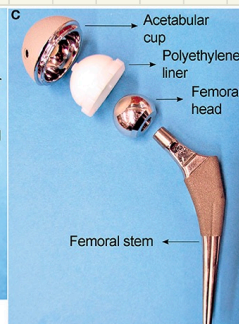
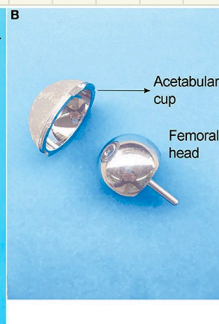
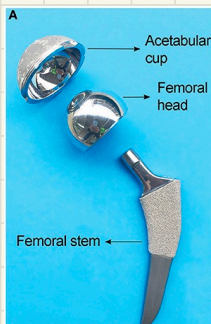
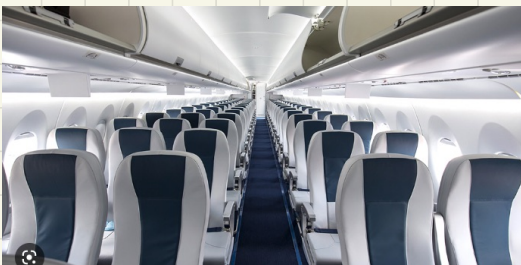


LEZIONE 22

21.11.2022

ANALISI MECCANICO DINAMICHE



COMPORTAMENTO VISCOELASTICO

$T \gg T_g$

COMPONENTE ELASTICA → DEF. NE RECUPERABILI
 VISCOSA → DISSIPAZIONE di ENERGIA
 sotto FORMA di CALORE

$du = dQ - dw$

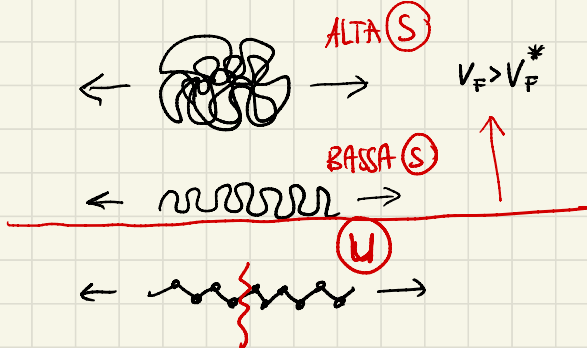
$dw = -Fdl + \dot{P}dV$ $v \approx 0.5$ $dV = 0$

$dQ = Tds$

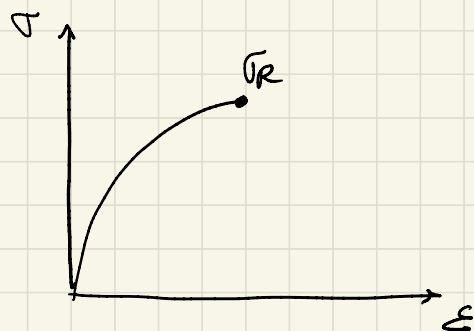
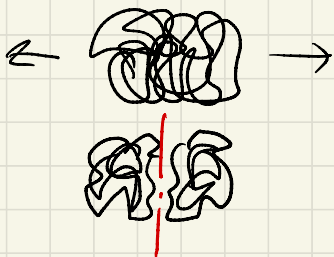
$Fdl = du - Tds$

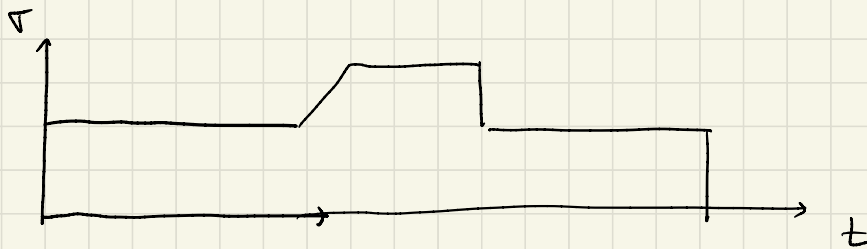
$F = \left(\frac{\partial u}{\partial l}\right)_T - T \left(\frac{\partial s}{\partial l}\right)_T$

