

## CAPITOLO 4

# INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE DEL CONGLOMERATO SULLE PERFORMANCE SUPERFICIALI

### 4.1 PREMESSE

L'importanza attribuita alle performance superficiali delle pavimentazioni stradali, delineata nei precedenti capitoli, ha orientato la ricerca scientifica verso la necessità di governare, già in fase di mix design delle miscele di conglomerato bituminoso, le caratteristiche superficiali dello stesso conglomerato successivamente posto in opera.

La letteratura scientifica da tempo si interroga sulla possibilità di utilizzare modelli matematici attraverso i quali prevedere i livelli di tessitura di una pavimentazione a partire da una serie di parametri qualitativamente e quantitativamente rappresentativi del mix design di progetto e delle condizioni di stesa degli strati di usura in conglomerato bituminoso. L'analisi di letteratura qui proposta, quindi, si pone l'obiettivo di classificare, valutare e confrontare i modelli rintracciati attraverso una approfondita ricerca bibliografica al fine di elaborare una sintesi dei principali fattori compositivi e costruttivi che influenzano la macrotessitura superficiale di una pavimentazione stradale [01].

E' possibile individuare due classi principali di fattori di "gestione indoor" della tessitura superficiale: la prima riguarda le *caratteristiche compositive* della miscela di conglomerato, la seconda comprende le *tecniche costruttive* della pavimentazione e le *condizioni di costipamento e posa in opera* (cfr Fig.4.1).

Esaminando i modelli di previsione della macrotessitura (*Tabella 4.1*) proposti dalla letteratura, la distribuzione granulometrica sembra ricoprire un ruolo fondamentale nella determinazione della profondità di tessitura; altri fattori compositivi da cui i modelli previsionali vengono fatti dipendere sono i seguenti:

- forma, uniformità e curvatura della distribuzione granulometrica degli aggregati;
- distanza dalla curva di massimo addensamento di Fuller e Thompson;

- percentuale di aggregato fine presente nella miscela (sabbia/filler);
- dimensione massima dell'aggregato;
- contenuto di bitume.

Per ciò che concerne le tecniche costruttive i parametri fondamentali di “governo” della tessitura vengono identificati nel tipo di compattazione, l'entità della stessa (numero di passaggi del rullo) e lo spessore finale dello strato di conglomerato steso [01].

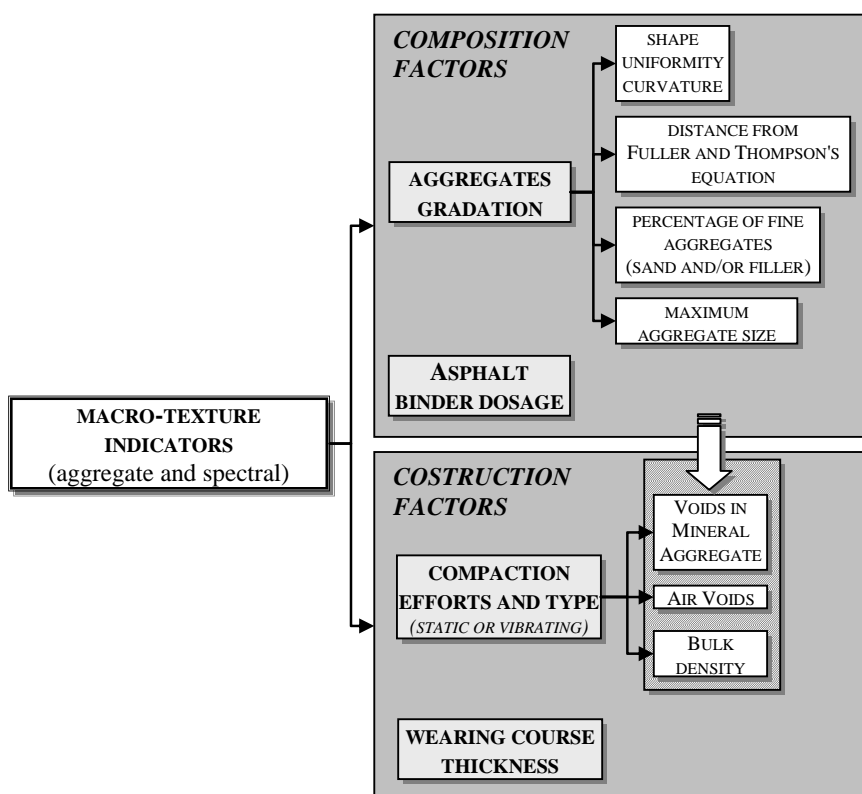


Fig. 4.1 – Classi di parametri di gestione “indoor” della tessitura superficiale [01]

## 4.2 PRINCIPALI MODELLI RINVENUTI IN LETTERATURA

La *Tabella 4.1* offre un quadro d'unione dei principali modelli di previsione della tessitura rinvenuti in letteratura; alcuni di questi modelli verranno di seguito meglio descritti ed analizzati. Le variabili dipendenti dei modelli sono le grandezze rappresentative della macro-tessitura (ETD, MPD, MTD), mentre quelle indipendenti sono correlate a parametri caratterizzanti la distribuzione granulometrica, il contenuto di bitume e la volumetria del conglomerato.

