

# L'impiego di materiali fotocatalitici per la riduzione dell'inquinamento veicolare

## The use of photocatalytic materials for the reduction of traffic air pollution

Riccardo Rampini, D.I.I.A.R. – Politecnico di Milano

Il traffico veicolare viene globalmente riconosciuto come una delle maggiori cause di inquinamento atmosferico, soprattutto in ambito urbano. I sistemi di mitigazione più diffusi consistono principalmente in provvedimenti che vanno interessare direttamente la circolazione, come ad esempio la regolazione degli accessi in città e i blocchi del traffico. L'impiego dei materiali fotocatalitici nella costruzione delle infrastrutture viarie consente di apportare un significativo contributo all'abbattimento dei gas nocivi, intervenendo direttamente sulla fonte dell'inquinamento stesso.

*Road traffic is commonly recognized as one of the main causes of atmospheric pollution, especially in urban context. The most diffused mitigation systems mainly consist in actions that directly affect traffic, such as access regulations and traffic blocks. The utilization of photocatalytic materials in road construction gives the opportunity to give a sensible contribution to air pollution reduction, working directly on the source of the problem.*

L'inquinamento atmosferico causato dal traffico veicolare rappresenta per la società moderna un tema di notevole rilievo, che recentemente ha assunto un'importanza sempre maggiore anche alla luce delle evidenze scientifiche relative agli effetti delle sostanze inquinanti sull'ambiente e sulla salute delle persone.

Il problema dell'emissione dei gas di scarico dei veicoli è stato affrontato negli ultimi anni mediante l'attuazione di diversi sistemi di contenimento, che hanno interessato sia lo sviluppo di carburanti e apparati di propulsione dei veicoli a bassa emissione, sia l'attuazione di interventi di mitigazione del traffico, con limitazione degli accessi in ambito urbano fino ad arrivare al blocco totale della circolazione.

Dal punto di vista ingegneristico, l'impatto dell'infrastruttura stradale sull'ambiente in termini di emissioni atmosferiche viene generalmente considerato un prezzo necessario da pagare in funzione del ruolo della stessa nei confronti della circolazione di persone e merci.

La ricerca nel campo dei materiali stradali offre oggi la possibilità di ridurre l'impatto inquinante del traffico stradale agendo direttamente sul progetto dell'infrastruttura stessa: attraverso l'impiego di materiali fotocatalitici è possibile infatti realizzare elementi di arredo, opere accessorie e addirittura pavimentazioni stradali in grado di abbattere sensibilmente gli inquinanti dell'aria.

### La fotocatalisi

La fotocatalisi è il fenomeno naturale per il quale una sostanza, detta fotocatalizzatore, è in grado di accelerare la velocità di una reazione chimica mediante l'azione della radiazioni luminose.

L'applicazione del processo può essere finalizzata ad

accelerare la reazione di ossidazione delle sostanze inquinanti, rendendole non nocive per l'ambiente.

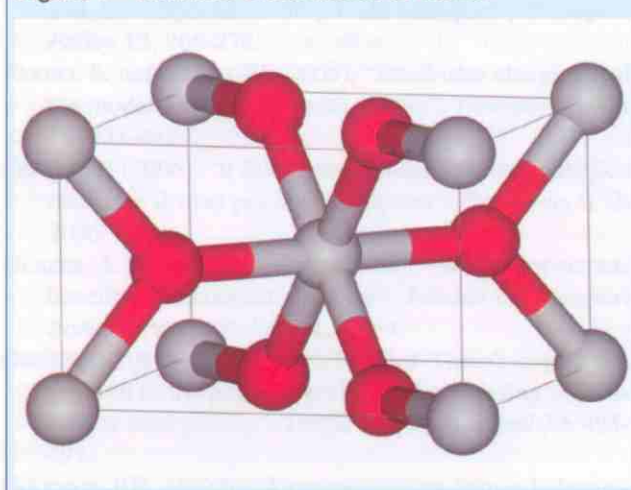
Il biossido di titanio ( $TiO_2$ ) è uno dei materiali fotocatalitici più frequentemente utilizzati per la preparazione di prodotti anti-smog e in genere viene utilizzato miscelato all'interno di soluzioni acquose o come additivo all'interno di malte cementizie, intonaci, vernici, smalti ecc..

Le applicazioni possono essere molteplici e l'effetto antinquinamento risulta proporzionale all'estensione della superficie trattata.

