

Grafene

# Lunga vita all'Autostrada **A4 Brescia-Padova**

*Un approccio moderno e green all'efficientamento delle manutenzioni autostradali attraverso la buona programmazione, l'uso di tecnologie innovative al grafene ed un efficace monitoraggio*

Le manutenzioni delle pavimentazioni autostradali sono attività in cui l'esecuzione dei lavori costituisce solo una parte del processo. Si tratta di operazioni complesse e dispendiose, condotte dall'Ente Gestore, che comprendono la programmazione, la progettazione, l'esecuzione ed il monitoraggio post operam per tutto il tempo di vita delle opere stesse. L'interesse ad efficien-

tare tali processi, sperimentando con continuità nuove soluzioni progettuali e tecnologiche, è una logica conseguenza della necessità di ridurre sempre di più l'impatto sociale che queste attività comportano in termini di disagio per gli utenti della strada, impatto ambientale e costi. In questo articolo viene descritta l'esperienza promossa sul tratto autostradale della A4 da Au-

**Geom. Marco Guerra**  
Direttore dei Lavori -  
Autostrada A4 Bs-Vr-Vi-Pd -  
Gruppo A4 Holding

**Dott. Sergio Moro**  
Progettista - Autostrada  
A4 Bs-Vr-Vi-Pd - Gruppo A4  
Holding

**Ing. Gabriella  
Costantini**  
Responsabile Funzione  
Costruzioni Autostradali -  
Autostrada A4 Bs-Vr-Vi-Pd -  
Gruppo A4 Holding

**Prof. Marco Pasetto**  
Università di Padova  
- Dipartimento Strade  
Ferrovie e Aeroporti



**Materiali**



**Fig. 1 - Trans-European Transport Network (TEN-T).**

tostrada Brescia-Verona-Vicenza-Padova S.p.A. facente parte del gruppo A4 Holding, società gestore sempre fortemente impegnata nel perseguire gli obiettivi sopra descritti.

Tale esperienza rappresenta la sintesi ideale tra un sistema di programmazione all'avanguardia e l'utilizzo di prodotti, tecnologie e metodiche di controllo innovative ed efficaci.

L'intervento di manutenzione profonda attuato aumenta la vita utile della pavimentazione e consente di posticipare la necessità di successivi interventi

e dei conseguenti disagi. Permette inoltre una ottimizzazione dell'uso dei materiali con conseguenti benefici in termini di impatto sull'ambiente.

## Autostrada Brescia-Verona-Vicenza-Padova

Nel suo complesso, la rete autostradale gestita da Autostrada Brescia-Verona-Vicenza-Padova S.p.A. si estende complessivamente per 235,6 chilometri ed include parte della A4 tra Brescia e Padova lungo il corridoio europeo-Mediterraneo che collega Lombardia, Veneto ed Est Europa, e la A31, da Vicenza a Badia Polesine in provincia di Rovigo. Essa si interseca con diverse altre direttrici: A21 Brescia-Piacenza, A22 Brennero-Modena e A13 Padova-Bologna.

L'autostrada A4, interessata dagli interventi oggetto del presente articolo, ricade nella Trans-European Core Network Mediterranean Corridor (rete TEN) che costituisce uno dei corridoi stradali a più elevata densità di traffico, sia passeggeri, sia merci.

La Società si è dotata di una piattaforma software che permette, a seguito di acquisizione, inserimento e organizzazione dei dati di rilievo e di indagine, di elaborare la programmazione della manutenzione della pavimentazione autostradale in modo efficace, con il supporto delle risultanze di analisi effettuate con algoritmi e modelli di previsione ed evoluzione del degrado che forniscono indicazioni oggettive sugli interventi da eseguire al fine di razionalizzare in modo efficace tempi e costi.

**Fig. 2 - Piattaforma software (PMS).**





La piattaforma (Pavement Management System) raccoglie le informazioni relative alla struttura della pavimentazione (tipologia, composizione stratigrafica, spessori), agli interventi di manutenzione eseguiti, alle indagini svolte con relativi indici (alto rendimento per la determinazione delle caratteristiche meccaniche) ed ai dati di traffico.

