**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA**

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

**SEZIONE A - Prima sessione 2026**

**PRIMA PROVA SCRITTA DEL 27 LUGLIO 2026**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**Tema n. 1:**

L'usura rappresenta una delle principali cause di perdita di funzionalità e di riduzione della vita utile dei componenti industriali. La sua evoluzione dipende non soltanto dalle proprietà del singolo materiale, ma dall'interazione tra superfici, condizioni di contatto, ambiente, lubrificazione e processo produttivo.
Il/la candidato/a descriva in modo approfondito i principali meccanismi di usura che possono interessare i materiali impiegati nella progettazione dei prodotti industriali, mettendo in evidenza:

1. i fenomeni fisici, meccanici e chimici responsabili dell'innesco e dell'evoluzione del danneggiamento;
2. il ruolo della composizione, della microstruttura e delle proprietà superficiali dei materiali nel determinarne il comportamento tribologico;
3. l'influenza dei principali parametri di esercizio e di processo, quali carico, velocità, temperatura, rugosità, lubrificazione, contaminazione e condizioni ambientali;
4. le principali strategie adottate in ambito industriale per prevenire o limitare i fenomeni di usura, con riferimento alla selezione dei materiali, ai trattamenti termici e termochimici, ai rivestimenti, alla modifica delle superfici e all'ottimizzazione progettuale del componente, richiamando, ove opportuno, i metodi utilizzati per la valutazione del comportamento tribologico.

Il/la candidato/a discuta infine, attraverso opportuni esempi applicativi, come l'innovazione dei materiali e dei processi superficiali possa contribuire all'aumento della vita utile, dell'efficienza, dell'affidabilità e della sostenibilità del prodotto.

**Tema n. 2:**

Si descrivano, con riferimento alle leghe metalliche, le caratteristiche:

1. dei processi di laminazione;
2. dei processi di estrusione diretta e inversa

Si evidenzino gli effetti dei diversi processi sulle caratteristiche dei semilavorati e dei prodotti finiti e se ne illustrino le principali applicazioni industriali.
Inoltre, si evidenzino le principali applicazioni industriali dei processi di laminazione e di estrusione diretta e inversa.

**Tema n. 3:**

Si consideri un asse elettromeccanico di posizionamento impiegato in una macchina automatica industriale, costituito da un motore sincrono a magneti permanenti (brushless) controllato in coppia, connesso al carico mediante una trasmissione caratterizzata da elasticità non trascurabile (accoppiamento elastico motore-carico). L'asse è dotato di opportuna sensoristica ed è governato da un controllore industriale conforme allo standard IEC 61131, sul quale è implementata la libreria PLCopen Motion Control.
Con riferimento al sistema descritto, il/la candidato/a sviluppi i seguenti punti:

1. Illustri e discuta il ruolo dei trasduttori all'interno del sistema di controllo retroazionato, analizzando le caratteristiche statiche e dinamiche che ne definiscono il comportamento. Discuta inoltre come le non idealità del trasduttore, trovandosi questo nella catena di retroazione, influenzino le prestazioni dell'anello chiuso, e indichi i criteri di scelta dei trasduttori più idonei per l'asse in esame.
2. Descriva e discuta l'architettura di controllo della posizione più opportuna per il sistema meccanico considerato, tenendo conto dell'accoppiamento elastico tra motore e carico e del fatto che l'attuatore è controllato in coppia. Il/La candidato/a evidenzi le problematiche introdotte dall'elasticità della trasmissione sulla dinamica dell'anello e le possibili soluzioni.
3. Illustri infine come l'architettura di controllo individuata venga gestita a livello di automazione mediante lo standard PLCopen Motion Control, descrivendo la suddivisione dei function block in *Administrative* (controllo e acquisizione dello stato dell'asse e dei suoi parametri di configurazione) e *Motion* (comando dei movimenti dell'asse). Descriva, anche con l'ausilio di un diagramma, la macchina a stati che governa il comportamento dell'asse, discutendo le transizioni tra gli stati principali e la gestione delle condizioni di errore.

Saranno oggetto di valutazione la chiarezza espositiva, il rigore metodologico e la capacità di collegare organicamente i diversi livelli del sistema di automazione.

**Tema n. 4:**

Il/la candidato/a illustri il concetto di impianto industriale, articolandolo nelle sue due principali componenti, e le principali modalità di classificazione degli impianti stessi; descriva e analizzi i principali fattori della produzione e, con particolare riferimento ad uno di tali fattori, riporti una panoramica dei principi, delle metodologie e degli strumenti operativi impiegabili per una sua corretta gestione.

**Tema n. 5:**

Si illustrino le principali caratteristiche delle tre modalità di trasmissione del calore, corredando la trattazione con esempi applicativi industriali e non.

**Tema n. 6:**

Nella progettazione meccanica, la conoscenza delle proprietà nominali del materiale e dello stato tensionale calcolato non è generalmente sufficiente a garantire la sicurezza e la durata di un componente.
Il/la candidato/a discuta criticamente le principali cause di scostamento tra il comportamento previsto in fase di progetto e quello effettivamente osservato in esercizio.
La trattazione consideri, ove pertinenti:

1. la rappresentatività dei modelli di calcolo;
2. la variabilità dei carichi e delle condizioni di esercizio;
3. la dispersione delle proprietà dei materiali;
4. gli effetti dei processi produttivi, delle tolleranze, dei difetti e delle tensioni residue;
5. il ruolo delle verifiche sperimentali e del monitoraggio in esercizio.

Il/la candidato/a illustri inoltre come tali aspetti possano essere tenuti in considerazione nelle decisioni progettuali, anche mediante opportuni esempi.

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA**

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

**SEZIONE A** - Prima sessione 2026

**SECONDA PROVA SCRITTA DEL 31 AGOSTO 2026**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**Classi di laurea appartenenti al Settore:**
LM-20 - Ingegneria aerospaziale e astronautica
LM-21 - Ingegneria biomedica
LM-22 - Ingegneria chimica (Ingegneria chimica e di processo)
LM-25 - Ingegneria dell'automazione
LM-26 - Ingegneria della sicurezza
LM-28 - Ingegneria elettrica
LM-30 - Ingegneria energetica e nucleare
LM-31 - Ingegneria gestionale
LM-33 - Ingegneria meccanica
LM-34 - Ingegneria navale
LM-53 - Ingegneria dei materiali (ex Scienza e ingegneria dei materiali – Denominazione modificata dal CUN nell'adunanza del 28.10.2020)

## Tema n. 1 (valido per tutte le classi del Settore):

L'azienda PlastTecnica S.p.A. produce componenti tecnici in materiale termoplastico per il settore degli elettrodomestici. Tra i prodotti in catalogo vi è una staffa di supporto (vedi figura) stampata in POM (poliossimetilene) copolimero, realizzata mediante stampaggio a iniezione con uno stampo a 4 cavità a canali freddi, montato su una pressa a iniezione elettrica da 120 tonnellate (spessore medio del pezzo 3.5mm).



Nell'ultimo lotto di produzione (lotto n. 20260815, 5000 pezzi) il reparto Controllo Qualità ha rilevato una percentuale di scarto pari al 14%, ben superiore al valore obiettivo di processo (2%). Dall'ispezione visiva e dimensionale eseguita su un campione del lotto sono stati individuati i difetti riportati in Tabella 3.

Il responsabile di produzione ha fornito i parametri di processo attualmente impostati sulla pressa (Tabella 1) e la scheda tecnica del materiale utilizzato (Tabella 2), per consentire l'analisi delle cause e l'individuazione delle azioni correttive.

**Dati tecnici allegati**

**Tabella 1 – Parametri di processo attuali e valori standard di riferimento**

| Parametro | Valore attuale | Unità |
|---|---|---|
| Temperatura massa fusa | 190 | °C |
| Temperatura stampo | 40 | °C |
| Pressione di iniezione idraulica | 95 | bar |
| Fattore di intensificazione (P specifica/P idraulica) | 10 | |
| Pressione di mantenimento specifica | 400 | bar |
| Tempo di mantenimento | 3 | s |
| Tempo di raffreddamento | 12 | s |
| Velocità di iniezione | Alta | — |
| Contropressione vite | 50 | bar |
| Tempo ciclo totale | 28 | s |

**Tabella 2 – Scheda tecnica sintetica del materiale (POM copolimero)**

| Proprietà | Valore | Unità |
|---|---|---|
| Densità | 1,41 | g/cm³ |
| Melt Flow Index (190 °C / 2,16 kg) | 9 | g/10 min |
| Temperatura massa fusa consigliata | 190 – 210 | °C |
| Temperatura stampo consigliata | 80 – 120 | °C |
| Ritiro allo stampaggio | 1,8 – 2,2 | % |
| Assorbimento di umidità | Basso (essiccamento consigliato se stoccaggio > 24 h in ambiente umido) | — |

**Tabella 3 – Difetti riscontrati sul campione del lotto**

| Difetto osservato | Zona del pezzo | Descrizione |
|---|---|---|
| Ritiri superficiali (sink marks) | In corrispondenza delle nervature di rinforzo | Piccole depressioni sulla superficie esterna, in prossimità delle nervature interne più spesse. |
| Linee di giunzione (weld line) | In prossimità dei fori di fissaggio | Linea visibile e poco resistente dove i fronti di flusso si incontrano dopo aver aggirato i fori. |
| Bruciature (effetto diesel) | Vicino alle nervature di sfogo aria | Piccole macchie scure e localizzato degrado del materiale nelle zone di fine riempimento. |
| Deformazione (warpage) | Parete laterale sottile | Svergolamento della parete rispetto al piano nominale, rilevato al controllo dimensionale. |
| Bave (flash) | Piano di giunzione dello stampo | Sottile sbavatura di materiale lungo la linea di parting dello stampo. |

**Richieste**

Il/la candidato/a, sulla base dello scenario descritto, dei dati riportati nelle Tabelle 1-2-3 e delle proprie conoscenze tecniche, svolga i seguenti punti:

**1. Analisi dei difetti e individuazione delle cause tecnologiche**

Per ciascuno dei cinque difetti riportati in Tabella 3, indicare la causa tecnologica più probabile, distinguendo tra: parametri di processo non corretti, criticità di progettazione dello stampo, caratteristiche/condizionamento del materiale. Motivare la risposta confrontando i valori attuali e standard di Tabella 1.