ID	Model	Notes	Reference
[1]	$ETD = 0.01980MAS - 0.004984P_{4.75} + 0.1038Cc + 0.004861Cu$ <p>Where:                      ETD : estimated texture depth [mm] (ASTM E965/E1845)                      MAS: maximum aggregate size of the mixture [mm]  <math>P_{4.75}</math> : percent passing the 4.75 mm sieve.  <math>Cc</math> : coefficient of curvature = <math>(D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})</math>  <math>Cu</math> : coefficient of uniformity = <math>D_{60} / D_{10}</math>  <math>D_i</math> : sieve associated with 10%, 30%, 60% passing [mm]</p>	<p><u>Data from:</u>                      Experimental measurements in situ during NCHRP 441 for a segregation study;  <u>Mixes examined:</u>                      DGFC (a limited HMA set);  <u>Data analysis:</u>                      ETD estimation for SMA and OGFC to be optimised;                      ETD outliers when the percent passing the 0.075 mm sieve size exceed 10%;  <u>Model statistics:</u>  <math>R^2=0.65</math>.</p>	(Stroup-Gardiner and Brown, 2000) [02] (Flintsch et al, 2003) [03] (McGhee et al, 2003) [04]
[2]	<p>[a] <math>MTD = 0.6421FM^2 - 5.235FM + 11.224</math>                      [b] <math>MPD = 0.4973FM^2 - 3.926FM + 8.287</math>                      [c] <math>MPD = 0.2421FM^2 - 1.576FM + 2.727</math></p> <p>Where:                      MTD: mean texture depth [mm]                      MPD: mean profile depth from CT Meter (ASTM E2157) [mm]                      FM: fineness modulus calculated by summing the cumulative percentages retained on specific sieves and divided by 100 (ASTM C125)</p>	<p><u>Data from:</u>                      [a][b] Experimental measurements on the 2000 NCAT Test Track (after 2 years of in-service aging);                      [c] Experimental measurements on the replacement sections of 2003 NCAT Test Track;  <u>Mixes examined:</u>                      [a] SuperPave                      [b] SuperPave, DGFC, OGFC, Novachip                      [c] SuperPave, DGFC, OGFC, Novachip, PGFC  <u>Model statistics:</u>                      [a] <math>R^2=0.62</math>;                      [b] <math>R^2=0.84</math>; [c] <math>R^2=0.93</math></p>	(Hanson and Prowell, 2003) [05]
[3]	$MPD = 0.025\Omega^2 + 0.037\Omega - 0.0265P_b + 0.052$ <p>Where:                      MPD : mean profile depth [mm]  <math>\Omega</math> : weighted distance from the maximum density line (*)</p> $\Omega = \sum_{i=1}^N abs \left[ \left( \frac{d_i}{D} \right)^{0.45} \cdot 100 - P_i \% \right] \cdot \frac{d_i}{100}$ <p>where:  <math>d_i = S_{iVS}</math> : sieve size [mm]  <math>D = MaxAgg</math> : maximum aggregate size in mix [mm]  <math>P_i \% = \%_{pass}</math> : percent of mixing passing the sieve size  <math>P_b</math> : percent binder by weight                      N: number of sieves</p>	<p><u>Data from:</u>                      Experimental measurements in situ on 17 NCAT accelerated pavement performance test cells;  <u>Mixes examined:</u>                      DGFC, SMA, OGFC.  <u>Model statistics:</u>  <math>R^2=0.96</math></p>	(Sullivan, 2005) [06]

[4]	$MPD = -3.596 + 0.1796 \cdot NMS + 0.0913 \cdot PP200 - 0.0294 \cdot VTM_{Lab} + 0.1503 VMA_{Lab}$ <p>Where (*):                      MPD: mean profile depth [mm]                      NMS: nominal maximum aggregate size [mm].                      PP200: percentage passing the #200 sieve size [%]                      VTM<sub>Lab</sub>: total voids in the mix [%]                      VMA<sub>Lab</sub>: voids in the mineral aggregate [%]</p>	<p><u>Data from:</u>                      Experimental measurements in situ at the Virginia Smart Road;  <u>Mixes examined:</u>                      5 SuperPave™, 1 SMA, 1 OGFC;  <u>Data analysis:</u>                      Issues in terms of the sign of VTM<sub>Lab</sub> and constant. MPD is expected to increase with higher VTM<sub>Lab</sub>;  <u>Model statistics:</u>                      R<sup>2</sup>=0.97</p>	(Davis et al, 2001) [07]
[5]	$MPD = -2.896 + 0.2993NMS + 0.0698VMA$ <p>Where:                      MPD : mean profile depth [mm]                      NMS: nominal maximum aggregate size [mm].                      VMA: voids in the mineral aggregate [%]</p>	<p><u>Data from:</u>                      Experimental measurements in situ on 12 sections at the Virginia Smart Road.  <u>Mixes examined:</u>                      5 SuperPave™, 1 SMA, 1 OGFC  <u>Model statistics:</u>                      R<sup>2</sup>=0.965</p>	(Davis et al, 2001) [08] (Davis et al, 2002) [09]
[6]	$ETD = 0.78ICCTEX - 0.38$ <p>Where:                      ETD: estimated texture depth [mm] (ASTM E965).  <math>ICCTEX = -2.896 + 0.2993NMS + 0.0698VMA</math>                      where:                      ICCTEX: ICC (International Cybernetic Corporation) estimated texture/profile depth [mm]                      NMS: nominal maximum aggregate size [mm].                      VMA: voids in the mineral aggregate [%]</p>	<p><u>Data from:</u>                      Experimental measurements in situ at the Virginia Smart Road.  <u>Mixes examined:</u>                      5 SuperPave™, 1 SMA, 1 OGFC  <u>Data analysis:</u>                      Better performance for the non traditional coarser SMA and OGFC mixes than Model [1]  <u>Model statistics:</u>                      R<sup>2</sup>=0.88</p>	(Flintsch et al, 2002) [10] (Flintsch et al, 2003) [11] (Hanson and Prowell, 2003) [12] (McGhee et al, 2003) [13]
[7]	$MTD = 0.24 + 0.981 \left( \frac{FM \cdot VMA}{P_{4.75} \cdot BRD} \right)$ <p>Where:                      MTD: mean texture depth [mm] (ASTM E965)                      FM: fineness modulus fineness modulus calculated by summing the cumulative percentages retained on specific sieves and divided by 100 (ASTM C125)                      VMA: voids in the mineral aggregate [%]                      P<sub>4.75</sub>: percent passing the 4.75 mm sieve                      BRD: bulk relative density of the compacted field</p>	<p><u>Data from:</u>                      Experimental measurements on field specimens taken from selected section during the City of Ottawa's annual resurfacing program (2004);  <u>Mixes examined:</u>                      Superpave 12.5mm FC1, Superpave 12.5mm, SMA 12.5mm, HL3 and HL1 modified (standard Marshall mixes used by Ontario municipalities);  <u>Model statistics:</u> R<sup>2</sup>=0.95</p>	(Goodman et al, 2006) [14]

Tabella 4.1 - Principali modelli rinvenuti in letteratura

#### 4.2.1 Fattori compositivi delle miscele e macrotestitura superficiale

Il modello (1), tratto dal NCHRP Report 441 (Stroup-Gardiner and Brown, 2000) [02], è stato elaborato partendo dal presupposto dell'esistenza di una geometria di tessitura ideale per ogni miscela di conglomerato bituminoso; tale tessitura può essere governata e, quindi, prevista attraverso il controllo di alcune proprietà legate alla composizione della miscela.

