

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
INGEGNERE INDUSTRIALE  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA SCRITTA  
(PROVA DI SETTORE)**

**TEMA N. 1**

L'evoluzione tecnologica e sociale determina un'attenzione su ambiti del vivere civile un tempo giudicati meno rilevanti:

1. La sicurezza del lavoro
2. La sostenibilità dello sviluppo, in particolare delle grandi aree metropolitane (che si declina in svariate modalità: energetica, della catena dei rifiuti, tramite infrastrutture per nuovi modelli di mobilità urbana)
3. La resilienza ad eventi catastrofici quali il sisma, la quale deve coinvolgere non solo le strutture edilizie, ma anche le infrastrutture e gli impianti

A fronte di queste esigenze si vanno affermando strumenti di progettazione e di gestione sempre più evoluti quali:

- il BIM (Building Information Modeling) che permette di condensare nella modellazione e progetto dell'edificio moltissimi parametri necessari anche alla gestione dello stesso
- l'IOT (Internet Of Things) che necessita a monte di un'ingegnerizzazione che determini quali informazioni usare e per fare che cosa..

Tutto questo porta non solo alla necessità di un costante aggiornamento professionale, ma anche a dover affrontare la progettazione e la gestione in modo interdisciplinare, determinando un'evoluzione della figura dell'ingegnere, del suo modo di lavorare e delle forme organizzative in cui la professione viene svolta.

Il candidato –relazionando per punti e, ove possibile, riportando anche le proprie esperienze od esempi concreti- analizzi l'utilizzo di almeno uno dei due strumenti sopra elencati in almeno uno dei tre ambiti evidenziati, illustrando le interrelazioni occorrenti tra l'ingegnere industriale ed altre figure e competenze, riportando altresì le proprie riflessioni od esperienze sulle forme organizzative più appropriate per rispondere alle richieste della società all'ingegneria .

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
INGEGNERE INDUSTRIALE  
II SESSIONE 2017- 15 Novembre 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA SCRITTA  
(PROVA DI SETTORE)**

**TEMA N. 2**

Secondo molti esperti economici, nei paesi industrialmente avanzati e tra questi naturalmente l'Italia, la produzione industriale per mantenere la propria competitività dovrà evolvere sulla base di nuovi paradigmi produttivi sintetizzabili nel passaggio da "Mass production" a "Mass customization".

Mass production è caratterizzata da:

- Prodotto fisico
- Grandi serie
- Standardizzazione
- Saturazione

Mass customization è caratterizzata da:

- Soluzione
- Piccole serie
- Personalizzazione
- Flessibilità

Il candidato commenti, servendosi di esempi concreti, i modelli sopracitati e, con riferimento allo scenario industriale italiano, esprima le proprie valutazioni in merito alla tesi iniziale.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA**  
*(PROVA DI CLASSE)*

**TEMA N. 1**

Il candidato discuta esaustivamente l'impianto di generazione e accumulo di potenza elettrica presente a bordo di velivoli o di satelliti, illustrandone in modo critico le problematiche progettuali, i principali vincoli, le soluzioni adottabili per l'architettura dell'intero impianto e per i singoli equipaggiamenti costitutivi dell'impianto stesso; evidenzi, inoltre, i criteri di dimensionamento in relazione ai differenti scenari applicativi; il candidato presenti i passi necessari ad effettuare il dimensionamento dell'intero impianto.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
INGEGNERE INDUSTRIALE  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA  
(PROVA DI CLASSE)**

**TEMA N. 2**

Le tecnologie di Additive Manufacturing e, in particolare, la stampa 3D stanno rivoluzionando molti ambiti industriali tra cui anche il settore medico. Infatti, queste nuove tecnologie possono essere impiegate per la realizzazione di modelli anatomici, protesi per la medicina riparativa e strutture per la medicina rigenerativa.

Il candidato commenti questa affermazione indicando quale sia il contributo dell'ingegnere biomedico.

Il candidato illustri i possibili vantaggi dell'impiego di tali tecnologie rispetto a quelle tradizionali per la realizzazione di dispositivi protesici e strutture per la medicina rigenerativa.

Il candidato consideri un campo applicativo e un materiale e ne consideri la possibilità di sfruttare una tecnica di Additive Manufacturing indicando gli step da eseguire per la realizzazione e la caratterizzazione del prodotto ottenuto. Il candidato commenti, inoltre, i possibili svantaggi derivanti dal suo impiego.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA**  
*(PROVA DI CLASSE)*

**TEMA N. 3**

Si faccia riferimento ad un processo dinamico lineare tempo-invariante modellabile con equazioni differenziali nella forma

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu$$
$$y = Cx + Du$$

Il candidato discuta i principali metodi utilizzabili per realizzare e progettare un sistema ad anello chiuso che attraverso una azione sugli ingressi  $u$  regoli le uscite  $y$  discutendone i limiti e le caratteristiche. Il candidato, se necessario, faccia riferimento ad un processo di sua scelta.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA**  
*(PROVA DI CLASSE)*

**TEMA N. 4**

Il candidato illustri, anche attraverso l'impiego di un esempio specifico, problematiche e scelte ingegneristiche industrialmente adottate per la condotta di reazioni catalitiche esotermiche limitate dal raggiungimento di condizioni di equilibrio termodinamico nelle condizioni di processo.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA**  
*(PROVA DI CLASSE)*

**TEMA N. 5**

La conversione statica c.a./c.c. Il candidato illustri topologie, funzionamento e ambiti applicativi di uno convertitore corrente alternata/corrente continua a sua scelta.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA**  
*(PROVA DI CLASSE)*

**TEMA N. 6**

CON RIFERIMENTO AI SISTEMI DI FABBRICAZIONE, SI DISCUTANO E SI COMPARINO CRITICAMENTE LE SEGUENTI ALTERNATIVE PROGETTUALI:

1. JOB SHOP;
2. CELLE DI FABBRICAZIONE;
3. LINEE TRANSFER.

SI SUPPORTI LA COMPARAZIONE DI VANTAGGI E SVANTAGGI DI CIASCUNA ALTERNATIVA CON ESEMPI CONCRETI DI APPLICAZIONE.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
INGEGNERE INDUSTRIALE  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA  
(PROVA DI CLASSE)**

**TEMA N. 7**

Il candidato descriva le soluzioni per realizzare macchine a ciclo inverso, in funzione del principio di funzionamento e delle temperature minime raggiungibili.

Con riferimento alle macchine frigorifere a compressione di vapore e di gas, il candidato commenti la soluzione più adatta ai diversi campi di applicazione, passando dalle medie alle basse temperature, formulando i criteri di scelta del fluido di lavoro e introducendo gli indici di prestazione.

È richiesta infine una schematizzazione di una macchina frigorifera ad assorbimento, evidenziandone vantaggi e svantaggi.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA**  
*(PROVA DI CLASSE)*

**TEMA N. 8**

Negli ultimi anni stiamo assistendo allo sviluppo di alcune tecnologie che cambieranno radicalmente il mondo della meccanica. Tra di esse vi sono certamente quelle raggruppate sotto il nome di additive manufacturing.

Il candidato descriva una di queste tecnologie, discutendone dettagliatamente vantaggi e svantaggi e identificando, motivandolo, un settore della meccanica nel quale tale tecnologia potrebbe risultare rivoluzionaria.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA**  
*(PROVA DI CLASSE)*

**TEMA N. 9**

Le leghe di alluminio trovano largo impiego nel settore industriale, in virtù della loro combinazione di favorevoli proprietà. Per contro, in molti casi, la loro resistenza al degrado risulta essere insufficiente, se non si applicano adeguati trattamenti di superficie.

Il candidato descriva i principali trattamenti di superficie praticabili sulle leghe di alluminio, spiegando quali benefici essi possono apportare in termini di proprietà del manufatto finale.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 15 NOVEMBRE 2017  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**SECONDA PROVA SCRITTA**  
*(PROVA DI CLASSE)*

**TEMA N. 10**

Effettuando un'analisi di rischio da esposizione ad agenti chimici e/o fisici ci si trova spesso in una situazione nella quale è evidente che nella progettazione degli interventi (ex novo o di ristrutturazione) non c'è stato un progetto di coordinamento generale che permettesse di valutare e risolvere i problemi legati alla sicurezza.

Si chiede di descrivere la procedura ottimale di programmazione degli interventi di miglioramento e di organizzazione del progetto.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
INGEGNERE INDUSTRIALE  
II SESSIONE 2017 - 7 Febbraio 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO****

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 1**

Il candidato risolva, in alternativa, uno dei due temi sottostanti:

In un velivolo turbogetto è previsto un impianto di condizionamento con ciclo bootstrap.

Il candidato determini un ciclo frigorifero ideale in grado di raffreddare l'aria dalla temperatura esterna di 50° alla temperatura di 5°C a quota zero.

Si fissi un rapporto di compressione totale pari a 15 e sia l'aria in uscita dal primo scambiatore di calore ad una temperatura superiore di 27°C a quella dell'aria refrigerante. Verificare il funzionamento dell'impianto con il velivolo alla velocità di 480 kts alla quota di 8000 m, con una pressurizzazione corrispondente a una quota di cabina di 2000 m, con temperatura minima all'uscita dal ciclo di 2°C e supponendo invariato il rapporto tra i calori sottratti nei due scambiatori di calore.

<b>Quota</b>	<b>Pressione</b>	<b>Temperatura</b>
[m]	[kgm <sup>-2</sup> ]	[°C]
0	10332,2	15
2000	8106,2	2
4000	6285,5	-11
6000	4811,1	-24
8000	3630,1	-37

**OPPURE**

Con riferimento al caso di un satellite in orbita bassa terrestre caratterizzato dai dati riportati di seguito, il candidato discuta le possibili soluzioni progettuali per il sistema di telecomunicazione e ne esegua il dimensionamento. Il candidato assuma e giustifichi opportunamente i dati necessari alla risoluzione e non forniti.