**2. Proposta di azioni correttive**

Per ciascun difetto analizzato al punto 1, proporre almeno un'azione correttiva sui parametri di processo (indicando se il parametro va aumentato o diminuito rispetto al valore attuale) oppure, se pertinente, un intervento sullo stampo. Giustificare ogni proposta dal punto di vista tecnologico.

**3. Controllo qualità del lotto**

Descrivere un piano di controllo qualità da applicare al lotto 20260815 dopo l'intervento correttivo, specificando:

- i controlli dimensionali ed estetici da eseguire e la relativa strumentazione;
- almeno una prova meccanica idonea a verificare la resistenza del componente (es. prova di trazione o di resilienza) e cosa ci si aspetta di rilevare in presenza dei difetti indicati;

**4. Il materiale polimerico**

Illustrare le principali proprietà tecnologiche del POM riportate in Tabella 2 e spiegare come esse influenzano la stampabilità e l'idoneità del materiale per l'applicazione descritta (staffa di supporto per elettrodomestico). Discutere inoltre l'importanza dell'eventuale essiccamento del materiale prima della lavorazione.

**5. Sostenibilità e gestione degli scarti**

Con riferimento agli scarti generati dal processo di stampaggio a iniezione (materozze, pezzi non conformi), proporre strategie di riduzione e valorizzazione degli scarti coerenti con i principi dell'economia circolare, indicando vantaggi e limiti tecnici di un eventuale reimpiego del materiale rimacinato.

## Tema n. 2 (valido per tutte le classi del Settore):

I processi di asportazione di truciolo rappresentano una delle principali tecnologie di produzione impiegate nella realizzazione di componenti meccanici ad elevata precisione e qualità superficiale. La comprensione dei fenomeni meccanici, termici e tribologici che governano tali processi è essenziale per la scelta delle condizioni di lavorazione, degli utensili e delle strategie di lubrorefrigerazione, nonché per garantire produttività, qualità e sostenibilità del processo.

Si chiede di:

1. descrivere e classificare i principali processi di lavorazione per asportazione di truciolo, evidenziandone le caratteristiche, i campi di impiego e le principali differenze;
2. illustrare il meccanismo di formazione del truciolo, descrivendo gli aspetti meccanici e termici del processo;
3. descrivere le principali tecniche di lubrorefrigerazione impiegate nelle lavorazioni per asportazione di truciolo, discutendone funzioni, vantaggi, limiti e sviluppi innovativi, con particolare riferimento alle tecnologie orientate alla sostenibilità del processo;
4. descrivere i principali materiali impiegati per la realizzazione degli utensili da taglio, illustrandone le proprietà, i campi di applicazione e i criteri di scelta in funzione delle condizioni di lavorazione;
5. descrivere i principali meccanismi di usura degli utensili, illustrandone le cause e gli effetti sulle prestazioni della lavorazione, discutendo inoltre i criteri normativi adottati per la valutazione dell'usura e la determinazione della vita utile dell'utensile, illustrando anche la legge di Taylor e il significato dei relativi parametri.

Infine, si ipotizzi di dover eseguire un'operazione di tornitura longitudinale su un pezzo in ottone di diametro D e lunghezza L, eseguendo due passate (sgrossatura + finitura). Considerando i parametri di lavoro sotto riportati, rispondere ai seguenti quesiti giustificando le risposte:

- Stabilire la velocità di taglio per la passata di sgrossatura e di finitura, accertandosi che sia compatibile con la macchina utensile impiegata.
- Selezionare inoltre un avanzamento in finitura compatibile con i requisiti di rugosità del pezzo finale.
- Stabilire la minima pressione di serraggio del pezzo nelle griffe.

**Dati**

Parametri di lavorazione

| | | |
|---|---|---|
| Profondità di passata sgrossatura | 2.0 | mm |
| Avanzamento sgrossatura | 0.35 | mm/giro |
| Profondità di passata finitura | 0.5 | mm |

Pezzo in lavorazione

| | | |
|---|---|---|
| D (diametro pezzo) | 55 | mm |
| L (lunghezza pezzo sbalzo) | 35 | mm |
| Rugosità massima richiesta Ra = 1.6 μm | | |

Utensile

| | | |
|---|---|---|
| Raggio punta | 0.8 | mm |

Materiale pezzo

| | | |
|---|---|---|
| $K_{so}$ | 1125 | $N/mm^2$ |
| n | 6.12 | |
| E (modulo elastico) | 100000 | $N/mm^2$ |

Attrezzature

| | | |
|---|---|---|
| A (contatto una griffa-pezzo) | 200 | $mm^2$ |
| μ (attrito griffa-pezzo) | 0.32 | |
| z (n° griffe autocentrante) | 3 | |
| | | |

Dati Tornio e Fattore Correttivo

| | | |
|---|---|---|
| Potenza di targa mandrino | 12 | kW |
| Numero massimo di giri | 2300 | giri/min |
| η macchina | 95 | % |
| Fattore correttivo processo | 130 | % |

## Tema n. 3 (valido per tutte le classi del Settore):

La/il candidata/o risolva il seguente problema di modellizzazione (Parte A) e controllo (Parte B) di un motore corrente continua. (i fogli in scala logaritmica sono a disposizione del candidato su richiesta alla commissione).

PARTE A: MODELLIZZAZIONE
Modellizzare un motore in corrente continua alimentato in corrente partendo dalle equazioni elettro-meccaniche che lo caratterizzano fino a giungere alla funzione di trasferimento utilizzabile per il controllo.

PARTE B: CONTROLLO
Sia G(s) la funzione di trasferimento coppia-velocità di un motore in corrente continua:

$$G(s) = \frac{100}{0.01s + 1}$$

**B1.** Descrivere i controllori industriali PID evidenziandone pregi e difetti.
**B2.** Presentare la tecnica di controllo basata sul calcolo analitico del controllore, evidenziandone pregi e difetti.
**B3.** Presentare e progettare, giustificando le scelte effettuate, uno schema di controllo ad **anello singolo** per il **controllo della velocità** tale che:

a. Si abbia errore nullo su un riferimento a setpoint
b. Si abbia un tempo di raggiungimento del valore di regime nella risposta allo scalino sul setpoint pari a T=0.02s (si assuma il tempo di regime pari a 5 volte la costante di tempo dominante)
c. Si limitino le oscillazioni il più possibile
d. Si calcoli la funzione di trasferimento fra setpoint e velocità e fra disturbo sul carico e velocità.

**B4.** Presentare uno schema di **controllo in cascata** per il controllo della posizione per il motore, indicandone vantaggi e svantaggi.
**B5.** Progettare uno schema di **controllo in cascata** basato su due controllori PI (azione integrale solo in caso di necessità) in cui l'anello di velocità è quello calcolato nel punto B3. Si tari l'anello di posizione, utilizzando se necessario la scala logaritmica, in modo tale che l'anello esterno abbia:

1. Inseguimento del setpoint di posizione con errore nullo a regime e con costante di tempo dominante pari a 0.2s.
2. Approssimativamente senza sovraelongazioni.
3. Le dinamiche dell'anello interno e esterno siano disaccoppiate dal punto di vista frequenziale.

Motivare le scelte progettuali effettuate.
**B6.** Scrivere lo pseudocodice dell'algoritmo di controllo
**B7.** Descrivere una legge di moto adeguata per la riduzione dell'eccitazione di modi di vibrare ad alta frequenza.

## Tema n. 4 (valido per tutte le classi del Settore):

Con riferimento alla gestione strategica d'impresa, la/il candidata/o illustri il processo attraverso il quale è possibile analizzare il contesto competitivo e orientare le scelte aziendali. In particolare, descriva il modello delle cinque forze competitive di Porter, specificando le variabili da considerare per valutare l'attrattività di un settore e la sua redditività potenziale.
Successivamente, illustri la matrice BCG, chiarendone le dimensioni, le categorie che la compongono e le implicazioni per le decisioni di investimento, mantenimento o disinvestimento. Colleghi quindi tale analisi al modello del ciclo di vita del prodotto o del settore, evidenziando come le fasi di introduzione, crescita, maturità e declino influenzino la posizione competitiva, i fabbisogni finanziari e le scelte strategiche.
Sulla base dei modelli esaminati, la/il candidata/o discuta infine le strategie competitive di leadership di costo, differenziazione e focalizzazione proposte da Porter, evidenziandone condizioni di applicabilità, benefici e rischi. Proponga inoltre un insieme strutturato di indicatori economici, finanziari, commerciali e operativi utili a verificare la coerenza e l'efficacia della strategia adottata, specificandone la definizione e le modalità di misurazione.

## Tema n. 5 (valido per tutte le classi del Settore):

Si descrivano le caratteristiche di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte fossile tipico del contesto italiano. Scelta una taglia, si discutano i parametri e le scelte principali per effettuare un dimensionamento qualitativo e quantitativo dell'impianto, facendo riferimento a valori rappresentativi della tecnologia in uso.

