

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

Il Sessione 2019 - Sezione A
Settore Industriale

Prova PRATICA del 20 dicembre 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

La missione PRISMA (PREcursore IperSpettrale della Missione Applicativa) è una missione dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) lanciata il 22 Marzo 2019 con il vettore VEGA.

PRISMA è una missione sviluppata per fornire un contributo unico all'osservazione delle risorse naturali e fornire dati fondamentali per l'analisi dei processi ambientali. Per poter raggiungere gli obiettivi di missione, il segmento spazio della missione è provvisto di strumenti elettro-ottici costituiti da un sensore iperspettrale e da una macchina fotografica a media risoluzione sensibile a tutti i colori (pancromatica).

Si assumano i seguenti requisiti di missione ad alto livello:

- Dimostrare nuove tecnologie in orbita utilizzando un satellite di piccole dimensioni;
- Identificare e monitorare le risorse naturali e le caratteristiche dell'atmosfera (informazioni sullo stato delle colture, inquinamento, fiumi e laghi, stato delle zone costiere e del Mar Mediterraneo, composizione del terreno e ciclo del carbonio).

Si considerino inoltre i seguenti requisiti:

- Capacità di puntamento dello spacecraft di $\pm 14.7^\circ$ (off-nadir);
- Accuratezza di puntamento sui 3 assi di 0.07° ;
- Peso massimo di 830 kg;
- Quota massima: 615 km;
- Orbita operativa: 97.85° .

Si fornisce in allegato il dettaglio di:

- Mission statement e obiettivi di missione
- Requisiti di alto livello di missione e di sistema
- Requisiti dei payload

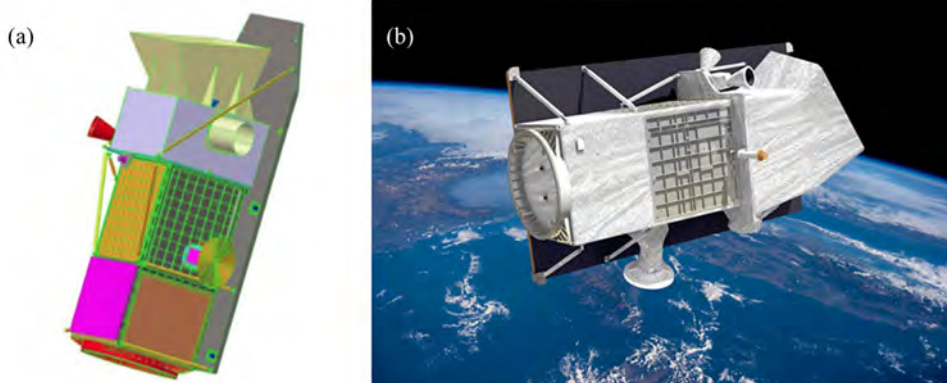


Fig. 1: Segmento spazio della missione PRISMA. [(a) OPTIMA, "PRISMA Products and Applications", (b)

Le principali caratteristiche della missione e del satellite sono riassunte di seguito nella tabella:

Orbita	615 km Sun-Synchronous Orbit (SSO), $i=97,85^\circ$
Vita Operativa	5 anni
Massa wet al lancio	830 kg

Considerando come riferimento la missione PRISMA, si chiede al candidato di risolvere i seguenti punti di una missione scientifica di osservazione della Terra in orbita bassa terrestre:

PARTE A

- A. Tracciare il Profilo di Missione (ovvero Design Reference Mission, DRM), dal suo lancio fino al termine della vita operativa, e dettagliarne le fasi, indicando inizio e fine di ciascuna fase e ambiente operativo.
- B. Definire le principali caratteristiche dei sistemi di bordo e disegnare lo schema a blocchi complessivo del segmento spazio e del segmento terra.
- C. Determinare le principali caratteristiche della camera pancromatica, sapendo che la risoluzione spaziale/Ground Separation Distance (GSD) richiesta è pari o inferiore a 5 metri e una swath minima di 30 km. In particolare, considerando un corretto puntamento al nadir, si determinino:
 - a. Il diametro dell'ottica
 - b. Il Field Of View (FOV) del sistema ottico
 - c. Il numero di pixel di un sensore in formato **array** in grado di soddisfare il requisito di risoluzione spaziale (GSD). Un sensore posto in configurazione array ha la caratteristica principale di avere una sola "striscia" di pixel (come riportato in Fig. 2)
- D. La camera iperspettrale è fornita dal committente della missione ed ha le seguenti caratteristiche:
 - a. Numero di bande spettrali 250 bande nel range di lunghezze d'onda [400-2500] nm
 - b. Strategia di scansione di tipo push-broom.
 - c. Istantaneous Field Of View (IFOV) = 5°
 - d. Capacità di codifica di ogni banda su 16 bit
 - e. Dimensione del sensore CMOS: 1000 x 256 pixels
 - f. Diametro della lente: 30 cmSi determini:
 - o la swath massima inquadrata
 - o la minima GSD
 - o la dimensione di una singola immagine multispettrale in termini di quantità di memoria occupata senza considerare nessuna strategia di compressione

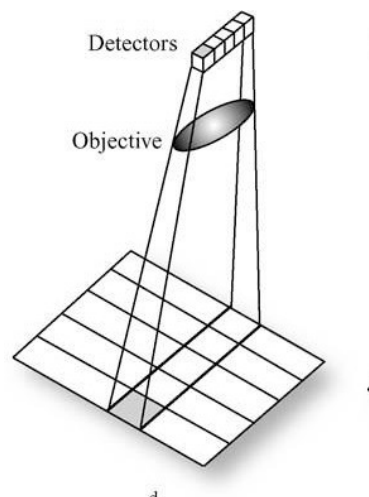


Fig. 2: configurazione "Linear Array"

- E. Illustrare schematicamente i principali modi operativi a livello satellite, specificando quali sottosistemi sono attivi in ciascun modo. Identificare in quali modi operativi può operare il satellite nelle differenti fasi di missione.
- F. Si consideri il seguente consumo medio e di picco dei carichi in Sun-light e in Eclisse:

	Mean	Peak
Sunlight	450 W	490 W
Eclipse	310 W	330 W

Dimensionare i componenti del sottosistema di potenza elettrica nell'orbita peggiore (con tempo di eclisse maggiore), ovvero:

- i pannelli solari in configurazione "body-mounted" e in configurazione "pannelli dispiegabili", minimizzando la superficie del solar array
 - le batterie, selezionando la chimica delle celle utilizzate e definendo l'architettura dei pacchi batteria (ossia il numero di celle in serie e in parallelo) a partire da una tensione di bus pari a 28 V.
- G. Determinare le principali caratteristiche del sistema di comunicazione, considerando una linea di comunicazione in S-band (frequenza di emissione 2.400 GHz) e un'architettura di comunicazione Store & Forward.

Le caratteristiche della stazione sono:

- o Potenza del trasmettitore (S-band): 100 W
- o Diametro parabola: 10 metri
- o Figura di merito del Ricevitore: 1.2
- o Polarization Loss: 0,5 dB
- o Pointing Loss: 0.02°
- o Lunghezza dei cavi tra antenna e trasmettitore: 10 metri con una perdita al metro di 0.12 dB
- o Lunghezza dei cavi tra antenna e ricevitore: 2 metri con una perdita al metro di 0.05 dB
- o Minimum elevation angle (ϵ_{min}) di 5°

La comunicazione avviene con un data rate di 10 Mbit/s.

Si stimino tutti i parametri non riportati e si scelgano opportunamente Modulazione e Codifica al fine di garantire un bit error rate (BER) di almeno 10^{-5} .

Inoltre, si determini il numero massimo di immagini iperspettrali e di immagini pancromatiche per un passaggio sopra alla stazione di terra di 10 minuti (si consideri che nello stesso passaggio si possa trasferire solo una tipologia di immagini).

- H. Il processamento della quantità di dati derivanti dall'utilizzo della camera HYP/PAN occupa il 70% della capacità computazionale dell'OBC. Queste informazioni vengono processate in 30 colpi di clock.

Le altre tipologie di istruzioni a bordo del satellite sono processate per provvedere alle seguenti richieste:

- controllo dell'assetto: 20% delle istruzioni processate con un numero di colpi di clocks medio pari a 8;
- housekeeping & sensors check: 10% delle istruzioni processate in media in 5 colpi di clock;

Calcolare il Processor Throughput con una processor clock frequency di 150 MHz.

PARTE B

Considerando un satellite in grado di svolgere una missione scientifica di osservazione della Terra in orbita bassa terrestre e noti la massa al lancio e il power budget, il candidato ipotizzi l'allocazione di massa sui sottosistemi, motivando la scelta.



Mission Objectives



■ Mission Statement:

"... a **pre-operative small Italian hyperspectral** mission, aiming to qualify the **technology**, contribute to develop **applications** and provide **products** to institutional and scientific users for environmental observation and risk management ..."

