

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SEZ. A

SETTORE INDUSTRIALE

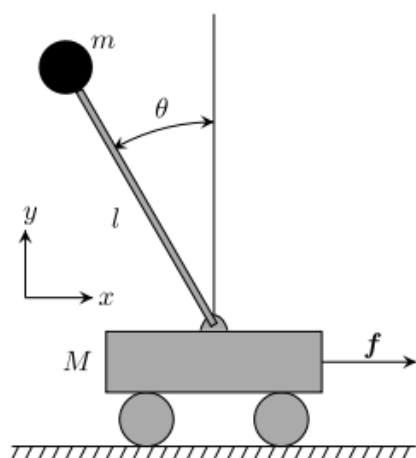
Seconda sessione - 14 novembre 2024

PRIMA PROVA

Quesito 1

Il candidato descriva in generale il concetto di stabilità di un equilibrio e ne discuta la sua importanza e le sue implicazioni nei contesti legati all'ingegneria meccatronica. Il candidato può aiutarsi con uno o più esempi provenienti dalla propria esperienza (formativa o professionale)

Quesito 2



Parte A

Molti problemi di controllo nell'ambito della meccatronica possono essere ridotti alla stabilizzazione dell'equilibrio instabile di un pendolo inverso. Si consideri lo schema rappresentato in figura, nel quale il pendolo inverso è montato su un carrello, libero di muoversi in orizzontale sotto l'effetto di una forza di intensità f , parallela al moto (opportunamente generata da un attuttore). Si ricavi un modello fisico della dinamica trascurando la massa dell'asta e assumendo la massa del pendolo come puntiforme. Successivamente, si verifichi che la posizione di desiderata ($\theta = 0$) è un equilibrio e si linearizzi la dinamica intorno a questo equilibrio.

Parte B

Per il problema descritto nella Parte A, considerandone la linearizzazione intorno all'equilibrio instabile e una scelta specifica di parametri (m , l), si assuma che la seguente

funzione di trasferimento descriva, in termini di trasformate di Laplace, la relazione matematica tra la variabile di comando (ingresso) f e la variabile controllata (uscita) θ :

$$G(s) = \frac{\Theta(s)}{F(s)} = \frac{-1}{(s - \sqrt{2})(s + \sqrt{2})}$$

Il candidato progetti un dispositivo di controllo tale che soddisfi i seguenti requisiti:

- 1) Stabilità del sistema controllato
- 2) Errore di inseguimento nullo a fronte di riferimenti di posizione angolare a gradino
- 3) Errore di inseguimento nullo a fronte di disturbi costanti additivi sul segnale di comando f

Il candidato trasformi questi requisiti in specifiche ed eventualmente ne aggiunga altre ritenute necessarie. Quindi, sulla base delle specifiche e del modello fisico, progetti un dispositivo di controllo utilizzando un qualsiasi metodo visto durante la carriera accademica o lavorativa (ad esempio, progetto in frequenza o sintesi diretta). Se possibile, se ne discuta la discretizzazione.

PROVA 2

Quesito 1

La transizione del sistema elettrico verso il paradigma delle smart grid e la crescente penetrazione della generazione distribuita rappresentano sfide cruciali per il settore energetico.

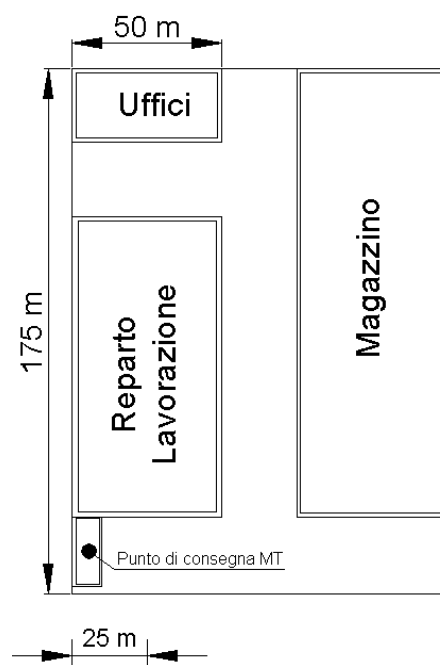
Il candidato illustri le caratteristiche fondamentali delle smart grid e analizzi le problematiche tecniche e le possibili soluzioni legate all'integrazione della generazione distribuita nelle reti elettriche.

