

**POLITECNICO DI TORINO**  
**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO**  
**DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE INDUSTRIALE**

**I Sessione 2019 - Sezione A**  
**Settore Industriale**

**Prova PRATICA del 23 luglio 2019**

*Il Candidato svolga uno a scelta fra i seguenti temi proposti.*

*Gli elaborati prodotti dovranno essere stilati in forma chiara, ordinata, sintetica e leggibile.*

*La completezza, l'attinenza e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.*

**Tema n. 1**

*Analisi funzionale di un velivolo da trasporto passeggeri a lungo raggio e dimensionamento preliminare del carrello di atterraggio*

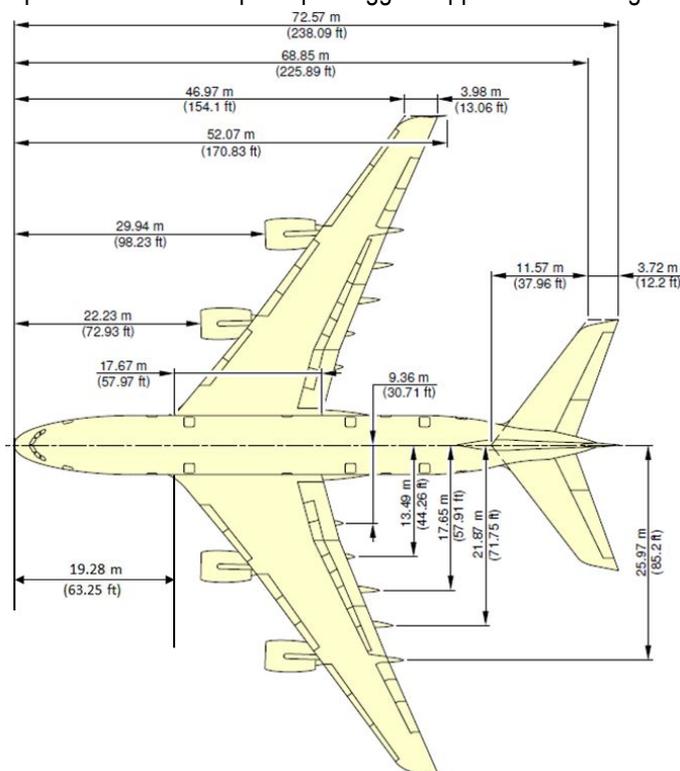
**Parte 1**

Si svolga l'analisi funzionale di un tipico velivolo da trasporto passeggeri a lungo raggio. Si identifichino in particolare:

1. La funzione principale (Top Level Function)
2. Le funzioni derivate, scomponendo la funzione principale fino ad identificare le funzioni base che identificano i sottosistemi del velivolo
3. I principali elementi, ovvero i sottosistemi in questo caso, in grado di svolgere le funzioni precedentemente definite

**Parte 2**

Si consideri il generico velivolo quadrimotore da trasporto passeggeri rappresentato in Figura 1.



**Figura 1. Vista in pianta del velivolo**

Con riferimento alle funzionalità di supporto e movimentazione a terra si dimensiona il carrello di atterraggio sulla base dei quesiti di seguito riportati. In particolare:

1. Si definisca l'architettura a triciclo del carrello in termini di posizionamento, numero e lunghezza delle gambe di forza, numero di pneumatici, per rispettare i requisiti di taxi (non è richiesto il dimensionamento strutturale della gamba).
2. Si dimensioni il sottosistema di sterzata in condizioni di taxi (escludendo la fase di rullaggio del decollo) in termini di potenza necessaria all'attuazione.
3. Si dimensioni il sottosistema di frenatura in condizioni di atterraggio in termini di potenza necessaria all'attuazione.
4. Si definisca lo schema di massima del sistema di alimentazione idraulica per le sole utenze di attuazione del carrello dimensionate ai punti precedenti, identificando in particolare il numero di circuiti, il numero di utenze, i diversi accessori dell'impianto e le strategie di connessione al fine di garantire un adeguato livello di ridondanza delle funzionalità.
5. Si tracci un diagramma di carico preliminare (potenza – fase di volo) per il sistema considerando la missione di riferimento, al fine di determinare il picco massimo di potenza idraulica necessaria a terra. Si consideri che la sterzata sia attiva solo in "taxi" e che la frenatura sia attiva solo in decollo e atterraggio. Si indichino qualitativamente sul grafico dove potrebbero attestarsi i valori di potenza necessaria per la frenatura in decollo, in caso di decollo abortito, e di sterzata in "taxi-in" rispetto ai valori ottenuti ai punti precedenti, sempre considerando attuazioni separate.

Si consideri che:

1. La massa operativa a vuoto del velivolo (Operating Empty Weight – OEW) è pari a 285484 kg. La massa di combustibile può essere calcolata considerando il profilo di missione schematizzato in Tabella 1 ed escludendo eventuali riserve.

Tabella 1. Profilo di missione di riferimento

Fase	Quota (inizio – fine) [ft]	Velocità (media) [km/h]	Spinta (un motore) [lbf]	SFC [lb/h/lbf]	Tempo impiegato per completare la fase [min]
Taxi-out	0	35	22922	0.6	15
Take-off	0 - 400	340	76407	0.4	1
Climb	400 - 13000	650	30563	0.45	25
Cruise	13000	900	11461	0.5	480
Descent	13000 - 5000	550	19102	0.55	25
Approach	5000 - 1000	370	34383	0.55	10
Landing	1000 - 0	280	20550	0.65	5
Taxi-in	0	35	22922	0.6	10

La massa massima al decollo (Maximum Take-Off Weight – MTOW) è ricavabile considerando inoltre che la massa del payload equivale a quella massima ammissibile per un range di 8500 miglia, come da Figura 2 (si consiglia di identificare un valore approssimato). Per la massa massima in rullaggio (Maximum Ramp Weight – MRW) è necessario considerare 2000 kg di carburante aggiuntivo per il "taxi out" a terra.

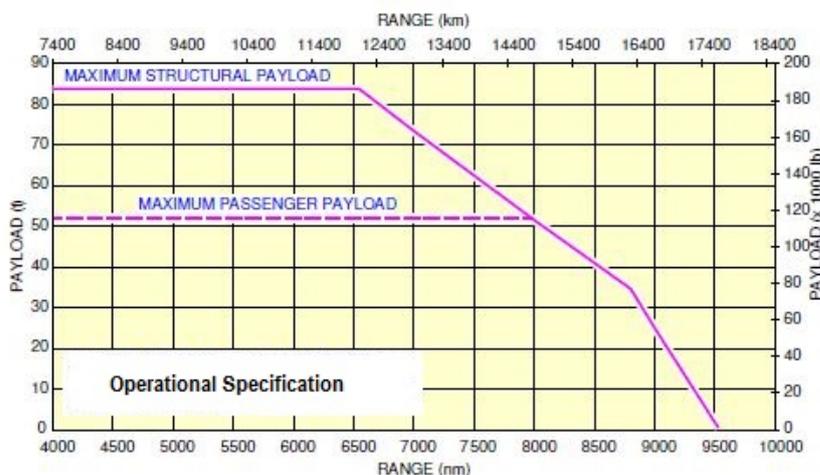


Figura 2. Diagramma payload-range

Con le premesse sopra riportate, la posizione longitudinale più arretrata del baricentro del velivolo è riportata in Figura 3. Il baricentro giace sul piano di simmetria.

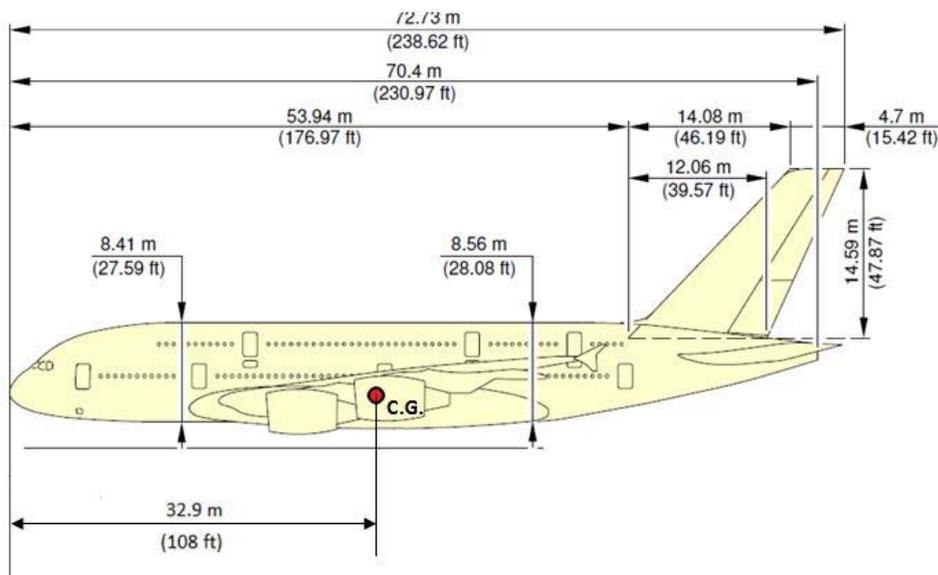


Figura 3. Posizione di riferimento del baricentro del velivolo

Inoltre, per la categoria di velivolo selezionata, i seguenti modelli di pneumatici possono essere considerati per il dimensionamento (Tabella 2).

Tabella 2. Dimensioni pneumatici di riferimento

Modello pneumatico	Misure (diametro x larghezza battistrada) [cm]	Semiassie (tra due ruote speculari della stessa gamba) [m]
Pneumatico 1	1400 x 530	0.69
Pneumatico 2	1270 x 455	0.53

L'area dell'impronta a terra è pari al 60% della superficie trasversale dello pneumatico in posizione di marcia visto dall'alto in proiezione ortogonale. Si definisca in particolare la configurazione delle gambe del carrello in modo che solo il 7% della massa in taxi (MRW) gravi sul carrello anteriore, tenendo però conto che la pavimentazione presenta un limite massimo di solidità strutturale pari a  $78000 \frac{kg}{m^2}$ . Il passo tra carrello anteriore e posteriore/i deve essere di 30 m.

La lunghezza delle gambe del carrello deve essere determinata tenendo presente i requisiti di distanza da terra in taxi riportati in Figura 4. Si tenga presente altresì che il raggio della ruota sotto carico si riduce del 10%. Le misure relative al flap più interno (inboard) di Figura 4 sono utili per derivare la traccia della struttura dell'ala (nascosta dalla superficie mobile), nel caso sia necessario vincolare il carrello direttamente all'ala.

Si trascurino l'impatto sull'angolo di seduta e l'effetto dell'ammortizzatore sull'altezza da terra. Il piano di carico e la cabina passeggeri devono risultare paralleli al suolo. Ipotizzare che la distanza da terra del ventre della fusoliera sia la stessa anche nella zona del carrello anteriore.

