ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA SCRITTA
(PROVA DI SETTORE)

TEMA N. 1

La tematica della sicurezza è da tempo un aspetto molto importante nella attività professionale di ogni ingegnere. Si considerino i diversi ambiti in cui le problematiche di sicurezza debbono essere affrontate e attentamente considerate:

- Sicurezza del lavoro e delle persone
- Sicurezza dei processi industriali e dei prodotti che ne risultano
- Sicurezza dei dati e delle informazioni
- Sicurezza delle infrastrutture
- .....

Facendo anche riferimento al complesso panorama di norme tecniche e disposizioni di legge al riguardo, il candidato esprima le proprie considerazioni sul ruolo che può e deve svolgere l'ingegnere come parte attiva e promotrice della cultura della sicurezza e del rafforzamento della sensibilità e attenzione a questo importante tema.
In particolare, il candidato scelga e sviluppi un aspetto della sicurezza tra quelli sopra indicati, o uno di propria conoscenza, in forma di relazione tecnica articolata, facendo riferimento ad esempi concreti e quantitativi.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA SCRITTA
(PROVA DI SETTORE)

TEMA N. 2

L'automazione avrà un ruolo molto importante nell'innovazione industriale. Certamente nell'industria del futuro, grazie alla diffusione sempre più ampia dell'"intelligenza artificiale", le macchine compiranno un'enorme quantità di operazioni che attualmente competono all'uomo. Di conseguenza, è indubbio che nell'organizzazione della fabbrica il problema occupazionale avrà una posizione di primo piano. Esperti di gestione aziendale, sociologi, sindacalisti già se ne stanno occupando. Il problema sarà globale.

Il candidato immagini, dal punto di vista ingegneristico/organizzativo, la situazione che in un futuro abbastanza prossimo verrà a crearsi e proponga alcuni accorgimenti che ritiene opportuni per affrontare questa sfida.

Il candidato risponda ai quesiti in forma di relazione tecnica articolata, facendo riferimento, ove possibile, ad esempi concreti e quantitativi.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 1

Il candidato individui, a sua scelta, uno scenario di sperimentazione in laboratorio nel contesto aeronautico o spaziale; ne definisca scopo e obiettivi e ne evidenzi le criticità realizzative.

Presenti una possibile architettura hardware e software atta a rispondere agli scopi evidenziati motivando le scelte progettuali proposte e discuta limiti ed efficacia della soluzione presentata.

Suggerisca un possibile piano di campagna sperimentale che comprenda la fase di calibrazione dell'impianto e del sistema di sensori prescelti, l'acquisizione delle misure desiderate per finalizzare l'esperimento, il processo di elaborazione dei dati sperimentali.

Introduca il concetto e le tipologie di errore e proponga possibili contromisure per gestire e trattare gli errori di misura nel contesto dell'esperimento proposto.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 2

Il candidato illustri il possibile impiego di strumenti modellistici (analisi agli elementi finiti, fluidodinamica computazionale, chimica computazionale) nell'ambito della bioingegneria.

Dopo un'introduzione generale, il candidato descriva dettagliatamente due ambiti specifici in cui questi strumenti risultano applicabili.

Il particolare, si chiede di porre attenzione su come queste metodologie possano essere uno strumento di supporto all'approccio sperimentale.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 3

I sistemi di controllo sono diventati sempre più importanti nel mondo industriale, ma le architetture di controllo dominanti prevedono ancora l'utilizzo di controllori PID. Il candidato illustri facendo riferimento eventualmente ad un esempio pratico cosa si intende per regolatori di questo tipo e si illustrino i metodi di taratura possibili per questi tipi di regolatore. Si sottolineino inoltre i problemi che possono nascere in sistemi di controllo che presentano i regolatori PID e le modalità che possono essere utilizzate per risolverli (anti wind-up, problemi di digitalizzazione, ecc

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 4

Il candidato illustri la procedura di progettazione e realizzazione di una colonna di distillazione e rettifica.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 5

I convertitori elettronici di potenza rivestono un ruolo di notevole importanza nelle applicazioni industriali. Il candidato illustri topologie, funzionamento e ambiti applicativi di un convertitore elettronico di potenza a sua scelta.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
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 PRODUZIONE JOB SHOP:

1. SI ILLUSTRINO E MODELLIZZINO LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL SISTEMA;
2. SI EVIDENZINO I PRINCIPALI PUNTI DI FORZA E DI DEBOLEZZA DEL SISTEMA (ANCHE COMPARATIVAMENTE A SISTEMI DI PRODUZIONE ALTERNATIVI);
3. SI DESCRIVA E DISCUTA IL MODELLO DI DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA JOB SHOP, IN TERMINI DI OBIETTIVI, PROCESSO E VINCOLI.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 7

Nell'ambito degli impianti solari per la produzione di energia termica, il candidato:

1) descriva i principi di funzionamento, le prestazioni e la caratteristiche costruttive di collettori solari per impianti a bassa temperatura per la produzione di acqua calda sanitaria;
2) illustri con uno schema di impianto l'accoppiamento con l'utenza, gli eventuali sistemi di accumulo e ausiliari;
3) descriva i principali metodi di dimensionamento per il calcolo della superficie dei collettori.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 8

IL PIANO NAZIONALE IMPRESA 4.0 (GIA' INDUSTRIA 4.0) È L'OCCASIONE PER TUTTE LE AZIENDE CHE VOGLIONO COGLIERE LE OPPORTUNITÀ LEGATE ALLA QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE.

IL CANDIDATO DISCUTA, CON RIFERIMENTO A QUESTO CONTESTO DI FERMENTO TECNOLOGICO, QUALI SIANO LE PROSPETTIVE E LE SFIDE PER UN INGEGNERE MECCANICO.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA

(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 9

L'incremento della resistenza agli sforzi di un materiale metallico consente, in linea di principio, di ridurre la massa di un componente strutturale con potenziale risparmio di risorse.
Si descrivano i principali metodi di rafforzamento dei materiali metallici, spiegando quali sono gli effetti sulle proprietà meccaniche rilevanti per la progettazione del componente.
Si dica quali controlli possono essere effettuati per verificare l'adeguatezza del trattamento eseguito.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 15 NOVEMBRE 2018
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 10

"Definire i DPI, i loro requisiti e le categorie in cui vengono suddivisi. Descrivere poi i DPI atti alla protezione delle vie respiratorie."

