ 5.7%

Tabella 4 - Caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali [10]

Traffico	Stabilità (daN)	Rigidezza (Kg/mm)	Bitume (%)	Vuoti residui (%)
PP	≥1080	300÷450	4,5÷6	4÷6
P	≥1080	300÷450	4,5÷6	4÷6
M	≥980	>300	4,5÷6	3÷6
L	≥980	>300	4,5÷6	3÷6

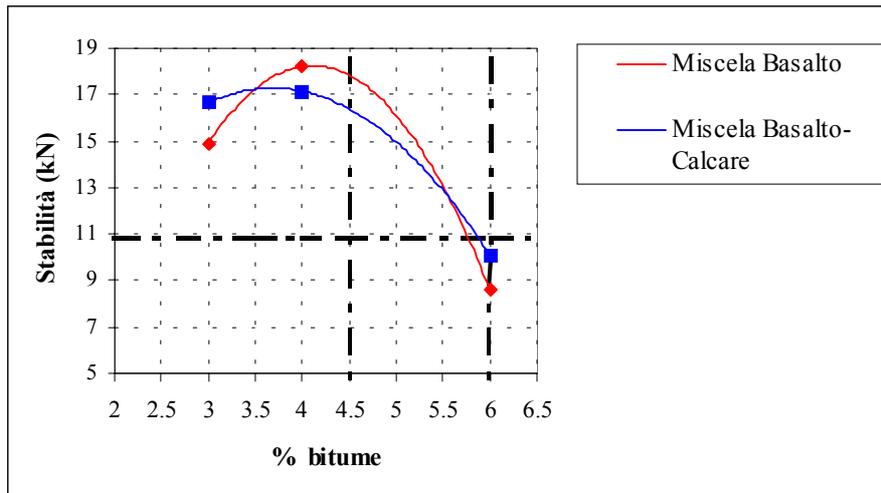


Figura 2 – Valori di stabilità Marshall al variare della percentuale di bitume

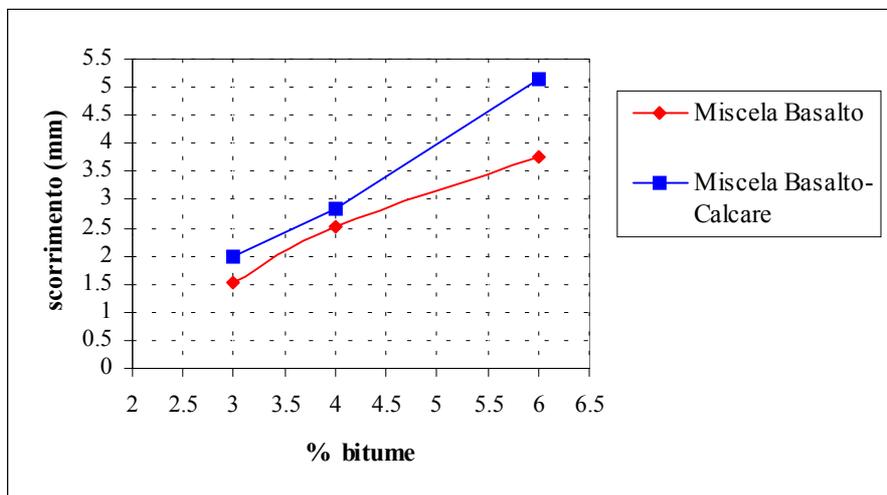


Figura 3 - Valori di scorrimento Marshall al variare della percentuale di bitume

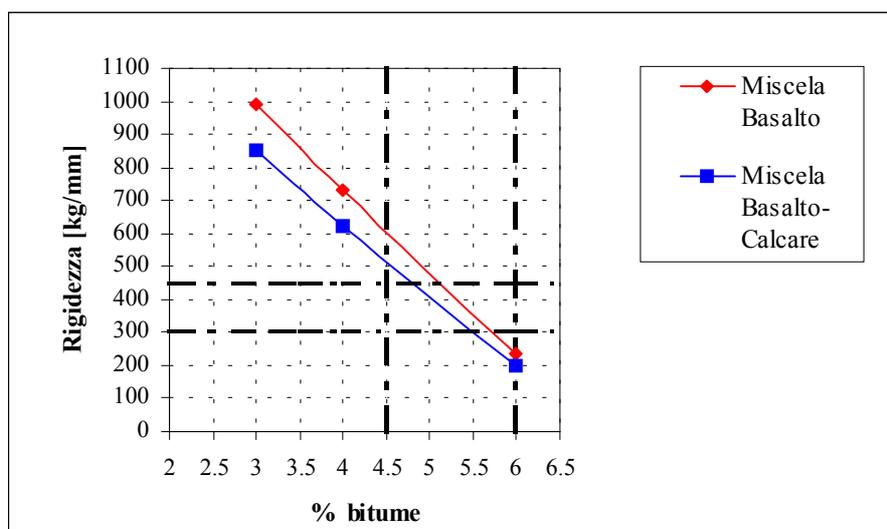


Figura 4 - Valori di rigidezza Marshall al variare della percentuale di bitume

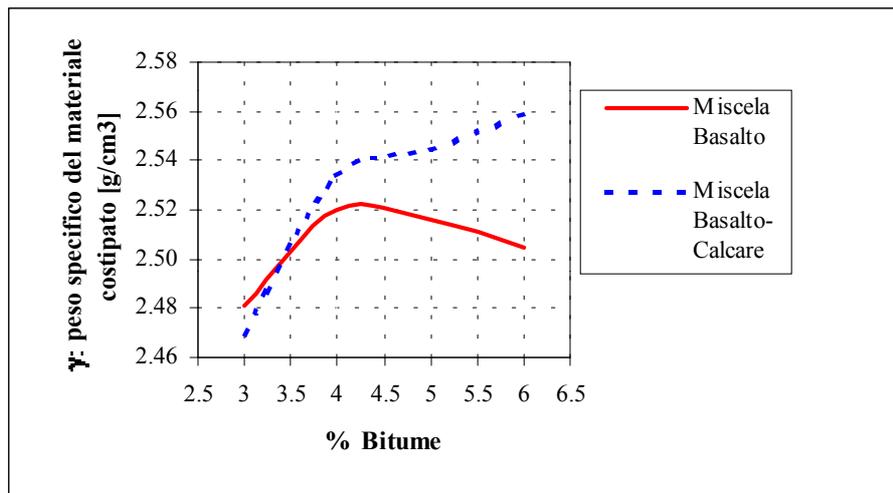


Figura 5 - Valori del peso specifico al variare della percentuale di bitume

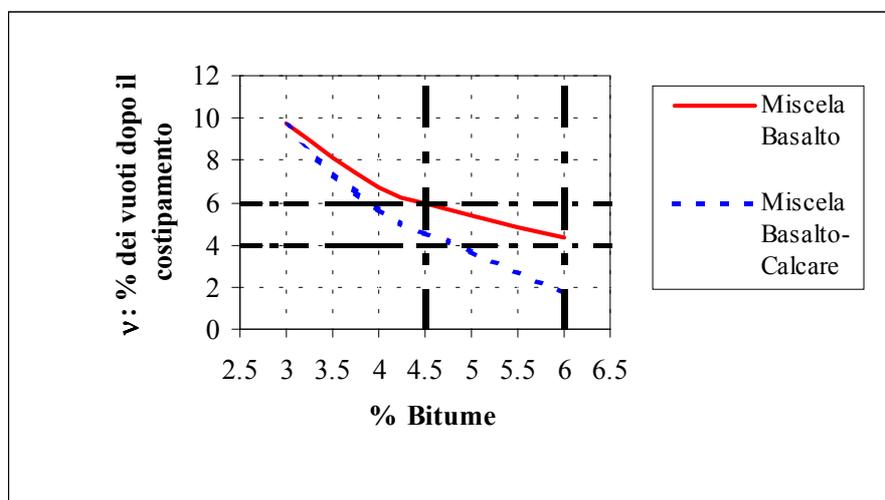


Figura 6 - Valori della percentuale dei vuoti al variare della percentuale di bitume

3.3 Metodologia Superpave: Determinazione del contenuto ottimo di legante

Il livello 1 della metodologia Superpave basa il mix-design del conglomerato bituminoso sull'utilizzo di una particolare pressa denominata "compattatore giratorio". Il compactatore giratorio è un'apparecchiatura che consente di preparare in laboratorio campioni di conglomerato bituminoso che presentano caratteristiche simili, in termini di addensamento della miscela, di quelle che si ottengono in sito all'atto della posa in opera. Esso, infatti, simula l'azione dei rulli di cantiere esercitando sul provino una pressione costante avente direzione inclinata rispetto all'asse della fustella che a sua volta, ruota intorno al proprio asse con una velocità prefissata (tabella 5), consentendo una riorganizzazione interna dei granuli.

