

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

**Il Sessione 2016 - Sezione A**  
**Settore Industriale**

**PROVA PRATICA del 22 dicembre 2016**

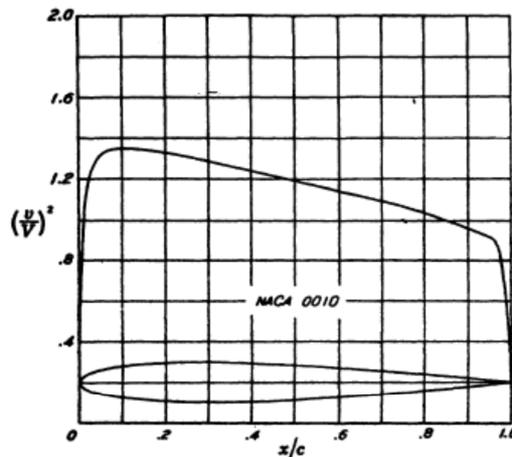
Il candidato svolga uno a scelta fra i seguenti temi proposti.

Gli elaborati prodotti dovranno essere stilati in forma chiara e ordinata. La completezza, la correttezza e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

**Tema n. 1**

Si consideri un profilo simmetrico NACA 0010 di corda  $c$  investito senza incidenza da una corrente d'aria con velocità  $V$  e pressione  $p$ . In tabella sono riportate le coordinate del dorso del profilo e i valori della velocità adimensionalizzata sul profilo  $(v/V)$  calcolati per corrente potenziale. Determinare, attraverso opportuni calcoli di strato limite, l'ascissa di separazione, il coefficiente di attrito locale e il coefficiente di resistenza del profilo nell'ipotesi di strato limite ovunque laminare e di un numero di Reynolds basato sulla corda pari a  $10^5$ .

APPENDIX I



$x$ (per cent $c$ )	$y$ (per cent $c$ )	$(v/V)^2$	$v/V$	$\Delta v_x/V$
0	0	0	0	2.372
0.5	.....	0.712	0.844	1.618
1.25	1.578	1.061	1.030	1.255
2.5	2.178	1.237	1.112	0.955
5.0	2.962	1.325	1.151	0.690
7.5	3.500	1.341	1.158	0.559
10	3.902	1.341	1.158	0.479
15	4.455	1.341	1.158	0.380
20	4.782	1.329	1.153	0.318
25	4.952	1.309	1.144	0.273
30	5.002	1.284	1.133	0.239
40	4.837	1.237	1.112	0.188
50	4.412	1.190	1.091	0.150
60	3.803	1.138	1.067	0.119
70	3.053	1.094	1.046	0.094
80	2.187	1.040	1.020	0.069
90	1.207	0.960	0.980	0.045
95	0.672	0.925	0.962	0.030
100	0.105	.....	.....	0

L.E. radius: 1.10 per cent  $c$

NACA 0010 Basic Thickness Form

**Nota:** si utilizzi  $y$  (per cent  $c$ )= 1.018 come valore corrispondente a  $x$  (per cent  $c$ )= 0.5 per il dorso del profilo. Porre  $v/V = 0$  come valore corrispondente a  $x$  (per cent  $c$ )= 100.

## Tema n. 2



La maggioranza dei trattori agricoli e delle macchine movimento terra è costruita senza alcun tipo di sospensione tra le ruote ed il telaio: le vibrazioni trasmesse all'operatore vengono controllate mediante la sospensione del sedile. Esistono molti tipi di sospensione in commercio; nei casi più semplici vengono utilizzati soltanto dei cuscini assemblati con molle e schiuma; nei casi più complessi vengono realizzati veri e propri meccanismi di sospensione dotati di molla e smorzatore.

In tutti i casi il sistema di sospensione del sedile è caratterizzato da una frequenza di risonanza in corrispondenza della quale le vibrazioni vengono amplificate. Nel cuscino di schiuma e molle normalmente questa frequenza si situa nell'intorno dei 4 Hz, mentre nel caso della sospensione con molla e smorzatore questa frequenza è più bassa e pari a circa 2 Hz. La seguente figura riporta due andamenti tipici della funzione di trasmissibilità, cioè del rapporto tra lo spostamento in ingresso alla base del sedile e quello percepito dall'autista.

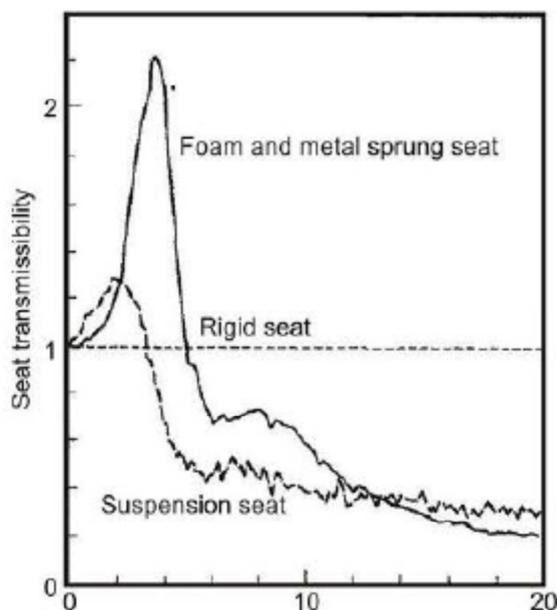
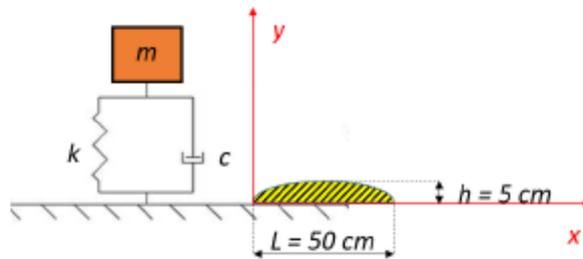


Figure 1.1 Transmissibility of a conventional foam and metal sprung seat compared to the transmissibility of a suspension seat and a rigid seat (Griffin, 1990).

Considerando un conducente, di massa pari a 90 kg, alla guida di un veicolo che deve superare un dosso artificiale di profilo esattamente sinusoidale di lunghezza pari a 50 cm ed altezza pari a 5 cm, si richiede, utilizzando un semplice sistema ad un grado di libertà, di eseguire le seguenti valutazioni:



1. Sulla base della curva *foam and metal sprung seat* indicare quale procedimento si dovrebbe seguire per ottenere valori approssimati dei parametri  $k$  e  $c$  della sospensione realizzata mediante cuscino di schiuma e molle;
2. Dati  $k = 201324 \text{ N/m}$  e  $c = 4300 \text{ Ns/m}$ , si tracci la curva di trasmissibilità teorica;
3. Si calcoli l'accelerazione massima  $a_{max}$  sopportata dal conducente alla velocità di  $15 \text{ km/h}$ .

### Tema n. 3

In un essiccatore a cilindro rotante in controcorrente adiabatico, devono essere essiccati  $2000 \text{ kg/h}$  di un minerale, avente  $8\%$  di umidità e temperatura di  $30^\circ\text{C}$ .

Il materiale da essiccare ha un calore specifico di  $880 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$  come secco.

Il gas di essiccamento, che deriva dalla combustione di metano, entra nell'essiccatore a  $500^\circ\text{C}$ , in rapporto  $1:1$  in peso rispetto al solido da essiccare.

Il materiale deve essere essiccato sino allo  $0,5\%$  di umidità, con una temperatura finale di  $150^\circ\text{C}$ .

Si consideri una capacità di scambio di calore di  $800 \text{ kJ/hm}^3\text{C}$ , considerando una portata di gas non superiore a  $2500 \text{ kg/hm}^2$ , al fine di evitare la formazione di polveri.

Si assuma che l'evaporazione dell'umidità del minerale avvenga tutta alla temperatura di bulbo umido del gas essiccante valutabile sulla base della relazione di Lewis.

Il candidato illustri lo schema complessivo dell'impianto e dimensioni l'essiccatore e il generatore di calore.

