

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

**PROVA SCRITTA
(PROVA DI SETTORE)**

TEMA N. 1

Nel corso della sua attività professionale l'ingegnere deve affrontare problematiche che spaziano dall'ambito puramente tecnico-scientifico ad altri campi quali:

- Economia e finanza
- Diritto
- Tutela della persona e dell'ambiente
- Sostenibilità dello sviluppo
- Etica
- Organizzazione e comunicazione

Queste problematiche non sono necessariamente sempre e tutte comprese all'interno dei singoli piani di studio.

Le università, con diverse iniziative, interpellano le imprese e gli stessi studenti su come integrare i suddetti aspetti nella formazione dell'ingegnere, anche al fine di renderla congruente con le aspettative del mercato del lavoro.

Il candidato esprima le proprie considerazioni su quanto sopra enunciato e illustri contenuti e modalità di interventi che ritiene utili allo sviluppo del percorso formativo dell'ingegnere.

Il candidato risponda ai quesiti strutturando l'elaborato in forma di relazione tecnica articolata per punti e facendo riferimento, ove possibile, ad esempi concreti e quantitativi.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

**PROVA SCRITTA
(PROVA DI SETTORE)**

TEMA N. 2

Si è recentemente conclusa l'avventura della missione spaziale Rosetta che ha raggiunto la cometa Churyumov-Gerasimenko, ad una distanza pari a decine di volte quella che intercorre tra la terra e il sole. Tra le molte attrezzature scientifiche attive nel modulo spaziale era presente la sonda Philae, di tecnologia italiana. Si è trattato di una missione voluta dall'ESA (Ente Spaziale Europeo), che è costata circa un miliardo di euro.

Tale riferimento specifico vuole solo rappresentare un esempio di grandi progetti, spesso transnazionali, che richiedono enormi impegni finanziari e coinvolgono ampi settori dell'ingegneria e dell'industria.

Il candidato, facendo riferimento a uno o più esempi di sua scelta, analizzi criticamente le ricadute tecniche e socioeconomiche di tali progetti.

Il candidato risponda ai quesiti strutturando l'elaborato in forma di relazione tecnica articolata per punti e facendo riferimento, ove possibile, ad esempi concreti e quantitativi.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
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 combustibile presente a bordo dei velivoli, illustrandone in modo critico le problematiche progettuali, i principali vincoli, le soluzioni adottabili per l'intero impianto e per i singoli equipaggiamenti costitutivi dell'impianto stesso; evidenzi, inoltre, i criteri di dimensionamento in relazione alle differenti classi di velivoli e i passi necessari ad effettuare il dimensionamento dell'intero impianto.

OPPURE

Il candidato discuta esaustivamente l'impianto di determinazione e controllo d'assetto presente a bordo di satelliti, illustrandone in modo critico le problematiche progettuali, i principali vincoli, le soluzioni adottabili per l'intero impianto e per i singoli equipaggiamenti costitutivi dell'impianto stesso; evidenzi, inoltre, i criteri di dimensionamento in relazione alle differenti classi di satellite e di missione spaziale e i passi necessari ad effettuare il dimensionamento dell'intero impianto.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

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

TEMA N. 2

Con l'aumento dell'aspettativa di vita e la crescente attenzione posta al miglioramento della salute nelle persone anziane, il ruolo dell'ingegnere biomedico si propone sempre più come ponte tra le competenze tradizionali dell'ingegneria e le esigenze delle diverse figure professionali in ambito medico.

Gli ingegneria sono coinvolti nella progettazione di dispositivi, strumenti e software per migliorare nuove procedure in precisi problemi clinici. Ambiti d'intervento sono, ad esempio, la strumentazione biomedica, la biomeccanica, i biomateriali, l'ingegneria tessutale/cellulare, l'ingegneria clinica e la riabilitazione.

Il candidato prenda due ambiti di intervento (anche non presenti nell'elenco), li contestualizzi nella tematica dell'invecchiamento e descriva il ruolo dell'ingegnere biomedico in ciascun ambito evidenziando i punti caratterizzanti la figura professionale, le conoscenze a supporto di questa attività e le modalità di intervento e di interazione con gli altri attori coinvolti.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 3

Al giorno d'oggi la quasi totalità dei sistemi di controllo sono implementati su piattaforme digitali. Nonostante questo la progettazione preliminare di un sistema di controllo non tiene conto di questo, e la modellazione e la scelta del sistema viene effettuata a tempo continuo. Il candidato, facendo riferimento ad un caso specifico, evidenzia le problematiche legate alla progettazione dei sistemi di controllo e alla loro implementazione su sistemi digitali evidenziando i metodi e le scelte progettuali.

POLITECNICO DI MILANO
Esame di Stato per l'Abilitazione alla Professione di:
INGEGNERE INDUSTRIALE
Il sessione 2016 - 16 novembre 2016

III Commissione - Settore Industriale

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(prova di classe)

TEMA N. 4

Il candidato illustri in dettaglio e in modo sistematico i criteri ingegneristici di dimensionamento e il funzionamento di una apparecchiatura a sua scelta per il frazionamento di una miscela fluida multicomponente.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 5

Il candidato descriva il principio di funzionamento di una macchina elettrica a sua scelta, indicando gli ambiti applicativi e il modello.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 6

NELL'AMBITO DELLA PROGETTAZIONE DEI SISTEMI DI MONTAGGIO, SI DESCRIVANO IN DETTAGLIO CARATTERISTICHE E PROBLEMATICHE DELLE LINEE DI MONTAGGIO "MULTIMODEL" (OSSIA IN PRESENZA DI DIVERSE VARIANTI O MODELLI DA REALIZZARE).

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 7

L'affermarsi delle fonti rinnovabili come fonte di energia primaria ha avuto un notevole impatto sulla produzione di energia elettrica. Il candidato illustri, facendo riferimento ad una tecnologia consolidata per la produzione di potenza di grossa taglia (es: impianti con ciclo a vapore, impianti con turbine a gas), quali sono le conseguenze di un funzionamento a carichi parziali. Viene richiesta la valutazione del funzionamento fuori progetto (a carichi parziali) di almeno un componente dell'impianto (turbina, generatore di vapore, condensatore, pompa, compressore, ecc.), facendo riferimento a valori numerici propri dello stato dell'arte (rendimenti, potenze, pressioni, temperature, ecc.).

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 8

Il candidato proponga una soluzione progettuale di un dispositivo in grado di movimentare un carico (100 kg) da un punto A ad un punto B tra loro distanti 2 m, ad una altezza relativa di 0,5 m.

Il candidato fornisca elementi relativi al layout della macchina, descrivendo sommariamente il sistema di azionamento che utilizzerebbe, nonché l'eventuale trasmissione necessaria alla trasformazione del moto.

Il candidato esponga chiaramente quali siano gli elementi più critici del dispositivo proposto e come intenda eseguirne il dimensionamento (non sono richiesti calcoli).