■ Mission applications:

- Vegetation monitoring
- Geological mapping
- Agricultural diagnostics, agricultural indicators, land cover maps and crop inventories
- Urban and functional areas mapping and monitoring
- Coastal and inland productivity assessment of aquatic ecosystems
- Vegetation- atmosphere interactions (carbon cycle)
- Land surface hydrology and water management
- Risk Management Support (fires, landslides, volcanic, seismic hazard)
- Atmospheric Physic & Air quality
- Security
- Desertification

Program: PRISMA
Event: HYSPIRI Workshop
Topic: PRISMA Mission
Date: 11-13/08/2009

This document contains proprietary information of ASI, and may not be reproduced, copied, disclosed or utilized in any way, in whole or in part, without the prior written consent of ASI.

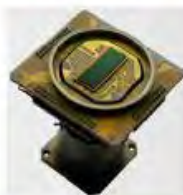
Ref.: RS-IPC-2009-014
Author: PRISMA team
Issue:
Slide: 9



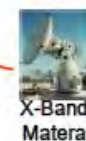
Mission highlights (1/2)



- High-performance "small" satellite mission that will:
 - provide products up to level 2, through acquisition of hyperspectral imaging spectrometer (HYP) and panchromatic (PAN) data
 - Support Value Added Segment
 - Capitalize heritage, leverage Italian assets, technologies and expertise
- Project activities follow ECSS definition for phases and reviews:
 - now we are in PDR
- Some ground elements (antennas, ...) already available
- Long Lead Items procurement on-going



S-Band
Fucino



X-Band
Matera

Program: PRISMA
Event: HYSPIRI Workshop
Topic: PRISMA Mission
Date: 11-13/08/2009

This document contains proprietary information of ASI, and may not be reproduced, copied, disclosed or utilized in any way, in whole or in part, without the prior written consent of ASI.

Ref.: RS-IPC-2009-014
Author: PRISMA team
Issue:
Slide: 10

- **Coverage:**
 - ❑ World-wide
 - ❑ Specific Italian area of interest
- **System Capacity:**
 - ❑ Acquired data volume:
 - Orbit: >50.000 km²
 - Daily >100.000 km²
 - ❑ Daily products generation: 30 HYP/PAN
- **System Latencies:**
 - ❑ Re-look time: < 7 days
 - ❑ Response time: < 14 days
- **Mission modes:**
 - ❑ Primary: User driven
 - ❑ Secondary: Data driven (background mission)

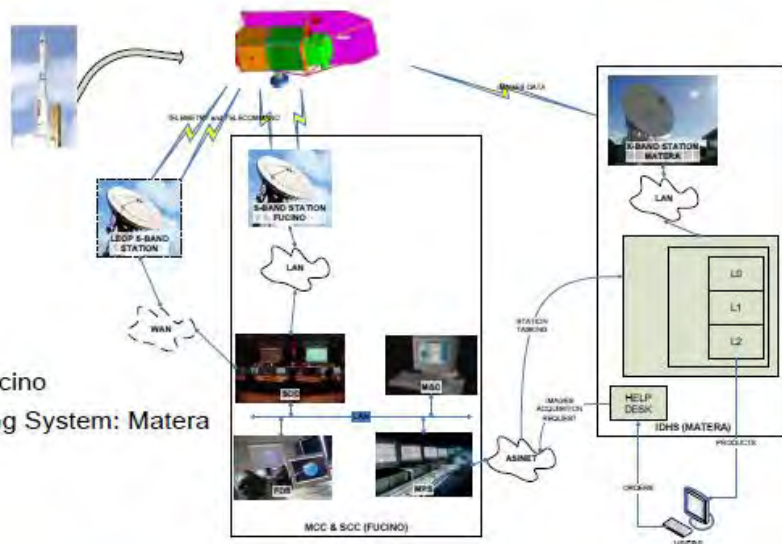


Program: PRISMA
 Event: HYSPIRI Workshop
 Topic: PRISMA Mission
 Date: 11-13/08/2009

This document contains proprietary information of ASI, and may not be reproduced, copied, disclosed or utilized in any way, in whole or in part, without the prior written consent of ASI.

Ref.: RS-IPC-2009-014
 Author: PRISMA team
 Issue:
 Slide: 11

- **Orbit and lifetime:**
 - ❑ LEO SSO,
 - ❑ 3+2 years lifetime
- **System elements:**
 - ❑ 1 "small" Satellite
 - Platform
 - Pan/Hyp Payload
 - PDHT
 - ❑ Ground Segment
 - MCC/SCC/FDS: Fucino
 - Image Data Handling System: Matera
 - ❑ Launch Segment
 - VEGA (baseline)



Program: PRISMA
 Event: HYSPIRI Workshop
 Topic: PRISMA Mission
 Date: 11-13/08/2009

This document contains proprietary information of ASI, and may not be reproduced, copied, disclosed or utilized in any way, in whole or in part, without the prior written consent of ASI.

Ref.: RS-IPC-2009-014
 Author: PRISMA team
 Issue:
 Slide: 12

Key imaging and payload requirements

- **Swath / FOV: 30 km / 2.45°**
- **Spatial GSD (elementary geom. FoV):**
 - PAN: <5 m (2x6000 pixels)
 - HYP: <30 m (1000x256 pixels)

- **Spectral ranges:**
 - PAN camera: 400-700 nm
 - HYP instrument (contiguous spectrum)
 - VNIR: 400-1010 nm
 - SWIR: 920-2505 nm
- **Spectral resolution: <10 nm**

[News](#)[Directory](#)[Events](#)[Images](#)[FedEO](#)[Explore more...](#)You are here [Home](#) > [Directory](#) > [Satellite Missions](#) > [P](#) > [PRISMA \(Hyperspectral\)](#)

PRISMA

PRISMA (Hyperspectral Precursor and Application Mission)

[Spacecraft](#) [Launch](#) [Mission Status](#) [Sensor Complement](#) [Ground Segment](#) [References](#)

PRISMA (PRecursores IperSpettrale della Missione Applicativa) is a medium-resolution hyperspectral imaging mission of the Italian Space Agency ASI (Agenzia Spaziale Italiana) under development as of 2008. It is a follow-on project of the previously started HypSEO (Hyperspectral Satellite for Earth Observation) program whose phase B was completed in 2002 and then discontinued. - The PRISMA project is conceived as a pre-operational and technology demonstrator mission, focused on the development and delivery of hyperspectral products and the qualification of the hyperspectral payload in space. [1](#)) [2](#)) [3](#)) [4](#)) [5](#)) [6](#)) [7](#)) [8](#))

PRISMA will focus on the needs of the Italian institutional and research entities. The mission objectives are:

- to develop a small satellite mission entirely in Italy for monitoring of natural resources and atmospheric characteristics (information on land cover and crop status, pollution quality of inland waters, status of coastal zones and the Mediterranean Sea, soil mixture and carbon cycle), taking advantage of the previous developments carried out by ASI
- to provide the standard data products with short delay periods after reception to the scientific community to address the various selected applications, such as those related to quality and protection of the environment, sustainable development, climate change, etc.
- to demonstrate new technologies in orbit.

The overall objective is to provide a global observation capability - the specific areas of interest to be covered are Europe and the Mediterranean region. The PRISMA mission development is completely funded by ASI (Italian Space Agency) and includes the system development program and the related applications and research activities.

The industrial core team is formed by Carlo Gavazzi Space (CGS), Selex Galileo (SG) and Rheinmetall Italia (Rhl), and also includes all the key national industries which have already acquired specific knowhow and expertise. ASI awarded the prime contract to CGS in Dec. 2007.

Note: Selex ES is an international electronics and information technology business, which is part of Finmeccanica S.p.A. It is based in Italy and the UK, and was formed in January 2013, following Finmeccanica's decision to combine its existing SELEX Galileo, SELEX Elsas and SELEX Sistemi Integrati businesses.

The following tasks are assigned to the core team:

- CGS: Responsible for project management, contract management and system engineering, both for space segment and ground segment, design, development and integration of the platform, for system AIV (Assembly, Integration and Verification) activities, satellite EGSE, support to launcher interface. In the frame of the Ground Segment, CGS is responsible of the overall data processing in the IDHS (Instrument Data Handling System) of the Level 2 standard products development.
- Selex ES (former Selex Galileo became Selex ES in January 2013): Responsible for design, development, integration, test and calibration of the complete hyperspectral instrument, PAN camera and of its test equipment [MGSE (Mechanical Ground Support Equipment), EGSE (Electrical Ground Support Equipment) and OGSE (Optical Ground Support Equipment)]. For what concern the platform, Selex ES will also supply solar panels, AA-STR (APS Autonomous Star Tracker) devices for attitude determination and the on-board PCDU (Power Conditioning and Distribution Unit). In the frame of the Ground Segment, GA will be responsible for the overall Data Processing in the IDHS with direct responsibility of level 0 and level 1 standard products development.
- Rhl: responsible for thermo-mechanical engineering of the satellite, development and integration of the structure and thermal subsystem of the platform, for platform and payload structural model, for launcher interface, for satellite thermo-mechanical AIV and relevant environmental qualification, for satellite MGSE and for launch campaign. RHI will also supply the solar panel mechanical substrate.