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 1

Un velivolo bimotore con turboreattori in coda è dotato d'impianto combustibile con due serbatoi alari. Si assumano i seguenti dati:

• Portata massima combustibile per motore	Q_{max} =2000 kg/h
• Densità combustibile	ρ =780 kg/m^3
• Pressione minima al motore	p_{min} =0,08 MPa
• Pressione massima al motore	p_{max} =0,22 MPa

• Distanza serbatoi motori	20m
• Coefficiente perdite distribuite	λ=0,03
• Percentuale di perdite concentrare rispetto a perdite distribuite	25%

Si determini una pompa idonea ad assicurare i valori prescritti in condizioni normali e in condizioni di emergenza con alimentazione dei due motori da un unico serbatoio, nei due casi di linea di cross-feed in prossimità dei serbatori e in prossimità dei motori.
Si assuma che la curva caratteristica della pompa sia rappresentabile con forma parabolica e che tale curva presenti pressione massima in corrispondenza del 10% della portata massima, mentre presenti pressione nulla in corrispondenza del valore di portata massima.
Il candidato assuma e giustifichi opportunamente i dati necessari alla risoluzione e non forniti.

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 generazione, accumulo, distribuzione e controllo di potenza elettrica e ne esegua il dimensionamento e ne rappresenti l'architettura scelta.
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 della piattaforma (SAR escluso)	850W
• Richiesta di potenza del SAR	1 kW
• Inviluppo geometrico del corpo centrale	1,2x1,2x1 m
• Vita operativa	4 y
• Datarate	660 Mbps (SAR) 1 Mbps (TM)

Il candidato assuma e giustifichi opportunamente i dati necessari alla risoluzione e non forniti

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 2

L'intervento di chirurgia dei dischi intervertebrali cerca di risolvere alcune delle sue espressioni patologiche, quali ernia discale, instabilità articolare, stenosi del canale vertebrale. I trattamenti chirurgici associati a tali patologie sono differenti.

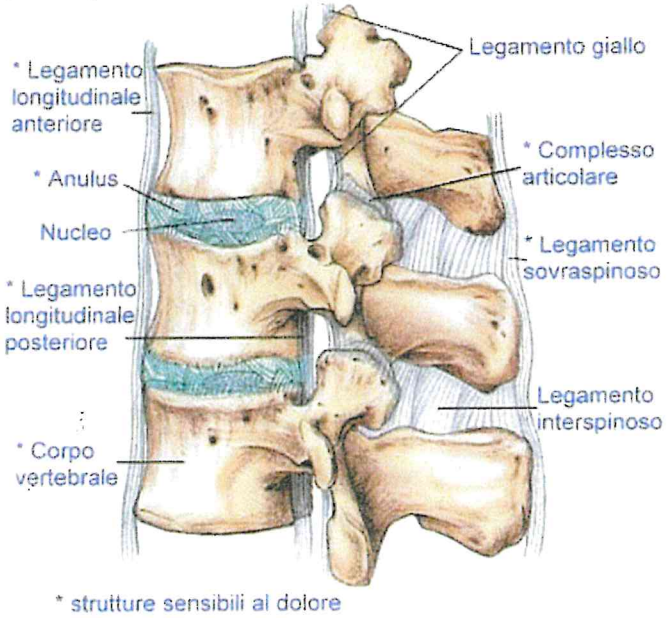


Figura 1. *struttura anatomica di tre vertebre e dei legamenti presenti [www.ausl.vda.it]*

Parte 1

1. Si calcolino le sollecitazioni a cui è soggetto un disco intervertebrale naturale, tenendo conto di un solo legamento interspinoso, eseguendo l'analisi cinematica, il calcolo delle azioni interne e il calcolo degli sforzi nel disco.
2. Si calcolino le sollecitazioni, come al punto 1, in assenza del legamento interspinoso.
3. Si esegua un confronto critico tra i risultati ottenuti al punto 1 e quelli ottenuti al punto 2.

Parte 2

1. Si espongano i possibili approcci attualmente utilizzati negli interventi di chirurgia spinale, descrivendo le principali protesi impiegate per la ricostruzione del disco intervertebrale.
2. Si illustrino i materiali impiegati per la realizzazione delle protesi discali attualmente impiegate in ambito clinico.

Parte 3

1. Si calcolino le sollecitazioni a cui è soggetta la protesi discale (specificando tutte le motivazioni che hanno portato il candidato alla scelta di una determinata tipologia di protesi), eseguendo l'analisi cinematica, il calcolo delle azioni interne e degli sforzi nel disco.
2. Si commentino i risultati ottenuti.
3. Si illustrino quali sono le possibili problematiche correlate all'impiego di una protesi discale e si descrivano quali sono/potrebbero essere i possibili sviluppi di ricerca in questo settore.

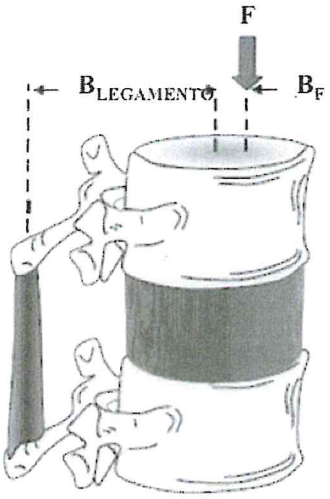


Figura 2. *Sistema costituito da due vertebre adiacenti, separate da un disco intervertebrale e vincolate tra loro da un solo legamento interspinoso*

