



COSTRUZIONE DI STRADE

Il bitume



INTRODUZIONE

Cos'è il BITUME? (non catrame)

Il **bitume** è il legante ed impermeabilizzante di maggiore impiego nell'ambito delle costruzioni e della manutenzione stradale.

È una dispersione colloidale di asfalteni in una fase disperdente costituita da oli e resine.



INTRODUZIONE

In ambito stradale si utilizzano **bitumi tradizionali** e **modificati** (bitume + polimeri).

DIFFERENZA TRA MODIFICA ED ADDITIVAZIONE

ADDITIVAZIONE: le proprietà comportamentali del materiale da additivare non vengono cambiate

MODIFICA: le proprietà comportamentali del materiale da modificare vengono profondamente cambiate (es. l'immissione di un polimero in un bitume provoca un cambiamento della temperatura di palla - anello, della penetrazione, ecc.)

INTRODUZIONE

In ambito stradale si utilizzano **bitumi tradizionali** e **modificati**.

LIMITI DEI BITUMI NON MODIFICATI

- Bassa resistenza alle deformazioni ad alte temperature (ormaiamento)
- Grande variazione delle prestazioni al cambiare delle temperature
- Perdita della flessibilità per invecchiamento (fragilità del conglomerato)
- Bassa resistenza meccanica per le prestazioni richieste (es. manti drenanti)

INTRODUZIONE

In ambito stradale si utilizzano **bitumi tradizionali** e **modificati**.

MIGLIORAMENTI ATTESI

- Innalzamento della temperatura di esercizio (incremento della viscosità)
- Maggiore tenacità / flessibilità a freddo
- Incremento resistenza all'invecchiamento
- Maggiore potere legante (conglomerati tradizionali e/o speciali)
- Aumento della temperatura Palla e Anello;
- Diminuzione della penetrazione;
- Aumento della viscosità

INTRODUZIONE

In ambito stradale si utilizzano **bitumi tradizionali** e **modificati**.

MIGLIORAMENTI ATTESI PER IL CONGLOMERATO BITUMINOSO

- Maggiore rigidità
- Maggiore resistenza alle deformazioni
- Maggiore resistenza alla propagazione delle fessure
- Maggiore resistenza all'acqua
- Maggiore resistenza al refluentamento
- Maggiore durata
- Maggiore garanzia di sicurezza

COMPORAMENTO DEI BITUMI

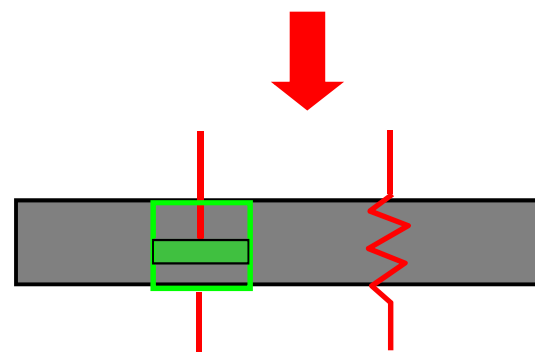
Basse temperature: comportamento elastico e fragile

Se **sollecitato oltre certi limiti** (resistenza) il bitume può **rompersi** e dar luogo alle caratteristiche **fessurazioni** dei c. bituminosi.



Temperature intermedie: comportamento visco-elastico

Si manifestano sia le **proprietà elastiche** sia quelle **viscose** del legante in misura dipendente dalla **temperatura** e dalla **velocità di applicazione del carico**.



NORME e PROVE SUI BITUMI



UNI EN 12591: Specifiche per i bitumi per applicazioni stradali.

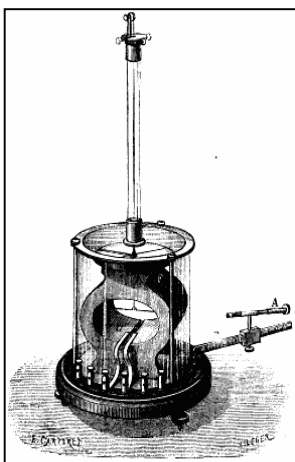
La norma europea specifica le proprietà ed i relativi metodi di prova

UNI EN 12597: Terminologia.

Legante bituminoso: materiale adesivo contenente bitume.

Bitume: materiale praticamente non volatile, **adesivo** ed **impermeabile** derivato dal petrolio greggio, oppure presente nell'asfalto naturale, che è completamente **solubile in Toluene** e molto viscoso o quasi solido a temperatura ambiente.

Emulsione di bitume: emulsione (bitume+H₂O) in cui la fase dispersa è bitume.



**REOLOGIA TRADIZIONALE: PROVE
DI CONSISTENZA E FRAGILITÀ**

1. Penetrazione
2. Rammollimento
3. Fraass

REOLOGIA TRADIZIONALE: PROVE DI CONSISTENZA E FRAGILITÀ

Le prove reologiche che tradizionalmente si eseguono su un campione di bitume sono:

- la **prova di penetrazione**, mirata alla valutazione della consistenza di un bitume;
- la **prova di rammollimento o prova palla – anello**, mirata alla caratterizzazione del bitume alle alte temperature;
- la **prova di rottura o prova Fraass**, mirata alla caratterizzazione del bitume alle basse temperature.

PROVA DI PENETRAZIONE

UNI EN 1426, CNR B.U. 24

DEFINIZIONE:

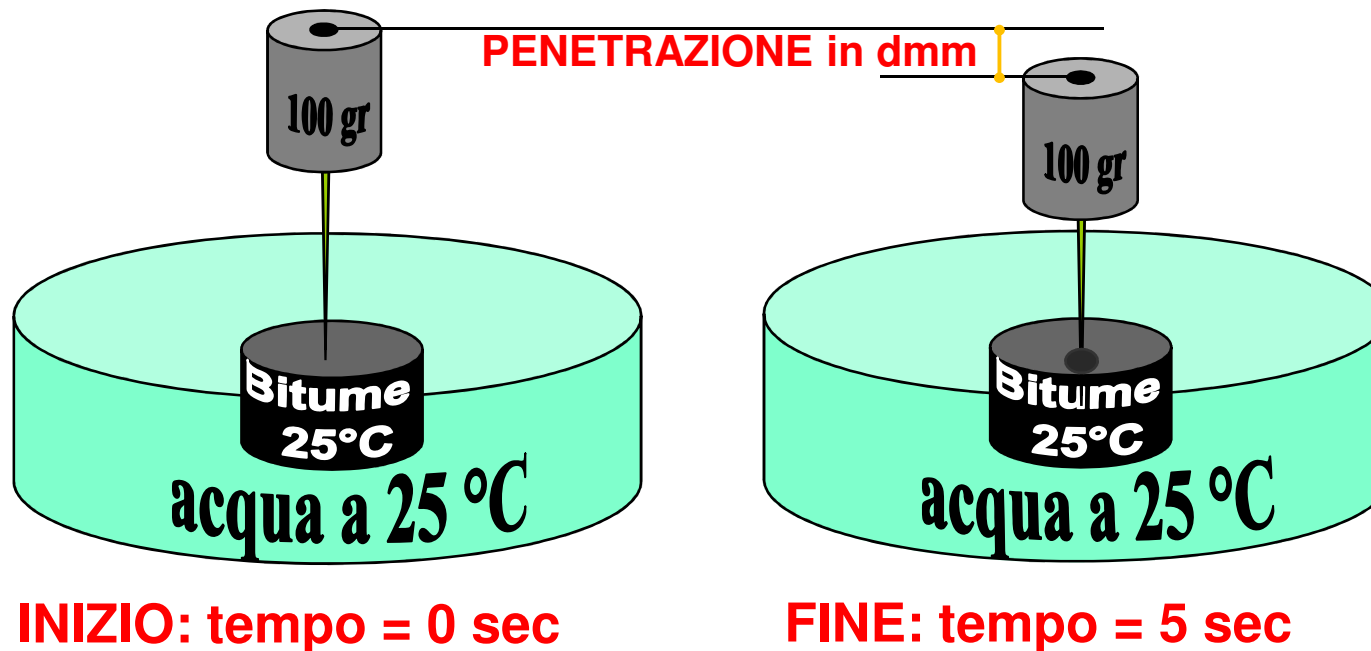
Caratterizza convenzionalmente la **consistenza di un bitume** solido o semisolido, mediante la misura della profondità, espressa in dmm, raggiunta da un ago normalizzato che penetra verticalmente in un provino del bitume, in un dato tempo ed in determinate condizioni di carico e temperatura.

