

STUDIO DI CONGLOMERATI BITUMINOSI CON GRANULATO DI GOMMA PROVENIENTE DA PNEUMATICI DISMESSI

Prof. Ing. Gaetano Di Mino

Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie – Università degli Studi di Palermo

Viale delle Scienze – (Parco d'Orléans) -90128

Tel + 39 091 488062 – Fax + 39 091 487068 - E – mail: dimino@ing. unipa.it

Ing. Paola Tripodi

Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie – Università degli Studi di Palermo

Viale delle Scienze – (Parco d'Orléans) -90128

Tel + 39 091 488062 – Fax + 39 091 487068 - E – mail: ptripodi @ing. unirc.it.

SOMMARIO

La ricerca di conglomerati bituminosi di elevate prestazioni sovente si associa allo studio delle implicazioni ambientali che la produzione, la posa in opera e l'esercizio di tali materiali comportano.

Un aspetto assai importante, in tal senso, è l'opportunità che alcune modalità produttive offrono in termini di un ridotto consumo di inerti e del contestuale impiego di materiali destinati a discarica che, invece, vengono inseriti in processi di riciclaggio.

È questo il caso della gomma proveniente dal riciclaggio industriale di pneumatici dismessi che, negli Stati Uniti ed in Canada, è divenuta una fonte sostanziosa per la realizzazione di conglomerati bituminosi.

La presente ricerca, dopo una preliminare e sintetica descrizione del granulato di gomma e delle sue proprietà chimico-fisiche, si propone di evidenziare sperimentalmente il comportamento meccanico di conglomerati bituminosi per strati di base confezionati in laboratorio con l'aggiunta di questo componente, mediante i noti processi Dry e Wet, elaborati e combinati secondo opportuni criteri metodologici.

In particolare l'indagine verte su prove inserite nell'attuale normativa italiana, con l'obiettivo di pervenire ad un quadro rappresentativo dell'influenza del granulato sulle caratteristiche meccaniche analizzate.

ABSTRACT

The study of bituminous mixes can be related with tyre rubber material recycling.

The environmental aims are encouraging scrap tyres disposal and cutting down on pit employment.

In the field of road applications, technological processes involved in the use of crumb rubber are the wet and the dry processes.

Most of existing research performed using the second process has been carried out in United States of America and Canada.

This paper reports experimental results of research about Asphalt rubber mechanical properties for base layer performed in DIIV laboratory using the dry process.

1. PREMESSA

La ricerca di soluzioni che rallentino l'ineluttabile degrado superficiale e strutturale delle pavimentazioni stradali flessibili, dovuto all'aggressione dei carichi di traffico e degli agenti atmosferici, spinge verso il confezionamento e la posa in opera di conglomerati bituminosi le cui caratteristiche tecniche garantiscano un sempre più adeguato livello prestazionale di resistenza meccanica, regolarità e longevità.

Il soddisfacimento di questi prerequisiti comporta, tra l'altro, l'impiego di inerti pregiati provenienti da cave all'uopo coltivate: azione questa che entra in conflitto con i basilari criteri di tutela ecologica i quali, invece, impongono di contenere quanto più possibile l'uso di risorse non rinnovabili.

A riguardo, è appena il caso di ricordare che, i pneumatici dismessi appartengono alla classe dei "rifiuti speciali" non pericolosi, cioè non contenenti elementi inquinanti, che annualmente sono avviati allo smaltimento in discarica controllata, alla stregua dei rifiuti solidi urbani e degli inerti da demolizioni civili, di cui non più del 40% è sottoposto a forme di distruzione termica o meccanica [1].

E' evidente, quindi, l'importanza di riuscire a delineare tecnologie e metodologie di recupero, riciclaggio e smaltimento dei pneumatici che comportino benefici in tema di risparmio di materie prime, ovvero la possibilità di utilizzarne altre che diversamente andrebbero scartate.

Tali tecnologie e metodologie, inoltre, possono rappresentare la soluzione di notevoli problemi legati alla gestione delle discariche dei pneumatici, in ragione del loro basso peso specifico accompagnato dall'elevato volume di occupazione, del potenziale rischio

d'incendio e d'instabilità del corpo della discarica stessa, a causa delle cavità proprie del pneumatico e della relativa elasticità, dell'inquinamento dovuto alla loro degradazione. L'urgenza di limitare i problemi appena accennati è ancora più evidente se si considera che in Italia si dismettono circa 360.000 tonnellate all'anno di pneumatici usati, costituiti per circa il 20% da quelli che hanno subito già la ricostruzione e per il restante 80% da pneumatici non ricostruiti (circa 290.000 tonnellate). Di questa ultima aliquota circa 70.000 tonnellate vengono ricostruite mentre circa il 5 % viene recuperato come materiale, il 30% recuperato come energia e più del 60 % viene mandato in discarica [2].

Tali percentuali non soddisfano nel modo più assoluto gli obiettivi prefissati dalla UE nell'ambito degli studi condotti sui Flussi Prioritari di Rifiuti, in relazione ai quali era stato stabilito che per il 2000 bisognava rendere trascurabile il quantitativo di pneumatici fuori uso smaltito in discarica, ridurre del 5% la produzione di tali rifiuti mediante prevenzione, portare la percentuale ricostruita al 30% e recuperarne complessivamente, come materia ed energia, il 65% [2].

Alla luce delle esperienze applicative, maturate con successo soprattutto in USA, Canada e Belgio [3], il presente lavoro informa dell'approccio sperimentale al tema, incentrato sulle modalità di confezionamento secondo il metodo Dry di alcune miscele e sulle relative caratteristiche di resistenza meccanica, al fine di contribuire ad un'interpretazione e valutazione delle potenzialità di impiego della gomma quale materiale innovativo nel ciclo di produzione del conglomerato bituminoso.

2. L'IMPIEGO DELLA GOMMA NEI CONGLOMERATI BITUMINOSI

Appare opportuno fornire alcune informazioni sia sulla natura e le caratteristiche chimico-fisiche della gomma normalmente utilizzata nella produzione dei pneumatici, sia, soprattutto, sulle tecniche che prevedono l'impiego della gomma, insieme ai consueti componenti lapidei e bituminosi, nel processo di confezionamento dei conglomerati.

