



SIIV Summer School 2023 - Perugia

4 Settembre 2023

Le prove prestazionali nel 2023: Sfide attuali e prospettive future

Andrea Carlessi – Product Manager, Controls

Programma della presentazione

Il mondo delle prove prestazionali è in continua evoluzione, e fra le tematiche che i laboratori devono affrontare ci sono:

- Complessità delle macchine di prova
- Scarsa ripetibilità delle prove prestazionali
- Complessità delle configurazioni e durata delle prove
- Adattabilità ai materiali innovativi
- Sfide future

Complessità delle macchine di prova

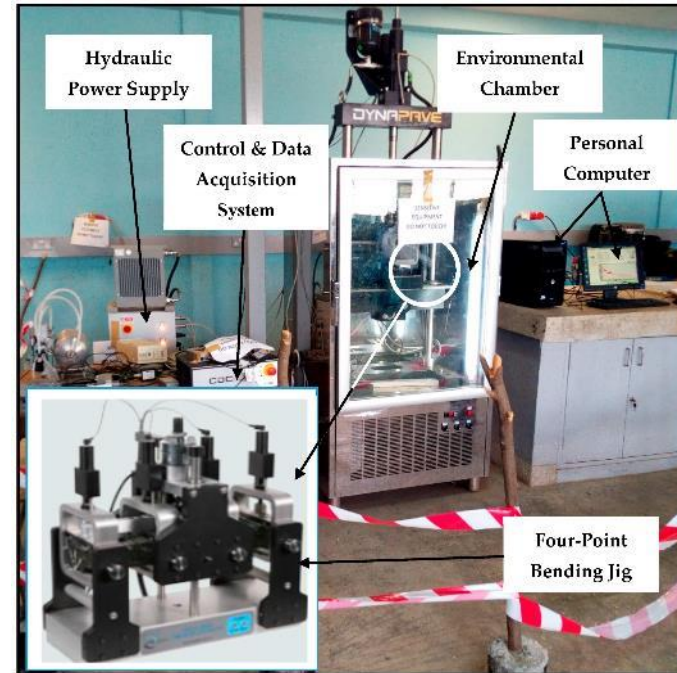
Sistemi per prove dinamiche UTM

- Sviluppati in ambito universitario a partire dagli anni '60
- Progettati per eseguire la più ampia gamma di prove di asfalti
- Prima generazione con attuatore pneumatico, successivamente sostituito da modelli servo-idraulici
- Flessibili e aggiornabili a configurazioni di prova multiple



Sfide 1/2

- Macchine complicate, composte da diversi elementi (telaio, controller, camera, pompa, PC), con cavi multipli di collegamento fra le varie parti
- I componenti multipli richiedono spazio nel laboratorio (più di 3m di parete libera)
- L'azionamento servo-idraulico richiede pompe che, se usate in maniera continuativa, possono essere elemento di disturbo nel laboratorio



Sfide 2/2

- La complessità delle configurazioni di prova multiple richiedono tecnici specializzati per l'uso e la gestione dei sistemi
- I sistemi servo-idraulici e servo-pneumatici richiedono frequente manutenzione (filtri, perdite, cambio olio)
- La complessità del sistema è associato ad alti costi di acquisto e manutenzione



Soluzioni – 1. Macchine dinamiche integrate 1/3

- Due progetti separati da parte di NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) negli Stati Uniti hanno portato allo sviluppo nel 2002 della prima macchina integrate per prove dinamiche, chiamata SPT (Simple Performance Tester)
- L'obiettivo del progetto era lo sviluppo di un sistema di prova integrato, veloce, semplice, ripetibile e facile da usare, in grado di eseguire in modo automatic le prove definite da NCHRP 9-19
- SPT è stato successivamente rinominato AMPT (Asphalt Mixture Performance Tester)
- IPC Global è stato l'unico produttore in grado di sviluppare SPT nel 2002



Soluzioni – 1. Macchine dinamiche integrate 2/3

- Per le sue caratteristiche, AMPT continuano ad avere un grande successo nel mercato Americano, anche se con alcune limitazioni:
 - Malgrado l'approccio integrato "tutto in uno", AMPT include tutti i componenti di una macchina servo-idraulica, con tutti i suoi svantaggi di complessità, costo e manutenzione
 - AMPT è progettato per eseguire solo prove su provini cilindrici secondo ASTM/AASHTO, quindi non è compatibile con prove secondo EN o su provini più grandi (vedi 4PB)



Soluzioni – 1. Macchine dinamiche integrate 3/3

- Il primo passo è avvenuto per ottenere un sistema più universale, con lo sviluppo della versione «internazionale» di AMPT, chiamata AST (Asphalt Standards Tester), in grado di combinare l'approccio integrato di AMPT con una camera climatica più tradizionale
- AST era adatto all'esecuzione delle prove prestazionali più comuni, incluse le prove di flessione, sia secondo ASTM/AASHTO che secondo le norme Europee
- Ma ancora con gli svantaggi dell'applicazione servo-idraulica del carico



