

Verifica sperimentale delle correlazioni tra i parametri di compattazione in laboratorio e in situ delle miscele bituminose

Experimental verification of the correlation between laboratory and in situ compaction parameters of bituminous mixtures

GAETANO DI MINO

Università degli Studi di Palermo

MARINELLA GIUNTA

Università "Mediterranea" di Reggio Calabria

Riassunto

Il tema della ricerca, di carattere sperimentale, è la verifica della corrispondenza tra i parametri volumetrici, (in particolare la percentuale dei vuoti) del conglomerato bituminoso all'atto della stesa e del costipamento e gli stessi parametri ottenuti in laboratorio mediante la compattazione di provini, utilizzando il compattatore giratorio secondo la metodologia Superpave.

L'obiettivo della ricerca è l'indicazione, in relazione all'esperienza sperimentale condotta, dei valori caratteristici del numero di giri del compattatore giratorio che effettivamente simulano, durante l'esecuzione della prova, le azioni di stesa e costipamento.

Sulla scorta degli esiti sperimentali, si intende analizzare criticamente le relative prescrizioni da capitolato, le quali stabiliscono valori *standard* del numero di giri rappresentativi dell'azione di stesa e di costipamento.

A tale scopo, durante un intervento manutentorio di riabilitazione della pavimentazione di un ampio tratto dell'Autostrada A18 Messina-Catania sono stati individuati dei tratti nei quali le azioni di compattazione sono state preordinate dagli autori della presente memoria.

In tal modo si è inteso ottenere una gamma di valori di addensamento in sito per alcuni conglomerati bituminosi destinati a diversi strati della pavimentazione e si è verificato in laboratorio quali fossero le energie di costipamento, in termini di numero di giri, corrispondenti.

Nella memoria sono riportati gli esiti di questi rilevamenti e le prime correlazioni significative con i parametri di costipamento effettuato in laboratorio.

Summary

This experimental research regards the analysis of the relation between the air voids of compacted asphalt concrete specimens by means of the gyratory compactor and air voids of in field compacted specimens of the same asphalt mixture.

The goal of experimental research is to find out the values of number of gyrations corresponding to laying and field compaction; these values are compared with the Italian specifications.

The compacted specimens of wearing course and binder layer have been taken from the road pavement of the A18 Catania-Messina motorway and three different ways of compaction have been provided.

This paper shows the first data and the correlation between in field compaction parameters and laboratory compaction ones. »

1. Premessa

Il *mix design* dei conglomerati bituminosi si è avvalso, in Italia, dell'uso di procedure ed apparecchiature di laboratorio sviluppate e messe a punto in paesi stranieri.

All'applicazione sistematica del metodo Marshall, che grande e universale successo ha riscosso e, in qualche misura, continua a riscuotere, è seguita l'importazione e l'adesione, ancora lungi dall'essere completa e consolidata nella pratica, della prova SHRP M-002 che prevede l'impiego del compattatore giratorio, facente parte del programma Superpave.

Numerose ricerche, sia in campo nazionale sia internazionale [10][11], sono state incentrate su tale metodo e, in particolare, sul confronto tra questo e il metodo Marshall: in sostanza, al di là delle evidenti differenze concettuali e tecnologiche, ciò che più colpisce e convince è il suo approccio al *mix design* consistente nella riproduzione in laboratorio delle effettive condizioni di costipamento a cui è soggetto il conglomerato bituminoso durante la realizzazione e l'esercizio della pavimentazione.

Tuttavia, pur riconoscendo la validità del principio assertore della prova di compattazione giratoria, occorre analizzare il procedimento e valutare criticamente il valore dei parametri fondamentali per l'impostazione del *mix design*.