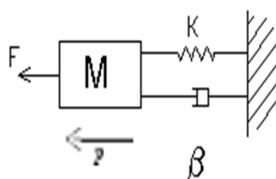
Nota: Il candidato assuma ogni altro dato necessario per lo svolgimento del tema e giustifichi tali scelte

### Tema n. 4

Il candidato progetti un controllo per un sistema meccanico massa-molla-smorzatore.

#### Prima parte

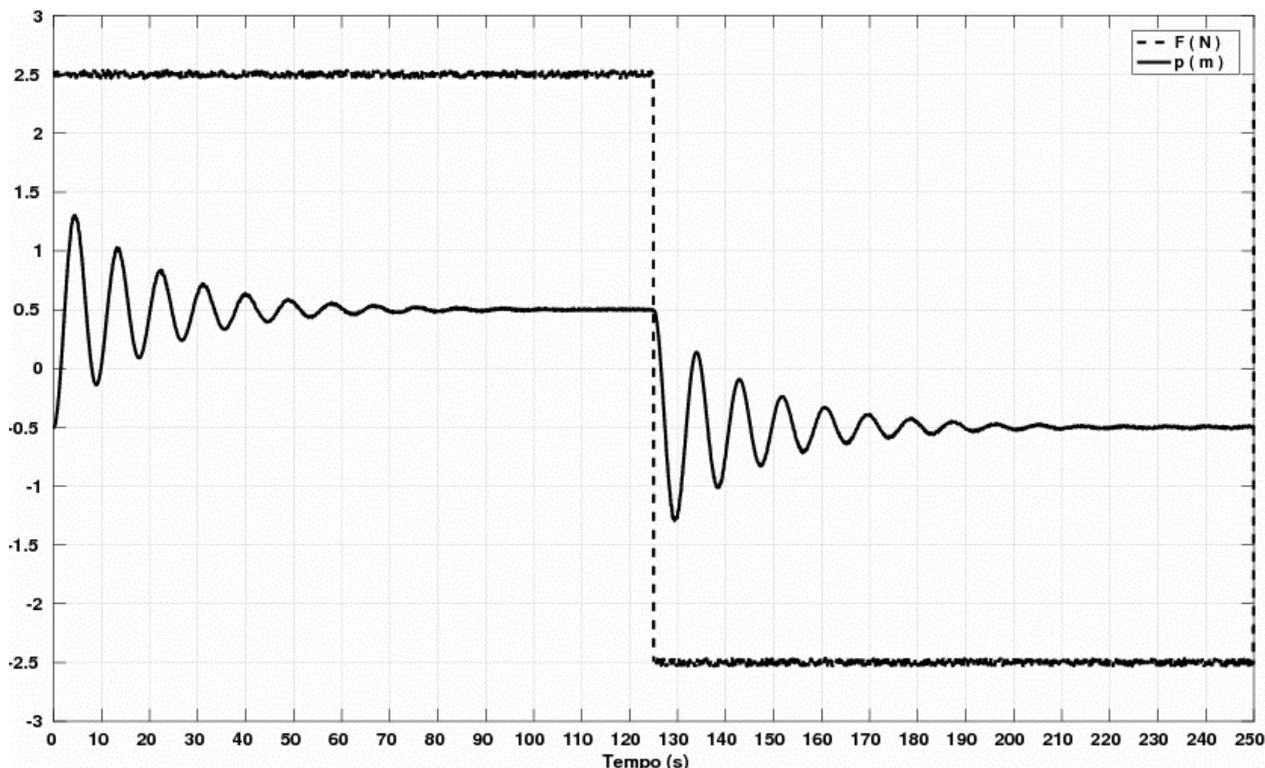
A) In base alla figura seguente il candidato ricavi un modello fisico del sistema meccanico,



considerando come ingresso la forza  $F$  e come uscita la posizione  $p$  della massa e i seguenti valori numerici dei parametri:

$$K = 5 \text{ N/m}, \quad \beta = 1 \text{ Ns/m}, \quad M = 10 \text{ kg}$$

**B)** Il candidato identifichi un modello dinamico lineare sulla base della risposta ad una successione di gradini mostrata in figura, dove la linea tratteggiata rappresenta la variazione della forza  $F$  in newton e la linea continua rappresenta la conseguente variazione della posizione  $p$  in metri.



Il candidato scelga l'ordine del modello in modo che sia minimo, pur riproducendo ragionevolmente bene l'andamento dell'uscita, e ne ricavi i valori numerici dei parametri argomentando le scelte fatte.

**C)** Il candidato confronti i risultati ottenuti al punto A e al punto B.

### Seconda parte

A prescindere dai risultati ottenuti nella *Prima parte*, si assuma come modello complessivo dell'impianto (comprendente attuatore e trasduttore considerati ideali) la seguente funzione di trasferimento:

$$\frac{P(s)}{F(s)} = \frac{4}{1 + 1.36s + 6s^2}$$

Il committente richiede il progetto di un dispositivo di controllo che soddisfi i seguenti requisiti:

- 1 – la posizione  $p$  a regime deve essere esattamente uguale alla posizione di riferimento supposta costante;
- 2 – la posizione  $p$  deve raggiungere il 90% della posizione di riferimento al massimo in 15 secondi;
- 3 – la forza  $F$  non deve superare 8 N se si impone uno spostamento pari a 1 m.

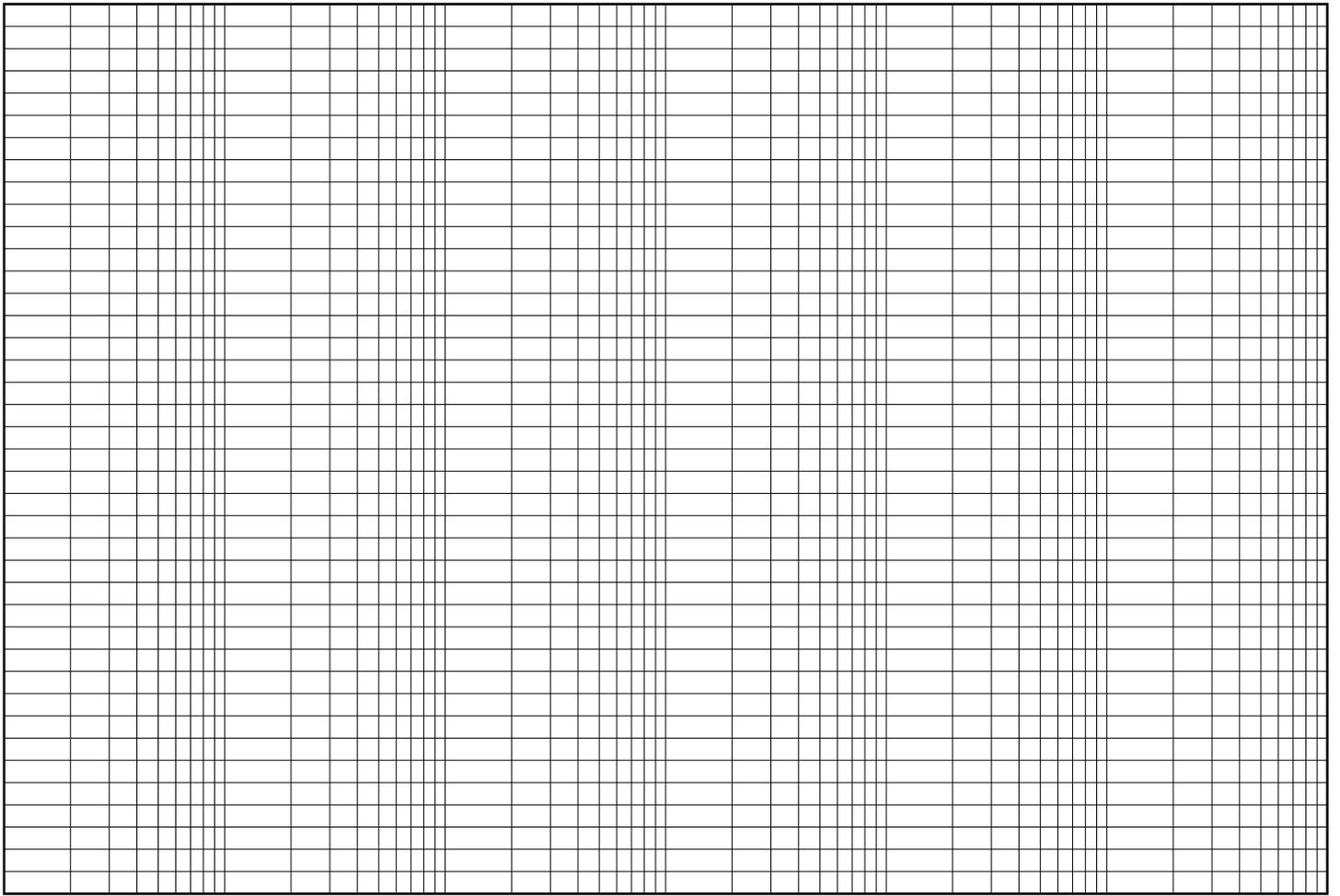
Il candidato trasformi questi requisiti qualitativi in specifiche (come intese abitualmente in ambito controllistico), ed eventualmente ne aggiunga altre ritenute necessarie.

