

# LE PAVIMENTAZIONI SICURE ED ECOSOSTENIBILI PRENDONO IL VOLO

**SPINTO DA UNO SPIRITO INNOVATIVO LEGATO AI PRINCIPI DELLA GREEN ECONOMY E DELLA SICUREZZA, L'AEROPORTO DI CAGLIARI-ELMAS PER LA PRIMA VOLTA HA UTILIZZATO IL SUPERMODIFICANTE A BASE DI GRAFENE GIPAVE® PER LA RIQUALIFICA DI UNA TAXIWAY**

**N**el settore delle pavimentazioni in conglomerato bituminoso, la sicurezza e l'ecosostenibilità acquistano maggior valore quando si fa riferimento alle infrastrutture aeroportuali. Le prescrizioni tecniche delle pavimentazioni aeroportuali in ambito europeo sono dettate dalla European Aviation Safety Agency (EASA) sulla base dell'esperienza internazionale dell'International Civil Aviation Organization (ICAO) e, sul territorio italiano, dal Regolamento dell'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC). Le relative pavimentazioni sono caratterizzate da altissima resistenza ai carichi, oltre a impermeabilità, regolarità e controllata rugosità dello strato superficiale. I carichi a cui è sottoposta la sovrastruttura possono arrivare anche a 25 t, concentrati su un'area di impronta di poche migliaia di centimetri quadrati, con pressioni degli pneumatici che arrivano a valori di 1,8 MPa. Le azioni che l'aeromobile trasferisce sulla pavimentazione sono differenti in funzione del tipo

di manovra e della velocità, da un minimo di 30 km/ora in fase di rullaggio sino a un massimo di quasi 300 km/ora in fase di decollo e atterraggio, richiedendo contestualmente prestazioni differenti in termini di portanza e, in particolare, di aderenza allo strato di usura superficiale.

Insieme all'evoluzione delle dimensioni e delle capacità di carico dei velivoli, lo sviluppo tecnologico degli ultimi anni ha portato alla realizzazione di pavimentazioni sempre più prestanti e sicure, cercando anche di perseguire l'obiettivo dell'ecosostenibilità.

In tale scenario, l'Aeroporto di Cagliari-Elmas è stato il primo scalo italiano ad aver adottato l'utilizzo di un supermodificante a base grafenica (Figura 1) per la manutenzione della pavimentazione di un raccordo (taxiway) con triplice finalità: aumento della portanza, della durabilità e dell'ecocompatibilità.

## L'AEROPORTO DI CAGLIARI-ELMAS

Situato a circa 6 km a Nord-Ovest dal Capoluogo della regione, l'Aeroporto di Cagliari-Elmas è il principale aeroporto della Sardegna. Interamente realizzata in conglomerato bituminoso (CB), la pista di volo (runway), denominata 14-32 in funzione del suo orientamento secondo i venti principali del Capoluogo, è situata in prossimità del mare ed è lunga 2.804 m e larga 45 m. Il collegamento tra la runway e la zona di sosta degli aeromobili (main apron) è assicurato da 13 taxiway. In totale nel sedime dell'aeroporto di Cagliari-Elmas sono presenti 360.000 m<sup>2</sup> di pavimentazioni flessibili in conglomerato bituminoso e 220.000 m<sup>2</sup> di pavimentazioni rigide in calcestruzzo.

L'aeroporto è gestito da So.G.Aer. SpA e, normalmente, ha un'operatività di 24 ore al giorno con traffico di aviazione generale e commerciale. Il traffico raggiunto nel 2019 è stato pari a circa 4.700.000 passeggeri, diminuito in modo sostanziale nel 2020 a causa della situazione sanitaria dovuta al Covid-19 che ne



1. Il grafene ITC1 (a sinistra) e il Gipave® (a destra)

ha bruscamente rallentato lo sviluppo, come per tutti gli altri aeroporti in Italia e nel mondo.