Il parametro critico per l'ottimizzazione della miscela è certamente il numero di rotazioni di progetto N_{DES} , in corrispondenza del quale si determina la quantità di legante che consente il raggiungimento della percentuale di vuoti liberi fissata al 4%; il metodo, infatti, basato prevalentemente su esperienze statunitensi, è preminentemente finalizzato al progetto di conglomerati bituminosi con distribuzione granulometrica pressoché continua (*dense-graded*).

Il valore numerico di N_{DES} , dipendente dalla temperatura massima dell'aria del sito e dal numero cumulato di passaggi di assi *standard* equivalenti da 80 kN sulla pavimentazione, è rappresentativo dell'energia di costipamento in grado di conferire al conglomerato le caratteristiche volumetriche di progetto.

Appare evidente, quindi, che tale valore può risultare non congruente quanto più la tipologia di miscela bituminosa si discosta da quella continua; ed, inoltre, l'ad-

densamento al numero di giri N_{DES} della pressa giratoria può rivelarsi non corrispondente alle caratteristiche volumetriche riscontrabili in vera grandezza, queste ultime fortemente suscettibili al processo di compattazione adottato.

Appare, altresì, opportuno valutare il rapporto tra processo reale di compattazione, inteso come l'insieme della macchina operatrice (rullo), delle modalità di costipamento e della sua intensità, con i valori normativi di N_{DES} , tabellati in funzione dell'entità del traffico prevista, ripresi nei Capitolati tecnici.

2. Impostazione del metodo di ricerca

L'impostazione concettuale della ricerca consiste nel mettere in correlazione i dati sulle caratteristiche volumetriche di conglomerati bituminosi posti in opera, con quelli desumibili in laboratorio, su medesimi conglomerati, sottoposti al processo di compattazione giratoria, con il preciso scopo di verificare la congruità dell'approccio teorico-sperimentale con le risultanze della messa in opera delle miscele.

A tal proposito, sono state studiate le miscele degli strati posti in opera su sovrastrutture autostradali, le cui caratteristiche volumetriche sono state misurate su campioni prelevati in sito, al termine di un processo di compattazione preordinato e funzionale alla presente ricerca. Successivamente, tali caratteristiche volumetriche sono state riprodotte in laboratorio mediante l'impiego della pressa giratoria.

Si è inteso, in questo modo, determinare il valore del parametro N_{DES} calibrandolo in funzione del tipo di conglomerato (natura granulometrica della miscela, strato di destinazione) e delle effettive condizioni operative (tipo di mezzo compattante, numero di passaggi, modalità di addensamento) e confrontare l'esito sperimentale con i valori *standard* di Capitolato. Nei limiti delle esperienze fin qui condotte, relative soltanto allo stadio iniziale di questa ricerca che si prevede più ampia e sistematica, i primi risultati, in termini di N_{DES} , sono stati comparati con le prescrizioni del capitolato CIRS e le indicazioni, invero non numerose, di analoghi studi, cercando di trovare una chiave interpretativa delle eventuali divergenze.

3. L'indagine sperimentale

3.1. Indagine su campo

La campagna di rilevamento si è svolta nell'arco del mese di aprile 2006, in concomitanza di un intervento di rifacimento della pavimentazione su un tronco di circa 30 km lungo l'autostrada A18 Messina-Catania, sulla pista in direzione Messina nel tratto Acireale-Giarre.

Il sito dell'intervento è caratterizzato da clima asciutto con precipitazioni poco intense e frequenti la cui temperatura massima dell'aria è di 42 °C. Il traffico medio giornaliero del tratto in oggetto nell'anno ultimo di censimento (2004) è stato di 21.250 veic./giorno, con una incidenza percentuale del traffico pesante pari al 13%. Ciò si traduce, per una vita utile della sovrastruttura pari a 10 anni ed ipotizzando un tasso di incremento medio del traffico su base annua del 4%, in un traffico cumulato di circa $5,2 \cdot 10^7$ assi da 80 kN.

