

# Prove di laboratorio per i conglomerati bituminosi



*1 Marzo 2013*

## NORMATIVE NAZIONALI DI RIFERIMENTO PER I C.B.:

Contrariamente al cls il legislatore non ha definito nessuna serie di requisiti e relative prove di laboratorio per caratterizzare le miscele bituminose e i materiali componenti. I capitolati erano l'unico sistema di controllo della qualità dei materiali fino al 2008.

### CNR dal 1953 al 1995

Tale serie di norme è suddivisa in diverse parti. Non tutte fanno riferimento alle prove di caratterizzazione dei conglomerati bituminosi ma anche terre, aggregati, bitumi, emulsioni prove in sito etc...

Sono prescrizioni obsolete che ricalcano le normative ASTM o AASTHO americane di tipo prescrittivo. Sono ancora presenti in quasi tutti i capitolati nazionali seppur in contrasto con le direttive delle recenti normative sulla marcatura CE.

## UNI EN 12697: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo.

**Tale norma è suddivisa in 46 parti. Non tutte sono già state recepite dall'UNI (solo 43). Ogni parte corrisponde ad un metodo di prova o di preparazione. Sono relative esclusivamente al cb.**

**Poiché armonizzate possono sostituire le norme CNR nei nuovi capitolati.**

**Sono richiamate nelle norme di marcatura CE dei c.b.**

## UNI EN 13108: Miscele Bituminose – Specifiche del materiale.

**Tale norma è suddivisa in 9 parti. L'UNI ha attualmente recepito solo le parti dalla 1 alla 8 e dalla 20 alla 21. Specificano i requisiti che debbono avere i c.b. secondo le prove descritte nelle UNI EN 12697.**

## Controlli tradizionali

### Prove fisiche e meccaniche

- Percentuale di bitume
- Peso di volume del c.b.
- Percentuale dei vuoti
- Prova Marshall
- Prova di Trazione Indiretta

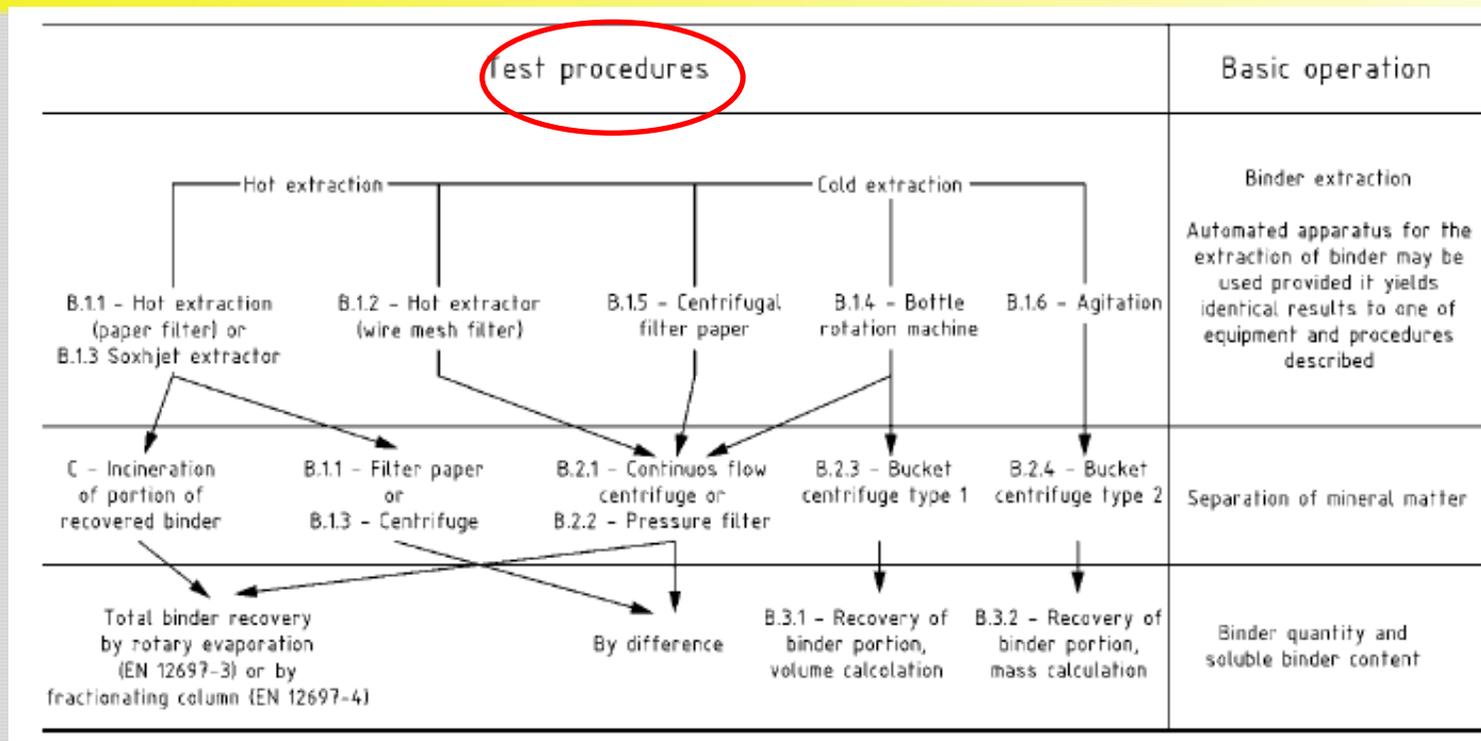
## UNI EN 12697- 1: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo. Contenuto di legante solubile.

SCOPO: Questa norma europea descrive i metodi di prova per la determinazione del contenuto di legante solubile in campioni di conglomerato bituminoso.

I metodi di prova descritti sono utili per effettuare controlli di qualità durante la produzione delle miscele in impianto e per verificare la rispondenza con le specifiche di prodotto.

I metodi di prova per l'analisi di miscele contenenti leganti modificati fino al 2005 esulavano dagli scopi della norma e sono stati introdotti dal febbraio 2006 con un'appendice.

Contenuto di legante solubile: *percentuale in peso di legante estraibile da un campione anidro determinato per separazione dalla miscela.*



La norma prevede molti metodi per l'estrazione del bitume che sono tra loro alternativi.

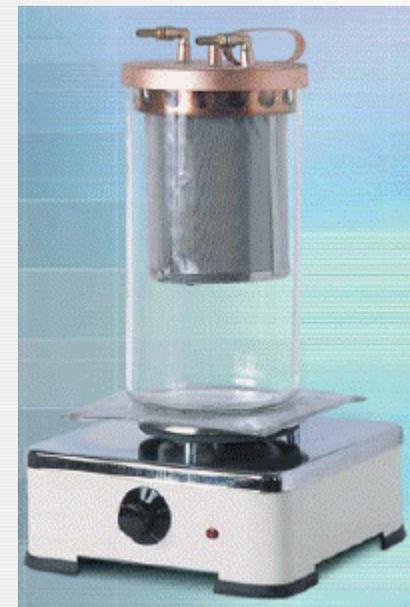
# Percentuale di bitume

Normativa italiana: CNR BU N. 38 "Determinazione del contenuto di legante di miscele di bitume ed aggregati lapidei"

Quantitativi necessari alla prova (UNI EN 12697-28)

Tipo di materiale	Dimensioni massime dell'aggregato	Massa della porzione di prova per ogni determinazione	
		Minima (normativa) g	Massima (informativa) g
Miscela bituminosa	63 o 45	3 000	5 000
	40	2 500	4 000
	31,5	1 500	2 800
	22,4 o 20	1 000	2 000
	16 o 14 o 12,5	800	1 400
	11,2 o 10 o 8	300	1 000
	6,3 o 5,6 o 4 o 2	150	500
Graniglia rivestita	Tutte le dimensioni	2 000	3 000

Nota Le masse massime sono indicate solo come guida.



# Percentuale di bitume

## –Esecuzione della prova (1/2)

Preparare il materiale secondo la UNI EN 12697-28

Riporre il quantitativo di cb nel cestello

Disporre il conglomerato entro il cestello e pesare

Porre il cestello nell'estrattore in vetro preventivamente riempito con un quantitativo sufficiente di solvente (tricloretilene o percloretilene)

Scaldare in modo da portare il solvente ad ebollizione e mantenere in funzione l'apparecchio fino a che il solvente, evaporando e condensandosi sulla testa refrigerante, non attraversa la miscela bituminosa con colore limpido.

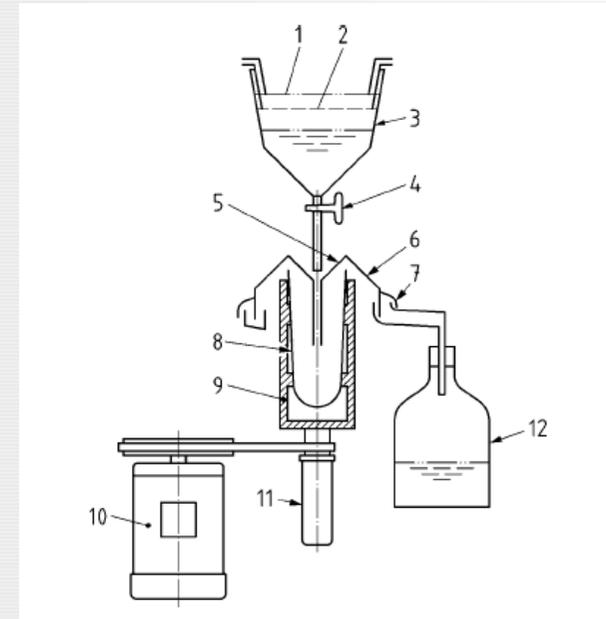
# Percentuale di bitume

## -Esecuzione della prova (2/2)

Estrarre il cestello e farlo asciugare fino a massa costante con al suo interno l'aggregato minerale

nell'estrattore è ancora presente la soluzione di bitume e filler passante alla maglia 63 $\mu$ m del cestello.

Centrifugare la soluzione e pesare il "filler" depositato sul fondo determinando il peso netto del filler



# Percentuale di bitume modificato

## Nota tecnica

Per bitumi modificati la norma prescrive di **impiegare solventi adatti** a sciogliere polimeri (EVA o SBS) ed **umentare il tempo di prova** di almeno il 10% del tempo medio per bitumi normali.

Table D.2 — Time required for extraction by bottle rotation machine

Type of material	Minimum extraction time (min)
Asphalt concrete	30
Porous asphalt	30
Stone mastic asphalt	40
Mastic asphalt	40
Hot rolled asphalt	40
Soft asphalt	30
Coated chippings for hot rolled asphalt	20

## UNI EN 12697- 6: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo. Determinazione della massa volumica in mucchio di provini bituminosi.

**SCOPO:** Questa norma europea descrive quattro procedure per determinare la densità di volume di provini bituminosi compattati. Col metodo descritto la densità di volume può essere determinata da provini compattati in laboratorio o da carote prelevate dalla pavimentazione dopo la posa e la compattazione. La scelta della procedura di prova dipende dal contenuto di vuoti stimato per il provino e dalla loro accessibilità.

Si distinguono le seguenti procedure:

- per provini con una superficie molto densa: Densità di volume a secco
- per provini con una superficie densa: Densità di volume a superficie satura/asciutta
- per provini con una superficie porosa: Densità di volume a provino sigillato
- per provini con una superficie regolare e di forma geometrica: Densità di volume dim.

**Densità di Volume:** la massa per unità di volume del provino in aria a temperatura ambiente.

## UNI EN 12697- 6

**In condizioni di superficie asciutta** si determina la massa del campione asciutto ( $m_1$ ) e la densità dell'acqua alla temperatura di prova. Quindi si immerge il campione in un bagno d'acqua e si determina la massa del campione subito dopo l'immersione ( $m_2$ );

**In condizioni di superficie saturata asciutta** si determina la massa del campione asciutto ( $m_1$ ) e la densità dell'acqua alla temperatura di prova. Quindi si immerge il campione in un bagno d'acqua lasciando che l'acqua lo saturi per almeno 30 min. Si determina la massa del campione saturato in acqua ( $m_2$ ). Si rimuove il campione dall'acqua e si determina la massa del campione saturato asciutto ( $m_3$ );

**In condizioni di superficie sigillata con paraffina** si determina la massa del campione asciutto ( $m_1$ ) e la densità dell'acqua alla temperatura di prova. Quindi si sigilla il campione in modo tale che sia impermeabile all'acqua e si determina la massa del campione sigillato asciutto. Si immerge il campione nel bagno d'acqua e si determina la massa del campione in acqua;

**Per dimensioni** si determinano le dimensioni del campione in mm e quindi la massa del campione asciutto.

## UNI EN 12697- 6

In condizioni di superficie asciutta

$$\rho_{bdry} = m1 / (m1 - m2) \times pw$$

In condizioni di superficie saturata asciutta

$$\rho_{ssd} = m1 / (m3 - m2) \times pw$$

In condizioni di superficie sigillata con paraffina

$$\rho_{sea} = m1 / [(m2 - m3 / pw) - (m2 - m1 / \rho_{sm})]$$

Per dimensioni

$$\rho_{vol} = m1 / V1$$

## UNI EN 12697- 8: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo. Determinazione del contenuto di vuoti d'aria dei materiali bituminosi.

**SCOPO:** Questa norma europea descrive una procedura per calcolare la percentuale di vuoti d'aria in un provino bituminoso compattato. Il contenuto di vuoti d'aria può essere impiegato come criterio per la progettazione della miscela o come parametro per valutare la miscela dopo la posa e la compattazione su strada.

**Vuoti d'aria:** le sacche d'aria tra le particelle di aggregati ricoperte di bitume all'interno di una miscela bituminosa compattata.

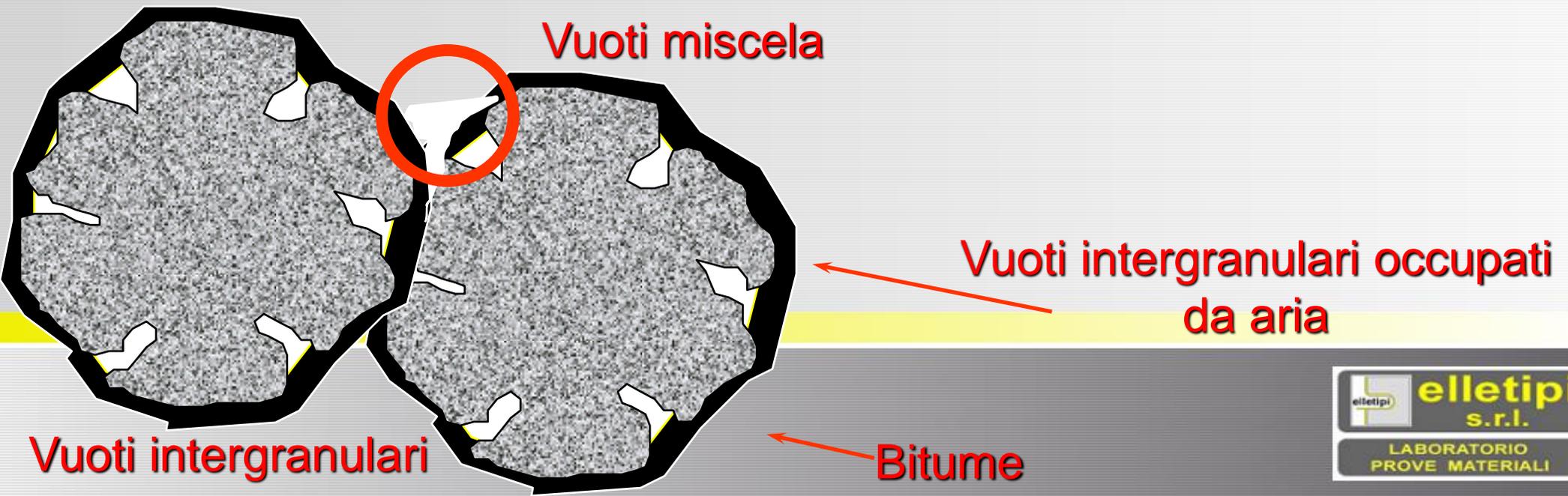
**Contenuto di vuoti d'aria:** il volume dei vuoti d'aria in un provino bituminoso, espresso come percentuale del suo volume totale.