Quindi, sulla base delle specifiche da lui definite e del modello complessivo dell'impianto, progetti un dispositivo di controllo digitale, caratterizzandone la struttura e l'algoritmo; inoltre illustri le caratteristiche dei dispositivi di conversione A/D e D/A che intende utilizzare.

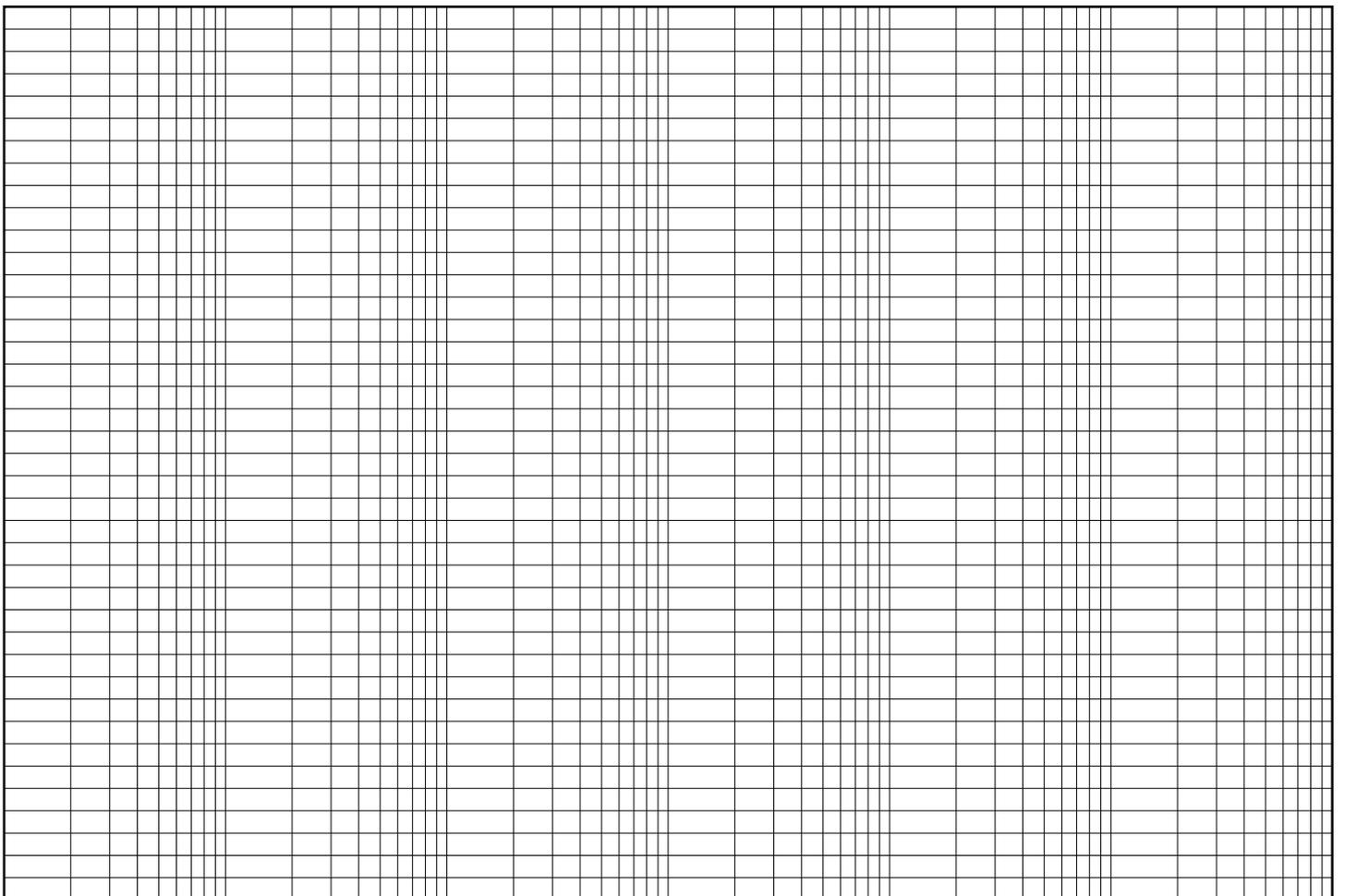
Se possibile si progetti il compensatore analogico (da discretizzare) o direttamente il compensatore digitale utilizzando almeno due metodi tra progetto in frequenza, sintesi diretta e retroazione dagli stati con osservatore.

**Nota:** l'eventuale tracciamento di diagrammi di Bode e/o di Nichols sia fatto sugli appositi fogli da richiedersi alla Commissione.