Per tale processo il materiale preso in considerazione è quello proveniente dalla triturazione meccanica dei pneumatici, intendendo con la denominazione gomma un insieme che, oltre alla presenza preponderante della medesima, annovera in forma combinata altri elementi quali cariche, attivanti e fibre di natura tessile e metallica.

La gomma, invece, come materia prima si distingue in naturale e sintetica: entrambe appartengono alla classe degli elastomeri in ragione dell'analogo comportamento meccanico.

La prima è un prodotto ricavato dall'*Hevea Brasiliensis* (pianta originaria del Brasile) ed è definita come una miscela di composti contenuta nel lattice di alcune piante che, asportata, viene coagulata con l'aggiunta di vari ingredienti e trasformata, in seguito, nelle forme commerciali; è caratterizzata da una percentuale di elastomeri elevata, circa il 70% [4].

La seconda, invece, è un materiale con proprietà elastiche simili a quelle possedute dalla precedente, costituito da polimeri artificiali, ottenuti da diversi monomeri con processi di polimerizzazione a caldo o a freddo in presenza di catalizzatori ed è caratterizzata da una componente elastomerica minore del 50%.

Ambedue le tipologie di prodotto, pur differenziandosi talora per proprietà fisiche e chimiche, sono termoplastiche e costituite da lunghe macromolecole.

Esse, in generale, non vengono mai impiegate allo stato grezzo poiché le loro proprietà meccaniche ed elastiche non sono solo scarse ma variabili con il tempo e la temperatura; al fine di migliorare e rendere stabili tali proprietà sono sottoposte al processo di vulcanizzazione, che si compie mediante la reticolazione diretta o con ponti di zolfo delle catene polimeriche [4].

Tale processo determina la formazione di una struttura tridimensionale stabile, ma suscettibile di deformarsi ampiamente sotto sforzo in modo reversibile.

Dal momento che la gomma naturale si depolimerizza meccanicamente con molta facilità e la sua degradazione risulta maggiore a freddo piuttosto che a caldo, se ne deduce che la produzione del granulato proveniente da pneumatici da recupero sia più idonea secondo la triturazione meccanica rispetto al trattamento criogenico.

Un quadro sintetico delle caratteristiche prestazionali delle gomme normalmente utilizzate nella fabbricazione dei pneumatici è riportato nella tabella 1.

Tipo	Gomma naturale	Butadiene stirolo	Poliisoprene cis	Polibutadiene cis	Butile
Carico di rott. (Kg/cm ²)	300	270	220	200	180
Allungam. (%)	600	450	500	450	600
Resist. alla lacerazione	Ottima	Scarsa	Buona	Scarsa	Buona
Resistenza all'abrasione	Buona	Buona	Buona	Ottima	Discreta
Elasticità	Buona	Discreta	Buona	Ottima	Scarsa
Temperatura impiego(C°)	-60 / + 60	-40 / +170	-50 / +150	-80 / +140	-30 / +190
Resistenza alla luce	Scarsa	Discreta	Scarsa	Discreta	Ottima
Resistenza all'ossidazione	Scarsa	Discreta	Scarsa	Discreta	Ottima
Resistenza all'olio	Scarsa	Scarsa	Scarsa	Scarsa	Scarsa
Resistenza ai solventi alifatici	Scarsa	Scarsa	Scarsa	Scarsa	Scarsa
Resistenza ai solv. aromatici	Scarsa	Scarsa	Scarsa	Scarsa	Scarsa
Resistenza ai solv. clorurati	Scarsa	Scarsa	Scarsa	Scarsa	Scarsa

Tabella 1. Valori delle proprietà degli elastomeri vulcanizzati e rinforzati con nerofumo

La tendenza delle case costruttrici di pneumatici è quella di omogeneizzare la produzione tra pneumatici per veicoli pesanti, essenzialmente costituiti da gomma naturale, e quelli destinati ai veicoli leggeri, costituiti prevalentemente da gomma sintetica.

Nella fattispecie si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei valori standard di elastomeri presenti nel granulato di gomma proveniente da differenti tipi di pneumatici.

Elastomeri	Butile	Polibutadiene	SBR	Poliisopropene	Tot.
<i>Granulato da veicoli leggeri</i>	Qualche traccia	2 ÷ 8	3 ÷ 15	45 ÷ 50	≈ 70
<i>Granulato da veicoli pesanti</i>	Qualche traccia	9 ÷ 10	30	10 ÷ 15	> 50

Tabella 2. Percentuali standard di polimeri per tipo di pneumatici

Gli altri elementi costituenti la miscela di gomma sono: i vulcanizzanti e gli acceleranti (principalmente lo zolfo) che, aggiunti nella fase di vulcanizzazione dei pneumatici consentono il passaggio del materiale dallo stato plastico a quello elastico, aumentandone la resistenza meccanica e riducendone la solubilità; le cariche (nerofumo e ossido di zinco principalmente) che favoriscono alcune proprietà meccaniche incrementando il carico di rottura, la resistenza all'abrasione, alla lacerazione e ai solventi.

La presenza di metalli (antiossidanti) incrementa la stabilità all'invecchiamento della gomma, penalizzata in modo determinante dall'azione del calore, della luce e degli agenti atmosferici, specialmente l'ozono e anche dalle flessioni ripetute.

Occorre sottolineare che il processo di vulcanizzazione non è mai reversibile: la retrogradazione della vulcanizzazione, denominata rigenerazione, non riporta mai allo stato iniziale la miscela di gomma che, al termine del trattamento di triturazione e delle fasi termochimiche con temperature che vanno da 150 ÷ 200°C, non altera il tenore di zolfo combinato della gomma.

Gli usuali stress termochimici, quindi, ai quali è soggetto il conglomerato bituminoso durante le fasi di produzione e posa in opera, non dovrebbero modificare sostanzialmente le caratteristiche della gomma eventualmente aggiunta, a fortiori considerando che questa non è solubile in sostanze provenienti dal petrolio, dalle quali viene semplicemente rigonfiata formando aggregati colloidali.

Tra le tecnologie esistenti per il riciclaggio della gomma dismessa dei pneumatici quello di triturazione è il più idoneo ai fini stradali poiché è in grado di favorire un granulato di gomma di varie dimensioni prestabilite.

La triturazione può avvenire in due modi: per via meccanica o criogenicamente [5] [6].

La prima appare preferibile in quanto fornisce un granulato caratterizzato, contrariamente a quello ottenuto per via criogenica, da una forma non regolare la quale favorisce la reazione chimico - fisica fra gomma e bitume, detta "digestione", che

avviene in tempi più brevi e con minore tendenza, da parte della gomma, a sedimentarsi.

