



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

Scuola di  
Ingegneria

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE  
ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
SECONDA SESSIONE 2017  
PRIMA PROVA SCRITTA – Sezione A  
15 NOVEMBRE 2017**

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore AUTOMAZIONE**

Il candidato illustri una o più metodologie di progetto di sistemi di controllo evidenziandone i vantaggi e gli svantaggi con riferimento alle caratteristiche dell'impianto da controllare e alle prestazioni richieste. A tal fine il candidato può anche utilizzare specifici esempi di problemi di controllo.

---

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore BIOMEDICA**

Il candidato descriva un sistema biomedicale diagnostico scelto a piacere, evidenziandone in particolare la funzionalità diagnostica, le variabili misurate, l'architettura del sistema e il suo funzionamento.

---

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore ELETTRICA**

I metodi e i sistemi per il trasporto e la distribuzione dell'energia.  
La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

---

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore ENERGETICA**

Il candidato descriva il funzionamento di un motore termico impiegato per la propulsione terrestre o aeronautica a sua scelta discutendone gli aspetti critici, gli attuali limiti tecnologici e le potenzialità offerte dalla tecnica per mitigare l'impatto sull'ambiente a medio e lungo termine come l'impiego di soluzioni ibride.

---

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore MECCANICA FREDDA**

Il candidato esponga i criteri impiegati per la scelta del materiale nella progettazione meccanica, aiutandosi attraverso la descrizione di opportuni esempi in campo applicativo.

---



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

Scuola di  
Ingegneria

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE  
ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
SECONDA SESSIONE 2017  
SECONDA PROVA SCRITTA – Sezione A  
23 NOVEMBRE 2017**

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore AUTOMAZIONE**

Nei problemi di controllo è necessario garantire la stabilità dei sistemi di controllo, nonché prestazioni soddisfacenti di inseguimento di riferimenti e reiezione di disturbi. Il candidato illustri i vincoli imposti sulla struttura del controllore dalle caratteristiche dell'impianto e dalle specifiche di inseguimento e reiezione, anche valutando le eventuali conseguenze di tali vincoli sul comportamento dinamico del sistema controllato. A tal fine il candidato può anche utilizzare specifici esempi di problemi di controllo.

---

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore BIOMEDICA**

Il candidato descriva un sistema biomedicale terapeutico scelto a piacere, evidenziandone in particolare la funzionalità terapeutica, le variabili controllate, l'architettura del sistema e il suo funzionamento.

---

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore ELETTRICA**

La progettazione di una sottostazione elettrica, alimentata in AAT.  
La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

---

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore ENERGETICA**

Il candidato descriva le attuali tendenze progettuali dei motori utilizzati per la propulsione scegliendo tra propulsione terrestre, navale o aeronautica. Dopo aver descritto i componenti del motore, il candidato discuta i criteri di progettazione termo-fluidodinamica di massima di un componente principale a sua scelta, illustrando le metodologie numeriche e/o sperimentali disponibili.

---

**SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore MECCANICA FREDDA**

Il ruolo della schematizzazione del sistema dei vincoli e dei carichi per la progettazione, il dimensionamento e la verifica di resistenza di semplici strutture reticolari con impiego meccanico. I concetti esposti siano corredati da uno o più esempi pratici.

---



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

Scuola di  
Ingegneria

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE  
ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

