



# XVIII INTERNATIONAL SIIV SUMMER SCHOOL Sustainable Pavements and Road Materials

Università degli Studi di Napoli Parthenope  
Villa Doria d'Angri, Napoli, September 5<sup>th</sup>-9<sup>th</sup> 2022



## Le prove prestazionali sui conglomerati bituminosi

5-9

SEP  
TEM  
BER

Università di Napoli Parthenope

.22



Andrea Carlessi





Queste  
strade vi  
sembrano  
familiari?

# Costi di una progettazione scadente

- Ammaloramento prematuro della strada – riparazione o ricostruzione
- Alti costi di manutenzione
- Aumento dei ritardi per traffico – conseguenze economiche
- Aumento dell'incidentalità
- Aumento del consumo e del deterioramento dei veicoli
- Allocazione poco efficiente delle risorse disponibili

# Perché fare le prove?

- Determinare il comportamento della pavimentazione a:
  - Ormaiamento
  - Fessurazione – fatica e termica
- Caratterizzare i materiali
- Progettare la struttura stradale
- Verificare la conformità



# Le prove tradizionali – semplici ma limitate

- Le prove tradizionali forniscono informazioni limitanti sulla caratterizzazione di una miscela
- Ad esempio, in una prova Marshall:
  - Il provino è compattato con una mazza battente con 75 colpi per faccia
  - Il provino è scaldato a 60°C in un bagno termostatico
  - Il provino è rotto in una pressa Marshall per misurare:
    - **Stabilità:** il carico massimo per compressione ad una velocità di 50.8mm/min
    - **Scorrimento:** la deformazione corrispondente del provino



## Prove tradizionali

Vs

## Prove prestazionali

Le condizioni di prova sono fisse (carichi, velocità, temp.) e non sono correlate con le condizioni reali.

Le prove sono “empiriche”: non c’è correlazione diretta con il comportamento in sito della miscela

Informazioni molto limitate sul comportamento delle miscele, soprattutto se ‘innovative’.

Le prove possono essere eseguite con **un’ampia gamma di frequenze e temperature** per simulare l’effetto delle **condizioni ambientali e del traffico**

Le prove sono “**prestazionali**”: i parametri misurati possono essere utilizzati per la **progettazione stradale**.

Caratterizzazione completa del **comportamento visco-elasto-plastico** del conglomerato bituminoso.

# Bitume e leganti

- Fattori economici e globali hanno condizionato il mercato del petrolio:
  - Qualità e caratteristiche
  - Consistenza
- Polimeri, fibre e altri additivi sono aggiunti al bitume per migliorarne le caratteristiche



# Fresato e materiali marginali



Fresato d'asfalto



Materiali di recupero

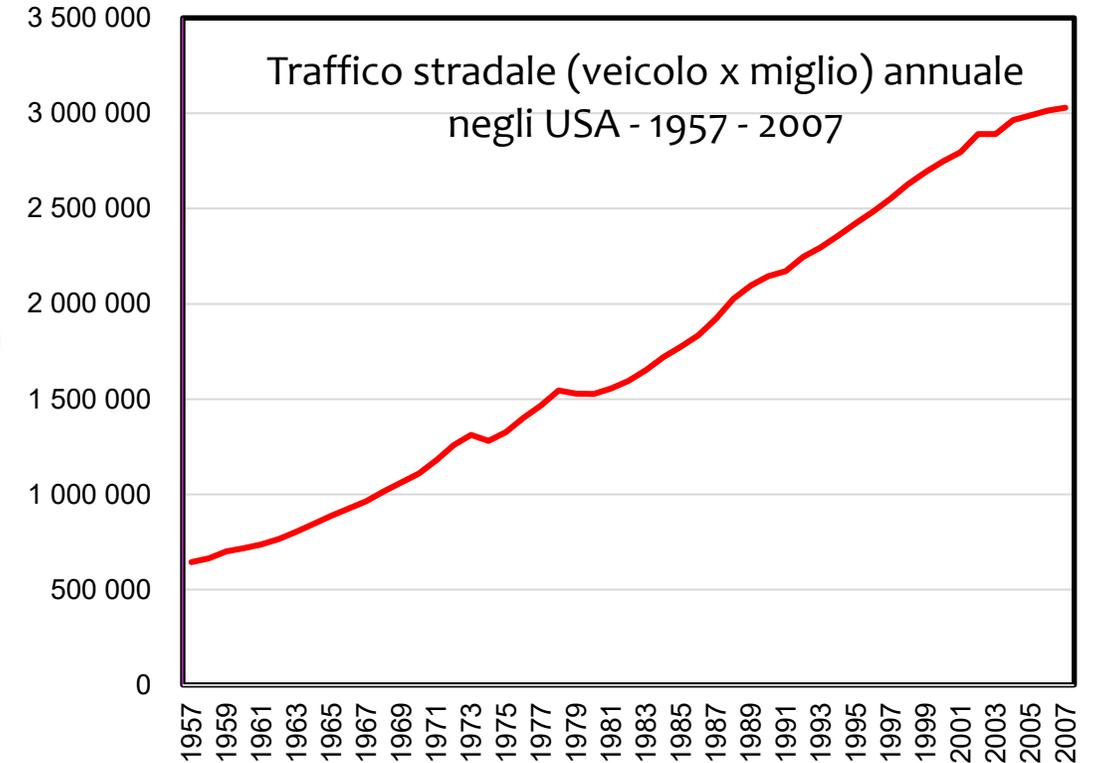


Polverino di gomma

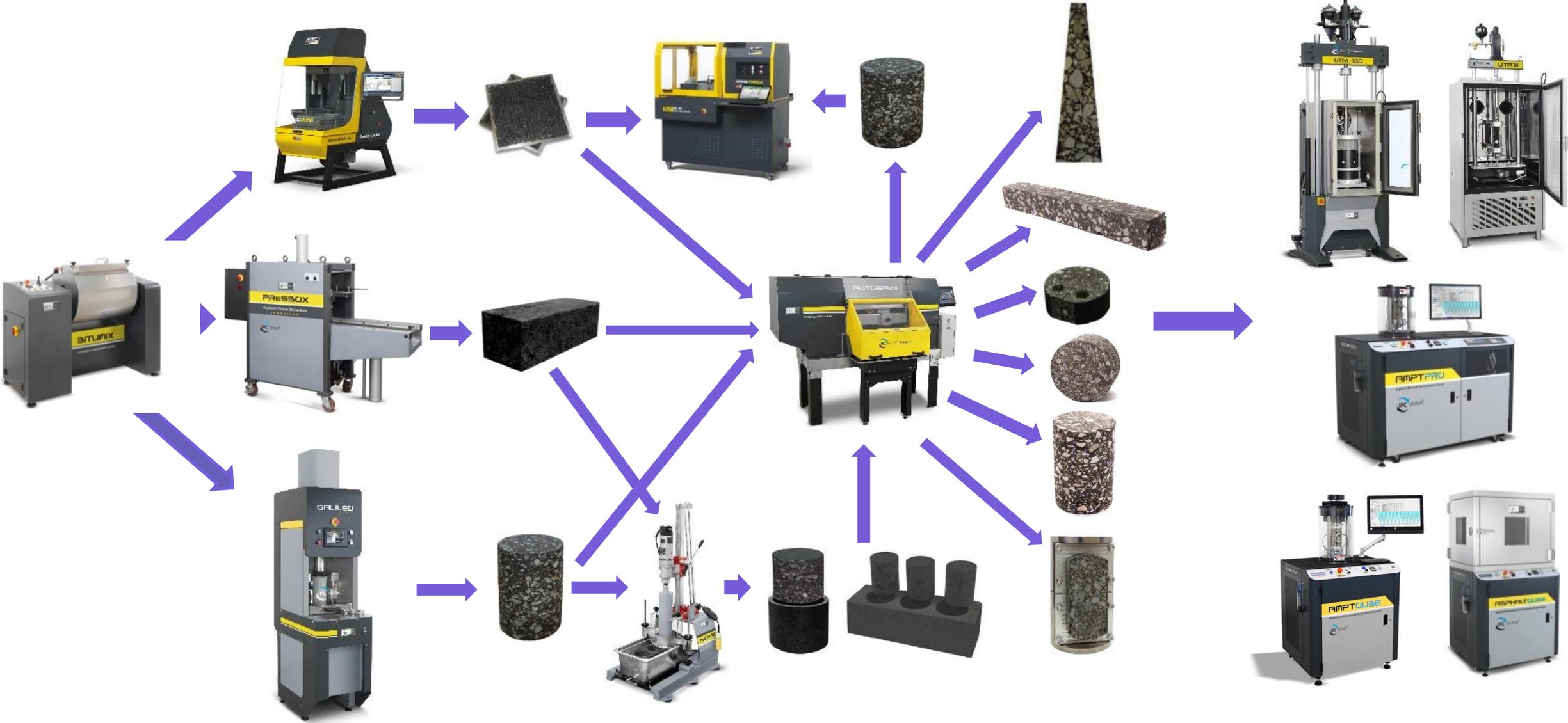
Questi materiali sono inclusi nella miscela per motivi ambientali e economici