L'intervento di rifacimento è consistito, in alcuni tratti, nella sostituzione integrale del pacchetto degli strati legati; in altri, nella scarifica e nel rifacimento dei soli strati superficiali con un conglomerato bituminoso chiuso per lo strato di collegamento ed uno drenante per il manto di usura, ambedue con spessore di 5 cm. Proprio tali miscele sono state oggetto di analisi in virtù delle loro prerogative volumetriche che si riflettono in prescrizioni normative di *mix design* (N_{DES} , % vuoti residua) e prassi esecutive differenti.

L'indagine sperimentale sul campo si è svolta su due segmenti autostradali estesi ciascuno 110 m, suddivisi in tre zone di 30 m intervallate da uno spaziamento lungo 10 m (zona di manovra per le macchine operatrici). Su ogni zona è stato stabilito il processo di compattazione con specifiche modalità per i due strati (Tabb. 1 e 2). Si precisa che le modalità *standard*, per entrambi gli strati di *binder* ed usura, sono quelle attuate durante l'ordinaria esecuzione dell'intervento in oggetto. Rispetto a tali modalità, si sono stabiliti due ulteriori modalità di compattazione che, per lo strato di *binder*, si differenziano per tipo di azione (statica e vibrante) e parco macchine (rullo metallico e gomma) utilizzati, mentre per lo strato di usura drenante la variazione è esclusivamente di natura quantitativa (numero di passaggi dello stesso rullo).

Si precisa che per passaggio si intende il tragitto di

andata e ritorno del mezzo sulla fascia di pavimentazione da compattare.

Le temperature di stesa dei due conglomerati, misurate direttamente durante tale operazione, variavano tra 165 °C e 169 °C.

Il parco macchine utilizzato consta di un compattatore Dynapac CC 222 con rullo metallico liscio del peso di 8 t con velocità di avanzamento compresa tra 2 e 8 Km/h, carico statico lineare di 25 Kg/cm e frequenza di vibrazione 52/70 Hz; e di un compattatore Dynapac CP 271 con rullo gommato con peso di 7,67 t, con quattro pneumatici soggetti ciascuno ad un carico di 1,1 t.

Tab. 1 Modalità di compattazione dello strato di binder nel tratto sperimentale

Modalità	Processo di compattazione	Finitura (dopo 1/2 h)
Standard	2 Passaggi di rullo vibrante	1 Passaggio di rullo statico
Statica	2 Passaggi di rullo statico	1 Passaggio di rullo statico
Combinata	4 Passaggi di rullo gommato + 2 Passaggi di rullo vibrante	1 Passaggio di rullo vibrante

Tab. 2 Modalità di compattazione dello strato di usura nel tratto sperimentale

Modalità	Processo di compattazione	Finitura (dopo 1/2 h)
Standard light	1 Passaggio di rullo statico	1 Passaggio di rullo statico
Standard	2 Passaggi di rullo statico	1 Passaggio di rullo statico
Standard hard	3 Passaggi di rullo statico	1 Passaggio di rullo statico

Per lo strato di *binder*, dopo 24 ore dall'avvenuta compattazione sono stati prelevati da ogni zona, diversamente compattata, lungo la corsia di marcia ed in posizione distante dalle fasce di sovrapposizione di passaggio del rullo, 12 carote del diametro di 5 cm; per lo strato di usura, invece, sono state asportate 3 piastre, per ciascuna zona, aventi dimensione 40 cm x 40 cm. Sono stati, altresì, prelevati, direttamente in tramoggia, i quantitativi di materiale necessari per l'indagine di laboratorio (Fig. 1).

3.2. Indagine di laboratorio

La fase iniziale della sperimentazione di laboratorio ha previsto le seguenti operazioni: »



Fig. 1 Fasi di compattazione e prelievo campioni della miscela

il *binder*) è avvenuta misurando tale parametro volumetrico secondo la prova ASTM D1188-96. I valori misurati, come si evince dalle **Tab. 3**, variano significativamente a seconda della modalità di compattazione adottata.