Il risultato costituisce il valore utilizzato nella norma CNR B.U. 68, 1951 per classificare “commercialmente” i bitumi per uso stradale.



PROVA DI PENETRAZIONE

SCHEMA DELLA PROVA DI PENETRAZIONE: PENETROMETRO



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

PROVA DI PENETRAZIONE

APPARECCHIATURA DI PROVA:

- **Ago:** diametro 1 mm; lunghezza 51 mm; acciaio inossidabile; deve essere pulito dopo ogni prova, asciugato e conservato in ambiente asciutto.
- **Contenitore metallico:** atto a contenere il campione di bitume, deve avere 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 g, dispositivo di lettura della penetrazione (decimillimetri).
- **Bagno d'acqua:** dove immergere il provino (contenitore + bitume) durante la prova a 25°C;
- **Termometro:** per misurare la temperatura dell'acqua;
- **Timer:** normato, deve misurare un tempo di 5 sec di affondamento.



PROVA DI PENETRAZIONE

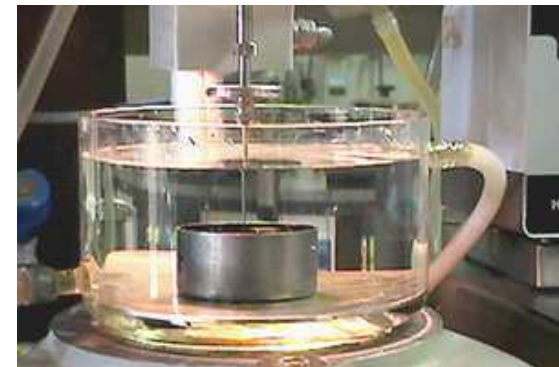
PREPARAZIONE DEI PROVINI:

- riscaldamento del bitume fino a fusione. Deve essere portato ad una temperatura che sia **80 - 90°C oltre il punto di rammollimento**, agitandolo continuamente per eliminare bolle d'aria e per renderlo completamente fluido. max 30 min;
- 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;
- immersione in bagno termostatico alla temperatura costante di 25°C e lasciati in bagno per 1 ora e mezza.

PROVA DI PENETRAZIONE

PROCEDIMENTO:

- si trasporta rapidamente il provino dal bagno d'acqua ($25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$) contenente tutti i provini a quello posto sotto lo strumento di prova; il provino deve essere sempre immerso in acqua;
- si abbassa lentamente l'ago, prima di avviare la macchina, portandolo a contatto con la superficie del bitume nel contenitore; essendo il provino immerso in acqua questa operazione potrà risultare difficile per via della diffrazione dovuta all'acqua;
- si azzera la lettura sul quadrante del penetrometro;
- si libera l'ago con il peso lasciando affondare l'ago nel bitume per 5 sec.



PROVA DI PENETRAZIONE

PROCEDIMENTO:

- si effettua la nuova lettura del quadrante del penetrometro. 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;
- se la penetrazione è superiore ai 225 dmm occorre lasciare l'ago nel provino.

PROVA DI PENETRAZIONE

ESPRESSIONE DEI RISULTATI:

Il valore della penetrazione del bitume testato è la media, approssimata all'unità intera, di 3 determinazioni i cui valori rientrano nei limiti della seguente tabella:

Penetrazione, <i>dmm</i>	0- 49	50-149	150-249	>250
Massima differenza fra la più alta e la più bassa determinazione, <i>dmm</i>	2	4	6	8

Se i valori non rientrano nei limiti si ripete la prova utilizzando il secondo provino preparato; se succede altrettanto si ripete l'intera prova; se ancora non si rientra nei limiti si indicano separatamente i 4 risultati ottenuti.

PROVA DI PENETRAZIONE

OSSERVAZIONI:

- I PIU' COMUNI bitumi utilizzati in Italia hanno valori di PENETRAZIONE compresi nei seguenti intervalli, in dmm:

50-70, 80-100

- ed in misura molto minore perché più duri:

20-30, 40-50

- Nel settore industriale (impermeabilizzazione) si utilizzano soprattutto bitumi 180-220.

PROVA DI RAMMOLLIMENTO

UNI EN 1427, CNR B.U. 35

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.

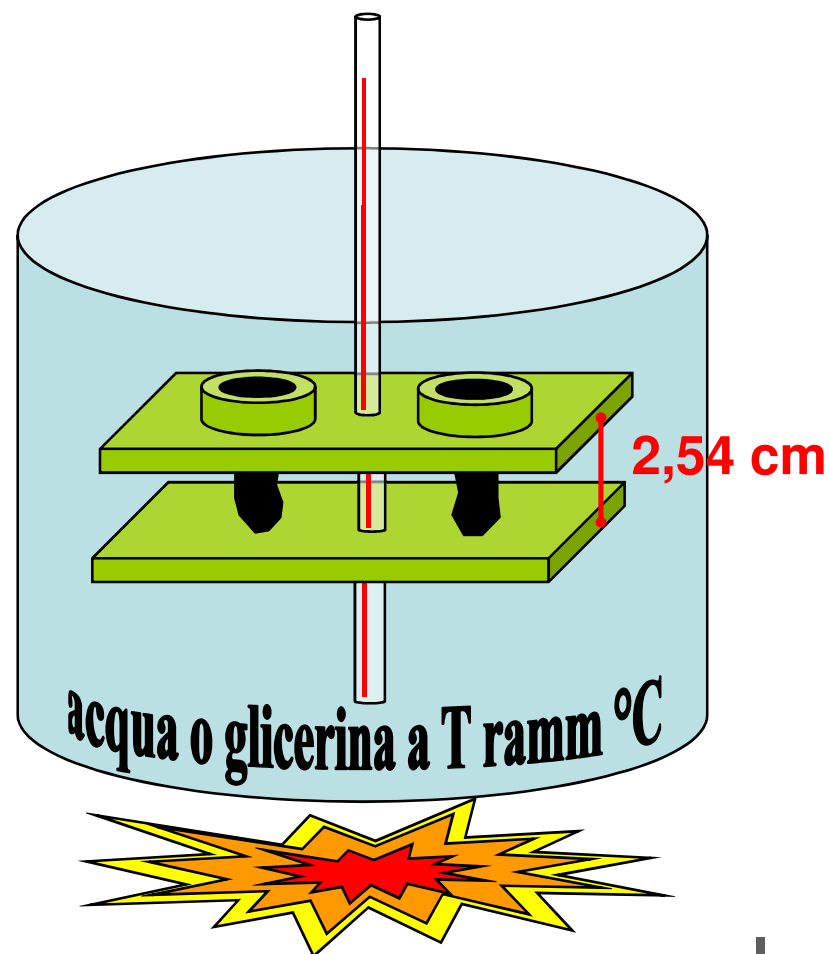
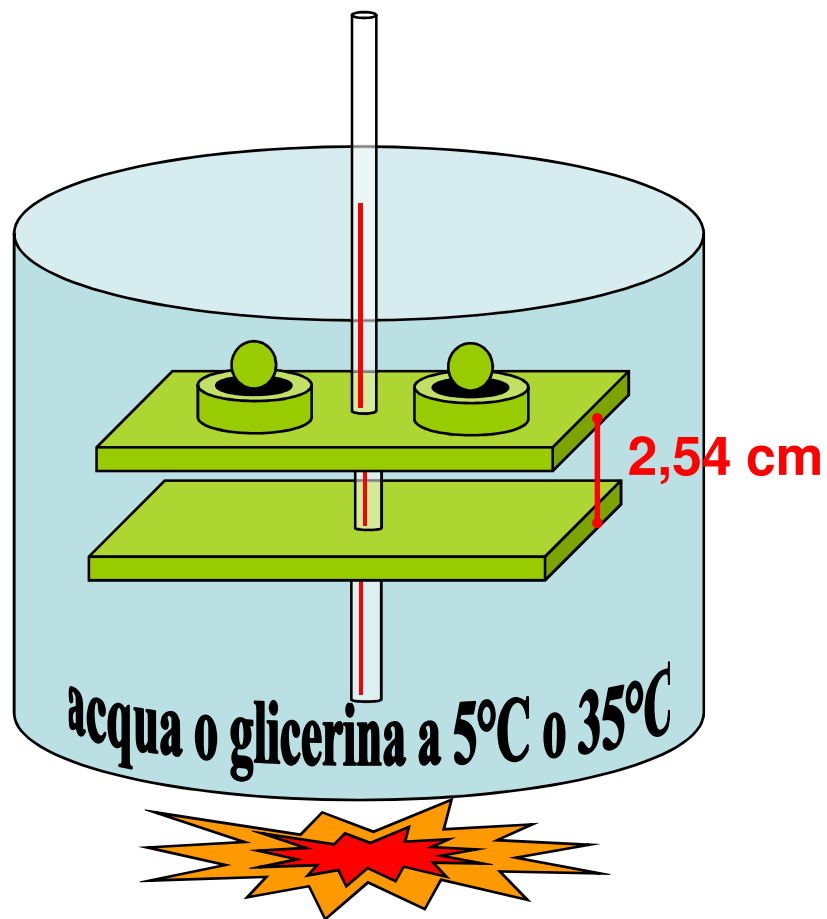
In realtà la definizione non è proprio corretta in quanto non è esatto definire un valore di soglia, ma sarebbe più opportuno parlare di un intervallo di temperatura entro il quale il bitume fluidifica.