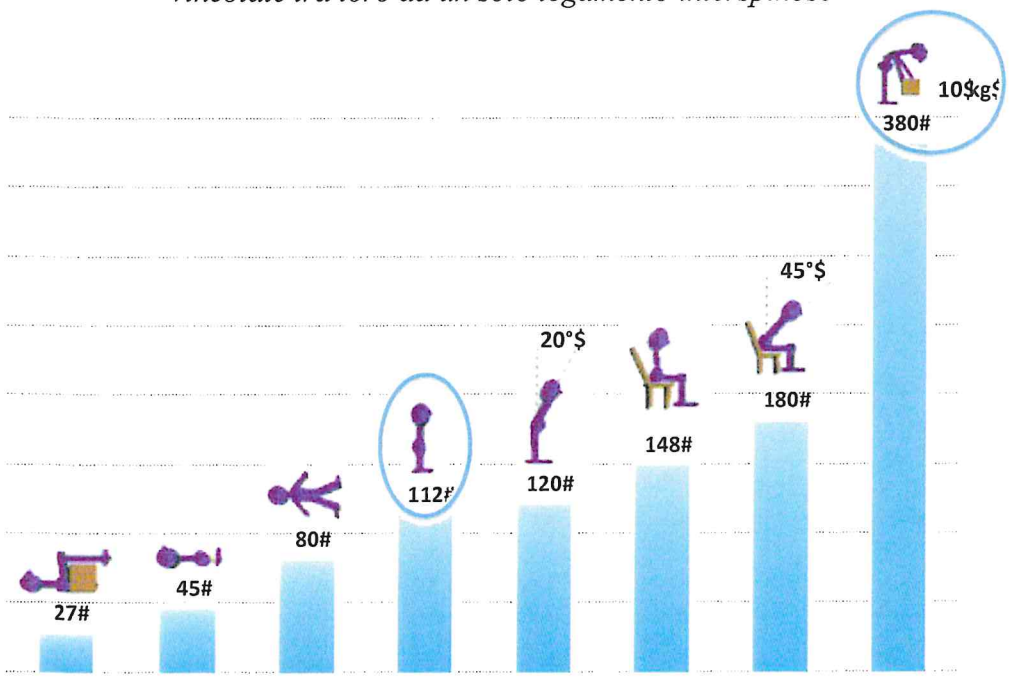


Figura 3. *Carichi agenti sul disco vertebrale in funzione dell'azione dell'individuo e dalla postura dell'individuo*

Tabella 1. *Valori delle grandezze geometriche e dei moduli elastici del legamento interspinoso e del disco intervertebrale*

$b_{legamento}$	4.0 cm
$R_{legamento}$	0.2 cm
$L_{legamento}$	1.0 cm
$E_{legamento}$	30 MPa
R_{disco}	1.0 cm
E_{disco}	6 MPa
F	vedi fig.3
b_{forza}	0.5 cm

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

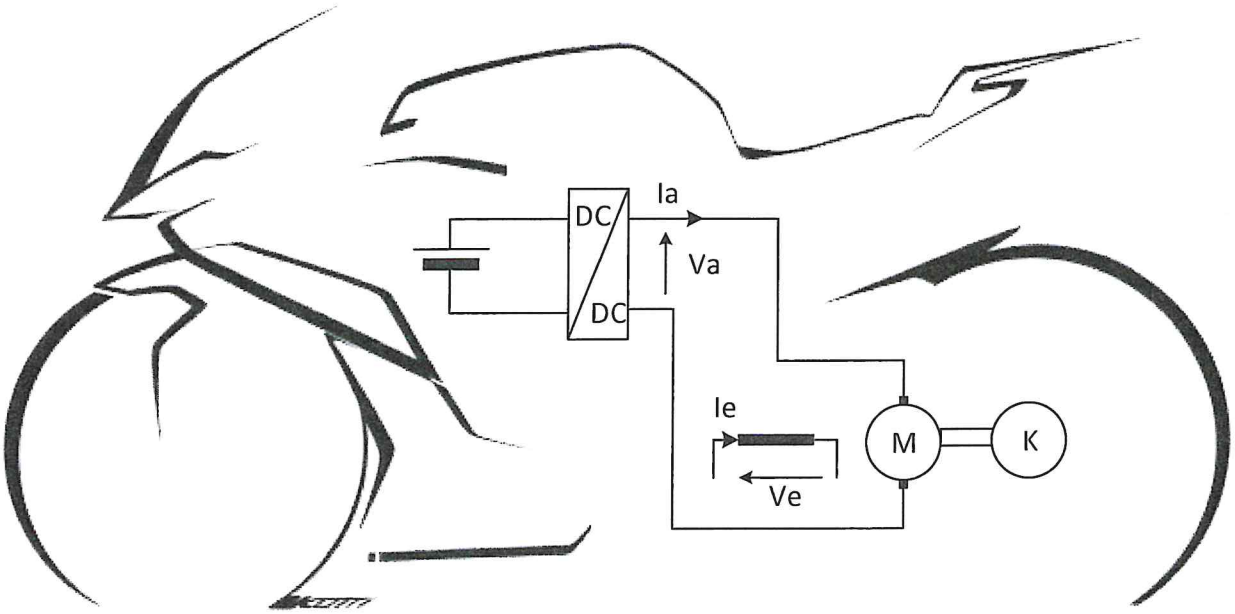
III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 3

Una motocicletta elettrica è costituita dal sistema indicato in Figura ed è mossa attraverso un opportuno riduttore K da un motore elettrico in corrente continua ad eccitazione separata alimentato tramite un convertitore DC/DC innalzatore.



I dati del sistema sono:

Convertitore in ingresso

Vin = 100 V	Tensione di batteria al litio
fsw = 10 kHz	Frequenza di commutazione

Motore DC

Vn = 400 V	Tensione nominale di armatura
Pn =55 kW	Potenza nominale
Ωn = 2000 rpm	Velocità nominale
Ra = 0.2 Ω	Resistenza di armatura

La = 5.6 mH	Induttanza di statore e rotore
J = 1.05 kg m^2	Inerzia del rotore
Ven = 200 V	Tensione nominale di eccitazione
Ien = 1 A	Corrente nominale di eccitazione

Sul circuito di eccitazione è stata effettuata una prova applicando a gradino la tensione di eccitazione nominale ottenendo il risultato riportato in Figura 1.