In fase di pianificazione e progettazione questi elementi sono utilizzati per definire le priorità degli interventi da eseguire, suddividendoli in conservativi e preventivi, in funzione dello stato della pavimentazione e dell'evoluzione dei relativi parametri. Il software, oltre ad individuare in modo automatico la localizzazione dell'intervento, ne indica l'anno di attuazione programmata.

In particolare, i principali parametri monitorati sono:

- Aderenza CAT
- Regolarità IRI
- Drenabilità del tappeto di usura
- Spessore degli strati con metodo georadar GPR
- Deflessione

Gli interventi generalmente eseguiti per il mantenimento di un adeguato livello di servizio della struttura di pavimentazione in termini di fruibilità e sicurezza sono così classificabili:

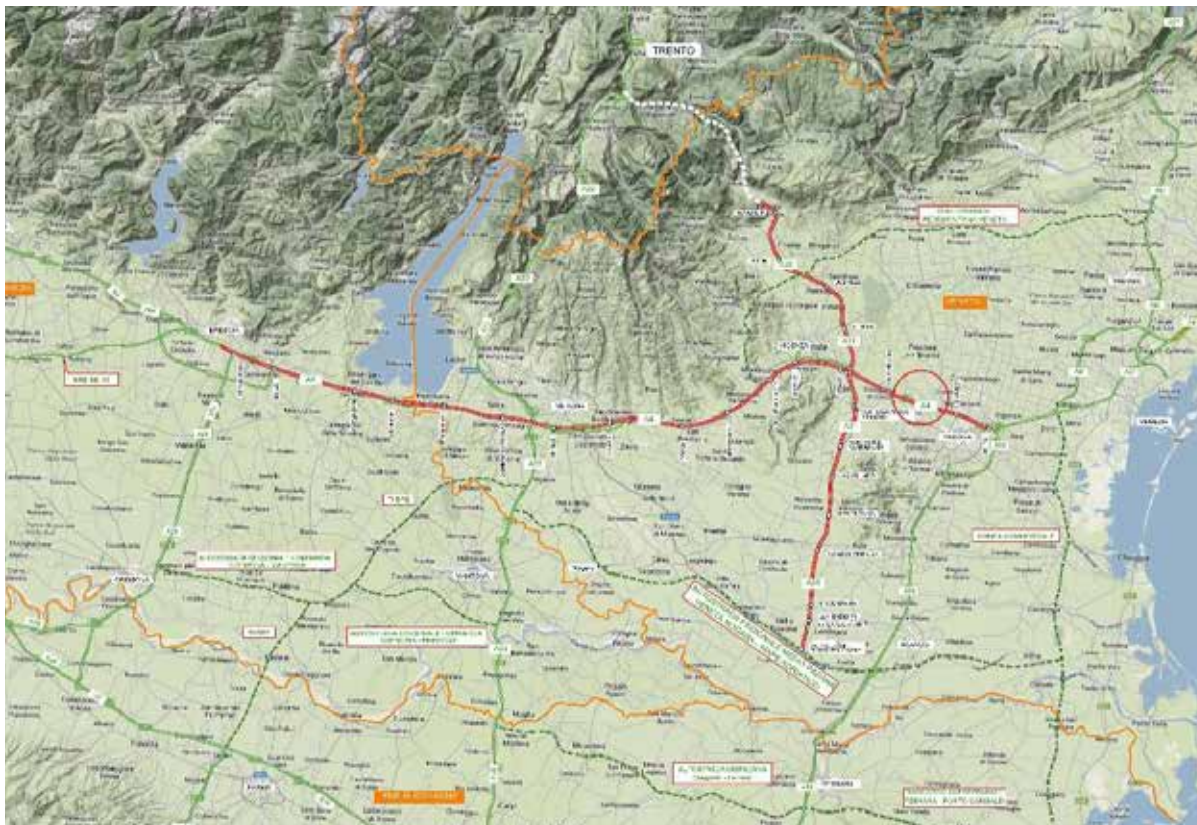
- interventi superficiali, con la sostituzione del tappeto di usura drenante, per migliorare l'aderenza e la capacità di drenaggio – spessore intervento pari a 5 cm;
- interventi di rinforzo per migliorare la regolarità del piano viabile e garantire un parziale ripri-



stino della vita utile, interessando, oltre al tappeto, uno spessore di 20 cm;