Soluzioni – 2. Macchine dinamiche elettromeccaniche 1/2

- L'evoluzione tecnologica dei motori elettrici brushless ad alte prestazioni permette ora l'uso per applicazioni dinamiche
- Gli attuatori elettromeccanici garantiscono un livello di prestazione (capacità di carico, accuratezza della forma d'onda) comparabile agli attuatori idraulici «a labirinto»
- Installazione rapida e semplice senza la complessità dei sistemi idraulici, con funzionamento pulito e silenzioso
- Praticamente senza manutenzione (solo lubrificazione)
- Senza olio o sistemi di raffreddamento



Soluzioni – 2. Macchine dinamiche elettromeccaniche 2/2

- I nuovi sistemi di prova elettromeccanici permettono soluzioni di prova più efficienti e meno complicate (componenti idraulici come attuatore, servovalvola, tubi, pompa, filtri e olio sono sostituiti da un motore con vite senza fine)
- Diversi sistemi disponibili, con carico massimo da 15 o 30kN, per prove di controllo di qualità o ricerca secondo le norme UNI EN, ASTM e AASHTO



Scarsa ripetibilità

Sfide 1/2

- Diverse prove prestazionali, quali fatica e deformazione permanente, chiedono ripetizioni multiple della prova a causa della scarsa ripetibilità
- Per molte prove prestazionali, ottenere provini omogenei, uniformi e ripetibili può essere complicato
- Il modo in cui i provini sono ottenuti (compattati, tagliati o carotati) ha un effetto sulla ripetibilità della prova, e le norme non specificano a sufficienza questo punto



Sfide 2/2

- La necessità di eseguire ripetizioni multiple della prova limita la possibilità di inclusione in Specifiche Tecniche
- Ripetizioni multiple aumentano la durata delle prove, il numero di provini e in generale il costo associato alla prova



Soluzioni – 1. Miglioramento dei provini 1/3

- Con le prove prestazionali, la preparazione dei provini è un parametro ancora più critico per risultati affidabili
- La preparazione dei provini dovrebbe in teoria replicare le stesse condizioni della posa in opera
- I provini preparati in laboratorio dovrebbero avere lo stesso orientamento degli inerti, distribuzione dei vuoti e densità come i provini in sito
- L'effetto dell'operatore dovrebbe essere minimizzato



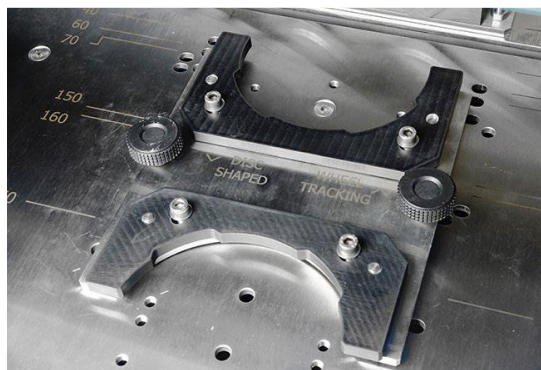
Soluzioni – 1. Miglioramento dei provini 2/3

- L'uso di mescolatrici ad alta capacità permette di preparare quantità di conglomerato utili per la preparazione di diversi provini con caratteristiche omogenee
- I compattatori giratorie, di lastre e di blocchi, con orientamento degli inerti più simile a provini in sito, e compatibili con provini più grandi, vanno preferiti ai compattatori a impatto
- Questi compattatori permettono un controllo accurato dei parametri di compattazione e delle proprietà volumetriche (densità o % di vuoti obiettivo)



Soluzioni – 1. Miglioramento dei provini 3/3

- Nel caso in cui sia necessario ridurre le dimensioni dei provini, i sistemi automatici garantiscono tagli precisi e regolari
- L'uso di accessori dedicati permette i tagli più complessi (ad esempio taglio cilindri a metà per prove SCB) con sforzo minimo
- Carotatrici da laboratorio permettono di sovra-carotare provini in sito, in modalità assiale o trasversale



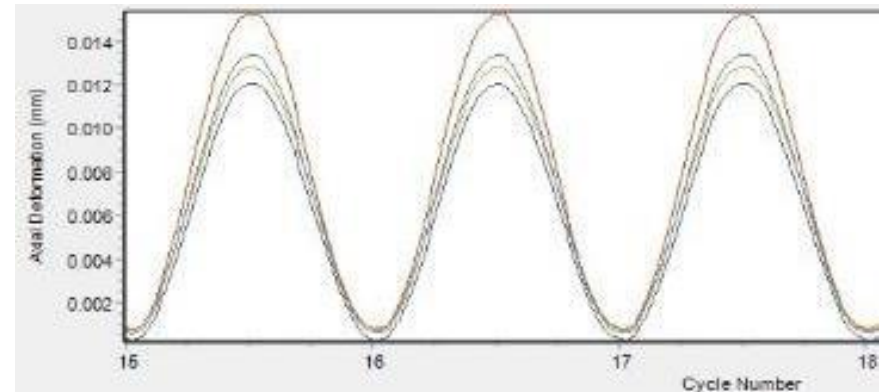
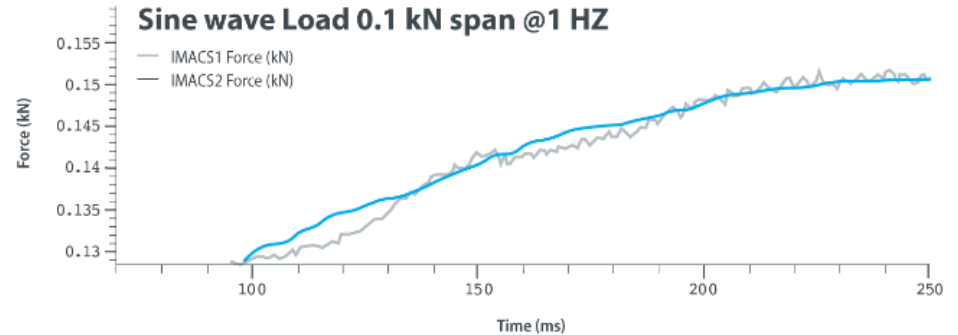
Soluzioni – 2. Miglioramento dei sistemi di prova 1/3