La prova viene anche chiamata della biglia&anello.



PROVA DI RAMMOLLIMENTO

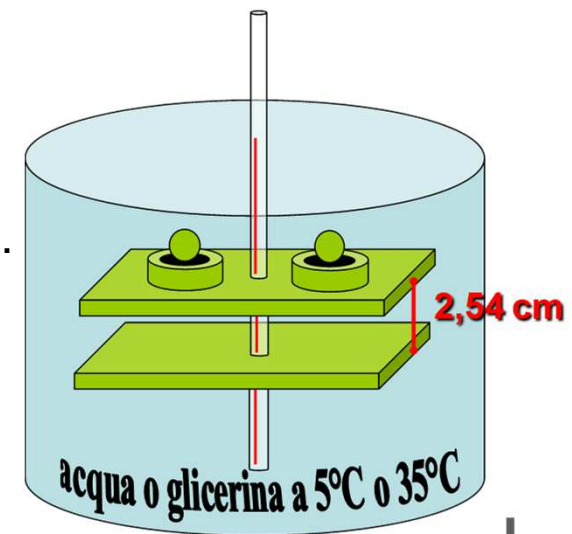
SCHEMA DELLA PROVA:



PROVA DI RAMMOLLIMENTO

APPARECCHIATURA DI PROVA:

- due sferette d'acciaio: diametro 9,53 mm e peso 3,50 g;
- due anelli d'ottone aventi forma e dimensioni specifiche;
- due collarini d'ottone per il centraggio delle sferette sugli anelli;
- un supporto per gli anelli di dimensioni specifiche;
- due termometri di precisione, tipo ad immersione;
- 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.



PROVA DI RAMMOLLIMENTO

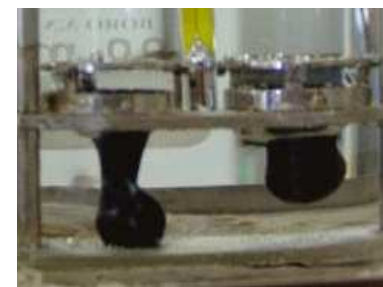
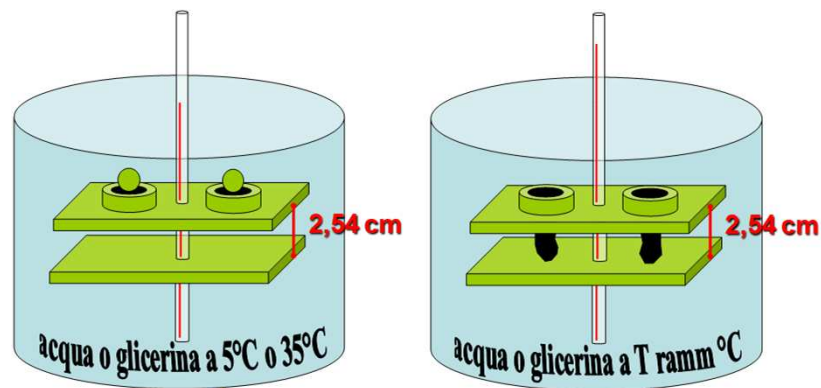
PREPARAZIONE DEI PROVINI:

- 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;
- 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.

PROVA DI RAMMOLLIMENTO

ESECUZIONE DELLA PROVA:

- si montano gli anelli col bitume raffreddato entro i supporti e si immerge 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°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.



PROVA DI RAMMOLLIMENTO

ESPRESSIONE DEI RISULTATI:

Si indica come **punto di rammollimento** (palla e anello) la media delle temperature registrate nelle due determinazioni contemporanee, arrotondata a 0,5°C.

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°C.

PROVA DI ROTTURA SECONDO IL METODO FRAASS

UNI EN 12593, CNR B.U. 43

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.

La prova descrive in maniera empirica il comportamento del bitume alle temperature inferiori allo 0°C.



La prova viene chiamata anche di rottura fraass.

PROVA DI ROTTURA SECONDO IL METODO FRAASS

SCHEMA DELLA PROVA DI ROTTURA FRAASS:





PROVA DI ROTTURA SECONDO IL METODO FRAASS

APPARECCHIATURA DI PROVA:

- piastrine: di acciaio inossidabile;
- piastra per la preparazione delle piastrine bitumate;
- bagno di riscaldamento per la piastra di preparazione;
- dispositivo di inflessione delle piastrine bitumate;
- dispositivo per il raffreddamento.



PROVA DI ROTTURA SECONDO IL METODO FRAASS

PREPARAZIONE CAMPIONE E PIASTRINE BITUMATE:

- se il campione di bitume contiene acqua occorre disidratarlo;
- 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 il bitume solido o semisolido;
- 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.

PROVA DI ROTTURA SECONDO IL METODO FRAASS

ESECUZIONE DELLA PROVA ED ESPRESSIONE DEI RISULTATI:

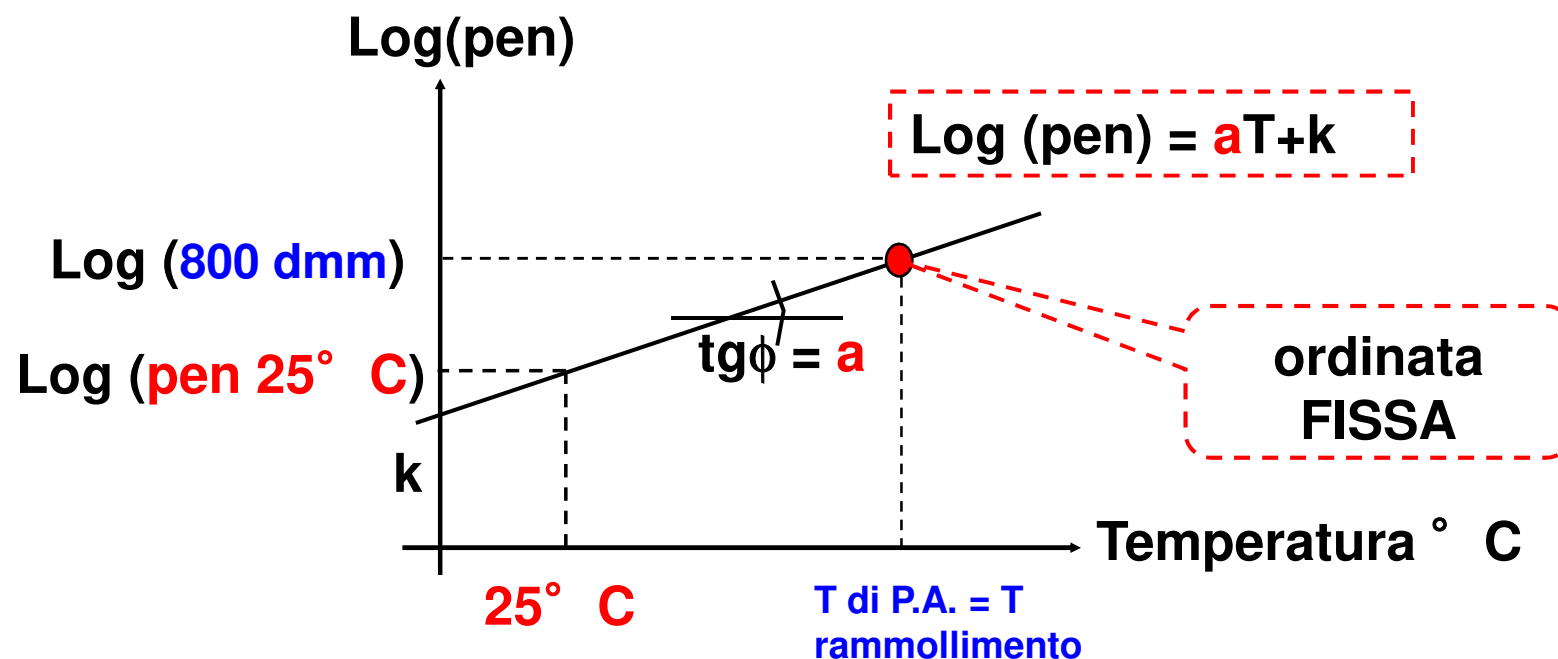
- collocare la piastrina nel dispositivo di inflessione ed inserire il dispositivo nella provetta grande posizionando anche il termometro col bulbo tra le estremità della piastrina;
- iniziare il raffreddamento in modo che la temperatura si abbassi di 1°C al minuto;
- partendo da una temperatura di almeno 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 la temperatura alla quale compaiono una o più fessure del film di bitume. la determinazione va fatta in doppio ed il valore finale è la media delle due determinazioni che non debbono differire più di 2°C, oppure ripetere prova.

SUSCETTIVITA' TERMICA, IP, Intervallo E-P

SUSCETTIVITA' TERMICA (a):

Esprime la variazione delle caratteristiche di consistenza del bitume in funzione della temperatura. Rappresenta in pratica la pendenza della retta in figura.

Si costruisce disegnando il punto fisso, ottenuto sapendo che alla temperatura di rammollimento la penetrazione assume il valore di 800 dmm. Poi si fissa il punto con penetrazione a 25° C e si traccia la retta.



SUSCETTIVITA' TERMICA, IP, Intervallo E-P

SUSCETTIVITA' TERMICA (a):

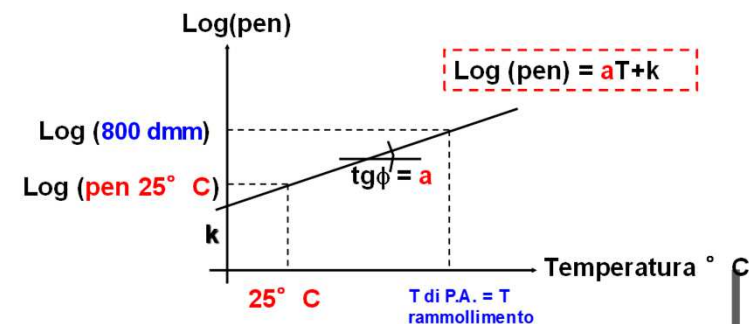
Con la **PENETRAZIONE @ 25° C** e **RAMMOLLIMENTO** si potrà calcolare **a** ($0 \div \infty$).

$$a = \frac{\text{Log (800 dmm)} - \text{Log (pen 25° C)}}{T \text{ di P.A.} - 25° \text{ C}}$$

INDICE DI PENETRAZIONE (IP):

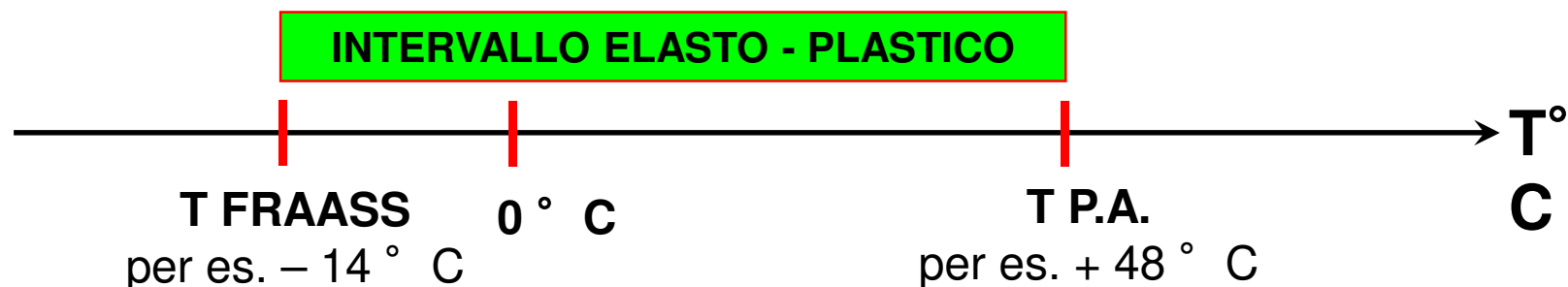
La **Suscettività term. (a)** è correlata ad **IP** ($-10 \div +20$).

$$IP = \frac{20 - 500 \cdot a}{50 \cdot a + 1}$$

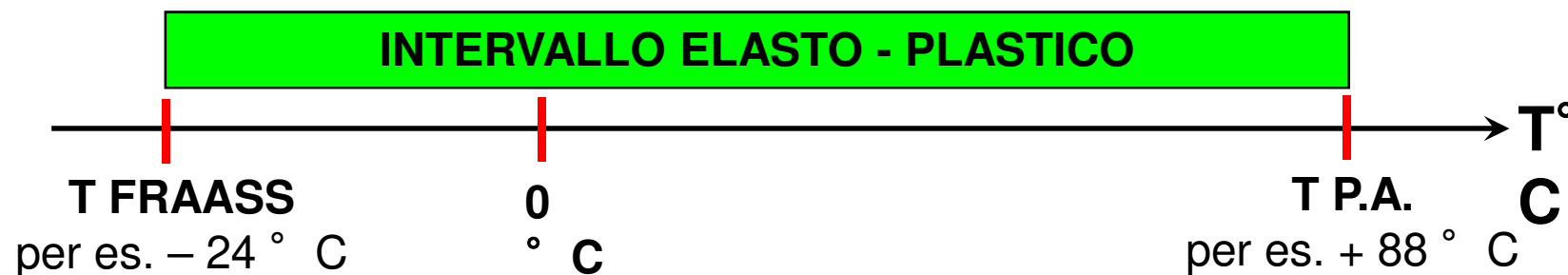


INTERVALLO ELASTO - PLASTICO:

E' l' intervallo di temperature comprese tra la Temperatura di Rottura FRAASS e la Temperatura di Rammollimento P.A.



