

Esame di stato per l'abilitazione all'esercizio delle professioni di Ingegnere presso l'università degli studi di Modena e Reggio Emilia

Sez. A anno 2026

Terza prova scritta – 7 settembre '26

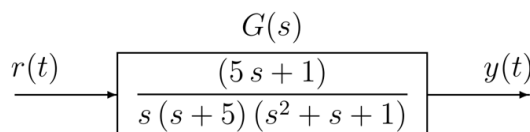
Durata: 6 ore

Settore dell'informazione

Il candidato deve scegliere 1 fra i 5 temi proposti. La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

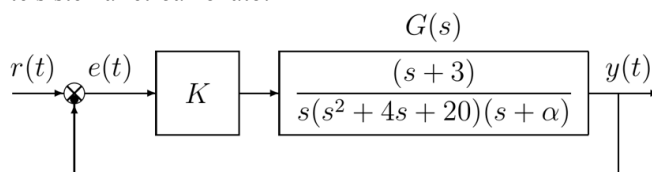
Tema 1

- 1) Si consideri il seguente sistema:



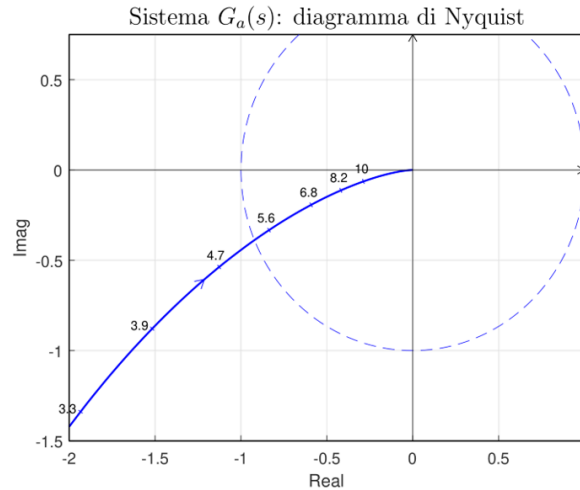
Tracciare i diagrammi asintotici di Bode delle ampiezze e delle fasi della funzione $G(s)$.

- 2) Si consideri il seguente sistema retroazionato:



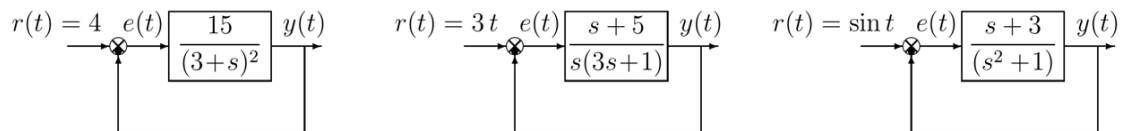
Posto $K = 132$, tracciare qualitativamente il contorno delle radici del sistema retroazionato al variare del parametro $\alpha > 0$. Nella graficazione si tenga conto che la posizione dei poli del sistema retroazionato quando $K = 132$ e $\alpha = 0$ è $p_{1,2} \simeq -3.5 \pm 1.8j$ e $p_{3,4} \simeq 1.5 \pm 4.8j$. Determinare la posizione dei punti di diramazione solo in modo qualitativo.

- 3) Sia data la funzione di risposta armonica del sistema $G_a(s)$ mostrata nel seguente diagramma di Nyquist:



Progettare una rete correttrice $C(s) = \frac{(1+\tau_1 s)}{(1+\tau_2 s)}$ in modo da garantire al sistema compensato un margine di fase $M_\varphi = 60$ gradi ed una larghezza di banda $\omega_f \cong 8.2$. Determinare inoltre se il tipo di rete correttrice ottenuto è ritardatrice o anticipatrice.

- 4) Calcolare l'errore a regime $e(\infty)$ per i seguenti tre sistemi retroazionati:



Tema 2

Il circuito mostrato in Figura 1 è finalizzato a ridurre le non linearità intrinseche del sensore di temperatura NTC, R_{NTC} .

Nella fattispecie, il sensore NTC utilizzato è il modello NTCSMELFE3103JT prodotto da Vishay. Tale sensore presenta $R_0 = 10 \text{ k}\Omega$ a $T_0 = 25^\circ\text{C}$, ed una temperatura caratteristica $\beta = 3977 \text{ K}$.

R_1 , R_2 , R_3 , and R_4 sono resistori ideali. In particolare, $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 12.5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 12.5 \text{ k}\Omega$ e, $R_4 = 2.5 \text{ k}\Omega$.

Il riferimento di tensione ideale fissa $V_{REF} = 2.5 \text{ V}$. L'amplificatore operazionale, OPA, è il modello a basso costo ad ingresso FET OPA131. Nello svolgimento della prova, l'OPA può essere considerato ideale.

Il sistema di misura stima la temperatura del misurando, T_X , dall'analisi della tensione d'uscita V_{OUT} .

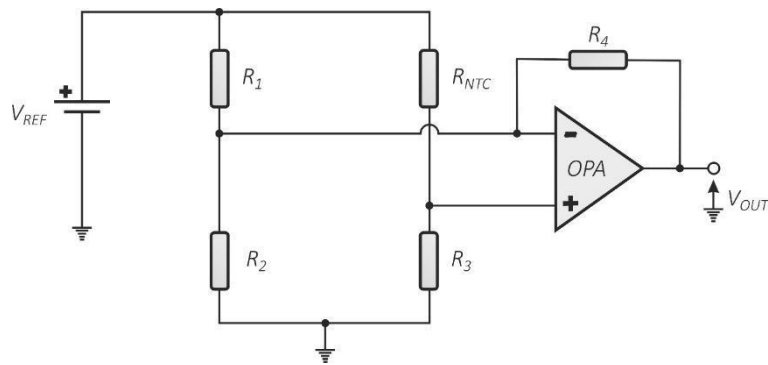


Figura 1.

1. (punteggio circa 20/100) Nell'ipotesi che l'autoriscaldamento del sensore (self-heating) sia trascurabile, determinare il valore della tensione d'uscita, V_{OUT} , quando la temperatura del misurando è $T_X = 25^\circ\text{C}$.
2. (punteggio circa 20/100) Considerando il self-heating come unica sorgente d'errore, calcolare l'errore a regime (steady-state) dovuto al self-heating quando la temperatura del sensore è $T_S = 30^\circ\text{C}$. A tal proposito, è noto che la resistenza termica di contatto tra il sensore ed il misurando vale $R_{XS} = 10\text{ K/W}$, mentre possono essere approssimate come infinite sia la resistenza termica tra il sensore e l'ambiente ($R_{SA} = \infty$), che la capacità termica del misurando ($C_X = \infty$).
3. (punteggio circa 40/100) Nell'ipotesi semplificativa che l'autoriscaldamento sia trascurabile, si determinino la funzione d'uscita, $V_{OUT} = f(\dots)$ e la funzione di taratura, $T_X = g(\dots)$. Entrambe le funzioni devono essere ricavate in forma letteraria e non è richiesto ridurle ai minimi termini. (Suggerimento: Si valuti l'utilizzo dell'equivalenza di Thevenin)
4. (punteggio circa 10/100) Alla luce della successiva acquisizione della tensione V_{OUT} per mezzo di un convertitore AD, si discutano brevemente i possibili vantaggi introdotti dalla linearizzazione effettuata dal circuito mostrato in Figura 1, rispetto alla linearizzazione effettuata a posteriori via software utilizzando un ponte di Wheatstone standard (ovvero, rispetto a ciò che si sarebbe ottenuto senza l'utilizzo dell'OPA e di R_4).
5. (punteggio circa 10/100) Si discutano brevemente le caratteristiche tecniche da tenere in considerazione nella scelta dell'amplificatore operazionale.

Tema 3

Un'impresa manifatturiera di medie dimensioni produce componenti meccanici su commessa. Il sistema ERP aziendale gestisce anagrafiche, ordini, distinte base, approvvigionamenti e magazzino, mentre l'avanzamento della produzione, i fermi macchina e i controlli di qualità sono rilevati in modo prevalentemente manuale. L'impresa intende realizzare un sistema informativo integrato per il monitoraggio e il controllo della produzione, la tracciabilità, il supporto alla programmazione operativa e la valutazione delle prestazioni, mantenendo l'ERP esistente.

Dati di riferimento:

Struttura produttiva	2 linee, 12 centri di lavoro, 2 turni da 8 h/giorno, 250 giorni/anno
Flusso ordini	circa 150 ordini di produzione/giorno; 6 operazioni per ordine in media

Macchine	8 predisposte per comunicazione OPC UA; 4 macchine legacy collegabili tramite gateway/PLC
Dati di processo	10 variabili per macchina campionate ogni 60 s durante il funzionamento
Dati transazionali	inizio/fine operazione, quantità buona e scarto, causale fermo, lotto e operatore
Utenti	circa 30 utenti tra produzione, pianificazione, qualità, manutenzione e direzione

Il candidato, formulando ove necessario assunzioni aggiuntive esplicite e motivate, sviluppi una proposta coerente di soluzione. L'elaborato dovrà comprendere almeno i seguenti aspetti:

1. **Analisi dei requisiti e architettura.** Individuazione dei principali requisiti funzionali e non funzionali; definizione dell'architettura logica del sistema, dei sottosistemi e delle interfacce con ERP, macchine e utenti. Rappresentare l'architettura con uno schema di adeguato livello di dettaglio.
2. **Modello dei dati e flussi informativi.** Definizione delle principali entità, relazioni e chiavi necessarie a gestire ordini, operazioni, risorse, lotti, eventi di produzione, fermi, qualità e misure di processo; descrizione dei flussi di acquisizione, validazione, storicizzazione e consultazione dei dati.
3. **Controllo delle prestazioni e supporto alle decisioni.** Definizione di un insieme motivato di KPI per produzione, qualità, manutenzione e servizio al cliente, specificandone almeno per i principali la modalità di calcolo e i dati necessari. Proporre, inoltre, una logica di dashboard e di segnalazione delle anomalie, nonché una modalità di utilizzo dei dati a supporto della riprogrammazione operativa.
4. **Dimensionamento informativo.** Stimare l'ordine di grandezza del numero annuo di campioni generati dalle variabili di macchina e discutere, con assunzioni motivate, le conseguenze su memorizzazione, frequenza di aggregazione, tempi di conservazione e disponibilità del dato.
5. **Sicurezza, affidabilità e continuità.** Individuazione delle principali misure per il controllo degli accessi, segregazione dei ruoli, protezione delle comunicazioni, tracciamento delle operazioni, backup e ripristino, continuità del servizio e gestione dei guasti di rete o dei dispositivi di campo.
6. **Piano di implementazione e valutazione.** Definizione delle principali fasi di realizzazione, criteri di collaudo e accettazione, rischi di progetto e misure di mitigazione. Indicare, infine, le principali voci di costo e beneficio e un criterio quantitativo per valutare la convenienza economica dell'investimento.