La criomacinazione, fornisce, invece, un granulato di gomma di pezzatura ridottissima depurato da "elementi inquinanti" (fibre di natura tessile e metallica) a costi maggiori; questa depurazione per quanto concerne le fibre tessili, non appare necessaria dal momento che recenti studi comprovano la sostanziale neutralità sulle caratteristiche salienti del conglomerato bituminoso[1].

Il granulato è denominato gomma granulata CRM (Crumb Rubber Modifier) se la pezzatura è compresa fra 0,24 mm e 5 mm ovvero polverino di gomma PRM (Powdered Rubber Modifier) se essa è minore di 0,24 mm o polverino ultrafine se minore dello 0,074 mm [7].

Una preliminare caratterizzazione della "qualità della gomma", pertanto, può essere associata al suo assortimento granulometrico, alla struttura e alla dimensione delle particelle nonché alla loro natura, al livello di contaminazione da fibre tessili e metalliche.

Tali caratteristiche assumono un peso rilevante per la qualità del prodotto stradale realizzato.

3. PROCESSI DI PRODUZIONE DEL CONGLOMERATO CON L'IMPIEGO DI GOMMA

I processi adottati per la realizzazione del conglomerato bituminoso con granulato di gomma sono due: l'uno definito Wet che consiste nell'aggiungere la gomma, generalmente sotto forma di polverino, al bitume ottenendo così un legante modificato; l'altro denominato Dry che prevede l'uso sia del polverino che della gomma granulata in guisa di aggregato che integra l'inerte tradizionale, dando luogo a un conglomerato bituminoso additivato a caldo.

La quantità del granulato rappresenta una variabile determinante per le proprietà reologiche e meccaniche del prodotto finale in entrambi i processi.

La quantità di gomma che generalmente viene aggiunta, durante il processo Wet è compresa tra il 10 ed il 30% in peso del legante: si riscontra che valori superiori al 10% ampliano il campo di temperatura di applicazione del conglomerato realizzato; mentre percentuali inferiori agiscano esclusivamente sulle alte temperature [7].

Il processo Wet non comporta modifiche significative al normale impianto di produzione di conglomerato a caldo, non dovendosi adottare speciali apparecchiature per la preparazione e applicazione del materiale.

Tale processo può essere discontinuo (bitume e polverino vengono mescolati all'atto della produzione del conglomerato) ovvero continuo (produzione continua di bitume modificato con gomma).

La gomma, come elemento di costituzione del polverino, in definitiva conferisce al legante una migliore elasticità e flessibilità, mentre gli antiossidanti, stabilizzanti e riempitivi ne ritardano l'invecchiamento .

Il processo Dry implica un più massiccio consumo di gomma di circa dieci volte superiore a quella che ottimizza il processo Wet.

Ciò nonostante, il processo Dry riscuote un minor successo in campo applicativo attribuibile alla necessità di un'accurata preparazione del conglomerato, all'adozione di specifiche condizioni di stesa e costipamento, all'idonea ed accurata formulazione della curva granulometrica di progetto [8].

Diverse applicazioni hanno messo in evidenza che i leganti modificati con gomma manifestano prestazioni superiori ai leganti tradizionali e a volte anche a quelli modificati con altri additivi (polimeri) [9].

Con il processo Wet, infatti, si ottiene un legante di caratteristiche reologiche migliorate rispetto al bitume originario in virtù della maggiore densità, del maggiore punto di rammollimento, della minore suscettività termica, della maggiore resistenza allo scorrimento, del minore invecchiamento, della minore tendenza alla fessurazione nei climi freddi, dell'ottima impermeabilità all'acqua e all'adesione all'aggregato [10] [11].

Questi requisiti li rendono particolarmente idonei all'uso in alcune applicazioni quali, ad esempio, quelle dei conglomerati drenanti che, richiedendo cospicue quantità di legante, rischiano di penalizzare la resistenza allo scorrimento e la stabilità della miscela stessa.

Importante è la capacità della gomma di assicurare al legante proprietà adesive (oltre che coesive), penalizzate invece dall'uso di altri rifiuti speciali quali le plastiche, ovvero stazionarie per altri additivi di uso comune (polimeri) [12].

Nel processo Dry, le particelle di gomma fungono da microammortizzatori viscoelastici migliorando la risposta del conglomerato alle sollecitazioni ed impedendo, per effetto dell'assorbimento di una frazione del bitume, fenomeni di sfioramento e sgranamento.

In esercizio l'impiego della gomma nei conglomerati bituminosi si è tradotto in un aumento della vita utile delle pavimentazioni, in una maggiore resistenza al ghiacciamento e alla riduzione del fenomeno di aquaplaning, del rumore di rotolamento, della risalita delle fessurazioni presenti negli strati, in una maggiore aderenza e in una migliore visibilità [13] [14] [15].

Inoltre è importante citare che nel 1996 la Federal Highway Administration ed il National Institute of Occupational Safety and Health hanno avviato studi sulle tecnologie di utilizzazione, sui costi di produzione e, soprattutto, sulla compatibilità ambientale e sui rischi per la salute nelle operazioni di lavorazione dei conglomerati, i cui primi risultati, confermati da successivi studi, non hanno pregiudicato l'impiego del nuovo materiale; anzi hanno rivelato come alcuni elementi inquinanti vengono emessi in percentuale minore, o addirittura scompaiono, rispetto a quanto avviene durante la lavorazione di conglomerati tradizionali [11].

3.1 Interazione gomma-bitume

L'interazione gomma-bitume si concreta nel fenomeno della "digestione" che consiste in una reazione chimico-fisica generata dal contatto fra i due elementi, che avviene in precise condizioni di temperatura e dopo un certo lasso di tempo.

Questa è essenziale per la qualità del prodotto finale, le cui proprietà prestazionali, qualunque sia il processo di produzione, risultano apprezzabili se la reazione avviene compiutamente[16].

Il complesso processo d'interazione tra bitume e gomma può essere così schematizzato: l'effetto coniugato dell'elevata temperatura e della presenza di oli aromatici nonché di resine nel bitume permette il rigonfiamento delle particelle di gomma, che arrivano anche a duplicare il loro volume generando un gel bitume-gomma: il legante additivato, da grumoso diviene omogeneo e fluido.