PER UN BITUME MODIFICATO CON POLIMERI

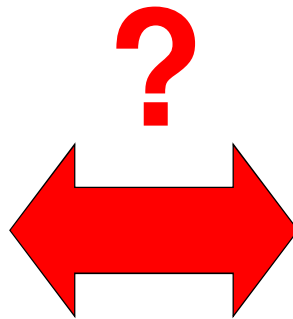


LIMITI DELLE PROVE TRADIZIONALI

Le prove precedenti restituiscono proprietà fisiche convenzionali

Sono condotte a **temperature specifiche** ed in **configurazioni di prova ben definite**. Il dato ha **interesse PRESCRITTIVO** perché deve essere confrontato con un valore di riferimento fissato dalla norma tecnica.

La **Penetrazione** ad esempio è un **indicatore di consistenza**: che relazione ha con la PRESTAZIONE in opera?



NUOVO APPROCCIO SPERIMENTALE

Nuove prove di laboratorio per misurare le proprietà del bitume:

1. direttamente correlabili con la **PRESTAZIONE** degli stessi in opera;
2. alle reali **temperature** e frequenze di esercizio;
3. durante le varie fasi della sua vita (**invecchiamento accelerato**).

PROVA CON:

PRESTAZIONE:

SUPERPAVE USA

Viscosimetro Rotazionale

trasporto
pompaggio

fluidità

Reometro rotazionale
(DSR)

deformazioni
permanenti

ormae

Reometro flessionale (BBR)
Trazione diretta (DTT)

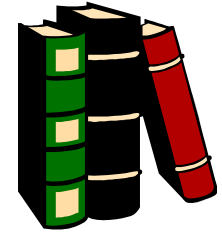
fessurazioni
per fatica

fessure

fessurazioni
termiche

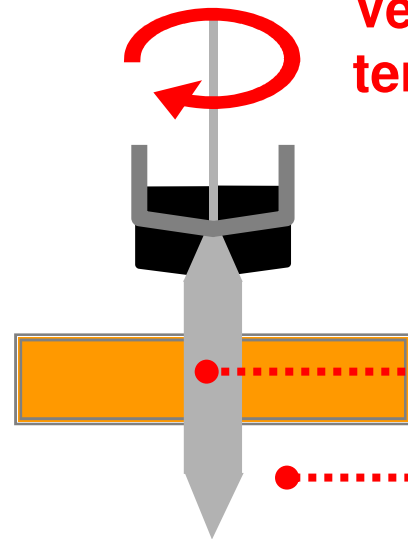
fessure

UNI EN 13302: 2003: Determinazione della viscosità di un bitume utilizzando un Viscosimetro Rotazionale



SCOPO: Metodo per la **determinazione della Viscosità Dinamica** dei leganti bituminosi in un certo range di temperature per mezzo di un viscosimetro coassiale.

VISCOSITA' DINAMICA: rapporto tra la tensione di taglio applicata ed il gradiente di velocità: in Pa*s. La viscosità si calcola misurando la coppia necessaria a mantenere costante la velocità di rotazione di un cilindro metallico all'interno di un campione di legante mantenuto a temperatura costante.



Velocità di rotazione e temperatura costanti.



In genere:

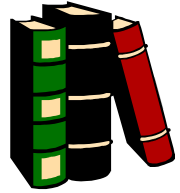
30 gr di bitume

Temp. > 60°C

**Viscosità
dinamica:**

$\eta > 3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

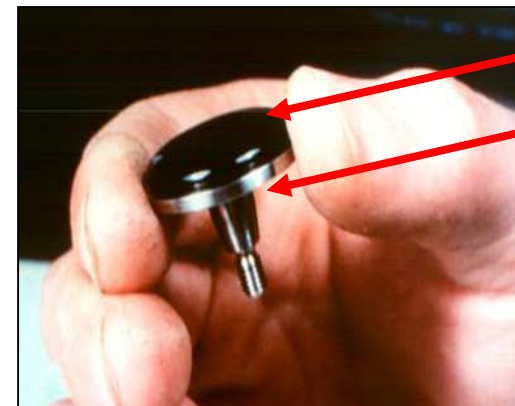
UNI EN 14770: 2006: Determinazione del modulo complesso di elasticità e dell'angolo di fase. Reometro rotazionale (DSR – Dynamic Shear Rheometer)



SCOPO: la norma specifica alcuni metodi di impiego del DSR in grado di misurare le **proprietà reologiche di leganti bituminosi**. La procedura prevede la determinazione del **Modulo di taglio complesso** e **dell'angolo di fase** del legante in un range di temperature e frequenze di prova, quando sottoposto a regime di taglio oscillatorio.

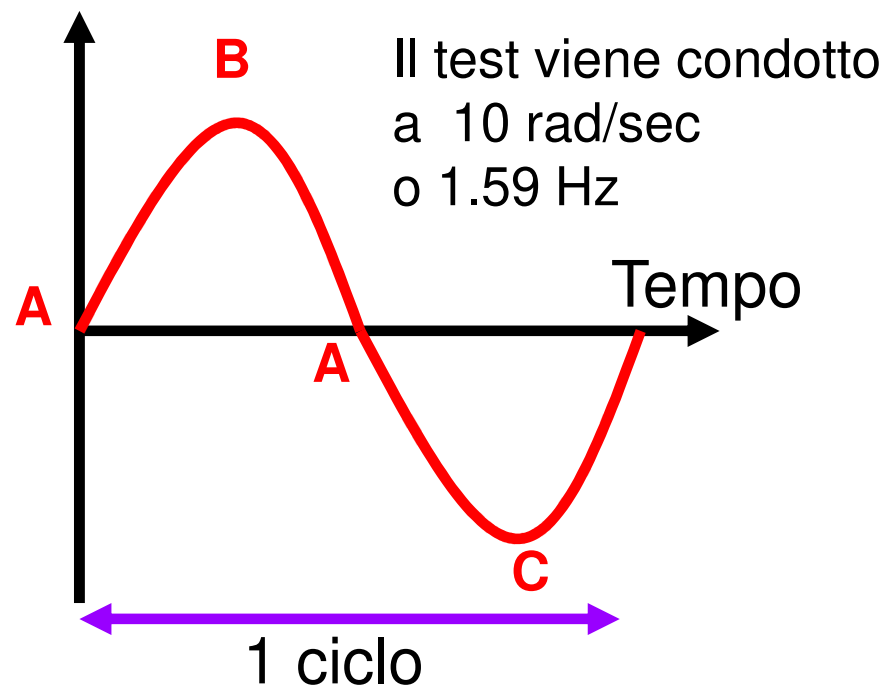
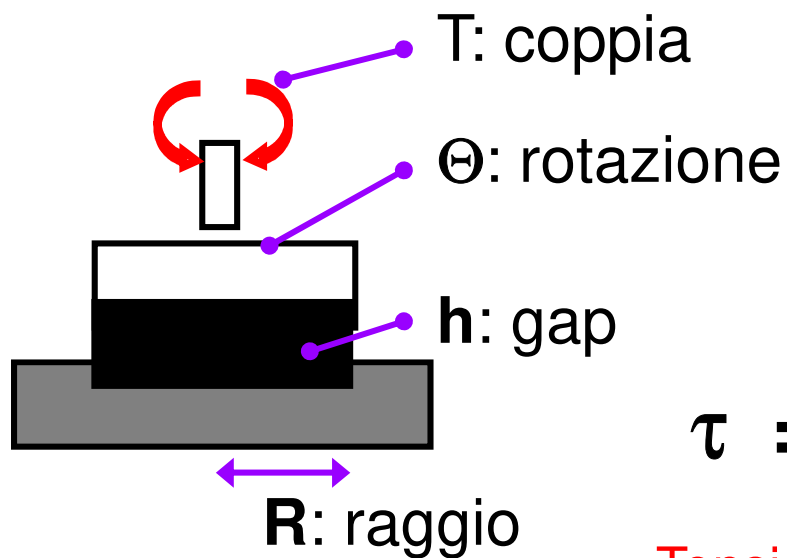
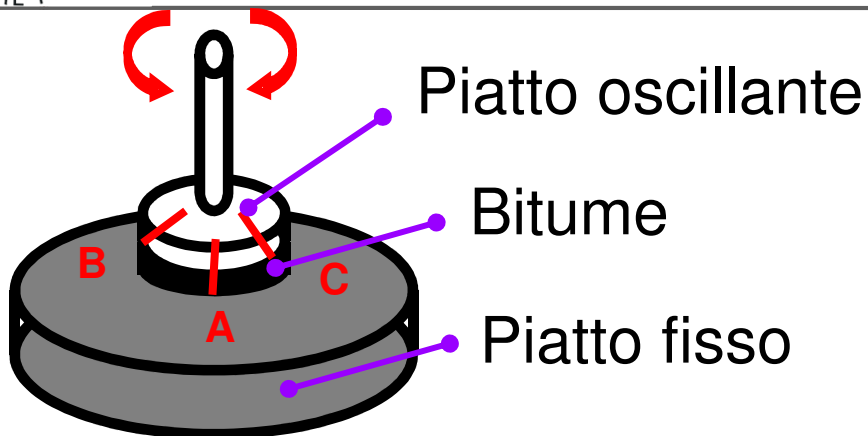