Tabella 5 - Parametri di prova del compactatore giratorio

Diametro fustella [mm]	150
Angolo di inclinazione[°]	1.25
Pressione di costipamento [kPa]	600
Rotazione (giri/60s)	30

Nell'ambito della procedura del mix-design della miscela la scelta della percentuale ottimale di bitume è strettamente legata alla percentuale dei vuoti del conglomerato (V_a); alla percentuale di vuoti presenti nell'aggregato minerale (VMA) ed alla percentuale di vuoti riempiti di bitume (VFA) che si ottengono nel provino sottoposto ad un determinato ciclo di compattazione. Ciascuno di questi parametri, infatti, deve essere valutato in corrispondenza di tre energie di compattazione:

N_{init} , energia di compattazione iniziale;

N_{design} , energia di compattazione di progetto;

N_{max} , energia di compattazione massima.

In particolare, il valore di N_{design} , dipende dal livello di traffico di progetto e dalla temperatura massima dell'aria nella località di realizzazione della pavimentazione (tabella 6).

Nella presente nota i valori di N_{design} sono stati definiti in corrispondenza delle "soglie" identificative delle quattro classi di traffico definite dalla norma CNR sugli aggregati [4] nell'ipotesi di una strada secondaria, con una vita utile pari a 20 anni, con una temperatura massima dell'aria di 39-40°C (tabelle 6, 7). Dalle tabelle 6 e 7 si evince che il valore di N_{design} deve essere posto pari a 121 in riferimento alla classe di traffico pesante (P) scelta per la selezione della miscela di aggregati e per la verifica del conglomerato con la prova Marshall.

Tabella 6 - "Definizione di N_{design} in relazione alla massima temperatura di progetto della sovrastruttura e al livello di traffico" [2]

Traffico di progetto ESALs (milioni)	Temperatura massima dell'aria			
	< 39°C	39-40°C	41-42°C	43-44°C
< 0.3	68	74	78	82
0.3-1	76	83	88	93
1-3	86	95	100	105
3-10	96	106	113	119
10-30	109	121	128	135
30-100	126	139	146	153
>100	143	158	165	172

Tabella 7 – valori di N_{des} per le classi di traffico previste nella norma CNR 139/92

	TGMvc	ESALs (milioni)
PP	>3.000	> 41
P	1.100÷3.000	15 ÷ 41
M	450÷1.100	7 ÷ 15
L	<450	< 7

Il contenuto ottimo di legante, secondo la metodologia SUPERPAVE, è stato calcolato a partire dalla curva di progetto, sottoponendo a compattazione otto provini, costituiti con percentuali di bitume pari a $P_b\%$, $P_b-0.5\%$, $P_b+0.5\%$ e $P_b+1\%$. Dove P_b rappresenta il valore di legante "stimato", cioè quello che in teoria permette alla miscela

compattata di raggiungere il 4% di vuoti residui in corrispondenza dell'energia di compattazione di progetto.

Sulla base dei risultati ottenuti da una prova preliminare, P_b può essere ottenuto con la seguente relazione:

$$P_b = P_{bi} - [0.4 \times (4 - V_a)]$$

in cui:

- P_{bi} è la percentuale di legante di primo tentativo;
- V_a è la percentuale di vuoti riempiti d'aria ottenuta dalla miscela di primo tentativo.

Per la composizione dei provini si è adottata la stessa curva granulometrica delle prove eseguite con la Marshall poiché soddisfa anche le specifiche Superpave (figura 7).