Carta semilogaritmica a 6 decadi

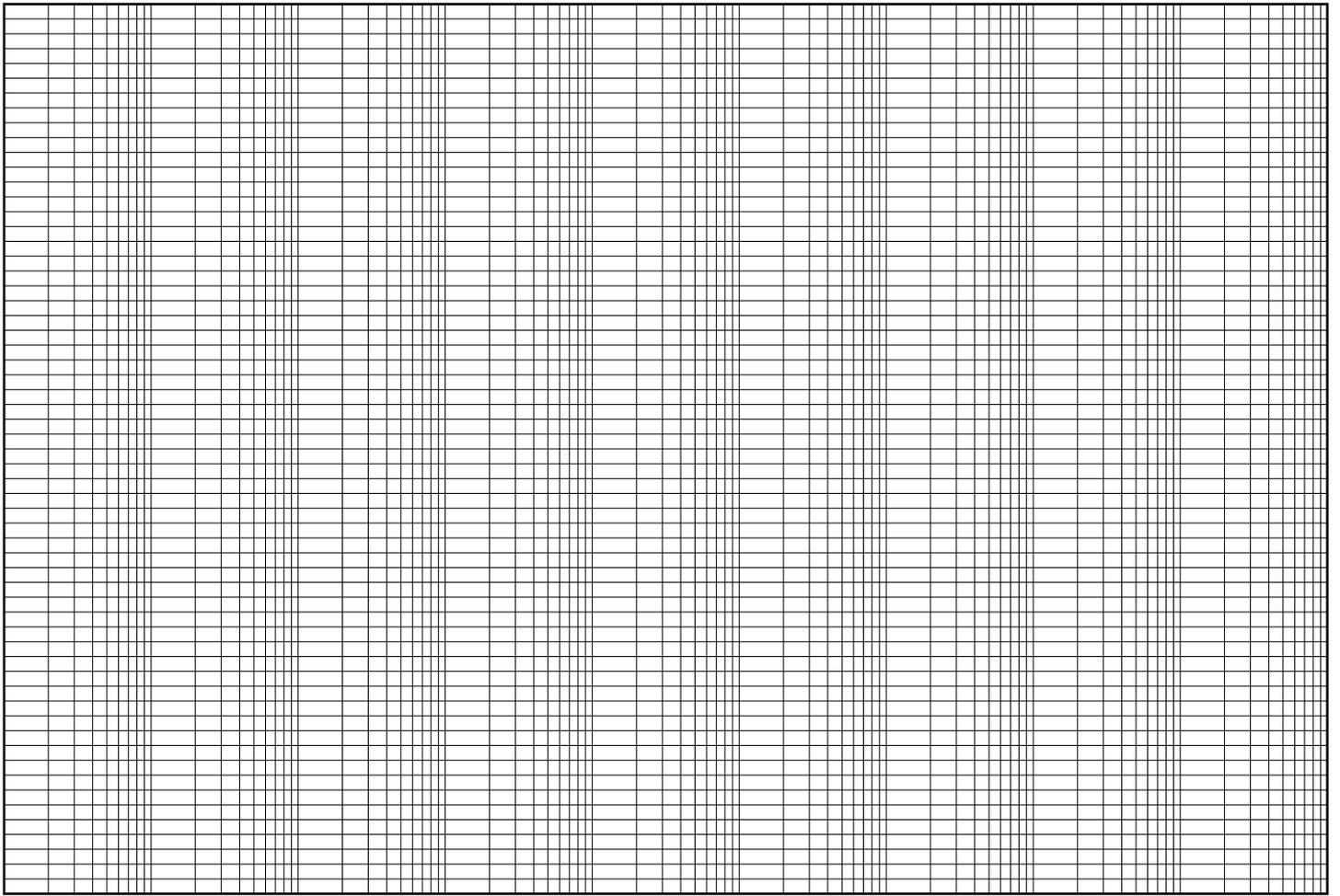


Pulsazione

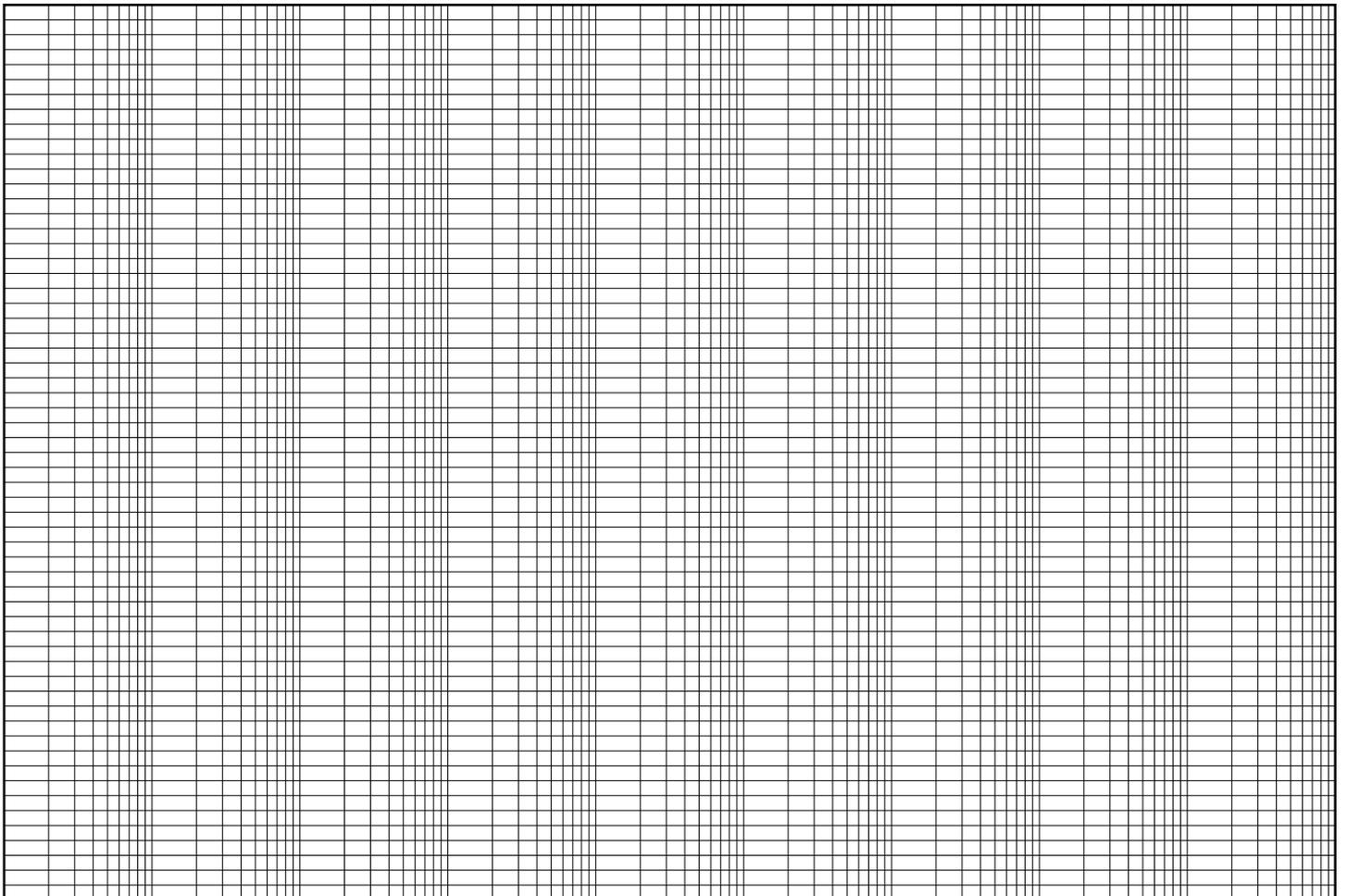


Pulsazione

Carta semilogaritmica a 9 decadi



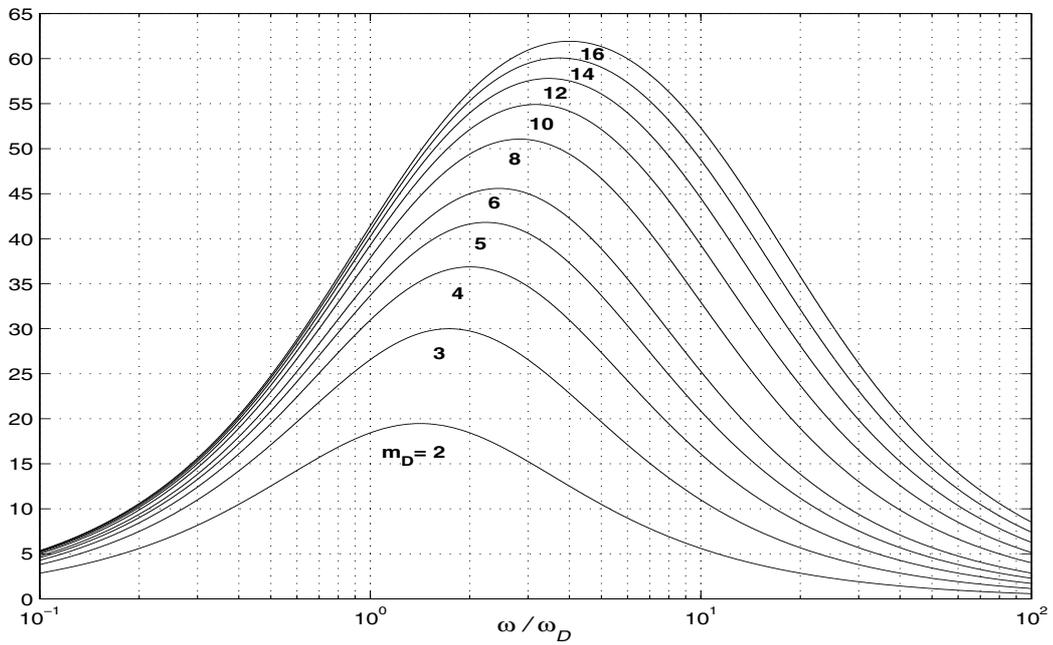
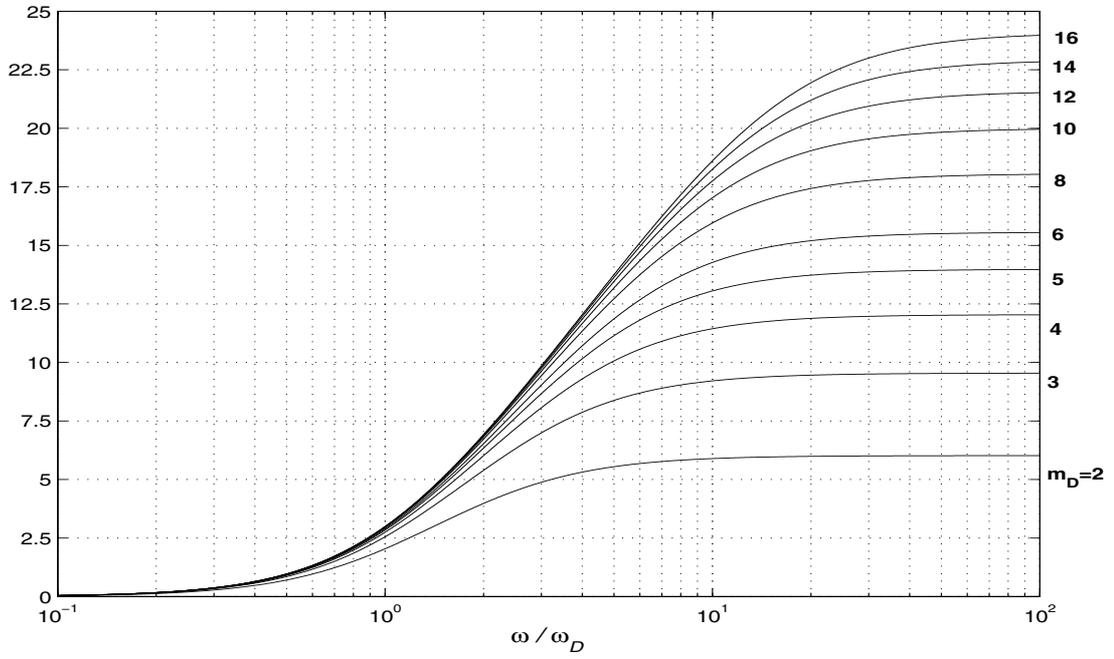
Pulsazione

