

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 25 luglio 2025**

Settore Civile-Ambientale

I Prova scritta

Il candidato scelga tra i seguenti temi:

TEMA 1

Con riferimento alle emissioni in atmosfera derivanti da impianti industriali, il candidato illustri i principali macroinquinanti atmosferici di interesse, descrivendone le caratteristiche, il comportamento ambientale e la pericolosità per la salute umana e per l'ambiente.

Nello svolgimento, il candidato dovrà discutere i meccanismi di trasporto e di trasformazione che interessano le diverse classi di inquinanti atmosferici, considerando sia quelli in fase gassosa che quelli presenti sotto forma di particolato. È inoltre richiesto di descrivere, a livello generale, le principali tipologie di modelli utilizzabili per valutare la dispersione degli inquinanti in atmosfera. Infine, il candidato dovrà illustrare come tali aspetti vengano considerati e integrati nelle procedure di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), richiamando in termini generali la normativa di riferimento e specificando la finalità e i contenuti minimi di uno studio di impatto ambientale (SIA).

TEMA 2

Il candidato descriva le problematiche relative alla progettazione e alla verifica strutturale di edifici per civile abitazione in cemento armato, con particolare riferimento alla distinzione tra edifici esistenti e di nuova realizzazione e ai diversi metodi di analisi strutturale utilizzabili.

TEMA 3

Transizione ecologica e professione dell'ingegnere: responsabilità, competenze e scelte progettuali per un'edilizia sostenibile.

La crescente attenzione alla salvaguardia dell'ambiente, al consumo responsabile delle risorse naturali e del suolo e alla qualità della vita nelle città impone di orientare le pratiche progettuali e costruttive verso interventi edilizi a basso impatto ambientale.

Il candidato consideri il ruolo che l'ingegnere può ricoprire in questo nuovo scenario e il contributo concreto che può dare all'individuazione di soluzioni in linea con gli obiettivi generali di sostenibilità ambientale e sociale.

Il candidato può soffermarsi, in particolare, sulle competenze tecnico-scientifiche e digitali utili ad affrontare la complessità della progettazione sostenibile - progettazione integrata, analisi del ciclo di vita (LCA), uso di modelli digitali (BIM) e di altri strumenti innovativi ecc. - e sulle strategie progettuali e costruttive volte a limitare le emissioni climalteranti, a ridurre il consumo di materie prime, a garantire la durabilità dei manufatti e l'efficienza energetica e a favorire l'economia circolare in edilizia.

Il candidato può fare riferimento a esperienze progettuali, casi studio, esempi di buone pratiche di cui è a conoscenza.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 25 luglio 2025**

Settore Industriale

I Prova scritta

Il candidato svolga uno dei seguenti temi:

TEMA 1

Dopo aver richiamato brevemente la definizione di trasformata di Laplace con le sue principali proprietà, il candidato spieghi per quali motivi riveste particolare interesse nello studio dei sistemi dinamici lineari.

TEMA 2

Il candidato analizzi le principali soluzioni impiantistiche orientate alla decarbonizzazione e al miglioramento delle prestazioni energetiche nel settore industriale, con particolare riferimento a sistemi di cogenerazione e trigenerazione (energia elettrica, termica e frigorifera), illustrandone il funzionamento, le configurazioni possibili e i benefici energetici ed ambientali.

Nell'ambito di tali sistemi integrati di produzione, il candidato discuta le principali fonti di emissione di inquinanti e le relative strategie di contenimento e controllo, soffermandosi in particolare sugli impianti motori termici (turbine a gas, turbine a vapore, motori alternativi a combustione interna), sia in assetto tradizionale sia in assetto combinato/poli-generativo per la produzione di lavoro elettrico e calore.

Infine, si richiede una riflessione critica sui benefici ambientali e sull'impatto complessivo di tali soluzioni rispetto a impianti convenzionali a ciclo semplice, in relazione agli obiettivi di sostenibilità e transizione ecologica.

TEMA 3

Descrivere le principali scelte progettuali da adottare per la trasmissione di potenza tra due alberi rotanti ad assi paralleli. Si giustificino le diverse scelte operative in funzione dei parametri di lavoro quali velocità di rotazione degli alberi, potenze da trasmettere e coppia. Discutere i criteri di dimensionamento e le principali problematiche connesse per ciascuna scelta progettuale.

TEMA 4

Il candidato illustri lo stato dell'arte delle possibili soluzioni impiantistiche relative alla "produzione del freddo", con particolare riferimento ai refrigeranti scelti, all'efficienza energetica e all'impatto ambientale dei sistemi descritti.

TEMA 5

Descrivere le potenzialità della figura dell'Ingegnere Medico magistrale in un contesto di lavoro multidisciplinare anche in riferimento alle nuove sfide dell'intelligenza artificiale. Descrivere almeno uno scenario reale.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 25 luglio 2025**

Settore dell'Informazione

I Prova scritta

Il candidato svolga uno dei seguenti temi:

TEMA 1

Dopo aver richiamato brevemente la definizione di trasformata di Laplace con le sue principali proprietà, il candidato spieghi per quali motivi riveste particolare interesse nello studio dei sistemi dinamici lineari.

TEMA 2

Descrivere le potenzialità della figura dell'Ingegnere Medico magistrale in un contesto di lavoro multidisciplinare anche in riferimento alle nuove sfide dell'intelligenza artificiale. Descrivere almeno uno scenario reale.

Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di

Ingegnere Magistrale

I Sessione – 2025

Settore Civile e Ambientale

II Prova scritta – Ing. per l'Ambiente e il Territorio

Con riferimento ad un progetto definitivo di un impianto di Termovalorizzazione il candidato illustri in via generale i contenuti della documentazione prevista dalla vigente normativa quale facente parte del progetto stesso da allegare alla domanda di autorizzazione ed in particolare dettagli il contenuto della relazione tecnica. Si specifichi anche l'iter amministrativo da attivare (tipo di autorizzazione).

Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di

Ingegnere Magistrale

I Sessione – 2025

Settore Civile e Ambientale

II Prova scritta – Ing. Civile

Il candidato imposti il progetto strutturale di un capannone monopiano in acciaio, destinato ad uso industriale.

Descriva le principali scelte progettuali (schema statico, tipologia strutturale, vincoli, materiali), definisca le azioni agenti (carichi permanenti, variabili, vento, neve ed eventualmente sisma), e sviluppi le combinazioni di carico e le verifiche di resistenza e stabilità per almeno un elemento strutturale (trave di copertura, colonna o controvento).

Si faccia riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti e alla relativa Circolare esplicativa.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025**

Settore Civile e Ambientale

II Prova scritta – Ing. e Tecniche del Costruire/Ing. Edile-Architettura

Criteri generali per la progettazione di un edificio per uffici

Il candidato, attraverso la redazione di una serie di appunti corredati da schemi grafici esemplificativi, esponga i criteri generali da seguire nella progettazione di un edificio a uso ufficio.