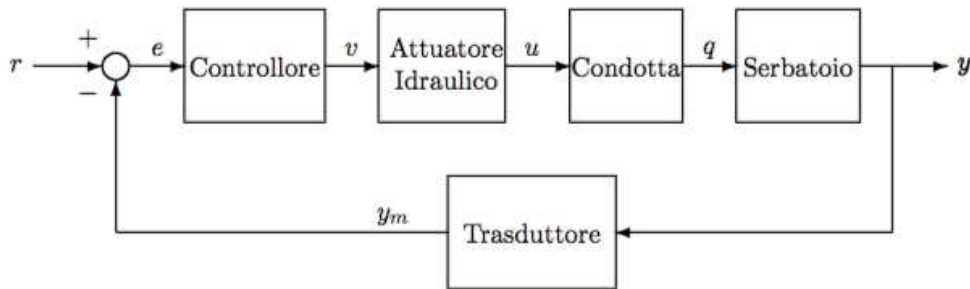
SECONDA SESSIONE 2017

PROVA PRATICA – Sezione A

15 FEBBRAIO 2018

A

SETTORE INDUSTRIALE  
Sotto-settore AUTOMAZIONE



In figura è schematizzato un sistema di controllo del livello di un serbatoio connesso all'attuatore idraulico di comando da una condotta. Il serbatoio e la condotta sono rispettivamente modellati dalle funzioni di trasferimento  $S(s)$ , fra la portata  $q$  in ingresso al serbatoio e il livello  $y$  del liquido nel serbatoio, e  $Q(s)$ , fra la portata  $u$  a monte della condotta e la portata  $q$ . In appropriate unità di misura, tali funzioni di trasferimento valgono

$$S(s) = \frac{K_p}{1 + \tau_p s} \quad Q(s) = \frac{1 - Ts}{1 + Ts},$$

dove le costanti  $K_p$ ,  $\tau_p$  e  $T$  assumono valori dipendenti dalla portata nominale  $U$  nella condotta:

$$K_p = 0.5U; \quad \tau_p = 5U; \quad T = \frac{2}{U}.$$

La portata  $u$  è regolata da un attuatore idraulico comandato dal segnale in tensione  $v$ . L'attuatore è modellato (in appropriate unità di misura) dalla funzione di trasferimento

$$A(s) = \frac{K_a}{1 + \tau_a s}$$

con  $K_a = 1$ ,  $\tau_a = 0.1$ . Il livello  $y$  è convertito nel segnale in tensione  $y_m$  mediante un trasduttore con guadagno unitario (in appropriate unità di misura) nella banda di interesse del sistema controllato.

1. Assumendo la portata nominale  $U = 5$ , si progetti la funzione di trasferimento  $C(s)$  del controllore in modo che il sistema di controllo sia stabile e soddisfi le specifiche seguenti:
  - errore di inseguimento a regime nullo per ingressi costanti ( $r(t) = c$ ,  $c \neq 0$ );
  - errore di inseguimento a regime non superiore a 0.2 per l'ingresso a rampa  $r(t) = 0.5t$ ;
  - sovraelongazione alla risposta al gradino non superiore a  $\hat{s}_{max} = 0.3$ ;
  - banda circa uguale a  $B_3^o = 0.3$ ;
  - ampiezza a regime dell'uscita  $u$  dell'attuatore idraulico non superiore a 0.15 per ingressi armonici  $r(t) = \cos \omega t$  con pulsazione  $\omega \geq 10$ .
2. Si implementi in modo digitale il controllore progettato al punto precedente.
3. Si analizzi la robustezza del sistema controllato rispetto a variazioni della portata nominale  $U = 5$ . In particolare, si valuti per quali valori di  $U$  diversi dal valore nominale il sistema di controllo progettato continua ad essere stabile. Si valuti inoltre come eventualmente modificare il controllore in modo che le specifiche assegnate siano ancora soddisfatte a fronte di una variazione percentuale del  $\pm 20\%$  del valore nominale  $U = 5$ .