Si assumano i seguenti dati:

Eccentricità orbita	0
Quota orbitale	800 km
Inclinazione orbitale	sunsincrona
LTAN	11:00 am
Strumento scientifico imbarcato	Synthetic Aperture Radar
Percentuale del periodo orbitale di utilizzo SAR	25%
Richiesta di potenza del SAR	1 kW
Richiesta di potenza della piattaforma (SAR escluso)	850W
Datarate	660 Mbps (SAR) 1 Mbps (TM)
Inviluppo geometrico del corpo centrale	1,2x1,2x1 m
Vita operativa	4 y

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - ~~7 FEBBRAIO~~ 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 2**

1. In campo ortopedico, vengono principalmente impiegati acciai inossidabili, titanio e sue leghe, leghe di cobalto, allumina e zirconia. Il candidato illustri quali sono i principali impieghi di ciascuno di questi materiali, facendo eventualmente riferimento ai valori dei principali parametri meccanici riportati in tabella 1.

*Tabella 1 – Principali caratteristiche meccaniche dei materiali metallici impiegati in campo biomedico*

	<b>E (GPa)</b>	<b><math>\sigma_y</math> (MPa)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (MPa)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>
<b>AISI 316L</b>	200	220	517	50
<b>Ti c.p. grado 2</b>	110	230	345	20
<b>Ti6Al4V</b>	110	780	860	10
<b>CoCrMo</b>	230	450	655	8
<b>Allumina</b>	375	-	- <sup>1</sup>	-
<b>Zirconia<sup>2</sup></b>	200	-	- <sup>3</sup>	-
<b>UHMWPE<sup>4</sup></b>		21	35	300

<sup>1</sup> Resistenza meccanica a flessione = 345 MPa; resistenza a compressione = 2585 MPa

<sup>2</sup> Stabilizzata con 9% MgO

<sup>3</sup> Resistenza meccanica a flessione = 690 MPa; resistenza a compressione = 1860 MPa

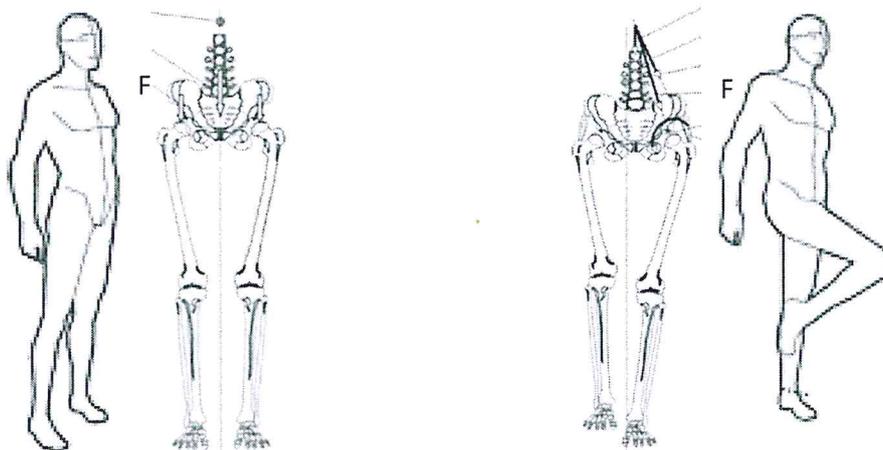
(da W.Smith, *Scienza e tecnologia dei materiali*, McGraw-Hill ed.)

<sup>4</sup> da SM Kurtz, *The Required Mechanical Properties of Hip and Knee Components*

2. Il candidato illustri quali sono i principali requisiti di progetto richiesti nella progettazione della protesi femorale e quali sono le proprietà che tale dispositivo deve possedere. Si selezioni il materiale con il quale si potrebbe realizzare una protesi d'anca giustificando la scelta. Inoltre, si disegni, in modo approssimativo, la curva sforzo/deformazione per il materiale/i metallico/i selezionato/i, indicando quali sono i parametri meccanici di interesse

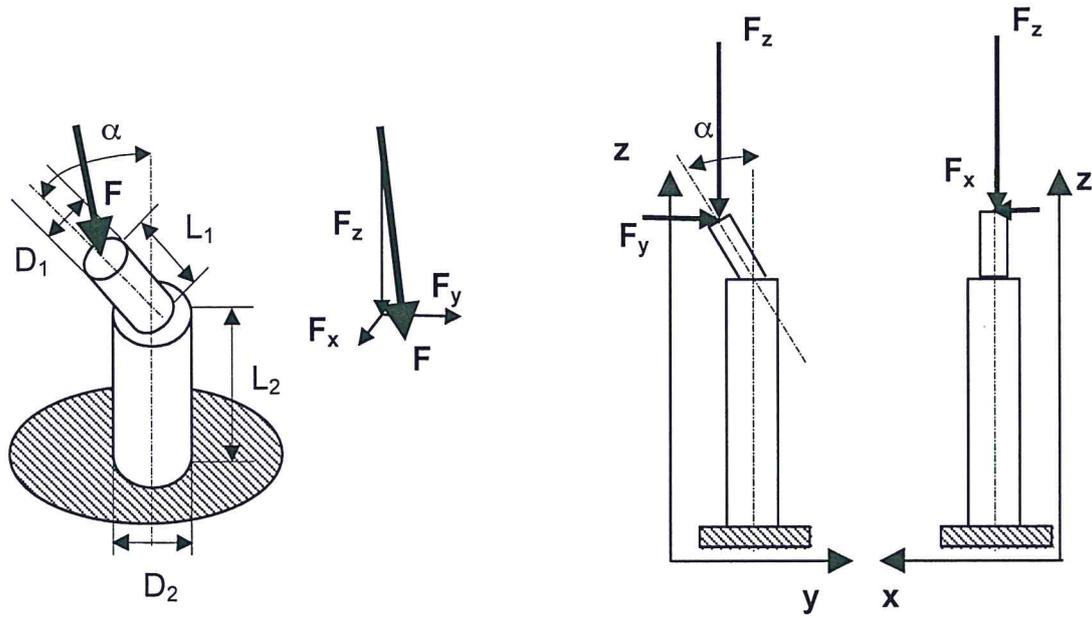
per la realizzazione dei due componenti della protesi e l'intervallo sforzo/deformazione in cui i componenti dovrebbero lavorare.

3. Si valuti la forza risultante  $F$  sul collo del femore nel caso il soggetto, avente massa corporea pari a 73 kg, sia in condizioni di appoggio bipodalico e in condizioni di appoggio monopodalico (figura 1). Fare le opportune ipotesi per stimare tale forza e per valutare la configurazione anatomica del femore.



*Figura 1 – Soggetto in appoggio bipodalico (sx) e in appoggio monopodalico (dx)*

4. Considerando l'osso come materiale omogeneo e isotropo, si calcoli lo sforzo agente nella parte corticale della diafisi del femore. Si ipotizzi che l'articolazione del ginocchio sia assente e che l'arto inferiore si possa considerare una sola asta di sezione costante.
5. Si ipotizzi di inserire una protesi d'anca nel soggetto (massa corporea pari a 73 kg) con la direzione della forza lungo l'asse del collo del femore (figura 2), ipotizzando nulla la componente medio-laterale ( $F_x$ ). Si assegnino misure ragionevoli alla protesi. Si assuma la protesi d'anca come la composizione di due cilindri di diversa sezione rappresentanti rispettivamente lo stelo femorale e il collo. Si supponga che tutta la forza precedentemente calcolata sia sopportata dalla protesi e non dall'osso presente.
  - 4a. Si esegua:
    - il dimensionamento della protesi femorale;
    - il calcolo delle reazioni vincolari e lo stato di sollecitazione nella protesi femorale o almeno per uno dei suoi componenti;
    - la verifica di resistenza statica per la protesi femorale o per uno dei suoi componenti
  - 4b. Si stimi la vita a fatica della protesi stessa, impiegando il diagramma di Smith per la ricerca della sollecitazione limite nel collo della protesi d'anca.



**Figura 2 – Forze agenti sulla protesi:  $F$  = forza articolare;  $F_x$  = componente medio-laterale;  $F_y$  = componente postero-anteriore (o sagittale);  $F_z$  = componente verticale**

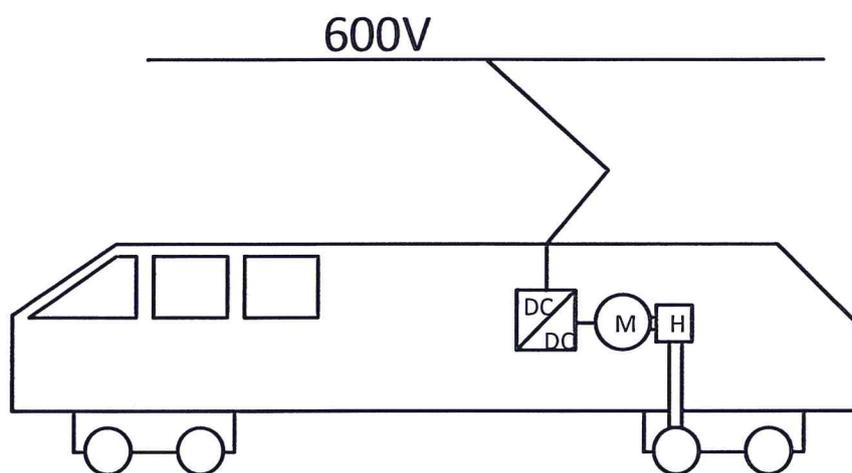
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 -7 Febbraio 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 3**



Un tram per il trasporto urbano alimentato da una linea aerea a 600 [V] è mosso da due azionamenti elettrici in corrente continua costituiti da un azionamento DC/DC a quattro quadranti che alimenta un motore a 4 poli ad eccitazione indipendente secondo lo schema riportato in figura.