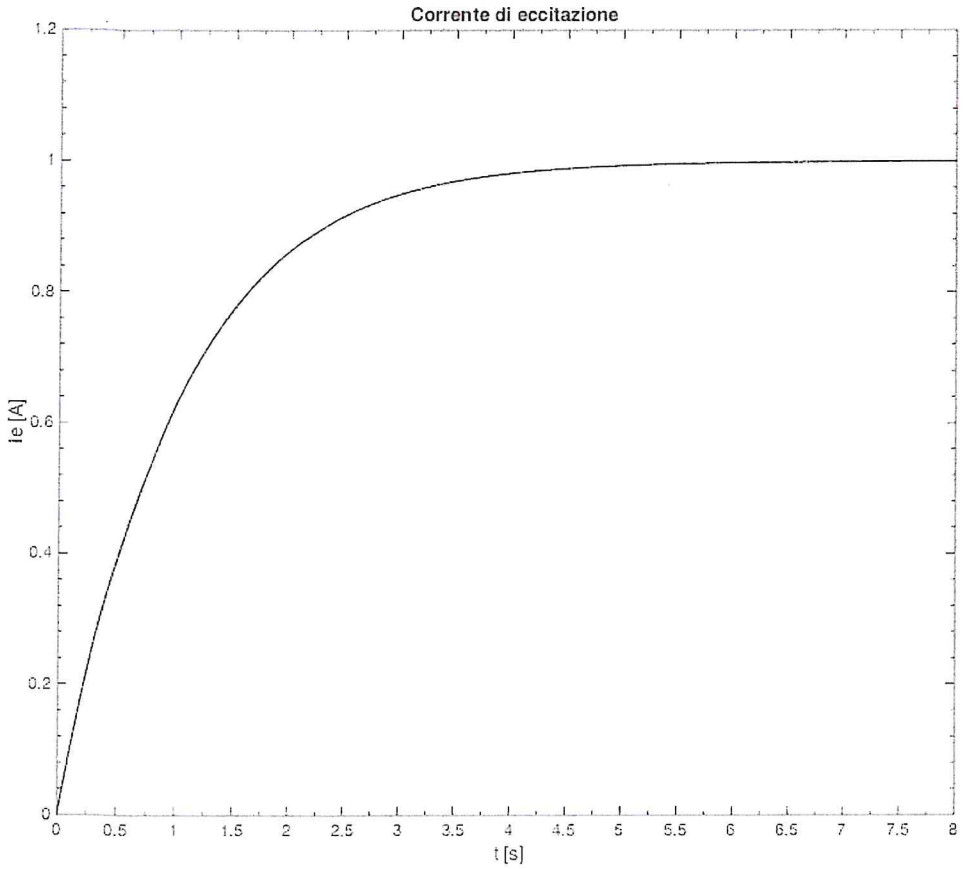


Figura 1. Risultati della prova a gradino sul circuito di eccitazione.

Il veicolo presenta una massa equivalente alla ruota motrice di 250 kg e il motore è accoppiato alla ruota di diametro 50 cm con un opportuno riduttore di rapporto di riduzione K.

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 un disturbo non misurabile. Si tenga conto anche del circuito di eccitazione.

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.

3. Si determini il modello completo del sistema (parte elettrica e parte meccanica) utilizzando come variabile di ingresso la tensione e come variabile di uscita la velocità del motore.

4. Si scelga un opportuno valore di riduzione e si linearizzi il sistema completo attorno al punto di regime corrispondente alla velocità nominale e 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 il controllore del punto 4 e il modello completo del sistema, si può osservare come sia possibile aumentare la velocità oltre il punto di velocità nominale controllando opportunamente il flusso generato dall'avvolgimento di eccitazione in modo che non vengano superati i limiti elettrici della macchina. Si discutano quali sono le caratteristiche che deve avere tale controllo, si ricavi un possibile modello per questo circuito e si progetti un opportuno sistema di controllo discutendo le eventuali interferenze con i controllori progettati in precedenza. Si discuta inoltre la possibilità di eliminare eventualmente il riduttore K.

6. Considerando i sistemi di controllo progettati ai punti 2, 4 e 5 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.

Per eventuali dati mancanti si faccia riferimento alle norme di buona progettazione

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 4

Si deve riscaldare una corrente di processo (1.5 kg/s) costituita da benzene da 20 a 55°C. A tale scopo, si vuole utilizzare una corrente di toluene disponibile a 85°C e che può essere raffreddata fino a 45°C. Il fattore di sporcamento e le perdite di carico massimi ammissibili per entrambi i fluidi sono rispettivamente 1.78×10^{-4} m^2K/W e 0.65 bar.

Per realizzare questo servizio sono disponibili elementi tubolari concentrici, ciascuno della lunghezza di 5.5 m, le cui caratteristiche geometriche sono fornite in appendice.

Sulla base dei dati riportati, il candidato definisca la lunghezza dello scambiatore, determinando il numero di elementi tubolari in serie necessari.

APPENDICE

DATI CHIMICO-FISICI

	PM (kg/kmol)	Densità liquida (kg/m^3)	c_{pL} (kcal/kmol/K)	Teb,normale (°C)
BENZENE	78	880	32.334	80.05
TOLUENE	92	870	40.737	110.65

CORRELAZIONI CHIMICO-FISICHE

Viscosità dei liquidi (viscosità in cP e temperatura in K):

$$\ln \mu_L = A + \frac{B}{T} + C \cdot T + D \cdot T^2$$

	A	B	C	D
BENZENE	4.612	148.9	-2.544×10^{-2}	2.222×10^{-5}
TOLUENE	-5.878	1287	4.575×10^{-3}	-4.499×10^{-6}

Conducibilità termica dei liquidi (conducibilità in W/m/K e temperatura in K):

$$k_L = E + F \cdot T + G \cdot T^2$$

	E	F	G
BENZENE	0.1776	4.773×10^{-6}	-3.781×10^{-7}
TOLUENE	0.2031	-2.254×10^{-4}	-2.47×10^{-8}

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI TUBI

	ID (m)	OD (m)
TUBI INTERNI	0.03505	0.04216
TUBI ESTERNI	0.05250	0.06045

CALCOLO COEFFICIENTI DI SCAMBIO:

lato esterno:

$$Nu = \frac{h_o \cdot D_{eq}}{k_L} = 0.029\,\mathrm{Re}_{D,eq}^{\;0.8}\,\mathrm{Pr}^{1/3}\left(\frac{OD}{ID}\right)^{0.15}$$

lato interno:

$$Nu = \frac{h_i \cdot ID}{k_L} = 0.029\,\mathrm{Re}_i^{\;0.8}\,\mathrm{Pr}^{1/3}$$

fattore di frizione:

$$f = 1.2 \cdot \left(0.048\,\mathrm{Re}^{-0.2}\right)$$

Le perdite di carico concentrate lato anello (sbocchi – imbocchi) sono pari a mezza altezza cinetica per ogni elemento tubolare.