# Variazione delle condizioni di traffico

- Negli ultimi 30 anni abbiamo assistito a:
  - Un aumento del volume di traffico
  - Un aumento dei carichi stradali
  - Un aumento percentuale del traffico pesante
- Negli Stati Uniti, la consapevolezza dell'inadeguatezza degli strumenti tradizionali di caratterizzazione dei materiali stradali, ha portato nel 1987 al lancio del programma SHRP - Superpave



# Il laboratorio prestazionale



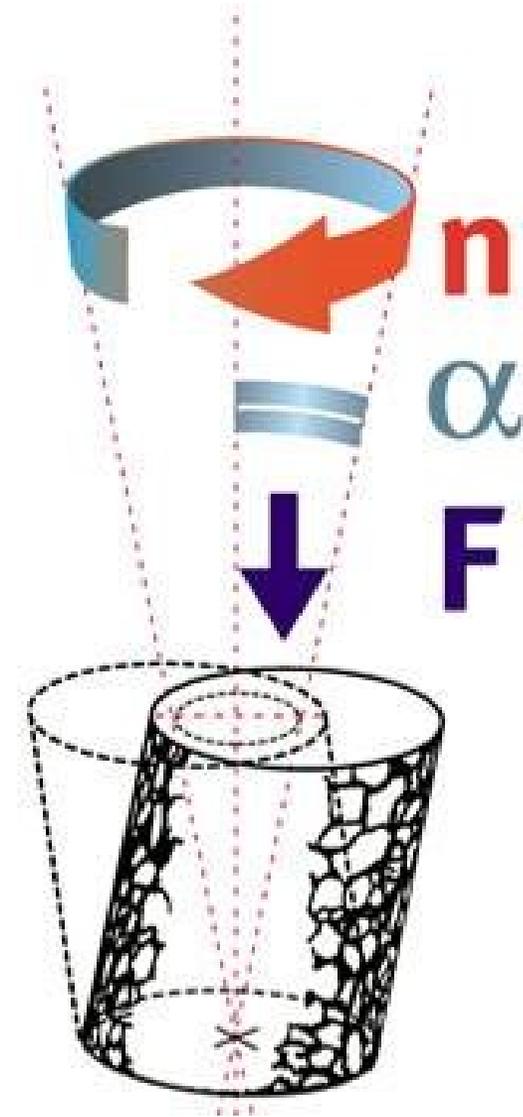
# La preparazione dei provini

La preparazione dei provini è un fattore critico per le prove prestazionali

- La corretta preparazione dei campioni di prova è un parametro fondamentale indipendentemente dal materiale e dalla complessità del sistema di prova
- Un'analisi corretta e accurata del materiale è possibile solo con provini di alta qualità
- Le prove su provini di qualità scadente produrrà risultati poco attendibili, con conseguente spreco di tempo e risorse
- La preparazione dei provini in laboratorio dovrebbe idealmente seguire le stesse procedure a cui è soggetta la pavimentazione stradale
- I provini preparati in laboratorio dovrebbero avere lo stesso orientamento degli inerti, la stessa distribuzione di vuoti e la stessa omogeneità dei provini ricavati in situ.
- Il laboratorio si dovrebbe attrezzare delle apparecchiature necessarie per la corretta preparazione di provini di buona qualità.

# Il compattatore giratorio

- Un campione di conglomerato bituminoso è compattato con doppio effetto:
  - Carico verticale statico
  - Sforzo di taglio dovuto alla fustella che ruota su asse inclinato
- La combinazione di carico e sforzo di taglio simula la compattazione in situ
- I parametri di prova sono definiti dalle normative internazionali, in particolare da UNI EN e da ASTM/AASHTO



# Vantaggi della compattazione giratoria

- La compattazione a doppio effetto simula l'effetto della compattazione in situ
- La prova prevede la misura in continuo della proprietà volumetriche della miscela
- La prova rapida e la macchina compatta rendono l'utilizzo della prova molto flessibile



# Applicazioni del compattatore giratorio

- **Verifica di conformità** della miscela alle specifiche di capitolato (ad esempio capitolato ASPI, ANAS)
- **Verifica in situ** e in tempo reale della miscela durante le operazioni di stesa
- **Procedura SuperPave di «Mix Design»** per la progettazione di miscele bituminose
- **Preparazione di provini cilindrici** per prove prestazionali, con caratteristiche volumetriche e dimensionali ottimali



# Modelli di compattatori giratori



## Gyrocomp

- Modello per il controllo di qualità, leggero e portatile
- Conforme a UNI EN e ASTM/AASHTO
- Operato ad aria compressa, permette di regolare meccanicamente carico, velocità di rotazione e angolo (fra 0.7 e 1.4°).



## Galileo

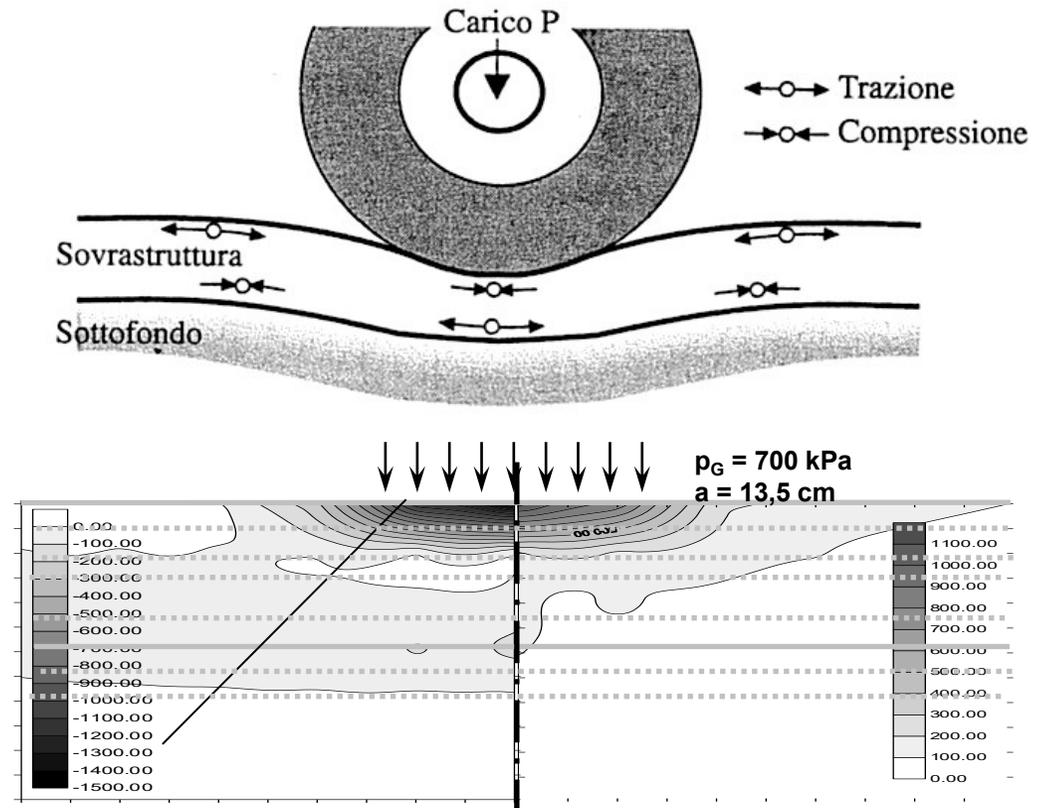
- Modello di riferimento per applicazioni sia da ricerca che controllo di qualità
- Modello completamente elettromeccanico, con controllo automatico di carico, velocità di rotazione (da 0 a 3°, in opzione)
- Non richiede compressore d'aria