Segue Tema 1 >>>

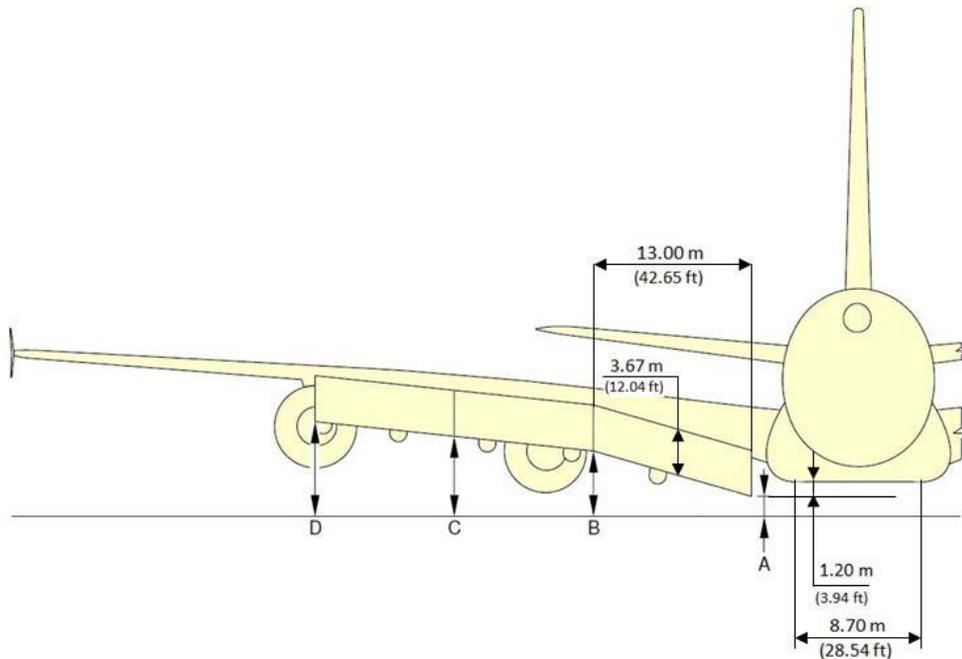


Figura 4. Requisiti di distanza da terra in taxi (valori in tabella)

FLAPS EXTENDED ON GROUND			
Description		MRW Aft C.G.	
		m	ft
Inner End	A	1.53	5.0
Inner/Mid	B	3.42	11.2
Mid Outer	C	4.54	14.9
Outer End	D	5.08	16.7

- II. Il coefficiente di attrito ruota-asfalto nelle condizioni di sterzata è pari a 0.8. Il rateo di sterzata richiesto in taxi è pari a  $10^\circ/s$ .

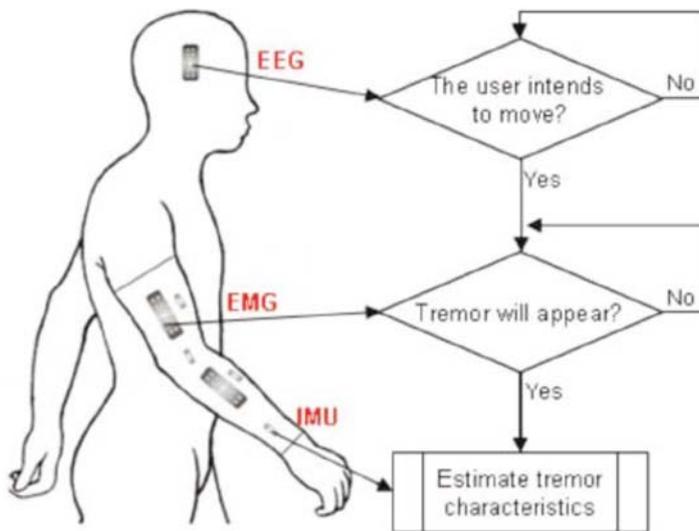
La capacità frenante generata dai diruttori di flusso in funzione di "lift damping" all'atterraggio costituisce il 60% di quella globale. Il coefficiente di attrito ruota-asfalto nelle condizioni di frenata è pari a 0.5. Si definisca, a tal proposito, un numero consono di pistoncini e di dischi per ruota frenante, tenendo presente che i pistoncini idraulici che attuano il freno hanno un tempo di attuazione pari a 0.1 s e che la loro corsa è pari a 3 cm. Il raggio del disco freno è pari al 66% del raggio della ruota scarica. Per semplicità, si consideri che il peso massimo all'atterraggio (Maximum Landing Weight – MLW) è pari a quello misurabile alla fine della fase di "landing" indicata in Tabella 1. La velocità iniziale della manovra di atterraggio è pari a quella riportata in Tabella 1 per la stessa fase e la corsa deve concludersi in 1650 m. La pressione di esercizio dell'impianto è pari a 350 ba.

## Tema n. 2

Il tremore è il più comune disturbo del movimento e la sua incidenza è fortemente in aumento con l'invecchiamento della popolazione. Più del 65% della popolazione con tremore degli arti superiori presenta serie difficoltà nello svolgimento delle attività della vita quotidiana. Generalmente il tremore viene gestito mediante farmaci, chirurgia e stimolazione cerebrale profonda, ma i trattamenti non sono efficaci in circa il 25% dei pazienti.

L'obiettivo principale del progetto è sviluppare un sistema in grado di rilevare e monitorare l'attività motoria involontaria (tremore) attraverso un'interfaccia uomo-macchina (BCI) multimodale: essa comprende la registrazione di attività elettroencefalografica (EEG) ed elettromiografica (EMG), insieme al monitoraggio del movimento tramite unità di misurazione inerziali (IMU).

L'utilizzo di più segnali ha lo scopo di estrarre informazioni, seguendo uno schema di integrazione gerarchica.



Innanzitutto, un classificatore EEG in tempo reale è incaricato di rilevare l'intenzione dell'utente di eseguire un movimento volontario.

Successivamente, l'elaborazione del segnale sEMG identifica l'insorgenza di tremore e ne stima la frequenza. Infine, le IMU tracciano l'ampiezza e la frequenza del tremore.

I segnali EEG sono registrati da tredici posizioni sull'area motoria (FC3, FCz, FC4, C5, C3, C1, CZ, C2, C4, C6, CP3, CPz e CP4 del sistema internazionale 10-20). Come riferimento è utilizzato il potenziale medio dei due lobi delle orecchie.

I segnali sEMG vengono registrati da quattro gruppi muscolari (bicipite brachiale, tricipite brachiale, flessore carpi radiale, estensore carpi ulnare) con tecnica singolo differenziale.

Vengono utilizzati tre IMU posizionati su mano, polso e gomito. Ogni IMU contiene un accelerometro triassiale e un giroscopio triassiale.

Il candidato:

1. Progetti e descriva il sistema complessivo a livello di schema a blocchi. Nel caso di dati non noti il candidato effettui delle scelte di dimensionamento dei blocchi interessati riportando i criteri adottati a supporto di tali scelte.
2. Progetti la catena di amplificazione per i segnali di tipo elettrofisiologico/meccanico acquisiti dal sistema definito al punto 1 giustificando le scelte progettuali.
3. Discuta le principali sorgenti di rumore/interferenza del caso applicativo specifico.
4. Per due delle sorgenti di rumore/interferenza, proponga una soluzione possibile per la sua riduzione riportandone i dettagli implementativi.

### Tema n. 3

Un impianto per il trattamento di acque reflue con fanghi attivi è composto da un reattore agitato aerato in cui la biomassa viene sospesa ed alimentata, e da un successivo sedimentatore in cui la biomassa viene separata dalla soluzione e in parte ricircolata nel reattore. L'impianto lavora a temperatura ambiente e pressione atmosferica. L'obiettivo dell'impianto è l'abbattimento di sostanze inquinanti biodegradabili.

Progettare l'impianto per trattare una portata di acqua di 1000 m<sup>3</sup>/h contenente 2000 mg/L di inquinanti biodegradabili, in modo tale da abbattere del 99% la concentrazione di inquinanti iniziale.

Nel progetto occorre effettuare le seguenti approssimazioni:

- La portata da trattare è sterile (la concentrazione di biomassa è pari a 0 mg/L).
- La produzione/crescita della biomassa avviene solamente nel reattore e non nel sedimentatore.
- La cinetica di produzione/crescita della biomassa, intesa come velocità di crescita per unità di biomassa (unità di misura h<sup>-1</sup>), ha la seguente espressione:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_S + S} - k_d$$

dove  $\mu_m$  è pari a 0.5 h<sup>-1</sup>,  $S$  è la concentrazione di inquinanti,  $K_S$  è pari a 90 mg/L e  $k_d$  è pari a 0.01 h<sup>-1</sup>.

- Si consideri che il consumo di inquinanti biodegradabili da parte della biomassa non abbia come unico effetto la produzione/crescita della biomassa, ma anche il suo sostentamento. Il coefficiente di resa (definito come rapporto fra velocità di produzione/crescita della biomassa e velocità di scomparsa di sostanze inquinanti) è pari al 50%.
- Si assuma che il sedimentatore abbia la capacità di concentrare la biomassa di 4 volte (in massa) rispetto alla corrente entrante nel sedimentatore.

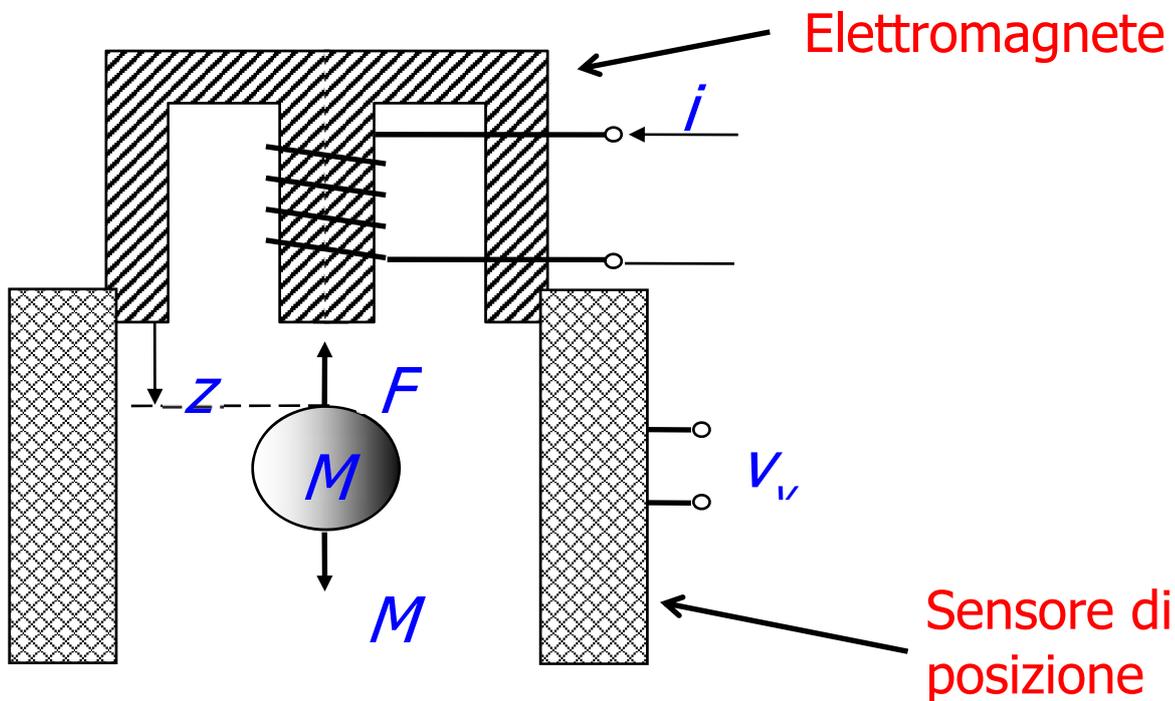
Nella stesura del progetto, il candidato deve:

- Redigere lo schema di processo.
- Riportare le composizioni e portate di ciascuna corrente.
- Dimensionare il reattore e valutare la potenza assorbita all'agitatore per garantire che ci sia allo stato stazionario almeno il 20% dell'ossigeno disciolto che si avrebbe in condizione di equilibrio termodinamico.
- Fornire uno schema di massima del sistema di controllo dell'impianto, indicando il tipo di controllore più opportuno per ciascuno ciclo di regolazione.

Qualunque eventuale assunzione effettuata dal candidato nello svolgimento del tema deve essere riportata esplicitamente e giustificata opportunamente.