Si noti con attenzione che nel caso dell'anello si deve ricorrere come lunghezza caratteristica al diametro equivalente, definito come quattro volte l'aerea di passaggio diviso il perimetro bagnato. Il perimetro bagnato è in relazione al tipo trasferimento che si sta considerando (e.g., trasferimento di calore, fattore di frizione).

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

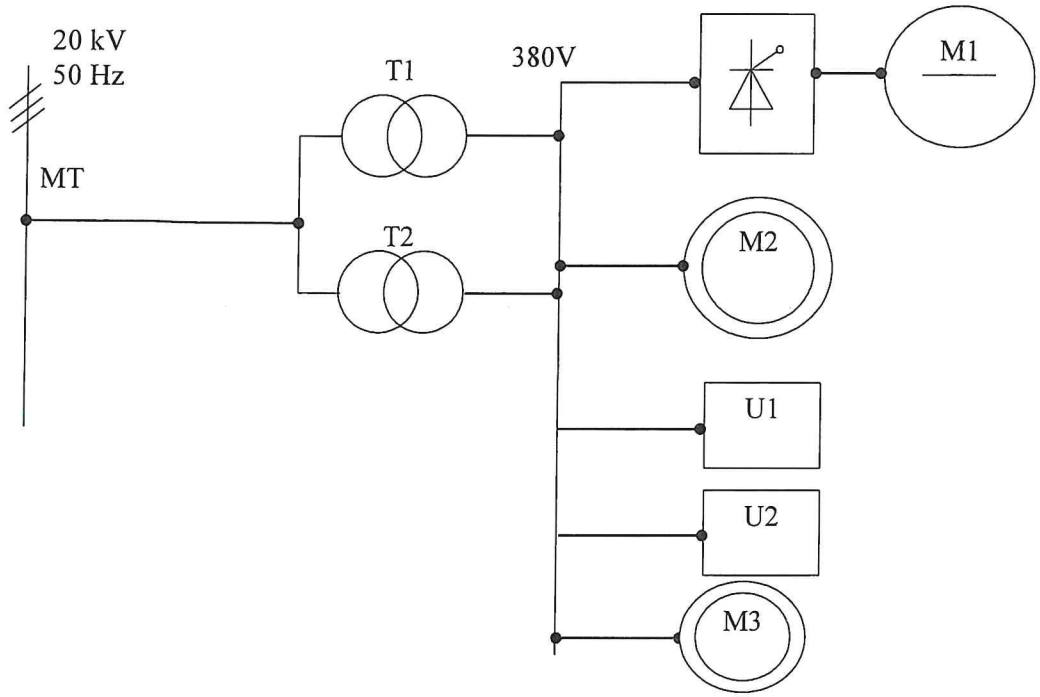
TEMA N. 5

Si consideri l'impianto rappresentato in figura. I due trasformatori trifase (T1, T2) operano in parallelo e sono collegati alla line MT. I dati del trasformatore T1sonoi seguenti:

Trasformatore T1
Tensioni nominali: 20 kV/500 V
Potenza nominale: 900 kVA
Collegamento e gruppo: Dy11
Tensione di corto circuito percentuale: 5%
Potenza percentuale assorbita nella prova a vuoto: 0.2%
Potenza assorbita nella prova in corto circuito: 1.4%

Il trasformatore T2 deve invece essere ordinato una volta definite le specifiche tecniche.
Il complesso delle utenze trifase BT 380 V comprende:

- Un convertitore AC/DC costituito da un ponte di Graetz trifase total controllato che alimenta un motore M1 in corrente continua di tensione nominale pari a 430 V, rendimento 0.92 e potenza nominale pari a 150 kW.
- Un motore asincrono trifase M2 di potenza nominale pari a 50 kW fattore di potenza nominale cos φn = 0.88 e rendimento nominale ηn = 0.96, impedenza a rotore bloccato Z_k=0.295 Ω, fattore di potenza a rotore bloccato $\cos\phi_k$=0.195.
- Un motore asincrono trifase M3 Potenza nominale P_n=80 kW, fattore di potenza nominale $\cos\phi_n$=0.87, rendimento nominale η_n=0.96, impedenza a rotore bloccato Z_k=0.285 Ω, fattore di potenza a rotore bloccato $\cos\phi_k$=0.188.
- Un'utenza U1 che rappresenta un insieme di carichi trifase variabili per i quali, tenendo conto di opportuni fattori di contemporaneità e utilizzazione, si può stimare il seguente assorbimento complessivo di potenza: P1 = 500 kW. Q1=600 kVAR
- Un'utenza U2 che rappresenta un insieme di carichi triafase costanti per i quali è noto con precisione l'assorbimento grazie a misure effettuate, in particolare la potenza assorbita è pari a P2= 400 kW, con fattore di potenza pari a 0.7 RIT



Il candidato dovrà rispondere ai seguenti quesiti:

1. Determinare i parametri circuitali del trasformatore T1.
2. Determinare l'angolo di ritardo di accensione del ponte total controllato connesso a M1.
3. Dimensionare la batteria di condensatori di rifasamento definendone la potenza e il collegamento da installare sul lato BT per riportare il valore del fattore di potenza a 0.92 RIT, considerando i motori M2 e M3 funzionanti nelle condizioni nominali.
4. Determinare i dati principali del trasformatore T2
5. Determinare la corrente lato MT e la tensione sul primario dei due trasformatori T1 e T2.
6. Determinare il valor massimo della corrente sulla linea MT all'avviamento del motore M2 ipotizzando che siano inseriti solo i carichi U1 e U2 e in assenza dei condensatori di rifasamento.

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 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 6

IL 10/07/2018, L'INGEGNERE RESPONSABILE DELL'IMPRESA RISCALDAMENTO SPA, LEADER INDISCUSSA IN ITALIA NEL SEGMENTO DEI CONVETTORI TERMICI AD ARIA PER IL RISCALDAMENTO CIVILE, NON RIUSCIVA A GODERSI LA FESTA CHE I SUOI 15 DIPENDENTI (10 OPERAI, 3 SUPERVISORI E 2 SEGRETARIE)[1] GLI AVEVANO ORGANIZZATO PER IL GIORNO DEL SUO COMPLEANNO.