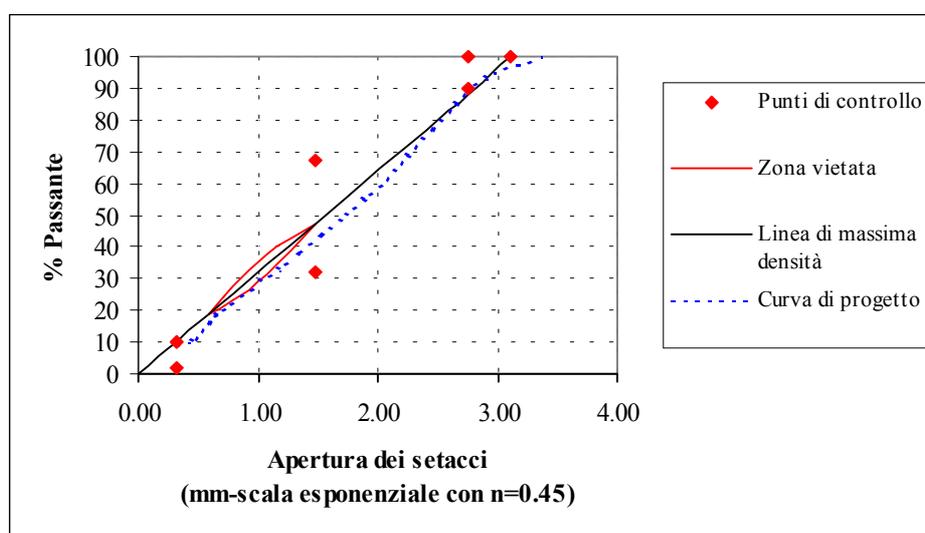


Figura 7 – Curva granulometrica di progetto e fuso Superpave

Utilizzando i dati volumetrici ottenuti, sono state costruite le curve relative ai vuoti residui (V_a), ai vuoti riempiti di bitume (VFA) e ai vuoti nell'aggregato lapideo (VMA), in funzione delle diverse percentuali di bitume.

Il valore ottimale di bitume è stato ricavato per interpolazione, imponendo che in corrispondenza di $N_{design} = 121$, si ottenga il 4% dei vuoti V_a (figure 8, 11). A partire dalla percentuale di bitume ottimale così ricavata sono stati individuati i valori di VFA_b e di VMA_b (figure 9, 10, 12 e 13).