So.G.Aer. SpA ha come "mission" la realizzazione di un sistema aeroportuale moderno ed efficiente, capace di integrarsi con il territorio per contribuire alla sua crescita sociale ed economica affinché:

- gli standard operativi di sicurezza e di comfort offerti siano elevati, in funzione della pianificazione dello sviluppo aeroportuale e della realizzazione delle infrastrutture di scalo;
- i vettori e i passeggeri possano trovare servizi di alta qualità;
- lo sviluppo del traffico passeggeri e dei collegamenti diretti verso nuove destinazioni sia garantito;
- l'integrazione con il territorio e la promozione di progetti siano punti di riferimento con una ricaduta sociale ed economica regionale, in termini di sviluppo culturale ed imprenditoriale.

È pertanto evidente la scelta strategica di So.G.Aer. SpA di intervenire anche dal punto di vista delle sovrastrutture, con lo scopo di aumentarne la sicurezza e la vita utile e, allo stesso tempo, di utilizzare tecnologie sempre più "green".

Al fine di mantenere sempre sotto controllo lo stato delle pavimentazioni e per assicurare un adeguato livello di prestazione delle stesse, nel rispetto delle Linee Guida ENAC, So.G.Aer. SpA ha sviluppato al suo interno il Piano di Manutenzione delle Pavimentazioni Aeroportuali (APMS) attraverso l'utilizzo di un programma web-based progettato e reso disponibile dalla Federal Aviation Administration (FAA), che è alimentato attraverso monitoraggi specifici trimestrali e ogniqualvolta vengano eseguiti lavori sulle infrastrutture.

### LA MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL RACCORDO K

Nel Settembre del 2019, a seguito delle risultanze dell'APMS, sono stati eseguiti i lavori di riqualifica del raccordo K (Figura 2), in quanto i valori del Pavement Condition Index (PCI), in alcune sezioni della pavimentazione, avevano raggiunto i valori limite di accettabilità (Figura 3).

Tale raccordo consente il collegamento tra il main apron e la testata 32 della pista di volo, il quale rappresenta una sezione nevralgica del sistema aeroportuale, soggetta al passaggio di un elevatissimo numero di velivoli in arrivo e in partenza. La pavimentazione è lunga 400 m e larga 23 m.

La riqualifica del raccordo K ha avuto come obiettivi:

- incrementare la portanza della sovrastruttura;
- ripristinare la regolarità superficiale;
- assicurare nuovamente i corretti livelli di aderenza pneumatico-pavimentazione.

I lavori di riqualifica realizzati dall'impresa NTC Costruzioni Generali Srl hanno previsto la demolizione della vecchia pavimentazione, la stabilizzazione del sottofondo e la ricostruzione

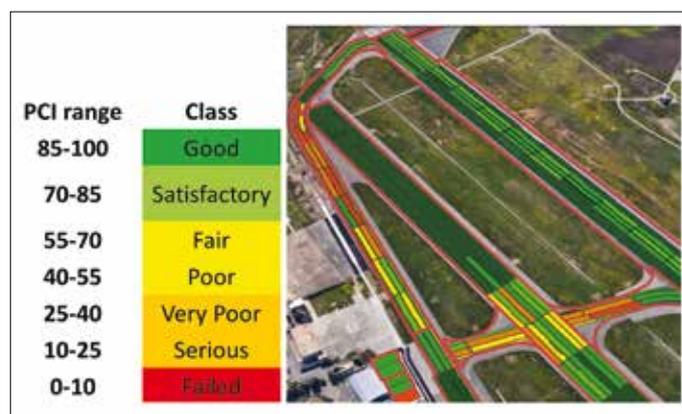


2. Il raccordo K dell'aeroporto Cagliari-Elmas

degli strati di fondazione (30 cm), base (15 cm), binder (7 cm) e usura (5 cm). I materiali previsti da specifiche tecniche progettuali erano:

- misto bitumato per lo strato di base;
- conglomerato bituminoso con bitume tipo Hard per gli strati di binder e di usura.

