BIOMECCANICA = base per capire come funziona il corpo

↳ ingegnerizzare il corpo = capire come è fatto il corpo

capire → modellare → sostituire → mimare la struttura analizzata

proprietà meccaniche dei tessuti del corpo molto varie:

- MODULO ELASTICO varia da 100 Pa a GPa

  { E < 500 000 Pa → tessuti molli
  { E > 500 000 Pa → tessuti di sostegno rigidi

Fenomeni di trasporto biologici: descrizione attraverso eq^ni di continuità

tessuti del corpo umano: connettivo, muscolare, nervoso, epiteliale, riproduttivo

- PELLE: ruolo contenitivo e di protezione → importanza meccanica;
- LEGAMENTI: vincolano il movimento → importanza meccanica;
- CARTILAGINE: riduce l'attrito → importanza meccanica;
- MUSCOLO: responsabile del movimento → importanza meccanica;
- TENDINE: trasmette le forze generate dal muscolo → importanza meccanica;
- VASI SANGUIGNI: trasportano il sangue → importanza meccanica.

TESSUTO CONNETTIVO → cellule immerse in una matrice extracellulare

TESSUTO MUSCOLARE → actina e miosina addette alla contrazione e al rilassamento.

FORZE e SFORZI

- SFORZO (STRESS)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \left[\frac{N}{m^2}\right] = Pa \qquad \frac{\text{peso} \cdot \text{accelerazione di gravità}}{\text{area}} = \frac{Kg \cdot m/s^2}{m^2}$$

pressione: agisce ⊥ sull'intera sezione

sforzo: agisce in qualsiasi direzione

1 DYNE = forza che fa 1 g quando accelera a 1 cm/s²

1 dyne/cm² = 0,1 N/m² = 0,1 Pa

N.B: più utile parlare di sforzo piuttosto che di forza. È lo sforzo che causa la deformazione, e non la forza.

- **DEFORMAZIONE** (STRAIN)

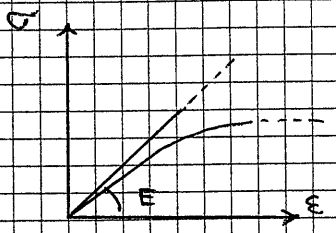
$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1 \qquad [\text{adimensionale}]$$

l_0 = lunghezza del tessuto iniziale, in assenza di forze applicate;
l = lunghezza del tessuto finale, misurata dopo l'applicazione della forza.

la deformazione viene definita in percentuale.

- **MODULO ELASTICO**

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \longrightarrow \text{costante solo per i materiali ELOI}$$



per definire E viene fatto riferimento al primo tratto lineare.

la derivata della curva sforzo - deformazione è energia dissipata:

$$\int_0^{\varepsilon} \sigma \cdot d\varepsilon = \sigma \cdot \varepsilon \longrightarrow \frac{F}{A} \cdot \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\text{lavoro}}{\text{volume}}$$

energia necessaria per deformare il materiale

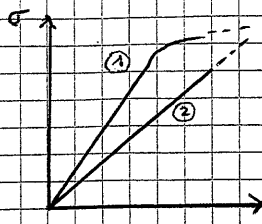
materiali:
- RIGIDO: modulo elastico elevato;
- FORTE: necessita di molta energia per essere deformato;
- FRAGILE: necessita di poca energia per essere deformato;
- DUTTILE: facilmente allungabile, deformabile;
- PLASTICO: subisce alterazioni permanenti;
- COMPRESSIBILE: diminuiscono le dimensioni.

MATERIALE ELASTICO

materiale che torna allo stato iniziale una volta rimosso il carico.

↳ materiale elastico lineare: modulo elastico costante

↳ materiale elastico non lineare: modulo elastico varia da punto a punto

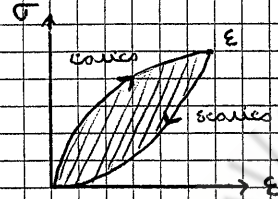


① non lineare
② lineare

$$\int_0^{\varepsilon} \sigma \cdot d\varepsilon - \int_{\varepsilon}^{0} \sigma \cdot d\varepsilon = \emptyset$$

MATERIALE VISCOELASTICO

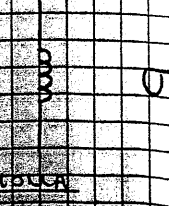
ha dissipazione durante la deformazione curva di carico - scarico (ISTERESI).
L'area tra le due curve rappresenta la differenza tra l'energia applicata per deformare e l'energia rilasciata durante il rilassamento.
le curve di carico - scarico non coincidono, materiale ha cui risposta è tempo - dipendente → hanno memoria



$$\int_0^{\varepsilon} \sigma \, d\varepsilon - \int_{\varepsilon}^{0} \sigma \cdot d\varepsilon > \emptyset$$

- materiale che esibisce CREEP → fenomeno dovuto all'applicazione di uno sforzo costante per tempi lunghi.
- materiale soggetto a STRESS - RELAXATION (rilassamento) in cui lo sforzo sforzo diminuisce all'aumentare del tempo di applicazione
- materiale la cui risposta sforzo - def. dipende dalla velocità di deformazione.