La digestione è necessaria al fine di ottenere la coreticolazione delle catene elastomere della gomma gonfia che consente di conferire al legante proprietà elastomeriche.

La fase di gonfiaggio è accompagnata da un forte aumento di viscosità del legante che raggiunge un valore massimo per poi successivamente ridursi per effetto della devulcanizzazione della gomma (figura 1) [17] [18].

Il tempo di reazione è quello dopo il quale la viscosità del prodotto è compatibile con quella necessaria allo spandimento del materiale.

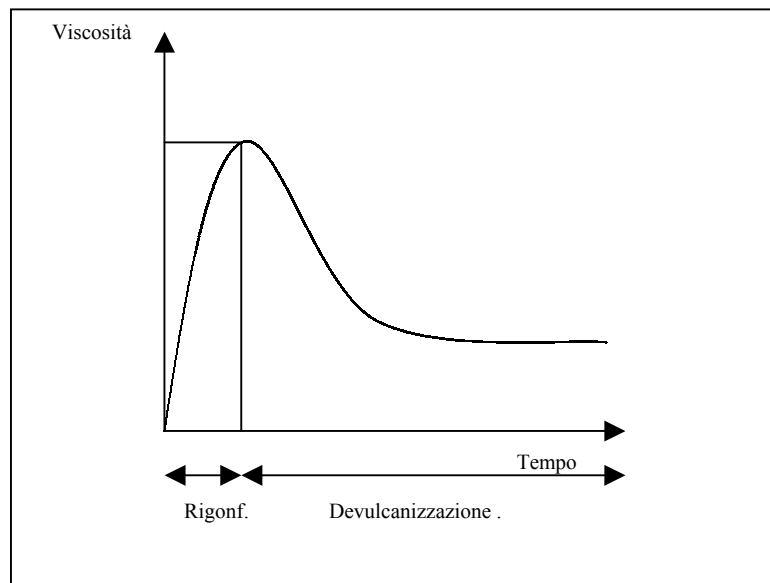


Figura 1. Andamento qualitativo della viscosità con il tempo (viscosimetro tipo Brookfield)

La viscosità si stabilizza man mano che la reazione prosegue e, al termine della digestione, è notevolmente superiore a quella dei bitumi normali, per cui si rende necessario l'impiego di additivi fluidificanti per migliorarne la lavorabilità .

Il successo della reazione dipende da diverse variabili e principalmente[17][19][20][21]:

- dalla natura chimica del bitume poiché gli oli aromatici e le resine presenti agiscono sulla periferia dei grani di gomma rigonfiandoli. Si è talvolta reso necessario, aggiungere un compatibilizzante in percentuale del 2÷15% in peso del bitume a seconda del legante stesso;
- dalle dimensioni e quantità della gomma perchè la temperatura e il tempo di digestione aumentano al crescere della pezzatura del granulato.
- dall'area, dalla struttura superficiale, dalla forma delle particelle;
- dalla temperatura che generalmente varia fra 180-220°C, in rapporto alle dimensioni del granulato e al tempo disponibile per la lavorazione;
- dalle modalità di miscelazione.

4. SCELTE METODOLOGICHE

La valutazione delle prestazioni meccaniche del conglomerato bituminoso con gomma è stata effettuata in termini comparativi con una miscela di tipo convenzionale

adottando la medesima curva granulometrica di progetto, la stessa tipologia di legante ed inerti lapidei di eguale provenienza (natura calcarea).

Ciò al fine di evidenziare lo specifico contributo fornito dalla gomma secondo le diverse percentuali utilizzate.

Crivelli Setacci UNI [mm]	30	25	15	10	5	2	0,4	0,18	0,075
Frazione Passante [%]	100	82	58	47	38	28	13	9	6

Tabella 3: Curva granulometrica delle miscele per strato di base

Prove	Risultati
Peso specifico apparente (g/cm ³)	2.77
Peso specifico reale (g/cm ³)	2.85
Coefficiente Los Angeles (%)	27
Porosità (%)	2.81

Tabella 4: Caratterizzazione degli inerti

Prove	Esiti
Penetrazione(dmm)	66,5
Palla Anello(C°)	48,5
Duttilità (cm)	>100
Indice di penetraz.	-1.15

Tabella 5: Caratterizzazione reologica del bitume

La scelta di conglomerati destinati allo strato di base di una pavimentazione si spiega in prospettiva di una sistematica applicazione in vera grandezza, dal momento che tale strato, tra quelli legati, prevede il maggiore impegno di inerti lapidei al cui peso è correlato il quantitativo di gomma da impiegare in sostituzione.

La gomma utilizzata proviene da impianto industriale dotato di sistema di triturazione meccanica di pneumatici dismessi ed è stata separata in funzione del tipo di veicolo, pesante o leggero.

La gomma adottata, di peso specifico pari a 1.15 g/cm³, è quella passante e trattenuta alle seguenti coppie di setacci della serie UNI: 2-0.4mm; 0.4-0.177mm.

Il processo di produzione paventato è, quindi, quello Dry; in realtà si è proceduto secondo un metodo definito “Dry ibridato” che consiste nel miscelare con il bitume e l’aggregato litico la gomma, assortita granulometricamente secondo le frazioni

precedentemente indicate, con valori percentuali di 1, 1.5, 2, 2.5, 3 rispetto al peso degli inerti così ripartiti: il 15% del peso del legante, interamente costituito dalla frazione più piccola derivata da pneumatici di mezzi pesanti, con la restante parte di frazione più grossa proveniente da veicoli leggeri.

Dopo il processo di miscelazione si è sottoposto ciascun conglomerato ad un ciclo di stress termico in stufa alla temperatura di 180°C con esposizione pari ad un'ora.

In questo modo si è inteso suscitare una sorta di modifica del bitume per effetto delle particelle di gomma di minore dimensioni e, contemporaneamente, far sì che la frazione maggiore mantenesse le sue caratteristiche strutturali pur prevedendo il suo rigonfiamento ed assorbimento superficiale di parte del legante (parziale digestione).