In ultimo si espongano eventuali problematiche di sicurezza derivanti dall'impiego della macchina e possibili dispositivi atti a limitarne i rischi.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 16 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 9

Si espongano i criteri di progettazione di un componente che debba operare ad alta temperatura, spiegando quali sono le principali proprietà da considerare e quali differenze di comportamento esistono tra i materiali metallici e quelli ceramici.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016/6 NOVEMBRE 2016
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 10

Per valutare il rischio di esposizione ad un inquinante in ambiente di lavoro, devono essere fatti alcuni campionamenti; si descriva:

1. la metodologia per la definizione della numerosità campionaria;
2. la metodologia per la scelta dei campioni;
3. i metodi per la valutazione degli n campioni e della quantificazione del rischio;
4. le ricadute della valutazione.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 1 FEBBRAIO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 1

Carico utile

Equipaggio: 2 piloti + 2/3 assistenti di volo
Passeggeri: fino a 70
Bagagli: massimo 1000 Kg

Geometria

Tipologia di ala: ala alta dritta rastremata con angolo di freccia nullo Apertura alare: 27 m
Superficie alare: 61 m²
Rastremazione alare: 0.9
Lunghezza: 27 m
Altezza: 7.7 m

Masse

Massa a vuoto: 12950 Kg
Massa massima al decollo: 22000 Kg

Propulsione

Tipologia: due motori turboelica
Potenza massima del singolo motore: 5000 CV
Consumo specifico del motore: 0.35 kg/(CV·h)
Rendimento elica: 0.85
Installazione: in gondole alari (un motore per semiala)
Massa del singolo motore: 900 Kg
Distanza motore da mezzzeria: 7 m

Dati di progetto

Fattore di carico massimo positivo di progetto:
 $n_{max+} = 3.8$
Fattore di carico massimo negativo: $n_{max-} = -1.2$
se $V < V_c$;
 n_{max-} varia linearmente dal valore corrispondente a $V = V_c$ fino a zero, in corrispondenza di $V = V_0$ se $V_c < V < V_0$;

Valori della raffica:

$u = 17.07$ m/s per $V_s < V < V_e$

$u = 8.54$ m/s per $V_e < V < V_0$

dove:

V_s = velocità per n_{max-} e Cl_{max-}

V_c = velocità di crociera

V_0 = velocità massima Quota di crociera: 5500 m

Velocità di crociera di progetto (alla quota di crociera)

$V_e = 550$ km/h

Velocità massima (V_0) = 1.25 volte velocità di crociera

Caratteristiche aerodinamiche stimate

Tipo di profilo adottato biconvesso laminare

Spessore percentuale profilo: 12%

Coefficiente di resistenza del velivolo per portanza nulla: $C_{oa} = 0.016$

Coefficiente di portanza massimo positivo del velivolo: $Cl_{max+} = 1.82$

Coefficiente di portanza massimo negativo del velivolo: $Cl_{max-} = -1.1$

L'andamento del coefficiente di portanza in funzione dell'angolo di incidenza è riportato in Tabella 1.

Distanza centro aerodinamico - baricentro $a/m = 0.39$ m

Distanza centro aerodinamico piano di coda - baricentro $a/m = 9$ m

Coefficiente di momento del velivolo parziale attorno al suo centro aerodinamico $C_{m,CA-vP} = -0.07$

Coefficiente di Oswald stimato: $e = 0.9$

Struttura alare

Cassone bi-cella con tre longheroni ; la figura 1 riporta già la semplificazione col metodo del semiguscio di una sezione alare.

Lo spessore dei pannelli (3-2, 2-1, 4-5, 5-6) è di 1 mm, quello delle anime dei longheroni (3-4, 2-5, 1-6) di 2 mm, mentre per quanto riguarda aree e posizioni dei punti di riferimento si riporta la tabella 2.

Vale inoltre $a = 520$ mm; $c = 2260$ mm.

Modulo elastico: $E = 73000$ N/mm²
 Coefficiente di Poisson: $\nu = 0.33$
 Modulo di elasticità tangenziale: $G = 27000$ N/mm²
 Densità: $\rho = 2780$ Kg/m³
 Tensione di rottura $\sigma_R = 420$ N/mm²
 Tensione di snervamento $\sigma_{crs} = 340$ N/mm²

Materiale adottato per ala

tabella 1 Coefficiente di portanza in funzione di angolo di incidenza

CL	-0,26	0,26	0,78	1,3	1,82	1,4
Alfa α (°)	-5	0	5	10	15	18

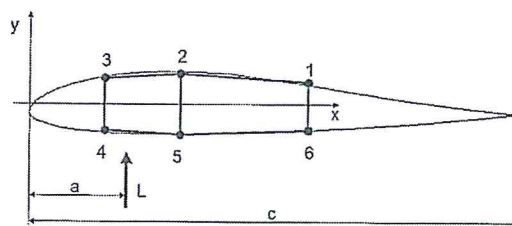


Figura 1 cassone alare

tabella 2 sezione alare

Punto	1	2	3	4	5	6
Posizione X [mm]	1350	750	300	300	750	1350
Posizione Y [mm]	97,5	127,5	112,5	-112,5	-127,5	-97,5
Area [mm²]	530	810	480	480	810	530

Il candidato:

1. tracci il diagramma di inviluppo (s.l.m)
2. tracci il diagramma di bilanciamento statico del piano di coda
3. calcoli e disegni in opportuna scala la distribuzione di taglio e di momento flettente lungo l'apertura alare (con max. fattore di carico).
4. verifichi il cassone alare riportato in Figura 1 applicando un taglio $L = 26$ kN, un momento flettente ($M_x = 32$ kN*m), ed un momento torcente pari a $M_t = 2.1$ kN*m
5. determini:
 - la velocità per cui si ottiene la massima autonomia chilometrica (si consideri assetto costante, volo quasi livellato); in corrispondenza di questa velocità si calcoli il coefficiente di resistenza aerodinamica, l'efficienza, la potenza necessaria e l'autonomia oraria ottenibile avendo a disposizione 120 Kg di carburante.
 - la velocità per cui si ottiene la massima autonomia oraria (si consideri assetto costante, volo quasi livellato); in corrispondenza di questa velocità si calcoli il coefficiente di resistenza aerodinamica, l'efficienza, la potenza necessaria e l'autonomia oraria ottenibile avendo a disposizione 150 kg di carburante.
 - il raggio di virata ed il fattore di carico n_z quando la velocità del velivolo è $v = 100$ m/s e la manovra avviene senza perdita di quota (virata piatta), con un angolo di inclinazione del velivolo rispetto all'orizzonte $= 25^\circ$.
 - la lunghezza della corsa di atterraggio se la decelerazione impressa dai freni è pari a $0.35g$ (gli effetti di resistenza aerodinamica e di attrito possono essere trascurati). Si consideri una

velocità di avvicinamento pari a $1.3 \cdot V_{stau0}$, una pendenza della traiettoria di 3° , una altezza dell'ostacolo pari a 15 metri.

Oppure

Con riferimento ad un satellite in orbita bassa terrestre caratterizzato dai dati riportati di seguito, il candidato progetti il sottosistema di telecomunicazione, in particolare:

- giustifichi la scelta della tecnologia di comunicazione selezionata per lo scenario corrente
- dimensiona il sottosistema, fornendone i budget di potenza e massa, sapendo che:
 - il satellite si trova in orbita eliosincrona circolare a quota 750km, LTAN 10:30 am
 - la strumentazione scientifica richiede un datarate massimo di 500 Mbps
 - la potenza massima generabile dal satellite è di 800 W in luce, 300 W in eclisse.
 - il corpo del satellite ha dimensioni: 1,5x1,5x1 m

n.b. il candidato assuma opportunamente i dati necessari non forniti.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 1 FEBBRAIO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 2

Gli impianti dentali risultano necessari in caso di patologie a carico dell'osso mascellare e mandibolare che determinano l'inserimento di una protesi che, una volta integrata nell'osso, deve essere in grado di svolgere la funzione del dente naturale.