La ricerca alla base dell'elaborazione analitica del modello è stata condotta utilizzando un numero limitato di miscele di conglomerato bituminoso; la previsione della macrotestitura superficiale viene espressa in termini di ETD (estimated texture depth). Il valore di ETD rappresenta la stima della profondità media di tessitura (derivante dalle misure di altezza in sabbia) calcolata utilizzando una trasformazione lineare del parametro MPD (cfr. Capitolo 3).

Gli altri parametri che entrano in gioco nel modello sono la dimensione massima dell'aggregato lapideo (MAS), la quantità di sabbia presente nella miscela e i coefficienti di Curvatura (Cc) e di uniformità (Cu) caratteristici della distribuzione granulometrica.

Alcuni studi di letteratura correlati (Hanson and Prowell 2003) [05] hanno dimostrato come il modello produca valori outliers per quelle miscele in cui la percentuale di passante allo 0.075 (il filler) eccede il 10%. Altri studi (Flintsch et al, 2003) [03], (McGhee et al, 2003) [04], attraverso analisi statistiche di correlazione fra i valori di ETD previsti e le misure di altezze in sabbia in situ, hanno messo in luce i limiti del modello nella previsione dell'indicatore di tessitura per miscele SMA e OGCF.

La relazione matematica che lega le grandezze caratteristiche del modello evidenzia una forte influenza del coefficiente di curvatura della distribuzione granulometrica sull'indicatore ETD; anche la dimensione massima dell'aggregato lapideo sembra essere un input determinante nella previsione della tessitura. La percentuale di sabbia presente nella distribuzione è inserita nella relazione con segno negativo, pertanto, come già evidenziato in precedenza, è inversamente proporzionale alla profondità di tessitura.

L'equazione caratteristica del modello (2a) è stata ricavata a valle di uno studio condotto dal National Center of Asphalt Technology in base ai dati di composizione e di tessitura relativi alle pavimentazioni del NCAT Test Track [05]. L'analisi statistica di regressione, elaborata attraverso l'utilizzo del software statistico Minitab, ha reso possibile lo screening iniziale delle variabili di composizione da correlare agli indicatori di tessitura. Le variabili considerate in tale analisi sono la dimensione massima dell'aggregato (NMA), le percentuali di passante relative

alle varie frazioni granulometriche, i parametri caratteristici della distribuzione ( $C_c$ ,  $C_u$ ,  $P_{4.75}$ ), il Fineness Modulus (FM) e la percentuale dei vuoti VMA. Il parametro di input più significativo è risultato essere proprio il modulo di finezza FM determinato come somma delle percentuali cumulate di trattenuto da crivelli e setacci standard in accordo con quanto previsto dalla norma di riferimento ASTM C125 [11]. L'equazione determinata è una polinomiale di secondo ordine. Una relazione analoga (Modello 2b) è stata ricavata, in base ai dati sperimentali del 2000 NCAT Test Track, considerando anche miscele aperte (OGCF) e Novachip. In tal caso unica variabile indipendente del modello è, appunto, il modulo di finezza precedentemente definito. Ancora una volta si evince come la profondità media di tessitura di una pavimentazione stradale posta in opera possa essere “gestita” già in fase di progetto della miscela di conglomerato bituminoso ponendo particolare attenzione non solo alla scelta della dimensione massima dell'aggregato ma anche a parametri caratteristici dell'intera distribuzione granulometrica dell'inerte lapideo.

I modelli (2a) e (2b), tuttavia, sono stati elaborati a partire da dati di tessitura misurati in situ a due anni dall'apertura al traffico delle pavimentazioni appartenenti ai tronchi sperimentali monitorati. Gli autori, dunque, hanno effettuato in parallelo una seconda campagna di rilievo della tessitura superficiale in situ, tramite profilometro, su nuovi manti di usura realizzati per il 2003 NCAT Test Track e sono pervenuti all'elaborazione della medesima espressione analitica di correlazione fra MPD e FM (Modello (2c)) (cfr. *Fig. 4.2*).

La *Fig.4.3* mostra la variabilità fra tessitura prevista e tessitura misurata (in termini di MPD) per entrambe le famiglie di dati. Si osserva chiaramente un offset fra i dati relativi al 2000 NCAT Test Track e quelli caratteristici del 2003 Test Track, ossia fra i dati di tessitura relativi ad una pavimentazione in cui è già innescato un fenomeno di deterioramento dovuto all'azione del traffico veicolare, rispetto a quelli monitorati su una superficie appena posta in opera. Tale differenza viene evidenziata anche dall'espressione analitica dei modelli.

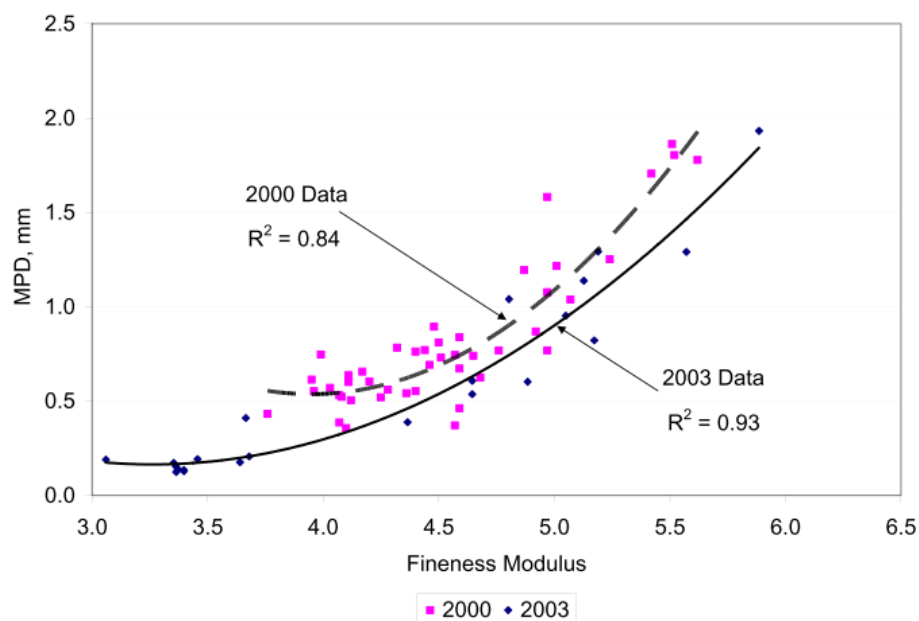


Fig.4.2 – Correlazione MPD –FM per entrambe le tipologie di pavimentazione considerate [05]