**PRINCIPIO:** *il metodo consiste nel calcolare il contenuto di vuoti d'aria di un provino bituminoso usando la massima densità possibile per quella miscela e la densità di volume del provino stesso.*

**La procedura CNR è differente**

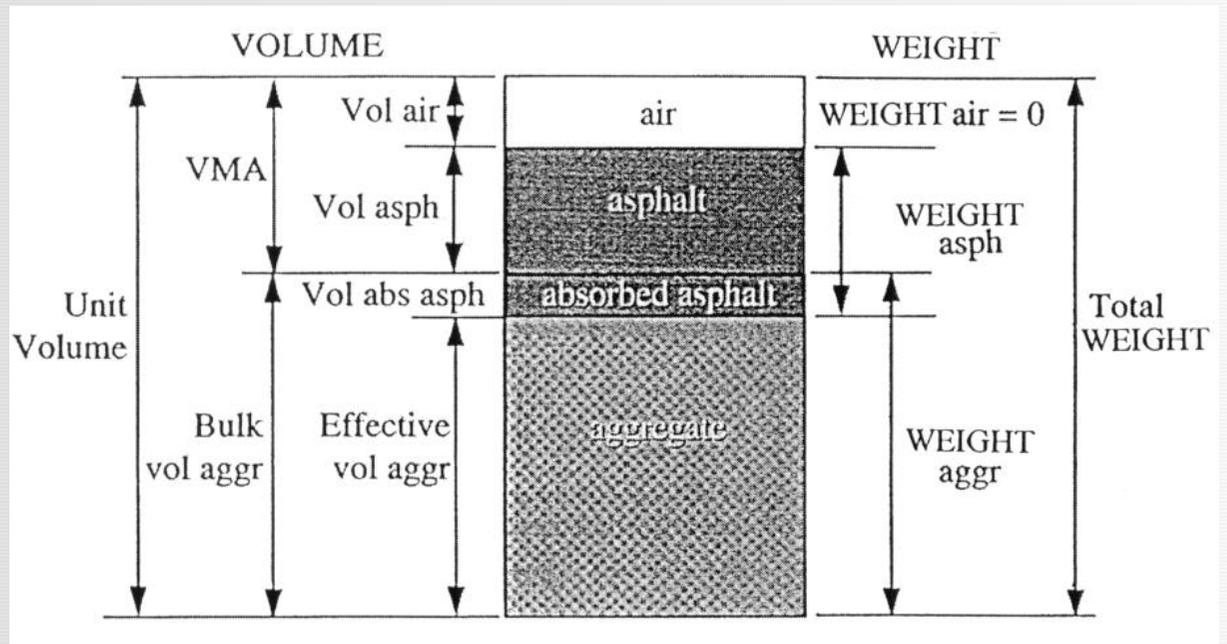
## Percentuale dei vuoti

Si definisce porosità o percentuale dei vuoti di una miscela di aggregati lapidei con bitume il rapporto percentuale fra il volume dei vuoti intergranulari occupati da aria ed il volume totale della miscela



## Percentuale dei vuoti secondo la UNI EN 12697-8-rappresentazione di volumi e masse nel campione

$V_v$	Voids	0
$V_b$	Bitumen	$P_b$
$V_{ca}$	Coarse Aggregate	$P_{ca}$
$V_{fa}$	Fine Aggregate	$P_{fa}$
$V_{mf}$	Mineral Filler	$P_{mf}$
%Volumes		%Weights



**V<sub>m</sub>**: Rappresenta il volume dei vuoti, espresso in percentuale, tra i granuli ricoperti di bitume all'interno della miscela bituminosa compattata

**VMA**: E' il volume di vuoti intergranulari di una miscela di conglomerato bituminoso compattato ed è composto dalla somma della percentuale dei vuoti d'aria della miscela con il contenuto di bitume non assorbito dall'aggregato.

**VFB (o VFA in americano)**: Rappresenta la quota parte di vuoti che viene riempita dal bitume.

Unitamente ai vuoti dell'aggregato minerale fornisce l'indicazione sulla quantità di bitume necessario per rivestire i granuli degli aggregati e legare la miscela.

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100 \text{ \% (v/v)}$$

where

$V_m$  is the air voids content of the mixture, in 0,1 percent (v/v);

$\rho_m$  is the maximum density of the mixture, in kilograms per cubic metre (kg/m<sup>3</sup>);

$\rho_b$  is the bulk density of the specimen, in kilograms per cubic metre (kg/m<sup>3</sup>).

$$VMA = V_m + B \times \rho_b / \rho_B \text{ \% (v/v)}$$

where

$VMA$  is the voids content in the mineral aggregate in 0,1 % (v/v)

$V_m$  is the air voids content of the specimen in 0,1 % (v/v);

$B$  is the binder content of the specimen (in 100% mixture), in 0,1 % (m/m);

$\rho_b$  is the bulk density of the specimen, in 1 kilogram per cubic metre (kg/m<sup>3</sup>);

$\rho_B$  is the density of the binder, in 1 kilogram per cubic metre (kg/m<sup>3</sup>).

$$VFB = ((B \times \rho_b / \rho_B) / VMA) \times 100 \text{ \% (v/v)}$$

where

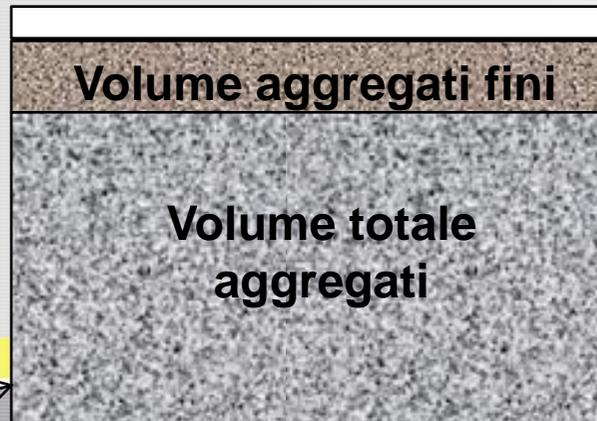
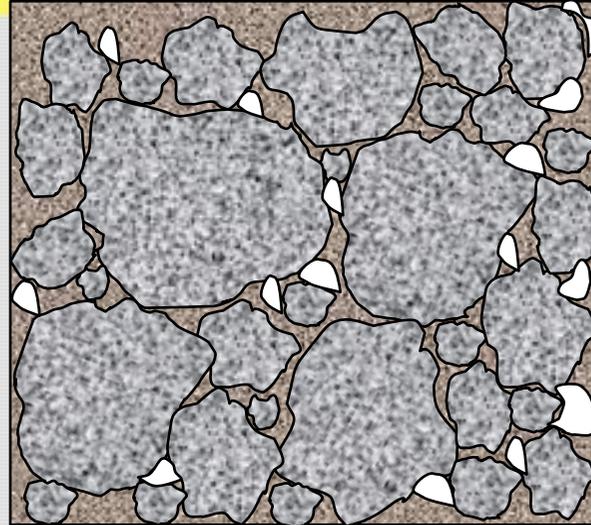
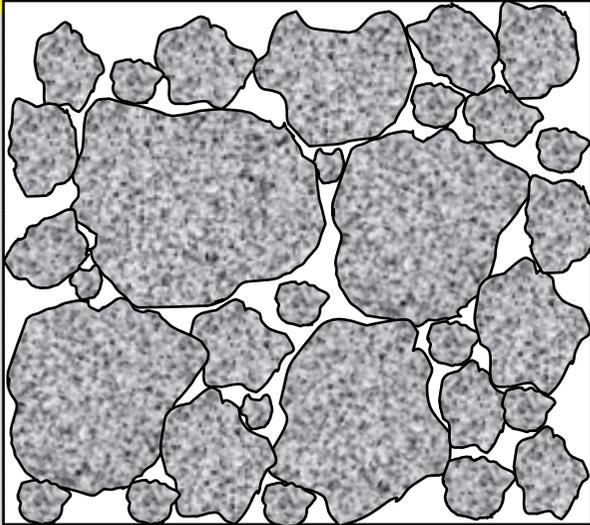
$VFB$  is the percentage of the voids in the mineral aggregate filled with binder in 0,1 % (v/v);

$B$  is the percentage of binder in the specimen (in 100% mixture) in 0,1 % (v/v).

$\rho_b$  is the bulk density of the specimen, in 1 kilogram per cubic metre (kg/m<sup>3</sup>);

$\rho_B$  is the density of the binder, in 1 kilogram per cubic metre (kg/m<sup>3</sup>);

$VMA$  is the voids content in the mineral aggregate in 0,1 % (v/v);



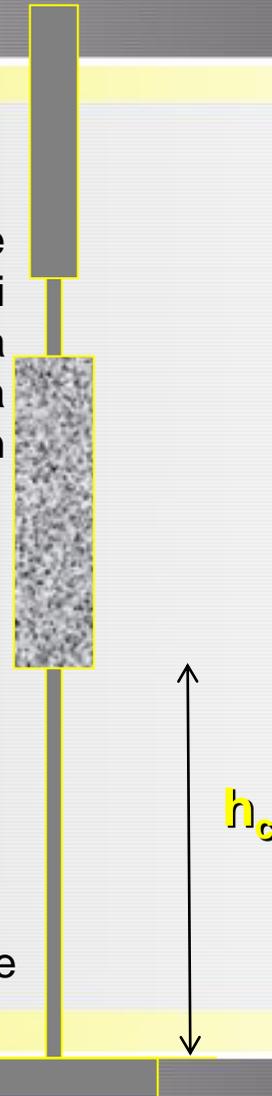
Volume in massa del granulo di aggregato

# Sistemi di compattazione in laboratorio

## Compattatore ad impatto con pestello Marshall:

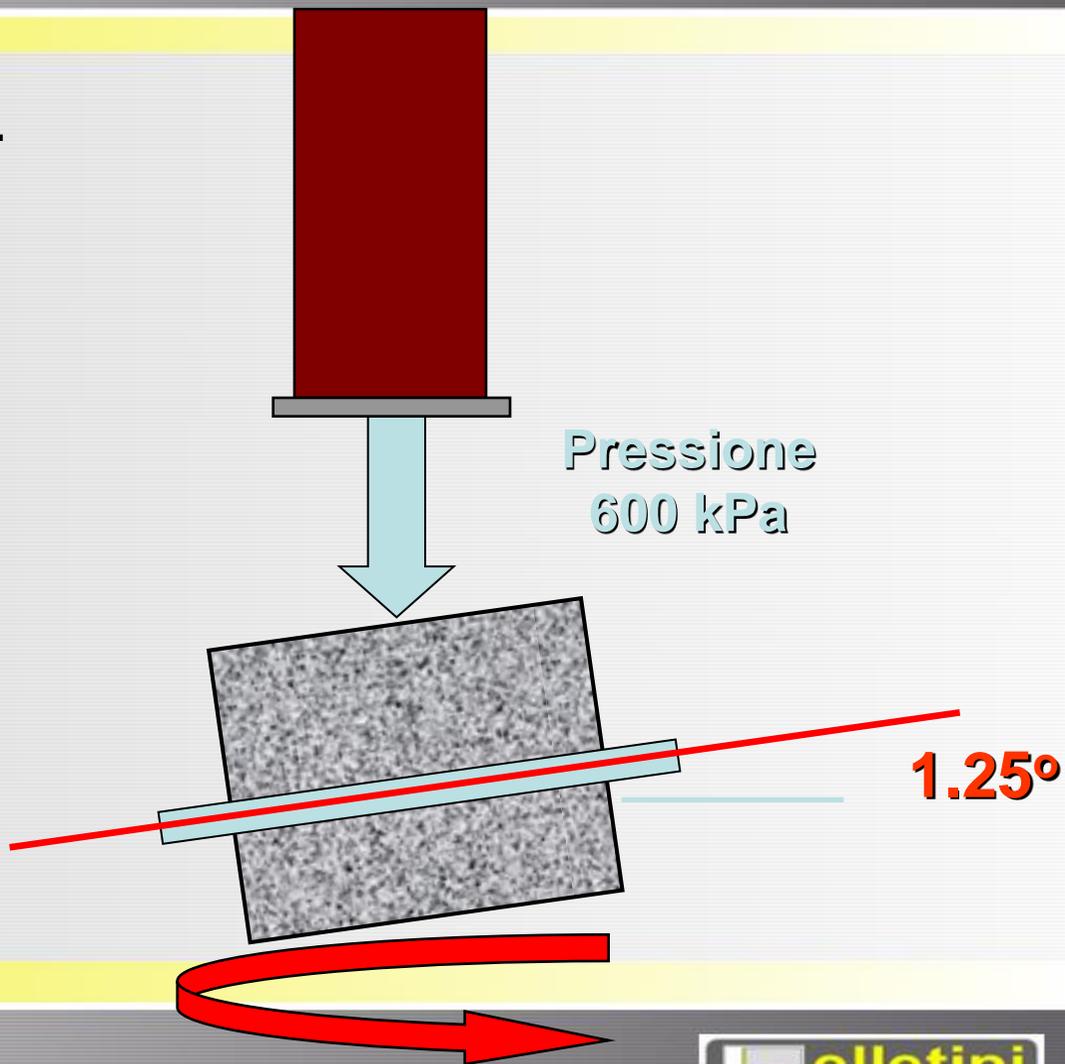
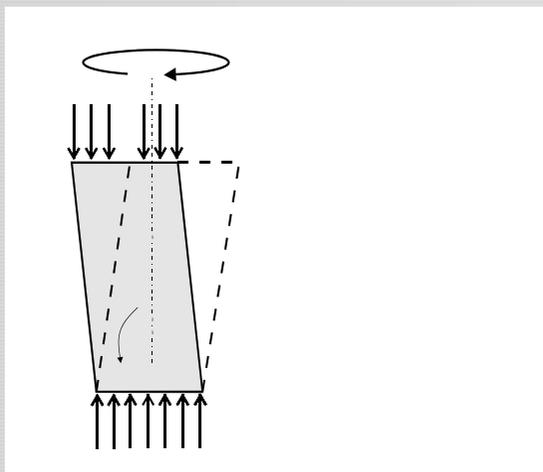