Domanda 1

Il candidato descriva brevemente le specifiche di progetto (ad esempio, caratteristiche strutturali e meccaniche) per la realizzazione di un impianto dentale osteointegrato, indicando i differenti componenti.

Domanda 2

Il candidato selezioni il materiale o i materiali con cui realizzare i componenti dell'impianto dentale, motivando la scelta. In Tabella 1 sono riportati alcuni possibili materiali utilizzabili per la realizzazione di impianti dentali (ma non esclusivi).

Tabella 1. Esempi di materiali utilizzabili per gli impianti dentali

Property	Units	Ceramic	Titanium	Amalgam	Stainless steel	Cobalt
Poisson's Ratio	—	0.29	0.34	0.35	0.27-0.30	0.32
Hardness	Kg/mm ²	105	70	90	147	125
Heat Capacity	J/g-°C	0.75	0.525	—	0.5	0.44
Shear Modulus	GPa	25.5	42	—	86	82.6
Tensile Strength, Yield	MPa	140	240 - 550	39.98	515-827	225
Compressive Strength	MPa	345	121	275.1 - 344.74	262	1330
Modulus of Elastic	GPa	66.9	116	60	190-210	210
Coefficient of Thermal Expansion	x 10 ⁻⁶ / °C	12.6	10.1	22-28	9.0-20.7/K	14.2/K
Density	g/cm ³	2.52	4.5	53.8	7.75-8.1	8.5

[http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/home.htm]

Il candidato:

- esegua il dimensionamento dell'impianto (impianto tipico), anche mediante un disegno quotato o uno schema. Indicare le sezioni resistenti di ogni componente dell'impianto;
- calcoli, dimensionando l'impianto in modo che resista a carichi verticali anche ciclici, le caratteristiche meccaniche che devono avere i metalli utilizzati per i vari componenti;
- indichi a quali tipi di carichi e forze è soggetto l'impianto e quantificarli, considerando una situazione di masticazione normale. (Tabella 2). Si considerino due possibili posizioni dell'impianto;

- d. calcoli lo stato di sforzo che agisce sulla testa della vite e verifica della resistenza della vite durante il serraggio;
- e. programmi una prova di resistenza meccanica a compressione uniassiale per verificare l'adeguatezza dell'impianto (specificando la procedura di prova, i parametri di prova in input e gli output ottenibili);
- f. programmi altre prove meccaniche che si ritengano adeguate per una completa caratterizzazione dell'impianto.

Tabella 2 - Carichi masticatori nell'adulto

componente verticale dei carichi	Incisivi	222 N
	Molari	390 – 880 N
	Premolari	453 N
componente laterale dei carichi		20 N
frequenza delle battute masticatorie		1 – 1.2 Hz
sforzo massimo di contatto sui denti		20 MPa

Domanda 3

Rispetto al materiale selezionato per la costruzione dell'impianto dentale, individuare le possibili problematiche e i possibili miglioramenti per ottenere una buona osteointegrazione e una minima adesione batterica.

Indicare mediante quali prove di caratterizzazione si possono valutare i miglioramenti ottenuti.

Domanda 4

Una volta progettato e dimensionato l'impianto, spiegare come occorre procedere:

1. processo di trasformazione
2. eventuali modifiche superficiali
3. processo di sterilizzazione
4. eventuali prove da eseguire prima di procedere alla Domanda 5.

Sarebbe indispensabile eseguire un'analisi economica? Dare una giustificazione alla risposta data.

Domanda 5

Indicare e commentare quali devono essere i passi da effettuare per il trasferimento tecnologico da scala di laboratorio a larga scala (cioè industriale) e per l'ottenimento del marchio CE.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
 II SESSIONE 2016 - FEBBRAIO 2017
 SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

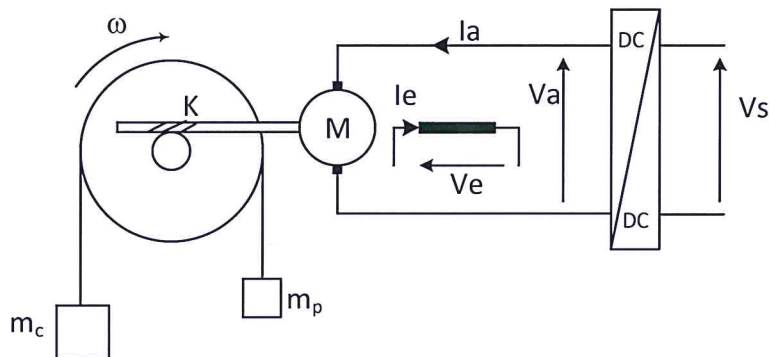
III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 3

Un sistema di sollevamento presenta la struttura rappresentata in figura, costituita da un motore elettrico in corrente continua alimentato attraverso un convertitore DC/DC che movimenta, attraverso un sistema di riduzione (vite senza fine-ruota elicoidale), una puleggia. Sulla puleggia si avvolge un cavo a cui è collegata una cabina di massa m_c ed un contrappeso di massa m_p



I dati del sistema sono:

Convertitore in ingresso

$V_{in} = 500 \text{ V}$ Tensione in ingresso al convertitore DC/DC
 $f_{sw} = 1 \text{ kHz}$ Frequenza di commutazione convertitore

Motore DC

$V_n = 260 \text{ V}$ Tensione nominale di armatura
 $T_n = 10 \text{ Nm}$ Coppia nominale del motore
 $R_a = 2.50 \text{ } \Omega$ Resistenza di armatura (25 °C)
 $L_a = 7.05 \text{ mH}$ Induttanza di armatura
 $\Omega_n = 250 \text{ rad/s}$ Velocità nominale
 $k = 0.48$ Costante di coppia/velocità calcolata a corrente di eccitazione nominale.
 $N = 4$ numero di poli
 $J = 0.035 \text{ kg m}^2$ Momento di inerzia del motore

$V_{en} = 200 \text{ V}$ Tensione nominale di eccitazione
 $I_{en} = 1 \text{ A}$ Corrente nominale di eccitazione
 $T_{ecc} = 1 \text{ s}$ Costante di tempo di eccitazione

Sistema meccanico

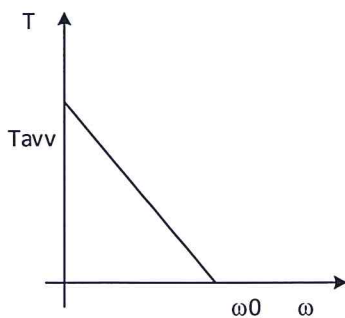
$m_c = 300 \text{ kg}$	massa cabina
$m_u = 320 \text{ kg}$	massa utile cabina
$m_p = 450 \text{ kg}$	massa contrappeso
$\tau = 1/55$	rapporto di trasmissione vite – ruota.
$D = 0.55 \text{ m}$	diametro puleggia
$J_p = 1 \text{ kg m}^2$	momento di inerzia della puleggia
$\eta = 0.7$	rendimento della trasmissione (per ipotesi si considerino uguali il rendimento diretto e retrogrado)
$a = 0.5 \text{ m/s}^2$	Accelerazione massima della cabina

