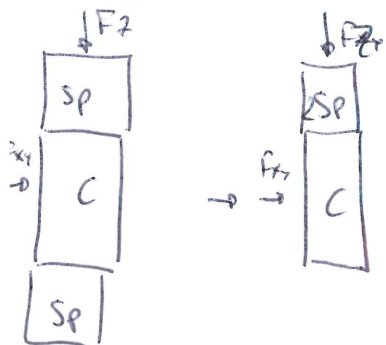


2) Possiamo applicare il principio di omogeneità.

Modello l'osso



$$E_{xz} = \frac{E_c E_{spz}}{2 f_{sp} f_c + E_{sp} f_c}$$

$$f_{sp} = 15\%$$

$$f_c = 70\%$$

$$E_{spz} = E_{spxz} = 500 \text{ MPa}$$

$$E_c = 17 \text{ GPa}$$

$$E_{cxz} = 12 \text{ GPa}$$

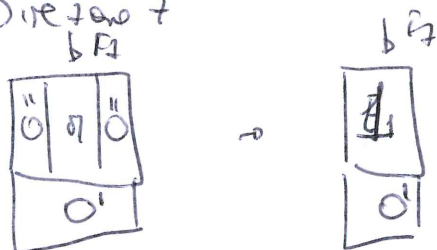
$$E_z = \frac{17 \cdot 0.5}{0.3 \cdot 17 + 0.7 \cdot 0.5} = \frac{8.5}{5.1 + 0.35} = \frac{8.5}{5.45} = 1.56 \text{ GPa}$$

$$E_{xy} = 2 f_{sp} E_{sp} + f_c E_c = 0.3 \cdot 0.5 + 0.7 \cdot 12 = 0.15 + 8.4 = 8.55 \text{ GPa}$$

Stelo



Diretore



$$E_{xz} = \frac{E_1 E_{Oz}}{f_{O1} + f_1 E_{Oz}} = \frac{210 \cdot 3.56}{0.1 + 0.1 \cdot 1.56}$$

$$E_1 = 2 f_{O''} E_{Oz} + f_n E_n$$

$$E_{Oz}' = E_{Oz} = E_z$$

$$E_z = \frac{E_1 E_{Oz}'}{f_{O1}' E_1 + f_1 E_{Oz}'}$$

$$E_z = \frac{E_1 E_{Oz}'}{f_{O1}' E_1 + f_1 E_{Oz}'}$$

$$f_n = \frac{\pi r_{st}^2 h_{st}}{\pi r_{femore}^2 h_{femore}} = \frac{r_{st}^2 h_{st}}{r_{femore}^2 h_{femore}}$$

$$f_0'' = \frac{\pi (r_{femore}^2 - r_{st}^2) h_{st}}{\pi r_{femore}^2 h_{femore}} = \frac{(r_{femore}^2 - r_{st}^2) h_{st}}{r_{femore}^2 h_{femore}}$$

$$f_0^I = \frac{\pi r_{femore}^2 (h_{fem} - h_{st})}{\pi r_{femore}^2 h_{fem}} = \frac{h_{fem} - h_{st}}{h_{fem}}$$

~~$$f_1 = \frac{\pi r_{fem}^2 h_{st}}{\pi r_{fem}^2 h_{fem}} = \frac{h_{st}}{h_{fem}}$$~~

$$f_1 = \frac{\pi r_{fem}^2 h_{st}}{\pi r_{fem}^2 h_{fem}} = \frac{h_{st}}{h_{fem}}$$

$$E_z = E_z \cdot \left[ \frac{2 (r_{femore}^2 - r_{st}^2) h_{st}}{r_{femore}^2 - h_{femore}} E_z + \frac{r_{st}^2 h_{st}}{r_{fem}^2 \cdot h_{fem}} E_r \right]$$