Tema 4

Un'azienda sanitaria privata ad alta specializzazione intende progettare la nuova piattaforma digitale per la gestione integrata dei propri **Laboratori di Analisi Mediche e Diagnostica**, distribuiti su più sedi sul territorio regionale. Il sistema deve supportare le seguenti funzionalità:

- (a) accettazione dei pazienti e tracciabilità dei campioni biologici;
- (b) integrazione bidirezionale con i macchinari di analisi e strumentazioni di laboratorio per l'acquisizione automatica dei referti;
- (c) rilevamento in tempo reale di valori critici/anomalie nei risultati;
- (d) portale sicuro e app per la consultazione e il download dei referti da parte dei pazienti e dei medici di base, garantendo la piena conformità al GDPR e la firma digitale dei medici;

Il candidato delinea un progetto di massima del servizio indicato e discuta:

1. **Volume di dati da trattare e carico atteso:** Stima delle transazioni giornaliere, dimensione dei dati analitici e dei file allegati (es. immagini/tracciati diagnostici), picchi di carico (es. fasce orarie di accettazione/consegna referti);
2. **Organizzazione dei dati a supporto dell'applicazione:** Modellazione della persistenza (database relazionali per dati anagrafici/accettazione, NoSQL/Object Storage per tracciati/referti firmati), strategie di cifratura *at-rest* e *in-transit*, gestione della consistenza e tracciabilità immutabile (*audit log*);

3. **Struttura del software a supporto dei servizi identificati:** Definizione dell'architettura applicativa (es. microservizi, architettura ad eventi/Event-Driven per la gestione delle analisi), meccanismi di *fault tolerance* e piani di *disaster recovery* essenziali per contesti critici di salute pubblica;
4. **Ipotesi dell'infrastruttura di calcolo e di rete da utilizzare:** Architettura di deployment (Hybrid Cloud / On-Premise nei laboratori centrali per tolleranza ai guasti di rete), strategie di interconnessione sicura (VPN/TLS), politiche di alta disponibilità e infrastruttura per l'addestramento e l'inferenza dei modelli predittivi.

Tema 5

Un'università statale di grandi dimensioni (con oltre 80.000 studenti iscritti, 3.000 docenti e molteplici sedi didattiche) intende realizzare la nuova **piattaforma digitale integrata per la didattica, le carriere studentesche e i servizi di ateneo**. Il sistema deve supportare le seguenti funzionalità:

- (a) gestione della carriera dello studente (immatricolazioni, piani di studio, verbalizzazione degli esami con firma digitale, calcolo tasse);
- (b) pianificazione, prenotazione e gestione degli appelli d'esame e delle aule con rilevamento delle presenze;
- (c) piattaforma di e-learning e fruizione di contenuti multimediali in streaming (lezioni, materiale didattico);
- (d) modulo di Intelligenza Artificiale per l'identificazione precoce dei fattori di rischio di abbandono scolastico (*drop-out prediction*) e l'invio di raccomandazioni personalizzate sui percorsi di studio.

Il candidato delinea un progetto di massima del servizio indicato e discute:

1. **Volume di dati da trattare e carico atteso:** Calcolo del carico medio e dei picchi stagionali di traffico (es. periodi di prenotazione esami, scadenze immatricolazioni, sessioni di laurea), stima del volume di dati strutturati (carriere) e non strutturati (video/materiali didattici);
2. **Organizzazione dei dati a supporto dell'applicazione:** Modellazione delle basi di dati (relazionali per la gestione contabile/carriera, basi di dati a documenti/Object Storage per i materiali didattici), gestione delle transazioni concorrenti e garanzia della consistenza (*ACID* vs *Eventual Consistency*);
3. **Struttura del software a supporto dei servizi identificati:** Gestione dell'Identity and Access Management (es: policy di enrollment/registrazione e gestione password, multi factor authentication, supporto come SSO verso servizi terzi e/o federazione verso altri SSO come SPID e CIE), servizi per *drop-out prediction*;
4. **Ipotesi dell'infrastruttura di calcolo e di rete da utilizzare:** Scelta dell'ambiente di deployment (on-premise, Cloud pubblico o privato) e dell'architettura software (es. microservizi containerizzati, PaaS/IaaS), uso di reti di distribuzione dei contenuti (CDN) per i media didattici, strategie di bilanciamento e requisiti di rete per gestire i picchi improvvisi di utenza attiva contemporanea.

Settore Industriale

Il candidato deve scegliere 1 fra i 6 temi proposti. La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

Tema 1

Si progetti un sistema di irrigazione per terreno agricolo. Esso prevede l'uso di un ugello alimentato da una pompa centrifuga, la quale viene trascinata da un motore a Biometano. Il sistema è schematizzato in Fig. 1.

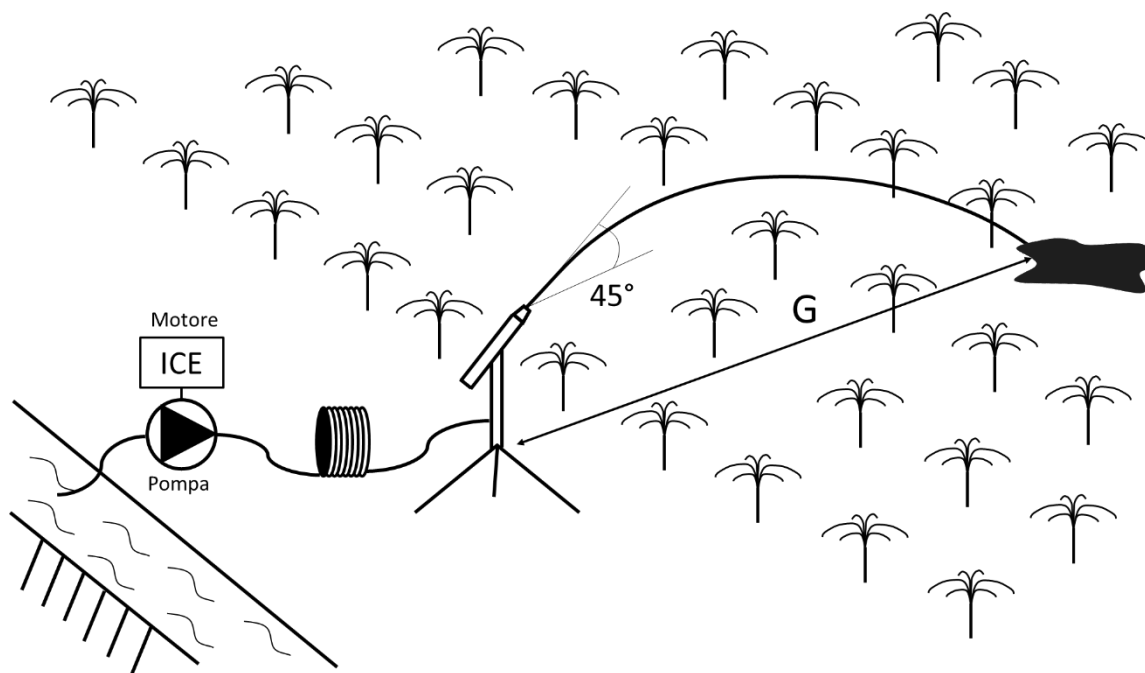


Fig. 1

La pompa pesca acqua da un canale di irrigazione e la invia all'ugello che ha il compito di distribuirla sul campo. Per ipotesi, l'asse dell'ugello è inclinato di 45° rispetto al piano che rappresenta il suolo (pianeggiante), l'interazione getto-aria è trascurabile.

Si richiede di:

1. Calcolare la velocità di uscita dall'ugello per ottenere una gittata di 84.96 m.
2. Calcolare la portata del getto d'acqua supponendo che il diametro di uscita del distributore (D_2) sia 20.09 mm.
3. Si calcoli la velocità di ingresso all'ugello immaginando che il diametro di ingresso (D_1) sia pari a 50 mm (che corrisponde, fra l'altro, al diametro del tubo di gomma che porta l'acqua dalla pompa all'ugello), supponendo di trascurare le perdite dentro al convergente.
4. Calcolare la prevalenza richiesta alla pompa trascurando le perdite dentro al distributore ma considerando quelle distribuite all'interno del tubo che collega pompa ed ugello. Il tubo è lungo 50 m e ha diametro pari a D_1 . L'acqua è caratterizzata da viscosità dinamica (μ) pari a 1.00 mPa·s e densità (ρ) di 1000 kg/m³. Per il coefficiente di attrito si faccia riferimento al diagramma di Moody riportato in Fig. 2, considerando il tubo perfettamente liscio. Inoltre, si trascurino le perdite distribuite nel tubo che collega canale e pompa (che ha sempre diametro 50 mm) ma si consideri la perdita di imbocco quando l'acqua dal canale entra nel tubo.