Directory

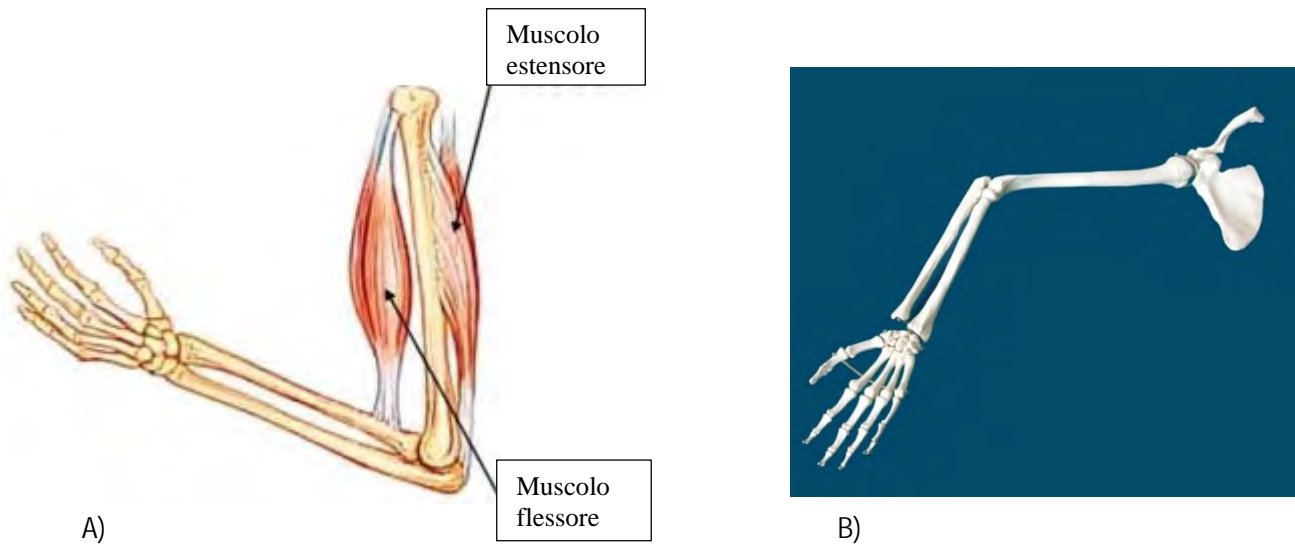
[Directory Home](#)
[Satellite Missions](#)

A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
M
N
O
P

PACE
PACE Mission
PANSAT
PARASOL
Parker Solar Probe
ParkinsonSat
PAZ
PEARL
PeruSat-1
Phoenix
PhoneSat-1 and 2
PhoneSat-2.5
Picard
PICASSO
PicSat
Pico Dragon
PISat
PLATO
Pleiades
POLAR
Polar Scout
POPACS
POPSAT-HIP1
PRECISE
Priroda
PRISM
PRISMA (Hyperspectral)
PRISMA (Prototype)
PROBA-1
PROBA-2
PROBA-3
PROBA-V
PROCYON
PROITERES
Prometheus
PSat-2

Tema n. 2

L'articolazione del gomito ha sostanzialmente due gradi di libertà, con i quali permette ampi movimenti di flessione dell'avambraccio sul braccio ed estensione; più limitati sono invece i movimenti di pronazione e supinazione. Ad avambraccio flesso sono anche possibili modestissimi movimenti di lateralità.



Considerando un individuo con massa corporea pari a 85 kg ed altezza 1,80 m:

- valutare numericamente, per mezzo di un modello semplificato, il modulo e la direzione della reazione articolare quando l'individuo flette l'avambraccio sul braccio, senza la presenza di un oggetto sostenuto dalla mano, ipotizzando tre diversi gradi di angolazione, a scelta, tra braccio e avambraccio (figura A);
- valutare numericamente, per mezzo di un modello semplificato, il modulo e la direzione della reazione articolare quando l'individuo estende l'avambraccio, senza la presenza di un oggetto sostenuto dalla mano, ipotizzando tre diversi gradi di angolazione, a scelta, tra braccio e avambraccio (figura B);
- valutare numericamente, per mezzo di un modello semplificato, il modulo e la direzione della reazione articolare quando l'individuo flette l'avambraccio sul braccio sostenendo con la mano un oggetto di massa pari a 1 kg, ipotizzando tre diversi gradi di angolazione, a scelta, tra braccio e avambraccio (figura A);
- valutare numericamente, per mezzo di un modello semplificato, il modulo e la direzione della reazione articolare quando l'individuo estende l'avambraccio sostenendo con la mano un oggetto di massa pari a 1 kg, ipotizzando tre diversi gradi di angolazione, a scelta, tra braccio e avambraccio (figura B).

Ricavare i parametri anatomici/geometrici necessari dalla seguente tabella dove, per i diversi segmenti corporei, sono riportati i coefficienti moltiplicativi, rispettivamente dell'altezza dell'individuo e della sua massa, per ricavare ad esempio le dimensioni longitudinali di un arto o di una sua parte, la posizione relativa del suo baricentro, la sua massa.

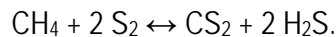
Eventuali altri parametri utili alla risoluzione del problema devono essere ipotizzati e giustificati.

Segmento	Definizione	lunghezza rel.	massa rel.	posiz. baric./lungh. seg. Pros. %	Dist. %
Testa e collo	C7-T1/vertice testa	0.211	0.070	0.639	0.361
Tronco	art. coxo-femorale/art. gleno-omeroale	0.264	0.456	0.500	0.500
Braccio	Art. gleno-omeroale/Asse gomito	0.161	0.025	0.436	0.564
Avambraccio	Asse gomito/asse polso	0.145	0.016	0.430	0.570
Mano	Asse polso/estremità dito medio	0.108	0.006	0.360	0.640
Avamb. e mano	Art. gomito/estremità dito medio	0.253	0.022	0.377	0.623
Arto superiore-	Art. gleno-om./Estremità dito medio	0.414	0.047	0.380	0.620
Coscia	Art. coxo-femorale/asse ginocchio	0.241	0.131	0.433	0.567
Gamba	Asse ginocchio/Malleolo	0.238	0.046	0.433	0.567
Piede	Malleolo laterale/estremità calcagno	0.046	0.013	0.500	0.500
Piede e gamba	Asse ginocchio/Tallone	0.284	0.059	0.485	0.515
Arto inferiore	Art. coxo-femorale/Tallone	0.525	0.190	0.361	0.639
testa tronco arti s.	Art. coxo-femorale/vertice testa	0.475	0.620	0.333	0.667
intero corpo		1.0	1.0		

- Riportare su un grafico angolo di flessione braccio-avambraccio/reazione articolare i risultati trovati e commentarli
- Ipotizzando una tensione di rottura media dell'osso pari a 100 MPa, quale sarebbe il carico sostenuto dalla mano che ne determinerebbe la rottura?
- Riferire infine con quali metodi teorici e sperimentali è possibile studiare il comportamento strutturale delle articolazioni umane.

Tema n. 3

Il solfuro di carbonio (CS₂) viene prodotto in un reattore tubolare isoterma operante alla pressione di 1 bar mediante la seguente reazione catalitica fra metano e zolfo:



A $T = 600$ °C la velocità di reazione può essere stimata nel modo seguente:

$$R = \frac{8 \cdot 10^{-2} \exp\left\{-\frac{115000}{RT}\right\} P_{\text{CH}_4} P_{\text{S}_2}}{1 + 0.6 P_{\text{S}_2} + 2.0 P_{\text{CS}_2} + 1.7 P_{\text{H}_2\text{S}}} \quad \text{con } R \text{ espresso in } \text{kmol s}^{-1} \text{kg}^{-1} \text{catalizzatore,}$$

dove le pressioni parziali sono espresse in bar, la temperatura T in K e R come kJ kmol⁻¹ K⁻¹. In queste condizioni il reattore ha una conversione del 90%.

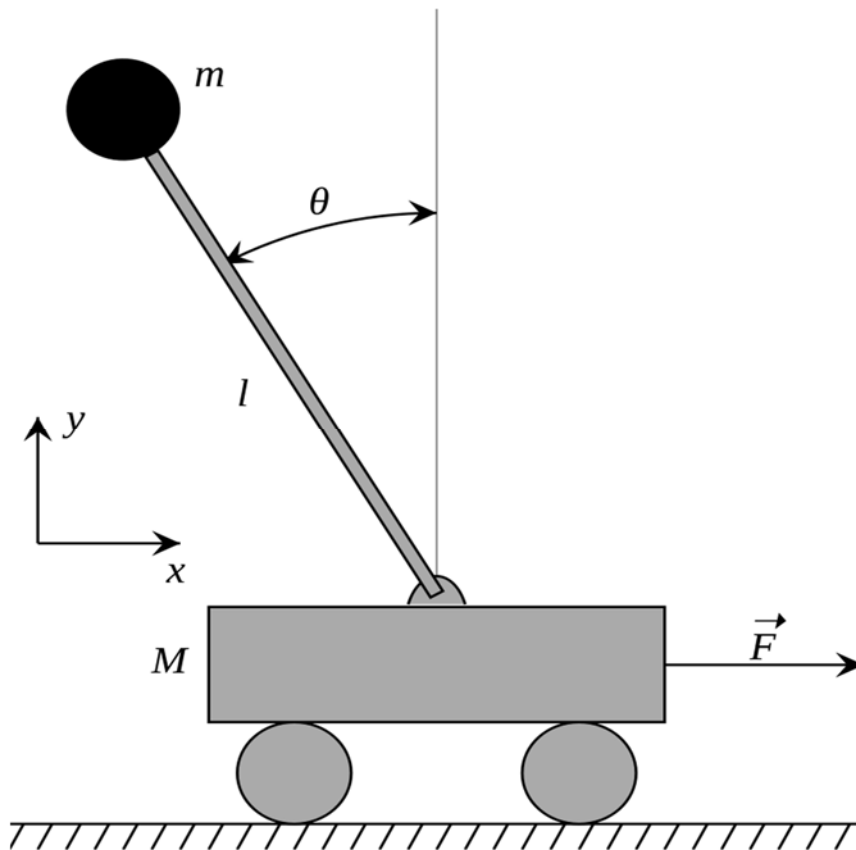
Il candidato deve:

- dimensionare il reattore e determinare la quantità di catalizzatore necessaria per produrre 1 tonnellata al giorno di CS₂, assumendo che il profilo di velocità nel reattore sia piatto e che le perdite di carico siano trascurabili;
- calcolare le perdite di carico nel caso in cui il catalizzatore sia costituito da sfere di allumina di raggio pari a 3 mm e grado di vuoto pari a 0.4;
- dimensionare opportunamente l'apparecchiatura in grado di alimentare la corrente gassosa in ingresso al reattore;
- redigere lo schema dell'impianto, specificando la composizione di ogni corrente e ideare uno schema di massima del sistema di controllo delle apparecchiature.

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

Tema n. 4

La maggior parte dei problemi di mantenimento in equilibrio che si incontrano nell'ambito della mecatronica (e in particolare della robotica) possono essere ricondotti al bilanciamento in posizione verticale di un pendolo inverso.



Si consideri, nello specifico, lo schema rappresentato in figura, in cui un pendolo inverso è montato su un carrello libero di muoversi lungo la direzione x sotto l'effetto della forza F generata da un opportuno attuatore.

Ipotesizzando la forza F come ingresso di comando del sistema e come uscita la posizione angolare Θ è possibile descrivere il sistema, dopo aver linearizzato le equazioni fisiche intorno alla posizione di equilibrio corrispondente a $\Theta=0$, con la seguente funzione di trasferimento che descrive, in termini di trasformate di Laplace, la relazione matematica tra la variabile di comando (ingresso) F e la variabile controllata (uscita) Θ ,

$$G_p(s) = \frac{\Theta(s)}{F(s)} = \frac{K}{(s-p)(s+p)}$$

dove:

$$K = -1$$

$$p = 1.414$$

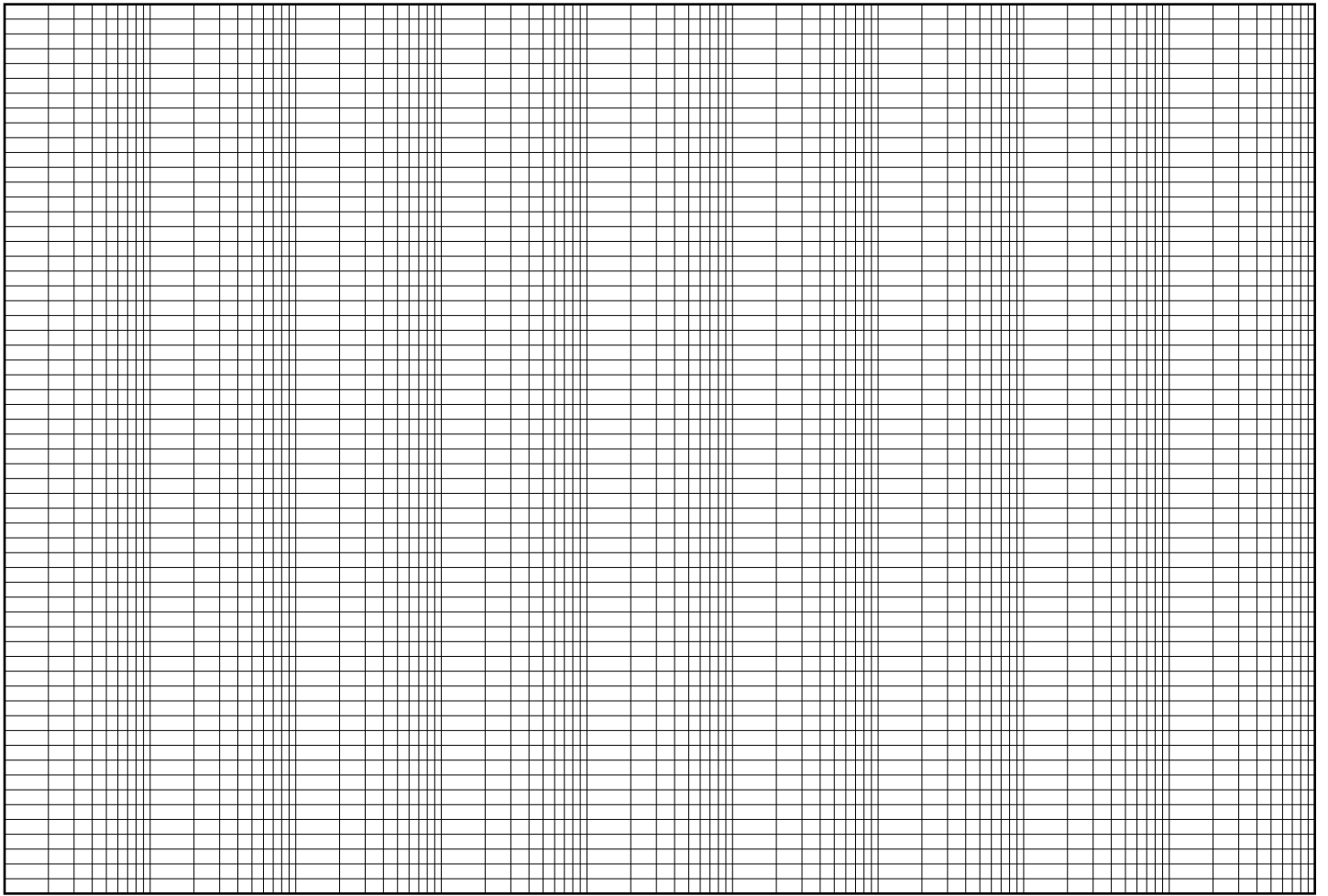
Si richiede al candidato di progettare un opportuno sistema di controllo che, agendo sul segnale di comando F , regoli il comportamento della variabile controllata Θ in modo tale che vengano soddisfatti i seguenti requisiti di prestazione:

- Stabilità del sistema controllato
- Errore di inseguimento nullo a fronte di riferimenti di posizione angolare a gradino
- Errore di inseguimento nullo a fronte di disturbi costanti additivi sul segnale di comando F

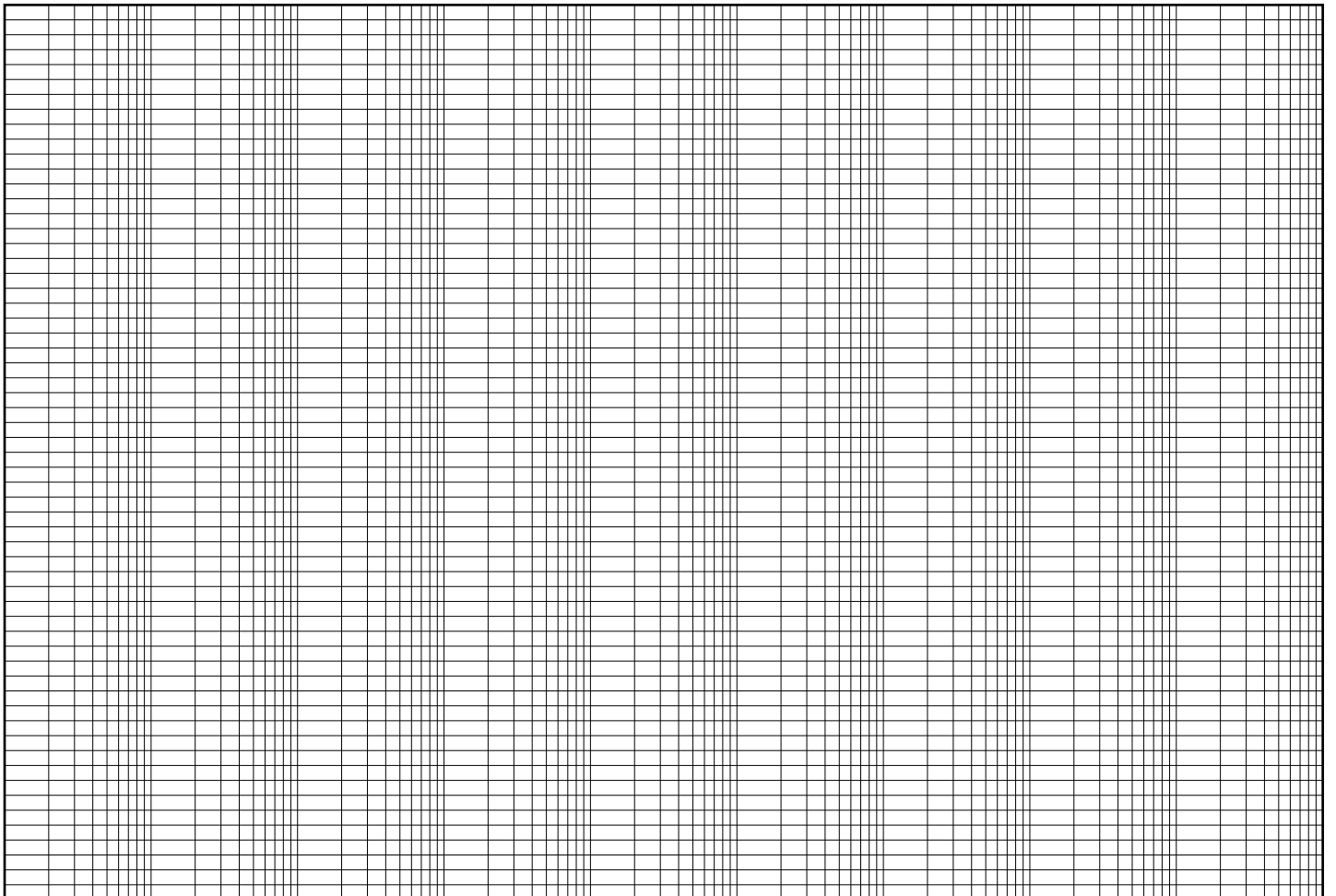
NOTE PER IL CANDIDATO:

- 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.

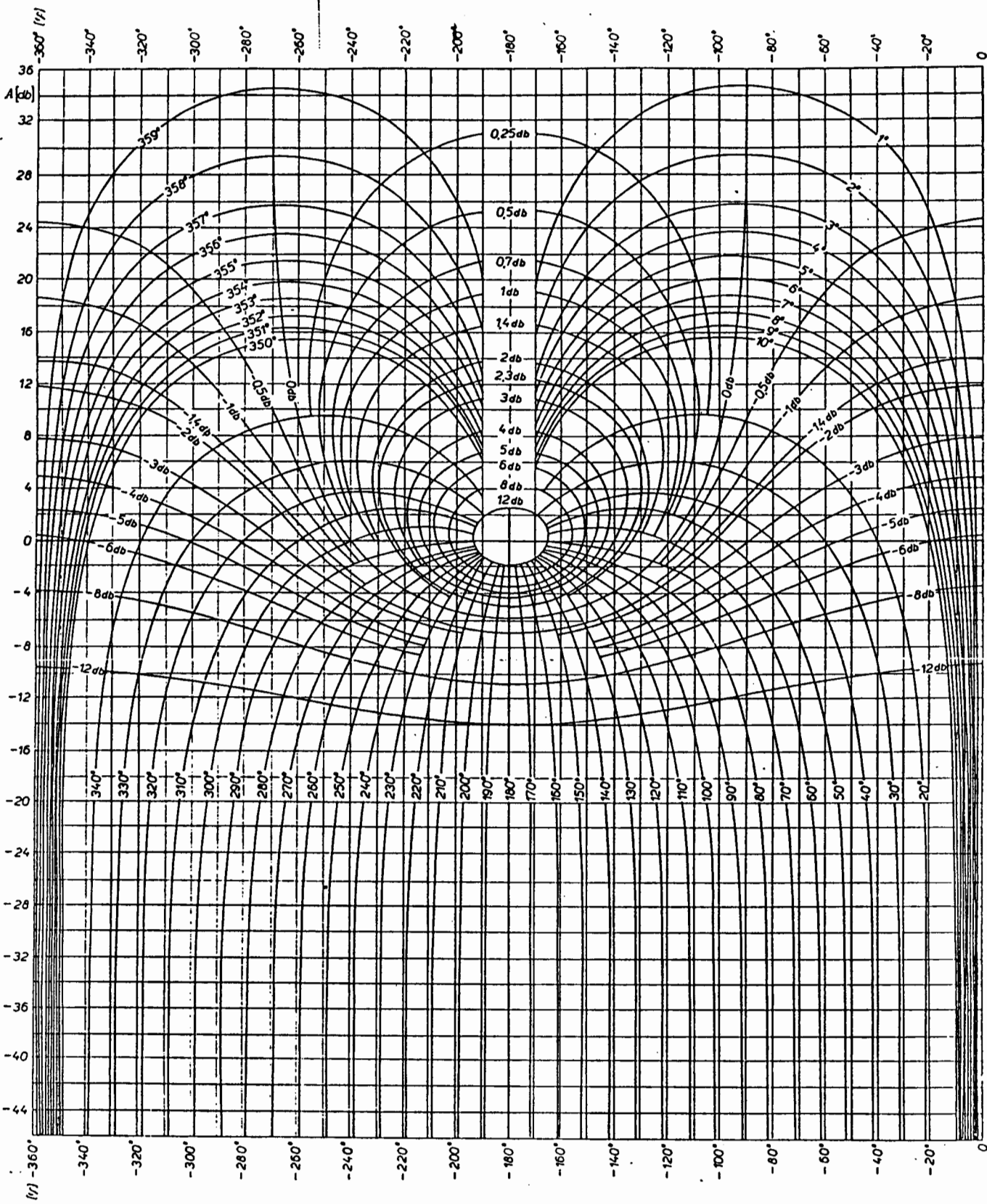
Carta semilogaritmica a 9 decadi



Pulsazione



Pulsazione



Tema n. 5

Si consideri lo stabilimento industriale rappresentato in figura, costituito da un reparto di lavorazione, un magazzino, un'area uffici, ed un parcheggio esterno coperto disposto a sud.



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

- $V_n = 20$ kV trifase; neutro isolato.
- $S_{cc} = 350$ MVA (potenza di ctocto).
- $I_F = 50$ A (corrente di guasto fase-terra).
- $t = 1$ s (tempo di eliminazione del guasto).

Il quadro elettrico **QA** alimenta:

- 12 motori asincroni trifase, ciascuno di potenza pari a 10 kW;
- 6 linee luce monofase, ciascuna da 3 kW
- 6 prese trifase da 32 A.
- 24 prese monofase da 16 A.

I quadri elettrici **QB** e **QC** sono al servizio rispettivamente del magazzino e degli uffici, occupanti le aree rappresentate in figura.

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

1. dimensionamento di impianto fotovoltaico connesso alla rete, disposto sulla copertura piana del parcheggio, in modo da massimizzare la quota di energia prodotta;
2. stima dell'energia elettrica annuale producibile dall'impianto fotovoltaico, sapendo che l'area riceve una radiazione solare annua pari a 1600 kWh/m^2 , su un piano inclinato di 30° rispetto a quello orizzontale (inclinazione ottimale);
3. stima del carico convenzionale e della potenza di progetto dello stabilimento (solo alimentazione normale) e schema a blocchi, che definisca l'architettura dell'impianto elettrico di distribuzione;
4. dimensionamento della cabina di trasformazione con la rappresentazione dello schema unifilare (comprensivo dei quadri generali MT e BT), contenente le indicazioni delle principali grandezze elettriche d'impianto e caratteristiche elettriche dei componenti rappresentati;
5. dimensionamento delle condutture, che alimentano i quadri QA, QB, QC, coordinate con i relativi dispositivi di protezione;
6. progetto illuminotecnico del magazzino (altezza sotto-trave 8m) e dimensionamento delle linee elettriche di alimentazione degli apparecchi illuminanti, coordinate con i relativi dispositivi di protezione disposti nel quadro QB;
7. definizione delle caratteristiche dell'impianto di terra dello stabilimento (resistività del terreno: $150 \Omega\text{m}$).

La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

Tema n. 6

Si consideri un edificio di civile abitazione a torre, costituito da 8 piani, compreso il piano terra, con 4 alloggi per piano, più il piano interrato nel quale sono state ricavate le cantine ed il locale tecnico per la Centrale Termica. L'edificio ha dimensioni in pianta di circa 25 m * 25 m.

Il candidato scelga la disposizione degli alloggi, la suddivisione interna dei vani e la loro esposizione, formuli delle ipotesi realistiche in merito alla stratigrafia delle pareti opache e alle caratteristiche delle superfici vetrate, giustificandole alla luce della legislazione/normativa vigente.

Sviluppi il progetto preliminare dell'impianto di riscaldamento centralizzato, stimando i carichi termici invernali ed effettuando il dimensionamento di massima del generatore di calore (avente acqua come fluido termovettore ed alimentato a gas naturale), nell'ipotesi che l'edificio sia ubicato in una località per la quale la temperatura esterna minima di progetto valga -10°C , il numero di GG sia circa 2700 e il periodo di riscaldamento abbia durata 180 giorni.

Con riferimento ad un alloggio, effettui il dimensionamento di massima dei corpi scaldanti, vano per vano, e il diametro delle tubazioni al loro servizio.