L'azione di purificazione dell'aria avviene mediante l'attivazione luminosa del principio attivo, il quale favorisce le reazioni di ossidazione che portano alla decomposizione degli inquinanti organici e inorganici e alla loro trasformazione in elementi non nocivi.

Le reazioni di fotocatalisi sono in grado di favorire la degradazione di polveri sottili, ossidi di azoto, composti

Figura 1 – Struttura del biossido di titanio



organici volatili, aromatici policondensati, anidride solforosa, monossido di carbonio, formaldeide, acetaldeide, metanolo, benzene, toluene, ozono, microrganismi, batteri, funghi e alghe.

Le sostanze inquinanti vengono infatti trasformate, attraverso le reazioni di fotocatalisi, in nitrati e nitriti di sodio, nitrati e nitriti di calcio e calcare, residui quindi innocui che, dilavati dalle acque meteoriche, non costituiscono elemento di ulteriore inquinamento.

Il biossido di zolfo viene ossidato e trasformato in acido solforico, il quale risulta immediatamente adsorbito dal substrato alcalino a formare solfato di calcio, composto debolmente solubile in acqua ed assolutamente innocuo. L'ossidazione del monossido di carbonio porta invece alla formazione di biossido di carbonio, composto sostanzialmente inerte.

Attualmente è inoltre in fase di valutazione l'effetto dei materiali fotocatalitici sulle particelle costituenti il particolato, le quali risultano attratte dalle cariche libere superficiali del materiale fotocatalitico.

Gli effetti positivi legati all'impiego di materiali fotocatalitici non riguardano poi solamente le reazioni di ossidazione delle sostanze inquinanti, ma anche la possibilità di garantire un'efficace azione antisporcamento la quale, unitamente all'azione antibatterica e antimuffa, permette un sensibile prolungamento della vita utile degli elementi trattati, oltre che al mantenimento di un aspetto estetico ottimale nel tempo.

Grazie alla loro versatilità di utilizzo, i materiali fotocatalitici trovano un largo impiego nel campo dell'ingegneria, e grazie alle loro caratteristiche rappresentano un'importante risorsa per la progettazione eco-compatibile delle infrastrutture viarie.

## Applicazioni in campo stradale

Nell'ambito della progettazione e gestione delle infrastrutture viarie, l'utilizzo di materiali fotocatalitici può davvero apportare un importante contributo all'abbattimento dell'inquinamento atmosferico, in particolar modo di quello prodotto dal traffico circolante sull'infrastruttura stessa.

Come visto, il biossido di titanio rappresenta il composto più frequentemente utilizzato, sia per la sua efficacia, sia per la versatilità di impiego. Miscelato all'interno di malte cementizie e vernici, il materiale fotocatalitico può quindi essere utilizzato come rivestimento o costituente stesso sia delle opere accessorie all'infrastruttura, sia della stessa pavimentazione stradale.

### Rivestimento fotocatalitico delle strutture in calcestruzzo

Un esempio efficace di applicazione dei materiali fotocatalitici in ambito stradale è sicuramente rappresentato dal rivestimento delle superfici in calcestruzzo delle diverse opere d'arte stradali come barriere di protezione, muri di sostegno, pareti interne di gallerie, ecc..

Tenuto presente che la resa delle reazioni di fotocatali-

Figura 2 - Galleria rivestita con pittura fotocatalitica



si è proporzionale all'estensione delle superfici trattate, ne deriva che ad estensioni di trattamento maggiori corrispondono maggiori risultati in termini di efficacia di abbattimento degli inquinanti.

Il rivestimento delle superfici in calcestruzzo con materiale dotato di caratteristiche fotocatalitiche è quindi in grado di apportare un sensibile contributo alla riduzione delle concentrazioni degli inquinanti immessi in atmosfera dal traffico interessante l'infrastruttura, pari a circa il 57%.

Il materiale utilizzato consiste generalmente in una pittura fotocatalitica applicata direttamente sulle superfici degli elementi in calcestruzzo. La pittura viene normalmente utilizzata in aggiunta agli intonaci ed è quindi da considerarsi come una soluzione protettiva integrativa.

