

# Sistemi e applicazioni per una pavimentazione stradale sicura e a basso impatto ambientale

## *Principles to be adopted for a safe road pavement with low environmental impact*

ALESSANDRO GIANNATTASIO, FILIPPO MONTANELLI  
Iterchimica SpA

### Riassunto

Le attuali esigenze di rispetto ambientale coinvolgono direttamente anche le lavorazioni e i materiali stradali. L'articolo fornisce una rassegna dei più recenti ritrovati tecnologici in grado di soddisfare tutte le esigenze prestazionali di capitolato, nel rispetto dell'ambiente della salute e della sicurezza.

### Summary

*Current requirements for environmental protection directly involve roadworks and materials. The paper gives a survey of the latest discoveries in technology, designed to satisfy all performance requirement specifications.*

## 1. Introduzione

Nel settore della progettazione, costruzione e gestione delle infrastrutture di trasporto possono essere individuati molteplici campi di innovazione che toccano aspetti relativi ai materiali, al dimensionamento delle sovrastrutture, alle tecniche realizzative, alla sicurezza, alla manutenzione ed infine all'ambiente.

La finalità innovativa è quella di prodotti, processi e sistemi che massimizzano gli asset del gestore della infrastruttura stradale migliorando la qualità del servizio, nonché salvaguardando ambiente ed interesse sociale, migliorando la sicurezza e la durata delle opere. Le attuali esigenze di salvaguardia dell'ambiente hanno sempre più indirizzato gli sforzi dei progettisti alla realizzazione di opere che possono coesistere in armonia con l'ambiente circostante tramite l'uso di tecnologie costruttive a basso impatto ambientale ed al tempo stesso sicure e durevoli.

Salvaguardia dell'ambiente vuole dire anche sicurezza e salute per gli operatori del settore e per gli utenti tramite la riduzione dell'inquinamento durante le operazioni

di produzione e posa e tramite l'assorbimento delle sostanze inquinanti emesse dagli autoveicoli.

## 2. L'impatto sull'ambiente

La costruzione, manutenzione e riqualificazione delle infrastrutture viarie in generale e dei tappeti in conglomerato bituminoso, in particolare, comporta oltre ad un elevato esborso economico anche una notevole richiesta di materie prime pregiate costituite da inerti di cava. Nel corso degli ultimi anni, le vie di comunicazione, hanno conosciuto uno sviluppo senza precedenti. Molte di esse sono in uso da oltre vent'anni e, avendo raggiunto il limite della loro vita utile, necessitano di crescenti interventi di manutenzione volti a mantenere livelli accettabili di servizio. L'incremento del traffico e delle sollecitazioni dovute ai veicoli, il maggiore carico per asse e "l'età avanzata" sono tutti fattori che concorrono al deterioramento delle pavimentazioni stradali; per affrontare i problemi ad esso connessi si va sempre più diffondendo la »

tecnica del riciclaggio a freddo con emulsione bituminosa delle pavimentazioni flessibili.

L'esigenza di abbattere le emissioni in atmosfera (CO<sub>2</sub>, NO, COV, polveri sottili, ecc.), le non illimitate disponibilità di combustibili fossili e il rispetto del protocollo di Kyoto, impongono anche al settore dei conglomerati bituminosi a caldo di indirizzarsi verso sistemi di produzione ecosostenibili. Le ricerche finalizzate hanno permesso lo sviluppo di nuove tecnologie che consentono la produzione di conglomerati tiepidi ecosostenibili ma anche convenienti per il produttore stesso. Notevoli sono, infatti, i benefici economici ed applicativi legati a queste tecnologie.