Se è immediatamente comprensibile la graduazione rilevata per l'usura, in ragione di una crescente energia di costipamento conferita attraverso l'aumento delle passate del medesimo rullo, certamente più complessa è la situazione per il *binder* le cui variazioni sono da correlare, oltre che all'azione di compattazione (statica/vibrante), anche al diverso effetto che una stessa energia di costipamento può sortire nello strato, in funzione del suo tempo di azione rispetto al momento di stesa. A tal riguardo appare emblematica la differenza tra il grado di addensamento che si consegue con la modalità combinata e quella *standard*: l'ef-

- ▶ l'analisi granulometrica delle miscele e la determinazione delle percentuali di bitume;
- ▶ la determinazione della percentuale dei vuoti sui campioni prelevati in situ.

Con l'analisi granulometrica si è verificato che, per entrambe le tipologie di conglomerato, le miscele d'inerti appartenessero ai rispettivi fusi di prescrizione del Capitolato CIRS (**Fig. 2**), e che la percentuale di bitume, 4,9% per il *binder* e 5,1% per l'usura, rientrasse negli intervalli di pertinenza.

La determinazione della percentuale dei vuoti sui campioni prelevati in situ (piastre per l'usura e carote per

Tab. 3 Percentuale dei vuoti in situ vs modalità di compattazione

USURA	
Modalità di compattazione	% vuoti [ASTM D1188-96]
Standard light	25,56
Standard	23,70
Standard hard	21,84

BINDER	
Modalità di compattazione	% vuoti [ASTM D1188-96]
Standard	6,11
Statica	9,11
Combinata	6,65

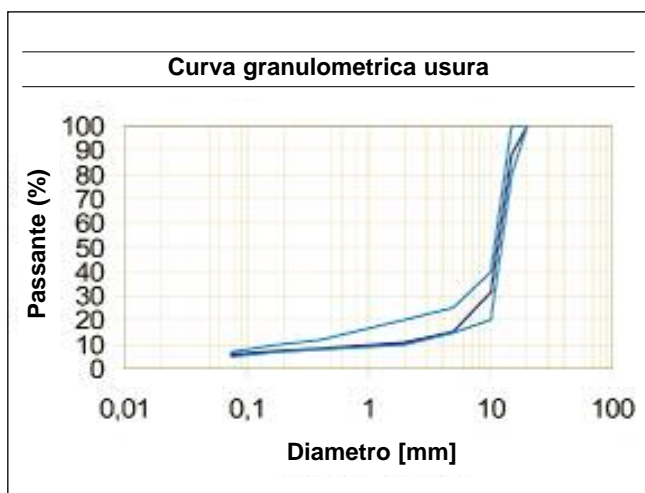
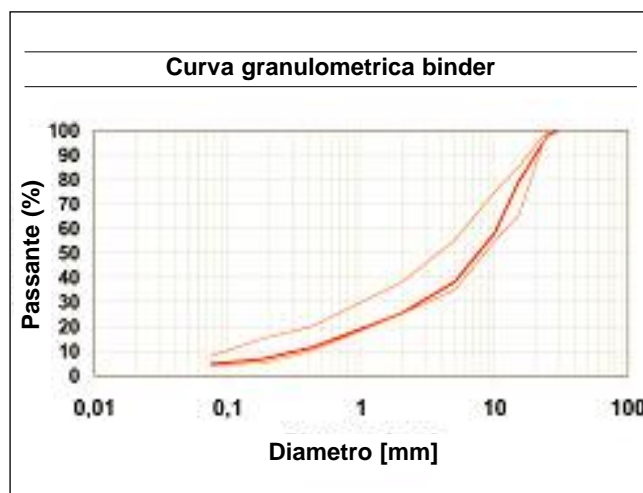


Fig. 2 Curve granulometriche delle miscele



fetto delle passate di rullo vibrante si rivelano molto più efficaci all'inizio del processo di compattazione, a conglomerato ancora ben caldo; mentre, d'altro canto, ad un maggior dispendio energetico (rullo gommato seguito da rullo vibrante) non si può associare un maggiore effetto addensante.