A riguardo le scelte relative alla tipologia e alla quantità della gomma, adottata nella fase riconducibile a quella Wet e alla durata dello stress termico, discendono dagli esiti di una indagine sperimentale preliminare di cui si riportano i risultati nei seguenti diagrammi, avendo indicato con BL il bitume modificato con gomma proveniente da pneumatici di veicoli leggeri e con BP quello modificato con gomma proveniente da veicoli pesanti:

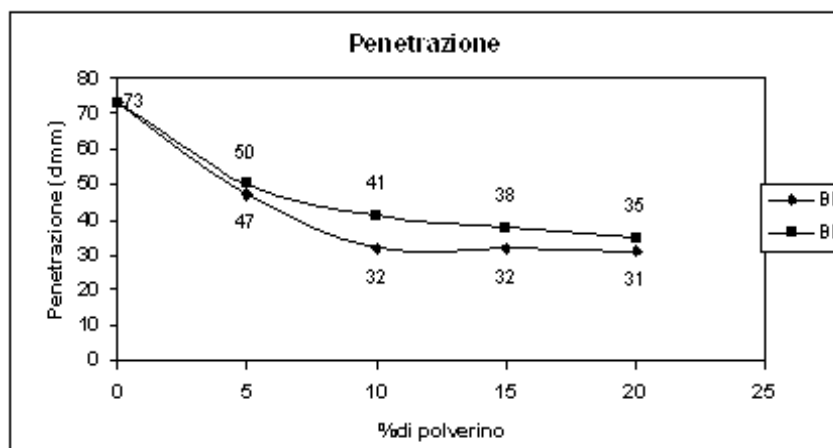


Grafico 1. Esiti della prova di penetrazione

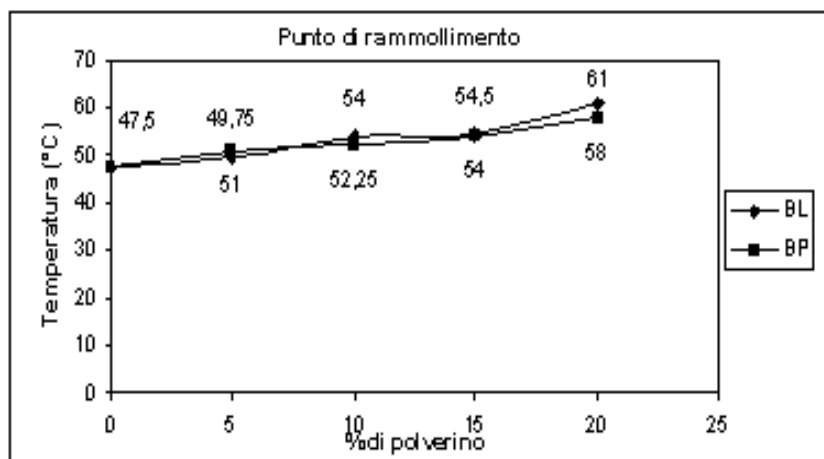


Grafico 2. Esiti della prova del punto di rammollimento

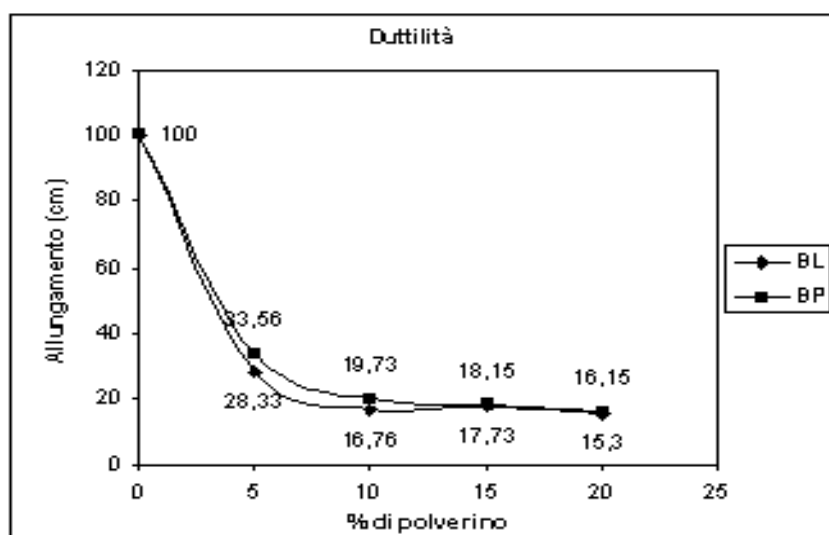


Grafico 3. Esiti della prova di duttilità

Per il particolare tipo di bitume preso in considerazione dall'andamento delle grandezze sperimentali emerge un valore di soglia oltre al quale i parametri si rivelano sensibilmente costanti, che si aggira intorno al 10 % per il legante BL e intorno al 15% per il legante BP.

Questo ultimo appare più idoneo al confezionamento alla luce della sua maggiore duttilità, minore viscosità e con punto di rammollimento maggiorato di circa il 15% rispetto al bitume tal quale.

Per quanto concerne la scelta dell'ora quale tempo di esposizione questo valore sembra essere un ottimo compromesso, con riferimento alla temperatura di 180°C, mediando le opposte esigenze di una completa digestione e degli eventuali fenomeni di invecchiamento del legante nonché del maggiore impegno energetico.

5. INDAGINE SPERIMENTALE

La valutazione delle caratteristiche meccaniche dei conglomerati è stata condotta mediante le seguenti prove di caratterizzazione meccanica:

- prova Marshall (norma C.N.R.B.U. 30/73);
- prova di Trazione Indiretta (norma C.N.R. B.U. 134/91)

Sono stati confezionati circa 200 campioni rappresentativi di 6 diversi tipi di conglomerato e per ciascuno di questi si è proceduto al confezionamento secondo cinque diverse percentuali di bitume pervenendo così all'analisi di 25 miscele.

In particolare, per quanto concerne i conglomerati di tipo convenzionale, sono stati realizzati anche dei campioni da sottoporre alle medesime modalità di confezionamento relative alle miscele con gomma affinché il confronto risultasse ancor più omogeneo.

La procedura adottata per il confezionamento dei provini si articola nei seguenti passi:

- miscelazione e riscaldamento degli inerti alla temperatura di circa 180°C con esclusione del filler;
- unione della gomma e miscelazione di un minuto;
- unione del bitume e permanenza di 15 minuti a temperatura prossima a 180°C;
- unione del filler e miscelazione;
- stress termico della miscela a circa 180 °C per 45minuti.

Per una più significativa descrizione dei risultati sperimentali ottenuti si riportano i diagrammi dei parametri relativi alla prova Marshall, in funzione sia della percentuale di bitume sia della percentuale di gomma utilizzati nel confezionamento.