#### Tema n. 4

Si consideri il sistema di levitazione magnetica rappresentato in figura, in cui una pallina di massa  $M$  è mantenuta in sospensione dalla Forza  $F$  generata dall'elettromagnete il cui campo magnetico è regolato modulando opportunamente la corrente  $i$ . La posizione verticale  $z$  della pallina è misurata da un opportuno sensore ottico di posizione e trasdotta in un corrispondente valore di tensione elettrica  $V_y$ .



Linearizzando le equazioni che descrivono il sistema intorno ad un opportuno punto di equilibrio, si ottiene la seguente funzione di trasferimento che descrive, in termini di trasformate di Laplace, la relazione matematica tra la variabile di comando (ingresso)  $i$  e la variabile controllata (uscita)  $V_y$ ,

$$G_{-p}(s) = \frac{V_y(s)}{i(s)} = \frac{K}{(s-p)(s+p)}$$

dove:

$$K = -7600$$

$$p = 30$$

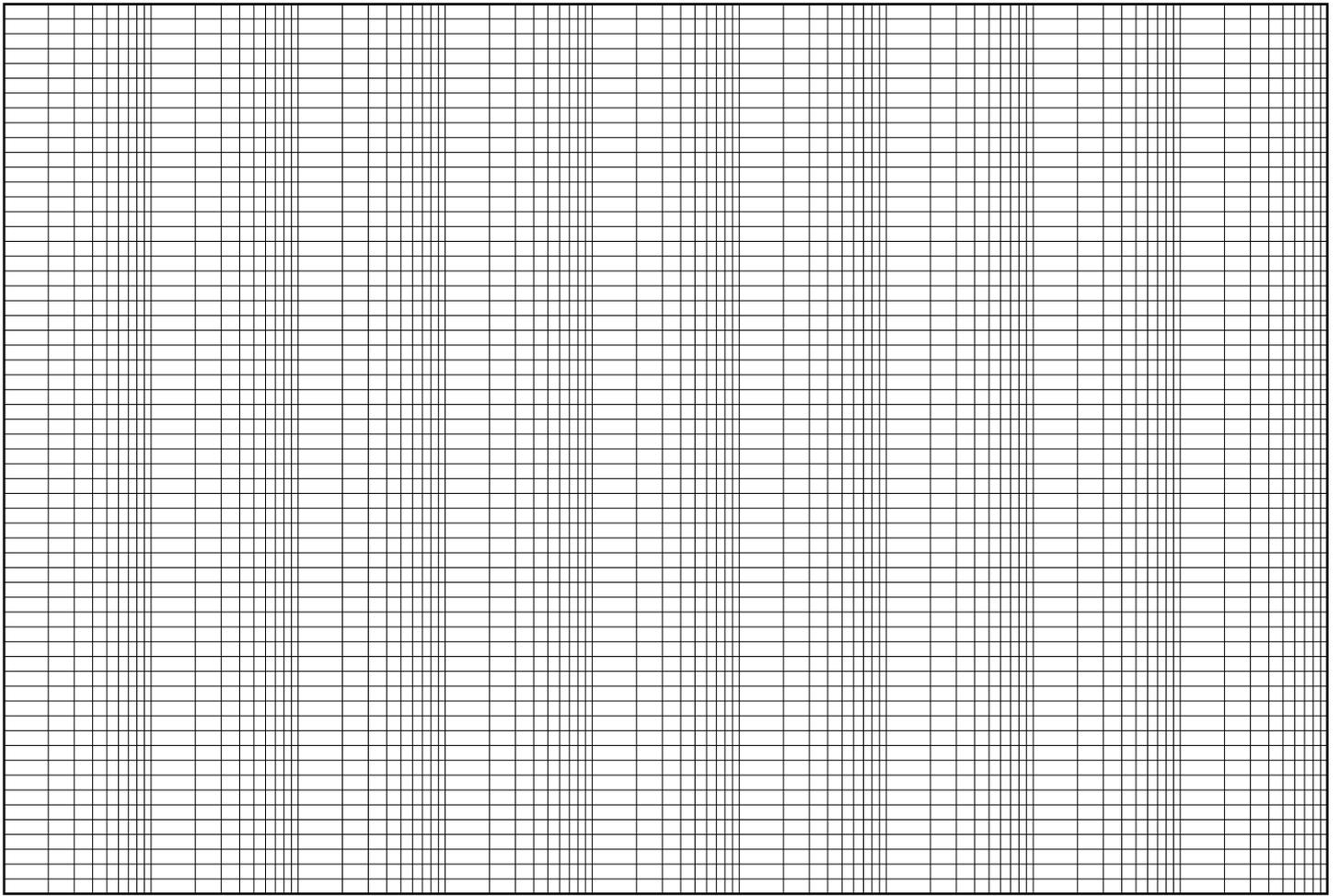
Si richiede al candidato di progettare un opportuno sistema di controllo che, agendo sul segnale di comando  $i$ , regoli il comportamento della variabile controllata  $V_y$  in modo tale che vengano soddisfatti i seguenti requisiti di prestazione:

- Stabilità del sistema controllato
- Errore di inseguimento nullo a fronte di riferimenti a gradino
- Errore di inseguimento nullo a fronte di disturbi costanti additivi sull'uscita

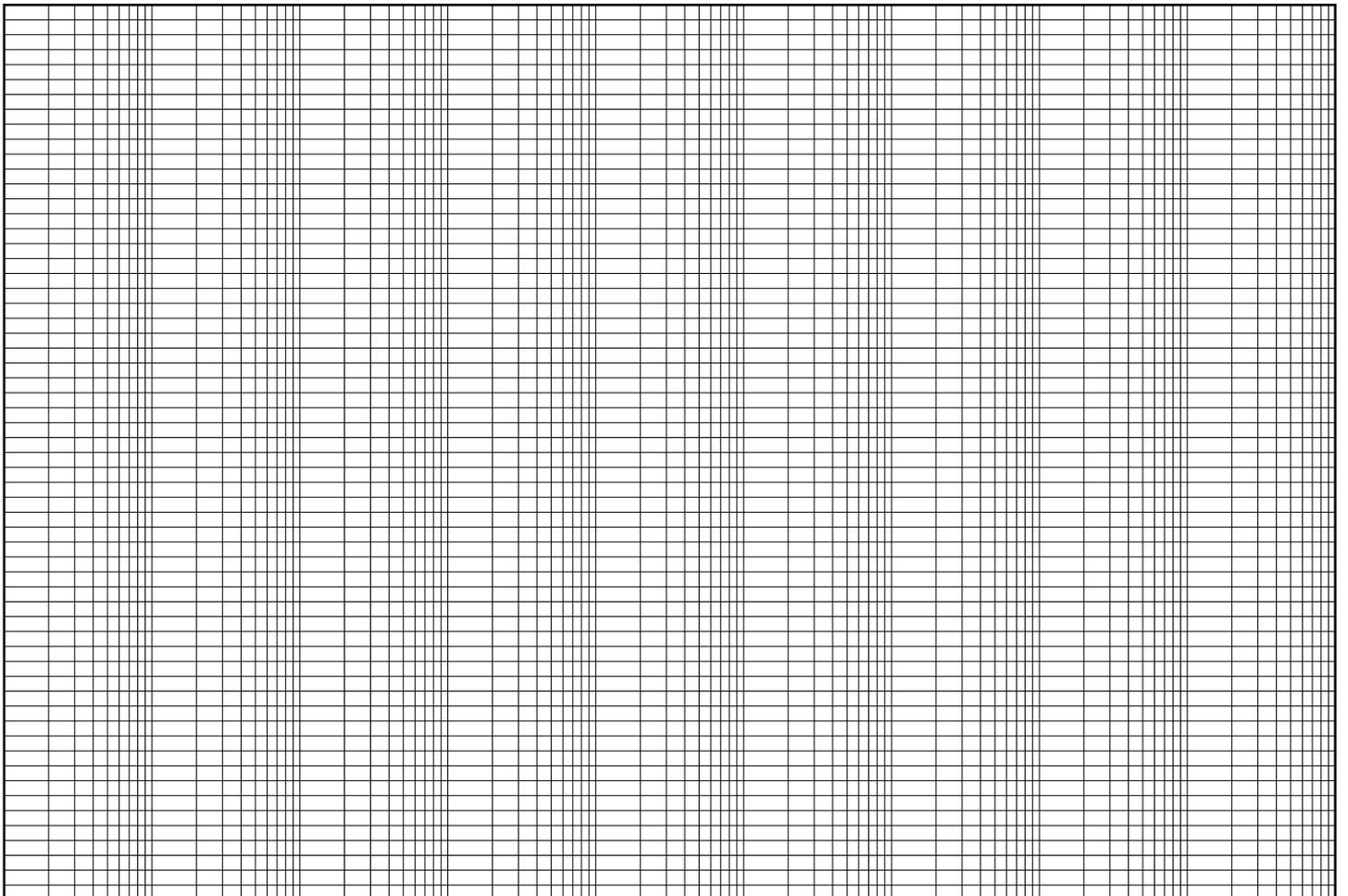
#### NOTE PER IL CANDIDATO:

- Il candidato è libero di proporre la struttura di controllo che ritiene più adeguata.
- Il candidato è libero di scegliere una qualsiasi tecnica di progetto del sistema controllo, purché adeguata alla soluzione del problema.
- L'eventuale tracciamento di diagrammi di Bode e/o di Nichols può essere svolto sugli appositi fogli forniti in allegato oppure direttamente sui fogli protocollo utilizzati per lo svolgimento del tema d'esame.