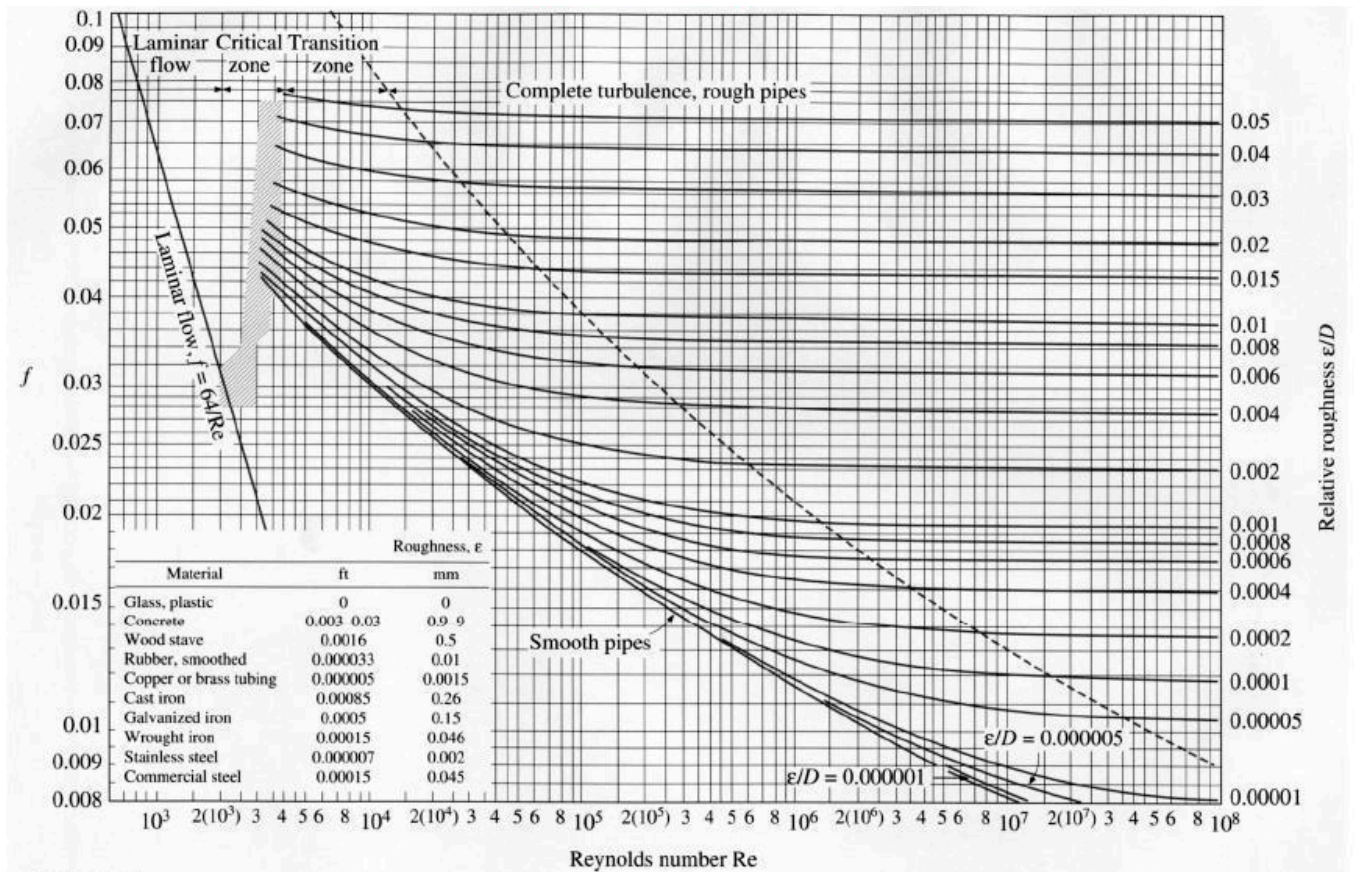


Fig. 2

In Tab. 1 vengono riportati i rendimenti idraulico (η_i), meccanico (η_m) e volumetrico (η_v) della pompa, la velocità di rotazione (n), il rapporto di compressione volumetrico (r), il coefficiente di riempimento (λ_v), l'indice d'aria (λ) e il consumo specifico (C_s) del motore, nonché la dosatura stechiometrica (α_s) e il potere calorifico inferiore (K_i) del combustibile. Si supponga unitario sia il rendimento di combustione (η_c) del motore, sia il rapporto di trasmissione tra motore e pompa.

η_i	0.60	-
η_m	0.95	-
η_v	0.98	-
n	3000	giri/min
r	11	-
λ	1.5	-
α_s	10	-

K_i	22000	kJ/kg
C_s	500.00	g/kWh
λ_v	0.88	-
ρ (aria)	1.18	kg/m ³
c_v (aria)	1003.62	J/KgK
c_p (aria)	1344.8508	J/KgK
γ (aria)	1.34	
T_1	293	K
p_1	1	bar
R	0.287	KJ/KgK

Tab. 1

Si chiede di calcolare:

5. Potenza, rendimento e cilindrata del motore
6. BMEP del motore;
7. La massa di Biometano per ciclo

Supponendo che il motore funzioni secondo un ciclo Otto con gas ideale, si calcolino:

8. Pressione e temperatura a fine compressione
9. Pressione e temperatura massime nel ciclo
10. Pressione e temperatura a fine espansione
11. Rendimento termodinamico del ciclo

Considerando la pompa di Fig. 1 e le sue condizioni operative di portata e prevalenza, adoperando il diagramma di Baljé di Fig. 3 si stabilisca se, per avere massima efficienza, si debba utilizzare una macchina centrifuga, mista o assiale e quale sarebbe il rendimento idraulico massimo. Inoltre, si calcoli (approssimativamente) qual è la differenza di rendimento idraulico della macchina tra la pompa realmente utilizzata e quella “ottimale” che risulterebbe dal diagramma di Baljé. Infine si calcoli quale sarebbe la dimensione ottimale della macchina.

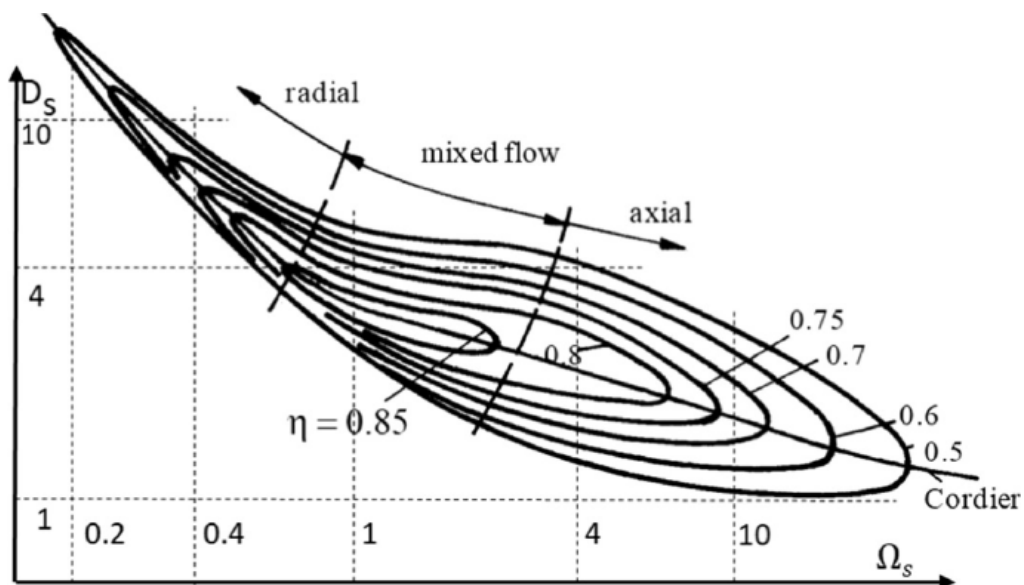


Fig. 3

Per semplicità e costi, si immagini che la pompa realmente utilizzata (quella le cui efficienze sono riportate in Tab. 1) sia centrifuga monostadio e siano noti il raggio di ingresso girante R1, il raggio di uscita girante R2 e la superficie della sezione meridiana di passaggio del fluido nei condotti interpallari S (considerata costante tra ingresso e uscita canale interpallare). Tali grandezze sono riportate in Tab. 2.

R2	110	mm
R1	20	mm
S	2000	mm ²

Tab. 2

Si calcolino, in condizioni di perdite nulle, e con ipotesi di flusso radiale in ingresso alla girante:

1. L'angolo di inclinazione delle pale β_2
2. Le componenti di velocità all'ingresso e all'uscita della girante

Si disegnino in scala i triangoli di velocità in ingresso e uscita dalla girante e si effettui, infine, il disegno della pompa.

Tema 2

L'argano rappresentato in Figura è formato da un motore elettrico con rotore di momento d'inerzia $J_m = 0.01 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, un riduttore di rendimento costante $\eta = 0.9$ e un tamburo di diametro $d_t = 0.4 \text{ m}$ e momento d'inerzia $J_t = 1.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Questo argano viene utilizzato per sollevare un carico di massa $m = 100 \text{ kg}$ tramite una puleggia di rinvio avente massa trascurabile.

Nel caso a) il riduttore è costituito da un rotismo ordinario, dove l'albero della ruota 1 è il movente e l'albero della ruota 5 è il cedente. È noto il numero di denti di tutte le ruote: $z_1 = 17$, $z_2 = 20$, $z_3 = 33$, $z_4 = 18$, $z_5 = 42$. È noto il modulo della ruota 1, $m_1 = 1 \text{ mm}$, e il modulo della ruota 4, $m_4 = 1.5 \text{ mm}$. Tutte le ruote dentate sono ruote normali. Gli alberi delle ruote 1 e 5 sono coassiali.

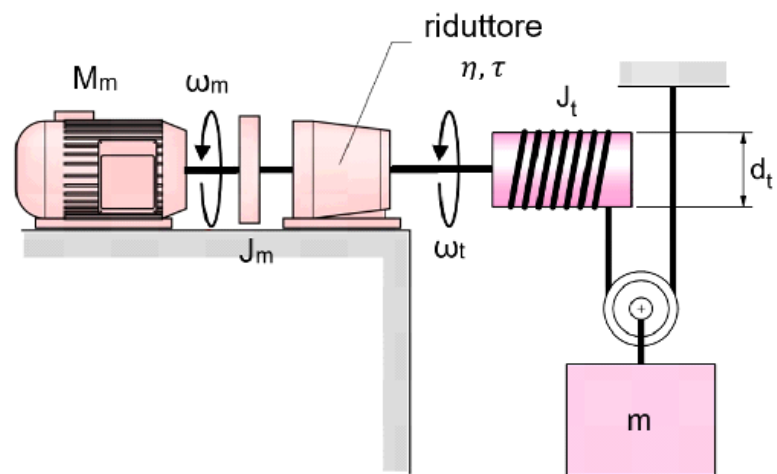
Nel caso b) il riduttore è costituito da un rotismo epicicloidale, dove l'albero della ruota 1 è il movente e l'albero del portasatelliti p è il cedente. È noto il numero di denti delle prime due ruote: $z_1 = 17$, $z_2 = 20$. Tutte le ruote dentate sono ruote normali.

