

SITEBSi srl
**Rassegna
del bitume**

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **37/01**

Studi di formulazione delle miscele bituminose: alcune esperienze internazionali
Studies of bituminous mixes formulation: some international experiences

Michele Moramarco
SITEB

Studi di formulazione delle miscele bituminose: alcune esperienze internazionali

Studies of bituminous mixes formulation: some international experiences

MICHELE MORAMARCO

Siteb

Riassunto

L'ottimizzazione delle curve granulometriche delle miscele bituminose consente, accanto ad un'opportuna scelta del legante, l'ottenimento in opera di conglomerati con caratteristiche prestazionali elevate.

Il processo di ottimizzazione, attualmente basato sullo studio Marshall, può essere convenientemente modificato sulla scorta degli studi e delle esperienze compiute.

I due modelli di formulazione richiamati (SHRP e Codice belga) suggeriscono di studiare la miscela ottimale sulla base delle proprietà volumetriche della stessa.

Summary

The optimization of granulometric curves of bituminous mixes allows both the right choice of the binder and the laying of mixes with high performances.

The process of optimization, now based on Marshall study, can be conveniently modified thanks to new studies and experiences.

The two examples of formulation introduced (SHRP and Belgian code) suggest to study the "optimal" mix according to its volumic properties.

1. Metodologie adottate per la formulazione di miscele "ottimali"

L'evoluzione dei materiali, del traffico e delle tecniche costruttive da una parte, la ricerca di più elevati livelli di sicurezza e di comfort per l'utenza dall'altra, hanno

portato nel corso degli ultimi decenni ad un diverso modo di concepire la formulazione delle miscele bituminose.

Queste nuove esigenze hanno prodotto un'intensificazione delle ricerche nel campo dei conglomerati bituminosi e, grazie all'esperienza acquisita e ai dati raccolti negli anni, si è giunti alla conclusione che una revisione dei metodi ed un loro adattamento ai bisogni attuali fossero necessari.

Per l'elaborazione dei nuovi metodi si è fatto sistematicamente ricorso ai risultati di ricerche sperimentali basate sullo studio delle proprietà meccaniche delle miscele bituminose: uno dei principali insegnamenti scaturiti dalla sperimentazione è che la composizione di una miscela deve essere determinata in volume. Benché questa necessità sia già stata menzionata e ribadita negli ultimi anni da numerosi studiosi e centri di ricerca, la formulazione in volume è stata applicata soltanto raramente.

2. Codice belga per la formulazione di miscele bituminose

Nel "Code de bonne pratique pour la formulation des enrobés bitumineux denses" del Centre de Recherches Routières di Bruxelles, la formulazione in volume viene riportata tra i principi di base del documento.

Il Codice ha per scopo la presentazione di un metodo di formulazione del conglomerato che tiene conto del tipo di miscela bituminosa e della sua funzione nella sovrastruttura stradale; è dedotto, contemporaneamente, dalle prove di laboratorio e dalle osservazioni effettuate durante l'esercizio.

Il metodo procede su tre grandi linee (Fig. 1):

Composizione volumica: vista la diversità dei materiali utilizzabili, specialmente per quel che concerne le masse volumiche, la composizione di una miscela bituminosa deve essere concepita in rapporti volumetrici; soltanto in una seconda fase si può passare a ragionare in termini di rapporti di massa.

Composizione volumica di base - metodo analitico:

vista la gamma di variazione di certe caratteristiche dei costituenti utilizzabili, la composizione di una miscela bituminosa deve in primo luogo essere concepita sulla base di un metodo analitico che prenda in considerazione i parametri importanti condizionanti le proprietà della miscela (durabilità e stabilità).