Quesito 2

Si consideri un complesso industriale composto da tre strutture principali: un capannone destinato alle lavorazioni industriali, un magazzino e una palazzina uffici sviluppata su tre livelli (due piani fuori terra e uno interrato). Le dimensioni planimetriche di ciascun edificio sono riportate nella figura allegata.

Nel punto di consegna sono garantiti i seguenti parametri di fornitura in Media Tensione:

- $V_n = 20$ kV trifase
- $f = 50$ Hz
- $S_{cc} = 300$ MVA (potenza di ctocto)
- Neutro isolato



Il capannone adibito a lavorazione industriale è caratterizzato dai seguenti carichi elettrici:

- 8 motori asincroni trifase, ciascuno di potenza pari a 15 kW
- 4 forni a resistenza da 10 kW
- 9 linee luce monofase, ciascuna da 3 kW
- 30 prese trifase da 16 A.
- 10 prese trifase da 32 A

Per quanto riguarda il magazzino e la palazzina uffici, il candidato dovrà formulare ipotesi ragionevoli sui carichi elettrici necessari, giustificando le scelte effettuate.

Il candidato, formulando eventuali ipotesi aggiuntive purché opportunamente motivate e coerenti con il contesto del progetto, sviluppi i seguenti punti:

1. Stima del *carico convenzionale* e della *potenza di progetto* dello stabilimento.
2. *Schema a blocchi*, che definisca l'architettura dell'*impianto di distribuzione primario*, necessario ad alimentare l'intero stabilimento.
3. Dimensionamento della cabina o delle cabine di trasformazione e delle apparecchiature di manovra e protezione in essa/e previste.
4. *Schema unifilare* di cabina o delle cabine di trasformazione, comprensivo dei quadri generali MT e BT.
5. Dimensionamento delle condutture, che alimentano i *quadri generali BT* di ciascun edificio rappresentato in figura, coordinate con i relativi dispositivi di protezione.

In fase di valutazione, saranno considerati elementi qualificanti la capacità di sintesi del candidato, l'ordine e la chiarezza espositiva, nonché la completezza delle giustificazioni tecniche e la coerenza delle scelte progettuali effettuate.

PROVA 3

Oggetto della prova sono gli impianti di riscaldamento centralizzati di edifici condominiali pluripiano.

Quesito 1

Il candidato identifichi le principali tipologie di impianto utilizzate, descrivendo le apparecchiature di centrale, il layout delle reti di distribuzione dei fluidi termovettori, i terminali ed i sistemi di regolazione.

Commenti gli aspetti energetici e di comfort ambientale di ciascuna delle tipologie individuate

Quesito 2

Si consideri un edificio di civile abitazione a torre, costituito da 6 piani, compreso il piano terra, con 4 alloggi per piano, più il piano interrato nel quale sono state ricavate le cantine ed il locale tecnico per la Centrale Termica. L'edificio ha dimensioni in pianta di circa 25 m * 25 m.

Il candidato scelga la disposizione degli alloggi, la suddivisione interna dei vani e la loro esposizione, formuli delle ipotesi realistiche in merito alla stratigrafia delle pareti opache e alle caratteristiche delle superfici vetrate, giustificandole alla luce della legislazione/normativa vigente.

Sviluppi il progetto preliminare dell'impianto di riscaldamento centralizzato, stimando i carichi termici invernali (dispersioni più ricambi d'aria), effettuando il dimensionamento di massima del generatore di calore (avente acqua come fluido termovettore ed alimentato a gas naturale) nell'ipotesi che l'edificio sia ubicato in una località per la quale la temperatura esterna minima di progetto valga $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, il numero di GG sia circa 2700 e il periodo di riscaldamento abbia durata 180 giorni.

Con riferimento ad un alloggio, effettui il dimensionamento di massima dei corpi scaldanti, vano per vano, e il diametro delle tubazioni al loro servizio.