## 2.1 Il riciclaggio a freddo

Il riciclaggio dei conglomerati bituminosi a freddo diventa quindi di fondamentale importanza per le corrette politiche di tutela delle risorse naturali e per una progettazione "integrata" in chiave ambientale. Le motivazioni che sostengono la necessità di riciclare sono molteplici e tutte parimenti importanti dal punto di vista della tutela ambientale:

- ▶ riduzione e recupero delle materie prime;
- ▶ riduzione delle aree da destinare a discarica e cava;
- ▶ contenimento dell'inquinamento del suolo e dell'atmosfera dovuto al trasporto dei rifiuti;
- ▶ conservazione dell'energia per le lavorazioni a freddo;
- ▶ riduzione delle emissioni in atmosfera;
- ▶ riduzione dei tempi di esecuzione degli interventi di manutenzione;
- ▶ convenienza economica;
- ▶ vantaggi tecnici.

Per effetto dei notevoli vantaggi ambientali ed energetici associati al loro impiego, le tecniche di riciclaggio e rigenerazione a freddo dei conglomerati bituminosi sono allo stato attuale oggetto di un crescente interesse da parte delle amministrazioni ed imprese del settore stradale. Il materiale di risulta delle

pavimentazioni stradali, comunemente detto "fresato", può essere riciclato nella produzione di nuovo conglomerato bituminoso facendo ricorso alle tecniche "a freddo" con emulsioni bituminose, ottenendo materiali di ottima qualità (Fig. 1).

Come per i conglomerati bituminosi tradizionali, la qualità della miscela dipende dall'accuratezza del *mix design*; in particolare, è importante procedere ad una corretta caratterizzazione prestazionale del conglomerato che si realizza in modo da poter valutare correttamente, non solo la composizione della miscela, ma anche la tecnica impiegata. Nel caso specifico, sono state sviluppate delle emulsioni bituminose per il riciclaggio a freddo che permettono di lavorare i fresati con tempi di stesa anche superiori alle 4 ore, permettendo un'ottima ricopertura degli inerti ed elevate doti di resistenza ed elasticità.

L'utilizzo congiunto di questi leganti assicura al prodotto finale un certo grado di elasticità ed evita il fenomeno della fessurazione che tende a verificarsi quando si utilizza solo un legante idraulico. Dall'analisi dei risultati sperimentali ottenuti in diversi progetti è stato possibile trarre alcune considerazioni conclusive:



Fig. 1 Riciclaggio a freddo in situ su tratte stradali di ANAS

- ▶ la miscelazione di cemento, emulsione e materiale riciclato permette di ottenere uno strato di fondazione o di base con buone caratteristiche di portanza e di resistenza a fatica;
- ▶ le resistenze a trazione indiretta ottenute e i moduli di carico su piastra permettono di catalogare le pavimentazioni riciclate in maniera equivalente ad uno strato di conglomerato di collegamento.

Oltre agli ovvi vantaggi di recupero ambientale ed energetico, l'interesse verso questa tecnica è cresciuto anche per le positive *performances* e economicità riscontrate nelle applicazioni sinora realizzate, sia come strato di fondazione in conglomerato bituminoso rigenerato come valida alternativa ai classici sistemi di tecniche di stabilizzazione con calce o cemento, sia come rigenerazione integrale degli strati di base e collegamento.

## 2.2 La produzione di conglomerati bituminosi tiepidi con additivi polifunzionali innovativi

Lo sviluppo di nuove tecnologie che permettono la produzione di conglomerati tiepidi ecosostenibili e convenienti per il produttore stesso, ha portato Itermica a sviluppare una tecnologia, denominata Iterm-low-T, per la produzione di conglomerati bituminosi a bassa energia (Conglomerati Bituminosi Tiepidi) che, rispetto alle tradizionali tecniche a caldo, arrivano a ridurre di 40° le temperature di processo, dando luogo a un sensibile risparmio energetico e a un cospicuo abbattimento delle emissioni, con evidenti vantaggi in termini ambientali e di condizioni di lavoro.

