



[Handwritten signature in blue ink]

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
PRIMA PROVA SCRITTA
14 novembre 2025
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE

Tema n. 1

Il candidato illustri fenomenologia e problematiche della fatica di strutture aeronautiche – in materiale metallico e composito – enfatizzando il ruolo di eventuali difetti di fabbricazione. Si discutano inoltre possibili strategie progettuali per prevenire / mitigare tali fenomeni.

Tema n. 2

Il ruolo della sperimentazione e della simulazione numerica nel processo di concezione, sviluppo e progetto di un componente industriale ad alto contenuto tecnologico. Il candidato concentri la trattazione dell'argomento su un componente aerospaziale di sua conoscenza.

Tema n. 3

Il candidato argomenti circa il ruolo degli attuatori nell'ambito dell'architettura di controllo di un processo. Si affronti la questione a livello generale elaborando i fenomeni di non idealità che caratterizzano gli attuatori indipendentemente dallo specifico campo di applicazione e gli effetti in termini dinamici e di regime sulle prestazioni del processo controllato. Si fornisca infine un esempio specifico di sistema e insieme di attuatori rispetto ai quali declinare i concetti generali.

Tema n. 4

Il candidato descriva le caratteristiche principali dei controllori a logica programmabile (PLC), partendo dalle motivazioni che hanno portato alla loro adozione in ambito industriale e illustrando i componenti fondamentali della loro architettura. Il candidato discuta infine le caratteristiche e le regole sintattiche e di costruzione principali del Sequential Functional Chart (SFC), come potente strumento grafico per descrivere il comportamento logico-sequenziale di un sistema di automazione industriale.

Tema n. 5

Il/la candidato/a descriva come l'utilizzo di modelli digitali tridimensionali di un componente o di una parte del corpo umano consenta la progettazione di dispositivi medici sempre più efficienti e/o nuove metodiche di analisi. Il candidato metta in luce vantaggi ed i limiti di tali modelli presentando almeno un esempio pratico.

Tema n. 6

Il/la candidato/a illustri le diverse tipologie di costrutti tridimensionali per l'ingegneria dei tessuti, sia scaffold-based che scaffold-free, evidenziandone le caratteristiche peculiari e i vantaggi/svantaggi. Si descrivano le caratteristiche che dovrebbe avere uno scaffold per tessuto epatico.

Tema n. 7

Il candidato illustri i principi fondamentali dei processi di separazione gas-liquido, includendo aspetti termodinamici e fenomeni di trasporto. Il candidato faccia riferimento ad esempi ed applicazioni di interesse industriale.

Tema n. 8

Il candidato illustri i principi fondamentali delle reazioni omogenee, includendo le espressioni cinetiche ed i bilanci di massa, i metodi di calcolo dei parametri cinetici, i reattori isotermici (CSTR, PFR, reattore batch), i reattori non isotermici (CSTR, PFR, reattore batch), ed i fondamenti dei reattori non ideali (distribuzioni di tempo di residenza). Il candidato faccia riferimento ad esempi ed applicazioni di interesse industriale.

Tema n. 9

Sistemi a idrogeno

Si richiede al candidato di analizzare un sistema integrato per idrogeno verde, descrivendone funzionamento e configurazioni impiantistiche lungo l'intera catena: elettrolisi, compressione, stoccaggio (pressurizzato e criogenico) e utilizzo finale tramite celle a combustibile o combustione diretta.

Dopo aver tracciato lo schema complessivo, si evidenzino le principali criticità tecniche (es. compressione, aspetti di sicurezza, rendimento globale) e si formulino interventi migliorativi volti ad incrementare l'efficienza e l'integrazione del ciclo power-to-X.

Concludere con una valutazione dell'applicabilità nei settori industriali e dei trasporti.

Tema n. 10

Il candidato descriva il comportamento degli ugelli sia in espansione che in compressione. Il candidato descriva le ipotesi teoriche di base, illustrando le caratteristiche dei campi di velocità, pressione e temperatura, nonché la base di calcolo per le sezioni di passaggio nelle varie casistiche individuate. Il candidato espliciti le equazioni nel caso di moto isentropico.

Tema n. 11

Con riferimento agli impianti elettro-nucleari ad acqua leggera di tipo pressurizzato ovvero bollente, il Candidato descriva l'evoluzione dei principali concetti di Contenimento di sicurezza, ne disegni un layout con le dimensioni geometriche principali, e descriva i requisiti base di progetto dei sistemi sia per quanto attiene alle condizioni di normale esercizio che a quelle incidentali o accidentali.

Tema n. 12

Il Candidato descriva il ruolo dei neutroni ritardati nella dinamica e nel controllo dei reattori nucleari a fissione di tipo PWR. Discuta inoltre gli aspetti che assicurano la stabilità intrinseca della produzione di potenza nel nocciolo del reattore, con riferimento anche alle retroazioni che si devono garantire per un'adeguata progettazione.

[Handwritten signature]

Tema n. 13

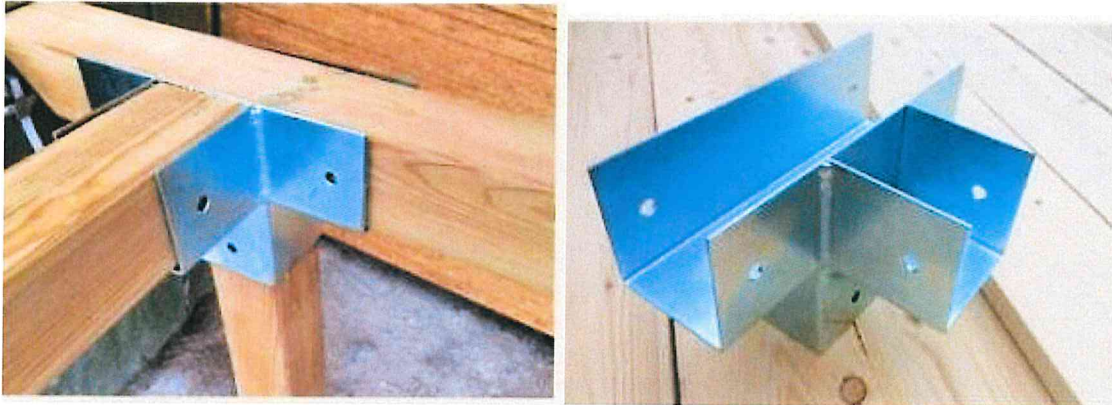


Figura 1

Si consideri il giunto metallico per travi in legno in figura 1 (travi di sezione quadrata 200x200) realizzato partendo da lamiera che poi viene giuntata tramite saldatura.

Si ipotizzi una produzione di piccola serie ed una produzione di massa. Definire perciò i due metodi di produzione alternativi andando, se necessario a modificare la geometria del componente.

Effettuare un'analisi dei costi e valutare cicli di lavoro alternativi realizzati con processi non convenzionali.

Qualora il sistema in figura debba essere trasportato in grandi quantità l'occupazione volumetrica del mezzo risulta molto bassa. Fornire un design alternativo del pezzo finalizzato a ridurre i costi di trasporto massimizzando il numero di pezzi trasportati per unità di volume.

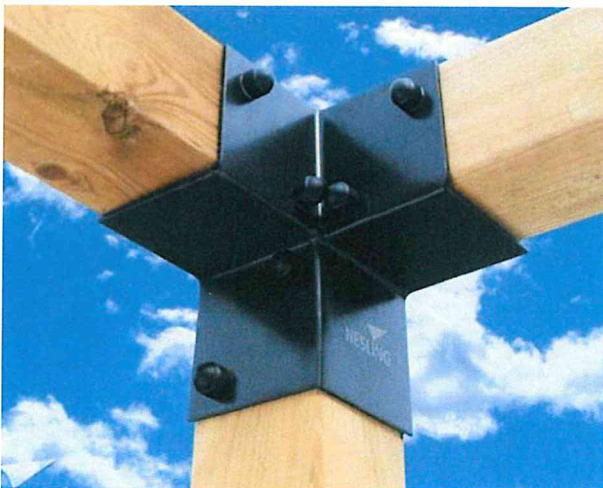


Figura 2

Sia invece l'oggetto di studio il giunto angolare di figura 2. Questo è basato su una struttura aperta che si ipotizzi venga bloccata con i bulloni passanti sfalsati in figura senza far uso di contro piastre collocate nella parte non visibile.

Perché i bulloni sono sfalsati? Quale tecnologia di produzione si può usare in questo caso?

Fare disegno e ciclo di lavorazione.



Il Presidente della Commissione

Tema n. 14

Negli ultimi anni, le organizzazioni si trovano di fronte alla necessità di bilanciare due approcci strategici fondamentali: exploration ed exploitation. L'exploration riguarda la ricerca di nuove opportunità, l'innovazione, la sperimentazione di soluzioni e mercati non ancora consolidati. L'exploitation, invece, si riferisce all'ottimizzazione delle risorse e delle competenze già acquisite, puntando sull'efficienza e sulla massimizzazione dei risultati attraverso processi consolidati.

La sfida principale per le imprese consiste nel trovare un equilibrio tra queste due dimensioni.

Un'eccessiva focalizzazione sull'exploration può comportare dispersione di risorse e rischi elevati, mentre privilegiare esclusivamente l'exploitation può portare a una perdita di competitività e capacità di adattamento in contesti dinamici.

Si inquadri il tema exploration ed exploitation nelle strategie aziendali, discutendo i rischi e le opportunità connessi a ciascun approccio. Si analizzi come le imprese possano gestire efficacemente il trade-off tra innovazione e efficienza, evidenziando le conseguenze di una gestione squilibrata e proponendo modalità per integrare exploration ed exploitation nella cultura organizzativa.

Tema n. 15

Il candidato illustri le metodologie di analisi delle catene cinematiche seriali e parallele, soffermandosi sulla parametrizzazione posturale e sull'analisi cinematica differenziale, con particolare riferimento al significato fisico e matematico della matrice Jacobiana.

Attraverso un esempio applicativo, anche semplificato, descriva gli algoritmi per la scrittura delle equazioni della dinamica, finalizzati al dimensionamento dei link strutturali e degli attuatori. Il candidato analizzi le grandezze meccaniche in gioco in una configurazione istantanea significativa del manipolatore che esegue un compito assegnato.

Tema n. 16

Durabilità e resilienza sono due proprietà meccaniche che devono essere garantite in una vasta varietà di componenti strutturali, in primis quelli a cui sono demandate funzioni di sicurezza.

Il candidato descriva il comportamento dei materiali metallici quando sottoposti ad una prova di prova di fatica e presenti i principali modelli utilizzati per descriverne il comportamento e per eseguire il dimensionamento di un componente. Il candidato illustri, inoltre, come si presenti una tipica superficie di frattura di un componente soggetto ad una prova di fatica in laboratorio o all'azione di un carico ciclico in opera su componente esposto ad agenti atmosferici, ipotizzando che il componente sia stato realizzato in acciaio C35 messo in opera allo stato bonificato e in acciaio C50 messo in opera allo stato temprato.

Il candidato illustri come venga eseguita una prova di resilienza con pendolo Charpy, discuta dei risultati che si possono avere al variare del materiale e della temperatura di prova, e spieghi quale sia l'utilità pratica di prescrivere requisiti di resilienza per componenti strutturali o con funzioni di sicurezza.