- intervento di ricostruzione, con l'obiettivo di ripristinare l'originaria vita utile della pavimentazione, intervenendo su uno spessore di 35 cm;
- intervento di miglioramento della struttura con l'obiettivo di incrementare la vita utile della pavimentazione, con uno spessore di intervento da 50 fino a 55 cm e utilizzo di materiali in grado di garantire migliori prestazioni.

**Fig. 3 - Lavori eseguiti sull'Autostrada A4 Brescia-Padova.**



**Fig. 4 - Tratte autostradali di competenza e luogo dell'intervento.**

## Materiali

## Descrizione dell'intervento sulla A4 Brescia-Padova

Il progetto presentato in questo articolo ha riguardato la riqualificazione ed il miglioramento di un tratto di pavimentazione di autostrada A4 Brescia-Padova. L'intervento ha interessato la carreggiata est dell'autostrada A4, dalla progressiva km 345+800 alla progressiva km 351+300 nei Comuni di Mestrino, Villafranca Padovana, Rubano, in provincia di Padova.

L'individuazione del tratto, oggetto del progetto, è stata effettuata tenendo conto di una molteplicità di elementi. Sono state considerate la vetustà ed il decadimento delle caratteristiche portanti della struttura di pavimentazione, come sopra descritto, ed inoltre si è tenuto conto degli elementi di vincolo dovuti alla presenza di altri cantieri programmati.

## Struttura di pavimentazione

Come sopra indicato, il progetto ha previsto la realizzazione di una nuova e più performante struttura di pavimentazione, con interventi differenziati in funzione delle corsie. Per il dimensionamento è stata redatta una specifica relazione di calcolo che distingue i pacchetti di pavimentazione da adottare in base all'infrastruttura viaria, alla corsia e, quindi, in funzione del traffico. Per l'autostrada A4 Brescia-Padova, ovvero l'infrastruttura in concessione alla Società che è maggiormente sollecitata a causa dell'intenso traffico (risultato pari a 15.787.404 veicoli l'anno nel 2019 con un TGM pari a 43.253 unità, di cui circa il 25% di traffico pesante), si è prevista la realizzazione di un pacchetto tale da garantire una vita utile di 28 anni, previo asporto di un equivalente spessore di materiale in sito.

Il pacchetto stradale è stato realizzato con le seguenti modalità per la corsia di emergenza e di marcia lenta: fresatura dell'intero pacchetto di asfalto esistente, stabilizzazione in sito a cemento per trenta centimetri, stesa di emulsione acida, stesa di tredici centimetri di base con bitume modificato, stesa di emulsione acida, stesa di sette centimetri di binder con supermodificante a base di grafene, stesa di emulsione modificata, fillerizzazione, stesa di cinque centimetri di asfalto drenante fonoassorbente. Per la corsia di marcia veloce l'intervento ha riguardato gli strati bitumati e per la corsia di sorpasso ha riguardato solo la parte di usura drenante.

## Dimensionamento e Vita utile del nuovo pacchetto

Per il dimensionamento dell'intervento è stato utilizzato uno specifico programma di calcolo che, definendo le condizioni al contorno, quali clima e volumi di traffico, analizza il comportamento del-

la pavimentazione in funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono e ne rappresenta il comportamento tensionale, sotto carico, nelle diverse condizioni climatiche stagionali.

Il pacchetto di pavimentazione così dimensionato ha una vita utile di almeno 28 anni con un indice di affidabilità pari al 99%. Ciò si traduce in immediati vantaggi di natura ambientale, potendo eseguire gli interventi di manutenzione in archi temporali più lunghi, con conseguente riduzione degli impatti indotti dai cantieri (minori emissioni in atmosfera, minore utilizzo di aggregati naturali, minori trasporti di materiali, minori produzioni agli impianti, ecc.).