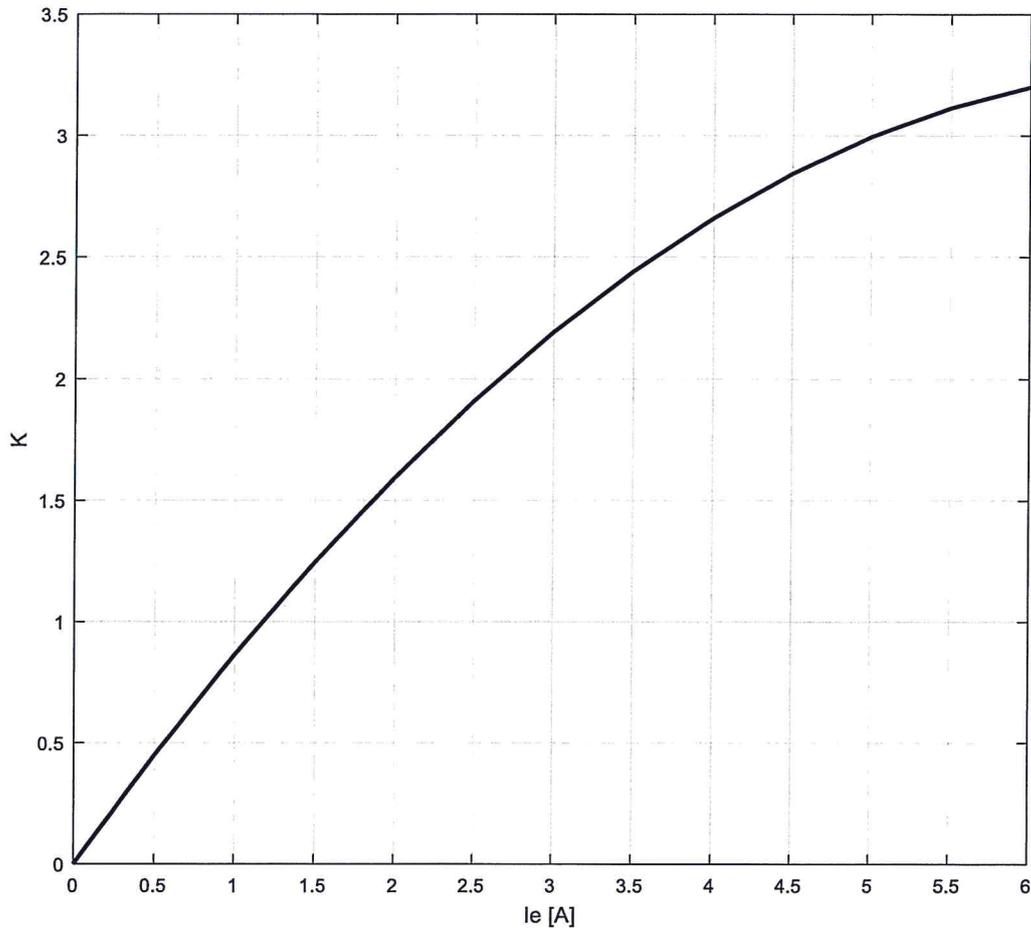
I dati di targa del motore sono:

Tensione nominale di armatura	$V_{an} = 550$ [V]
Corrente nominale di armatura	$I_{an} = 88$ [A]
Potenza nominale	$P_n = 46$ [kW]
Velocità nominale	$W_n = 1800$ [giri/min]
Inerzia rotore motore	$J = 0.3071$ [kg m <sup>2</sup> ]

I parametri elettrici del motore considerando l'induttanza di spianamento inserita in serie all'avvolgimento di armatura sono  $L_a = 4.45$  [mH] e  $R_a = 0.283$  [ $\Omega$ ] misurate a 120 [°C]. Il costruttore ha fornito i dati del circuito di eccitazione in condizione di alimentazione nominale ( $V_{fn} = 300$  [V]):

$R_f = 69.77$  [ $\Omega$ ]  
 $L_f = 9.413$  [H]

E il seguente grafico della costante di coppia/fem indotta nell'armatura in funzione della corrente di eccitazione.



Il veicolo presenta una massa equivalente alla ruota di 10 [t] e i motori sono accoppiati alle ruote di diametro 660 [mm] con un riduttore di cui è possibile ritenere trascurabile la massa e con rapporto di riduzione  $H = \Omega_{\text{motore}} / \Omega_{\text{ruota}} = 6$ .

Il candidato risponda alle seguenti domande:

1. Si determini, facendo le opportune ipotesi, il modello dinamico del motore elettrico linearizzato attorno al punto di funzionamento nominale considerando come variabile di ingresso la tensione e come variabile di uscita la coppia fornita dal motore. Si rappresenti il modello ottenuto anche con un opportuno schema a blocchi.
2. Si progetti un regolatore di coppia in anello chiuso tale che:
  - a. Il sistema retroazionato sia asintoticamente stabile
  - b. Il sistema retroazionato abbia una banda opportuna considerata l'applicazione e una possibile frequenza di commutazione del convertitore (il candidato faccia le ipotesi che ritiene opportune).

- c. Il sistema di controllo sia in grado di annullare asintoticamente l'effetto di una variazione a gradino dei disturbi
3. Si determini il modello completo del sistema (elettrico e meccanico) includendo la parte meccanica utilizzando come variabile di ingresso la tensione di armatura applicata al motore e come uscita la velocità del veicolo.
4. Si linearizzi il sistema nell'intorno del punto di funzionamento corrispondente alla velocità di 20 km/h e si progetti un regolatore di velocità ad anello chiuso tale che:
  - a. Il sistema retroazionato sia asintoticamente stabile
  - b. Il sistema retroazionato abbia una banda opportuna considerata l'applicazione e una possibile frequenza di commutazione del convertitore (il candidato faccia le ipotesi che ritiene opportune).
  - c. Il sistema di controllo sia in grado di annullare asintoticamente l'effetto di una variazione a gradino dei disturbi
5. Si progetti un regolatore di corrente di eccitazione considerando i parametri nominali del circuito di eccitazione. Per una opportuna progettazione si discutano i problemi di interazione con gli altri regolatori e di conseguenza le scelte effettuate.
6. Si discutano eventuali problematiche di implementazione digitale (discreta) dei regolatori progettati in precedenza e considerando solo il regolatore di coppia si presenti una possibile implementazione.

Il candidato svolga i punti precedenti presentando i risultati finali in forma numerica e per eventuali dati mancanti si seguano le regole di buona progettazione.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 7 FEBBRAIO 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 4**

A valle del reattore di produzione dell'ammoniaca da  $N_2$  e  $H_2$  è presente un condensatore, seguito da un separatore, al fine di condensare l'ammoniaca e separarla dai gas non reagiti che vengono riciclati al reattore. La portata della corrente alimentata alla sezione di condensazione è pari a  $3 \times 10^7$  mol/h. La composizione è riportata in termini frazione molare nella Tabella riportata in appendice. Il separatore opera a 275 K e 255 atm.

Al candidato è richiesto:

- a) di stabilire e giustificare un opportuno schema termodinamico per il calcolo degli equilibri liquido vapore nel separatore
- b) di calcolare portata e composizione delle correnti liquida e vapore uscenti dal separatore.

**APPENDICE**

**DATI CHIMICO-FISICI**

	Tc, [K]	Pc, [atm]	$\omega$ , [-]	$V^L$ , [l/mol]	$Z_{feed}$ , [-]
NH <sub>3</sub>	405.5	112.058	0.25	0.0266	0.1269
N <sub>2</sub>	126.2	33.457	0.039	-	0.1889
H <sub>2</sub>	33	12.73	-0.216	-	0.566
Ar	150.8	48.06	0.001	-	0.0293
CH <sub>4</sub>	190.4	45.4	0.011	-	0.0889

Tensione di vapore NH<sub>3</sub>  $\ln P^0(T) = A - \frac{B}{T+C}$ , A = 16.9481 – B = 2132.5 – C = -32.98

Con P° in (mmHg) e T in (K).

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 7 FEBBRAIO 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

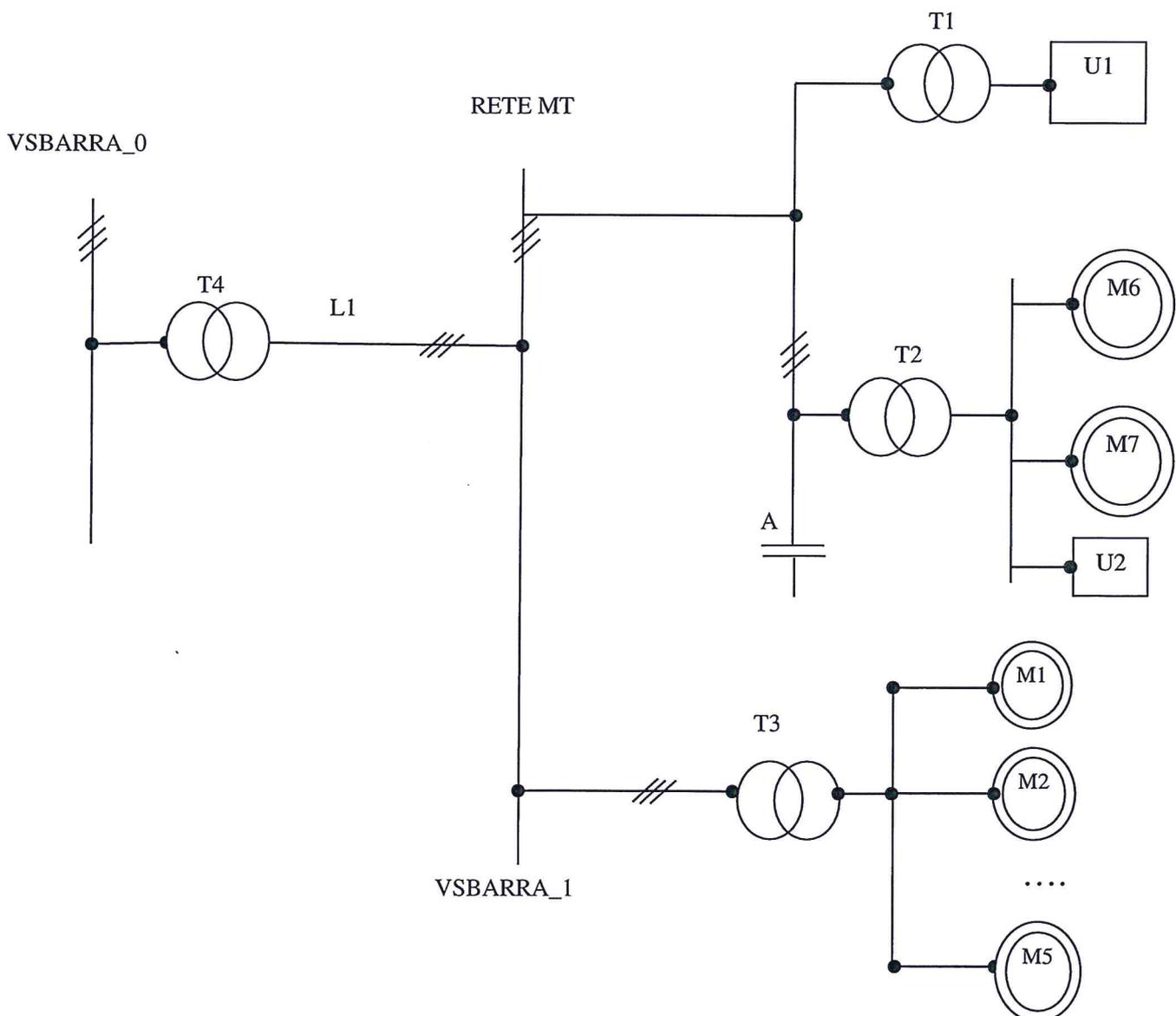
**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 5**

Un'azienda sia alimentata dal distributore in Media Tensione. Dalla cabina di consegna si dipartono tre linee MT che alimentano altrettanti settori dello stabilimento (vedere Figura).