Nel caso c) il riduttore è costituito da un rotismo ordinario nel primo stadio e un rotismo epicicloidale nel secondo stadio, dove l'albero della ruota 1 è il movente e l'albero del portasatelliti p è il cedente. È noto il numero di denti delle prime quattro ruote: $z_1 = 18$, $z_2 = 36$, $z_3 = 20$ e $z_4 = 25$. Tutte le ruote dentate sono ruote normali.

- 1) Calcolare nei tre casi precedenti il valore del rapporto di trasmissione τ del riduttore.
- 2) Applicando l'equazione di bilancio delle potenze, calcolare nei tre casi precedenti il valore della coppia M_m che deve essere erogata dal motore per imprimere al carico un'accelerazione verso l'alto pari a $a = g/4$.

L'argano è accoppiato tramite un sistema di organi meccanici al meccanismo piano in Figura.

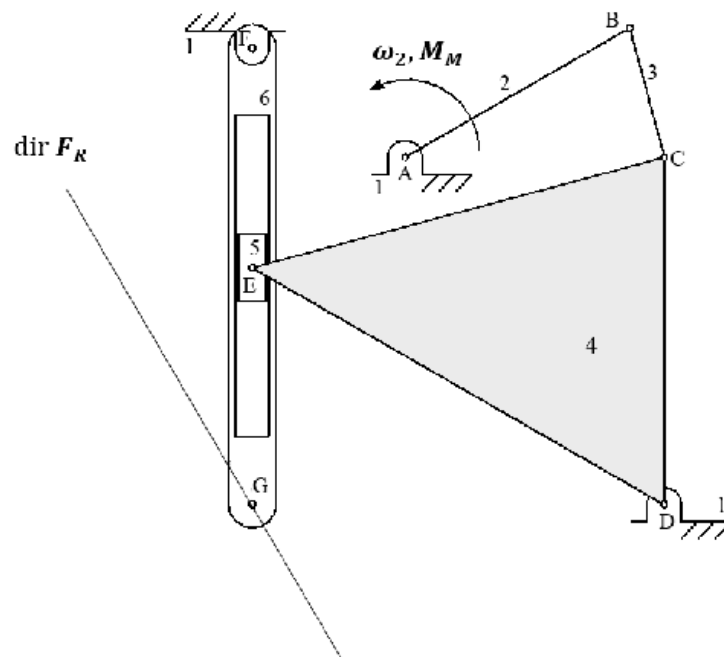
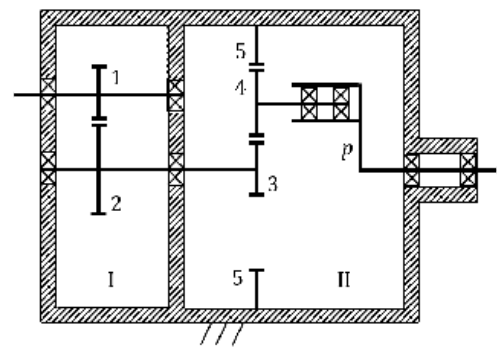
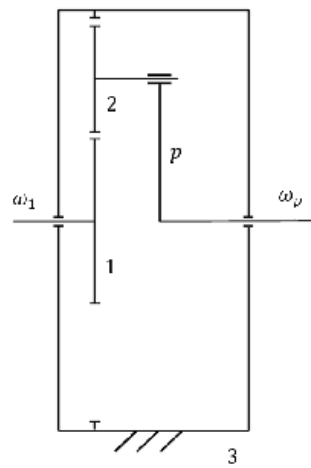
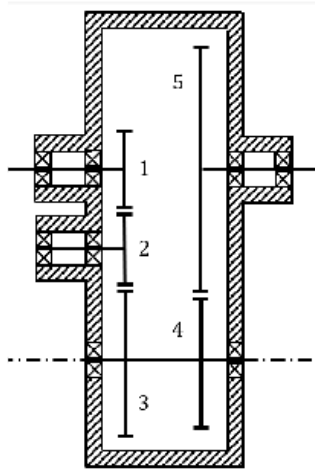
- 3) Nota la velocità angolare ω_2 del membro 2, con $|\omega_2| = 15$ giri/min, eseguire l'analisi cinematica grafica del meccanismo piano, determinando la velocità v_G del punto G.
- 4) Noto il momento motore M_M agente sul membro 2, con $|M_M| = 1.5$ Nm, e trascurando l'attrito, effettuare l'analisi statica grafica del meccanismo piano, determinando la forza resistente F_R applicata al membro 6 nota in direzione.
- 5) Verificare l'accuratezza dei risultati ottenuti per l'analisi cinematica e per l'analisi statica mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali, vale a dire confrontando tra loro la potenza in ingresso e la potenza in uscita dal meccanismo piano e valutando l'errore relativo percentuale.



(a)

(b)

(c)



Tema 3

Si deve progettare il tubo interno di uno scambiatore di calore destinato al raffreddamento di un fluido di processo. Il fluido caldo scorre all'interno del tubo, mentre acqua industriale di raffreddamento circola esternamente.

Il tubo presenta le seguenti caratteristiche:

- lunghezza $L = 4,0 \text{ m}$;
- raggio interno $r_i = 10 \text{ mm}$;
- pressione del fluido interno $p_i = 100 \text{ bar}$;
- pressione dell'acqua esterna $p_e = 3 \text{ bar}$;
- temperatura massima di esercizio $T_{\text{max}} = 180^\circ\text{C}$;
- differenza media logaritmica di temperatura tra i fluidi $\Delta T_{lm} = 60 \text{ K}$.

Il materiale deve resistere alla pressione senza deformarsi plasticamente e deve consentire il massimo trasferimento termico possibile, mantenendo contenuta la massa dello scambiatore.

Per il dimensionamento meccanico si assuma un coefficiente di sicurezza $n = 2$. Si trascurino inizialmente i sovrasspessori di corrosione, le tolleranze di fabbricazione e le sollecitazioni termiche.

1. Impostazione del problema di selezione

Indicare in una tabella:

- funzione del componente;
- vincoli di progetto;
- obiettivi;
- variabili libere.

Specificare le proprietà del materiale rilevanti per la selezione.

2. Selezione dei materiali

Con l'ausilio dei diagrammi individuare fino a un massimo di tre famiglie di materiali potenzialmente adatte alla realizzazione del tubo.

Per ciascun materiale selezionato, ricavare dai diagrammi i valori delle proprietà necessarie alle successive valutazioni. Discutere inoltre i principali vantaggi e svantaggi di ciascun candidato.

3. Individuazione degli indici di prestazione

Considerando inizialmente il solo trasferimento termico per conduzione attraverso la parete e assumendo valida l'approssimazione di tubo a parete sottile, ricavare gli indici di prestazione da massimizzare nei seguenti casi:

1. massimo flusso termico trasmesso per unità di superficie, con resistenza alla pressione imposta;
2. massimo flusso termico trasmesso per unità di massa del tubo, con resistenza alla pressione imposta.

Esplicitare le ipotesi adottate e calcolare i valori degli indici individuati per i tre materiali selezionati al punto precedente.

4. Dimensionamento meccanico del tubo

Calcolare, per ciascuno dei tre materiali selezionati, lo spessore minimo della parete necessario a evitare la deformazione plastica nelle condizioni assegnate. Nel calcolo si tenga conto della differenza tra la pressione interna e quella esterna e del coefficiente di sicurezza indicato.

Verificare a posteriori l'accettabilità dell'ipotesi di parete sottile. Qualora tale approssimazione non risulti adeguata, indicare quale modello dovrebbe essere impiegato per un dimensionamento più accurato.

5. Calcolo della massa

Per ciascun materiale determinare:

- raggio esterno del tubo;
- volume del materiale;
- massa complessiva.

Confrontare i risultati e individuare il materiale che consente di ottenere il tubo più leggero. Verificare se il risultato è coerente con l'indice di prestazione ricavato in precedenza.

6. Confronto economico

Utilizzando il diagramma del costo dei materiali fornito, stimare il costo del materiale necessario per realizzare ciascuno dei tre tubi.

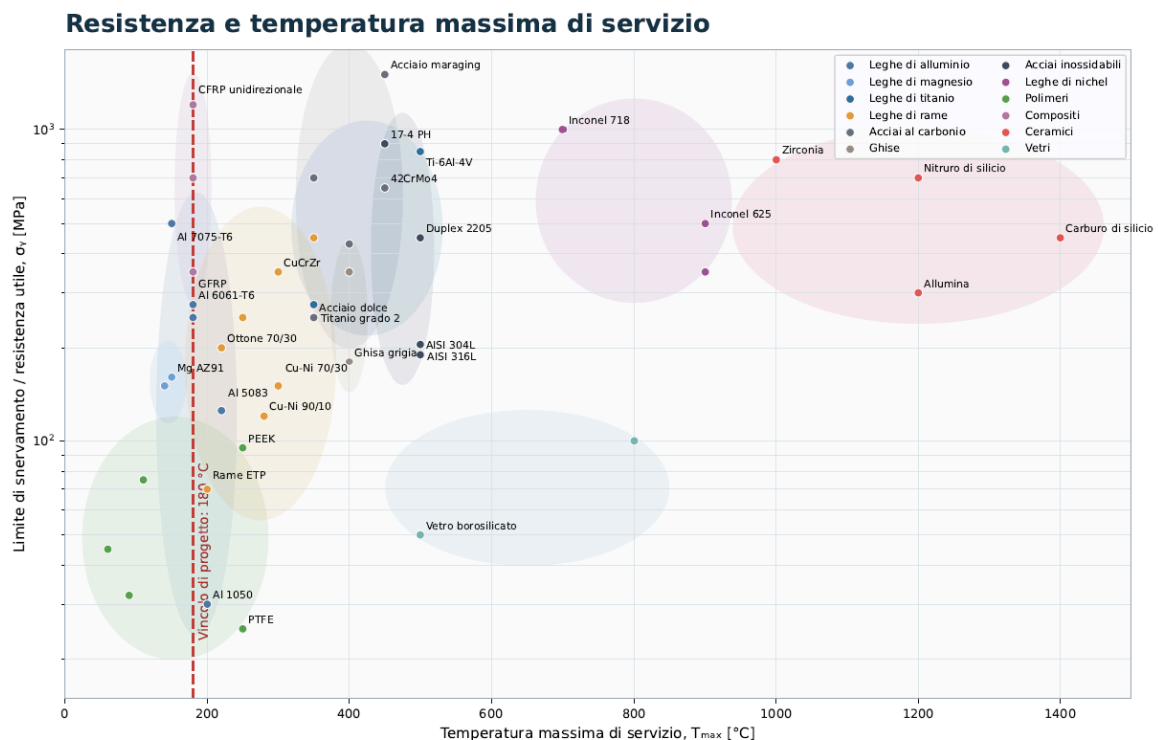
Discutere perché il solo costo del materiale non sia sufficiente per stimare il costo complessivo dello scambiatore. Considerare, in particolare:

- produzione del tubo;
- saldatura o brasatura;
- giunzione alla piastra tubiera;
- trattamenti termici;
- controlli non distruttivi;
- manutenzione e vita utile.