# Le prove di caratterizzazione prestazionale

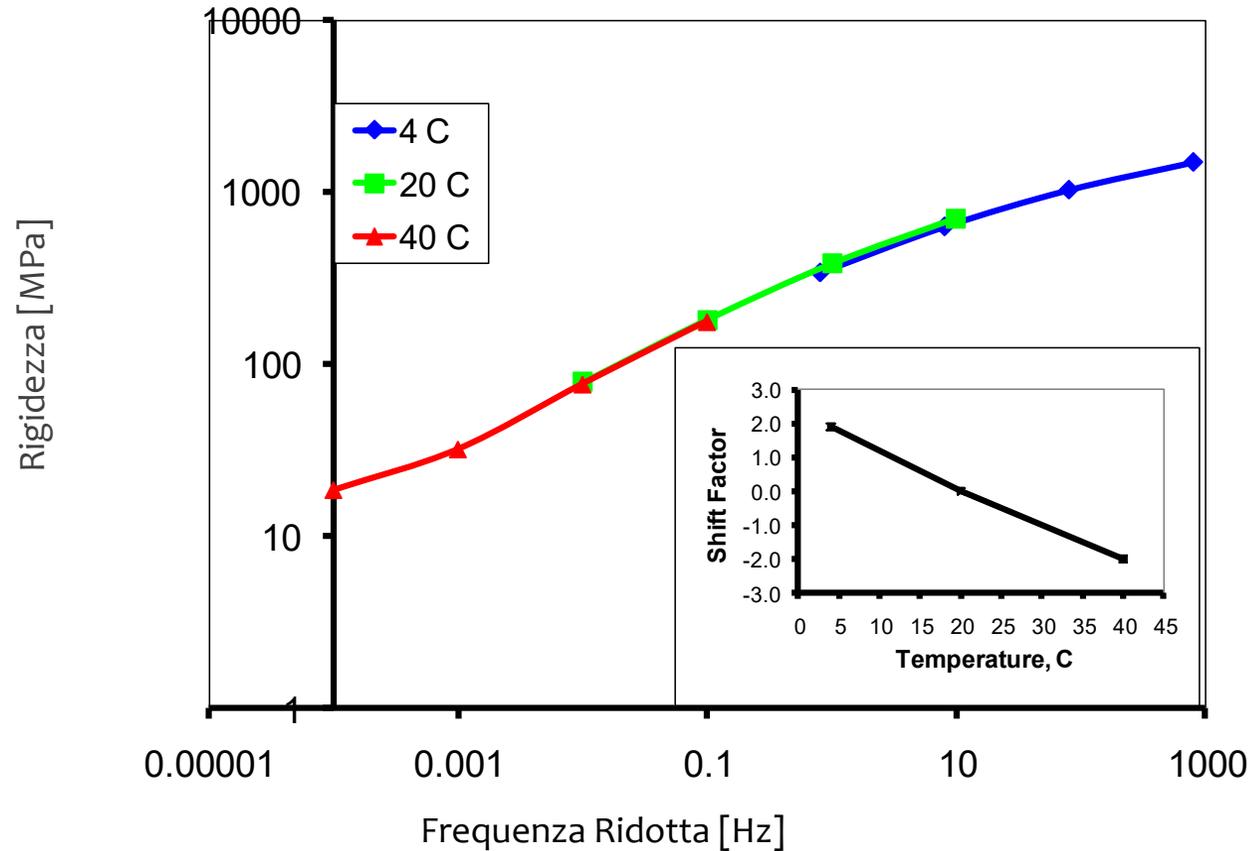


# Rigidezza

- La rigidezza di una miscela è un parametro fondamentale per il comportamento a carico/deformazione di una pavimentazione sotto effetto di carichi da traffico e temperatura.
- Le deformazioni trasferite agli strati inferiori dipendono dalla rigidezza degli strati.
- La rigidezza dipende dal materiale, e cambia con temperatura e frequenza di carico.
- L'elaborazione completa della rigidezza permette di determinare la Curva Maestra (Mastercurve).



# Elaborazione grafica della Curva Maestra

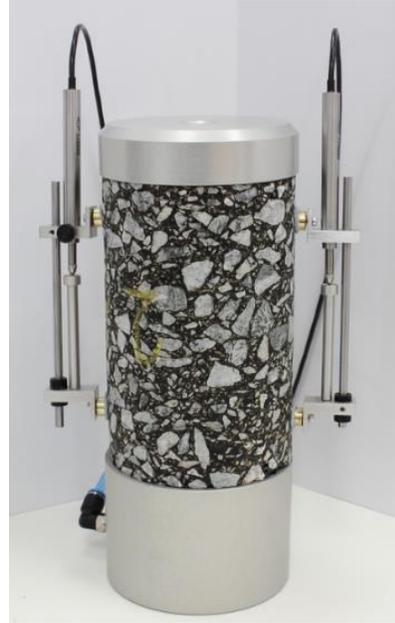


La Curva Maestra permette, tramite il principio di sovrapposizione tempo/temperatura, di stimare la rigidezza del conglomerato per ogni combinazione di frequenza e temperatura.

# Rigidezza – Configurazioni di prova



- Trazione indiretta UNI EN 12697-26C
- Campioni da 100 e 150mm compattati con pressa giratoria o ricavati da carote
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



- Compressione uniassiale AASHTO T378 o T342
- Campioni da 100 mm carotati da provini da pressa giratoria
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



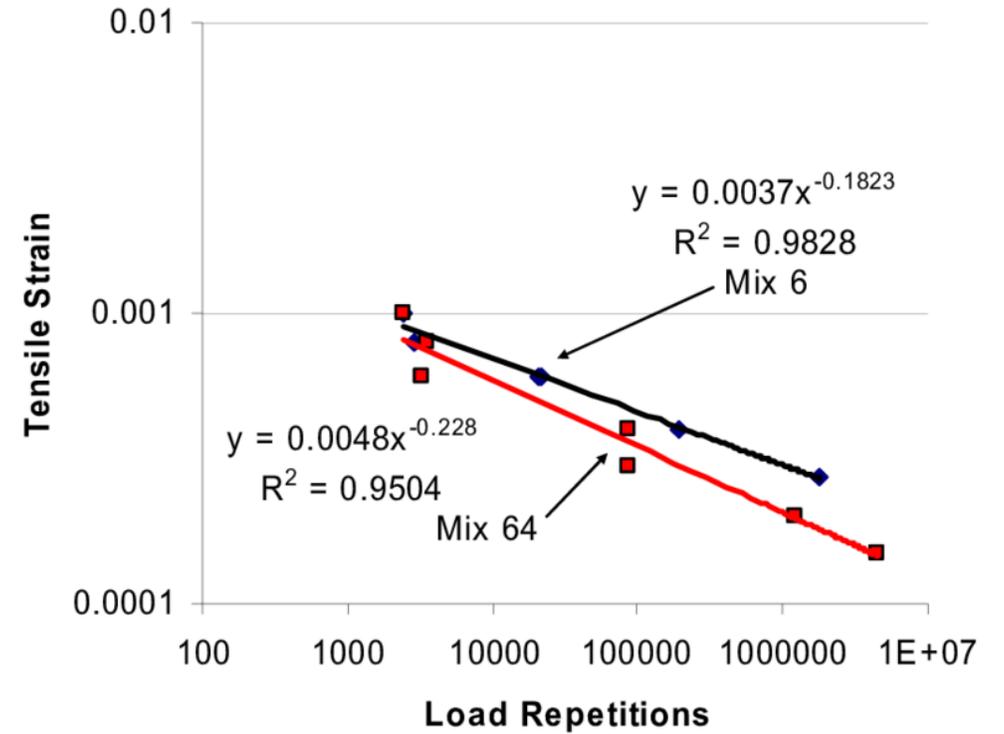
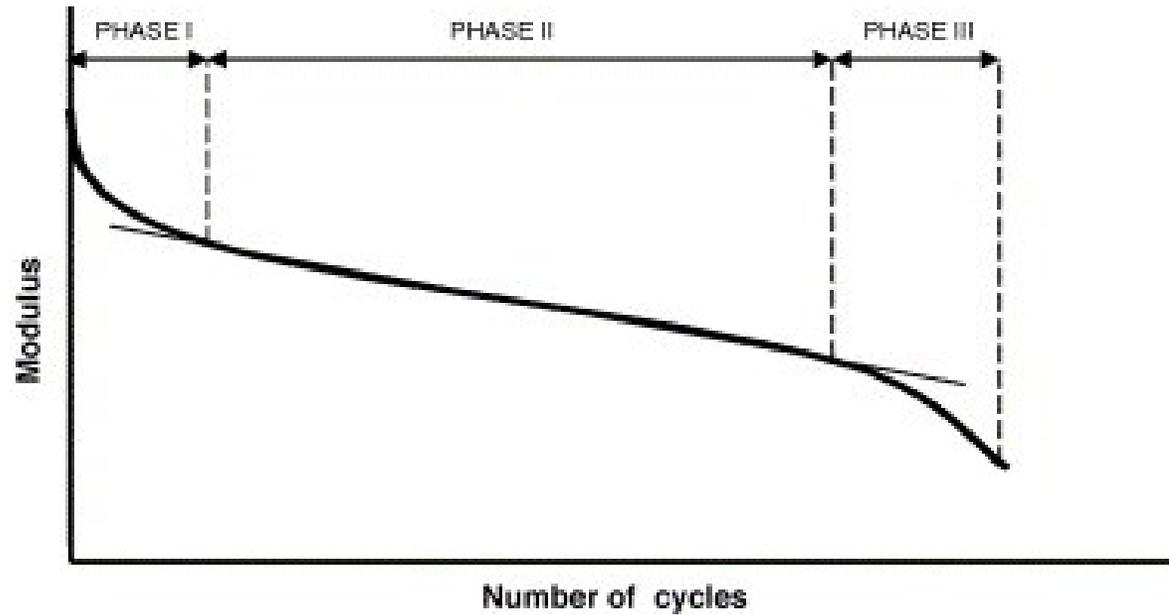
- Flessione a 4 punti secondo UNI EN 12697-26C
- Travetti ottenuti da lastre
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO

# Resistenza alla fatica

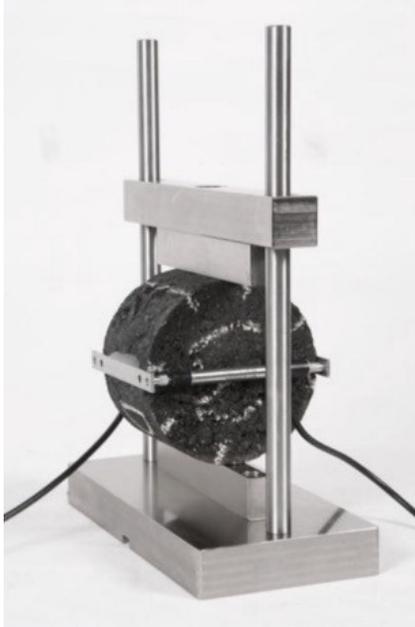
- La resistenza a fatica è la resistenza di una pavimentazione alla flessione ripetuta per effetto dei carichi da traffico.
- Il risultato del cedimento è la fessurazione a fatica, spesso chiamata fessurazione “a ragnatela”.
- Questo tipo di fessurazione avviene quando la pavimentazione è stata sollecitata oltre i propri limiti dalla ripetizione dei carichi.