Il candidato consideri un edificio che ospiti indicativamente un centinaio di addetti e tocchi i seguenti aspetti, per ciascuno dei quali, a scopo di orientamento, si suggeriscono alcuni punti che potrà sviluppare a sua discrezione:

- aspetti funzionali e distributivi

(organizzazione degli spazi: uffici singoli e open space, sale riunioni, servizi igienici, locali tecnici, archivio, spazi per il pubblico ecc.; percorsi e accessibilità; modularità e criteri di flessibilità; inserimento urbanistico; orientamento ed esposizione solare; comfort ambientale);

- aspetti strutturali e statici

(sistemi strutturali utilizzabili e prestazioni richieste dal tipo edilizio; criteri di disposizione delle strutture portanti);

- aspetti costruttivi

(soluzioni per pareti perimetrali e divisorie, pavimenti e controsoffitti; sostenibilità ambientale ed efficienza energetica);

- aspetti impiantistici

(distribuzione degli impianti principali: idrico-sanitario, elettrico, illuminazione, condizionamento, rete di dati e comunicazioni, antincendio; efficienza, manutenzione e integrazione con gli altri elementi edilizi);

- aspetti nell'ambito della sicurezza

(prevenzioni incendi, percorsi di esodo e uscite di emergenza, barriere architettoniche).

Si precisa che al candidato non è richiesto di disegnare un edificio di forma specifica, ma di esporre gli elementi conoscitivi fondamentali che dovrebbe tenere presenti prima di procedere alla progettazione vera e propria.

Il candidato, perciò, nello svolgere il tema, privilegerà l'uso di schizzi, di disegni schematici (in pianta, in sezione ecc.), di tabelle, di diagrammi funzionali ecc. a supporto delle descrizioni, che, in ogni caso, consisteranno in testi brevi, quasi degli appunti personali.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025**

Settore Industriale

II Prova scritta – Ing. dell'Automazione

Il candidato descriva come le specifiche di stabilità e sulla risposta transitoria di un sistema lineare vengono riportate nel dominio della frequenza, sia in termini di risposta in frequenza sia in termini di collocazione dei poli del sistema nel piano complesso. Successivamente illustri brevemente i principali passi progettuali di una qualsiasi tecnica a sua scelta che può essere utilizzata in tale dominio per la sintesi di un sistema di controllo.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025**

Settore Industriale

II Prova scritta – Ing. Energetica

Il candidato descriva il funzionamento di un sistema a compressione di vapore per applicazioni di raffrescamento, illustrandone la configurazione mediante schema impiantistico e diagramma termodinamico sul piano pressione-entalpia (p-h) o temperatura-entalpia (T-h).

Successivamente, il candidato analizzi l'impatto che le temperature all'evaporatore e al condensatore esercitano sulle prestazioni del ciclo, discutendo il comportamento qualitativo del sistema al variare della temperatura di evaporazione e condensazione. Si richiede di giustificare l'effetto di questi parametri sul lavoro specifico del compressore e sulla potenza assorbita.

Il candidato definisca e discuta i principali indici prestazionali impiegati per l'analisi dei sistemi frigoriferi e delle pompe di calore, con particolare riferimento al COP (Coefficient of Performance), al consumo specifico di energia elettrica, al fattore di carico stagionale (SCOP/SEER) e, dove opportuno, al GWP del fluido refrigerante.

A completamento della prova, si chiede una riflessione tecnica sulle implicazioni progettuali e operative derivanti dalla scelta delle temperature operative e del refrigerante, anche in relazione ai vincoli ambientali e normativi attuali.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025**

Settore Industriale

II Prova scritta – Ing. Meccanica – Fisica Tecnica Industriale

In relazione ad un particolare impianto di produzione di energia elettrica che ne preveda l'utilizzo, il candidato rediga una relazione tecnica sui criteri di scelta, progettazione e dimensionamento di un opportuno scambiatore di calore.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025**

Settore Industriale

II Prova scritta – Ing. Meccanica – Meccanica Applicata alle Macchine

Si scelgano due diversi meccanismi, caratterizzati da differenti catene cinematiche, comunemente impiegati nella pratica dell'ingegneria industriale per la conversione del moto rotatorio in moto traslatorio.

Si rediga una relazione tecnica che sviluppi i seguenti punti:

1. Descrizione sintetica della struttura cinematica dei meccanismi scelti.
2. Confronto dal punto di vista cinematico, con particolare attenzione all'andamento del rapporto tra le velocità dei membri di ingresso e di uscita in funzione dell'angolo di rotazione del movente.
3. Analisi dinamica, per uno dei due meccanismi scelti, in una configurazione a piacere, considerando le seguenti azioni: coppia motrice agente sul membro movente (manovella); forza resistente applicata al membro traslante (cedente); azioni d'inerzia limitate ai soli membri movente e cedente.

Si discutano le principali grandezze in gioco e le relative implicazioni progettuali.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025**

Settore Industriale

Prova scritta – Ing. Medica

Il candidato descriva nel dettaglio uno strumento diagnostico basato su imaging (ecografo, radiografo, risonanza magnetica, etc.). Nello specifico, svolgere i seguenti punti:

- Schema a blocchi dell'apparato
- Principio di funzionamento/acquisizione
- Caratteristiche metrologiche (risoluzione spaziale e di pixel) e rispettive limitazioni
- Potenziale diagnostico (quale tipologia di indagine)
- Algoritmi di *data analysis* possibili
- Meccanismi di protezione dell'utilizzatore e del paziente, ove necessari.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025**

Settore Civile e Ambientale

Prova Progettuale – Ing. per l'Ambiente e il Territorio

Il candidato espliciti il diagramma di processo di un impianto di depurazione di reflui civili posto in un'area non sensibile ed avente potenzialità pari a 100.000 abitanti equivalenti, facendo ben attenzione allo schema di impianto proposto, motivandone adeguatamente le scelte ed individuandone i dati da assumere a base della progettazione.

Si dimensionino, le **sole** unità di trattamento biologico e di sedimentazione. Si calcoli inoltre la quantità di ossigeno necessario al processo biologico e la quantità giornaliera di fanghi da spurgare dall'impianto.

Per la struttura relativa ad una delle unità di sedimentazione individui lo schema di calcolo strutturale, rappresentandone i dettagli costruttivi e diagrammando l'andamento delle sollecitazioni.

Quali caratteristiche del terreno si assumano le seguenti: limo debolmente sabbioso ($\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0$; $\varphi' = 25^\circ$).

Il candidato assuma, mediante scelte motivate e circostanziate, valori opportuni per i dati non forniti nel testo e necessari all'elaborazione del tema proposto.

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025**

Settore Civile e Ambientale

Prova Progettuale – Ing. Civile

Si richiede al candidato di sviluppare il progetto preliminare di una palazzina residenziale di 3 piani fuori terra destinata ad uso abitativo.

Dati di base

- **Pianta edificio:** rettangolare 18,00 m × 12,00 m.
- **Numero piani:** 3 piani fuori terra, altezza interpiano 3,00 m (totale 9,00 m).
- **Struttura portante:** telaio in cemento armato ordinario.
- **Copertura:** piana praticabile.