In fase di costruzione, alla luce dei risultati ottenuti con le prove di prequalifica in laboratorio, lo strato di usura è stato in parte realizzato con un conglomerato bituminoso innovativo contenente un additivo supermodificante a base di grafene per la modifica dry della miscela (Gipave®).



3. I valori di PCI del raccordo K e delle infrastrutture limitrofe a Giugno 2019

### IL SUPERMODIFICANTE A BASE DI GRAFENE PER LA MODIFICA DEI CONGLOMERATI BITUMINOSI

Il supermodificante a base di grafene per la modifica dry dei conglomerati bituminosi deriva da una lunga ricerca che si inserisce nell'ambito del finanziamento della Regione Lombardia "progetto Ecopave 2014-2020". I partner che hanno collaborato con con Iterchimica Srl a questa ricerca sono stati:

- Università degli Studi di Milano - Bicocca per lo studio della Life Cycle Assessment (LCA);
- Directa Plus per la fornitura del grafene;
- G.Eco per il recupero, la selezione e la fornitura delle plastiche dure.

Il know-how di questa tecnologia innovativa è detenuto da tre brevetti distinti:

- metodo di lavorazione della grafite che permette di produrre grafene di purezza totale (di Directa Plus);
- processo di recupero che consiste nella selezione e nel trattamento delle plastiche dure, per poterle poi utilizzare nella produzione del supermodificante;
- formulazione di Gipave®, messa a punto dal settore R&D di Iterchimica Srl.

Il supermodificante si presenta in granuli di colore grigio-nero e di diametro pari a 1÷4 mm. L'elevato incremento prestazionale

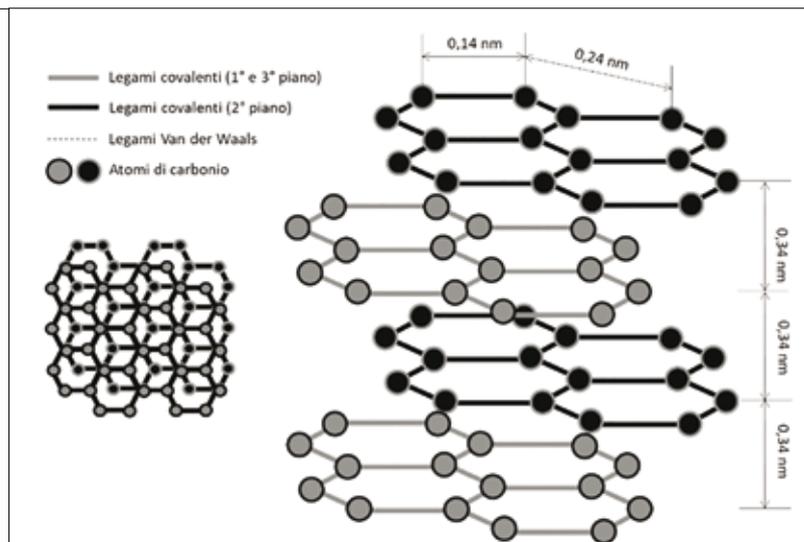
dei CB prodotti, sia rispetto alla tradizionale tecnologia Polymer Modified Bitumen (PMB) sia rispetto alle tecnologie Polymer Modified Asphalt (PMA) con metodo dry attualmente in uso, è dovuto alla sua composizione chimica che comprende:

- plastiche di recupero selezionate: sono derivanti dal riciclaggio di oggetti composti da "plastica dura" (ad esempio giocattoli, bidoni, cassette, tubi, tavoli e sedie, ecc.) e sono trattate secondo un processo industriale brevettato. Tale procedura comprende necessariamente la "tecno-selezione" delle plastiche recuperate in funzione della relativa composizione chimica (non tutte le plastiche dure possono essere utilizzate, ma solo una quota parte). Questo recupero apporta benefici ambientali elevati perché evita lo smaltimento attraverso l'incenerimento;
- base funzionale: è composta da additivi di diversa natura la cui composizione fisico-chimica è coperta da segreto industriale;
- grafene: è stato utilizzato il G+ (chiamato ITC1) che è composto da nanoparticelle di grafene purissimo (si veda capitolo successivo).