DEFORMAZIONE LENTA



DEFORMAZIONE VELOCE





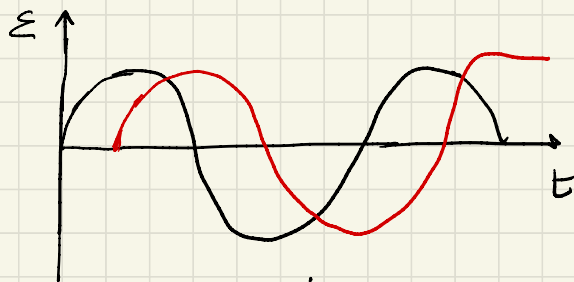
$$\sigma = \sigma_0 \sin \omega t$$

$\omega =$ frequenza di APPLICAZIONE del CARICO



MATERIALE ELASTICO

$$\sigma = E \epsilon$$



$$\epsilon = \epsilon_0 \sin \omega t$$

MATERIALE VISCOLO

$$\sigma = \eta \frac{d\epsilon}{dt}$$

$$\sigma = \eta \epsilon_0 \sin(\omega t + \pi/2)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \sin \omega t$$

MATERIALE VISCOELASTICO

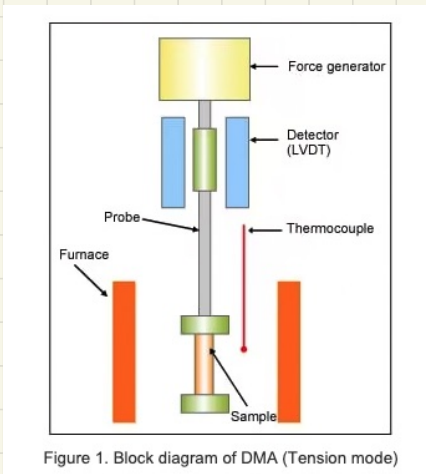
$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \sin \omega t$$

$$0 < \delta < \frac{\pi}{2}$$

OSCILLAZIONE LIBERA

Moto torsionale e si misura lo smorzamento dell'oscillazione nel tempo.



$$\lambda = \ln \left(\frac{A_n}{A_{n+1}} \right)$$

$$= \ln \left(1 + \frac{\Delta A}{A_{n+1}} \right)$$

$$\approx \ln \left(1 + \frac{\Delta A}{A_n} \right)$$

$$= \frac{\Delta A}{A_n} - \frac{1}{2} \frac{\Delta A^2}{A_n^2} \quad \boxed{A^2 \propto E}$$

$$\frac{A_n}{A_{n+1}} = \frac{A_{n+1} + \Delta A}{A_{n+1}}$$

$$\Delta A = A_{n+1} - A_n$$

$$\frac{A_n}{A_{n+1}} = 1 + \frac{\Delta A}{A_{n+1}}$$

$$\ln \left(1 + \frac{1}{x} \right) = \frac{1}{x} - \frac{1}{2} x^2 + \frac{1}{3} x^3 - \frac{1}{4} x^4 \dots$$

IL QUADRATO dell' AMPIEZZA dell' OSCILLAZIONE E' PROPORTIONALE ALL' ENERGIA DISSIPATA

$$\Lambda = \frac{1}{2} \frac{\Delta E}{E}$$

$$\begin{cases} V = V_0 \sin(\omega t + \delta) \\ \varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t \end{cases}$$

$$\begin{aligned} V &= V_0 \sin \omega t \cos \delta + V_0 \cos \omega t \sin \delta \\ &\stackrel{!}{=} \underbrace{V_0 \cos \delta}_{E'} \sin \omega t + \underbrace{V_0 \sin \delta}_{E''} \cos \omega t \end{aligned}$$

$$\langle V \rangle = E' \langle \varepsilon \rangle$$

$$E^* = E' + E''$$

MODULO COMPLESSO

$$E^* = E' + i E''$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{i \omega t}$$

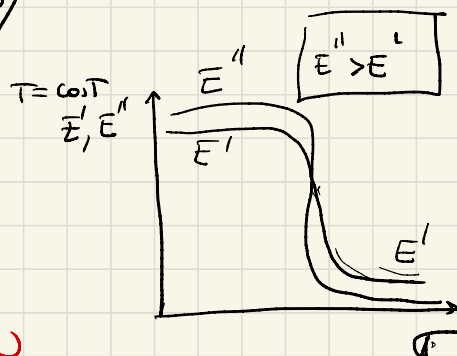
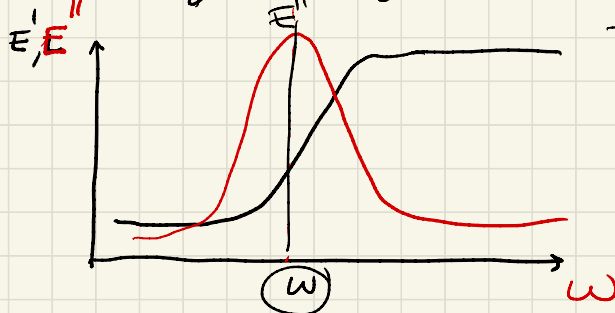
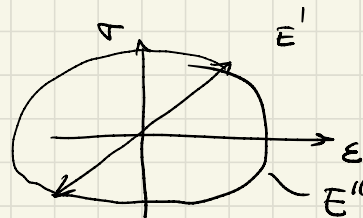
$$V = V_0 e^{i(\omega t + \delta)}$$

$$E^* = \frac{V_0}{\varepsilon_0} e^{i \delta} = \frac{V_0}{\varepsilon_0} (\cos \delta + i \sin \delta)$$