Piatto superiore



Bitume
Piatto inferiore

FUNZIONAMENTO DEL DSR

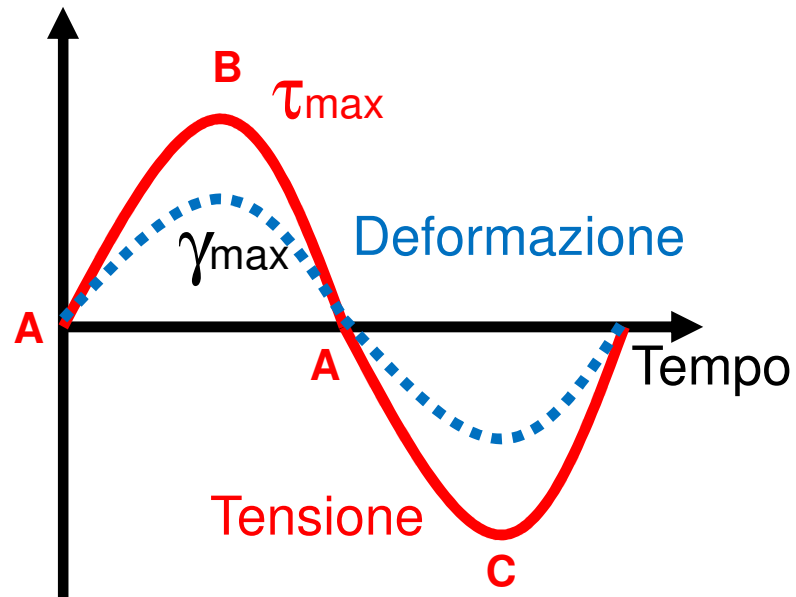


$$\tau = \frac{2T}{\pi R^3} \quad \gamma = \frac{R\Theta}{h}$$

Tensione Deformazione

FUNZIONAMENTO DEL DSR: CASI LIMITE

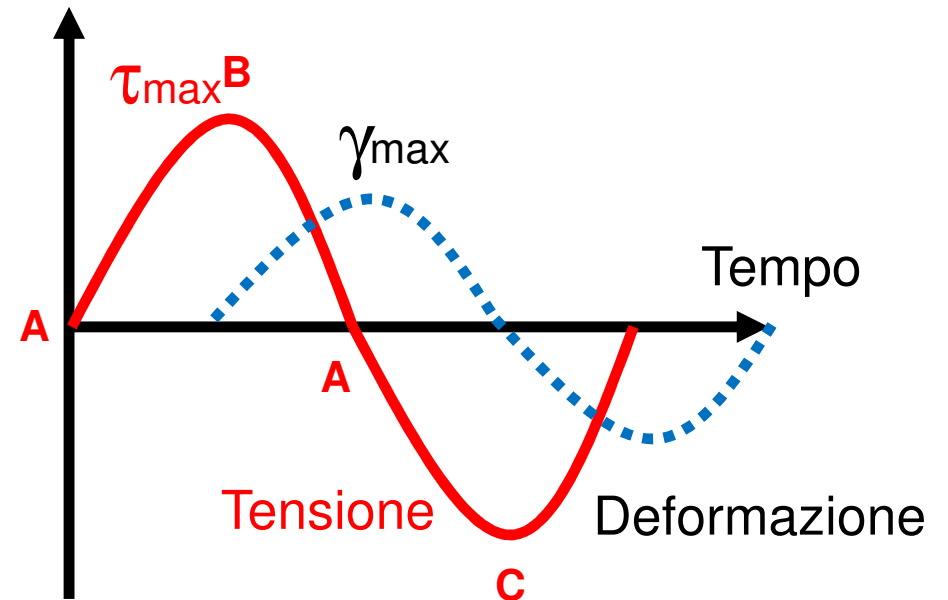
Comportamento Elastico



Deformazione in fase $\delta = 0^\circ$

Basse temperature

Comportamento Viscoso

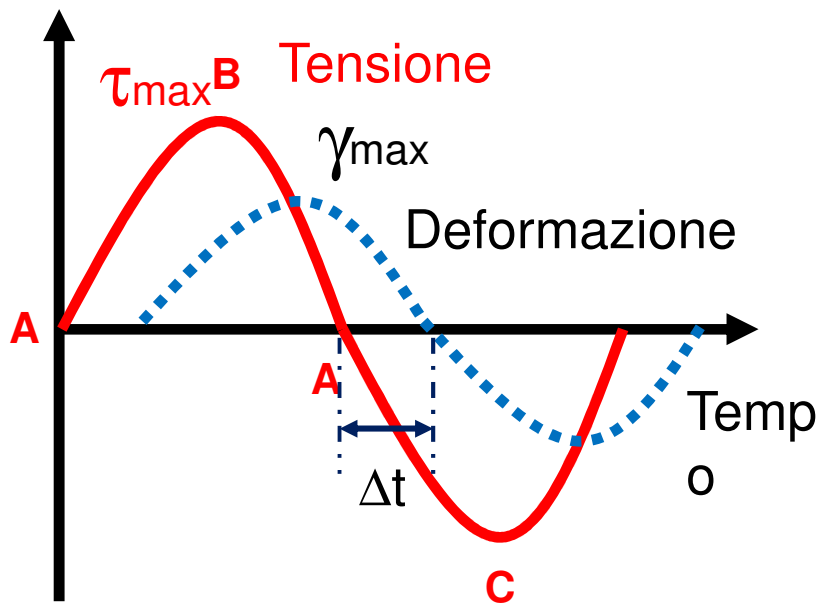


Deformazione fuori fase $\delta = 90^\circ$

Alte temperature

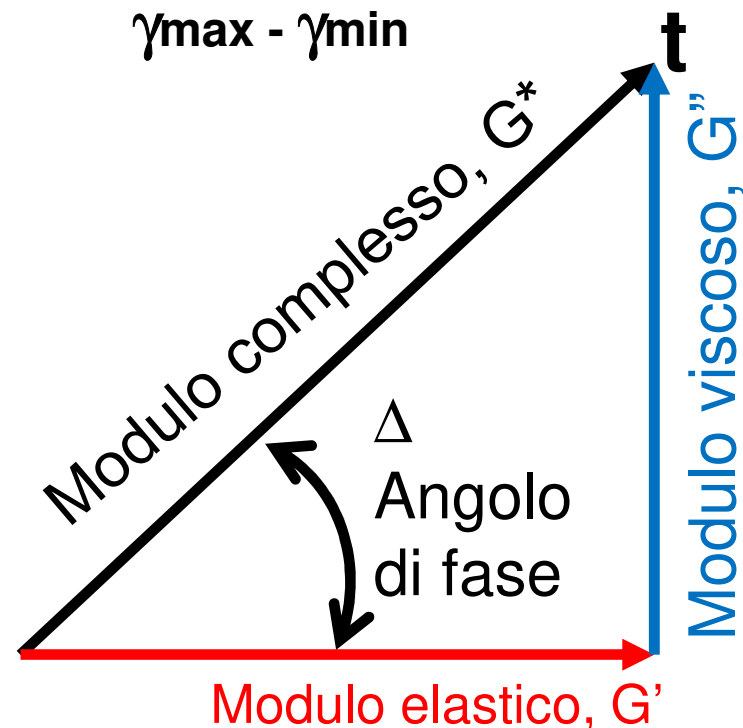
PARAMETRI DI RIFERIMENTO

Comportamento Viscoelastico



Deformazione: $0^\circ < \delta < 90^\circ$

$$G^* = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}} \quad \delta = \frac{\Delta t}{t} \times 360^\circ$$