Il metodo analitico utilizza come dati di ingresso:

- la massa volumica dei differenti granulati (aggregato grosso, sabbia e filler);
- la massa volumica del legante;

- la frazione di vuoti nella sabbia;
- la frazione di vuoti nel filler;
- la percentuale di vuoti che si vuole ottenere nella miscela (in funzione del tipo di miscela da realizzare);
- il volume di aggregato e dei grani di sabbia;
- la consistenza del mastice espressa dall'aumento della temperatura di rammollimento (palla e anello).

Uno degli scopi ricercati è di evitare l'eccessivo riempimento dei vuoti dello scheletro minerale "sabbia+aggregato" da parte del mastice "filler+bitume".

L'ignorare questa necessità conduce inevitabilmente a miscele con proprietà imprevedibili e molto spesso inadeguate. Per una data composizione, il fatto di soddisfare alla condizione di adeguato riempimento è un elemento favorevole per ottenere un comportamento meccanico soddisfacente. Questa condizione non è però sempre sufficiente a garantire la stabilità e la durabilità della miscela. È così che, per esempio, una miscela di aggregato e sabbia può non avere il tenore in vuoti sufficiente per contenere il volume di mastice necessario per legare l'insieme.

Verifica della composizione analitica di base:

questa verifica fa appello ad una prova meccanica indispensabile prima di passare alla messa in opera del conglomerato; si basa sul "metodo Marshall", per il quale risulta assolutamente necessario seguire scrupolosamente la procedura operativa della norma. Affinché possa essere accettata, la formulazione di base, sottoposta alla prova Marshall, deve dare risultati soddisfacenti ad un certo numero di criteri, i quali dipendono, da una parte, dalla funzione dello strato considerato nella sovrastruttura e, dall'altra, dall'importanza del traffico da sopportare. In caso di non soddisfacimento di questi criteri, la formulazione deve essere modificata.

I risultati della prova meccanica e la loro interpretazione permettono di decidere se sarà necessario modificare la scelta di uno o più componenti, oppure modificare la composizione di partenza (rapporto dei volumi aggregato grosso/sabbia, composizione del mastice, volume del mastice). La formulazione di base così modificata è sottoposta nuovamente alla prova meccanica per la conferma delle variazioni apportate.