I carichi del primo settore (a valle di T1) possono essere schematizzati in questo modo:

- Utilizzatori non rotanti U1 che assorbono una corrente pari a 490 A, fattore di potenza  $\cos \varphi_u = 1$ .

I carichi del secondo settore (a valle di T2) possono essere schematizzati in questo modo:

- N° 2 motori asincroni M6, M7 per l'azionamento di ventilatori;
- Utilizzatori non rotanti U2,  $P_u = 450\text{kW}$ , tensione nominale 380 V, fattore di potenza  $\cos \varphi_u = 0.65$  R

I carichi del terzo settore (a valle di T3) possono essere schematizzati in questo modo:

- N° 5 motori asincroni M1 ... M5 per l'azionamento di pompe di sollevamento acque;

Punto di alimentazione  $V_{\text{sbarra0}}$   $V_n = 130\text{ kV}$  ,  
 Linea L1 :Lunghezza  $L = 1000\text{ m}$

TRASFORMATORE	T1	T2	T3
POTENZA NOMINALE [kVA]	630	1600	2000
TENSIONI NOMINALI $V_{1N}/V_{2N}$ [kV]	23/0.400	23/0.400	23/0.400
FREQUENZA [Hz]	50	50	50
TENSIONE DI CORTO CIRCUITO RELATIVA A 75°C [%]	4	6	6
POTENZA DI CORTO CIRCUITO PERCENTUALE [%]	2	3	3

MOTORI ASINCRONI M1 .. M5		MOTORI ASINCRONI M6, M7	
POTENZA NOMINALE [kW]	180	POTENZA NOMINALE [kW]	250
TENSIONE NOMINALE $V_N$ [V]	400	TENSIONE NOMINALE $V_N$ [V]	380
FREQUENZA [Hz]	50	FREQUENZA [Hz]	50
FATTORE DI POTENZA NOMIN.	0.84	FATTORE DI POTENZA NOMIN.	0.89
N° DI POLI	4	N° DI POLI	4
RENDIMENTO	0.95	RENDIMENTO	0.95

Il candidato risponda ai seguenti quesiti:

- Determinare i parametri principali del trasformatore T1, T2 e T3.
- Verificare e discutere la necessità di una batteria di condensatori statici per rifasamento da installare in A al fine di portare il fattore di potenza complessivo a 0,92 R. Si considerino i motori M6, M7 e il carico U2 alimentati in condizioni nominali

- Determinare la tensione  $V_{\text{barra1}}$  ipotizzando che i motori M1-M5 assorbano la potenza nominale
- Dimensionare la linea L1
- Dimensionare il trasformatore T4.

Il candidato adotti le semplificazioni e i valori per le grandezze non note che ritiene opportuni, giustificando quanto assume.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 7 FEBBRAIO 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 6**

LA GLASSES S.P.A. È UNO DEI PIÙ GRANDI RIVENDITORI EMILIANI DI LENTI OTTICHE. L'AZIENDA ATTUALMENTE (GENNAIO 2017) REALIZZA UN UNICO PRODOTTO, IL CODICE A, REALIZZATO SU UN IMPIANTO ACQUISTATO IL 1° GENNAIO 2014<sup>1</sup> AD UN VALORE DI 750.000 €. ESSO HA UNA CAPACITÀ PRODUTTIVA PARI A 6.000 UNITÀ DI A ALL'ANNO, PUÒ ESSERE UTILIZZATO FINO AL 2023 COMPRESO E VENDUTO AL TERMINE DI TALE ANNO PER UN VALORE PARI A 85.500 €.

IL RESPONSABILE DELL'UNITÀ DI PIANIFICAZIONE E CONTROLLO DELL'IMPRESA STA VALUTANDO L'OPPORTUNITÀ DI INTRODURRE UN'ALTRA LINEA DI PRODOTTI DA AFFIANCARE AL CODICE A. PER QUESTO MOTIVO NEL SETTEMBRE DEL 2016 AVEVA COMMISSIONATO AD UNA SOCIETÀ DI CONSULENZA UN'ANALISI DI MERCATO DAL COSTO DI 250.000 € (SOMMA CHE VERRÀ CORRISPOSTA DOPO 14 MESI DALL'EROGAZIONE DELLA PRESTAZIONE) FINALIZZATA AD IDENTIFICARE LE

---

<sup>1</sup> L'IMPRESA ADOTTA UNA POLITICA LINEARE DI AMMORTAMENTO A PARTIRE DAL 1998. L'IMPIANTO HA VITA UTILE FISCALE PARI A 8 ANNI

POSSIBILI STRATEGIE DI PRODOTTO ADOTTABILI DALLA GLASSES S.P.A. DALLO STUDIO SONO EMERSE LE SEGUENTI INFORMAZIONI:

- LE PREVISIONI DI VENDITA DELLA LINEA A SARANNO QUELLE RIPORTATE IN TABELLA 1 (DATI ESPRESSI IN UNITÀ):

	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>
<b>VENDITE</b>	3.500	3.500	3.500	<b>3.000</b>	<b>3.000</b>	<b>3300</b>
<b>ANNUE DI A</b>						

**TABELLA 1:** PREVISIONI DI VENDITA DELLA LINEA A DAL 2017 AL 2022

SI È, INOLTRE, RILEVATO CHE LA REALIZZAZIONE DI UN'UNITÀ DI A RICHIEDE L'UTILIZZO DI 15 MINUTI DELL'IMPIANTO E CHE NON ESISTE IL RISCHIO DELLA SATURAZIONE DELL'IMPIANTO FINO AL 2022;

- È POSSIBILE INTRODURRE (DAL 2017) UN NUOVO PRODOTTO DENOMINATO CODICE B CHE PUÒ ESSERE REALIZZATO NELL'IMPIANTO ATTUALMENTE DISPONIBILE PRESSO LA GLASSES S.P.A. SI PREVEDE CHE PER REALIZZARE UN'UNITÀ DI B SIANO NECESSARI 30 MINUTI DI FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO. NEL CASO DI SATURAZIONE DELL'IMPIANTO, ESISTE LA

POSSIBILITÀ DI DELEGARE ALL'ESTERNO LA PRODUZIONE DI B<sup>2</sup> AD UN COSTO DI 10 €/UNITÀ. LA DOMANDA ANNUA PREVISTA DEL PRODOTTO B È RIPORTATA IN TABELLA 2 (DATI ESPRESSI IN UNITÀ):

	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2022</b>
<b>VENDITE</b>	2.500	2.650	3.000	3.150	3.200	3450
<b>ANNUE DI B</b>						

**TABELLA 2: PREVISIONI DI VENDITA DELLA LINEA B DAL 2003 AL 2007**

L'INTRODUZIONE DEL CODICE B COMPORTA LA NECESSITÀ DI ATTUARE UN CORSO DI FORMAZIONE DEL PERSONALE<sup>3</sup> NEL 2003 PER UN IMPORTO PARI A 10.000 € E DI TRASFERIRE UN OPERAIO<sup>4</sup> DAL REPARTO CONTROLLO QUALITÀ AL REPARTO PRODUZIONE;

- È ANCHE POSSIBILE INTRODURRE, IN SOSTITUZIONE DEL PRODOTTO B, UNA LINEA DI PRODOTTI (DENOMINATA C) LA CUI REALIZZAZIONE RICHIEDE L'ACQUISTO NEL DICEMBRE 2016 DI UN NUOVO IMPIANTO<sup>5</sup> DAL COSTO DI 880.000 € (VITA UTILE PARI A 9 ANNI). IL PRODOTTO C PRESENTA UN CICLO DI VITA DI 5 ANNI (A PARTIRE DAL 2017) E L'IMPIANTO NECESSARIO PER LA SUA REALIZZAZIONE POTRÀ ESSERE VENDUTO NEL DICEMBRE 2023 AD UN VALORE

<sup>2</sup> NON SI CONSIDERI LA POSSIBILITÀ DI DELEGARE ALL'ESTERNO LA PRODUZIONE DEL CODICE A

<sup>3</sup> SI CONSIDERINO LE SPESE DI FORMAZIONE COME UN COSTO DI PERIODO

<sup>4</sup> COSTO ANNUO DELL'OPERAIO PARI A 10.000 €

<sup>5</sup> ACCANTONAMENTO AL FONDO AMMORTAMENTI A PARTIRE DAL 2017

SUPERIORE DEL 10% AL VALORE NETTO DI BILANCIO NELL'ISTANTE CONSIDERATO.

