



Additivi a base di Grafene

1a

# Supermodificanti per strade longeve

DURABILITÀ ASSICURATA, NONOSTANTE IL TRAFFICO. È L'OBIETTIVO RAGGIUNTO DA UNA SPERIMENTAZIONE MESSA IN ATTO DA CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO E ITERCHIMICA CHE HANNO PORTATO SULLE "PROVINCIALI" CONGLOMERATI BITUMINOSI CONTENENTI SUPERMODIFICANTI A BASE DI GRAFENE. UNA BEST PRACTICE DI INNOVAZIONE PURA, CAPACE DI ALLUNGARE LA VITA DELLE STRADE SENZA FARLE INVECCHIARE, I CUI RISULTATI POSSIAMO ORA RENDERE NOTI.

**Gabriele Olivari**  
Area Infrastrutture  
Settore Strade, Viabilità  
e Sicurezza Stradale  
Servizio Gestione  
e Manutenzione Strade  
Città Metropolitana di Milano

**Loretta Venturini**  
Direttore Scientifico  
e Sviluppo Strategico  
Iterchimica Srl



1b

**1a. Stesa di conglomerato bituminoso con supermodificante al grafene lungo la SP 35 Milano-Meda**

**1b. Grafene ITC1 in fiocchi**

In base alla legge 56/2014, Città Metropolitana di Milano gestisce le strade classificate "provinciali" con provvedimenti delle Autorità competenti, nonché le strade gestite dalla cessata Provincia di Milano fino al 31 dicembre 2014. La terminologia "strada provinciale" fa riferimento a strade:

- qualificate come "provinciali" dalle Autorità competenti a seguito dell'entrata in vigore della legge 126/1958 e successive modificazioni (in questa categoria rientra la maggior parte delle strade esistenti, le più antiche realizzate nel XVIII Secolo, le più moderne realizzate fino al 1992);
- qualificate come "provinciali" dalla Regione Lombardia a seguito dell'entrata in vigore del D. Lgs. 28/5/1992 "Codice della strada" e successive modificazioni (in questa categoria rientra la quasi totalità delle strade moderne, realizzate dopo il 1992);

- strade prive di classificazione, ma la cui gestione fu assunta dalla Provincia di Milano in virtù di accordi con altri Enti (in questa categoria rientrano strade realizzate dopo l'anno 2000 nel comparto occidentale).

La rete della Città Metropolitana di Milano è costituita da un totale di 718 km di strade, di cui circa 150 km in ambito urbano, suddivise in:

- 696 km di strade classificate provinciali;
- 22 km di strade in attesa di provvedimento di classificazione.

Gli obiettivi prefissati dall'Area Infrastrutture di Città Metropolitana di Milano per la gestione della propria rete stradale sono principalmente quelli di semplificare, dematerializzare gli atti amministrativi e i processi, nonché ridurre i tempi di realizzazione, sia per la manutenzione straordinaria sia per quella ordinaria. Oltretutto, l'organizzazione cerca di garantire anche la massima efficienza prestazionale e la massima sostenibilità ambientale ed economica. Tali obiettivi sono perseguiti attraverso la ricerca e la sperimentazione di soluzioni innovative che possano essere fruibili a diversi livelli (locali, regionali e internazionali) e che favoriscano la creazione di una "Smart Land". L'approccio utilizzato è quello della "open governance", in cui funzionari, cittadini e imprese lavorano insieme per ottenere migliori risultati per la comunità.

## Innovazione stradale

Seguendo tale processo innovativo e con lo scopo di realizzare pavimentazioni "perpetue", ovvero ad elevata vita utile e ridotta manutenzione, nel settembre 2019 si è realizzato un campo prove che ha previsto l'utilizzo di un supermodificante a base di grafene per la produzione di conglomerati bituminosi modificati con "metodo dry". Si riporta di seguito il commento della Vicesindaca della Città Metropolitana di Milano, Arianna Censi: "Connessione e sperimentazione per noi sono le parole chiave. Lo sviluppo economico e sociale di una comunità e la competitività di un territorio passano dalla capacità di mettere in connessione in maniera rapida, efficace e diffusa persone, idee, imprese e saperi. Dopo il 5G e i sensori speciali su alcuni ponti, è ora la volta di provare i materiali più innovativi che abbiamo sul mercato per rinnovare le strade, utilizzando il grafene, un tipo speciale

di additivo al normale asfalto. Questa nuova formulazione del materiale ha l'obiettivo di garantire una maggior durata del manto stradale, con minori disagi dovuti agli interventi di ripristino futuri. Perciò abbiamo programmato i lavori su un'arteria importante e trafficata come la Milano-Meda. Ma il nostro impegno non si ferma qui. Negli scorsi anni abbiamo dotato il territorio metropolitano di un anello di fibra ottica che, passando dalla rete fognaria esistente garantisce una connessione ultraveloce alle pubbliche amministrazioni. Nel mese di settembre installeremo le prime 5 torri faro nelle rotonde delle strade di competenza dell'Ente: grazie all'uso dei led e della fibra ottica, ridurremo l'inquinamento luminoso e diffonderemo il 5G sul territorio. Entro aprile 2021 saranno 46 le torri faro nell'intero territorio metropolitano".

Città Metropolitana, infatti, sta affrontando una radicale innovazione del modo di pianificare e attuare le attività manutentive, con l'adozione di logiche di sistema trasversali che implementano un nuovo approccio nella manutenzione integrata degli asset stradali. Al momento sono già stati emanati alcuni decreti che attengono ad alcune sfere di azione:

- Le strade (denominato "Strade Metropolitane") orientato alla gestione virtuosa della manutenzione in cui esperienza, innovazione e informatizzazione sono cardini di un lavoro di ampio respiro e di riconnessione di varie attività, come, tra le altre, la mappatura delle anomalie stradali in tempo reale e in continuo sull'intera rete stradale mediante apposita sensoristica installata a bordo dei veicoli di servizio dell'Ente, il rinnovo dei capitolati speciali d'appalto e le sperimentazioni, di cui la presente entra a pieno titolo.

- I manufatti (denominato "Metroponte") orientato alla visione organica dei 517 manufatti principali, propedeutico alla gestione dei medesimi con Building Information Modeling aperto alla pubblica consultazione, integrando in esso, a seguito delle attività di sorveglianza ed ispezione, la valutazione della sicurezza delle varie strutture.

