LEGAMBIENTE

ADR AEROPORTI DI ROMA · BOMAG FAYAT GROUP · ECOPNEUS · FASSA BORTOLO · FERALPI GROUP · ITERCHIMICA roads towards sustainability

Convegno formativo

Edilizia e infrastrutture viarie: *progettare la sostenibilità*

Economia circolare, materiali da riciclo e Criteri Ambientali Minimi (CAM)
tra normativa, progettazione integrata e ciclo di vita delle opere

Lunedì 16 novembre 2026

ore 9 - 17 | Roma | Chiostro del Sangallo
Facoltà di Ingegneria civile e industriale | Via Eudossiana, 18

LEGAMBIENTE

L’evoluzione delle tecnologie innovative sostenibili per l’incremento della vita utile dei conglomerati bituminosi

Prof. Ing. **Alessandro Marradi**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

LEGAMBIENTE

SOMMARIO

- Vita Utile: il ruolo della progettazione dellle pavimentazioni ai fini della sostenibilità
- Sfide da affrontare: ricilare di più e resistere di più
- Il rispetto delle prescrizioni del quadro normative vigente: non solo CAM Strade
- Specifiche di Capitolato – Norme tecniche, Piani di manutenzione e Collaudo
- Nuovi materiali, nuove tecnologie, nuovi metodi di progettazione

LEGAMBIENTE

L'IMPORTANZA DELLA PROGETTAZIONE

Qualsiasi opera, per essere SOSTENIBILE, deve essere concepita GREEN

1 PREMESSA

1.1 AMBITO DI APPLICAZIONE

1.2 APPROCCIO DEI CRITERI AMBIENTALI MINIMI PER IL CONSEGUIMENTO DEGLI OBIETTIVI AMBIENTALI

1.3 INDICAZIONI GENERALI PER LA **STAZIONE APPALTANTE**

2 CRITERI PER L'AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE DI INFRASTRUTTURE STRADALI

2.1 CLAUSOLE CONTRATTUALI PER L'AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE DI INFRASTRUTTURE STRADALI

2.2 SPECIFICHE TECNICHE PROGETTUALI PER L'AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE DI INFRASTRUTTURE

2.3 SPECIFICHE TECNICHE PER I PRODOTTI DA COSTRUZIONE

2.4 SPECIFICHE TECNICHE RELATIVE AL CANTIERE

2.5 CRITERI PREMIANTI PER L'AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE

3 CRITERI PER L'AFFIDAMENTO DEI LAVORI DI COSTRUZIONE, MANUTENZIONE E ADEGUAMENTO DI INFRASTRUTTURE STRADALI

3.1 CLAUSOLE CONTRATTUALI PER LE GARE DI LAVORI DI INFRASTRUTTURE STRADALI

3.2 CRITERI PREMIANTI PER L'AFFIDAMENTO DEI LAVORI DI INFRASTRUTTURE STRADALI

LEGAMBIENTE

È necessario che la stazione appaltante preveda, a cura della stessa o tramite affidamento a professionisti esterni, l'inserimento dei criteri contenuti in questo documento fin dal primo livello di progettazione come previsto dal vigente Codice dei contratti pubblici, in modo tale che il progetto sia sempre conforme ai CAM, anche ai fini della definizione dell'importo dei lavori.

……..

La stazione appaltante si assicura che la progettazione degli interventi sia affidata a progettisti o gruppi di progettazione competenti ed esperti, con il necessario livello di competenza multidisciplinare.

LEGAMBIENTE

Life-cycle phase	Description
Pavement design	Determination of structural and functional pavement requirements and determination of suitable structural composition, geometry and material selection.
Materials	Consideration of individual materials used in paving projects.
Construction	All processes and activities are necessary for the building of new pavement structure.
Use phase	Regular operation of the pavement structure, including interactions with traffic and the environment.
Maintenance/ preservation	Activities that are performed throughout the life of the pavement that ensure its serviceability.
End of life (EOL)	Final removal and/or disposal, recycling and reuse of the pavement as it reaches the end of its service life.

LCCA – Life Cycle Cost Assessment
LCA – Life Cycle Assessment

A **longer functional life** of a road has a substantial impact on the sustainability due to the minimised use of materials and energy during the life cycle.

Durable pavements:

- reduce the consumption of raw materials;
- reduce traffic delays and interventions for maintenance.

Long life pavements are aiming at a greater availability of the road, over a longer period with less needed repairs and maintenance.

GREEN PAVING SOLUTIONS AND SUSTAINABLE PAVEMENT MATERIALS
(PIARC – 2019)

LEGAMBIENTE

FHWA-HIF-14-012 - PAVEMENT SUSTAINABILITY

Sustainability best practices for pavement structural design generally consist of:

- considering the **entire pavement life cycle** when making key decisions (economic, environmental, social, or other);
- using **innovative pavement types and materials** to address one or two key sustainability issues on a project;
- improving the structural design through the use of **new tools** or a better understanding of design parameters and performance.