Il candidato risponda alle seguenti domande:

1. Si determini il modello dinamico dell'azionamento dal punto di vista elettrico, considerando come ingresso la tensione ai morsetti della macchina in corrente continua (tensione di armatura) e come uscita la coppia all'albero del motore. Si consideri la forza elettromotrice E del motore un disturbo non misurabile.
2. A partire dal modello ottenuto nel punto 1 si progetti eseguendo opportuni calcoli, un controllore di coppia ad anello chiuso tale che:
 - a. Il sistema retroazionato sia asintoticamente stabile
 - b. Il sistema retroazionato abbia una banda passante opportuna
 - c. Il sistema di controllo sia in grado di annullare asintoticamente l'effetto di una variazione a gradino del disturbo

Si consideri come punto di lavoro e di progetto il punto di funzionamento nominale della macchina. Nella progettazione del controllo si evidenzi inoltre come si possa tenere conto dei limiti imposti dalla presenza del convertitore statico al fine di evitare richieste da parte del controllo non realizzabili dal sistema.

3. Si determini il modello completo del sistema inclusa la parte meccanica del sistema di sollevamento considerando il sistema funzionante a pieno carico utile.
4. Si linearizzi il sistema completo attorno ad un punto di regime corrispondente alla velocità di funzionamento del sistema nell'ipotesi che funzioni a pieno carico (m_c+m_u), il motore sia alimentato a tensione nominale e funzioni a eccitazione nominale.



Per il calcolo della velocità di regime si imponga l'equilibrio tra la coppia motrice del motore e la coppia resistente riportata all'albero motore (con accelerazioni $= 0$). Per la coppia del motore si utilizzi la caratteristica meccanica statica rappresentata in figura con equazione $T_m = T_{avv} - \alpha \cdot \omega$ dove T_{avv} è la coppia di avviamento del motore ($\omega=0$) e α può essere ricavato in maniera

opportuna nelle condizioni di velocità a vuoto

In queste condizioni si progetti un controllore di velocità tale per cui:

- a. Il sistema retroazionato sia asintoticamente stabile
 - b. Il sistema retroazionato abbia una banda passante opportuna
 - c. Il sistema di controllo sia in grado di annullare asintoticamente l'effetto di una variazione a gradino del disturbo
5. Considerando i sistemi di controllo progettati ai punti 2 e 4, si proceda alla discretizzazione dei regolatori, scegliendo un opportuno tempo di campionamento e un possibile esempio di realizzazione. Si verifichi che il sistema di controllo abbia le prestazioni richieste e si discutano eventuali problematiche introdotte da questa realizzazione.
 6. Si discuta la possibilità di aggiungere un ulteriore controllo per modificare la corrente di eccitazione della macchina in esame evidenziando in che circostanze un controllo di questo tipo sia utile, le problematiche legate a questo controllo e una possibile realizzazione per il caso in esame.
 7. Si consideri per il sistema in esame i sensori che devono essere utilizzati al fine di realizzare il controllo e si descrivano le problematiche legate alla catena di misura, alle possibili non idealità e in che modo queste possano essere tenute in conto nella progettazione del sistema di controllo.

Per eventuali dati mancanti si faccia riferimento alle regole di buona progettazione.

POLITECNICO DI MILANO
Esame di Stato per l'Abilitazione alla Professione di:
INGEGNERE INDUSTRIALE
Il sessione 2016 - 01 febbraio 2017

III Commissione - Settore Industriale

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 4

Si deve progettare una unità di distillazione e rettifica per il frazionamento di una miscela benzene-clorobenzene. La miscela da frazionare è al 40% in massa di benzene. La colonna deve operare a pressione atmosferica e garantire un tenore di 99.5% in massa di benzene in testa e del 99% in massa di clorobenzene in coda. Il rapporto di riflusso è pari a 6 e la miscela è alimentata in colonna in ragione di 1.3 kg/s. La colonna è dotata di ribollitore parziale e condensatore totale.

Al condensatore viene avviata acqua di torre a 18°C, mentre il ribollitore è alimentato con vapore saturo a 140°C.

La miscela da frazione è stoccata a una temperatura pari a 25°C e si prevede un preriscaldamento dell'alimentazione sfruttando il calore sensibile delle correnti uscenti dalla colonna utilizzando due recuperatori di calore in controcorrente in serie.

Adottando un opportuno schema termodinamico, si richiede al candidato di svolgere valutazioni e calcoli al fine di stabilire:

- 1) portate, temperature e composizioni delle correnti uscenti dalla colonna;
- 2) la portata di acqua di torre da mandare al condensatore;
- 3) temperatura dell'alimentazione alla colonna (dopo il secondo recuperatore di calore). In riferimento a tale valutazione si consideri che il ΔT_{\min} nei recuperatori non può essere inferiore a 10°C e che la temperatura di preriscaldamento dell'alimentazione non deve superare la temperatura di bolla. Il candidato inoltre valuti se sia meglio riscaldare la corrente di alimentazione prima con il residuo o prima con il distillato, motivando la scelta.

- 4) La portata di vapore da avviare al ribollitore
- 5) Il fattore entalpico dell'alimentazione
- 6) Numero di stadi teorici necessari
- 7) Valutare le variazioni di prestazioni della colonna per una variazione della composizione di benzene nella portata di alimentazione pari a $\pm 10\%$

APPENDICE

DATI CHIMICO-FISICI

	PM (kg/kmol)	A (-)	B (-)	C (-)	ΔH_{ev} (kcal/kg)	$C_{p,L}$ (kcal/kg/°C)
BENZENE	78.1	15.9008	2788.52	-52.36	94.133	0.463
CLOROBENZENE	112.6	16.0676	3295.12	-55.60	77.575	0.355

Vapore a 140°C: $\Delta H_{ev} = 2154$ kJ/kg

Acqua: $C_{p,L} = 1$ kcal/kg/°C

$$\ln P^{\circ} = A - \frac{B}{T + C}$$

Con P° in (mmHg) e T in (K).