Come anticipato, il supermodificante a base di grafene è utilizzato secondo il processo produttivo dei PMA con metodo dry che consiste nella modifica diretta del CB, senza passare dalla modifica del solo bitume (ovvero il compound polimerico è aggiunto direttamente in impianto durante la fase di mescolazione della miscela bituminosa, dopo gli aggregati e prima del bitume tal quale). La filiera produttiva risulta essere pertanto più corta rispetto alle tradizionali modifiche, riducendo così gli impatti ambientali e l'emissione della CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq). La LCA risulta estremamente positiva rispetto ai metodi produttivi sino ad ora utilizzati considerando l'approccio "dalla culla alla culla". Vanno aggiunti anche i benefici legati alla riduzione dei consumi energetici, al recupero di materiali, alla elevata tenacità dei CB prodotti, all'uso di grafene puro al 100% senza solventi o altri prodotti chimici e alla "tecno-selezione" delle plastiche dure di recupero. Inoltre, le pavimentazioni a fine vita utile realizzate con questa tecnologia possono essere riciclate come un qualsiasi altro conglomerato bituminoso (si veda anche il capitolo sui benefici ambientali ottenuti).



4. Il grafene ITC1 in fiocchi



5. La struttura chimica del grafene

## IL GRAFENE

Utilizzato per la produzione del supermodificante, il grafene (Figura 4) è ottenuto dalla lavorazione della grafite e corrisponde a un monostrato di carbonio con spessore pari a quello di un atomo. La sua struttura chimica è quella a "nido d'ape" (come riportato in Figura 5) che, così ordinata, conferisce elevate caratteristiche fisico-meccaniche. Le principali sono:

- circa 106 volte più sottile di un capello umano;
- circa 200 volte più resistente dell'acciaio;
- flessibilità estrema;
- capacità conduttive migliori rispetto al rame;
- assorbimento elevatissimo della luce;
- superficie specifica sino a 3.100 m<sup>2</sup>/g.

Utilizzando grafite naturale, il processo produttivo brevettato costituisce una tecnica esclusiva (Plasma Super Expansion) il cui processo comprende espansione, esfoliazione ed essiccazione, creando nanoplatelets di grafene di elevata qualità e con un grado di purezza pari al 100%, esente da solventi o altre sostanze chimiche, certificato non tossico e conforme ai requisiti del regolamento europeo Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals (REACH).

## I BENEFICI AMBIENTALI OTTENUTI

Come noto e in riferimento alle sovrastrutture stradali, la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>eq è collegata a diversi a diversi fattori. Considerando un approccio di analisi LCA "dalla culla alla culla", i più importanti dipendono da:

- materie prime e additivi (dalla produzione all'utilizzo);
- uso di materie prime seconde;
- temperature e consumi energetici;
- emissioni in fase di produzione e posa in opera;
- lunghezza della vita utile;
- possibilità di riutilizzare un prodotto dopo il ciclo di vita.

Come già presentato durante la Fiera Internazionale del Recupero di Materia ed Energia e dello Sviluppo Sostenibile [1] dalla Dott.ssa Capuano dell'Università degli Studi di Milano - Bicocca, uno degli obiettivi più importanti del progetto Eco-pave è stato quello di valutare gli impatti ambientali inerenti alla pavimentazione contenente il supermodificante a base di grafene.

L'unità funzionale presa a riferimento è stata 1 km di strada extraurbana, larga 15 m, con 14 cm di base, 6 cm di binder e 5 cm di usura [2].

