

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA SCRITTA
(PROVA DI SETTORE)

TEMA N. 1

**TITOLO: L'INGEGNERE E LA SFIDA DELLO SVILUPPO SOSTENIBILE NEI PAESI
TECNOLOGICAMENTE ARRETRATI E CON INFRASTRUTTURE INADEGUATE**

In un mondo sempre più interconnesso e globalizzato, il ruolo dell'ingegnere assume una rilevanza cruciale non solo nello sviluppo tecnologico, ma anche nella promozione di un progresso equo, sostenibile e rispettoso delle diversità culturali e ambientali. Nei paesi tecnologicamente arretrati e con infrastrutture inadeguate, l'ingegnere è chiamato a confrontarsi con sfide complesse: dalla progettazione di grandi opere infrastrutturali (dighe, centrali elettriche, impianti industriali, sistemi logistici, strutture sanitarie) alla gestione delle risorse naturali, spesso abbondanti ma scarsamente valorizzate.

L'ingegnere, in quanto professionista tecnico e figura etica, deve operare nel rispetto dei principi della deontologia professionale, delle normative internazionali e locali, e con una profonda consapevolezza delle implicazioni sociali, ambientali, economiche e culturali delle proprie scelte progettuali.

Nell'elaborato, si sviluppi una riflessione articolata e argomentata sui seguenti punti:

1. **Il ruolo etico e deontologico dell'ingegnere** nello sviluppo sostenibile dei paesi tecnologicamente arretrati e con infrastrutture inadeguate: responsabilità verso le comunità locali, rispetto dei diritti umani, equità nell'accesso alle risorse, trasparenza e lotta alla corruzione;
2. **Le competenze tecniche e interdisciplinari** necessarie per affrontare progetti complessi in contesti fragili: conoscenze in ingegneria civile, ambientale, energetica, gestionale, ma anche capacità di dialogo interculturale, project management e valutazione d'impatto ambientale e sociale;
3. **Gli strumenti ingegneristici a disposizione** per progettare e realizzare infrastrutture sostenibili: tecnologie appropriate, energie rinnovabili, sistemi di monitoraggio ambientale, modelli di economia circolare, digitalizzazione e automazione;
4. **Le sfide e le opportunità** legate alla realizzazione di grandi opere (es. dighe, centrali, impianti industriali, sistemi logistici, strutture sanitarie) in tali paesi: analizza casi concreti o ipotetici, considerando aspetti tecnici, ambientali, economici e culturali;
5. **Il contributo dell'ingegneria alla cooperazione internazionale** e agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA SCRITTA
(PROVA DI SETTORE)

TEMA N. 2

Efficientamento energetico

L'EFFICIENZA ENERGETICA COSTITUISCE OGGI UNO DEGLI OBIETTIVI PRINCIPALI DELL'INDUSTRIA MODERNA. L'EFFICIENZA ENERGETICA RAPPRESENTA INOLTRE UNO DEI PRINCIPALI STRUMENTI PER MIGLIORARE LA COMPETITIVITÀ DELLE IMPRESE E FAVORIRE UNO SVILUPPO INDUSTRIALE SOSTENIBILE.

IL CANDIDATO DESCRIVA ALCUNE ATTIVITÀ SPECIFICHE DEL SUO SETTORE CHE L'INGEGNERE INDUSTRIALE DEVE TENERE IN PARTICOLARE CONSIDERAZIONE NELLA PROGETTAZIONE DI IMPIANTI E PROCESSI CHE GARANTISCANO ELEVATE PRESTAZIONI CON IL MINOR CONSUMO POSSIBILE DI ENERGIA E DI MATERIE PRIME.

SI PRENDA ANCHE IN CONSIDERAZIONE LA RIDUZIONE DEGLI SPRECHI, LA QUALE CONTRIBUISCE NON SOLO AL CONTENIMENTO DEI COSTI DI PRODUZIONE, MA ANCHE ALLA DIMINUZIONE DELLE EMISSIONI INQUINANTI E DELL'IMPATTO AMBIENTALE.

IL CANDIDATO, INOLTRE, ILLUSTRI COME L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE POSSA CONTRIBUIRE AL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI E ALLA RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 1

Il candidato discuta esaustivamente l'impianto combustibile presente a bordo dei velivoli, illustrandone in modo critico le problematiche progettuali, i principali vincoli, le soluzioni adottabili per l'intero impianto e per i singoli equipaggiamenti costitutivi dell'impianto stesso; evidenzi, inoltre, i criteri di dimensionamento in relazione alle differenti classi di velivoli e i passi necessari ad effettuare il dimensionamento dell'intero impianto. Discuta i passi da effettuare per certificare l'impianto in ambito aeronautico.

OPPURE

Il candidato discuta esaustivamente l'impianto di determinazione e controllo d'assetto presente a bordo di satelliti, illustrandone in modo critico le problematiche progettuali, i principali vincoli, le soluzioni adottabili per l'intero impianto e per i singoli equipaggiamenti costitutivi dell'impianto stesso; evidenzi, inoltre, i criteri di dimensionamento in relazione alle differenti classi di satellite e di missione spaziale e i passi necessari ad effettuare il dimensionamento dell'intero impianto. Descriva inoltre quale potrebbe essere il percorso di qualifica di un nuovo componente in questo ambito tecnologico, in linea con le normative europee.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 2

Il candidato, facendo riferimento ad un impianto di propria scelta (ad esempio una linea di produzione, un un sistema robotizzato o altro), descriva il percorso progettuale di un sistema di controllo automatico, illustrando in particolare:

1. **La modellazione del processo**, specificando le ipotesi adottate, le eventuali semplificazioni, la scelta delle variabili di stato, degli ingressi, delle uscite e il ruolo di sensori, attuatori e disturbi.
2. **L'analisi dinamica del sistema**, discutendo le principali proprietà (stabilità, controllabilità, osservabilità, risposta dinamica) e le metodologie utilizzate per la loro valutazione.
3. **La scelta dell'architettura di controllo**, confrontando le principali soluzioni (anello aperto, anello chiuso, controllo in cascata, feedforward, rcc), evidenziandone vantaggi, limiti e ambiti applicativi.
4. **La progettazione del controllore**, illustrando i criteri di progetto (prestazioni statiche e dinamiche, robustezza, reiezione dei disturbi, sensibilità alle incertezze) e le metodologie impiegate (PID, controllo ottimo, predittivo o altre tecniche ritenute opportune).
5. **L'implementazione digitale del sistema di controllo**, descrivendo gli aspetti legati al campionamento, alla discretizzazione, alla scelta del tempo di campionamento, all'esecuzione su sistemi embedded, alle problematiche introdotte dalla quantizzazione, dai ritardi di calcolo e dalle reti di comunicazione industriali.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 3

LE TECNICHE DI CHIRURGIA MINI-INVASIVA IN AMBITO CARDIACO E VASCOLARE STANNO AVENDO SEMPRE PIÙ SUCCESSO ED APPLICAZIONE NEL CAMPO MEDICO.

IL CANDIDATO ESPONGA LE PROPRIE CONSIDERAZIONI A RIGUARDO.

IL CANDIDATO SI SOFFERMI SU UN PARTICOLARE DISPOSITIVO IN AMBITO VASCOLARE O CARDIACO CHE PREVEDA UN APPROCCIO CHIRURGICO MINI-INVASIVO ED ESPONGA TUTTE LE FASI DI PROGETTAZIONE E CARATTERIZZAZIONE NECESSARIE PER LA REALIZZAZIONE DEL DISPOSITIVO SELEZIONATO. IN PARTICOLARE, IL CANDIDATO DEVE DESCRIVERE ALMENO I SEGUENTI PUNTI:
MATERIALI IMPIEGATI: PROPRIETÀ MECCANICHE RILEVANTI (MODULO ELASTICO, RESISTENZA A FATICA, DUREZZA), RAZIONALE DELLA SCELTA E PRINCIPALI LIMITAZIONI CLINICHE;
PROCESSO DI PRODUZIONE DEL DISPOSITIVO: TECNICHE DI FABBRICAZIONE POSSIBILI E PRINCIPALI LIMITAZIONI E VANTAGGI;
INTERAZIONE CON IL TESSUTO EMATICO E BIO/EMOCOMPATIBILITÀ: PRINCIPI DELLA VALUTAZIONE BIOLOGICA SECONDO ISO 10993;
INNOVAZIONI E QUADRO NORMATIVO: PROTESI INNOVATIVE, PERSONALIZZATE E NORME DI RIFERIMENTO PER LA COMMERCIALIZZAZIONE.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 4

Il candidato illustri le problematiche incontrate a livello industriale nella conduzione di reazioni catalitiche limitate dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio termodinamico nelle condizioni di processo. Discuta inoltre, motivandole, le scelte ingegneristiche adottate per il reattore, facendo riferimento a processi industriali sia esotermici che endotermici.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 5

Le macchine elettriche rotanti costituiscono uno degli elementi fondamentali dell'ingegneria elettrica e trovano impiego in numerosi settori, quali la produzione di energia, l'industria, i trasporti e gli impianti civili.