Tema n. 17

È in atto un'ampia discussione in ambito europeo e mondiale sulle modalità con le quali i veicoli stradali possano contribuire alla decarbonizzazione delle attività antropiche e, di conseguenza, a contrastare il riscaldamento globale del pianeta.

I veicoli attuali alimentati da motori a combustione contribuiscono ad emissioni di gas climalteranti per il fatto che sono alimentati da combustibili di natura fossile, ricchi di carbonio.

Il candidato discuta l'approccio LCA per la valutazione dell'impatto ambientale dei sistemi ingegneristici.

Come esempio applicativo effettui a sua scelta un confronto qualitativo, sulla base dell'approccio LCA, fra i sistemi di uno dei seguenti due gruppi:

- sistemi di climatizzazione per edifici civili (basati su gas naturale o pompe di calore)
- sistemi di propulsione veicolare (basati su motori a combustione - con vari tipi di combustibili fossili e non fossili - o su motori elettrici).

Tema n. 18

Il crescente fabbisogno di energia elettrica a livello mondiale richiederà uno sfruttamento sempre maggiore delle fonti di energia rinnovabili (e.g., eolica, solare). Tuttavia, perlomeno nel breve e medio periodo, i tradizionali impianti termoelettrici per la produzione di energia elettrica continueranno a giocare un ruolo chiave, a patto che il loro impatto ambientale sia sempre minore.

Il candidato descriva gli impianti a ciclo combinato gas/vapore, evidenziando il confronto rispetto ai cicli a gas e a vapore (i.e., centrali tradizionali) in termini di impatto ambientale e di rendimento, illustrando inoltre le strategie volte ad aumentare il rendimento stesso del ciclo combinato, anche avvalendosi di schemi/grafici. Infine, si discuta l'approccio al dimensionamento del condensatore.

Tema n. 19

Il candidato descriva le principali tecnologie di produzione dei materiali compositi, illustrando i criteri di scelta dei costituenti in relazione alle proprietà finali.

Tema n. 20

Considerando una classe di materiali a scelta, il candidato illustri le correlazioni tra microstruttura e processo produttivo.



Il Presidente della Commissione

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
SECONDA PROVA SCRITTA
21 novembre 2025
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-20 Ing. Aerospaziale e Aeronautica



Tema n. 1

Il candidato illustri le principali soluzioni progettuali per sistemi propulsivi in campo aeronautico o spaziale, individuandone vantaggi, svantaggi e problemi ancora aperti.

Tema n. 2

Strumenti teorici, numerici e sperimentali per il progetto aerodinamico di una superficie portante: il candidato ne illustri le potenzialità, i limiti e la loro utilizzazione nelle varie fasi della progettazione.

Il candidato dimensiona la superficie alare di un aereo da turismo monomotore, avente peso massimo al decollo di 1400 kg e velocità di crociera 300 km/h a 6000 m. Determini la superficie alare, il rapporto di rastremazione, e scelga i profili alari da utilizzare.

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
SECONDA PROVA SCRITTA
21 novembre 2025
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-25 Ing. dell'Automazione



Il Presidente della Commissione

Tema n. 1

Si argomenti circa le proprietà di raggiungibilità ed osservabilità per lo stato di un sistema; con particolare riferimento ai sistemi lineari tempo continuo si discuta sulle metodologie di verifica delle due proprietà e sul ruolo delle due proprietà rispetto alla relazione ingresso-uscita del sistema stesso.

Tema n. 2

Si discutano le limitazioni delle tecniche di analisi della stabilità utilizzate con modelli linearizzati di sistemi dinamici governati da equazioni differenziali non lineari, illustrando le peculiarità dei sistemi non lineari stessi, assieme alle tecniche ed ai teoremi principali impiegati per lo studio della loro stabilità.

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
SECONDA PROVA SCRITTA
21 novembre 2025
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-21 Ing. Biomedica



Tema n. 1

Il/la candidato/a descriva tra tutte le tecnologie di bioprinting quella che a suo parere porta maggiori vantaggi nello sviluppo di potenziali soluzioni clinicamente rilevanti. Si descriva una possibile applicazione di tale tecnologia, evidenziando punti di forza e limitazioni.

Tema n. 2

Si descrivano il principio fisico e il sistema di acquisizione del segnale elettroencefalografico (EEG). Si spieghi come l'applicazione delle tecniche di Principal Component Analysis (PCA) e Independent Component Analysis (ICA) possa essere utilizzata per rilevare e rimuovere gli artefatti legati al battito degli occhi (blinking). Si illustrino le differenze tra PCA e ICA, spiegando quale delle due tecniche potrebbe essere più appropriata per la rimozione degli artefatti e perché.

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
SECONDA PROVA SCRITTA
21 novembre 2025
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-22 Ing. Chimica



Tema n. 1

Il candidato descriva i principi fondamentali dei processi di scambio termico in presenza di cambiamento di fase, trattando i seguenti punti:

1. Richiami sul fenomeno della condensazione.
2. Condensazione di sostanze pure, miscele, ed in presenza di sostanze incondensabili.
3. Equazioni di bilancio.
4. Equazioni di flusso e forza motrice.
5. Coefficiente di scambio termico secondo la teoria di Nusselt.
6. Descrizione delle principali apparecchiature per la condensazione.
7. Impostazione delle equazioni di bilancio e di flusso per condensatori di vapori puri.
8. Procedimento di verifica su condensatori di vapori puri.

Si trattino poi:

1. Richiami sul fenomeno dell'evaporazione.
2. Evaporazione di sostanze pure e di miscele.
3. Equazioni di bilancio.
4. Coefficiente di scambio termico.
5. Descrizione delle principali apparecchiature per l'evaporazione.

Per entrambi i casi, il candidato faccia riferimento ad esempi ed applicazioni di interesse industriale.

Tema n. 2

Il candidato illustri i principali processi di trattamento upstream e raffinazione del petrolio greggio, includendo i seguenti aspetti:

1. composizione chimica del petrolio greggio;
2. descrizione delle alternative di processo e delle relative apparecchiature;
3. descrizione e rappresentazione degli schemi di impianto;
4. aspetti di controllo di processo;
5. problematiche di sicurezza di processo.



Il Presidente della Commissione

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
SECONDA PROVA SCRITTA
21 novembre 2025
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-30 Ing. Energetica e Nucleare

Tema n. 1

Analisi fluidodinamica e termodinamica di uno stadio di compressore assiale: confronto tra palettatura simmetrica e asimmetrica

Si prenda in esame uno stadio di compressore assiale in regime stazionario, attraversato da un flusso di gas ideale. Si assuma che la velocità assoluta all'ingresso del rotore, la sua componente assiale e la velocità periferica coincidano in due diverse configurazioni di palettatura: la prima simmetrica, in cui il salto entalpico è ripartito equamente tra statore e rotore, e la seconda asimmetrica, in cui la quasi totalità della compressione è concentrata nel rotore.

Per entrambe le configurazioni il candidato rappresenti i triangoli di velocità, indicando con chiarezza le componenti assiale, tangenziale e relativa, e ne discuta la struttura. Successivamente tracci l'evoluzione termodinamica del fluido sul piano entalpia-entropia ($h-s$), mettendo in evidenza le differenze fra i due casi in termini di distribuzione del salto entalpico, variazione dell'entropia e posizione dei punti caratteristici di statore e rotore.

Si richiede inoltre una discussione critica delle principali differenze fluidodinamiche tra le due configurazioni, con particolare riferimento alla ripartizione del lavoro tra statore e rotore, alla direzione e intensità del flusso relativo, al carico aerodinamico delle palette e alla stabilità di funzionamento. Il candidato analizzi la condizione di massimo rendimento della palettatura in uno stadio assiale, discutendo l'angolo di deflessione ottimale, l'orientamento dei vettori di velocità nei triangoli e le conseguenze sulla geometria delle palette.

Infine, si valuti come la scelta tra palettature simmetriche e asimmetriche influenzi la progettazione di un compressore multistadio, tenendo conto dell'efficienza globale, del rischio di stallo, della robustezza meccanica delle palette e della sensibilità a tolleranze costruttive e a condizioni operative variabili.

Tema n. 2

Il candidato delinei le principali tipologie di scambiatore di calore, in base al meccanismo di scambio termico, alle tipologie di fluidi coinvolti, alle pressioni e temperature in gioco ed ai vincoli che si possano prospettare in relazione a tipici casi di impiego. Il candidato ne descriva le principali caratteristiche e campi di impiego, i pregi ed i difetti. Inoltre, il candidato dia cenno delle principali correlazioni che permettano il loro dimensionamento ed i relativi criteri progettuali.

Tema n. 3

Con riferimento all'impianto idraulico di prova rappresentato in Figura 1 e costituito da due scambiatori di calore in controcorrente, uno per il circuito principale ed uno per il circuito secondario (EBT), da aree di passaggio (scalate di un fattore indicativo 1:50), da un circuito di simulazione dell'EBT e da un pressurizzatore cilindrico collegato all'impianto mediante una linea di disaccoppiamento idraulico, il Candidato:

- definisca i criteri di progetto per tali componenti secondo normativa ASME III;
- verifichi il dimensionamento del pressurizzatore in seguito all'immissione di acqua di 3000 kg.

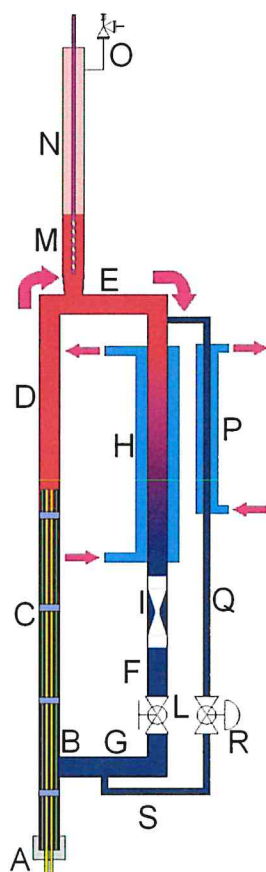


Figura 1: Schema impianto idraulico

Nella risoluzione si supponga, per semplicità, che l'impianto sia progettato per soddisfare le seguenti condizioni di esercizio:

- volume di acqua nel circuito principale 0.0325 m^3
- volume di acqua nel pressurizzatore 0.0035 m^3
- massa di acqua entrante: 3000 kg
- volume di acqua nel circuito EBT 0.005 m^3
- temperatura di esercizio $335 \text{ }^\circ\text{C}$ (T saturazione)



Il Presidente della Commissione

- pressione di esercizio 15.5 MPa
- temperatura di ingresso acqua in esercizio 278 °C
- temperatura di uscita acqua in esercizio 316 °C
- salto termico ingresso-uscita ΔT 38 °C
- resistenza del Pressurizzatore 25 kW
- massima portata massica nel primario 0.54 kg/s



Si ipotizzi che i componenti meccanici siano in acciaio inossidabile austenitico ad alto tenore di nichel, X5CrNi 18–10 (AISI 304). Per i dati mancanti assumere valori plausibili caratteristici del tipo di impianto PWR indicato.

Tema n. 4

Il candidato illustri il ruolo svolto dal condensatore in un impianto nucleare PWR indicandone:

- le caratteristiche di funzionamento;
- il ciclo termodinamico di riferimento;
- i principali fenomeni di degradazione che possono influenzarne il funzionamento.