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - FEBBRAIO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

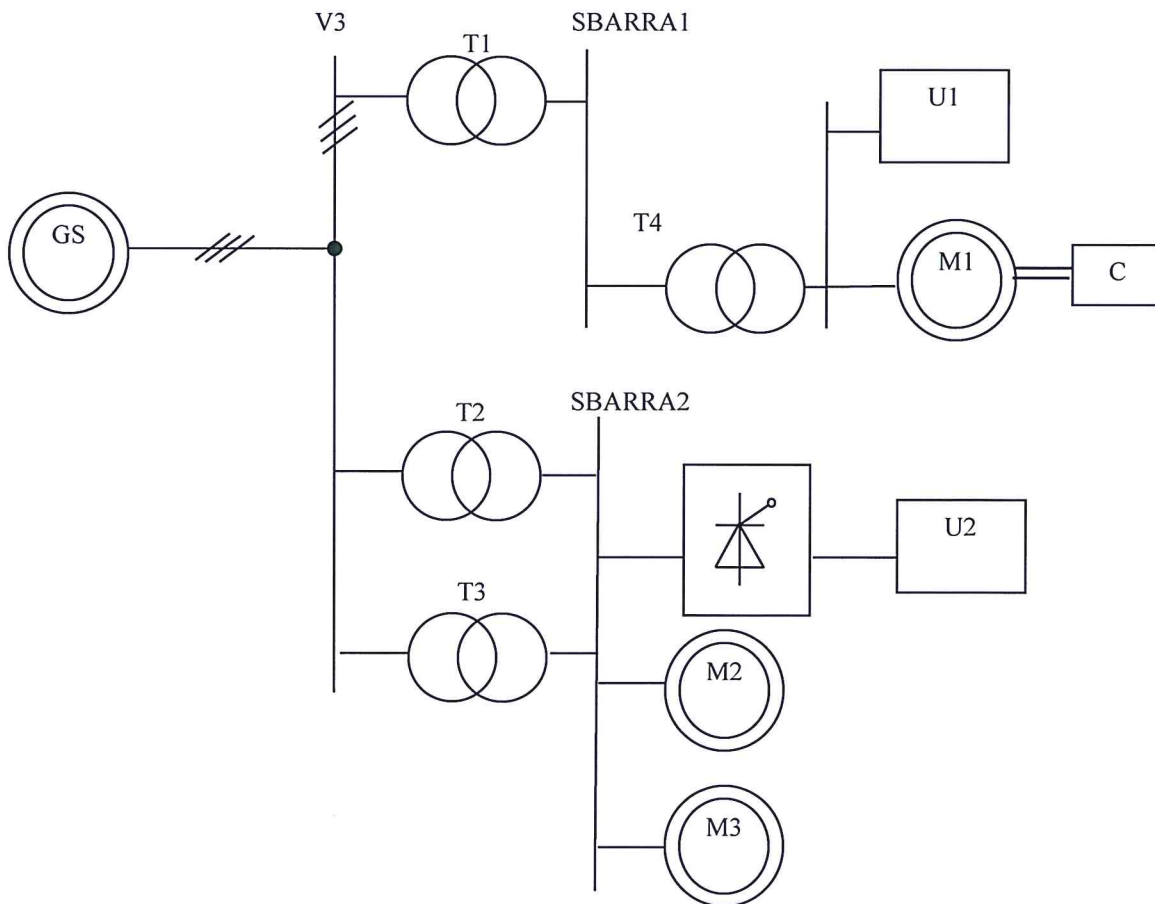
III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 5

L'impianto elettrico di un'attività industriale presenta lo schema rappresentato in figura. Il generatore sincrono (GS) alimenta attraverso un trasformatore T1 la sbarra 1 a cui è collegata, attraverso il trasformatore trifase T4, una linea che alimenta dei carichi trifase U1 e un motore asincrono trifase M1. Di tale motore è noto il profilo del carico meccanico. Al generatore sincrono è inoltre collegata la sbarra 2 che alimenta, attraverso i due trasformatori in parallelo T2 e T3, l'utenza in corrente continua U2 attraverso un ponte di Graetz trifase total controllato, e i motori asincroni M2 e M3. Lo schema generale unifilare semplificato è riportato nella seguente figura. Sono noti i dati riportati nel seguito.



Generatore sincrono GS

potenza nominale $A_n = 250$ kVA

tensione nominale $V_n = 25$ kV

reattanza sincrona percentuale $x_s\% = 160\%$

tensione a vuoto a corrente di eccitazione nominale $V_o = 25$ kV

corrente di eccitazione nominale $I_{eccn} = 60$ A (si consideri una caratteristica di magnetizzazione lineare).

Si trascurino gli attriti e la resistenza storica.

Motore Asincrono M1

Potenza nominale	[kW]	50
Tensione nominale	[kV]	4.5
Numero di poli	:	6
Frequenza nominale	[Hz]	50
Velocità nominale	[giri/min]	980
Collegamento avvolgimenti di statore	:	stella
Rotore a gabbia		
Resistenza di una fase di statore	[Ω]	0.025
<i>Prova a vuoto</i>		
Tensione	[kV]	4.5
Corrente	[A]	3
Potenza assorbita	[W]	350
<i>Prova a rotore bloccato effettuate a corrente nominale</i>		
Tensione di corto circuito percentuale	[%]	20
Corrente	[A]	15
Potenza assorbita	[W]	1000

coppia di carico del motore

$$C_r(s) = 10 + 4 \cdot 10^{-4} (1-s)^2 n_0^2 \text{ [Nm]}$$

dove s è lo scorrimento e n_0 è la velocità di sincronismo in giri/minuto

TRASFORMATORE T2

POTENZA NOMINALE	[kVA]	60
TENSIONE NOMINALE LATO AT	[kV]	20
TENSIONE NOMINALE LATO BT	[V]	400
FREQUENZA NOMINALE	[Hz]	50
PERDITE A VUOTO PERCENTUALI	[%]	0.5
CORRENTE A VUOTO PERCENTUALE	[%]	2
PERDITE PERCENTUALI NEGLI AVVOLGIMENTI A CORRENTE NOMINALE	[%]	2.5
TENSIONE DI CORTO CIRCUITO PERCENTUALE	[%]	5
GRUPPO E INDICE ORARIO	Dy11	

TRASFORMATORE T3

POTENZA NOMINALE	[kVA]	40
TENSIONE NOMINALE LATO AT	[kV]	20
TENSIONE NOMINALE LATO BT	[V]	400
FREQUENZA NOMINALE	[Hz]	50
PERDITE A VUOTO PERCENTUALI	[%]	0.6
CORRENTE A VUOTO PERCENTUALE	[%]	2

PERDITE PERCENTUALI NEGLI AVVOLGIMENTI A CORRENTE NOMINALE	[%]	3
TENSIONE DI CORTO CIRCUITO PERCENTUALE GRUPPO E INDICE ORARIO	[%] Dy11	5

TRASFORMATORE T4

POTENZA NOMINALE	[kVA]	100
TENSIONE NOMINALE LATO AT	[kV]	10
TENSIONE NOMINALE LATO BT	[kV]	5
FREQUENZA NOMINALE	[Hz]	50
PERDITE A VUOTO PERCENTUALI	[%]	0.5
CORRENTE A VUOTO PERCENTUALE	[%]	1.5
PERDITE PERCENTUALI NEGLI AVVOLGIMENTI A CORRENTE NOMINALE	[%]	2
TENSIONE DI CORTO CIRCUITO PERCENTUALE GRUPPO E INDICE ORARIO	[%] Dy11	6

Carico trifase U1

CORRENTE NOMINALE $I_N = 4$ A
FATTORE DI POTENZA NOMINALE $\cos\phi_N = 0.8$

Carico in corrente continua U2

POTENZA NOMINALE $P_N = 30$ kW

Motori asincroni trifase M2 e M3

POTENZA NOMINALE $P_N = 20$ kW
Rendimento nominale 0.96
Fattore di potenza nominale 0.8

Si richiede al candidato di rispondere ai seguenti quesiti

- Determinare i principali parametri dei tre trasformatori T2-T4.
- Determinare la tensione V_3 ipotizzando nell'ipotesi in cui la tensione di SBARRA 2 sia pari a 380 V, l'angolo di ritardo del ponte total controllato sia pari a 30 gradi, il carico U2 assorba la potenza nominale e i motori M2 e M3 assorbano la potenza nominale (con fattore di potenza nominale).
- Considerando lineare la caratteristica di coppia del motore asincrono M1 (tra il valore della coppia nominale e il punto di funzionamento a vuoto) determinare la corrente assorbita dal motore M1 in regime permanente ipotizzando il motore alimentato con la tensione di nominale
- Determinare la tensione di sbarra 1 nell'ipotesi in cui il carico trifase U1 assorba la potenza nominale.
- Determinare i principali dati di dimensionamento del trasformatore T1
- Determinare la corrente erogata dal generatore e la corrente di eccitazione nell'ipotesi di caratteristica di magnetizzazione lineare.