Carichi permanenti (sul solaio)

- solaio laterocemento: 3,5 kN/m²
- tramezzi interni: 1,0 kN/m²
- pavimentazioni e finiture: 1,0 kN/m²

Carichi variabili (NTC 2018)

- ambienti residenziali: 2,0 kN/m²
- terrazze e coperture praticabili: 2,0 kN/m²

Azioni sismiche:

La struttura ricade nel comune di BOLOGNA in un terreno di tipo C: parametri per la definizione dello Spettro Elastico in accelerazione:

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_n	0.166 g
F_o	2.404
T_c	0.310 s
S_s	1.461
C_c	1.545
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.461
η	1.000
T_B	0.160 s
T_C	0.479 s
T_D	2.263 s

Richieste

1. Definire la maglia strutturale in pianta e in sezione e una pianta con la distribuzione degli spazi interni.
2. Valutare i carichi verticali e orizzontali gravanti su un telaio tipo.
3. Predimensionare una trave e un pilastro considerando sia i carichi verticali che quelli orizzontali e disegnare la distinta delle armature.

Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di

Ingegnere Magistrale

I Sessione – 2025

Settore Civile e Ambientale

Prova Progettuale – Ing. e Tecniche del Costruire/Ing. Edile-Architettura

Progetto di un edificio per uffici

Il candidato progetti un edificio destinato a un generico ufficio amministrativo periferico aperto al pubblico.

La forma dell'edificio, l'orientamento, il numero di piani e la sua posizione nel lotto che lo contiene sono a scelta del candidato, così come la forma e l'estensione del lotto, purché adiacente alla strada carrabile di accesso.

Gli impiegati (direttore con segreteria e dipendenti di livello diverso) saranno complessivamente una cinquantina, alcuni dei quali destinati ai servizi di sportello.

Il candidato consideri che, oltre alle postazioni di lavoro, in stanze singole o per pochi addetti, e ai necessari spazi complementari (servizi igienici, spazi di ristoro, spogliatoi, archivi, stanze di servizio ecc.) occorre prevedere una sala per riunioni e uno spazio di ricevimento del pubblico con sportelleria, entrambi con accesso diretto anche dall'esterno.

La struttura portante sarà a scheletro di cemento armato, a meno che il progetto architettonico non richieda un diverso sistema strutturale.

Sono richiesti i seguenti elaborati:

- 1) Planimetria generale schematica che riporti la posizione dell'edificio, la sistemazione delle aree libere del lotto e l'orientamento (scala 1:200).
- 2) Pianta del piano d'ingresso e piante dei piani superiori, se presenti (scala 1:100). Nei disegni saranno distinti graficamente i pilastri dalle pareti di tamponamento o di tramezzatura e saranno riportate le misure principali.
- 3) Almeno un prospetto (scala 1:100).
- 4) Almeno una sezione significativa (1:100). Nel disegno saranno distinte graficamente le travi e i solai dalle pareti di tamponamento o di tramezzatura e saranno riportate le quote principali.
- 5) Uno o più dettagli costruttivi (scale 1:20 o 1:10), anche disegnati a mano libera, che mostrino il tipo di solaio e il tipo di parete di tamponamento adottati.
- 6) Breve relazione descrittiva dell'edificio progettato (scelte architettoniche e distributive, strutturali, costruttive, impiantistiche ecc.).

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Specialista/Magistrale
I Sessione 2025**

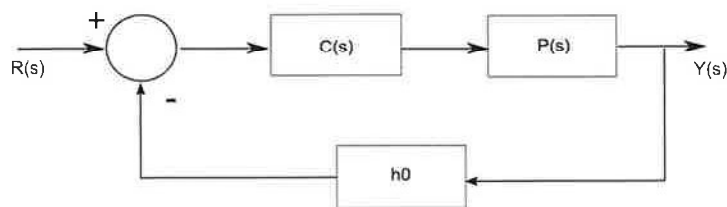
Prova Progettuale - Ingegneria dell'Automazione

Si consideri il sistema di movimentazione delle merci in un impianto industriale, costituito da un nastro azionato mediante un motore elettrico, e si assuma che nel dominio di Laplace la funzione di trasferimento $P(s)$ tra la tensione $U(s)$ applicata al motore e la velocità $Y(s)$ del nastro sia la seguente:

$$P(s) = \frac{K_p}{(1 + s\tau_a)(1 + s\tau_b)},$$

dove le costanti positive K_p , τ_a e τ_b vanno determinate con un'opportuna procedura di taratura del sistema.

- (i) Suggestire una procedura per determinare la costante K_p nell'ipotesi di poter misurare la velocità del nastro trasportatore e di utilizzare un ingresso $u(t)$ costante e noto. Supponendo quindi trascurabile l'errore che si commette nel fissare la tensione $u(t)$ d'ingresso ma ipotizzando un errore fino al 10% sulla misura della velocità del nastro, fornire una stima della percentuale di errore che si potrebbe commettere nel determinare il valore del parametro K_p mediante la procedura di taratura adottata.
- (ii) Si assuma ora $K_p = 60 \text{ m}/(s \cdot V)$, $\tau_a = 1 \text{ s}$ e $\tau_b = 0.5 \text{ s}$. Si è interessati a controllare la velocità del nastro con errore a regime nullo rispetto a riferimenti costanti e con una certa robustezza rispetto a perturbazioni e incertezze sui parametri in gioco. Con riferimento quindi al sistema di controllo in controeazione riportato in figura, in cui $P(s)$ è la funzione di trasferimento del sistema fin qui considerato (con il valore dei parametri K_p , τ_a e τ_b appena indicato) e $h_0 = 0.1 \text{ V} \cdot \text{s}/\text{m}$ è il guadagno del trasduttore che misura la velocità, determinare il blocco di controllo $C(s)$ che garantisce un errore a regime nullo rispetto a riferimenti di velocità costanti e un margine di fase di almeno 40° .
- (iii) Disegnare lo schema a blocchi in controeazione da utilizzare per effettuare un controllo in posizione del nastro e, supponendo lo stesso valore delle costanti K_p , τ_a , τ_b considerato al punto (ii), con un valore del trasduttore della posizione $h_{0p} = 1 \text{ V}/\text{m}$, valutare se la $C(s)$ determinata al punto precedente garantisce la stabilità anche nell'anello di controllo della posizione e, in caso affermativo, calcolare l'errore a regime che si ottiene rispetto a riferimenti in posizione di tipo uno (cioè a rampa).
- (iv) Le costanti K_p , τ_a e τ_b nella $P(s)$ sono in generale soggette a incertezze, dovute per esempio agli errori commessi durante la taratura dell'impianto nonché a variazioni, dovute per esempio al carico trasportato dal nastro. Con riferimento allo schema di controllo in figura e supponendo di aver valutato correttamente il valore delle costanti di tempo τ_a e τ_b , valutare se e in quale misura le specifiche richieste di stabilità e di precisione a regime in velocità assicurate dal blocco di controllo progettato al punto (ii) risultano degradate se, nel ricavare la costante K_p nel punto (i), si è commesso un errore del 10% (si chiede cioè di valutare cosa accade alle specifiche di stabilità e di precisione a regime qualora il progetto al punto (ii) sia stato effettuato con il valore nominale della costante K_p mentre il valore reale di K_p differisce da quello usato nel progetto per un 10%).