## Utilizzo di una tecnologia a base di grafene

Al fine di ottenere maggiori prestazioni e, nel contempo, contenere lo spessore del pacchetto complessivo della pavimentazione, nello strato di collegamento (binder) è stato previsto l'impiego di una tecnologia che sfrutta le potenzialità del grafene, il quale conferisce alla miscela maggiore resistenza, migliori comportamenti alle temperature estreme e maggiore durabilità.

Il grafene è un materiale costituito da uno strato monoatomico di atomi di carbonio legati in piano in anelli esagonali. È caratterizzato da elevata resistenza e flessibilità. Oltre a questo, il grafene è noto per le sue particolari caratteristiche ottiche, termiche ed elettroniche.

## Supermodificante a base di grafene

Nel caso specifico, lo strato di binder è stato additivato con un supermodificante a base di grafene (Gipave® di Iterchimica S.p.A.) contenente anche una specifica tipologia di plastiche dure da recupero appositamente selezionate, altrimenti destinate a metodi di smaltimento meno sostenibili o a recuperi più dispendiosi. Questa tecnologia usa specifici polimeri al fine di migliorare le prestazioni fisico-meccaniche delle pavimentazioni rispetto alla tradizionale tecnologia PmB (Polymer modified Bitumen). Dal punto di vista operativo, le miscele (chiuse o semichiuse) vengono prodotte con



**Fig. 5 - Granuli di supermodificante a base di grafene.**



tecnologia PmA (Polymer modified Asphalt) negli usuali impianti di conglomerato bituminoso (continui e discontinui), con le medesime metodologie produttive e temperature dei conglomerati PmB. Gipave® è il risultato di una ricerca (Progetto Eco-pave) durata 6 anni, finanziata dal POR FESR 2014-2020 di Regione Lombardia. Si presenta sotto forma di granuli di colore grigio-nero con un diametro medio di 1÷4 mm, come mostrato in Figura 5, ed è innovativo perché, oltre alle plastiche da recupero selezionate, è composto da:

- Base funzionale composta da additivi di diversa natura (la composizione fisico-chimica è protetta da segreto industriale);
- Nanoplatelets di grafene pure al 100%.

### Benefici della soluzione con supermodificante a base di grafene

I principali vantaggi sono i seguenti:

- Pavimentazioni stradali ad alte prestazioni con miglioramenti dei parametri relativi a:
  - moduli di rigidità;
  - ormaiamento;
  - resistenza a fatica.
- Soluzione altamente tecnologica ed innovativa;
- Riduzione degli impatti ambientali:
  - notevole riduzione di futuri interventi di manutenzione con abbattimento di impiego di risorse;
  - riduzione del consumo degli aggregati fino al 70%;
  - riduzione significativa delle emissioni di CO<sub>2</sub>eq (circa -60% rispetto alle tecnologie tradizionali);
  - riciclo delle plastiche da recupero selezionate;
  - possibilità di riutilizzo futuro del fresato contenente supermodificante a base di grafene;

- nessun rilascio di sostanze pericolose, inquinanti o microplastiche;
- Notevole riduzione dei costi legati al minor numero di interventi di manutenzione nel tempo;
- Possibilità di adeguare, variando il dosaggio del modificante, la correzione della miscela in funzione delle caratteristiche meccaniche da ottenere;
- Stoccaggio semplificato del compound polimerico a base di grafene (anche per molto tempo) rispetto allo stoccaggio di bitume modificato, con conseguenti vantaggi logistici e di utilizzo anche per piccole quantità.

### Fasi realizzative

La gestione delle fasi di lavoro è stata effettuata tenendo conto dei condizionamenti che vincolano l'esecuzione di questi lavori, quali la necessità di effettuarli in condizioni climatiche compatibili per garantirne la corretta esecuzione e durante il fine settimana per ridurre l'impatto sul traffico circolante, evitando i periodi di deflusso per esodi estivi o legati a periodi di festività od eventi sul territorio, coordinandoli con altri cantieri di manutenzione. I lavori pertanto si sono svolti con soluzione di continuità, iniziandoli il 3 marzo 2022 e concludendoli il 29 maggio 2022.