Con riferimento ad un impianto da 1650 MWe di rendimento pari a 36%, il candidato esegua un dimensionamento di massima di un condensatore a configurazione orizzontale, determinando:

- il numero di tubi necessario a garantire un efficiente funzionamento del componente;
- il diametro della piastra tubiera.

Nella risoluzione, per semplicità, si può assumere:

- massa di vapore in turbina: 1100 ton/h
- calore specifico a pressione costante dell'acqua di refrigerazione: $c_p = 4,2$ kJ/kg
- temperatura di ingresso al condensatore del vapore: $T_{is} = 45^\circ\text{C}$
- temperatura di uscita al condensatore del liquido: $T_{us} = 45^\circ\text{C}$
- temperatura ingresso acqua di refrigerazione: $T_{iw} = 25^\circ\text{C}$
- temperatura di uscita acqua di refrigerazione: $T_{uw} = 40^\circ\text{C}$
- coefficiente globale scambio: $U = 4000$ W/m² °C
- il diametro nominale dei tubi: $D_i = 22$ mm
- lo spessore tubo: $t = 1.5$ mm
- la distribuzione dei tubi a passo triangolare: $p/D_e = 1.5$
- la velocità dell'acqua nei tubi: $u = 2$ m/s

Per i dati mancanti assumere valori plausibili caratteristici del tipo di impianto PWR indicato.

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
SECONDA PROVA SCRITTA
21 novembre 2025
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-31 Ing. Gestionale



Tema n. 1

Studiogiochi è un'azienda italiana che vanta un'esperienza trentennale nella progettazione di giochi da tavolo. L'azienda, che vende in tutto il mondo, è costantemente impegnata nel rinnovamento e nella ricerca di nuove tendenze. Composta da 30 persone, copre internamente tutte le fasi di sviluppo del gioco — dalla progettazione preliminare fino alla commercializzazione — ad eccezione della produzione materiale e della distribuzione, che vengono esternalizzate. Dal dicembre 2023, Studiogiochi è certificata secondo un sistema integrato HSE&Q conforme alle norme ISO. L'azienda opera sia in modalità **B2B** (vendita a catene di distribuzione e negozianti) sia **B2C** (vendita diretta online). Conta **150 titoli a catalogo**, con **decine di migliaia di unità vendute ogni anno** e un **fatturato prossimo al milione di euro**.

1. Vision di Studiogiochi

Definire la **vision** dell'impresa, rappresentando la sua aspirazione di lungo periodo.

2. Mission e obiettivi strategici

Schematizzare la **mission** di Studiogiochi, suddividendola nei suoi principali elementi e per ciascuno individuare **due obiettivi strategici** coerenti.

Declinare gli obiettivi in sottoobiettivi secondo il modello MBO, Hoshin Kanri o OKR.

3. Identificazione degli asset aziendali

Durante il meeting annuale per il miglioramento continuo (fine 2025), la Direzione intende individuare gli asset di maggior valore per Studiogiochi.

Utilizza lo strumento che ritieni più opportuno per creare una **lista stratificata degli asset** dell'azienda.

4. Ranking degli asset

Definisci **due driver di valutazione** e utilizza tali criteri per **ordinare gli asset** in base alla loro importanza.

Indica chiaramente **qual è l'asset più importante** per Studiogiochi.

5. WBS del processo di consolidamento

La Direzione decide di investire **50.000 euro** nel consolidamento dell'asset più importante.

Stratifica le **attività da realizzare** utilizzando una **Work Breakdown Structure (WBS)**, organizzata per fasi, deliverable e attività operative.

6. Diagramma di flusso

Rappresenta graficamente con un **diagramma di flusso** le **attività individuate nella WBS**, mostrando la sequenza logica, le decisioni e i punti di verifica.

7. Parti interessate nel processo di partecipazione agli eventi

Studiogiochi partecipa regolarmente a oltre 30 eventi internazionali sul gioco da tavolo e intende continuare questa attività.

Rappresenta in modo **schematico** le **parti interessate** (stakeholder) coinvolte nel processo di partecipazione a un evento (es. team marketing, progettisti, organizzatori, distributori, community di giocatori, ecc.). (4 punti)

8. Indicatori di risultato (KPI)

Sulla base della mappatura degli stakeholder, suggerisci **sei indicatori di risultato** (KPI) per misurare l'efficacia della partecipazione agli eventi.

Specifica per ciascun KPI:

- la **metrica**,
- l'**unità di misura**,
- e il **significato** attuale e prospettico **per l'azienda**.

Tema n. 2

Il Candidato rediga lo Stato Patrimoniale e il Conto Economico di EcoTaste S.p.A., impresa attiva nel settore della produzione alimentare biologica, con 2 linee di prodotti, al 31.12.2024, secondo i principi contabili internazionali IAS-IFRS. Dal bilancio devono emergere:

- EBITDA superiore al 15% dei ricavi
- capitale proprio pari a 4.000.000€, suddiviso in almeno tre tipologie di riserve, oltre a quella obbligatoria
- indice di indebitamento pari a 1,5
- Una linea di prodotti commercializzata con il marchio GreenPlus, acquisito tramite fusione nel 2022
- presenza di un contratto di leasing finanziario per un impianto produttivo
- un problema di scarsa redditività dovuto all'aumento dei costi delle materie prime
- l'intenzione di avviare una nuova linea di prodotti nel prossimo esercizio

- (1) Motivare le scelte di classificazione e valutazione adottate
- (2) Presentare la Nota Integrativa al bilancio, evidenziando i criteri di valutazione utilizzati
- (3) Fornire un'analisi dettagliata della situazione economica, finanziaria e patrimoniale, indicando possibili azioni di miglioramento per la redditività aziendale



Il Presidente della Commissione

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
SECONDA PROVA SCRITTA
21 novembre 2025
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-33 Ing. Meccanica



Il Presidente della Commissione

Tema n. 1

Il candidato illustri i principi di funzionamento dei principali sistemi di frenatura impiegati in ambito meccanico e veicolare, descrivendone le tipologie costruttive e le caratteristiche funzionali.

Si sviluppi un'analisi comparativa tra le diverse soluzioni, mettendo in evidenza vantaggi, limitazioni e campi di applicazione ottimali per ciascuna tipologia.

Infine, attraverso un'analisi energetica supportata da ipotesi semplificative motivate, si discutano gli aspetti termici del processo di frenatura, argomentando con un esempio quantitativo a scelta e approfondendo le implicazioni progettuali legate ai materiali.

Tema n. 2

La vita utile di un componente strutturale realizzato in materiale metallico dipende da molteplici fattori, a partire dall'interazione tra componente e ambiente fino alle corrette condizioni di montaggio.

Il candidato discuta la scelta del materiale opportuno e degli eventuali trattamenti termici necessari sul componente o su parte di esso, la scelta dell'appropriato processo produttivo e/o di messa in opera del componente, nonché la corretta procedura di dimensionamento e/o montaggio del componente, considerando i seguenti casi di interesse industriale:

- Un albero di trasmissione che riceve coppia attraverso un profilo scanalato, viene supportato da due cuscinetti radiali e trasmette coppia attraverso una ruota dentata realizzata di pezzo sull'albero stesso, operante a temperatura ambiente;
- Una condotta per gas metano, costituita da un tubo e dalla flangia ad esso saldata. La flangia trasmette un carico costituito da un momento flettente e una forza di taglio, variabili nel tempo, per mezzo di un collegamento bullonato e che riceve questi carichi dal tubo, collegato ad essa per mezzo di una giunzione saldata. Si consideri che tutta la struttura operi a temperatura ambiente e sia esposta ad agenti atmosferici.
- Una paletta della turbina di un motore turbofan installato su un aereo che operi prevalentemente tratte intercontinentali.

Il candidato illustri infine come può verificare che i suddetti componenti abbiano le necessarie proprietà meccaniche qualora sia chiamato a svolgere un controllo della corretta esecuzione del processo. Si considerino tecniche distruttive e non.

Tema n. 3

In anni recenti si è assistito a una rapida crescita della diffusione dei veicoli a propulsione ibrida, che uniscono vantaggi della propulsione basata su motori a combustione (e non solo) a quelli della propulsione elettrica a batteria, ma portano con sé anche taluni svantaggi.

Lo studente realizzi un elaborato in cui:

- Si propone una definizione chiara di veicolo a propulsione ibrida, che verrà poi utilizzata nel resto dell'elaborato
- Si illustrano le varie tipologie di veicoli ibridi proposte e sul mercato, considerando sia la architettura propulsiva (ibrido serie, parallelo, complesso, axle split) che il grado di ibridizzazione (start/stop, mild hybrid, full hybrid, plug-in), identificandone le caratteristiche tecniche, i punti di forza e di debolezza
- Si analizzi, anche mediante formulazioni matematiche, la problematica della ottimizzazione energetica dei veicoli ibridi.

Tema n. 4

I motori a combustione interna trovano impiego in molteplici applicazioni, spaziando in un range di potenza estremamente ampio. Si illustrino quali sono queste applicazioni, e per ciascuna di esse le soluzioni tecniche tipicamente adottate con riferimento sia alle scelte progettuali, che all'impiego dei combustibili. Si metta inoltre, in evidenza in che modo ed in quali settori le problematiche ambientali influenzano le scelte progettuali dei motori.



Il Presidente della Commissione

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
SECONDA PROVA SCRITTA
21 novembre 2025
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-53 Ing. dei Materiali



Il Presidente della Commissione

Tema n. 1

Facendo riferimento a una tecnologia di fabbricazione additiva o fotolitografica (ad esempio stampa 3D, stereolitografia, biostampa o litografia ottica), il candidato descriva i principi del processo e le caratteristiche dei materiali impiegati. Discutere le relazioni tra parametri di processo, microstruttura e proprietà finali del manufatto o microdispositivo, indicando le tecniche di caratterizzazione e le analisi necessarie alla sua validazione, nonché i risultati attesi. Approfondendo un caso studio a scelta, il candidato analizzi le prospettive applicative e le sfide legate alla realizzazione industriale.

Tema n. 2

Facendo riferimento a un materiale o a una classe di materiali a scelta, il candidato descriva i fenomeni di degradazione o biodegradazione che avvengono in uno specifico ambiente (ad esempio compost, acqua di mare, acqua dolce, corpo umano), mettendo in relazione struttura, proprietà, funzione e meccanismi di degradazione. Discutere la rilevanza industriale del fenomeno, illustrando almeno un caso studio, e le tecniche impiegate per accelerare, controllare o inibire la (bio)degradazione.

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
PROVA PRATICA SCRITTA
10 febbraio 2026
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-20 Ing. Aerospaziale e Aeronautica



Il Presidente della Commissione

Tema n. 1

Un satellite stabilizzato a gradiente di gravità è posto in un'orbita circolare di 800 km di quota attorno alla terra. Sia $T_B(C;x,y,z)$ una terna baricentrica (essendo C il baricentro), principale d'inerzia, solidale al satellite, e si indichino rispettivamente con x l'asse di rollio, con y l'asse di picchiata e con z l'asse di imbardata. Le caratteristiche inerziali del satellite sono le seguenti:

$$I_x = 80 \text{ kg m}^2, I_y = 82 \text{ kg m}^2, I_z = 4 \text{ kg m}^2.$$

Sia T_O una terna orbitale, con origine in C .