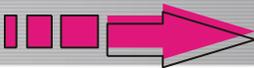
Pestello per la compattazione "impulsiva" dei provini di conglomerato bituminoso, con faccia di battuta piana e circolare e massa battente del peso di 4,536 kg, con altezza libera di caduta  $h_c$  di 457 mm

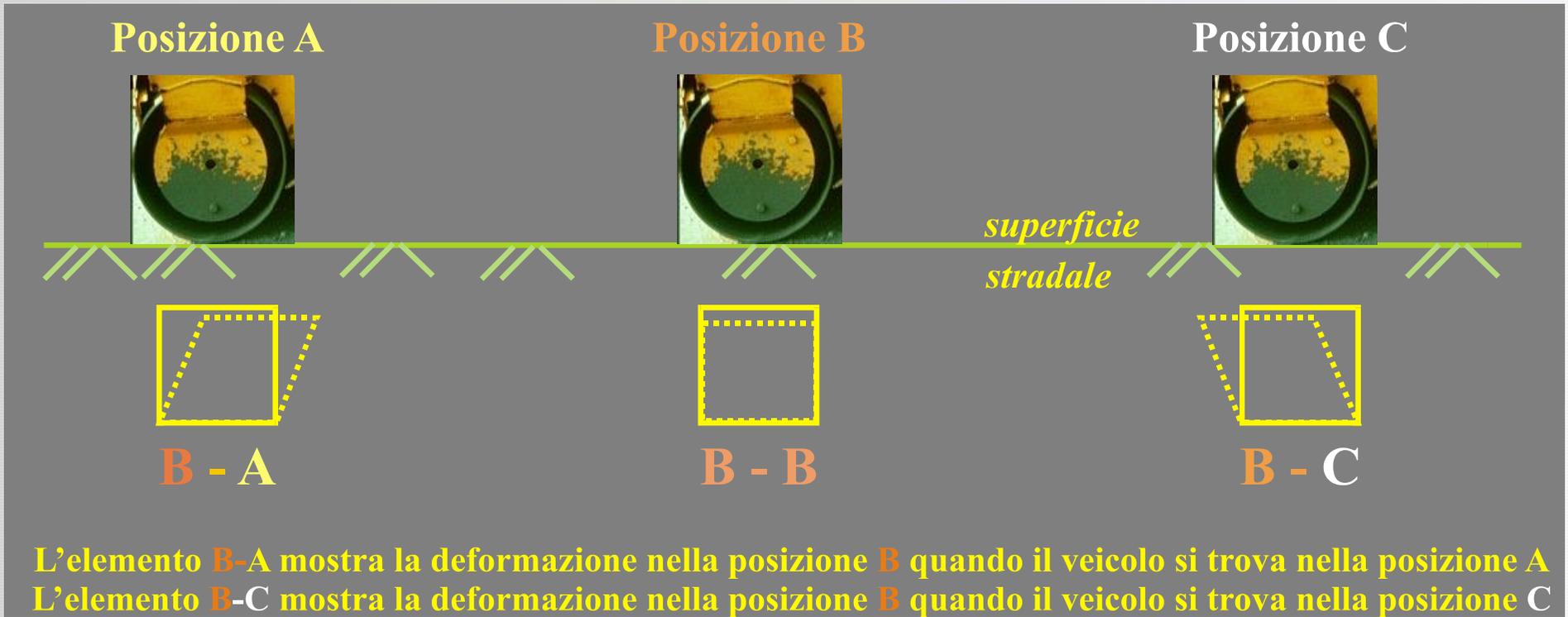


Sviluppata da Bruce Marshall per il Mississippi Highway Department alla fine degli anni '30.

Compattatore giratorio o Pressa giratoria:



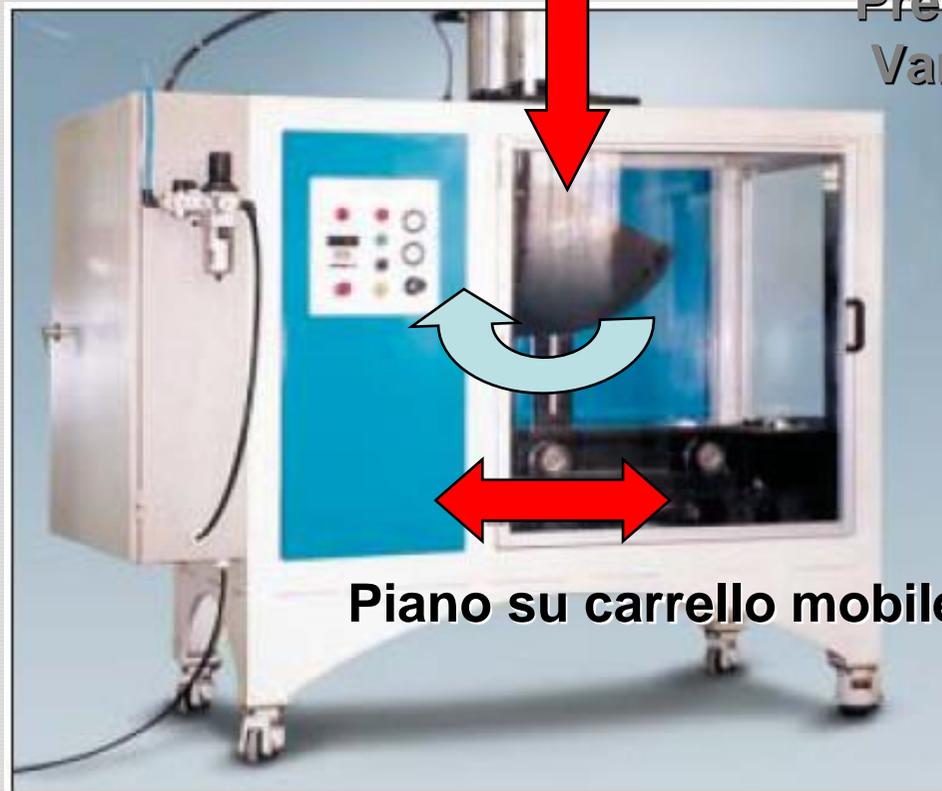
Direzione del moto 



**Analogia fra la deformazione imposta dal rullo e quella della pressa giratoria**

**La pressa giratoria compatta il materiale con un percorso tensionale e deformativo simile a quello in sito sotto l'azione dei veicoli**

Compattatore a rullo - roller compactor:



Pressione  
Variabile

Piano su carrello mobile

## Confronto tra i sistemi di compattazione:

Apparecchiatura	% di proprietà analoghe a quelle di campioni prelevati in situ	
	von Quintus et al.	Button et al.
Pressa giratoria ( <i>Texas gyratory shear compactor</i> )	63	73
Compattatore a rullo gommato ( <i>rolling wheel compactor</i> )	49	64
Compattatore ad impatto ( <i>kneading compactor</i> )	52	64
Compattatore ad impatto vibrante ( <i>vibratory kneading compactor</i> )	41	-
Martello Marshall ( <i>Marshall hammer</i> )	35	50

Metodo migliore

Metodo peggiore

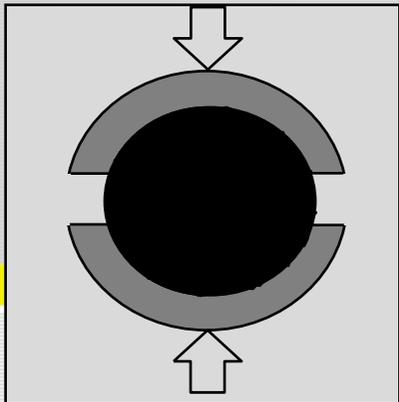
## UNI EN 12697- 34: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo. Prova Marshall

**SCOPO:** questa procedura è impiegata per determinare i valori della Stabilità, dello Scorrimento e del Quoziente Marshall per provini di miscele bituminose miscelate in laboratorio e compattate col metodo ad impatto.

**Stabilità (S):** la massima resistenza alla deformazione, in kN, di un provino di c.b. confezionato in stampo.

**Scorrimento (s):** la deformazione al picco in millimetri.

**Quoziente Marshall:** rapporto tra la Stabilità e lo scorrimento (Rigidità)



La prova misura convenzionalmente le proprietà meccaniche (stabilità e scorrimento) di miscele bituminose confezionate a caldo con bitumi ed aggregati lapidei, sottoponendo a rottura, in condizioni di prova standardizzata, provini cilindrici del diametro di 101,6 mm

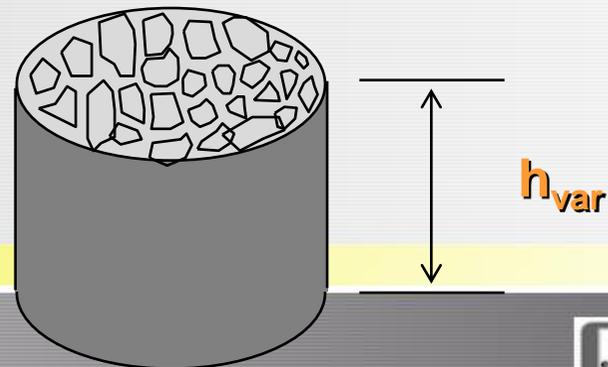
## Preparazione dei provini

Per ciascuna miscela da sottoporre a prova vengono confezionati 4 provini compattandoli con 75 colpi per faccia

Il diametro dei provini cilindrici costipati è fisso e risulta pari a 101,6 mm, l'altezza è variabile ma deve risultare compresa tra 68,7mm e 61,3mm

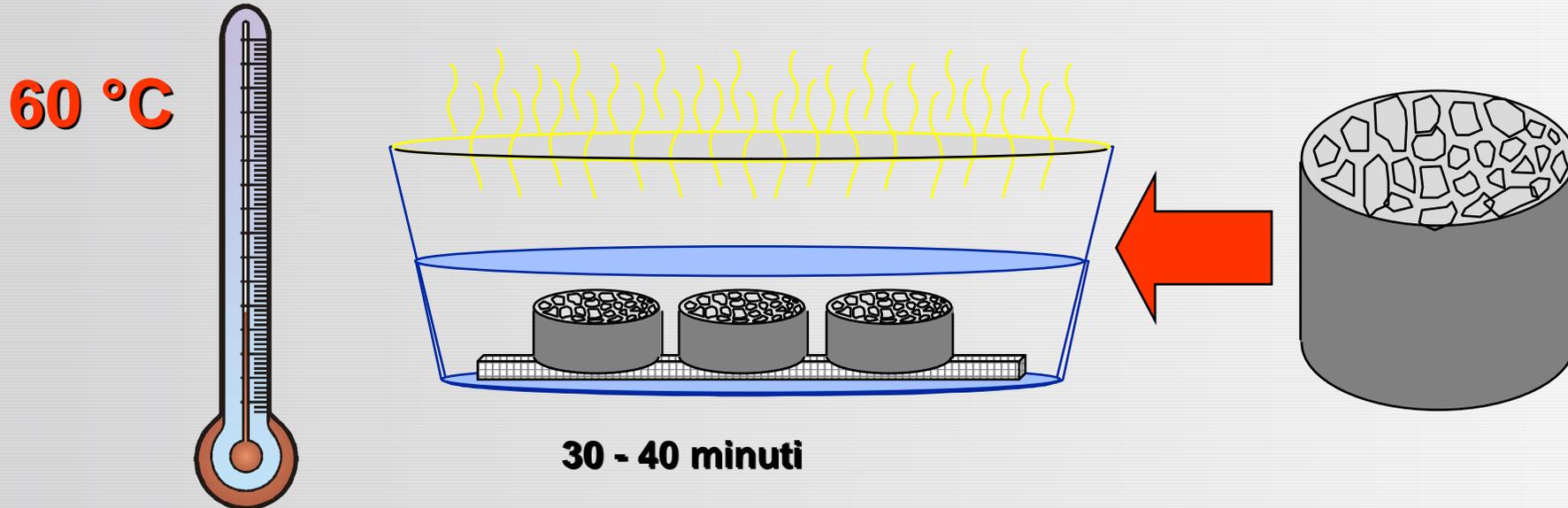


101,6 mm



## Esecuzione della prova

Portare i provini alla temperatura di prova immergendoli per una durata da 30 a 40 minuti in un bagno di acqua mantenuto alla temperatura di 60 °C

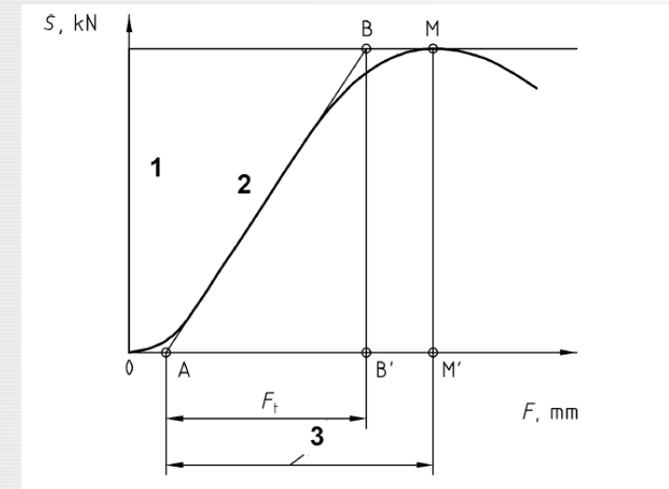


## Esecuzione della prova

Applicare il carico al provino con velocità costante di deformazione di 51 (50 $\pm$  2 per la UNI EN) mm al minuto, fino a raggiungere il carico di rottura.