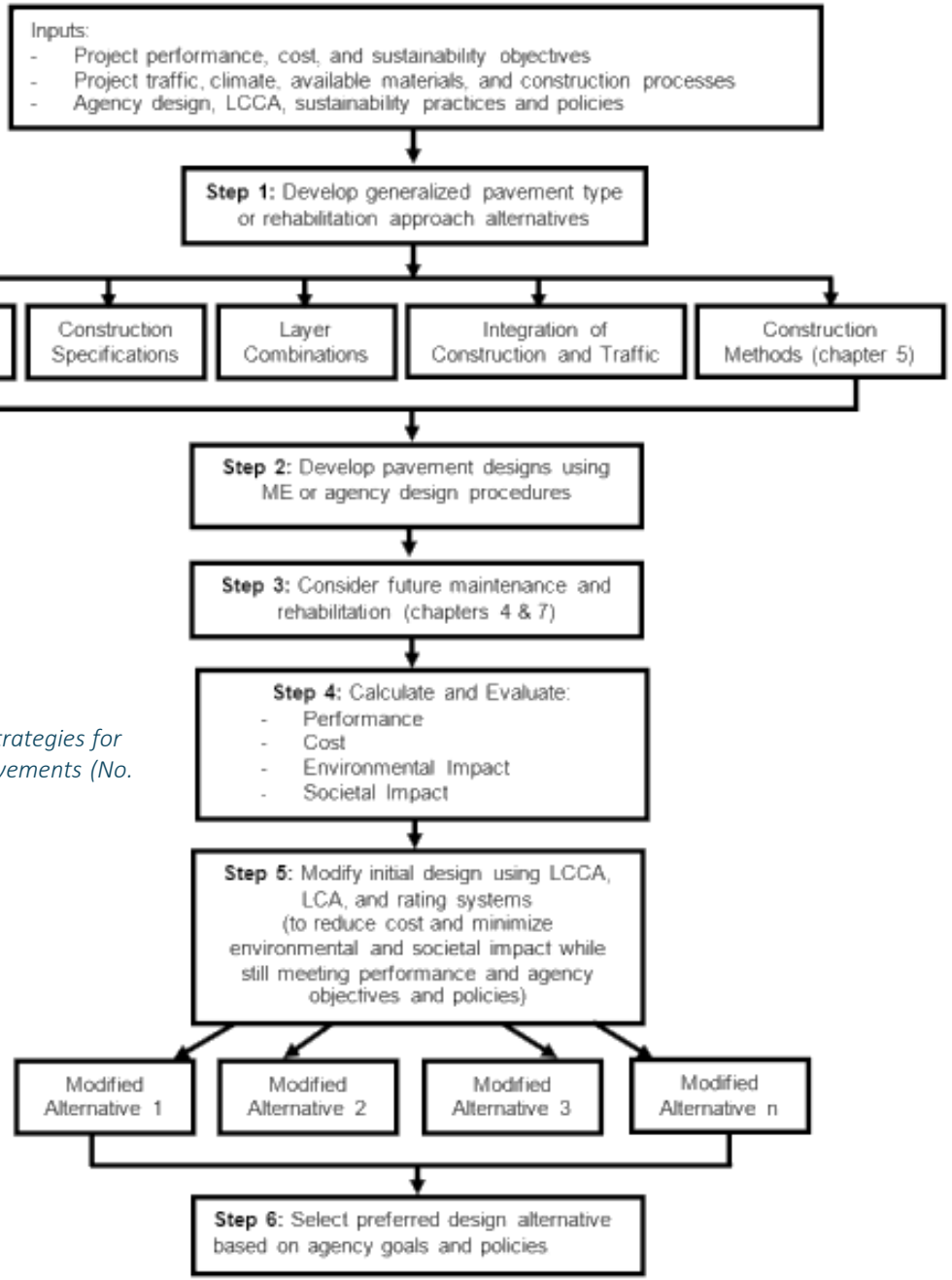
New design tools

Use **improved mechanistic-empirical (ME) pavement design procedures** can produce more efficient pavement designs with acceptable performance by better accounting for specific traffic, climate, and other design conditions for the project. ME design permits better integration of materials and pavement design, as well as better consideration of construction quality requirements.

LEGAMBIENTE

Non esiste una soluzione ideale sempre valida

- Materiali
- Traffico
- Clima
- Processo di costruzione
- Controlli di qualità
- Strategie manutentive
- Obiettivi e priorità gestore
- Fondi disponibili
- …



Ozer, H., Al-Qadi, I., & Harvey, J. (2016). Strategies for Improving the Sustainability of Asphalt Pavements (No. FHWA-HIF-16-012).

LEGAMBIENTE

NUOVE SFIDE PER LE PAVIMENTAZIONI

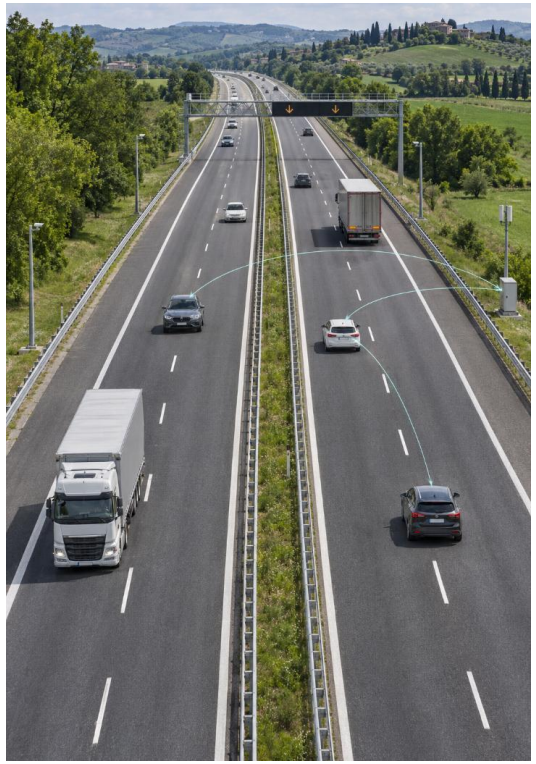
TRAFFICO E CARICHI

Il traffico (sia in termini di numero di veicoli che di carichi) aumenta e le attuali pavimentazioni non sono state progettate per questi carichi, con la conseguenza di avere necessità di sempre maggiori manutenzioni.