Il candidato scelga una macchina elettrica rotante a sua discrezione e ne sviluppi una trattazione organica, affrontando i seguenti aspetti:

- principio di funzionamento e caratteristiche costruttive essenziali;
- principali caratteristiche elettriche e meccaniche;
- modalità di funzionamento, controllo e regolazione, ove applicabili;
- vantaggi, limiti e criteri di scelta rispetto ad altre tipologie di macchine;
- principali campi di applicazione

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 6

Il candidato presenti il ruolo dei combustibili alternativi nel contesto della transizione energetica. Con riferimento a uno (o anche più) tra biocombustibili, idrogeno, e-fuels o synfuels, il candidato analizzi il contributo alla decarbonizzazione dei settori energetico, industriale e dei trasporti. Infine, dopo averne delineato le caratteristiche in via generale, discuta delle principali tecnologie di produzione, della compatibilità con le infrastrutture esistenti, e del legame con le fonti rinnovabili.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 7

SI DESCRIVANO LE METODOLOGIE DI TRASPORTO DI CALORE PONENDO
L'ATTENZIONE SU UNA APPLICAZIONE DELL'INDUSTRIA ALIMENTARE A SCELTA
TIPO COTTURA, PASTORIZZAZIONE O ALTRO

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 8

Sulla base degli impegni che la comunità internazionale si è data nell'Accordo di Parigi sul cambiamento climatico e nell'Agenda 2030, la sostenibilità rappresenta oggi uno degli elementi imprescindibili nella strategia e nella gestione delle imprese, influenzando i processi decisionali, gli investimenti, la gestione dei rischi e la competitività aziendale. Il candidato illustri il ruolo dell'ingegnere industriale nell'integrazione dei principi di sostenibilità all'interno dell'organizzazione, discutendo gli aspetti ambientali, sociali e di governance (ESG), gli strumenti per la misurazione e rendicontazione delle prestazioni di sostenibilità, le principali metodologie di valutazione degli impatti lungo il ciclo di vita dei prodotti e dei processi, nonché il rapporto tra sostenibilità, innovazione, mercati finanziari, economia circolare e digitalizzazione.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 9

I materiali compositi trovano impiego in numerose applicazioni industriali.
Si illustrino le caratteristiche di questi materiali, le proprietà che essi permettono di conseguire, gli eventuali aspetti critici e le specificità da considerare in fase di progettazione.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

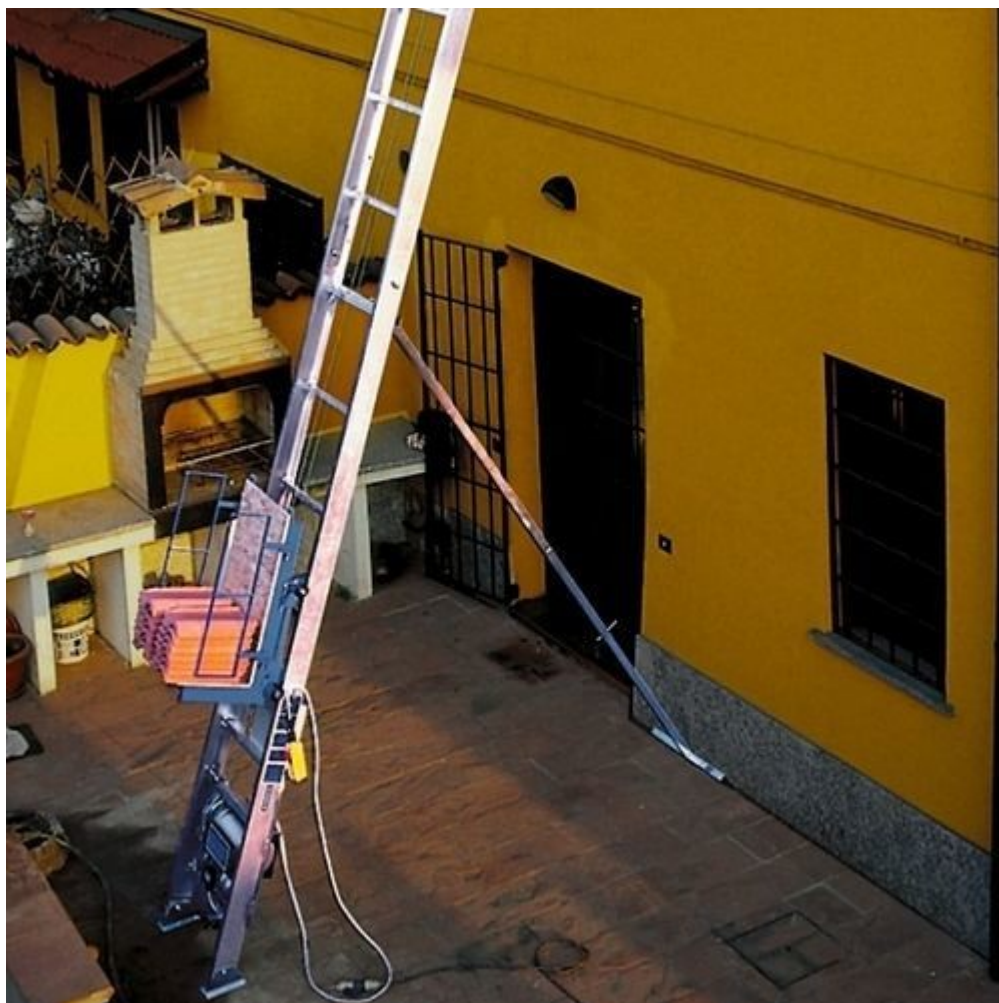
SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 10

Il candidato descriva la metodologia e le diverse fasi di progetto per la progettazione e il collaudo di un montacarichi da cantiere come in figura.

In particolare si faccia riferimento a:

- i dati necessari da parte del committente,
- la procedura che si intende seguire per la progettazione del sistema di movimentazione,
- la metodologia di dimensionamento e verifica della resistenza meccanica dei componenti,
- eventuali normative di riferimento
- i dispositivi di sicurezza



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 11

Il candidato illustri il ciclo di vita di un servizio di trasporto pubblico, descrivendone le principali fasi di pianificazione (planning), programmazione dell'esercizio (scheduling), gestione operativa (operations) e monitoraggio e valutazione delle prestazioni (accounting). Per ciascuna fase si discutano, ove pertinenti, obiettivi, variabili progettuali, vincoli tecnici ed economici e principali dati di input e output. Si illustrino inoltre le metodologie e gli strumenti utilizzati nelle diverse fasi del processo, evidenziandone finalità e ambiti di applicazione.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 12

Negli ultimi mesi in Italia si è ripreso a parlare di un riavvio di un programma nucleare per la produzione elettrica, attraverso l'introduzione di un nuovo sistema regolatorio che ne permetta l'implementazione.

Il candidato esprima, dal punto di vista ingegneristico, quali ritiene, siano i punti più critici che il paese si troverebbe ad affrontare durante questo percorso.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 27 LUGLIO 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 13

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

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

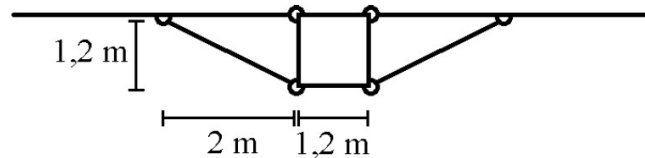
SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 1

Il candidato risolva alternativamente uno dei seguenti temi:

1. Si consideri un velivolo ad ala alta trapezoidale la cui struttura è schematizzabile come illustrato di seguito:



Si determinino le azioni interne sull'ala, assumendo per il velivolo i seguenti dati:

Peso	1800	kg
Superficie alare	18	m ²
Allungamento alare	7	
Rapporto di rastremazione	1,5	
Peso ala/peso velivolo	15-20%	
Fattore di contingenza	4,5	

Il candidato assuma i dati non presenti e che ritiene necessari per lo svolgimento del tema, giustificandoli.

2. Si consideri un satellite rilasciato in orbita polare circolare alla quota di 250km. Si calcoli il costo delle manovre per portare il satellite in orbita circolare eliosincrona alla quota di 700km. Si consideri una dissipazione interna dell'intero sistema di 95W. Si progetti il sistema di controllo termico, con modello mono-nodale, in modo da assicurare temperature in regime statico ammissibili per la componentistica di bordo ritenuta più critica sia per il caso freddo che per il caso caldo.

Si consideri il satellite su un'orbita mezzogiorno-mezzanotte e si assuma il satellite di forma sferica e raggio 1m.

Si assuma, quindi, l'impiego di una stazione di Terra equatoriale provvista di antenne da 3m in diametro con temperatura di rumore di 150 °K: si valuti la durata del contatto tra stazione di Terra e satellite e si dimensionino il sottosistema di telecomunicazione di bordo – frequenza, guadagno di antenna, potenza elettrica richiesta per la trasmissione - assumendo un data rate di 1Mbps per il download di dati scientifici. Il dimensionamento è richiesto per la sola funzione di download Spazio → Terra. Si valuti il volume di dati scaricabile in 1 settimana di operazioni.

Il candidato assuma i dati non presenti e che ritiene necessari per lo svolgimento del tema, giustificandoli.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 2

Si desidera progettare il sistema di controllo per un attuatore a levitazione magnetica. Il sistema è costituito da un elettromagnete posto in alto che deve mantenere una sfera d'acciaio in una posizione verticale prefissata y_{ref} contrastando la forza di gravità.

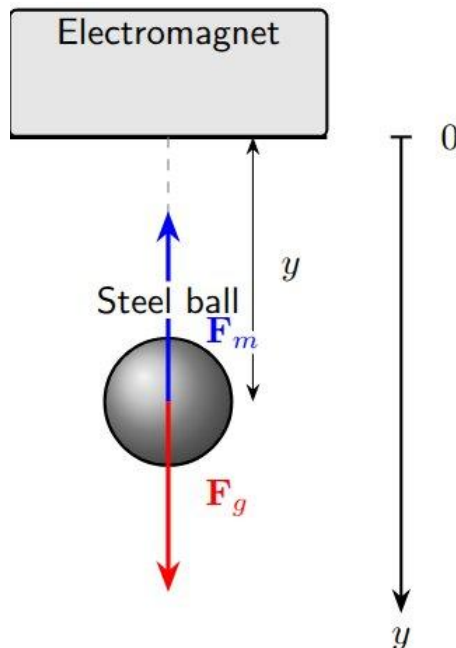
Modellistica del sistema

Il comportamento dinamico del sistema è descritto dalla seguente equazione differenziale non lineare,

$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = mg - k \frac{i^2(t)}{y^2(t)}$$

Dove:

- $y(t)$ è la posizione verticale della sfera (misurata verso il basso a partire dall'elettromagnete).
- $i(t)$ è la corrente che scorre nell'elettromagnete.
- $m = 0.05 \text{ kg}$ è la massa della sfera.
- $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ è l'accelerazione di gravità.
- $k = 0.001 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{A}^{-2}$ è la costante elettromagnetica.