Si prepara la testa di prova preriscaldandola per almeno 30 min a (60 $\pm$ 1) °C nel bagno d'acqua o per 1 ora nel forno (UNI en 12697-34)

Questa prova deve essere portata a termine in 40s dalla rimozione del campione dal bagno d'acqua. (UNI en 12697-34)



## Risultati della prova

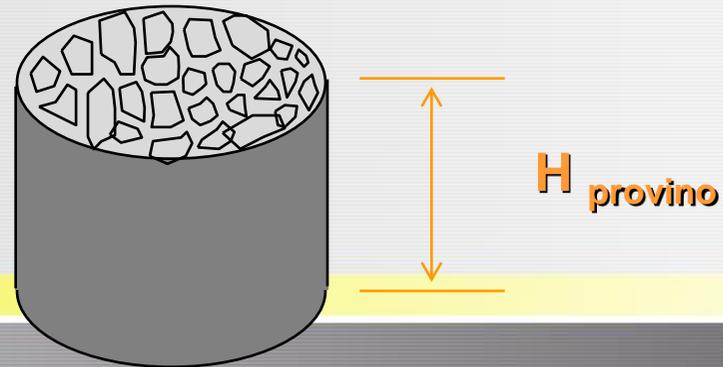
La temperatura di mescolamento dell'impasto

La temperatura di costipamento

Il numero di colpi del pestello applicato ad ogni faccia

L'altezza del provino

La temperatura di prova



## Risultati della prova

La stabilità Marshall S

Lo scorrimento e lo scorrimento tangenziale (solo per UNI EN 12697-34)

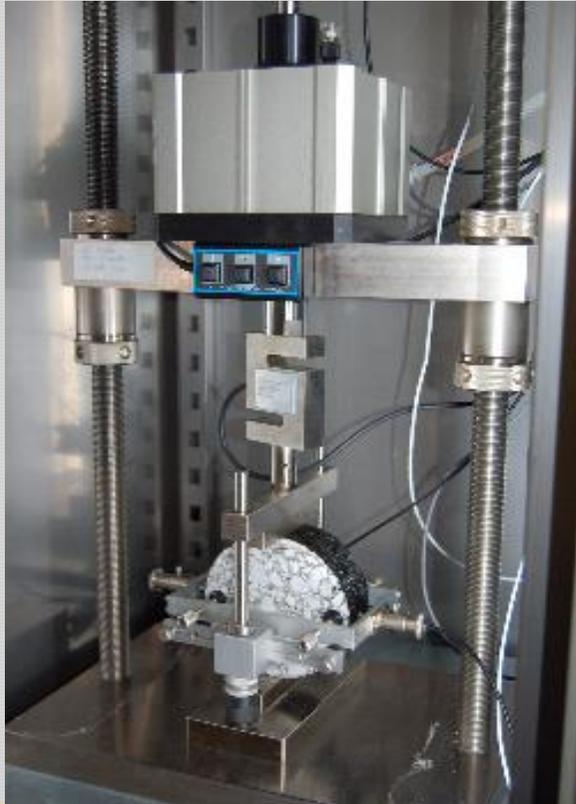
La stabilità del provino è rappresentata dal carico di rottura, espresso in kg, moltiplicato per un coefficiente di correzione funzione dell'altezza  $H_{\text{provino}}$

$$\text{Stabilità} = C_{\text{rottura}} \times \text{Coeff} (H_{\text{provino}})$$

Lo scorrimento è rappresentato dalla deformazione del provino al momento della rottura, espressa in mm

I risultati della prova sono considerati attendibili se lo scostamento dei valori della stabilità e dello scorrimento di ciascun provino dalla media è inferiore o uguale al 20% della media stessa

## Prove meccanico-prestazionali e dinamiche



- Prova per ITCY
- Resistenza a fatica
- Resistenza a deformazione permanente (creep-rutting)

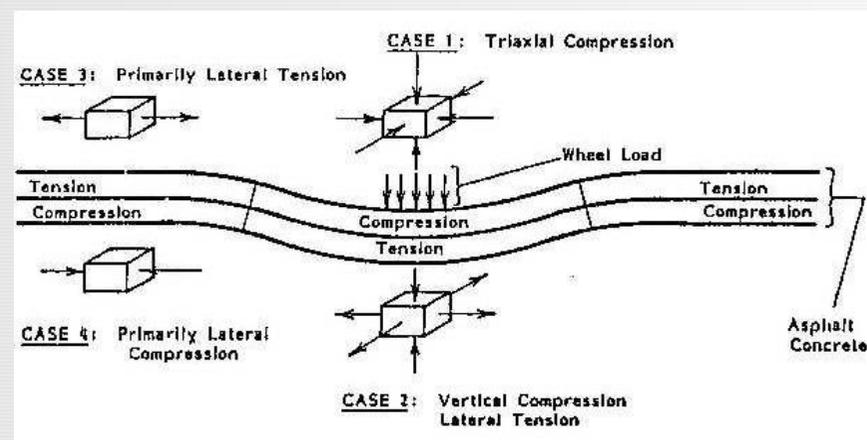
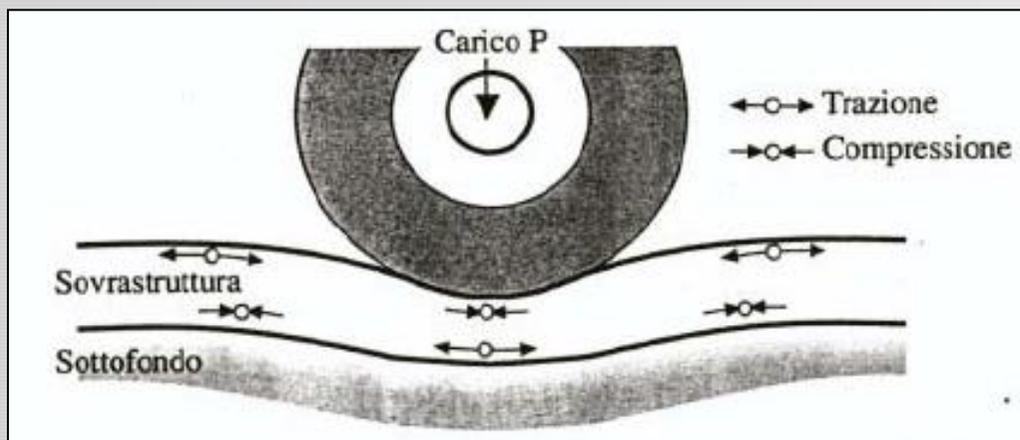
## UNI EN 12697- 26: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo. Rigidezza

SCOPO: questa norma europea descrive il metodo per valutare le prove aventi lo scopo di caratterizzare le proprietà di rigidezza di miscele bituminose. Tali prove sono condotte sul materiale bituminoso compattato sottoponendolo ad un carico sinusoidale o ad altro carico controllato.

La procedura può essere impiegata per classificare le miscele bituminose sulla base della rigidezza, come guida per la prestazione relativa nella pavimentazione, per ottenere dati per stimare il comportamento deformativo su strada e per giudicare i dati di prova in accordo alle specifiche per le miscele.

Modulo di rigidezza: *norma* del modulo complesso  $|E^*|$

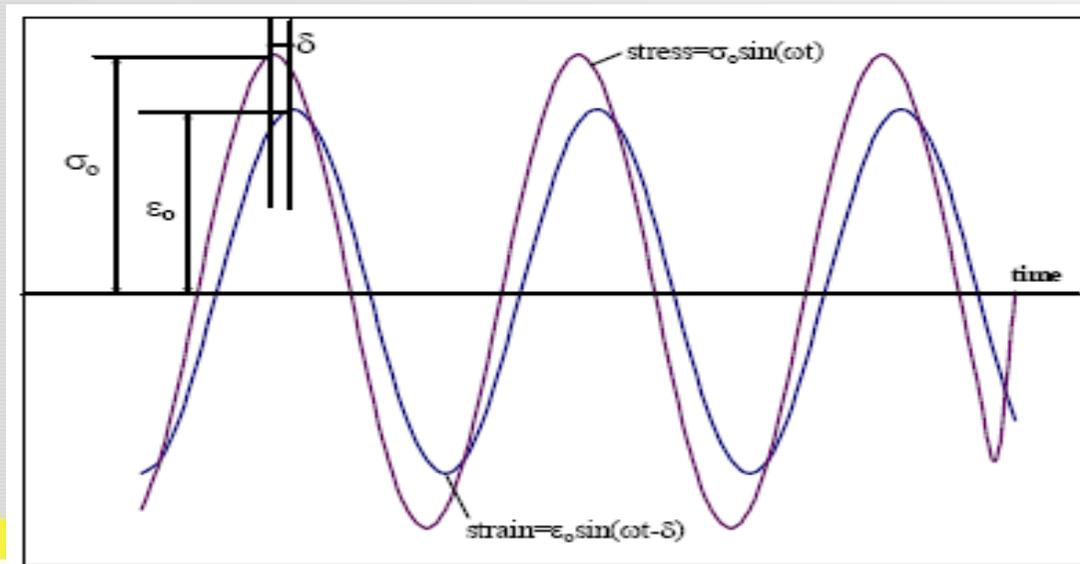
La rigidità del conglomerato bituminoso è la capacità di diffondere le tensioni al proprio interno. Il modulo di rigidità dei materiali viscoelastici può essere paragonato, per materiali con caratteristiche puramente elastiche, al Modulo di Young. Nel progetto del pacchetto stradale con metodi elastici, il modulo di rigidità è impiegato come modulo di elasticità nel calcolo dello strato.

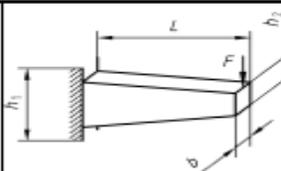
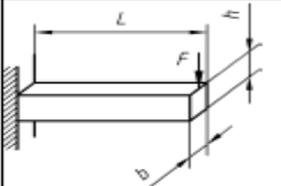
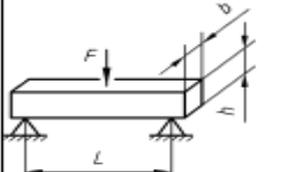


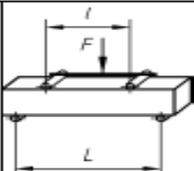
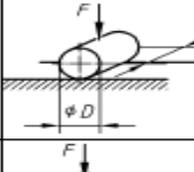
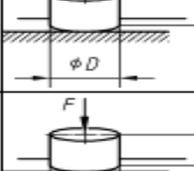
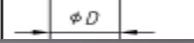
Il modulo complesso descrive la relazione tra tensione e deformazione nel materiale viscoelastico. Il test sul modulo complesso nasce dall'esigenza di conoscere la risposta dei materiali delle pavimentazioni, alle sollecitazioni periodiche applicate con notevoli frequenze.

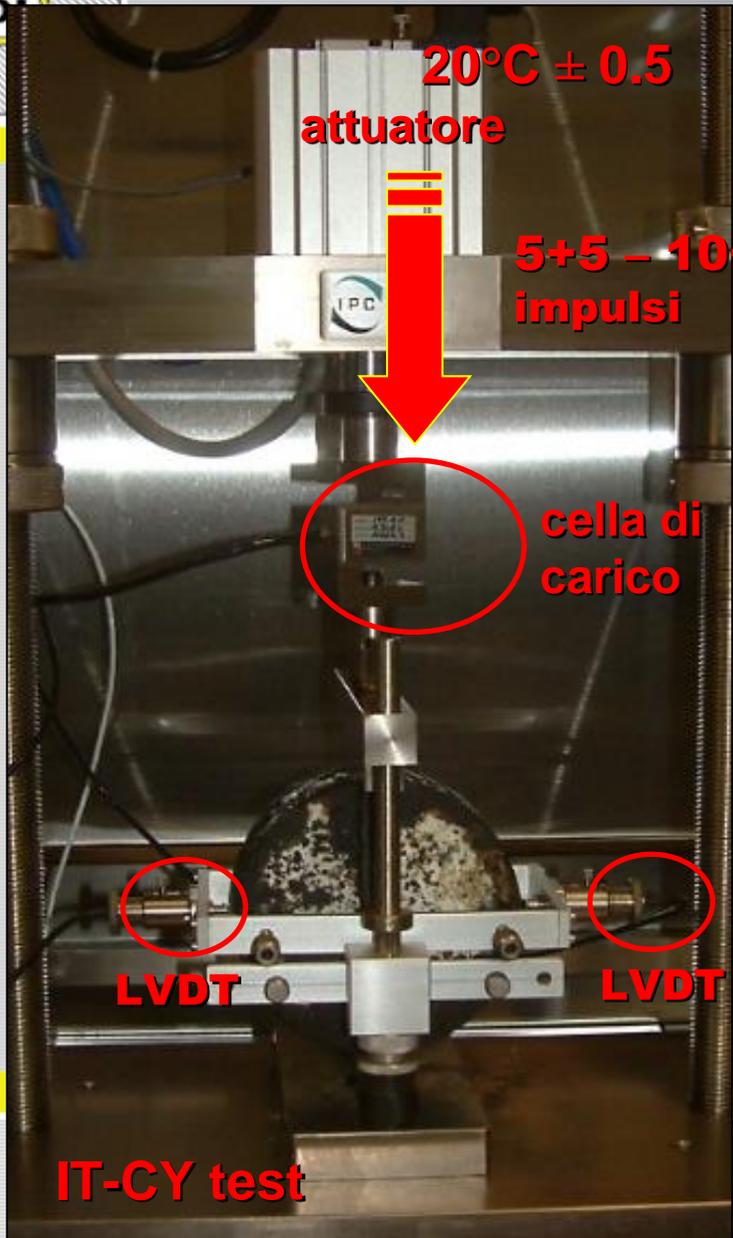
Per la determinazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche in tali condizioni di carico, si usa sottoporre in laboratorio, provini cilindrici oppure trapezoidali di conglomerato bituminoso a sollecitazioni monoassiali variabili con legge sinusoidale.

La deformazione che ne segue, è anch'essa variabile con la stessa legge e con pari frequenza, ma sfasata nel tempo rispetto alla sollecitazione per un intervallo, che è alto per basse frequenze e diminuisce con il crescere della frequenza.

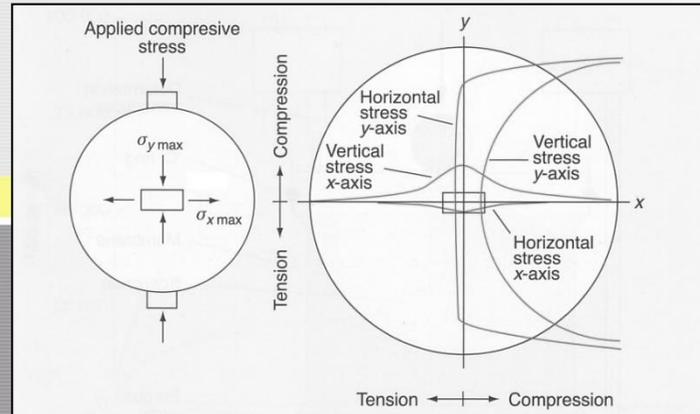
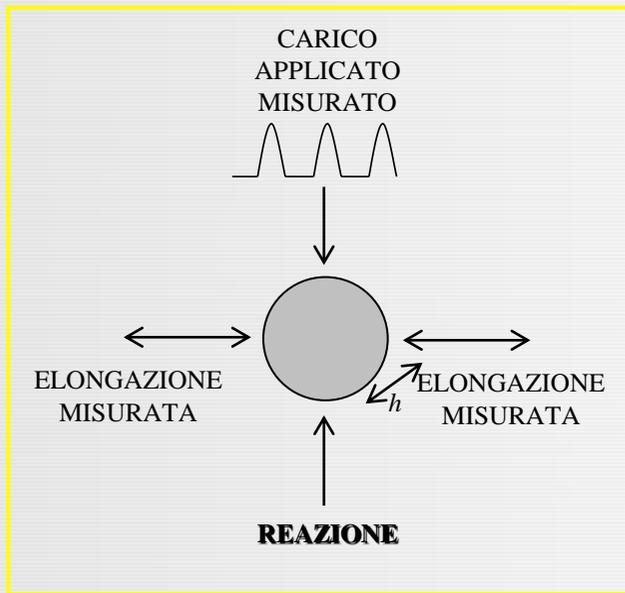


Type of loading	
2PB-TR	
2PB-PR	
3PB-PR	

Type of loading	
4PB-PR	
IT-CY	
DTC-CY	
DT-CY DT-PR	



$$ITCY = \frac{F(\nu+0.27)}{z h}$$



## UNI EN 12697- 24: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo. Resistenza alla fatica

**SCOPO:** la norma specifica i metodi per caratterizzare la resistenza a fatica delle miscele bituminose mediante prove alternative, comprese prove di flessione e prove di trazione diretta e indiretta.