AVEVA INFATTI RICEVUTO POCHE ORE PRIMA I RISULTATI DELLA RICERCA DELLA BELLINI SRL (COSTATA 300.000 €, DI CUI IL 70% IMMOBILIZZATO E AMMORTIZZATO IN 2 ANNI A QUOTE COSTANTI A PARTIRE DALLO STESSO 2018) CHE PREFIGURAVANO UN RAPIDO CALO DELLA REDDITIVITÀ DELLA SUA AZIENDA.

TABELLA 1.

	2018	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2015**
UTILE LORDO	385.000 €	190.000 €	80.000 €	0 €	-150.000 €	-320.000 €	-250.000 €	-250.000 €

IL CALDO ESTIVO AVEVA TUTTAVIA FATTO VENIRE ALL'INGEGNERE UN'IDEA: FAR ENTRARE LA RISCALDAMENTO NEL BUSINESS DEI CONDIZIONATORI D'ARIA. IL

[1] SI CONSIDERINO I DIPENDENTI NON LICENZIABILI.

PRINCIPIO DELLA DISTRIBUZIONE DELL'ARIA FREDDA E' IL MEDESIMO RISPETTO A QUELLO GIÀ UTILIZZATO NEI CONVETTORI TERMICI; ED ANCHE PER LA STRUTTURA ESTERNA DELL'APPARECCHIO SI POSSONO UTILIZZARE COME MODELLO I PRODOTTI GIÀ COMMERCIALIZZATI COL MARCHIO RISCALDAMENTO (PERALTRO LA GAMMA PIUTTOSTO AMPIA DI SOLUZIONI A DISPOSIZIONE OFFRIVA BUONE POSSIBILITÀ DI SCELTA).

QUALCHE GIRONO PIÙ TARDI, L'INGEGNERE SI TROVAVA DI FRONTE IL NUOVO REPORT DELLA BELLINI SRL (COSTATO 250.000 € E CONTABILIZZATO COME COSTO DI PERIODO) CON LE PROIEZIONI DI VENDITA PER IL NUOVO PRODOTTO "FREEZE", CONDIZIONATORE D'ARIA, PER GLI ANNI DAL 2019 AL 2025.[2]

TABELLA 2.

	2019	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**
UNITÀ VENDUTE	1.300	1.900	2.450	2.500	3.000	3.000	1.500

IL PREZZO DI VENDITA OTTIMALE È FISSATO PARI A 680 € PER UNITÀ. PER PRENDERE UNA DECISIONE CORRETTA, L'INGEGNERE DECIDE DI UTILIZZARE IL METODO DELLA VALUTAZIONE DEGLI INVESTIMENTI.

DA UN'ANALISI CONDOTTA DALL'UNITÀ DI PRODUZIONE È EMERSO CHE:

- LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO PRODOTTO RICHIEDE 0,62H DI LAVORAZIONE DA PARTE DELLA MANODOPERA DIRETTA (COINCIDENTE CON IL TEMPO DI FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO). GLI OPERAI DELLA RISCALDAMENTO NON SONO COMPLETAMENTE SATURI E POTREBBERO

[2] DOPO TALE PERIODO SI CONSIDERI IL PRODOTTO NON PIÙ PRODUCIBILE. LE EVENTUALI IMMOBILIZZAZIONI, MATERIALI ED IMMATERIALI, ANCORA PRESENTI A BILANCIO POSSONO ESSERE VENDUTE ALL'INIZIO DEL 2026 AD UN PREZZO SUPERIORE DEL 15% AL VALORE NETTO DI BILANCIO.

DEDICARE ALLA REALIZZAZIONE DEI CONDIZIONATORI "FREEZE" 850 ORE ALL'ANNO PER TUTTO IL PERIODO DI RIFERIMENTO. L'EVENTUALE DOMANDA INEVASA PUÒ ESSERE COPERTA ATTRAVERSO LA STIPULA DI UN CONTRATTO DI SUBFORNITURA PER I CONDIZIONATORI "FREEZE" CHE GARANTISCE UN COSTO D'ACQUISTO DEL PRODOTTO FINITO PARI A 400 €/UNITÀ.

PER I CONDIZIONATORI PRODOTTI ALL'INTERNO DELL'IMPRESA:

- È NECESSARIO SOSTENERE COSTI RELATIVI AI MATERIALI DIRETTI PARI A 410 €/UNITÀ;
- IL COSTO ORARIO DELL'ENERGIA È PARI A 22 €/H;
- IL COSTO DEL LAVORO È PARI A 21.000 €/ANNO PER CIASCUN OPERAIO E 32.000 €/ANNO PER CIASCUN SUPERVISORE;[3]

PER AVVIARE LA PRODUZIONE DEI CONDIZIONATORI "FREEZE" SONO INOLTRE NECESSARI:

- UN CORSO DI FORMAZIONE DI 15 ORE (AL COSTO DI 70 €/H) PER GLI OPERAI E DI 18 ORE (A 130 €/H) PER I SUPERVISORI, DA TENERSI NEL CORSO DEL 2018 E DA CONTABILIZZARE COME COSTO DI PERIODO;
- L'ACQUISTO DI UN NUOVO MACCHINARIO DI PRODUZIONE (DA AGGIUNGERE IN PARALLELO ALLA LINEA GIÀ ESISTENTE) DEL VALORE DI 1.100.000 €, AMMORTIZZATO IN 10 ANNI A QUOTE COSTANTI A PARTIRE DALL'ANNO SUCCESSIVO ALL'ACQUISTO;
- UN INVESTIMENTO PUBBLICITARIO DI 1.300.000 €, IN DUE TRANCHE UGUALI, DA EFFETTUARSI NEL CORSO DEL 2018 E DEL 2021, ED AMMORTIZZATO IN 2

[3] SI SUPPONGA UN ANNO COSTITUITO DA 200 GIORNI LAVORATORI DI 8 ORE.