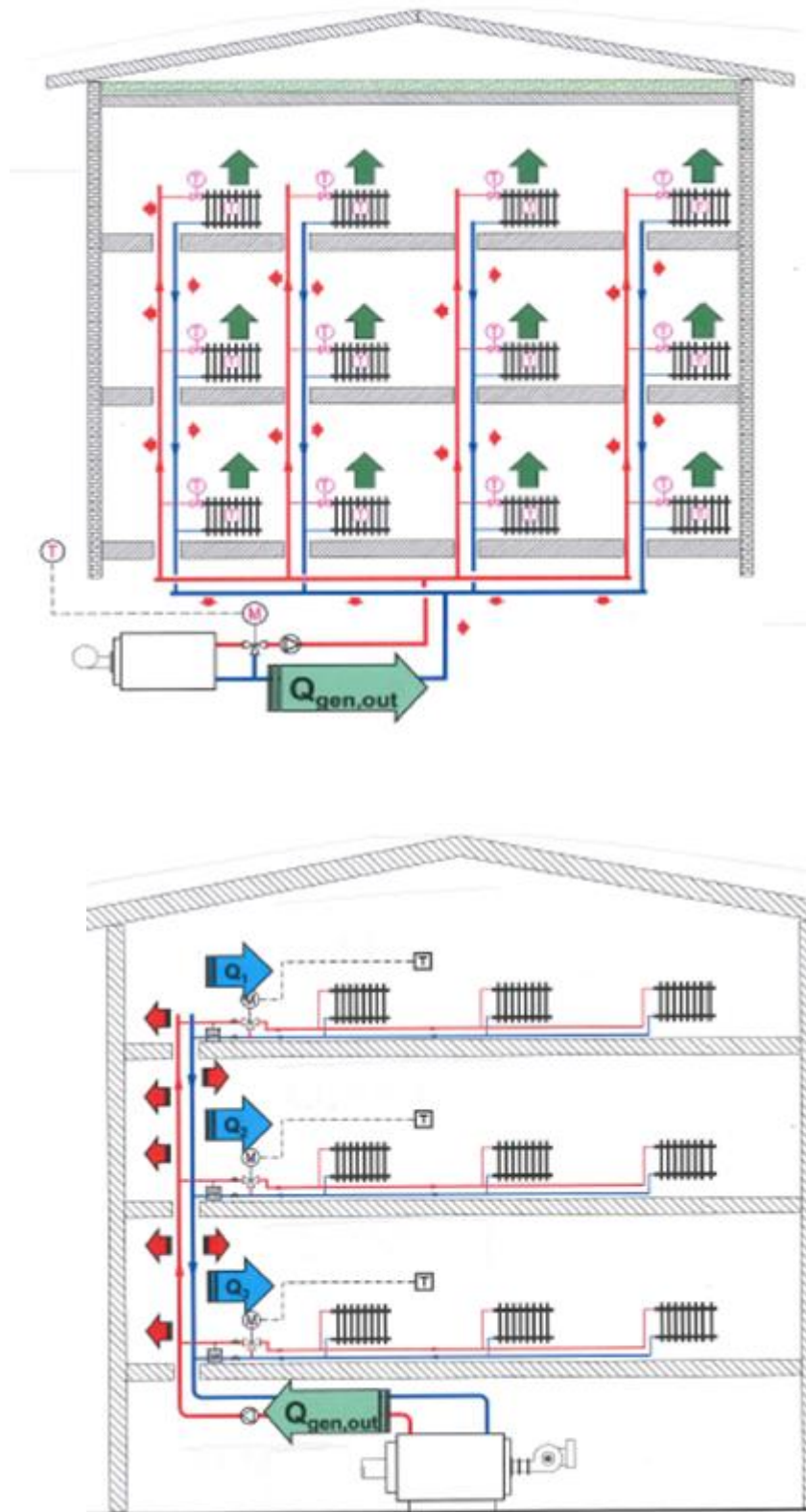
Il candidato immagini, per l'edificio oggetto di studio, due schemi funzionali di reti di distribuzione del fluido termovettore come quelli mostrati nella figura allegata (distribuzione a colonne montanti e distribuzione orizzontale a zona): progetti, per ciascuno dei due schemi, un sistema di contabilizzazione del calore tenendo conto della sostenibilità economica e della legislazione vigente.