Gli scenari analizzati sono stati diversi, tra cui il confronto a parità di sezione di tre tecnologie differenti: CB con bitume tal quale (riferimento), CB con bitume modificato PMB Hard e CB con bitume tal quale modificato con metodo dry attraverso l'uso del supermodificante. Il ciclo di vita di riferimento è stato pari a 20 anni. I risultati ottenuti evidenziano un risparmio di CO<sub>2</sub>eq pari al 30% per i CB con bitume modificato PMB Hard e del 70% per i CB con supermodificante.

Con ottimi risultati, ulteriori prove ambientali eseguite riguardano [3 e 4]:

- la verifica dell'assenza di microplastiche;
- l'emissione diretta in ambiente durante la produzione e la posa in opera, sempre rispetto sia alla tecnologia tradizionale sia a quella con bitume modificato.

Bisogna inoltre evidenziare che la tecnologia permette di recuperare 18 t di plastica dura, normalmente mandate a termovalorizzatore (Figura 6).



6. Il riciclaggio di plastica e la riduzione di CO<sub>2</sub>eq (progetto Ecopave)

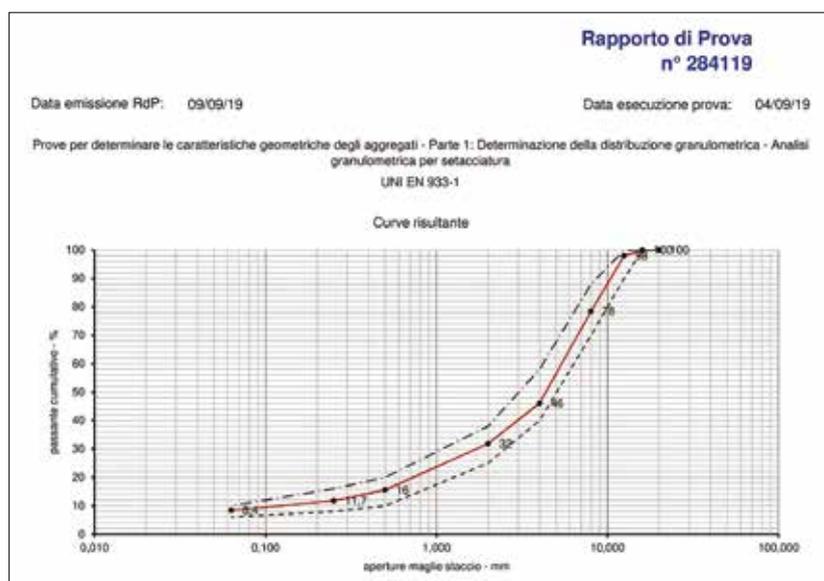
#### RACCORDO K: USURA SUPERMODIFICATA CON COMPOUND POLIMERICO A BASE DI GRAFENE

Considerando gli scopi precedentemente riportati e come già esposto, si è proceduto alla realizzazione di una sezione del raccordo K con strato di usura formulato con bitume tal quale 50/70 e Gipave<sup>®</sup>, mettendola a confronto con il tradizionale CB con bitume modificato tipo Hard (PMB 45/80-75).

La miscela innovativa prima, durante e dopo la posa in opera è stata verificata da laboratori ufficiali che ne certificano le elevate prestazioni.

#### LA PREQUALIFICA

La prequalifica della miscela bituminosa è stata eseguita dal laboratorio ufficiale Poliedro Srl secondo le specifiche tecniche di riferimento. Il fuso granulometrico e la curva granulometrica utilizzata sono riportati in Figura 7.



7. La curva granulometrica per strato di usura con Gipave<sup>®</sup> studiata da Poliedro

Il mix design ottimale ottenuto è il seguente:

- bitume 50/70 = 5,3% sul peso della miscela;
- Gipave = 6,0% sul peso del bitume.