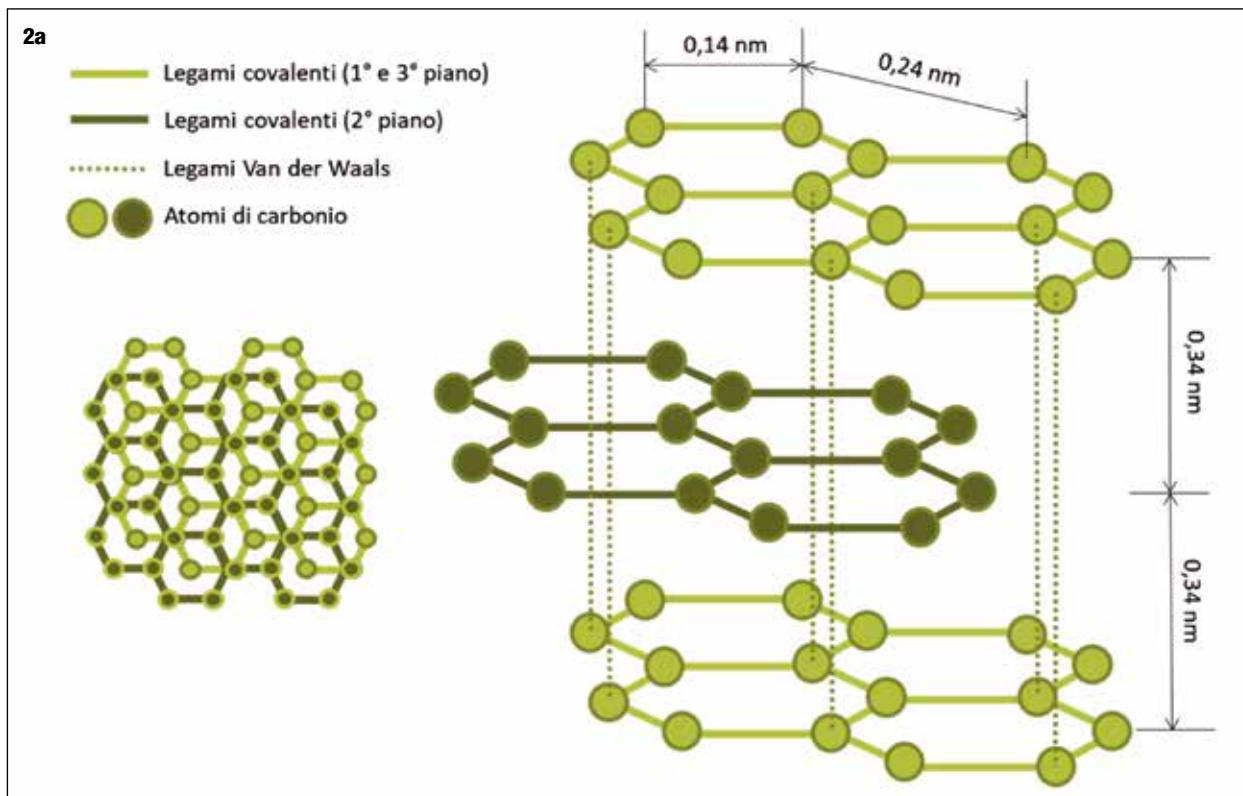
- Tutte le varie componenti sono connesse da un geodatabase che sarà utilizzato come supporto decisionale al fine di consentire il superamento delle logiche di intervento worst-first, spostandosi verso modalità di lavoro orientate alla programmazione.

## Caratteristiche del grafene

Il grafene deriva dalla lavorazione della grafite che è un materiale stratificato, la cui struttura è formata da atomi di carbonio (distanti 0,14 nm) disposti a nido d'ape e tenuti insieme sullo stesso piano da legami covalenti, mentre i diversi piani di carbonio (distanti 0,34 nm) sono legati dalle interazioni di Van der Waals (si veda fig. 2a). Derivante dalla lavorazione della grafite, scoperto nel 1947 da P.R. Wallace e isolato nel 2004 da A. Geim e K. Novoselov (Premio Nobel per la Fisica nel 2010), il grafene corrisponde al monostrato di carbonio e ha quindi spessore pari a quello di un atomo. La struttura così ordinata conferisce elevate caratteristiche fisico-meccaniche. Le principali sono:

- sottigliezza massima (materiale più sottile conosciuto dall'uomo essendo spessore 106 volte più sottile di un capello umano);





- resistenza elevatissima (circa a 200 volte quella dell'acciaio);
- flessibilità enorme;
- conduzione di calore e di elettricità eccellenti (migliori rispetto al rame);
- assorbimento elevatissimo della luce;
- superficie specifica enorme (circa 1.300 m<sup>2</sup>/g, ma sino a 3.100 m<sup>2</sup>/g).

Utilizzato per la produzione del supermodificante a base di grafene Gipave®, il grafene G+ (chiamato ITC1-si veda fig. 1b) è prodotto da Directa Plus. Utilizzando grafite naturale, il processo produttivo brevettato utilizza una tecnica unica (Plasma Super Expansion) il cui processo comprende espansione, esfoliazione ed essiccazione, creando nanoplatelets di grafene. Tali elementi hanno caratteristiche morfologiche e strutturali ottimizzate, sono di elevata qualità e di totale purezza, permettendo il raggiungimento delle massime prestazioni e l'eliminazione di sostanze chimiche estranee. Questa trasformazione fisica consente quindi di ottenere un prodotto: altamente prestazionale; composto da 100% grafene, esente da solventi o altre sostanze chimiche; di qualità costante; certificato non tossico e conforme ai requisiti REACH.

