

1) Poiché l'osso ed il corpo osseo hanno ancora la stessa densità rispetto a quello del titanio posto ~~calcolo~~ tenere conto solo di questo

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = \left\{ \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{G}{R_T} \right) \epsilon_{NR} \right] + \left[ (\epsilon_{NR} - \epsilon_L) G_R \right] \right\} V.$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\epsilon_{NR} = 0.1 \text{ \% per i mobili.}$$

$$\frac{1}{2} \rho V v^2 = \left\{ \frac{1}{2} \left[ 0.001 \cdot 240 \cdot 10^6 \right] + \left[ 0.15 - 0.001 \right] \cdot 240 \cdot 10^6 \right\} V$$

$$\frac{1}{2} \cdot 4.5 \cdot 10^3 \cdot v^2 = \left\{ \frac{1}{2} \left[ 240 \cdot 10^3 \right] + 0.149 \cdot 240 \cdot 10^6 \right\}$$

$$2250 v^2 = \left[ 120.000 + 35760000 \right] = 35880000$$

$$v^2 = 15496,67 \Rightarrow v = 126 \frac{m}{sec}$$

b) 

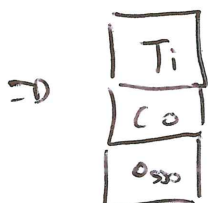
S
C
S

 calcolo  $E_z$  ed  $E_{xy}$  ossa

$$E_z^{oss} = \frac{E_S \cdot E_C}{0.7 E_S + 0.3 E_C} = \frac{0.5 \cdot 17}{0.7 \cdot 0.5 + 0.3 \cdot 17} = 1.56 GPa$$

$$E_{xy}^{oss} = 0.7 E_C + 0.3 E_S = 8.55 GPa$$

Il modello completo di ipotesi



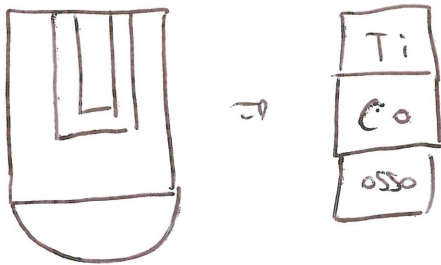
$$\frac{1}{E_z^{comp}} = \frac{f_{Ti}}{E_{Ti}} + \frac{f_{Co}}{E_{Co}} + \frac{f_O}{E_O}$$

$$E_{xy}^{comp} = \frac{f_{Ti} E_{Ti} f_{Co} E_{Co} + f_O E_O}{f_{Ti} + f_{Co} + f_O}$$

Il mio modello posso considerare solo la parte di dadi ed epifisi visto che è la sola ~~ossatura~~ del cranio e lo stelo. (7)

quindi il mio cranio può essere un modello elastico pari a  $E_{osso \text{ medio}}$ :  
 $E_{osso \text{ medio}} (1-p)^2 = E_{osso \text{ medio}} (1-f_{co}-f_{Ti})^2 \quad d=5.$

Quindi il modello che ho è



$$E_{xy \text{ completo}} = E_{osso \text{ medio}} \times y = 8.55 \text{ GPa} = f_{Ti} E_{Ti} + f_{Co} E_{Co} + f_o E_o$$

$$f_o = 1 - f_{Ti} - f_{Co}$$

$$8.55 = f_{Ti} \cdot 110 + f_{Co} \cdot 2 + (1 - f_{Ti} - f_{Co}) 8.55 (1 - f_{Co} - f_{Ti})^5$$

$$8.55 = f_{Ti} \cdot 110 + f_{Co} \cdot 2 + 8.55 (1 - f_{Co} - f_{Ti})^6 \quad 1^a \text{ equazione}$$

$$\frac{1}{E_{xy \text{ completo}}} = \frac{1}{E_{osso}} = \frac{1}{1.56} = \frac{f_{Ti}}{110} + \frac{f_{Co}}{2} + \frac{(1 - f_{Co} - f_{Ti})}{1.56 (1 - f_{Co} - f_{Ti})^4}$$