EAPA

VEICOLI PESANTI E TRAIETTORIE RIPETUTE

Veicoli pesanti di maggiore massa e sistemi di guida capaci di seguire traiettorie predefinite possono concentrare i carichi e accelerare il deterioramento delle pavimentazioni.



CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il trend in corso impone materiali e pavimentazioni sempre più performanti in termini di ormaiamento, fessurazioni, resistenza all'acqua e invecchiamento.

PROVE, SPECIFICHE TECNICHE E PROGETTAZIONE

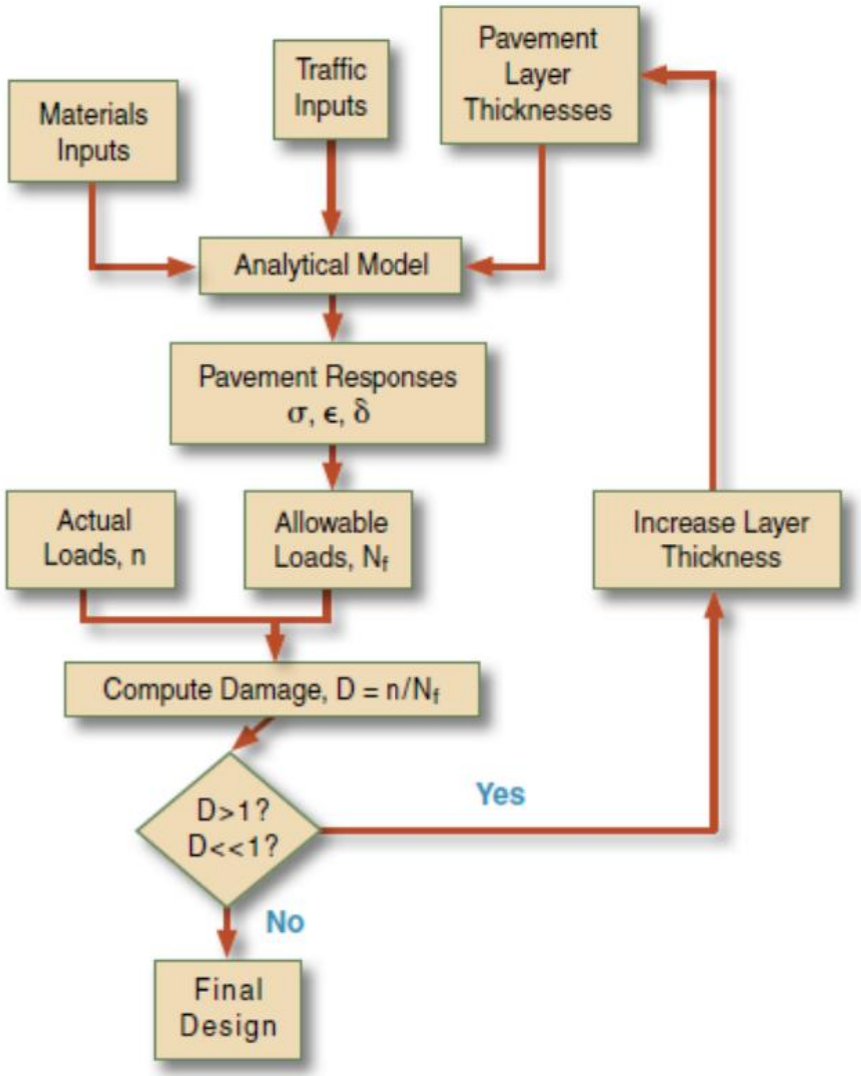
Prove di controllo e specifiche tecniche ormai datate sono sempre meno rappresentative delle condizioni attuali e future. Anche i metodi di progettazione vanno adeguati per prevedere in modo affidabile il comportamento delle pavimentazioni nel lungo periodo.