## Tema n. 6 (valido per tutte le classi del Settore):

Una pompa alternativa a semplice effetto deve essere azionata alla velocità di circa 160 $min^{-1}$ mediante un motore elettrico asincrono avente velocità nominale pari a circa 960 $min^{-1}$.
La pompa presenta un pistone di diametro 110 mm, corsa 120 mm e pressione di mandata pari a circa 1.4 MPa. Il collegamento tra il motore e l'albero di comando della pompa deve comprendere una trasmissione mediante ruote dentate. L'albero è sostenuto da due supporti con cuscinetti volventi.

- Si sviluppi il progetto preliminare del gruppo di comando, definendone liberamente l'architettura, le principali caratteristiche geometriche e costruttive e formulando le necessarie ipotesi progettuali.
- Si determini una potenza nominale del motore adeguata, il rapporto di trasmissione e le principali azioni agenti sull'albero. Nella determinazione delle azioni possono essere adottate schematizzazioni cinematiche e quasi-statiche coerenti con il livello preliminare del progetto, purché le ipotesi adottate siano esplicitate e motivate.
- Si esegua quindi un dimensionamento strutturale di massima dell'albero per ottenere delle dimensioni approssimativamente proporzionate alla richiesta funzionale.

Si prosegua inoltre, senza necessità di calcoli numerici, a sviluppare le richieste seguenti:

- Identificare verifiche ritenute significative con particolare riferimento alla resistenza statica e a fatica.
- Considerare la possibilità di condizioni anomale di sovraccarico, fino al possibile blocco accidentale della pompa e discutere, nella misura ritenuta opportuna, le conseguenze di tali condizioni e le possibili scelte progettuali (strutturali e/o non-strutturali) atte a limitarne gli effetti.
- Siano motivate le principali scelte relative ai materiali e agli aspetti costruttivi degli organi maggiormente sollecitati, tenendo conto delle condizioni di funzionamento e dell'affidabilità richiesta. Si consideri inoltre che il dispositivo è destinato a un normale ambiente industriale, nel quale possono essere presenti polveri e occasionali spruzzi di liquidi.
- L'elaborato sia completato con uno schizzo tecnico, anche a mano libera, dell'albero di comando e dei relativi supporti, rappresentando gli organi calettati e i principali particolari costruttivi ritenuti funzionalmente significativi. Eventuali particolari non disegnati possono essere comunque commentati se lo si ritiene opportuno.

I dati mancanti possono essere assunti dal/la candidato/a, purché siano esplicitati e motivati.

Non è richiesto il progetto costruttivo completo del gruppo né il dimensionamento dettagliato di tutti i suoi componenti. Il candidato individui e approfondisca gli aspetti ritenuti maggiormente significativi, privilegiando la coerenza complessiva della soluzione e delle scelte progettuali rispetto alla trattazione esaustiva dei singoli dettagli.

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA**

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

**SEZIONE A** - Prima sessione 2026

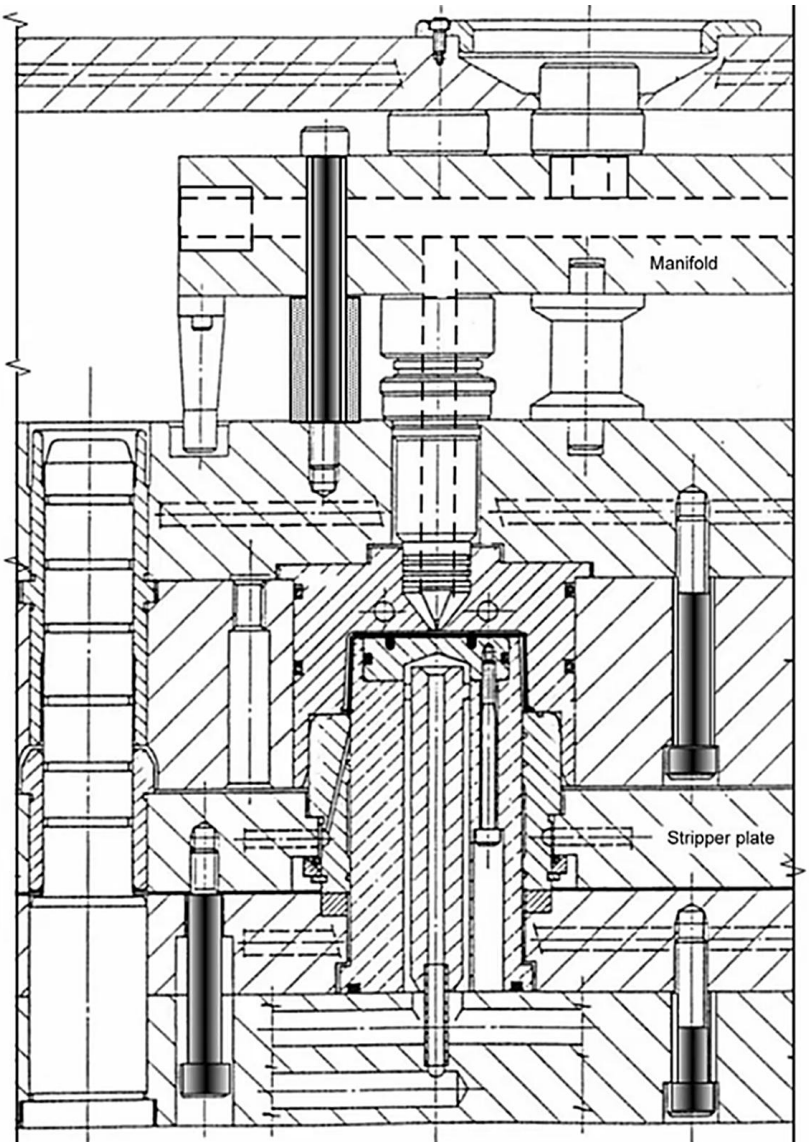
# PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 7 SETTEMBRE 2026

## SETTORE INDUSTRIALE

**Classi di laurea appartenenti al Settore:**
LM-20 - Ingegneria aerospaziale e astronautica
LM-21 - Ingegneria biomedica
LM-22 - Ingegneria chimica (Ingegneria chimica e di processo)
LM-25 - Ingegneria dell'automazione
LM-26 - Ingegneria della sicurezza
LM-28 - Ingegneria elettrica
LM-30 - Ingegneria energetica e nucleare
LM-31 - Ingegneria gestionale
LM-33 - Ingegneria meccanica
LM-34 - Ingegneria navale
LM-53 - Ingegneria dei materiali (ex Scienza e ingegneria dei materiali – Denominazione modificata dal CUN nell'adunanza del 28.10.2020)

## Tema n. 1 (valido per tutte le classi del Settore):

Sulla base della figura, il/la candidato/a svolga quanto richiesto nei punti seguenti.




*Sezione parziale di uno stampo ad iniezione*

### 1. Descrizione generale del processo

Descrivere il processo di stampaggio a iniezione dei materiali termoplastici, illustrando in modo chiaro e ordinato le diverse fasi del ciclo. Il/La candidato/a evidenzi come tali fasi siano tra loro strettamente interconnesse e come influenzino in modo determinante la qualità finale del manufatto.

### 2. Analisi funzionale dello stampo

- Descrivere la tipologia di stampo e il sistema di alimentazione osservabili in figura spiegando come la geometria dei canali di alimentazione e del punto di iniezione influisca sulla qualità dei pezzi stampati e sulla presenza di sfridi di lavorazione.
- Analizzare la tipologia di iniezione sul pezzo osservabile in figura, discutendo i vantaggi e gli svantaggi di questa soluzione rispetto all'impiego di più punti di iniezione, in termini di uniformità di riempimento, formazione di linee di giunzione e difetti superficiali.
- Descrivere l'importanza di un raffreddamento uniforme per il controllo del ritiro, la stabilità dimensionale del pezzo e la riduzione dei tempi di ciclo.

**3. Parametri di processo e controllo della produzione**

Illustrare il significato e l'importanza dei principali parametri di processo nello stampaggio a iniezione. Il/la candidato/a spieghi come la corretta regolazione di tali parametri consenta di controllare il ritiro del materiale, garantire la stabilità dimensionale del pezzo e assicurare la ripetibilità del processo produttivo.

**4. Additivi e cariche nei materiali termoplastici**

Descrivere le principali funzioni degli additivi impiegati nei materiali termoplastici per lo stampaggio a iniezione (cariche di rinforzo, coloranti, stabilizzanti UV, lubrificanti), illustrando come la loro presenza influisca sulle proprietà finali del pezzo e sui parametri di processo.

**5. Progettazione per la producibilità (DFM)**

Illustrare i principali criteri di progettazione orientata alla producibilità (Design for Manufacturing) per un componente da realizzare per stampaggio a iniezione, con riferimento all'uniformità degli spessori, ai raccordi, agli angoli di sformo e alla riduzione delle zone critiche per il riempimento della cavità.

**6. Stampaggio a iniezione e prototipazione additiva**

Confrontare il processo di stampaggio a iniezione con le tecnologie di prototipazione rapida (stampa 3D) per la realizzazione di piccole serie o prototipi funzionali, evidenziando vantaggi, limiti e tempi/costi di sviluppo di uno stampo rispetto alla produzione additiva diretta.

**7. Simulazione di processo (CAE)**

Illustrare l'utilità dei software di simulazione del riempimento dello stampo (tipo Moldflow) in fase di progettazione, con riferimento alla previsione di linee di giunzione, intrappolamento d'aria, bilanciamento del riempimento tra impronte multiple e riduzione dei tempi di messa a punto dello stampo in produzione.