$$\frac{1}{1.56} = \frac{f_{Ti}}{110} + \frac{f_{Co}}{2} + \frac{1}{1.56 (1 - f_{Co} - f_{Ti})^4}$$

perché  $(1 - f_{Co} - f_{Ti})^4$  è un numero molto piccolo ~~meno~~ di 1. denario rispetto agli altri.  
 poiché  $(1 - f_{Co} - f_{Ti})^6$  è un numero ancora più piccolo lo trascuro rispetto agli altri.  
~~1 - f\_{Co} - f\_{Ti}~~

$$8.55 = f_{Ti} \cdot 110 + f_{Co} \cdot 2 \quad \Rightarrow \quad f_{Co} + 55 f_{Ti} = 4.27$$

$$f_{Co} = 4.27 - 55 f_{Ti}$$

(3)

$$\frac{1}{1.56} = \frac{f_{Ti}}{110} + \frac{4.27 - 55 f_{Ti}}{2} + \frac{1}{1.56} \frac{1}{(1 - 4.27 + 55 f_{Ti})^6}$$

$$110.2 = 1.56.2 f_{Ti} + (1.56.110) (4.27 - 55 f_{Ti})$$

$$220 = 3.41 f_{Ti} + 171.6 (4.27 - 55 f_{Ti})$$

$$220 = 3.41 f_{Ti} + 732.732 - 9438 f_{Ti}$$

$$9434.88 f_{Ti} = 512.732$$

$$f_{Ti} = 0.05$$

~~Reso~~

f<sub>co</sub> poiché spesso sotto l'approssimazione di eliminare i termini o poteri da corrisponde alle spese volentieri esse sono pari a

$$1) f_{co} + 55 f_{Ti} = 4.27 \Rightarrow f_{co} = 1.57 \text{ che non sembra possibile}$$

per fare caso della semplificazione sotto basta togliere l'unità e con f<sub>co</sub> = 0.51

valore esatto, poiché il combustore sarebbe modello elettronico.

c) poiché ~~esso~~ lo strumento che corrisponde nel caso non simile allora deve essere uguale

$$E_{O2} = E_{Oxy}$$

$$\frac{f_{Ti}}{E_{Ti}} + \frac{f_{co}}{E_{co}} + \frac{f_o}{E_o} = f_{Ti} E_{Ti} + \frac{f_{co}}{E_{co}} E_{co} \text{ che } E_o$$

$$f_o = 1 - f_{Ti} - f_{co}$$

$$\frac{f_{Ti}}{1.10} + \frac{f_{Co}}{2} + \frac{f_o}{E_{oxr} (1 - f_{Co} - f_{Ti})^2} = f_{Ti} \cdot 1.10 + f_{Co} \cdot 2 + f_o E_{oxr} (1 - f_{Co} - f_{Ti})^2$$

$$\frac{f_{Ti}}{1.10} + \frac{f_{Co}}{2} + \frac{1}{E_{oxr} (1 - f_{Co} - f_{Ti})^2} = f_{Ti} \cdot 1.10 + f_{Co} \cdot 2$$

Per le stesse molare di pure  $f_o$

$$\frac{1}{E_{oxr} (1 - f_{Co} - f_{Ti})^2} = f_{Ti} \cdot 1.10 + f_{Co} \cdot 2$$

$$1 = (f_{Ti} \cdot 1.10 + f_{Co} \cdot 2) E_{oxr} (1 - f_{Co} - f_{Ti})^2$$

Lo stesso posso scrivere  $f_{Ti} \cdot 1.10 + f_{Co} \cdot 2 = \frac{1}{E_{oxr}}$

$$f_{Ti} \cdot 1.10 + f_{Co} = \frac{1}{3.17}$$

$$f_{Ti} \cdot 1.10 + f_{Co} = 0.32$$

$$f_{Co} = 0.32 - f_{Ti} \cdot 1.10 \quad f_{Co} < 1$$

$$0.32 - f_{Ti} \cdot 1.10 < 1 \Rightarrow 0.32 < f_{Ti} \cdot 1.10$$

$$f_{Ti} \cdot 1.10 > 0.32 \quad f_{Ti} > 0.006$$

quindi si vede che con un certo spessore del tipo precedente si può realizzare la condizione desiderata.

d) a le moltiplicando esatto

5

$E = E_0 A^B$  con  $B = 1$  perché  $A$  è uno perché il modulo elastico  
~~composto~~, se ~~composto~~ il modulo elastico dell'oro varia di  $v_0$  di  
le due lavorazioni volumetriche del titanio e del cuneo ~~diminuisce~~ per  
comporre il comportamento meccanico.