MODELLO MOLLA - SMORZATORE



MOLLA: $\sigma = \varepsilon \cdot E$

SMORZATORE: $\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} = \eta \cdot \dot{\varepsilon}$

$\sigma = \gamma \frac{d\varepsilon}{dt}$ → $\eta = Pa \cdot s = \frac{N}{m^2} \cdot s$

$\tau = \mu \frac{dv}{dx}$ → $\mu = Pa \cdot s = \frac{N}{m^2} \cdot s$

stessa unità di misura

molle in serie: $\sigma_{eq} = \varepsilon \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^{-1}$

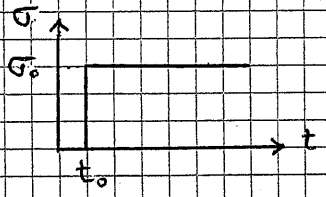
molle in parallelo: $\sigma_{eq} = \varepsilon (E_1 + E_2)$

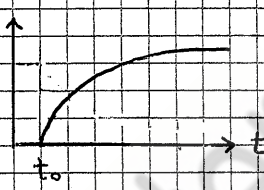
pistoni in serie: $\sigma_{eq} = \dot{\varepsilon} \left(\frac{1}{\eta_1} + \frac{1}{\eta_2} \right)^{-1}$

pistoni in parallelo: $\sigma_{eq} = \dot{\varepsilon} (\eta_1 + \eta_2)$

I materiali viscoelastici hanno dei comportamenti tipici:

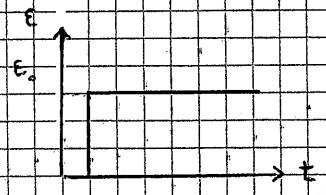
- CREEP → allungamento sotto sforzo

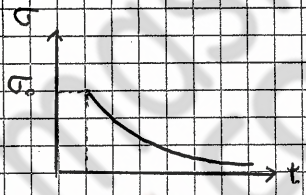




se applico uno sforzo costante i tessuti si rilassano e si allungano

- STRESS RELAXATION → rilassamento sotto stress





se applico una deformazione costante, le forze da applicare per mantenere tale deformazione diminuiscono gradualmente

- DIPENDENZA da $\dot{\varepsilon}$ → velocità di deformazione costante



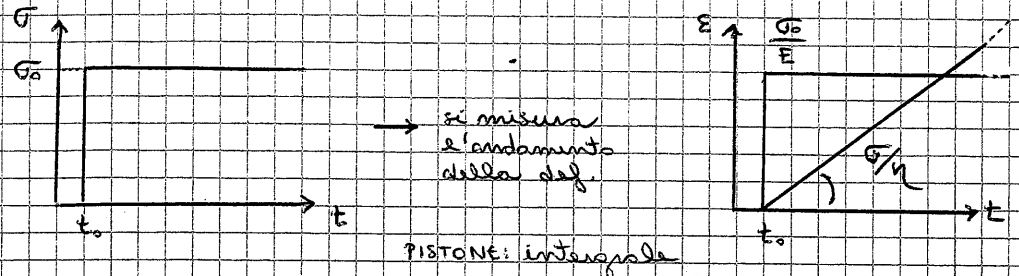
si prende un materiale e lo si deforma a velocità costante e serve a vedere come il materiale risponde in termini di sforzo.

questi mi dicono che i materiali viscoelastici hanno un comportamento tempo - dipendente, cambiano nel tempo.

RISPOSTE di MOLLA e SMORZATORE

- **CREEP**

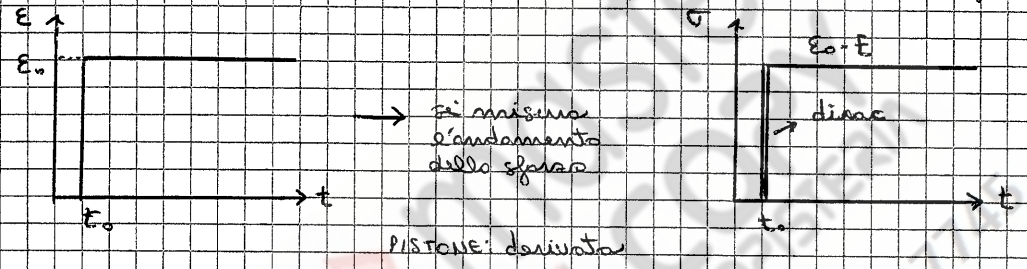
misuriamo la deformazione di un materiale a cui viene applicato uno sforzo costante.



PISTONE: integrale

- **STRESS RELAXATION**

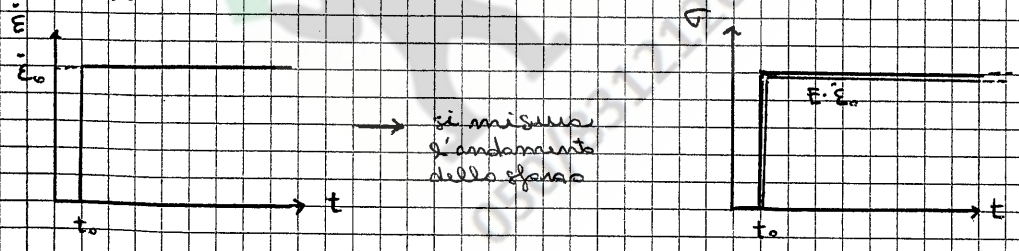
misuriamo lo sforzo da applicare per ottenere una deformazione costante



PISTONE: derivata

- **DIPENDENZA da $\dot{\varepsilon}$**

misuriamo lo sforzo in funzione di velocità di deformazioni sempre maggiori.



la combinazione dei parametri precedenti permette la descrizione di quasi tutti i materiali.

master COPY COPISTERIA