# Risultato grafico di prove di fatica



# Fatica – Configurazioni di prova



- Trazione indiretta UNI EN 12697-24E
- Campioni da 100 e 150mm compattati con pressa giratoria o ricavati da carote
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



- Compressione/trazione uniaassiale AASHTO T400/TP107
- Campioni da 100 mm carotati da provini da pressa giratoria
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



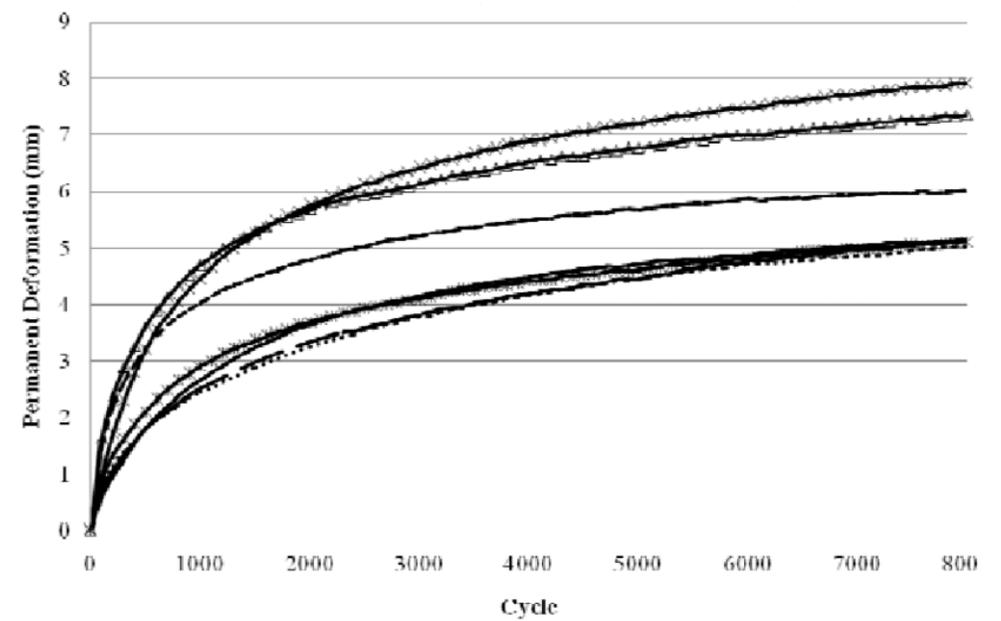
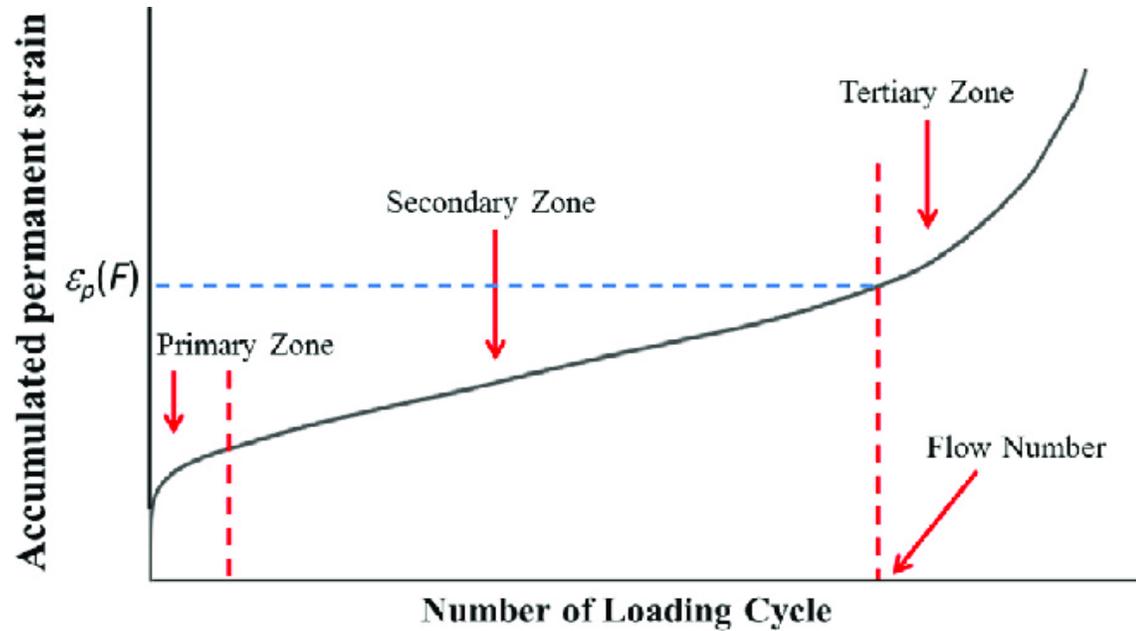
- Flessione a 4 punti secondo UNI EN 12697-24D
- Travetti ottenuti da lastre
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO, o strumento indipendente

# Resistenza all'ormaiamento – deformazione permanente

- L'ormaiamento (o deformazione permanente) è il risultato dell'accumulo di piccole deformazioni non recuperabili dovute ai carichi ripetuti applicati alla pavimentazione stradale.
- La resistenza all'ormaiamento è garantita dalla progettazione e costruzione di una pavimentazione stabile che non si deformi o subisca ormaie sotto traffico, in grado di mantenere la sua forma e regolarità.
- Una pavimentazione “instabile” sviluppa ormaie, increspature o altri segni di deformazione.



# Risultato grafico di prove di ormaiamento



# Ormaiamento / Deformazione permanente – Configurazioni di prova



- Prova di ormaiamento UNI EN 12697-22
- Lastre compattate in laboratorio
- Macchina indipendente



- Compressione uniassiale UNI EN 12697-25 A1
- Campioni da 150 mm da pressa giratoria o da carote
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



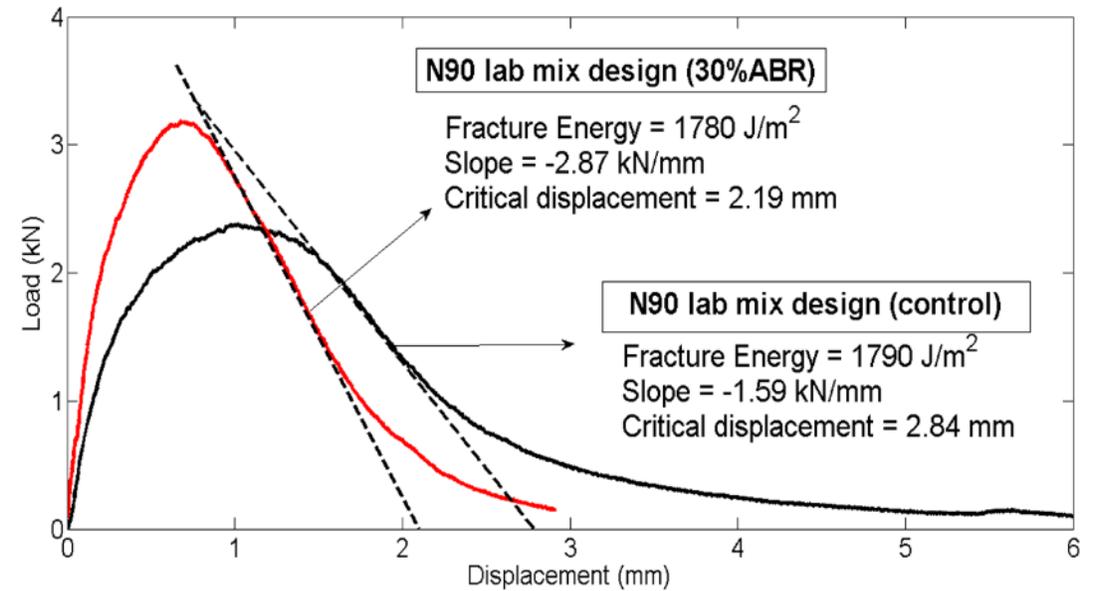
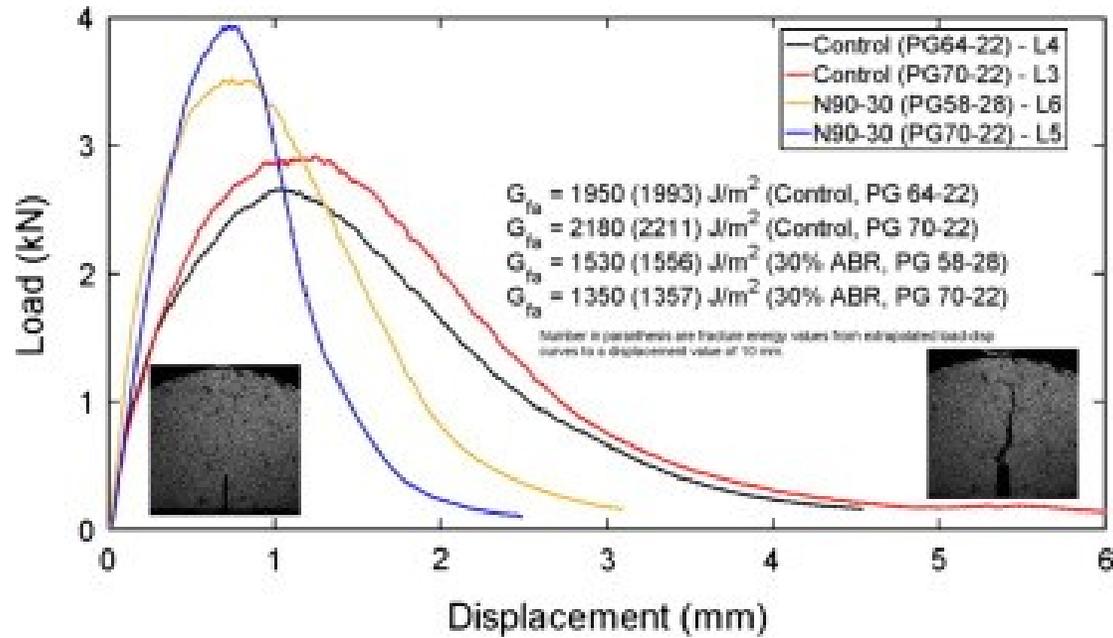
- Compressione triassiale UNI EN 12697-25 B
- Campioni da 100 o 150 mm da pressa giratoria o da carote
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO

# Resistenza alla propagazione di fessura

- Una serie di metodi di prova più recenti permettono di valutare la capacità di un conglomerato di resistere alla propagazione di una fessura.
- La resistenza è associata alla misura dell'energia necessaria per questa operazione.



# Risultato grafico di prove di propagazione di fessura



# Propagazione di fessura – Configurazioni di prova



- Flessione su provino semi-circolare UNI EN 12697-44, AASHTO T393
- Provino da 150mm segato a metà
- Disponibile su UTM-30, AsphaltQube, AsphaltQube PRO o pressa statica da 50kN



- Trazione diretta ASTM D7313
- Provino ricavato da provino 100mm, con intaglio e forature
- Disponibile per UTM-30 e AsphaltQube Pro

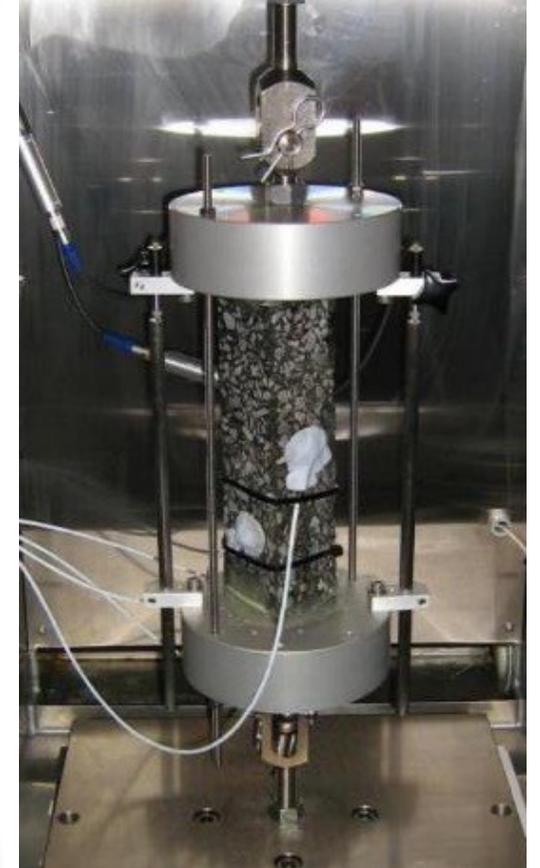


- Trazione indiretta 'IDEAL-CT'/ CT-Index ASTM D8225
- Provino da 150mm con spessore note
- Disponibile su UTM-30, AsphaltQube, AsphaltQube PRO o pressa statica da 50kN

# Altre proprietà

Le norme prevedono la possibilità di misurare altri parametri, come:

- Adesione fra strati con il metodo Leutner (UNI EN 12697-48)
- Fessurazione termica (UNI EN 12697-46)



# Le macchine per prove prestazionali



Macchina ormaiola



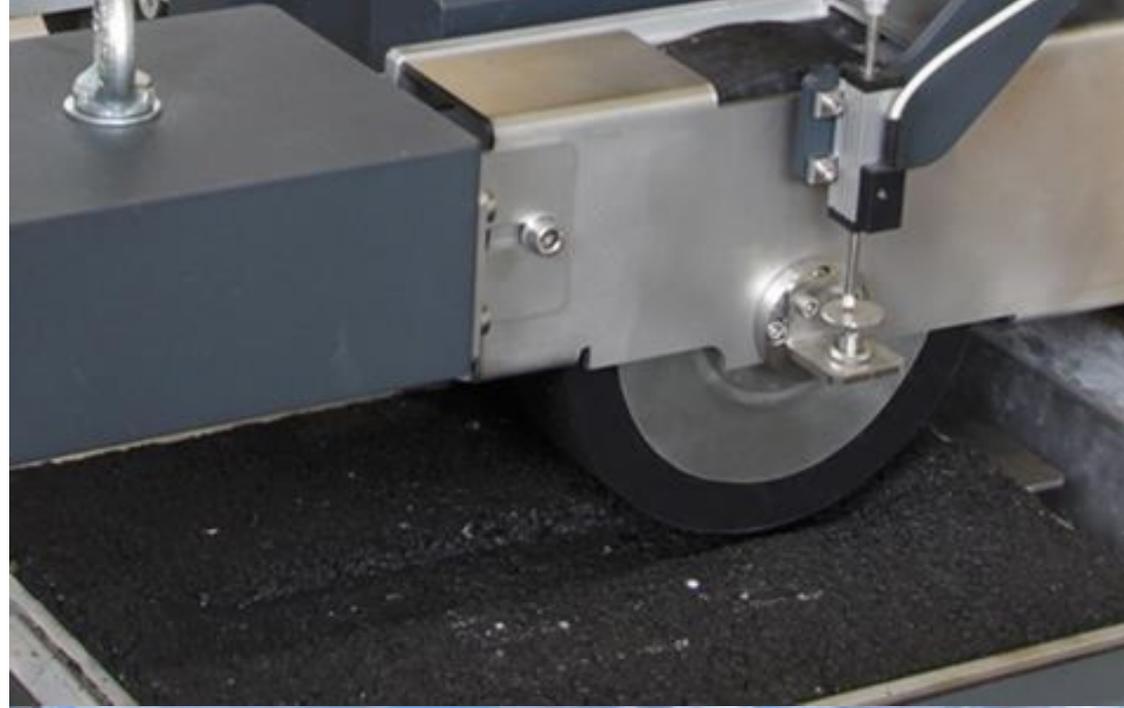
Macchina dinamica universale UTM-30



Macchine dinamiche compatte AsphaltQube

# La prova di ormaiamento

- Una ruota gommata applica un carico su una lastra di conglomerato con movimento alternato
- La prova rappresenta una simulazione diretta del processo di formazione dell'ormaia
- La prova permette di prevedere il comportamento a ormaiamento di una miscela



# Macchina ormaiola a doppia ruota

- Permette l'esecuzione di due prove contemporaneamente, come richiesto dalle norme di riferimento per la caratterizzazione di una miscela
- Permette di controllare la temperatura di prova in aria o, in alternativa, in acqua
- Controllo della prova completamente automatica da PC portatile incluso
- Pienamente conforme a UNI EN 12697-22, ed inclusa nella marcatura CE secondo UNI EN 13108-20



# Macchina dinamica UTM-30

- Un sistema dinamico ad alte prestazioni sviluppato per la ricerca sulle pavimentazioni stradali
- Un sistema flessibile:
  - Adatto a prove sia su materiali legati sia su sottofondi stradali non legati
  - Dotato di un attuatore servo-idraulico con un carico massimo di 30kN, permette di eseguire prove che eccedono i requisiti delle norme
  - Possibilità di aggiornare il sistema con ulteriori moduli di prova
- Un sistema completo:
  - Permette la gamma più ampia di applicazioni possibili
  - Può essere completata con una camera a temperatura controllata con temperature fino a -50 e +80°C
- Una sistema per eseguire tutte le prove dinamiche disponibili



# Macchine dinamiche compatte AsphaltQube

- **Semplici** – L'azionamento elettromeccanico le rende semplici da utilizzare, da mantenere, compatte e silenziose.
- **Modulari** – Possono essere facilmente configurate per eseguire diverse prove dinamiche secondo differenti normative
- **Completamente integrate** – Tutti i componenti, inclusi il controllo della eventuale cella triassiale, sono integrati nella macchina
- **Compatte** – Adatta anche ai laboratori più piccoli
- **Complete** – La macchina include un attuatore elettromeccanico EmS da 15kN o da 30kN ed una camera per il controllo della temperatura
- Una sistema dinamico per eseguire le principali prove dinamiche sui conglomerati bituminosi o misti granulari (solo 30kN)



# AsphaltQube – Macchina dinamica compatta da 15kN

## Sistema termoelettrico di controllo della temperatura

Disponibile in due versioni, una per temperature positive (+2 +60°C) e una in grado di coprire anche le negative (-10 +60°C)

## Facile e versatile

Permette il collegamento di 8 trasduttori e celle di carico intercambiabili con condizionatori di segnale “plug & play”

## Tecnologia EmS

Il rivoluzionario attuatore elettromeccanico permette di applicare 15kN con la sola alimentazione monofase, senza rumore e senza la necessità di olio o aria compressa



## Chiarezza nei risultati

Include il rinomato controller IMACS2

## Compressore integrato

Disponibile come accessorio per il controllo della pressione di confinamento in cella triassiale

# AsphaltQube PRO – Macchina dinamica compatta da 30kN

## Nuova gamma di camere a temperatura controllata modulari

Le nuove camere, disponibili con una gamma da  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$ , sono facili da installare e mantenere in efficienza grazie a una costruzione modulare in due pezzi. Un sensore di temperatura regolabile situato vicino al provino garantisce la precisione della temperatura di prova. La temperatura fissa o la rampa possono essere impostate dal software UTS Neutron.