1. Si verifichi la stabilità della dinamica del satellite dopo averne definito le equazioni del moto linearizzate rispetto a T_O .
2. Considerando un disallineamento in imbardata iniziale tra le due terne T_B e T_O pari a 5° e considerando che il satellite è soggetto ad una coppia dovuta alla resistenza atmosferica all'incirca costante e di entità pari a 10^{-5} N m , si valuti il massimo errore in rollio ed in assetto.

Per eliminare le oscillazioni in assetto, si introduce un cilindro, allineato con l'asse di picchiata, libero di ruotare in un contenitore con del fluido viscoso. Sia $I_r = 1 \text{ kg m}^2$ il momento di inerzia del rotore attorno al proprio asse di rotazione e sia c_v il coefficiente di smorzamento del fluido in cui si trova immerso il cilindro.

3. Determinare c_v in modo da minimizzare il tempo necessario per portare l'errore di assetto ad oscillare entro valori inferiori al 2% del valore di regime.
4. Nel caso in cui $c_v = 0.002 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$, calcolare quanti periodi orbitali sono necessari per ridurre l'oscillazione in assetto a 1/10 del valore iniziale.

Tema n. 2

- a) Considerando un velivolo con le seguenti caratteristiche:

Velocità di crociera: 269 km/h

Quota di crociera: 18100 ft

Peso di progetto: 1406 Kg

il candidato individui la forma in pianta e il dimensionamento di massima dell'ala.

- b) Il candidato illustri i criteri di scelta dei profili alari che compongono l'ala.
- c) Il candidato calcoli la resistenza indotta dell'ala e stimi l'incidenza dell'ala in condizioni di crociera.
- d) Il candidato stimi il coefficiente di resistenza minimo C_{D0} del profilo a metà dell'apertura alare.

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
PROVA PRATICA SCRITTA
10 febbraio 2026
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-25 Ing. dell'Automazione



Il Presidente della Commissione

Tema 1

Sia dato un processo fisico descritto dalle seguenti equazioni in forma di stato:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

con le matrici caratteristiche che assumono i seguenti valori:

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 3 & -1 & 0 \\ 3 & -9 & 8 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [0 \quad 1 \quad 3], \quad D = 0$$

Si discuta:

- la stabilità interna
- la raggiungibilità
- l'osservabilità

Si ricavi poi la funzione di trasferimento $G(s)$ del sistema e si:

- 1 Si disegni uno schema a blocchi che rappresenta il sistema $G(s)$ in retroazione negativa, in presenza di un controllore $C(s)$, un riferimento $R(s)$, un disturbo in ingresso all'impianto $D_i(s)$, un disturbo in uscita all'impianto $D_o(s)$, e un rumore di misura $N(s)$.
- 2 Si discuta la stabilità BIBO in ciclo aperto del processo in esame.
- 3 Si dia la definizione di risposta armonica di un sistema, discutendone le condizioni. Si spieghi come si possa utilizzare la risposta armonica per caratterizzare un sistema. Si discuta se si possa applicare nel caso del processo in esame.
- 4 Si disegnino i diagrammi di Bode e Nyquist del processo in esame.
- 5 Si spieghi cosa rappresenta il luogo delle radici e qual è il suo utilizzo. Si disegni il luogo delle radici per guadagni positivi e negativi del processo in esame.
- 6 Si spieghi il principio del modello interno ed il suo utilizzo per la sintesi di controllori.
- 7 Si progetti un controllore che renda il sistema in ciclo chiuso in grado di inseguire un riferimento $R(s)$ a gradino unitario con errore nullo, in presenza di un disturbo in ingresso all'impianto $D_i(s)$ a gradino unitario ($D_o(s) = 0$, $N(s) = 0$).

Tema n. 2

Le motociclette appartenenti alla categoria MotoGP sono caratterizzate da valori di coppia motrice particolarmente elevati, tali da poter determinare il sollevamento della ruota anteriore in qualsiasi rapporto di trasmissione. Qualora tale sollevamento avvenga in modo eccessivo o troppo rapido, il pilota è costretto a ridurre manualmente l'apertura del comando del gas, con una conseguente e significativa diminuzione dell'accelerazione longitudinale del veicolo.

Per ovviare a tale problematica, le motociclette sono dotate di un sistema automatico di controllo

dell'impennata (*anti-wheelie*, AW), il cui compito è quello di limitare il sollevamento della ruota anteriore intervenendo sulla coppia di trazione, minimizzando al contempo la penalizzazione delle prestazioni dinamiche. Un sistema AW correttamente calibrato riduce la coppia motrice in misura sufficiente a prevenire impennate brusche, senza compromettere in modo significativo l'accelerazione del veicolo. In figura è riportato uno schema fortemente semplificato dei principali fenomeni fisici coinvolti.

La dinamica del sistema può essere descritta, in prima approssimazione, mediante le seguenti equazioni del moto:

$$m\ddot{x} = \frac{\tau}{R} - F_d - \frac{1}{2}k(1 + \sin\theta)\dot{x}^2$$

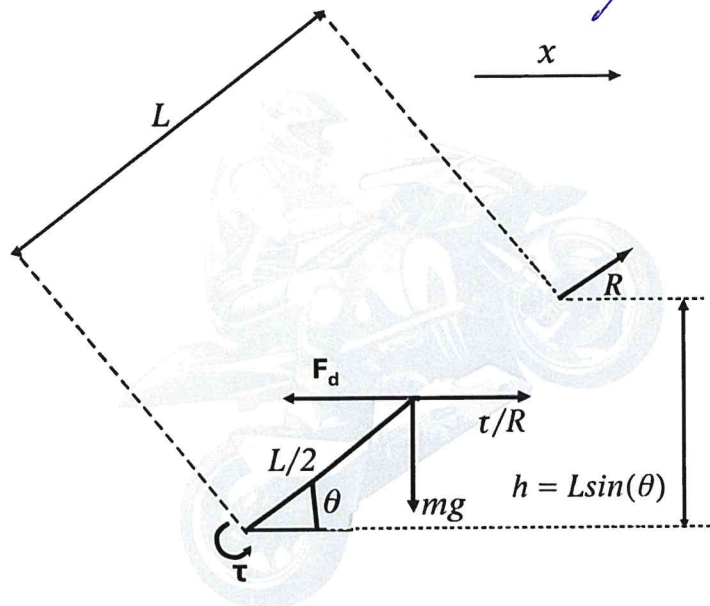
$$I\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + mg\frac{L}{2}\cos\theta = \tau + F_d\frac{L}{2}\sin\theta + \frac{1}{2}k(1 + \sin\theta)\dot{x}^2\frac{L}{2}\sin\theta$$

dove m è la massa del veicolo, I il momento del veicolo rispetto all'asse della ruota posteriore, R il raggio delle ruote, L l'interasse, k il coefficiente che modella la resistenza all'avanzamento longitudinale, b il coefficiente che modella un termine dissipativo lineare, τ è la coppia alla ruota della moto, F_d è una forza di disturbo agente in direzione longitudinale, $\dot{x}$ è la velocità longitudinale della moto, θ è l'angolo di beccheggio della moto.

1. Si determinino tutte le condizioni di equilibrio del sistema, sotto la condizione di velocità longitudinale maggiore o uguale a zero di validità per le equazioni proposte, in funzione del generico angolo costante $\theta = \underline{\theta}$, considerando nullo il disturbo F_d ;



Il Presidente della Commissione



2. Si determini una rappresentazione del sistema linearizzato in forma di stato attorno alla generica configurazione di equilibrio individuata al punto 1 tale che la velocità longitudinale sia strettamente maggiore di zero, assumendo di poter misurare la distanza $h = L \sin \theta$ dal suolo della ruota anteriore;
3. Si considerino i seguenti valori numerici per i parametri del modello: $\theta = 10$ deg; $m = 160$ kg; $I = 235.2$ kg·m²; $R = 0.6$ m; $b = 0.2$ N·m·s·rad⁻¹; $L = 2.1$ m; $k = 40.248$ kg·m⁻¹; $g = 9.81$ m·s⁻², si scrivano le matrici numeriche del sistema linearizzato in forma di stato, e si ricavino le funzioni di trasferimento tra gli ingressi di controllo τ e di disturbo F_d e l'uscita h ($G(s)$ e $G_d(s)$), rispettivamente) Si verifichi che le funzioni di trasferimento abbiano approssimativamente la forma riportata, discutendo circa la stabilità del sistema;

$$G(s) = 0.0088 \frac{(s + 3.6)}{(s - 3.3)(s + 3.9)(s + 2.2)}$$

$$G_d(s) = 0.0016 \frac{s}{(s - 3.3)(s + 3.9)(s + 2.2)}$$
4. Considerando la funzione di trasferimento G , si rappresenti il luogo delle radici associato (diretto e inverso), il diagramma di Nyquist completo e se ne illustri il significato.
5. Si sintetizzi mediante l'utilizzo del luogo delle radici e avvalendosi di considerazioni legate allo strumento grafico del diagramma di Bode un controllore stabilizzante che sia in grado di portare esattamente il centro della ruota anteriore ad una distanza dal suolo $h = 1.3647$ m senza mai superarla;
6. Si ricavi una discretizzazione del controllore determinato al punto precedente, giustificando opportunamente le scelte effettuate, con particolare attenzione al valore del periodo di campionamento e alla tecnica di discretizzazione.
7. Rappresentare il diagramma di Bode associato alla funzione di trasferimento G retroazionata – con retroazione negativa- con il controllore ricavato sopra.



x Il Presidente della Commissione

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
PROVA PRATICA SCRITTA
10 febbraio 2026
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-21 Ing. Biomedica



✕ Il Presidente della Commissione

Clas3

Tema n. 1

Si vuole progettare un sistema biomedicale indossabile basato su ECG a singola derivazione, in grado di monitorare in tempo reale la frequenza cardiaca di un soggetto durante un'attività moderata (ad esempio camminata su tapis roulant) e di attivare un segnale di allarme (acustico o vibrotattile) quando la frequenza cardiaca supera una soglia di sicurezza prefissata.

Il sistema deve garantire una risposta all'evento di superamento soglia con una latenza inferiore a 3 secondi.

Il candidato è chiamato a progettare l'intero sistema, descrivendo in modo coerente e motivato:

- come devono essere posizionati gli elettrodi e quale derivazione ECG è più adatta al contesto;
- quale architettura analogica è necessaria per rendere il segnale ECG adatto alla digitalizzazione;
- come devono essere dimensionati i componenti analogici dell'architettura;
- quali operazioni di elaborazione digitale permettono di identificare in modo robusto i picchi R (e in alternativa come potrebbe essere progettato in analogico);
- come si ricava la frequenza cardiaca a partire dagli intervalli RR;
- quale logica decisionale consente di attivare l'allarme evitando falsi positivi dovuti a rumore o artefatti.
- come, a partire da una sequenza di intervalli RR, ricavare un indice numerico semplice che permetta di quantificare la regolarità del ritmo cardiaco.

Si richiede inoltre di proporre un esempio numerico realistico, a partire da una sequenza di intervalli RR (inventata dal candidato), che mostri chiaramente il funzionamento dell'algoritmo di attivazione e disattivazione dell'allarme.

Infine, il candidato deve discutere brevemente i principali problemi di qualità del segnale e di sicurezza elettrica che devono essere considerati nella progettazione di un sistema ECG indossabile.