ANNI A QUOTE COSTANTI A PARTIRE DALLO STESSO ANNO IN CUI VIENE SOSTENUTO.[4]

SAPENDO INFINE CHE:

- LA POLITICA DELLE SCORTE DELLA RISCALDAMENTO PREVEDE DI TENERE A MAGAZZINO ALLA FINE DI OGNI ANNO SCORTE DI PRODOTTO FINITO PARI, IN VALORE, AL 15% DEL FATTURATO DEL MEDESIMO ANNO E CHE, AL TERMINE DELLA PRODUZIONE (ALL'INIZIO DEL 2025) EVENTUALI RESIDUI POSSONO ESSERE VENDUTI AL VALORE DI BILANCIO;
- AI CLIENTI È CONCESSA UNA DILAZIONE MEDIA DI PAGAMENTO PARI A 45 GIORNI;
- L'USUALE FORNITORE DI MATERIE PRIME (DAL QUALE SI PREVEDE DI ACQUISTARE L'80% IN VALORE DELLE MATERIE PRIME NECESSARIE PER IL CONDIZIONATORE "FREEZE") CONCEDE ALLA RISCALDAMENTO UN MESE DI TEMPO PER IL PAGAMENTO. L'ENERGIA, I PRODOTTI IN SUBFORNITURA ED IL 20% DEI COSTI DELLE MATERIE PRIME (UN NUOVO COMPONENTE DA ACQUISTARE PRESSO UN DIVERSO FORNITORE) VANNO PAGATI PRONTA CASSA;
- IL COSTO OPPORTUNITÀ DEL CAPITALE PROPRIO AL NETTO DELLE IMPOSTE È PARI AL 20%, IL COSTO DEL CAPITALE DI TERZI È PARI AL 12% E L'ALIQUOTA FISCALE È DEL 40%;
- PER L'INVESTIMENTO L'INGEGNERE INTENDE UTILIZZARE AL 65% CAPITALE PROPRIO ED AL 35% CAPITALE DI TERZI;

---

[4] IN PARTICOLARE PER LA PRIMA TRANCHE SI CONSIDERI, PER SEMPLICITÀ, CHE L'AMMORTAMENTO DEL 2018 SIA RIFERITO ALL'INTERO ANNO, INDIPENDENTEMENTE DA QUANDO VIENE EFFETTUATO L'INVESTIMENTO.

DOMANDA 1

POSIZIONANDOSI AD AGOSTO 2018, VALUTARE LA CONVENIENZA O MENO DELL'INGRESSO NEL NUOVO BUSINESS DEI CONDIZIONATORI D'ARIA, ATTRAVERSO IL CRITERIO DEL VALORE ATTUALE NETTO O NET PRESENT VALUE (NPV), ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.

DOMANDA 2

POSIZIONANDOSI AD AGOSTO 2018, VALUTARE LA CONVENIENZA O MENO DELL'INGRESSO NEL NUOVO BUSINESS DEI CONDIZIONATORI D'ARIA, ATTRAVERSO IL CRITERIO DELL'INDICE DI PROFITTABILITÀ O PROFITABILITY INDEX (PI), ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.

DOMANDA 3

POSIZIONANDOSI AD AGOSTO 2018, VALUTARE LA CONVENIENZA O MENO DELL'INGRESSO NEL NUOVO BUSINESS DEI CONDIZIONATORI D'ARIA, 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

POSIZIONANDOSI AD AGOSTO 2018, VALUTARE LA CONVENIENZA O MENO DELL'INGRESSO NEL NUOVO BUSINESS DEI CONDIZIONATORI D'ARIA, 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 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 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 7

Uno scambiatore di calore controcorrente riscalda 50 kg/s di aria con temperatura in ingresso di 300°C con 68 kg/s di gas caldi, prodotti di combustione, con temperatura in ingresso di 500°C. La differenza minima di temperatura in condizioni *on-design* è 40°C (*pinch point*). Si determini il prodotto UA per tale scambiatore unitamente alle temperature di uscita delle due correnti.
Stimare successivamente, sulla base di motivate considerazioni, le prestazioni *off-design* dello scambiatore (potenza termica scambiata, temperature di uscita delle correnti) qualora la portata d'aria si riduca a 30 kg/s e i gas caldi a 60 kg/s (le temperature di ingresso delle due correnti sono le stesse del caso *on-design*).

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 8

IL CANDIDATO REDIGA IL PROGETTO DEL MECCANISMO A PANTOGRAFO PER UNA PIATTAFORMA AEREA UTILIZZATA PER INNALZARE CARICHI E PERSONE AD ALTEZZE ELEVATE.
IL MECCANISMO DEVE GARANTIRE UNO SPOSTAMENTO MASSIMO DELLA PIATTAFORMA AEREA DI 8M IN UN TEMPO NON SUPERIORE AI 75 S.
LA PIATTAFORMA DEVE ESSERE IN GRADO DI TRASPORTARE UN CARICO MASSIMO PARI A 800KG (OLTRE ALLA MASSA DELLA PIATTAFORMA STESSA).

IL CANDIDATO:

- DESCRIVA LO SCHEMA CINEMATICO DEL MECCANISMO BASE A PANTOGRAFO E SUO DIMENSIONAMENTO GEOMETRICO;
- INDIVIDUI IL NUMERO E LA POSIZIONE DEGLI ATTUATORI OLEODINAMICI NECESSARI PER LA MOVIMENTAZIONE DELLA PIATTAFORMA CON RIFERIMENTO ALLO SCHEMA CINEMATICO SVILUPPATO;
- DETERMINI LE FORZE CHE DEVONO ESERCITARE GLI ATTUATORI PER SPOSTARE LA PIATTAFORMA AEREA NELLE MASSIME CONDIZIONI DI CARICO
- DIMENSIONI IL SISTEMA DI AZIONAMENTO (ATTUATORE + POMPA + CIRCUITO DI DISTRIBUZIONE, ECC).
- FORNISCA IL DISEGNO TECNICO DEL PISTONE IDRAULICO IMPIEGATO, CON EVIDENZIANDO LA SEZIONE LONGITUDINALE DELLO STESSO.