Il candidato giustifichi le eventuali ipotesi e approssimazioni assunte nel corso dei calcoli.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - FEBBRAIO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 6

LA AIRBOEING OPERA DA ANNI NELL'INDUSTRIA AEROSPAZIALE IN QUALITÀ DI PRODUTTORE CONSOLIDATO DI COMPONENTI PER MOTORI DI AEROMOBILI.

A FRONTE DELLE RECENTI RICHIESTE DA PARTE DEI GRANDI CLIENTI STATUNITENSIS ED EUROPEI DI NUOVE SOLUZIONI PER RINNOVARE LE PROPRIE FLOTTE COMMERCIALI (ATTUALMENTE DOTATE DI MOTORI A TURBINA TURBOX), DAL 2010 AL 2015 LA AIRBOEING HA INVESTITO IN RICERCA E SVILUPPO OLTRE 80 MILIONI DI \$ ANNUI, ARRIVANDO A REALIZZARE ALCUNI PROTOTIPI DI TURBINE:

- TURBOY;
- TURBOZ.

UNO STUDIO COMMISSIONATO DALLA AIRBOEING ALLA AMERICAN AND INTERNATIONAL AEROSPACE ASSOCIATION (AIAA) NEL GENNAIO 2016, CONCLUSOSI NEL SETTEMBRE DELLO STESSO ANNO E COSTATO 350.000 \$, HA CONSENTITO DI TESTARE LE PERFORMANCE DI ENTRAMBE LE TURBINE, SANCENDO L'OPPORTUNITÀ DI SELEZIONARE IL MODELLO TURBOY PER LA PRODUZIONE SU LARGA SCALA; NELL'OTTOBRE 2016 I PROTOTIPI DI TURBOZ VENGONO COMUNQUE VENDUTI AD ALTRI ATTORI DEL MERCATO PER UN RICAVO TOTALE DI 12 MILIONI \$.

CONSIDERANDO I SIGNIFICATIVI COSTI CAPITALIZZATI, AIRBOEING E' CONSAPEVOLE CHE LA VENDITA DELLE NUOVE TURBINE TURBOY POTRA' ESSERE CONTRATTUALIZZATA ALMENO PER UN ORIZZONTE TEMPORALE DI 10 ANNI.

DAL SESTO ANNO (2022) IN AVANTI, TUTTAVIA, NON ESISTERA' CERTEZZA SUL QUANTITATIVO EFFETTIVO DI TURBINE TURBOY RICHIESTE DAI CLIENTI: SARA' PERTANTO NECESSARIO ASSOCIARE UNA PROBABILITA' DI ACCADIMENTO (% IN TABELLA 1) AGLI STATI DI NATURA OTTIMISTICO E PESSIMISTICO LEGATI A DIVERSI QUANTITATIVI ORDINATI.

TABELLA 1

ANNO	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
NO. TURBOY	30	40	60	70	85	90	110	120	125	130
VENDUTI						(70%)	(70%)	(80%)	(84%)	(91%)
						<u>105</u>	<u>125</u>	<u>140</u>	<u>143</u>	<u>150</u>
						(30%)	(30%)	(20%)	(16%)	(9%)
NO. TURBOX	70	65	60	54	45	30	28	25	20	20
VENDUTI										

L'ANDAMENTO PREVISTO DELLE VENDITE PER LE DUE TIPOLOGIE DI TURBINE NEL PERIODO 2017-2026 È RIPORTATO NELLA TABELLA 1.

TALE PREVISIONE DI MERCATO, EFFETTUATA SEMPRE DALLA AIAA NEL NOVEMBRE 2016, HA UN COSTO DI 100.000 (DA CONSIDERARSI COSTO DI PERIODO): PER PATTUIZIONE CONTRATTUALE, LA AIAA HA PROPOSTO ALLA AIRBOEING LA SOLUZIONE FLESSIBILE DI CORRISPONDERE IL 50% DEL COSTO ENTRO DICEMBRE 2016, E IL RESTANTE 50% ENTRO L'ANNO 2017, SE E SOLO SE AIRBOEING OPTERÀ

PER EFFETTUARE EFFETTIVAMENTE L'INVESTIMENTO LEGATO AL NUOVO PRODOTTO TURBOY.

NEL CASO DI INTRODUZIONE DEL NUOVO PRODOTTO, LA PRODUZIONE DI TURBOY ANDREBBE A SOSTITUIRE GRADUALMENTE LA PRODUZIONE DI TURBOX: NEL 2017 E 2018, VERREBBE COMUNQUE REALIZZATO E VENDUTO IL 50% DELLA DOMANDA ATTESA DI TURBOX RIPORTATA NELLA TABELLA PRECEDENTE (LA DOMANDA DI TURBOY VERREBBE COMUNQUE RISPETTATA INTERAMENTE); NEL PERIODO 2019-2022, SI PRODURREBBE IL 30% DELLA DOMANDA ATTESA DI TURBOX; MENTRE DAL 2023 LA PRODUZIONE DI TURBOX SAREBBE INVECE DEFINITIVAMENTE CESSATA.

LA MESSA IN PRODUZIONE DI TURBOY RICHIEDEREBBE UN SPESA CAPITALIZZATA, DA EFFETTUARSI NEL 2017, DI AMPLIAMENTO DELL'IMPIANTO PREESISTENTE; L'INVESTIMENTO IN AMPLIAMENTO AVREBBE UN COSTO DI 95 MILIONI DI \$ (AMMORTIZZABILI A QUOTE LINEARI COSTANTI SU UN ORIZZONTE DI 12 ANNI A PARTIRE DAL 2017). L'IMPIANTO PREESISTENTE RISULTA COMPLETAMENTE AMMORTIZZATO.