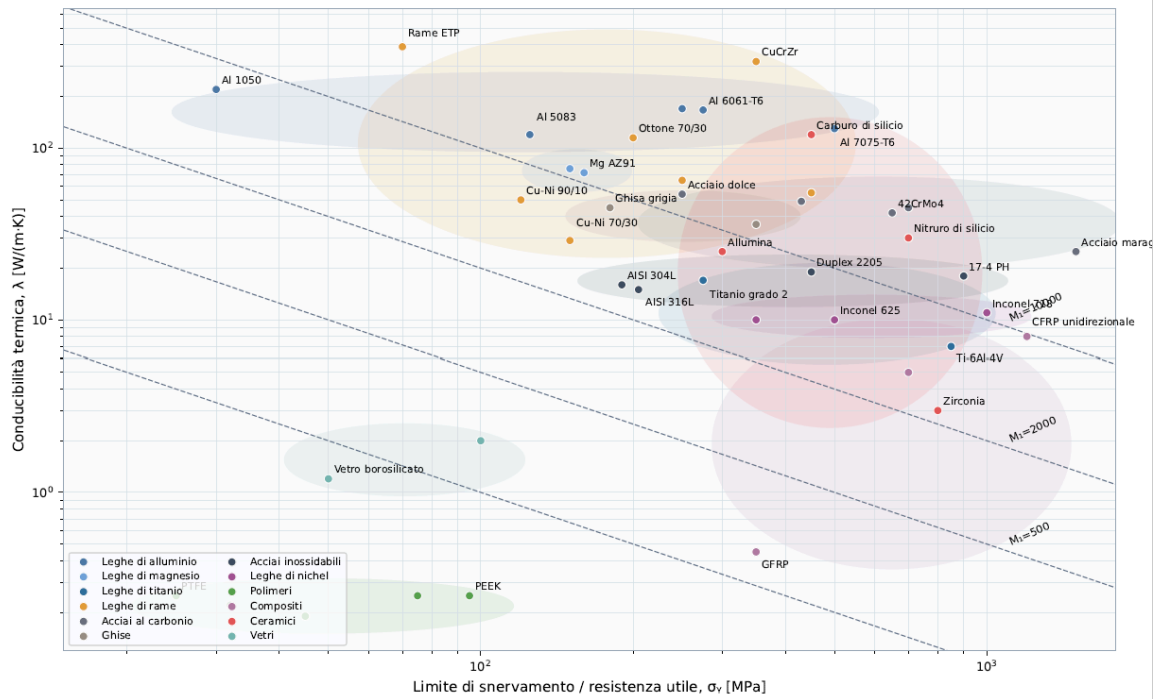
7. Corrosione

Considerando che il fluido che scorre all'interno (caldo) possa aver subito contaminazioni (gas disciolti) che hanno portato ad una sua acidificazione fino a pH 3.5, individuare quale dei tre materiali emersi dal processo di selezione precedente possa risultare il più indicato al fine di evitare problemi di manutenzione legati alla corrosione. Al fine di questa valutazione considerare l'ambiente interno al tubo dello scambiatore di calore un ambiente chiuso (con scarso ricambio di ossigeno).

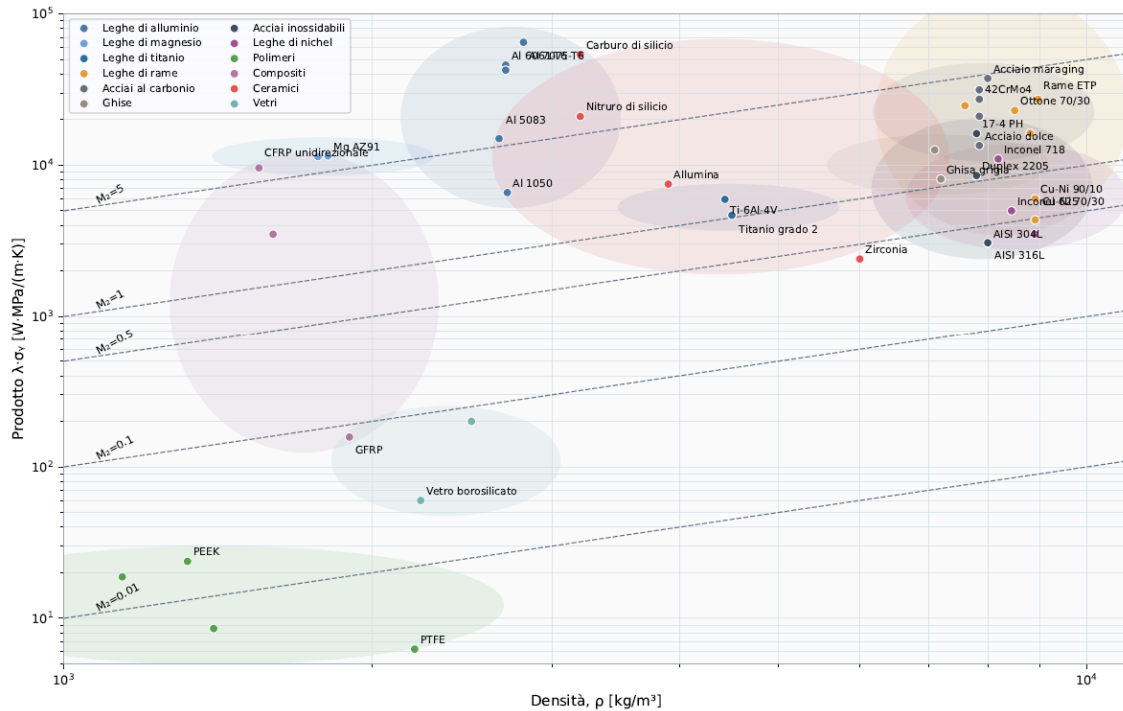
Diagrammi

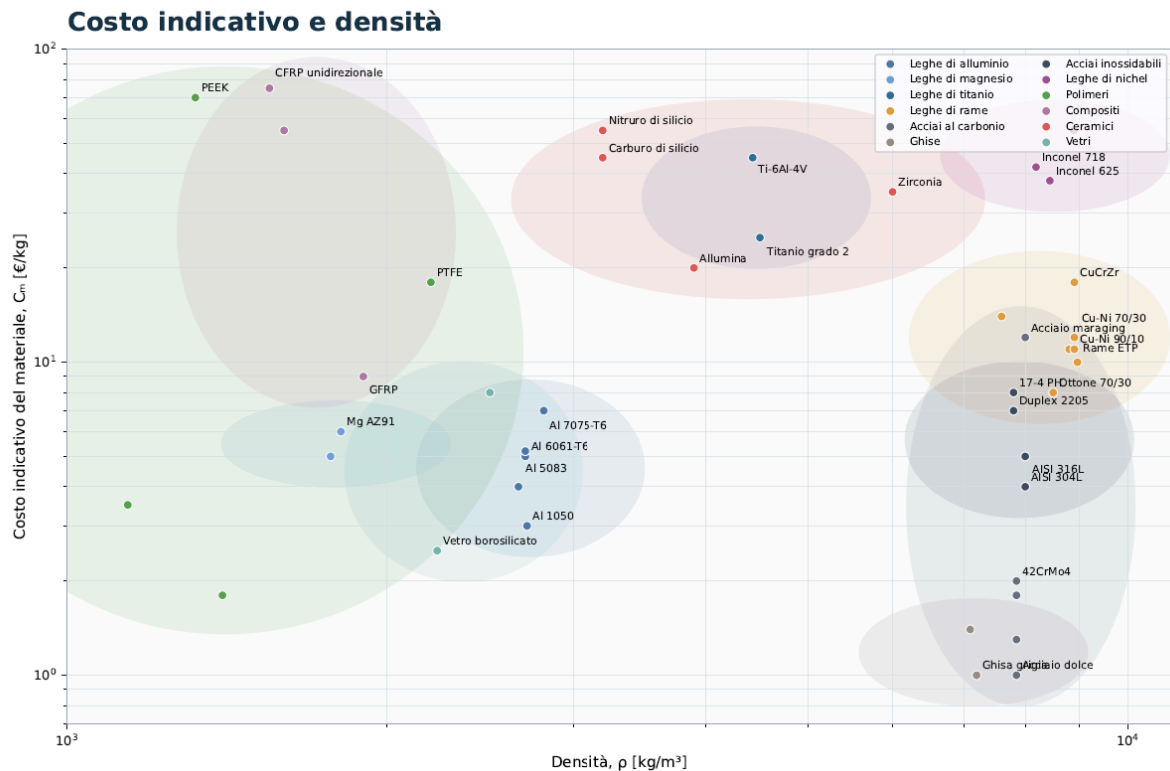


Conducibilità termica e resistenza meccanica



Prestazione termomeccanica e densità





Tema 4

1. Premessa

Un'azienda meccanica produce otto codici di componenti, A–H, in lotti medio-piccoli. L'attuale impianto è organizzato per processo e presenta elevati flussi interfunzionali. L'azienda intende riorganizzare la produzione secondo i principi della Group Technology, automatizzare mediante un flexible manufacturing system (FMS) una delle famiglie e realizzare, a valle della produzione, un nuovo magazzino manuale per unità di carico (UdC) pallettizzate. Il candidato sviluppi il predimensionamento integrato del sistema.