A partire da questi risultati, si è sviluppata la seconda fase del programma sperimentale, incentrato sulle prove di pressa giratoria con fustella da 150 mm di diametro, articolato in:

- ▶ serie di prove di compattazione giratoria sulle due miscele a N_{max} ;
- ▶ serie di prove di compattazione giratoria sulle due miscele a N_{DES} .

La prima serie è stata eseguita, in accordo alle prescrizioni di capitolato, arrestando la prova al numero di rotazioni ad $N_{max} = 130$ per la miscela aperta ed $N_{max} = 180$ per quella di *binder*. In particolare sono state eseguite 3 prove per il conglomerato drenante e 6 per il chiuso (Fig. 3). Ciò ha consentito di valutare le caratteristiche volumetriche delle miscele in funzione del numero di rotazioni da capitolato (Tab. 4) e, soprattutto, di individuare, in corrispondenza del valore dei volumi dei vuoti prima accertati, gli intervalli numerici delle rotazioni entro i quali si possono presumibilmente-

Tab. 4 Verifica di corrispondenza tra i valori medi riscontrati e i valori prescritti dal capitolato

USURA		
Numero di rotazioni	% vuoti riscontrata	% vuoti prescritta
10	26,64	20-24
50	20,33	16-18
130	16,73	≥13
BINDER		
Numero di rotazioni	% vuoti riscontrata	% vuoti prescritta
10	14,32	10-14
100	5,63	3-5
180	4,13	>2

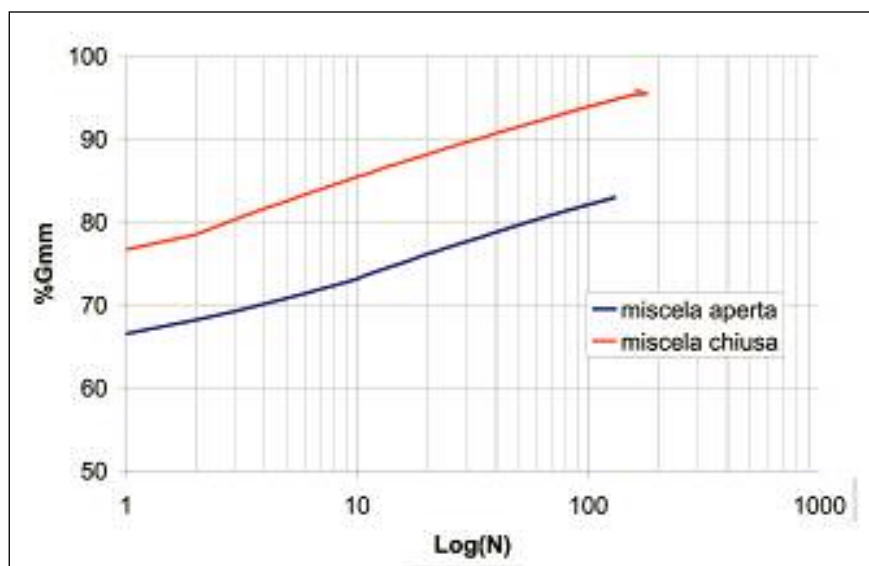


Fig. 3 Curve di compattazione delle miscele

te situare gli N_{DES} ricercati e confrontarli con gli omologhi valori di prescrizione (**Tab. 5**).

Rispetto alle rotazioni rappresentative della azioni di stesa e costipamento, 10, 50 e 100 rotazioni, gli esiti sperimentali mostrano un eccesso della percentuale dei vuoti riscontrata rispetto al limite superiore dell'intervallo di prescrizione.