Lo strato protettivo costituito dalla pittura è in grado infatti di garantire un'ulteriore protezione delle superfici, unitamente all'efficace azione antinquinamento ed antisporcamento propria dei materiali fotocatalitici. Quest'ultima azione rappresenta senza dubbio un fattore di particolare rilievo per l'applicazione di pitture fotocatalitiche, soprattutto per ciò che concerne gli ambienti scarsamente illuminati, come ad esempio le gallerie. Se la scelta dei materiali da costruzione garantisce, conformemente a quanto stabilito nel progetto originario, idonee caratteristiche strutturali, l'applicazione dell'ulteriore rivestimento fotocatalitico determina una conservazione prolungata dell'aspetto estetico dell'elemento nel tempo.

Ampie sperimentazioni condotte dal Laboratorio Sperimentale Stradale del Politecnico di Milano sulle caratteristiche di autopulizia dei materiali fotocatalitici hanno mostrato come le superfici fotocatalitiche trattate con inquinanti organici colorati e sottoposte ad adeguato irraggiamento, anche dopo cicli ripetuti, recuperino e mantengano nel tempo le caratteristiche originarie. L'efficacia antisporcamento delle superfici fotocatalitiche rimane pres-

soché inalterata nel tempo.

L'impiego del biossido di titanio, soprattutto nella forma delle nanostrutture, garantisce una buona resa fotocatalitica anche in condizioni di scarsa illuminazione solare, come ad esempio in galleria. L'elevata resa fotocatalitica permette infatti di ottimizzare l'efficacia antinquinamento, antimuffa, antibatterica ed antisporcamento in ogni condizione di luce.

#### Barriere fonoassorbenti

L'applicazione di materiali fotocatalitici alle superfici di barriere antirumore rappresenta una soluzione strategica per la minimizzazione dell'impatto dell'infrastruttura e del traffico anche in termini di inquinamento atmosferico, oltre che acustico. L'impiego di materiali fotocatalitici consente infatti di conferire alle strutture fonoassorbenti proprietà antinquinamento mantenendo inalterate le funzioni antirumore della barriere.

Nel caso di barriere fonoassorbenti metalliche, la soluzione consiste nell'applicazione sulla superficie di uno smalto sintetico addizionato con biossido di titanio nanostrutturato.

Analogamente è possibile eseguire trattamenti fotocatalitici superficiali anche per barriere con superfici non metalliche, mediante l'applicazione di vernici o soluzioni acquose a base di biossido di titanio e silice in dispersione.

L'aumento dell'efficienza del fotocatalizzatore è stato sperimentato essere, in condizioni di scarsa illuminazione, pari all'85%. L'elevata efficienza del fotocatalizzatore garantisce inoltre ottimi risultati anche in termini di azione antisporcamento, protezione delle superfici, azione antibatterica ed azione antimuffa.

#### Pavimentazioni con masselli

L'impiego più innovativo dei materiali fotocatalitici in ambito stradale consiste nell'integrare le caratteristiche di abbattimento delle sostanze inquinanti della fotocatalisi direttamente nella superficie della pavimentazione stessa.

Una possibilità di utilizzo consiste nel realizzare la pavimentazione con elementi fotocatalitici prefabbricati costituiti da masselli autobloccanti.

Tale soluzione risulta particolarmente indicata in ambito urbano, nei centri storici e in zone di pregio architettonico, oltre che in corrispondenza delle aree pedonali. L'azione antinquinamento del materiale fotocatalitico viene in questo modo esplicita direttamente nelle zone urbane maggiormente sensibili.

#### Pavimentazioni in conglomerato bituminoso

Una soluzione ancora più innovativa consiste nel conferire le proprietà fotocatalitiche direttamente allo strato superficiale delle pavimentazioni in conglomerato bituminoso.

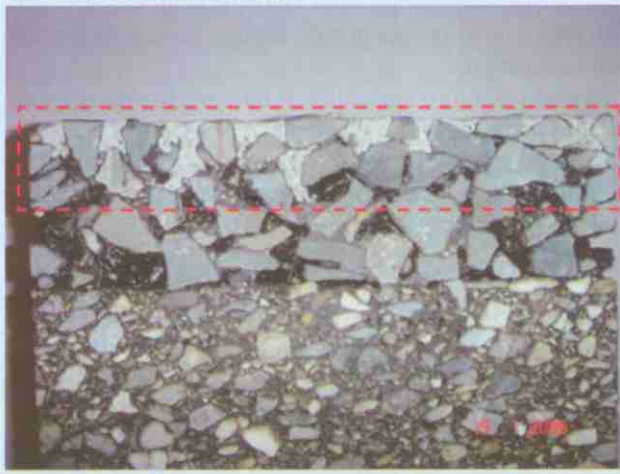
L'intervento consente in questo modo di dare origine ad una struttura che è in grado essa stessa di agire in modo attivo nella mitigazione del proprio impatto ambientale.