**8. Calcoli sulla base dei dati indicati in seguito**

| Dato | Simbolo | Valore |
|---|---|---|
| Spessore medio di parete | s | 3,5 mm |
| Temperatura del materiale fuso (iniezione) | T_melt | 240 °C |
| Temperatura dello stampo | T_stampo | 40 °C |
| Temperatura di estrazione | T_estr | 80 °C |
| Diffusività termica del materiale | α | 0,08 mm²/s |
| Forza di chiusura disponibile della pressa | F | 1.200 kN |
| Pressione specifica di iniezione in cavità | p | 450 bar |
| Tempo di apertura e chiusura dello stampo | t_apertura/chiusura | 4,0 s |
| Tempo di estrazione del pezzo | t_estrazione | 1,0 s |
| Produzione annua richiesta | Q | 2.000.000 pezzi/anno |
| Regime di lavoro | — | 220 giorni, 2 turni da 8 h |
| Costo del materiale plastico | C_materiale | 2,50 €/kg |
| Costo orario della pressa | C_orario | 40 €/h |
| Costo dello stampo | C_stampo | 150.000 € |
| Vita utile stimata dello stampo | N_vita | 3.000.000 cicli |
| Massa stimata del pezzo | m_pezzo | 45 g |
| Scarto di produzione atteso | — | 1,5% |
| Capacità di un big bag di materia prima | — | 1.000 kg |
| Volume della cavità (singola impronta) | V_cav | 40 cm³ |
| Numero di impronte (verifica riempimento) | n | ? |
| Portata massima di iniezione della pressa | Q_iniezione | 120 cm³/s |
| Capacità di plastificazione della vite | — | 30 kg/h |
| Calore specifico del materiale | c_p | 2,0 kJ/(kg·°C) |

- Stimare il tempo di raffreddamento, utilizzando la relazione semplificata indicata di seguito:

$$t_{raff} = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot \alpha} \cdot \ln\left(\frac{Tmelt - Tstampo}{Testr - Tstampo}\right)$$

- Determinare l'area proiettata massima ammissibile affinché, a parità di condizioni, la forza di chiusura disponibile sia sufficiente a evitare la formazione di bave sul pezzo stampato.
- Determinare il numero minimo di impronte necessario per soddisfare la produzione annua richiesta, nel rispetto del tempo ciclo calcolato.
- Effettuare una stima di massima del costo unitario di produzione del pezzo, considerando il costo del materiale, l'incidenza del costo orario della pressa tein relazione al tempo ciclo e al numero di impronte, e la quota di ammortamento dello stampo ripartita sulla vita utile prevista.
- Determinare il fabbisogno annuo di materiale plastico, tenendo conto della percentuale di scarto attesa, e stimare il numero indicativo di big bag di materia prima da approvvigionare nel corso dell'anno.
- Calcolare il tempo di riempimento della cavità e verificarne la compatibilità con un tempo massimo consigliato di 1.8 s.
- Utilizzando il tempo ciclo e il numero di impronte determinati ai punti precedenti, verificare se la portata di plastificazione richiesta è compatibile con la capacità di plastificazione della vite della pressa.
- Calcolare la produttività oraria e giornaliera della pressa (pezzi/h e pezzi/giorno), sulla base del tempo ciclo e del numero di impronte determinati ai punti precedenti.
- Stimare la potenza termica che il sistema di raffreddamento dello stampo deve asportare per ciclo, note la massa di materiale plastificato per ciclo, il calore specifico del materiale e il salto termico tra temperatura di iniezione e temperatura di estrazione.

## Tema n. 2 (valido per tutte le classi del Settore):

Un'azienda metalmeccanica deve produrre un quantitativo settimanale di 600 (seicento) forcelle di comando in acciaio C45, rappresentate nelle viste quotate del modello CAD 3D *(b)*.
Nelle viste del disegno *(b)* sono riportate tutte le dimensioni funzionali del pezzo ed alcune tolleranze dimensionali. Per quanto riguarda le quote senza una specifica tolleranza, valgono le tolleranze generali definite dalla ISO 2768-1 m (media). Si specifica che i raccordi non quotati hanno raggio R = 3.00 mm.
Le quote mancanti non sono da prendere in considerazione durante lo svolgimento della traccia.

Il pezzo ha requisiti di finitura superficiale identificati da una rugosità Ra = 6.4 μm, ad eccezione delle superfici interne di tutti i fori e della superficie A (indicata nel disegno), per le quali è necessario garantire una Ra = 1.6 μm.

1. Si chiede di realizzare un disegno tecnico quotato e tollerato del pezzo, implementando l'aggiunta di almeno tre tolleranze geometriche funzionali. Si chiede poi di discutere l'impatto delle tolleranze dimensionali e geometriche sul ciclo di fabbricazione del componente, identificando un ciclo ottimale per produrre il lotto indicato.

Si chiede poi di rispondere ai seguenti quesiti:

2. Ipotizzando di produrre dei semilavorati mediante stampaggio a caldo, stabilire la dimensione del lotto e giustificare la scelta.
3. Progettare le attrezzature necessarie per l'esecuzione del processo di stampaggio a caldo, rappresentandole con uno schizzo, individuando il piano di divisione degli stampi, sformi e dimensionando correttamente la camera scarta bava. Inoltre, si dimensioni il semilavorato di partenza, calcolando la forza e l'energia di stampaggio;
4. Utilizzando lo schema allegato (e), oppure un modello a piacere con un livello di dettaglio maggiore o uguale a quello proposto,
    a. progettare il ciclo di lavorazione alle macchine utensili del semilavorato ottenuto dalla deformazione plastica ed elencare le condizioni di taglio ottimali per ciascuna operazione. Si ipotizzino ragionevolmente degli utensili generici e i relativi parametri per le operazioni di foratura e/o fresatura.
    b. stimare i tempi e costi di lavorazione del singolo pezzo, distinguendo i tempi di taglio, tempi accessori e di attrezzaggio.

Per la risoluzione del Tema, si utilizzino i dati (a), il disegno (b), l'elenco delle equazioni (c), l'elenco delle tabelle (d), il modello di ciclo di lavorazione (e).

Si ipotizzi qualsiasi ulteriore dato ritenuto utile per la risoluzione del tema.

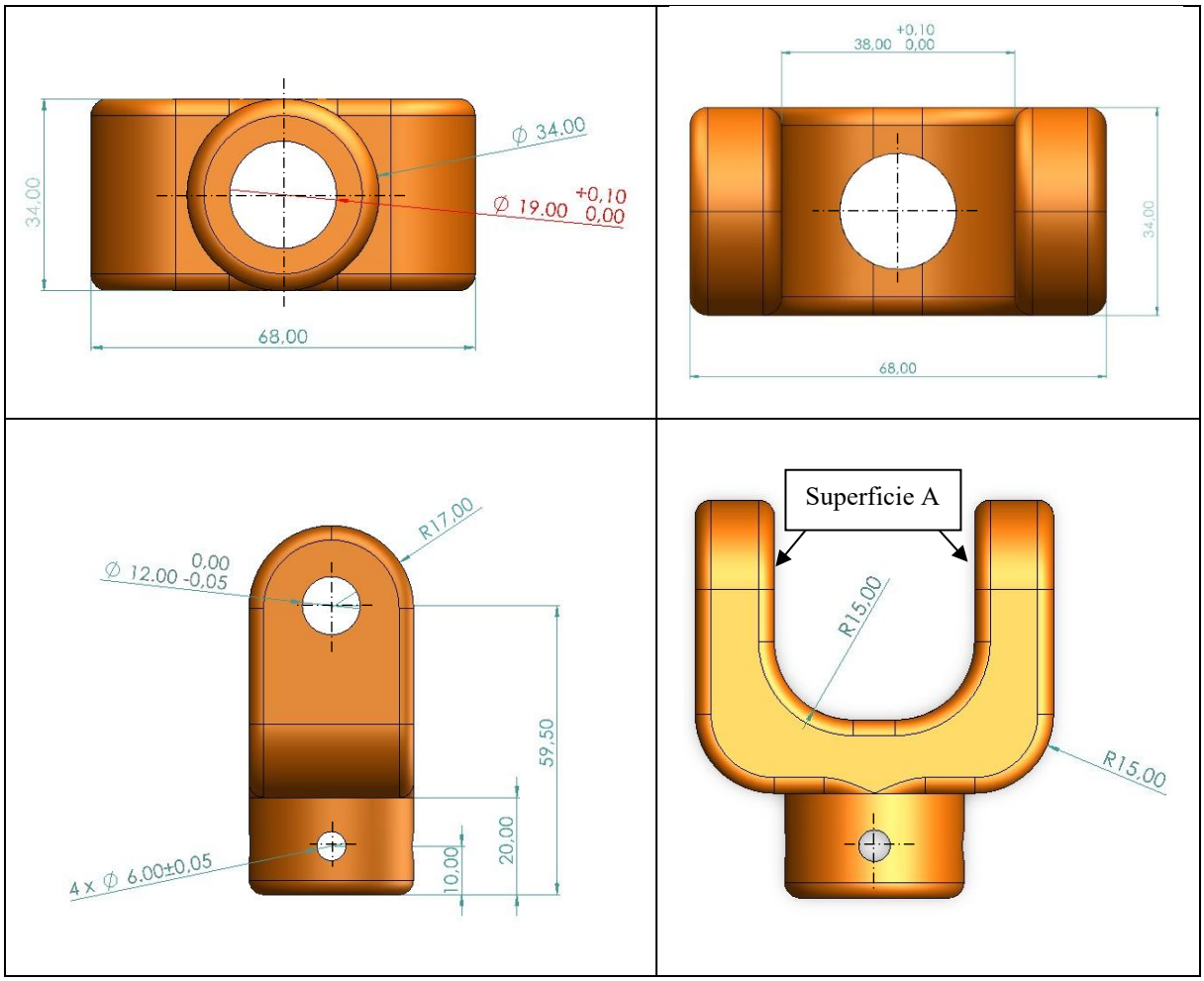
(a) **Dati** utili per la risoluzione della traccia:

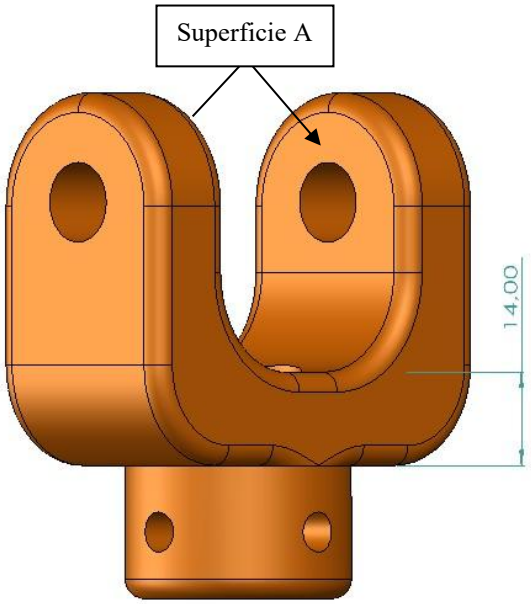
- Proprietà meccaniche acciaio C45: Resistenza Rm = 580 Mpa; Durezza HB 175
- Coefficiente 1/n acciaio C45: 0.180
- Velocità di deformazione pari a 3 $s^{-1}$ per la zona massiva dello stampato e 50 $s^{-1}$ per la zona della bava.

Macchina utensile a disposizione: centro di lavoro CNC

- Potenza di targa del mandrino della macchina utensile $P_T$: 12 kW
- Velocità massima del mandrino della macchina utensile $n_{max}$: 8000 rpm
- Rendimento della macchina utensile η: 0.85
- Fattore correttivo di sicurezza per il calcolo della potenza assorbita: 1.25

(b) **Disegno** della forcella di comando:



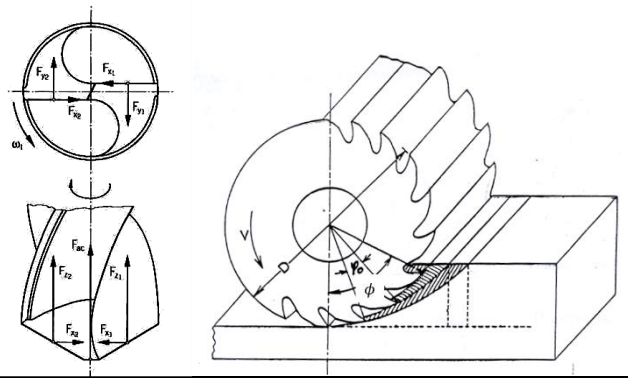



(c) **Equazioni** utili per la risoluzione della traccia:

**Stampaggio**

| Spessore camera scarta bave: | Forza massima: | Sforzo in campo plastico: |
|---|---|---|
| $s = 0.07 \cdot \frac{S}{p}$ | $F_{MAX} = \sigma_m \cdot S \cdot \left(1 + 2 \cdot f \cdot \frac{b}{s}\right) \cdot \eta$ | $\sigma = K' \cdot \dot{\varepsilon}^m$ |

**Asportazione truciolo**

| Forza di foratura: | Spessore medio del truciolo in fresatura periferica: |
|---|---|
| $F_{y1} = F_{y2} = k_s \cdot S = k_s \frac{f \cdot D}{4}$ | $s_m = \frac{2a_z}{\phi}\frac{a_e}{D}$ |
|  | **Angolo Ø in fresatura periferica:** |
| | $\cos\phi = 1 - \frac{2a_e}{D}$ |
| | **Forza media in fresatura periferica:** |
| | $F_m = k_{sm} \cdot s_m \cdot a_p$ |

(d) **Tabelle**:

Coefficiente ritiro lineare

| Materiale | Ritiro (%) | Materiale | Ritiro (%) |
|---|---|---|---|
| Acciai non legati | 1,80 | Ghise malleabili nere | 0,50 |
| Acciai legati (esclusi quelli al Mn e inossid.) | 1,80 | Leghe Al (basso Si) | 1,35 |
| Acciai al manganese | 2,30 | Leghe Al (alto Si) | 1,20 |
| Acciai inossidabili | 2,00 | Leghe Cu-Sn | 1,50 |
| Ghise grigie | 1,00 | Leghe Cu-Zn | 1,20 |
| Ghise sfer., perlitiche | 1,20 | Leghe Cu-Sn-Zn | 1,30 |
| Ghise sfer., ferritiche | 0,50 | Leghe Cu-Zn (Mn, Fe, Al) | 2,00 |
| Ghise austenitiche | 2,00 | Leghe Cu-Al (Ni, Fe, Mn) | 1,90 |
| Ghise bianche | 2,00 | Leghe di Zn | 1,30 |
| Ghise malleabili bianche | 1,60 | Leghe antifrizione (metalli bianchi) | 0,50 |

Coefficienti d'attrito

| Materiale | f |
|---|---|
| acciai | 0,20 ÷ 0,25 |
| ottoni | 0,12 ÷ 0,17 |
| leghe Al | 0,30 ÷ 0,35 |

Valori sovrametallo Fonderia/Stampaggio

| Quota nominale [mm] | Dimensione massima del getto [mm] | | |
|---|---|---|---|
| | < 200 | 200÷1000 | > 1000 |
| <20 | 0.5 | 1 | 1.5 |
| 20÷40 | 1 | 1.5 | 2 |
| 40÷80 | 1.5 | 2 | 2.5 |
| 80÷100 | 2 | 2.5 | 3 |
| 100÷150 | 2.5 | 3 | 3.5 |
| 150÷500 | 3 | 3.5 | 4 |

Angoli di sformo Fonderia/Stampaggio

| Altezza (mm) | Mod. in legno | Mod. metall. |
|---|---|---|
| ≤ 20 | 4° 00' - 7,0% | 2° 00' - 3,5% |
| 20 ÷ 50 | 3° 00' - 5,0% | 1° 30' - 2,6% |
| 50 ÷ 80 | 2° 00' - 3,5% | 1° 00' - 1,7% |
| 80 ÷ 120 | 1° 30' - 2,6% | 0° 45' - 1,3% |
| 120 ÷ 220 | 1° 00' - 1,7% | 0° 40' - 1,1% |
| ≥ 220 | 1° 00' - 1,7% | 0° 30' - 0,9% |

Dimensioni camera scarta bava

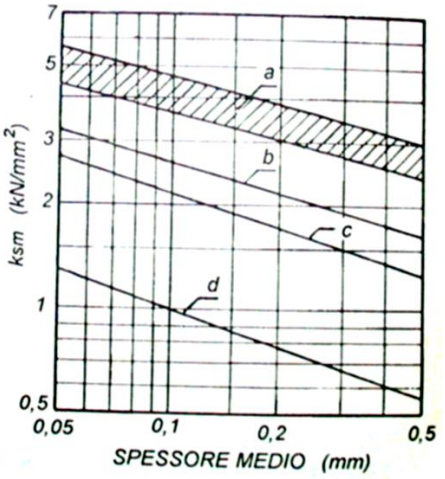
| s | b | r | H | L |
|---|---|---|---|---|
| 0,6 | 6 | 1 | 3,3 | 18 |
| 0,8 | 6 | 1 | 3,4 | 20 |
| 1 | 7 | 1 | 3,5 | 22 |
| 1,6 | 8 | 1 | 4,3 | 22 |
| 2 | 9 | 1,5 | 5 | 25 |
| 3 | 10 | 1,5 | 6,5 | 28 |
| 4 | 11 | 2 | 8 | 30 |
| 5 | 12 | 2 | 9,5 | 32 |
| 6 | 13 | 2,5 | 11 | 35 |
| 8 | 14 | 3 | 14 | 38 |
| 10 | 15 | 3 | 17 | 40 |

Pressione di taglio media per il calcolo
della forza di taglio in fresatura periferica

*Fig. 9.11*

*Pressione di taglio media $k_{sm}$ in funzione dello spessore medio $h_m$.*

*a) acciai (Rm = 500÷700 N/mm²),*
*b) ghisa sferoidale,*
*c) ghisa grigia,*
*d) ottone.*



Coefficiente correttivo per Fmax stampaggio

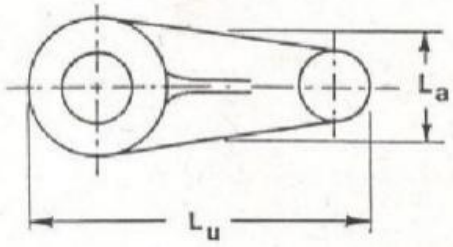



Tabella 10 - Valori di $\eta$

| $L_u/L_a$ | $\eta$ |
|---|---|
| 1 | 1,00 |
| 2 | 1,08 |
| 5 | 1,20 |
| 10 | 1,35 |