Il candidato immagini, per l'edificio oggetto di studio, due schemi funzionali di reti di distribuzione del fluido termovettore come quelli mostrati nella figura allegata (distribuzione a colonne montanti e distribuzione orizzontale a zona): progetti, per ciascuno dei due schemi, un sistema di contabilizzazione del calore tenendo conto della sostenibilità economica e della legislazione vigente.

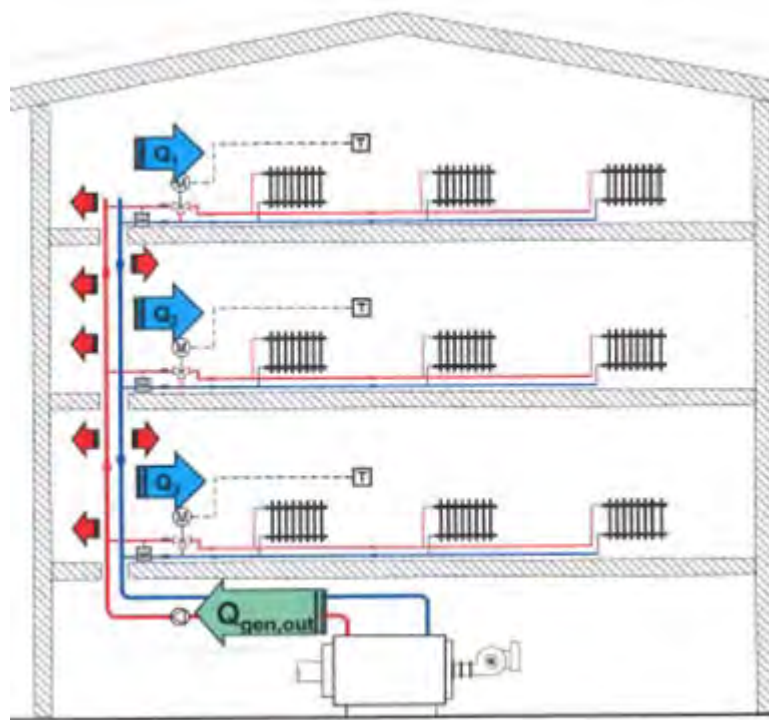
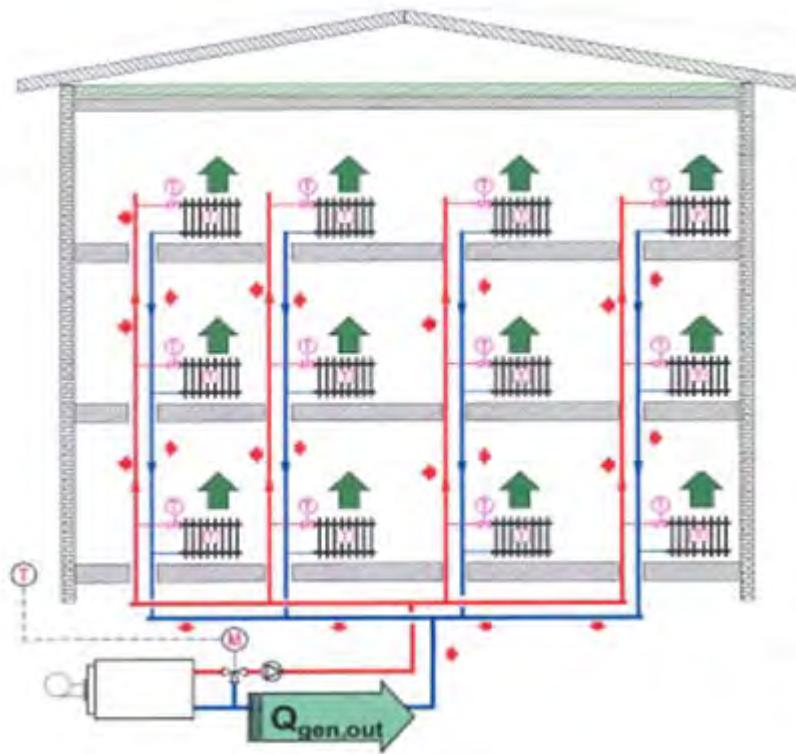
Con riferimento alla distribuzione orizzontale a zona, effettui il dimensionamento di massima delle colonne montanti e dei collettori a valle del generatore di calore; illustri, mediante uno schema, il sistema di regolazione della temperatura di mandata impianto, il sistema di regolazione della temperatura ambiente degli alloggi e spieghi l'importanza della loro funzione; elenchi e commenti infine gli accessori di cui deve essere dotato il generatore di calore, nel caso di centrale termica a vaso aperto e nel caso di centrale termica a vaso chiuso.

Il generatore di calore è costituito da un bruciatore ad aria soffiata e da una caldaia ed è accoppiato con un camino per lo scarico dei prodotti della combustione: stimare la potenza elettrica assorbita dal motore elettrico che trascina la girante del ventilatore, la sezione del camino e la superficie di scambio termico della caldaia.

Con riferimento ai GG indicati e ad una stagione di riscaldamento il candidato stimi il fabbisogno energetico dell'edificio e lo esprima in kWh per m^2 di superficie calpestabile e in kWh per m^3 di volume riscaldato.

Nella ipotesi che l'edificio si allacci ad una rete di teleriscaldamento, stimi la superficie di scambio termico dello scambiatore di calore (scambiatore a piastre), le sue dimensioni di ingombro e calcoli infine le tonnellate di anidride carbonica che non verrebbero scaricate in atmosfera.

Il candidato faccia delle ipotesi realistiche per eventuali dati mancanti.



Nota. Le due figure non si riferiscono all'edificio oggetto di questo progetto, hanno la sola funzione di mostrare i due diversi schemi di distribuzione di cui si parla nel testo.

Tema n. 7

PROGETTAZIONE E GESTIONE DI UN MAGAZZINO

1. Introduzione

È richiesto al candidato lo sviluppo di un progetto preliminare e di un'ipotesi di gestione di un magazzino automatico servito da trasloelevatori per una multinazionale che commercializza componentistica elettronica. In particolare, è richiesto di eseguire un dimensionamento fisico di massima del magazzino, di valutare delle possibili politiche di gestione delle scorte per alcuni codici prodotto presi come campione e di stimare le principali performance del suddetto magazzino nonché le tempistiche del progetto di realizzazione dello stesso.

2. Quesiti

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

- discutere quali tipologie di mezzi di movimentazione interna sono necessarie nel magazzino;
- determinare il numero di trasloelevatori necessari;
- determinare la superficie della zona di ricevimento merci, della zona di stoccaggio e della zona di spedizione delle merci;
- determinare la superficie complessiva del magazzino e stimare l'altezza netta sotto filo catena dello stesso;
- determinare il numero delle banchine di scarico e il numero delle banchine di carico delle merci di cui dovrà essere dotato il magazzino;
- tracciare uno schema di massima del layout del magazzino con indicazione delle quote principali;
- determinare la durata media di ciclo semplice e la durata media di ciclo combinato per ciascuno dei trasloelevatori utilizzati nel magazzino. Applicare a tal fine la norma F.E.M. 9851;
- calcolare i seguenti indicatori di performance del magazzino:
 - selettività
 - coefficiente di sfruttamento superficiale
 - coefficiente di sfruttamento volumetrico;
- valutare per ciascuno dei due codici prodotto di cui al Paragrafo 6 la politica di gestione delle scorte che risulta più appropriata e calcolarne le quantità caratteristiche;
- stendere un diagramma di Gantt per il progetto di realizzazione del nuovo magazzino individuando le relazioni di precedenza tra attività. Determinare la durata totale del progetto e il cammino critico.

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

3. Progettazione degli spazi del magazzino

Il magazzino in esame dovrà gestire 1.000 codici prodotto differenti e avrà una ricettività pari a 200.000 pallet. Ciascun pallet ha dimensioni pari a 1200 x 800 x 500(h) mm. Ciascun vano di stoccaggio della scaffalatura può accogliere fino a 3 pallet impilati uno sopra l'altro. Per semplicità, si assuma che l'area di un vano di stoccaggio sia pari all'area di base del pallet e che l'altezza utile dello stesso sia multipla dell'altezza di un pallet.

Si considerino inoltre i seguenti dati:

- Altezza massima del sistema di stoccaggio pari a 50 m.
- Spessore del singolo ripiano di stoccaggio pari a 170 mm.
- Larghezza di un corridoio tra due scaffalature: 1.600 mm.
- Potenzialità di movimentazione pari a 9.000 pallet al giorno (4.500 pallet/giorno ricevuti, 4.500 pallet/giorno spediti)
- Peso massimo di un pallet pari a 20 kg.
- Tempo necessario per caricare/scaricare un mezzo pari ad 1 ora

- Tempo di accettazione merce in ingresso e di movimentazione verso l'area di stoccaggio pari a 1 ora
- Utilizzo di container da 1 TEU (6,1 x 2,4 x 2,6 (h) m) sia per i carichi in ingresso al magazzino sia per quelli in uscita.
- Un giorno lavorativo pari a 8 ore
- Numero di cicli all'ora del trasloelevatore:
 - Ciclo semplice: 30-40 cicli all'ora
 - Ciclo combinato: 20-25 cicli all'ora
- Efficienza del trasloelevatore: 85%-90%
- Tipo di trasloelevatore: single shuttle. Un trasloelevatore dedicato a ciascun corridoio
- Capacità portante del pavimento: 2.500 kg/m²

4. Valutazione dei tempi ciclo del trasloelevatore

Come parte dello studio occorre calcolare la durata media di ciclo semplice e la durata media di ciclo combinato di ciascuno dei trasloelevatori che saranno utilizzati nel magazzino. A tal fine si consideri che:

- La quota del punto di I/O del magazzino è posta a 1 m dal piano pavimento
- La velocità di traslazione orizzontale del trasloelevatore è pari a 1,5 m/s
- La velocità di traslazione verticale del trasloelevatore è pari a 0,6 m/s
- I tempi fissi (tempi ciclo delle forcole del trasloelevatore, che includono anche i tempi di centraggio) t_{fissi} sono complessivamente pari a 20 s.