Con riferimento alla distribuzione orizzontale a zona, illustri, mediante uno schema, il sistema di regolazione della temperatura di mandata impianto, il sistema di regolazione della temperatura ambiente degli alloggi e spieghi l'importanza della loro funzione; elenchi e commenti infine gli accessori, anche ai fini della sicurezza (INAIL) di cui deve essere dotato il generatore di calore, nel caso di centrale termica a vaso chiuso. Calcoli inoltre la potenza della pompa di circolazione, assumendo una perdita di carico totale del circuito più sfavorito pari a 40 kPa.

Con riferimento ai GG indicati e ad una stagione di riscaldamento, il candidato stimi il fabbisogno energetico dell'edificio e lo esprima in kWh per m² di superficie calpestabile e in kWh per m³ di volume riscaldato.

Nella ipotesi che l'edificio si allacci ad una rete di teleriscaldamento, stimi la superficie di scambio termico dello scambiatore di calore (scambiatore a piastre), le sue dimensioni di ingombro e calcoli infine le tonnellate di anidride carbonica che non verrebbero scaricate localmente in atmosfera.

Il candidato faccia delle ipotesi realistiche per eventuali dati mancanti.



Nota. Le due figure non si riferiscono all'edificio oggetto di questo progetto, hanno la sola funzione di mostrare i due diversi schemi di distribuzione di cui si parla nel testo.

PROVA 4

Quesito 1

Il candidato descriva le principali tipologie di impianti nucleari per la produzione di potenza, facendo riferimento alla tipologia di refrigerante e di combustibile utilizzati. Per almeno una tipologia specifica a sua scelta, si descrivano i componenti principali, le tipologie di materiali utilizzati e i principali sistemi e dispositivi di sicurezza presenti, supportando se possibile la trattazione con un opportuno schema dell'impianto.

Quesito 2

I reattori PWR VVER-1000 sono progettati per produrre una potenza termica nominale pari a $3000 MW_t$. Il core del reattore è composto da assembly esagonali contenenti ciascuna 331 barrette di combustibile. Ogni barretta è costituita da pastiglie impilate di ossido di uranio, di raggio r_f , rivestite da uno strato di Zircaloy avente spessore s_c . All'interno dell'assembly, le barrette sono disposte nel reticolo rappresentato in Figura 1 e le grandezze di riferimento per le barrette sono riportate in Tabella 1.

La potenza termica lineare generata nelle barrette di combustibile ha un valore medio pari a $q' = 15.752 kW_t/m$. Il refrigerante usato per raffreddare il reattore è mantenuto alla pressione di 150bar, entra nel reattore con una temperatura uniforme pari a $291^\circ C$ ed esce dal reattore con una temperatura media di $321^\circ C$.

- 1) Ricordando che, posizionando opportunamente l'origine del sistema di coordinate, la potenza termica varia lungo la coordinata assiale del core come $q'''(z) = q'''_{max} \cos(\pi z/h_{bar})$, il candidato calcoli il numero di assembly presenti nel reattore ed il valore della potenza volumetrica massima q'''_{max} , relativo alla barra di combustibile posta al centro del reattore.
- 2) Utilizzando i valori riportati in Tabella 1, il candidato calcoli la portata di fluido refrigerante.
- 3) Si consideri il sottocanale relativo alla barra posta al centro del reattore. Il candidato calcoli il numero di Reynolds Re per il canale e il coefficiente di scambio termico h tra la superficie esterna del cladding e il fluido refrigerante, utilizzando la correlazione di Dittus-Boelter per il calcolo del numero di Nusselt Nu :

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

Dopo aver calcolato le resistenze termiche per lo strato di cladding e per il combustibile, il candidato ricavi le espressioni dei campi di temperatura di bulk del fluido T_b , del cladding sulla superficie esterna della barra T_c , dell'interfaccia combustibile-cladding e del combustibile T_s , misurata lungo l'asse della barra T_m in funzione della coordinata z , e li rappresenti in uno stesso grafico. Per ciascuno dei quattro campi si valutino il valore massimo e la sua posizione.