$$\frac{h_{fem} - h_{st}}{h_{fem}} \cdot \left[ \frac{(r_{femore}^2 - r_{st}^2) h_{st}}{r_{fem}^2 h_{femore}} E_z + \frac{r_{st}^2 h_{st}}{r_{fem}^2 h_{fem}} E_r \right] + \frac{h_{st}}{h_{fem}} \cdot E_z$$

$$1 = \frac{2 (r_{fem}^2 - r_{st}^2) h_{st} E_z + r_{st}^2 h_{st} E_r}{r_{femore}^2 h_{fem}} \cdot \frac{h_{fem} - r_{fem}^2 h_{femore}}{(h_{fem} - h_{st}) [(r_{femore}^2 - r_{st}^2) h_{st} E_z + r_{st}^2 h_{st} E_r]} + h_{st} E_z r_{fem}^2 h_{femore}$$

$$1 = \frac{2 (r_{fem}^2 - r_{st}^2) h_{st} E_z + r_{st}^2 h_{st} E_r}{(h_{fem} - h_{st}) [(r_{femore}^2 - r_{st}^2) h_{st} E_z + r_{st}^2 h_{st} E_r] + h_{st} h_{femore} r_{fem}^2 E_z}$$

$$h_{fem} = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$$

$$r_{femore} = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m}$$

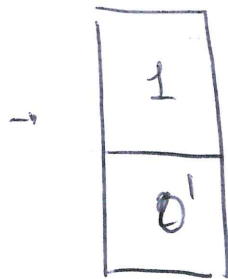
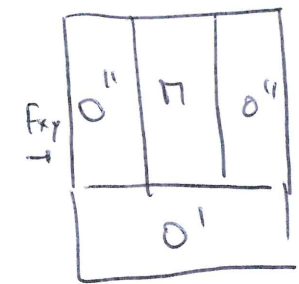
$$(0.5 - h_{st}) \left[ (4 \cdot 10^{-4} - 2^2 s t) h_{st} \cdot 1.56 + 2^2 s t h_{st} \cdot 240 \right] + h_{st} 0.5 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 8.55$$

$$= \left[ 2 (4 \cdot 10^{-4} - 2^2 s t) h_{st} \cdot 1.56 + 2^2 s t h_{st} \cdot 240 \right]$$

$$\left[ (4 \cdot 10^{-4} - 2^2 s t) h_{st} \cdot 1.56 + 2^2 s t h_{st} \cdot 240 \right] [2 - 0.5 + h_{st}] = h_{st} 3.42 \cdot 10^{-4}$$

$$\left[ (4 \cdot 10^{-4} - 2^2 s t) h_{st} \cdot 1.56 + 2^2 s t h_{st} \cdot 240 \right] [1.5 + h_{st}] = h_{st} 3.42 \cdot 10^{-4} \quad \text{29 eq.}$$

Diagram xy



$$E_{xy} = p_1 E_1 + p_0' E_0'$$

$$E_1 = \frac{E_0'' E_n}{2 p_0'' E_n + p_n E_0''}$$

$$\cancel{E_{xy}} = \frac{h_{st}}{h_{fem}} \cdot \frac{\cancel{E_{xy}} E_n}{\frac{2 h_{st} (2^2 f_{em} - 2^2 s t) E_n + 2^2 s t h_{st} E_{xy}}{2^2 f_{em} h_{fem}}} + \frac{h_{fem} - h_{st}}{h_{fem}} \cdot \cancel{E_{xy}}$$

$$1 = \frac{h_{st}}{h_{fem}} \cdot \frac{E_n (2^2 f_{em} - h_{fem})}{[2 h_{st} (2^2 f_{em} - 2^2 s t) E_n + 2^2 s t h_{st} E_{xy}]} + \frac{(h_{fem} - h_{st})}{h_{fem}}$$

$$h_{fem} [2 h_{st} (2^2 f_{em} - 2^2 s t) E_n + 2^2 s t h_{st} E_{xy}] = h_{st} 2^2 f_{em} h_{fem} E_n + (h_{fem} - h_{st})$$

$$0.5 [2 h_{st} (4 \cdot 10^{-4} - 2^2 s t) 240 + 2^2 s t h_{st} 8.55] = h_{st} 4 \cdot 10^{-4} 0.5 \cdot 240 + 0.5 - h_{st}$$

$$240 \text{ hst} (4 \cdot 10^{-4} \cdot 275t) + 4.275 \cdot 275t \text{ hst} = 0.042 \text{ hst} + 0.5 - \text{hst}$$