## Nuovo attuatore EmS da 30kN

Il nuovo attuatore utilizza una vite a ricircolo di sfere che fornisce una forza dinamica di 30 kN senza giochi su una corsa di 100 mm, con rumore minimo. Alimentato dalla tecnologia EmS, il nuovo attuatore non richiede pompe idrauliche e mantiene pulito il tuo laboratorio.



## Telaio di contrasto regolabile

Motorizzato e controllato dal software o dal joystick frontale, permette di regolare facilmente la luce verticale in base alla prova. Il telaio di reazione è realizzato in acciaio per garantire la rigidità meccanica del sistema e migliorando l'allineamento verticale del carico.

## Facile installazione e controllo

Tutti i trasduttori di prova, la linea di pressione per cella triassiale e i motori di serraggio per flessione a quattro punti sono collegati direttamente al rack all'interno della camera a temperatura controllata. Il controllo di AsphaltQube30 EmS è effettuato da IMACS2, che garantisce un controllo senza pari soprattutto se utilizzato con il nuovo software UTS Neutron.

# IMACS2 - La terza generazione di controller integrato multi-asse (IMACS)



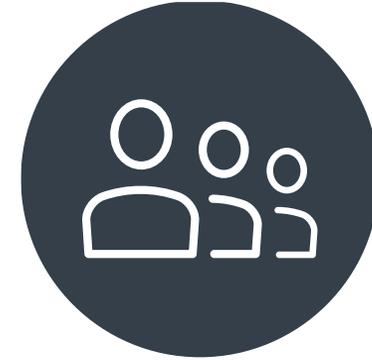
# UTS Neutron – Software di controllo e analisi per prove dinamiche



**UN SOFTWARE**  
con interfacce  
personalizzabili a  
seconda delle  
necessità di  
prova



**TRE LIVELLI DI LICENZA**  
per adattarsi a tutti gli usi:  
prove secondo la norma,  
prove definite dall'utente,  
prove completamente  
personalizzate



**ACCESSO CONFIGURABILE**  
per ogni tipo di utente, ad  
esempio Laboratorista,  
Responsabile del  
laboratorio, Ricercatore

# UTS Neutron – Lingua personalizzabile

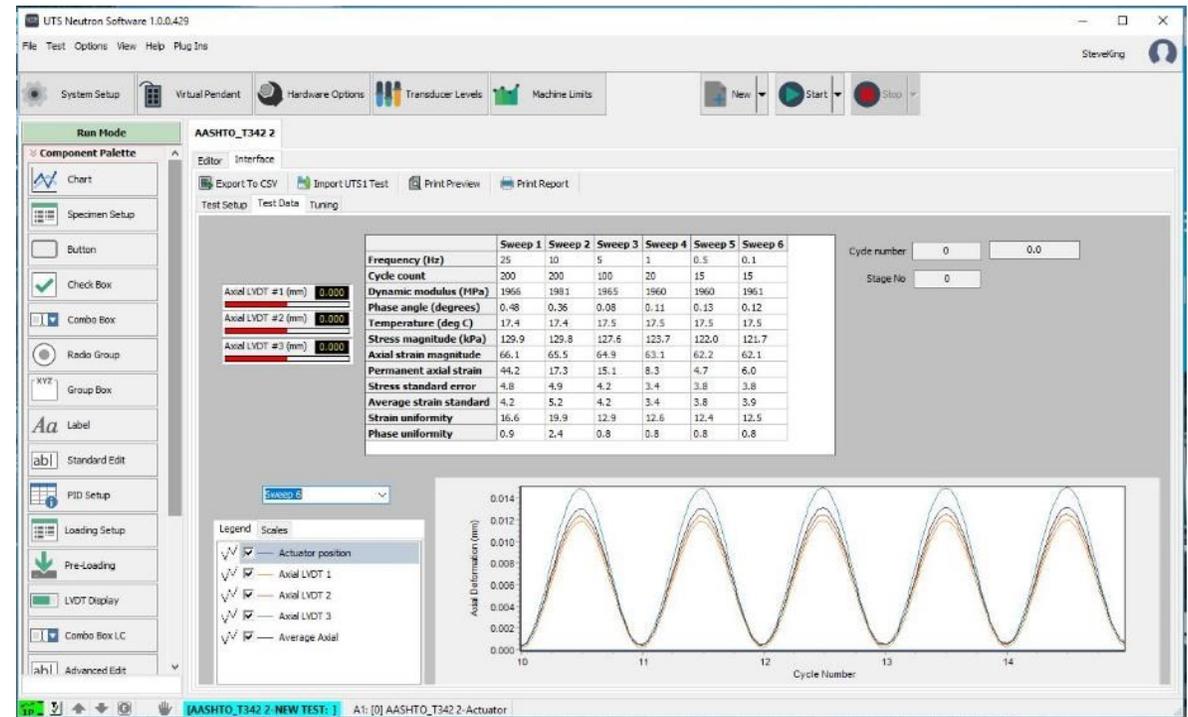
UTS Neutron è disponibile in differenti lingue, e include la possibilità di personalizzare la lingua



# UTS Neutron Essential – Prove secondo le norme UNI EN, ASTM, AASHTO

## Prove di conformità secondo UNI EN / ASTM

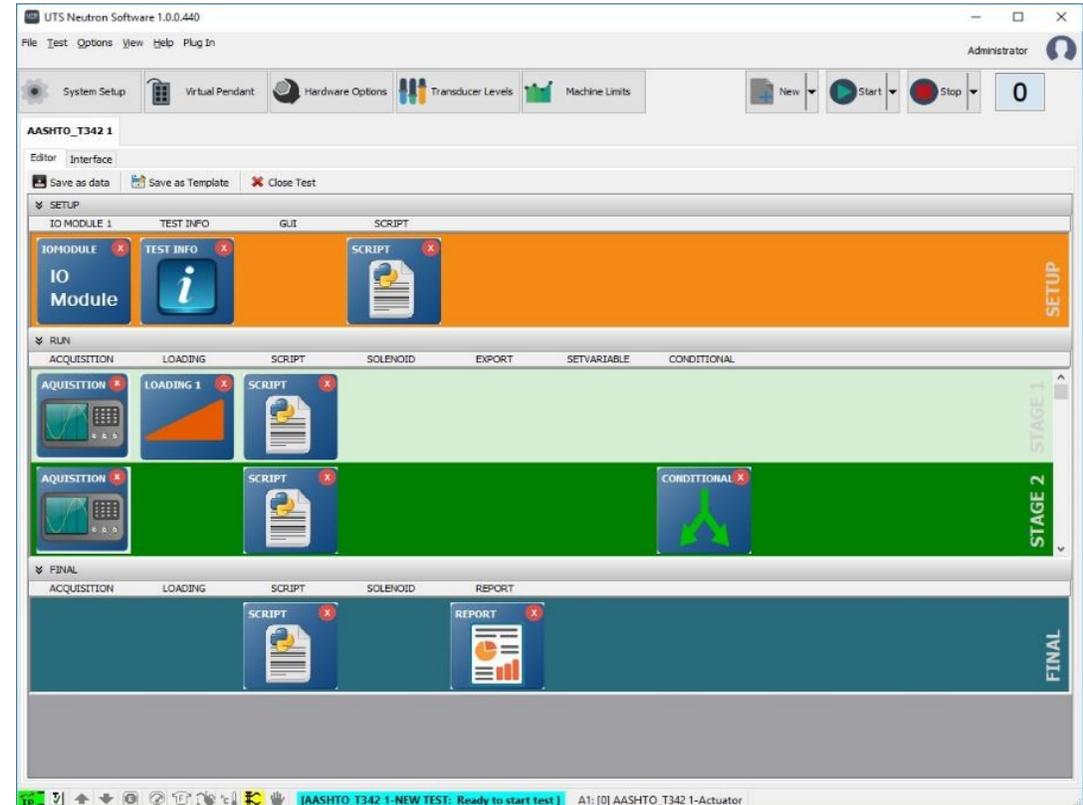
- Interfaccia simile al precedente software UTS ma più facile e intuitiva
- Archivio di moduli di prova precompilati secondo le principali normative
- Incluso in tutte le macchine dinamiche IPC Global
- Progettato per l'esecuzione in maniera semplice e veloce di prove di conformità
- Multi-lingua – disponibile in Italiano
- Il software può importare i dati generati dai precedenti software UTS
- Possibilità di personalizzare il report di prova