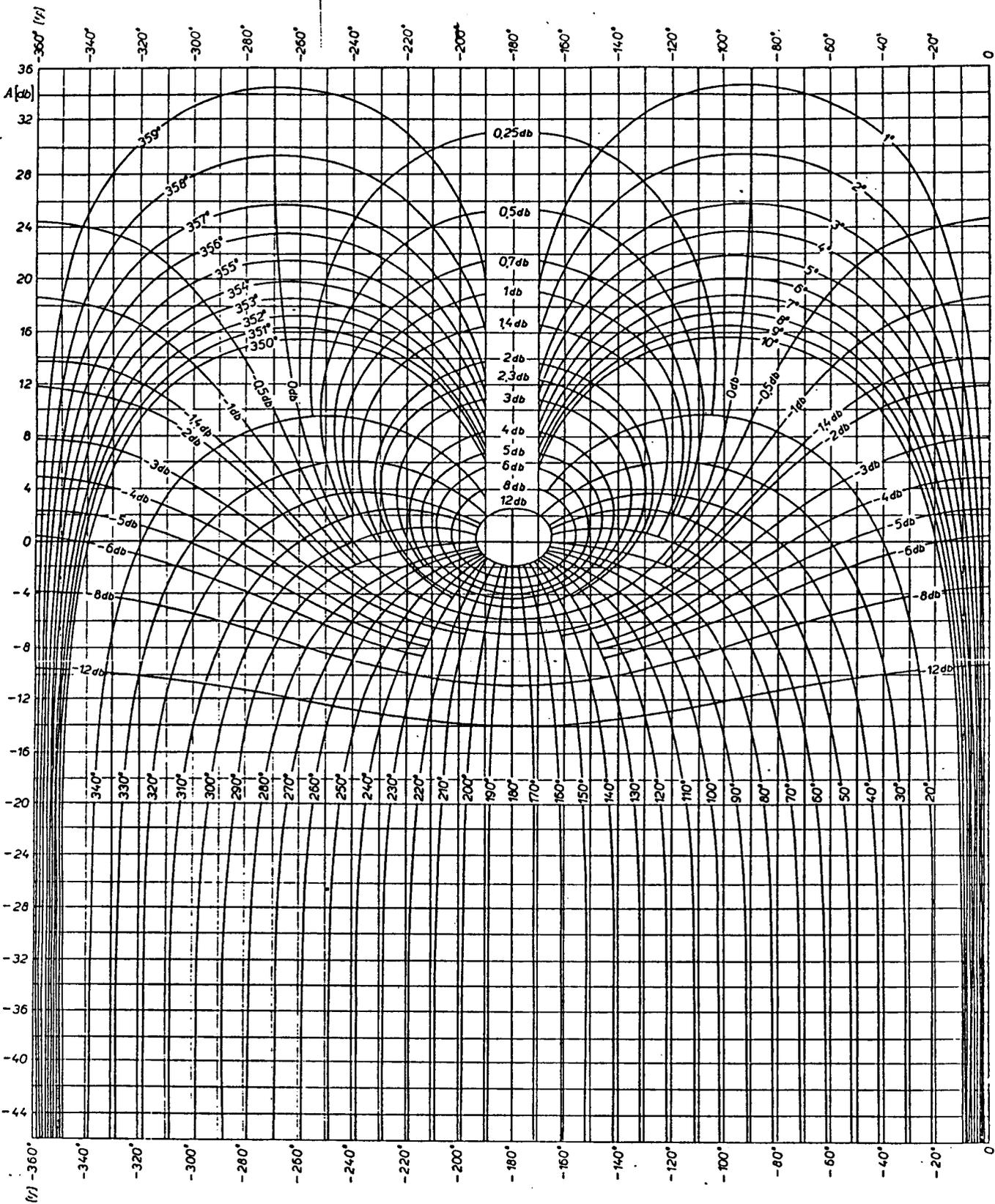
Carta semilogaritmica a 9 decadi



Pulsazione

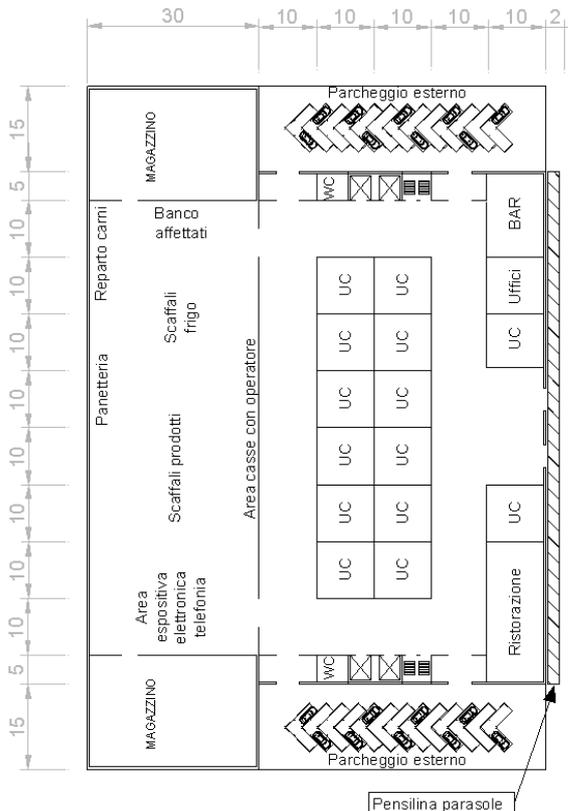


Pulsazione



## Tema n. 5

Si consideri un centro commerciale costituito da un piano terra, rappresentato in figura (quote in metri), e da un piano interrato costituito per i 2/3 della superficie (quella totale del piano terra) da parcheggio e per 1/3 della superficie da locali tecnici (centrale termica, centrale frigo, locali elettrici). Il piano terra include una zona (tra i due magazzini) adibita a supermercato, una zona centrale adibita a negozi/unità commerciali (UC), una zona, adiacente all'ingresso principale, contenente bar, area ristorazione, due unità commerciali ed un ufficio amministrativo. In prossimità degli ingressi laterali, che danno sui parcheggi esterni, vi sono i servizi igienici, scale e ascensori (in totale 4) per l'accesso al piano interrato.

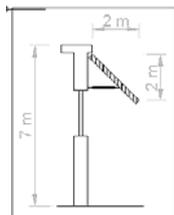


La zona supermercato è caratterizzata dalla presenza di:

- area esposizione/vendita di prodotti elettronici (inclusi piccoli elettrodomestici) e telefonia, con espositori e banchi test di potenza totale pari a 15 kW;
- area scaffali per esposizione/vendita dei prodotti per la casa ed alimentari;
- panetteria/prodotti da forno, in cui vi sono 3 forni di potenza 10 kW ciascuno;
- scaffali frigo con 12 unità da 3 kW ciascuna;
- reparto carni/macelleria con banco frigo da 4 kW ed annesso locale frigo da 6 kW;
- banco affettati da 2 kW con annessa cella frigo da 3 kW;
- 25 casse a nastro, con operatore, di potenza pari a 1 kW per postazione.

Sono noti i dati relativi alla fornitura elettrica MT nel *punto di consegna*:

- $V_n = 20$  kV trifase 50Hz neutro isolato
- $S_{cc} = 350$  MVA (potenza di cocto)
- $I_F = 200$  A (corrente di guasto fase-terra)
- $t = 0,5$  s (tempo di eliminazione del guasto fase-terra).



Pensilina parasole vista in sezione

Sulla facciata esposta a sud dell'edificio (alto 7 m), è presente una pensilina parasole in metallo, installata nella parte alta, in corrispondenza della finestrazione (si veda la vista in sezione riportata in figura), con struttura metallica atta ad alloggiare moduli fotovoltaici.

Il centro commerciale si trova in una località in grado di ricevere una radiazione solare annua pari a  $1200 \text{ kWh/m}^2$ , sul piano orizzontale.

Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive che ritiene necessarie, proceda allo svolgimento dei seguenti punti:

1. Stima del carico convenzionale e della potenza di progetto del centro commerciale.
2. Schema a blocchi dell'impianto di distribuzione primaria (quadri generali, quadri di zona/reparto, trasformatore/i, altre sorgenti di alimentazione).
3. Dimensionamento della cabina elettrica di trasformazione e delle apparecchiature di manovra e protezione.
4. Schema unifilare di cabina, comprensivo dei quadri generali MT e BT, inclusa l'eventuale sezione dell'alimentazione d'emergenza, con indicazione delle principali caratteristiche elettriche dei componenti scelti.
5. Dimensionamento delle condutture, che alimentano i quadri di zona/reparto, coordinate con i relativi dispositivi di protezione disposti nel quadro generale BT.
6. Dimensionamento del sistema di rifasamento e delle relative protezioni.
7. Definizione delle caratteristiche dell'impianto di terra dello stabilimento, assumendo una resistività del terreno pari a  $100 \Omega\text{m}$ .
8. Progetto dell'impianto fotovoltaico connesso alla rete, con moduli disposti sulla pensilina parasole disponibile.

## Tema n. 6

Si deve climatizzare, nella stagione estiva, un'aula in grado di ospitare la presenza simultanea di 100 studenti, utilizzando un impianto a tutt'aria con ricircolo.

Il massimo carico termico sensibile giornaliero è 22 kW ed è stato ottenuto in base alle seguenti condizioni climatiche di progetto:

- esterne, 32°C la temperatura a bulbo secco e 60% l'umidità relativa;
- interne, 25°C la temperatura a bulbo secco e 50% l'umidità relativa.

Dall'aula, ovviamente, bisogna asportare la portata di vapor d'acqua introdotta dalla presenza simultanea degli studenti:  $\dot{m}_v = 10 \text{ kg/h}$  [corrispondente al carico termico latente e pari a circa  $100 \text{ g}/(\text{h} \cdot \text{persona})$ ]; inoltre per ragioni igieniche legate alla qualità dell'aria, bisogna introdurre una portata d'aria esterna di rinnovo  $\dot{m}_e = 5000 \text{ kg/h}$  [ $\approx 40 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{persona})$ , poco più di quella strettamente necessaria];

infine, per quanto riguarda la temperatura dell'aria di immissione in ambiente si suggerisce di porla pari a  $t_i = 17^\circ\text{C}$ .

Il candidato schematizzi l'impianto (a tutt'aria con ricircolo), in particolare l'UTA (unità di trattamento aria) commentando brevemente i vari componenti.

In ragione del fattore di by-pass che ipotizza per la batteria fredda, tracci, sul diagramma di Mollier allegato, le trasformazioni subite dall'aria umida, determini le potenze termiche necessarie al raffreddamento e deumidificazione e al post-riscaldamento, nonché la portata d'acqua  $\dot{m}_h$  di condensazione; infine compili una tabella che riporti, per ogni stato termodinamico, temperatura di bulbo secco, temperatura di bulbo umido, temperatura di rugiada, umidità relativa, entalpia e titolo.

Stimi le dimensioni di ingombro dell'UTA, del (principale) canale di mandata ed inoltre dimensioni la batteria di scambio termico alettata di post riscaldamento (batteria del tipo  $25 \times 19 - 12$  alette  $\times 1''$ ), utilizzando il diagramma allegato fornito dal costruttore e facendo delle ipotesi realistiche sulle temperature dell'acqua calda di alimento.

La produzione di acqua refrigerata avviene mediante una macchina frigorifera avente come fluido frigorifero l'R134a, del quale viene fornito in allegato il diagramma termodinamico.

Facendo delle ipotesi realistiche sulle temperature di evaporazione e di condensazione del fluido frigorifero, nonché sul rendimento isentropico di compressione, il candidato tracci il diagramma termodinamico del ciclo frigorifero, stimi la potenza elettrica assorbita dalla macchina frigorifera ed inoltre compili una tabella che riporta pressione, temperatura ed entalpia dei capi saldi del ciclo.

La produzione di acqua calda per la batteria di post riscaldamento può avvenire mediante un generatore di calore a condensazione, allacciandosi ad una rete di teleriscaldamento o sfruttando la potenza termica disponibile al condensatore della macchina frigorifera.

In quest'ultima ipotesi, il candidato illustri come dovrà essere modificato il circuito idraulico della macchina frigorifera affinché possa funzionare correttamente.

Stimare la potenza termica al focolare dell'eventuale generatore di calore e le dimensioni di ingombro dello scambiatore di calore a piastre nella eventuale sottostazione servita dalla rete di teleriscaldamento.

Confrontare i tre casi dal punto di vista economico e dal punto di vista della produzione di gas climalteranti.

Per semplicità nel confronto economico si utilizzino tariffe monomie quali ad esempio le seguenti:

0,90	€/m <sup>3</sup>	per il gas naturale
150	€/MWh	per l'energia elettrica
80	€/MWh	per l'energia termica da teleriscaldamento.