**SETTORE INDUSTRIALE**  
**Sotto-settore BIOMEDICA**

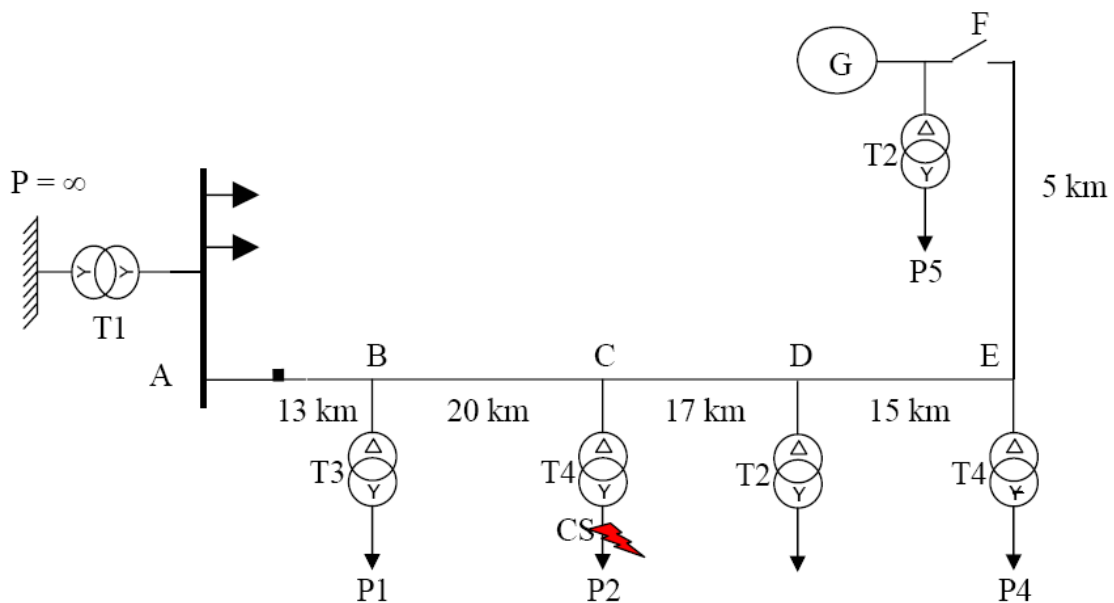
Il candidato descriva un progetto di massima di un sistema biomedicale per una applicazione scelta a piacere tra le seguenti:

- acquisizione ed elaborazione di segnali dal corpo umano;
- sviluppo di una protesi ortopedica o di arto.

Si richiede in particolare di descrivere:

- la generica funzionalità desiderata;
- le principali specifiche tecniche, quantificando parametri e variabili coinvolte;
- una opportuna architettura del sistema, fornendo anche una rappresentazione grafica qualitativa del sistema reale o di un suo schema a blocchi;
- la modalità di funzionamento/utilizzo del sistema;
- almeno un test di caratterizzazione/validazione tecnica su banco (ossia un test non clinico) del sistema dopo una sua eventuale realizzazione, specificando la variabile di misura, la tecnica di misura e i risultati che dovrebbero essere ottenuti per poter giudicare il sistema come corrispondente alle aspettative.

**SETTORE INDUSTRIALE**  
**Sotto-settore ELETTRICA**



*Figura 1*

Con riferimento allo schema unifilare di figura 1 e ai dati riportati nelle tabelle I-III, supponendo inizialmente la linea chiusa solo in A, con generatore G staccato dalla rete, si richiede:

1. il progetto di massima e la verifica elettrica della linea aerea ABCDEF in conduttore di rame (distanza tra i conduttori 1200 mm) esercita a tensione nominale 20 kV, ammettendo una caduta di tensione massima del 7%.
2. Il calcolo della corrente, al secondario di T4, per un guasto monofase nel punto CS.

Successivamente, si consideri la linea chiusa anche all'estremità F si richiede:

- la determinazione della massima caduta di tensione con generatore G inserito ipotizzando che il generatore possa mantenere la tensione in F pari a 20kV.

Per ogni punto il Candidato dovrà presentare una relazione dettagliata e ordinata, evidenziando i risultati numerici ottenuti.