IL CANDIDATO HA FACOLTÀ DI SCEGLIERE LIBERAMENTE, GIUSTIFICANDOLI, TUTTI I DATI DI PROGETTO NON ASSEGNATI.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 9

Si consideri un serbatoio di aria compressa installato su un veicolo industriale.
Il serbatoio ha un volume di 40 litri e un diametro di 30 cm e contiene aria compressa a 12 bar.
Per semplificare la valutazione degli sforzi, si può assumere che le estremità del serbatoio abbiano forma semisferica.

1) Si effettui la selezione del materiale con cui costruire il serbatoio, avendo l'obiettivo rendere minimo il peso. Le proprietà di alcuni materiali sono riportate nella tabella sottostante, tuttavia non vi è l'obbligo di selezionare il materiale tra quelli elencati.
2) Si proponga un processo tecnologico con cui produrre il serbatoio, includendo eventuali trattamenti di superficie necessari per prevenire il degrado del materiale.
3) Si valuti il peso del serbatoio prodotto con il materiale selezionato.
4) Si dica quali dispositivi di sicurezza è opportuno adottare.

Materiale	Sforzo di snervamento (MPa)	Tenacità a frattura (MPa $m^{1/2}$)	Densità (10^3 kg·m^{-3})
AISI 1020	320	53	7,85
AISI 4340	860	75	7,85
AISI 304	260	110	7,95
AA 2024 T6	360	38	2,77
AA 5083 O	120	33	2,65
Ti-6Al-4V	900	57	4,47
GFRP	250	18	1,85

Fonte: Cambridge Engineering Selector

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
II SESSIONE 2018 - 22 GENNAIO 2019
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 10

Parte 1 – Pentano liquido

Un serbatoio di stoccaggio contenente pentano liquido $(C_5H_{12}, T_{boiling} = 36.0\,°C)$ può essere approssimato a un cilindro di 20 m di diametro e 10 metri di altezza. Il serbatoio è inertizzato con azoto a una pressione costante di 3 bar assoluti. Si consideri una giornata senza vento con temperatura ambiente pari a 20°C. Il serbatoio può venire considerato come sempre pieno all'80%.

Assumendo che il serbatoio sia posto al centro di un bacino di contenimento circolare, viene chiesto di determinare le grandezze indicate per ciascuno degli scenari indicati.

A) DIAMETRO DEL BACINO e PORTATA EVAPORANTE, sapendo che con una perdita costante di $240\,\frac{l}{min}$, (sorgente approssimabile a terra e al centro del bacino) servono 10 minuti per avere tutto il fondo del bacino coperto dal liquido sversato.

B) PORTATA DI SCARICO AL FORO e ALTEZZA DEL MURO DI CONTENIMENTO, sapendo che il raggio del bacino è pari a 30 m, si assuma un foro da 10 cm di diametro posto ad un'altezza di 6 metri dal suolo. Determinare l'altezza minima del muro che garantisce che il getto non possa uscire dal bacino.
Trascurare eventuali aperture del getto o resistenza dell'aria, assumere un $C_D = 0.8$

C) DIAMETRO DEL BACINO - Calcolare il diametro del bacino se, in caso di rottura catastrofica con riempimento istantaneo del bacino e ignizione, si ottiene un *poolfire* tale per cui a 75 metri dal centro del bacino si misura un irraggiamento di 15 kW ad altezza del terreno (h = 0).

D) Ripetere i conti del punto C considerando un vento di 5 m/s. L'osservatore si trova sottovento.

Ipotizzare tutto ciò che non è noto a priori.

DATI

Pentano

$PM_{C_2H_3N} = 72\frac{kg}{kmol}$; $\Delta H_{comb,C_5H_{12}} = 45000\frac{kJ}{kg}$; $X_{comb} = 1$; $\eta_{irr} = 0.3$;

$P^o_{C_5H_{12}}(20°C) = 5.63 \cdot 10^4\ Pa$, $T_{eb,C_5H_{12}} = 36°C$, $\rho_{L,C_5H_{12}} = 630\ \frac{kg}{m^3}$, $\Delta H_{evapC_5H_{12}} = 360\frac{kJ}{kg}$;

$C_{P_L,C_5H_{12}} = 2.36\frac{kJ}{kg \cdot K}$ $\tau_{air} = 0.7\ [-]$

Parte 2 – acetonitrile gassoso

Nell'impianto viene utilizzato dell'acetonitrile come solvente $[C_2H_3N]$.

Si ipotizzi una giornata estiva soleggiata, senza nubi e con vento a 10 m dal suolo pari a 6 m/s. L'impianto è collocato in una zona industriale.

Si consideri la rottura dell'apparecchiatura utilizzata per l'estrazione del solvente. Si assuma la sorgente ad un'altezza di 15 metri dal suolo.
Questa rottura genera una portata di acetonitrile gassoso a 150°C, scaricata da un foro di 10 cm di diametro.
Sapendo che la pressione interna è pari a 3.5 bara, calcolare

- La portata scaricata dal foro ($C_D = 0.63$)
- La distanza orizzontale massima raggiunta da una concentrazione pari a 100 ppm

DATI

Acetonitrile

$PM_{C_2H_3N} = 41\frac{kg}{kmol}$; $\gamma_{C_2H_3N} = 1.3$; $\Delta H_{comb,C_2H_3N} = 31000\frac{kJ}{kg}$; $X_{comb} = 1$; $\eta_{irr} = 0.2$;

$P^o(25°C) = 12000\ Pa$, $T_{eb} = 82°C$, $\rho_{liquido} = 780\frac{kg}{m^3}$, $\Delta H_{evap,C_2H_3N} = 729\frac{kJ}{kg}$;

$\mathbb{D}_{ab} = 0.128\frac{cm^2}{s}$, $C_{P|150°C} = 1.42\frac{kJ}{kg \cdot K}$; $C_{P_L} = 2.26\frac{kJ}{kg \cdot K}$

Tabella 1: 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

The stability class D (neutral) must be used, regardless of wind speed, for overcast conditions during the day.

Categoria	Condizioni dell'atmosfera
A	Estremamente instabile
B	Moderatamente instabile
C	Poco instabile
D	Neutra
E	Poco stabile
F	Moderatamente stabile

Tabella 2: 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

Tabella 3: Coefficienti per le relazioni: $\sigma_z = c \cdot x^d$ *e* $\sigma_y = a \cdot x^b$ *e validi per x=[100-1000]m:*

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