Il procedimento è utilizzato per classificare le miscele bituminose sulla base della resistenza alla fatica, come una guida alle prestazioni relative nella pavimentazione, al fine di ottenere dati per stimare il comportamento strutturale in strada e per giudicare i dati di prova in conformità alle specifiche delle miscele.

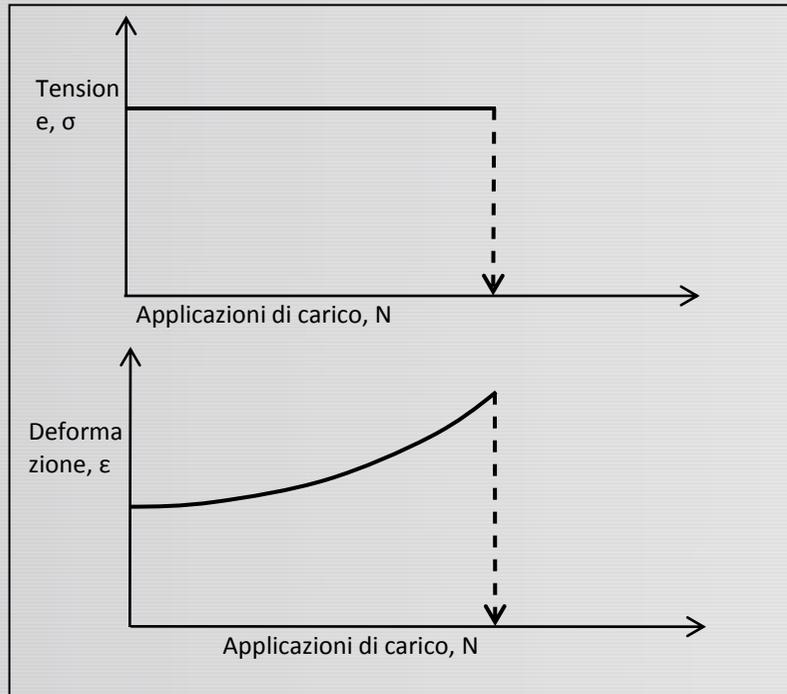
**Fatica:** riduzione della resistenza di un materiale sottoposto a un carico ripetuto rispetto alla resistenza sotto un carico singolo.

## Definizione di fatica:

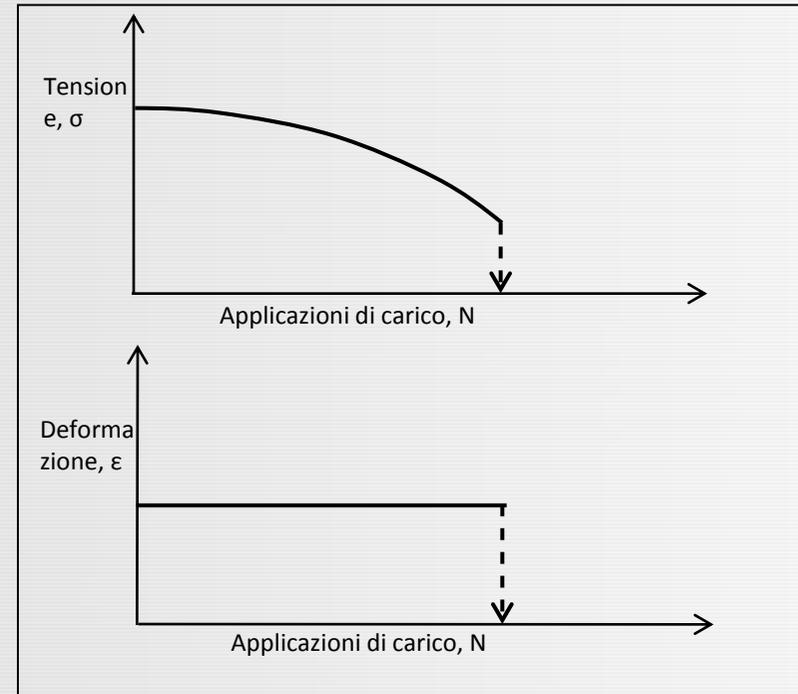
Gli strati bituminosi costituenti una pavimentazione stradale sono soggetti all'applicazione di un carico di breve durata ogni qualvolta sul piano viabile transita un veicolo. Nel tempo il susseguirsi e l'entità dei carichi da traffico è variabile in funzione delle frequenze di transito e delle tipologie di mezzi transitanti.

Si ritiene che ad ogni passaggio corrisponda uno scadimento delle proprietà meccaniche del materiale di strato associato alla formazione di micro-lesioni nel volume dello stesso, fino alla comparsa di fessure visibili anche ad occhio nudo. L'accumulo del danno porta, nel tempo, al degrado della sovrastruttura ed alla sua perdita di funzionalità. Tale tipo di danneggiamento si manifesta usualmente sotto forma di fessurazioni degli strati bituminosi e prende il nome di "fessurazione per fatica" (fatigue cracking).

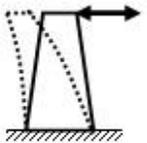
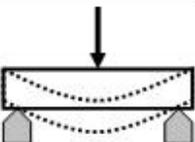
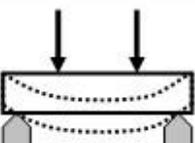
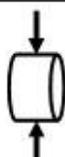
C.L.Monismith ha definito nel 1969 la fatica come “*quel fenomeno di fessurazione del materiale soggetto a tensioni cicliche o comunque ripetute aventi un valore massimo in genere inferiore alla resistenza a trazione del materiale stesso*”



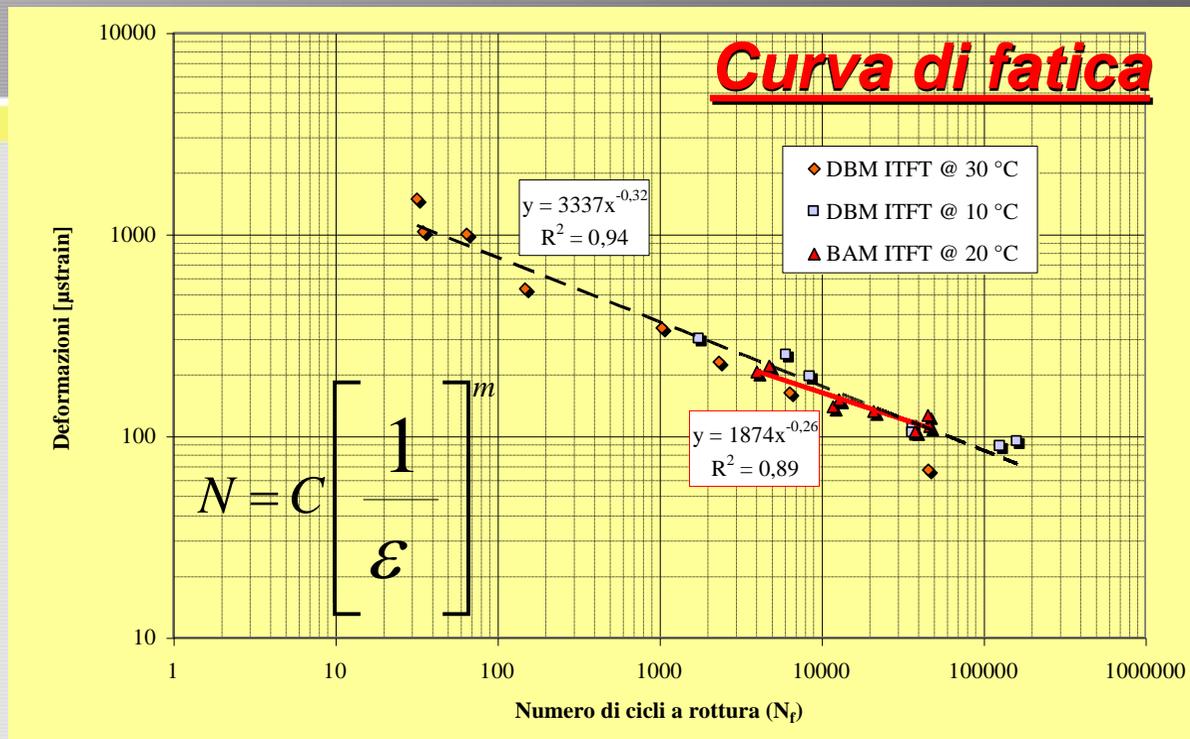
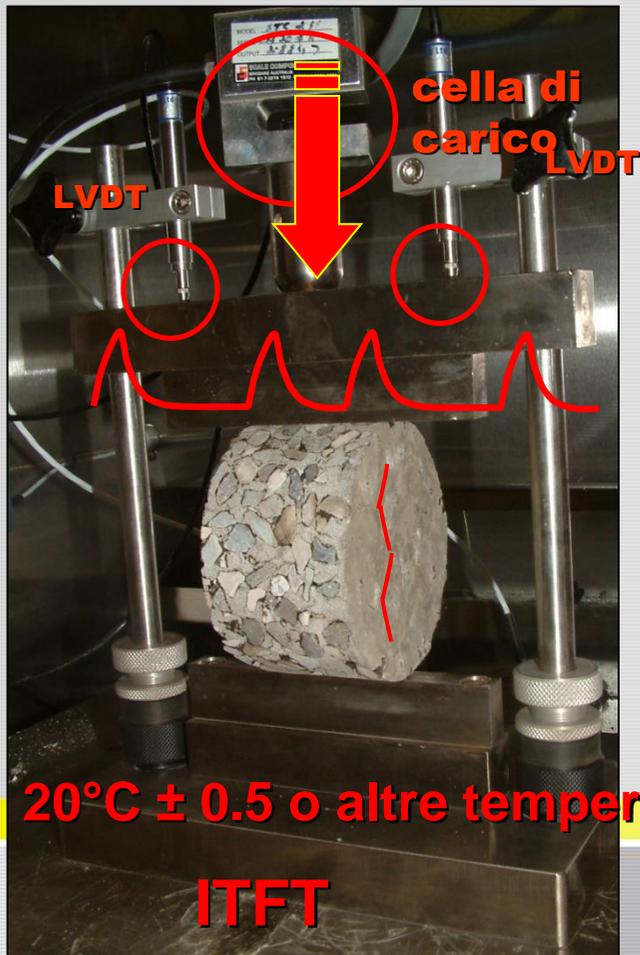
(a) **Controllo di tensione: MF = -1**



(b) **Controllo di deformazione: MF = 1**

Tipo di test	Geometria	Caricamento	Omogeneità	Forma&Riposo
T/C		Trazione/Compressione Inversione possibile MF = -1	Test <i>omogeneo</i>	Q, Sin, Semi-sin, Tri si
2PB		Two Point Bending <u>Inversione possibile</u> MF = +1	Test <i>non</i> <i>omogeneo</i>	Sin si
3PB		Three Point Bending <u>Inversione possibile</u> MF = +1	Test <i>non</i> <i>omogeneo</i>	Sin, Semi-sin si
4PB		Four Point Bending <u>Inversione possibile</u> MF = +1	Test <i>non</i> <i>omogeneo</i>	Sin, Semi-sin si
IT		Trazione Indiretta Impulsiva Invers. non possibile MF = -1	Test <i>non</i> <i>omogeneo</i>	Semi-sin, Imp si

# ITFT: Indirect tensile Fatigue Test



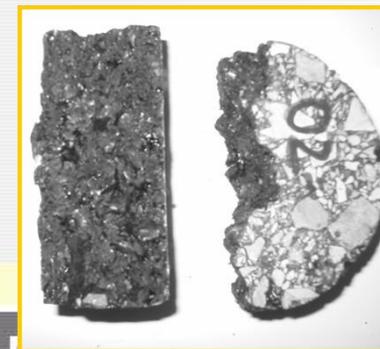
$N$ : n° di applicazioni

$\epsilon$ : defo a trazione iniziale al centro,  $\mu\epsilon$

$C, m$ : cost. del materiale

## CRITERIO DI ROTTURA:

**Completa o raddoppio della deformazione iniziale**



## 4PB: Four Point Bending Fatigue Test



$N$ : n° di applicazioni

$\varepsilon$ : defo a trazione,  $\mu\varepsilon$

$C, m$ : cost. del materiale

CRITERIO DI ROTTURA:

*Riduzione del 50% del modulo di rigidezza iniziale o rottura del campione*

## 2PB: Two Point Bending Fatigue Test



## UNI EN 12697- 25: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo. Prova di compressione ciclica.

SCOPO: la norma specifica 2 metodi per caratterizzare le miscele bituminose nei confronti delle deformazioni permanenti

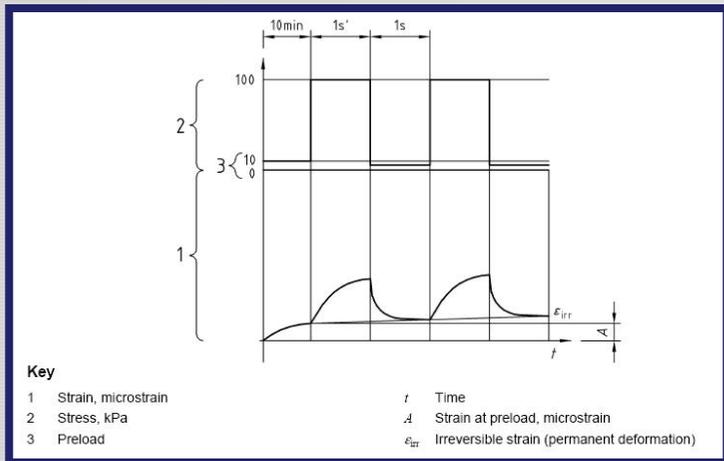
Test metodo A descrive la procedura per determinare le caratteristiche di creep di una cb secondo la compressione uniassiale in presenza di un confinamento laterale (il piatto di distribuzione del carico ha una diametro < diametro del provino)

Test metodo B descrive la procedura per determinare le caratteristiche di creep di una cb secondo la compressione triassiale in presenza di un confinamento laterale applicato



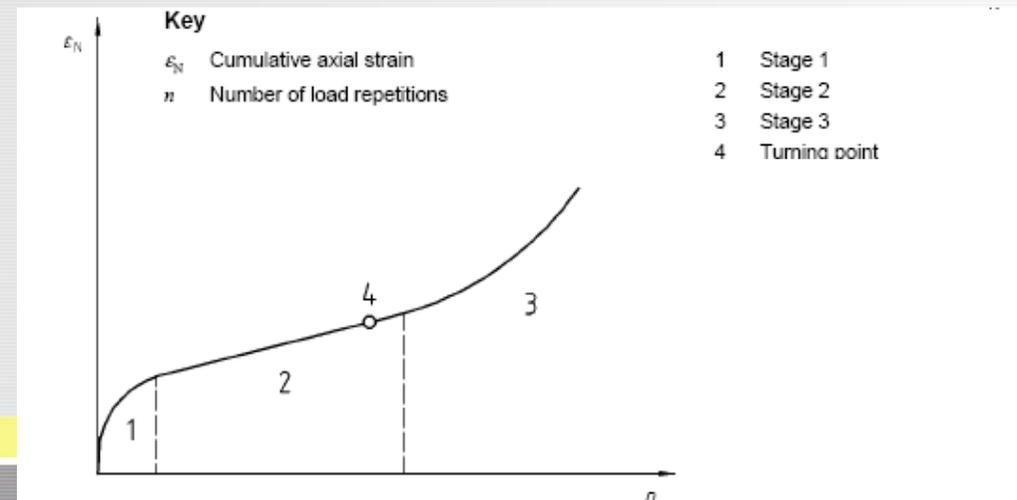
### Creep Test

Nel Creep Test viene monitorato l'andamento delle deformazioni sotto l'azione di un carico statico. Il carico viene applicato al provino in modo dinamico, secondo impulsi dettati dalla frequenza di un'onda sinusoidale, o del tipo block-pulse.