Il candidato risponda alle seguenti domande:

1. **Linearizzazione:** Si determini il punto di equilibrio (y_0, i_0) per la posizione desiderata di $y_0 = 0.02 \text{ m}$ e Si ricavi il modello linearizzato nello spazio di stato e la relativa **funzione di trasferimento**
$$G(s) = \frac{\Delta Y(s)}{\Delta I(s)}.$$
 2. **Analisi della Stabilità:** Si dimostri che il sistema in anello aperto è instabile e si individuino i poli del sistema.
 3. **Sintesi del Controllore:** Progettare un sistema di controllo $C(s)$ (ad esempio un controllore **PID**) tale che il sistema in anello chiuso soddisfi:
 - Errore a regime nullo per un ingresso a gradino.
 - Sovraelongazione massima $5\% \leq 10\%$.
 - Tempo di assestamento $t_{s, 2\%} \leq 0.2 \text{ s}$.
 4. **Robustezza:** Verificare il **margin di fase** M_f e il **margin di guadagno** M_g del sistema progettato.
 5. **Sistema discreto:** si valuti la possibilità di implementare il sistema di controllo su un sistema digitale descrivendo una possibile procedura di discretizzazione e le problematiche associate ad una implementazione di questo tipo
 6. **Stima:** Si individuino le grandezze fisiche necessarie per la realizzazione del sistema di controllo, discutendo quali possano essere misurate direttamente e quali eventualmente stimate. Si proponga una possibile architettura di misura e/o stima
- Soluzione Proposta**
1. **Linearizzazione**
 2. **Analisi della stabilità e dei poli**
 3. **Sintesi del Controllore PID**

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 3

RISPETTO A QUANTO ACCADE PER ALTRI CAMPI DELL'ORTOPEDIA, NELLA RICOSTRUZIONE DI UN LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE (LCA) SI PUÒ RICORRERE ALL'IMPIEGO SIA DI SOSTITUTI AUTOLOGHI CHE DI SOSTITUTI ARTIFICIALI.

SI CONSIDERI IL CASO IN CUI LA RICOSTRUZIONE DEL LCA POSSA ESSERE ESEGUITA CON L'AUSILIO DI ENTRAMBI I DISPOSITIVI (GRAFT AUTOLOGO E SOSTITUTO SINTETICO) SUTURATI COME RIPORTATO IN FIGURA 1.

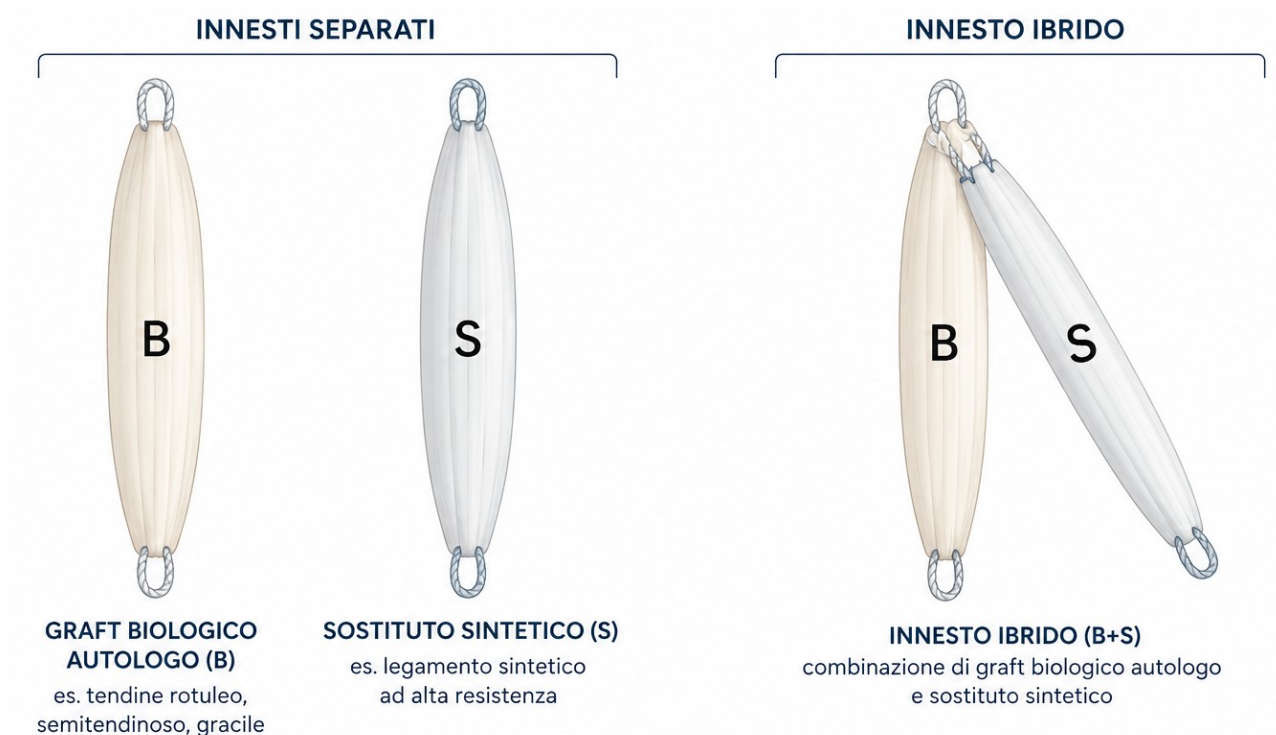


FIGURA 1 - POSSIBILI SOLUZIONE CHIRURGICHE PER LA RICOSTRUZIONE DEL LCA.

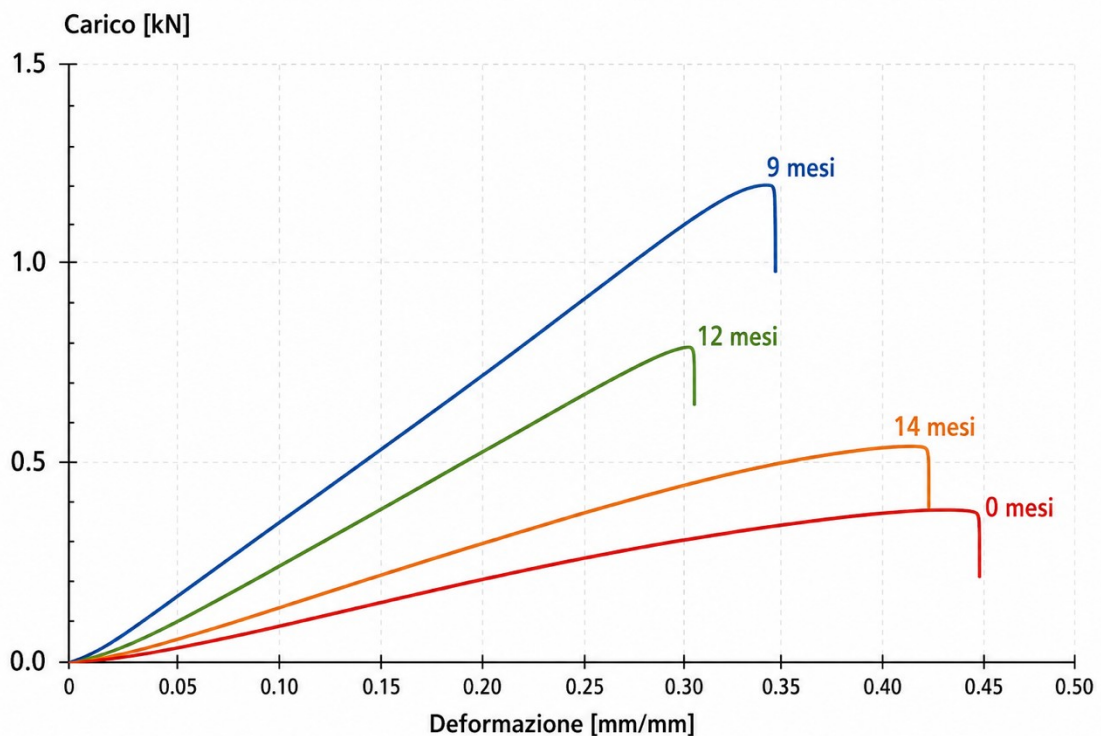
B = GRAFT BIOLOGICO AUTOLOGO; S = SOSTITUTO SINTETICO

IL CANDIDATO ILLUSTR I POSSIBILI VANTAGGI E SVANTAGGI DI CIASCUNA DELLE DUE SOLUZIONI PROPOSTE.

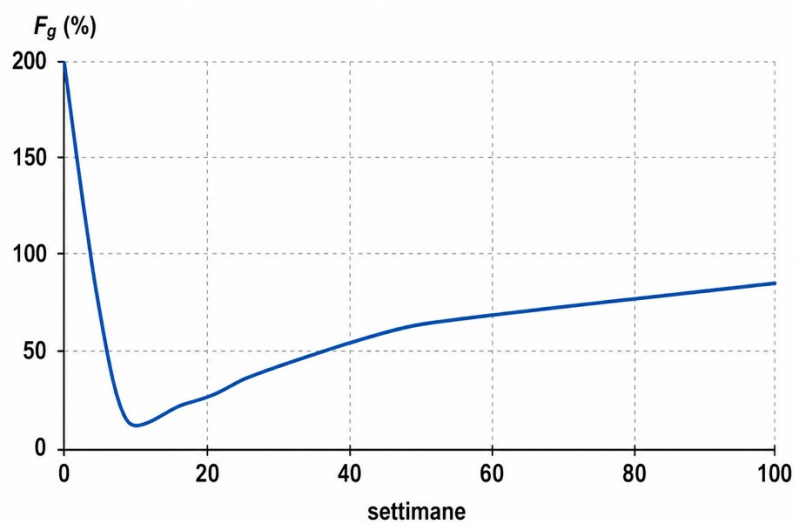
IL CANDIDATO CALCOLI, UTILIZZANDO, SE NECESSARIO, I GRAFICI RIPORTATI IN FIGURA 2:

1. LA DISTRIBUZIONE DELLE FORZE ESISTENTI TRA SOSTITUTO SINTETICO E GRAFT AUTOLOGO (IN PERCENTUALE RISPETTO ALLA FORZA TOTALE) NEI PRIMI 12 MESI DI UTILIZZO IN ENTRAMBE LE CONFIGURAZIONI DI UTILIZZO;
2. QUALE DEI DUE APPROCCI GARANTISCE LA MAGGIOR STABILITÀ ALL'ARTICOLAZIONE (ANDAMENTO NEL TEMPO DELLA RIGIDEZZA DEL SISTEMA);
3. PER ENTRAMBE LE SOLUZIONI, GLI ANDAMENTI NEL TEMPO DELLA RIGIDEZZA DEL SOSTITUTO SINTETICO E LA FORZA RESIDUA DEL DISPOSITIVO (PERCENTUALE RISPETTO ALLA FORZA TOTALE) NECESSARIE PER OTTENERE UNA PROTEZIONE "FISIOLOGICA".