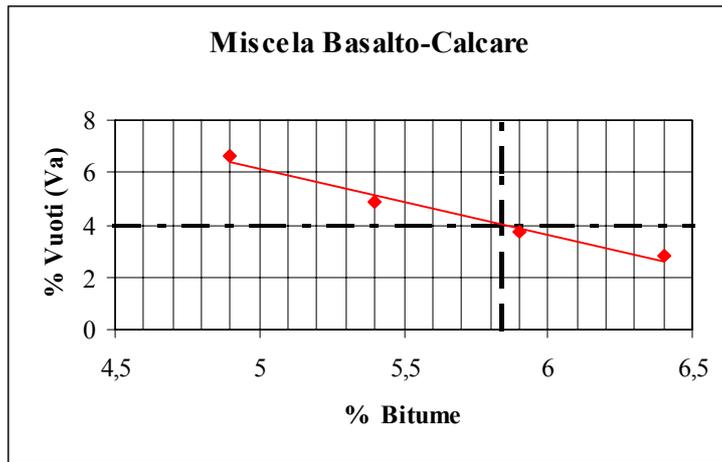


Fig. 8 – Variazione di V_a nella Miscela Basalto-Calcare - $P_b=5,8\%$

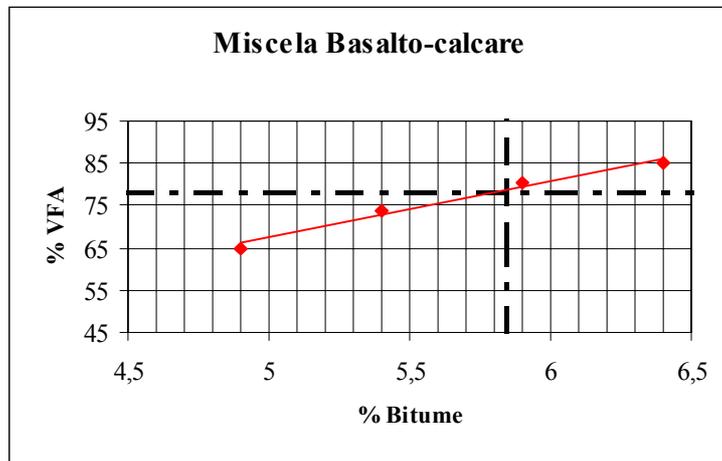


Fig. 9 Variazione di VFA nella Miscela Basalto-Calcare – $VFA_b=78\%$

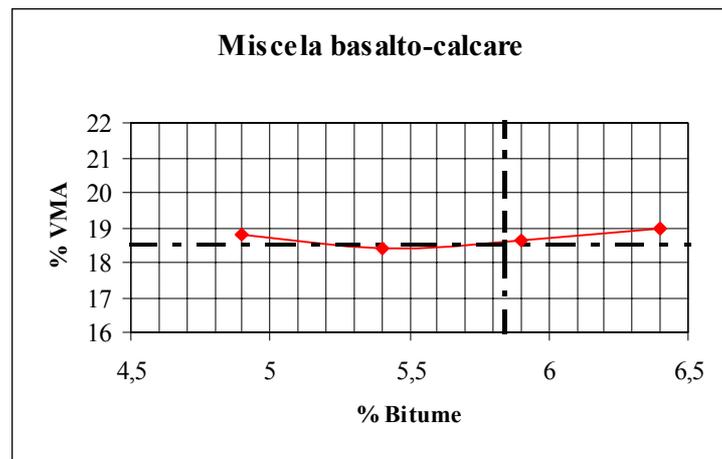


Fig. 10 - Variazione di VMA nella Miscela Basalto-Calcare – $VMA_b=18,4\%$

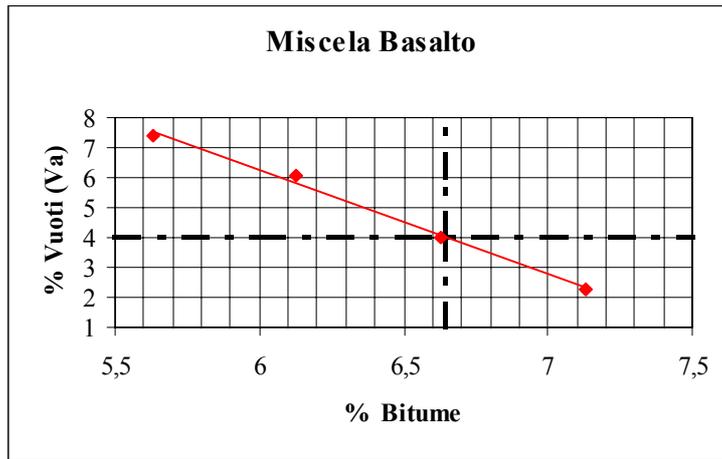


Fig. 11 - Variazione di V_a nella Miscela Basalto - $P_b=6,6\%$

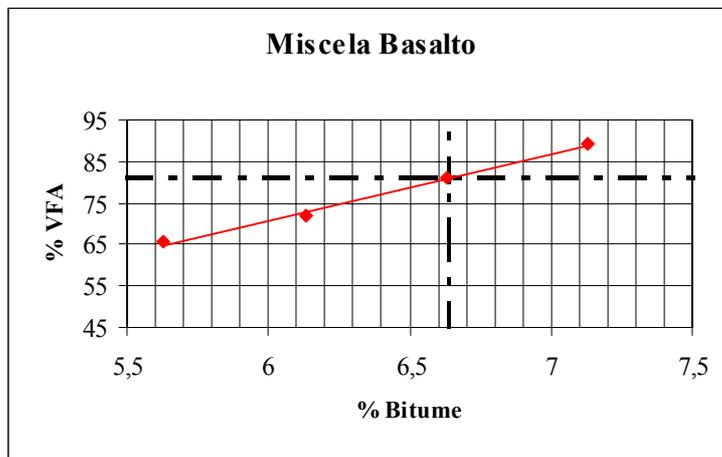


Fig. 12 - Variazione di VFA nella Miscela Basalto - $VFA_b=81\%$

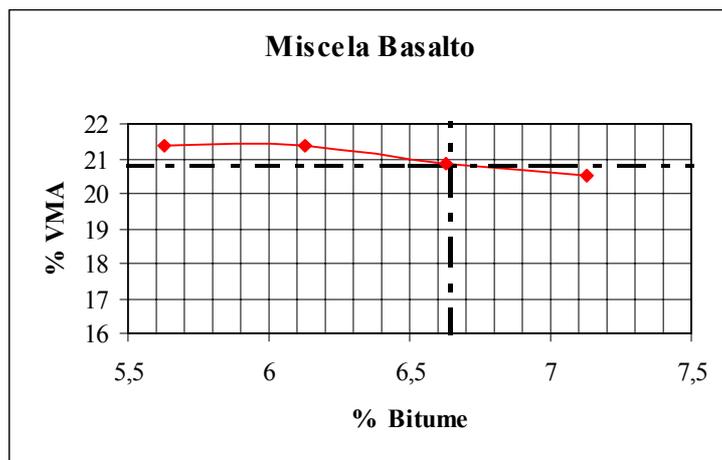


Fig. 13 - Variazione di VMA nella Miscela Basalto - $VMA_b=20,8\%$

Le percentuali ottime di bitume sono pari al 5,8% per la miscela Basalto-Calcare e al 6,6% per la miscela con soli aggregati di natura basaltica. Tale risultato non è

concorde con quello ottenuto con la procedura tradizionale in quanto conduce a valori sensibilmente maggiori per entrambe le miscele. Inoltre ai valori ottimali di percentuale di bitume, entrambe le miscele rientrano nei limiti di accettabilità per i vuoti dell'aggregato minerale (VMA), tuttavia, non rientrano nei limiti di accettabilità per i vuoti riempiti di bitume (VFA) (tabelle 8 e 9).

Tabella 8 – Valori minimi del tenore di vuoti nell'aggregato lapideo VMA. [2]

<i>Dimensione nominale massima dell'aggregato</i>	<i>Minimo tenore di VMA in percentuale</i>
9.5	15
12.5	14
19.0	13
25.0	12
37.5	11

Tabella 9 - limiti di accettabilità per i vuoti riempiti di bitume (VFA), riferiti ad una percentuale di vuoti (Va) pari al 4%. [2]

<i>Livello di traffico in milioni di ESAL</i>	<i>Percentuale di VFA accettabile</i>