LA DOMANDA ANNUA PREVISTA DEL CODICE C SEGUIRÀ L'ANDAMENTO RIPORTATO IN TABELLA 3 (DATI ESPRESSI IN UNITÀ):

	<i>2017</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>
<b>VENDITE ANNUE</b>	4.500	5.100	5.200	5.300	5.350
<b>DI C</b>					

**TABELLA 3: PREVISIONI DI VENDITA DELLA LINEA C DAL 2003 AL 2007**

L'INTRODUZIONE DEL CODICE C COMPORTA LA NECESSITÀ DI ATTUARE UNA CAMPAGNA PUBBLICITARIA NEL 2017 PER UN IMPORTO PARI A 55.000 € ED UN CORSO DI AGGIORNAMENTO<sup>6</sup> NEL 2017 PER UN VALORE DI 35.000 €, DI ASSUMERE DUE NUOVI OPERAI SPECIALIZZATI (COSTO ANNUO 17.000 €/OPERAIO), DI CREARE SCORTE DI MATERIE PRIME NEL 2017 PER UN IMPORTO PARI A 15.000 € E SCORTE DEL CODICE C NELL'ANNO 2017 PER UN VALORE PARI A 10.000 € (ENTRAMBE LE GIACENZE VERREBBERO RIDOTTE DELLA MEDESIMA ENTITÀ NEL 2022).

AL MANAGEMENT DELL'IMPRESA E' INOLTRE NOTO CHE:

---

<sup>6</sup> SI CONSIDERINO LA CAMPAGNA PUBBLICITARIA ED IL CORSO DI AGGIORNAMENTO COME COSTI DI PERIODO

- IL PREZZO DI VENDITA ED I RELATIVI COSTI EVITABILI DELLE TRE LINEE DI PRODOTTO SIANO QUELLI RIPORTATI IN TABELLA 4:

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>PREZZO DI VENDITA UNITARIO</b>	10 €/U	15 €/U	25 €/U
<b>COSTO MATERIALI DIRETTI UNITARIO</b>	3 €/U	4 €/U	6 €/U
<b>COSTO ENERGIA UNITARIO</b>	2 €/U	2 €/U	3 €/U

**TABELLA 4: PREZZI E COSTI EVITABILI DI A, B, C**

- NON SIA POSSIBILE REALIZZARE, PER NESSUNA DELLE TRE LINEE DI PRODOTTO, UN NUMERO DI UNITÀ INFERIORE ALLA DOMANDA ANNUA PREVISTA;
- L'IMPRESA FINANZIEREBBE L'INVESTIMENTO PER IL 55% RICORRENDO AD UN FINANZIAMENTO DALLE BANCHE (TASSO DI INTERESSE LORDO PARI AL 19%);
- L'IMPRESA POTREBBE REINVESTIRE IL PROPRIO CAPITALE CON UN TASSO PARI AL 15%, AL LORDO DELLE IMPOSTE, E AL 12% AL NETTO DELLE IMPOSTE;
- LA PRESSIONE FISCALE SIA PARI AL 46% E L'UTILE COMPLESSIVO DELL'IMPRESA NEL CASO DI NON INTRODUZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI

PRODOTTO SIA FORTEMENTE POSITIVO IN CONSEGUENZA DELL'OTTIMA GESTIONE FINANZIARIA DELL'IMPRESA.

**DOMANDA 1**

**VALUTARE L'OPPORTUNITÀ DI INTRODURRE UNA NUOVA LINEA DI PRODOTTO DA AFFIANCARE AL CODICE A, ATTRAVERSO IL CRITERIO DEL VALORE ATTUALE NETTO O NET PRESENT VALUE (NPV), ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.**

**DOMANDA 2**

**VALUTARE L'OPPORTUNITÀ DI INTRODURRE UNA NUOVA LINEA DI PRODOTTO DA AFFIANCARE AL CODICE A, ATTRAVERSO IL CRITERIO DELL'INDICE DI PROFITABILITÀ O PROFITABILITY INDEX (PI), ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.**

**DOMANDA 3**

**VALUTARE L'OPPORTUNITÀ DI INTRODURRE UNA NUOVA LINEA DI PRODOTTO DA AFFIANCARE AL CODICE A, ATTRAVERSO IL CRITERIO DEL TASSO INTERNO DI RITORNO O INTERNAL RATE OF RETURN (IRR), ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.**

**DOMANDA 4**

**VALUTARE L'OPPORTUNITÀ DI INTRODURRE UNA NUOVA LINEA DI PRODOTTO DA AFFIANCARE AL CODICE A, ATTRAVERSO IL CRITERIO DEL TEMPO DI RIPAGAMENTO ATTUALIZZATO O PAYBACK TIME (PBT) ATTUALIZZATO, ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.**

**DOMANDA 5**

**CONFRONTARE E DISCUTERE I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO L'APPLICAZIONE DEI CRITERI PRECEDENTI, COMMENTANDO E MOTIVANDO OPPORTUNAMENTE L'INSORGERE DI VALUTAZIONI CONCORDANTI O DISCORDANTI A FRONTE DELL'UTILIZZO DEI DIVERSI MODELLI (ALLA LUCE DEI LORO OBIETTIVI E CARATTERISTICHE).**

NOTA BENE: IL/LA CANDIDATO/A E' CHIAMATO A FORMULARE (E GIUSTIFICARE) OPPORTUNE IPOTESI QUALORA ALCUNI DATI O INFORMAZIONI POTENZIALMENTE UTILI RISULTASSERO MANCANTI E/O APPARENTEMENTE INCOERENTI NEL TESTO DI CUI SOPRA. LA CAPACITA' DEL/LA CANDIDATO/A DI RISOLVERE PROBLEMI COMPLESSI IN PRESENZA DI DATI E INFORMAZIONI MANCANTI E/O INCOERENTI ATTRAVERSO LA FORMULAZIONE E L'UTILIZZO DI OPPORTUNE IPOTESI E' ESSA STESSA OGGETTO DI VALUTAZIONE.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - ~~7 FEBBRAIO~~ 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 7

Un impianto di potenza operante secondo il ciclo di Hirn è caratterizzato da:

- 220 t/h di vapore in ingresso alla turbina, a 50 bar e 450°C;
- due spillamenti rigenerativi, il primo verso il degasatore (2.5 bar) e il secondo verso uno scambiatore a superficie (1.5 bar);
- 0.05 bar al condensatore;

Adottando rendimenti allo stato dell'arte per turbina e pompe, e introducendo quanto ritenuto ancora necessario per il calcolo dell'impianto, il candidato determini:

- i punti notevoli del ciclo sul piano T-s;
- le portate spillate verso il degasatore e lo scambiatore rigenerativo a superficie;
- la potenza elettrica erogata dalla turbina;
- la potenza elettrica richiesta dalla pompa di estrazione e dalla pompa di alimento caldaia;
- la portata d'acqua refrigerante al condensatore, atteso che questa subisce un incremento di temperatura di 10°C.

tabelle termodinamiche: acqua in condizioni di saturazione

T [°C]	P [MPa]	L		V		L		V		L		V	
		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m <sup>3</sup> /kg]	v [m <sup>3</sup> /kg]	h [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	s [kJ/kg-K]				
5	0.0009	1000	0.007	1.000E-03	1.470E+02	21	2510	0.076	9.025				
15	0.0017	999	0.013	1.001E-03	7.788E+01	63	2528	0.224	8.780				
25	0.0032	997	0.023	1.003E-03	4.334E+01	105	2547	0.367	8.557				
35	0.0056	994	0.040	1.006E-03	2.521E+01	147	2565	0.505	8.352				
45	0.0096	990	0.066	1.010E-03	1.525E+01	188	2582	0.639	8.163				
55	0.0158	986	0.105	1.015E-03	9.564E+00	230	2600	0.768	7.990				
65	0.0250	981	0.161	1.020E-03	6.194E+00	272	2618	0.894	7.830				
75	0.0386	975	0.242	1.026E-03	4.129E+00	314	2635	1.016	7.681				
85	0.0579	969	0.354	1.032E-03	2.826E+00	356	2651	1.135	7.543				
95	0.0846	962	0.505	1.040E-03	1.981E+00	398	2668	1.250	7.415				
105	0.1209	955	0.705	1.047E-03	1.418E+00	440	2683	1.363	7.295				
115	0.1692	947	0.965	1.056E-03	1.036E+00	483	2699	1.474	7.183				
125	0.2322	939	1.299	1.065E-03	7.700E-01	525	2713	1.582	7.077				
135	0.3132	931	1.719	1.075E-03	5.817E-01	568	2727	1.687	6.977				
145	0.4157	922	2.242	1.085E-03	4.460E-01	611	2740	1.791	6.883				
155	0.5435	912	2.886	1.096E-03	3.465E-01	654	2752	1.892	6.793				
165	0.7009	903	3.671	1.108E-03	2.724E-01	697	2763	1.992	6.707				
175	0.8926	892	4.617	1.121E-03	2.166E-01	741	2773	2.091	6.624				
185	1.1235	882	5.750	1.134E-03	1.739E-01	785	2781	2.188	6.545				
195	1.3988	870	7.098	1.149E-03	1.409E-01	830	2789	2.283	6.468				
205	1.7243	859	8.690	1.165E-03	1.151E-01	875	2795	2.378	6.393				
215	2.1058	847	10.562	1.181E-03	9.468E-02	921	2799	2.471	6.320				
225	2.5497	834	12.755	1.199E-03	7.840E-02	967	2802	2.564	6.248				
235	3.0625	820	15.314	1.219E-03	6.530E-02	1014	2803	2.656	6.178				
245	3.6512	806	18.297	1.240E-03	5.465E-02	1062	2802	2.748	6.107				
255	4.3229	791	21.768	1.264E-03	4.594E-02	1110	2799	2.839	6.037				
265	5.0853	776	25.809	1.289E-03	3.875E-02	1160	2794	2.931	5.966				
275	5.9464	759	30.520	1.318E-03	3.277E-02	1211	2785	3.022	5.894				
285	6.9147	741	36.028	1.349E-03	2.776E-02	1263	2774	3.115	5.821				
295	7.9991	722	42.501	1.385E-03	2.353E-02	1317	2759	3.208	5.745				
305	9.2094	702	50.167	1.425E-03	1.993E-02	1373	2739	3.303	5.666				
315	10.5560	679	59.344	1.472E-03	1.685E-02	1432	2715	3.400	5.582				
325	12.0510	654	70.506	1.528E-03	1.418E-02	1494	2684	3.500	5.491				
335	13.7070	626	84.407	1.597E-03	1.185E-02	1560	2645	3.605	5.391				
345	15.5410	594	102.360	1.685E-03	9.769E-03	1632	2595	3.718	5.276				
355	17.5700	553	127.090	1.808E-03	7.868E-03	1714	2527	3.844	5.138				
365	19.8210	496	166.350	2.017E-03	6.012E-03	1818	2423	4.001	4.950				
373.5	21.9460	381	263.600	2.627E-03	3.794E-03	1996	2195	4.270	4.579				