~~240 hst~~

$$0.084 \text{ hst} - 240 \text{ hst} \cdot 275t + 4.275 \cdot 275t \text{ hst} = \cancel{0.042} 0.5 - 0.958 \text{ hst}$$

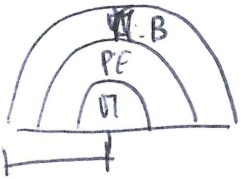
$$\boxed{-205.775 \text{ hst} \cdot 275t = 0.5 - 1.042 \text{ hst}} \quad \rightarrow \text{II}^{\circ} \text{ equaz.}$$

$$\text{hst} [1.042 - 205.775 \cdot 275t] = 0.5$$

$$\boxed{\text{hst} = \frac{0.5}{1.042 - 205.775 \cdot 275t}}$$

~~Determina~~

b) Dimensioni la testa



raggio esterno  $\pi B$  = raggio cappa acetabolo.

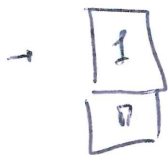
devo quindi determinare

$\delta \pi B$  = spessore metal bacili

$\delta PE$  = spessore catodi

$2t$  = raggio testine.

$\delta PE = T \cdot \text{tempo di usura} = 10 \text{ anni} \cdot 10 \frac{\text{mm}}{\text{anno}} = 100 \text{ mm}$  Spessore minimo



$$E_z = 500 \text{ MPa} = \frac{E_1 E_\pi}{f_{\pi B} E_\pi + f_{\pi \pi} E_{\pi B}}$$

$$E_{\pi B} = E_\pi = 210 \text{ GPa}$$

$$\cancel{E_1} E_1 = \frac{E_{\pi B} f_{PE}}{f_{\pi B} E_{PE} + f_{\pi \pi} E_{\pi B}}$$

$$E_7 = 500 \text{ MPa} = 0.5 \text{ GPa} = \frac{210 \cdot 0.14}{f_{\text{NB}} \cdot 0.14 + f_{\text{PF}} \cdot 210} \cdot 210$$

$$f_1 \cdot 210 + f_{\text{N}} \cdot \frac{210 \cdot 0.14}{f_{\text{NB}} \cdot 0.14 + f_{\text{PF}} \cdot 210}$$

$$0.5 = \frac{210 \cdot 0.14}{f_1 (f_{\text{NB}} \cdot 0.14 + f_{\text{PF}} \cdot 210) + 0.14 f_{\text{N}}}$$

7° equaz.

$$E_{\text{N}} \rightarrow \begin{array}{|c|} \hline \text{NB} \\ \hline \text{PF} \\ \hline \text{N} \\ \hline \end{array}$$

$$E_{\text{N}} = 0.5 = f_{\text{NB}} \cdot 210 + 0.14 f_{\text{PF}} + 210 \cdot f_{\text{N}} = 210 (f_{\text{NB}} + f_{\text{N}}) + 0.14 f_{\text{PF}}$$

$$f_{\text{PF}} < f_{\text{NB}}$$

$$f_{\text{PF}} < f_{\text{N}}$$

b) Per ~~non essere~~ non poter usare gli materiali nelle loro fase di lavorazione deve essere inglobato dell'aria o quindi del vuoto nel sistema quindi ovvio che la porosità intrinseca che riduce il modulo elastico  $\rightarrow$