- Le macchine per prove dinamiche permettono l'esecuzione delle prove tramite controller dedicati, che garantiscono un'applicazione precisa dei parametri di prova, e una misura accurata dei risultati
- L'esecuzione della prova è solitamente delegata a moduli software dedicati, sviluppati per permettere una semplice impostazione della prova e risultati chiari



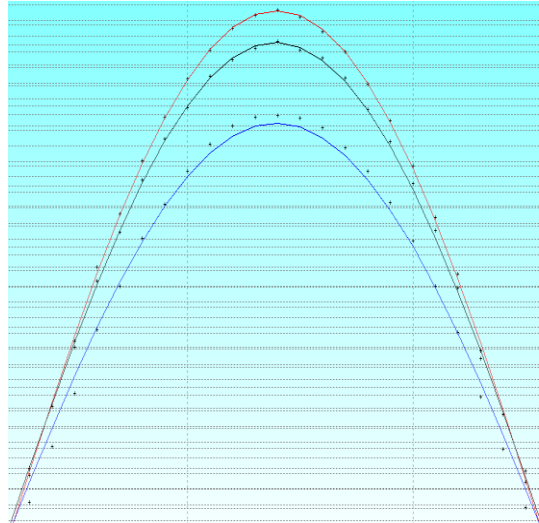
Soluzioni – 2. Miglioramento dei sistemi di prova 2/3

- L'elettronica di ultima generazione migliora la qualità delle forme d'onda e la risoluzione dei trasduttori, garantendo risultati più precisi e ripetibili
- Ad esempio, a 25 Hz, la singola forma d'onda è definita da 8000 punti se la frequenza di campionamento è 200 kHz
- Un'acquisizione con una risoluzione a 24 bit permette di dividere la corsa trasduttore in 2^{24} punti, con una risoluzione di $1/16'777'216^\circ$ della corsa
- L'“oversampling” permette di ottenere dati più “puliti”



Soluzioni – 2. Miglioramento dei sistemi di prova 3/3

- Dal lato software, la possibilità di applicare di algoritmi di «fitting» basati sulla regressione di forme d'onda continue (come una senoide), permette di avere risultati più precisi, soprattutto su parametri dipendenti dal tempo di misura, come l'angolo di fase
- Dal lato hardware, sistemi di riconoscimento automatico dei trasduttori permettono di ridurre gli errori dell'operatore



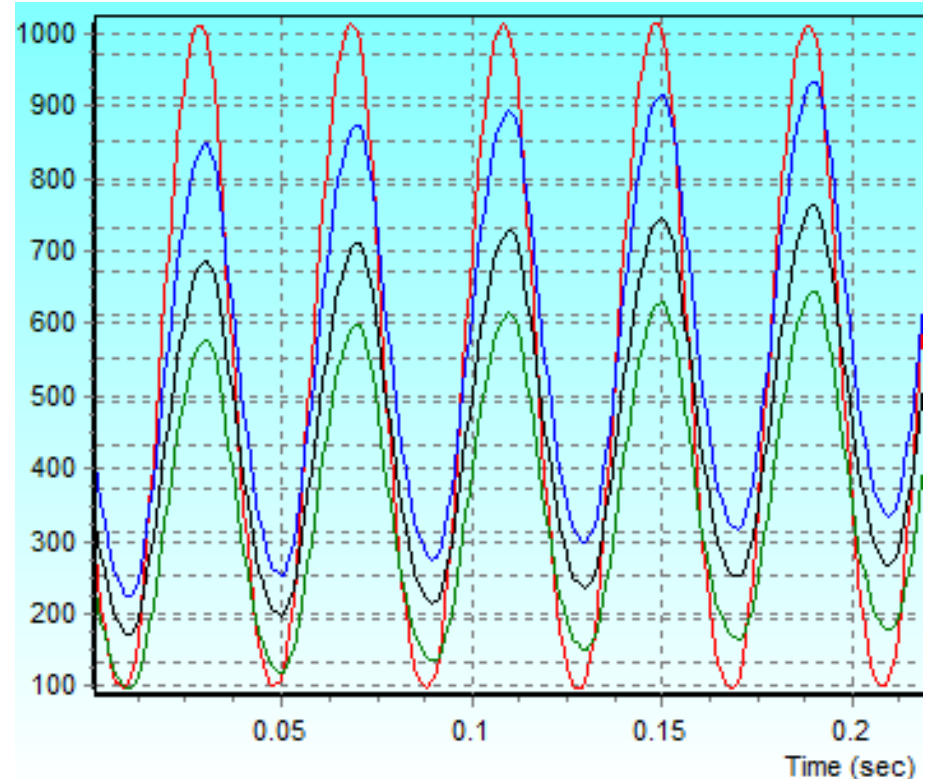
Soluzioni – 3. Miglioramento delle specifiche di prova 1/3