Esercizio 3

a) Velocità di flusso

b) in condizioni standard

$$Q_0 = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \mu_0 l} = A v_0 \Rightarrow v_0 = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \mu_0 l A}$$

$$Q_1 = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \mu_1 l} = A v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \mu_1 l A}$$

c) perché abbiamo dello stesso volume

$$v_1 = \frac{\mu_0}{\mu_1} \cdot v_0 \quad \text{dove } \mu_1 = 1.02 \mu_0$$

$$v_1 = \frac{\mu_0}{1.02 \mu_0} \cdot v_0 = 0.98 v_0$$

\* PROBLEMA ALLO STATO STAZIONARIO

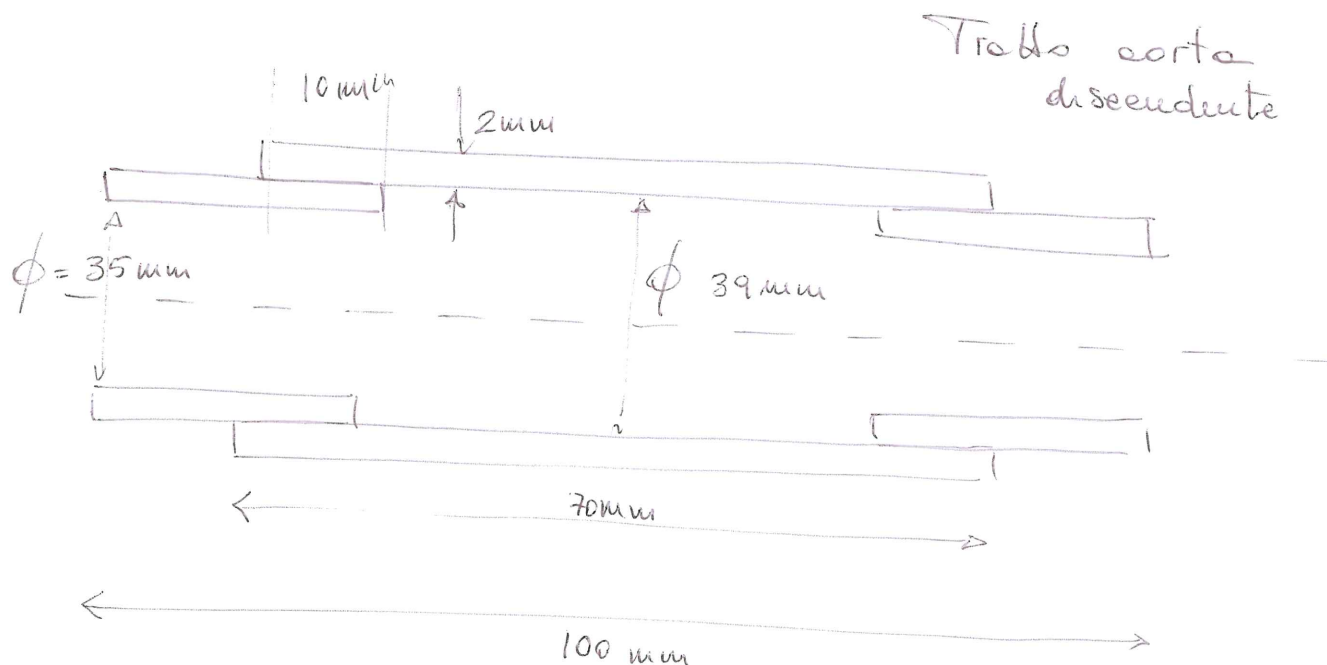
\* GEOMETRIA ASSIAL SIMMETRICA

\* VENGONO IMPIEGATI I SEGUENTI GRUPPI DI EQUAZIONI

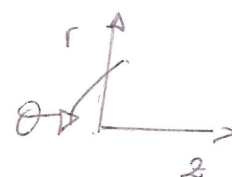
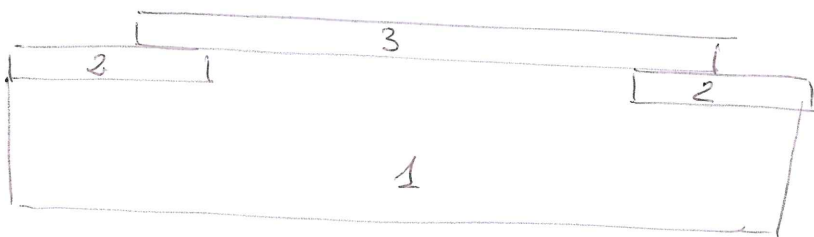
→ FLUIDODINAMICA (NAVIER STOKES)

→ MECCANICA STRUTTURALE

→ MOVING MESH



GEOMETRIA



① DOMINIO "FLUIDO" → SANGUE

②, ③ DOMINIO "SOLIDO" → VASO SANGUIGNO (2), PROTESI (3)