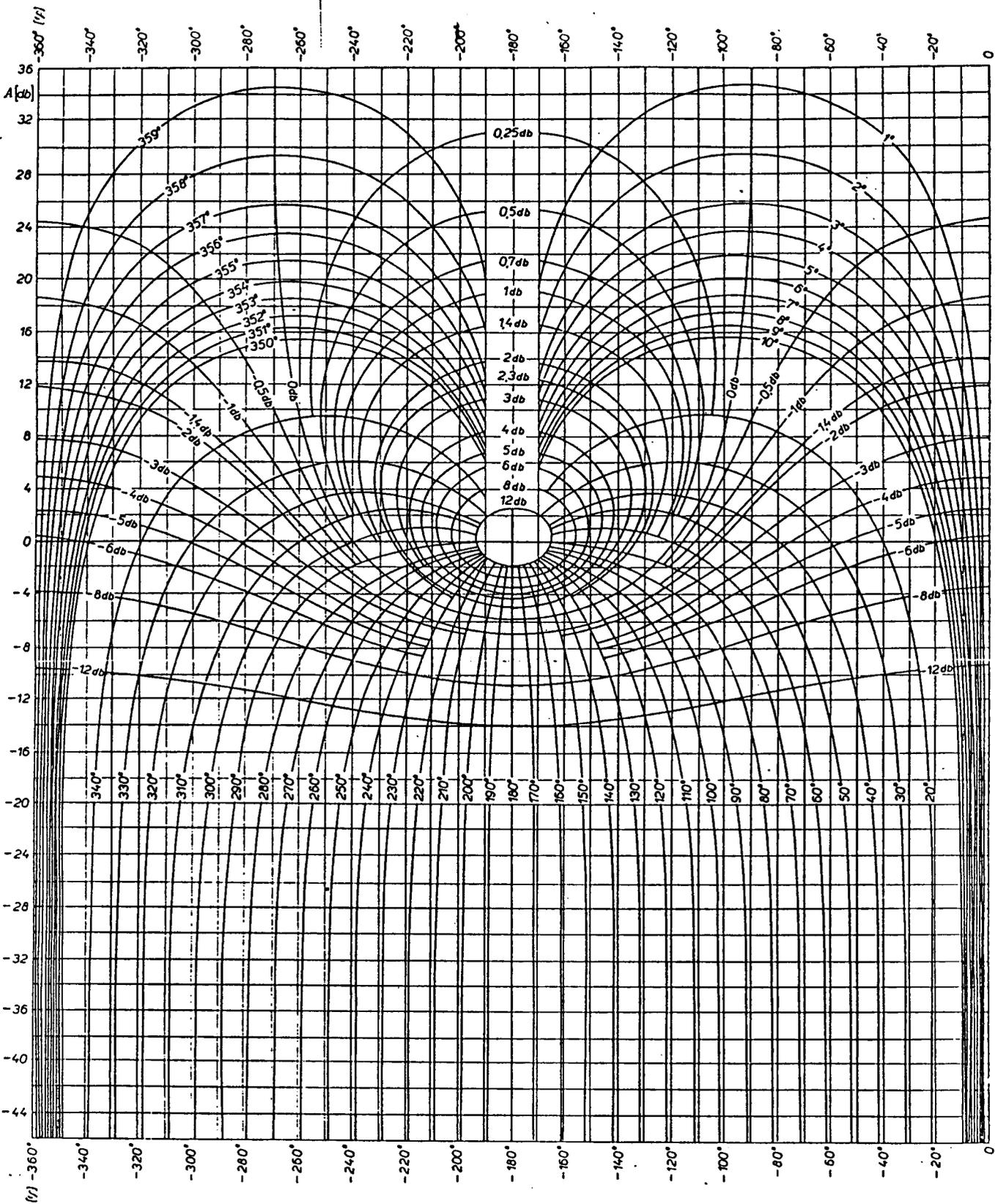


Pulsazione

# Funzione Anticipatrice

$$C_D(s) = \frac{1 + \frac{s}{\omega_D}}{1 + \frac{s}{m_D \omega_D}}, \quad m_D > 1$$





## Tema n. 5

Nella cabina di trasformazione di uno stabilimento è installato un trasformatore di potenza nominale 250 kVA con tensione nominale primaria 22kV/400V. Il quadro elettrico di distribuzione in bassa tensione alimenta le seguenti utenze:

- un motore asincrono trifase, la cui potenza assorbita è desunta da due wattmetri inseriti secondo il metodo Aron, le cui letture sono:  $P_1 = 42 \text{ kW}$   $P_2 = 28 \text{ kW}$ ;
- un gruppo di 15 motori asincroni trifasi, ciascuno di potenza nominale 3 kW, rendimento  $\eta=0,8$  e  $\cos\varphi=0,7$ ;
- quadro elettrico per l'illuminazione e i servizi vari, per un totale di circa 20 kW e  $\cos\varphi=0,95$ ;
- quadro elettrico per centrale tecnologica di stabilimento, con potenza impegnata di 50 kW e  $\cos\varphi=0,8$ ;
- quadro elettrico per basso fabbricato ad uso uffici, con potenza impegnata di 20 kW non necessitante di rifasamento.

Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive ed integrative ritenute necessarie, motivando le scelte operate e disegnato lo schema a blocchi dell'impianto e uno schema unifilare del quadro di media tensione e del quadro generale di bassa tensione (comprensivo di scelta del sistema di distribuzione e del dimensionamento di dispositivi di protezione e cavi), calcoli:

1. la potenza delle batterie di condensatori per il rifasamento, ove necessario, delle varie linee, valutando l'opportunità di un rifasamento automatico centralizzato;
2. la potenza delle batterie di condensatori per il rifasamento delle correnti magnetizzanti del trasformatore;
3. dopo aver definito caratteristiche costruttive e dati di targa del trasformatore ne rappresenti lo schema vettoriale, nel funzionamento a carico e illustri il contributo dei motori asincroni alla corrente di cortocircuito;
4. progetti di massima le modifiche che si renderebbero necessarie in cabina di trasformazione per la alimentazione di una nuova macchina, aggiunta senza fermare la normale produzione dello stabilimento, che costituisca un carico elettrico aggiuntivo di 220 kW,  $\cos\varphi=0,8$ .