IL CANDIDATO PROGETTI UN DISPOSITIVO SINTETICO PER LA RICOSTRUZIONE DEL LCA (FIG. 3) CHE NON PREVEDA L'IMPIEGO DI GRAFT BIOLOGICI CON ADEGUATE CARATTERISTICHE MECCANICHE.



(A)



(B)

FIGURA 2 - (A) COMPORTAMENTO MECCANICO DEL GRAFT AUTOLOGO IN FUNZIONE DEL TEMPO; (B) CURVE CARICO/DEFORMAZIONE ESEGUITE A DIFFERENTI TEMPI DI ESPianto PER UN SOSTITUTO SINTETICO IN PET DI LUNGHEZZA INIZIALE PARI A 17 MM

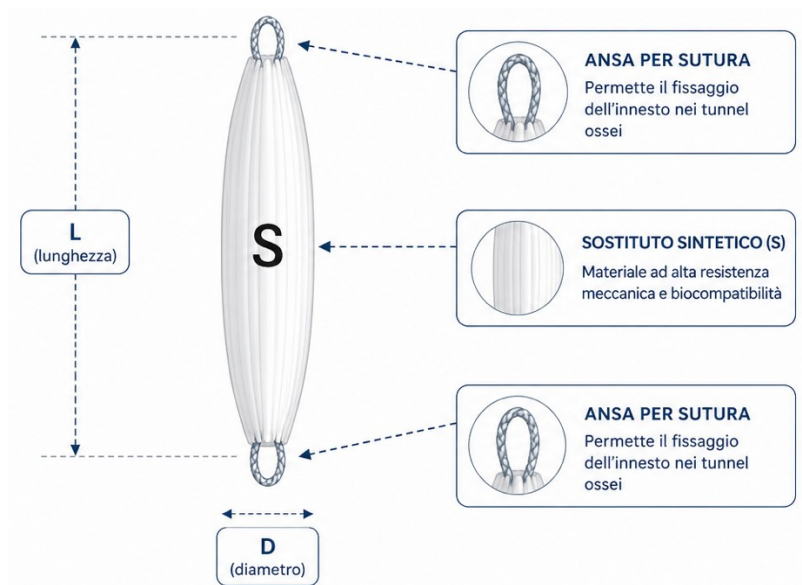


FIGURA 3 – POSSIBILI SOLUZIONE CHIRURGICHE PER LA RICOSTRUZIONE DI LCA.
S = SOSTITUTO SINTETICO

ALLEGATO 1

TABELLA 1 - CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL LCA NATURALE DI UN INDIVIDUO GIOVANE (20-30 ANNI)

FORZA A ROTTURA	$2160 \pm 157 \text{ N}$
ALLUNGAMENTO A ROTTURA	$26 \div 32 \%$
RIGIDEZZA (L = 30 MM)	$242 \pm 28 \text{ N/MM}$

TABELLA 2 – CARATTERISTICHE MECCANICHE DI UN GRAFT SINTETICO BIORIASSORBIBILE E DI UN GRAFT SINTETICO NON BIODEGRADABILE

	GRAFT SINTETICO BIORIASSORBIBILE	GRAFT SINTETICO NON BIODEGRADABILE
CARICO DI ROTTURA	1800 N	1730 N
ALLUNGAMENTO A ROTTURA	23 %	22 %
RIGIDEZZA (L = 30 MM)	300 N/MM	280 N/MM
STRESS A FATICA	100 %	91 %
CREEP	0.5 %	4.0 %

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

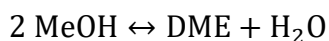
III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

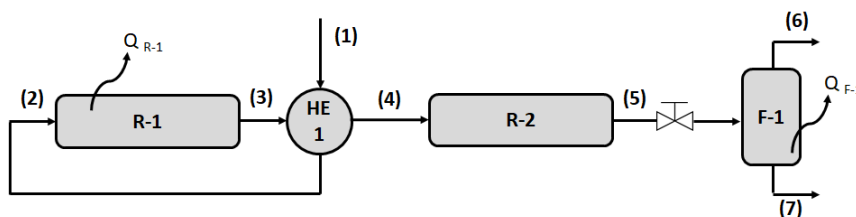
PROVA PRATICA

TEMA N. 4

Il dimetiletere (DME) viene prodotto mediante disidratazione catalitica del metanolo (MeOH) secondo la reazione:



Il layout di processo è riportato di seguito.



L'alimentazione fresca (1), disponibile a 410 K, è costituita da MeOH, H₂O e CH₄ (inerte), con frazioni molari rispettivamente pari a 0.950, 0.025 e 0.025. La corrente (1) viene preriscaldata nello scambiatore HE-1 prima di alimentare il primo reattore R-1. La corrente (3) uscente da R-1 attraversa il lato caldo di HE-1, cedendo calore all'alimentazione fresca, e viene quindi inviata al secondo reattore R-2. La corrente (5) uscente da R-2 viene laminata isoentalpicamente e inviata al flash refrigerato F-1.

Si assuma che:

- I reattori R-1 e R-2 operino a 5 bara, con perdite di carico trascurabili;
- Il reattore R-1 è dimensionato in modo da assicurare, nelle condizioni nominali, una conversione del MeOH pari al 60% ed è raffreddato in modo da mantenere la temperatura della corrente in uscita a 550 K;
- Il reattore R-2 opera adiabaticamente e all'uscita viene raggiunto l'equilibrio termodinamico;
- HE-1 sia adiabatico verso l'ambiente e caratterizzato da un'efficacia termica $\varepsilon = 0.70$;
- Il flash F-1 operi a 2 bara e alla temperatura di 320 K;

Il candidato, motivando opportunamente tutte le ipotesi fatte e reperendo ove necessario i dati mancanti sui manuali, valuti:

1. La composizione della corrente (3) e il calore da asportare da R-1 per mole di alimentazione fresca; verificare inoltre che la conversione assegnata sia compatibile con il limite di equilibrio alle condizioni di uscita;
2. Le temperature delle correnti (2) e (4); verificare inoltre la coerenza termica dello scambiatore;
3. Una stima della superficie di scambio termico di HE-1 in condizioni nominali, motivando la scelta del coefficiente globale di scambio e della configurazione fluidodinamica adottata;
4. La temperatura, la composizione e la conversione del MeOH nella corrente (5) all'uscita di R-2;
5. La conversione complessiva del MeOH nei due stadi e quantificare l'incremento di conversione ottenuto nel secondo reattore; commentare sinteticamente l'utilità del secondo stadio;
6. Lo stato fisico della corrente (5) prima della valvola di laminazione
7. La frazione vaporizzata e la composizione delle correnti (6) e (7)
8. Il rapporto di recupero del DME nella corrente vapore e il carico frigorifero di F-1 per mole di alimentazione fresca al flash;
9. La portata di alimentazione fresca richiesta, espressa in kmol/h e t/h, assumendo una capacità produttiva nominale di 100 000 t/anno di DME e 8 000 h/anno di funzionamento.

Dati

Dati termodinamici (stato di riferimento: gas ideale a 1 bara e 298 K)

Sintesi DME $K_{eq}^{DME}(T) = \exp\left(\frac{2766}{T} - 2.44\right) T \text{ in [K]}$

	$\Delta H_F(298K)$ [cal/mol]	$C_{p,i}^L$ [cal/mol/k]	$\Delta h_i^{vap}@T_{boil,n}$ [cal/mol]	$C_{p,i}^V$ [cal/mol/k]
CH₃OH	-48080	18.05	9436	13
(CH₃)₂O	-44000	25.6	5112	19.6
H₂O	-57800	19.09	8395	8.3
CH₄	-17890	-		10.3

I calori specifici molari possono essere considerati costanti nell'intero intervallo di temperatura dell'esercizio.

Le entalpie di vaporizzazione sono riferite alla temperatura normale di ebollizione (1 atm).

Equazione di Antoine:

	A	B	C	$\log_{10} p^0(T) = A - \frac{B}{C + T}$ $T [K] \quad - \quad p^0(T) [\text{bar}]$
CH₃OH	5.2041	1581.34	-33.5	
(CH₃)₂O	4.11475	894.669	-30.604	
H₂O	6.2096	2354.731	7.559	

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III Commissione - Settore Industriale

**SEZIONE A
PROVA PRATICA**

TEMA N. 5

Si deve rinnovare l'impianto elettrico di un complesso manifatturiero riutilizzando in parte alcuni componenti già esistenti.