Le interazioni mutue dei diversi costituenti della

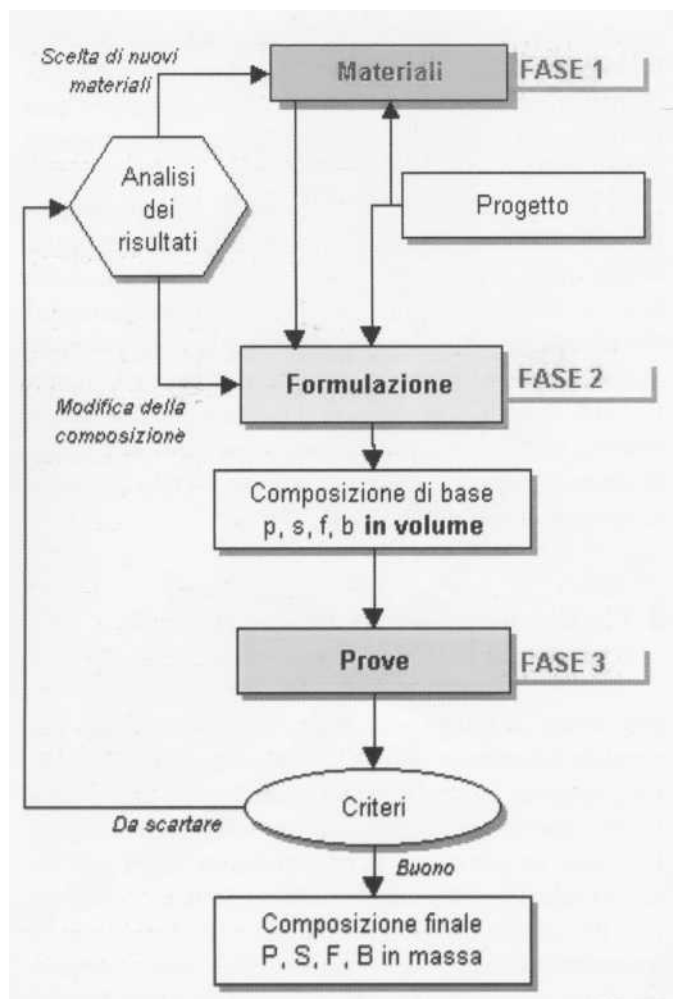


Fig. 1 - Codice belga: schema del metodo

miscela sono giudicate in maniera globale a mezzo della prova meccanica; l'interpretazione dei risultati che questa fornisce, alla luce del modello analitico proposto, deve permettere la realizzazione di miscele di qualità, tramite un processo iterativo di prove e di correzioni.

Dato il gran numero di fattori da prendere in considerazione per la risoluzione del problema della formulazione delle miscele bituminose, gli autori del Codice hanno cercato di tener conto sia delle necessità di una presentazione efficace e semplice, ma che comunque non scenda ad un livello di semplificazione troppo basso, sia, nella scelta degli aggregati, delle esigenze tecniche ed economiche.

Queste tre fasi costituiscono un insieme indissociabile e vanno eseguite consequenzialmente.

3. Il Sistema Superpave

Anche i risultati degli studi compiuti oltreoceano (livello 1 del metodo SHRP - Superpave) indicano l'opportunità di considerare alcuni elementi volumetrici per la definizione di un *mix design* di prima approssimazione per i conglomerati bituminosi.

Lo Strategic Highway Research Program (SHRP) è un programma di ricerca portato avanti negli Stati Uniti tra il 1987 ed il 1993.

Finanziato con uno stanziamento di 150 milioni di dollari, si riproponeva l'obiettivo di migliorare le prestazioni e la durevolezza delle strade nazionali e di rendere queste strade più sicure per gli utenti.

Il programma di ricerca venne basato su quattro specifiche aree, una delle quali (Asphalt) relativa ai conglomerati bituminosi.

Il prodotto finale del programma di ricerca SHRP fu il Superpave System.

Esso include nuove specifiche sui materiali, nuovi metodi e nuovi dispositivi di prova, un metodo di formulazione delle miscele ed un sistema software.

Il Superpave infatti è stato concepito per sostituire le diverse specifiche sui materiali ed i diversi metodi di formulazione dei conglomerati bituminosi attualmente in uso nei 50 Stati americani con un unico sistema basato sulle prestazioni che può fornire risultati fatti su misura per le diverse condizioni climatiche e di traffico presenti sulle strade nordamericane.

In un processo di *mix design* è necessario conciliare le desiderate prestazioni della pavimentazione con i costi e la reperibilità dei materiali.

Il Superpave System è teso a semplificare questo processo. Per raggiungere questo obiettivo il Superpave Mix Design System usa come criterio per la selezione del *mix design* soltanto proprietà basate sulle prestazioni o ad esse collegate.

Attraverso la selezione dei materiali appropriati e del *mix design* si mira direttamente a ridurre e controllare i tre tipi fondamentali di rottura: le deformazioni permanenti, le fessurazioni per fatica e quelle dovute alle basse temperature.

Pertanto la specifica Superpave basata sulla previsione della prestazione del conglomerato viene espressa in termini di profondità di ormaia, di area fessurata per fatica e di spazio fra le fessurazioni provocate dalle basse temperature.

La miscela di aggregati e legante che il Superpave tende ad individuare è caratterizzata da:

- una sufficiente quantità di legante perché sia durevole;
- una sufficiente percentuale dei vuoti nella miscela compattata degli aggregati secchi;
- una sufficiente percentuale dei vuoti nella miscela bituminosa compattata;
- sufficiente lavorabilità;
- soddisfacenti caratteristiche prestazionali durante la vita utile della pavimentazione.