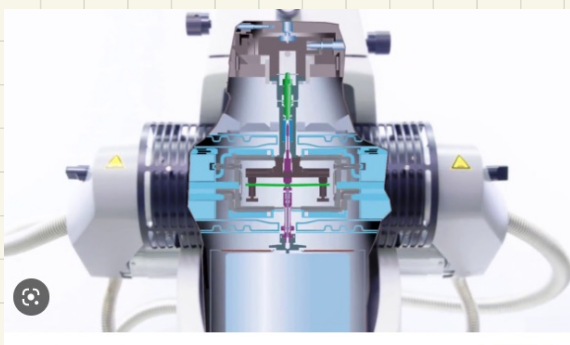
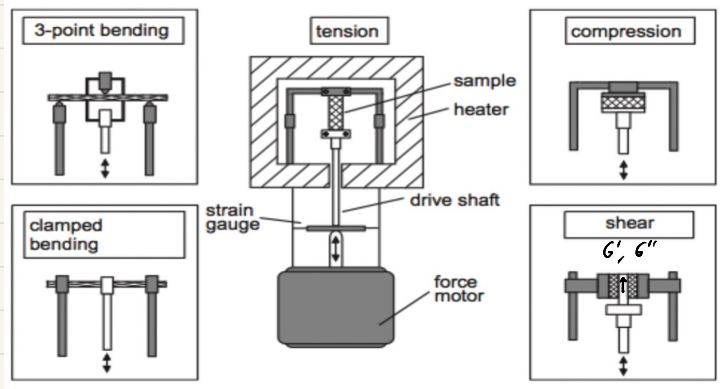
$$\begin{aligned} E' &= V_0 \cos \delta \\ E'' &= V_0 \sin \delta \end{aligned}$$

MODULO di IMMAGAZZINAMENTO
MODULO di PERDITA

$$\frac{E''}{E'} = \frac{V_0 \sin \delta}{V_0 \cos \delta} = \tan \delta$$

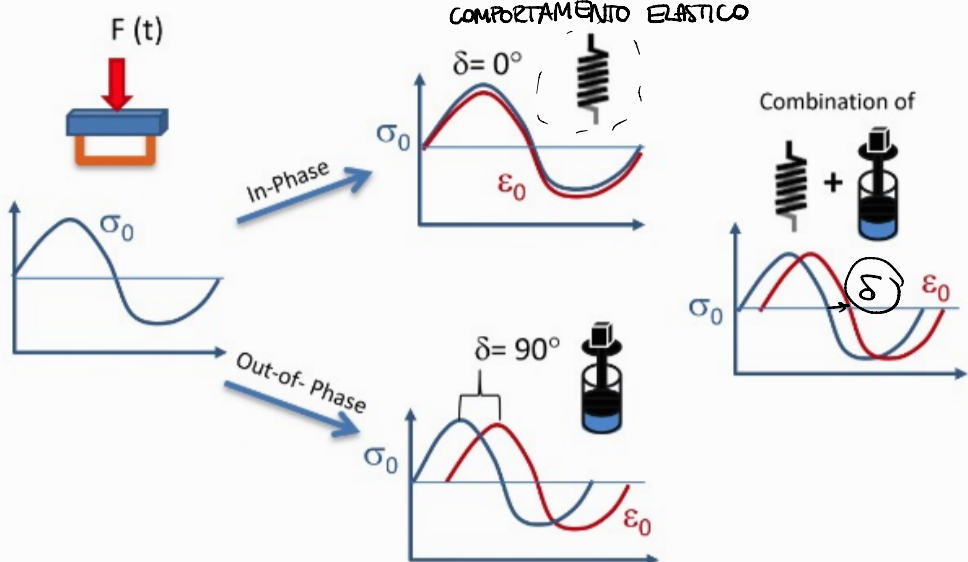


DMA ANALYZER



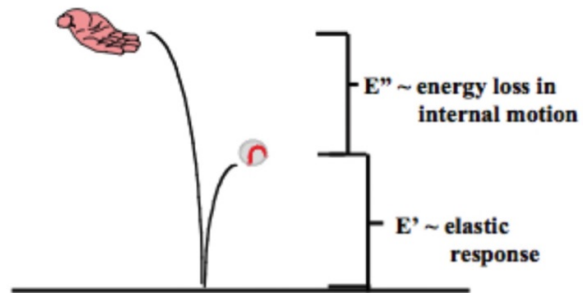
DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS

COMPORTAMIENTO ELASTICO



Proprietà dinamico-meccaniche

Tan δ (o fattore di perdita) è un'indice dell'energia persa rispetto a quella recuperabile e rappresenta lo smorzamento ("damping") meccanico. E'' è rappresentato come numero adimensionale e, per oscillazioni libere, è legato al decremento logaritmico dell'ampiezza della risposta.

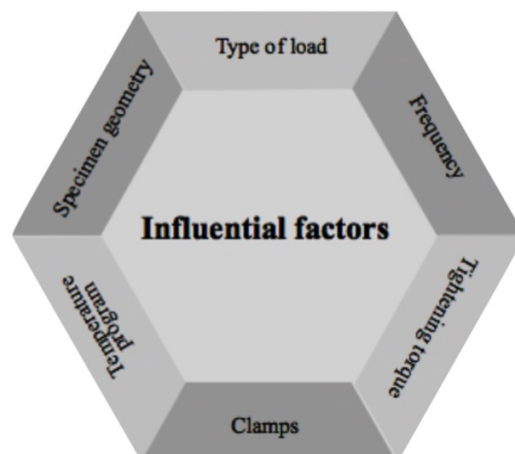


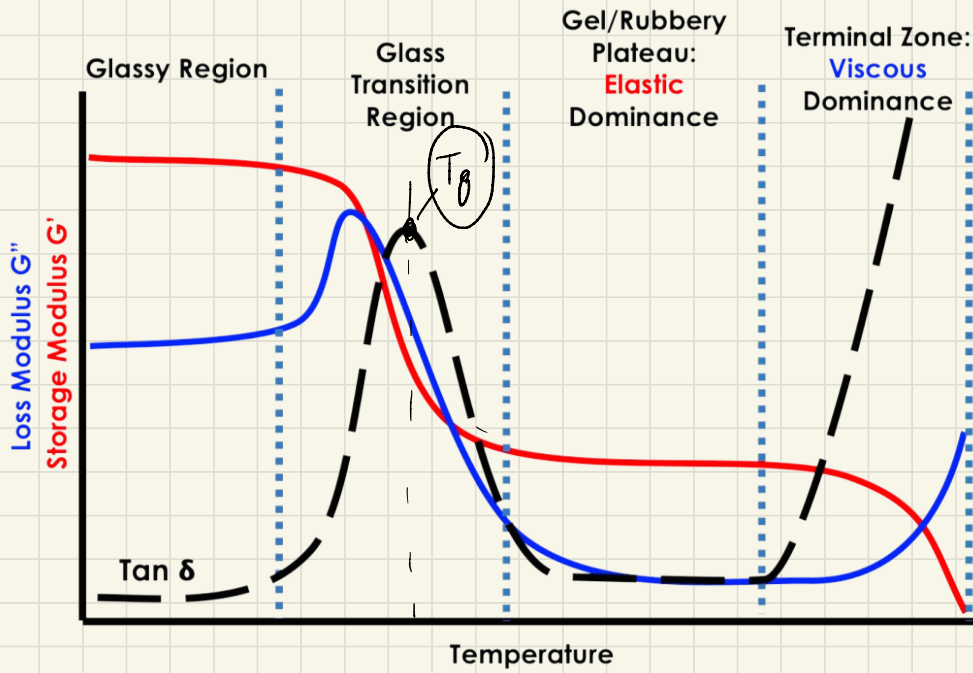
Caratterizzazione DMTA

Diversi fattori legati alla preparazione della prova possono influenzare la risposta del campione.