Per quanto concerne il drenante, il valore centrale dell'intervallo della percentuale dei vuoti relativo a 50 rotazioni (17%), si raggiunge in corrispondenza di valori compresi tra 110 e 130 rotazioni.

Per quanto riguarda la miscela chiusa, così come era da attendersi, si assiste ad una sostanziale convergenza dei valori della percentuale dei vuoti riscontrati a quelli prescritti.

Sulle curve di compattazione ad N_{max} sono stati individuati, in prima battuta, il range di valori di N_{DES} compatibili con le percentuali dei vuoti riscontrate. Per ambedue le miscele, per ogni valore di N_{DES} , la verifica della percentuale dei vuoti è stata eseguita su tre campioni compattati alla pressa giratoria, così pervenendo agli esiti riportati in Tab. 5.

La percentuale dei vuoti sui campioni del conglomerato drenante estratti al termine della prova alla pressa giratoria, è stato determinata secondo la prova ASTM D1188-96, ritenendo questa misura più attendibile; i valori così trovati, mediamente maggiori dell'1% rispetto a quelli calcolati per via geometrica, sono riportati in Tab. 5.

I risultati conseguiti mostrano, per il conglomerato aperto, la non congruità dell'indicazione di capitolato ($N_{DES} = 50$) sia rispetto agli esiti volumetrici del processo di compattazione *standard*, cui corrisponde $N_{DES} = 21$, sia nei

riguardi del processo *standard hard*, cui invece corrisponde $N_{DES} = 33$. Questi ultimi, invece, sono in linea con le indicazioni contenute in alcuni documenti normativi statunitensi [4], nei quali è riportato un valore di $N_{DES} = 20$ per asfalti porosi.

I risultati relativi alla miscela chiusa, tralasciando la modalità di compattazione statica, evidentemente inadeguata per un ottimale costipamento dei conglomerati, confermano la sostanziale congruità del valore $N_{DES} = 100$ per un corretto *mix design*.

4. Conclusioni

Lo studio condotto comprova l'esigenza di una maggiore attenzione nei confronti del *mix design* volumetrico con pressa giratoria dei conglomerati bituminosi aperti, intesa come ricalibrazione del parametro basilare N_{DES} .

L'indicazione del suo valore contenuta nel capitolato prestazionale può assumere un connotato di convenzionalità che male si abbina al principio stesso della prova a forte carattere di simulazione. Le risultanze sperimentali, nell'ambito dell'indagine svolta, suggeriscono, in accordo con orientamenti dedotti da ricerche straniere [9], valori di N_{DES} compresi tra 20 e 30 e quindi sensibilmente ridotti rispetto al valore 50 di capitolato.

Più in generale si profila l'opportunità di elaborare il processo di *mix design* considerando la tecnica e le modalità di compattazione da adottare in situ, le quali hanno una incidenza non trascurabile sul processo di *mix design* medesimo. Questo aspetto, proprio per tutelare il carattere simulativo della prova, deve essere analizzato compiutamente.

Al fine di conferire ai risultati qui esposti un carattere di generalità, lo studio è già rivolto ad altri siti ed altri conglomerati.

Infine, appare il caso di approfondire, come si evince dal quadro Superpave riprodotto in **Tab. 6**, il rapporto tra il valore N_{DES} e la combinazione livello di traffico-temperatura massima, verificando se sussistono correlazioni significative tra questi parametri e il livello di compattazione in altri contesti, affinché tale quadro possa trovare un riscontro o, più plausibilmente, sia rielaborato e riformulato alla luce della realtà nazionale.