Il Candidato è libero di effettuare tutte le ipotesi che riterrà necessarie per lo sviluppo dell'elaborato. La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

Tabella I- *Dati dei trasformatori*

	T1	T2	T3	T4
S	10 MVA	400 kVA	250 kVA	630 kVA
V <sub>1</sub>	60 kV	20 kV	20 kV	20 kV
V <sub>2</sub>	20 kV	380 V	380 V	380 V
V <sub>cc</sub> %	10%	4.5%	4%	5%
cosφ <sub>cc</sub>	0.1	0.3	0.36	0.2
Gruppo	Yy/0	Dy-n/11	Dy-n/11	Dy-n/11

Tabella II- *Dati dei carichi*

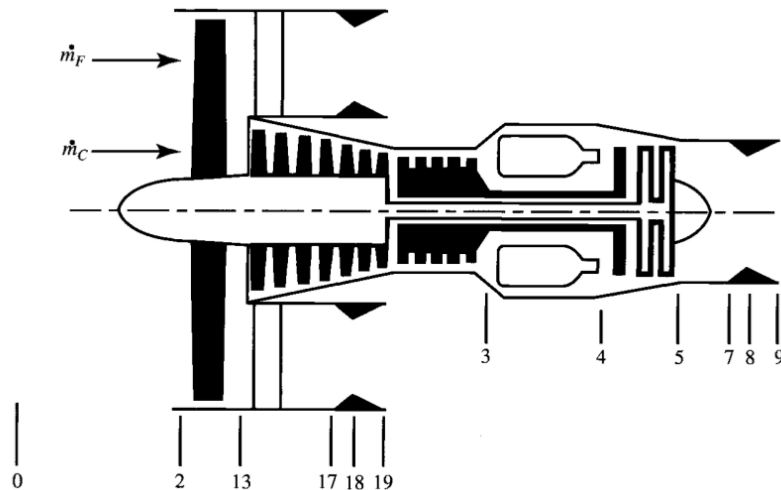
	P1	P2	P3	P4	P5
S	200 kVA	600 kVA	400 kVA	500 kVA	400 kVA
cosφ	0.70	0.9	0.65	0.75	0.80

**Tabella III-** *Conduttori a corda di rame crudo per linee elettriche aeree*

Tipo di conduttore	Sezione teorica [mm <sup>2</sup> ]	Diametro [mm]	Resistenza elettrica teorica a 20°C [Ω/km]	Portata [A]
16/7	15.69	5.1	1.140	115
25/7	25.18	6.42	0.7199	151
35/7	34.91	7.56	0.5192	174
50/7	49.48	9	0.3663	231
70/19	68.34	10.7	0.2678	282
95/19	94.76	12.6	0.1831	357
120/19	117.0	14	0.1564	411
150/37	153.7	16.1	0.1196	477
230/37	227.8	19.6	0.08073	621

**SETTORE INDUSTRIALE**  
**Sotto-settore ENERGETICA**

Si consideri un motore turbofan a flussi separati (Fig. 1) che vola ad una quota  $h=11000$  m a Mach  $M_0=v_0/a_0=0.85$ .



$\pi_d = \rho_{t2} / \rho_{t0}$	$\tau_d = T_{t2} / T_{t0}$	$\pi_r = \rho_{t0} / \rho_0$	$\tau_r = T_{t0} / T_0$
$\pi_c = \rho_{t3} / \rho_{t2}$	$\tau_c = T_{t3} / T_{t2}$	$\pi_f = \rho_{t13} / \rho_{t2}$	$\tau_f = T_{t13} / T_{t2}$
$\pi_b = \rho_{t4} / \rho_{t3}$	$\tau_b = T_{t4} / T_{t3}$		
$\pi_t = \rho_{t5} / \rho_{t4}$	$\tau_t = T_{t5} / T_{t4}$		
$\pi_n = \rho_{t9} / \rho_{t7}$	$\tau_n = T_{t9} / T_{t7}$	$\pi_{fn} = \rho_{t19} / \rho_{t17}$	$\tau_{fn} = T_{t19} / T_{t17}$

Fig. 1: Sezioni di riferimento per un motore turbofan a flussi separati e nomenclatura adottata.