Deformazione cumulativa assiale  $\epsilon_N$  (deformazione permanente) del provino calcolata come rapporto tra abbassamento e altezza iniziale dello stesso

**Curva di Creep** : la deformazione accumulata, espressa in %, in funzione del numero di cicli.



## Creep test:

Il provino deve avere dimensioni idonee alla prova (spessore 60 mm, diametro 150 mm)

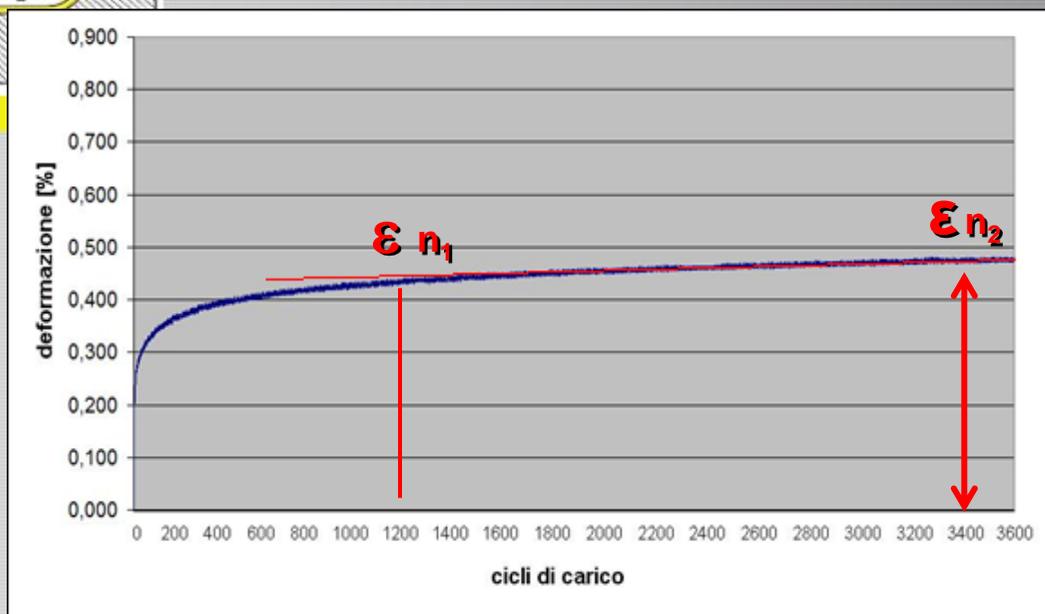
La prova viene eseguita a 40°C su provini termostatati in forno per almeno 4 ore

Il carico è di tipo ciclico, ad onda rettangolare, e viene applicato con una frequenza di 0,5 Hz

Il confinamento presente all'intorno del cilindro ideale di c.b. schiumato in sito viene approssimato mediante piastra di carico di diametro inferiore (100 mm)

La prova ha inizio dopo un precarico di 600 secondi, e termina dopo 3600 cicli di carico (2 ore) o al raggiungimento della deformazione assiale limite del 4%

Vengono rilevate le variazioni di altezza per ogni ciclo, da cui si ricavano le deformazioni permanenti, rappresentate nel loro andamento tramite la curva di creep



La curva di creep rappresenta l'andamento delle deformazioni permanenti del provino durante l'applicazione del carico ciclico

A partire dalla rappresentazione della curva, ottenuta dai dati registrati dal software si ricavano i parametri di creep definiti dalla EN 12697-25

Con il creep rate si individua il tasso di incremento della deformazione durante la prova

## Deformazione permanente a 3600 cicli

Deformazione assiale permanente al termine della prova (3600 cicli o 4% deformazione)

## Creep rate

Pendenza della retta tangente alla fase lineare della curva di creep

$$fc = \frac{\epsilon_{n1} - \epsilon_{n2}}{n_1 - n_2} \quad [\mu\epsilon/\text{ciclo}]$$

## UNI EN 12697- 22: Miscele Bituminose – Metodi di prova per conglomerati bituminosi a caldo. Resistenza all'ormaiamento

**SCOPO:** Il parametro misura la resistenza di un conglomerato bituminoso all'accumulo di deformazioni irreversibili, concentrate sulla linea preferenziale di azione dei pneumatici, e generate dal passaggio ripetitivo di assi veicolari.

TR= *tracking rate* ovvero coefficiente di crescita del solco all'aumentare dei cicli ( $\mu\text{m}/\text{ciclo}$ )

WTS= *wheel tracking slope* ovvero pendenza della curva di ormaiamento nel tratto tra 5000 cicli e 10000 cicli ( $\text{mm}/\text{ciclo}$ )

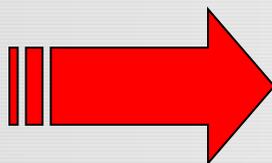
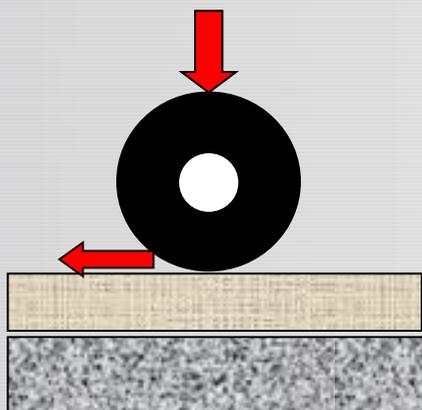
PRD air= profondità del solco proporzionale alla fine di N cicli



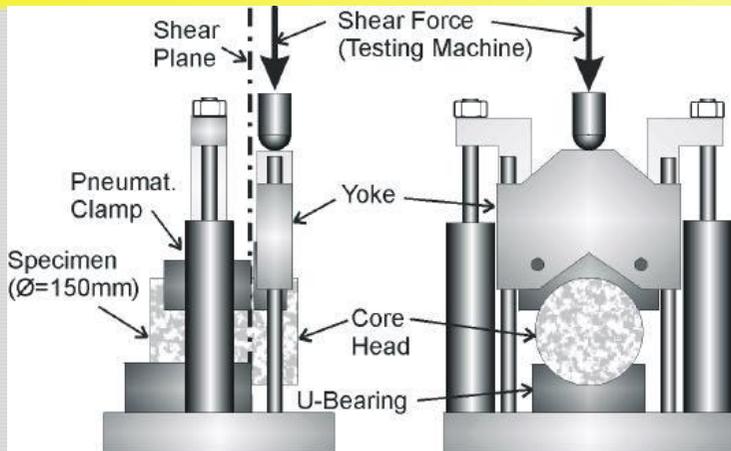
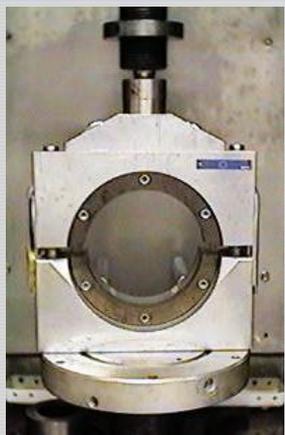
## Normativa SN 671 961: 2000

### Determinazione del collegamento tra gli strati di conglomerato bituminoso di provini cilindrici

Col termine inglese *debonding*, si intende la mancanza di adesione tra gli strati (*layers*) di una pavimentazione stradale che porta al loro scorrimento reciproco per le azioni tangenziali provocate dalle ruote dei veicoli; si manifesta sulla superficie stradale con asportazioni di conglomerato bituminoso



**PER LE DECELERAZIONI O EFFETTI DI DERIVA DEI VEICOLI**



INTERFACCIA 1

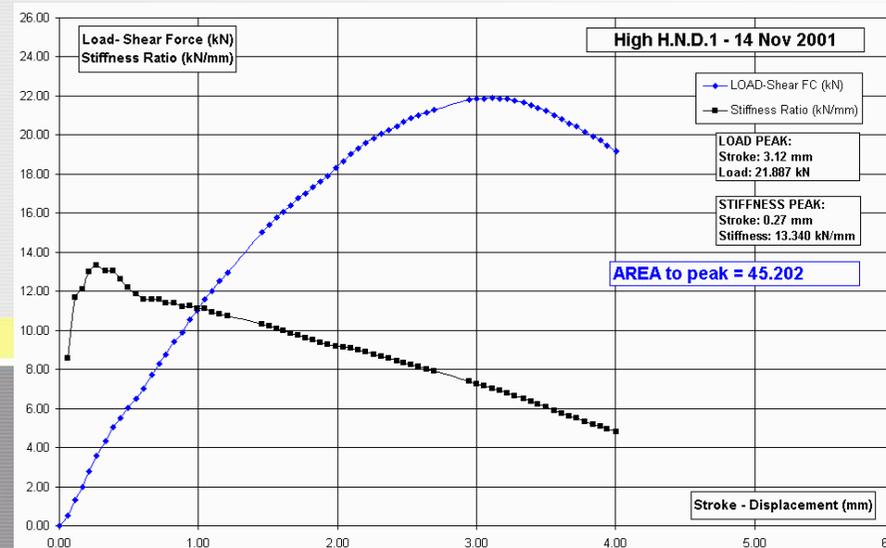
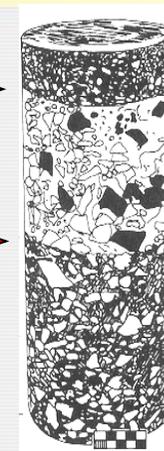


STRATO 1

INTERFACCIA 2



STRATO 2

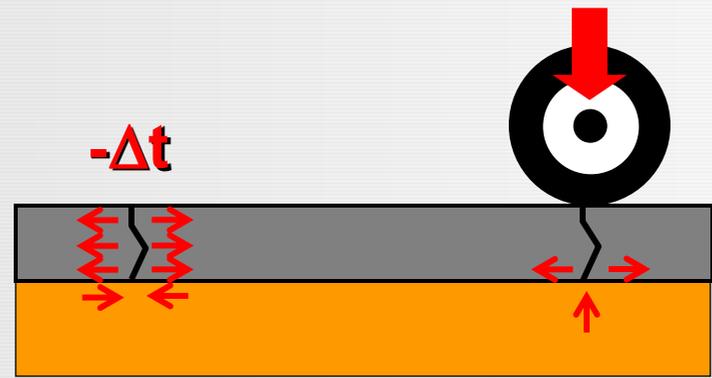


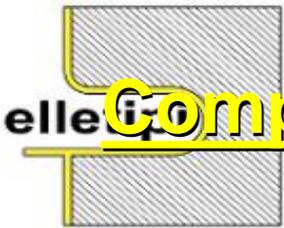
## Prove di laboratorio su bitumi



**Basse temperature: comportamento elastico e fragile**

Se stressato oltre le capacità di resistenza il bitume può fratturarsi e dare luogo alle note fessurazioni dei c. bituminosi



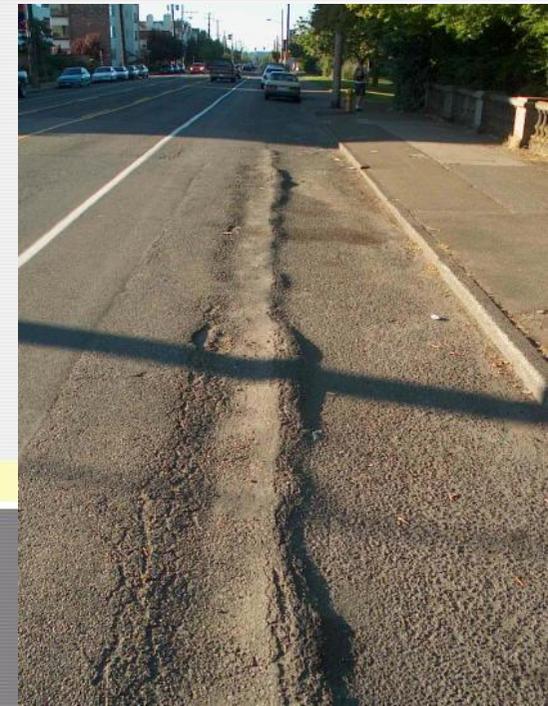


**Temperature intermedie: comportamento viscoso elastico**

Si associano le proprietà viscoso ed elastiche del legante

**Temperature alte: comportamento viscoso plastico**

Le caratteristiche plastiche sono responsabili delle deformazioni delle pavimentazioni (solchi o ormaie)



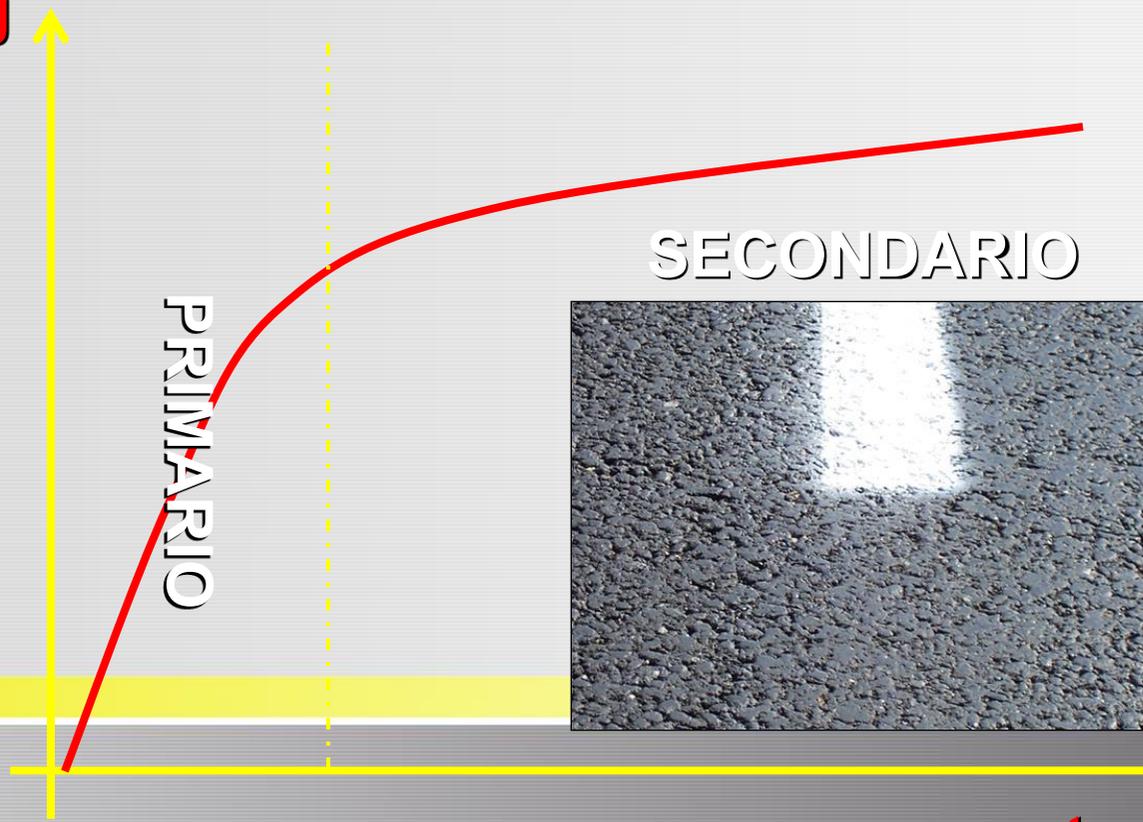
# Invecchiamento dei bitumi: DIVISIONE CONGLOMERATI BITUMINOSI

Reazioni di ossidazione delle molecole organiche del bitume che causano indurimento del materiale che risulta più fragile.