### Compound supermodificanti a base di grafene per CB

Commercialmente denominato Gipave®, il compound polimerico a base di grafene è il frutto della ricerca inserita nell'ambito del **Progetto Ecopave 2014-2020**, finanziato da Regione Lombardia. La ricerca è stata svolta in collaborazione con l'Università degli Studi di Milano-Bicocca (studio della Life Cycle Assessment-LCA), Directa Plus (produzione del grafene) e G.Eco (recupero e selezione delle plastiche dure). Il nuovo

prodotto è infatti composto, tra l'altro, da specifici polimeri e grafene al fine di migliorare notevolmente le prestazioni fisico-meccaniche delle pavimentazioni, sia rispetto alla tradizionale tecnologia PMB sia rispetto alle tecnologie PMA con metodo dry attualmente in uso. Il supermodificante si presenta in granuli di diametro medio pari a 1,0 ÷ 4,0 mm di colore grigio-nero (si veda fig. 2b) ed è potenzialmente composto da:

- **Plastiche di recupero selezionate:** derivanti dal recupero di oggetti composti da "plastica dura" (ad esempio giocattoli, bidoni, cassette, tubi, tavoli e sedie, etc.). Sono industrialmente trattate secondo un processo brevettato che comprende anche la "tecno-selezione" in funzione delle specifiche caratteristiche fisico-chimiche (non tutte le plastiche dure possono essere utilizzate, ma solo una quota parte). Le plastiche dure "tecno-selezionate" sono pertanto tolte dal circuito tradizionale che ne prevedrebbe lo smaltimento in termovalorizzatori;

- **Base funzionale:** è composta da additivi di diversa natura che sono una quota parte del supermodificante. La composizione fisico-chimica è coperta da segreto industriale;

- **Grafene:** si veda il capitolo precedente.

Visto il carattere innovativo di questo prodotto, si sono ottenuti diversi brevetti che ne comprovano l'unicità:

1. Metodo di trattamento della grafite: permette di produrre grafene di purezza totale (detenuto da Directa Plus, si veda paragrafo precedente);
2. Formulazione del Gipave®: coperta da segreto industriale è stata messa a punto per la prima volta al mondo dal settore R&D di Iterchimica Srl;
3. Processo di recupero delle plastiche dure: consiste nella "tecno-selezione" delle plastiche dure.

Il nuovo prodotto consente di ottenere conglomerati bitu-

**2a. Struttura del grafene**

**2b. Particolare dei granuli del supermodificante Gipave®**



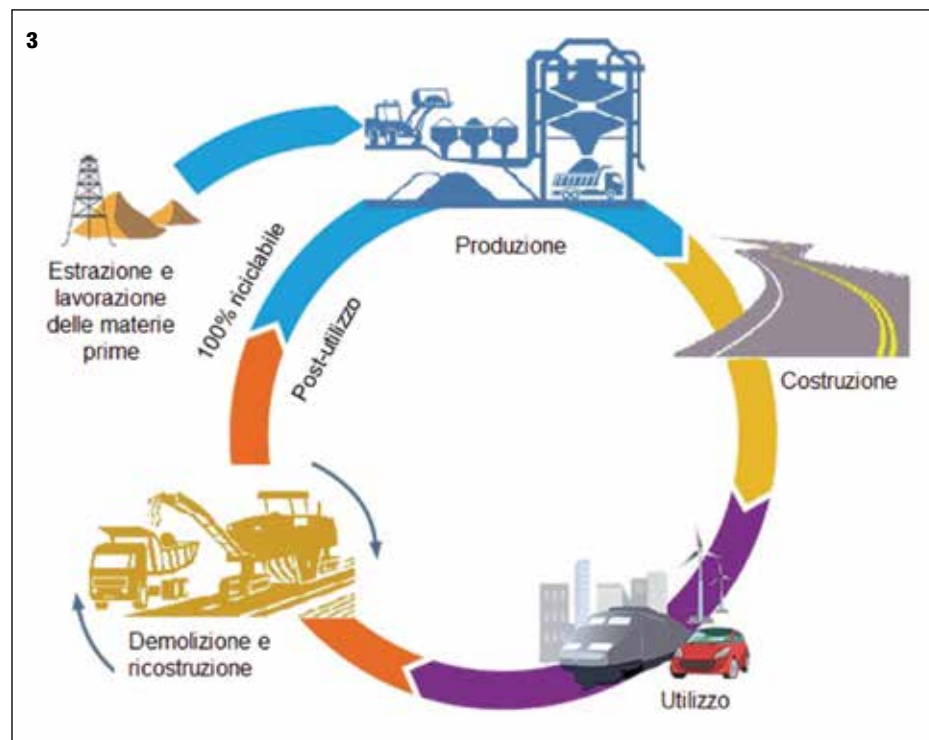
minosi altamente prestazionali secondo i dogmi delle "Perpetual Pavement". Dal punto di vista produttivo la tecnologia consiste nella modifica diretta dei CB (Polymer Modified Asphalt - PmA con Metodo Dry), ovvero il compound polimerico a base di grafene è aggiunto direttamente durante la fase di mescolazione della miscela: dopo gli aggregati e prima del bitume tal quale. Considerando l'analisi dell'intero arco di vita utile delle pavimentazioni (LCA - Life Cycle Assessment), la nuova tecnologia permette di raggiungere anche gli obiettivi connessi alle produzioni ad alta efficienza, alla riduzione dei consumi energetici, al recupero di materiali e alle modifiche versatili tipo dry. Invece, dal punto di vista della riduzione degli impatti ambientali è importante evidenziare che:

- la formulazione prevede l'uso di grafene prodotto senza solventi o altri prodotti chimici (produzione con plasma);
- la "tecno-selezione" permette il riciclaggio di plastiche dure normalmente ritenute non recuperabili;
- il processo produttivo del supermodificante è a minori consumi energetici, limitando emissioni in ambiente;
- i conglomerati bituminosi modificati con la tecnologia in oggetto hanno elevata vita utile, riducendo l'utilizzo di materie prime non rinnovabili e diminuendo la manutenzione stradale nel tempo;
- i materiali derivanti dalla demolizione di pavimentazioni contenenti il supermodificante a base di grafene sono riutilizzabili come un qualsiasi altro conglomerato bituminoso;
- la Life Cycle Assessment risulta estremamente positiva rispetto ai metodi produttivi dei CB sino ad ora utilizzati.