È NOTO INOLTRE CHE:

- IL PREZZO DI VENDITA DELLA TURBINA TURBOX È PARI A 1 MILIONE DI \$, MENTRE IL PREZZO DI VENDITA DELLA TURBINA TURBOY È PARI A 2 MILIONI DI \$;
- I COSTI DI PRODUZIONE DELLA TURBINA TURBOX E TURBOY SONO PARI RISPETTIVAMENTE AL 50% E AL 70% DEI RISPETTIVI PREZZI DI VENDITA;
- NELL'ORIZZONTE CONSIDERATO, L'OPERATIVITÀ DELL'IMPIANTO AMPLIATO SAREBBE GARANTITA DAI 14 OPERATORI SPECIALIZZATI (STIPENDIO ANNUO 80.000 \$), 5 DEI QUALI OPERAVANO SULL'IMPIANTO PREESISTENTE;
- LA AIRBOEING PREVEDE DI SOSTENERE SPESE DIFFERENZIALI DI MARKETING E VENDITA (E.G. PARTECIPAZIONE A FIERE, SPESE COMMERCIALI,

DISTRIBUZIONE) PARI A 5 MILIONI \$ NEL 2017, 7 MILIONI \$ NEL 2018 E 10 MILIONI \$ DAL 2019 IN AVANTI;

- GLI INVESTIMENTI POTRANNO ESSERE CEDUTI PER 15 MILIONI DI \$ ALLA FINE DEL 2026 (SI CONSIDERI PERTANTO LA QUOTA AMMORTAMENTI PER TALE ANNO);
- LA AIRBOEING FINANZIERÀ IL 40% DELL'INVESTIMENTO CON CAPITALE DI DEBITO, PROVENIENTE DA: UN DEBITO DI BREVE TERMINE CON UN TASSO DEL 7% E IN SCADENZA NEL CORSO DEL 2017; E UN DEBITO DI LUNGO TERMINE CON UN TASSO DEL 9% E IN SCADENZA NEL 2025;
- NEL CORSO DELL'ORIZZONTE TEMPORALE CONSIDERATO, L'IMPRESA MANTERRÀ UN UTILE AMPIAMENTE POSITIVO;
- IL ROE (RETURN ON EQUITY) CARATTERIZZANTE LA AIRBOEING NEL 2016 E' PARI AL 10%;
- L'ALIQUOTA FISCALE RIMARRÀ PARI AL 40% LUNGO TUTTO L'ORIZZONTE DI RIFERIMENTO CONSIDERATO.

DOMANDA 1

VALUTARE L'ALTERNATIVE DI INVESTIMENTO (TENENDO IN CONSIDERAZIONE I DIVERSI IMPATTI DELLO SCENARIO TIMISTICO E PESSIMISTICO DI VENDITE DAL 2022 IN AVANTI) 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'ALTERNATIVE DI INVESTIOTMENTO (TENENDO IN CONSIDERAZIONE I DIVERSI IMPATTI DELLO SCENARIO TIMISTICO E PESSIMISTICO DI VENDITE DAL 2022 IN AVANTI) 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'ALTERNATIVE DI INVESTIMENTO (TENENDO IN CONSIDERAZIONE I DIVERSI IMPATTI DELLO SCENARIO OTTIMISTICO E PESSIMISTICO DI VENDITE DAL 2022 IN AVANTI) 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'ALTERNATIVE DI INVESTIMENTO (TENENDO IN CONSIDERAZIONE I DIVERSI IMPATTI DELLO SCENARIO OTTIMISTICO E PESSIMISTICO DI VENDITE DAL 2022 IN AVANTI) 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 2016 - FEBBRAIO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

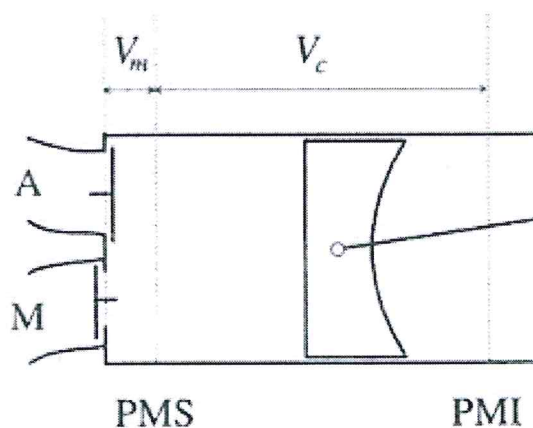
TEMA N. 7

Si richiede il dimensionamento di massima di un compressore volumetrico alternativo tri-stadio per produzione di aria compressa secondo le specifiche elencate nel seguito:

- pressione alla mandata: 70 bar
- pressione all'aspirazione: 1 bar
- temperatura all'aspirazione: 20°C
- portata all'aspirazione: 55 m³/h
- rendimento meccanico del compressore: 78%
- accoppiamento con motore elettrico a 1500 rpm

Assumendo un coefficiente di spazio morto (V_m/V_c) del 7% e una velocità media dello stantuffo non superiore a 5 m/s, si richiede in particolare:

- pressione e temperatura all'ingresso del secondo e del terzo stadio e temperatura in uscita dal terzo stadio
- la potenza termica da smaltire
- la potenza totale assorbita dal compressore
- corsa e diametro dei tre stantuffi
- il diagramma p-V per almeno uno stadio di compressione



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 1 FEBBRAIO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

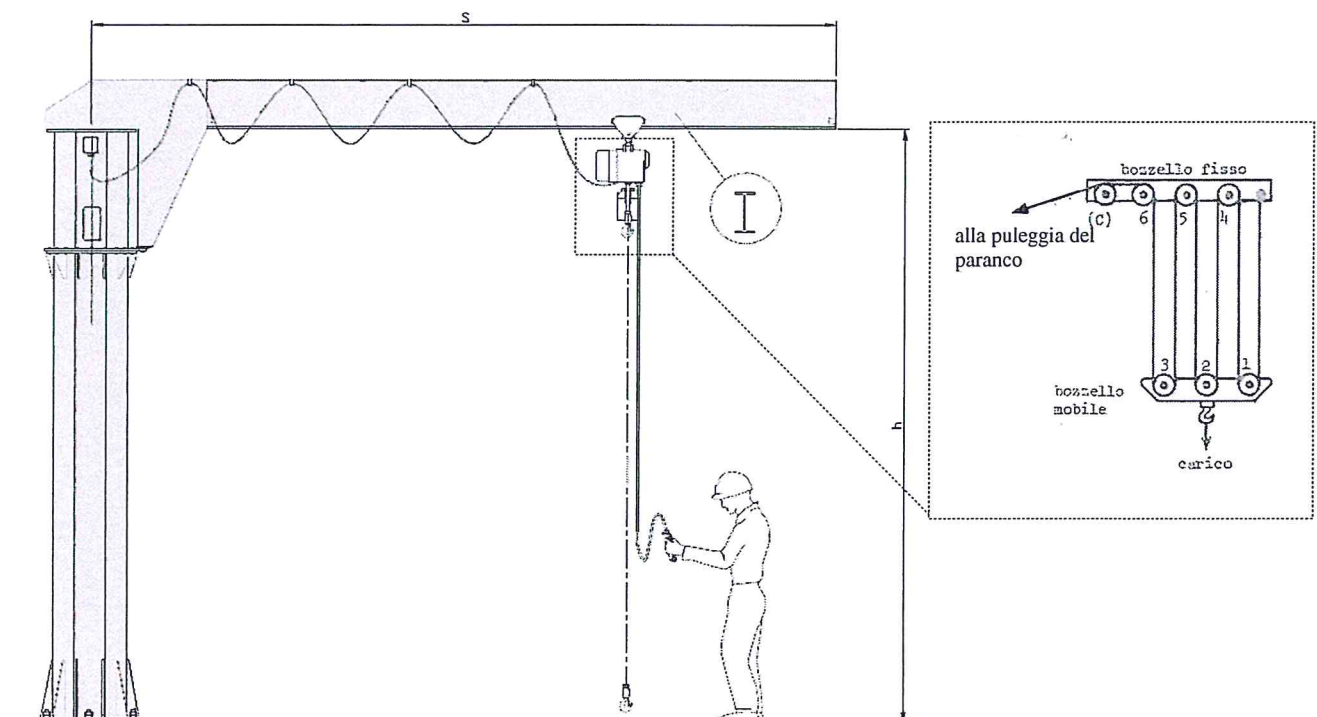
SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 8

In figura è riportato il layout di una gru a bandiera manuale. In questa macchina, il braccio orizzontale è in grado di ruotare intorno alla propria struttura verticale ed il paranco può scorrere liberamente lungo la traversa realizzata con un profilato a I.