Nella vita di un bitume si verificano 2 fasi di invecchiamento:

Ageing

Volatilità

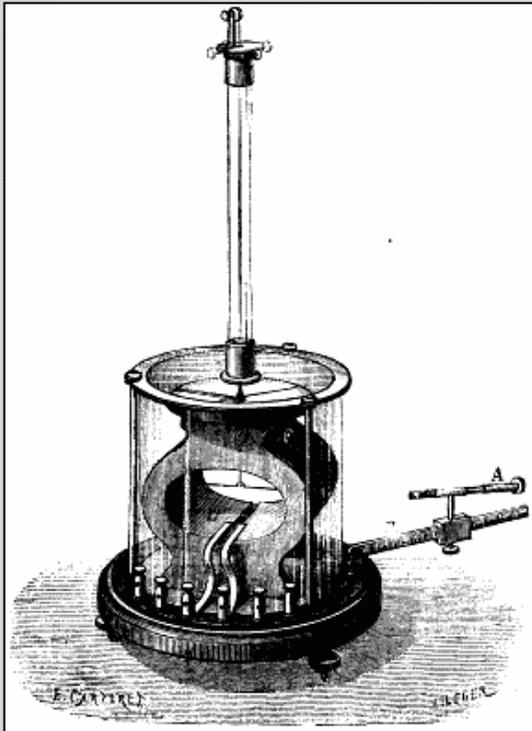


## CAPITOLATO DELLE PAVIMENTAZIONI:

**Tabella 4.1**

Bitume				
<i>parametro</i>	<i>Normativa</i>	<i>unità di misura</i>	<i>tipo 50/70</i>	<i>tipo 80/100</i>
Penetrazione a 25°C	EN1426, CNR24/71	dmm	50-70	80-100
Punto di rammollimento	EN1427, CNR35/73	°C	46-56	40-44
Punto di rottura (Fraass)	CNR43 /74	°C	≤ - 8	≤ - 8
Solubilità	EN 12592	%	≥ 99	≥ 99
Viscosità dinamica a 160°C, $\gamma = 10s^{-1}$	PrEN 13072-2	Pa•s	≥ 0,15	≥ 0,10
<b>Valori dopo RTFOT</b>		EN12607-1		
Volatilità	CNR54/77	%	≤ 0,5	≤ 0,5
Penetrazione residua a 25°C	EN1426, CNR24/71	%	≥ 50	≥ 50
Incremento del punto di Rammollimento	EN1427, CNR35/73	°C	≤ 9	≤ 9

## Reologia tradizionale: Prove di consistenza e fragilità



- Penetrazione
- Rammollimento
- Fraass

Nota: La reologia studia la deformazione di un corpo sotto l'azione di uno sforzo.

# CNR B.U. 68, 1951 Caratteristiche per l'accettazione dei bitumi

elletipi

DIVISIONE CONGLOMERATI BITUMINOSI

Caratteristiche	Bitumi semisolidi per usi stradali				
	B 40/50	B 50/70	B 80/100	B 130/150	B 180/220
Penetrazione a 25°C. . . . .	40-50	50-70	80-100	130-150	180-220
Punto di rammolimento (palla e anello) . . . . .	51-60	47-56	44-49	40-45	35-42
Punto di rottura (Fraass), massimo . . . . .	-6	-7	-10	-12	-14
Durezza a 25°C, minima . . . . .	70	80	100	100	100
Solubilità in solventi organici, minima . . . . .	99	99	99	99	99
Perdita per riscaldamento (volatilità):					
a 163°C, massima . . . . .	—	—	0,5	1	1
a 200°C, massima . . . . .	0,5	0,5	—	—	—
Penetrazione a 25°C del residuo della prova di volatilità: valore espresso in percentuale di quello del bitume originario, minimo . . . . .	60	60	60	60	60
Punto di rottura del residuo della prova di volatilità, massimo . . . . .	-4	-5	-7	-9	-11
Contenuto di paraffina, massimo . . . . .	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Densità a 25/25°C . . . . .	1,00-1,10	1,00-1,10	1,00-1,07	1,00-1,07	1,00-1,07

Nella presente norma viene applicato il Sistema internazionale di unità (SI) - ved. Norma CNR-UNI 10003-74. In particolare, lo stesso numero che esprime il peso nel Sistema Tecnico, prima in uso, esprime la massa nel Sistema SI.

	Unità	Metodo di prova	Designazione delle classi								
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	100/220	250/330
Valore della penetrazione a 25 °C	× 0,1 mm	EN 1426	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	100-220	250-330
Punto di rammolimento	°C	EN 1427	55-63	52-60	50-58	48-50	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38
Resistenza all'indurimento, a 103 °C <sup>a)</sup>		EN 12007-1 o EN 12007-3									
- variazione di massa, massimo, ±	%		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0
- penetrazione residua, minimo	%		55	53	53	50	50	40	43	37	35
- punto di rammolimento dopo indurimento, valore minimo	°C	EN 1427	57	54	52	49	48	45	41	37	32
Punto di infiammabilità, valore minimo	°C	EN 22502 (b)	240	240	240	230	230	230	230	220	220
Solubilità, valore minimo	% (m/m)	EN 12502	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

a) In casi di arbitrato deve essere utilizzato solo il metodo RTFOT (b) Vedere 4.1.1.3.

## Bitumi maggiormente in uso in Italia per applicazioni stradali e industriali

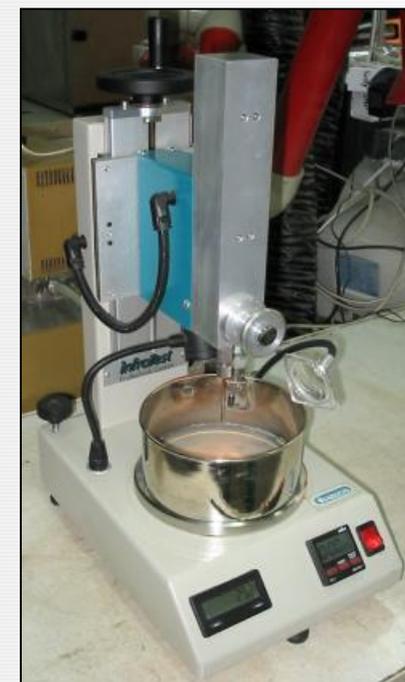
	Unità	Metodo di prova	Designazione delle classi			
			35/50	50/70	70/100	100/220
Valore della penetrazione	× 0,1 mm	EN 1426	35-50	50-70	70-100	100-220
Punto di rammolimento	°C	EN 1427	50-58	46-54	43-51	35-43
Punto di rottura Fraass, valore massimo	°C	EN 12503	-5	-8	-10	-15
Punto di infiammabilità, valore minimo	°C	EN 22502	240	230	230	220
Solubilità, valore minimo	%	EN 12502	99	99	99	99
Resistenza all'indurimento		EN 12007-1	0,5	0,5	0,8	1
Variazione della massa	%					
Penetrazione dopo indurimento, valore minimo	%	EN 1426	53	50	40	37
Rammolimento dopo indurimento, valore minimo		EN 1427	52	48	45	37
Variazione del rammolimento, valore massimo		EN 1427	11	11	11	12

## UNI EN 1426: Determinazione della penetrazione con ago.

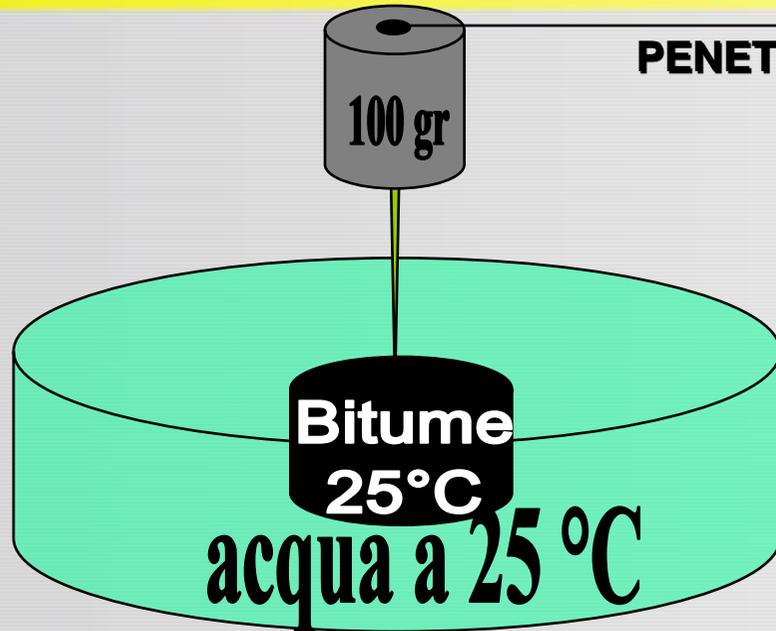
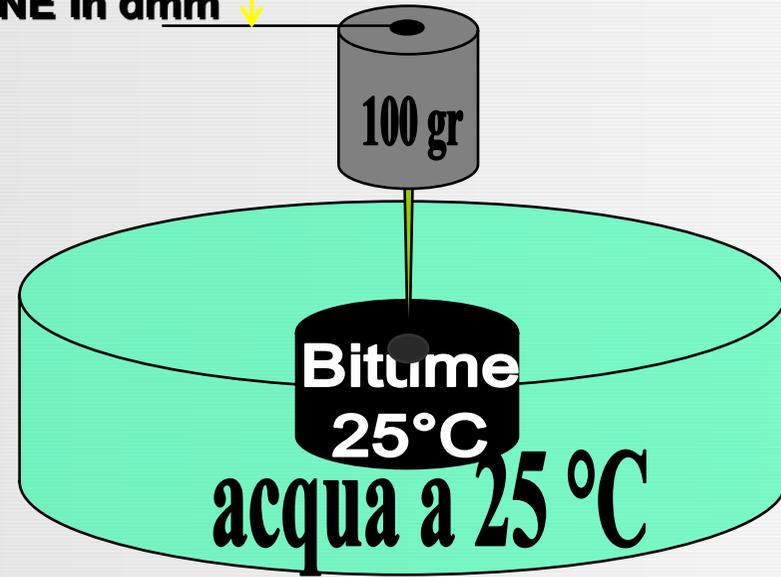
### DEFINIZIONE:

“caratterizza convenzionalmente la consistenza di un bitume solido o semisolido, mediante la misura della profondità, espressa in *dmm*, raggiunta da un ago normalizzato che penetra verticalmente in un provino del bitume in esame, in un dato tempo ed in determinate condizioni di carico e temperatura.”

**NOTA:** il risultato del test chiamato anche **GRADAZIONE** costituisce il valore utilizzato nella norma CNR B.U. 68, 1951 per classificare “commercialmente” i bitumi per uso stradale.



Penetrazione: UNI EN 1426

**INIZIO: tempo = 0 secondi****FINE: tempo = 5 secondi**

I bitumi tendono a passare dallo stato solido allo stato liquido (fluido newtoniano) al crescere della temperatura per cui si fissano 25°C convenzionali.

## Penetrazione: UNI EN 1426

- Ago: diametro  $1,01 \pm 0,01$  mm; lunghezza 51 mm ca.; punta conica normata; materiale acciaio inossidabile temperato e levigato; l'ago deve essere pulito dopo ogni prova, asciugato e conservato in ambiente asciutto, deve essere periodicamente controllato al microscopio. (prezzo singolo ago ca. 50 euro);
- Contenitore metallico: atto a contenere il campione di bitume, deve avere fondo piatto, diametro interno di 55 mm ed altezza di 35 mm o 55 mm;
- Penetrometro: apparecchio di misurazione dotato di supporto per l'ago, peso di 100 gr, dispositivo di lettura della penetrazione (decimillimetri). La base deve essere dotata di viti di regolazione per assicurare orizzontalità;
- Bagno d'acqua: ove immergere completamente il provino (contenitore + bitume) durante la prova a  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ;
- Termometro: per misurare la temperatura dell'acqua al  $0,1^{\circ}\text{C}$ ;
- Timer: normato (e tarato), deve misurare un tempo di 5 sec di affondamento.

## Penetrazione: UNI EN 1426

- RISCALDAMENTO BITUME fino a fusione con le dovute precauzioni per evitare surriscaldamenti locali. Deve essere portato ad una temperatura che sia 80 - 90°C oltre il punto di rammollimento, agitando continuamente (frullino) per eliminare bolle d'aria e renderlo completamente fluido. Max 30 min. Se presenta impurità va setacciato;
- SI VERSA il bitume nel contenitore in modo da riempirlo per i  $\frac{3}{4}$  circa; in tale modo vanno preparati due provini identici per ogni tipo di bitume;
- RAFFREDDAMENTO a temperatura ambiente (18 - 25°C) per 1,5 – 2 ore; occorre proteggere i provini dalla polvere;
- IMMERSIONE in bagno termostatico alla temperatura costante di 25°C  $\pm$  0,1°C e lasciati in bagno per 1 ora e mezza.