- Negli ultimi anni, diversi gruppi normativi hanno cercato di definire in modo più rigido i parametri di prove che impattano sulla ripetibilità dei risultati
- Questo avviene di solito quando un nuovo metodo è implementato
- Può anche succedere su prove esistenti, ma è molto dispendioso perché richiede «round robin» per indirizzare e validare le nuove specifiche



Soluzioni – 3. Miglioramento delle specifiche di prova 2/3

- Ad esempio, quando l'AMPT fu sviluppato, uno dei parametri critici del Modulo Dinamico E* era l'accuratezza dell'onda semisenoversa.
- L'attuale norma AASHTO T378 e le specifiche AMPT includono l'errore massimo ammissibile della forma d'onda, definito al 10%
- Questo parametro permette all'operatore di identificare facilmente prove non conformi, al contrario di un normale controllo visivo dell'onda



Soluzioni – 3. Miglioramento delle specifiche di prova 3/3

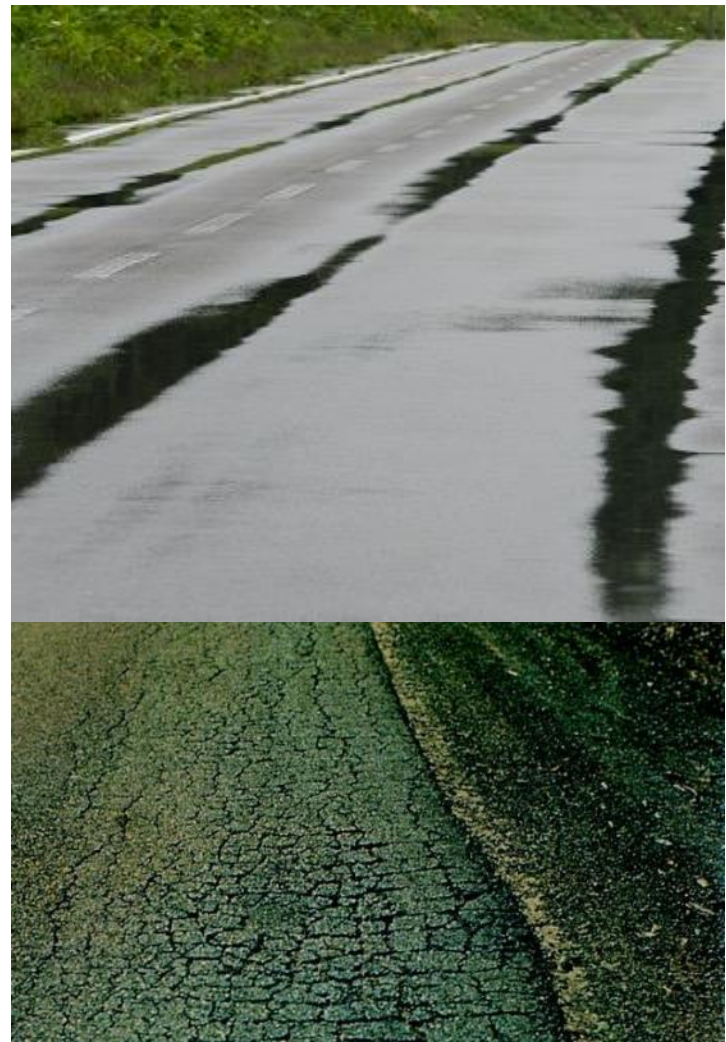
- NCHRP ha finanziato un programma per risolvere problemi di ripetibilità per la prova di Hamburg Wheel Tracker
- Il report, pubblicato nel 2015, ha evidenziato una serie di criticità da risolvere, con una serie di proposte
- Nel 2019, una versione aggiornata della norma AASHTO T324 ha incluso la maggior parte delle raccomandazioni (ad es. limiti al parametro RMSE, per definire il movimento sinusoidale della ruota sul provino)



Complessità e durata delle prove

Sfide 1/2

- Le prove prestazionali sono tipicamente associati a procedure di prova complesse e lunghe, riducendo la loro possibilità di essere utilizzate per il controllo di qualità o della produzione
- Le prove che simulano sollecitazioni a lungo termine (deformazione permanente, fessurazione a fatica) richiedono prove di lunga durata e ripetizioni multiple delle stesse



