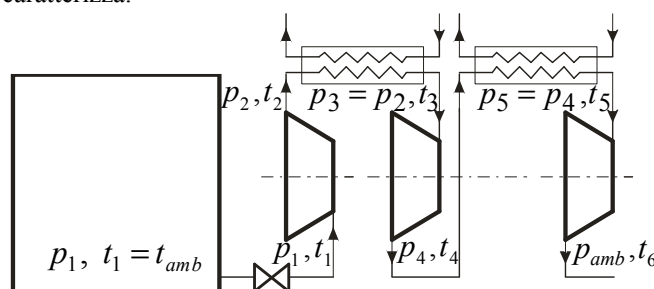


Prova scritta di Fisica Tecnica, Fisica Tecnica I e Fisica Tecnica II – 26.06.2007  
 Fisica Tecnica VO e Fisica Tecnica II NO AA 2005-06 e seguenti – Esercizi 1 e 2  
 NO AA 2004-05 e precedenti: Fisica Tecnica I – *solo* Esercizio 1; Fisica Tecnica II – *solo* Esercizio 2  
**(Ing. Meccanica, Navale, Elettrica, dei Materiali)**

.....  
NOME e COGNOME.....  
CORSO di LAUREA.....  
Voto/i**Esercizio 1**

Appaiono periodicamente sulla stampa annunci sulla prossima commercializzazione di vetture mosse da motori ad aria compressa, assieme alla descrizione delle doti di efficienza, silenziosità ed assenza di emissioni inquinanti che le caratterizza.



Fra le numerose difficoltà che hanno sinora impedito la commercializzazione di una vettura di questo tipo, le principali riguardano la scarsa autonomia, ed il notevole raffreddamento dell'aria a seguito dell'espansione, con conseguente formazione di ghiaccio ed arresto del propulsore. Una delle soluzioni proposte per ovviare a tali difficoltà, consiste nel frazionamento dell'espansione in tre stadi, con inter-riscaldamento intermedio con l'aria ambiente, tramite scambiatori di calore, come schematizzato in figura.

Nelle ipotesi di poter considerare l'aria un gas ideale a calori specifici costanti ( $R = 0.287 \text{ kJ/(kg K)}$ ,  $k = 1.4$ ) e trascurare eventuali variazioni di energia cinetica e potenziale, determinare il lavoro specifico, espresso in kJ/kg e Wh/kg, e la temperatura minima dell'aria nei seguenti casi nei quali l'espansione avvenga dalle condizioni  $p_1, t_1 = t_{amb}$ , alla pressione  $p_{amb}$ :

1. espansione isoterma monostadio;
2. espansione isoentropica monostadio;
3. espansione adiabatica monostadio, caratterizzata da rendimento isoentropico di espansione  $\eta_{ie} = 0.7$ ;
4. espansione adiabatica a tre stadi, con  $\eta_{ie} = 0.7$  per tutte le tre espansioni, e doppio inter-riscaldamento intermedio alla temperatura ambiente  $t_{amb}$ , con rapporti delle pressioni

$$p_1/p_2 \equiv p_3/p_4 \equiv p_5/p_{amb} = \sqrt[3]{p_1/p_{amb}}.$$

Tracciare infine i quattro diversi processi sui piani  $T$ - $s$  e  $p$ - $v$ .

TEMA	$p_1$ [MPa]	$p_{amb}$ [MPa]	$t_{amb}$ [°C]
<b>A</b>	30	0.1013	20
<b>B</b>	20	0.1013	20

Vecchio Ordinamento (VO) ☐

Nuovo Ordinamento (NO) AA 2004-05 e precedenti ☐ Fisica Tecnica I ☐ Fisica Tecnica II ☐

Nuovo Ordinamento (NO) AA 2005-06 e seguenti ☐

Prova scritta di Fisica Tecnica, Fisica Tecnica I e Fisica Tecnica II – 26.06.2007  
Fisica Tecnica VO e Fisica Tecnica II NO AA 2005-06 e seguenti – Esercizi 1 e 2  
NO AA 2004-05 e precedenti: Fisica Tecnica I – *solo* Esercizio 1; Fisica Tecnica II – *solo* Esercizio 2  
**(Ing. Meccanica, Navale, Elettrica, dei Materiali)**

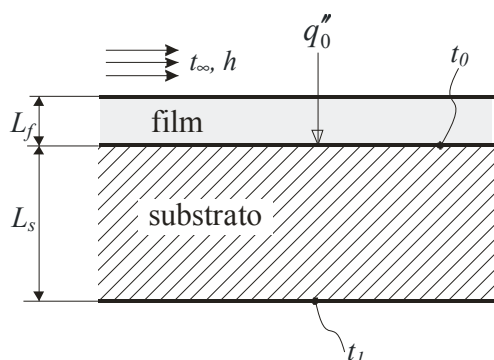
.....  
**NOME e COGNOME**

.....  
**CORSO di LAUREA**

.....  
**Voto/i**

### Esercizio 2

In un processo produttivo è necessario fissare un film di materiale trasparente su un substrato, come schematizzato in figura, mantenendo per un certo tempo, ad una temperatura  $t_0$ , la giunzione film-substrato.