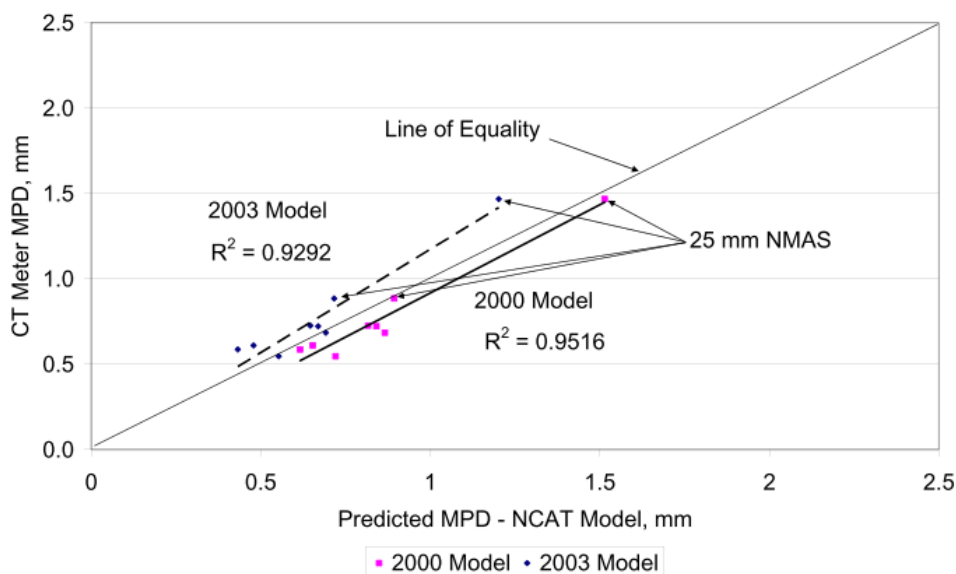


Fig.4.3 - variabilità fra tessitura prevista e tessitura misurata (in termini di MPD) [05]

In particolare, per le pavimentazioni già in esercizio, a parità di Fineness Modulus e quindi di distribuzione granulometrica, i valori di MPD risultano più elevati. Si denota, poi, che il valore minimo di MPD si registra per un FM di circa 4 nel caso di pavimentazione usurata e per un FM pari a 3 per pavimentazioni appena realizzate; infine, lo stesso valore della profondità di tessitura superficiale si ottiene per valori di FM più elevati nel caso di pavimentazioni nuove. Le

precedenti considerazioni potrebbero essere valutate come conseguenza diretta del processo di spogliamento del bitume non ancora avvenuto sulle pavimentazioni appena poste in opera.

Il modello (3) ha come obiettivo quello di valutare gli effetti di parametri di composizione quali la distribuzione granulometrica della miscela e il contenuto di bitume sulla tessitura superficiale espressa in termini di MPD. La validazione del modello teorico è stata effettuata attraverso misure di tessitura in situ; le miscele comprendono un'usura chiusa, uno SMA (Splitt Mastix Asphalt) e un'usura drenante.

La metodologia utilizzata per il calcolo della profondità media di tessitura è basata sul calcolo del parametro  $\Omega$ , definito formalmente come la "Weighted Distance from the maximum density line" (distanza dalla retta di massimo addensamento). Il valore di  $\Omega$  si ottiene, in corrispondenza di ciascuna dimensione dei setacci e per tutte le pezzature costituenti l'assortimento granulometrico, sommando le distanze tra la curva di massimo addensamento di Fuller e Thompson [12] e la curva granulometrica di progetto delle miscele, secondo l'espressione analitica riportata in *Tabella 4.1*.

Il parametro  $\Omega$  rappresenta, quindi, il livello di addensamento della miscela e, di conseguenza, è indicativo della percentuale dei vuoti della miscela dei soli aggregati (VMA): una miscela caratterizzata da una distribuzione granulometrica simile a quella di massimo addensamento ha una percentuale dei vuoti prossima allo zero con evidenti ripercussioni sulla geometria della tessitura superficiale. Il modello, prevedendo una espressione analitica di secondo grado in  $\Omega$ , mostra come la variazione di tale parametro può essere valutata in maniera diversa a seconda del segno algebrico della distanza pesata dalla curva di massimo addensamento. In particolare, distanze negative corrispondono a distribuzioni granulometriche prevalentemente superiori alla curva di massimo addensamento; il ramo della parabola per valori di  $\Omega$  negativi è discendente: all'aumento di  $\Omega$  corrisponde una diminuzione di MPD (la curva si avvicina a quella di massimo addensamento e si riducono i vuoti). Viceversa per valori di  $\Omega$  positivi (distribuzione inferiore alla curva di massimo addensamento) l'incremento di  $\Omega$ , ossia l'aumento della distanza dalla curva di massimo addensamento, determina un incremento di VMA e un conseguente aumento di MPD. Per valori di  $\Omega$  molto bassi (sia positivi che negativi) è possibile che MPD sia prossimo allo zero o addirittura negativo. In tal caso fattore discriminante diventa il secondo parametro di input del modello: il contenuto di legante espresso in percentuale in peso sulla miscela. In particolare, a parità di distribuzione



granulometrica, l'aumento della percentuale di bitume determina una diminuzione di MPD evidentemente legata al maggiore riempimento delle macroasperità superficiali.

Il modello (7) è stato elaborato a valle di uno studio più ampio, incentrato sull'analisi di correlazione fra tessitura in situ e tessitura rilevata su provini di conglomerato bituminoso confezionati con pressa a taglio giratoria secondo metodica Superpave [10].

La sperimentazione di laboratorio ha riguardato otto diverse tipologie di miscele. Su entrambe le facce dei provini (superiore ed inferiore) sono state effettuate misure di HS e BPN. I medesimi indicatori di tessitura e aderenza, sono stati, poi, determinati su carote prelevate in situ per caratterizzare le performance superficiali del piano di rotolamento posto in opera.

Il modello analitico elaborato consente di prevedere il valore di macrotessitura, espresso in termini di MTD (misure effettuate con il metodo dell'altezza in sabbia), a partire dalle proprietà compositive e volumetriche delle miscele. Dalla costruzione di matrici di correlazione tra MTD e indicatori di composizione è emersa l'esistenza di una correlazione positiva forte fra MTD e il Fineness Modulus e fra MTD e la percentuale dei vuoti VMA. Correlazioni negative, invece, sono state determinate fra MTD e la quantità di sabbia presente nell'assortimento granulometrico (P4.75), nonché fra MTD e la densità in situ del conglomerato compattato (BRD).