Sfide 2/2

- Alcune prove (ormaiamento, 4PB, ecc.) chiedono provini grandi e procedure di preparazione accurate, che richiedono l'utilizzo di compattatori grossi e costosi
- La complessità del provino riduce l'omogeneità e l'uniformità dimensionale dei provini, con impatto sulla ripetibilità della prova e sul numero di ripetizioni
- Provini grandi non permettono di ricavare provini da pavimentazioni esistenti, soprattutto dagli strati superficiali



Soluzioni – 1. Uso di provini più piccoli 1/2

- Alcune configurazioni di prova mostrano poca dipendenza dalle dimensioni del provino, quindi i risultati del test sono quasi indipendenti da queste
- Le prove push/push, push/pull o pull/pull su provini cilindrici hanno di solito questo tipo di comportamento
- Nella maggior parte dei casi, le prestazioni di provini più piccoli non sono significativamente diverse rispetto a quelli di dimensioni standard
- Negli Stati Uniti è in corso un processo per lo sviluppo di metodi di prova esistenti su campioni più piccoli, in genere 38 mm (o 50 mm) di diametro x 110 mm di altezza



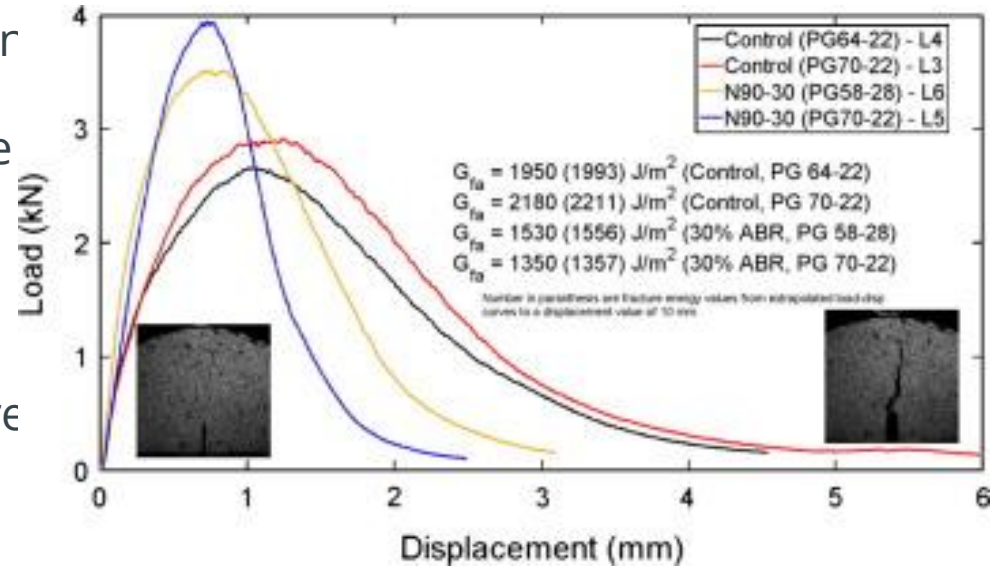
Soluzioni – 1. Uso di provini più piccoli 2/2

- Le procedure di prova relative a Modulo Dinamico E*, Flow Number e Fatica Uniassiale (AASHTO TP132 e TP133) sono già state pubblicate
- I provini possono essere ottenuti da carotaggi multipli di un cilindro da 150mm compattato con giratoria, garantendo una migliore ripetibilità
- I tempi di condizionamento e incollaggio sono decisamente ridotti
- È possibile ottenere provini piccoli da pavimentazioni esistenti, permettendone una valutazione prestazionale
- Una T massima di 40°C è raccomandata



Soluzioni – 2. Nuovi metodi di prova “rapidi” 1/3

- Per aumentare la possibilità di includere prove prestazioni in Specifiche Tecniche, è ir atto un processo di sviluppo di procedure «rapide», con buona correlazione con prove di ormaiamento e fessurazione
- Queste prove sono caratterizzate da:
 - analisi di tipo energetico
 - provini cilindrici ottenuti da compattatore giratorio, o addirittura Marshall
 - esecuzione in pochi minuti su presse Marshall o a velocità variabile



Soluzioni – 2. Nuovi metodi di prova “rapidi” 2/3

- I metodi più comuni sono le prove SCB (flessione su provino semicircolare)
- Sono prove largamente usate secondo diversi metodi di prova (UNI EN 12697-44, ASTM D8044, AASHTO T393, ...)
- Il provino cilindrico da 150mm è tagliato in due metà, ed è applicato un intaglio
- I criteri su base energetica sono ben correlati con le altre prove di fessurazioni e con prestazioni in sito, e permettono di discriminare l'uso di fresato e altri materiali marginali



Soluzioni – 2. Nuovi metodi di prova “rapidi” 3/3

- Altri metodi più recenti includono la prova di IDEAL-CT secondo ASTM D8225, dove i criteri energetici delle prove SCB vengono applicati ad una normale prova di trazione indiretta su provino da 150mm, senza tagli o intagli
- Il metodo più recente è dato dalla prova IDEAL-RT, secondo ASTM D8360, che prevede una prova a velocità costante su un provino da 150mm per determinarne le proprietà a deformazione permanente, con buona correlazione con l'ormaiamento in sito