L'elaborato deve contenere schemi a blocchi chiari, motivazioni delle scelte progettuali e una descrizione operativa dell'algoritmo tramite uno pseudocodice.

Tema n. 2

Il/la candidato/a illustri il progetto di un dispositivo fluidico per organoidi di diametro medio 400 μm , ponendo attenzione al dimensionamento del dispositivo partendo dal calcolo dei tempi caratteristici. Si specifichino le tecnologie di fabbricazione e i materiali usati, giustificando le scelte effettuate.



* Il Presidente della Commissione

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
PROVA PRATICA SCRITTA
10 febbraio 2026
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-22 Ing. Chimica

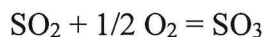


Il Presidente della Commissione

Tema n. 1

Una corrente di zolfo, proveniente da processi di desolforazione di idrocarburi, viene utilizzata per produrre acido solforico tramite un processo di ossidazione così schematizzabile:

- A) la corrente di zolfo liquido (a 150 °C) viene inviata ad un combustore adiabatico con aria secca (a 40 °C). La combustione è completa.
B) La corrente uscente ha una temperatura di 1100 °C e viene effettuato un recupero termico fino alla temperatura di 350 °C.
C) Alla corrente viene poi addizionata aria secca (a 40°C), in modo da avere una percentuale di SO₂ del 9 %.
D) La corrente risultante viene inviata ad un reattore catalitico adiabatico, previo preriscaldamento tramite la corrente dei prodotti. La reazione che avviene è la seguente:



La conversione della SO₂ è del 65%.

La corrente uscente (a 610 °C) viene inviata allo scambiatore di preriscaldamento.

E) la corrente viene mandata ad una sezione di assorbimento per realizzare la reazione:



Con riferimento a 100 kmol/h di zolfo alimentato al combustore adiabatico, si richiede di:

1. Determinare le portate e le temperature di tutte le correnti.
2. Determinare la quantità di vapore d'acqua a 20 bar e 350 °C che viene prodotto nello scambiatore di recupero alimentando acqua liquida a 20 bar e 40 °C.
3. Verificare che la conversione del 65 % indicata al reattore catalitico adiabatico sia possibile.
4. Stimare la superficie dei due scambiatori di calore.
4. Discutere le principali caratteristiche delle possibili apparecchiature da utilizzare nelle diverse fasi di processo, motivando la scelta;
5. Tracciare un possibile schema di processo.

Si assuma:

- Pressione atmosferica in tutte le apparecchiature;
- Capacità termica dello zolfo solido: 23,83 (kJ / kmol·K);
- Calore latente di fusione dello zolfo solido: 1498,8 (kJ / kmol) (a 112,8 °C);
- Capacità termica dello zolfo liquido: 32,19 (kJ / kmol·K).

- Capacità termica dello zolfo solido: 23,83 (kJ / kmol·K);
- Calore latente di fusione dello zolfo solido: 1498,8 (kJ / kmol) (a 112,8 °C);
- Capacità termica dello zolfo liquido: 32,19 (kJ / kmol·K).

Tema n. 2

Si deve rimuovere del cloro da una corrente di sfiato attraverso un processo di scrubbing con una soluzione acquosa al 5% in peso di idrossido di sodio. La corrente di sfiato può essere approssimata ad azoto contenente cloro al 5.5% in peso. La concentrazione di cloro in uscita dalla colonna deve essere inferiore ai 50 ppm in peso. La massima portata che lo scrubber dovrà trattare è di 4500 kg/h.

Si richiede di:

1. Scegliere le condizioni operative della colonna, giustificando le scelte;
2. Determinare la portata minima di solvente necessaria per effettuare l'operazione di scrubbing secondo specifica;
3. Scegliere una portata operativa opportuna, giustificando la scelta;
4. Determinare portata e composizione delle correnti uscenti dalla colonna;
5. Calcolare il numero di stadi teorici necessari a realizzare l'operazione;
6. Determinare il diametro della colonna;
7. Determinare l'altezza di un letto di anelli Raschig da 3" necessario a realizzare l'operazione, assumendo i seguenti valori per le altezze delle unità di trasferimento: 0.7 m liquido e 0.8 m gas.
8. Verificare la possibilità e l'opportunità di operare la colonna con ricircolo; In caso il ricircolo sia opportuno, scegliere le condizioni operative per attuarlo, motivando la scelta, e ricalcolando le dimensioni della colonna.
9. Disegnare il P&ID semplificato.



* Il Presidente della Commissione

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
PROVA PRATICA SCRITTA
10 febbraio 2026
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-30 Ing. Energetica e Nucleare



Il Presidente della Commissione

Tema n. 1

Dimensionamento di un impianto fotovoltaico con elettrolizzatore e stoccaggio a 350 bar per il rifornimento di camion a celle a combustibile

Scenario

Un'azienda di logistica intende realizzare un piccolo impianto per produrre idrogeno verde destinato al rifornimento quotidiano di una flotta di autocarri a celle a combustibile (FC). L'impianto sarà alimentato da un campo fotovoltaico (FV), con accumulo dell' H_2 in pacchi bombole a 350 bar e punto di erogazione presso l'autorimessa.

Il candidato deve dimensionare i sottosistemi principali, stimare i bilanci energetici e verificare l'adequatezza dello stoccaggio.

Dati di progetto

- 1) Sito e risorsa solare
 - Località: Pisa (Italia)
 - Potenza campo FV (DC): 500 kWp
 - Resa specifica annua: 1400 kWh/kWp·anno
- 2) Produzione e trattamento H_2
 - Elettrolizzatore: 200 kW nominali
 - Tecnologia: PEM
- 3) Compressore e stoccaggio
 - Pressione di stoccaggio: 350 bar
 - Temperatura media di riempimento: 25 °C
 - Volume totale serbatoi: da dimensionare
 - Soluzione di stoccaggio: pacchi bombole Type IV
 - Opzione A: 150 L per bombola
 - Opzione B: 300 L per bombola
- 4) Domanda e dispensing
 - Fabbisogno giornaliero: 30 kg H_2 /giorno
 - Punto di erogazione: cascata HP/MP/LP
- 5) Costanti
 - LHV H_2 = 33,33 kWh/kg
 - T_{ref} = 273 K
 - T_{stocc} $\approx$ 298 K

Attività richieste

1. Calcolare l'energia media giornaliera disponibile dal campo FV e le ore equivalenti di funzionamento dell'elettrolizzatore.
2. Stimare il consumo specifico dell'elettrolizzatore e calcolare la produzione giornaliera di H_2 ; confrontare con il fabbisogno della flotta.
3. Determinare la massa di idrogeno da accumulare e il volume totale dei serbatoi; proporre una configurazione (numero di bombole per le due opzioni).
4. Valutare l'autonomia in giorni alla domanda di 30 kg/giorno.
5. Stimare l'energia richiesta per la compressione fino a 350 bar e confrontarla con valori attesi.
6. Calcolare l'efficienza complessiva elettricità $\rightarrow H_2$ (LHV) e discutere i risultati.
7. Disegnare uno schema impiantistico di massima (PFD/P&ID) e indicare alcune misure di sicurezza.

Tema n. 2

Progettazione di una macchina frigorifera per refrigerazione industriale

Il candidato progetti una macchina frigorifera che lavori tra la temperatura di cella di $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e una temperatura ambiente di $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Si supponga che la macchina debba refrigerare 6 celle frigorifere, assimilabili ognuna ad un parallelepipedo largo 3 m, profondo 1,5 m e alto 2,5 m, le cui pareti siano costituite da due fogli di acciaio inox da 0,5 mm di spessore (conduttanza 15 W/mK) e uno di isolante da 50 mm di spessore (conduttanza $0,04\text{ W/mK}$).

Determinata la potenza frigorifera necessaria a regime, si scelga un fluido frigorifero a piacere e si tracci il ciclo termodinamico su tutti i diagrammi di stato conosciuti.

Si calcoli il coefficiente di prestazione, la potenza meccanica spesa nel compressore e le superfici di scambio dell'evaporatore e del condensatore, tenendo conto di un rendimento politropico del compressore η_{pol} pari a 0,75.

Si consideri poi il caso in cui la temperatura della cella frigorifera sia $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$; si valuti la possibilità di impiegare un ciclo frigorifero semplice oppure doppio; per entrambi i casi, si determinino le potenze frigorifere necessarie, le portate di fluido e i nuovi coefficienti di prestazione.



x Il Presidente della Commissione

Tema n. 3

Il Candidato descriva le funzioni svolte dalla piscina di stoccaggio del combustibile nucleare (SFP) di un PWR di seconda generazione (~ 1000 MWe), di dimensioni: $L \times H \times B = 12 \text{ m} \times 11.9 \text{ m} \times 10.7 \text{ m}$, e spessore $t_{cls} = 1.5 \text{ m}$, le sue principali caratteristiche ed illustri i criteri base di progetto secondo norma ASME. Si richiede al Candidato di:

- 1) descrivere preliminarmente quali sono i principali parametri che influenzano maggiormente il progetto termo-idraulico della SFP mostrata in Figura 1. Al riguardo si assuma che a seguito delle operazioni di refuelling, nella piscina siano stoccati 1/3 degli elementi di combustibile scaricati dal core.
- 3) calcolare la distribuzione radiale della temperatura di una barretta di UO_2 , il cui materiale della guaina sia lega di zirconio, nel caso di un incidente di "Loss of Cooling Inventory" che comporti lo svuotamento del volume totale dell'acqua della piscina.
- 4) determinare lo spessore del liner interno di acciaio SA535 compatibile con la massima potenza estraibile e necessario a prevenire l'insorgere di fenomeni di deterioramento della parete.

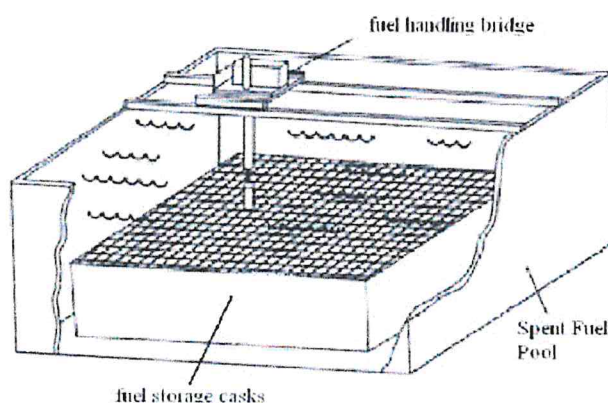


Figura 1- Schema di una tipica SFP

Per il calcolo si faccia riferimento ai seguenti dati:

- Capacità della piscina (acqua contenuta) $M_{\text{H}_2\text{O}} = 1.51 \cdot 10^6 \text{ l}$;
- Temperatura dell'acqua: $T_{\text{SFP}} = 20^\circ\text{C}$;
- Temperatura dell'aria: $T_{\text{amb}} = 20^\circ\text{C}$
- Temperatura limite del calcestruzzo: $T_{\text{lim}} = 95^\circ\text{C}$
- Coef. espansione lineare del SA535: $\alpha = 1.2 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$
- Conduttività del SA535: $k = 55 \text{ W/m K}$

- Calore di decadimento di un assembly (Burnup 60.000 MWd/MTU): 104 W/MTU
- Diametro esterno della guaina barretta di combustibile: $2R_e = 11. \text{ mm}$
- Spessore della guaina barretta di combustibile: $c = 0.5 \text{ mm}$
- Diametro della pastiglia UO_2 : $2R_i = 10. \text{ mm}$
- Calore rilasciato reazione Zirconio-Aria: $H_{\text{ZrO}_2} = 1.2 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$
- Calore rilasciato reazione Zirconio-Acqua: $H_{\text{ZrO}_2, \text{H}_2} = 5.8 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$
- Resistenza ultima a trazione Zircalloy 4 @20°C: 514 MPa
- Resistenza allo snervamento Zircalloy 4 @20°C: 381 MPa
- Modulo di Elasticità: 99.3 GPa
- Coef. Poisson: 0.37
- Coef. espansione lineare Zircalloy 4@20°C: $6 \mu\text{m/m}^\circ\text{C}$
- Conducibilità termica Zircalloy 4: 21.5 W/m K

Il Candidato assuma valori plausibili degli eventuali dati che ritenga importanti ai fini delle analisi e che non siano già forniti nel testo d'esame.