I vantaggi della tecnologia per la produzione di asfalti tiepidi possono essere così riassunti:

- ▶ minor consumo energetico (Tinerti = 120 °C);
- ▶ aumento della produzione oraria (fino al 15 %);
- ▶ riduzione delle emissioni in atmosfera;
- ▶ trasporto dei conglomerati a distanze maggiori, limitando i problemi logistici.

L'impiego degli additivi polifunzionali permette di ottimizzare il processo sfruttando le caratteristiche chimico-fisiche del bitume, al fine di ottenere una miscela composta estremamente lavorabile durante tutto il processo produttivo fino alla sua compattazione, in modo da acquisire rapidamente le caratteristiche meccaniche richieste per sopportare le sollecitazioni indotte dal traffico stradale. La diminuzione

delle temperature di processo comporta anche una minore usura dei mezzi utilizzati nell'ambito del processo di produzione, specie nell'impianto di confezionamento, nel quale anche il fenomeno di invecchiamento del bitume, associato alla sua ossidazione e alla perdita di sostanze aromatiche, risulta ridotto o quantomeno contenuto rispetto alle tradizionali miscele a caldo.

L'additivo interagisce sulla struttura del legante; la sua azione chimica si riflette istantaneamente sulle caratteristiche fisiche del conglomerato, permettendone il confezionamento a temperature di 120 °C e, conseguentemente, la stesa e compattazione a valori intorno ai 90 °C. Il tutto senza modificare in alcuna maniera le proprietà fisico-chimiche del bitume, mantenendone immutati la penetrazione, il punto di rammollimento e la viscosità. Tale proprietà è transitivamente trasferita alle caratteristiche meccaniche del conglomerato prodotto, che presenterà esattamente le stesse qualità proprie delle tradizionali miscele a caldo.

Più di 80 campi prova sin dal 2002 sono stati eseguiti con diverse imprese di costruzioni stradali sul territorio europeo. Le sperimentazioni hanno riguardato tappeti di usura, strati di collegamento e strati di base; in uguale maniera, sono state compiute prove utilizzando anche materiale proveniente dalla fresatura di pavimentazioni, in percentuali prossime al 35%. Diretta conseguenza della diminuzione delle temperature è stato il contenimento sensibile dei consumi di combustibile, compresi dal 25 al 40%, e delle emissioni in atmosfera.

In **Tab. 1** sono riassunti i dati ottenuti in alcune prove sperimentali con l'utilizzo della tecnologia Iterm-low-T relativamente alla riduzione di emissioni espresse in comparazione tra un conglomerato tradizionale ed uno tiepido.

**Tab. 1** Riduzione delle emissioni rispetto ad una produzione standard

Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	-53%
Idrocarburi volatili	-53%
Carbonio Organico Volatile (COV)	-90%
Ossidi di azoto (NOx )	-51%
Polveri sottili	-87%

### 3. Conglomerati bituminosi fibrorinforzati con fibre sintetiche miste

Oggigiorno i più consistenti lavori stradali riguardano la manutenzione ed il rifacimento di pavimentazioni stradali ammalorate; sebbene la semplice posa di un nuovo strato di asfalto costituisca raramente una soluzione efficace e duratura per la presenza di difetti strutturali di "portanza", di propagazione delle rotture a fatica e di fessurazioni riflessive provenienti da strati inferiori ammalorati, allo scopo di prolungare la vita utile delle pavimentazioni stradali, si è sviluppata una tecnologia basata sull'inclusione, in impianto di produzione del conglomerato, di fibre di materiali sintetici ad alta tenacità.

Esistono attualmente prodotti di rinforzo (geogriglie e geotessili) che possono essere applicate solamente allo strato inferiore del conglomerato con problemi di "mancato mutuo contatto" in quanto essi non sono inglobati nel conglomerato.

Il principale obiettivo di un rinforzo è di incrementare le caratteristiche strutturali delle pavimentazioni flessibili, coi conseguenti benefici:

- ▶ prevenire la riflessione delle fratture;
- ▶ provvedere ad un'uniforme distribuzione del carico sulla superficie fessurata;
- ▶ fornire resistenza al taglio contro l'ormaiamento, specialmente nelle zone con i maggiori carichi di tensioni tangenziali;
- ▶ aumentare la resistenza all'ormaiamento.