Materiali innovativi

Sfide

- L'uso crescente di tecnologie alternative – quali i bitumi modificati, i materiali alternativi, il polverino di gomma, l'asfalto tiepido o il fresato – fa nascere la necessità di adattare metodi esistenti a differenti condizioni (carichi, temperature, ecc) richieste
- L'uso di asfalti a freddo, con emulsioni bituminose, può creare problemi di sicurezza a causa del contatto accidentale fra componenti elettrici delle attrezzature di prova e il liquido percolato



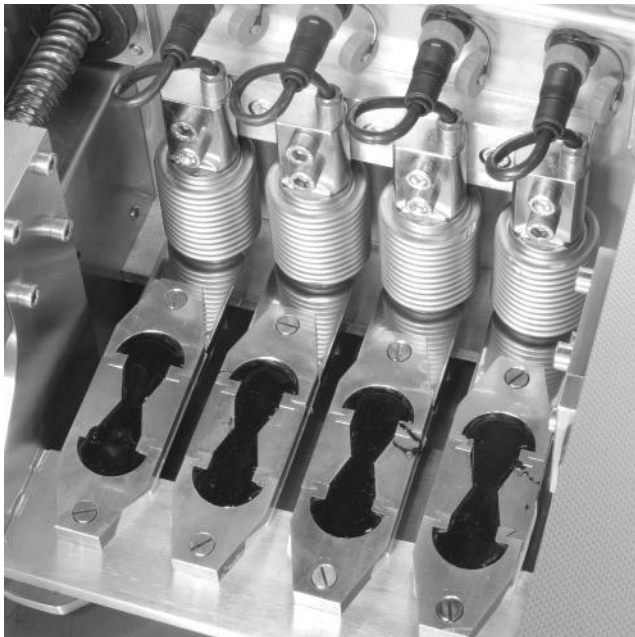
Soluzioni – Adattamento delle macchine di prova 1/2

- Sviluppo di macchine flessibili, o adattamento di quelle esistenti, adatte a materiali differenti
- Ad esempio, compattatori giratori o a rullo con sistema di raccolta del percolato per utilizzo asfalti a freddo
- Possibilità di utilizzo con materiali alternativi, come nel caso dei compattatori giratori utilizzabili anche per testare anche calcestruzzo freschi a «zero slump» secondo la norma Nordtest NT Built 427



Soluzioni – Adattamento delle macchine di prova 2/2

- Anche per i bitumi, specifiche di prova flessibili per prove con materiali con polimeri – ad esempio RTFOT con temperature di prova diverse dai 163°C standard, fino a 200°C per uso con PMB
- Prove tradizionali, come il duttilometro, aggiornabili con celle di carico per la determinazione dell'energia di deformazione secondo UNI EN 13589



Sfide future

Sfide 1/2

- Negli ultimi 20 anni, la popolarità delle prova prestazionali è aumentata per una serie di fattori, quali:
 - Maggiori conoscenze sulle proprietà dei materiali
 - Maggiore disponibilità di tecnologie di prova a costi più ridotti
 - Aumento dell'uso di materiale che richiedono l'uso di prove prestazionali per discriminare le proprietà
 - Necessità di prove che permettano di simulare cedimenti delle pavimentazioni



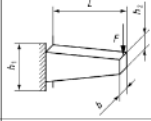
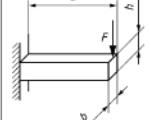
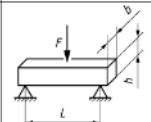
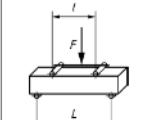
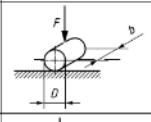
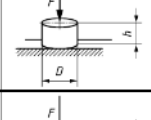
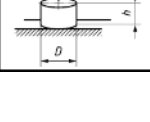
Sfide 2/2

- D'altra parte, diversi fattori limitano applicazioni su larga scala delle prove prestazionali, spesso limitate ad applicazioni speciali o di ricerca
- Fra questi fattori, quelli ancora da affrontare sono:
 - “Dispersione” dei metodi di prova – la singola proprietà è definita da prove multiple
 - Carenza di Specifiche Tecniche prestazionali condivise



Dispersione dei metodi di prova 1/3

- Al contrario di diverse prove meccaniche, la maggior parte delle proprietà prestazionali può essere misurata con metodi alternativi
- Ad esempio, la norma UNI EN 12697 per la prova di rigidezza include 6 metodi alternativi (in realtà 7) per misurare lo stesso parametro
- Allo stesso tempo, non è sempre disponibile una correlazione fra la stessa proprietà misurata con le diverse configurazioni

Type of loading	Form factor, γ mm^{-1}	Mass factor, μ (g)
	$\frac{12L^3}{b(h_2 - h_1)^3} \left[\left(2 - \frac{h_2}{2h_1} \right) \frac{h_2}{h_1} - \frac{3}{2} - \ln \frac{h_2}{h_1} \right]$	0,135 M + m
	$\frac{4L^3}{bh^3}$	$\frac{M}{4} + m$
	$\frac{24L^3}{\pi^3 bh^3} = \frac{L^3}{4bh^3}$	$\frac{M+m}{2}$
	$\frac{L^2 A}{bh^3} \left(\frac{3}{4} - \frac{A^2}{L^2} \right) a$	$R(X) \left(\frac{M}{\pi^4} + \frac{m}{R(A)} \right) a$
	$\frac{1}{b} \cdot (\nu + 0,27)$	-
	$\frac{4lh}{\pi D^2}$	$\frac{M}{2} + m$
	1	0