Il motore ha un rapporto di bypass  $\alpha = \dot{m}_F / \dot{m}_C = 8$  ed aspira una portata d'aria pari a  $\dot{m}_0 = \dot{m}_F + \dot{m}_C$ . Il rapporto di compressione complessivo del turbofan è  $\pi_c = 25$  e quello del fan  $\pi_f = 1.6$ . Il combustibile ha un potere calorifico inferiore pari a  $LHV = 43.5$  MJ/kg e la temperatura massima del ciclo è fissata a  $T_{t4} = 1420$  K. Le perdite per attrito nella presa d'aria subsonica sono pari a  $\pi_{dmax} = 0.98$ ,  $\pi_d = \pi_{dmax} \eta_r$  (con  $\eta_r = 1$  per  $M_0 < 1$ ). L'ugello di scarico primario e l'ugello di scarico del fan stabiliscono un rapporto tra pressione ambiente e pressione nella sezione di uscita pari a  $p_0 / p_9 = 1$  e  $p_0 / p_{19} = 1$  (ugelli in condizioni adattate).

Per l'analisi di ciclo si considerino le seguenti ipotesi:

- Ipotesi di gas perfetto:  $R = c_p - c_v$ ;  $\gamma = c_p / c_v$ ;  $p = \rho RT$ 
  - a monte del combustore con proprietà costanti pari a  $\gamma_c = 1.4$  e  $c_{pc} = 1004.8$  J/kgK
  - a valle del combustore con proprietà costanti pari a  $\gamma_t = 1.33$  e  $c_{pt} = 1155.6$  J/kgK
- Tutti i componenti vengono considerati adiabatici (turbina non raffreddata)
- E' lecito effettuare un unico bilancio di potenza all'albero;
- Le prestazioni dei componenti sono descritte tramite valori costanti di efficienza ( $\eta$ ), efficienza politropica ( $\eta_p$ ) e perdite di pressione totale ( $\pi$ ):

compressore (c)	$\eta_{pc} = 0.88$	ugello primario (n)	$\pi_n = 0.95$
combustore (b)	$\pi_b = 0.94, \eta_b = 0.99$	ugello fan (fn)	$\pi_{fn} = 0.95$
fan (f)	$\eta_{pf} = 0.88$	efficienza meccanica	$\eta_m = 0.99$
turbina (t)	$\eta_{pt} = 0.90$		

- Si rappresenti su un piano termodinamico T-s il diagramma del flusso primario e del flusso del fan rispettando i livelli di pressione e temperatura;

- Calcolare (riepilogando i risultati nelle tabelle allegate):
  - Le condizioni termodinamiche (pressione e temperatura totale) in tutti i punti indicati nella tabella e, dove richiesto, si calcoli pressione, temperatura, densità, velocità e numero di Mach.
  - Il rapporto tra portata di combustibile e portata primaria  $f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_c}$
  - L'efficienza isentropica del fan  $\eta_f$ , del compressore  $\eta_c$  e della turbina  $\eta_t$ ;
  - La spinta specifica (si consideri la spinta non installata)  $F_s = \frac{F}{\dot{m}_0}$  ed il rapporto tra la spinta per unità di massa generata dal flusso primario e la spinta per unità di massa generata dal fan,  $FR = \frac{F_c/\dot{m}_c}{F_f/\dot{m}_f}$
  - Il rapporto tra la portata di combustibile e la spinta (TSFC=*uninstalled thrust specific fuel consumption*)  $TSFC = \frac{\dot{m}_f}{F}$
  - I valori dell'efficienza di propulsione  $\eta_p$ , dell'efficienza termica  $\eta_{th}$  e dell'efficienza complessiva  $\eta_o = \eta_p \eta_{th}$ ;

$$\eta_p = \frac{\text{potenza propulsiva}}{\text{potenza prodotta}} = \frac{W_{prop}}{W_{out}} \quad (1)$$

$$\eta_{th} = \frac{\text{potenza prodotta}}{\text{potenza disponibile}} = \frac{W_{out}}{\dot{Q}_{in}} \quad (2)$$