Il Superpave Mix Design System è caratterizzato da tre livelli di progettazione (Fig. 2).

Ciascuno di essi è commisurato all'entità del traffico previsto durante la vita utile della pavimentazione, alla severità delle condizioni ambientali e al grado di affidabilità richiesto.

La complessità del processo di formulazione aumenta notevolmente passando dal livello 1 al 3.

Quest'ultimo richiede un numero più elevato di prove, più provini e naturalmente più tempo per completare la formulazione. In cambio però l'affidabilità, che rappresenta la probabilità che la miscela fornisca livelli di servizio soddisfacenti, aumenta proporzionalmente.

L'elemento comune a tutti e tre i livelli è la fase di *mix design* volumetrico. Le proprietà volumetriche della miscela vengono valutate in corrispondenza di diversi punti lungo una curva di costipamento al fine di selezionare la struttura granulometrica di progetto ed il contenuto di bitume di progetto più soddisfacenti.

Come guida alla selezione della curva granulometrica, per una miscela di conglomerato bituminoso a granulometria densa, il Superpave Mix Design System fornisce dei punti di controllo e "un'area interdotta" in funzione della dimensione nominale massima dell'aggregato.

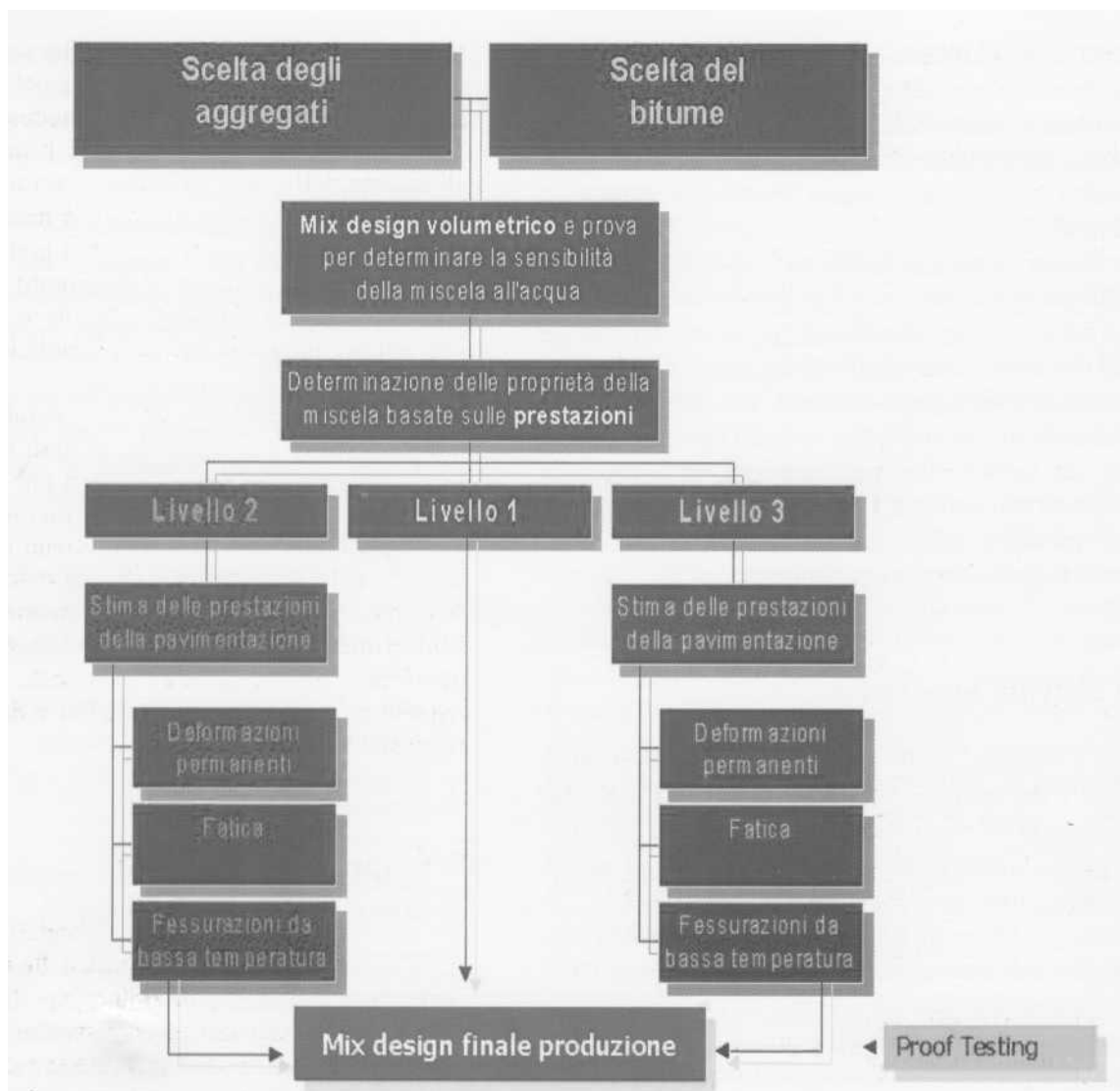


Fig. 2 - Livelli di progettazione del Superpave

Un esempio di curva di controllo viene riportato in Fig. 3.

Si possono osservare otto *control points* che rappresentano: le percentuali massime e minime dei passanti ai setacci da 75 μm , da 2,36 mm e da 12,5 mm; la percentuale massima del passante al setaccio da 9,5 mm; il punto d'intersezione della verticale per il punto della dimensione massima con l'orizzontale in corrispondenza del 100 % di passante.