### Gipave®, messa a punto e Trial Section

Con l'entrata in vigore della marcatura CE nel 2008 e tramite la dichiarazione di prestazione (DoP), il produttore attesta che il conglomerato bituminoso è conforme ai requisiti di sicurezza e salute previsti dalle direttive e dai

#### 3. LCA dalla "culla alla culla" di una pavimentazione stradale



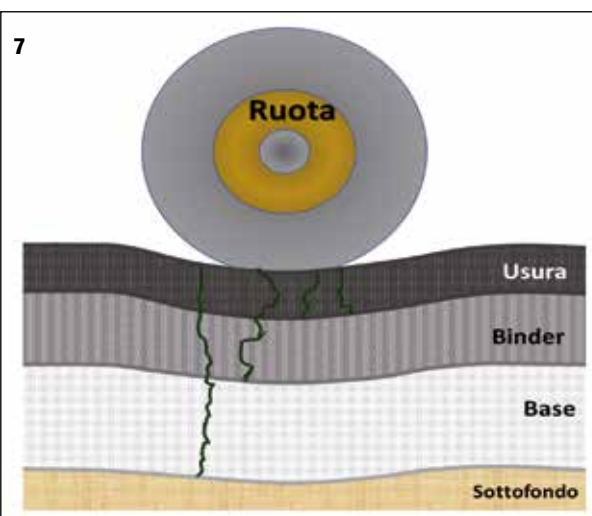
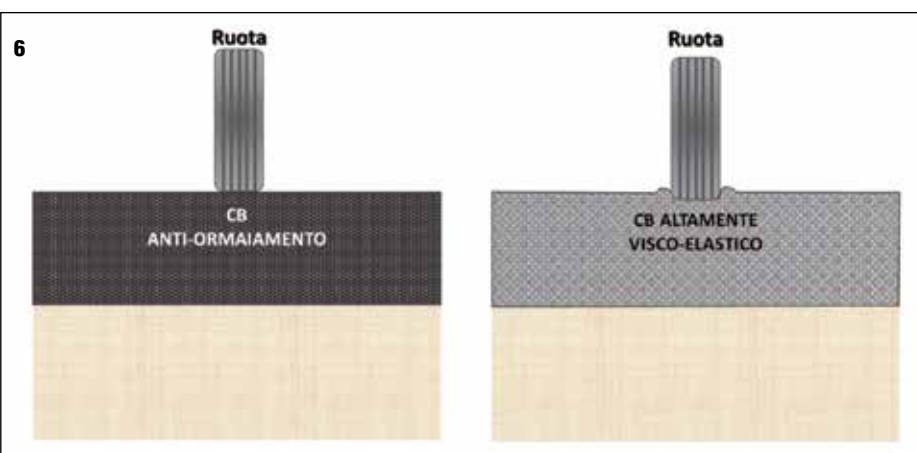
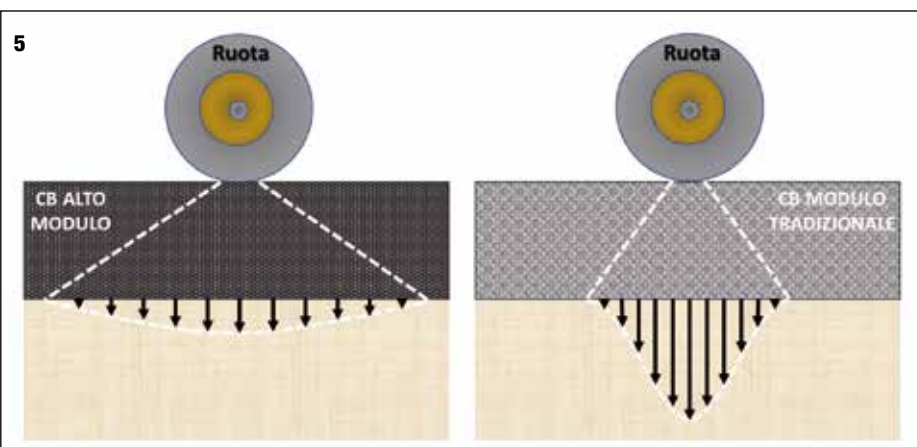
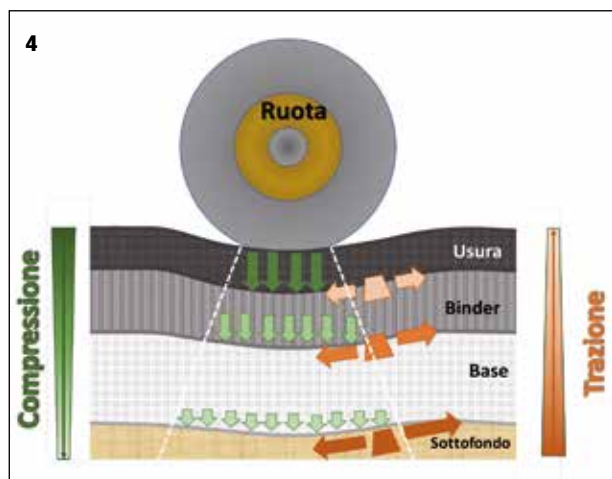
regolamenti comunitari pertinenti. Questo Regolamento dell'Unione Europea è stato emanato con l'intento di garantire che, non solo i prodotti, ma anche le materie prime utilizzate nel campo delle costruzioni stradali siano a basso impatto per la salute dell'uomo e dell'ambiente. Anche se oggi i concetti legati alla "Green Economy" e alla "Circular Economy" sono sempre più perseguiti, e giustamente lo saranno sempre di più nei prossimi anni, è fondamentale evidenziare che la strada non deve essere percepita come una "discarica" di materiali in disuso, ma un luogo in cui gli stessi siano nuovamente e pienamente valorizzati. In questa ottica tutti i materiali costruttivi devono essere sottoposti ad adeguati studi tecnico-ambientali, in particolar modo per gli additivi di nuova generazione e derivanti dal riutilizzo di materiali a fine vita utile, come ad esempio plastiche, oli vegetali o minerali, etc...

In virtù di ciò, anche lo studio di nuovi compound polimerici è stato controllato dal punto di vista degli impatti ambientali. La Life Cycle Assessment (LCA) è stata eseguita secondo le norme UNI EN ISO 14040-14044, mettendo a confronto il nuovo supermodificante a base di grafene con le altre tecnologie produttive (bitume tal quale o PMB), valutando e quantificando i potenziali impatti ambientali lungo tutta la catena produttiva, sino al riutilizzo a fine vita utile della pavimentazione invecchiata (si veda fig. 3). L'analisi è stata di tipo "dalla culla alla culla", comprendendo: estrazione delle materie prime, trasporti dei materiali, uso dei diversi prodotti (bitumi, polimeri e compound polimerici), produzione del conglomerato bituminoso con le diverse tecnologie, operazioni di demolizione e di ricostruzione della strada nei diversi cicli di manutenzione (da quelli ordinari a quelli straordinari), riutilizzo attraverso la rigenerazione del granulato di conglomerato bituminoso derivante dalla fresatura della medesima sovrastruttura stradale (già alle percentuali oggi consentite mediamente dalle specifiche tecniche dei CSA). L'"Environmental Footprint" ha compreso le categorie di impatto inerenti a riscaldamento globale, eutrofizzazione, effetti cancerogeni e non cancerogeni sulla salute umana, ecotossicità, riduzione dello strato di ozono, uso del suolo e delle risorse, formazione fotochimica dello strato di ozono, acidificazione, malattie respiratorie, utilizzi idrici e radiazioni ionizzanti. I risultati della LCA mostrano come, in funzione del notevole aumento delle prestazioni meccaniche e di conseguenza all'incremento della vita utile stimata, la tecnologia metodo dry con supermodificante a base di grafene risulti essere meno impattante rispetto alle altre prese a riferimento, per tutte le categorie di impatto sopra elencate. Oltre all'analisi di LCA, si sono valutati anche i rilasci in ambiente, le emissioni in atmosfera, il rilascio in acqua e di microplastiche, nonché la carbon footprint. Tutti i risultati ottenuti sono in linea con le analisi positive di LCA e saranno tutte pubblicate a breve.