## PROCEDIMENTO:

- SI EFFETTUA la nuova lettura del quadrante del penetmetro; il valore della lettura espresso in decimi di millimetro rappresenta la PENETRAZIONE;
- SE il contenitore col bitume, durante la prova, ha un qualsiasi movimento, la prova va ripetuta;
- SU CIASCUN provino vanno effettuate non meno di 3 penetrazioni a distanza di almeno 1 cm una dall'altra e dalla parete del contenitore;
- OCCORRE cambiare ago o ripulirlo dopo ogni misurazione;

## UNI EN 1427: Determinazione del punto di rammollimento.

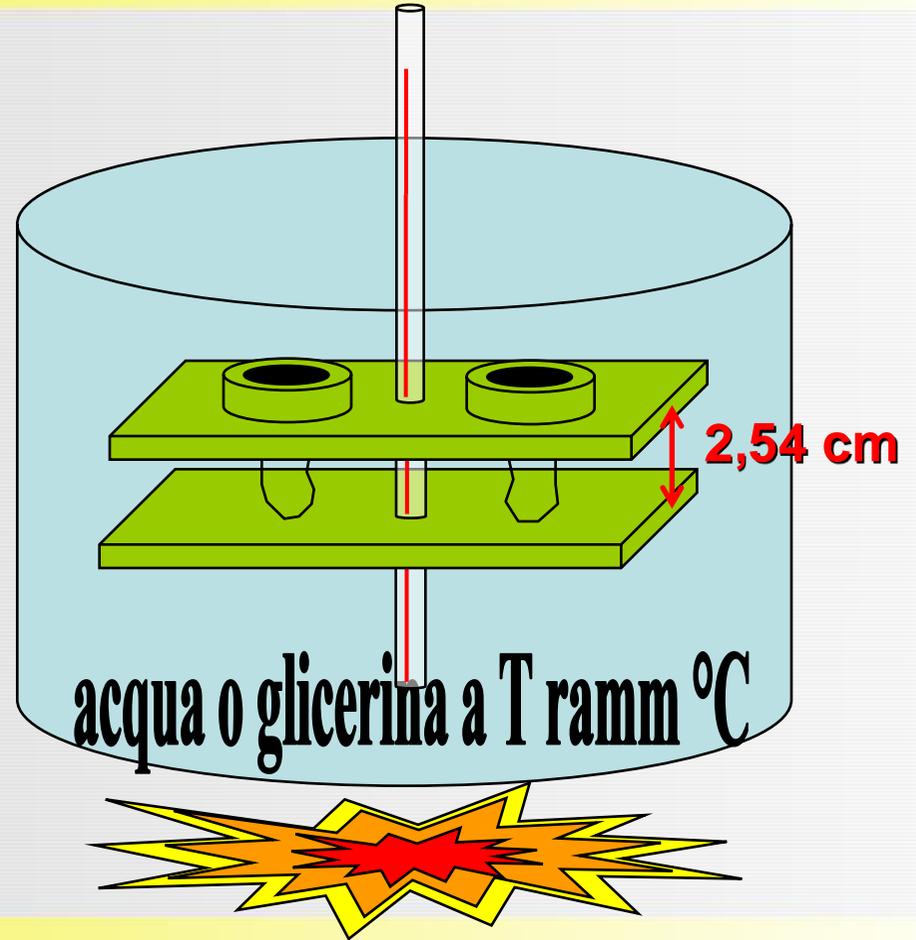
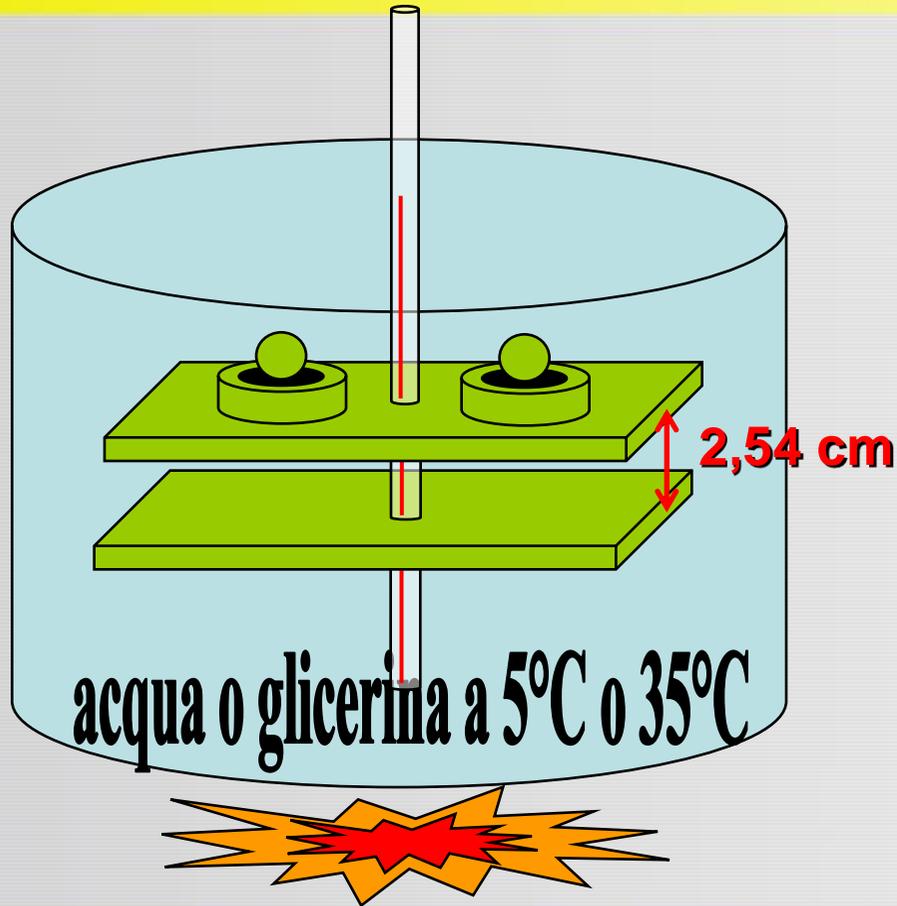
### DEFINIZIONE:

“Il punto di rammollimento indica la temperatura alla quale il bitume solido o semisolido, riscaldato progressivamente, raggiunge un determinato grado di consistenza misurato in modo convenzionale mediante un'apposita apparecchiatura.”

**NOTA:** in realtà la definizione non è proprio corretta in quanto non è esatto definire un valore di temperatura di soglia, ma sarebbe più opportuno parlare di un intervallo di temperatura entro il quale il bitume fluidifica, tuttavia si sceglie convenzionalmente il valore puntuale come parametro empirico della prova.



**LA PROVA VIENE ANCHE CHIAMATA DELLA BIGLIA&ANELLO**



## APPARECCHIATURA DI PROVA:

- DUE SFERETTE d'acciaio: diametro 9,53 mm e peso  $3,50 \pm 0,05$  gr.;
- DUE ANELLI d'ottone aventi forma e dimensioni specifiche;
- DUE COLLARINI d'ottone per il centraggio delle sfere sugli anelli;
- UN SUPPORTO per gli anelli di dimensioni specifiche;
- DUE TERMOMETRI di precisione, tipo ad immersione, con scale differenti a seconda dei bitumi testati: da 0 a 80°C e da 30 a 200°C;
- BAGNO: recipiente di vetro resistente al calore di dimensioni specifiche e munito di sistema di riscaldamento tale da assicurare la massima uniformità della temperatura del liquido del bagno;
- Il posizionamento degli anelli e dei supporti entro il bagno deve essere tale da garantire l'uniformità delle temperature ed evitare effetti di bordo;
- Nelle norme è riportata una figura che schematizza la prova.

## PREPARAZIONE DEI PROVINI:

- SE il campione di bitume da testare contiene acqua, va disidratato nel più breve tempo possibile senza superare i 130°C;
- Si riscalda con cautela il bitume agitando continuamente onde evitare surriscaldamenti locali, fino a renderlo sufficientemente liquido per essere colato e privo di bolle d'aria; max temperatura 100°C oltre il ramm. prev.
- SE necessario si filtra il campione: setaccio 0,3 UNI 2332;
- Si scaldano gli anelli dopo averli preparati secondo norma e vi si cola il bitume fuso riempiendoli oltre l'orlo;
- Si lascia raffreddare per almeno 30 minuti, quindi si livella il provino asportando il bitume solido eccedente con una lama riscaldata;
- IN nessun caso devono passare più di 4 ore tra il riempimento degli anelli e la fine della prova.

## ESECUZIONE DELLA PROVA:

- Si eseguono contemporaneamente due determinazioni:
- Si montano gli anelli col bitume raffreddato entro i supporti e si immerge il tutto in un bagno di acqua distillata alla temperatura iniziale di 5°C, fino ad una altezza di 50 mm al di sopra della superficie superiore degli anelli;
- Si immergono le sferette nello stesso bagno e dopo 15 minuti le si posizionano con una pinza nei collarini di centraggio;
- Si inizia a riscaldare il bagno con una velocità costante di  $5 \pm 0,5^\circ\text{C}$  al minuto, finché il provino di bitume, rammollitosi, si deforma sotto il peso della sferetta allungandosi verso il basso;
- Per ciascun anello si prende nota della temperatura del bagno al momento in cui il bitume, che avvolge la sfera, tocca la piastrina sottostante;
- Per bitumi con punto di rammollimento  $> 80^\circ\text{C}$  si utilizza un bagno di glicerina (non bolle a  $100^\circ\text{C}$ ) partendo dalla temperatura di  $35^\circ\text{C}$  per 15 minuti;



## ESPRESSIONE DEI RISULTATI:

- Si indica come PUNTO DI RAMMOLLIMENTO P.A. (Palla e Anello) la media delle temperature registrate nelle due determinazioni contemporanee, arrotondata a  $0,5^{\circ}\text{C}$ ; se la differenza è  $>1^{\circ}\text{C}$  va ripetuta. (sotto gli  $80^{\circ}\text{C}$ );
- Occorre indicare se il campione di bitume era stato disidratato e/o filtrato, nonché il tipo di liquido utilizzato per il bagno di prova.

## OSSERVAZIONI:

- Tra la PENETRAZIONE ed il PUNTO DI RAMMOLLIMENTO esiste una relazione di proporzionalità inversa, in quanto bitumi più consistenti e quindi con PENETRAZIONE più bassa, presentano PUNTI DI RAMMOLLIMENTO più elevati;
- Possono esistere per la diversa composizione chimica, bitumi con PENETRAZIONI uguali che hanno PUNTI DI RAMMOLLIMENTO diversi;
- Valori classici di P.A. per bitumi normali sono tra i  $35$  ed i  $65^{\circ}\text{C}$

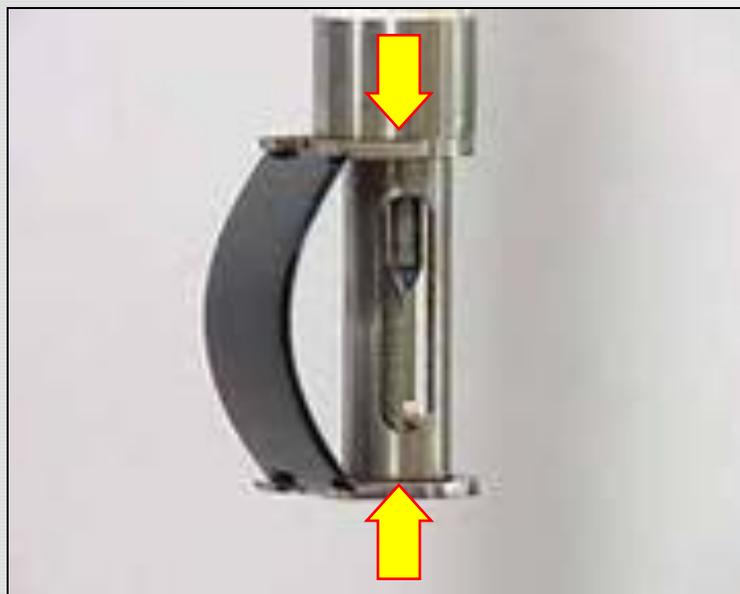
## UNI EN 12593: Determinazione del punto di rottura secondo il metodo Fraass.

### DEFINIZIONE:

“Il punto di rottura indica la temperatura alla quale il bitume solido o semisolido, raffreddato progressivamente, raggiunge un determinato grado di fragilità misurato in modo convenzionale mediante un'apposita apparecchiatura.”

**NOTA:** la prova descrive in maniera empirica il comportamento del bitume alle temperature inferiori allo 0°C. Esistono numerosi tipi di apparecchiature in commercio, dalle manuali alle automatiche.

**LA PROVA VIENE CHIAMATA ANCHE DI ROTTURA FRAASS.**



**PIASTRINA CON  
IL FILM DI BITUME  
DA TESTARE  
SOGGETTA ALLE  
INFLESSIONI ED  
AL CALO DI  
TEMPERATURA**

## APPARECCHIATURA DI PROVA:

- PIASTRINE: di acciaio inossidabile da molle, lunghe mm  $41 \pm 0,05$ , larghe mm  $20 \pm 0,2$ , spessore mm  $0,15 \pm 0,02$ . Se non usate vanno riposte piane;
- PIASTRA per la preparazione delle piastrine bitumate di dimensioni note;
- BAGNO di riscaldamento per la PIASTRA di preparazione, munito di termometro con scala graduata fino a  $150^{\circ}\text{C}$ ;
- DISPOSITIVO DI INFLESSIONE delle piastrine bitumate: costituito da 2 tubi concentrici fatti di materiale isolante (pyrex o porcellana). Infondo a quello interno sono fissate due graffe metalliche che accoglieranno la piastrina. Internamente al tubo stesso può scorrere il termometro che raggiunge la piastrina. Ruotando una apposita manovella a vite senza fine, il tubo interno si muove su e giù rispetto a quello esterno inflettendo la piastrina. Il moto e quindi l'inflessione della piastrina è descritto nella norma.
- DISPOSITIVO per il raffreddamento costituito da una grossa provetta entro la quale è inserito il meccanismo ed anche un piccolo imbuto; il tutto è inserito a sua volta entro un cilindro più grande.

## PREPARAZIONE CAMPIONE E PIASTRINE BITUMATE:

- SE il campione di bitume contiene acqua occorre disidratarlo a temperatura non superiore a 130°C, agitando continuamente;
- Per ogni prova occorrono almeno 2 piastrine pulite. Le piastrine hanno un senso di inflessione, facendo una prova con le dita si capisce da quale lato stendere il bitume.
- Porre sulla superficie della piastrina dopo averla tarata una quantità di bitume solido o semisolido pari a grammi  $0,40 \cdot \rho_{25} \pm 0,01$ .
- Collocare la piastrina sulla piastra più grande sopra il bagno di riscaldamento (non oltre 70 – 80°C il P.A.). Quando il bitume fluidifica distribuirlo uniformemente sulla piastrina inclinando la piastra riscaldata con piccoli movimenti. Il tutto in 5 – 10 minuti evitando surriscaldamenti;
- Evitare ed eliminare la presenza di bolle d'aria ed fare raffreddare la piastrina pronta al riparo dalla polvere. Attendere oltre 1 ora prima di eseguire la prova.

## ESECUZIONE DELLA PROVA ED ESPRESSIONE DEI RISULTATI:

- RIEMPIRE con acetone lo spazio concentrico compreso tra le due provette più interne;
- COLLOCARE la piastrina nel dispositivo di inflessione e inserire il dispositivo nella provetta grande posizionando anche il termometro col bulbo tra le estremità della piastrina;
- INIZIARE il raffreddamento aggiungendo CO<sub>2</sub> solida all'acetone attraverso l'imbuto in modo che la temperatura si abbassi di 1°C al minuto;
- PARTENDO da una temperatura di almeno 10°C superiore alla prevista rottura, inflettere la piastrina una volta ogni minuto girando la manovella alla velocità di un giro al secondo fino in alla fine e ruotandola poi in senso inverso alla stessa velocità;
- REGISTRARE come punto di rottura relativo ad una piastrina bitumata, la temperatura alla quale compaiono una o più fessure del film di bitume; la determinazione va fatta in doppio e il valore finale è la media delle due determinazioni che non debbono differire più di 2°C, oppure ripetere prova.

**FINE PARTE 2**