## Tema n. 6

Uno stabilimento industriale necessita di energia elettrica e vapore surriscaldato per usi tecnologici. Per questo scopo utilizza un ciclo combinato gas-vapore costituito da un turbogas, alimentato a metano e avente un solo stadio di compressione e uno di espansione, da un generatore di vapore a recupero GVR, da una turbina a vapore di alta pressione e da una turbina a vapore di bassa pressione.

Sono noti i seguenti dati:

Vapore surriscaldato per usi tecnologici da fornire alle utenze		
Portata	Pressione	Temperatura
2,8 kg/s	25 bar	400 ± 20°C
7,2 kg/s	15 bar	320 ± 20°C

- Potenza elettrica erogata dal solo turbogas: 38 MW
- Temperatura di ingresso nella turbina a gas: 1200°C
- Potenza elettrica totale erogata dalle due turbine a vapore: 12 MW
- Pressione di esercizio del GVR: 70 bar
- Pressione in uscita dalla turbina a vapore di A P: 15 bar
- Pressione in uscita dalla turbina a vapore di B P: 0,15 bar

Il vapore per uso tecnologico a 25 bar viene spillato dalla turbina di AP; il ritorno delle condense dalle utenze tecnologiche e l'eventuale acqua di reintegro avviene a temperatura e pressione ambiente.

Determinare i valori delle seguenti grandezze:

- Temperatura di uscita dalla turbina a gas;
- Portata di combustibile;
- Portata di fumi (si trascuri la portata di combustibile) nel turbogas;
- Temperatura del vapore surriscaldato in ingresso alle due turbine a vapore;
- Portata di vapore prodotto dal GVR;
- Potenza termica sottratta al condensatore;
- Potenze termiche fornite nelle diverse sezioni del GVR;
- Potenza elettrica assorbita dalla pompa di alimento e dalla pompa di estrazione.

Il candidato precisi tutte le ipotesi di calcolo adottate e assuma valori realistici per eventuali grandezze non indicate, quali ad es. rapporto di compressione nel turbogas, rendimenti isoentropici di espansione e di compressione, ecc.

Il candidato schematizzi l'impianto numerando gli stati termodinamici sul contorno dei componenti: riporti su una tabella i valori di portata, pressione, temperatura, entalpia ed entropia; tracci in modo qualitativo in coordinate T-s le trasformazioni subite dai fluidi.

Allegati:

- diagramma di Mollier per il vapor d'acqua
- tabelle del vapor d'acqua in condizioni di saturazione (da richiedere espressamente alla commissione)

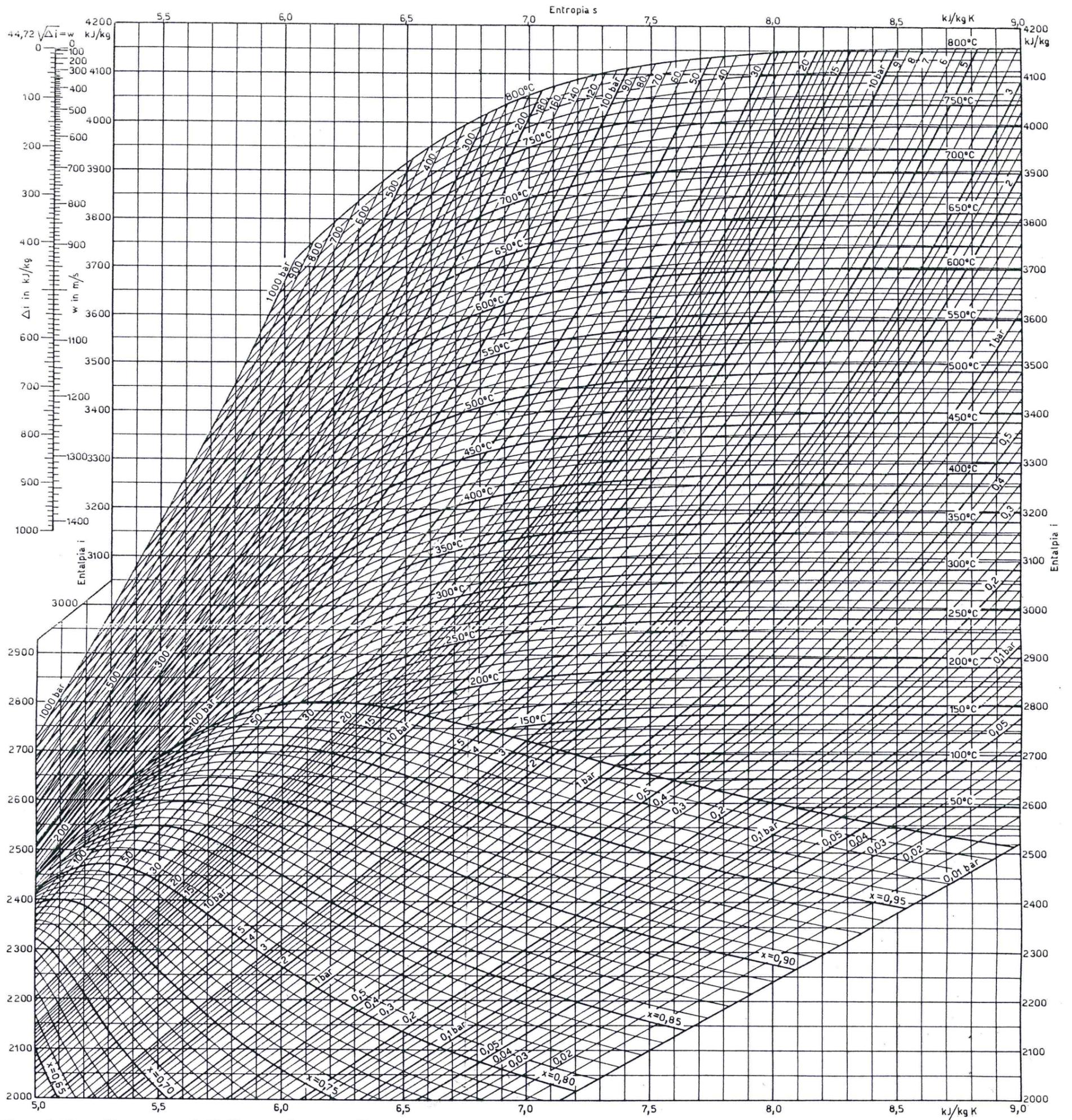


Fig. A2.17 — Diagramma di Mollier per il vapore d'acqua.

## Tema n. 7

Per verificare l'aderenza alle specifiche di una serie di lotti di fornitura, un'azienda manifatturiera utilizza un piano di campionamento singolo con  $c = 0$ ,  $N = 1500$  e  $n = 50$ .

- i) La direzione argomenta la scelta  $c=0$  dicendo che la scelta è in linea con il Programma zero-difetti. Si commenti la decisione.
- ii) Se la frazione dei non conformi è pari a 2%, qual è la probabilità di accettazione? Si evidenzino le ipotesi assunte.
- iii) Se nel piano di campionamento originale viene effettuata un'ispezione con rettifica, quali sono i valori di AOQ e AT? Calcolare anche il corrispondente valore di AOQL.
- iv) Si analizzi un piano di campionamento doppio con  $n_1 = 50$   $c_1 = 0$  e  $n_2 = 50$   $c_2 = 1$ . Come cambia la probabilità di accettazione? Si calcoli l'indice ASN (numerosità media degli elementi analizzati).