Costanti legge di flusso dei materiali

| Materiale | Temperatura [°C] | K' | m |
|---|---|---|---|
| Alluminio | 450 | 22.1 | 0.150 |
| | 500 | 17 | 0.170 |
| Ottone | 750 | 51 | 0.100 |
| | 900 | 32 | 0.130 |
| CuZn7 | 750 | 48 | 0.310 |
| | 800 | 38 | 0.320 |
| C16 | 900 | 158 | 0.102 |
| | 1000 | 123 | 0.121 |
| | 1100 | 86 | 0.147 |
| | 1200 | 59 | 0.185 |
| C20 | 900 | 145 | 0.130 |
| | 1000 | 105 | 0.140 |
| | 1100 | 80 | 0.170 |
| | 1200 | 52 | 0.200 |
| **C45** 38 NCD 4 | 900 | 158 | 0.085 |
| | 1000 | 130 | 0.100 |
| | 1100 | 80 | 0.140 |
| | 1150 | 51 | 0.160 |

e) **Template del modello di ciclo di lavorazione (NON compilare su questo foglio):**

| | **Ciclo di lavorazione** | | Ciclo n: |
|---|---|---|---|
| | Denominazione pezzo: | | |
| N.: | Descrizione operazione (schizzo) | Macchina Utensile: | Codice Utensile |
| 10 | | | |
| 20 | | | |
| … | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| DESCRIZIONE DELLE OPERAZIONI | CONDIZIONI DI TAGLIO | | | | | | Tempi macc. (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $v_c$ (m/min) | $n$ (giri/min) | $f$ (mm/giro) | $a_p$ (mm) | n. pass. | corsa (mm) | |
| 10 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| … | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

## Tema n. 3 (valido per tutte le classi del Settore):

Si consideri il sistema elettromeccanico mostrato in Figura 1, composto da un motore a corrente continua a magneti permanenti, un riduttore e un collegamento torsionale elastico-smorzato che aziona un carico inerziale rotante.
Il motore presenta inerzia rotorica $Jm$, attrito viscoso $Bm$ e coppia di attrito $Kf$. Il riduttore è caratterizzato dal rapporto di riduzione $i$, dal rendimento in marcia diretta $\eta d$ e dal rendimento in marcia inversa $\eta r$. Il giunto presenta rigidezza torsionale $K$ e coefficiente di smorzamento torsionale $C$.
L'ingresso del sistema è la tensione di armatura $V(t)$. Le grandezze meccaniche sono indicate con $(\tau,\omega,\theta)$ sul lato motore, $(\tau 1,\omega 1,\theta 1)$ all'uscita del riduttore e $(\tau 2,\omega 2,\theta 2)$ sul lato del carico.

Si adotti la convenzione: $i=\omega/\omega 1=\theta/\theta 1$.

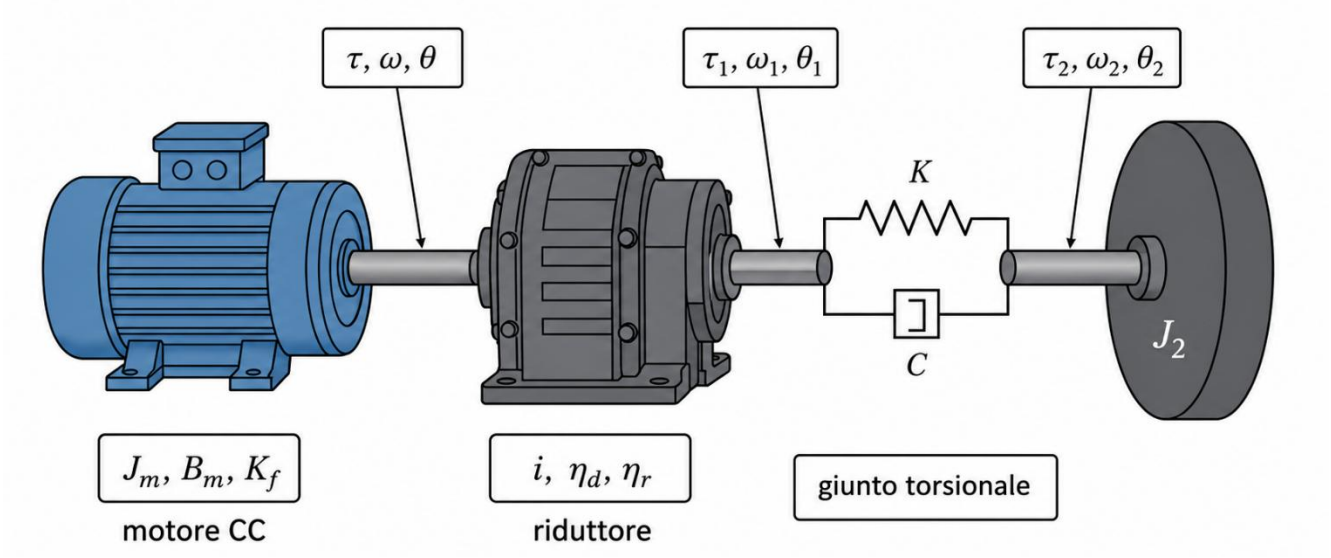



*Figura 1 — Schema del sistema elettromeccanico*

| Parametro | Valore proposto | Unità di Misura |
|---|---|---|
| $K_t$ | 0.060 | Nm/A |
| $K_e$ | 0.060 | V/rad/s |
| V | 24 | V |
| R | 8.2 | Ω |
| L | $1.8\cdot10^{-4}$ | H |
| $J_m$ | $5.1\cdot10^{-6}$ | $kgm^2$ |
| $B_m$ | $9.2\cdot10^{-6}$ | Nm/rad/s |
| $K_f$ | $3.8\cdot10^{-3}$ | Nm |
| i | 20 | |
| $\eta_d$ | 0.82 | |
| $\eta_r$ | 0.25 | |
| K | 0.3 | Nm/rad |
| C | $6.2\cdot10^{-3}$ | Nms/rad |
| $J_2$ | $3.6\cdot10^{-3}$ | $kgm^2$ |

*Tabella 1 — Parametri del sistema elettromeccanico*

### Parte A — Modellazione

### Richieste

1. Modello nel dominio del tempo: Sviluppare il modello dinamico non lineare del sistema. Esplicitare le leggi costitutive del motore, della trasmissione e del giunto, definire le convenzioni di segno adottate e riportare il sistema finale di equazioni differenziali.

2. Rappresentazione ingresso–uscita: Indicare quali assunzioni devono essere fatte per ottenere il modello linearizzato e successivamente, con condizioni iniziali nulle, ricavare la funzione di trasferimento che lega la tensione di armatura V(s) alla posizione angolare del carico $\theta 2(s)$ per via analitica e/o grafica. Motivare tutte le semplificazioni introdotte.

3. Modello in spazio di stato: Formulare una rappresentazione nello spazio di stato del modello linearizzato, indicando chiaramente vettore di stato, ingresso e uscita. Motivare tutte le semplificazioni introdotte.

**Parte B — Controllo dell'azionamento**

Si consideri un motore con trasmissione elastica e carico di struttura simile a quello della Parte A, ma con differente risposta dinamica. Quest'ultima è stata ricavata da un banco di prova sperimentale. La risposta in frequenza dalla coppia motore alla velocità motore è riportata in Figura 2 (modulo in dB, fase in gradi) ed è tabulata in Tabella 2.