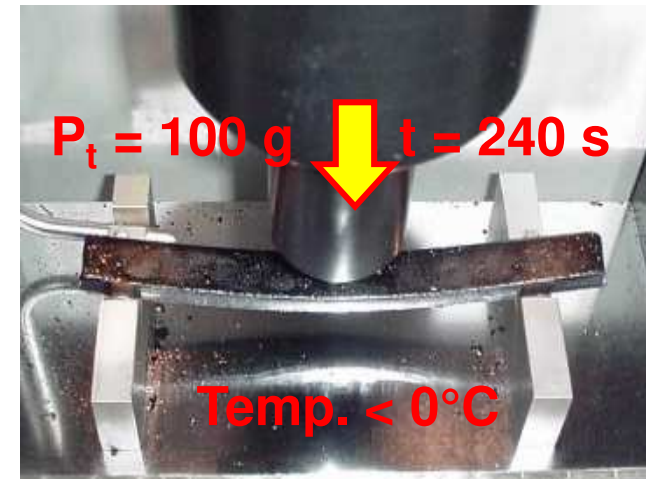


Descrivono il comportamento del bitume alle varie **temperature di esercizio**.
Assieme individuano univocamente le proprietà reologiche del legante.

UNI EN 14771: 2005: Determinazione del modulo di rigidità alla flessione. Reometro flessionale (BBR Bending Beam Rheometer)



SCOPO: Tale norma specifica un metodo per la **determinazione della rigidità di creep** a flessione di leganti bituminosi nel campo dai 30 MPa ad 1 GPa per mezzo di un reometro a flessione su travetto.

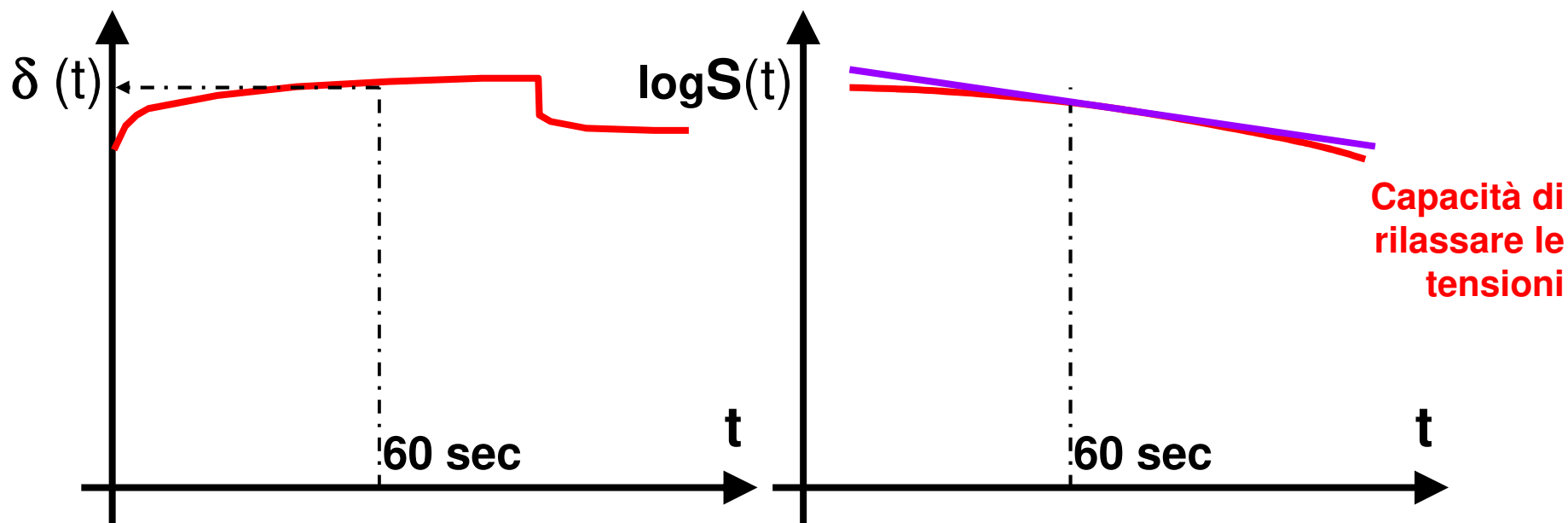


Il BBR è impiegato per caratterizzare i bitumi alle **basse temperature**, quando sono molto rigidi. Assieme al DSR può coprire la caratterizzazione reologica del materiale su tutto il range di utilizzo. Generalmente la prova si conduce su provini che hanno subito processi di invecchiamento completi che hanno prodotto il massimo indurimento del legante in esercizio.

PARAMETRI DI RIFERIMENTO

$$S(t) = \frac{PL^3}{4 b h^3 \delta (t)}$$

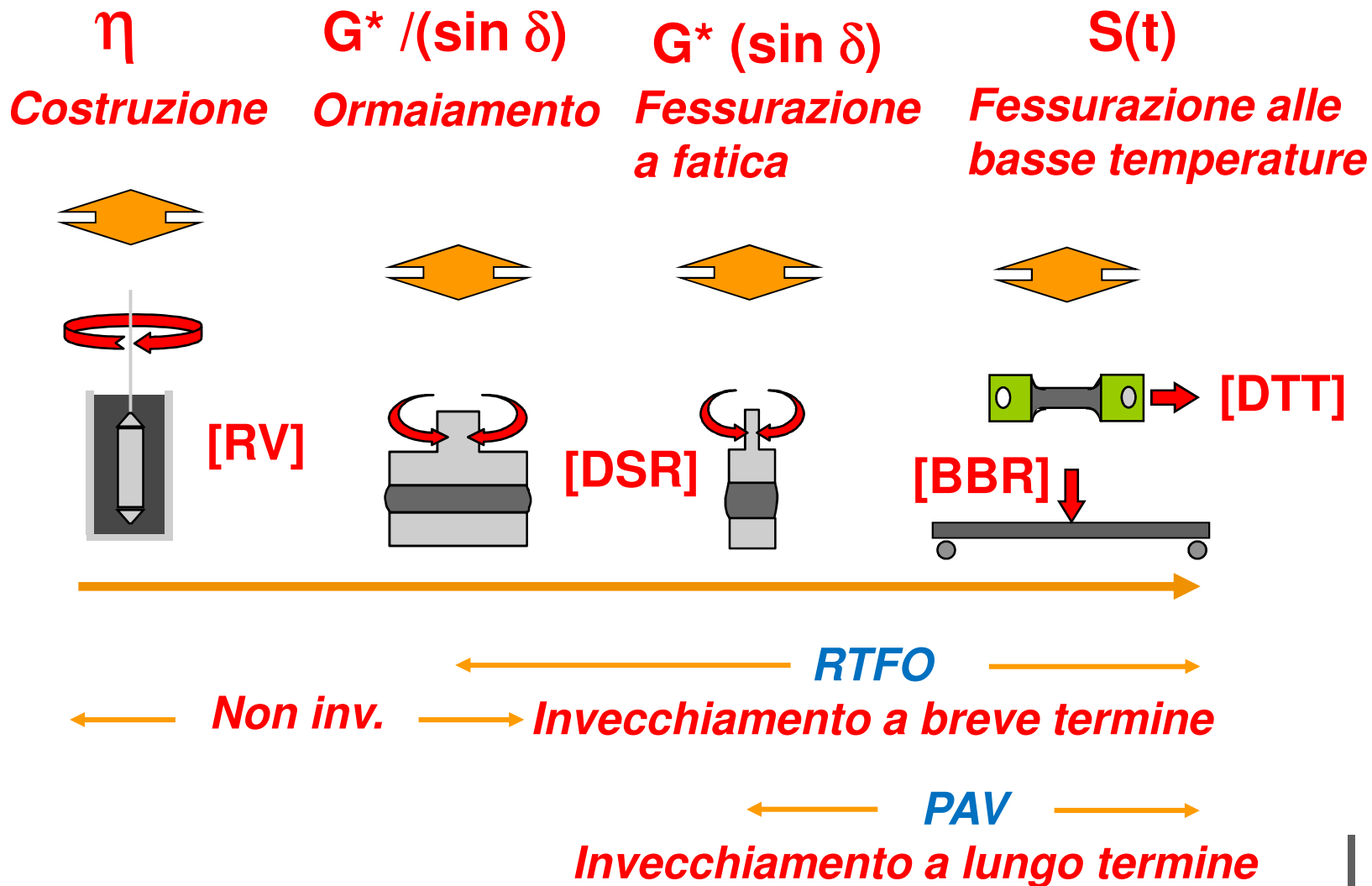
$S(t)$ = rigidezza di creep (MPa) a tempo t
 P = carico costante applicato, N
 L = distanza fra gli appoggi (102 mm)
 b = larghezza travetto, 12.5 mm
 h = spessore travetto, 6.25 mm
 $\delta (t)$ = deformazione (mm) a tempo, t