<0.3	75-80
<1	65-78
<3	65-78
<10	65-75
<30	65-75
<100	65-75
≥100	65-75

Pertanto, si può concludere, che tali miscele risultano idonee secondo le tradizionali procedure, viceversa, secondo la metodologia SUPERPAVE, soddisfano solo le specifiche dei VMA per la percentuale di bitume a cui corrisponde il 4% dei vuoti.

4. CONCLUSIONI

La necessità di superare i limiti insiti nel metodo tradizionale di mix design del conglomerato bituminoso basato sulla prova Marshall, ha spinto la ricerca verso nuove procedure di controllo della miscela. È in quest'ambito che si colloca l'uso del compattatore giratorio, introdotto a seguito del progetto Superpave.

Ciononostante, l'attuale diffuso utilizzo della procedura tradizionale rende utile il confronto tra i risultati ottenuti con le due metodologie di prova anche in riferimento all'impiego di conglomerati realizzati con particolari miscele di aggregati disponibili in una specifica area geografica. Nella presente nota sono stati confrontati i risultati ottenuti con entrambe le procedure testando due conglomerati bituminosi per strati di usura realizzati con miscele di aggregati basaltici e basalto/calcarei estratti in cave della Sicilia orientale.

L'utilizzo dell'aggregato basaltico consente di ottenere bassi valori di L.A. in grado di soddisfare i limiti imposti dalle norme, ma gli elevati costi connessi alla limitata reperibilità di tale materiale ha fatto diffondere la pratica di miscelare insieme

all'aggregato basaltico altro aggregato di natura diversa e con valori non adeguati di L.A. (in genere calcare), in modo da realizzare miscele che forniscano globalmente valori di L.A. accettabili.