RESILIENZA E CAPACITÀ DI ADATTAMENTO

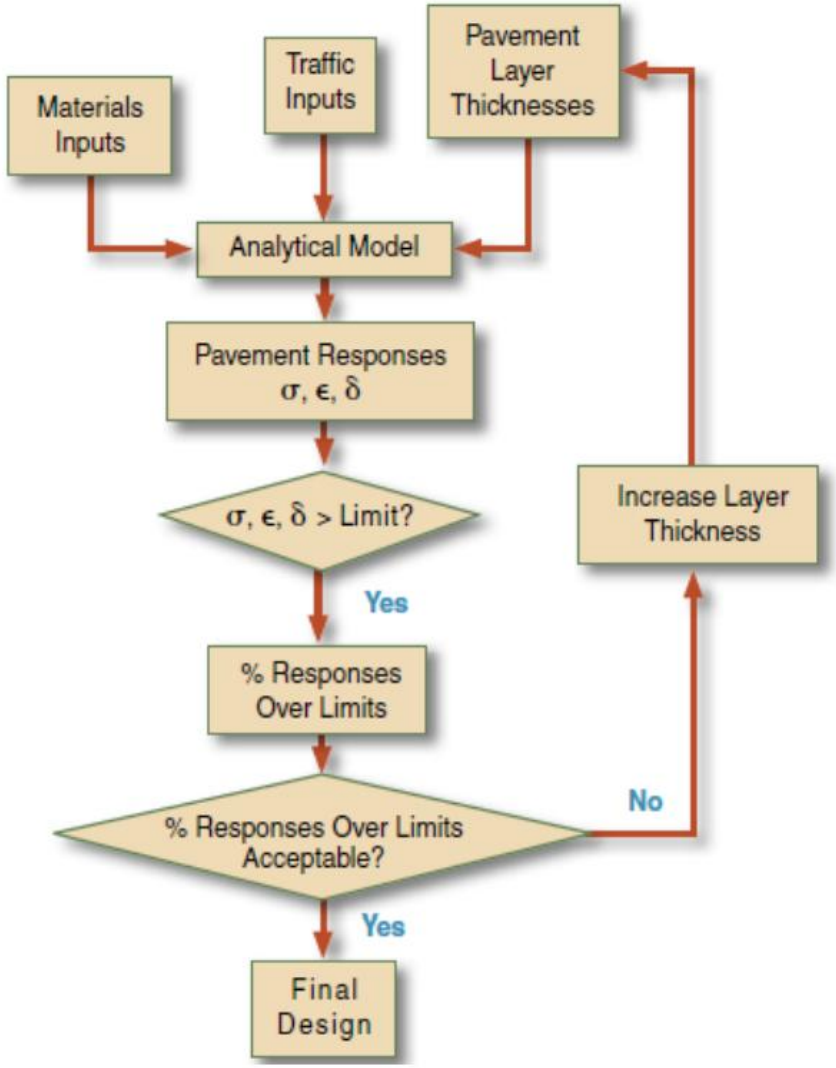
Cresce la consapevolezza della necessità di infrastrutture resilienti, capaci di adattarsi rapidamente agli eventi *inattesi* e di ripristinare il servizio anche mediante sistemi di manutenzione innovativi.

LEGAMBIENTE

PROGETTAZIONE - PERPETUAL PAVEMENTS



Mechanistic-Empirical approach



Perpetual Pavement approach

In Perpetual Pavement design, there are limiting strains below which damage does not occur, and thus damage is not accumulated.

So, the key assumptions of these design approaches are that the pavement response determined in terms of stress, strain and deflections needs to be kept under a specified limit.
In this way, a key aspect is related to the setting of the threshold values.

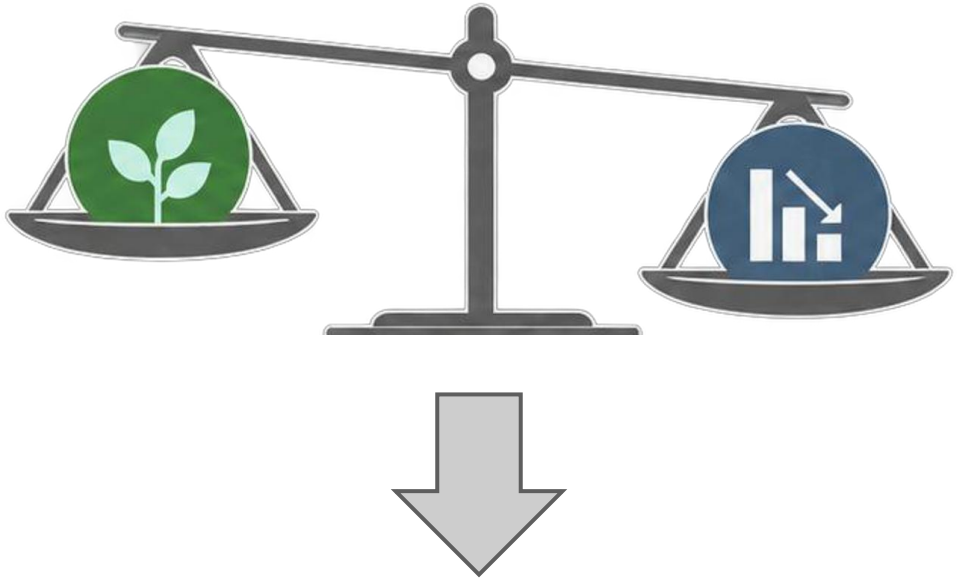
LEGAMBIENTE

EQUILIBRIO TRA SOSTENIBILITÀ E PRESTAZIONI

Più risorse recuperate con prestazioni affidabili nel tempo

SOSTENIBILITÀ

- Meno materie prime vergini
- Meno rifiuti
- Uso efficiente delle risorse
- Circolarità



PRESTAZIONI

- Legante invecchiato
- Variabilità dei materiali
- Margini di progetto più ridotti

CONTROLLO INGEGNERISTICO

Progettazione • Caratterizzazione • Mix design • Additivi • Controllo del processo • Tecnologie

La durabilità è una componente della sostenibilità

LEGAMBIENTE

LA DURABILITÀ ENTRA NEL BILANCIO AMBIENTALE

Vita utile e manutenzione nel ciclo di vita della pavimentazione



MAGGIORE DURATA
può ridurre

- Consumo di materie prime
- Materiali ed energia per la manutenzione
- Interferenze con il traffico