Tema n. 4

Il Candidato discuta gli obiettivi, i criteri di progettazione, le caratteristiche operative e gli aspetti di sicurezza del reattore avanzato AP1000, fornendo una descrizione generale dell'impianto.

Con riferimento al sistema di contenimento in acciaio al carbonio ad alta resistenza (SA-516 Gr 70) riportato in Figura 1, il Candidato:

1) esegua la progettazione di massima secondo norma ASME sez. III, in condizioni di Load Level A/B e verifichi la capacità resistente della struttura ipotizzando una variazione di temperatura della parete del sistema di contenimento di 65°C.

2) determini lo spessore della parete dell'edificio di schermatura in cemento armato (denominato "Shield Building" in Figura), nell'ipotesi di conduzione monodimensionale in parete piana, nel caso di evento incidentale LOCA del circuito primario. Si assuma per semplicità che il calore rilasciato all'interno del contenimento venga trasferito alle strutture e quello prodotto nel nocciolo del reattore.

Per il calcolo si faccia riferimento ai seguenti dati:

- Pressione del circuito primario: 15 MPa
- Temperature del refrigerante (Ingresso nocciolo): 280°C
- Temperatura del refrigerante (Uscita nocciolo): 310°C
- SA-516 Gr 70 Stress Intensity (S_m) a temperature ambiente: 138 MPa
- SA-516 Gr 70 Yield Strength (σ_y): 260 MPa



[Handwritten signature]

- Il Candidato assuma valori plausibili degli eventuali dati che ritenga importanti ai fini delle analisi e che non siano già forniti nel testo d'esame.

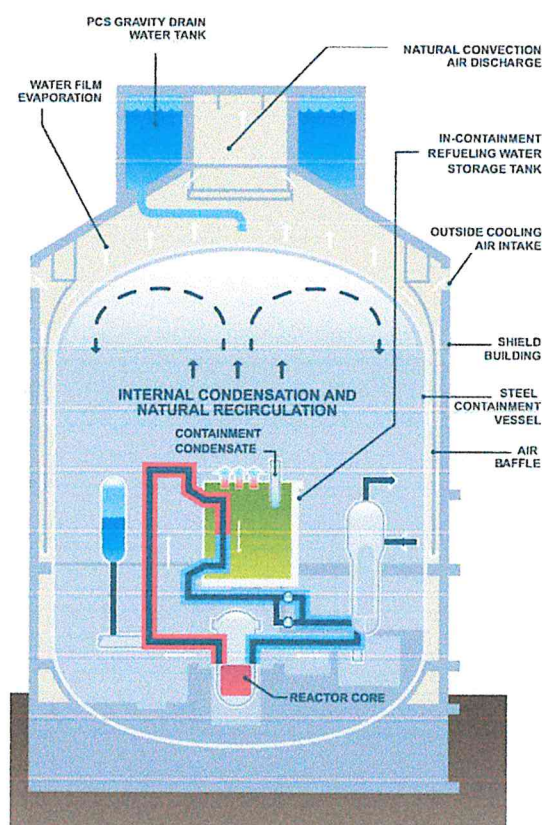


Figura 1- schema in sezione verticale AP1000



* Il Presidente della Commissione

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
PROVA PRATICA SCRITTA
10 febbraio 2026
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-31 Ing. Gestionale



* Il Presidente della Commissione

Tema n. 1

Titolo della prova

Digital Transformation e circular economy nel settore Fashion: l'integrazione di AI e IoT per la competitività di "Atelier Rinascita".

Obiettivi della prova

La prova mira a verificare la capacità del candidato di:

- Analizzare il livello di maturità digitale di un'organizzazione complessa.
- Individuare opportunità di innovazione basate su tecnologie 4.0 e 5.0 (AI, IoT, Digital Twin).
- Progettare modelli di business basati sul dato e sulla personalizzazione.
- Applicare metodologie di analisi dei rischi tecnologici.
- Integrare la tracciabilità digitale nella gestione della supply chain sostenibile.
- Argomentare criticamente l'impatto delle tecnologie sull'efficienza operativa.

Testo della traccia

L'Atelier Rinascita, eccellenza del tessile italiano, ha deciso di intraprendere una radicale trasformazione digitale per rispondere alle sfide della sostenibilità e dell'efficienza produttiva.

Il progetto "Digital Thread", curato dal team *Candidato Consulting*, mira a implementare:

1. Generative AI per l'ottimizzazione del design e la riduzione degli scarti di taglio (nesting intelligente).
2. Digital Product Passport (DPP) basato su tecnologia Blockchain e tag NFC/RFID per la tracciabilità totale.
3. Sistemi IoT per il monitoraggio in tempo reale dei consumi energetici e delle performance dei macchinari.

Svolgimento della prova

Svolgere la prova seguendo le indicazioni sotto riportate:

1. Analisi del contesto e opportunità digitali

- Descrivere il contesto del settore moda, evidenziando l'impatto della trasformazione digitale sulla riduzione del *time-to-market*.

- Utilizzando il framework STEEP, individuare tre opportunità strategiche derivanti dall'adozione dell'Intelligenza Artificiale e dell'IoT, motivando come queste possano favorire la sostenibilità ambientale.

2. Supply Chain Digitale e Tracciabilità

- Analizzare la supply chain di Atelier Rinascita, identificando i flussi informativi e le criticità legate alla mancanza di dati in tempo reale.
- Proporre l'integrazione di un sistema di tracciabilità basato su Blockchain e RFID, spiegando come il dato digitale possa migliorare la gestione delle scorte e ridurre il fenomeno dell'invenduto.

3. Progettazione e Modello di Business

- Tradurre i bisogni di personalizzazione del cliente in requisiti tecnici del software di design tramite la matrice QFD.
- Definire una strategia di lancio basata sulla "trasparenza radicale" garantita dai dati digitali.
- Descrivere il modello di business tramite il Business Model Canvas, ponendo l'accento sul valore dei dati come *asset* aziendale.

5. Analisi dei rischi e dei guasti

- Applicare la metodologia FMEA al nuovo processo digitalizzato, identificando tre potenziali guasti (es. perdita di integrità del dato blockchain, errori dell'algoritmo AI) e proponendo azioni correttive.
- Analizzare i rischi di *cybersecurity* e l'accettazione culturale delle nuove tecnologie da parte del personale.

6. Piano di lancio e impatto organizzativo

- Elaborare un piano di lancio che integri l'uso di Virtual Try-on e realtà aumentata nella strategia di distribuzione.
- Argomentare l'impatto della digitalizzazione sulle competenze richieste all'interno dell'organizzazione (reskilling) e sul territorio.

Indicazioni generali

- Utilizzare schemi per rappresentare l'architettura dei dati (es. flussi tra ERP e sensori IoT).
- La prova deve essere strutturata in modo organico: introduzione, sviluppo e conclusioni.
- È richiesta l'applicazione rigorosa di metodologie ingegneristiche per giustificare gli investimenti tecnologici.



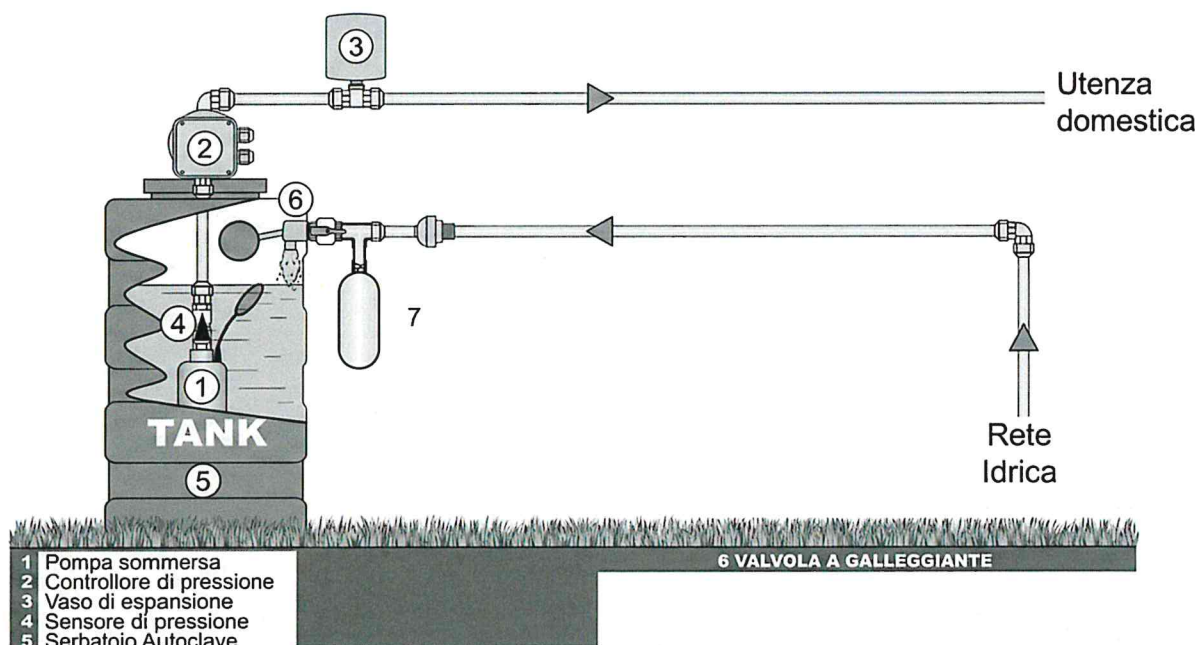
✕ Il Presidente della Commissione

Tema n. 2



*Il Presidente della Commissione

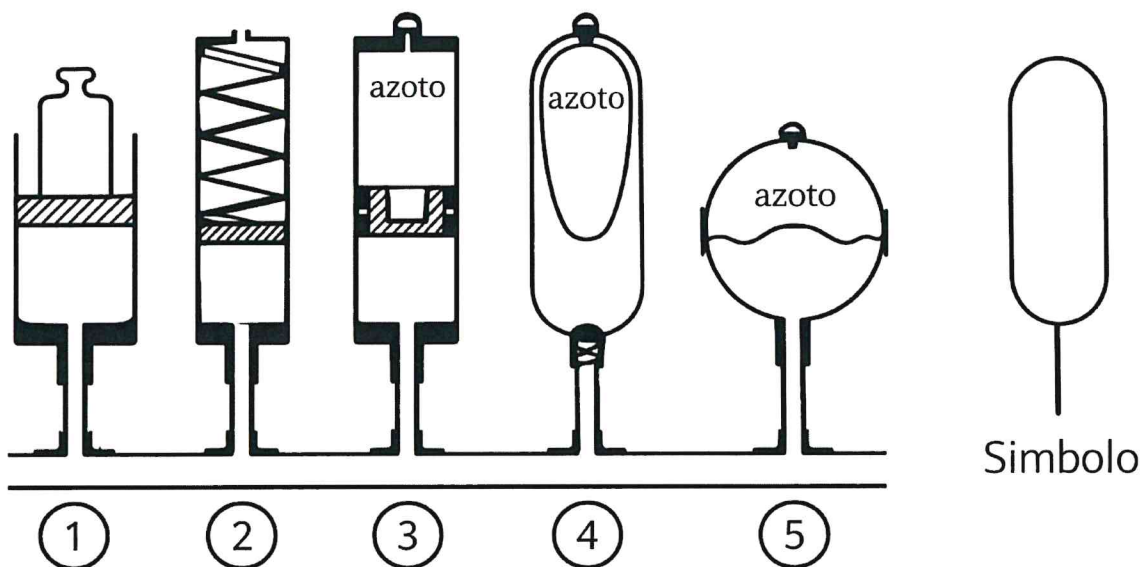
- 1) Realizzare l'analisi funzionale o la macchina a stati finiti del sistema **autoclave** in figura (non solo dell'elettronica di controllo).