$$E_{\text{N}}^{\text{I}} = E_{\text{N}} (1-p)^{\alpha} \quad \alpha = 5$$

però perché non sia applicabile il modulo elastico deve essere tale che la struttura nel suo complesso abbia  $E \leq 0.1 \text{ GPa}$ .  
per lo stesso ho

$$\begin{array}{|c|} \hline E_{\text{N}} \\ \hline E_0 \\ \hline \end{array}$$

perché in assenza di vuoto il modulo elastico più piccolo

$$E_7 = \frac{E_{\text{N}} E_0}{f_{\text{N}} E_0 + f_0 E_{\text{N}}}$$

$$E_{\text{N}} < E_0$$

$$f_{\text{N}} < f_0$$



(6)

$$E_T \approx \frac{E_T \cdot E_0}{k_T E_0} = \frac{E_T}{k_T}$$

$$E_T = 0.1 = \frac{210 (1-p)^5}{k_T}$$

$$(1-p)^5 = \frac{k_T \cdot 0.1}{210}$$

$$(1-p)^5 = 4.8 \cdot 10^{-4}$$

$$(1-p) = \sqrt[5]{4.8 \cdot 10^{-4}}$$

$$p = 1 - \sqrt[5]{4.8 \cdot 10^{-4}} = 1 - 0.2 = 0.8 \quad \text{quindi la probabilità che esso}$$

non è all'80%.

Per il PE se consideriamo la tassa poiché il modulo elastico dell'PE è più basso basta pagare esso o 0.1 €

|       |
|-------|
| $\pi$ |
| $PE$  |
| $\pi$ |

$$0.1 = 0.14 (1-p)^5$$

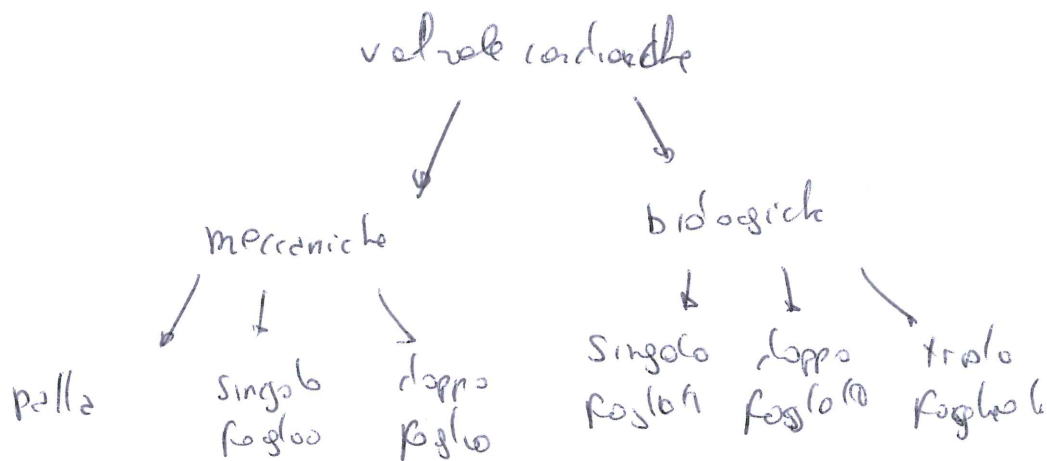
$$0.71 = (1-p)^5 \quad (1-p) = 0.93$$

$$1 - 0.93 = p = 0.07 \rightarrow 7\%$$

## Esercizio 2

(\*)

a) Le valvole cardiache si dividono in:

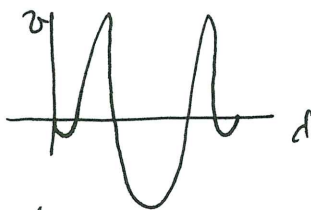


per le descrivere valvole aperte e chiuse

b)  $I_a = \frac{\text{Area Flusso diretto}}{\text{Area Flusso indiretto}}$

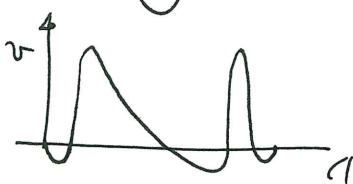
Valvole meccaniche in ordine di minor  $I_a$