L'impianto è così composto: la linea MT 20 kV di lunghezza 10 km alimenta una cabina MT/BT, dotata di due trasformatori trifase (T1, T2) operanti in parallelo; del trasformatore T1, già disponibile, sono noti i seguenti dati tecnici:

Trasformatore T1

tensioni nominali: 20 kV/400 V

potenza nominale: 600 kVA

collegamento e gruppo: Dy11

tensione di corto circuito percentuale: 4%

potenza assorbita nella prova a vuoto: 0.2%

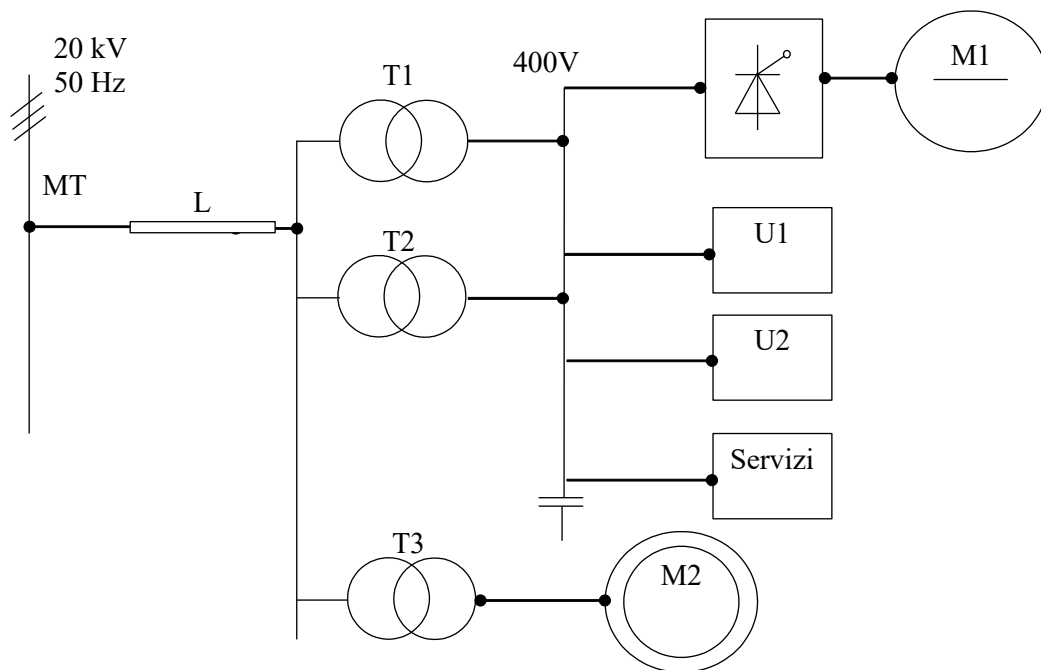
potenza assorbita nella prova in corto circuito: 8 kW

Il trasformatore T2 deve invece essere ordinato una volta definite le specifiche tecniche. Lo schema generale unifilare è mostrato nella figura.

Il complesso delle utenze trifase BT 400 V comprende:

- un convertitore AC/DC costituito da un ponte di Graetz trifase total controllato che alimenta un motore M1 in corrente continua di tensione nominale pari a 450 V e potenza nominale pari a 150 kW di un sistema di pompe/ventilazione preesistente, rendimento nominale 92%;
- un'utenza U1 che rappresenta un insieme di carichi variabili per i quali, tenendo conto di opportuni fattori di contemporaneità e utilizzazione, si può stimare il seguente assorbimento complessivo di potenza: $P1 = 200 \text{ kW}$, $Q1 = 100 \text{ kvar}$
- Un'utenza U2 che rappresenta un insieme di carichi costanti per i quali è noto con precisione l'assorbimento grazie a misure effettuate, in particolare la potenza assorbita è pari a $P2 = 300 \text{ kW}$, con fattore di potenza pari a 0.7 RIT
- Un'utenza di spazi comuni dedicata all'alimentazione di 15 locali adibiti a servizi vari (reception, ristorante, ecc.). Per ciascun locale si prevede di installare apparecchiature di illuminazione (rifasate localmente con fattore di potenza 0.95 RIT) per circa 400W e prese monofasi per circa 20 kVA (totali).

Alla linea MT 20 kV è inoltre collegato un trasformatore trifase T3 che alimenta un motore asincrono trifase M2 di potenza nominale pari a 50 kW e tensione nominale pari a 500 V.



Il candidato dovrà rispondere ai seguenti quesiti:

1. Determinare il circuito equivalente del trasformatore T1.
2. Determinare i dati principali del trasformatore T2
3. Effettuare la scelta del trasformatore T3 e stimarne i dati di targa
4. Determinare l'angolo di ritardo di accensione del ponte total controllato.
5. Dimensionare la batteria di condensatori di rifasamento definendone la potenza e il collegamento per riportare il valore del fattore di potenza a 0.92 RIT.
6. Dimensionare la linea MT (aerea o in cavo a scelta del candidato), definendo le caratteristiche dei conduttori, secondo il criterio adottato dal candidato.

Il candidato risponda inoltre a scelta ad uno dei seguenti quesiti:

1. Indicare come si potrebbe controllare la velocità del motore in corrente continua o del motore asincrono e presentare uno schema del sistema di alimentazione e controllo.
2. Tracciare lo schema dell'impianto, completo degli organi di misura, di protezione e di interruzione, e indicarne le principali caratteristiche.
3. Determinare gli elementi costruttivi di dimensionamento di uno dei trasformatori dell'impianto (potenza di dimensionamento, dimensioni principali, dati di avvolgimento)
4. Determinare il valor massimo della corrente sulla linea MT all'avviamento del motore M2 ipotizzando gli altri carichi disinseriti.

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

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 6

Un sistema frigorifero per alimenti si basa su un ciclo a semplice compressione di vapore, con compressore volumetrico di tipo alternativo a semplice effetto. I principali parametri di progetto del ciclo frigorifero sono:

- | | |
|--|----------|
| • Fluido frigorifero | R134a |
| • Potenza all'evaporatore | 18 kW |
| • Temperatura di evaporazione | -4 °C |
| • ΔT di surriscaldamento in ingresso all'evaporatore | 2 K |
| • ΔT di sotto-raffreddamento all'uscita del condensatore | 3 K |
| • Rendimento isentropico del compressore | 70 % |
| • Rendimento volumetrico del compressore | 90 % |
| • Rendimento elettro-meccanico del moto-compressore | 88 % |
| • Velocità di azionamento del compressore | 2970 rpm |

Il condensatore del sistema è costituito da uno scambiatore di calore compatto a tubi alettati, con i seguenti parametri di progettazione:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| • Velocità dell'aria (vel_{AIR}) | 3 m/s |
| • Caduta di pressione, lato aria | $0.208 \cdot vel_{AIR}^{1.87} \text{ mmH}_2\text{O}$ |

Considerando i dati aggiuntivi:

- | | |
|--|-------|
| • Rendimento del ventilatore ($\eta_{FAN} = \eta_{IS} \cdot \eta_{MEC} \cdot \eta_{EL}$) | 60 % |
| • Temperatura dell'aria ambiente ($T_{AIR,IN}$) | 21 °C |
| • Temperatura dell'aria all'uscita dal condensatore ($T_{AIR,OUT}$) | 27 °C |

è richiesto al candidato di:

- a) Disegnare lo schema dell'impianto e il corrispondente ciclo termodinamico sul diagramma p-h allegato, riportando i punti termodinamici rilevanti.
- b) Valutare le condizioni termodinamiche per ciascun punto del ciclo per una temperatura di condensazione di 30 °C.
- c) Calcolare la portata volumetrica all'ingresso del compressore.
- d) Calcolare la cilindrata del compressore.
- e) Valutare la potenza termica dissipata dal condensatore.
- f) Calcolare la potenza elettrica del compressore e del ventilatore.
- g) Calcolare il coefficiente di effetto utile del ciclo e dell'intero impianto.
- h) Cosa cambierebbe nel sistema frigorifero in caso di funzionamento fuori-progetto con temperatura di condensazione a 35 °C? Discutere e sviluppare calcoli a supporto delle considerazioni necessarie.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 7

Del succo d'arancia fresco, con 12% di contenuto solido, viene concentrato fino al 60% di contenuto solido usando un evaporatore a multiplo effetto. Per aumentare la qualità del prodotto finale il succo concentrato viene miscelato con succo fresco fino a raggiungere la concentrazione del 42% di contenuto solido.

- 1) Calcolare la portata di acqua da evaporare nell'evaporatore, la portata di succo fresco che deve essere aggiunta e la portata del prodotto finale nel caso in cui la portata in ingresso all'evaporatore sia pari a 10000 kg/h. (si assumano condizioni stazionarie)

Il liquido in uscita viene poi pompato dal serbatoio di miscelazione (A), dove la pressione assoluta è 12350 Pa, al serbatoio B, P assoluta pari a 101325 Pa, attraverso una tubatura sanitaria con diametro interno pari a 1.5 pollici con rugosità superficiale pari a $4.6 \cdot 10^{-5}$ m. La pompa si trova 1 m al di sotto del livello del liquido del serbatoio A ed il serbatoio di scarica B si trova 3.3 m al di sopra della pompa. Se la lunghezza del tubo di aspirazione (prima della pompa) è pari a 3 m e quello di scarica (dopo la pompa) 10 m e ci sono:

- 1 gomito a 90° ($K = 0.5$) nel tratto di aspirazione
- 2 gomiti a 90° ($K = 0.5$) nel tratto di scarica
- 1 valvola a globo ($K = 4$) nel tratto di scarica.

Si trovi il valore della potenza richiesta alla pompa, conoscendo l'efficienza pari al 65%, nei seguenti casi:

- 2) Fluido newtoniano ideale e reale (viscosità 0.003 mPa s e densità 1033 kg/m³)
- 3) Fluido non newtoniano ideale e reale ($m=0.35 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{0.53}$, $n=0.53$)
- 4) Si commentino i risultati ottenuti e si giudichi quale delle due approssimazioni è la più veritiera.

Il liquido viene poi alimentato all'interno di un CSTR dove viene trasformato in un generico prodotto B con reazione ($A \rightarrow B$).

- 5) Calcolare la temperatura di esercizio nel caso di reattore adiabatico.
- 6) Calcolare inoltre la temperatura di esercizio nel caso in cui il reattore sia circondato da una camicia raffreddante a 280 K. L'area di scambio termico è pari a 0.2 m² e il coefficiente medio di scambio termico U 500 W/(m² K).

Gli altri dati sono: concentrazione di ingresso $CA_0 = 10 \text{ mol/L}$, conversione di A = 80%, temperatura alimentazione = 300 K, calore di reazione $\Delta H_R = -100 \text{ kJ/(mol A)}$, C_p medio = 4.2 kJ/(L K).