- T temperatura
- p pressione
- $\rho$  massa volumica
- v volume specifico alla massa
- h entalpia specifica alla massa
- s entropia specifica alla massa
- L liquido
- V vapore

tabelle termodinamiche: acqua in condizioni di saturazione

T [°C]	P [MPa]	L		V		L		V		L		V	
		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$v$ [m <sup>3</sup> /kg]	$v$ [m <sup>3</sup> /kg]	$h$ [kJ/kg]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kg-K]	$s$ [kJ/kg-K]				
7.0	0.0010	1000	0.008	1.000E-03	1.292E+02	29	2514	0.106	8.975				
24.1	0.0030	997	0.022	1.003E-03	4.565E+01	101	2545	0.354	8.576				
32.9	0.0050	995	0.035	1.005E-03	2.819E+01	138	2561	0.476	8.394				
39.0	0.0070	993	0.049	1.008E-03	2.052E+01	163	2572	0.559	8.275				
43.8	0.0090	991	0.062	1.009E-03	1.620E+01	183	2580	0.622	8.186				
45.8	0.0100	990	0.068	1.010E-03	1.467E+01	192	2584	0.649	8.149				
69.1	0.0300	978	0.191	1.022E-03	5.228E+00	289	2625	0.944	7.768				
81.3	0.0500	971	0.309	1.030E-03	3.240E+00	341	2645	1.091	7.593				
89.9	0.0700	965	0.423	1.036E-03	2.365E+00	377	2659	1.192	7.479				
96.7	0.0900	961	0.535	1.041E-03	1.869E+00	405	2670	1.270	7.394				
99.6	0.1000	959	0.590	1.043E-03	1.694E+00	418	2675	1.303	7.359				
133.5	0.3000	932	1.651	1.073E-03	6.058E-01	561	2725	1.672	6.992				
151.8	0.5000	915	2.668	1.093E-03	3.748E-01	640	2748	1.860	6.821				
165.0	0.7000	903	3.666	1.108E-03	2.728E-01	697	2763	1.992	6.707				
175.4	0.9000	892	4.654	1.121E-03	2.149E-01	743	2773	2.094	6.621				
179.9	1.0000	887	5.145	1.127E-03	1.944E-01	763	2777	2.138	6.585				
212.4	2.0000	850	10.042	1.177E-03	9.959E-02	909	2798	2.447	6.339				
233.9	3.0000	822	15.001	1.217E-03	6.666E-02	1008	2803	2.646	6.186				
250.4	4.0000	798	20.090	1.253E-03	4.978E-02	1088	2801	2.797	6.070				
263.9	5.0000	777	25.351	1.286E-03	3.945E-02	1155	2794	2.921	5.974				
275.6	6.0000	758	30.818	1.319E-03	3.245E-02	1214	2785	3.028	5.890				
285.8	7.0000	740	36.525	1.352E-03	2.738E-02	1268	2773	3.122	5.815				
295.0	8.0000	722	42.507	1.385E-03	2.353E-02	1317	2759	3.208	5.745				
303.3	9.0000	705	48.804	1.418E-03	2.049E-02	1364	2743	3.287	5.679				
311.0	10.0000	688	55.463	1.453E-03	1.803E-02	1408	2726	3.361	5.616				
318.1	11.0000	672	62.541	1.489E-03	1.599E-02	1450	2706	3.430	5.555				
324.7	12.0000	655	70.106	1.526E-03	1.426E-02	1492	2685	3.497	5.494				
330.9	13.0000	638	78.245	1.567E-03	1.278E-02	1532	2663	3.561	5.434				
336.7	14.0000	621	87.069	1.610E-03	1.149E-02	1571	2638	3.623	5.373				
342.2	15.0000	604	96.727	1.657E-03	1.034E-02	1610	2611	3.685	5.311				
347.4	16.0000	585	107.420	1.709E-03	9.309E-03	1650	2581	3.746	5.246				
352.3	17.0000	565	119.460	1.769E-03	8.371E-03	1690	2548	3.808	5.179				
357.0	18.0000	544	133.300	1.840E-03	7.502E-03	1732	2510	3.872	5.106				
361.5	19.0000	519	149.760	1.927E-03	6.677E-03	1777	2466	3.940	5.026				
365.8	20.0000	490	170.500	2.040E-03	5.865E-03	1827	2412	4.016	4.931				
369.8	21.0000	453	200.160	2.206E-03	4.996E-03	1888	2339	4.106	4.808				
373.7	22.0000	370	274.160	2.704E-03	3.648E-03	2011	2173	4.295	4.545				

- T temperatura
- p pressione
- $\rho$  massa volumica
- $v$  volume specifico alla massa
- $h$  entalpia specifica alla massa
- $s$  entropia specifica alla massa
- L liquido
- V vapore

Tabelle termodinamiche: vapore d'acqua surriscaldato

p [Mpa]	0.005			0.010			0.020		
T [°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
50	0.034	2593	8.498	0.067	2592	8.174			
75	0.031	2641	8.639	0.062	2640	8.317	0.125	2638	7.993
100	0.029	2688	8.770	0.058	2688	8.449	0.116	2686	8.126
125	0.027	2736	8.893	0.054	2735	8.573	0.109	2734	8.251
150	0.026	2783	9.010	0.051	2783	8.689	0.103	2782	8.368
175	0.024	2832	9.120	0.048	2831	8.800	0.097	2831	8.479
200	0.023	2880	9.225	0.046	2880	8.905	0.092	2879	8.584
225	0.022	2929	9.326	0.044	2928	9.005	0.087	2928	8.685
250	0.021	2978	9.422	0.041	2977	9.102	0.083	2977	8.781
275	0.020	3027	9.514	0.040	3027	9.194	0.079	3027	8.874
300	0.019	3077	9.603	0.038	3077	9.283	0.076	3077	8.963
325	0.018	3127	9.689	0.036	3127	9.368	0.072	3127	9.048
350	0.017	3178	9.771	0.035	3178	9.451	0.070	3177	9.131
375	0.017	3229	9.852	0.033	3229	9.532	0.067	3228	9.212
400	0.016	3280	9.929	0.032	3280	9.609	0.064	3280	9.289
425	0.016	3332	10.005	0.031	3332	9.685	0.062	3332	9.365
450	0.015	3384	10.078	0.030	3384	9.758	0.060	3384	9.438
475	0.014	3437	10.150	0.029	3437	9.830	0.058	3437	9.510
500	0.014	3490	10.220	0.028	3490	9.900	0.056	3490	9.580
525	0.014	3543	10.288	0.027	3543	9.968	0.054	3543	9.648
550	0.013	3597	10.354	0.026	3597	10.034	0.053	3597	9.714
575	0.013	3652	10.419	0.026	3652	10.099	0.051	3651	9.780
600	0.012	3706	10.483	0.025	3706	10.163	0.050	3706	9.843

p [Mpa]	0.050			0.100			0.200		
T [°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
100	0.293	2682	7.695	0.590	2676	7.361			
125	0.274	2732	7.823	0.550	2727	7.493	1.114	2717	7.153
150	0.257	2780	7.941	0.516	2777	7.615	1.042	2769	7.281
175	0.243	2829	8.053	0.487	2826	7.728	0.980	2820	7.398
200	0.230	2878	8.159	0.460	2876	7.836	0.926	2871	7.508
225	0.218	2927	8.260	0.437	2925	7.937	0.877	2921	7.612
250	0.207	2976	8.357	0.416	2975	8.035	0.834	2971	7.710
275	0.198	3026	8.450	0.396	3024	8.128	0.795	3022	7.804
300	0.189	3076	8.539	0.379	3075	8.217	0.760	3072	7.894
325	0.181	3126	8.625	0.363	3125	8.303	0.727	3123	7.981
350	0.174	3177	8.708	0.348	3176	8.387	0.698	3174	8.064
375	0.167	3228	8.788	0.335	3227	8.467	0.671	3225	8.145
400	0.161	3279	8.866	0.322	3279	8.545	0.645	3277	8.224
425	0.155	3331	8.942	0.311	3331	8.621	0.622	3329	8.300
450	0.150	3384	9.015	0.300	3383	8.695	0.600	3382	8.373
475	0.145	3436	9.087	0.290	3436	8.766	0.580	3434	8.445
500	0.140	3489	9.157	0.280	3489	8.836	0.561	3488	8.515
525	0.136	3543	9.225	0.272	3542	8.904	0.544	3541	8.584
550	0.132	3597	9.291	0.263	3596	8.971	0.527	3595	8.650
575	0.128	3651	9.356	0.256	3651	9.036	0.511	3650	8.715
600	0.124	3706	9.420	0.248	3706	9.100	0.497	3705	8.779

T temperatura  
p pressione  
 $\rho$  massa volumica  
h entalpia specifica alla massa  
s entropia specifica alla massa