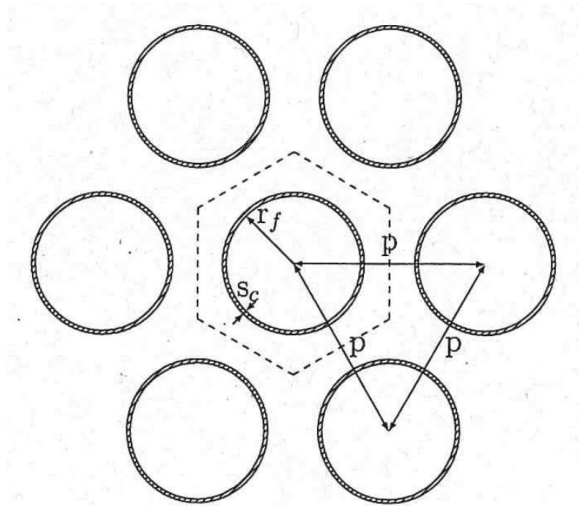


Figura 1 – rappresentazione schematica in sezione di 7 barrette di combustibile. Il poligono tratteggiato rappresenta il sottocanale relativo alla barretta centrale.

Geometria	Passo reticolo	p	0.0122	m
	Altezza barrette	h_{bar}	3.53	m
Moderatore	Calore specifico	$c_{p,m}$	$5.742 \cdot 10^{-3}$	MJ/kgK
	Densità	ρ_m	703	kg/m ³
	Viscosità cinematica	ν_m	$1.199 \cdot 10^{-7}$	m ² /s
	Conducibilità termica	k_m	$5.416 \cdot 10^{-7}$	MW/mK
Combustibile	Calore specifico	$c_{p,f}$	$3.2 \cdot 10^{-4}$	MJ/kgK
	Densità	ρ_f	$1.09 \cdot 10^4$	kg/m ³
	Conducibilità termica	k_f	$1.903 \cdot 10^{-6}$	MW/mK
	Raggio	r_f	0.0039	m
Cladding	Conducibilità termica	k_c	$1.73 \cdot 10^{-5}$	MW/mK
	Spessore	s_c	0.00065	m

PROVA 5

Quesito 1

Il Candidato analizzi e descriva le principali caratteristiche (layout, dimensioni, materiali) che distinguono le turbine degli impianti a vapore per la produzione di energia elettrica da quelle utilizzate negli impianti idroelettrici e negli impianti di generazione eolici.

Quesito 2

Si consideri un gruppo turbogas monoalbero con inter-cooler e recupero termico dai gas di scarico della turbina. Il gruppo è caratterizzato da un rapporto di compressione pari a 14 (equamente ripartito tra i due tronchi di compressione) e da una temperatura in ingresso alla turbina pari a 1300°C . La portata di aria aspirata (in condizioni ISO con calore specifico $c_p = 1004 \text{ J/(kgK)}$ e costante dei gas $R_a = 287 \text{ J/(kgK)}$) dal compressore risulta essere pari a 120 kg/s

Lo scambiatore sfrutta acqua a temperatura $T_{h2o,in} = 20^{\circ}\text{C}$. Si ipotizzi una differenza di temperatura tra ingresso e uscita acqua di 10°C . La perdita di pressione lato aria nell'inter-cooler è pari a 2.7% della pressione di ingresso., I due compressori sono caratterizzati da un rendimento isoentropico $\eta_{c,is} = 0.8$.

Nella camera di combustione i gas subiscono una perdita di carico del 5%. I fumi in uscita espandono in una turbina caratterizzata da un rendimento isoentropico $\eta_{t,is} = 0.9$. Lo scambiatore di calore per la rigenerazione ha una efficienza pari a $\varepsilon_r = 0.8$.

Il candidato:

- 1) Rappresenti il layout del sistema
- 2) Rappresenti sul diagramma (T,S) le trasformazioni reali ed isoentropiche relative al ciclo in esame, ricavando tutti i valori di pressione e temperatura in tutti i punti del ciclo termodinamico.
- 3) Determini le prestazioni del gruppo turbogas, con particolare riferimento al lavoro utile, al rendimento termodinamico, al rendimento totale, alla potenza totale e al consumo di combustibile
- 4) Valuti quali darebbero le problematiche e opportunità da valutare per recuperare l'energia termica ancora disponibile nei fumi con una caldaia a recupero o con un Ciclo Rankine Organico.