5. Valutazione delle performance del magazzino

Per il calcolo dei coefficienti di sfruttamento superficiale e volumetrico si consideri una situazione in cui il magazzino abbia tutte le scaffalature completamente occupate per i soli primi due vani di stoccaggio inferiori.

6. Gestione delle scorte

In fase di progettazione del magazzino si vogliono anche considerare possibili politiche di gestione delle scorte da applicare ai singoli codici che saranno stoccati presso lo stesso. È stata eseguita un'analisi ABC volta a creare una tassonomia dei codici prodotto in base ai loro livelli di giacenza attesa e al conseguente immobilizzo di capitale. Si considerino i seguenti due prodotti C0045 e C0136.

Il codice prodotto C0045 è un prodotto di classe A la cui domanda settimanale è distribuita secondo una normale con media pari a 80 unità e scarto quadratico medio pari a 10 unità. Il lead time del fornitore è anche esso distribuito secondo una normale con media pari ad 1 settimana e scarto quadratico medio pari a 0,5 settimane. Il prezzo unitario di vendita del bene è pari a 200 €/unità, il costo di emissione dell'ordine è pari a 30 €/ordine e il costo unitario di giacenza è pari al 30% del prezzo di vendita su base annuale.

Il codice C0136 è un prodotto di classe C la cui domanda settimanale è distribuita secondo una normale con media pari a 4.000 unità e deviazione standard pari a 1.000 unità. Il lead time del fornitore di questo prodotto è anche esso distribuito secondo una normale con valore medio pari a 2 settimane e deviazione standard pari a 0,4 settimane. Il prezzo unitario di vendita del bene è pari a 10 €/unità, il costo di emissione dell'ordine è pari a 30 €/ordine e il costo unitario di giacenza è pari al 22% del prezzo di vendita su base annuale.

Si assuma inoltre:

- un anno lavorativo pari a 50 settimane
- probabilità di non andare in stockout pari a 96%.

Se necessario, considerare un intervallo temporale tra una revisione del livello di giacenza del codice e la successiva pari a 6 settimane.

Vedere anche Allegato.

7. Programmazione del progetto di costruzione del magazzino

Il progetto di realizzazione del nuovo magazzino si svilupperà secondo le seguenti attività (Tabella 1), ognuna delle quali riportata con la sua durata stimata (miglior valore attualmente disponibile):

Codice fase/attività	Nome fase/attività	Durata [gg lavorativi]
0	FASE DI START-UP	
0.1	Stipula contratto	10
0.2	Planning	4
1	FASE DI PROGETTAZIONE	
1.1	Progettazione layout	14
1.2	Progettazione sistema di stoccaggio	15
1.3	Progettazione sistema di movimentazione	10
1.4	Progettazione impianti generali	12
1.5	Specifiche per sistema gestionale	8
2	FASE DI ACQUISTO	
2.1	Richieste offerte dai fornitori	5
2.2	Ricevimento offerte dai fornitori	20
2.3	Trattative offerte	10
2.4	Emissione ordini a fornitori	2
3	FASE DI FABBRICAZIONE E TRASPORTO MATERIALI	
3.1	Sistema di stoccaggio	60
3.2	Sistema di movimentazione	30
3.3	Sistema gestionale	40
4	FASE DI LAVORI CIVILI	
4.1	Scavi e realizzazione fondazioni	15
4.2	Realizzazione strutture portanti	30
4.3	Realizzazione coperture	10
4.4	Realizzazione tamponature laterali	10
4.5	Realizzazione pavimentazioni	16
4.6	Realizzazione impianti generali	20
5	FASE DI INSTALLAZIONE E MONTAGGIO IN CANTIERE	
5.1	Sistema di stoccaggio	12
5.2	Sistema di movimentazione	8
5.3	Sistema gestionale	3
5.4	Pre-collaudato complessivo	2
6	Collaudo generale magazzino	3
7	Consegna del magazzino	1
8	FASE DI MANAGEMENT	
8.1	Project Management	In base a durata progetto
8.2	Management del cantiere	In base a durata progetto in cantiere

Tabella 1. Attività del progetto di realizzazione del magazzino

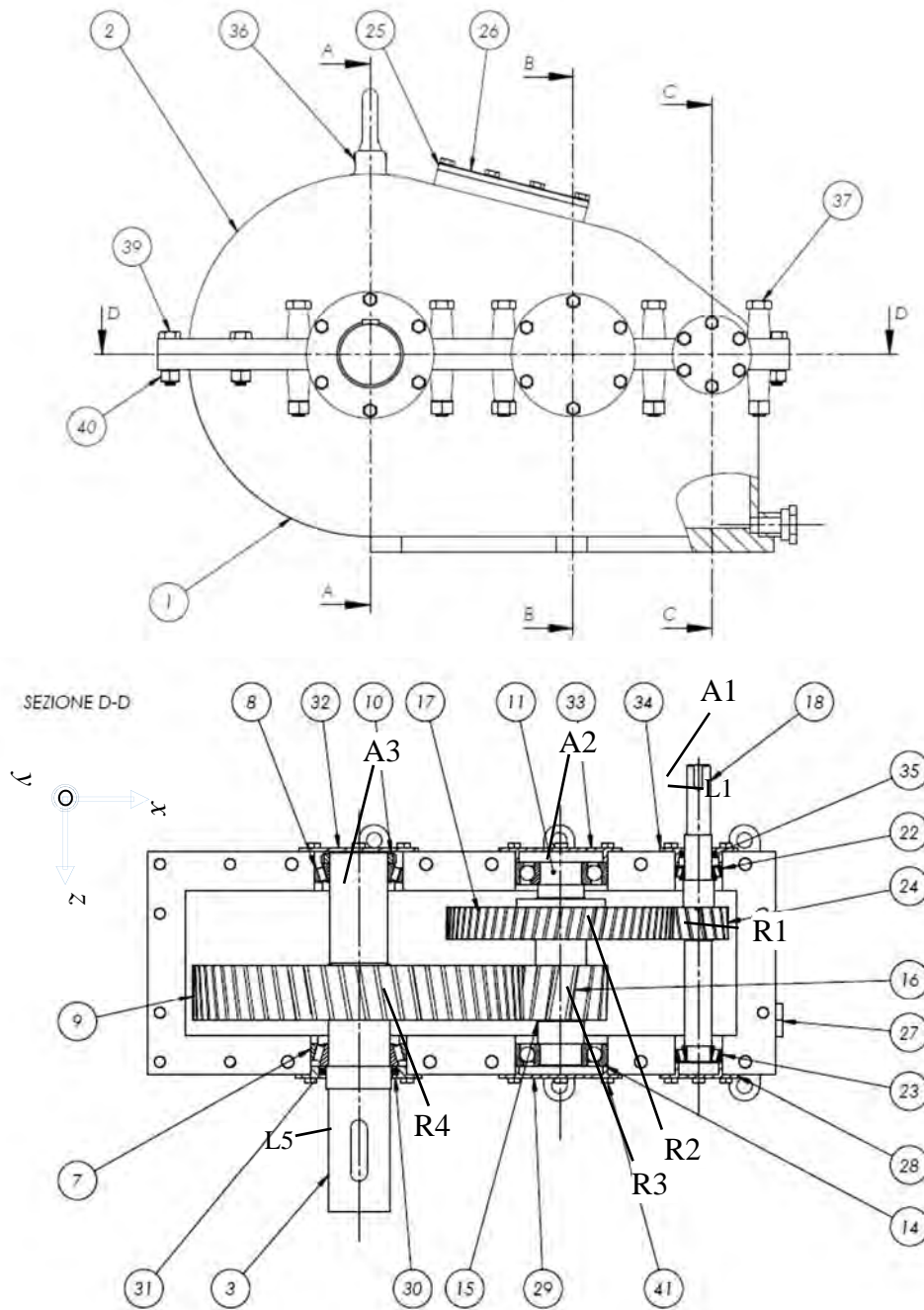
Allegato: tabella per calcolo k (Gestione delle Scorte)

k	Probability no stockout	Probability stockout
0,00	0,5000	50,00%
0,25	0,5987	40,13%
0,50	0,6915	30,85%
0,75	0,7734	22,66%
1,00	0,8413	15,87%
1,25	0,8944	10,56%
1,50	0,9332	6,68%
1,75	0,9599	4,01%

k	Probability no stockout	Probability stockout
2,00	0,9772	2,28%
2,25	0,9878	1,22%
2,50	0,9938	0,62%
2,75	0,9970	0,30%
3,00	0,9987	0,13%
3,25	0,9994	0,06%
3,50	0,9998	0,02%
3,75	0,9999	0,01%

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 $P_e = 70$ kW alla velocità nominale $n = 1500$ giri/min. Il rapporto di trasmissione fra **Ruota 1** e **Ruota 2** deve essere $\tau_{12} = 63/15$, il rapporto di trasmissione fra **Ruota 3** e **Ruota 4** deve essere $\tau_{34} = 90/24$.