### Verifiche di laboratorio per la qualifica dei CB prodotti con metodo dry

L'introduzione delle prove dinamiche per l'analisi dei conglomerati bituminosi ha permesso negli ultimi anni di veri-





ficare le miscele in correlazione alle loro prestazioni e non alla loro composizione, considerando quindi la funzionalità che devono espletare per garantire pavimentazioni sicure e di elevata vita utile. Pertanto, le analisi programmate per il progetto riportato nel successivo capitolo sono state:

- contenuto di bitume, curva granulometrica e vuoti, per la verifica della confrontabilità dei risultati tra le due diverse tecnologie e il rispetto delle norme tecniche vigenti;
- resistenze alla trazione, per la verifica della massima tensione di trazione sopportabile prima di innescare il fenomeno fessurativo (si veda fig. 4), con particolare riferimento a quelle di risalita (bottom-up);
- moduli di rigidità, per valutare la capacità di distribuzione più efficace ed efficiente dei carichi trasmessi dagli pneumatici agli strati inferiori (si veda fig. 5);
- ormaimento, per determinare la resistenza alle deformazioni permanenti dovuti ai carichi ciclici e alla componente bituminosa del CB (si veda fig. 6);
- resistenza a fatica, per stimare i cicli di carico prima che avvenga l'innescio e la propagazione delle fessurazioni (si veda fig. 7).

Come è noto, in correlazione alle temperature ambientali, un conglomerato bituminoso è detto prestazionale se soddisfa contemporaneamente tutte le prestazioni sopra evidenziate. Infatti, ad esempio, il solo incremento della rigidità e la diminuzione della resistenza a trazione rendono la pavimentazione fragile; oppure, un eccesso di bitume non aumenta l'elasticità della pavimentazione, ma comporta l'aumento dell'ormaiamento nei periodi caldi. Come si vedrà di seguito, nel caso del supermodificante a base di grafene, il miglioramento generale di tutte le caratteristiche fisico-meccaniche, e quindi delle funzionalità, consentono di ottenere una pavimentazione altamente resistente, con un sostanziale incremento della vita utile a parità di condizioni e di carichi, rispetto alle tecnologie tradizionalmente utilizzate.

### Trial Section SP 35 Milano-Meda

Il tratto selezionato per la sperimentazione in oggetto è parte della Strada Provinciale ex SS 35 "dei Giovi" - tratta Milano-Meda, tra il km 133+300 ed il km 132+850 in direzione Milano ed ha avuto due principali obiettivi:

- Città Metropolitana di Milano - studiare materiali innova-

tivi che permettano di realizzare/ricostruire pavimentazioni altamente prestazionali, di rinnovare le strade già esistenti e di diminuire gli interventi di manutenzione;

- Iterchimica Srl - verificare in scala reale gli ottimi risultati ottenuti nei quattro anni di ricerca in laboratorio (sono stati realizzati in un anno 8 campi prove anche in ambito internazionale).

In particolare, il campo prove è consistito nel rifacimento dei tre strati della pavimentazione stradale di due tratti: 200 metri utilizzando bitume altamente modificato per alti moduli e 250 metri con conglomerato bituminoso con-