Nell'esecuzione del test:

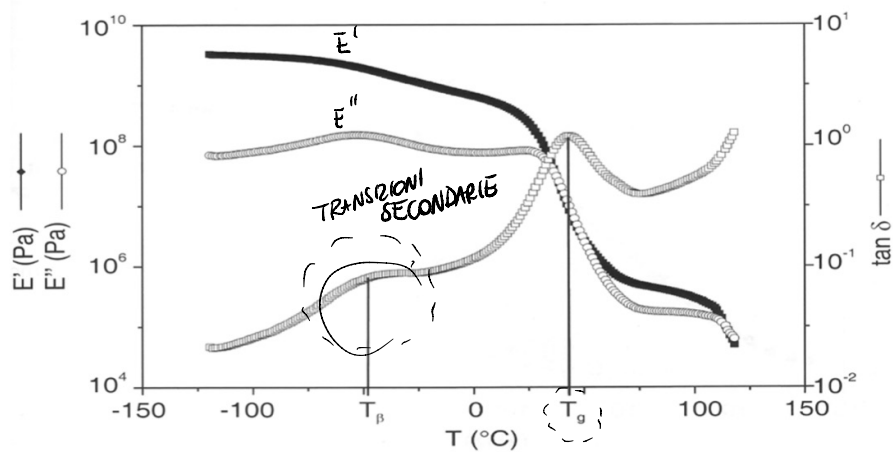
- ▶ scelta di carico/deformazione
- ▶ scelta della clamp
- ▶ preparazione dei campioni (*geometria, grado di parallelismo*)
- ▶ fissaggio del campione
- ▶ scelta dei parametri di misura (*frequenza, velocità di riscaldamento*)





Caratterizzazione DMTA

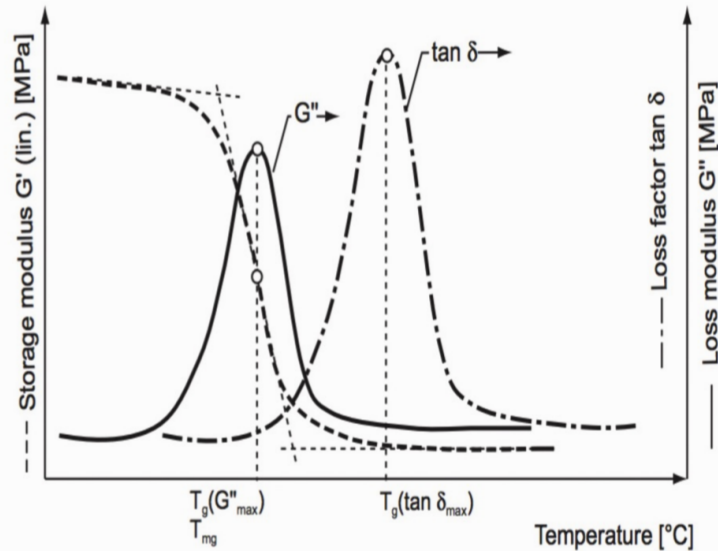
Transizioni del materiale



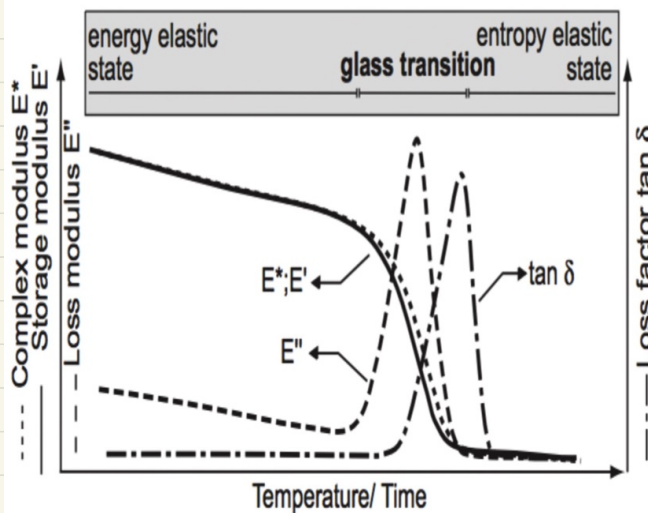
4.17: Modulus-temperature curves and mechanical loss factor dependent on temperature for polyvinylbutyrate (frequency $f = 1$ Hz)

Determinazione della T_g da E'' e $\tan \delta$ (picchi):

- ▶ più facili da valutare
- ▶ valore misurato da $\tan \delta$ è il più elevato
- ▶ si consiglia la valutazione da E''



Effetto della temperatura/tempo/frequenza si traduce in differenti valori delle varie grandezze misurate:



differenti variazioni dei moduli sulle varie regioni

variazioni marcate in prossimità della T_g , a causa dei più cospicui riarrangiamenti molecolari:

- E' : riduzione di 10-1000 volte del valore nello stato vetroso
- E'' : presenta un massimo come conseguenza dell'attrito connesso al loro movimento
- $\tan \delta$: presenta massimo a temperature maggiori di E''