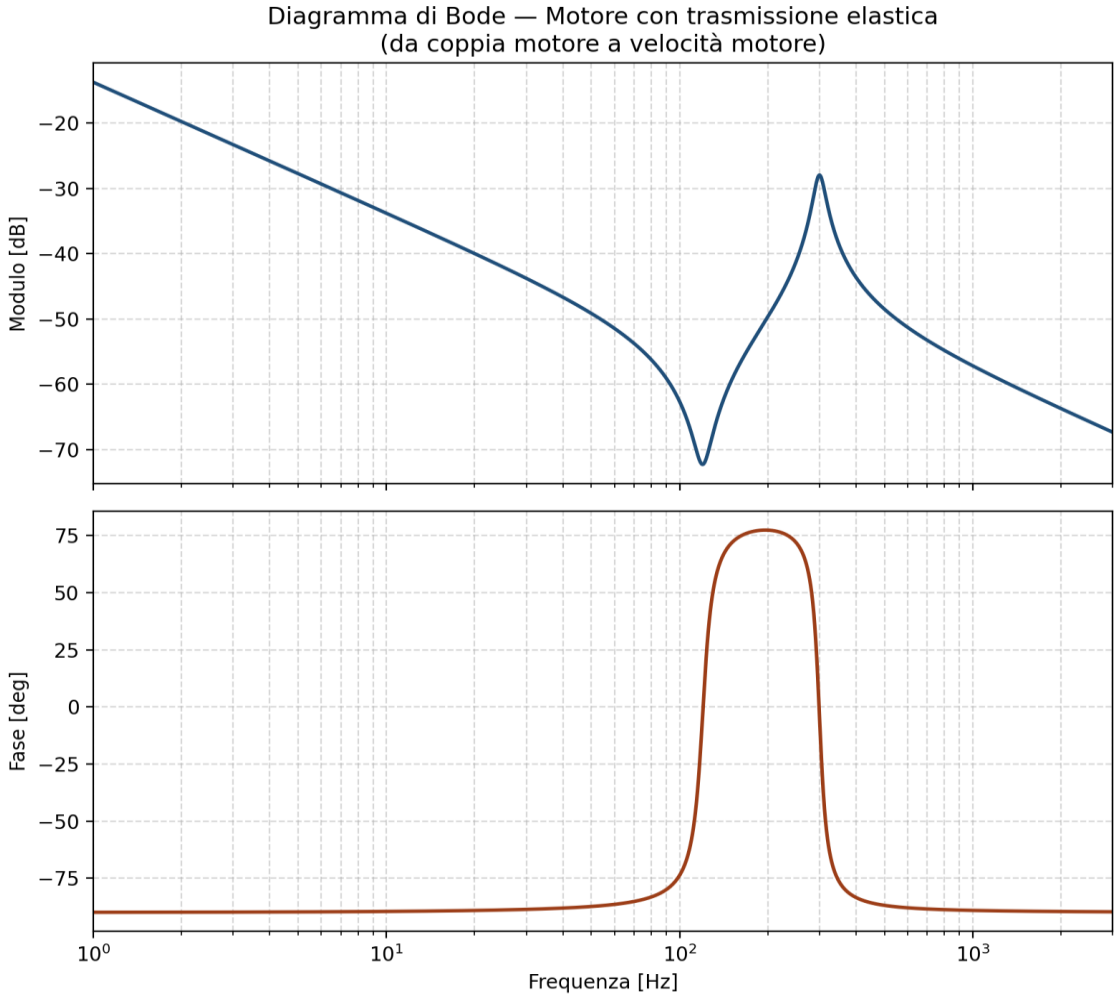



*Figura 2 — Diagramma di Bode sperimentale, coppia motore → velocità motore.*

| f [Hz] | Mod. [dB] | Mod. | Fase [°] |
|---|---|---|---|
| 2 | -19.8 | 0.102 | -89.9 |
| 5 | -27.8 | 0.0407 | -89.8 |
| 10 | -33.8 | 0.0204 | -89.6 |
| 20 | -40 | 0.01 | -89.2 |
| 40 | -46.7 | 0.00462 | -88.1 |
| 60 | -51.5 | 0.00266 | -86.5 |
| 80 | -56.2 | 0.00155 | -83.3 |
| 100 | -62.6 | 0.000741 | -73.8 |
| 110 | -67.6 | 0.000417 | -57.6 |
| 120 | -72.3 | 0.000243 | -2.5 |
| 130 | -67.5 | 0.000422 | 50.4 |
| 140 | -62.8 | 0.000724 | 65.7 |
| 160 | -57 | 0.00141 | 74.5 |
| 180 | -53 | 0.00224 | 77 |
| 200 | -49.7 | 0.00327 | 77.4 |
| 230 | -44.9 | 0.00569 | 75.6 |
| 260 | -39 | 0.0112 | 68.6 |
| 280 | -33.5 | 0.0211 | 53.3 |
| 290 | -30.1 | 0.0313 | 33.6 |
| 300 | -28 | 0.0398 | -3.3 |
| 310 | -29.7 | 0.0327 | -39.2 |
| 320 | -32.6 | 0.0234 | -58.1 |
| 350 | -38.6 | 0.0117 | -76.5 |
| 400 | -43.6 | 0.00661 | -83.5 |
| 500 | -48.5 | 0.00376 | -86.9 |
| 700 | -53.3 | 0.00216 | -88.5 |
| 1000 | -57.2 | 0.00138 | -89.1 |
| 1500 | -61.1 | 0.000881 | -89.5 |
| 2000 | -63.7 | 0.000653 | -89.6 |
| 3000 | -67.3 | 0.000432 | -89.8 |

*Tabella 2 — Valori tabulati di modulo (in dB e in valore numerico) e fase del diagramma di Bode di Figura 2.*

**Richieste**

1. Analizzare il diagramma di Bode di Figura 2 e individuare le zone caratteristiche del comportamento del sistema. Spiegare brevemente il significato fisico di ciascuna zona.
2. Progettare un filtro notch da inserire nell'anello di controllo per attenuare il picco di risonanza:
    a. indicare il criterio di scelta della pulsazione centrale del notch;
    b. descrivere qualitativamente (senza calcolare valori numerici) come andrebbe scelta la profondità/lo smorzamento del notch.
3. Progettare un controllore PI (setpoint = velocità di riferimento, azione di controllo = coppia motore), scegliendo la pulsazione di taglio $\omega c$ dell'anello chiuso affinché il sistema controllato lavori in campo rigido utilizzando un approccio conservativo. Giustificare la scelta.
4. Si calcoli:
    a. la parte integrale perché il suo sfasamento alla pulsazione di taglio $\omega c$ sia trascurabile.
    b. Si tari la parte proporzionale per garantire che la pulsazione di taglio $\omega c$ sia il valore desiderato.
    c. il margine di fase del sistema ottenuto.

## Parte C — Il motore come attuatore in un sistema di processo

Il motore-riduttore delle Parti A e B, opportunamente controllato in velocità, movimenta la soffiante di un sistema di dissoluzione utilizzato in un impianto di produzione di bevande gassate, per controllare la concentrazione di $CO_2$ disciolta nel liquido di processo (setpoint: concentrazione di $CO_2$ desiderata, azione di controllo: velocità di riferimento del motore). La dinamica del processo (miscelazione e trasferimento di massa gas-liquido) è notevolmente più lenta di quella elettromeccanica del motore.

Sono state condotte quattro prove sperimentali a ciclo aperto, applicando altrettanti gradini di ampiezza diversa al riferimento di velocità della girante/soffiante e registrando la risposta della concentrazione di $CO_2$ disciolta rispetto al valore iniziale (Figura 3, Tabella 3). In ciascuna prova l'istante di applicazione del gradino è posto convenzionalmente a $t = 0$ s.

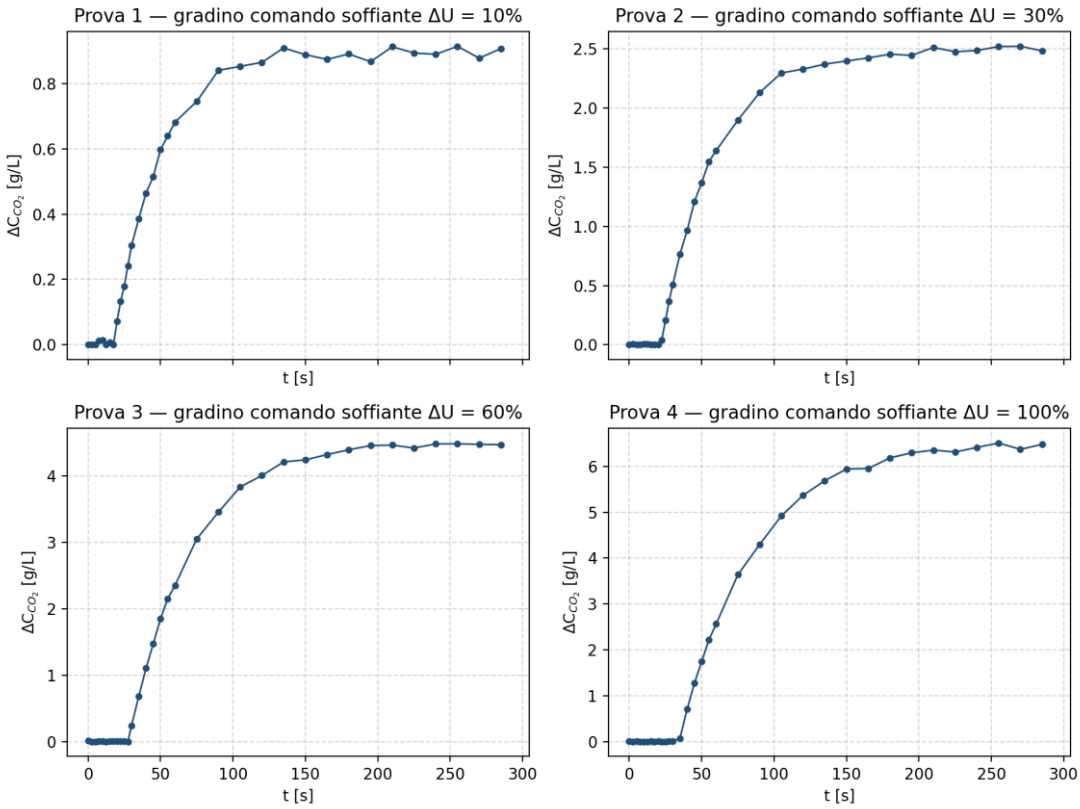



*Figura 3 — Risposte sperimentali a gradino: variazione di concentrazione di $CO_2$ disciolta ΔC_CO2 [g/L] per quattro ampiezze di gradino ΔU sul comando della soffiante.*

| t [s] | Prova 1 (ΔU=10%) | Prova 2 (ΔU=30%) | Prova 3 (ΔU=60%) | Prova 4 (ΔU=100%) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0.01 |
| 2.5 | 0 | 0.01 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7.5 | 0.01 | 0 | 0.01 | 0 |
| 10 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0 |
| 12.5 | 0 | 0.01 | 0 | 0 |
| 15 | 0.01 | 0 | 0.01 | 0 |
| 17.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0.07 | 0 | 0 | 0.01 |
| 22.5 | 0.13 | 0.04 | 0.01 | 0 |
| 25 | 0.18 | 0.21 | 0 | 0 |
| 27.5 | 0.24 | 0.37 | 0 | 0.01 |
| 30 | 0.3 | 0.51 | 0.24 | 0 |
| 35 | 0.39 | 0.77 | 0.68 | 0.07 |
| 40 | 0.46 | 0.97 | 1.1 | 0.71 |
| 45 | 0.51 | 1.21 | 1.47 | 1.27 |
| 50 | 0.6 | 1.37 | 1.85 | 1.74 |
| 55 | 0.64 | 1.55 | 2.15 | 2.22 |
| 60 | 0.68 | 1.64 | 2.35 | 2.56 |
| 75 | 0.74 | 1.9 | 3.05 | 3.64 |
| 90 | 0.84 | 2.13 | 3.45 | 4.29 |
| 105 | 0.85 | 2.3 | 3.83 | 4.92 |
| 120 | 0.86 | 2.33 | 4 | 5.37 |
| 135 | 0.91 | 2.37 | 4.21 | 5.69 |
| 150 | 0.89 | 2.4 | 4.24 | 5.94 |
| 165 | 0.87 | 2.42 | 4.32 | 5.95 |
| 180 | 0.89 | 2.46 | 4.39 | 6.19 |
| 195 | 0.87 | 2.45 | 4.45 | 6.3 |
| 210 | 0.91 | 2.51 | 4.46 | 6.35 |
| 225 | 0.89 | 2.48 | 4.42 | 6.31 |
| 240 | 0.89 | 2.49 | 4.48 | 6.41 |
| 255 | 0.91 | 2.52 | 4.48 | 6.51 |
| 270 | 0.88 | 2.52 | 4.47 | 6.37 |
| 285 | 0.91 | 2.48 | 4.47 | 6.48 |

*Tabella 3 — Valori campionati delle quattro risposte a gradino di Figura 3.*

**Richieste**

1. Stimare i parametri di un modello del primo ordine con ritardo (FOPDT) — guadagno K, costante di tempo τ, ritardo θ — utilizzando il metodo grafico del 10%–90% sulla risposta al gradino. Nel caso il valore esatto non sia presente in tabella si consideri l'istante di tempo precedente.
2. Confrontare e commentare i parametri ottenuti.
3. Motivare la scelta di orientarsi verso una taratura più conservativa (robusta) oppure più aggressiva (in termini di prestazioni) del controllore di processo.
4. Progettare un controllore PI per la variabile di processo utilizzando il metodo SIMC, motivando la scelta del parametro di progetto $\tau_c$.
5. Disegnare lo schema a blocchi di un predittore di Smith descrivendone lo scopo e in che modo durante la sua taratura si può tenere conto dell'incertezza del modello.