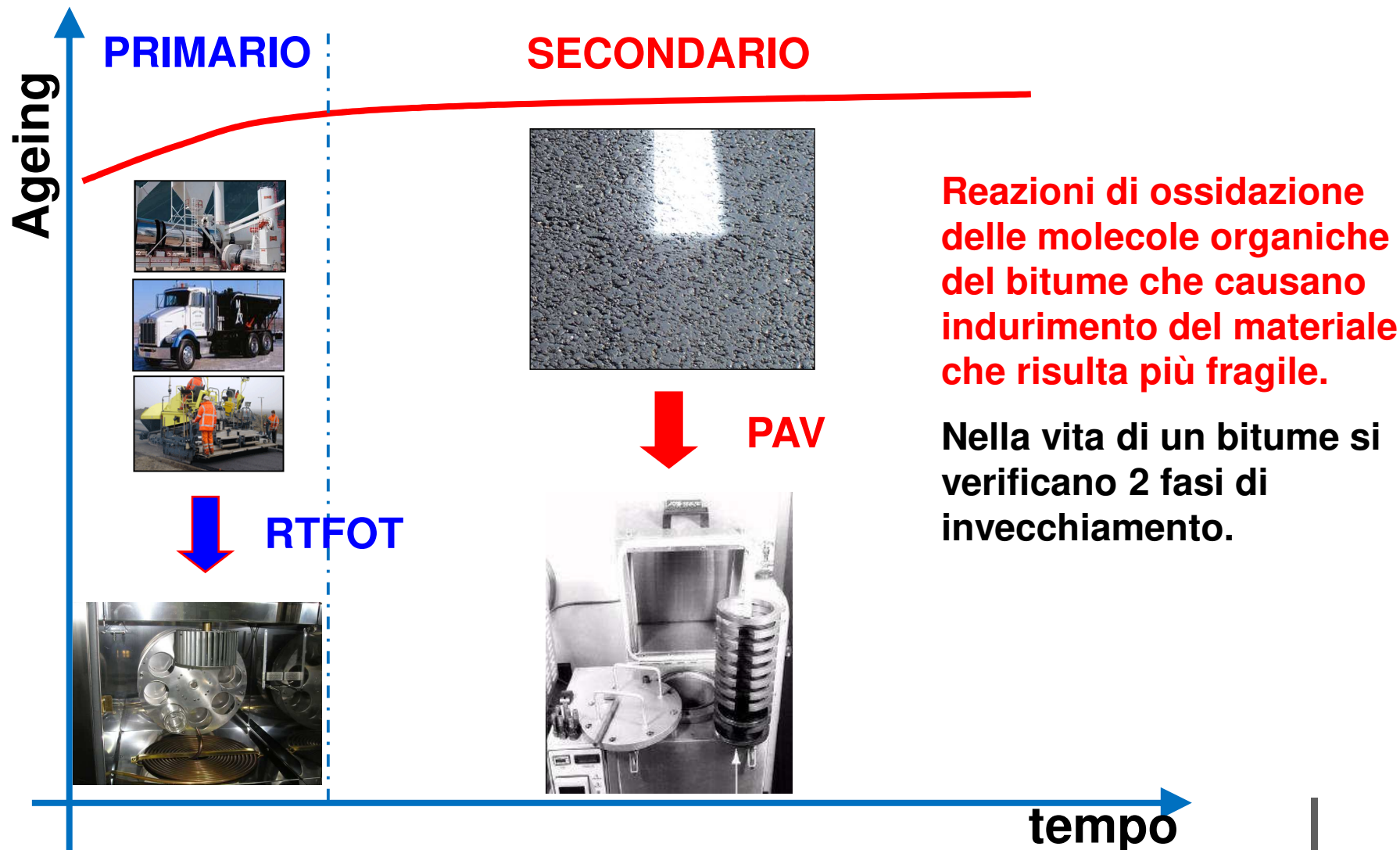
Il carico di creep simula le tensioni che si sviluppano gradualmente in una pavimentazione quando le temperature scendono rapidamente. 60 s = 2 ore.

IMPIEGO DELLE PROVE SECONDO SUPERPAVE

PERFORMANCE



INVECCHIAMENTO DEI BITUMI



UNI EN 12607-1: ROLLING THIN FILM OVEN TEST (RTFOT)

SCOPO: riprodurre l'indurimento a **breve termine**, subito dal legante bituminoso durante la produzione il trasporto e la posa del conglomerato mediante una corrente d'aria calda su di una sottile pellicola di bitume in movimento.



163° C per 75 min'



35,0 g \pm 0,5g di bitume

Dopo RTFOT si valutano:

Diminuzione di massa % e di Penetrazione
Innalzamento P&A e viscosità dinamica (η)

UNI EN 14769-1: PRESSURE AGEING VESSEL (PAV)

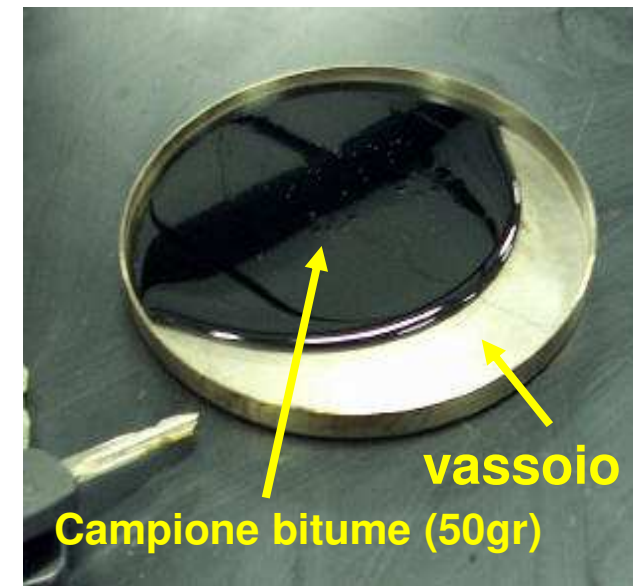
SCOPO: riprodurre l'invecchiamento a lungo termine (5-10 anni) del legante bituminoso durante la permanenza in esercizio (su strada) mediante l'esposizione prolungata (20 h) ad elevate temperature (90-100-110 C) e pressioni (2.1 MPa).

Cella pressurizzata



Rack per vassoi

Dopo prova RTFOT



Dopo PAV si valutano:

Diminuzione di Penetrazione

Innalzamento P&A, FRAASS e viscosità din. (η)