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:

INGEGNERE INDUSTRIALE

I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026

SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 8

Nel mese di agosto 2026, la Dott.ssa Silvestri, direttore amministrazione, finanza e controllo della ALVEA Packaging S.p.A., arriva nella sede di Mantova qualche minuto prima delle otto. Sul tavolo della sala riunioni trova ancora il prototipo che il responsabile commerciale aveva lasciato lì la sera precedente: una cassa pieghevole grigio antracite con una maniglia verde acceso e un foglietto con la scritta «colore ancora da decidere».

Da quasi una settimana Marketing e Produzione discutono proprio del colore della maniglia. La Dott.ssa Silvestri ritiene la questione piuttosto marginale, soprattutto perché il consiglio di amministrazione, convocato per la settimana successiva, dovrà decidere qualcosa di ben più rilevante: entrare o meno nel mercato degli imballaggi industriali riutilizzabili.

ALVEA produce attualmente due famiglie di imballaggi protettivi destinati soprattutto ai produttori di componentistica meccanica e ricambi industriali. Tali prodotti hanno garantito per anni una buona redditività all'azienda, ma le previsioni commerciali mostrano un progressivo ridimensionamento del mercato.

L'entrata in applicazione, nell'agosto 2026, della nuova disciplina europea in materia di imballaggi ha inoltre aumentato l'interesse di alcuni clienti verso soluzioni riutilizzabili. La direzione commerciale ritiene che questo cambiamento possa creare uno spazio per un nuovo prodotto, pur non considerando la nuova normativa come garanzia del successo commerciale dell'iniziativa.

Le previsioni relative alla gestione attuale di ALVEA sono le seguenti:

	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Ricavi attesi dai prodotti	€5.800.000	€5.100.000	€4.200.000	€3.500.000	€2.800.000	€2.200.000

	2026	2027	2028	2029	2030	2031
attualmente a portafoglio						
Flussi di cassa operativi	€.600.000	€240.000	€20.000	€70.000	€-88.000	€44.000
Reddito imponibile atteso	€120.000	€60.000	-€70.000	-€160.000	-€100.000	€40.000

Il progressivo calo atteso dei volumi di vendita dei due prodotti determinerà una crescente sotto-saturazione della manodopera del reparto assemblaggio. Gli addetti in questo reparto sono assunti a tempo indeterminato, con un costo orario medio di 24 €/h. In virtù di accordi sindacali sottoscritti, ALVEA non può prevedere riduzioni dell'organico almeno fino alla fine del 2031.

In particolare, le ore di manodopera che rimarranno inutilizzate sono stimate come segue:

	2027	2028	2029	2030	2031
Ore di manodopera inutilizzate	520 h	680 h	760 h	820 h	900 h

Nel mese di aprile 2026 ALVEA aveva incaricato una società specializzata di effettuare un'analisi commerciale sui possibili impieghi degli imballaggi riutilizzabili. L'analisi, ormai completata, è costata €95.000. Di tale importo, €30.000 devono ancora essere pagati nell'ottobre 2026, indipendentemente dalla decisione relativa al lancio del nuovo prodotto.

Il progetto allo studio in ambito imballaggi riutilizzabili riguarda un nuovo contenitore industriale pieghevole e riutilizzabile denominato CIRCULABOX, destinato principalmente alla movimentazione di ricambi e piccoli componenti tra produttori, centri logistici ed officine.

La produzione del nuovo contenitore potrebbe iniziare il 1° gennaio 2027. Le stime di vendita elaborate dalla società di consulenza sono le seguenti (u=unità di prodotto):

	2027	2028	2029	2030	2031
Volumi di vendita previsti di CIRCULABOX	420 u	500 u	470 u	360 u	250 u

Le vendite sono uniformemente distribuite durante ciascun anno e le condizioni di pagamento¹ previste per CIRCULABOX sono le seguenti:

Anno	Giorni medi di incasso
2027	60 giorni
2028	45 giorni

¹ Si assume un anno commerciale di 360 giorni.

Anno	Giorni medi di incasso
2029	30 giorni
2030	15 giorni
2031	pronta cassa

Dopo il 2031 si ritiene che il progetto debba essere completamente ripensato, pertanto non si considerano ulteriori vendite.

Ogni unità di CIRCULABOX richiede 1,6 ore di lavoro nel reparto assemblaggio. La direzione generale ha stabilito che il nuovo progetto potrebbe utilizzare esclusivamente la capacità di manodopera che risulterebbe altrimenti inutilizzata. Non sono ammessi straordinari né nuove assunzioni e non si vuole modificare il programma produttivo dei prodotti già in portafoglio.

Per ogni unità di CIRCULABOX prodotta, l'azienda sosterrrebbe i seguenti costi:

- €360 di materiali diretti;
- un consumo di energia pari a 95 kWh, con un costo dell'energia di €0,42/kWh;
- €260 per una lavorazione finale di chiusura, marcatura e controllo effettuata da un fornitore esterno.

Il contratto per la fornitura di energia elettrica di ALVEA prevede inoltre un canone fisso annuo pari a €60.000 per la potenza impegnata, che rimarrebbe invariata in caso di avvio del nuovo progetto.

CIRCULABOX potrebbe essere venduto ad un prezzo pari a €1.480 per unità. Per incentivare la rete commerciale, sulle sole vendite di CIRCULABOX verrebbe riconosciuta una provvigione pari al 7% del fatturato del nuovo prodotto. Le provvigioni e gli accordi commerciali relativi ai prodotti tradizionali non subirebbero variazioni.

Per poter produrre CIRCULABOX, sarebbe necessario acquistare, entro la fine di novembre 2026, stampi dedicati, alcune attrezzature di collaudo e uno specifico software di controllo. L'investimento complessivo sarebbe pari a €740.000, pagati interamente nel 2026. Il progetto verrebbe finanziato mantenendo la seguente struttura finanziaria: 45% capitale proprio, 55% capitale di debito. Ai fini fiscali, l'investimento sarebbe ammortizzato a quote costanti in 4 anni, a partire dal 2027.

Alla fine del 2031, gli asset acquistati per l'avvio del progetto potrebbero essere ceduti ad un operatore di mercato, ad un valore di €40.000.

Il progetto d'investimento richiederebbe inoltre alcuni esborsi, pagati secondo competenza economica:

- un corso di formazione del personale, da effettuarsi nel 2026 ed avente un costo di €55.000;
- una prima certificazione tecnica del prodotto nel 2026 del costo di €25.000;
- una ricertificazione annuale del prodotto, dal 2027 al 2031 del costo di €18.000 all'anno.

Sapendo infine che:

- ALVEA non prevede di mantenere scorte aggiuntive di materie prime o prodotti finiti per CIRCULABOX.
- I debiti commerciali incrementali sono considerati trascurabili.
- L'aliquota fiscale per l'azienda è pari al 30%. Si consideri che un eventuale reddito imponibile complessivo negativo non generi un credito fiscale di cui l'azienda può beneficiare.
- Il costo opportunità del capitale proprio, al netto delle imposte, è pari all'11,5%.
- Il costo del capitale di debito, al lordo delle imposte, è pari al 6,4%.
- L'azienda sostiene costi annui di Ricerca & Sviluppo pari a €46.000

QUESITO 1

Il candidato aiuti il management di ALVEA Packaging S.p.A. a valutare la convenienza economica del lancio di CIRCULABOX secondo la logica del capitale investito al netto delle imposte, determinando il Net Present Value del Progetto.

QUESITO 2

Il candidato discuta qualitativamente la valutazione dell'investimento nel caso in cui si ragionasse secondo la logica del capitale proprio al netto delle imposte.

QUESITO 3

Il candidato individui gli elementi di rischio principali che potrebbero inficiare il progetto di investimento e discuta come potrebbero essere gestiti.

Il candidato, qualora lo ritenesse opportuno, formuli le ipotesi aggiuntive che ritiene più ragionevoli per lo svolgimento della prova.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 9

La deformazione a caldo di una lega di magnesio può essere descritta con le seguenti equazioni costitutive:

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon} &= 62 b D_{bg} / d^3 \chi_{Eb^3/kT} \chi_{\sigma/E} && \text{scorrimento per diffusione} \\ \dot{\varepsilon} &= 8,4 \cdot 10^8 (D_r / d^2 \chi_{\sigma/E})^2 && \text{scorrimento a bordo grano} \\ \dot{\varepsilon} &= 6,7 \cdot 10^7 (b D_{bg} / d^3 \chi_{\sigma/E})^2 && \text{scorrimento a bordo grano}\end{aligned}$$

dove $\dot{\varepsilon}$ è la velocità di deformazione (s^{-1}), b è il modulo del vettore di Burgers ($3,21 \cdot 10^{-10}$ m), D_{bg} e D_r sono il coefficiente di diffusione a bordo grano e reticolare, rispettivamente, d è la dimensione media del grano, E è il modulo di Young, σ è lo sforzo monoassiale, T è la temperatura assoluta e k è la costante di Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K).