**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025**

Settore Industriale

Prova Progettuale – Ing. Energetica

Con riferimento alla trattazione degli impianti per la produzione di calore e lavoro, di grande potenzialità (>450 MWe), il candidato individui caratteristiche e specifiche tecniche di un impianto in assetto combinato, alimentato con combustibile metano (CH₄), costituito da due gruppi turbogas (TG) – ciascuno di potenza nominale pari a 290.0 MW - che alimentano un ciclo a vapore sottoposto comprendente un generatore di vapore a recupero (GVR), a due livelli di pressione (HP e LP - opportunamente scelti in accordo con lo stato della tecnica), una turbina a vapore (TV) composta da due tronchi (HP_TV e LP_TV), e infine un condensatore raffreddato ad aria, operante ad una pressione nominale di 0.12 bar. Il degassatore è alimentato con vapore di flash spillato dalla TV, la cui portata di degasaggio deve essere valutata, in relazione alla pressione, e al tronco di turbina preso in esame.

Il candidato rappresenti lo schema d'impianto della configurazione proposta, ottimizzando la disposizione dei banchi tubieri, in relazione ai livelli di pressione indicati, le trasformazioni termodinamiche relative alla TG e alla TV, e il profilo di temperature, lato gas e lato vapore, relativo allo scambio termico del GVR.

Assumendo i valori delle grandezze e dei parametri necessari in accordo con lo stato dell'arte, si valutino le prestazioni nominali dei singoli componenti (TG, GVR, TV) e del ciclo combinato nel suo complesso, con particolare riferimento alle seguenti grandezze:

- portata di vapore producibile, e relativa potenza complessiva prodotta dalla TV
- portata dei gas combusti allo scarico delle TG
- portata di metano (CH₄), portata di aria di raffreddamento al condensatore considerando profili di temperatura adeguati
- temperatura dei gas combusti allo scarico della TG e al camino del GVR
- potenza del ciclo combinato, rendimento del ciclo combinato, efficienza del GVR e il fattore di emissione, espresso in [kgCO₂/kWh]

Nell'ipotesi che il combustibile impiegato sia composto in frazioni volumetriche dal 50% di H₂ e dal 50% di CH₄, e sotto l'ipotesi che le prestazioni dell'impianto siano invariante rispetto al blending di H₂, si calcoli il fattore di emissione.

Il candidato proceda, infine, al dimensionamento di massima di uno dei banchi del GVR, assumendo quantità globali per lo scambio termico e trascurando lo spessore dei tubi, ma considerando banchi alettati.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO
DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE MAGISTRALE/SPECIALISTA
SESSIONE I – ANNO 2025**

PROVA PROGETTUALE

SETTORE INDUSTRIALE – MECCANICA (FISICA TECNICA INDUSTRIALE)

Per la conservazione di vaccini a bassa temperatura si vuole confrontare un impianto frigorifero in cascata di tipo “base”, Figura 1, con uno “modificato” che funzioni secondo lo schema rappresentato in Figura 2.

Per l'impianto base di Figura 1 valga la seguente descrizione:

- a. nella parte LT, l'evaporatore lavora con il fluido CO₂ ($\dot{m}_{CO_2} = 6.50 \cdot 10^{-2} \text{ kgs}^{-1}$) alla pressione corrispondente alla temperatura di saturazione di -40 °C;
- b. nella parte ad alta temperatura HT, il fluido refrigerante è R600a che nel condensatore è alla pressione di 5 bar.

All'uscita del compressore C1b, la portata di CO₂, alla pressione di 34.85 bar, è raffreddata nello Scambiatore, passando da vapore surriscaldato (stato 2b) fino alla temperatura finale di -5°C (stato 3b). Sia liquido saturo nello stato termodinamico 7b, vapore surriscaldato di 5°C in ingresso al compressore C2b e vapore saturo in ingresso al C1b. Inoltre, per tutti i compressori valga $p_{is-c}=0.72$. Nello Scambiatore in cascata considerare un $\Delta T_{\text{minimo}} \geq 5 \text{ °C}$ tra i fluidi caldo e freddo.

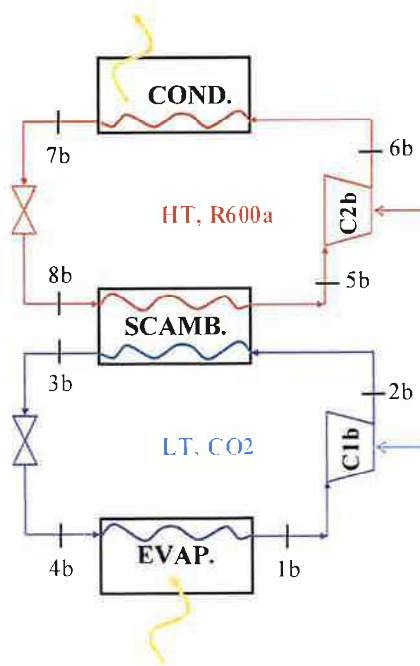


Figura 1 - Frigorifero in cascata: schema dell'impianto “base”.

L'impianto modificato di Figura 2 è caratterizzato da:

- una parte LT, dove l'evaporatore lavora con il fluido CO₂ ($\dot{m}_{CO_2} = 6.50 \cdot 10^{-2} \text{ kgs}^{-1}$) alla pressione corrispondente alla temperatura di saturazione di -40°C;
- un circuito ausiliario AUX con fluido R600a;
- la parte ad alta temperatura HT, dove il fluido refrigerante è ancora R600a che nel condensatore è alla pressione di 5 bar.

All'uscita del compressore C1, la portata di CO₂, alla pressione di 34.85 bar, è raffreddata dapprima nello Scambiatore 1, passando da vapore surriscaldato alla condizione di miscela liquido-vapore (stato 3, con $x_3=0.35$), poi la condensazione prosegue nello Scambiatore 2 del circuito AUX fino alla temperatura finale di -5°C (stato 4). Il ciclo AUX dallo stato 7, alla pressione di 1.6 bar, cede calore al ciclo HT. Sia liquido saturo per gli stati termodinamici 8 e 12, vapore surriscaldato di 5°C in ingresso ai compressori C2 e C3 e vapore saturo in ingresso al C1. Inoltre, per tutti i compressori valga $\rho_{IS-C}=0.72$.

Infine, in ciascuno degli Scambiatori 1 e 2 si consideri un $\Delta T_{\text{minimo}} \geq 5 \text{ °C}$ tra i fluidi caldo e freddo.

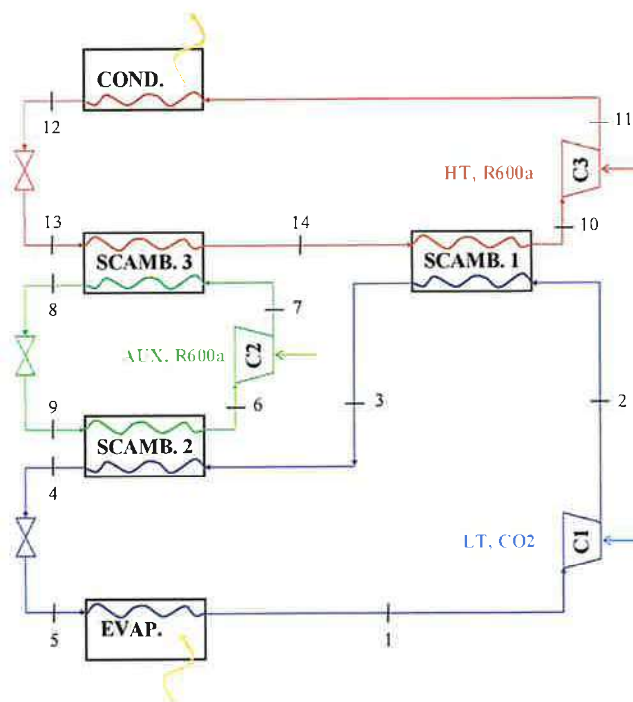


Figura 2 - Frigorifero in cascata: schema dell'impianto "modificato".