L'acqua arriva dalla rete idrica con poca pressione (subisce un passaggio nel filtro 7 da non modellare), passa nella valvola a galleggiante (6) che interrompe il flusso quando il galleggiante raggiunge un certo livello H all'interno del serbatoio/tank (5). Quando l'acqua viene richiesta dall'utenza domestica, se è sufficiente quella presente nel polmone (3) è il polmone che fornisce l'acqua all'utenza, altrimenti il sensore di pressione analogico (4), registra una diminuzione di pressione ed il controllore di pressione (2) attiva la pompa sommersa (1). La pompa è costituita da un motore elettrico monofase (220V e 50Hz) e da una pompa idraulica integrata col motore stesso. Entrambi risultano immersi. Il polmone (3) fa da "cuscinetto" fra l'utenza e l'autoclave.

Il controllore di pressione (2) è una scheda a microcontrollore che legge i segnali provenienti dal sensore di pressione (4) è alimentata grazie ad un trasformatore che raddrizza la tensione e la porta a 12V. Quando rileva una perdita di pressione causata dall'apertura di un'utenza accende l'alimentazione della pompa tramite un relè elettromagnetico e quando la pressione è ristabilita spegne il motore che alimenta la pompa.

- 2) Immaginiamo che il polmone possa essere uno di quelli in figura. Per **ciascuno di essi** descrivere i limiti alla sua funzionalità e come tali limiti (in termini di parametri ed equazioni) cambiano con le condizioni in cui si trova a lavorare il polmone e come essi variano nel tempo.



Il Presidente della Commissione

[Handwritten signature]

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
PROVA PRATICA SCRITTA
10 febbraio 2026
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-33 Ing. Meccanica



Il Presidente della Commissione

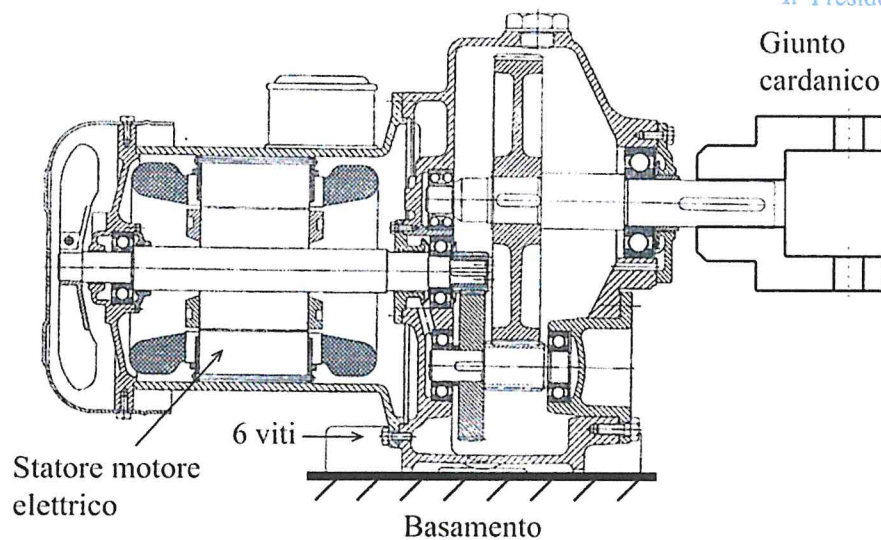
Tema n. 1

Il candidato consideri il sistema meccanico schematizzato nella figura, ovvero un moto-riduttore elettrico a ingranaggi. Il sistema è ancorato al basamento per mezzo di una flangia bullonata, non riportata in figura, e trasmette il moto ad un utilizzatore per mezzo di un giunto cardanico. L'utilizzatore oppone una coppia costante.

Si considerino i seguenti dati:

- Sistema funzionante in regime di velocità costante
- Motore elettrico asincrono monofase con 2 coppie polari, rotante a 1200 rpm ed avente una potenza massima di 3.5 kW
- Coppia resistente sull'utenza collegata al giunto cardanico pari a 500 Nm
- Numero di denti della ruota dentata posta sull'albero di uscita pari a 135
- Modulo delle ruote dentate dell'albero di rinvio pari a 2 mm, angolo di pressione 20°
- Rendimento unitario per l'intera trasmissione
- Si deducano le quote geometriche per similitudine rispetto ai valori forniti in questi dati, assumendo valori tecnicamente plausibili ove non fosse possibile misurare le quote con precisione.

1. Il candidato ricavi le azioni agenti sull'albero del motore elettrico, sull'albero collegato al giunto cardanico e sulla flangia di collegamento con il basamento.
2. Il candidato tracci i diagrammi qualitativi quotati delle caratteristiche di sollecitazione per l'albero collegato al giunto cardanico.
3. Il candidato effettui una verifica di rigidità dell'albero collegato al giunto cardanico, dopo aver ipotizzato quale possa essere la condizione critica.
4. Il candidato illustri quali siano le proprietà meccaniche tipicamente richieste al materiale utilizzato per la realizzazione di un albero collegato al giunto cardanico e dell'albero di rinvio interno. Il candidato selezioni quindi un possibile materiale per entrambi gli alberi, sulla base delle opportune verifiche di resistenza, e descriva quale trattamento termico debba essere applicato durante il ciclo produttivo, qualora necessario.
5. Il candidato effettui una verifica di resistenza dei denti della ruota dentata che si ritiene critica, motivando le assunzioni adottate. Si consideri la presenza del lubrificante nella scatola del riduttore.
6. Il candidato ipotizzi come possa essere realizzata la flangia di collegamento con il basamento e ne imponi la verifica di resistenza.
7. Il candidato illustri, avvalendosi anche di un disegno tecnico semplificato, due possibili soluzioni di montaggio del giunto cardanico sull'albero di uscita e ne illustri vantaggi o svantaggi rispetto a quella presente in figura, tenendo in considerazione processo produttivo, semplicità di montaggio, resistenza e rigidità del collegamento. Qualora necessario, è possibile cambiare il materiale ipotizzato in precedenza per l'albero di uscita.



Tema n. 2

Si consideri un motore a combustione interna a 4 tempi, 4 cilindri in linea con albero a gomito a manovelle sfasate di 180° . Il motore ha le seguenti caratteristiche:

- alesaggio $d = 110 \text{ mm}$
- corsa $s = 160 \text{ mm}$
- lunghezza della biella $l = 315 \text{ mm}$
- massa dello stantuffo e altre parti in moto alterno pari a $m_a = 2,1 \text{ kg}$
- velocità massima di rotazione $2000 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$
- massa del motore pari a $m_m = 500 \text{ kg}$
- accoppiamento biella manovella con tolleranza albero-foro $\Phi 50 \text{ mm H7/g5}$ e larghezza $b = 30 \text{ mm}$; rugosità superficiale (R_q) del perno manovella e della boccia biella rispettivamente di 1.0 ed $1.6 \mu\text{m}$.
- Coppia resistente all'albero motore pari a $C = 80 \text{ Nm}$

Il candidato determini il valore massimo delle forze alterne del primo e del secondo ordine relative ad un cilindro ed esegua il dimensionamento della sospensione elastica del motore, in modo tale che la pulsazione naturale del sistema sia pari ad un terzo della pulsazione del motore quando questo gira in condizioni di minimo (800 giri/min).

Il candidato determini inoltre il fattore di amplificazione della forza trasmessa al basamento quando il motore gira al regime massimo.

Considerando l'accoppiamento biella-manovella realizzato mediante una boccia (coppia rotoidale lubrificata), il candidato stimi il valore di viscosità dinamica dell'olio da utilizzare in modo da minimizzare l'usura e le perdite di attrito.

Il candidato motivi opportunamente le ipotesi semplificative adottate e l'eventuale assunzione di dati mancanti.



Al Presidente della Commissione

Tema n. 3

Si esegua un dimensionamento di massima (calcolo di cilindrata e frazionamento) per un motore Diesel lento navale 4T, sovralimentato con turbina a gas di scarico ed intercooler, la cui potenza di progetto deve essere pari a 9600 kW a 132 giri/min.

Si consideri inoltre il campo di variabilità dei seguenti valori:

- pressione di sovralimentazione tipica (P_s) $\rightarrow 1,5 \text{ bar} < P_s < 2,5 \text{ bar}$
- temperatura aria in ingresso motore $\approx 310 \text{ K}$
- rapporto massico aria/gasolio (α) tipico a piena potenza $\rightarrow 20 < \alpha < 24$
- pressione media effettiva a massima potenza $< 18 \text{ bar}$
- velocità massima pistone $\approx 7,5 \text{ m/s}$
- rapporto corsa/alesaggio tipico = 3
- PCI gasolio = 44 MJ/kg

Si assumano valori tecnicamente ragionevoli per tutte le grandezze necessarie, motivandone la scelta.

Tema n. 4



Presidente della Commissione

Si consideri un carrello per la movimentazione di merci. Le dimensioni relative a passo, carreggiata, diametro delle ruote e posizione del baricentro G sono mostrate in Figura 1.

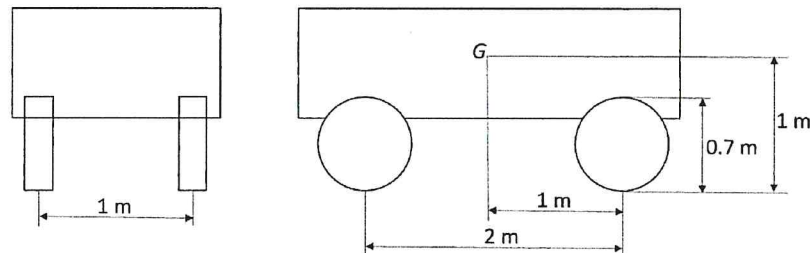


Figura 1: dimensioni del carrello

In condizioni operative il carrello ha massa $m = 1000$ kg, il momento di inerzia di ogni ruota attorno all'asse di rotazione vale $J = 1$ kgm² ed il coefficiente di aderenza tra ogni ruota e il suolo è pari a 0.8.