1) Valvola a palla



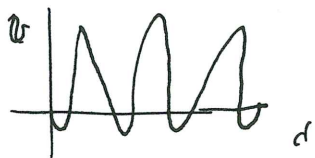
$I_a = 0.25$

2) valvola a singolo foglio



$I_a = 0.45$

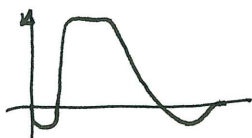
3) valvola a doppio foglio



$I_a = 1.5$

Valvole biologiche.

1) valvola a singolo foglio



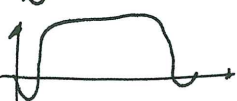
$I_a = 1.5$

2) valvola a doppio foglio



$I_a = 2.5$

3) valvola a triplo foglio



$I_a = 4.5$

Esercizio 4

(9)

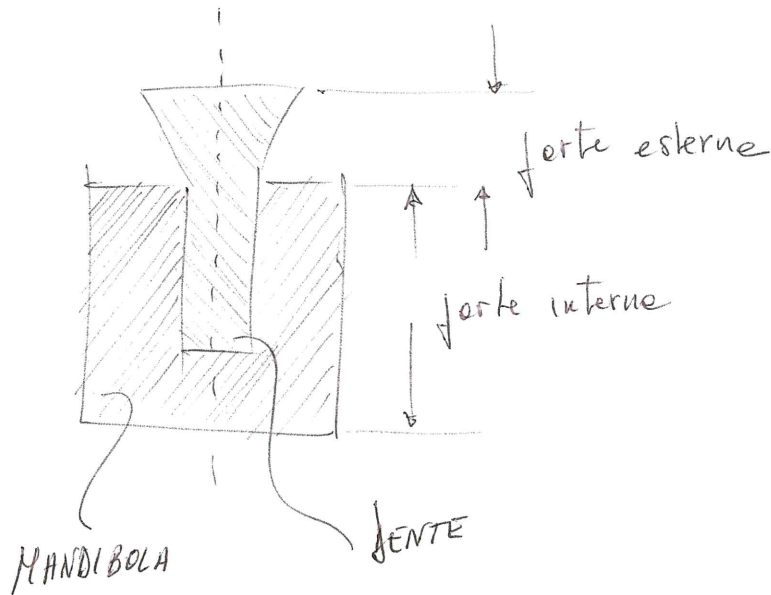
Verdere appunti no 206

Esercizio 5

Verdere appunti in rete

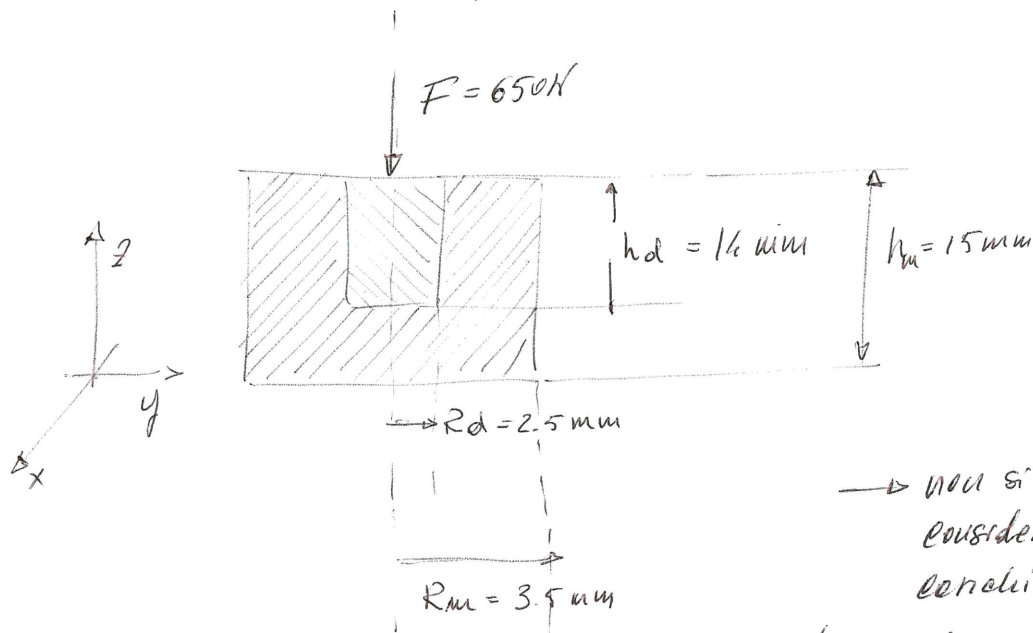


# Soluzione esercizio 3



note: "il sistema"  
è costituito anche  
da altre strutture  