Una pavimentazione fibrorinforzata con fibre sintetiche avrà una durata più lunga rispetto ad una equivalente struttura non rinforzata, senza comportare un aumento dello spessore della pavimentazione.



Fig. 2 Fibre di cellulosa sintetica

La fibra si presenta pressata ed agglomerata in granuli (Fig. 2) composti da una sostanza addensante (cellulosa) ed una a matrice di rinforzo (fibra di PET). Tali granuli hanno lo scopo di evitare la dispersione in aria della fibra di PET, consentire una dosatura più accurata nell'impasto bituminoso e di aumentare lo spessore della pellicola di bitume che riveste l'inerte. L'impiego di fibre richiede sempre, per il confezionamento in impianto delle miscele, opportuni macchinari in grado di dosare, disgregare e disperdere finemente le fibre nel conglomerato. La fibra deve essere aggiunta direttamente nel mescolatore dell'impianto del conglomerato e prima di immettere il bitume in percentuale variabile tra lo 0,30%-0,50 % in peso degli inerti.

Le caratteristiche geometriche e meccaniche della fibra sintetica sono riportate nella Tab. 2.

Tab. 2 Caratteristiche della fibra sintetica

Caratteristiche Chimico-Fisiche	Valore	Unità
Contenuto di cellulosa	50±3	%
Contenuto di fibre PET	50±3	%
Diametro nominale fibra	10-25	µm
Lunghezza media	5 – 7	Mm
Massa volumica a 25°C*	550	g/l
Punto di fusione	> 250	°C
Assorbimento in olio	700 – 800	%
Resistenza a trazione	> 700	MPa
Allungamento a trazione	18-30	%

La fibra di cellulosa sintetica migliora notevolmente le caratteristiche meccaniche del conglomerato aumentandone i valori di stabilità e trazione indiretta. La relazione tra la quantità di legante e percentuale minima di fibra rispetto al peso degli aggregati è da considerarsi compresa tra lo 0,30-0,50 %.

Tali fibre hanno il vantaggio di aumentare sia le prestazioni del legante, sia le prestazioni del conglomerato. In particolare la Fig. 3 mostra come la fibra sintetica innalzi la temperatura di palla anello di un bitume 50/70 normale e modificato dai 50 fino a 95 °C circa. Per conglomerati bituminosi ad elevata % di vuoti e/o di bitume (quali semi-aperti e drenanti, splittmastix, alto modulo), l'aggiunta della fibra di tipo misto/sintetico (Cellulosa-PET) ha la funzione di additivo stabilizzante



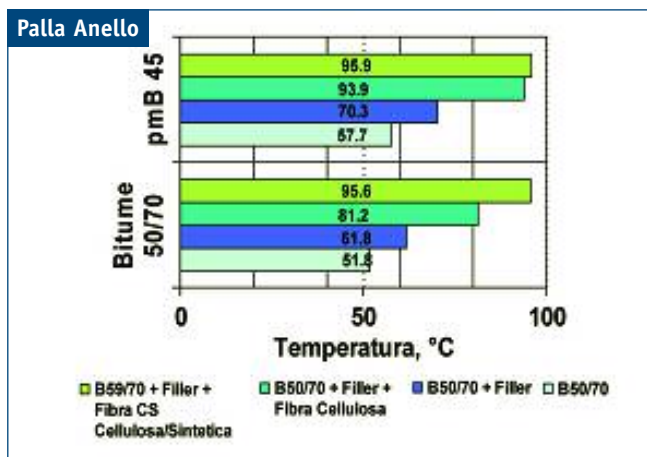


Fig. 3 Relazione tra temperatura P&A di un bitume 50/70 normale e modificato al variare del dosaggio e tipo di fibra

ed addensante del bitume che impedisce la colatura del legante nel conglomerato. La Fig. 4 mostra la capacità di assorbimento della fibra che evita ogni tipo di colatura del bitume dall'inerte (Prova Shellenberg).