**4. Compressioni e deformazioni in una pavimentazione flessibile**

**5. Distribuzione dei carichi in funzione della rigidità**

**6. Deformazioni permanenti in funzione del comportamento visco-elastico**

**7. Fessurazioni per fatica**

**8. Curve granulometriche dei CB per strato di Base**

**9. Curve granulometriche dei CB per strato di Binder**

**10. Curve granulometriche dei CB per strato di Usura**

**11. Contenuto di bitume dei CB**

**12. Contenuto di vuoti su campioni da pressa giratoria**

TAB. 1 MISCELE PER IL CAMPO PROVE SP 35 MILANO-MEDA

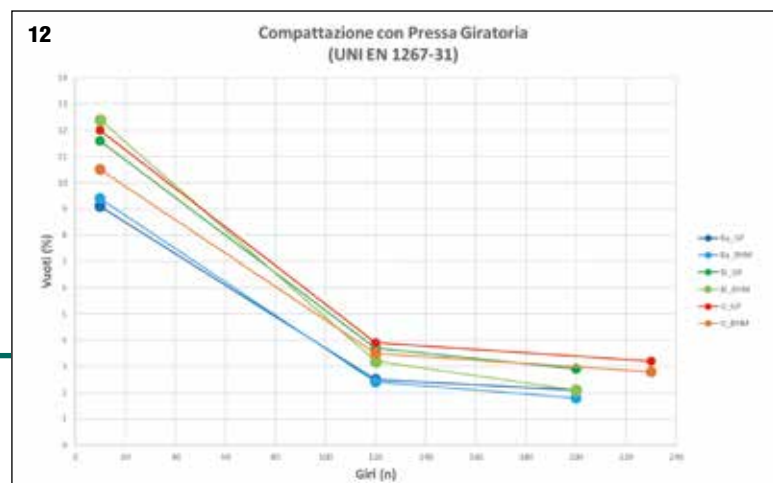
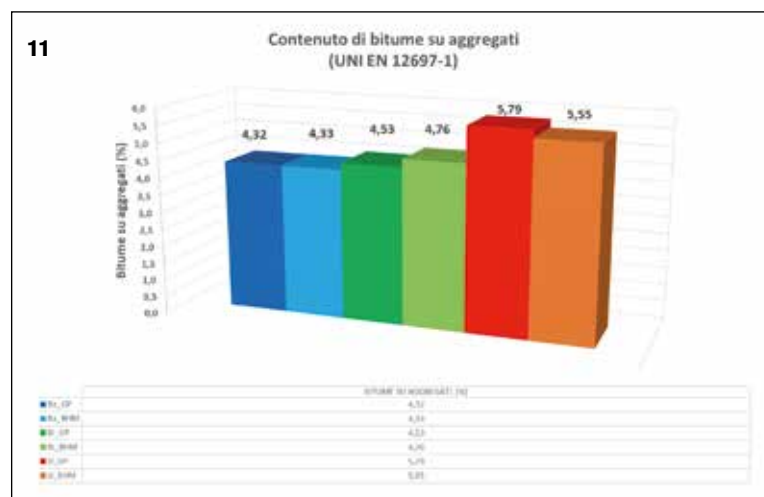
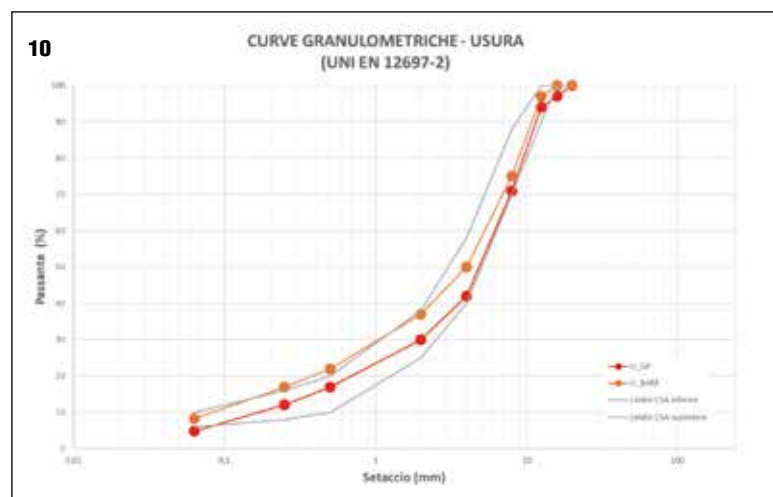
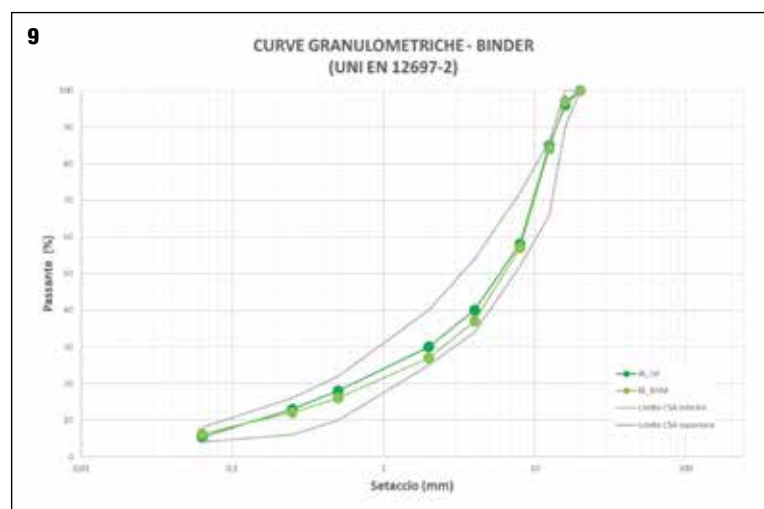
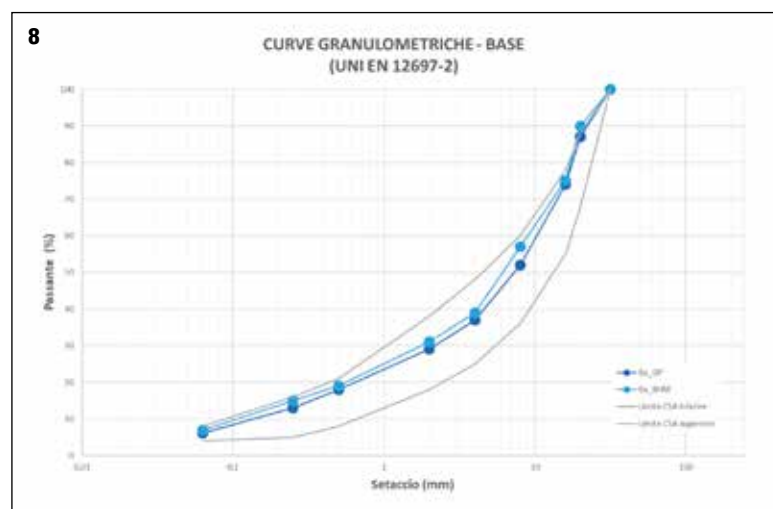
MISCELE	ADDITIVO	BITUME	STRATO	BITUME SU AGGREGATI (%)	RA SU AGGREGATI
Ba_GP	Gipave	50/70	Base	4,32	20
Ba_BHM	-	PmB_Alto Modulo		4,33	20
Bi_GP	Gipave	50/70	Binder	4,53	20
Bi_BHM	-	PmB_Alto Modulo		4,76	20
U_GP	Gipave	50/70	Usura	5,79	10
U_BHM	-	PmB_Alto Modulo		5,55	10

tenente il supermodificante a base di grafene. La sezione stradale ricostruita comprende: 10 cm di Base, 5 cm di Binder e 4 cm di Usura. Le verifiche di prequalifica dei conglomerati bituminosi e di post produzione sono state eseguite da Laboratorio Ufficiale. Di seguito sono riportati quelli ottenuti sui prelievi eseguiti durante la produzione e la posa in opera.

Le miscele prodotte (si veda tab. 1) hanno pari curva granulometrica, contenuto di bitume e vuoti (figg. 8-12), cambiano solo per tecnologia di modifica:

- Bitume tal quale e compound polimerico a base di grafene al 6% (GP);
- Bitume ad elevata modifica per alti moduli (BHM).

Le prestazioni delle diverse miscele sono riportate nelle figg. da 13 a 21.