Note: la presenza di suture non viene modellata  
e i domini 2 e 3 sono posti in  
continuità meccanica

Condizioni sul dominio

Note: essendo un modello allo stato stazionario  
non è necessario definire le condizioni iniziali

→ Fluidodinamica

→ equazioni definite solo all'interno  
del dominio 1

	Viscosità (Pa·s)	Densità (kg/m³)
1	$4 \cdot 10^{-3}$	1050

→ Meccanica

→ equazioni definite sui domini 2 e 3

	Modulo elastico (Pa)	Modulo Poisson	Densità kg/m³
2	$E_\theta = 5 \cdot 10^4$ $E_r = E_\theta$ $E_z = 2 \cdot 10^5$	0.45	1060
3	$E_\theta = 1 \cdot 10^5$ $E_r = E_\theta$ $E_z = 1.3 \cdot 10^5$	0.45	0.9

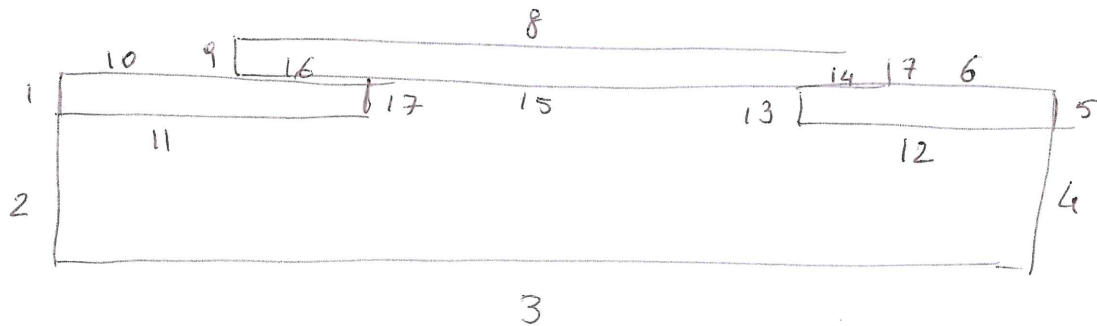
non viene inserito alcun prestress  
anche se questo è presente nella pratica

→ Moving mesh

	Condizioni sulle mesh
1	spostamento libero
2	spostamento vincolato al campo di spostamento delle meccanica strutturale
3	spostamento vincolato al campo di spostamento delle meccanica strutturale

no prespostamenti.