# BATTERIA DI SCAMBIO TERMICO ALETTATA UTILIZZATA NELL'UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA

GEOMETRIA 25 \* 19 12 ALETTE PER 1"

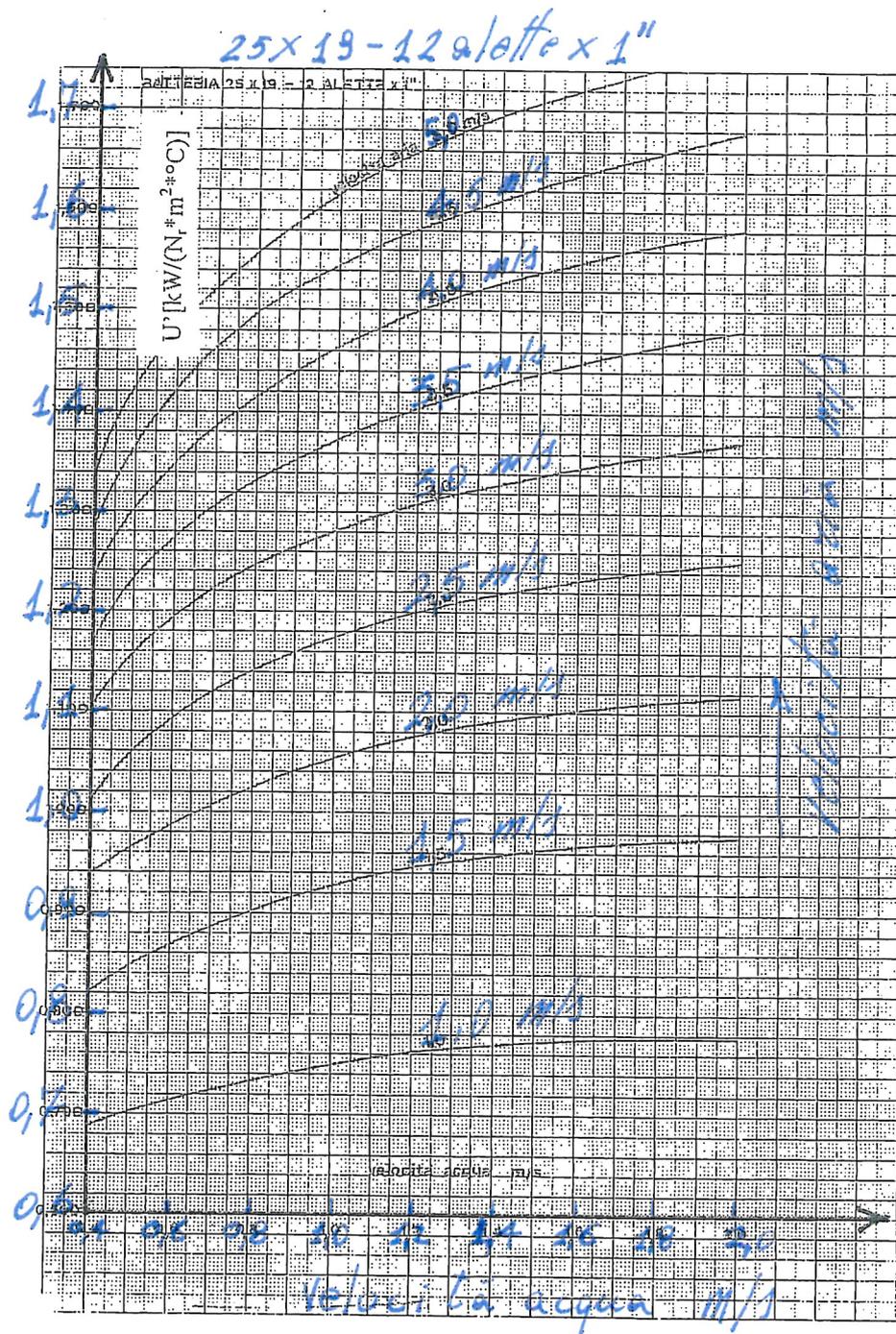


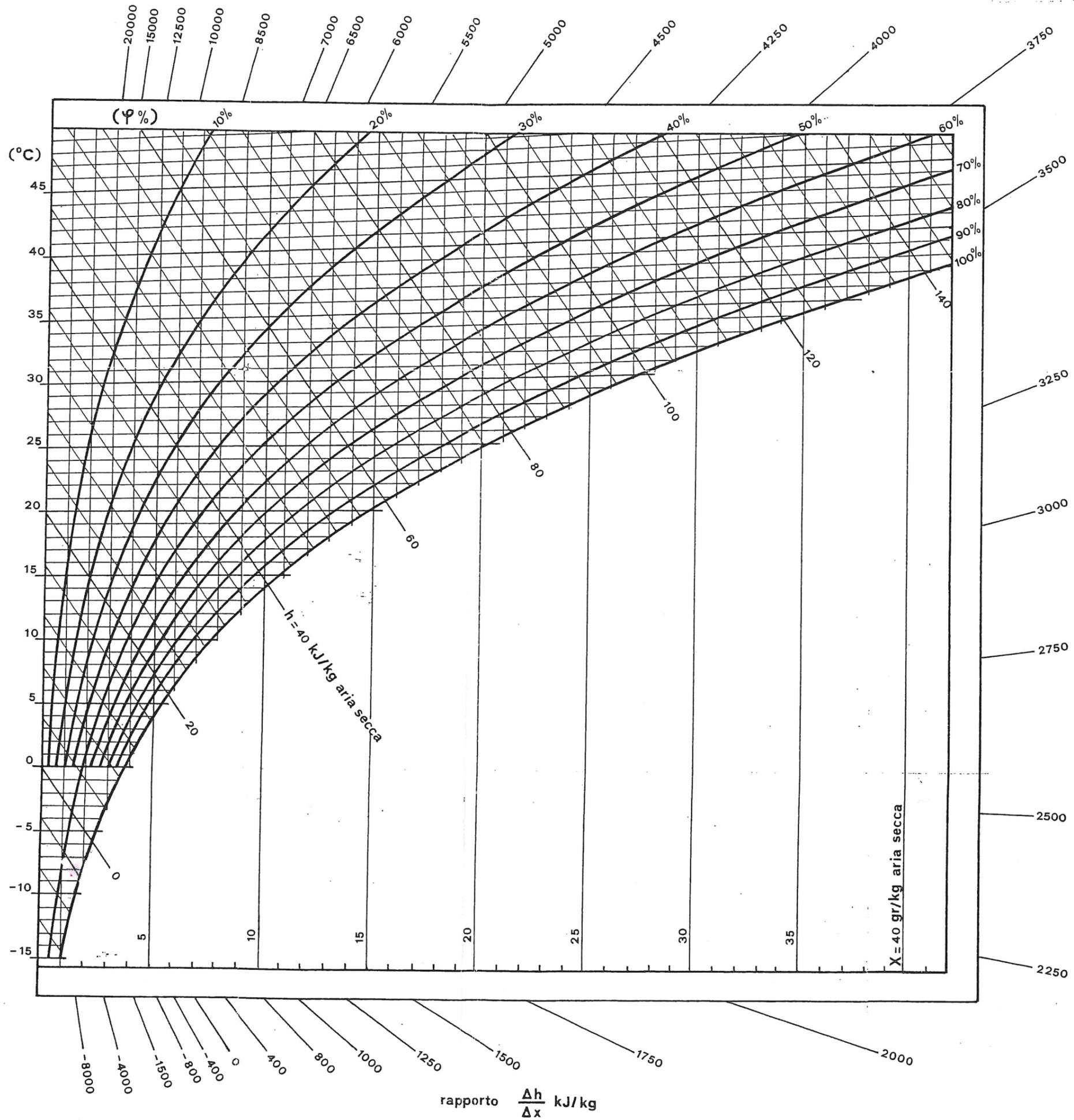
Diagramma fornito dal costruttore.

Il diagramma riporta il coefficiente di scambio termico globale  $U'$  [ $\text{kW}/(\text{Nr} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ] in funzione della velocità dell'acqua per varie velocità frontali dell'aria.

- $\text{Nr}$  rappresenta il numero dei ranghi della batteria;
- $\text{m}^2$  è l'unità di misura dell'area frontale della batteria;
- $^\circ\text{C}$  è l'unità di misura della differenza di temperatura media logaritmica supponendo che i due fluidi siano in controcorrente.

DIAGRAMMA PSICROMETRICO

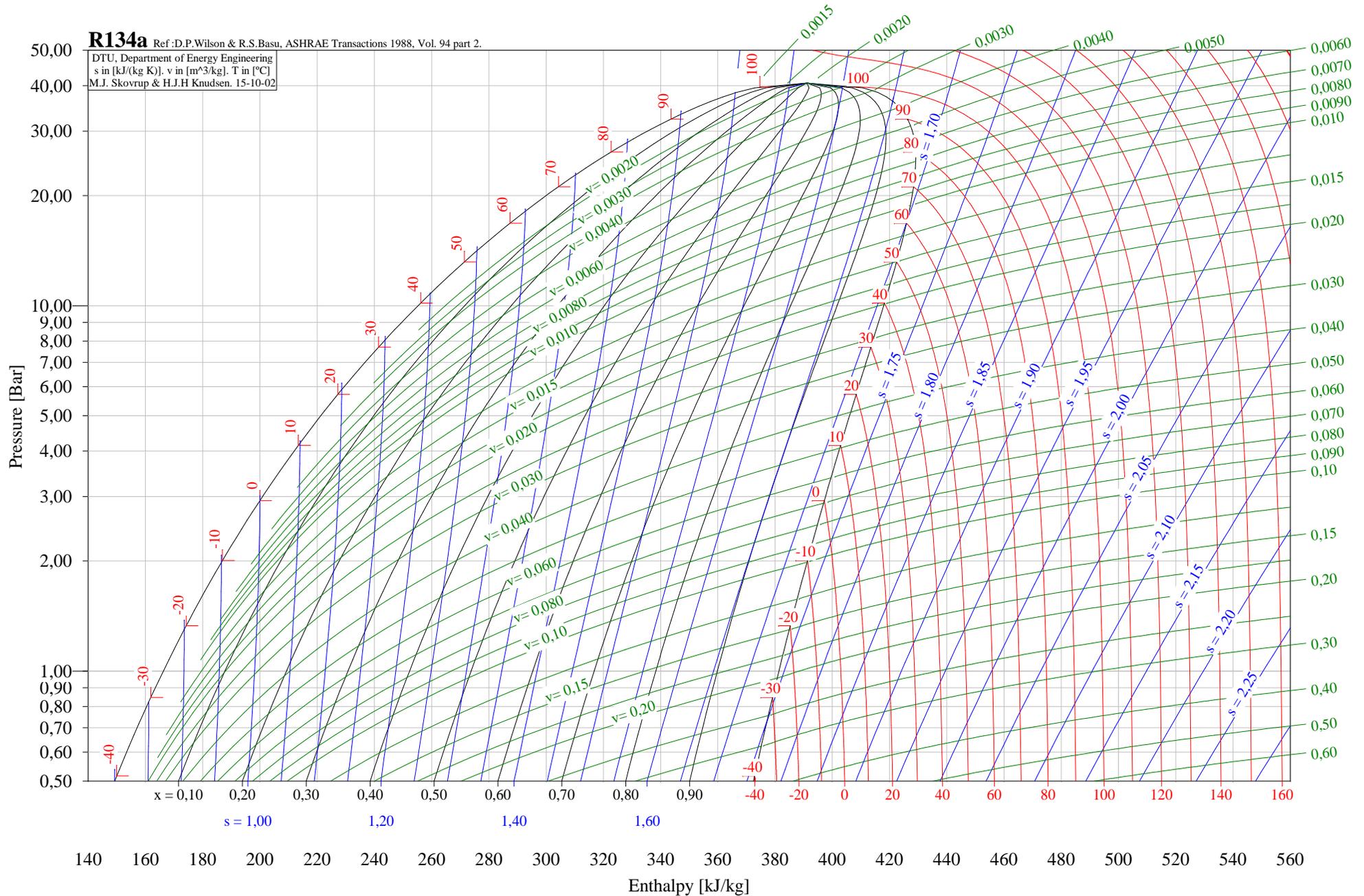
PRESSIONE 1,013 bar



# 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 [m<sup>3</sup>/kg], T in [°C]  
M.J. Skovrup & H.J.H Knudsen. 15-10-02



## Tema n. 7

# STUDIO DI FATTIBILITÀ PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI COMPONENTISTICA MECCANICA

### 1. Introduzione

È richiesto al Candidato lo sviluppo di uno studio di fattibilità finalizzato alla progettazione preliminare di un impianto industriale per la produzione di componenti in lega di alluminio per l'industria automobilistica e motociclistica. In particolare, l'impianto realizzerà bracci sospensione, rinvii ammortizzatore, porta iniettori, staffe motore e leve sospensione.

Complessivamente, lo stabilimento comprenderà un impianto di produzione completamente attrezzato, magazzini materie prime, semilavorati, prodotti finiti, e dei materiali ausiliari (NON OGGETTO DELLA PRESENTE PROVA), nonché servizi generali di stabilimento (es: uffici, mensa, infermeria, area attrezzeria, ecc.).