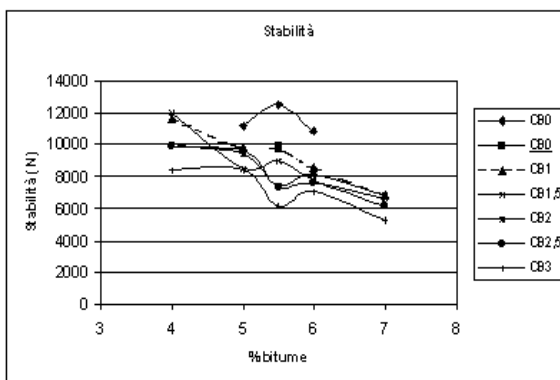


Grafico 4. Stabilità -% bitume

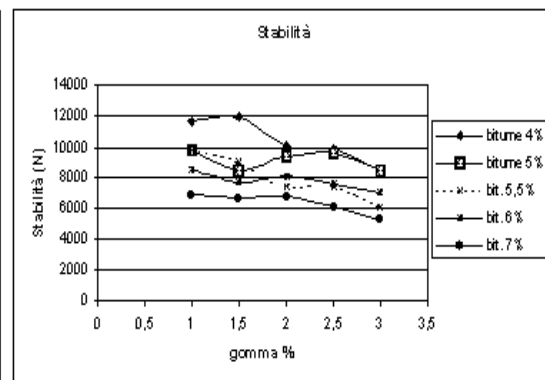


Grafico 5. Stabilità -% gomma

Il diagramma relativo alle curve stabilità-% bitume mostra, in relazione al conglomerato bituminoso, il tipico andamento, con valore massimo raggiunto in corrispondenza del 5,5%, ampiamente superiore ai valori minimi dei capitolati speciali più accreditati.

Questo valore non viene mai raggiunto dagli omologhi relativi alle altre miscele che, tuttavia, continuano ad essere superiori o in linea con il valore minimo di accettazione per l'intero campo di variazione della percentuale di bitume ad esclusione del 7%.

Ciò che appare rilevante è l'andamento della stabilità al variare di gomma utilizzata: per le curve con minore impiego di granulato (CB1-CB1,5) escludendo i valori trovati in corrispondenza del 4% di bitume, quantità dimostratosi palesemente insufficiente per un idoneo confezionamento, si nota un andamento che presenta i valori massimi in corrispondenza del 5,5 % di bitume; per le miscele a più alto contenuto di gomma (CB2-CB2,5-CB3) si assiste, invece, ad un andamento che presenta valori massimi assoluti in corrispondenza del 5%, un successivo decremento in corrispondenza del 5,5% ed, infine, un parziale recupero di stabilità in corrispondenza del 6% di bitume.

Si può ipotizzare che tale recupero, non elevato ma comunque sensibile, sia dovuto al fatto che incrementando il tenore di legante aumenti la probabilità che avvenga in modo compiuto l'interazione tra particelle di granulato e bitume, originando così il fenomeno chimico-fisico della digestione.

Si nota, infine, che i valori massimi riscontrati sono assolutamente comparabili con quelli del conglomerato bituminoso convenzionale confezionato secondo lo stesso procedimento delle miscele in gomma.

Dal diagramma stabilità-%gomma si rileva che la stabilità è poco sensibile, per dato tenore di bitume, al variare della quantità di gomma, con evidente traslazione delle curve verso il basso, al crescere della percentuale di legante.

Questo fenomeno è tanto più accentuato quanto maggiore è la percentuale di bitume, anche se nel caso delle curve al 5% e al 5,5% di bitume, può individuarsi un andamento lievemente altalenante.

Ciò si imputa all'aleatorietà della disposizione e distribuzione dei granuli di gomma all'interno della struttura del conglomerato e alla conseguente, già accennata, casualità dell'entità della digestione.

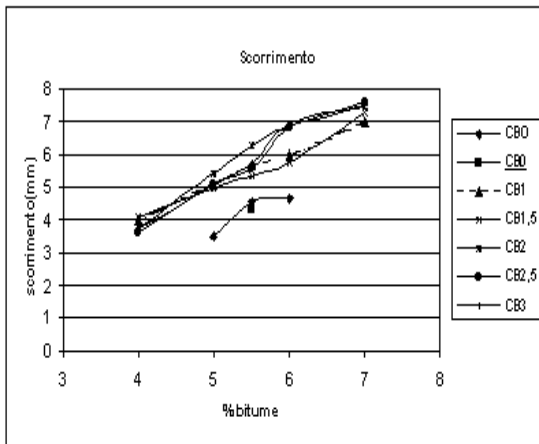


Grafico 6. Scorrimento -% bitume

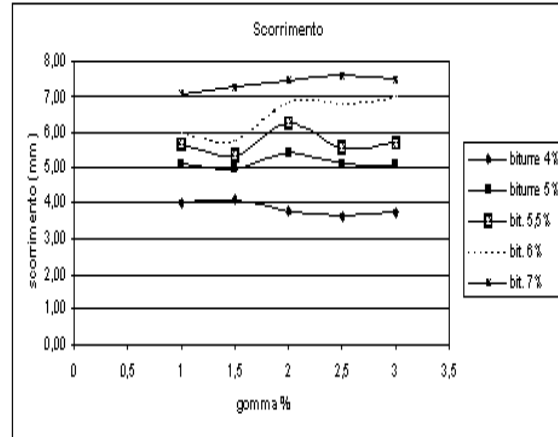


Grafico 7. Scorrimento -% gomma

I valori degli scorrimenti nelle miscele con gomma risultano tendenzialmente più alti rispetto a quelli relativi al conglomerato bituminoso tradizionale, mostrando, per quanto riguarda le curve a più basso contenuto di gomma, un comportamento pressoché identico.

Tutte le curve del resto sono consimili fino all'intorno del 5,5% di bitume; al di là di questo punto le curve si separano in due gruppi caratterizzati dal maggiore o minore contenuto di gomma.