Il paranco è il solo elemento azionato da un motore elettrico. Quest'ultimo, tramite una trasmissione, è collegato ad una puleggia sulla quale si avvolge una fune inestensibile. Essa è successivamente impegnata in un meccanismo a taglia (riquadro a destra) costituito da due bozzelli, uno fisso solidale al paranco ed uno mobile solidale al carico da trasportare, su ciascuno dei quali sono montate delle pulegge di eguale diametro. Tale meccanismo ha l'evidente scopo di ridurre sensibilmente la tensione della fune.



Si consideri una macchina in grado di sollevare un carico fino a 2000 kg, con uno sbraccio $s=6\text{m}$ ad un'altezza $h=3\text{m}$. Il candidato discuta il progetto di tale sistema evidenziando in particolare:

- Il dimensionamento strutturale del braccio orizzontale e della colonna verticale

- Il dimensionamento del gruppo motoriduttore utilizzato per azionare il paranco
- Il dimensionamento della taglia e del cavo del paranco
- Il disegno tecnico su carta millimetrata del bozzello mobile

Il candidato ha facoltà di scegliere liberamente, pur commentandoli adeguatamente, tutti i dati di progetto non riportati.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 - 1 FEBBRAIO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 9

Si consideri uno scambiatore di calore ceramico costituito da elementi in allumina porosa, che presentino elevata area superficiale.

Dati sperimentali mostrano che la variazione relativa di area superficiale può essere espressa con la relazione:

$$(\Delta S/S_0)^{7/2} = A(D_s/RT)t$$

dove ΔS e S_0 sono la variazione ed il valore iniziale dell'area superficiale, A è un fattore di proporzionalità, D_s è il coefficiente di diffusione di superficie, R è la costante dei gas, T è la temperatura assoluta e t è il tempo.

- 1) Assumendo che l'area superficiale del materiale diminuisca del 32% dopo 100 ore a 800 °C e che l'energia di attivazione della diffusione di superficie sia 530 kJ/mole, si valuti il tempo massimo di esposizione a 700 °C affinché la riduzione di area superficiale non superi il 10% del valore iniziale.
- 2) Si stimi il valore dell'area superficiale per unità di massa di un elemento in allumina costituito da particelle sferiche con diametro di 0,4 μm , ciascuna delle quali mediamente sia a contatto con altre 6 particelle, formando colli aventi diametro di 0,1 μm . La densità dell'allumina sia $3,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.
- 3) Si descriva un metodo di sinterizzazione idoneo alla produzione degli elementi dello scambiatore di calore.
- 4) Si spieghi in quali atmosfere lo scambiatore di calore può essere impiegato senza rischio di degrado.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2016 FEBBRAIO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

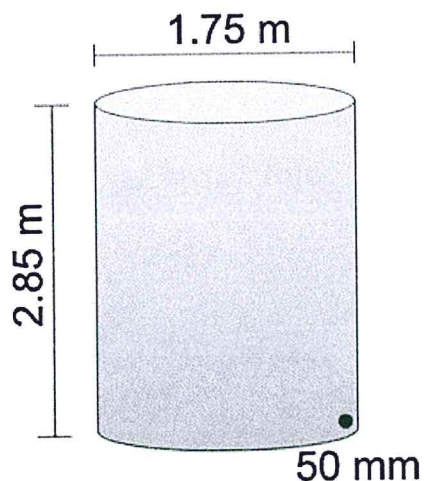
III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 10

Si consideri un serbatoio di ammoniaca liquida (altezza 2.85 m e diametro 1.75 m) mantenuto a pressione di 11 barg. Un impatto accidentale provoca in foro frastagliato con diametro equivalente di 50 mm, alla base del serbatoio. Il serbatoio si trova all'interno di un capannone di dimensioni 30m x 30m x 15m e la temperatura dell'aria è pari a $T=30^{\circ}\text{C}$.



- Densità ammoniaca = 594.5 kg/m^3
- Temperatura ebollizione ammoniaca = 240 K

T [K]	Cp [J/Kg/K]	ΔH_{ev} [cal/mol]
240.00	4474.443	5572.285
250.50	4479.539	5443.946
261.00	4494.708	5307.628
271.50	4524.671	5162.519
282.00	4573.655	5007.437
292.50	4645.708	4841.243
303.00	4745.127	4662.349

Considerando che all'inizio dell'impatto il serbatoio fosse pieno, si calcolino:

- **La portata scaricata, considerando efflusso liquido**
- **Una volta uscita dal serbatoio, l'ammoniaca subisce un flash. Calcolare la frazione di flash.**

Dei contenitori posti nelle vicinanze del serbatoio fanno sì che l'ammoniaca liquida fuoriuscita formi una pozza di 86.5 m². **Si calcoli la portata evaporante dalla pozza.**

Viene attivato un impianto di ventilazione di emergenza, con una portata pari a 7 ricambi ora. Questa corrente, addizionata della portata evaporante di ammoniaca, viene mandata ad un assorbitore. **Si calcoli la portata di liquido di assorbimento** necessaria a garantire una rimozione del 50% del contenuto di ammoniaca.

- Temperatura media dell'assorbitore = 30°C
- Pressione nell'assorbitore = 1 atm
- Liquido di assorbimento = acqua
- Quantità di acqua = 30% superiore a quella minima necessaria

Pressione parziale di NH ₃ [mm Hg]	Solubilità (1 atm, 30°C) [g NH ₃ /100 g H ₂ O]
719	40
454	30
352	25
260	20
179	15
110	10
79.7	7.5
51	5
40.1	4
29.6	3
19.3	2

La corrente gassosa in uscita dall'assorbitore viene poi convogliata in un camino. A 250m dal camino è presente un asilo, per cui si vuole che la concentrazione a terra in quel punto sia inferiore all'ERPG-1. **Si calcoli l'altezza minima del camino che soddisfa questa condizione.**

- Classe atmosferica = Stabile
- Velocità vento = 5 m/s
- ERPG-1 = 25 ppm

Parametri	Classi di stabilità			
	A	B	D	F
a	0,40	0,36	0,32	0,31
b	0,91	0,86	0,78	0,71
c	0,41	0,33	0,22	0,06
d	0,91	0,86	0,78	0,71