### Risultati di laboratorio per la miscela di binder con il supermodificante

#### Mix design

Preliminarmente all'avvio dei lavori, l'impresa esecutrice ha presentato gli studi di prequalifica dei materiali impiegati in conformità alle Norme



Fig. 6 - Lavori in notturna.

Fig. 7 - Progressione dei lavori in banchina e corsia di marcia.

**Fig. 8 - Lavori sugli strati profondi.**

tecniche in essere ("Manutenzione Straordinaria mediante riqualificazione profonda della struttura portante della pavimentazione autostradale A4 – Carreggiata est dal km 345+800 al 351+300"), riguardanti:

- Conglomerato bituminoso tipo base con bitume modificato "HARD";
- Conglomerato bituminoso tipo binder ad elevate prestazioni con bitume tal quale e compound polimerico a base di nanotecnologie al grafene;
- Conglomerato bituminoso drenante fonoassorbente.

Di seguito si riporta una tabella (Tab. 1) di sintesi dei risultati ottenuti nelle prequalifiche.

**Risultati controllo produzione eseguito dai laboratori PQRS-LTM**

Durante l'esecuzione dell'intervento, la Direzione Lavori ha provveduto, tramite laboratori (PQRS-LTM), ad effettuare prove al fine di verificare la rispondenza dei materiali utilizzati nelle lavorazioni alle prescrizioni indicate nelle Norme tecniche. Nella Tab. 2 si riportano i risultati dei controlli eseguiti.



**Tab. 1 - Risultati ottenuti nelle prequalifiche**

Parametro	Specifica	Limite capitolato Binder PMA con supermodificante a base di grafene	Mix Design Binder (Girardini)	Mix Design Binder (Salima)
			Geothema	Geoconsulting
Vuoti Marshall (%)	EN 12697-8	3,0-6,0	3,6	4,6
ITS @N2 (MPa)	EN 12697-23	1,30-2,50	2,47	1,67
CTI @N2 (MPa)		> 100	265	147
ITSR (Sensibilità all'acqua) %	EN 12697-12	> 90	94	92
Rigidezza @5°C, 124 ms, 5 mm	EN 12697-26	16000-22000	20594	19469
Rigidezza @20°C, 124 ms, 5 mm		8000-16000	10927	11138
Rigidezza @40°C, 124 ms, 5 mm		1500-4000	2286	2135

**Tab. 2 - Risultati delle prove eseguite dalla Direzione Lavori nei laboratori (PQRS-LTM)**

Parametro	Specifica	Limite capitolato Binder PMA con supermodificante a base di grafene	Controllo produzione	Controllo produzione	Controllo produzione	Controllo produzione	Controllo produzione
			12/13-03-22 (Impianto Salima)	13-03-22 (Km 347+000)	21-05-22 (Km 346+000)	23-05-22 (Km 348+000)	Media dei controlli
Rigidezza (kN/mm)	EN 12697-8	N/A	3,4	4,47	5,7	4,2	4,4
Vuoti Marshall (%)		3,0-6,0	4,5	5,2	3,7	3,8	4,3
ITSR (Sensibilità all'acqua) %	EN 12697-12	> 90	94	92			

### Risultati controllo produzione eseguito dal laboratorio di Iterchimica

Contemporaneamente il reparto tecnico della società Iterchimica S.p.A. ha seguito le opera-

zioni di controllo prestazionale delle miscele eseguendo direttamente prelievi di campioni di conglomerato durante le fasi di stesa. Nella Tab. 3 si riportano i risultati ottenuti.