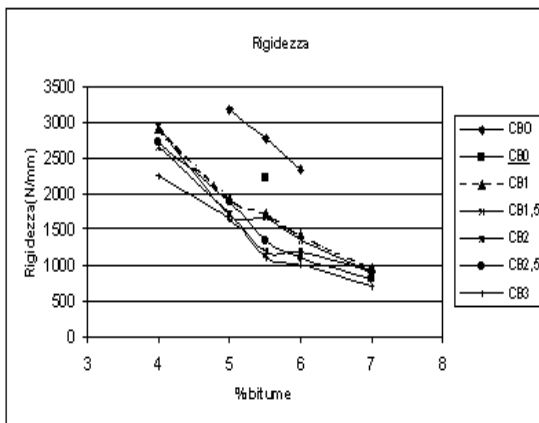


Grafico 8. Rigidezza -% bitume

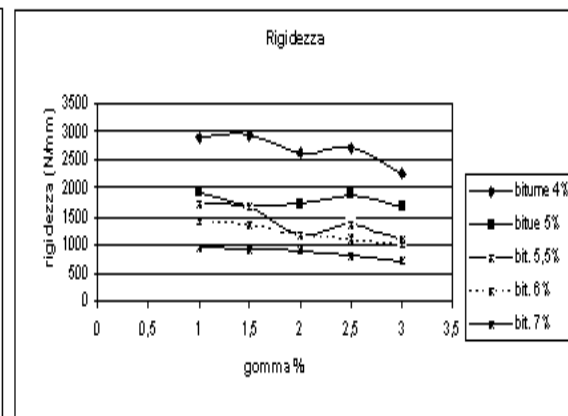


Grafico 9. Rigidezza -% gomma

L'andamento delle curve rigidezza-%bitume non è lineare, come nel caso del tradizionale, pur potendosi individuare due tratti sensibilmente lineari, sia nel caso di quantità di gomma minori sia nel caso delle maggiori, per le quali il punto di cambiamento della pendenza dei tratti trasla verso percentuali di bitume più alte.

Tale risultato sembra confermare la necessità di un incremento di legante all'aumentare del quantitativo di gomma utilizzato.

All'aumentare della percentuale di bitume si assiste, per ogni miscela, ad un livellamento dei valori di rigidezza che, se ritenuta idonea, può comportare l'impiego del maggior quantitativo di gomma ai fini di un più proficuo riciclaggio.

Uno spunto ulteriore di analisi dei risultati è l'interpretazione secondo Kubler [22] delle curve Marshall sperimentali (sforzo - deformazione): dall'esame della pendenza del tratto ascendente della curva la viscosità della matrice filler-bitume tende a diminuire al crescere della percentuale di bitume; a parità di bitume, rispetto a quanto accade per il conglomerato tradizionale, si ha un aumento del tratto significativo della deformazione visco - elastica con diminuzione del contributo viscoso ed incremento di quello elastico.

Con l'incremento della gomma, invece, vi è un aumento del tratto suborizzontale della curva rappresentativo del comportamento plastico della miscela, nonché di una riduzione sempre più drastica del tratto discendente, la cui pendenza è inversamente proporzionale alle caratteristiche di attrito della miscela.

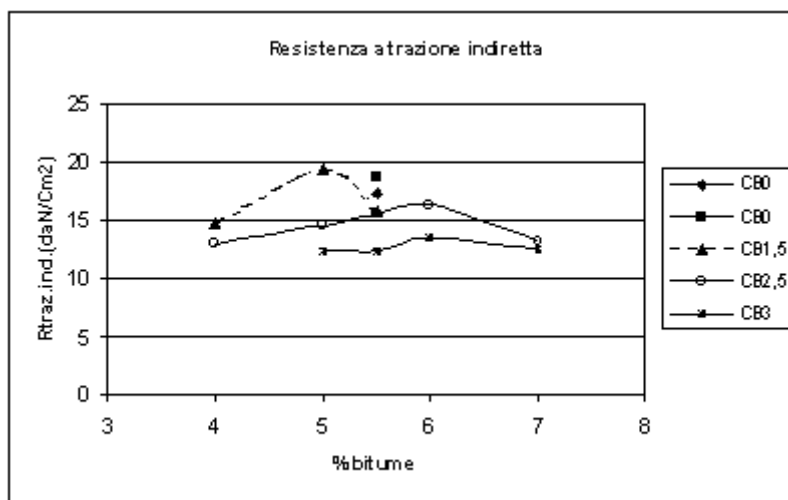


Grafico 10. Valori di resistenza a trazione indiretta dei campioni

I valori ottenuti dalla prova di trazione indiretta sono confrontabili, e in un caso superiori, con quelli del conglomerato tradizionale. L'andamento delle curve conferma la necessità di utilizzare quantità di bitume via via maggiori con il crescere delle percentuali di gomma poichè il valore massimo trasla dal 5% di bitume per CB1,5 verso l'intorno del 6% per CB2,5 e CB3.

Si nota, inoltre all'aumentare della gomma una progressiva minore influenza da parte della percentuale di bitume.