### 2. Quesiti

Sulla base delle informazioni contenute nei seguenti paragrafi, si richiede al Candidato di:

- proporre il miglior tipo di layout per l'area di produzione e argomentare la scelta.;
- proporre un programma di produzione settimanale che indichi in ciascun turno quali componenti sono sottoposti a lavorazione;
- calcolare il numero di macchine operatrici necessarie per soddisfare la produzione richiesta, in base al programma di produzione definito al punto precedente;
- indicare le tipologie di mezzi di movimentazione interna necessari per spostare le materie prime/i semilavorati/i prodotti finiti dal magazzino materie prime all'area di produzione, all'interno dell'area di produzione, e da questa al magazzino prodotti finiti. Motivare adeguatamente le scelte effettuate. Non è richiesto il dimensionamento di detti sistemi di movimentazione;
- eseguire il dimensionamento dei servizi generali di stabilimento indicati al Paragrafo 9 e sceglierne l'ubicazione rispetto all'area produttiva, motivandone la scelta. In particolare, si richiede di definire la loro dislocazione e superficie, senza eseguire la progettazione degli spazi interni;
- produrre uno schema a blocchi che mostri un layout di massima dello stabilimento comprendente la posizione delle macchine operatrici, dei sistemi di movimentazione interna, dei corridoi principali dello stabilimento e dei servizi generali di stabilimento. Tale layout dovrà essere realizzato su foglio protocollo a quadretti e dovrà essere rappresentato in una opportuna scala. Inoltre, dovrà recare indicazione delle principali quote o dei valori di superficie più importanti;
- valutare il Payback Period dell'investimento nel nuovo impianto industriale sulla base delle informazioni dettagliate al Paragrafo 10;
- stendere una Work Breakdown Structure (WBS) per il progetto di realizzazione dello stabilimento in oggetto a partire dalla lista delle attività presente al Paragrafo 11.

Effettuare le opportune assunzioni per tutte le informazioni non presenti in questo documento.

### 3. Descrizione del prodotto e dei cicli di lavorazione

Figura 1 mostra alcuni esempi di bracci sospensione, rinvii ammortizzatore, porta iniettori, staffe motore e leve sospensione.

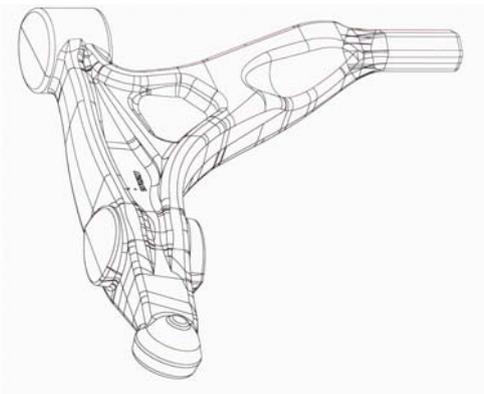


Figura 1.a Braccio sospensione



Figura 1.b Rinvio ammortizzatore

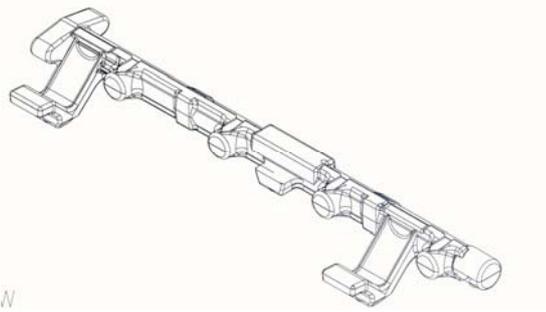


Figura 1.c Porta iniettori



Figura 1.d Staffa motore

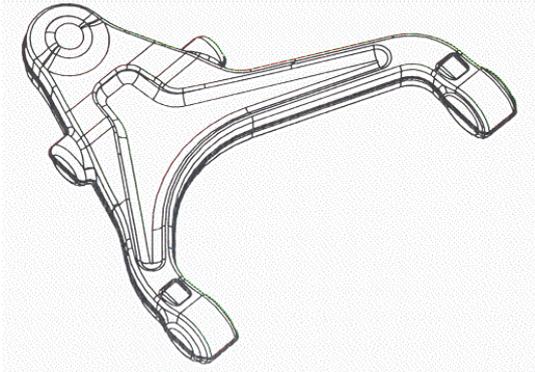


Figura 1.e Leva sospensione

Questi componenti sono realizzati tramite forgiatura. La forgiatura di componenti in lega di alluminio è una tecnica di produzione tradizionale ampiamente applicata in molti settori, come quello aerospaziale, ciclo e motociclo e autoveicolistico. Lo stampaggio a caldo (forgiatura) si ottiene per deformazione plastica del materiale mediante stampi che impongono una forma delimitata e precisa al materiale interposto, dopo che questo è stato reso malleabile mediante riscaldamento.

Le operazioni realizzate nella produzione allo studio sono le seguenti:

- ricevimento materia prima in barre ed immagazzinamento;
- taglio della materia prima in spezzoni di barra;
- preriscaldamento + sbazzatura;
- preriscaldamento + stampaggio;
- tranciatura della bava di stampaggio;
- trattamento termico (tempra + rinvenimento). REALIZZATO DA UN FORNITORE ESTERNO: le spedizioni di semilavorati al fornitore possono essere giornaliere, lead time del fornitore pari a 3 giorni lavorativi;
- granigliatura;
- collaudo finale;
- immagazzinamento prodotti finiti.

Le macchine da utilizzare (vedere anche Paragrafo 6) sono le seguenti:

- Segatrice barre
- Forno a gas
- Pressa meccanica
- Pressa a tranciare
- Granigliatrice
- Banco di collaudo

Tabella 1 riporta alcune informazioni relative ai materiali utilizzati, alle dimensioni e al peso dei componenti. In particolare, le voci Diametro e Lunghezza si riferiscono alla billetta di partenza per la produzione di un'unità di componente. La voce Peso Lordo è relativa al peso del componente prima dell'operazione di tranciatura della bava, mentre il Peso Netto rappresenta il peso del componente dopo l'operazione di tranciatura della bava.

Componente		Diametro [mm]	Lunghezza [mm]	Materiale	Peso Lordo [kg/unità]	Peso Netto [kg/unità]
A	Braccio sospensione	120	306	ALMgSi1	9,34	2,80
B	Rinvio ammortizzatore	76	128	ALMgSi0.5	1,56	0,60
C	Porta iniettori	35	370	AlMg3	0,95	0,50
D	Staffa motore	60	155	AlMgSi1	1,20	0,75
E	Leva sospensione	53	535	AlMgSi1	3,20	0,70

Tabella 1. Dimensioni e peso

Tabella 2 illustra il ciclo di lavorazione per ogni singolo componente, unitamente alla richiesta di manodopera.

N .OP	N. Operatori/turno	Operazione	Macchina	Componente				
				A	B	C	D	E
10	1/2 operatori per macchina	Taglio della materia prima in spezzoni di barra	Segatrice barre	Tutti i componenti				
20	1 operatore per macchina	Preriscaldamento + sbozzatura	Forno a gas + pressa 2.000 t	X	X	X	-	X
30	1 operatore per macchina	Preriscaldamento + stampaggio	Forno a gas + pressa 1.600 t	Tutti i componenti				
40	1 operatore per macchina	Tranciatura della bava	Pressa a tranciare	Tutti i componenti				
50	-	Trattamento termico ( <i>presso fornitore</i> )	-	X	X	-	X	X
60	1 operatore per tutte le macchine	Granigliatura	Granigliatrice	X	X	-	-	X
70	1 operatore per banco	Collaudo finale	Banco di collaudo	Tutti i componenti				

Tabella 2. Ciclo di lavorazione e fabbisogno di personale

#### 4. Produzione richiesta

Tabella 3 riporta il volume di produzione annuo richiesto per ciascun componente:

COMPONENTE	VOLUME PRODUTTIVO [unità/anno]
Braccio sospensione	938.800
Rinvio ammortizzatore	608.520
Porta iniettori	438.130
Staffa motore	213.850 (primo investimento)
	400.000 (secondo investimento)
Leva sospensione	111.270 (primo investimento)
	300.000 (secondo investimento)

Tabella 3. Volume produttivo richiesto

Laddove vengono indicati i valori di "primo investimento" e di "secondo investimento" significa che l'azienda inizialmente si doterà di un quantitativo di macchine operatrici atte a soddisfare il volume produttivo di primo investimento. Tuttavia si prevede che nel medio periodo la produzione richiesta salga al valore di secondo investimento. *Pertanto, il layout di stabilimento dovrà già prevedere le aree destinate ad ospitare in futuro le macchine aggiuntive necessarie per soddisfare la produzione di secondo investimento.*

Le attività produttive si svolgeranno su 270 giorni all'anno, 6 giorni alla settimana, 3 turni da lunedì a venerdì, 2 turni il sabato, per un totale di 17 turni/settimana. Ogni turno è composto da 7,5 ore lavorative.

#### 5. Materie prime

Le materie prime vengono acquistate in forma di fasci di barre tonde in lega di alluminio (Figura 2) con diversi diametri in base al componente da produrre e lunghezza standard pari a 6 metri. Ogni fascio ha un peso massimo pari a 1.500 kg.



Figura 2. Esempi barre

## 6. Attrezzature di produzione

Tabella 4 fornisce gli ingombri massimi delle macchine operatrici da considerare nel presente studio:

MACCHINA	DIMENSIONI [mm]
Segatrice barre	7.200*1.850*1.735 (h)
Forno a gas	7.000*2.300*3.000 (h)
Pressa meccanica	1.950*1.500*2.850 (h)
Pressa a tranciare	810*700*2.230 (h)
Granigliatrice	3.800*3.500*2.300 (h)
Banco di collaudo	2.000*1.000*1.000 (h)

Tabella 4. Dimensioni macchine

Tabella 5 riporta la produttività oraria per ogni macchina. Si consideri un tasso di rendimento dell'impianto pari a 90%. Inoltre, ciascuna operazione del ciclo produttivo (ad eccezione del preriscaldamento e incluso il trattamento termico presso fornitore) è soggetta ad un tasso medio di scarto pari a 2%.

N. OP	MACCHINA/OPERAZIONE	PRODUTTIVITÀ ORARIA [unità/h]				
		A	B	C	D	E
10	Segatrice barre (Taglio materia prima)	50	220	285	190	200
20 a	Forno a gas (Preriscaldamento)	20	140	110	-	50
20 b	Pressa meccanica 2.000 t (Sbozzatura)	20	140	110	-	50
30 a	Forno a gas (Preriscaldamento)	50	170	110	150	60
30 b	Pressa meccanica 1.600 t (Stampaggio)	50	170	110	150	60
40	Pressa a tranciare (Tranciatura della bava)	75	250	250	260	170
50	Trattamento termico ( <i>presso fornitore</i> )	-	-	-	-	-
60	Granigliatrice	120	60	-	-	200
70	Collaudo Finale	45	330	120	190	300

Tabella 5. Produttività macchine

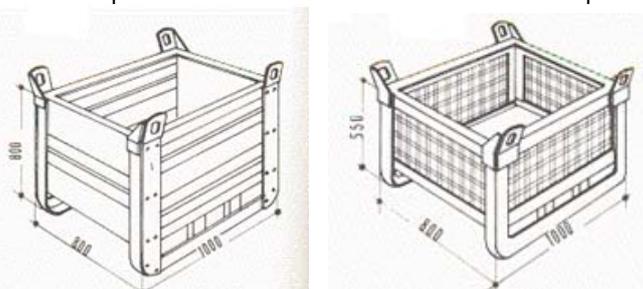
## 7. Postazioni di lavoro

Per il dimensionamento di massima delle postazioni di lavoro si consideri:

- Corridoio pedonale a senso unico: larghezza minima 600 mm.
- Corridoio pedonale a due sensi di marcia: larghezza minima 1.200 mm.
- Spazio libero attorno alle macchine per consentire interventi di manutenzione e riparazione: 1.000 mm tutto attorno al contorno della macchina.