**Tab. 3 - Risultati delle prove eseguite da Iterchimica S.p.A. su campioni di conglomerato durante le fasi di stesa**

Parametro	Specifica	Limite capitolato Binder PMA con supermodificante a base di grafene	Controllo produzione Salima	Controllo produzione Girardini	Controllo produzione Salima
			Iterchimica S.p.A. 12-03-22 (Km 346+900) 140874	Iterchimica S.p.A. 19-03-22 (Km 346+000 ) 140878	Iterchimica S.p.A. 21-05-22 (Km 350+550) 140905
ITS @N2 (MPa)	EN 12697-23	1,3-2,5	2,1	1,91	2,1
CTI @N2 (MPa)		> 100	204	170	177
ITSR (Sensibilità all'acqua) %	EN 12697-12	> 90	93	94	93
Rigidezza @20°C, 124 ms, 5 mm	EN 12697-26	8000-16000	9972	8103	12080
Ormaiamento	EN 12697-22	≤2,5	1,43	1,74	1,6
RD @10000					
Ormaiamento		≤5,0	2,38	2,89	2,6
PRD @10000					
Ormaiamento		≤0,10	0,04	0,04	0,03
WTS @5000-10000					



**Fig. 9 - Lavori di preparazione del piano di posa degli strati di rinforzo.**

## Materiali



**Fig. 10 - Stesa del conglomerato bituminoso.**



**Tab. 4 - Risultati delle prove eseguite dall'Università di Padova**

Parametro	Specifica	Limite capitolato Binder PMA con supermodificante a base di grafene	Controllo produzione Girardini
			Università di Padova 19-03-22 (km 346+000 e km 346+500)
ITS @N2 (MPa)	EN 12697-23	1,30-2,50	2,08
CTI @N2 (MPa)		> 100	157
ITSR (Sensibilità all'acqua) %	EN 12697-12	> 90	92
Rigidezza @5°C, 124 ms, 5 mm	EN 12697-26	16000-22000	21307
Rigidezza @20°C, 124 ms, 5 mm		8000-16000	9252
Rigidezza @40°C, 124 ms, 5 mm		1500-4000	2448

#### **Risultati controllo produzione eseguito dal laboratorio dell'Università di Padova**

Nella medesima data di produzione dell'impianto dell'Impresa Costruzioni Generali Girardini S.p.A., sono stati eseguiti anche controlli da parte dell'Università di Padova, chiamata a fornire un ulteriore contributo per le verifiche prestazionali della miscela di binder. La Tab. 4 riporta i risultati ottenuti.

#### **Conclusioni**

Le operazioni di manutenzione della pavimentazione autostradale si sono svolte positivamente secondo i programmi stabiliti. Il modello innovativo adottato da Autostrada Brescia-Verona-Vicenza-Padova S.p.A. permette di semplificare tutte le fasi manutentive, dalla programmazione al monitoraggio "post operam". L'impiego di una configurazione del pacchetto stradale appositamente progettata per mantenere performance elevate per lunghi periodi consente l'abbattimento dei costi legati alle manutenzioni apportando inoltre notevoli benefici sociali e in termini di

impatto ambientale. L'inserimento nel pacchetto dei conglomerati bituminosi di uno strato (binder) caratterizzato dalla presenza del supermodificante a base di grafene Gipave® consente di ottenere una pavimentazione con prestazioni superiori e più longeva, con risparmi significativi delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Di seguito si riportano in forma sintetica i risparmi stimati per chilometro della pavimentazione ricostruita in base a dati di input bibliografici, considerando un arco di vita utile di 28 anni:

- Emissioni CO<sub>2</sub>eq = -42%
- Consumi energetici = -34%
- Bitume = -33%
- Aggregati = -34%
- Viaggi camion = -34%
- Ore lavoro = -33%

I dati sopra riportati consentono di spiegare come il modello adottato nei lavori di manutenzione si inquadri in modo ottimale nel Piano d'Azione Europeo che finanzia la crescita sostenibile e persegue obiettivi ambientali indispensabili per raggiungere la sostenibilità. ■■

#### **Bibliografia**

[1] Capuano L., Magatti G., Perucca M., Dettori M., Mantecchia P. (2020). Use of Recycled Plastics as a Second Raw Material in the Production of Road Pavements: an Example of Circular Economy Evaluated with LCA Methodology. Ecomondo.