Viene anche definita la linea di massima densità (una linea congiungente l'origine col punto in cui la verticale di ascissa pari alla dimensione massima intercetta la linea del 100 % di passante).

La zona interdetta, situata in corrispondenza della linea di massima densità, è compresa tra i setacci di dimensione 300 μm e 2,36 mm; al variare della

dimensione nominale massima alcuni dei punti di controllo e la zona interdetta possono essere diversi.

La zona interdetta ha due scopi:

- limitare l'inclusione di una percentuale eccessiva di sabbia naturale; si è riscontrato che le gradazioni che passano attraverso la zona interdetta, nella maggior parte dei casi portano alla formulazione di conglomerati troppo poco resistenti: miscele che è difficile compattare nella fase costruttiva, che tendono a diventare plastiche e che offrono una scarsa resistenza alle deformazioni permanenti durante la vita di esercizio. Esse contengono uno scheletro solido debole e una resistenza al taglio che dipende in misura eccessiva dalla rigidità del legante.
- impedire gli assortimenti granulometrici la cui

curva ricade lungo la linea di massima densità e che spesso avranno valori inadeguati di VMA (volume dei vuoti totali nella miscela degli aggregati secchi compattata).

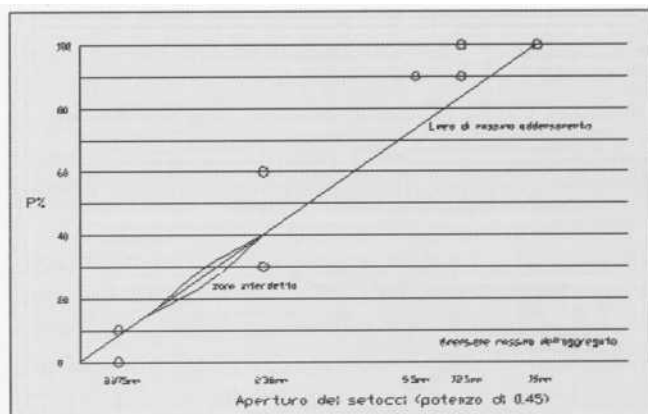


Fig. 3 - Curva di controllo

In generale si raccomanda, ma non è tassativamente richiesto, che allorché il traffico cresce la curva granulometrica si accosti ai punti di controllo più bassi, al di sotto della zona interdotta.