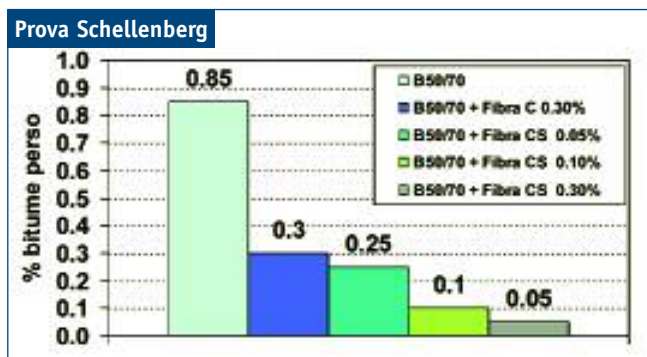


Fig. 4 Perdita in peso di bitume in funzione del tipo e dosaggio di fibra

Tab. 3 Comparazione tra binder tradizionale e fibrinforzato

Strato di collegamento	Binder Tradizionale	Binder alto modulo fibra CV	Binder alto modulo fibra CS
Prova	Valore	Valore	Valore
Stabilità Marshall	≥ 900 daN	≥ 1500 daN	≥ 1750 daN
Rigidezza Marshall (Stabilità/Scorrimento)	≥ 300 daN/mm	≥ 400 daN/mm	≥ 400 daN/mm
Scorrimento Marshall	2 -3 mm	2,5 -3,5 mm	3 -4 mm
Vuoti residui 3% - 6%	3%-6%	3%-6%	
Resistenza a trazione indiretta	≥ 0,5 N/mm <sup>2</sup>	≥ 1,0 N/mm <sup>2</sup>	≥ 1,1 N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Rigidezza a 20°C	> 3000	> 4000	> 5000

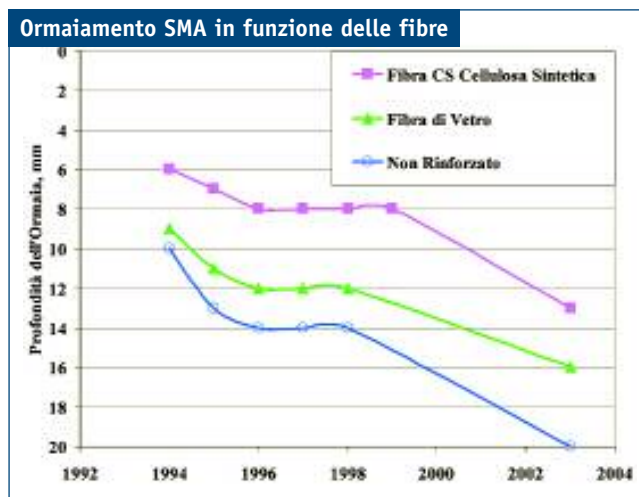


Fig. 5 Andamento sperimentale dell'ormaiamento su SMA

Questa caratteristica è fondamentale per la buona realizzazione di tappeti e microtappeti drenanti mono-granulari e splittmastix. La Fig. 5 mostra i risultati di alcune sperimentazioni fatte su pavimentazioni tipo SMA, soggette a carichi di tipo autostradale. Le pavimentazioni rinforzate con fibra sintetica hanno dato ormaimenti inferiori al 50% rispetto a pavimentazioni tradizionali dopo 10 anni di monitoraggio.

Nella Tab. 3 viene riportata una comparazione tra un binder di tipo tradizionale confrontato con equivalenti binder fibrinforzati. L'uso di fibre di rinforzo di tipo cellulosa-vetro e cellulosa-sintetica aumenta largamente i valori di stabilità e di scorrimento Marshall e le caratteristiche prestazionali quali la resistenza a trazione indiretta ed il modulo di rigidezza.