I parametri FM e P4.75, tuttavia, risultano statisticamente dipendenti, così come VMA e BRD. Per includere tutte le variabili di composizione in un'unica espressione analitica sono stati presi in considerazione i prodotti  $FM \cdot VMA$  e  $P.475 \cdot BRD$ .

Il modello mostra che un aumento dei vuoti VMA, ovvero, analogamente, l'uso di una miscela di aggregati più grossolani (FM elevato) determina un incremento della profondità di tessitura superficiale. Viceversa, l'aumento del quantitativo di sabbia costituente la miscela (o della densità in situ) riduce sensibilmente il valore di MTD.

#### **4.2.2 Fattori costruttivi delle miscele e macrotessitura superficiale**

Numerose ricerche propongono risultati interessanti anche in merito all'analisi dell'influenza delle modalità di costipamento dei conglomerati bituminosi (in situ ed in laboratorio) sulla tessitura superficiale della miscela. Di seguito si propone un approfondimento bibliografico relativamente alle principali conclusioni tratte da tali studi di letteratura.

Lo studio condotto da D'Andrea e Loprencipe (D'Andrea, Lo Prencipe 2000) [13], promosso nell'ambito del progetto di ricerca Brite Euram TINO 1552 [14], è orientato a quantificare gli effetti delle modalità di posa in opera del conglomerato bituminoso sulla tessitura superficiale della pavimentazione stradale in riferimento alla tipologia di macchine costipanti, alle modalità di utilizzo e alle condizioni finali di addensamento raggiunto. La fase sperimentale dello studio ha visto la realizzazione di 32 tratti di pavimentazione suddivisi in 6 diversi cantieri stradali con l'utilizzo di diversi mezzi d'opera per il costipamento delle miscele: rulli statici e vibranti a diverse velocità operative. Per la determinazione delle proprietà superficiali di tessitura sono state effettuate sia misure di HS che rilievi con profilometro laser motorizzato. La sperimentazione si pone l'obiettivo di chiarire due problematiche fondamentali:

1. se, a parità di composizione e grado di costipamento, l'impiego di mezzi vibranti e non induce cambiamenti della tessitura correlabili alla frequenza spaziale di vibrazione;
2. se, a parità di composizione del mix design, il grado di costipamento influenza la forma spettrale della tessitura.

Dal confronto fra l'efficienza della rullatura statica e di quella dinamica non è stata confermata la simmetria, supposta in una prima fase, fra le frequenze spaziali dei massimi di pressione dei rulli e le lunghezze d'onda prevalenti nello spettro del profilo. Pertanto non sembra esista alcuna correlazione diretta fra le modalità di costipamento (statico/dinamico) e i livelli di tessitura caratteristici della tessitura superficiale della pavimentazione posta in opera.

Al contrario è accertato il legame fra il "risultato" del costipamento, ossia la percentuale di vuoti residui in situ, e la tessitura superficiale del piano di rotolamento. In particolare, i valori di MTD (Mean Texture Depth) per pavimentazioni costipate con rullo statico risultano superiori (0.1-0.2mm) rispetto a quelli relativi a miscele costipate con rullo dinamico; tale differenza riflette la variabilità dell'ordine di 1 - 2% registrata nella percentuale di vuoti residui (*cfr. Fig.4.4 e Fig. 4.5*).

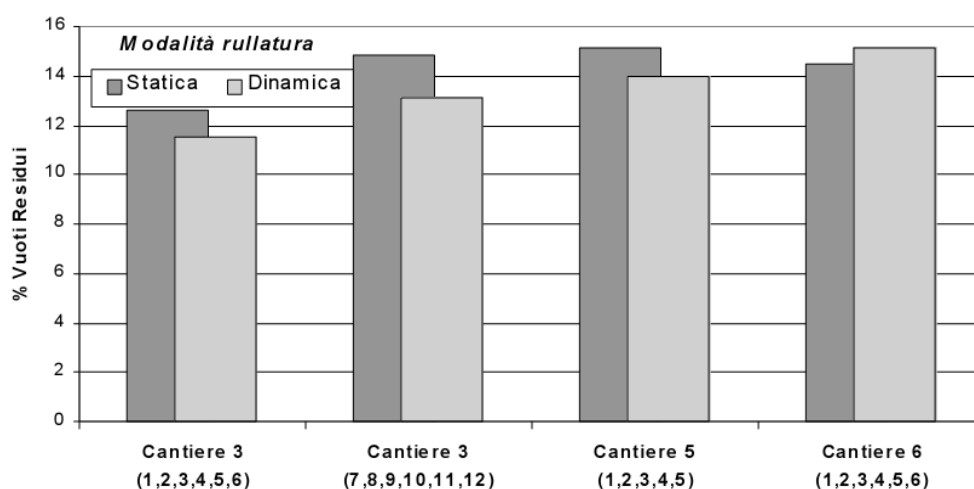


Fig. 4.4 – Variazione della percentuale di vuoti residui nella miscela al variare della tipologia di rullatura

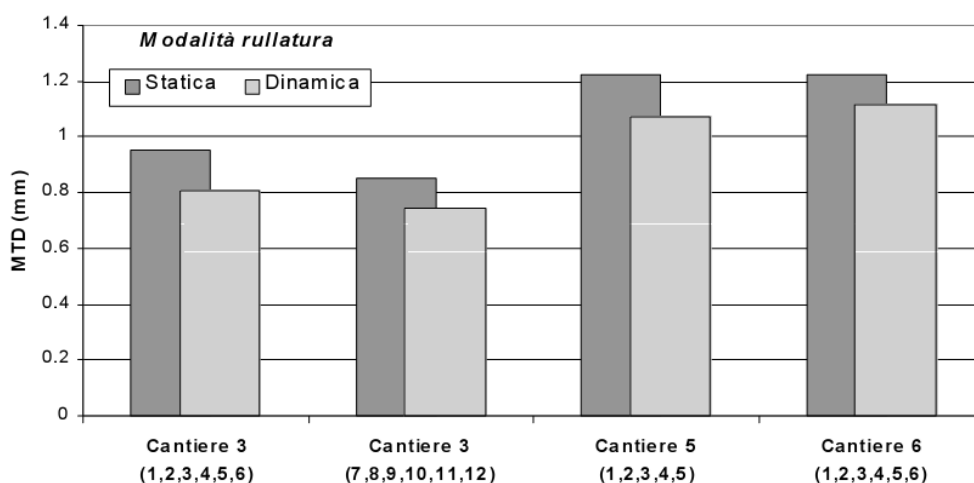


Fig. 4.5 – Variazione della profondità di tessitura al variare della tipologia di rullatura

Nell'ambito del progetto di ricerca TINO (D'Andrea et al, 1999) [15] è stata determinata, poi, una relazione fra la dimensione massima dell'aggregato ( $D_{max}$ ) e la lunghezza d'onda corrispondente al massimo livello di tessitura: minore è il valore di  $D_{max}$ , minore sarà la relativa lunghezza d'onda e, di conseguenza, minore sarà il livello di tessitura (Fig.4.6).