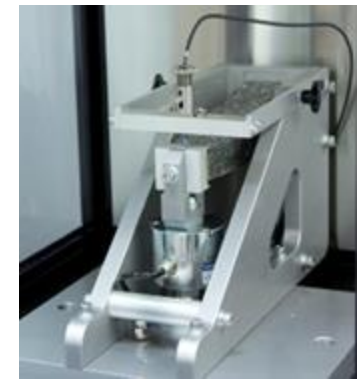
Dispersione dei metodi di prova 2/3

- Inoltre, diverse normative internazionali, come ASTM, AASHTO o le Norme Europee, definiscono spesso metodi differenti per misurare le stesse proprietà
- Come risultato, diverse zone geografiche, anche nella stessa regione, usano metodi differenti per definire la stessa proprietà, e questo limita una condivisione di conoscenze, esperienze e tecnologie



Dispersione dei metodi di prova 3/3

- In Europa è in atto un processo di revisione dei CPR (Regolamento per i Prodotti per Costruzioni) e, fra le nuove linee guida, c'è quella di definire le proprietà con un unico metodo, o metodi correlati
- Per il futuro sono possibili due strade:
 - La selezione e riduzione dei metodi alternativi per definire la stessa proprietà
 - Lo sviluppo di correlazioni fra metodi di prova alternativi, per permettere l'uso di configurazioni multiple



Mancanza di specifiche tecniche 1/7

- Probabilmente collegato al precedente argomento, un altro problema è la carenza di specifiche tecniche prestazionali di riferimento
- Al contrario delle prove sui bitumi, dove – negli Stati Uniti – il Superpave Performance Grading (PG) ha creato una base condivisa per la classificazione prestazionale dei leganti, un progetto analogo è mancato per i conglomerati, o limitato al Mix Design volumetrico.
- In Europa solo singoli Stati hanno capitolari che includono solo parzialmente le prove prestazionali come strumento di verifica



Mancanza di specifiche tecniche 2/7

- Il National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) ha cercato di affrontare il problema con un Task Group dedicato, e il risultato è stato la definizione dell'impianto del Balanced Mix Design (BMD)
- Il BMD è definito da AASHTO PP105, pubblicata nel 2020, come «un Mix Design utilizzando prove prestazionali su provini opportunamente condizionati che affrontano molteplici modalità di ammaloramento prendendo in considerazione l'invecchiamento della miscela, il traffico, il clima e la posizione dello strato
- Uno degli obiettivi del BMD è la durabilità sia alla fessurazione che all'ormaiamento



Mancanza di specifiche tecniche 3/7

- Balanced Mix Design include al momento 4 approcci alternativi
- Gli approcci del BMD variano dal livello A a D, da un modello più conservativo a uno meno conservativo e potenzialmente più innovativo
- Il livello A è caratterizzato da un OBC (Optimal Binder Content) definito dal tradizionale Mix Design volumetrico, quindi validato con prove prestazionali a fessurazione e ormaiamento
- Al contrario, il livello D è caratterizzato da una scelta delle proporzioni dei componenti definita esclusivamente a prove prestazionali, e analisi volumetriche non sono incluse

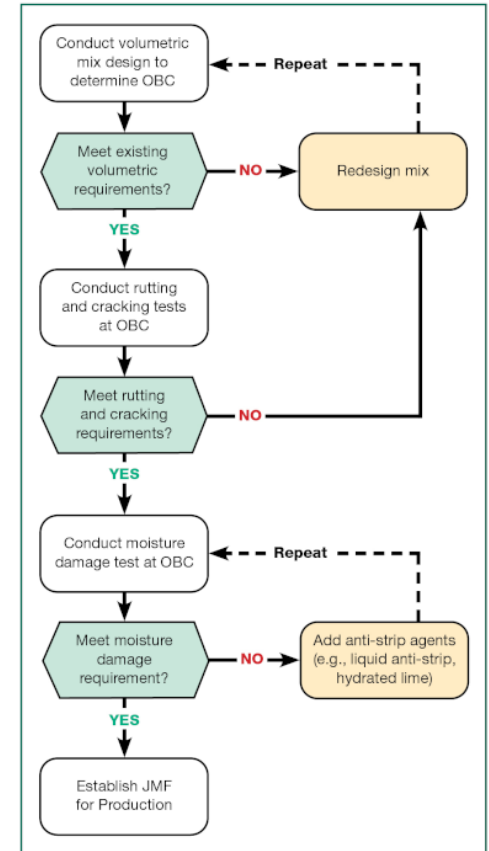


Figure 1. Graphical Illustration of the Volumetric Design with Performance Verification Approach (Approach A)