LCA
Impatti ambientali

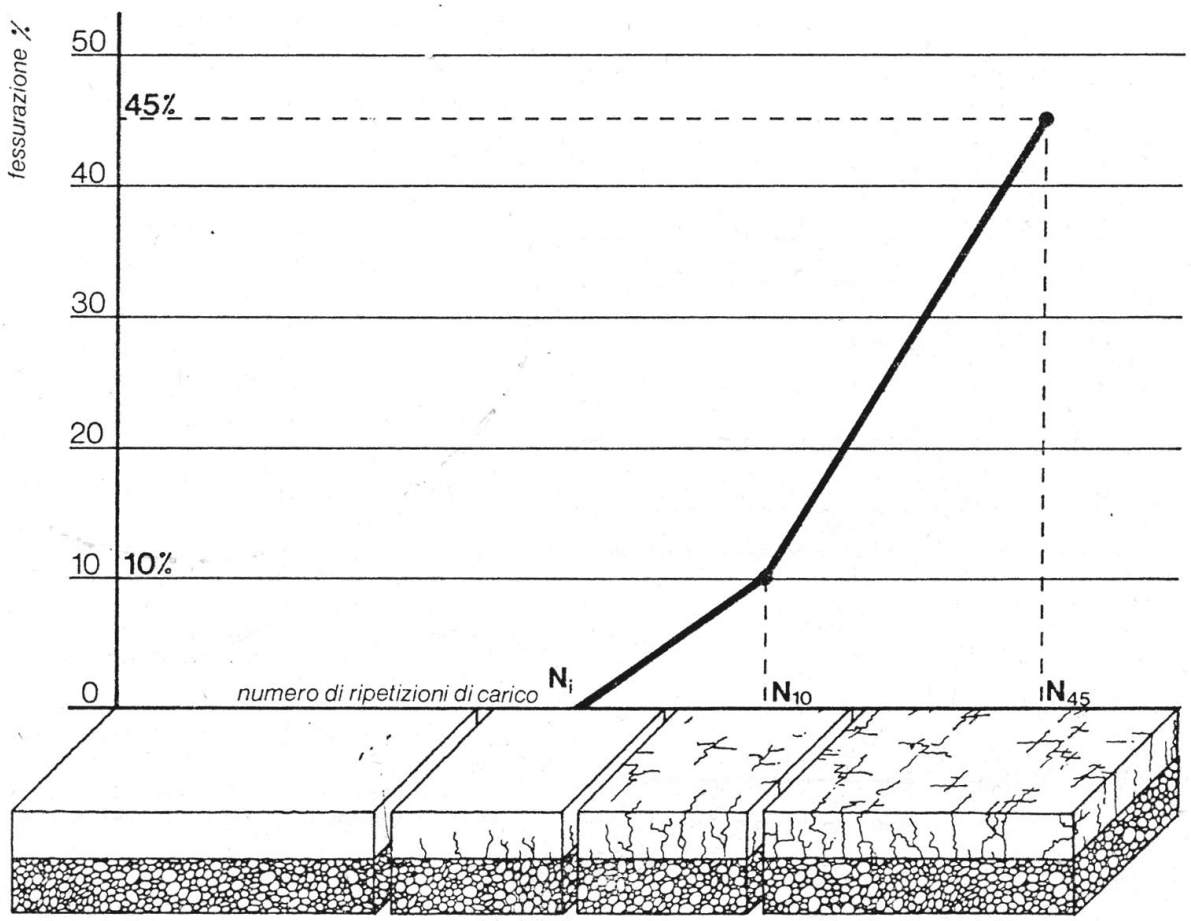
LCCA
Costi del ciclo di vita

Prestazioni da verificare nel progetto e in esercizio

LEGAMBIENTE

LA DURABILITÀ HA ANCHE UN VALORE SOCIALE

Continuità della mobilità e minori disagi nel ciclo di vita



MAGGIORE DURATA

ridurre il bisogno di nuovi interventi

Meno disagi per gli utenti

Meno code, deviazioni e tempo sottratto alle attività quotidiane.

Continuità dei collegamenti

Accesso a lavoro, scuola e servizi essenziali.

Minori interferenze dei cantieri

Meno occasioni di esposizione per utenti, lavoratori e comunità.

Più continuità del servizio, meno impatto sulla vita delle persone

LEGAMBIENTE

NANOTECNOLOGIE E NUOVE FUNZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE

Prestazioni

MIGLIORAMENTI RISCONTRATI

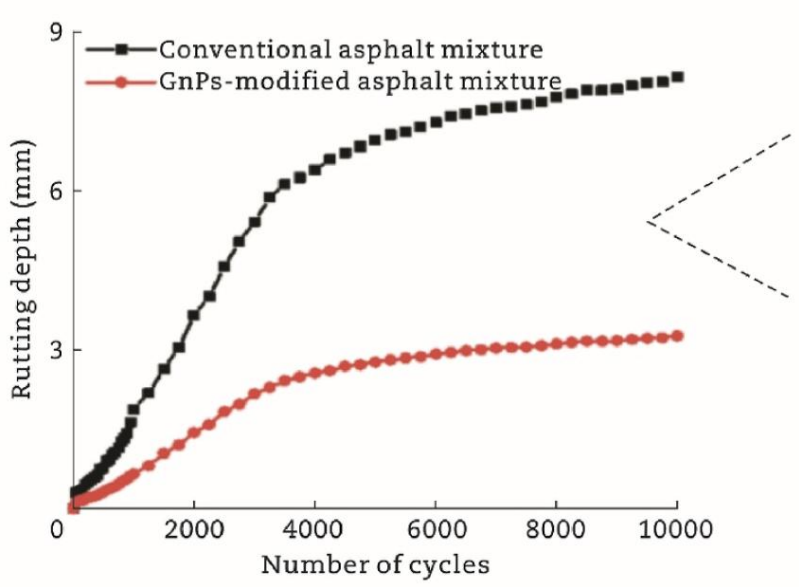
Maggiore rigidezza

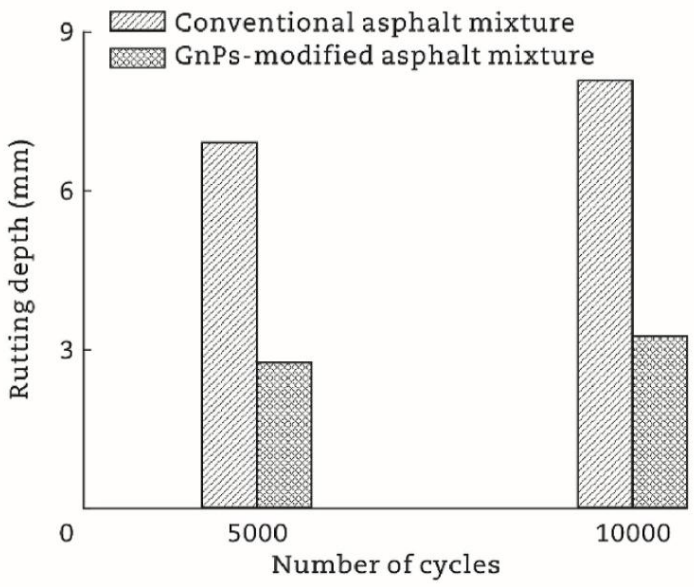
Maggiore resistenza all'ormaiamento

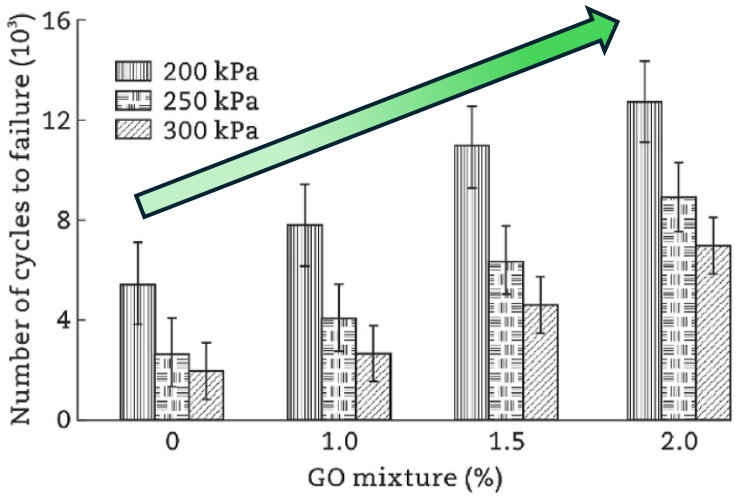
Maggiore resistenza a fatica

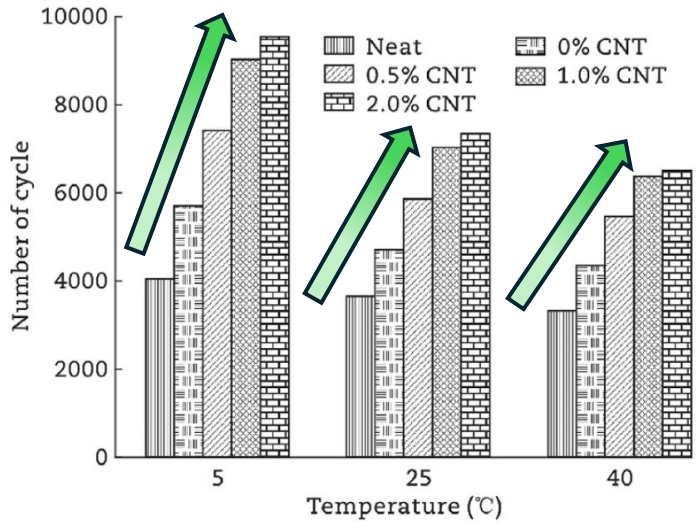
Minore suscettività termica

Maggiore resistenza all'invecchiamento









Eisa, M.S., Mohamady, A., Basiouny, M.E., et al., 2022. Mechanical properties of asphalt concrete modified with carbon nanotubes (CNTs). Case Studies in Construction Materials 16,e00930.

Adnan, A.M., Lyu, C., Luo, X., et al., 2023. Fatigue performance of graphene oxide modified asphalt mixture: experimental investigation and response surface methodology. Petroleum Science and Technology 42 (18), 2340—2357.

Latifi, H., Hayati, P., 2018. Evaluating the effects of the wet and simple processes for including carbon Nanotube modifier in hot mix asphalt. Construction and Building Materials 164, 326—336.

NANOTECNOLOGIE E NUOVE FUNZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE

Effetti della scala nanometrica e prospettive funzionali

ASPETTI VERIFICATI SPERIMENTALMENTE

CONDUCIBILITÀ ELETTRICA

Reti di particelle conduttive possono ridurre la resistività della miscela.