- Sapendo che la portata complessiva aspirata dal motore è pari a  $\dot{m}_0 = 500 \text{ kg/s}$ , si valuti la portata di bypass ( $\dot{m}_f$ ) e la portata primaria ( $\dot{m}_c$ )
- Si valuti infine la superficie di uscita dell'ugello primario  $A_n$  e dell'ugello del fan  $A_{fn}$ ;

Punto	$T_t$ [K]	$p_t$ [Pa]	T [K]	p [Pa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	Mach [-]
0							
2							
3							
4							
5							
9							
13							
19							

$\dot{m}_f$		[kg/s]
$\dot{m}_c$		[kg/s]
$f$		[-]
$F_s$		[N/(kg/s)]
FR		[-]
TSFC		(mg/s)/N

$\eta_f$		[-]
$\eta_c$		[-]
$\eta_t$		[-]
$\eta_p$		[-]
$\eta_{th}$		[-]
$\eta_o$		[-]

$A_n$		[m <sup>2</sup> ]
$A_{fn}$		[m <sup>2</sup> ]

Si consideri l'aria ambiente secondo le condizioni dell'atmosfera standard internazionale (ISA).

- Temperatura e pressione (condizioni statiche) in funzione della quota geopotenziale  $z$  sono espresse da:

$$T(z) = T_i + L_i(z - z_i) \quad (3)$$

$$p(z) = p_i \left( \frac{T_i}{T(z)} \right)^{\frac{gW}{R^*L_i}} \quad , L_i \neq 0 \quad (4a)$$

$$p(z) = p_i \exp \left[ -\frac{gW(z-z_i)}{R^*T_i} \right] \quad , L_i = 0 \quad (4b)$$

dove la quota geopotenziale è data da ( $h$  è la quota geometrica):

$$z = \frac{r_0 h}{r_0 + h} \quad (5)$$

peso molecolare dell'aria	$W$	28.9644	[kg/kmol]
accelerazione di gravità	$g$	9.80665	[m/s <sup>2</sup> ]
costante universale dei gas	$R^*$	8.31432	[J/mol K]
raggio medio terrestre	$r_0$	6356.577	[km]

strato	nome	quota inferiore $z_i$ [km]	quota superiore [km]	gradiente termico $L_i$ [K/m]	$p_i$ pressione standard [Pa]	$T_i$ temperatura standard [K]
1	troposfera	0	11	$-6.5 \times 10^{-3}$	101325	288.15
2	stratosfera	11	20	0	22632	216.65
3	-	20	32	$1 \times 10^{-3}$	5474.9	216.65

- Successivamente si consideri la possibilità di inserire un miscelatore (mixer) dei flussi caldo e freddo prima dell'espansione in un ugello di scarico comune secondo lo schema di Fig.2:

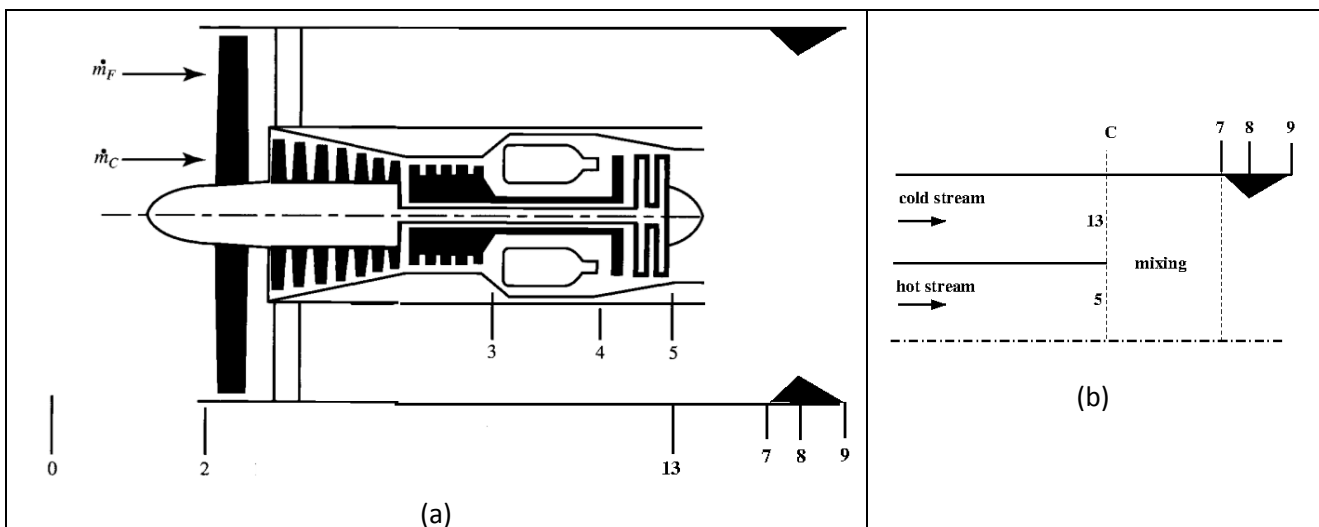


Fig. 2: (a) Sezioni di riferimento per un motore turbofan a flussi associati e nomenclatura adottata, (b) miscelatore ad area costante.

- ipotesi di mixer ideale ad area costante, senza perdite d'attrito sulle pareti ed in condizioni adiabatiche, il miscelamento si completa tra il piano C ed il piano 7;
- a valle del piano di miscelamento (C) il flusso è assiale e la pressione statica è uniforme:  $p_{13}=p_5$
- le proprietà della miscela di gas sono ottenibili da:

$$c_{pm} = \frac{\dot{m}_{13}c_{pc} + \dot{m}_5c_{pt}}{\dot{m}_{13} + \dot{m}_5} ; R_m = \frac{\dot{m}_{13}R_c + \dot{m}_5R_t}{\dot{m}_{13} + \dot{m}_5} \quad (6)$$



Per ricavare la pressione totale dopo il miscelamento  $p_{t7}$  si consiglia la seguente traccia con riferimento alla Fig.2(b) (si pone  $q = \dot{m}v + pA$ ):

- ipotizzato il numero di Mach allo scarico della turbina ( $M_5=0.5$ ), noti  $p_{t5}$ ,  $T_{t5}$ , si determinino le condizioni statiche  $p_5$ ,  $T_5$ ,  $\rho_5$  nel condotto caldo e si valuti  $q_5$ ;
  - noti  $p_{t13}$ ,  $T_{t13}$ , si determini  $M_{13}$ , le condizioni statiche  $T_{13}$ ,  $\rho_{13}$  e si valuti  $q_{13}$  nel condotto freddo;
  - si determini  $q_7^{(0)}$  per il flusso miscelato dal bilancio di quantità di moto tra i piani (C) e (7) e la temperatura totale  $T_{t7}$  dal bilancio entalpico;
  - si ipotizzi un valore per  $M_7^{(1)}$  e si determinino le condizioni statiche  $p_7$ ,  $T_7$ ,  $\rho_7$  ;
  - si determini un nuovo valore per  $q_7^{(1)}$  e si confronti con  $q_7^{(0)}$  ottenuto al punto c) iterando su  $M_7$  fino a convergenza;
  - determinate le condizioni statiche del flusso miscelato si calcola  $p_{t7}$
- determinate le condizioni del flusso nella sez. 7 si proceda con l'espansione nell'ugello di scarico comune riassumendo i risultati nella seguente tabella e si discutano le prestazioni rispetto al caso dei flussi separati;

Punto	$T_t$ [K]	$p_t$ [Pa]	$T$ [K]	$p$ [Pa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$v$ [m/s]	Mach [-]
0							
2							
3							
4							
5							
7							
9							
13							

$m_F$		[kg/s]
$m_c$		[kg/s]
$f$		[-]
$F_s$		[N/(kg/s)]
FR		[-]
TSFC		(mg/s)/N

$\eta_f$		[-]
$\eta_c$		[-]
$\eta_t$		[-]
$\eta_p$		[-]
$\eta_{th}$		[-]
$\eta_o$		[-]

$A_n$		[m <sup>2</sup> ]
$A_5$		[m <sup>2</sup> ]
$A_{13}$		[m <sup>2</sup> ]
$A_7$		[m <sup>2</sup> ]

**SETTORE INDUSTRIALE**  
**Sotto-settore MECCANICA FREDDA**

Si richiede di studiare una sponda idraulica per veicoli commerciali.