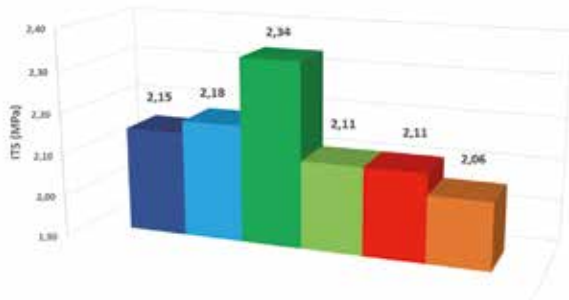


### Conclusioni

Come da obiettivi della Città Metropolitana di Milano, il campo prove SP ex SS 35 Milano-Meda è stato realizzato con lo scopo di verificare il comportamento prestazionale di pavimentazioni realizzate con compound polimerico a base di grafene (Gipave®) che è il risultato del Progetto Ecopave 2014-2020, finanziato da Regione Lombardia, ed è composto da specifici polimeri riciclati e grafene al fine di migliorare notevolmente le prestazioni fisico-meccaniche delle

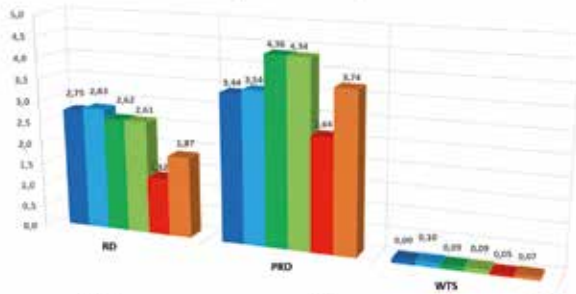
13

Resistenza a Trazione Indiretta a 25°C  
(UNI EN 12697-23)



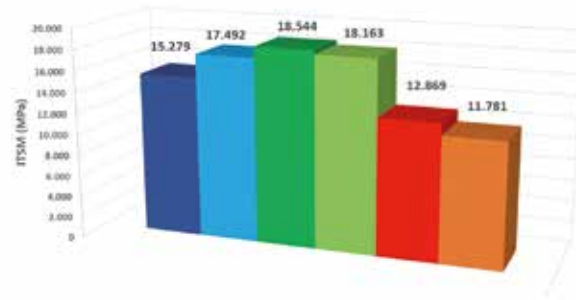
15

Ormalamento @60°C  
(UNI EN 12697-22)



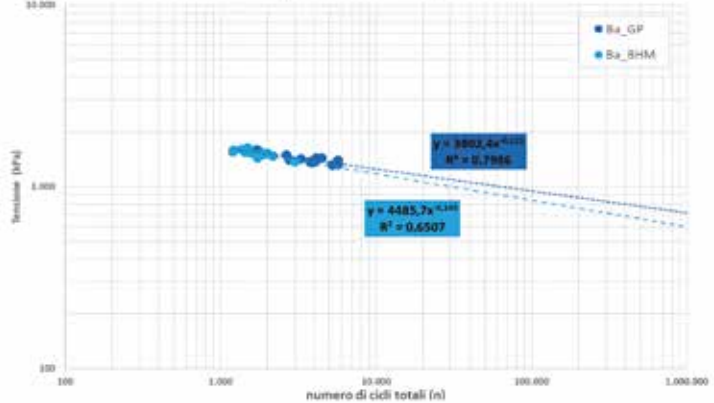
14

Modulo di Rigidezza @20°C  
(UNI EN 12697-26)



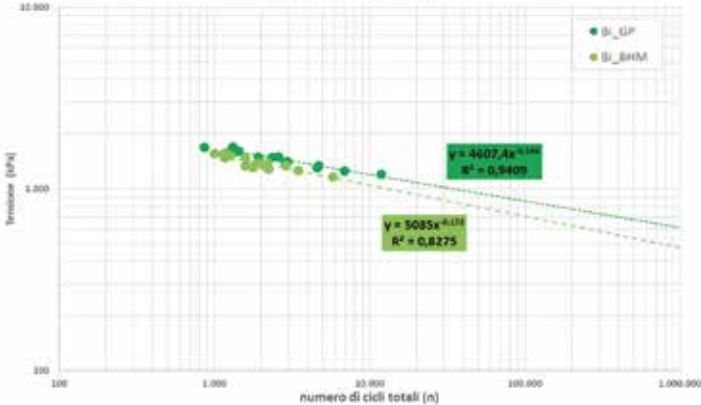
16

Curve di Fatica - BASE  
(UNI EN 12697 - 24)



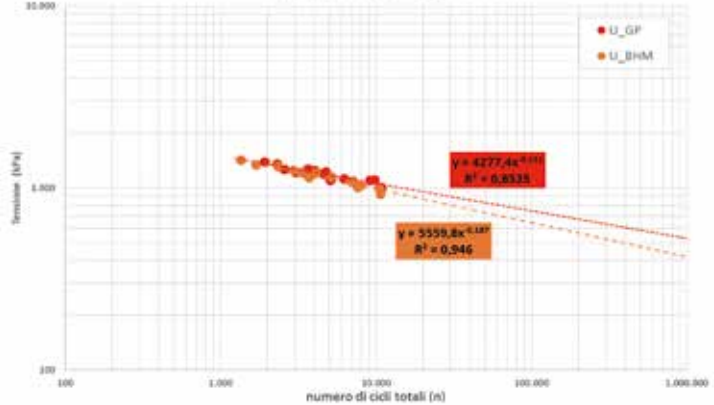
17

Curve di Fatica - BINDER  
(UNI EN 12697 - 24)



18

Curve di Fatica - USURA  
(UNI EN 12697 - 24)