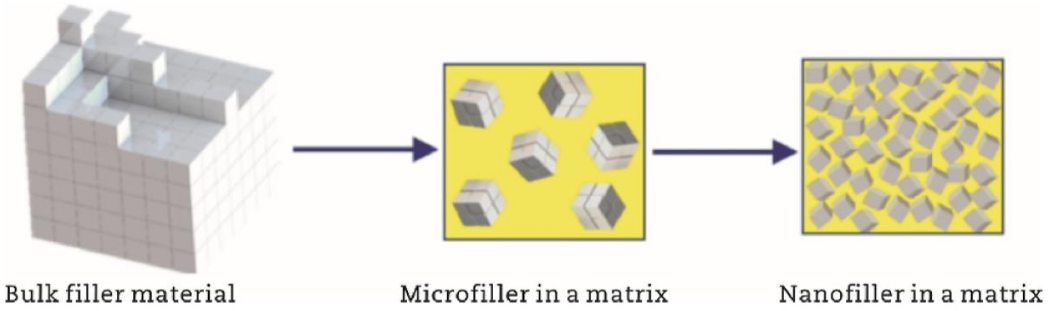
SELF-SENSING

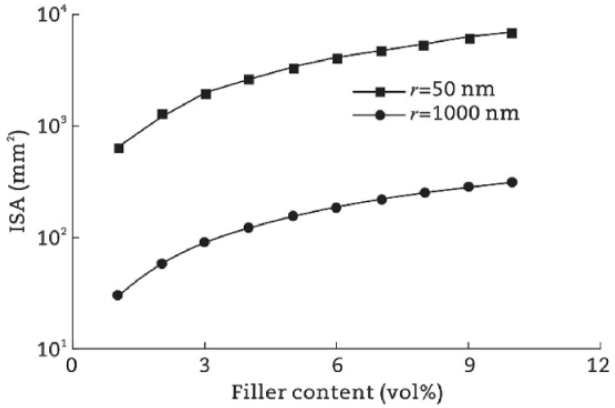
La risposta elettrica sotto carico può consentire il monitoraggio delle sollecitazioni.

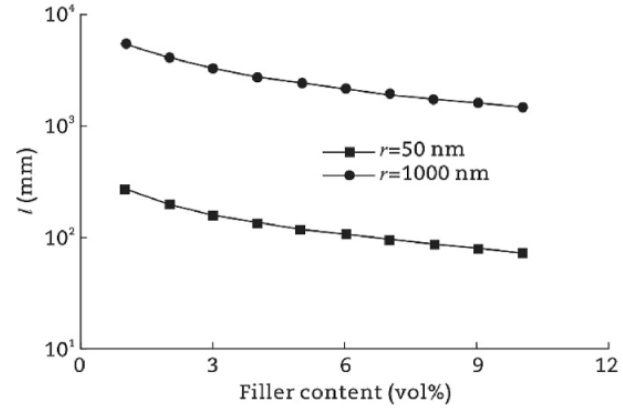
SELF-HEALING

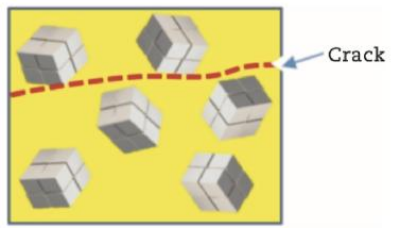
Il riscaldamento assistito può favorire la richiusura delle microfessure.

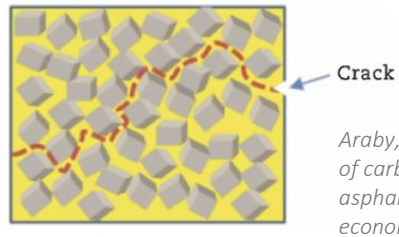
Funzioni da qualificare sulla miscela e nelle condizioni di impiego.













Araby, Sherif, et al. "Advancements of carbon nanomaterials-modified asphalt: Processes, properties, economic feasibility and future perspectives." Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) 12.4 (2025): 965-1010.

LEGAMBIENTE

L'INVECCHIAMENTO OSSIDATIVO DELLE MISCELE

Il riferimento normativo e le verifiche sulle miscele con compound

SPERIMENTAZIONE AASHTO R30

Short term + long term ageing

Variazione della rigidezza ITSM

CNT	PmB
–3%	+31%

ITSM invecchiato/non invecchiato:
0,97 e 1,31

Minore variazione della rigidezza nel sistema con compound CNT

IL RIFERIMENTO EUROPEO

UNI CEN/TS 12697-52

Condizionamento per ottenere l'invecchiamento ossidativo



Miscela sfusa



Provini compattati

Condizionamento prima delle prove prestazionali sulla miscela

La durabilità si valuta anche sulle prestazioni dopo invecchiamento

LEGAMBIENTE

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE (1/3)

Importanza della Progettazione: delle miscele e delle pavimentazioni

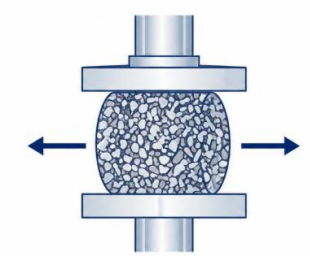
- Progettare miscele e pavimentazioni tenendo conto della presenza dei materiali riciclati, dell'adozione di tecnologie innovative che possano aumentare la vita utile strutturale e funzionale, degli impianti disponibili e delle tecnologie di realizzazione;
- Utilizzare metodi di verifica che possano adeguatamente prendere in esame le specificità dei materiali innovativi (leggi di prestazione, curve di decadimento, …);
- Il CSA è un documento di progetto: le modalità realizzative, i controlli delle lavorazioni e le manutenzioni previste devono essere calibrate sulle specifiche miscele adottate e intimamente legate al progetto.