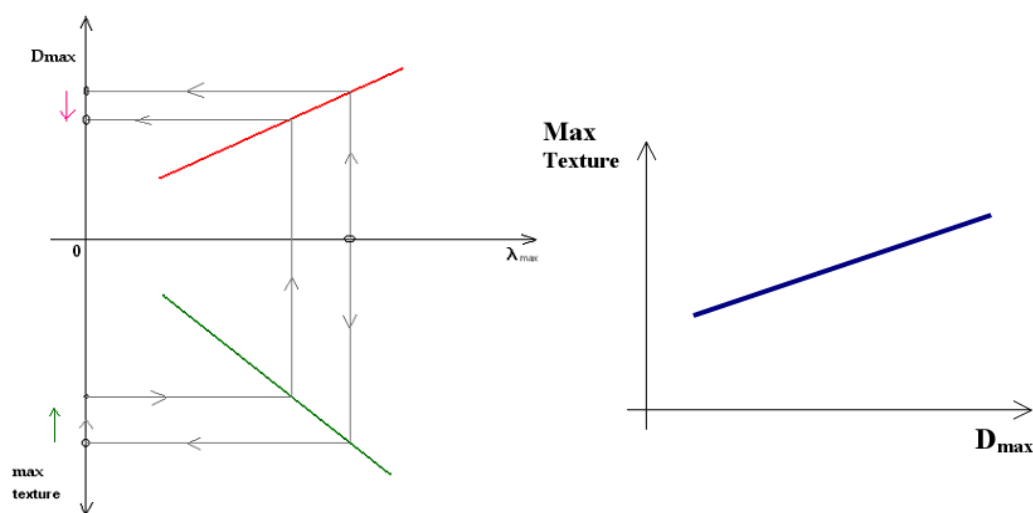


Fig.4.6 - Relazione fra la dimensione massima dell'aggregato ( $D_{max}$ ) e la lunghezza d'onda corrispondente al massimo livello di tessitura [13]

La correlazione statistica tra la percentuale dei vuoti residui della miscela e il livello massimo di tessitura, nonché la variabilità dei livelli di tessitura con il diametro massimo dell'inerte per i cantieri presi in esame nella memoria (D'Andrea, Loprencipe, 2000) [13] è riportata in Fig.4.7.

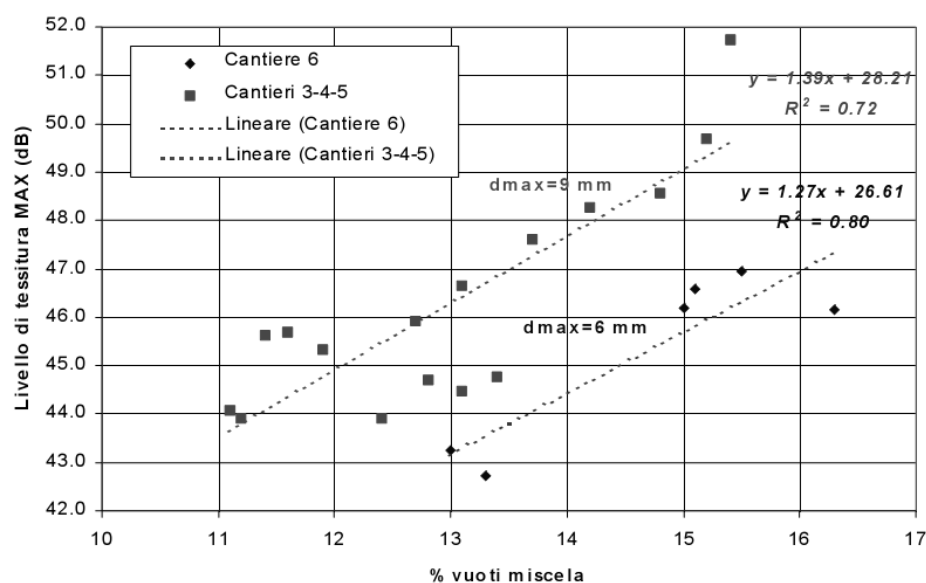


Fig.4.7 – Variabilità del livello di tessitura al variare della percentuale di vuoti e del diametro massimo dell'aggregato lapideo

Altri studi di letteratura (Boscaino et al, 2007; Boscaino et al, 2008) [16], [17], sono incentrati sulla possibilità di realizzare in laboratorio provini di conglomerato bituminoso con l'utilizzo della pressa giratoria attraverso i quali prevedere le caratteristiche superficiali delle miscele in

situ. La sperimentazione in oggetto dello studio ha riguardato una prima fase (in situ) relativa alla posa in opera di due manti di usura tradizionali; gli strati di conglomerato bituminoso sono stati realizzati entrambi su una corsia autostradale lenta e costipati, con rullo liscio in acciaio in modalità statica, per spessori finali di 3cm e 4 cm. Per ogni sezione sono state individuate quattro sottozone ciascuna delle quali costipata con un numero diverso di passaggi del rullo. Per ogni punto individuato sulle wheel track sono state effettuate misure di altezza in sabbia, di aderenza superficiale e sono stati tracciati profili attraverso strumentazione laser. L'elaborazione di tali profili ha portato alla determinazione di tre diversi indicatori intrinseci aggregati, ETD, MPD, AAV, e di indicatori disaggregati (livelli di tessitura). Trascurando la normale variabilità delle misurazioni in situ, l'analisi dei risultati ha mostrato numerosi interessanti risultati. Per ciò che riguarda la profondità di tessitura, i valori di MTD si mantengono pressoché costanti al variare del numero di passaggi del rullo. Il dato è interpretabile come conseguenza della particolare composizione del mix design: le modalità di costipamento dello strato di usura in termini di passaggi del rullo non influenzano la macrotessitura superficiale della pavimentazione posta in opera; al contrario, è evidente una chiara dipendenza dell'indicatore MTD dallo spessore dello strato superficiale, presumibilmente a causa delle diverse modalità con cui gli aggregati si dispongono durante il processo di stesa della pavimentazione; per lo strato con spessore maggiore (4 cm) l'indentazione fra i grani lapidei costituenti la miscela di conglomerato è più marcata con una conseguente riduzione della macrotessitura (MTD, MPD ed ETD) (Fig. 4.8 e Fig. 4.9).