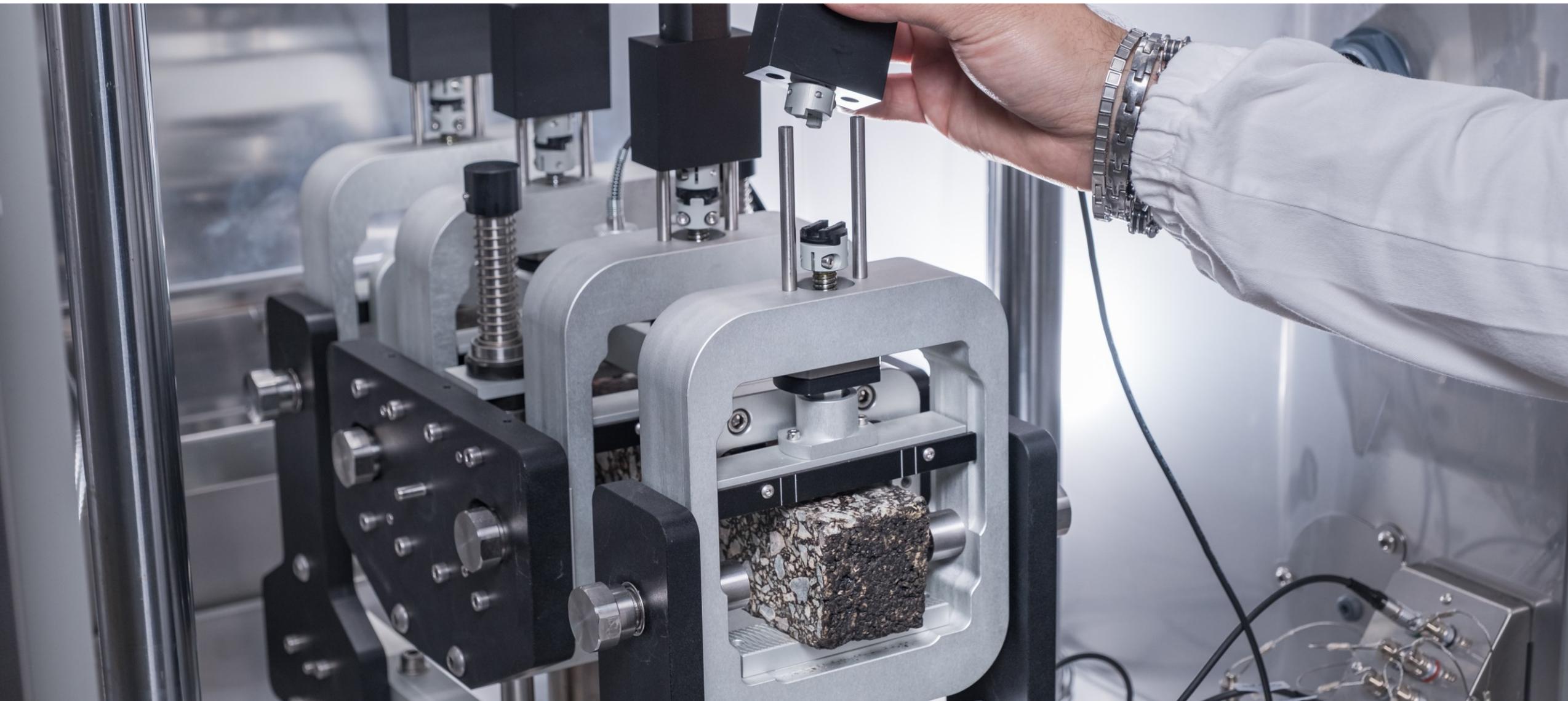
# UTS Neutron Performance – Editor grafico di prove

Per prove di ricerca. Include:

- Un editor grafico per la creazione passo-passo di una prova
- Possibilità di modificare e salvare nuove sequenze di prova
- Modalità ‘Wizard’ per la creazione semplificata di una prova
- Modifica della sequenza di prova con editor ‘drag & drop’

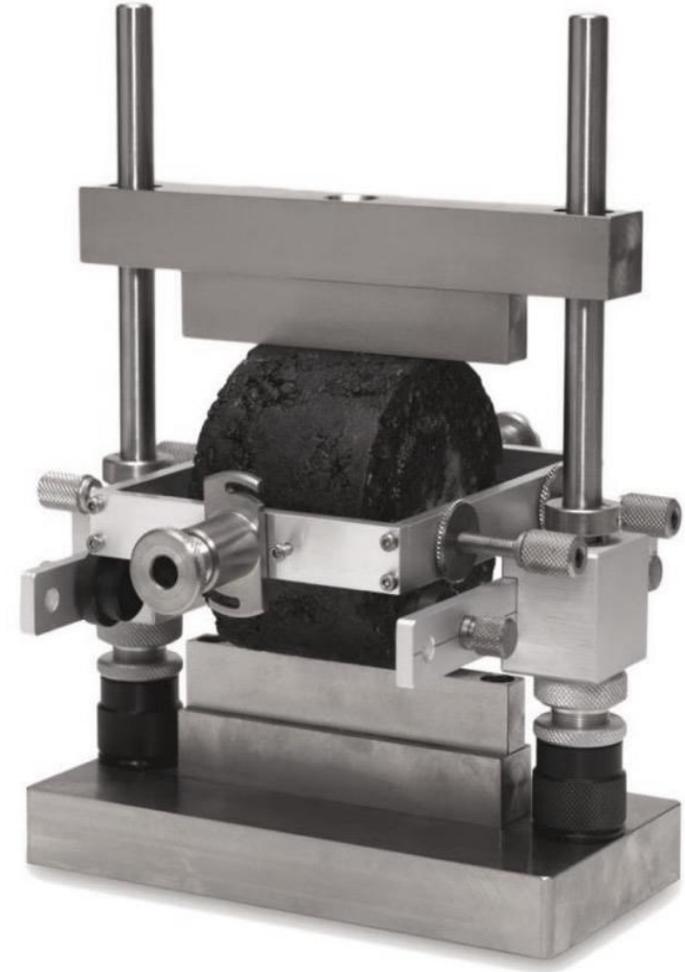


# Gli accessori per prove dinamiche



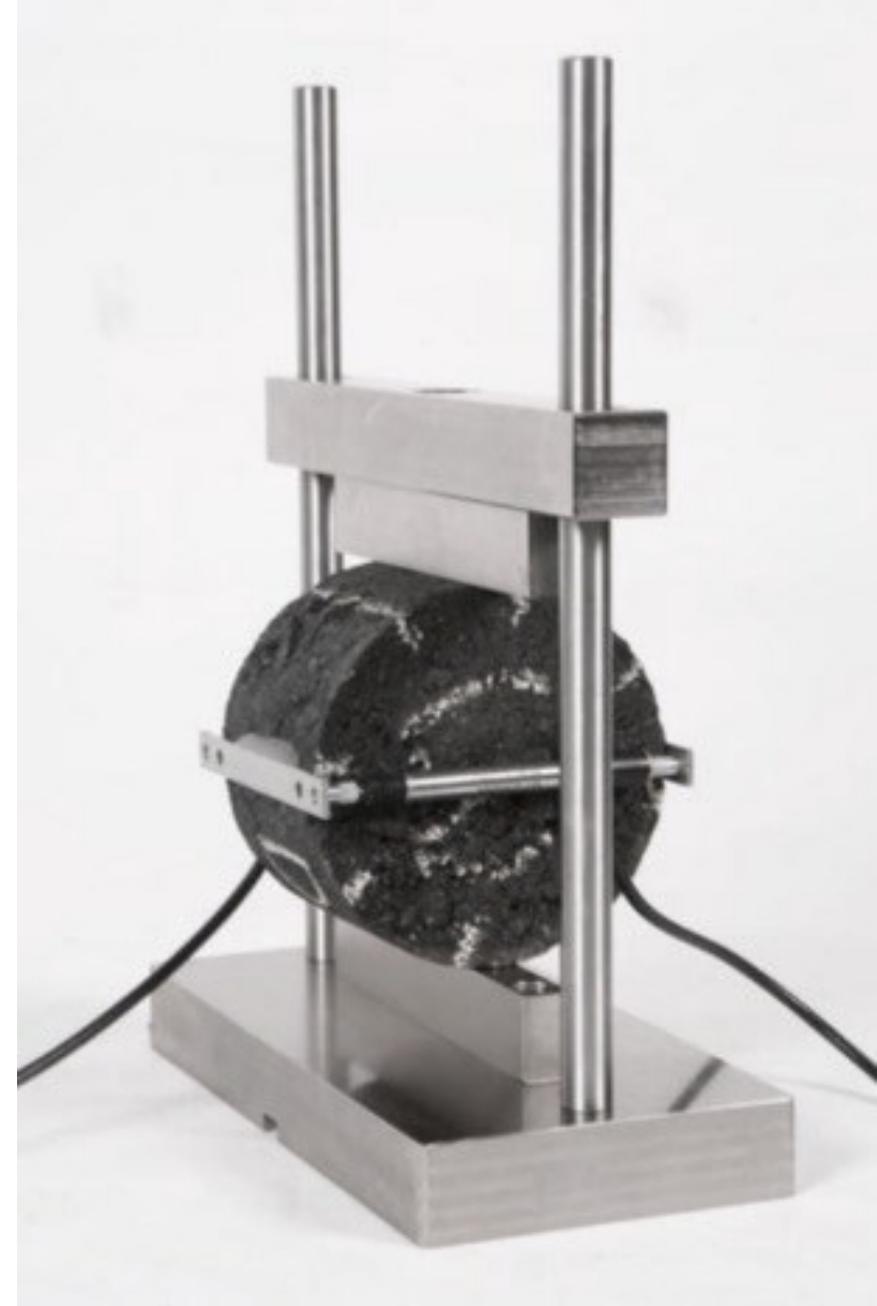
# Prova di modulo per trazione indiretta