## Tema n. 8

La figura rappresenta il sistema di trasmissione del moto di una macchina utensile, costituito da:

- motore elettrico trifase;
- albero motore supportato dai cuscinetti E e F;
- accoppiamento di ruote dentate cilindriche a denti diritti dall'albero motore all'albero primario (ruote 1 e 2; angolo di pressione  $20^\circ$ );
- albero primario supportato dai cuscinetti A e B;
- accoppiamento di ruote dentate cilindriche a denti diritti (ruote 3 e 4; angolo di pressione  $20^\circ$ );
- albero secondario supportato dai cuscinetti C e D;
- mandrino utilizzatore.

Il mandrino utilizzatore assorbe una coppia di 960 Nm a 240 giri/min. Per il motore elettrico trifase utilizzato in questa applicazione si assuma una velocità di sincronismo di 1500 giri/min e uno scorrimento del 4%. Si supponga inoltre che il sistema di trasmissione abbia rendimento unitario. Le distanze tra le ruote dentate e le distanze tra i cuscinetti e le ruote dentate sono indicate nella figura. L'interasse  $i_1$  fra l'albero motore e l'albero primario e l'interasse  $i_2$  fra l'albero primario e quello secondario possono essere diversi tra loro.

Il candidato svolga i seguenti punti:

1. Calcolo della potenza e della coppia motrice richieste al motore elettrico.
2. Dimensionamento statico delle ruote dentate e calcolo dei rapporti trasmissione, dei moduli e dei numeri di denti  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ , rispettando gli interassi imposti ( $i_1 < 220$  mm e  $i_2 < 220$  mm).
3. Calcolo delle reazioni vincolari dell'albero primario e suo dimensionamento statico a flessotorsione.
4. Scelta a catalogo dei cuscinetti A e B volendo assicurare una durata minima di 10000 ore.
5. Esecuzione del disegno costruttivo dell'albero dimensionato completo di indicazioni del materiale e del trattamento termico.

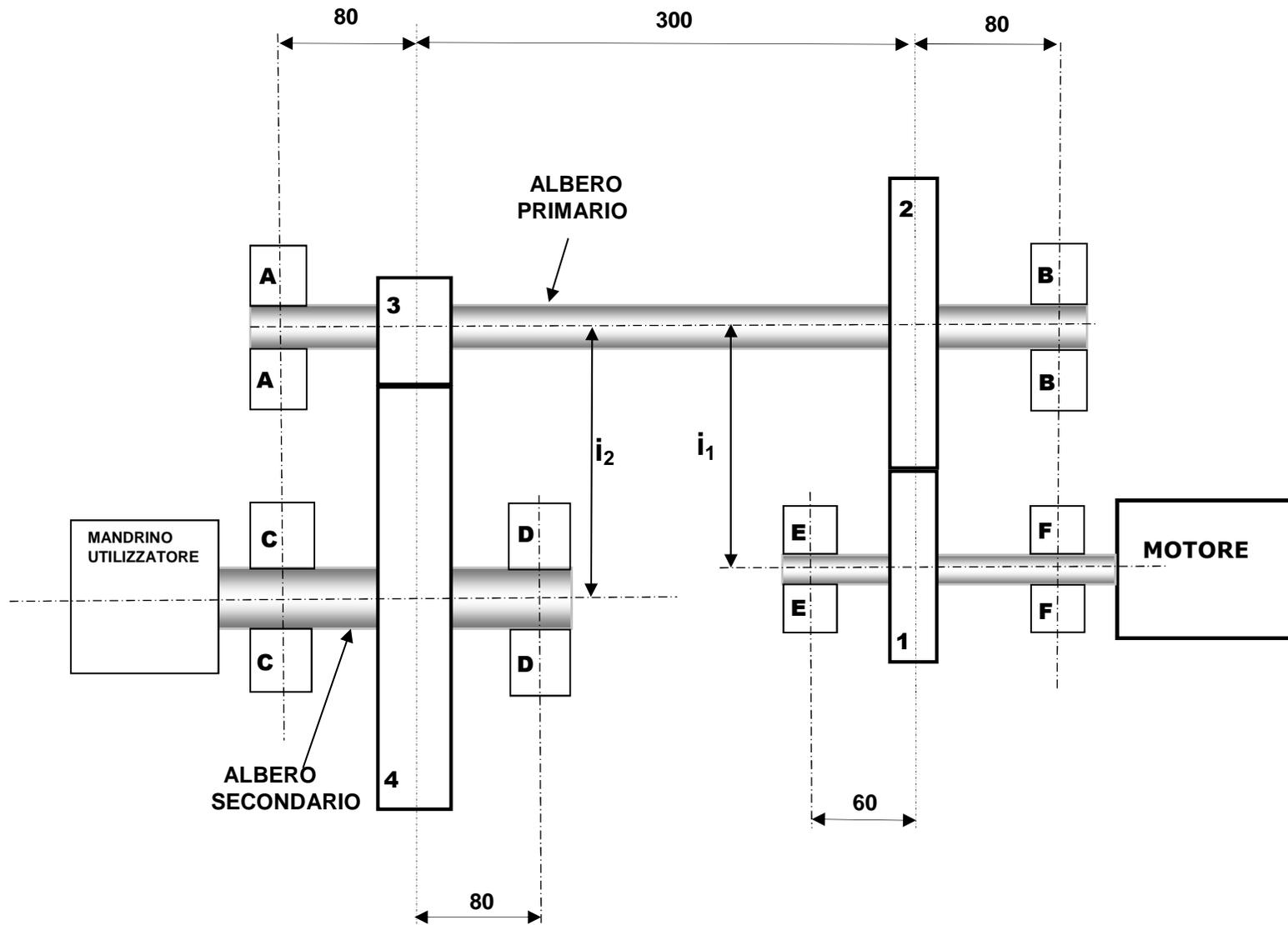
Allo scopo di implementare un sistema di diagnostica, si immagini di equipaggiare la scatola contenente gli ingranaggi con un accelerometro triassiale. Il candidato scelga la frequenza di campionamento dei segnali accelerometrici in relazione alla banda delle frequenze di interesse, evidenziando quali difetti si intende monitorare.

In particolare si analizzi il caso di uno squilibrio statico presente esclusivamente sulla ruota 2 (eccentricità pari a 500 micron) e si valutino le componenti dinamiche delle reazioni vincolari esercitate dai cuscinetti A e B, imputabili allo squilibrio suddetto.

Infine, sapendo che il momento di inerzia del motore è  $0,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  e che quello dell'utilizzatore è  $0,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ , il candidato svolga i seguenti punti:

6. Fornire una stima dei momenti di inerzia dei sistemi di seguito elencati: albero motore (porzione compresa tra i cuscinetti E e F) comprensivo della ruota 1, albero primario comprensivo delle ruote 2 e 3 e albero secondario (porzione compresa tra i cuscinetti C e D) comprensivo della ruota 4.
7. Calcolare il momento di inerzia equivalente del sistema, ridotto all'albero motore.
8. Ipotizzando che gli alberi siano infinitamente rigidi a torsione, studiare il transitorio originato da un istantaneo incremento del 25% della coppia assorbita dall'utilizzatore. Si calcoli in particolare:
  - a) la nuova velocità di regime del motore e la coppia da questo fornita a regime, supponendo che la sua caratteristica meccanica si mantenga lineare a partire dalla velocità di sincronismo;
  - b) la costante di tempo del transitorio;
  - c) il tempo in corrispondenza del quale la riduzione di velocità del motore sia pari al 95% della differenza di velocità fra le due condizioni di regime.

Il candidato assuma ogni altro dato eventualmente necessario per lo svolgimento del tema giustificando le scelte



## Tema n. 9

Si deve progettare un impianto di sollevamento acqua per uso industriale.

L'impianto deve essere in grado di fornire all'utenza, disposta ad un dislivello di 30 m rispetto al piano di installazione della pompa, una portata variabile tra 1,8 m<sup>3</sup>/min. e 2,4 m<sup>3</sup>/min. secondo il seguente diagramma temporale quotidiano:

Orario di lavoro	Portata [m <sup>3</sup> /min.]
7.00 – 11.00	2.4
11.00 -14.00	2.2
14.00-19.00	1.8
19.00-7.00	0

Il pelo libero del bacino di aspirazione affonda, rispetto al terreno (piano d'installazione della pompa), di una quota variabile tra i 3,5 m e 4,5 m, mentre la temperatura dell'acqua prelevata varia durante l'anno tra 10°C e i 12°C.