Tab. 5 Verifica di corrispondenza tra i valori medi riscontrati e i valori prescritti dal capitolato

USURA		
Modalità di compattazione	%V	N_{DES}
Standard light	25,56	13
Standard	23,70	21
Standard hard	21,84	33
BINDER		
Modalità di compattazione	%V	N_{DES}
Standard	6,11	98
Statica	9,11	40
Combinata	6,65	82

Tab. 6 Determinazione di N_{DES} in relazione alla massima temperatura di progetto della sovrastruttura e al livello di traffico

Traffico di progetto (ESALs) 80kN	Temperatura massima di progetto dell'aria (°C)			
	<39	39-40	41-42	43-44
<3 x 10 ⁵	min 68	74	78	82
<1 x 10 ⁶	76	83	88	93
<3 x 10 ⁶	86	95	100	105
<1 x 10 ⁷	96	106	113	119
<3 x 10 ⁷	109	121	128	135
<1 x 10 ⁸	126	139	146	153
>1 x 10 ⁸	143	158	165	max 172

Si noti come, in funzione delle caratteristiche di traffico e di clima, il valore tabellato ($N_{DES} = 146$) sia di gran lunga maggiore del valore di prescrizione e di quelli desunti sperimentalmente. Per la miscela chiusa, il valore di capitolato coincide con quello emerso nel caso di compattazione *standard*; pur tuttavia, a parte la relativa significatività di questo risultato, sarebbe proficuo, su una base di dati considerevolmente più ampia e numerosa, non affidarsi ad un unico valore di riferimento, nella fattispecie $N_{DES} = 100$, ma ad una griglia di valori, espressi in funzione di parametri climatici e di traffico, magari associati a specifiche modalità e processi di compattazione. ■

Bibliografia

- [1] *Superpave Mix Design* Superpave series No 2 (SP-2) (1995), Asphalt Institute, USA.
- [2] Brown E.R., Buchanam M.S. (2001) - *Literature Review: verification of gyration levels in superpave Ndesign table* - NCHRP document 34 (Project D9) [1] Final Report, USA.
- [3] Kandal P.S., Mallick R.B. (1999) - *Design of new generation open graded friction courses* - NCAT Report 99-3, USA.
- [4] *Manual of Hot Asphalt Mix Design* (2000) - State of Indiana.
- [5] AASHTO R 35 - *Practice for Superpave volumetric design for hot mix asphalt (HMA)*.
- [6] (2001) - *TRB Superpave Committee Highlights of the 2001 Annual Report*.
- [7] Kennedy T.W., Huber G.A., Harrigan E.T., Cominski R.J., Hughes C.S., Von Quintus H., MOULTHREP J.S., (1994) - *Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave). The Product of the SHRP Asphalt Research Program* - SHRP-A-410, Washington, D.C.
- [8] Cominsky R.J., Huber G.A., Kennedy T.W., Anderson M. (1994) - *The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays* - SHRP-A-407, Washington, D.C.
- [9] Bassani M., Santagata E., De Palma C. (2001) - *Il metodo dei vuoti: un approccio innovativo al proporzionamento volumetrico dei conglomerati bituminosi* - XI Convegno Nazionale SIV, Verona.
- [10] Crisman B., Roberti R. (2001) - *Utilizzazione della pressa giratoria per la formulazione di miscele bituminose drenanti* - XI Convegno Nazionale SIV, Verona.
- [11] Bocci M., Cerni G., (2001) - *Una correlazione analitica fra il costipamento Marshall e con pressa giratoria dei conglomerati bituminosi* - XI Convegno Nazionale SIV, Verona.
- [12] Hislop W.P., Coree B.J. (2000) - *VMA as a Design Parameter in Hot-Mix Asphalt* - Proceedings of the Mid-Continent Transportation Symposium.
- [13] Mallick R.B., Kandhal P.S., Brawn E.R., Bradbury R.L., Kearny (2002) - *Development of a rational and practical mix design system for full depth reclaimed (FDR) mixes*.
- [14] FHWA Updated (2001) - *Superpave asphalt mixture design Gyration Compactor Calibration*.
- [15] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato per la Circolazione e la Sicurezza Stradale (2001) - *Norme Tecniche di Tipo Prestazionale per Capitolati d'Appalto* - Centro Interuniversitario Sperimentale di Ricerca stradale.