(come il legamento  
glenoideale)  
che qui vengono  
trascurate

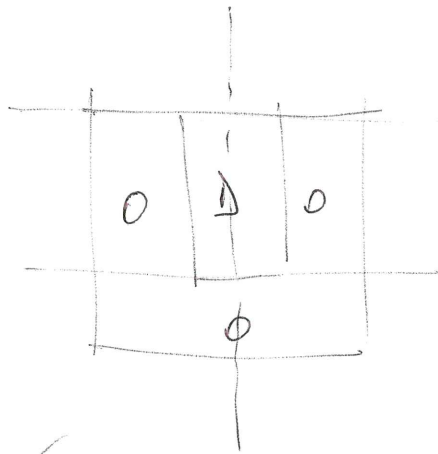
→ nell'esercizio è di interesse la  
sole forze interne



→ non si prendono in  
considerazione eventuali  
conali trasversali  
(neanche quelli generati da  
possibili variazioni  
dimensionali dovute al  
modulo di Poisson)

Approx ad un cilindro

note: le dimensioni della mandibola sono state  
prese (per comodità) in millimetri in più (o in meno)  
non è importante ai fini delle valutazioni  
dell'esercizio

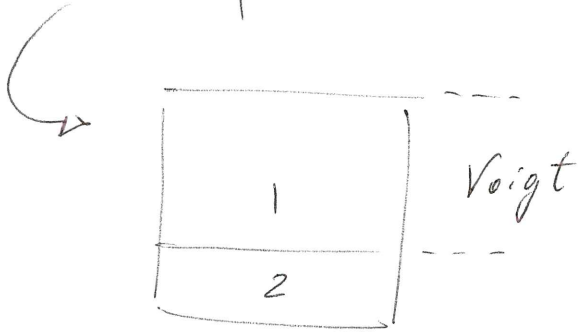


O = osso composito

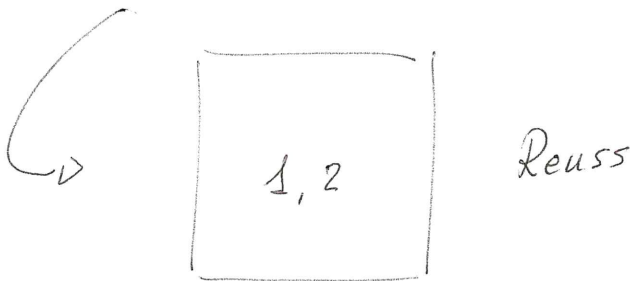
D = dentina (dolo esercizio)