Il condotto di aspirazione a diametro costante deve essere lungo 6 m e prevede una curva ad angolo retto. Il condotto di mandata, anch'esso a diametro costante, è lungo 50 m e prevede 6 curve ad angolo retto.

Allo scopo è stata selezionata una pompa avente alcune delle caratteristiche riportate nell'allegato (All.1) unitamente alle curve caratteristiche (All.2) in termini di prevalenza (H), rendimento ( $\eta$ ) e NPSH richiesto dalla pompa.

Il candidato:

- valuti il diametro del condotto di aspirazione e mandata dell'impianto, entrambi realizzati in acciaio;
- valuti la potenza del motore asincrono da accoppiare alla pompa;
- analizzi criticamente l'installazione proposta e suggerisca, se necessarie, eventuali modifiche;
- valuti il presumibile diametro esterno della girante ed i triangoli delle velocità;
- valuti il consumo quotidiano di energia richiesto qualora la pompa venga regolata per laminazione;
- valuti il consumo quotidiano di energia richiesto qualora la pompa venga regolata per variazione della velocità angolare;
- confronti i metodi di regolazione discussi ai punti precedenti impostando un'analisi economica secondo la tecnica del Valore Attuale Netto e Tempo di Ritorno Economico.

In seguito ad un intervento di potenziamento dell'impianto industriale è necessario incrementare le portate mandate dall'impianto di 0,6 m<sup>3</sup>/min. dalle ore 7.00 alle ore 19.00. Disponendo di una pompa identica alla pompa già installata, si vuole analizzare il comportamento dell'impianto qualora si integrasse la seconda pompa nell'impianto collegandola in:

- Parallelo alla pompa già installata;
- Serie alla pompa già installata.

Si confrontino le due configurazioni impiantistiche indicate esprimendo un giudizio tecnico.

Il candidato faccia tutte le assunzioni che ritiene utili al fine del completamento del compito assegnato, dandone la necessaria giustificazione.

**Dati Tecnici Pompa:**

Velocità rotazione nominale: 2930 rpm

**Installazione:**

Max temperatura ambiente: 60°C

Max pressione di funzionamento: 16 bar

Flangia Aspirazione pompa: DN 80

Flangia Mandata pompa: DN 65

Pressione d'esercizio: PN 16

**Liquido:**

Liquido pompato: Acqua

Gamma temperatura del liquido:

Temperatura liquido: 0 – 120°C

Densità: 998.2 kg/m<sup>3</sup>

Viscosità cinematica: 1 mm<sup>2</sup>/s

**Dati elettrici:**

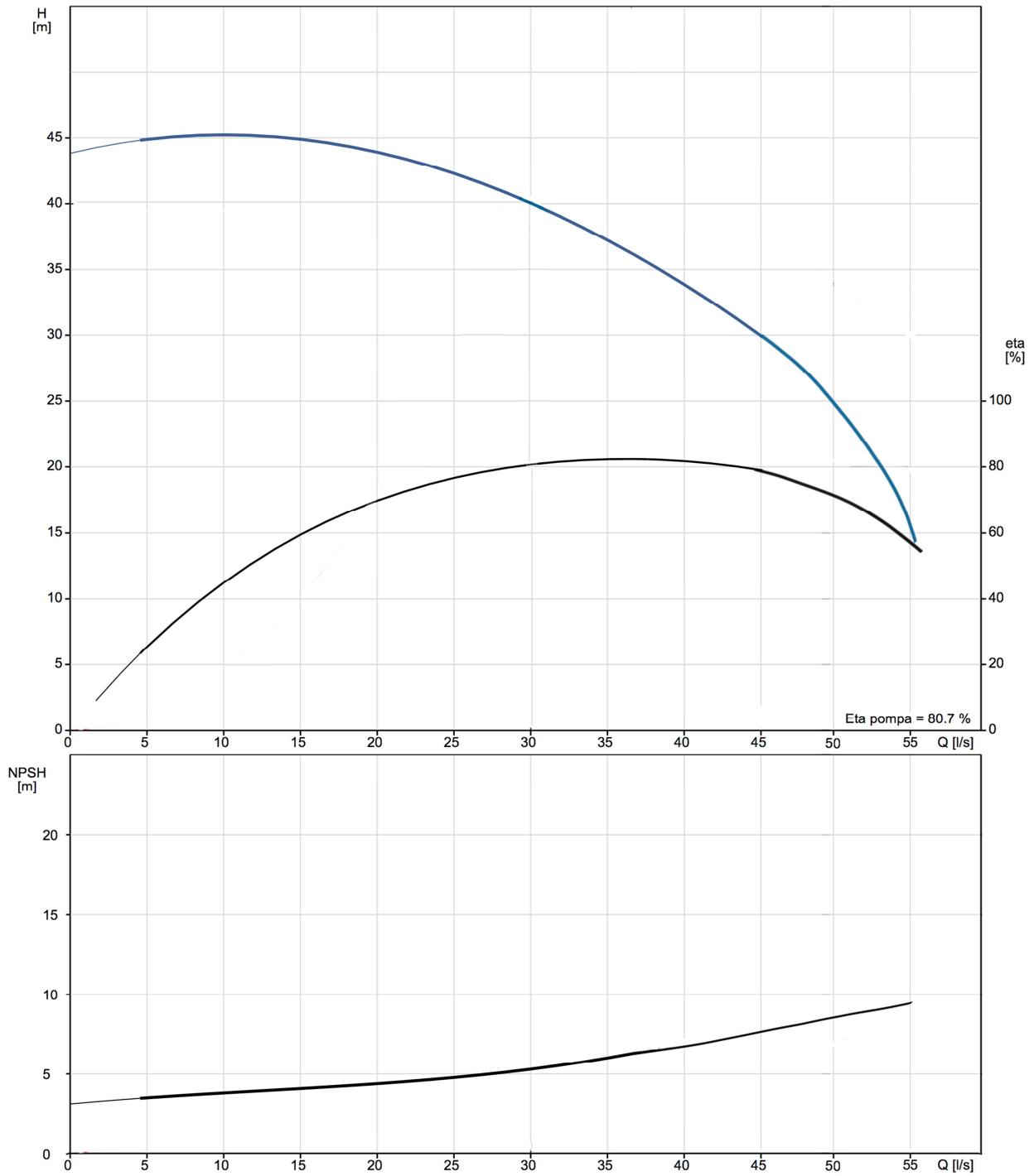
Frequenza di rete: 50 Hz

Voltaggio: 3x380-480 V

Numero poli motore elettrico: 2

Efficienza motore elettrico:

- a pieno carico: 91,5%
- a  $\frac{3}{4}$  carico: 93,2%
- a  $\frac{1}{2}$  carico: 93,2%



## **Tema n. 10**

Nei veicoli terrestri la trasmissione del moto è prevalentemente di tipo meccanico, i componenti sono differenti a seconda che si tratti di autovetture, trattori e/o macchine movimento terra, autocarri, motociclette, biciclette.

Il candidato, scelta una classe di veicoli tra quelli precedentemente elencati, individui i componenti principali prevedibili per la relativa trasmissione meccanica, ne evidenzi le criticità, illustrando e discutendo i più probabili meccanismi di danneggiamento ed usura.

Se ne esegua la progettazione dal punto di vista della corretta selezione dei materiali concentrandosi sulle caratteristiche meccaniche e fisico-chimiche che il materiale scelto conferisce al componente, nonché su eventuali trattamenti superficiali volti ad aumentare la durata del componente.

Si illustri il ciclo produttivo ottimale, a partire da opportuni semiprodotto intermedi, inizialmente in modalità *flow-chart* per poi descriverlo con maggiore dettaglio successivamente.