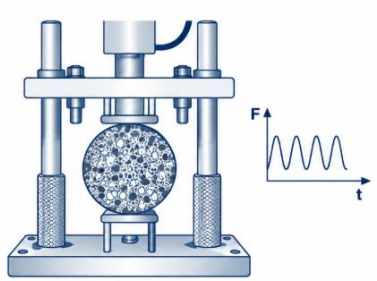
LEGAMBIENTE

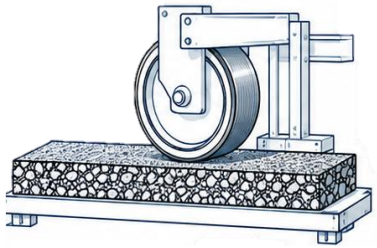
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE (2/3)

Importanza dei Controlli: prequalifiche, in corso d'opera, finali al collaudo

- Tenere conto nella redazione del CSA del continuo aggiornamento del quadro normativo (norme tecniche), fondamentale quando si usano percentuali significative di materiali riciclati e di componenti innovativi per incrementare la vita utile;

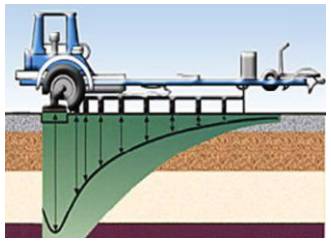


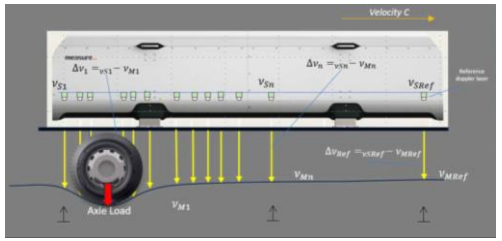














LEGAMBIENTE

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE (3/3)

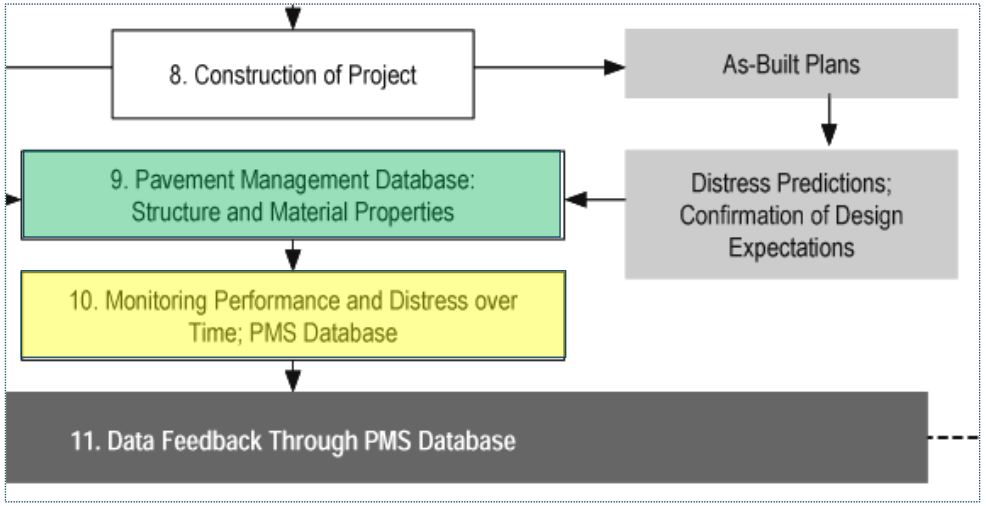
Importanza del Piano di Manutenzione e del suo aggiornamento as-built

- Il piano di manutenzione va aggiornato in fase di collaudo (obbligo normativo) e deve essere ricalibrato con controlli cadenzati durante la fase d'uso dell'infrastruttura (UNI 11957-2024*) per essere, eventualmente, aggiornato.

** Metodologie per il monitoraggio dello stato di conservazione delle pavimentazioni in conglomerato bituminoso di reti di infrastrutture stradali in esercizio.*

Procedura, espressamente prevista dal metodo M-E PDG (Distress prediction; **Confirmation of Design Expectations**) è da noi un preciso obbligo di legge:

Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36 - «Codice dei contratti pubblici» PARTE VI DELL'ESECUZIONE - Articolo 116. Collaudo e verifica di conformità.
10. Al termine del lavoro sono redatti:
[….]
b) l'aggiornamento del piano di manutenzione e della eventuale modellazione informativa dell'opera realizzata di cui all'articolo 43 per la successiva gestione del ciclo di vita;



LEGAMBIENTE

Partner

ADR AEROPORTI DI ROMA · BOMAG FAYAT GROUP · ECOPNEUS · FASSA BORTOLO · FERALPI GROUP · ITERCHIMICA roads towards sustainability

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Alessandro Marradi
Università degli Studi di Firenze
alessandro.marradi@unifi.it