Le prestazioni della miscela bituminosa di ultima generazione sono riportate in Figura 8.

#### LA VERIFICA POST-PRODUZIONE

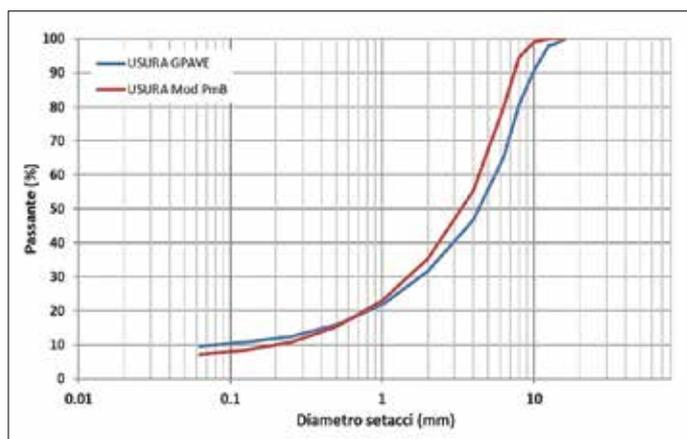
La verifica post-produzione delle miscele bituminose utilizzate (sia con PMB sia con Gipave<sup>®</sup>) è stata eseguita dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna, utilizzando l'Accordo Quadro "Sperimentazione Multiscala e controlli su Conglomerati Bituminosi realizzati con Compound Polimerici di nuova concezione". La Figura 9 evidenzia le discrepanze granulometriche tra miscela di riferimento prodotta con bitume modificato Hard e la miscela di nuova generazione, in compenso la curva di quest'ultima rispetta quanto previsto in fase di prequalifica.

Le prestazioni post-produzione sono riportate in Figura 10.

Le miscele mostrano proprietà volumetriche tra loro paragonabili. In termini assoluti, entrambe le miscele testate a 25 °C

PROVA DI LABORATORIO	LIMITI SECONDO CAPITOLATO	PRESTAZIONI
Preparazione del provino con pressa giratoria e contenuto di vuoti (UNI EN 1267-31)	---	
vuoti a 10	11-15%	13,6%
vuoti a 140	3-6%	4,3%
vuoti a 230	≥ 2%	3,4%
Resistenza a trazione indiretta - 230 giri a 25 °C (UNI EN 12697-23)	0,95 - 1,70 N/mm <sup>2</sup>	1,45 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di trazione indiretta - 230 giri a 25 °C (UNI EN 12697-23)	≥ 75 N/mm <sup>2</sup>	110,1 N/mm <sup>2</sup>

8. Le prestazioni del CB con Gipave<sup>®</sup> da prequalifica



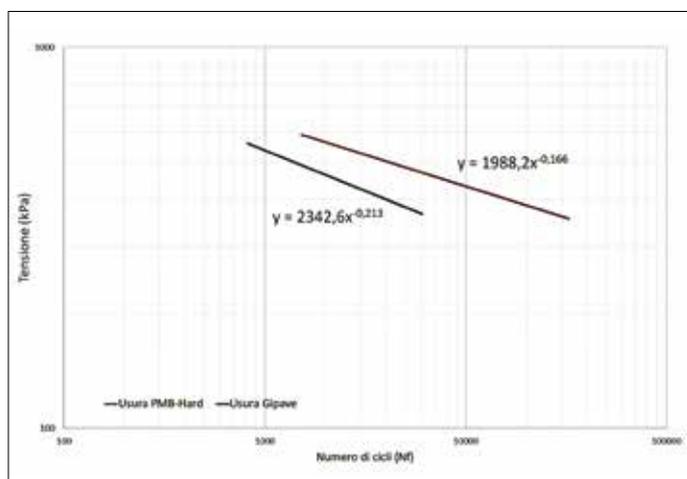
9. Le prestazioni CB con Gipave® vs CB con PMB Hard da prelievi durante la produzione e la posa in opera

manifestano una resistenza a trazione indiretta superiore a quanto richiesto dalle specifiche tecniche.