Per i coefficienti di diffusione, si dispone dei seguenti dati:

620 K	$D_r = 4,8 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$	$D_{bg} = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$
673 K	$D_r = 3,8 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$	$D_{bg} = 6,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$

1. Si valuti la velocità di deformazione in due casi, uno di sforzo pari a 20 MPa e dimensione di grano di 30 μm e l'altro di sforzo di 1 MPa e grano di 10 μm ; la temperatura è 653 K in entrambi i casi. Si assuma $E = 35$ GPa.
2. Si spieghi quali effetti può produrre sulla deformazione del materiale una variazione di temperatura, a parità di σ/E .
3. Si illustrino interventi utili a mantenere costante la dimensione di grano durante la deformazione.
4. La deformazione reale a rottura della lega aumenta con la temperatura, passando da 0,2 (25 °C) a 1,6 (400 °C). Si proponga una spiegazione di questo comportamento, evidenziando i vantaggi che ne possono derivare nella produzione di manufatti industriali.
5. Si descrivano brevemente i fenomeni che governano i meccanismi di deformazione di cui sono riportate le equazioni costitutive.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 10

Si vuole progettare il montacarichi a scala da cantiere mostrato in figura. Il caricatore deve sollevare una massa di 250 kg ad un'altezza massima di circa 19 m, ad una velocità nominale di 30 m/min. La piattaforma di carico ha dimensioni 1200 x 800 mm chiusa, 1200 x 2000 mm aperta. La lunghezza totale del montacarichi è di 20 metri, l'angolo di appoggio è di 20° rispetto alla verticale. Si chiede:

- Schematizzare il sistema evidenziando i sottocomponenti e la loro funzione
- dimensionare il motore elettrico e il riduttore del verricello considerando una velocità nominale di 3000 rpm e un diametro del tamburo su cui si avvolge il cavo di 100 mm.
- disegnare i diagrammi delle azioni interne considerando il carico in una posizione generica
- dimensionare i bracci della scala (calcolare la larghezza della sezione) ipotizzando di utilizzare dei profilati di alluminio di sezione a C di altezza pari a 125 mm e spessore di 5 mm con sforzo massimo ammissibile pari a 150 Mpa e una freccia massima pari a 1/200 della lunghezza. Si posizioni il carico nella posizione più critica in funzione dalla condizione di dimensionamento considerata
- calcolare la prima frequenza propria del sistema legata alla flessione della scala posizionando il carico a metà dell'altezza

Ipotizzare, motivando la scelta, tutti i dati non noti.



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 -17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 11

Un operatore di servizi di mobilità pubblica intende attivare un servizio di servizio di bike sharing a postazioni fisse (station-based) a supporto dell'accessibilità di una stazione ferroviaria (S) utilizzata prevalentemente dai residenti di quattro municipalità adiacenti (M1, M2, M3, M4). Le biciclette possono essere prelevate presso una postazione e riconsegnate presso un'altra postazione del sistema. Il gestore prevede la realizzazione di un massimo di tre postazioni, di cui una principale in corrispondenza della stazione ferroviaria, e l'impiego di una flotta di circa 100 biciclette al massimo. L'obiettivo è individuare la configurazione del servizio che garantisca un utilizzo efficiente delle risorse disponibili e, al contempo, un adeguato ritorno economico.

Il candidato, sulla base dei dati forniti e introducendo eventuali ulteriori assunzioni opportunamente motivate, proceda alla progettazione e al dimensionamento del servizio. Nello specifico, dopo aver preliminarmente proceduto alla stima della domanda potenziale, il candidato:

1. individui almeno due configurazioni progettuali alternative, definendo le municipalità presso le quali verranno attivate le postazioni e il numero di biciclette, nel rispetto dei vincoli assegnati;
2. valuti e confronti le configurazioni progettuali individuate mediante un'analisi costi-ricavi, identificando la soluzione preferibile.

DATI E RELAZIONI UTILI

Municipalità	Utenti ferroviari/giorno	Distanza dalla stazione [km]	Tempo modalità attuale TA [min]	Costo modalità attuale CA [€]
M1	420	2,4	8	1,50
M2	360	3,2	12	1,80
M3	300	4,1	18	2,20
M4	220	5,3	16	2,60

Si assuma che la scelta della modalità di accesso alla stazione avvenga tra la modalità attualmente utilizzata (A) e il bike sharing (BS).

La probabilità di diversione modale verso il bike sharing per gli utenti della singola municipalità sia stimata mediante un modello Logit binomiale ($\theta=1$), le cui funzioni di utilità sistematica sono definite come segue (con T e C rispettivamente espressi in minuti ed euro):

$$V_A = 0.5 - 0.12 \cdot T_A - 0.32 \cdot C_A$$

$$V_{BS} = -0.12 \cdot T_{BS} - 0.32 \cdot C_{BS}$$

Si stimi il tempo complessivo associato all'utilizzo del bike sharing come somma del tempo di accesso alla postazione e prelievo della bicicletta (4 minuti), del tempo di percorrenza tra la municipalità e la stazione ferroviaria, calcolato sulla base della distanza e assumendo una velocità media di 15 km/h, e del tempo necessario per la riconsegna della bicicletta (1 minuto).

Si consideri la tariffa applicata dal gestore per ciascun noleggio come costituita da una componente fissa pari a 1,00 € e da una componente variabile pari a 0,30 € per ogni chilometro percorso.

Ai fini della valutazione economica si assumano i seguenti costi: 8.000 €/anno per ciascuna postazione attivata, 500 €/anno per ciascuna bicicletta e 0,10 €/bicicletta-km come costo operativo variabile. Si consideri, inoltre, un costo fisso di gestione del sistema pari a 20.000 €/anno.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

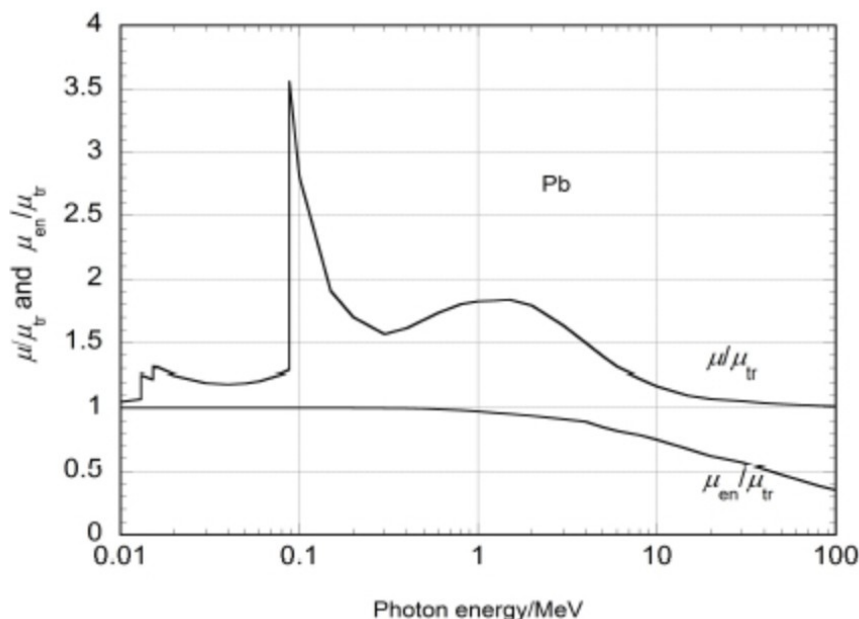
SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 12

Il candidato risolva i seguenti problemi:

- 1) Il decadimento α di un nucleo con numero di massa 200 presenta due componenti con energie di 4,687 MeV e 4,650 MeV. Nessuno dei due decadimenti porta al livello fondamentale del nucleo figlio; entrambi sono accompagnati dall'emissione di radiazione γ , con energie rispettive di 266 e 305 keV. Non si osservano altre energie γ . Sulla base di queste informazioni, costruire lo schema di decadimento.
- 2) Esistono tre coefficienti di 'assorbimento' definiti per i fotoni: il coefficiente di attenuazione massico (μ/ρ), il coefficiente di trasferimento massico di energia di massa (μ_{tr}/ρ) e il coefficiente di assorbimento massico di energia (μ_{en}/ρ). I rapporti $(\mu/\rho)/(\mu_{tr}/\rho)$ e $(\mu_{en}/\rho)/(\mu_{tr}/\rho)$ per il piombo sono riportati nel grafico della figura. Si spieghi la variazione di tali rapporti in funzione dell'energia.



- 3) Un rivelatore di gas cilindrico è costituito da un anodo centrale con raggio di $25\text{ }\mu\text{m}$ e da un catodo con raggio di 25 mm . La tensione applicata al tubo è di 1000 V . A quale distanza dal centro un elettrone acquisirà energia sufficiente — percorrendo un cammino libero medio di $1,0\text{ mm}$ — per ionizzare l'elio, la cui energia di ionizzazione è pari a 23 eV ?
- 4) Nelle misure di radioprotezione, si utilizzano spesso camere di ionizzazione riempite di gas ad alta pressione per aumentarne la sensibilità. Una camera di ionizzazione presenta pareti in alluminio ed è riempita di argon a una pressione di 800 kPa e a una temperatura di 293 K . Il volume della camera è di $50,0\text{ cm}^3$. La parete della camera ha uno spessore sufficiente a garantire l'equilibrio delle particelle cariche, ma abbastanza ridotto da rendere trascurabile l'attenuazione dei fotoni. La camera deve essere utilizzata per rilevare un rateo di kerma in aria di $1,0\text{ mGy h}^{-1}$. Si calcoli la corrente di ionizzazione corrispondente a tale rateo di kerma. L'energia media dei fotoni è pari a $1,0\text{ MeV}$. $(W/e)\text{ Ar} = 28,70\text{ J C}^{-1}$ (o eV/coppia).
- 5) viene chiesto di calibrare l'attività di una sorgente di raggi gamma di Cs-137 confrontandola con una sorgente di riferimento standard di Cs-137 avente approssimativamente la stessa attività. La sorgente standard ha un'attività dichiarata di $3,50 \pm 0,05\text{ kBq}$ ($\pm$ una deviazione standard) e ciascuna sorgente, presa singolarmente, produce un tasso di conteggio di circa 1000 eventi al secondo nel contatore disponibile. Il tasso di conteggio del fondo è trascurabile. Ipotizzando che ciascuna sorgente venga conteggiata separatamente per intervalli di tempo uguali, quanto tempo totale sarà necessario per determinare l'attività incognita con una deviazione standard attesa pari al 2%?