Strati di base e di collegamento realizzati con questi materiali superano largamente i materiali tradiziona-

li con costi contenuti, permettendo la realizzazione di strati relativamente sottili aventi elevata tenacità, duttilità e durata.

Pertanto l'uso di fibre di rinforzo all'interno della pavimentazione permette di realizzare strati di base e binder ad alto modulo utilizzando bitumi tradizionali, strati di usura speciali quali drenanti fonoassorbenti, microtappeti e splittmastix aventi caratteristiche prestazionali e di durata largamente superiori a quelli attualmente esistenti.

#### 4. Conglomerati bituminosi antigelo con additivi innovativi

L'aderenza è un parametro fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza della circolazione e collegato direttamente alle caratteristiche compositive del conglomerato ed alla tessitura superficiale. L'aderenza viene esaltata da miscele costituite da un aggregato a curva granulometrica discontinua o semi-discontinua e quindi risultano parzialmente drenanti e fonoassorbenti oltre ad essere caratterizzate da una elevata rugosità migliorando ulteriormente la sicurezza della circolazione, il comfort di moto e la ecocompatibilità. Ai noti problemi di "aquaplaning" e di frenate in spazi ristretti si aggiungono i disagi creati alla viabilità stradale, durante il periodo invernale, dalle precipitazioni nevose e dalla formazione di ghiaccio. Nella stagione fredda aumentano in maniera consistente il numero di incidenti stradali causati dalla minore aderenza dei pneumatici degli autoveicoli al manto stradale, reso scivoloso da uno strato di ghiaccio. Quando poi parliamo di asfalti del tipo drenante i rischi aumentano ulteriormente nella stagione fredda, in quanto il ghiaccio riesce a fissarsi ancora meglio all'interno delle cavità del manto stradale.

I rimedi classici fino ad ora adottati per combattere il ghiaccio consisto-

no nello spargimento di cospicue quantità di cloruro di sodio, che però non sempre avvengono in maniera tempestiva (Fig. 6).

Per ridurre tali aspetti critici, Iterchimica ha sviluppato un additivo antigelo che si miscela con il conglomerato bituminoso dello strato di usura come un filler, dal 3% al 5% sul peso degli aggregati, risultando totalmente disperso in maniera omogenea nel film di bitume che riveste l'inerte, in modo da agire in maniera ottimale, soprattutto negli asfalti drenanti, dove si ha una superficie specifica maggiore.

La sua struttura non compromette le caratteristiche meccaniche del conglomerato bituminoso in cui è impiegato. Esso non rilascia sostanze corrosive e dannose per l'ambiente e non contiene cloruri che aggrediscono le strutture stradali in calcestruzzo, sia le armature in acciaio del cemento armato. L'utilizzo dell'additivo antigelo consente l'impiego di conglomerati tipo drenante anche laddove (zone di montagna o molto fredde) non vengono normalmente utilizzati per i problemi causati dalla persistenza del ghiaccio negli interstizi degli stessi.

Il prodotto è efficace in maniera costante e continua nel tempo, in quanto gli elementi attivi migrano in maniera graduale verso l'esterno del film di bitume,