Il/la candidato/a provveda a:

- ✓ disegnare su opportuni diagrammi le trasformazioni associate ai cicli termodinamici;
- ✓ determinare la potenza elettrica spesa ed il coefficiente di prestazione (COP) degli impianti;
- ✓ dimensionare il condensatore per l'impianto con il COP maggiore.

Seguono alcuni dati specifici per la valutazione del progetto.

NOTA

In assenza di alcuni dati, il/la candidato/a può formulare assunzioni tecnicamente fondate, facendo riferimento allo stato dell'arte e motivandole adeguatamente.

1. Impianto frigorifero a compressione di vapore

Il condensatore scambia calore con l'aria, che entra a 23 °C (temperatura ambiente) ed esce a 31°C

Tabella 1 – Proprietà termofisiche dell'aria alla pressione atmosferica

t [°C]	ρ [kg·m ⁻³]	c_p [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	μ [10 ⁻⁵ kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹]	ν [10 ⁻⁶ m ² ·s ⁻¹]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	α [10 ⁻⁶ m ² ·s ⁻¹]
-23	1,4128	1,0053	1,599	11,32	0,02226	15,672
27	1,177	1,006	1,846	15,680	0,0262	22,143
77	0,998	1,009	2,075	20,790	0,0300	29,830
127	0,883	1,014	2,286	25,900	0,0336	37,600

Nella valutazione della potenza elettrica spesa, oltre al lavoro dei compressori, non si trascuri quello necessario a movimentare l'aria a contatto con il condensatore.

Tale potenza può essere calcolata con la relazione

$$\dot{W}_{\text{fan}} = \frac{1}{\eta_{\text{fan}}} \frac{\Delta p}{\rho_{\text{medio}}} \dot{m}_{\text{aria}}$$

nella quale il rendimento complessivo è pari a $\eta_{\text{fan}} = 0.8$ ed il calcolo delle portate di aria viene dal bilancio nello scambiatore.

Per la stima delle cadute di pressione, si consideri un valore di 200 Pa nel condensatore.

2. Dimensionamento del condensatore

Il/la candidato/a fornisca un dimensionamento di massima del condensatore.

Lo scambiatore in esame è del tipo aria-refrigerante, con quest'ultimo che transita nei tubi e con l'aria che lambisce esternamente le alette.

In particolare, si tratta di uno scambiatore a tubi alettati in alluminio 6061-T6 (conduttività termica media pari a $155 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), con flussi incrociati, del tipo ad alette rettangolari (considerare una efficienza della singola aletta pari a $\eta_f = 0.9$), il cui schema e alcuni ingombri sono riportati in Figura 3 e Tabella 2.

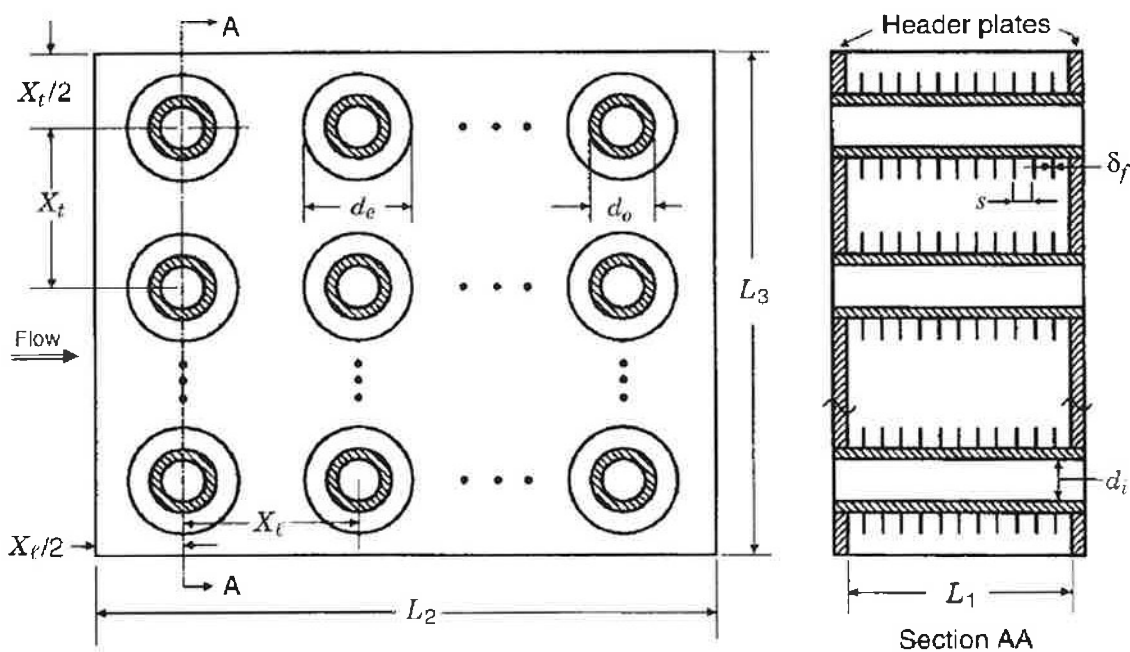


Figura 3 – Schematizzazione semplificata dello scambiatore

Per completare il dimensionamento occorre valutare l'area di scambio termico.

Di seguito si riportano alcune relazioni geometriche che legano le varie grandezze.

Per le superfici di scambio riferite al singolo tubo alettato si calcola:

$$\begin{aligned}
 A_t &= A_{\text{tubo liscio}} = \pi d_0 L_1 \\
 A_{\text{tot}} &= \text{round} \left(\frac{L_1}{s + \delta_f} \right) \left\{ \pi d_0 s + \pi \left[d_0 + 2 \left(\frac{s}{0.2} \right) \right] \delta_f + 2 \frac{\pi}{4} \left[\left(d_0 + \frac{2s}{0.2} \right)^2 - (d_0)^2 \right] \right\} \\
 &= \text{round} \left(\frac{L_1}{p} \right) \left\{ \pi d_0 s + \pi d_e \delta_f + \frac{\pi}{2} \left[(d_e)^2 - (d_0)^2 \right] \right\}
 \end{aligned} \quad (1)$$

La superficie di passaggio dell'aria è dunque pari a

$$\begin{aligned}
 A_{\min} &= L_1 L_3 \cdot \text{round}\left(\frac{L_3}{X}\right) \left[L_1 \left(d_0 + \frac{2s}{0.2} \right) \cdot \text{round}\left(\frac{L_1}{s + \delta_f}\right) \left(\frac{2s^2}{0.2} \right) \right] \\
 &= L_1 L_3 \cdot \text{round}\left(\frac{L_3}{X}\right) \left[L_1 d_e \cdot \text{round}\left(\frac{L_1}{p}\right) (2Ls) \right]
 \end{aligned} \tag{2}$$

Tabella 2 – Alcuni ingombri e dimensioni dello scambiatore compatto

Grandezza	Simbolo	Valore
Diametro esterno del tubo	d_0	13÷27 mm
Spessore del tubo	s_t	$s_t = 0.15 \cdot d_0$
Diametro interno del tubo	d_i	//
Altezza aletta	L	12 mm
Spessore aletta	δ_f	1 mm
Spaziatura tra le alette	s	8 mm
Passo di alettatura	$p = s + \delta_f$	9 mm
Diametro tubo alettato	d_e	$d_0 + 2L$
Distanza tra i tubi	$X_t = X_l = X$	$d_0 + d_e$
<i>Ingombro per evaporatore</i>	L_2	$L_2 = 0.5L_3$
<i>Ingombro per evaporatore</i>	L_1	1 m

Il/la candidato/a provveda al calcolo della superficie esterna necessaria a garantire lo scambio termico, determinando, dunque, il diametro dei tubi e la lunghezza L_3 legata al numero di tubi stessi.