Con riferimento al supermodificante a base di grafene, le elevate resistenze a trazioni indirette sono una caratteristica intrinseca della tecnologia e, insieme all'elevato modulo di rigidità, comportano elevata tenacità della miscela. I risultati sono infatti confermati dalla verifica della resistenza ai carichi ciclici. La resistenza a fatica (UNI EN 12697-24, Allegato E) è stata eseguita in modalità di trazione indiretta su campioni cilindrici in controllo di carico (Figura 11).

PROVA DI LABORATORIO	LIMITI SECONDO CAPITOLATO	PMB HARD	GIPAVE®
Contenuto di bitume su miscela (UNI EN 12697-1)	4,5%-6,1%	5,18%	5,58%
Preparazione del provino con pressa giratoria e contenuto di vuoti (UNI EN 1267-31)		---	
vuoti a 10	11-15%	---	12,5%
vuoti a 140	3-6%	2,9%	3,3%
vuoti a 230	≥ 2%	---	1,6%
Resistenza a trazione indiretta - 150 giri a 25 °C (UNI EN 12697-23)	0,95 - 1,70 N/mm <sup>2</sup>	1,76 N/mm <sup>2</sup>	2,33 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione indiretta - 150 giri a 20 °C (UNI EN 12697-23)	---	1,70	2,30
Rigidità (UNI EN 12697-26, Allegato C)		---	
a 20 °C	---	7.487 MPa	12.319 MPa
a 40 °C	---	1.286 MPa	2.820 MPa

10. Le prestazioni CB con Gipave® vs CB con PmB Hard da prelievi durante la produzione e posa in opera



11. Il confronto tra resistenza a fatica CB con Gipave® vs CB con PMB Hard da prelievi durante la produzione e posa in opera

## LE VERIFICHE IN SITU

Le verifiche eseguite direttamente in situ hanno permesso di determinare non solo la portanza della pavimentazione, ma anche la tessitura e l'aderenza pneumatico-pavimentazione (Figura 12). Dai risultati ottenuti è evidente che la miscela progettata per l'utilizzo dell'additivo supermodificante a base di grafene permette di ottenere un'ottima microtessitura che incide positivamente sull'aderenza.

Tale prestazione è valida per la specifica applicazione ma, vista la sua importanza sulla sicurezza del trasporto aereo, i moduli elastici e la verifica del Pavement Classification Number (PCN)/ Aircraft Classification Number (ACN) delle nuove pavimentazioni sono stati realizzati dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) dell'Università degli Studi di Cagliari (Figura 13).

PROVA IN SITU	LIMITI SECONDO CAPITOLATO	PMB HARD	GIPAVE®
British Pendulum (UNI EN 13036-4)	60	68,2	70,9
ICAO (Sand Patch test)	1,00-1,10	0,97	1,07

12. Le verifiche in situ CB con Gipave® vs CB con PMB Hard

Le prove sono state realizzate utilizzando un Fast Falling Weight Deflectometer (FastFWD), strumento di misurazione ad alto rendimento delle caratteristiche di portanza (Figura 14).

Il software di post-elaborazione utilizzato è stato ELMOD (sviluppato da Dynatest), impiegato per la valutazione dei moduli degli strati con il metodo della back-calculation (Figura 15).