## 8. Unità di carico

La movimentazione dei semilavorati e dei prodotti finiti avverrà tramite contenitori del tipo illustrato in Figura 3.



Contenitore	Dimensioni esterne [mm]	Tara nominale [kg]
Contenitore in metallo	1.000 x 800 x 800 (h)	40
Contenitore in acciaio inossidabile	1.000 x 800 x 550 (h)	34

Figura 3. Esempi e caratteristiche contenitori

Tabella 6 presenta il numero massimo di componenti che possono essere inseriti in ogni singolo contenitore in uscita da ciascuna delle operazioni del ciclo di lavorazione.

Operazione	Taglio materia prima	Preriscaldamento + Sbozzatura	Preriscaldamento + Stampaggio	Tranciatura bava	Granigliatura e Collaudo finale
Contenitore	Contenitore in metallo	Contenitore in metallo	Contenitore in metallo	Contenitore in acciaio inossidabile	Contenitore in acciaio inossidabile
Componente	Numero di unità per contenitore				
Braccio sospensione	80	65	150	35	35
Rinvio ammortizzatore	320	250	420	166	166
Porta iniettori	520	420	330	200	200
Staffa motore	415	330	450	133	133
Leva sospensione	156	125	180	142	142

Tabella 6. Numero di unità per contenitore

Qualora si decidesse di collegare due operazioni del ciclo con un trasportatore di tipo meccanico (es: nastro trasportatore, trasportatore a rulli, ecc.), i relativi contenitori indicati in Tabella 6 non verranno utilizzati.

I semilavorati vengono inviati al fornitore che esegue il trattamento termico entro gli stessi contenitori in acciaio inossidabile in uscita dall'operazione di tranciatura della bava.

### 9. Servizi generali di stabilimento

Dovranno essere previsti i seguenti servizi generali di stabilimento (Tabella 7):

SERVIZIO	SUPERFICIE [m <sup>2</sup> ]
Attrezzatura e manutenzione	250
Deposito stampi	50
Aree ricarica carrelli elevatori	20
Entrata principale edificio	50
Uffici	25/addetto indiretto
Spogliatoi	1,6/addetto diretto
Servizi igienici	0,25/addetto
Sala mensa	1,6/addetto
Area ristoro	30
Infermeria	50
Uffici dei supervisori dell'area produttiva	9/addetto

Tabella 7. Dimensionamento servizi generali di stabilimento

Ai fini del dimensionamento dei servizi generali di stabilimento, si consideri la presenza di un supervisore per ogni linea, reparto produttivo o isola di lavorazione, in aggiunta agli operatori addetti alle macchine indicati in Tabella 2.

Si consideri inoltre gli addetti indiretti pari al 20% del numero totale degli addetti diretti sui vari turni calcolati in base a Tabella 2.

### 10. Informazioni economiche

Valutazioni economiche di massima circa l'entità dell'investimento nella costruzione del nuovo stabilimento produttivo hanno portato ai seguenti risultati (Tabella 8):

VOCE INVESTIMENTO	VALORE ECONOMICO [€]
Macchine operatrici	<i>Da valutare sulla base del numero di macchine calcolato e del costo unitario di acquisto in Tabella 11. Si consideri soltanto il primo investimento</i>
Acquisto terreno e costruzione fabbricato	15.000.000
Mezzi di movimentazione interna	1.700.000
Sistemi di stoccaggio	251.000
Elementi accessori del fabbricato (es: porte, portoni, baie di carico e scarico, griglie di protezione, ecc.)	567.000

Tabella 8. Principali voci economiche dell'investimento

Si assuma che il tempo di costruzione dello stabilimento sia pari a due anni.

Tabella 9 mostra una stima dei ricavi e dei costi operativi previsti annualmente per l'impianto in questione:

VOCE DI RICAVO/COSTO	VALORE ECONOMICO [€/anno]
Ricavi delle vendite	<i>Da calcolare in base a Tabella 10. Si consideri soltanto il primo investimento</i>
Costo dei materiali di produzione	6.000.000
Costo della manodopera	2.000.000
Costi indiretti di produzione	1.120.000
Costi generali e amministrativi	1.800.000

Tabella 9. Ricavi e costi operativi annui

La miglior stima disponibile del prezzo unitario di vendita di ciascun componente è fornita in Tabella 10. I valori s'intendono comprensivi del mark-up:

COMPONENTE	PREZZO UNITARIO DI VENDITA [€/unità]
Braccio sospensione	9,30
Rinvio ammortizzatore	4,70
Porta iniettori	14,20
Staffa motore	8,00
Leva sospensione	9,30

Tabella 10. Prezzi unitari di vendita dei componenti

MACCHINA	COSTO [€/unità]
Segatrice barre	305.400
Forno a gas	152.700
Pressa meccanica 2.000 t	1.504.200
Pressa meccanica 1.600 t	1.266.700
Pressa a tranciare	475.000
Granigliatrice	135.700
Banco di collaudo	100.000

Tabella 11. Stima costo unitario delle macchine operatrici

### 11. Gestione del progetto

Il progetto di realizzazione del nuovo stabilimento industriale si svilupperà secondo le seguenti attività (Tabella 12):

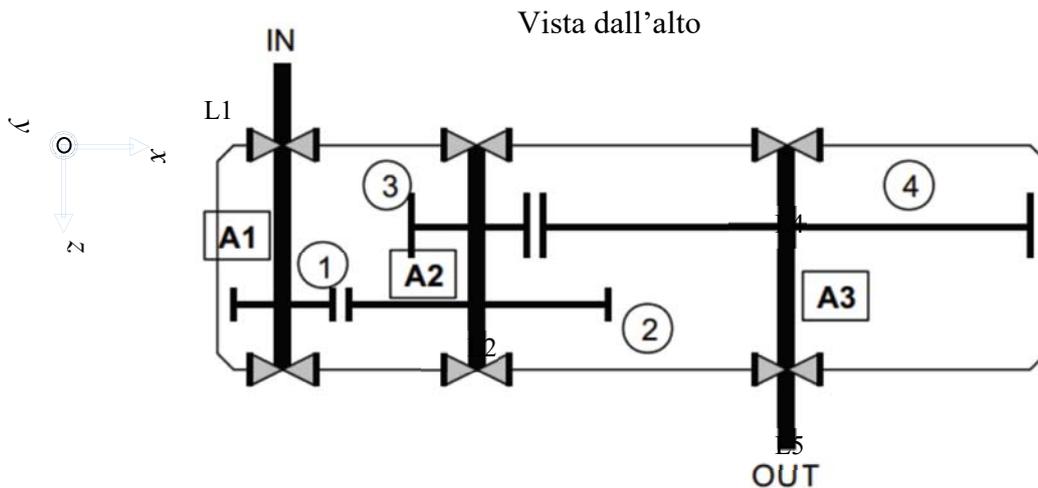
CODICE FASE/ATTIVITA'	NOME FASE/ATTIVITA'
0	FASE DI START-UP
0.1	Stipula contratto
0.2	Planning
1	FASE DI INGEGNERIA
1.1	Progettazione processo tecnologico
1.2	Progettazione layout
1.3	Progettazione impianti generali
1.4	Specifiche per sistema gestionale
1.5	Approvazione progetti da parte del committente
1.6	Sviluppo del sistema gestionale
2	FASE DI ACQUISTO
2.1	Richieste offerte dai fornitori macchine di processo e attrezzature
2.2	Ricevimento offerte dai fornitori macchine di processo e attrezzature
2.3	Trattative offerte
2.4	Assegnazione ordini macchine di processo e attrezzature
3	FASE DI FABBRICAZIONE MATERIALI (se non diversamente specificato, si intendono informazioni relative ad ogni singola macchina/sistema)
3.1	Segatrice barre
3.2	Forno a gas
3.3	Pressa meccanica 2.000 t
3.4	Pressa meccanica 1.600 t

3.5	Pressa a tranciare
3.6	Granigliatrice
3.7	Banco di collaudo
3.8	Sistemi di movimentazione e attrezzature varie (informazione complessiva per tutti i sistemi)
3.9	Scavalchi, griglie di protezione, ecc. (informazione complessiva per tutti gli scavalchi, griglie, ecc.)
4	<b>TRASPORTO (da fornitori a cantiere)</b>
5	<b>FASE DI LAVORI CIVILI</b>
5.1	Apertura cantiere con tracciamenti interni
5.2	Scavi e realizzazione fondazioni
5.3	Realizzazione strutture portanti
5.4	Realizzazione coperture
5.5	Realizzazione tamponature laterali
5.6	Realizzazione pavimentazioni
5.7	Realizzazione impianti vari
5.8	Finiture
6	<b>FASE DI INSTALLAZIONE E MONTAGGIO IN CANTIERE</b> (se non diversamente specificato, si intendono informazioni relative ad ogni singola macchina/sistema)
6.1	Segatrice barre
6.2	Forno a gas
6.3	Pressa meccanica 2.000 t
6.4	Pressa meccanica 1.600 t
6.5	Pressa a tranciare
6.6	Granigliatrice
6.7	Banco di collaudo
6.8	Sistemi di movimentazione e attrezzature varie (informazione complessiva per tutti i sistemi)
6.9	Scavalchi, griglie di protezione, ecc. (informazione complessiva per tutti gli scavalchi, griglie, ecc.)
6.10	Sistema gestionale
6.11	Pre-collaudo complessivo
7	<b>CONSEGNA DOCUMENTAZIONE AS-BUILT E MANUALI OPERATIVI</b>
8	<b>COLLAUDO GENERALE IMPIANTO</b>
9	<b>CONSEGNA DELL'IMPIANTO "CHIAVI IN MANO"</b>
10	<b>FASE DI MANAGEMENT</b>
10.1	Project Management
10.2	Management del cantiere

Tabella 12. Attività del progetto di realizzazione dello stabilimento

## Tema n. 8

Si consideri un riduttore di velocità a tre assi secondo lo schema seguente



Siano:

A1: albero di ingresso del riduttore, riceve la potenza dalla linguetta L1;

A2: albero secondario, riceve la potenza da Albero 1 tramite la Ruota 2 e la trasmette all'Albero 3 tramite la Ruota 3;

A3: albero di uscita del riduttore, riceve la potenza da Albero 2 tramite la Ruota 4 e la trasmette all'utilizzatore tramite la linguetta L5.

L1: linguetta albero di ingresso, riceve potenza dal motore;

L2: linguetta che collega Albero 2 e Ruota 2.

L4: linguetta che collega Albero 3 e Ruota 4.

L5: linguetta albero di uscita, trasmette la potenza all'utilizzatore;

La Ruota 1 è realizzata di pezzo sull'Albero 1; la Ruota 3 è realizzata di pezzo sull'Albero 2.

La Ruota 4 è calettata sull'Albero 3 con la Linguetta L4.

Il riduttore riceve una potenza di ingresso nominale  $P_e = 30$  kW alla velocità nominale  $n = 900$  giri/min. Il rapporto di trasmissione fra Ruota 1 e Ruota 2 deve essere  $\tau_{12} = 48/16$ , il rapporto di trasmissione fra Ruota 3 e Ruota 4 deve essere  $\tau_{34} = 60/18$ .

L'inerzia del motore elettrico  $J_M$  risulta pari a  $0.547$  kg m<sup>2</sup>, mentre quella relativa all'utilizzatore  $J_U$  pari a  $200$  kg m<sup>2</sup>.

Cuscinetti:

Gli Alberi A1 e A3 sono supportati da cuscinetti a rulli cilindrici a una estremità e da una coppia di cuscinetti a rulli conici all'altra estremità.