2.1 Calcolo della conduttanza globale

Per la determinazione della conduttanza globale UA , si tenga conto che lo scambiatore prevede dapprima un desurriscaldatore e poi un condensatore in senso stretto.

Tratto del desurriscaldatore

Si possono utilizzare due metodi, a scelta dei candidati.

Metodo $F - \Delta T_{ML}$, per il quale vale la relazione

$$UA = U_0 A_0 = \frac{\dot{Q}}{F \Delta T_{ML}} \quad (3)$$

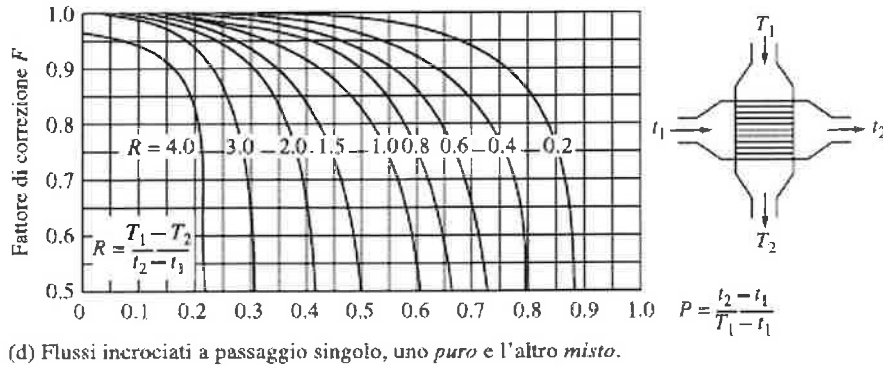


Figura 4 – Diagramma per F (singolo passaggio, flussi incrociati, un fluido miscelato e uno non miscelato)

Metodo $\Psi - P$, vale la relazione

$$UA = U_0 A_0 = \frac{\dot{Q}}{\Psi \cdot \Delta T_i} = \frac{\dot{Q}}{\Psi \cdot (T_{2,i} - T_{1,i})} \quad (4)$$

Il valore del parametro Ψ si legge dal diagramma. Per i valori di $P = (T_{1,o} - T_{1,i}) / (T_{2,i} - T_{1,i})$ e di $R = (T_{2,i} - T_{2,o}) / (T_{1,o} - T_{1,i})$ il fluido “1” è il refrigerante ed il “2” l’aria.

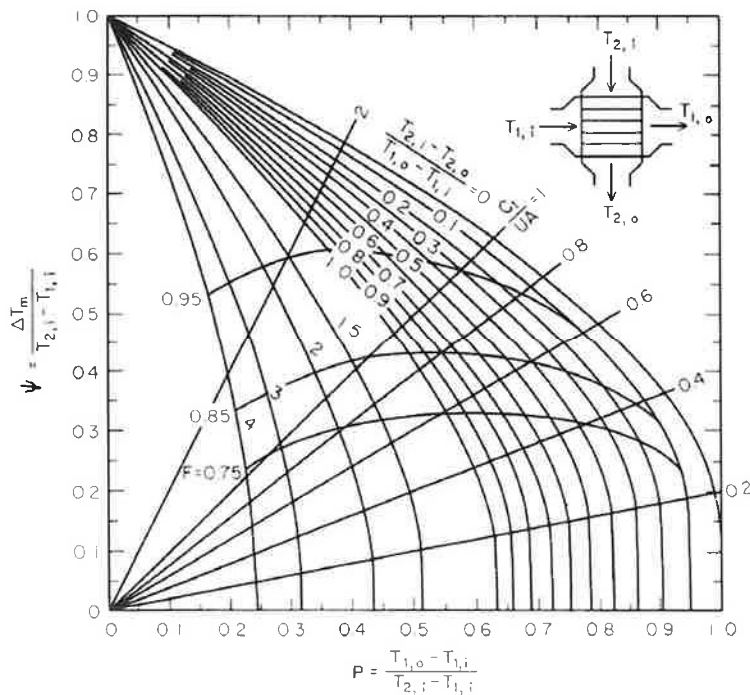


Figura 5 – Diagramma $\Psi - P$

Tratto con passaggio di stato

Conviene utilizzare il **metodo** $F - \Delta T_{ML}$ (cfr Fig.4)

Il fluido non miscelato è il refrigerante nei tubi, l'aria è il misto.

Negli scambiatori con passaggio di stato vale la condizione $F = 1$.

La stessa conduttanza può essere ricavata dalla relazione che segue (si trascuri lo spessore del singolo tubo)

$$UA = \frac{1}{R_{TOT}} = \left\{ \frac{1}{\left(\frac{L_2}{X}\right)\left(\frac{L_3}{X}\right)} \left[\frac{1}{h_i \pi d_i L_1} + \frac{1}{h_{aria} (\eta_f A_f + A_{base})} \right] \right\}^{-1} \quad (5)$$

con

$$A_{base} = \text{round} \left(\frac{L_1}{p} \right) \cdot \pi d_0 s \quad (6)$$

$$A_f = \text{round} \left(\frac{L_1}{p} \right) \cdot \left\{ \pi d_e \delta_f + \frac{\pi}{2} [(d_e)^2 - (d_0)^2] \right\}$$

Confrontando il valore della (5) con quello dell'equazioni (3) o (4), si ricavano le dimensioni cercate, determinando infine l'area totale di scambio, tale che

$$A_0 = \left(\frac{L_2}{X}\right)\left(\frac{L_3}{X}\right)\left(\frac{L_1}{p}\right) \left\{ \pi d_0 s + \pi d_e \delta_f + \frac{\pi}{2} [(d_e)^2 - (d_0)^2] \right\} \geq \frac{UA}{U_0} \quad (7)$$

Nella relazione (5) occorre determinare i coefficienti di scambio convettivo lato aria, h_{aria} , e lato refrigerante, h_i .

Per il calcolo del **coefficiente di scambio convettivo lato aria** (ossia lato tubo esterno alettato), si faccia riferimento alla seguente espressione empirica:

$$Nu_{d_0} = \frac{d_0 h_{aria}}{k_{aria}} = 0.2 \cdot Re_{d_0}^{0.6} \cdot Pr^{1/3} \left(\frac{A_{tot}}{A_t} \right)^{-0.15} \quad (8)$$

con $1000 \leq Re_{d_0} \leq 100000$ e $5 \leq (A_{tot}/A_t) \leq 30$, in cui A_{tot} è l'area totale mentre A_t è l'area del tubo liscio, senza alette.