Mancanza di specifiche tecniche 4/7

- La procedura di Balanced Mix Design include prove per determinare sia il comportamento a fessurazione che ormaiamento
- Prove e criteri sono definiti nella norma AASHTO MP46, anche se la versione attuale (2022) non include le soglie raccomandante per tutte le prove
- Le attuali specifiche di BMD includono 7 metodi alternativi per l'ormaiamento e 14 per la fessurazione

Standard Specification for

Balanced Mix Design

AASHTO

AASHTO Designation: MP 46-22¹

Technically Revised: 2022

Technical Subcommittee: 2d, Proportioning of Asphalt-Aggregate Mixtures

1. SCOPE

- 1.1. This specification for balanced mix design uses volumetric and/or performance-based/related test results to produce job-mix formulas for asphalt mixtures.
- 1.2. This standard specifies minimum performance testing requirements for balanced design of asphalt mixtures.
- 1.3. *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety concerns associated with its use. It is the responsibility of the user of this procedure to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. REFERENCED DOCUMENTS

- 2.1. *AASHTO Standards:*
 - PP 105, Balanced Design of Asphalt Mixtures
 - T 246, Resistance to Deformation and Cohesion of Hot Mix Asphalt by Means of Hveem Apparatus
 - T 283, Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage
 - T 320, Determining the Permanent Shear Strain and Stiffness of Asphalt Mixtures Using the Superpave Shear Tester
 - T 321, Determining the Fatigue Life of Compacted Asphalt Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending
 - T 322, Determining the Creep Compliance and Strength of Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Indirect Tensile Test Device
 - T 324, Hamburg Wheel-Tracking Testing of Compacted Asphalt Mixtures
 - T 340, Determining Rutting Susceptibility of Hot Mix Asphalt (HMA) Using the Asphalt Pavement Analyzer (APA)
 - T 378, Determining the Dynamic Modulus and Flow Number for Asphalt Mixtures Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT)
 - T 393, Determining the Fracture Potential of Asphalt Mixtures Using the Illinois Flexibility Index Test (G-FIT)
 - T 394, Determining the Fracture Energy of Asphalt Mixtures Using the Semicircular Bend Geometry (SCB)
 - T 400, Determining the Damage Characteristic Curve and Failure Criterion Using the Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT) Cyclic Fatigue Test
 - T 401, Cantabro Abrasion Loss of Asphalt Mixture Specimens

TS-2d

MP 46-1

AASHTO

© 2022 by the American Association of State Highway and Transportation Officials.
All rights reserved. Duplication is a violation of applicable law.

Mancanza di specifiche tecniche 5/7

- Le principali prove di caratterizzazione all'ormaiamento includono:
 - AMPT Flow Number (AASHTO T378)
 - Hamburg Wheel Tracking (AASHTO T324) – anche per verificare l'effetto dell'acqua
 - Incremental Repeated-Load Permanent Deformation (iRLPD – AASHTO TP116)
 - Stress Sweep Rutting (SSR – AASHTO TP134)
 - Alcuni DOT stanno considerando anche il recente IDEAL-RT



Mancanza di specifiche tecniche 6/7

- Le principali prove di caratterizzazione alla fessurazione includono :
 - Fatica per compressione/trazione ciclica (AASHTO T400/TP107), anche su provini piccoli con diametro 38mm (AASHTO TP133)
 - Fatica per flessione ripetuta su travetto 4PB (AASHTO T321)
 - Prova SCB, metodo I-FIT (AASHTO T393/TP124) o a temperatura intermedia (ASTM D8044)
 - Prova di IDEAL-CT (ASTM D8225)
 - Prova di Texas Overlay (Tex-248-F)



Mancanza di specifiche tecniche 7/7

- Balanced Mix Design rappresenta un tentativo di creare un impianto di specifiche per il Mix Design su base prestazionale
- Si tratta di un processo ancora in corso, soprattutto per identificare le migliori procedure, prove e soglie.
- Il BMD include anche specifiche orientate al controllo di qualità
- Si tratta di una procedura limitata alle condizioni, ambientali e di traffico, americane, non ancora globale



Conclusioni 1/2

- Complessità delle macchine di prova – I nuovi sistemi elettromeccanici permettono di eseguire prove prestazionali con macchinari più semplici ed economici
- Mancanza di ripetibilità delle prove prestazionali – La nuova generazione di sistemi per la preparazione dei provini, combinata con macchine di prova aggiornate, permette di eseguire prove più ripetibili
- Complessità delle configurazione e lunga durata delle prove – Nuovi metodi di prova, con approccio più orientato al controllo di qualità e con uso di provini più piccoli, permettono di eseguire le prove prestazionali in modo più semplice e veloce

Conclusioni 2/2

- Compatibilità con materiali «innovativi» - Metodi esistenti e macchinari già utilizzati possono essere facilmente adattati a nuovi materiali con aggiornamenti minimi
- Sfide future – Un possibile uso più ampio ed efficace delle prove prestazionale passa da un miglioramento delle attuali specifiche di prova, per ridurre i metodi di prova alternativi e migliorare la correlazione fra di loro. Di conseguenza, è necessario implementare nuove Specifiche Tecniche condivise basate sull'uso di prove prestazionali



Grazie per l'attenzione

Per domande: andrea.carlessi@controls-group.com