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
 I SESSIONE 2026 - 17 SETTEMBRE 2026
 SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

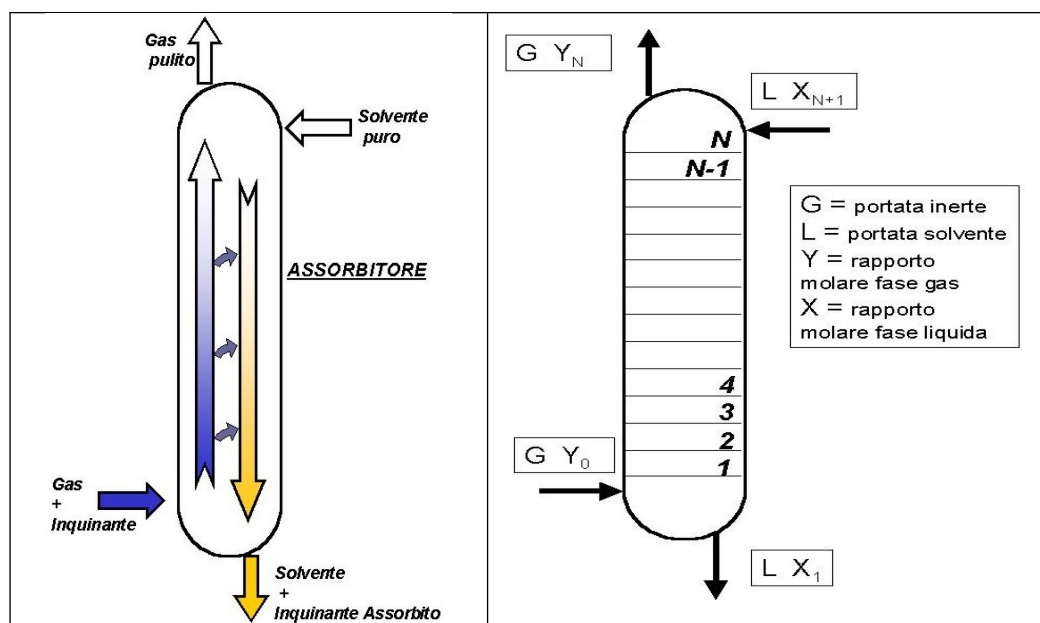
SEZIONE A
 PROVA PRATICA
TEMA N. 13

Durante l'installazione di una bombola contenente ammoniaca al 10% in azoto (% vol.), un assistente di laboratorio rimuove il cappellotto di sicurezza dalla bombola e comincia a fissare il regolatore di pressione prima di aver bloccato correttamente la bombola; la bombola scivola e cade sul pavimento. Nella caduta, la valvola posta sulla bombola urta violentemente contro un gradino e si spezza, esponendo un'apertura di 8 mm di diametro.

La miscela gassosa, che era stoccata a temperatura ambiente (25°C) e 200 bar in una bombola da 10 litri di capienza, viene rilasciata dall'apertura. Assumendo un coefficiente di scarico $C_D=0,61$ e ipotizzando che i gas contenuti nella bombola si comportino come gas ideale, valutare:

- la portata iniziale scaricata attraverso il foro;
- la velocità di scarico del gas attraverso il foro.

Un rilevatore di gas presente nel locale attiva una ventilazione di emergenza (7,5 ricambi/ora) al raggiungimento di una soglia di concentrazione di ammoniaca aerodispersa pari a 500 ppm; il sistema si arresta invece una volta raggiunta una concentrazione di ammoniaca inferiore al 50% del TLV-TWA. Calcolare la concentrazione massima di ammoniaca raggiunta nel locale ed il tempo necessario per riportare il locale al di sotto di una concentrazione media di ammoniaca pari al 50% del TLV-TWA.



$$\gamma_{\text{MIX}} = 1,4$$

$$PM_{\text{MIX}} = 26,9 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{TLV-TWA}_{\text{NH}_3} = 25 \text{ ppm}$$

$$\frac{P_{CH}}{P_0} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

$$\dot{m}_{CH} = A \cdot C_D \cdot P_0 \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot PM}{R \cdot T_0} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}}$$

$$\dot{m} = A \cdot C_D \cdot P_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot PM}{R \cdot T_0} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma}} \right]}$$

$$V_{LOCALE} = 200 \text{ m}^3$$

La corrente gassosa con portata precedentemente calcolata (m3/min) proveniente dal locale, con concentrazione di NH3 calcolata (% in volume di ammoniaca), viene inviata ad un assorbitore. La corrente in uscita dal locale è a 25°C ed 1 atm.

Facendo uso delle seguenti specifiche e della tabella allegata calcolare la portata di liquido di assorbimento necessaria a garantire una rimozione del 95% del contenuto di ammoniaca.

- Temperatura media nell'assorbitore = 30°C;
- Pressione nell'assorbitore = 1 atm;
- Liquido di assorbimento = acqua;
- Quantità di acqua: 50% superiore a quella minima necessaria.

Pressione Parziale di NH₃ (mm Hg)	Solubilità (1 atm, 30°C) (g NH ₃ /100 g H ₂ O)
719	40
454	30
352	25
260	20
179	15
110	10
79,7	7,5
51,0	5
40,1	4
29,6	3
19,3	2

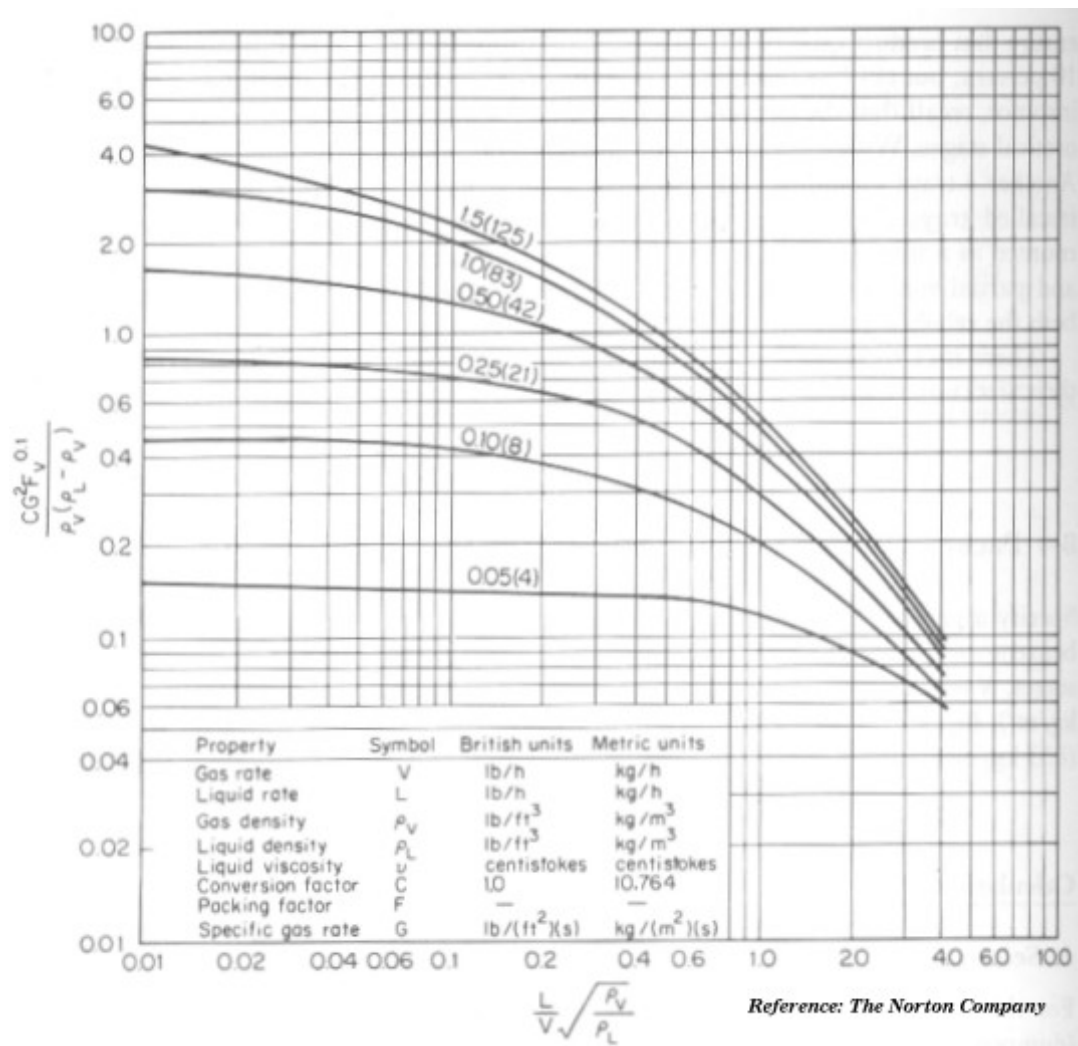
Impiegando i risultati precedenti e facendo uso dei dati di seguito allegati, completare il dimensionamento della colonna di lavaggio a corpi di riempimento, definendo il diametro e l'altezza del riempimento.

Corpo di riempimento: anelli in plastica, da 50,8 mm

$k_{ya} = 60 \cdot 10^{-3} \text{ kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$

$\mu = 0.8 \text{ cP}$

perdita di carico per colonne di lavaggio: $16 \div 48 \text{ mmH}_2\text{O}/\text{m}$ di riempimento



Packing Factor, F, for Random Packing

Nominal size (in.)

Packing type	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
Raschig rings - Ceramic	1600	1000	580	380	255	155	125	95	65
Raschig rings - Metal, 1/32 in wall	700	390	300	170	155	115			
Raschig rings - Metal, 1/16 in wall			410	290	220	137	110	82	57
Pall rings - Plastic				97		52		40	25
Pall rings - Metal				70		48		28	20
Intalox saddles	725	330	200		145	98		52	40
Berl saddles	900		240		170	110		65	45
Tellerettes - Plastic, 2 x 2 in								F = 57 (high density) F = 65 (low density)	

Metric units for F: kg/(m² s). Blank cells indicate values not reported in the source table.
Source note in original image: ceramic material; A. J. Teller and H. E. Ford, Ind. Eng. Chem. 50 (1958) 1201.

R134a Ref: D.P. Wilson & R.S. Basu, ASHRAE Transactions 1988, Vol. 94 part 2.

DTU, Department of Energy Engineering
s in [kJ/(kg K)], v in [m³/kg], T in [°C]
M.J. Skovrup & H.J.H. Knudsen. 08-04-16