Assumere condizioni stazionarie e trascurare, salvo diversa indicazione, indisponibilità per guasto, microfermate, scarti e tempi di setup non esplicitamente compresi nei dati. Dichiarare e motivare eventuali assunzioni integrative necessarie allo svolgimento del predimensionamento.

2. Group Technology e identificazione delle famiglie di parti

La matrice parte-macchina è riportata in Tabella 1. Il valore 1 indica che il codice richiede una lavorazione sulla macchina corrispondente; una cella vuota equivale a 0.

Tabella 1. Matrice parte-macchina.

		PARTI							
		E	A	F	B	G	C	H	D
M A C C H I N E	M2		1		1				1
	M5	1		1				1	
	M1		1				1		1
	M4	1				1		1	
	M3				1		1		1
	M6			1		1		1	

La tabella seguente specifica le tipologie di macchine di produzione presenti nell'impianto:

M1	Centro di lavoro orizzontale CNC (HMC)
M2	Centro di lavoro verticale CNC (VMC)
M3	Rettifica CNC
M4	Tornitura CNC
M5	Fresatura CNC
M6	Foratura / alesatura CNC

Richieste – Group Technology:

1. Individuare le famiglie di parti e i corrispondenti gruppi di macchine; commentare sinteticamente l'eventuale presenza di elementi eccezionali o sovrapposizioni tra celle.

2. Dimensionamento dell'FMS

La direzione intende automatizzare la famiglia costituita dai codici A–D mediante un FMS con le stazioni M1, M2 e M3, una stazione di carico/scarico (L/U), un buffer automatico di pallet (S) e un sistema di trasporto a navetta. Si considerino i seguenti dati e quelli mostrati nelle Tabelle 2 e 3:

- Calendario: 2 turni/giorno, 8 ore/turno, 5 giorni/settimana, 48 settimane/anno.
- Tempo medio di un trasporto caricato: 0,8 min; per ogni trasporto caricato, si assuma un riposizionamento a vuoto di 0,4 min.

Il buffer automatico S non deve essere dimensionato. Le macchine della stessa tipologia sono considerate server equivalenti e possono eseguire indistintamente le operazioni previste per quella tipologia.

Tabella 2. Domanda annua e tempi di lavorazione [min/pezzo].

A	8640	18	24	-
B	7200	-	30	15
C	5760	22	-	20
D	7200	16	28	18

Tabella 3. Carico/scarico e sequenze di attraversamento. L/U: Carico/Scarico. S: Storage.

A	5 / 3	L/U - S - M1 - M2 - S - L/U	5
B	6 / 3	L/U - S - M2 - M3 - S - L/U	5
C	5 / 2	L/U - S - M1 - M3 - S - L/U	5
D	7 / 3	L/U - S - M1 - M2 - M3 - S - L/U	6

Richieste – FMS:

- Determinare il mix produttivo e la produttività oraria richiesta per soddisfare la domanda annua.
- Calcolare i workload delle tre stazioni di lavoro, della stazione di carico/scarico e del sistema di trasporto; dimensionare il numero minimo di server richiesto per ciascuna risorsa.
- Calcolare le utilizzazioni delle risorse, individuare la stazione collo di bottiglia dopo il dimensionamento e determinare la massima capacità produttiva oraria e annua conseguibile con la configurazione ottenuta.
- Rappresentare uno schema di principio dell'FMS coerente con le sequenze assegnate, indicando stazione L/U, buffer S, stazioni M1–M3 e sistema di movimentazione. Commentare sinteticamente le principali forme di flessibilità assicurate dalla soluzione.

3. Dimensionamento del magazzino manuale per UdC pallettizzate

I codici A–H sono trasferiti a un magazzino manuale a valle della produzione. Le giacenze riportate in Tabella 4 sono espresse in UdC pallettizzate. Non viene svolta attività di picking: ingresso e uscita avvengono a pallet intero. Si adotta una politica shared storage.

Tabella 4. Giacenze rilevate [pallet].

A	410	440	425	445
B	260	300	270	290

C	990	1050	1020	1060
D	650	720	680	710
E	340	380	350	370
F	190	230	200	220
G	490	540	510	540
H	450	500	470	500

Dati di progetto del magazzino:

- UdC: pallet EPAL 1200 × 800 mm, senza debordo laterale del carico; altezza massima UdC = 1550 mm; carico massimo = 700 kg.
- Scaffalature portapallet bifronti back-to-back, singola profondità e selettività unitaria. Ogni campata contiene 2 pallet per fronte e per livello.
- Spessore montante = 100 mm; spessore corrente = 120 mm; franco orizzontale tra pallet e montanti e tra pallet adiacenti = 75 mm; franco verticale di manovra = 150 mm.
- Profondità convenzionale di una scaffalatura monofronte = 1,00 m; interspazio tra i due fronti back-to-back = 0,20 m.
- Carrelli a forche retrattili; larghezza corridoio operativo = 2,80 m; massima quota di presa forche = 9,0 m.
- Altezza libera sottotrave del fabbricato = 10,8 m; riservare 0,8 m in sommità per impianti e servizi.
- Portata ammissibile di una coppia di correnti = 1600 kg. Il dimensionamento strutturale della scaffalatura non è richiesto oltre alla verifica di compatibilità con il carico assegnato.
- Per il predimensionamento in pianta, il modulo unitario è costituito da un blocco back-to-back e dal corridoio adiacente; gli effetti di bordo sono trascurati nel calcolo della ricettività.
- Politica shared storage: assumere come ricettività base la somma delle giacenze medie dei codici e applicare un margine di espansione del 5%.
- Configurazione del fabbricato: layout trasversale, con corridoi perpendicolari al fronte I/O; punto I/O in posizione centrale sul fronte. Ingombro massimo disponibile = 52 m (fronte) × 48 m (profondità).
- Prevedere 1,0 m di franco laterale su ciascun lato, 1,5 m di franco posteriore e una fascia frontale continua di ricezione/spedizione larga 6,0 m.

Richieste – Magazzino:

6. Calcolare la giacenza media di ciascun codice, la ricettività base e la ricettività di progetto del magazzino secondo la politica shared storage e il margine assegnato.
7. Determinare l'altezza utile di stoccaggio, l'altezza del vano e il numero di livelli di stoccaggio. Verificare la compatibilità con la quota massima di presa del carrello e con l'altezza utile del fabbricato.
8. Rappresentare graficamente in elevazione una campata della scaffalatura, indicando almeno: UdC, correnti, montanti, numero di livelli, altezza del vano, quota dell'ultimo livello e altezza complessiva del carico stoccato.
9. Determinare la geometria della campata e del modulo unitario in pianta: passo della campata lungo il corridoio, dimensioni del modulo, superficie, numero di footprint e ricettività del modulo. Rappresentare graficamente il modulo unitario, quotando pallet, scaffalature back-to-back e corridoio operativo.
10. Determinare il numero minimo di moduli necessari e proporre una disposizione intera dei moduli compatibile con il layout trasversale e con l'ingombro massimo disponibile. Calcolare le dimensioni effettive dell'area di stoccaggio, la ricettività effettiva installata e l'ingombro complessivo del magazzino includendo i franchi perimetrali e la fascia frontale di I/O.
11. Commentare in modo sintetico l'integrazione logistica tra FMS e magazzino, con particolare riferimento al ruolo del buffer, alla tracciabilità richiesta dalla shared storage e alla separazione tra flussi produttivi interni e flussi di ricezione/spedizione.

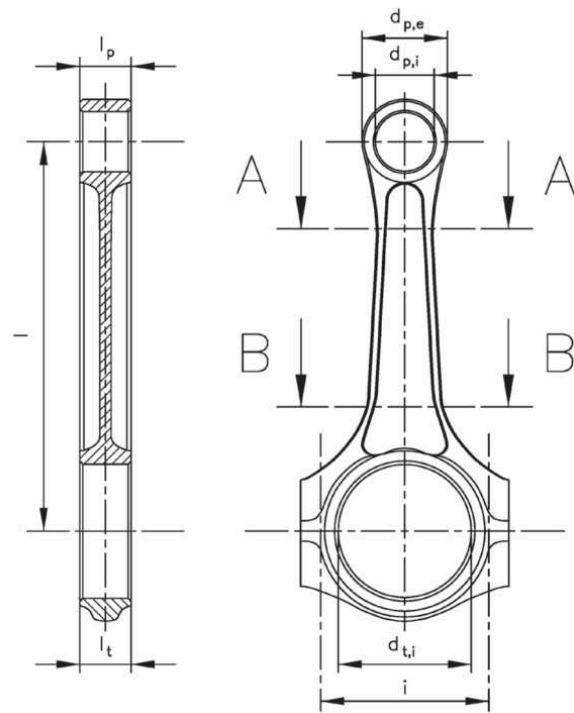
Nelle rappresentazioni grafiche è sufficiente un disegno tecnico schematico, purché coerente con i dati e correttamente quotato. Non sono richiesti il calcolo strutturale delle scaffalature, la verifica antincendio né il dimensionamento impiantistico del fabbricato.

Tema 5

Si consideri il dimensionamento della biella per un motore a combustione interna a quattro tempi. Sono forniti i dati riportati in basso.