$$E_O = 17 \text{ GPa}$$

$$E_D = 30 \text{ GPa}$$

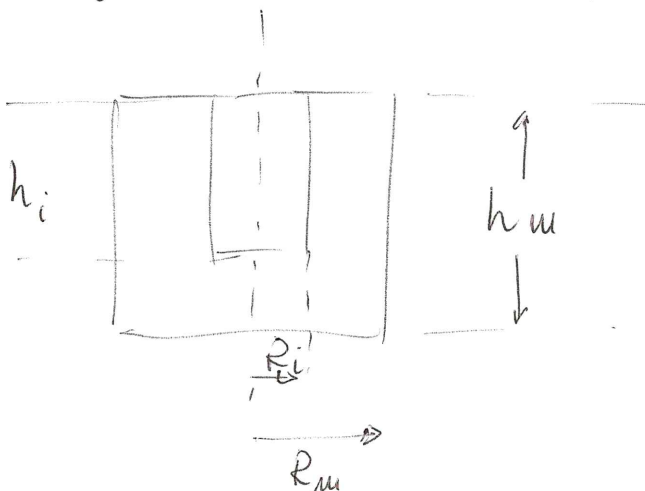


$$E_{\text{Voigt}} = E_O f_O + E_D E_D = E_V$$



$$E_{\text{Reuss}} = E_{\text{Reuss}} = \frac{E_O E_V}{E_O f_V + E_V f_O}$$

→ Scegli un impronta non flettato



Ri = reggio impronta

hi = ollette impronta

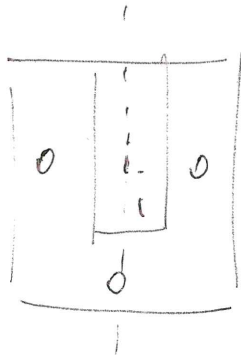
$$R_i \geq R_d$$

$$h_i \geq h_d$$

nel caso in cui  $R_i < R_d$  e/o  $h_i < h_d$

lo spettro laserato "muto" dovrà essere riempito  
con materiale di riempimento (idrossiapatite, osso da donatore).

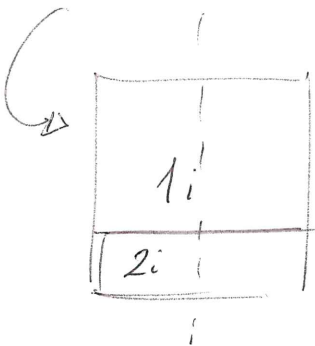
Per ipotesi, in questo esercizio si suppone che  
questo eventuale riempimento ottenga subito osso



0 = osso compatto

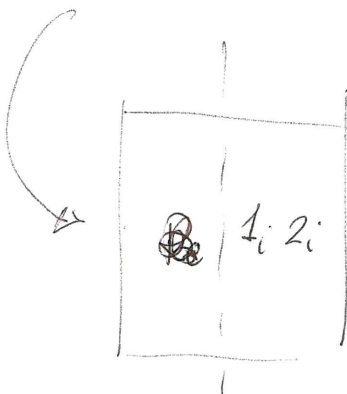
i = impronto

$$E_i = E_{\text{filamento}} = 110 \text{ GPa}$$



Voigt:

$$E_{\text{Voigt}} = E_{1i} = E_{2i} = E_i f_i$$



Reuss:

$$E_{\text{Reuss}} = E_{\text{systema impronto}} = \frac{E_0 E_{1i}}{E_0 f_{1i} + E_{1i} f_0}$$

→ Le dimensioni dell'impronto si ottengono  
imponendo un comportamento meccanico analogo  
tra il sistema pre- e post- impronto

$$E_{\text{fisso}} = E_{\text{systema impronto}}$$

Tenendo presente la relazione

$$\sigma = E \varepsilon$$

e che, per ipotesi, la forza si distribuisce  
sulla medesima area ( $\pi R_m^2$ ), la condizione  
da soddisfare è l'equivalenza fra i due moduli:

$$E_{\text{osso}} = E_{\text{sistema impunto}}$$

Poiché i due moduli elastici dipendono  
dalle frazioni volumetriche, si ha una prima equazione