Gradazioni le cui curve passino fra i punti di controllo, non importa se al di sopra o al di sotto della zona interdotta, dovrebbero portare a miscele accettabili.

Non vengono fornite indicazioni o prescrizioni particolari in merito alla massima dimensione nominale degli aggregati.

4. Condizioni di riempimento della miscela

Ricerche di laboratorio hanno largamente confermato l'esigenza di considerare alcuni elementi volumetrici per la definizione di una *mix design* di formulazione delle miscele bituminose ed inoltre hanno specificato i fattori volumetrici che ricoprono un ruolo principale per l'ottenimento delle proprietà meccaniche delle miscele.

È stato dimostrato, in particolare, che l'assortimento granulometrico di una miscela deve essere segnatamente controllato ed analizzato: una condizione da rispettare scrupolosamente è l'assoluta necessità di evitare un eccessivo riempimento da parte del mastice (filler+bitume), che dislocerebbe lo scheletro litico; d'altra parte occorre evitare una percentuale di vuoti troppo elevata. E' ovvio che se il mastice assicura il ruolo di legante e di materiale di riempimento, deve esso stesso possedere una consistenza adeguata; que-

sta può essere ottenuta con la scelta corretta dei suoi due componenti (filler e bitume) e del loro rispettivo rapporto. Un'altra condizione necessaria per una buona riuscita del conglomerato bituminoso è che all'interno dello stesso si sviluppi un notevole attrito: affinché tale valore sia massimo è necessario che sia massimo il contatto reciproco tra i grani di aggregato per consentire un facile smaltimento delle tensioni interne che si distribuiscono tra più punti di contatto, con minore intensità locale, a beneficio di una maggiore resistenza meccanica.

Sulla base di queste indicazioni di carattere sperimentale si sono sviluppati alcuni metodi di calcolo dell'assortimento granulometrico, ma più che altro sono stati forniti campi di tolleranza (fusi granulometrici) per le pezzature dei diversi costituenti della miscela a seconda della funzione che il conglomerato bituminoso è chiamato a svolgere nella sovrastruttura.

L'inserimento delle curve granulometriche nei fusi non è però una condizione sufficiente per stabilire la rispondenza ai requisiti meccanici e di addensabilità richiesti al conglomerato.

5. Proprietà meccaniche

I numerosi lavori di laboratorio, fondati su prove meccaniche interessanti più proprietà delle miscele, hanno evidenziato alcuni importanti principi di base.

Questi principi devono essere rispettati per poter assicurare il buon comportamento meccanico delle miscele nella sovrastruttura.

I risultati delle ricerche hanno permesso di mettere in evidenza i parametri che condizionano le due proprietà principali da cui dipende il comportamento meccanico delle miscele bituminose: la resistenza alla fatica per flessione o "durabilità" e la resistenza alle deformazioni permanenti o "stabilità".

La resistenza alla fessurazione per fatica è direttamente influenzata dal mastice (qualità, quantità e tenore di bitume) e dalla percentuale dei vuoti della miscela compattata.

Per un dato mastice, la durabilità della miscela è tanto migliore quanto più è elevato il volume dei vuoti totali del granulato riempito dal bitume.

Il legante deve possedere una consistenza adeguata tale da essere poco suscettibile alla temperatura ambiente e, contemporaneamente, da permettere una compattazione efficace del conglomerato in opera.

La resistenza alle deformazioni permanenti è influenzata direttamente dal legante (quantità e qualità) e dalla composizione della miscela (percentuale dei

vuoti residui, spigolosità dei grani, continuità e riempimento dello scheletro litico).