Tabelle termodinamiche: vapore d'acqua surriscaldato

p [Mpa]	0.5			1.0			2.0		
T [°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
175	2.503	2801	6.943						
200	2.353	2856	7.061	4.854	2828	6.696			
225	2.223	2909	7.170	4.553	2887	6.817	9.633	2836	6.416
250	2.108	2961	7.272	4.297	2943	6.927	8.969	2903	6.548
275	2.006	3013	7.369	4.074	2998	7.029	8.427	2965	6.663
300	1.914	3065	7.461	3.876	3052	7.125	7.968	3024	6.768
325	1.830	3116	7.550	3.699	3105	7.216	7.568	3082	6.866
350	1.754	3168	7.635	3.540	3158	7.303	7.215	3138	6.958
375	1.684	3220	7.716	3.395	3211	7.386	6.899	3193	7.046
400	1.620	3272	7.796	3.262	3265	7.467	6.613	3248	7.129
425	1.561	3325	7.872	3.139	3318	7.545	6.353	3303	7.209
450	1.506	3378	7.947	3.026	3371	7.620	6.115	3358	7.287
475	1.454	3431	8.019	2.921	3425	7.693	5.895	3413	7.361
500	1.407	3485	8.089	2.824	3479	7.764	5.692	3468	7.434
525	1.362	3538	8.158	2.733	3534	7.833	5.504	3524	7.504
550	1.320	3593	8.225	2.648	3588	7.901	5.328	3579	7.573
575	1.281	3647	8.290	2.568	3643	7.967	5.164	3635	7.639
600	1.244	3703	8.354	2.493	3699	8.031	5.010	3691	7.704

p [Mpa]	5.0			10.0			20.0		
T [°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
275	24.132	2840	6.057						
300	22.053	2926	6.211						
325	20.495	3001	6.339	50.308	2810	5.760			
350	19.242	3069	6.452	44.564	2924	5.946			
375	18.193	3134	6.554	40.719	3016	6.091	130.270	2603	5.228
400	17.290	3197	6.648	37.827	3097	6.214	100.500	2817	5.553
425	16.497	3258	6.737	35.509	3172	6.323	87.129	2953	5.751
450	15.792	3317	6.821	33.578	3242	6.422	78.609	3062	5.904
475	15.157	3376	6.901	31.923	3310	6.514	72.423	3156	6.032
500	14.581	3435	6.978	30.478	3375	6.600	67.598	3241	6.145
525	14.054	3493	7.052	29.196	3439	6.681	63.661	3321	6.246
550	13.570	3551	7.124	28.047	3502	6.759	60.346	3396	6.339
575	13.122	3609	7.193	27.006	3564	6.833	57.492	3469	6.426
600	12.706	3667	7.261	26.057	3626	6.905	54.991	3539	6.508

T temperatura  
 p pressione  
 $\rho$  massa volumica  
 h entalpia specifica alla massa  
 s entropia specifica alla massa

Tabelle termodinamiche: vapore d'acqua surriscaldato

T [°C]	50			100			150		
p	$\rho$	h	s	$\rho$	h	s	$\rho$	h	s
[Mpa]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]
0.002	0.013	2594	8.923	0.012	2688	9.194	0.010	2784	9.433
0.004	0.027	2594	8.601	0.023	2688	8.873	0.020	2784	9.113
0.006	0.040	2593	8.413	0.035	2688	8.686	0.031	2783	8.926
0.008	0.054	2593	8.279	0.047	2688	8.552	0.041	2783	8.793
0.01	0.067	2592	8.174	0.058	2688	8.449	0.051	2783	8.689
0.02				0.116	2686	8.126	0.103	2782	8.368
0.04				0.234	2684	7.801	0.206	2781	8.046
0.06				0.352	2681	7.608	0.309	2780	7.856
0.08				0.470	2679	7.470	0.412	2778	7.720
0.1				0.590	2676	7.361	0.516	2777	7.615
0.2							1.042	2769	7.281
0.4							2.124	2753	6.931

T [°C]	200			250			300		
p	$\rho$	h	s	$\rho$	h	s	$\rho$	h	s
[Mpa]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]
0.002	0.009	2880	9.648	0.008	2978	9.845	0.008	3077	10.026
0.004	0.018	2880	9.328	0.017	2978	9.525	0.015	3077	9.706
0.006	0.027	2880	9.141	0.025	2978	9.337	0.023	3077	9.519
0.008	0.037	2880	9.008	0.033	2978	9.205	0.030	3077	9.386
0.01	0.046	2880	8.905	0.041	2977	9.102	0.038	3077	9.283
0.02	0.092	2879	8.584	0.083	2977	8.781	0.076	3077	8.963
0.04	0.184	2878	8.263	0.166	2977	8.460	0.151	3076	8.642
0.06	0.276	2877	8.074	0.249	2976	8.272	0.227	3076	8.454
0.08	0.368	2876	7.940	0.332	2975	8.139	0.303	3075	8.321
0.1	0.460	2876	7.836	0.416	2975	8.035	0.379	3075	8.217
0.2	0.926	2871	7.508	0.834	2971	7.710	0.760	3072	7.894
0.4	1.872	2861	7.172	1.680	2965	7.380	1.527	3067	7.568
0.6	2.840	2851	6.968	2.539	2958	7.183	2.302	3062	7.374
0.8	3.833	2840	6.818	3.411	2950	7.040	3.085	3057	7.235
1	4.854	2828	6.696	4.297	2943	6.927	3.876	3052	7.125
2				8.97	2903	6.548	7.97	3024	6.768
4							16.99	2962	6.364
6							27.63	2886	6.070
8							41.19	2787	5.794

T temperatura  
 p pressione  
 $\rho$  massa volumica  
 h entalpia specifica alla massa  
 s entropia specifica alla massa

Tabelle termodinamiche: vapore d'acqua surriscaldato

T [°C]	350			400			450		
p [Mpa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
0.002	0.007	3178	10.194	0.006	3280	10.352	0.006	3384	10.501
0.004	0.014	3178	9.874	0.013	3280	10.032	0.012	3384	10.181
0.006	0.021	3178	9.687	0.019	3280	9.845	0.018	3384	9.994
0.008	0.028	3178	9.554	0.026	3280	9.712	0.024	3384	9.861
0.01	0.035	3178	9.451	0.032	3280	9.609	0.030	3384	9.758
0.02	0.070	3177	9.131	0.064	3280	9.289	0.060	3384	9.438
0.04	0.139	3177	8.811	0.129	3280	8.969	0.120	3384	9.118
0.06	0.209	3177	8.623	0.193	3279	8.782	0.180	3383	8.931
0.08	0.279	3176	8.490	0.258	3279	8.649	0.240	3383	8.798
0.1	0.348	3176	8.387	0.322	3279	8.545	0.300	3383	8.695
0.2	0.698	3174	8.064	0.645	3277	8.224	0.600	3382	8.373
0.4	1.401	3170	7.740	1.294	3274	7.900	1.203	3379	8.051
0.6	2.109	3166	7.548	1.947	3271	7.710	1.809	3377	7.861
0.8	2.822	3162	7.411	2.602	3268	7.573	2.416	3374	7.726
1	3.540	3158	7.303	3.262	3265	7.467	3.026	3371	7.620
2	7.22	3138	6.958	6.61	3248	7.129	6.11	3358	7.287
4	15.04	3093	6.584	13.62	3215	6.771	12.49	3331	6.939
6	23.67	3044	6.336	21.09	3178	6.543	19.17	3303	6.722
8	33.36	2988	6.132	29.12	3139	6.366	26.18	3273	6.558
10	44.56	2924	5.946	37.83	3097	6.214	33.58	3242	6.422
20				100.5	2817	5.553	78.6	3062	5.904
40				523.3	1931	4.115	270.9	2512	4.945
60				612.4	1843	3.932	479.5	2180	4.414
80				659.5	1809	3.834	563.7	2088	4.234
100				692.9	1791	3.764	614.2	2045	4.127

T [°C]	500			550			600		
p [Mpa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
0.002	0.006	3490	10.643	0.005	3597	10.777	0.005	3706	10.906
0.004	0.011	3490	10.323	0.011	3597	10.457	0.010	3706	10.586
0.006	0.017	3490	10.136	0.016	3597	10.270	0.015	3706	10.399
0.008	0.022	3490	10.003	0.021	3597	10.137	0.020	3706	10.266
0.01	0.028	3490	9.900	0.026	3597	10.034	0.025	3706	10.163
0.02	0.056	3490	9.580	0.053	3597	9.714	0.050	3706	9.843
0.04	0.112	3489	9.260	0.105	3597	9.394	0.099	3706	9.523
0.06	0.168	3489	9.072	0.158	3597	9.207	0.149	3706	9.336
0.08	0.224	3489	8.939	0.211	3597	9.074	0.199	3706	9.203
0.1	0.280	3489	8.836	0.263	3596	8.971	0.248	3706	9.100
0.2	0.561	3488	8.515	0.527	3595	8.650	0.497	3705	8.779
0.4	1.124	3486	8.193	1.055	3594	8.329	0.994	3703	8.458
0.6	1.689	3483	8.004	1.585	3592	8.140	1.493	3702	8.270
0.8	2.256	3481	7.869	2.116	3590	8.005	1.993	3700	8.135
1	2.824	3479	7.764	2.648	3588	7.901	2.493	3699	8.031
2	5.69	3468	7.434	5.33	3579	7.573	5.01	3691	7.704
4	11.57	3446	7.092	10.79	3560	7.236	10.12	3675	7.371
6	17.65	3423	6.883	16.39	3541	7.031	15.32	3659	7.169
8	23.94	3400	6.727	22.14	3522	6.880	20.63	3642	7.022
10	30.48	3375	6.600	28.05	3502	6.759	26.06	3626	6.905
20	67.6	3241	6.145	60.3	3396	6.339	55.0	3539	6.508
40	177.8	2907	5.474	143.2	3154	5.786	123.6	3350	6.017
60	338.7	2570	4.936	252.8	2902	5.352	206.9	3157	5.653
80	457.0	2397	4.647	362.3	2710	5.039	295.5	2988	5.367
100	528.3	2316	4.490	444.6	2596	4.841	374.2	2865	5.158

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 7 FEBBRAIO 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

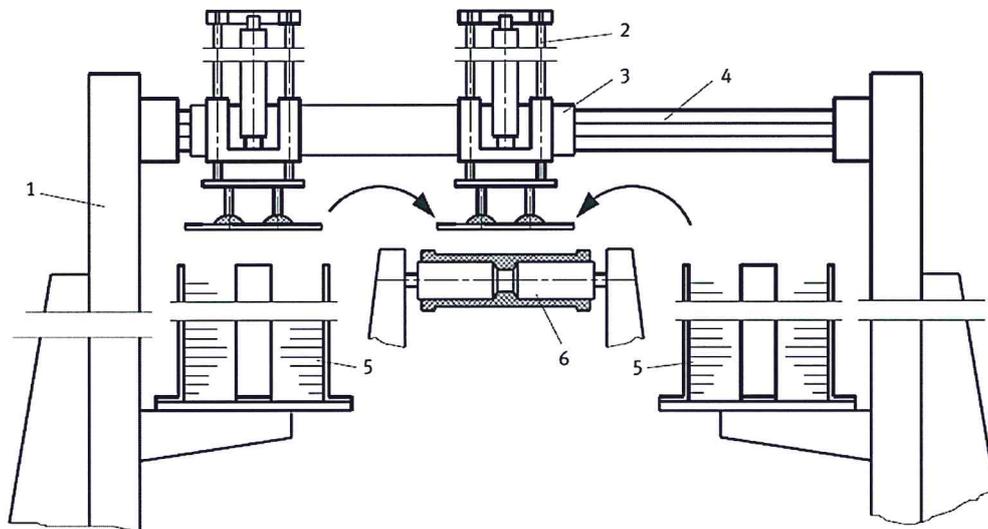
**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 8**

La macchina riportata in figura è costituita da un portale sulla cui traversa (4) si muove una slitta (3) su cui sono alloggiati due dispositivi per operazioni di pick and place di lastre di metallo da lavorare con successive operazioni di deformazione plastica. Ciascun dispositivo è dotato di un attuatore pneumatico per la movimentazione nel piano verticale dei prodotti. I prodotti vengono alternativamente presi da due pile (5) disposte ai lati della macchina e depositati su di un nastro trasportatore (6).