L'Albero A2 è supportato da una coppia di cuscinetti a rulli cilindrici a una estremità e da una coppia di cuscinetti a rulli conici all'altra estremità.

Alberi:

Gli alberi sono realizzati in acciaio da cementazione 16MnCr5 temprato e rinvenuto ( $R_m = 1060$  MPa,  $R_{eH} = 930$  MPa,  $\sigma_{D-1} = 700$  MPa, grado di qualità pari a 2, durezza superficiale pari a 700 HB).

Ruote dentate

Le ruote dentate sono di tipo cilindrico a dentatura elicoidale.

Le ruote sono realizzate in acciaio cementato e temprato Grado 2. Ai fini dell'impiego, si assumano temperature di funzionamento inferiori a 70 °C, coefficiente di stato superficiale,  $Z_R = 1$ ; per il calcolo del coefficiente di distribuzione del carico  $K_H$ , si considerino denti non bombati e unità commerciale chiusa;

per i coefficienti di vita (life factor)  $Y_N$  e  $Z_N$ , i modelli  $Y_N = 1,3558 \cdot N^{-0,0178}$  e  $Z_N = 1,4488 \cdot N^{-0,023}$ . Per tutti gli altri coefficienti non noti, si assumano valori ritenuti idonei alla progettazione di un riduttore di velocità per applicazioni di media gravosità.

Eventuali dati aggiuntivi sono da assumere sulla base di una progettazione coerente.

Si richiede quanto segue:

- 1) Dimensionare staticamente gli alberi del riduttore, secondo una geometria nominale cilindrica a sezione costante, a snervamento con coefficiente di sicurezza  $s = 2$ .
- 2) Verificare la ruota dentata R2 per fatica a flessione del dente e usura superficiale per pitting (vita della ruota pari a  $10^8$  cicli, affidabilità di 0.99).
- 3) Dimensionare la linguetta di collegamento L2.
- 4) Dimensionare tutti i cuscinetti del riduttore secondo le tipologie indicate e scegliere un modello commerciale idoneo per ciascuno di essi. Individuare la viscosità del lubrificante da applicare ai cuscinetti. Calcolare la durata di vita attesa per ciascun cuscinetto e valutarne l'idoneità con l'applicazione proposta.

Con riferimento al solo Albero A2 si richiede quanto segue:

- 1) Realizzare il disegno costruttivo dell'Albero A2 con la Ruota R3 realizzata di pezzo con datum, quote e tolleranze dimensionali e geometriche, prescrizioni tecnologiche relative a gole di scarico, raggi di raccordo e altri particolari costruttivi, standard europei.
- 2) Verificare staticamente e a fatica (per vita illimitata) l'Albero A2 secondo la geometria effettiva riportata nel disegno realizzato in precedenza. Qualora l'albero non soddisfacesse le verifiche, eseguire le necessarie variazioni al progetto.

Con riferimento alle condizioni dinamiche del sistema:

- 1) Si calcolino le frequenze naturali mediante le opportune semplificazioni del sistema, assumendo inerzie trascurabili per il riduttore e deformabilità dell'ingranamento trascurabile. Motivare le assunzioni operate.
- 2) Si dimensionino quindi uno smorzatore dinamico (di inerzia rotazionale pari al massimo al 10 % dell'inerzia dell'utilizzatore) per filtrare la frequenza propria più bassa. Si posizioni il volano in uscita dal motoriduttore in modo da collegare il carico con una rigidità torsionale  $k_G$  e un coefficiente di smorzamento torsionale  $C_G$ .

## Tema n. 9

Si deve produrre una forcina (in figura 1) da una barra piatta 80\*20mm.

Il materiale del pezzo è acciaio C40 brunito, avente il carico di rottura  $\sigma_r=720 \text{ N/mm}^2$ .

Il materiale dell'utensile è Carburo di tungsteno.

Usare i parametri di taglio adeguati ai materiali utilizzati.

Si svolgano i punti:

1. Indicare il Ciclo di produzione dettagliato per un lotto di 100 pezzi, usando macchine ad asportazione di truciolo, riportando le operazioni, i parametri di taglio e i tempi per ogni operazione
2. Calcolare il Tempo di lavorazione totale per il singolo pezzo (tempo ciclo  $T_c$ ) assumendo i tempi standard non produttivi e il Lotto Economico se la produzione giornaliera vale  $q=50 \text{ pz/gg}$  per 220 giorni lavorativi e il costo unitario vale  $C_{pz}=6,5 \text{ Euro/pz}$ .
3. Indicare il ciclo di produzione nell'ipotesi di produrre la staffa (in grande serie) da una fusione in lega leggera di Alluminio e si esegua un disegno della relativa attrezzatura.
4. Calcolare il lotto limite di convenienza nel caso si produca la staffa in grande serie, secondo il punto 3
  - al costo totale unitario  $CT_{pz}=3,5 \text{ euro/pz}$
  - con una spesa per lo stampo di  $C_{stam}=10000 \text{ Euro}$
5. Calcolare la Forza di taglio massima e la potenza di lavoro della macchina (rendimento elettrico 85%)

NB: Il candidato assuma i dati mancanti motivando adeguatamente

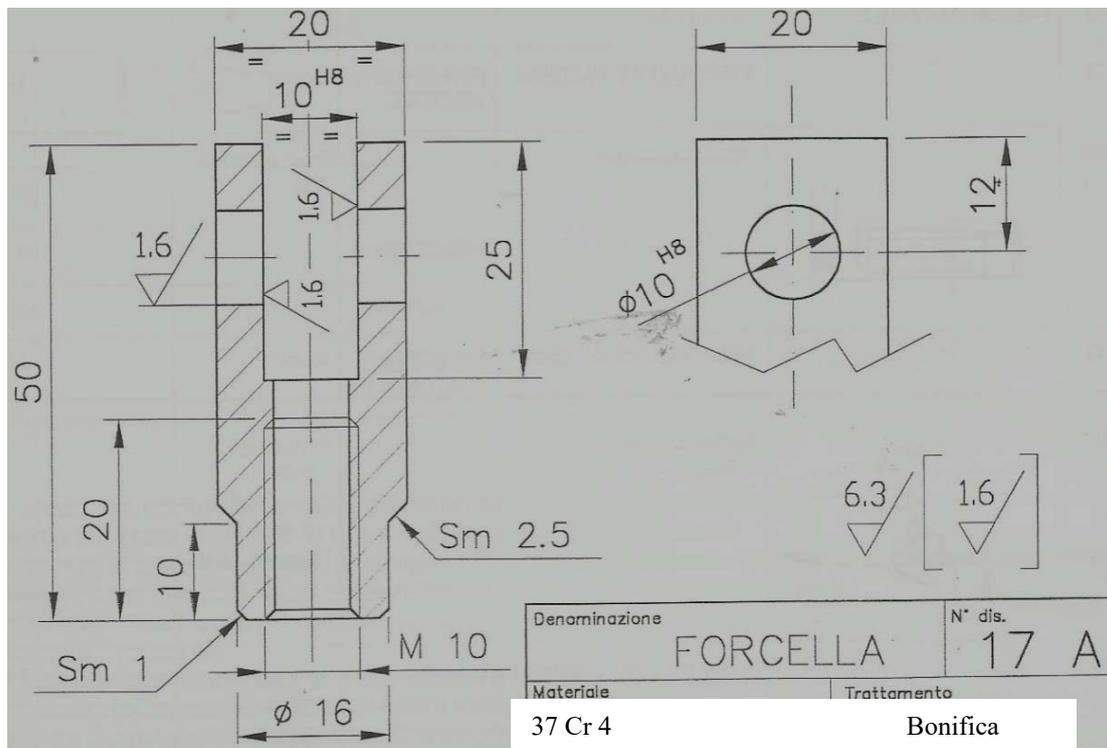


Fig.1

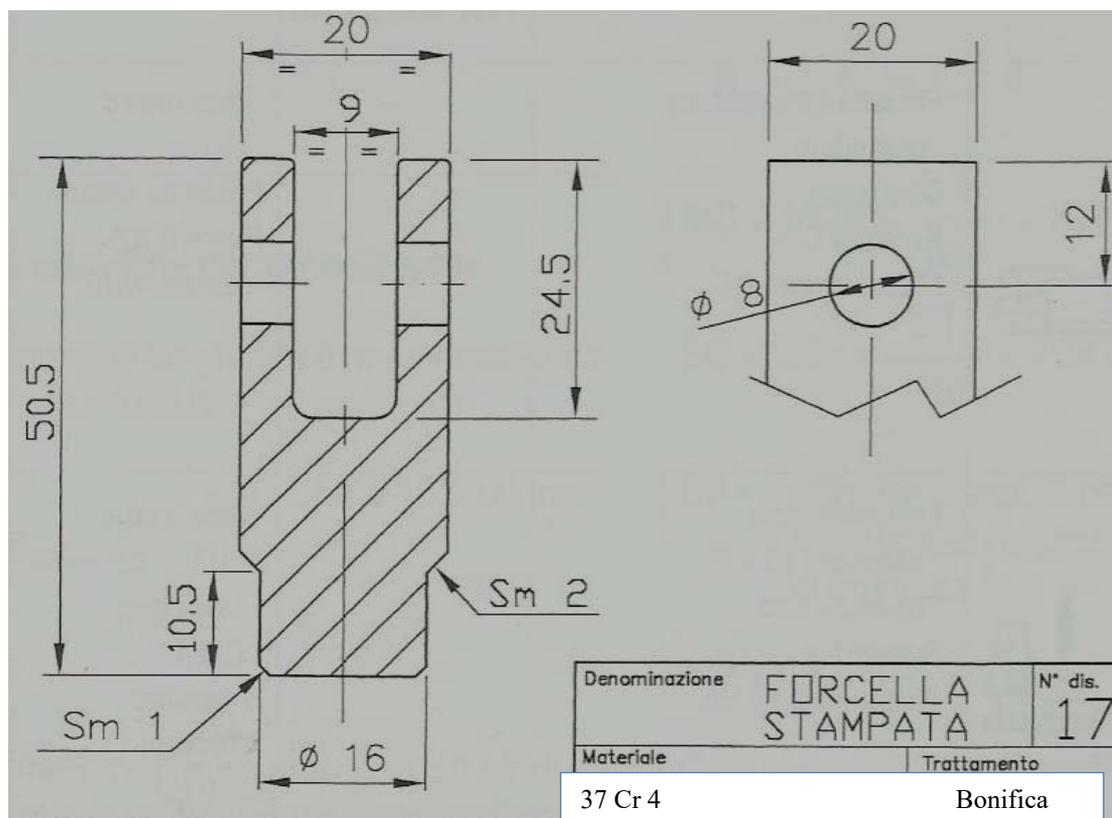


Fig.2

Tema n. 10

Si richiede di progettare un contenitore sferico, avente raggio interno di 1 m, che sia in grado di operare con una pressione interna di 20 atm in sicurezza e senza subire deformazioni plastiche.

- Il candidato dovrà selezionare (con l'ausilio del diagramma allegato) fino ad un massimo di tre materiali che permettano di produrre il contenitore richiesto, minimizzandone lo spessore di parete. Inoltre, si richiede di calcolare, per ciascuno dei tre materiali selezionati, lo spessore di parete necessario a rispettare i vincoli imposti.
- Per ognuno dei tre materiali selezionati, il candidato ipotizzi un opportuno processo produttivo, illustrandone dettagliatamente le fasi e le criticità.
- Ripetere la selezione considerando di minimizzare lo spessore di parete nel caso in cui la superficie interna del recipiente possa subire attacco corrosivo da parte di acido solforico. Selezionare due possibili materiali, discutendone punti di forza e criticità anche in base a considerazioni sulla lavorabilità e sui costi.