Lo strato fotocatalitico viene realizzato mediante il semintasamento con malta fotocatalitica di uno strato di

**Figura 3 – Realizzazione di pavimentazione in masselli fotocatalitici**



**Figura 4 – Sezione di una pavimentazione in conglomerato bituminoso intasata superficialmente con malta fotocatalitica**



usura bituminoso "open-grade", opportunamente progettato.

La malta è costituita da un premiscelato in polvere composto da cemento fotocatalitico, inerti silicei di granulometrica selezionata e additivi speciali.

Lo strato in conglomerato bituminoso è caratterizzato dal possedere un elevato volume dei vuoti, pari a circa il 20%, tale da consentire la penetrazione della malta per la profondità necessaria. La profondità di intasamento è commisurata all'entità dei carichi di traffico e in genere varia tra 1 cm e 1,5 cm.

La profondità di penetrazione della malta è tale da assicurare la corretta resistenza della pavimentazione all'azione dei pneumatici dei veicoli e degli agenti meteorici, ma è anche tale da non costituire elemento di eccessivo irrigidimento per la pavimentazione.

L'azione fotocatalitica infine non è in alcun modo influenzata dalla profondità di penetrazione essendo unica-

mente dipendente dall'estensione della superficie esposta ai raggi solari ed alla loro intensità.

Per garantire il corretto intasamento dello strato è importante che la miscelazione della malta avvenga con un contenuto d'acqua adeguato e proporzionale alla temperatura della pavimentazione e alle condizioni atmosferiche presenti al momento della stesa.

Lo strato bituminoso viene steso e compattato come un normale strato di usura drenante. Una volta raffreddato il materiale, si procede nell'applicazione della malta che può avvenire manualmente con l'uso di apposite racle per superfici di modesta estensione o con sistemi meccanici nel caso di applicazioni più estese.

Dal punto di vista realizzativo, la pavimentazione non presenta giunti o elementi di discontinuità e consente quindi di abbinare le caratteristiche di flessibilità e facilità di stesa dei conglomerati bituminosi con l'efficace combinazione fotocatalitica del cemento e del biossido di titanio.

Le prestazioni richieste in termini stabilità, resistenza alla deformazione e all'ormaiamento, rugosità e rumorosità restano garantite.

Per quanto riguarda le caratteristiche di micro e macrotestitura superficiale, l'asportazione della pellicola superficiale da parte dell'azione del traffico consente di ottenere caratteristiche ottimali di aderenza già dopo pochi giorni.

Nel corso delle sperimentazioni effettuate dal Laboratorio Sperimentale Stradale del Politecnico di Milano, le applicazioni stradali in ambito urbano hanno dato risultati di abbattimento degli inquinanti tutt'altro che trascurabili, che vanno fino al 65% per gli  $\text{NO}_x$  e fino al 50% per il  $\text{PM}_{10}$ ; si è registrata inoltre una riduzione fino al 70% per gli  $\text{NO}_2$ , fino al 93% degli  $\text{SO}_2$  e fino al 30% del  $\text{CO}$ . Le più recenti applicazioni in ambito autostradale hanno poi mostrato abbattimenti del 25% degli  $\text{NO}_2$  e del 83% del  $\text{CO}$ .

Un'applicazione ulteriormente innovativa riguarda l'impiego di materiali fotocatalitici per la realizzazione di strati di conglomerato bituminoso drenanti e fonoassorbenti.

L'applicazione avviene mediante l'utilizzo combinato di due prodotti fotocatalitici: un fissativo fotocatalitico e una speciale sabbia resa fotocatalitica mediante biossido di titanio. Le modalità di applicazione e le quantità dei prodotti sono tali da non alterare la capacità drenanti della pavimentazione così come le caratteristiche di fonoassorbimento, garantendo un'efficace azione fotocatalitica.

Sperimentazione in vera grandezza hanno mostrato la conformità della pavimentazione drenante fotocatalitica in termini di capacità drenante e caratteristiche superficiali; test ambientali condotti sulla pavimentazione hanno mostrato una riduzione media della concentrazione di inquinanti fino al 50%.