Fig. 6 Condizioni tipiche critiche di scarsa aderenza

Prove di conglomerato

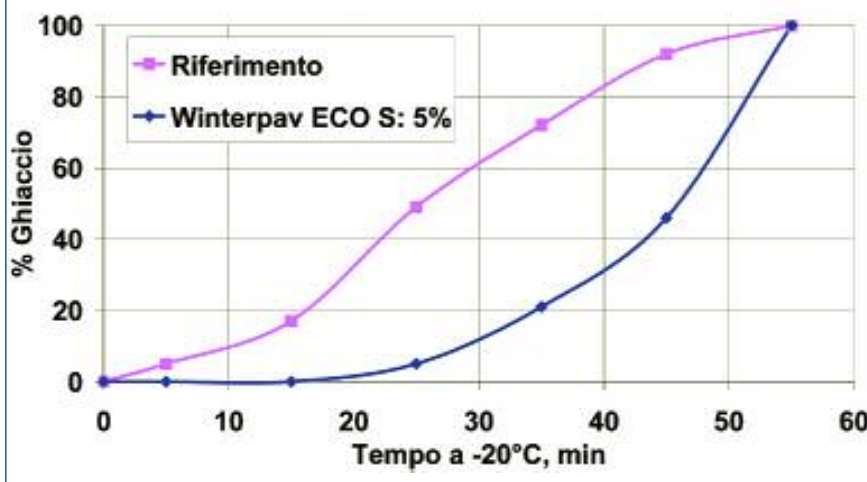


Fig. 7 Andamento della formazione percentuale di ghiaccio nel tempo

fornendo sempre nuove particelle efficaci per l'azione autosghiacciante.

Come si può vedere nel grafico di **Fig. 7**, questo additivo abbassa la temperatura di congelamento dell'acqua presente sul manto stradale e ritarda la formazione dei cristalli di ghiaccio, rendendolo friabile e facilmente asportabile e garantendo una formazione di ghiaccio percentuale, dopo 45 min. di esposizione a -20 °C, inferiore al 50% a quello di una pavimentazione di tipo tradizionale.

## 5. Conglomerati bituminosi "antismog"

Ultimo ritrovato sviluppato da Iterchimica per la riduzione dell'impatto ambientale dovuto al traffico stradale è il trattamento Antismog TiO<sub>2</sub>-Sistem, frutto di studi effettuati al fine di ridurre l'inquinamento atmosferico, che soprattutto negli ultimi anni e nei luoghi altamente urbanizzati costituisce un grosso problema per la salute pubblica. Gli agenti inquinanti, causati dalla combu-

stione di idrocarburi nei motori a scoppio, nelle caldaie industriali e civili, o in altri impianti, sono costituiti in prevalenza da COx, NOx, SOx e COV.

L'"Antismog TiO<sub>2</sub>-Sistem" è un sistema innovativo che sfrutta l'energia solare e una serie di cristalli aventi proprietà fotocatalitiche, per ossidare gli inquinanti a forme non più pericolose per la salute.

Dagli esperimenti condotti in laboratorio risulta che con 1 m<sup>2</sup> di superficie fotocatalitica è possibile pulire un volume d'aria di 200 m<sup>3</sup> per ogni giorno di irraggiamento.

Il conglomerato antismog è costituito da una miscela micronizzata di particolari cristalli di biossido di titanio ed

altre sostanze fotocatalitiche, scelte opportunamente e nelle proporzioni atte a garantire un'efficace azione ossido-fotocatalitica sia al sole sia nelle zone d'ombra, disperse in specifiche resine inorganiche siliconiche, capaci di mantenere in sospensione le particelle attive durante il periodo di nebulizzazione su strada e di svolgere su di esse un'azione ancorante al bitume, ed al tempo stesso di impedire l'ossidazione di quest'ultimo e della resina stessa.

Nei primi 8 mesi di sperimentazione e monitoraggio degli agenti inquinanti in una zona altamente trafficata si è potuto constatare un abbattimento medio del 30% degli NOx e del 50% degli SOx; tale abbattimento risulta inoltre costante nel tempo come riportato nella **Tab. 4**. ■

Tab. 4 Abbattimento degli inquinanti

dal	al	IterTiO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> , µg/m <sup>3</sup> area non trattata	%	IterTiO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> , µg/m <sup>3</sup> area non trattata	%
26/08/05	19/09/05	149,7	193,8	-23%	1,5	3,1	-52%
19/09/05	24/11/05	117,7	166,7	-29%	1,2	4,9	-76%
24/11/05	19/12/05	104,0	425,7	-76%	2,4	4,5	-47%