A titolo di esempio, in Figura 1 è riportata un'illustrazione del dispositivo montato su veicolo.



Figura 1. Esempio di sponda idraulica

La sponda deve poter sopportare un carico nominale di 5000 N posizionato al centro della pedana. Per la pedana si considerino le seguenti dimensioni: larghezza 2000 mm, profondità 1200 mm. Come interfaccia di collegamento del dispositivo al veicolo sono presenti due profilati a U tipo UPN UNI 5680 - 220 con facce esterne distanti 800 mm, posizionati come rappresentato in Figura 2. Si consideri un'altezza nominale del vano di carico dal terreno pari a 800 mm. Le estremità dei suddetti profilati si trovano a coincidere con l'estremità posteriore del vano di carico. Il montaggio del dispositivo sui profilati può essere effettuato entro una lunghezza massima di 500 mm rispetto all'estremità posteriore, come rappresentato in Figura 2.

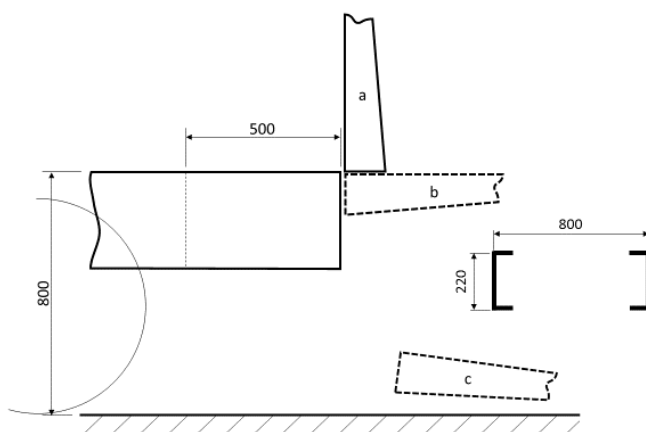


Figura 2. Specifiche di interfaccia veicolo - dispositivo

Si richiede di:

- identificare uno schema del dispositivo, con indicazione di corpi, vincoli e gradi di libertà;
- rappresentare schematicamente il dispositivo nelle tre posizioni: di riposo (a), carico al pianale (b) e carico a terra (c), con indicazione delle quote principali;
- Identificare una soluzione costruttiva per ciascun componente del dispositivo, con indicazione dei semilavorati / prodotti commerciali impiegati (da manuale);
- rappresentare un disegno complessivo del dispositivo;
- effettuare almeno una verifica di resistenza per uno dei componenti critici;
- stimare la massa complessiva del dispositivo, esclusi attuatori ed impianto di servizio.

Si proceda a formulare ipotesi ragionevoli relativamente a tutti i dati mancanti. Nel presentare il risultato del lavoro si segua puntualmente lo Schema di Risposta fornito qui di seguito.

### Schema di Risposta

1. Rappresentazione dello schema cinematico del dispositivo
2. Schematizzazione del dispositivo in posizione di riposo (a), quotata
3. Schematizzazione del dispositivo posizionato all'altezza del piano di carico (b), quotata
4. Schematizzazione del dispositivo in posizione a terra (c), quotata
5. Rappresentazione del complessivo del dispositivo
6. Schematizzazione del cinematismo e dei carichi per la verifica di resistenza
7. Rappresentazione del componente da verificare
8. Calcoli della verifica di resistenza
9. Stima delle masse

---