Scegliere opportunamente i materiali con cui realizzare biella e spinotto. Considerare, per un calcolo di primo tentativo, le masse fornite per gli organi del motore. Si richiede inoltre di:

1. Scegliere una forma per la sezione minima del fusto e dimensionare tale sezione affinché resista a fatica alle condizioni specificate;
2. Verificare che il carico di punta sulla biella non induca instabilità;
3. Dimensionare la sezione massima del fusto in modo che la biella resista al colpo di frusta in posizione di quadratura;
4. Dimensionare opportunamente lo spessore del piede della biella;
5. Dimensionare lo spinotto, che va realizzato con sezione circolare cava, scegliendo il diametro interno più adeguato;



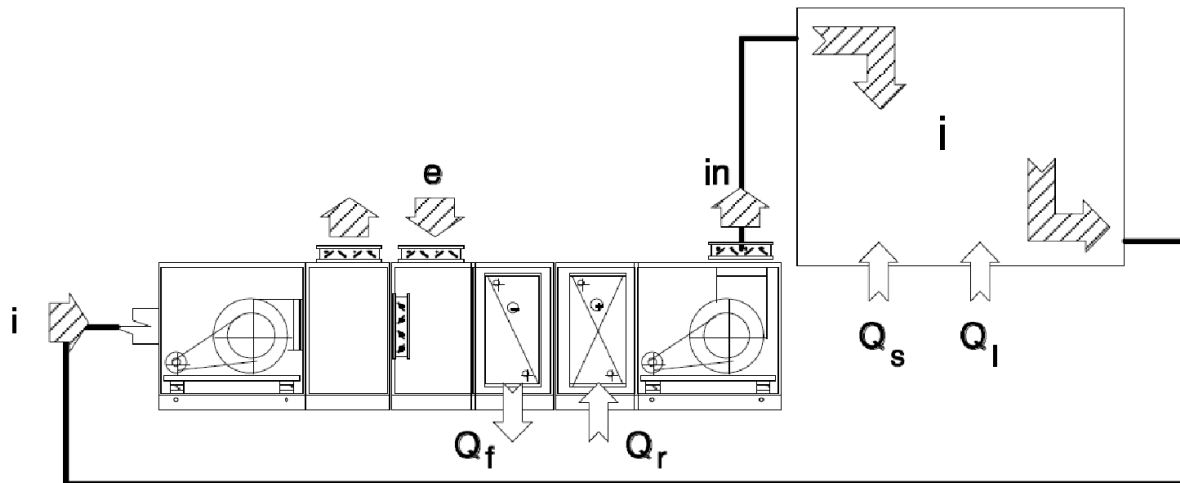
Lunghezza biella	l	123	mm
Diametro interno del piede	$d_{p,i}$	22	mm
Larghezza del piede	l_p	23	mm
Massa preliminare di pistone, spinotto e fasce elastiche	m_{psf}	0.43	kg
Massa preliminare della biella	m_b	0.74	kg
Pressione massima in camera di combustione	p_{max}	6.5	MPa
Massimo numero di giri del motore	n_{max}	5800	giri/min
Alesaggio	B	68	mm
Corsa	S	68	mm

Tema 6

Occorre progettare un impianto di condizionamento ad aria singolo canale costituito da una sezione di mescolamento adiabatico, da una batteria di raffreddamento e da una batteria di post-riscaldamento con fattore di by-pass (f_b) pari a 0.15, a servizio di un piccolo capannone industriale in cui lavorano 32 persone (p) ed in grado di garantire una temperatura (t_i) di 26°C ed un grado igrometrico (ϕ_i) pari a 0.5 all'interno del capannone quando all'esterno vi è una temperatura (t_e) di 35°C ed un grado igrometrico (ϕ_e) pari a 0.65 con una portata di

aria rinnovata pari a 70 kg/h per persona. Sapendo che la portata d'aria secca immessa nel capannone è pari a 2 kg/s (m_a) e che il carico termico sensibile q_s è pari a 13 kW e quello latente q_l è pari a 4.5 kW si calcoli:

1. Il fattore termico R ;
2. La temperatura dell'aria immessa nel capannone (t_{in});
3. La potenza termica sottratta all'aria durante il processo di raffreddamento (q_r);
4. La potenza termica ceduta all'aria durante il processo di riscaldamento (q_r);
5. La portata di condensato (m_c).



Settore Civile/Ambientale

Il candidato deve scegliere 1 fra i 4 temi proposti. La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

Tema 1

Progettazione di una struttura in c.a.

Le Figure 1 e 2 rappresentano, rispettivamente, la pianta e uno schema di massima del telaio A-B-C (evidenziato con un rettangolo tratteggiato in pianta) di un edificio monopiano in calcestruzzo armato da costruirsi nel comune di Modena. La struttura ha dimensioni in pianta di 8 m x 5.5 m e presenta copertura piana, non praticabile. In corrispondenza dei telai perimetrali sono presenti muri di tamponamento.

Le dimensioni di travi e pilastri nelle figure sono indicative e possono essere modificate dal candidato in base al progetto effettuato, senza però modificare la geometria complessiva della struttura. I valori caratteristici dei carichi permanenti portati e del peso proprio possono essere assunti pari a, rispettivamente, 1.70 kN/m² e 3.2 kN/m². I carichi variabili sono conformi a quanto richiede la norma per le coperture, considerando che la struttura si trova a Modena.

Si richiede di effettuare la progettazione della struttura in ca, in conformità con le norme tecniche vigenti (Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 17.01.2018 - NTC2018). In particolare, si chiede di:

1. Definire l'azione del sisma di progetto giustificando opportunamente il fattore di comportamento che si intende adottare, in quanto la struttura dovrà essere progettata per avere un comportamento dissipativo.
2. Valutare i tre periodi propri della struttura e le relative forme modali, considerando il solaio infinitamente rigido. Per il calcolo dei periodi propri si può far riferimento all'ipotesi di travi rigide.
3. Valutare le sollecitazioni sulla struttura in ca dovute all'effetto dei carichi verticali e dell'azione sismica, anche con schemi semplificati purché idonei alla progettazione in zona sismica. Ai fini della valutazione degli effetti dell'azione sismica, oltre all'eccentricità accidentale prevista dalla norma, si deve considerare l'eccentricità strutturale, definita dalla distanza tra il baricentro delle masse e il baricentro delle rigidezze. L'effetto dell'azione sismica deve essere valutato attraverso un'analisi lineare (statica o dinamica).
4. Effettuare le verifiche di resistenza per almeno una travata e un pilastro, con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, applicando il criterio della gerarchia delle resistenze se opportuno.
5. Eseguire elaborati grafici schematici che mostrino la posizione delle armature calcolate, specificando i dettagli necessari per rendere il progetto conforme alle NTC2018.
6. Valutare gli spostamenti della struttura allo Stato Limite di Danno, verificando il rispetto dei limiti previsti dalle NTC2018 per tamponamenti "fragili".

L'edificio si trova nel comune di Modena, il sottosuolo è assimilabile alla categoria "C" e i parametri per la definizione dell'azione sismica sono riportati in Tabella 1.

Le quote delle figure sono in cm. Qualunque dato mancante può essere assunto dal candidato previa opportuna giustificazione.

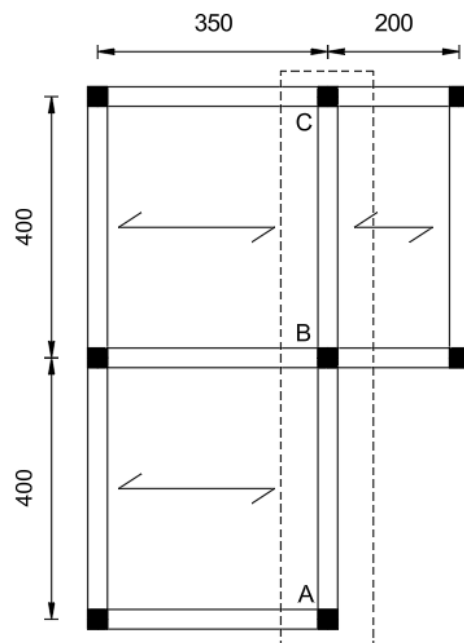


Figura 1. Pianta schematica della struttura oggetto di progettazione

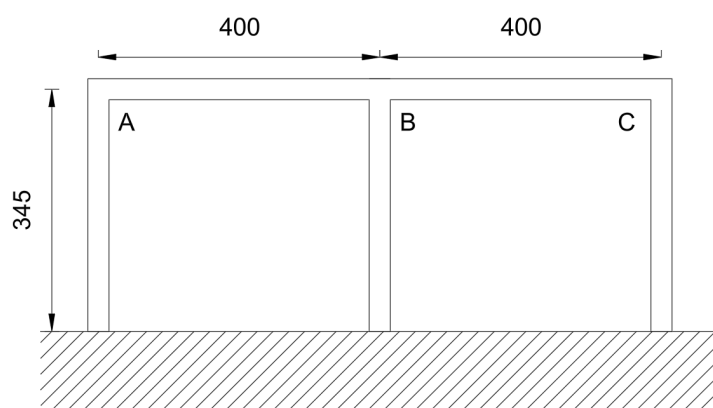


Figura 2. Schema di massima del telaio oggetto di progettazione

Stato Limite	Tr (anni)	ag (g)	F0 (-)	Tc* (s)
Salvaguardia della Vita	475	0.16	2.50	0.29
Danno	50	0.06	2.50	0.27

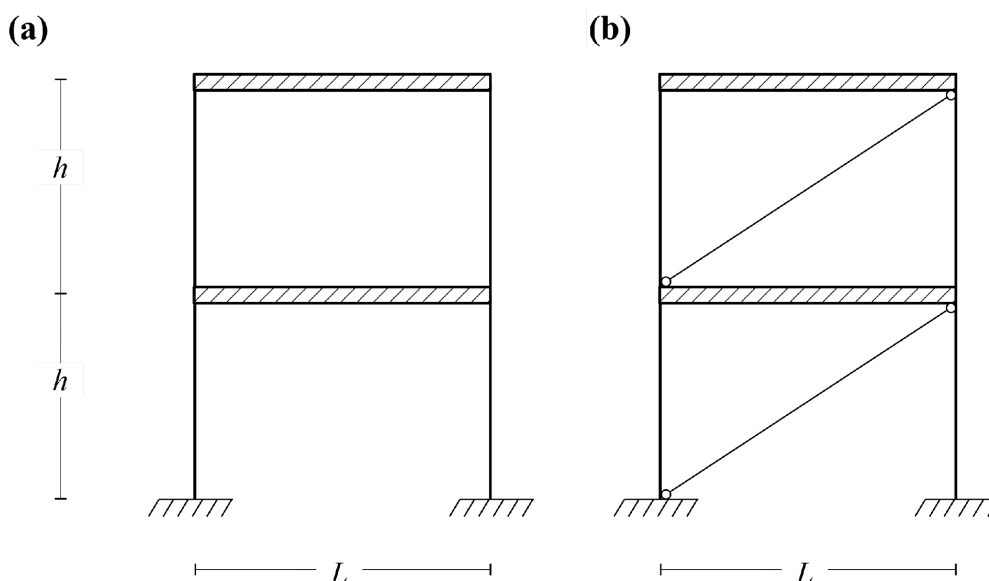
Tabella 1. Parametri dell'azione sismica

Tema 2

Calcolo statico di un telaio shear-type

La struttura rappresentata in Figura 1(a) è costituita da uno dei due telai piani paralleli appartenenti a un edificio residenziale in cemento armato ordinario, sito nel Comune di Modena e costituito da due livelli fuori terra. La copertura è piana, praticabile e adibita a terrazza. La pianta dell'edificio è quadrata, con dimensioni pari a $5,00 \times 5,00$ m. I due telai principali sono disposti lungo i lati opposti dell'edificio e sono collegati, nella direzione ortogonale al loro piano, mediante travi secondarie. La larghezza di influenza del telaio piano rappresentato in Figura 1(a) è pari a 2,50 m. Entrambi i piani hanno altezza h pari a 3,00 m, mentre la campata del telaio ha luce L pari a 5,00 m.