MODULI ELASTICI CON FAST FWD			
Distanza (m)	E1 Gipave® (MPa)	Distanza (m)	E1 PMB Hard (MPa)
42	1.520	241	997
59	1.511	260	1.248
81	1.671	281	1.056
100	1.485	300	1.320
120	1.666	322	1.225
141	1.839	340	1.161
160	1.477	360	1.778
180	1.406	380	1.504
201	1.259	399	1.632
222	1.661	---	---
Valore medio	1.549	---	1.324

13. Le verifiche in situ dei moduli CB con Gipave® vs CB con PMB Hard

PROVA PCN/ACN	PMB HARD	GIPAVE®
PCN	167	172
ACN	55	55

14. Il confronto PCN/ACN CB con Gipave® vs CB con PMB Hard

## CONCLUSIONI

Con riferimento alle pavimentazioni aeroportuali, la caratteristica principale richiesta è il continuo aumento della sicurezza che si può raggiungere attraverso l'incremento delle prestazioni, proporzionalmente all'aumento dei carichi trasmessi dai velivoli di dimensioni sempre più grandi.

Seguendo i dettami del Protocollo di Kyoto e del nuovo Green Deal Europeo per la riduzione del CO<sub>2</sub>eq del 60% entro il 2030, le pavimentazioni dovranno essere sempre più ecosostenibili. È ormai riconosciuta internazionalmente la necessità di fare

un passo avanti verso nuove tecnologie, perché tali traguardi non sono raggiungibili attraverso i tradizionali metodi realizzativi.

Nell'ottica dello sviluppo dell'Aeroporto di Cagliari-Elmas, anche se oggi interrotto dall'emergenza sanitaria dovuta al Covid-19, durante la riqualifica del raccordo K si è utilizzata per la prima volta al mondo in un aeroporto la nuova tecnologia Gipave® per la realizzazione dello strato di usura. Il supermodificante a base di grafene contiene anche plastiche dure di riciclo "teco-selezionate" che sono normalmente destinate al termovalorizzatore. La nuova pavimentazione è stata realizzata parallelamente a quella

con PMB tipo Hard. In generale, i risultati hanno evidenziato un incremento prestazionale in termini di resistenza, durabilità e condizioni di aderenza pneumatico-pavimentazione e, contestualmente, hanno evidenziato una positiva incidenza, nonostante l'esiguità dello spessore dell'usura, sul valore del PCN della pavimentazione.

Dal punto di vista ambientale, tale tecnologia innovativa permette di diminuire sensibilmente le emissioni di CO<sub>2</sub>eq nell'arco di vita utile, di ridurre le emissioni in atmosfera durante la produzione e la posa in opera, di non rilasciare in ambiente microplastiche e di recuperare circa 70 g/m<sup>2</sup>/cm di plastiche dure che si tradurrebbero a circa 47 t per il rifacimento del solo strato di usura della pista di volo. ■

<sup>(1)</sup> Ingegnere, Direttore Scientifico e dello Sviluppo Strategico di Iterchimica Srl

<sup>(2)</sup> Ingegnere, Responsabile Progettazione dell'Ufficio Tecnico di So.G.Aer. SpA

## Bibliografia

- [1]. L. Capuano, G. Magatti, M. Perrucca, P. Mantecca "L'uso di plastiche da riciclo come materia prima seconda nella produzione di pavimentazioni stradali: un esempio di economia circolare", ECO-MONDO, Rimini, 4 Novembre 2020.
- [2]. Use of recycled plastics as a second raw material in the production of road pavements: an example of circular economy evaluated with LCA methodology - L. Capuano, G. Magatti, M. Perucca, M. Dettori, P. Mantecca; 24<sup>th</sup> International Trade Fair of Material & Energy Recovery and Sustainable Development, SNSIM.
- [3]. F. Saliu, R. Bengalli, M. Lasagni, P. Bonfanti, P. Mantecca - "Determination of road related microplastics from polymer modified bitumen by infrared micro-spectroscopy", Nanosafety 2020.
- [4]. P. Gatti, P. Mantecca, G. Magatti, L. Capuano - "Valutazione LCA comparativa tra il processo di incenerimento di plastiche dure e il loro riciclo in asfalti, nell'ambito del progetto Ecopave", Università degli Studi di Milano - Bicocca, 2018/2019.



15. Le prove in situ con FastFWD per la determinazione della portanza