Esistono, inoltre, alcuni vincoli

$$R_i < R_m$$

$$h_i < h_m$$

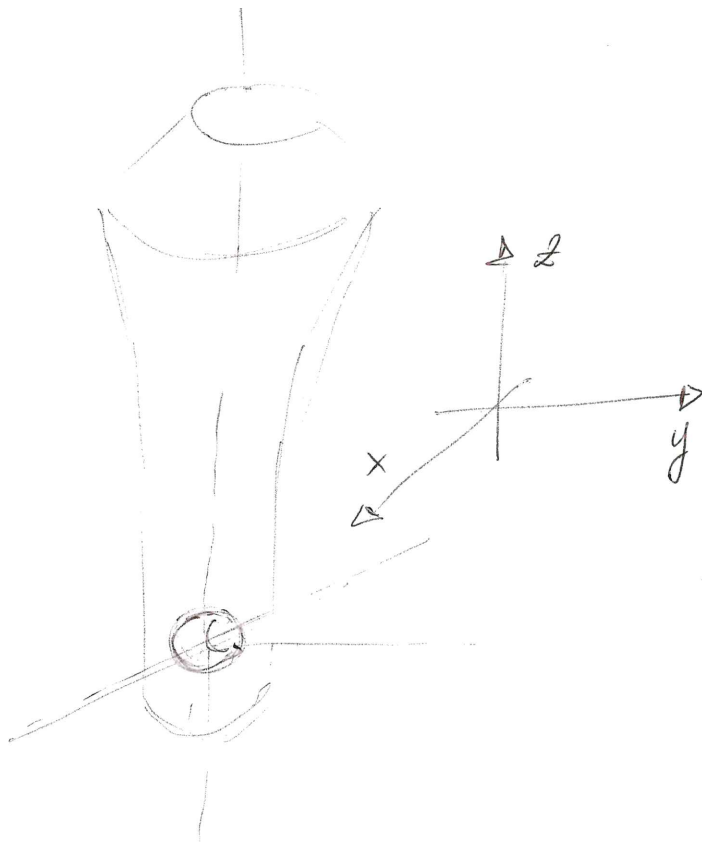
ed inoltre la somma delle frazioni  
volumetriche deve essere uguale ad 1

→ I parametri da studiare sono 2 ( $R_i, h_i$ ),  
ma le equazioni sono non lineari

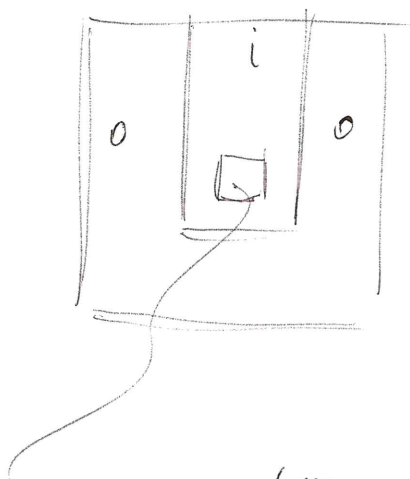
⇒ Esiste, in teoria, una "famiglia" di soluzioni

---

Nel caso in cui fosse presente un foro nell'impunto  
la cui funzione è quella di permettere la  
crescita dell'osso al suo interno, non solo  
verrebbero le dimensioni geometriche "esterne",  
ma a cambiare è l'intera schematizzazione  
poiché il sistema non è più assialsimmetrico  
(è simmetrico rispetto a 2 piani)



→ Nel piano  $yz$  la schematizzazione diventa



approssimando la geometria cilindrica ad una geometria a sezione rettangolare e fatta di area, il procedimento è analogo al precedente

OSSEO: si considera l'impendo "osteointegrato"

offrire  
~~materialmente~~ si considera  
 inerte l'impendo subito dopo l'operazione

Una possibile strategia per aumentare l'osteointegrazione dell'impianto è quella di rendere la sua superficie rugosa (rugosità)

→ la rugosità superficiale può essere aumentata tramite

→ Etching chimico

→ Sabbatura

→ Plasma spray

→ Coating della superficie con ~~una~~ idrossiapatite