Tale pratica suscita, ovviamente, alcune perplessità sia dal punto di vista della metodologia di indagine che della particolare soluzione adottata. Dal punto di vista metodologico le obiezioni vanno riferite al fatto di limitare il criterio di accettazione degli aggregati alla prova L.A. che, soprattutto per gli strati di usura, non è in grado da sola di caratterizzare il comportamento in esercizio del materiale, con risultati che possono variare sensibilmente in relazione anche alla natura mineralogica dell'aggregato. In tal senso studi sono già stati condotti ed altri sono tuttora in corso presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Catania [11], [12], [13]. Per quanto riguarda la soluzione specifica di utilizzare miscele composte da aggregati di diverso valore di resistenza L.A., c'è da osservare che la norma di esecuzione della prova non prevede la caratterizzazione delle miscele di aggregati di diversa natura, essa è stata concepita al fine di caratterizzare le proprietà di uno specifico materiale lapideo e pertanto, tale modo di operare, al di là del rigore scientifico, evade il significato della stessa norma. Pertanto anche da questo punto di vista occorre ulteriormente approfondire le conoscenze sull'effettivo comportamento in esercizio delle pavimentazioni realizzate con tali miscele in relazione al mantenimento nel tempo delle caratteristiche di aderenza e macrotessitura.

Ciononostante, il largo impiego nella Sicilia orientale di miscele di aggregati di natura basaltica e calcarea rende ugualmente utile lo studio del loro comportamento anche dal punto di vista della portanza strutturale.

Per quanto riguarda la procedura tradizionale, sono state trovate percentuali di bitume in grado di conferire valori di resistenza meccanica e volumetrici del conglomerato adeguati alle prescrizioni della norma. Lo stesso assortimento granulometrico sottoposto alla procedura di progetto basata sulla pressa giratoria, ha portato a definire percentuali ottimali di bitume diverse per le due miscele, portando, comunque, a soluzioni non idonee per un'eccessiva percentuale di vuoti riempiti di bitume.

Nel complesso, quindi, le due miscele che si possono ritenere idonee secondo le tradizionali procedure, non presentano un comportamento soddisfacente nell'ambito della "nuova" metodologia Superpave. In particolare si può, comunque, affermare che in termini strutturali le prestazioni sono migliori per la miscela basalto/calcare.

Ringraziamenti

Si ringraziano per la disponibilità offerta nella realizzazione delle campagne di prove l'Ing. V. Venturi titolare del laboratorio di prove sui materiali "Sidercem" ed il Prof. M. Pasetto del Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] B.U. C.N.R. N. 30/73 "Determinazione della stabilità e dello scorrimento di miscele di bitume e di inerti lapidei a mezzo dell'apparecchio Marshall".
- [2] Asphalt Institute (1995), "Superpave Level 1 Mix Design", Superpave series N. 2 (SP-2), Asphalt Institute, U.S.A., 1995.

- [3] Asphalt Institute (1995), "Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing", Superpave series N. 1 (SP-1), Asphalt Institute, U.S.A., 1995
- [4] B.U. C.N.R. N.139/92: "Norme sugli aggregati – Criteri e requisiti di accettazione degli aggregati impiegati nelle sovrastrutture stradali".
- [5] Wallner B. & al. "Comparison of the Compactibility of Asphalt Based on the Properties of Marshall and Gyrator Specimen", International Workshop on the use of Giratory Shear Compactor, Nantes, 12 December 1996.
- [6] G. Dondi, A. Simone, A. Bonini "Metodologie di impiego della pressa giratoria (1ª parte)", Rassegna del Bitume N 34/00.
- [7] B.U. C.N.R. N. 34/73, "Determinazione della perdita in peso per abrasione di aggregati lapidei con l'apparecchio Los Angeles".
- [8] B.U. C.N.R. N.24/71 "Norme per l'accettazione dei bitumi per usi stradali. Metodi di prova: penetrazione".
- [9] B.U. C.N.R. N.35/73 " Norme per l'accettazione dei bitumi per usi stradali. Metodi di prova: punto di rammollimento (Metodo palla e anello)".
- [10] C.N.R. Catalogo delle Pavimentazioni Stradali, 1994.
- [11] S. Cafiso, S. Taormina, "Controllo Statistico Di Qualità Degli Aggregati Per Conglomerati Bituminosi", - X Convegno S.I.I.V. Acireale, 26-28 Ottobre 2000.
- [12] S. Taormina, "Caratteristiche e ruolo dei materiali per le pavimentazioni stradali in relazione alle esigenze della manutenzione ed alla sicurezza della circolazione", Tesi di Dottorato di Ricerca, Dicembre 2000.
- [13] R. Colombrita, M.G. Augeri, A. Condorelli – "Un sistema informativo territoriale per la schedatura delle cave di approvvigionamento di inerti per usi stradali" - X Convegno S.I.I.V. Acireale, 26-28 Ottobre 2000.