Cuscinetti:

L'**Albero A1** è supportato da una **coppia di cuscinetti a rulli conici** nella configurazione a "X".

L'**Albero A2** è supportato da una **coppia di cuscinetti a sfere**.

L'**Albero A3** è supportato da una **coppia di cuscinetti a rulli conici** nella configurazione a "O".

Alberi:

Gli alberi sono realizzati in acciaio da cementazione 36NiCrMo16 UNI EN10083 ($R_m = 1000$ MPa, $R_{eH} = 800$ MPa, $\sigma_{D-1} = 440$ 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 120 °C, coefficiente di stato superficiale, $Z_R = 1$; per il calcolo del coefficiente di distribuzione del carico K_H , coefficiente $C_e = 1$ e denti non bombati; per i coefficienti di vita 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.

Si richiede quanto segue:

- 1) Dimensionare staticamente gli alberi del riduttore, secondo una geometria nominale cilindrica a sezione costante, a completo snervamento con coefficiente di sicurezza $s = 2$.
- 2) Dimensionare la ruota dentata R2 in modo che sia rispettata la condizione di resistenza a flessione del dente e di resistenza a usura (vita della ruota pari a 10^8 cicli, affidabilità di 0.90).
- 3) Dimensionare la linguetta di collegamento L2 (fra Albero 2 e Ruota 2).
- 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 A1** si richiede quanto segue:

- 1) Realizzare un disegno di dettaglio dell'Albero A1 con la Ruota R1 realizzata di pezzo, comprensivo delle caratteristiche idonee al montaggio dei cuscinetti da montare sull'albero e dei componenti di fissaggio e trasmissione di potenza. Il disegno di progetto deve essere comprensivo di quote e di tolleranze dimensionali e geometriche, rugosità e standard laddove ritenute necessarie per le finalità tecnologiche di produzione. Si inseriscano nel disegno inoltre le prescrizioni tecnologiche relative a gole di scarico, raggi di raccordo e altri particolari costruttivi.
- 2) Verificare staticamente (con coefficiente di sicurezza $s = 2$) e a fatica (per vita illimitata) l'Albero A1 secondo la sua geometria effettiva riportata nel disegno realizzato in precedenza. Qualora l'albero non soddisfacesse le verifiche, eseguire le necessarie variazioni al progetto.

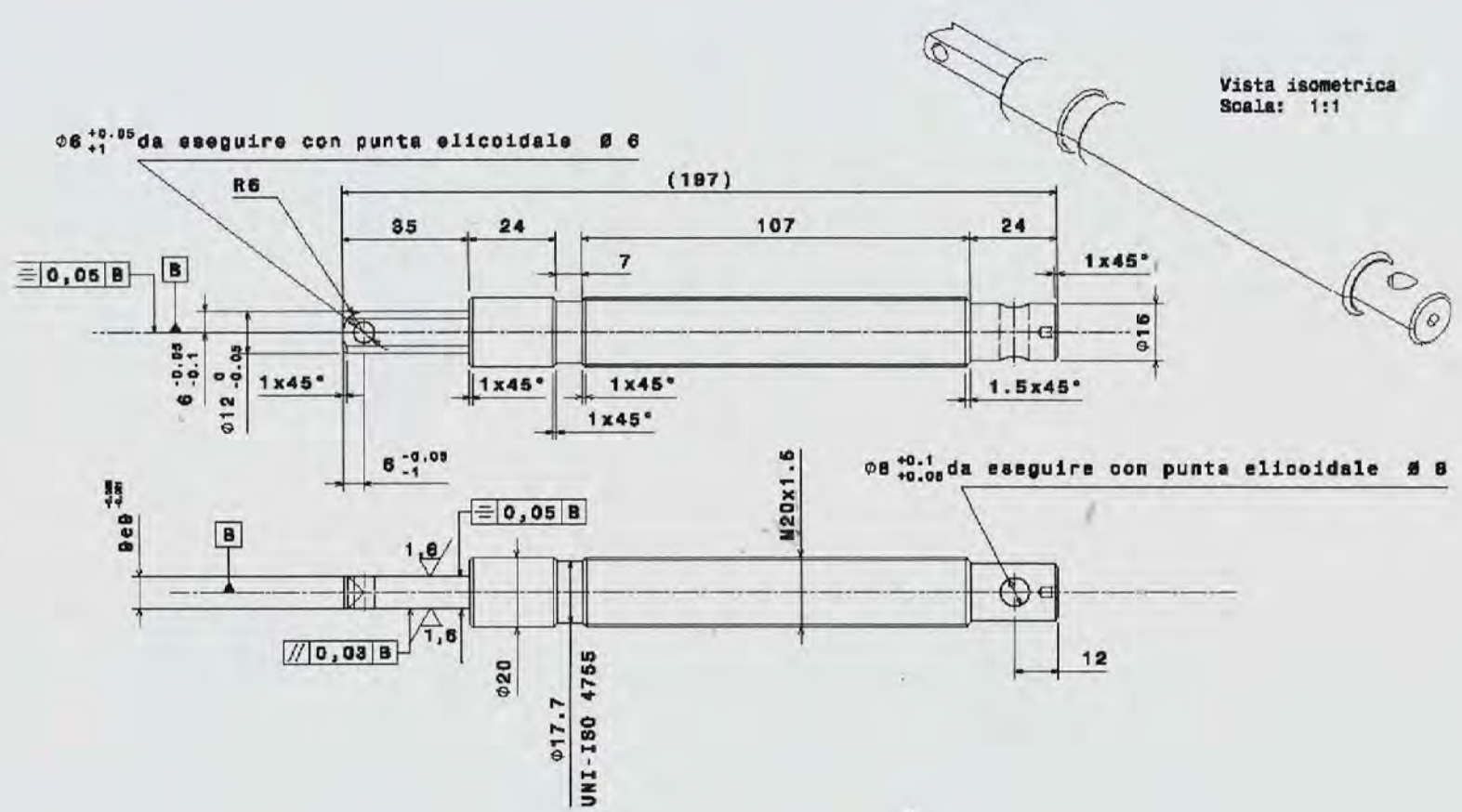
Tema n. 9

In figura è rappresentato un alberino filettato per estrattore. Si deve produrre il particolare da una barra tonda in acciaio 25NiCr4, avente il carico di rottura $\sigma_r=650 \text{ N/mm}^2$.

Il materiale dell'utensile è Carburo di Tugsteno in placchette. Dopo aver assunto i dati mancanti opportunamente motivati, gli utensili e i parametri di lavorazione rispondere ai punti:

- 1) riportare il Ciclo di produzione per un lotto di 1000 pezzi, indicando le macchine ad asportazione di truciolo tradizionali utilizzate e la sequenza delle operazioni;
- 2) per ogni operazione si riportino i valori delle velocità di taglio, avanzamento, profondità di passata ed il Tempo di lavorazione;
- 3) calcolare la Forza di taglio massima e la potenza di lavoro della tornitura ($K_s=2400 \text{ N/mm}^2$);
- 4) calcolare il Lotto Economico se la produzione giornaliera vale $q=50 \text{ pz/gg}$ per 220 giorni lavorativi e il costo unitario vale $C_{pz}=5,5 \text{ Euro/pz}$.
- 5) si consideri di dover modificare una macchina utensile tradizionale per adattarla alle normative di sicurezza sul lavoro. Si riporti una relazione schematica relativa a tale intervento in osservanza alla normativa vigente.

Nota: il candidato assuma i dati mancanti motivando tali scelte



Tema n. 10

Si richiede di progettare un remo per una canoa di competizione, che sia il più leggero e il più rigido possibile.

Si selezionino fino a tre materiali (o coppie di materiali) per realizzare tale remo.

Il candidato, nell'effettuare la scelta del materiale più idoneo, tenga conto delle modalità di impiego usuali di tale componente, e l'ambiente tipico di utilizzo. Per effettuare la selezione, si esegua la traduzione dei requisiti di progetto in termini di vincoli, funzioni, obiettivi e variabili libere, servendosi anche dei diagrammi allegati. Nell'effettuare la progettazione, si consideri che il componente deve essere in grado di resistere ad uno sforzo pari ad almeno 25 MPa.

Una volta identificati i materiali più idonei, si descrivano dettagliatamente i processi produttivi (uno per ogni materiale selezionato) per la produzione del remo. Infine, considerate le caratteristiche e le prerogative tecnologiche dei processi produttivi individuati, il candidato individui il materiale più idoneo per una produzione di 50.000 remi/anno.