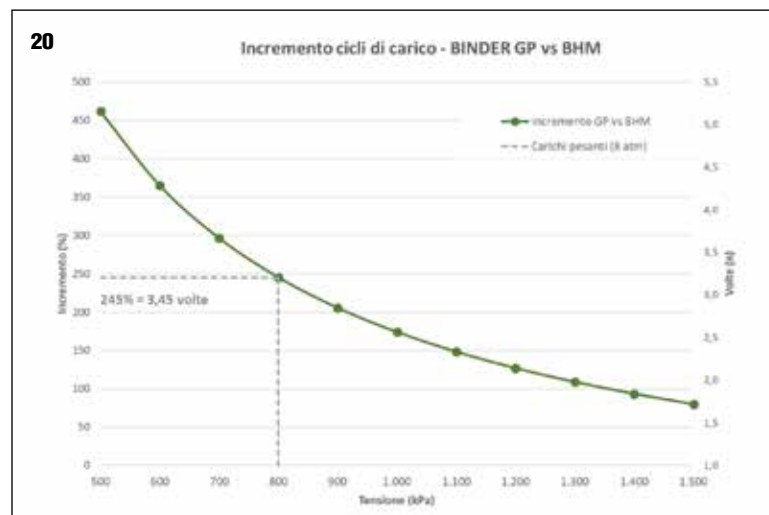
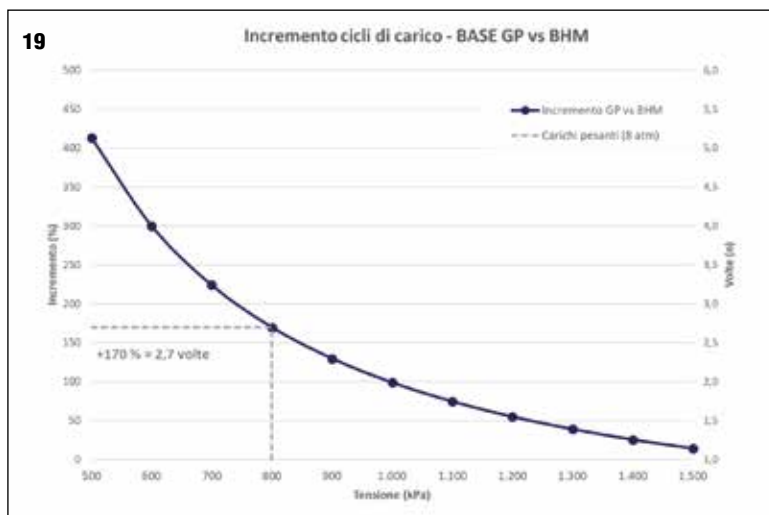
pavimentazioni in conglomerato bituminoso. Le prove svolte dal Laboratorio Ufficiale e sulle miscele post produzione hanno evidenziato:

1. Il confronto è stato eseguito su miscele di base, binder ed usura con pari proporzionamento granulometrico (si veda tab.1) e:

- Una serie con bitume ad elevata modifica per miscele alto modulo- BHM;

- Una serie con bitume tal quale 50/70 e 6% Gipave (sul peso del bitume);
- 2. Le curve granulometriche delle coppie di base e di binder risultano confrontabili; invece, le usure sono leggermente differenti (figg. 8-10);
- 3. Il contenuto di bitume è confrontabile per tutte le coppie di miscele, con una variazione massima pari a 0,24 punti percentuali (fig. 11);





**13. Resistenza a trazione indiretta dei diversi CB**

**14. Moduli di rigidezza dei diversi CB**

**15. Deformazione permanente dei diversi CB**

**16. Confronto curve di fatica per CB Base**

**17. Confronto curve di fatica per CB Binder**

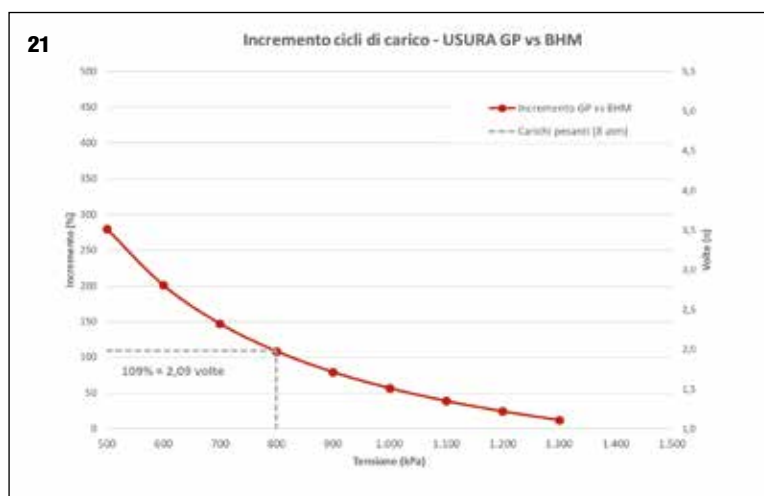
**18. Confronto curve di fatica per CB Usura**

**19. Incremento della resistenza a fatica per CB Base GP vs BHM**

**20. Incremento della resistenza a fatica per CB Binder GP vs BHM**

**21. Incremento della resistenza a fatica per CB Usura GP vs BHM**

**22. Il grafene: un alleato decisivo per aumentare la vita utile della strada**



4. Il contenuto di vuoti per provini compattati con pressa giratoria sono nei limiti; la differenza per le usure è dovuta alla differenza della curva granulometrica (fig. 12);  
 5. Tutte le resistenze a trazione indiretta sono superiori ai 2,11 MPa, solo il Binder GP risulta maggiore rispetto a quello con bitume mortificato per CB ad elevato modulo (fig. 13);  
 6. Tutte le miscele sono di tipo alto modulo, solo la Base GP presenta un valore inferiore del 12,7% rispetto a quella di riferimento (per poter equilibrare la rigidezza, sarebbe sta-

to probabilmente necessario incrementare il Gipave®) (fig. 14);

7. Tutte le miscele hanno confrontabile resistenza alle deformazioni permanenti, ma l'usura GP rispetto alla BHM ha una diminuzione del 29% per quanto concerne la profondità dell'ormaja (fig. 15);

8. Tutte le miscele con Gipave® hanno un elevato incremento della resistenza a fatica rispetto alla reciproca di riferimento (figg. 16-21):

- Base GP vs BHM = 170% (2,70 volte i cicli di carico pesante - pneumatico a 8 atm);
- Binder GP vs BHM = 245% (3,45 volte i cicli di carico pesante - pneumatico a 8 atm);
- Usura GP vs BHM = 109% (2,09 volte i cicli di carico pesante - pneumatico a 8 atm).

In funzione dei risultati sopra elencati, il supermodificante a base di grafene consente di aumentare sensibilmente la vita utile delle pavimentazioni bituminose anche rispetto ai bitumi modificati per conglomerati bituminosi a elevato modulo. Contemporaneamente, permette di recuperare una selezione di plastiche dure che altrimenti sarebbero destinate al termovalorizzatore. Inoltre, i risultati di LCA, rilasci in ambiente, emissioni in atmosfera, rilascio in acqua e microplastiche saranno a breve pubblicati a comprova di quanto il prodotto sia "ecofriendly". ■■