- La prova dinamica più diffusa in Italia, inclusa nella Marcatura CE e nei capitolati sperimentali (TAV,...)
- Conforme a UNI EN 12697-26C, ASTM D4123 e AASHTO TP31
- Possibilità di eseguire prove su campioni da 100 e 150mm compattati con pressa giratoria o ricavati da carote
- La principale prova per il calcolo strutturale e il dimensionamento della sovrastruttura stradale
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



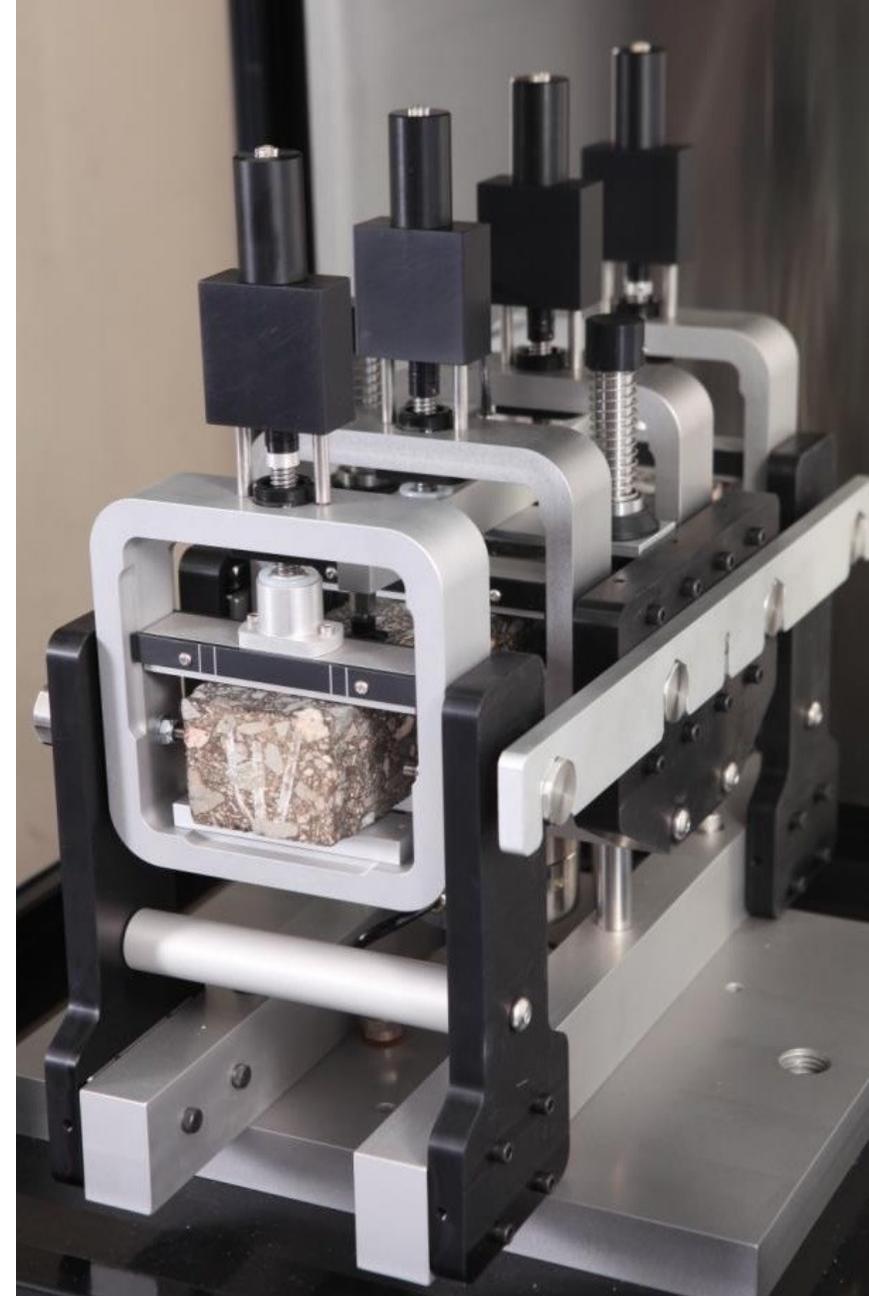
# Prova di fatica per trazione indiretta

- La prova più diffusa in Italia per determinare il comportamento a fessurazione a fatica delle miscele stradali
- Conforme a UNI EN 12697-24 Annesso E
- Possibilità di eseguire prove su campioni da 100 e 150mm compattati con pressa girettoria o ricavati da carote
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



# Prova di fatica per flessione su travetto

- La prova più diffusa al mondo per determinare il comportamento a fessurazione a fatica delle miscele stradali
- Conforme a UNI EN 12697-24D, 12697-26C, ASTM D8237 e AASHTO T321
- Permette di eseguire la prova su travetti da 60x60 o 70x70mm, compattati con compattatori di lastre o ricavati dalla pavimentazione
- Completo di 4 afferraggi con traslazione e rotazione libera, e con motore per il bloccaggio del travetto
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



# Prova uniassiale di deformazione permanente

- La principale prova dinamica per la determinazione delle caratteristiche a ormaiamento di una miscela, in alternativa alla macchina ormaiola
- La prova si esegue su un provino da 150mm compattato con pressa giratoria
- Conforme a UNI EN 12697-A1 e A2, disponibile anche la configurazione secondo CNR 197 (prova di creep statico)
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



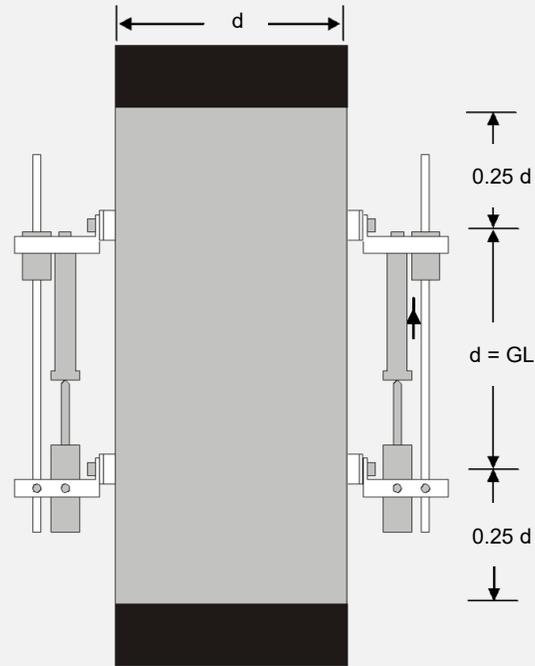
# Prova di propagazione di fessura su provino semi-circolare

- Una prova più recente per misurare la capacità di una miscela a resistere alla fessurazione
- La prova si esegue su un provino da 150mm compattato con pressa giratoria, segato a metà, con un piccolo intaglio – per generare la fessura
- Conforme a UNI EN 12697-44, ASTM D8044 e AASHTO T393/TP124
- Prova molto veloce che permette di misurare l'energia che la miscela è in grado di assorbire prima di fessurarsi
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO

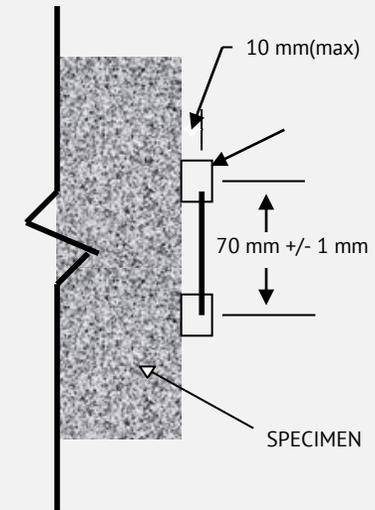


# Prova di modulo dinamico uniassiale (AMPT)

AASHTO T342 (TP62)



AASHTO T378 (TP79)



# Prova di fatica uniassiale per compressione/trazione

- Nuova procedura di prova per la determinazione della resistenza a fessurazione a fatica
- Conforme a AASHTO T400/TP107, simile alla configurazione di prova definita in UNI EN 12697-26D
- Campione da 100mm carotato da provino da 150mm compattato con pressa giratoria
- Procedura di prova semplificata che permette di ridurre i tempi di prova, di solito lunghi per le prove di fatica
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



# Prove di modulo dinamico/fatica uniassiale su provini piccoli

- La configurazione di prova uniassiale garantisce una distribuzione isotropica degli sforzi, quindi i risultati di prova sono praticamente indipendenti dalla dimensione del provino
- Questo principio permette di eseguire le prove anche su campioni da 38 (normati AASHTO), 50 e 75mm di diametro
- I provini piccoli possono essere ricavati da campioni compattati con pressa giratoria o da carote in sito
- I tempi di incollaggio e condizionamento sono ridotti, così come i carichi necessari
- Disponibile per UTM-30, AsphaltQube e AsphaltQube PRO



# Grazie per l'attenzione

# Q&A