Il profilo di missione del carrello prevede la partenza da fermo, il raggiungimento della velocità di regime pari a 50 km/h e successivamente l'arresto.

Il carrello è equipaggiato con una coppia di freni a tamburo montati sulle ruote posteriori, il cui schema semplificato è mostrato in Figura 2.

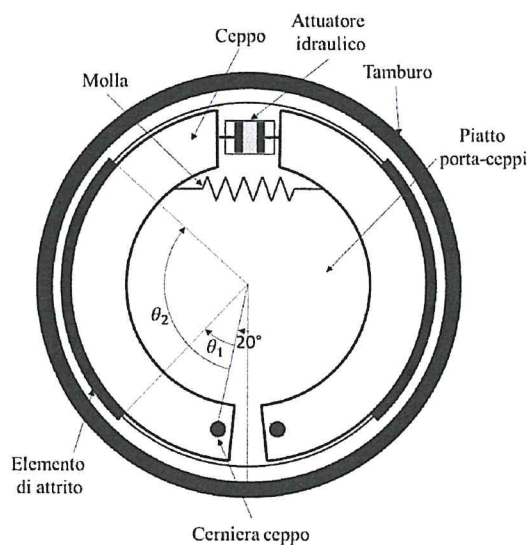


Figura 2: schema freno a tamburo

Il piatto porta-ceppi è solidale al telaio del carrello, mentre il tamburo ruota in maniera solidale all'assale e alle ruote posteriori. Due ceppi, posizionati in maniera simmetrica rispetto ad un diametro del piatto, sono incernierati al piatto porta-ceppi e sono attuati attraverso un attuatore idraulico. L'attuatore idraulico è composto da un cilindro all'interno del quale si muovono in direzione opposta due pistoni sotto l'effetto della pressione dell'olio p .

La pressione minima all'interno del circuito è pari a 0.5 MPa (relativa alla pressione atmosferica) mentre la pressione massima vale 50 MPa.

Sui ceppi sono fissati gli elementi di attrito che, una volta attuato il freno, vanno a strisciare contro il tamburo. Il coefficiente di attrito dinamico tra i suddetti elementi e il tamburo vale 0.35.

Supponendo che il tamburo ruoti in verso antiorario, si richiede al candidato di:

1. determinare, sulla base dello schema di Figura 2, la direzione di accostamento tra ceppo e tamburo e l'andamento della distribuzione di pressione sul ceppo;
2. risolvere in forma letterale l'equilibrio del ceppo nei seguenti casi, commentando eventuali differenze nei risultati:
 - ceppi montati come mostrato in Figura 2 (cerniere in basso e attuatore idraulico in alto);
 - ceppi montati specularmente rispetto a un piano orizzontale (cerniere in alto e attuatore idraulico in basso);
3. supponendo che il ceppo sia una porzione di settore circolare in acciaio (calore specifico 450 J/kgK), dimensionare il freno (raggio tamburo, ϑ_1 , ϑ_2 , massa ceppo m ecc.) e l'attuatore idraulico (diametro) in modo che, durante una frenata al limite di aderenza, la temperatura massima (supposta uniforme) del ceppo non superi i 200°C (ipotizzare che il 30% del calore totale sviluppato in frenata contribuisca al riscaldamento dei ceppi) e che la pressione massima di contatto tra gli elementi di attrito e il tamburo non superi 1 MPa ;
4. determinare il precarico della molla in modo che in condizioni di pressione minima all'interno del circuito idraulico non si verifichi la frenatura del veicolo;
5. dimensionare la molla (diametro esterno, diametro filo, numero di spire) in modo che siano rispettate le esigenze di layout e di resistenza della molla;
6. supponendo che sia soltanto l'elemento di attrito ad usurarsi, determinarne lo spessore in modo che sia in grado di sopportare 10000 frenate al limite di aderenza (coefficiente di usura, definito come volume asportato per unità di lavoro, pari a $2 \text{ mm}^3/\text{kJ}$);
7. disegnare in scala il complessivo ottenuto e determinare il valore delle reazioni vincolari agenti sulle cerniere dei ceppi;
8. dimensionare i perni che fungono da cerniera dei ceppi, in modo che siano verificati per l'intera vita del carrello.

Il candidato assuma valori plausibili per eventuali grandezze mancanti.


* Il Presidente della Commissione

Esami di Stato
Seconda Sessione 2025
PROVA PRATICA SCRITTA
10 febbraio 2026
Sez. A – Settore Ingegneria INDUSTRIALE
CLASSE LM-53 Ing. dei Materiali



Tema n. 1

Il candidato descriva la produzione di una bottiglia per acqua gassata in polietilene tereftalato (PET) con volume nominale $V = 1,5$ litri e diametro interno $D = 85$ mm, ed esegua le verifiche meccaniche e delle proprietà barriera alla CO_2 .

Specifiche di progetto:

- Si consideri una pressione interna massima di 6 bar, una temperatura di esercizio di 20°C e una tensione ammissibile a lungo termine di 20 MPa a 20°C .
- La geometria della bottiglia può essere approssimata ad un cilindro con fondo emisferico (recipiente a parete sottile).
- Appena la bottiglia è caricata, la quantità in peso di CO_2 disciolta nell'acqua è 10 g. Si ammette come requisito di *shelf-life* una perdita massima di CO_2 disciolta a 30 giorni di 1,5 g.
- Si consideri la pressione parziale della CO_2 interna alla bottiglia = 6 bar, mentre la pressione parziale della CO_2 esterna può essere trascurata.
- La permeabilità del PET alla CO_2 a 20°C è di $10^{-16} \text{ mol}\cdot\text{m}/(\text{m}^2\cdot\text{Pa}\cdot\text{s})$. Alla temperatura di 40°C detta permeabilità aumenta di un fattore 2,5.

Il candidato:

1. Descriva il processo industriale di produzione nelle sue fasi salienti e identifichi i parametri critici.
2. Calcoli lo spessore minimo della parete del corpo cilindrico assumendo che si tratti di un recipiente a parete sottile e verifichi che la sollecitazione longitudinale rispetto a quella ammissibile.
3. Assumendo che il volume sia approssimato dal solo cilindro, calcoli la lunghezza del tratto cilindrico stimando l'area di scambio (cilindro + fondo emisferico).
4. Stimì la perdita di CO_2 in 30 giorni considerando un regime stazionario e verifichi che tale perdita sia o meno ammissibile.
5. Rivaluti i punti precedenti per una temperatura estiva $T = 40^\circ\text{C}$, assumendo una tensione ammissibile di 12 MPa, e discuta eventuali modifiche di progetto e processo.
6. Esprima alcune considerazioni sul possibile utilizzo di polimeri furanici (es. polietilene furanoato; PEF) come alternativa sostenibile al PET nella produzione di bottiglie per acqua gassata.

Tema n. 2



Un'azienda intende sviluppare materiali polimerici superassorbenti (SAP) più sostenibili rispetto ai SAP commerciali di acido acrilico (AA) da utilizzare in combinazione alla pasta di cellulosa (*fluff pulp*) in prodotti sanitari. Come polimeri sostenibili l'azienda ha identificato due polisaccaridi, l'alginato di sodio (SA) e i nanocristalli di cellulosa (CNC) da impiegare, in formulazioni che contengono o meno AA in quantità comunque inferiori a quelle attualmente in uso, in due prodotti di interesse:

- A) Pannolini infante/adulto
- B) Assorbenti igienici femminili.

Il candidato, dopo aver spiegato la differenza tra le due tipologie di prodotto, deve proporre produzione, dimensionamento e piano prove per ottenere 10,0 g di SAP per entrambe le applicazioni.

Specifiche di progetto:

Caso A):

- Formulazione ottimizzata ottenuta sperimentalmente (peso secco): AA 63,00%, SA 25,20%, CNC 1,80%, NaOH 6,30%, Persolfato di ammonio (iniziatore radicalico; APS) 3,46%, N,N'-metilenbisacrilammide (reticolante chimico; NMBA) 0,25%. Contenuto solido di 18,5% (p/p).
- Prestazioni: La *Free Swelling Capacity* (FSC) misura la massima capacità di rigonfiamento libero del SAP in assenza di carico meccanico. In soluzione salina per il campione ottimizzato la FSC è ~ 100 g/g mentre la capacità assorbente della *fluff pulp* ~ 3 g/g.

Caso B):

- SAP totalmente *bio-based*. Condizioni ottimali per la produzione del SAP ottenute sperimentalmente: SA 8% p/v; CaCl₂ 0,25% p/v (reticolante ionico).
- Prestazioni: la FSC in soluzione salina del SAP reticolato 30 min è di ~ 22 g/g.

Il candidato:

1. Caso A)

- a. Descriva il ruolo di tutti i reagenti nel processo di ottenimento del SAP bio-ibrido. Che vantaggi possono teoricamente offrire i CNC?
- b. Calcoli le masse dei reagenti per produrre un *batch* da 10,0 g di SAP (base secca) e la quantità di acqua che il SAP può assorbire. Proponga un bilancio di materia per un pannolino da infante con target 500 g di assorbimento con rapporto in peso *fluff pulp*/SAP=60:40. Stimì quindi le quantità in peso di SAP e *fluff pulp* richieste.
- c. Discuta il ruolo della FSC e dell'*Absorption under load* (assorbimento sotto carico; AUL), nonché l'effetto dell'esecuzione dei test in soluzione salina (0,9% NaCl) piuttosto che in acqua distillata. Che ruolo gioca il fenomeno del *gel blocking*?

2. Caso B)

- a. Progetti la produzione di 10,0 g di SAP di solo SA, calcolando il volume della soluzione acquosa di SA e la massa di CaCl₂ necessaria per la reticolazione, e descriva le varie fasi di processo.
- b. Preveda come le prestazioni di questi SAP possono variare all'aumentare del tempo di reticolazione. Identifichi inoltre le limitazioni che, in questo specifico caso, possono avere i risultati ottenuti dai test utilizzando acqua o soluzione salina.
- c. Spieghi se è possibile ipotizzare l'utilizzo del solo SA (senza AA) come SAP per pannolini da infanzia o incontinenza e perché.

3. Casi A) e B)

- a. Piano di caratterizzazione: il candidato indichi (i) le tecniche analitiche da impiegare per la caratterizzazione del SAP entrando nel dettaglio delle caratteristiche chimico-fisiche di interesse, (ii) i test specifici, oltre FSC e AUL, di cui è a conoscenza per valutare le proprietà funzionali dei SAP, e (iii) le prove di degradazione/biodegradazione che eseguirebbe per un possibile fine vita più "bio", laddove possibile.
- b. Analisi applicativa: il candidato discuta il *trade-off* tra SAP a base AA/SA e SAP di solo SA in termini di prestazioni, sicurezza dermatologica e impatti ambientali, indicando norme ISO, se le ritiene utili e applicabili. Indichi inoltre se ci sono considerazioni etiche da fare, eseguendo test preliminari alla commercializzazione su un campione di individui.
- c. *Scale-up* industriale: il candidato identifichi i possibili limiti del processo (10,0 g di SAP) in una produzione su larga scala.