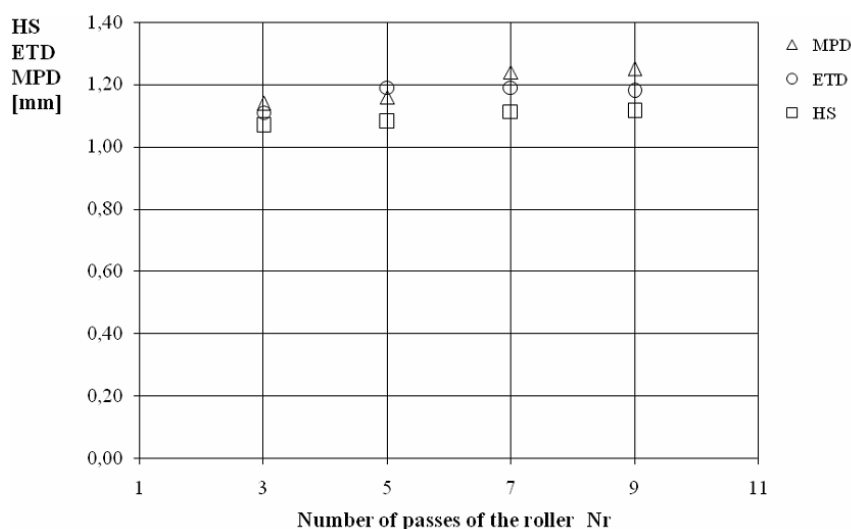


Fig.4.8 – Variabilità della macrotessitura al variare del n° di passaggi del rullo per strato con spessore 3 cm

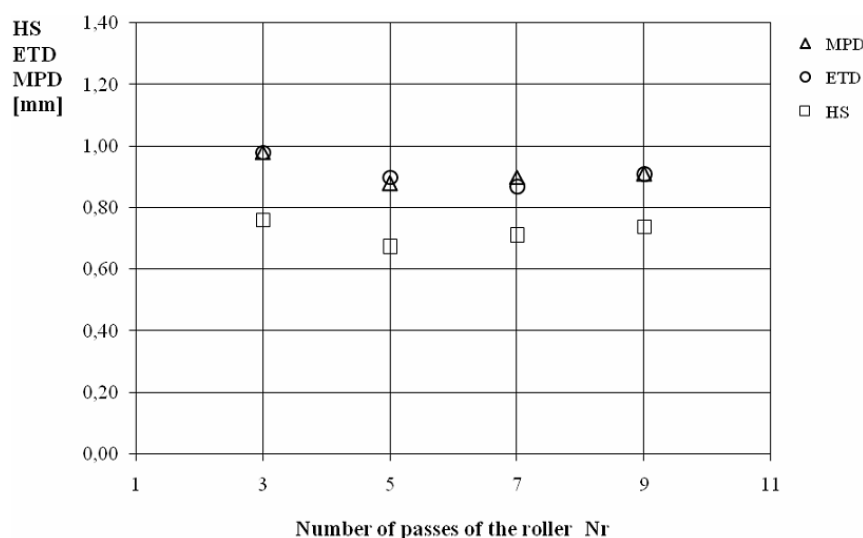


Fig.4.9 – Variabilità degli indicatori di macrotestitura al variare del numero di passaggi del rullo per strato con spessore 4 cm

Nel campo della microtestitura, l'indicatore AAV, rappresentativo della densità di creste presenti nel profilo, rimane costante al variare del numero di passaggi del rullo ma anch'esso varia a seconda dello spessore dello strato. Lo studio degli spettri di tessitura per ciascun profilo mostra che anche i livelli di tessitura si mantengono costanti al variare del numero di passaggi del rullo (in particolare per lunghezze d'onda minime) (*cfr. Fig. 4.10*). Il risultato conferma quanto già affermato per MTD. Le differenze fra i livelli di tessitura si registrano al variare dello spessore dello strato (*Fig.4.11*).

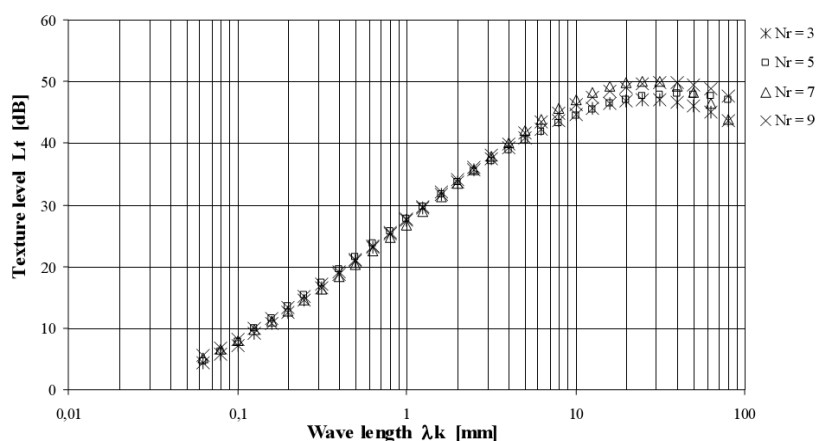


Fig.4.10 – Variabilità dei livelli di tessitura al variare del numero di passaggi del rullo