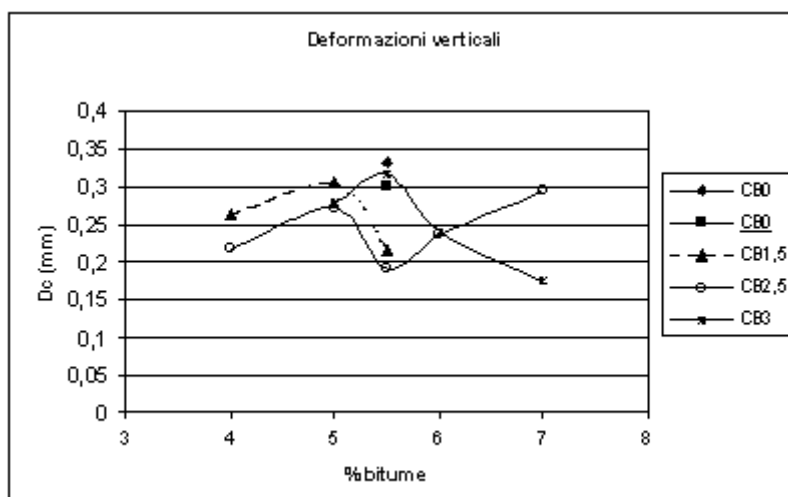


Grafico 11. Valori delle deformazioni verticali dei campioni

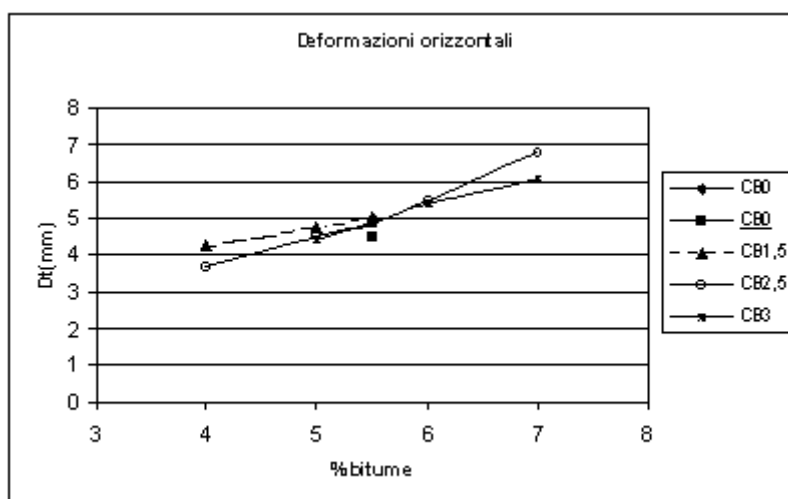


Grafico 12. Valori delle deformazioni orizzontali dei campioni

I valori delle deformazioni orizzontali e verticali denunciano un buon comportamento meccanico dei campioni con gomma risultando, in generale, paragonabili a quelli del conglomerato tradizionale.

Le deformazioni orizzontali crescono pressoché linearmente per percentuali superiori di legante mentre quelli verticali mostrano i valori massimi in corrispondenza negli stessi intervalli di percentuale di bitume che ottimizzano la resistenza a trazione indiretta.

6 CONCLUSIONI

Le risultanze sperimentali, pur nei limiti dell'indagine condotta, suggeriscono rilevare alcuni punti meritevoli di discussione e approfondimento circa l'impiego nel campo stradale di conglomerati bituminosi con sostituzione di gomma (processo Dry) quali:

- a parità di impiego di gomma, vi è una richiesta di percentuale di bitume superiore rispetto alle miscele tradizionali e crescente con il granulato di gomma;
- il rapporto sforzo – deformazione, ottenuto dalla prova Marshall, evidenzia uno spiccato comportamento di tipo elasto–plastico all'incrementare della percentuale di granulato ed evidenzia ancora un forte attrito della miscela;
- i minori cedimenti ottenuti nella prova a trazione indiretta evidenziano una confortante risposta meccanica delle miscele.

Questi primi risultati inducono al proseguimento della campagna sperimentale da affrontare secondo altre prove, ampliando il campo di indagine e con riscontri su miscele poste in opera per verificare, nelle reali condizioni di esercizio, il comportamento delle pavimentazioni costituite con conglomerati di questo tipo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Pasetto M, Tattan F. Conglomerati bituminosi drenanti additivati con polverino di gomma di pneumatici riciclati. *Quaderno AIPCR*, Verona 1998.
- [2] Mincarini M. La gomma: il ciclo di produzione, consumo e recupero della gomma in Italia. *Osservatorio di normativa ambientale*.
- [3] Pavimentazioni drenanti e fonoassorbenti. *Le strade* n° 1276 giugno 1991.
- [4] Dizionario di ingegneria. *Perucca* UTET.
- [5] Siragna D. Pneumatici usati, tecniche di recupero. *Recycling* dicembre 1998.
- [6] Legnani G. I materiali di scarto nelle pavimentazioni stradali. *Le strade* n° 1298, novembre/dicembre 1993.
- [7] Giavarini C., Scarsella M. I bitumi modificati con gomma di recupero, parte I. *Rassegna del bitume*, n 32 anno 1999.
- [8] Medina j. G., A'ngel del Val M., Raz R. T. Digestio'n del Caucho de neuma'ticos incorporado por via seca a las mezclas asfa'lticas. *Atti del x° congresso ibero-latinoamericano dell'asfalto* novembre 1999;

- [9] Giavarini C., Scarsella M. I bitumi modificati con gomma di recupero, parte II. *Rassegna del bitume n° 33*, 1999.
- [10] De Via M. Lunga vita al pneumatico, *Le strade n° 9*, anno 1996.
- [11] Bressi G. Rollando F. Utilizzo del polverino da pneumatici fuori uso nelle pavimentazioni stradali e in altri settori. *Istituto per l'ambiente rapporto 96/01*, Milano.
- [12] Bocci M., Sparvoli M. Le fibre stabilizzanti negli splittmastix confronto prestazionale. *Atti del VII° convegno SIVV*, Ancona, 1996.
- [13] Sousa J. B., Fonseca P. Freire A. Pais J. Comparação da vida á fadiga e deformação permanente entre misturas com betume modificado com borracha reciclada de pneus e convencionais. *Atti del X° congresso ibero-latinoamericano dell'asfalto*, novembre 1999.
- [14] Lizcano P. F., Ortiz O'. J. R. Uso de desperdicio plástico para mejorar las propiedades mecánicas de la estructura de pavimento. *Atti del X° congresso ibero-latinoamericano dell'asfalto*, novembre 1999.
- [15] Way G.B. OGFC Meets CRM where the Rubber meets the Rubber 12 Years of Durable Success. *Atti del convegno internazionale "Asphalt rubber 2000"*, Portogallo, novembre 2000.
- [16] Les liants améliorés au caoutchouc de SACER. *Revue générale des aérodrômes n°596*, avril 1983.
- [17] Serfass J. P. Fabrication, Utilisation et comportement des bitumes-caoutchouc. *Revue générale des aérodrômes n°602*, november 1983.
- [18] Faure B. Les enduits épais au bitume-caoutchouc: Realisations françaises. *Revue générale des aérodrômes n°602*, november 1983.
- [19] Huang P., Yan j. Research on properties and technology of crumb rubber asphalt mixture. *Atti del convegno internazionale "Asphalt rubber 2000"*, Portogallo, novembre 2000.
- [20] Leite L.F.M. , Constantino R. S. Vivoni A. Rheological Studies of Asphalt with ground tire rubber. *Atti del convegno internazionale "Asphalt rubber 2000"*, Portogallo, novembre 2000.
- [21] Anderson J. Pampulim V. Saim R. Sousa J. B. Asphalt rubber laboratory properties to type and process technology of crumb rubber. *Atti del convegno internazionale "Asphalt rubber 2000"*, Portogallo, novembre 2000.
- [22] Ferrari P., Giannini F.: Ingegneria stradale. ISEDI – Vol. II.