Ciò fa ritenere che la resistenza alle deformazioni permanenti sia tanto più elevata quanto più:

- la suscettibilità termica della miscela è bassa;
- la percentuale dei vuoti residui della miscela è elevata (a condizione che ciò non sia prodotto da un insufficiente costipamento);
- la spigolosità dei grani (grosso e sabbia) è pronunciata.

6. Ricerca di un equilibrio tra resistenza alla fatica e alle deformazioni permanenti

Tali resistenze sono dunque condizionate da due parametri molto importanti: il primo è la sensibilità termica del bitume che influenza direttamente la sensibilità termica della miscela (modulo complesso E^*); la seconda è il tasso di riempimento, col legante, dello spazio tra i granuli che in pratica dipende dalla composizione granulometrica della miscela.

Questi risultati sono importanti perchè permettono di meglio formulare il problema della composizione granulometrica. In effetti si constata che, in materia di legante, la resistenza alla fatica e la resistenza alle deformazioni permanenti hanno la stessa esigenza, avere cioè una debole sensibilità termica del legante; le loro esigenze sono invece opposte in materia di composizione granulometrica: la resistenza alla fatica esige un tasso di riempimento dei vuoti da parte del legante molto elevato (ovvero una bassa percentuale di vuoti); la resistenza alle deformazioni permanenti esige che questo tasso di riempimento sia più debole (ovvero la percentuale dei vuoti sia più elevata).

Da un punto di vista pratico appare che, in mancanza di una formulazione correttamente stabilita, una bassa percentuale dei vuoti sarà sempre favorevole ad una buona resistenza a fatica ma rischia di pregiudicare la resistenza ai carichi permanenti; di contro, una percentuale di vuoti più elevata favorisce una buona resistenza alle deformazioni permanenti (lo scheletro litico giocherà un ruolo molto importante, da cui l'interesse alla presenza di elementi spigolosi), ma rischia di portare ad una resistenza a fatica inferiore, se la percentuale dei vuoti è eccessiva.

Conclusioni

A conclusione di quanto affermato si ribadisce la necessità di concepire le miscele bituminose in funzione del ruolo cui sono chiamate a svolgere nella sovrastruttura; è necessario che tali miscele siano stabili (cioè che lo scheletro solido possa svolgere completamente il suo ruolo) e durature, vale a dire che, fermo restando quanto appena detto, la percentuale dei vuoti non risulti troppo elevata.

Le miscele formulate sulla base di considerazioni volumetriche sono in grado di controllare in maniera più appropriata i principali ammaloramenti in opera e cioè deformazioni permanenti, fessurazioni per fatica e fessurazioni provocate dalle basse temperature.

È indispensabile operare per mezzo di metodologie in grado di valutare prestazionalmente le ipotesi di progetto, impiegando metodi di analisi teorici supportati da prove sperimentali di convalida basate sulle osservazioni in campo. Le prove di verifica devono simulare per quanto possibile l'effettivo stato di sollecitazione cui la miscela sarà sottoposta nella sovrastruttura.

Per la pratica si ritiene che nella progettazione di un conglomerato bituminoso sia assolutamente necessario evitare un eccesso di legante; ancor più importante è evitare un eccessivo riempimento dei vuoti da parte del mastice (filler+bitume), il che dislocherebbe lo scheletro litico, prestando però attenzione affinché la percentuale dei vuoti residui non risulti troppo elevata.

È inteso che se il mastice assicura il ruolo di legante e di materiale di riempimento, deve esso stesso possedere una consistenza adeguata. Questa può essere ottenuta con la scelta corretta dei due componenti che lo costituiscono, bitume e filler, e del loro giusto rapporto.

L'approccio volumetrico, ormai da più parti suggerito e sperimentato, deve integrare le procedure classiche di formulazione anche alla luce dei nuovi materiali impiegabili nel confezionamento delle miscele: il tutto attraverso una progressiva armonizzazione della normativa tecnica nel rispetto e salvaguardia delle specifiche esigenze nazionali.