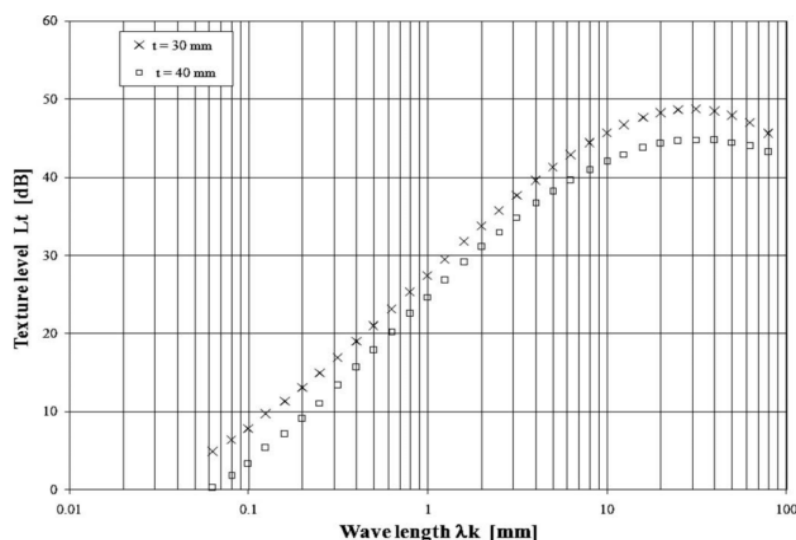


Fig.4.11 – Variabilità dei livelli di tessitura al variare dello spessore dello strato

In definitiva, è possibile affermare che la variabile che maggiormente influenza le proprietà superficiali del conglomerato bituminoso durante le fasi di stesa è lo spessore finale dello strato di usura. Anche la percentuale di vuoti residui in situ, determinata attraverso carote prelevate in ciascun punto di misura, risente dello spessore dello strato: la differenza percentuale di vuoti residui per i due diversi spessori è dell'ordine del 3%. Una maggiore compattazione in situ si ottiene per uno spessore pari a 4 cm (Fig. 4.12) con chiare ripercussioni sulla macrotessitura del piano di rotolamento. Infatti, per lo strato di spessore 3 cm il rapporto tra lo spessore stesso e la dimensione massima dell'aggregato è minore del valore di riferimento ( $t/NMAS < 4$ ) per le miscele di conglomerato bituminoso.

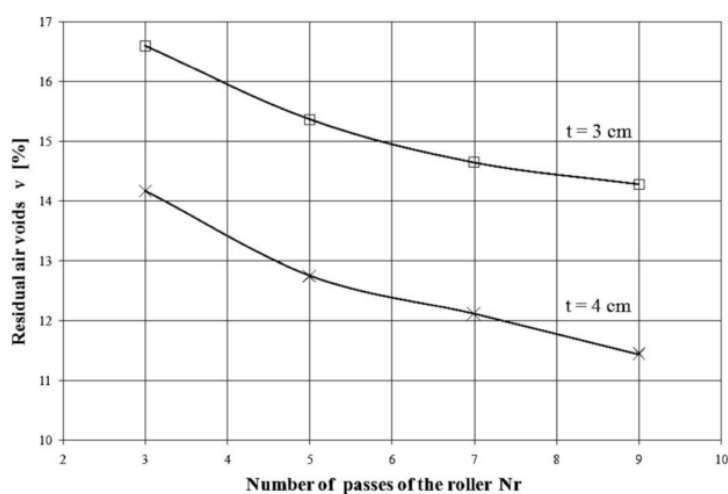


Fig.4.12 – Legame fra percentuale dei vuoti residui, spessore dello strato e numero di passaggi del rullo

### 4.3 BIBLIOGRAFIA SPECIFICA CAPITOLO 4

- [01] Praticò F.G., Vaiana R<sup>1</sup>, Moro, A., Iuele T.- HMA composition vs. surface characteristics: issues and perspectives to optimise road asset management – 2<sup>ND</sup> International Conference on Transport Infrastructures, San Paolo, Brasile, 4-6 Agosto 2010.
- [02] Stroup-Gardiner, M. and Brown, E. R., 2000. *Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements*. National Cooperative Highway Research Program Report No. 441, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- [03] Flintsch, G.W., de Leon, E., McGhee, K.K. and Al-Qadi, I.L., 2003 - *Pavement Surface Macrottexture Measurement and Applications*. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1860, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp 168-177, 2003.
- [04] McGhee, K. K., Flintsch, G. W. and de Leon Izeppi, E., - *Using High-Speed Texture Measurements to Improve Uniformity of Hot-Mix Asphalt*, VTRC 03-R12, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, VA, 2003.
- [05] Hanson, D. I. and Prowell, B. D., 2004. *Evaluation of circular texture meter for measuring surface texture of pavements*. NCAT Report 04-05, September 2004.
- [06] Sullivan, B.W., - *Development of a fundamental skid resistance asphalt mix design procedure* - Surface Friction Conference, New Zeland, May 2005
- [07] Davis, R., Flintsch, G. F., Al-Qadi, I. L. and McGhee K. K., 2002. *Effect of Wearing Surface Characteristics on Measured Pavement Skid Resistance and Texture*. Preprint, Presented at the 81<sup>st</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, January 13-17, 2002;
- [08] Davis, R., 2001. *Comparison of Surface Characteristics of Hot-Mix Asphalt Pavement Surfaces at the Virginia Smart Road*. Master's Thesis - Master of Science, Department of Civil Engineering, Blacksburg, Virginia, June 2001;
- [09] Flintsch, G. W., Al-Qadi, I. L. Davis, R. and McGhee K. K., 2002. *Effect of HMA Properties on Pavement Surface Characteristics* - [FWD User's Group Presentations](#)
- [10] Goodman, S. N., Hassan, Y. and Abd El Halim A.O. - *Preliminary Estimation of asphalt pavement frictional properties from superpave gyratory specimens and mix parameters*. TRB Annual Meeting, 2006.
- [11] ASTM C125 - 11a Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.



- [12] Fuller W.B., Thompson S.E. - *Law of Proportioning Concrete* - Transactions American Society of Civil Engineers, Vol. 59, 1907
- [13] D'Andrea, A. and Loprencipe, G., - *Influenza delle modalità di messa in opera sulla tessitura delle pavimentazioni stradali* - Convegno Nazionale SIIV, Acireale (CT), Italy, 2000,
- [14] Progetto di ricerca *BRITE EURAM - 1552 "TINO"* finanziato dalla EU per il triennio 1996-1998.
- [15] D'Andrea A., Di Mascio P., Domenichini L., Ranzo A. - *TINO Prototype of a Low Noise Asphalt*. - 1° International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction "The Noise Emission - Roma, 28 maggio 1999
- [16] Boscaino Gabriele, Celauro Bernardo, Celauro Clara, Amadore Antonio - *Experimental testing for physical and functional characterization of wearing courses* - 4th International SIIV Congress - Palermo (Italy), 12-14 September 2007
- [17] Boscaino Gabriele, Celauro Bernardo, Celauro Clara, Amadore Antonio - *Evaluation of the laboratory prediction of surface properties of bituminous mixtures* - Construction and Building Materials, 2008