Condizioni al contorno



Fluidodinamica

~~Condizioni~~

	Condizione
3	Assol simmetrica
11, 12, 13 15, 17	velocità equivalente alla velocità di spostamento della parete (dalla meccanica strutturale) → sistema stazionario → condizione di no-slip
2	inlet → pressione = 80 mmHg
4	outlet → portata = 4 l/min (stimata)

Altre boundary  
→ non distribuiti



## Meccanica

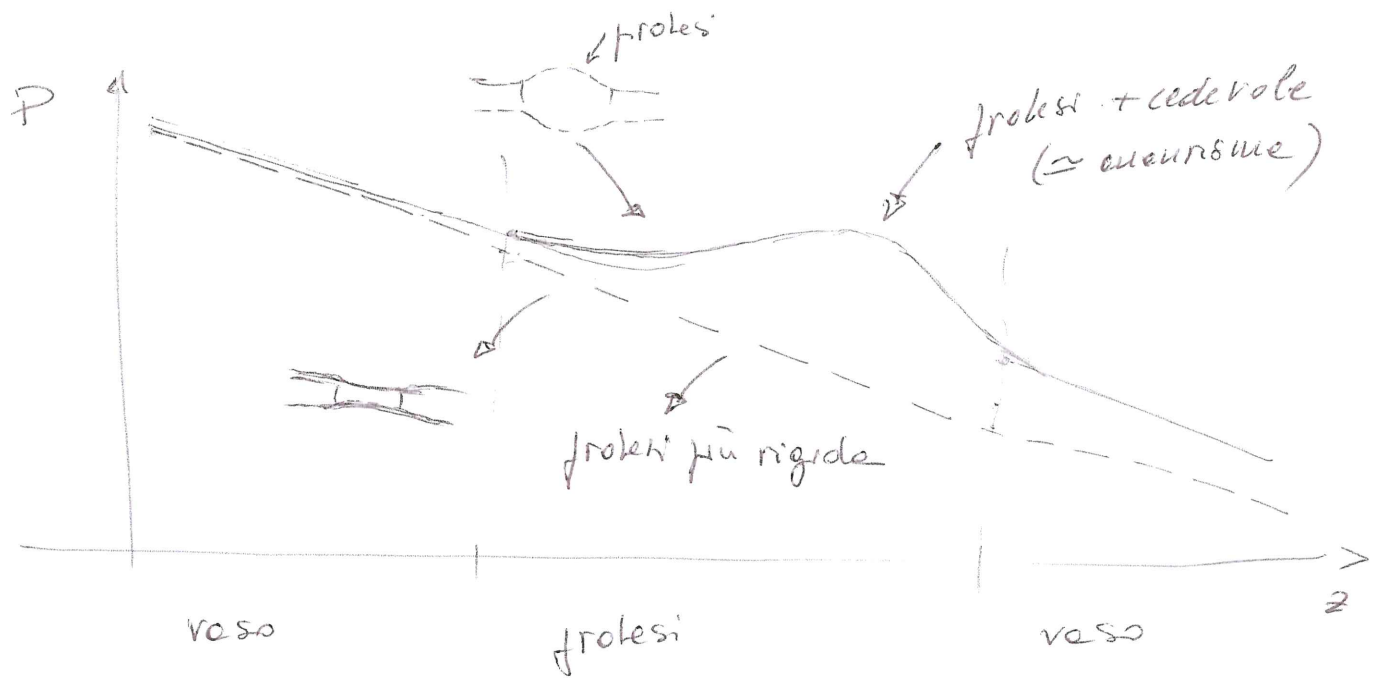
	Condizione
12, 13 15, 17	carico dovuto al fluido → sforzi normali (pressione) e di taglio
6, 7 8, 9, 10	nessun vincolo, nessun carico
5	spostamento nullo
1	spostamento nullo in direzione $z$
4, 16	costante
Altri	non definiti

## Moving mesh

	Condizione
11, 12, 13 15, 17	spostamento guidato dal campo di spostamenti della meccanica strutturale
3	spostamento nullo
2, 4	spostamento nullo lungo $z$
Altri	nessuna condizione

una volta costruita la mesh e risolto il modello,  
sarà poi possibile analizzare i risultati

Andamento qualitativo della pressione



Per le domande teoriche, vedere appunti forniti e lezione