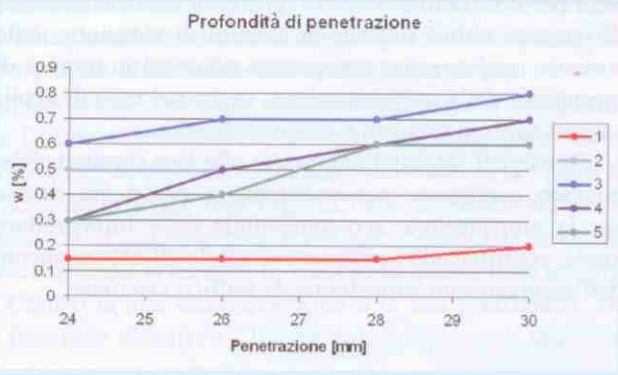
## Conclusioni

Il contenimento delle emissioni atmosferiche inquinanti causate dal traffico veicolare rappresenta un problema di rilevanza sociale che per essere risolto richiede l'applica-

**Figura 5 – Fase di intasamento della pavimentazione con la malta fotocatalitica**



**Figura 6 – Profondità di penetrazione della malta nel conglomerato bituminoso per cinque miscele differientemente fluidificate**



**Figura 7 – Risultato dell'applicazione in ambito urbano**



zione contemporanea di molteplici forme di mitigazione. Tra queste, l'impiego di materiali fotocatalitici rappresenta sicuramente un valido esempio di intervento funzionale.

Le elevate capacità di abbattimento degli inquinanti di tali materiali fanno sì che un'alta percentuale delle sostanze presenti in atmosfera possa essere abbattuta e resa non nociva semplicemente grazie all'utilizzo all'azione attivante delle radiazioni luminose.

La versatilità di impiego dei materiali fotocatalitici, e in particolar modo del biossido di titanio, inoltre rendono possibile l'applicazione in molteplici contesti.

Per ciò che riguarda l'ambito stradale, le possibilità di impiego sono molteplici e possono interessare potenzialmente tutte le opere a corredo dell'infrastruttura, dalle barriere di protezione, a quelle fonoassorbenti, ai muri di sostegno, alle gallerie.

La ricerca sui materiali stradali ha consentito inoltre di impiegare i materiali fotocatalitici anche per la realizzazione di pavimentazioni in conglomerato bituminoso. L'azione di abbattimento degli inquinanti atmosferici può essere svolta quindi direttamente dall'infrastruttura che ospita il traffico veicolare. L'impiego di materiali fotocatalitici per il rivestimento della superficie stradale consente di ottenere ottimi risultati in termini di riduzione delle sostanze nocive, senza comportare riduzioni in termini di prestazioni della pavimentazione, anche nel caso di applicazioni su strati drenanti o fonoassorbenti.

I materiali fotocatalitici, grazie alle loro caratteristiche possono certamente rappresentare un'importante risorsa per la progettazione eco-compatibile delle infrastrutture viarie, contribuendo in maniera sensibile all'abbassamento dell'inquinamento atmosferico da traffico veicolare.

## Bibliografia

- CRISPINO M., LAMBRUGO S., RAMPINI R., *The effectiveness of a photo-catalytic wearing course through experimental analysis and real scale application*, pubblicazione accettata all'International Symposium on Asphalt Pavement and Environment 2008 (ISAP), Zurigo, Svizzera, Agosto 2008.
- TORALDO E., LAMBRUGO S., *The optimization of photocatalytic mortars for road pavements*, 4th International Conference on Bituminous Mixtures and Pavements, Thessaloniki, Grecia, Aprile 2007.
- CASSAR L., "Photocatalysis of Cementitious Materials: Clean Buildings and Clean Air", *MRS Bulletin*, 2004.
- CASSAR L., PEPE C., TOGNON G., GUERRINI G., AMADELLI R., *White cement for architectural concrete possessing photocatalytic properties*, 11th Congress On Chemistry of Cement, Durban, Sudafrica, 2003.
- FUJISHIMA A., HASHIMOTO K., WATANABE T., *TiO2 Photocatalysis: Fundamentals and its Applications*, BKC, Tokyo, Giappone, 1999.
- QIAN CHUNXIANG, ZHAO LIANFANG, FU DAFANG, "Photocatalytic oxidation of nitrogen oxides by NANO-TiO2 immobilized on road surface materials", Kuei Suan Jen Hsueh Pao - *Journal of the Chinese Ceramic Society*, Aprile 2005.
- VALLEE F., RUOT B., "Innovative self-cleaning and de-polluting façade surfaces", *CIB World Building Congress*, 2004.