Per la determinazione del numero di Reynolds, valga la seguente relazione

$$Re_{d_0} = \frac{d_0 \cdot \dot{m}_a}{A_{\min} \cdot \mu} = \frac{d_0 \cdot \bar{u}}{\nu} \quad (9)$$

nella quale la velocità media \bar{u} dell'aria è definita come il rapporto tra la portata e la sezione frontale di passaggio (sez. A-A di Figura 3).

Facendo riferimento alla Tabella 1, le proprietà dell'aria siano valutate alla sua temperatura media

Per la determinazione del coefficiente di **scambio convettivo lato refrigerante** si definisce dapprima il seguente Reynolds

$$Re_{ref} = \frac{d_i \cdot \dot{m}_{ref}}{A_{ref} \cdot \mu_l} = Re_l \quad (10)$$

in cui il pedice "l" sta ad indicare il liquido saturo.

Tenendo conto che lo scambiatore prevede dapprima un desurriscaldatore e poi un condensatore in senso stretto, occorre fare delle precisazioni.

Nella condensazione anulare si usa la relazione (sia per semplicità $x=0.4$)

$$h_c = 0.023 \frac{\lambda_l}{d_i} Re_l^{0.8} \cdot Pr_l^{0.4} \left[(1-x)^{0.8} + \frac{3.8 \cdot x^{0.76} \cdot (1-x)^{0.04}}{\left(\frac{p_{sat}}{p_{crit}}\right)^{0.38}} \right] \quad \text{con } Re > 350 \quad (11)$$

Nel desurriscaldamento del vapore, sempre all'interno dei tubi, si può utilizzare Dittus-Boelter

$$Nu_{d_i} = 0.023 \cdot Re_{d_i}^{0.8} \cdot Pr^{0.3} \quad \text{se } \begin{cases} 0.7 \leq Pr \leq 160 \\ Re_{d_i} \geq 10000 \\ L/d_i \geq 10 \end{cases} \quad (12)$$

oppure Gnielinski

$$\begin{cases} Nu_{d_i} = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) \cdot (Re_{d_i} - 1000) \cdot Pr^{0.3}}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0.5} \cdot \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right)} \\ f = \left[0.79 \cdot \ln(Re_d) - 1.64\right]^{-2} \end{cases} \quad \text{se } \begin{cases} 0.5 \leq Pr \leq 2000 \\ 2300 \leq Re_{d_i} \leq 5 \cdot 10^6 \end{cases} \quad (13)$$

Tabella 3 – Vapore e liquido saturi della CO2 (R744)

t [°C]	p [bar]	v [m ³ kg ⁻¹]		h [kJkg ⁻¹]		s [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]	
		<i>liquido</i>	<i>vapore</i>	<i>liquido</i>	<i>vapore</i>	<i>liquido</i>	<i>vapore</i>
-50	6,82	8,66E-04	5,58E-02	92943,0	432,7	0,5794	2,1018
-40	10,05	8,96E-04	3,83E-02	112,9	435,3	0,6656	2,0485
-30	14,28	9,30E-04	2,70E-02	133,3	436,8	0,7498	1,9980
-20	19,70	9,69E-04	1,93E-02	154,5	436,9	0,8328	1,9485
-10	26,49	1,02E-03	1,40E-02	176,5	435,1	0,9157	1,8985
0	34,85	1,08E-03	1,02E-02	200,0	430,9	1,0000	1,8453
10	45,02	1,16E-03	7,40E-03	225,7	422,9	1,0884	1,7847
20	57,29	1,29E-03	5,15E-03	255,9	407,9	1,1877	1,7062

Tabella 4 – Vapore surriscaldato e liquido sottoraffreddato della CO2 (R744) alla pressione di 34.85 bar

$p = 34,85$ bar				
t [°C]	<i>stato di aggregazione</i>	v [m ³ kg ⁻¹]	h [kJkg ⁻¹]	s [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
-20	LS	9,63E-04	154,2	0,8261
-15	LS	9,86E-04	165,0	0,8682
-10	LS	1,01E-03	176,1	0,9109
-5	LS	1,04E-03	187,7	0,9546
5	VS	1,09E-02	439,6	1,8768
10	VS	1,14E-02	447,4	1,9046
15	VS	1,20E-02	454,6	1,9298
20	VS	1,24E-02	461,4	1,9532
25	VS	1,29E-02	467,9	1,9752
30	VS	1,33E-02	474,1	1,9960
35	VS	1,38E-02	480,2	2,0158
40	VS	1,42E-02	486,1	2,0349
45	VS	1,46E-02	491,9	2,0533
50	VS	1,50E-02	497,6	2,0711
55	VS	1,54E-02	503,2	2,0883
60	VS	1,57E-02	508,8	2,1051
65	VS	1,61E-02	514,3	2,1214
70	VS	1,65E-02	519,7	2,1374

LS = Liquido Sottoraffreddato
VS = Vapore Surriscaldato

Tabella 5 – Vapore e liquido saturi di Isobutano (R600a)¹

t [°C]	p [bar]	v [m ³ kg ⁻¹]		h [kJkg ⁻¹]		s [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]	
		liquido	vapore	liquido	vapore	liquido	vapore
-12,09	1,00	1,68E-03	3,58E-01	172,8	538,2	0,8983	2,2980
-7,35	1,20	1,70E-03	3,02E-01	183,3	544,5	0,9384	2,2971
-3,18	1,40	1,71E-03	2,62E-01	192,8	550,1	0,9734	2,2970
0,54	1,60	1,72E-03	2,31E-01	201,2	555,1	1,0045	2,2973
3,93	1,80	1,74E-03	2,07E-01	209,0	559,6	1,0327	2,2980
7,04	2,00	1,75E-03	1,87E-01	216,2	563,8	1,0584	2,2989
9,91	2,20	1,76E-03	1,71E-01	223,0	567,7	1,0821	2,2999
12,60	2,40	1,77E-03	1,57E-01	229,3	571,3	1,1042	2,3011
15,12	2,60	1,78E-03	1,46E-01	235,2	574,7	1,1249	2,3023
17,50	2,80	1,79E-03	1,36E-01	240,9	577,9	1,1443	2,3036
19,76	3,00	1,79E-03	1,27E-01	246,3	580,9	1,1627	2,3050
21,90	3,20	1,80E-03	1,20E-01	251,5	583,8	1,1802	2,3064
23,95	3,40	1,81E-03	1,13E-01	256,4	586,5	1,1968	2,3078
25,90	3,60	1,82E-03	1,07E-01	261,2	589,1	1,2126	2,3092
27,78	3,80	1,83E-03	1,01E-01	265,8	591,6	1,2278	2,3106
29,58	4,00	1,84E-03	9,65E-02	270,2	594,0	1,2424	2,3120
31,32	4,20	1,84E-03	9,21E-02	274,5	596,3	1,2564	2,3134
33,00	4,40	1,85E-03	8,80E-02	278,7	598,6	1,2700	2,3148
34,62	4,60	1,86E-03	8,43E-02	282,7	600,7	1,2830	2,3162
36,19	4,80	1,86E-03	8,08E-02	286,7	602,8	1,2957	2,3176
37,71	5,00	1,87E-03	7,77E-02	290,5	604,8	1,3079	2,3190