Per far ciò, si utilizza un flusso termico radiante specifico  $q_0''$ , che viene interamente assorbito sulla superficie del substrato all'interfaccia con il film. L'altra superficie del substrato è mantenuta alla temperatura  $t_1$ , mentre la superficie esterna del film è lambita da aria alla temperatura  $t_\infty$  con un coefficiente convettivo  $h$ .

Nelle ipotesi di flusso monodimensionale stazionario, nell'ordine:

1. Rappresentare il circuito termico equivalente del sistema;
2. Calcolare il flusso termico  $q_0''$  che è richiesto per mantenere l'interfaccia film-substrato alla temperatura  $t_0$ .

TEMA	$L_f$ [mm]	$k_f$ [W/(m K)]	$L_s$ [mm]	$k_s$ [W/(m K)]	$t_\infty$ [°C]	$h$ [W/(m² K)]	$t_1$ [°C]	$t_0$ [°C]
<b>A</b>	0.25	0.025	1.0	0.050	20	50	30	60
<b>B</b>	0.25	0.025	1.5	0.075	25	30	30	60

**Soluzioni****Esercizio 1**

1. Espansione isoterma monostadio

$$L_{isot} = -RT_{amb} \ln \frac{p_{amb}}{p_1}$$

2. Espansione isoentropica

$$T_{isoe} = T_{amb} \left( \frac{p_1}{p_{amb}} \right)^{(1-k)/k}$$

$$L_{isoe} = R \frac{k}{k-1} (T_{amb} - T_{isoe})$$

3. Espansione adiabatica monostadio

$$T_{ad} = T_{amb} - \eta_{ie} (T_{amb} - T_{isoe})$$

$$L_{ad} = R \frac{k}{k-1} (T_{amb} - T_{ad})$$

4. Espansione adiabatica a tre stadi con due inter-riscaldamenti intermedi alla temperatura
- $t_{amb}$

$$T_{3isoe} = T_{2'} \equiv T_{4'} \equiv T_{6'} = T_{amb} \left( \sqrt[3]{p_1/p_{amb}} \right)^{(1-k)/k}$$

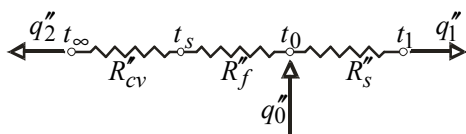
$$T_{3st} = T_2 \equiv T_4 \equiv T_6 = T_{amb} - \eta_{ie} (T_{amb} - T_{2'})$$

$$L_{3st} = 3R \frac{k}{k-1} (T_{amb} - T_{3st})$$

	$L_{isot}$		$T_{isoe}$		$L_{isoe}$		$T_{ad}$		$L_{ad}$		$T_{3st}$		$L_{3st}$	
TEMA	[kJ/kg]	[Wh/kg]	[K]	[°C]	[kJ/kg]	[Wh/kg]	[K]	[°C]	[kJ/kg]	[Wh/kg]	[K]	[°C]	[kJ/kg]	[Wh/kg]
<b>A</b>	478.8	133.0	57.7	-215.5	236.5	65.7	128.3	-144.8	165.6	46.0	207.3	-65.9	258.7	71.9
<b>B</b>	444.7	123.5	64.8	-208.4	229.4	63.7	133.3	-139.9	160.6	44.6	212.0	-61.2	244.6	67.9

**Esercizio 2**

1. Circuito termico equivalente:



2. Le resistenze termiche, per unità d'area, valgono

$$R_{cv}'' = \frac{1}{h}$$

$$R_f'' = \frac{L_f}{k_f}$$

$$R_s'' = \frac{L_s}{k_s}$$

Da un bilancio all'interfaccia film-substrato (nodo  $t_0$  nel circuito)

$$q''_0 = q''_1 + q''_2$$

Vecchio Ordinamento (VO) ☐

Nuovo Ordinamento (NO) AA 2004-05 e precedenti ☐ Fisica Tecnica I ☐ Fisica Tecnica II ☐

Nuovo Ordinamento (NO) AA 2005-06 e seguenti ☐

dove

$$q_1'' = \frac{t_0 - t_1}{R_s''}$$

$$q_2'' = \frac{t_0 - t_\infty}{R_f'' + R_{cv}''}$$

da cui

$$q_0'' = \frac{t_0 - t_1}{R_s''} + \frac{t_0 - t_\infty}{R_f'' + R_{cv}''}$$

TEMA	$R_{cv}''$ [m <sup>2</sup> K/W]	$R_f''$ [m <sup>2</sup> K/W]	$R_s''$ [m <sup>2</sup> K/W]	$q_0''$ [W/m <sup>2</sup> ]
<b>A</b>	0.020	0.010	0.020	2833.3
<b>B</b>	0.033	0.010	0.020	2307.7