Del sistema sono noti solo alcuni dati essenziali tra cui:

- $m=40$  kg massa media dei prodotti
- $M = 180$  kg massa del sistema slitta + dispositivi
- $L=5$ m lunghezza della traversa
- $t_c = 4$ s tempo intercorrente tra il deposito di due lastre successive

Il candidato esegua:

1. il dimensionamento della traversa (4), ipotizzando che la massima deformazione ammissibile sia pari ad 0.2mm
2. il dimensionamento degli attuatori pneumatici, e del circuito ad aria compressa, per il sollevamento delle lastre
3. il progetto della legge di moto della slitta (3) porta dispositivi
4. il dimensionamento del sistema di attuazione della slitta (3)
5. il disegno tecnico dell'attuatore pneumatico, con indicata una sezione longitudinale.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 7 FEBBRAIO 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 9**

Il turbocompressore di un motore a combustione interna è utilizzato per incrementare la pressione dell'aria immessa, sfruttando l'azione dei gas di scarico ed è costituito da un compressore centrifugo e da una turbina, collegati coassialmente.

Lo sforzo ( $\sigma$ ) a cui sono sottoposte le giranti è principalmente dovuto alla forza centrifuga e può essere espresso con la seguente relazione:

$$\sigma = C\rho v^2$$

dove  $C$  è un fattore adimensionale che dipende dalle caratteristiche geometriche della girante,  $\rho$  è la densità del materiale e  $v$  è la velocità periferica della girante.

- 1) Si selezioni il materiale con cui realizzare la girante del compressore, avendo il duplice obiettivo di raggiungere elevate velocità periferiche e di ridurre il più possibile la massa della girante stessa. Si assuma che la temperatura massima raggiunta dalla palettatura sia 120 °C. Si effettui la selezione valendosi dei dati riportati nella tabella sottostante o di altri che si ritengano utili.
- 2) Si definiscano eventuali ulteriori criteri di progetto e si riveda la selezione svolta al punto precedente se necessario.
- 3) Si proponga un processo tecnologico con cui produrre la girante del compressore, assumendo che il suo diametro sia dell'ordine di 0,1 m. Si spieghi se e come il processo produttivo scelto possa influire sulle proprietà finali del manufatto.
- 4) Si effettui la selezione del materiale per la girante della turbina, seguendo gli obiettivi indicati al punto 1) ed assumendo che la temperatura massima sia compresa tra 600 e 700 °C.

Materiale	Densità ( $10^3 \text{ kg m}^{-3}$ )	Limite elastico (MPa)
AISI 304	7,95	250
15-5 PH	7,84	1040
Ti-13V-11Cr-3Al	4,82	870
Ti-6Al-4Zr-2.5Sn	4,50	950
2618 T6	2,75	350
5182 H19	2,65	390
AZ91	1,81	150
ZK60	1,84	240
CuAl8	8,0	510
Nimonic 90	8,2	810
PA66 GF	1,36	140
Epoxy GF	2,0	70

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
II SESSIONE 2017 - 7 FEBBRAIO 2018  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 10**

In un processo di sintesi del cloruro di vinile, vengono utilizzati etano e cloruro di idrogeno.

A seguito di un'analisi di rischio si sono identificati degli scenari che è opportuno investigare nel dettaglio:

- A) Rottura di un elemento della linea di alimentazione dell'etano gassoso posto a 1 metro di altezza.

Assumendo che la tubazione sia a  $P_0 = 8 \text{ bar}$ ,  $T_0 = 100^\circ\text{C}$ , determinare:

- la portata massica scaricata da un foro di diametro  $D_A = 5 \text{ cm}$   
 $HP_{A1}$  : Si consideri  $C_D = 0.8$
- Ipotizzando che il rilascio sia ignito istantaneamente, calcolare la distanza massima raggiunta da un livello di irraggiamento pari a  $I = 4.5 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$  (valore di soglia per gli operatori)

$HP_{A2}$  : Si consideri il rilascio verticale e in assenza di vento

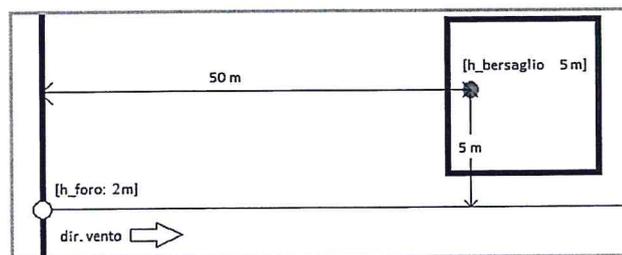
- B) Rottura di un elemento della linea di alimentazione dell'acido cloridrico gassoso posto a 2 metri

di altezza. Si assuma che la tubazione sia a  $P_0 = 3 \text{ bar}$ ,  $T_0 = 100^\circ\text{C}$  e che il foro abbia un diametro di 25 mm.

- Considerando che HCl è una sostanza tossica, determinare la concentrazione a cui è esposto un lavoratore che si trova su un tetto a 5 m di altezza, 50 metri sottovento al punto del rilascio e scostato di 5 metri perpendicolarmente alla direzione del vento.

$HP_{B1}$ : Si consideri una giornata molto nuvolosa, con velocità del vento a 10 m  $v_{10} = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ;

$HP_{B2}$ : Si assuma la sorgente puntiforme coincidente con la sorgente reale (foro) e rilascio neutro



Vista in pianta

C) Nella parete del serbatoio di stoccaggio del prodotto (cloruro di vinile), liquefatto per compressione ( $P_{tank} = 6 \text{ bar assoluti}$ ), viene prodotto un foro di diametro pari a  $d_1 = 50 \text{ mm}$ , a un'altezza di 50 cm dal fondo del serbatoio.

Sapendo che il serbatoio (sfera) ha un diametro di 5 metri e un'altezza del livello di liquido pari a

4.5 metri, si chiede di:

- Calcolare la portata che viene scaricata all'istante iniziale

Il liquido scaricato forma una pozza, e durante il successivo incendio vengono liberati 27000 ppm

di HCl, 9500 ppm di CO e 40 ppm di fosgene. Calcolare il tempo di permanenza nell'area per avere una letalità del 25%.

	a	b	n
HCl	-16.85	2	1
CO	-37.98	3.7	1
COCl <sub>2</sub>	-19.27	3.686	1

DATI

---

Ambiente

$$T_{amb} = 20^\circ\text{C}; P_{amb} = 101325 \text{ Pa}; PM_{air} = 29 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; \tau_{air} = 0.7;$$

Etano

$$PM_{C_2} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; \gamma_{C_2} = 1.2; \Delta H_{comb,C_2} = 47500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}; X_{comb} = 1; \eta_{irr} = 0.2;$$

	$C_T$	$\alpha_T$	$\frac{T_{ad}}{T_{cont}}$
Etano	0.296	0.85	8.2

Cloruro di idrogeno

$$PM_{HCl} = 36.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; \gamma_{HCl} = 1.4;$$

Cloruro di vinile

$$P_{crit} = 56.7 \text{ bar}; T_{crit} = 158.9^\circ\text{C}; T_{eb}(1 \text{ bar}) = -13^\circ\text{C}; \rho_L = 911 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; PM = 62.5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\Delta H_{evap} = A \left(1 - \frac{T}{T_{crit}}\right)^B \left[\frac{\text{J}}{\text{mol}}\right], T \text{ in K}, A = 3.41E7 \quad B = 0.45; C_{pL} = 1.13 \frac{\text{KJ}}{\text{KgK}}$$

Definizioni delle classi di stabilità atmosferica:

Velocità del vento a 10 m	Irraggiamento $\left[\frac{W}{m^2}\right]$			Frazione di copertura notturna del cielo	
$\left[\frac{m}{s}\right]$	>700	350-700	<350	>1/2	<3/8
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Coefficienti per la relazione:  $\frac{u(z)}{u(z_R)} = \left(\frac{z}{z_R}\right)^P$  con  $z_R = 10$  m:

Riferimento	Terreno	Classi di stabilità atmosferica					
		A	B	C	D	E	F
CCPS 2000	Urbano	0.15	0.15	0.20	0.25	0.40	0.60
	Rurale	0.07	0.07	0.15	0.15	0.35	0.55

Coefficienti per le relazioni:  $\sigma_z = c \cdot x^d$  e  $\sigma_y = a \cdot x^b$  e validi per  $x=[100-1000]$ m: per  $x<100$ m si suggerisce interpolazione lineare tra il valore zero e il valore calcolato per 100m.

Parametri	Classi di stabilità atmosferica					
	A	B	C	D	E	F
<b>a</b>	0.527	0.371	0.209	0.128	0.098	0.065
<b>b</b>	0.865	0.866	0.897	0.905	0.902	0.902
<b>c</b>	0.280	0.230	0.220	0.200	0.150	0.120
<b>d</b>	0.900	0.850	0.800	0.760	0.730	0.670

Relazione tra probit e percentuale

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
-	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09