Tabella 6 – Vapore surriscaldato e liquido sottoraffreddato di R600a alla pressione di 5 bar

p = 5 bar								
t [°C]	stato di aggregazione	v [m ³ kg ⁻¹]	cv [J*K ⁻¹ *kg ⁻¹]	cp [J*K ⁻¹ *kg ⁻¹]	ν [Pa*s]	λ [W*m ⁻¹ *K ⁻¹]	h [kJkg ⁻¹]	s [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]
20	LS	1,79E-03	1,663E+04	2,396E+04	1,599E-04	9,122E-02	247,0	1,1639
30	LS	1,84E-03	1,703E+04	2,462E+04	1,437E-04	8,757E-02	271,3	1,2453
37,71	L-Sat	1,87E-03	1,735E+04	2,518E+04	1,325E-04	8,482E-02	290,5	1,3079
37,71	V-Sat	7,77E-02	1,640E+04	1,901E+04	7,846E-06	1,825E-02	604,8	2,3190
40	VS	7,85E-02	1,648E+04	1,904E+04	7,902E-06	1,851E-02	609,1	2,3329
50	VS	8,23E-02	1,686E+04	1,924E+04	8,143E-06	1,963E-02	628,3	2,3930
60	VS	8,60E-02	1,726E+04	1,951E+04	8,385E-06	2,078E-02	647,7	2,4521
70	VS	8,95E-02	1,768E+04	1,981E+04	8,627E-06	2,195E-02	667,3	2,5102
80	VS	9,30E-02	1,810E+04	2,015E+04	8,867E-06	2,315E-02	687,3	2,5676
90	VS	9,64E-02	1,854E+04	2,052E+04	9,107E-06	2,438E-02	707,6	2,6244
100	VS	9,98E-02	1,898E+04	2,090E+04	9,345E-06	2,563E-02	728,3	2,6806
110	VS	1,03E-01	1,941E+04	2,129E+04	9,582E-06	2,691E-02	749,4	2,7364
120	VS	1,06E-01	1,985E+04	2,168E+04	9,818E-06	2,821E-02	770,9	2,7918

LS = Liquido Sottoraffreddato
L-Sat = Liquido Saturo
V-Sat = Vapore Saturo
VS = Vapore Surriscaldato

¹ Per il fluido R600a:

- ✓ pressione critica pari a 36.29 bar
- ✓ temperatura critica pari a 134.66 °C

Tabella 7 – Vapore surriscaldato e liquido sottoraffreddato di R600a alla pressione di 1.6 bar

$p = 1,6 \text{ bar}$				
$t \text{ [}^\circ\text{C]}$	<i>stato di aggregazione</i>	$v \text{ [m}^3\text{kg}^{-1}\text{]}$	$h \text{ [kJkg}^{-1}\text{]}$	$s \text{ [kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$
-20	LS	1,658E-03	155,4	0,8304
-10	LS	1,689E-03	177,4	0,9158
0	LS	1,722E-03	200,0	1,0000
-0,5432	L-Sat	1,724E-03	201,2	1,0045
-0,5432	V-Sat	2,307E-01	555,1	2,2973
10	VS	2,403E-01	570,6	2,3530
20	VS	2,503E-01	587,3	2,4110
30	VS	2,602E-01	604,4	2,4685
40	VS	2,699E-01	622,0	2,5254
50	VS	2,796E-01	639,9	2,5818
LS = Liquido Sottoraffreddato				
L-Sat = Liquido Saturo				
V-Sat = Vapore Saturo				
VS = Vapore Surriscaldato				

Tabella 8 – Vapore surriscaldato e liquido sottoraffreddato di R600a alla pressione di 1.2 bar

$p = 1,2 \text{ bar}$				
$t \text{ [}^\circ\text{C]}$	<i>stato di aggregazione</i>	$v \text{ [m}^3\text{kg}^{-1}\text{]}$	$h \text{ [kJkg}^{-1}\text{]}$	$s \text{ [kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$
-20	LS	1,659E-03	155,3	0,8305
-10	LS	1,690E-03	177,4	0,9160
-7,345	L-Sat	1,698E-03	183,3	0,9384
-7,345	V-Sat	3,021E-01	544,5	2,2971
0	VS	3,118E-01	556,1	2,3403
10	VS	3,249E-01	572,3	2,3985
20	VS	3,378E-01	588,9	2,4560
30	VS	3,506E-01	605,9	2,5130
40	VS	3,633E-01	623,3	2,5695
50	VS	3,759E-01	641,1	2,6256
LS = Liquido Sottoraffreddato				
L-Sat = Liquido Saturo				
V-Sat = Vapore Saturo				
VS = Vapore Surriscaldato				

Tabella 9 – Vapore surriscaldato e liquido sottoraffreddato di R600a alla pressione di 1 bar

$p = 1 \text{ bar}$				
$t \text{ [}^\circ\text{C]}$	<i>stato di aggregazione</i>	$v \text{ [m}^3\text{kg}^{-1}\text{]}$	$h \text{ [kJkg}^{-1}\text{]}$	$s \text{ [kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$
-20	LS	1,659E-03	155,3	0,8306
-12,085	L-Sat	1,683E-03	172,8	0,8983
-12,085	V-Sat	3,582E-01	538,2	2,2980
-10	VS	3,614E-01	541,4	2,3103
0	VS	3,770E-01	557,1	2,3689
10	VS	3,925E-01	573,2	2,4267
20	VS	4,078E-01	589,7	2,4840
30	VS	4,229E-01	606,6	2,5407
40	VS	4,380E-01	623,9	2,5970
50	VS	4,530E-01	641,7	2,6530
LS = Liquido Sottoraffreddato				
L-Sat = Liquido Saturo				
V-Sat = Vapore Saturo				
VS = Vapore Surriscaldato				



**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di
Ingegnere Magistrale
I Sessione – 2025
Settore Industriale**

Prova Progettuale – Ing. Medica

Le due immagini mostrate in alto rappresentano un fondo oculare di una retina sana (sinistra) e di una retina con retinopatia diabetica (destra). Con le quattro frecce vengono indicati quattro sintomi visibili nell'immagine della patologia.

Sapendo che l'immagine ha una risoluzione spaziale di $6\mu\text{m}$ per pixel, (con fondo oculare di circa 5-6 mm di diametro), ossia che l'immagine è di circa 1024×1024 px, rispondere ai seguenti quesiti:

1. Descrivi le principali differenze visive tra le due immagini.
2. Descrivi un possibile algoritmo di segmentazione per questa immagine che localizzi i vasi e gli aneurismi. Quali caratteristiche dell'immagine useresti (colore, forma, dimensione, contrasto, ecc.)? Fornire dettagli e se ritenuto utile uno pseudocodice del possibile algoritmo.
3. Una volta segmentati, descrivi almeno 4 o 5 descrittori che useresti per discriminare i sottotipi di aneurismi fra di loro.
4. Quali sono i vantaggi dell'elaborazione automatica di immagini del fondo oculare nella diagnosi precoce del diabete e più in generale nella diagnostica per immagini?