Figura 1: Telaio piano di riferimento: (a) struttura di riferimento per i quesiti 1 e 2(a-b); (b) struttura di riferimento per il quesito 2(c) (progettazione del sistema di controventi).



Le travi e i pilastri appartenenti al telaio piano principale hanno sezione rettangolare pari a 30×50 cm. La dimensione di 50 cm è orientata nel piano del telaio e costituisce la dimensione resistente ai fini della valutazione del momento d'inerzia flessionale. Le travi secondarie, disposte nella direzione ortogonale al piano del telaio, sono realizzate in spessore di solaio e hanno sezione rettangolare pari a 50×30 cm, con altezza pari a 30 cm. Il loro peso proprio deve essere considerato nella determinazione delle masse degli impalcati, mentre il loro contributo di rigidezza non deve essere incluso nel modello piano di Figura 1(a).

Si assumano calcestruzzo di classe C25/30, acciaio per cemento armato B450C, comportamento elastico lineare nelle analisi richieste, comportamento globale del telaio assimilabile a quello di un sistema shear-type, incastri perfetti alla base dei pilastri, assenza di effetti torsionali.

I solai interpiano e di copertura sono realizzati in laterocemento e sono considerati infinitamente rigidi nel proprio piano. Per entrambi si assuma un peso proprio strutturale pari a $4,00 \text{ kN/m}^2$. Il solaio interpiano è destinato a civile abitazione, mentre la copertura è piana, praticabile e adibita a terrazza. Il candidato determini i pertinenti carichi permanenti non strutturali e sovraccarichi variabili in funzione delle rispettive destinazioni d'uso, esplicitando e motivando i valori adottati.

Ai fini delle analisi statiche e delle verifiche strutturali, l'azione sismica agente sul telaio piano rappresentato in Figura 1(a) è schematizzata mediante due forze orizzontali statiche equivalenti, applicate in corrispondenza dei baricentri degli impalcati: $F_1 = 30 \text{ kN}$ al primo impalcato; $F_2 = 60 \text{ kN}$ alla copertura. Le forze sono applicate

nello stesso verso e rappresentano la quota dell'azione sismica complessiva attribuita al telaio piano considerato. Si trascurino gli effetti torsionali e gli effetti del secondo ordine.

Ai fini dell'analisi modale, il candidato determini le masse da concentrare in corrispondenza dei due impalcati giustificandone in modo opportuno il calcolo.

Il candidato è tenuto a rispondere, nell'ordine indicato, ai seguenti quesiti:

1. Analisi modale

- a) Determinare le prime due frequenze proprie del telaio piano di Figura 1(a) mediante analisi modale, considerando l'ipotesi di telaio shear-type.
- b) Rappresentare e descrivere le forme modali corrispondenti.

2. Calcolo statico

A partire dalle forze concentrate agenti sulla struttura in figura 1 (a):

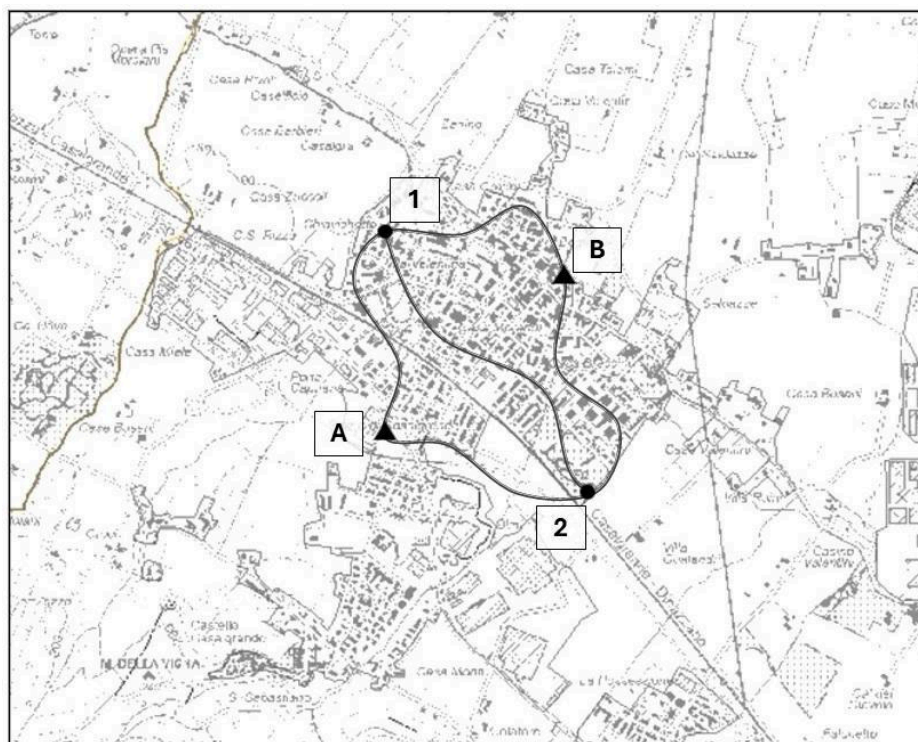
- a) Calcolare e rappresentare gli andamenti delle caratteristiche della sollecitazione interna (momento flettente, taglio e sforzo normale) su travi e pilastri;
- b) Determinare gli spostamenti orizzontali dei singoli impalcati (δ_1 e δ_2);
- c) Progettare il sistema di controventatura di Figura 1 (b), costituito da un singolo controvento a diagonale attiva per ciascun piano, finalizzato a limitare i drift d'interpiano, δ_1 e $|\delta_2 - \delta_1|$, entro il valore massimo ammissibile pari a $h/300$, dove h rappresenta l'altezza del piano considerato. Definire il materiale e la sezione resistente del controvento necessari a garantire il rispetto di tale limite.

Il candidato è tenuto a presentare lo svolgimento in maniera chiara, motivando le scelte progettuali, esplicitando le ipotesi semplificative e giustificando i procedimenti di calcolo adottati.

Tema 3

Compensazione di una rete altimetrica

La mappa inclusa nella presente prova riporta la posizione di quattro caposaldi (definiti attraverso gli identificativi 1, 2, A e B). I dislivelli tra questi caposaldi sono stati misurati tramite il metodo della livellazione geometrica dal mezzo, seguendo lo schema mostrato in mappa. Risulta nota la quota ortometrica dei caposaldi A e B (rispettivamente pari a $H_A=3.451$ m e $H_B=1.326$ m).



NOTA: l'immagine ha il solo scopo di visualizzare le linee di livellazione e localizzare i caposaldi coinvolti. Non deve pertanto essere utilizzata per dedurre informazioni numeriche, geometriche, cartografiche o ai fini del calcolo.

Ai fini del collegamento fra i punti di quota nota (A e B) e i punti 1 e 2, sono state eseguite una serie di linee di livellazione geometrica di precisione che hanno seguito il percorso rappresentato in mappa, con senso di percorrenza identificato nella tabella riassuntiva, di seguito, nella quale sono riportate le osservazioni disponibili (dislivelli tra i caposaldi e le distanze fra di essi). Lo strumento utilizzato ha una precisione dichiarata pari a $\sigma [mm] = 1[mm]\sqrt{d[km]}$.

Linea	Dislivello [m]	Lunghezza approssimativa della linea [m]
Da 1 a 2	-0.6715	1500
Da 1 a A	1.2336	1000
Da 1 a B	-0.8930	1000
Da 2 a A	1.9021	1000
Da 2 a B	-0.2215	1000

Il candidato risponda ai seguenti quesiti:

- 1) Descrivere sinteticamente la strumentazione impiegata e le procedure operative adottate per l'esecuzione di una linea di livellazione geometrica.
- 2) Discutere un possibile criterio per la verifica/accettazione delle misure disponibili.
- 3) Con riferimento alla rete rappresentata, si richiede di determinare le quote compensate dei caposaldi 1 e 2. Utilizzando i dislivelli osservati, il candidato imposti un opportuno modello di compensazione delle osservazioni finalizzato alla stima delle quote incognite e proceda al calcolo delle quote compensate dei caposaldi 1 e 2 unitamente alle incertezze associate.

Tema 4

Progettazione di un impianto di trattamento delle acque reflue urbane

Si rende necessario realizzare un impianto di trattamento delle acque reflue che rispetti i limiti allo scarico in acque superficiali del Decreto Legislativo 152 del 2006. L'impianto è a servizio di un centro abitato di 180 000 abitanti equivalenti (AE) con una dotazione idrica di 300 l/(AE·giorno) situato in area non sensibile. Il centro abitato vanta una fognatura separata.

Il/La Candidato/a assuma, giustificando la scelta, un valore di apporto pro capite dei seguenti parametri: BOD₅ (g/l), COD (g/l), Solidi Sospesi (g/l), fosforo totale (P in g/l), azoto totale (N in g/l), e ogni altro dato utile ai fini della progettazione delle unità di pre-trattamento, di trattamento primario, e di trattamento secondario.