**Formulario di riferimento**

Nel seguito: K = guadagno statico di processo, τ = costante di tempo, θ = ritardo (dead time), ΔU = ampiezza del gradino in ingresso, Δy∞ = variazione a regime dell'uscita. Il modello di riferimento è il primo ordine con ritardo (FOPDT):

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}\, e^{-\theta s}$$

**Identificazione grafica — metodo del 10%–90%**

Individuati sulla risposta al gradino gli istanti $t_{10}$ e $t_{90}$ in cui l'uscita raggiunge, rispettivamente, il 10% e il 90% della variazione a regime $\Delta y_\infty$

$$K = \Delta y_\infty / \Delta \mathrm{u}$$

$$\tau \simeq \frac{t_{90} - t_{10}}{2.2}$$

$$\theta \simeq t_{10} - 0.1\tau$$

**Taratura SIMC (Skogestad — IMC)**

Parametro di progetto: $\tau_c$ = costante di tempo desiderata dell'anello chiuso.

$$K_p = \frac{1}{K}\frac{\tau}{\tau_c + \theta}, T_i = \min\big(\tau, 4(\tau_c + \theta)\big), T_d = 0$$

## Tema n. 4 (valido per tutte le classi del Settore):

CASO n. I871 – Snack salati (Amica Chips, Pata, Preziosi Food) (ALLEGATO 1)
L'AGCM contesta ad Amica Chips, Pata e Preziosi Food un'intesa orizzontale segreta (durata 2016-2024) volta a ripartirsi i clienti della GDO per le forniture di snack salati a marchio del distributore (Private Label), mediante patti di non belligeranza, offerte di comodo (cover bidding) nelle gare e coordinamento dei listini.
**DOMANDA 1:** Sulla base della struttura della domanda e dell'offerta descritta nel provvedimento, come definiresti il Mercato Rilevante? Per quale motivo il segmento Private Label va distinto dal segmento Brand e quale ruolo gioca il canale distributivo?
**DOMANDA 2:** Utilizzando i dati dimensionali del settore e le evidenze del provvedimento, struttura il blocco di tesi a sostegno dell'Autorità articolandolo almeno nei seguenti punti:

- Struttura del Mercato e Simmetria
- Prove dell'Accordo Orizzontale (Segreto/Trasparenza)
- Elasticità della Domanda e Shock dei Costi
- Teoria dei Giochi

**DOMANDA 3:** Mettendoti nei panni dei tecnici di Amica Chips, Pata e Preziosi Food, come argomenteresti per smontare l'ipotesi di cartello e giustificare le condotte contestate? Prova ad articolare partendo dai seguenti punti:

- Shock Esogeni sui Costi ed Efficienza Logistica
- Saturazione Reale degli Impianti
- Potere d'Acquisto della GDO (Buyer Power)
- Teoria dei Giochi (Deviazione e Aste)

**DOMANDA 4:** Sulla base dei dati finali delle sanzioni:

- Spiega perché per Pata e Amica Chips sia stato economicamente razionale presentare domanda di clemenza.
- Qual è la convenienza strategica ed economica per Preziosi Food e per le altre parti nell'accettare la procedura di transazione invece di rischiare il ricorso al TAR?

## Tema n. 5 (valido per tutte le classi del Settore):

Si progetti un braccio telescopico per ponte sollevatore seguendo la traccia seguente.

### Oggetto e requisiti funzionali

Si richiede il progetto preliminare di **uno dei bracci telescopici di un ponte sollevatore a due colonne per autovetture**. Il braccio è collegato al carrello mobile mediante un'articolazione con **perno ad asse verticale**, sostenuta da una **staffa imbullonata al carrello**. All'estremità libera è presente un tampone di appoggio con regolazione filettata in altezza. Il braccio può essere realizzato con uno o due sfili.
Il braccio viene orientato e regolato manualmente a vuoto per raggiungere il punto di sollevamento del veicolo; anche la regolazione in altezza del tampone avviene a scarico. Durante l'impiego deve essere mantenuta la configurazione impostata, evitando movimenti relativi involontari che possano compromettere il sostegno del veicolo. Le ordinarie operazioni di regolazione non devono consentire la separazione accidentale degli elementi telescopici. Il successivo riposizionamento deve essere possibile a carico rimosso.

### Sistema telescopico e soluzione di guida

Il braccio è costituito da due/tre elementi tubolari a sezione rettangolare / quadrata in acciaio, uno esterno e uno/due interno/i scorrevole/i, da realizzare preferibilmente mediante profilati commerciali.
Come **soluzione di riferimento, non vincolante**, la guida e il sostegno reciproco possono essere ottenuti mediante pattini a strisciamento sostituibili, disposti in due zone:

1) **All'imbocco dell'elemento esterno:** i pattini sono fissati all'elemento esterno e appoggiano sulle superfici esterne dell'elemento interno.
2) **Sulla coda dell'elemento interno:** i pattini sono fissati all'estremità dell'elemento interno che rimane nel telescopio e scorrono sulle superfici interne dell'elemento esterno.

In questa soluzione lo scorrimento avviene sulle pareti dei tubolari, senza rotaie aggiuntive. I pattini sulla coda si montano prima dell'inserimento dell'elemento interno; quelli all'imbocco sono rimovibili per consentire montaggio e smontaggio.
Sono ammesse **soluzioni alternative, anche con elementi volventi**, purché ne siano motivate idoneità, realizzabilità e modalità di trasmissione dei carichi. Restano da definire geometrie, materiali, giochi, fissaggi e sovrapposizione, assicurando montaggio, manutenzione e sostituzione degli elementi di usura.

### Dati di progetto

| Grandezza | Valore o requisito |
|---|---|
| Carico verticale massimo sul singolo braccio | **10 kN** |
| Carico di sovraccarico statico occasionale | **15 kN**, da sostenere senza snervamento degli elementi metallici |
| Lunghezza utile regolabile del braccio | **600–1000 mm**, misurata tra l'asse del perno verticale e l'asse del tampone |
| Materiale dei due elementi telescopici | **Acciaio S355 o superiore** |
| Altezza massima della sezione esterna del telescopio | **150 mm**, esclusi articolazione e tampone |
| Freccia ammissibile al punto di appoggio | **5 mm** |
| Corsa utile di regolazione in altezza del tampone | **50 mm** |

### Condizioni e limiti del progetto

Il carico assegnato agisce verticalmente verso il basso sull'asse del tampone, nel piano verticale longitudinale del braccio. **Le azioni orizzontali sono escluse dalle verifiche numeriche**, ma devono comunque essere definite le soluzioni necessarie a impedire movimenti involontari durante l'impiego.
Il limite di abbassamento riguarda la deformazione elastica dei soli elementi telescopici; giochi e deformabilità locale dei contatti possono essere discussi qualitativamente.

Il tampone di contatto può essere commerciale. Carrello e colonna si assumono rigidi e adeguatamente resistenti; non sono richiesti il loro dimensionamento, il progetto dell'azionamento o la verifica degli ancoraggi della colonna al pavimento.

**Attività richieste**

Motivare geometrie, materiali, fabbricazione, assemblaggio e dati assunti, nonché modelli, criteri di verifica e coefficienti di sicurezza. Sono ammesse verifiche locali semplificate.

3) **Braccio e guida telescopica.** Definire sezioni, sovrapposizione e disposizione delle guide. Individuare e motivare le configurazioni più gravose, ricavando schemi di calcolo e diagrammi delle azioni interne. Dimensionare i due elementi rispetto a resistenza e deformabilità e valutare le azioni sulle guide, verificando le relative superfici di appoggio.
4) **Articolazione e fissaggio al carrello.** Definire la geometria della staffa e la trasmissione di forze e momenti dal braccio al carrello. Dimensionare il perno verticale e verificare le principali superfici portanti dell'articolazione, comprese eventuali boccole / spallamenti / cuscinetti. Dimensionare la giunzione bullonata della staffa, indicando numero, disposizione, diametro e classe delle viti. Precisare il ritegno assiale e la possibilità di smontaggio del perno.
5) **Piede regolabile.** Dimensionare il sistema vite–madrevite e il suo collegamento al braccio, definendo filettatura, materiali e lunghezza minima di impegno compatibile con la corsa richiesta. Considerare le condizioni più gravose nell'intervallo di regolazione.
6) **Arresti e bloccaggi.** Definire costruttivamente come mantenere l'estensione e l'orientamento del braccio durante l'impiego e impedire l'estrazione accidentale dell'elemento interno, anche durante la regolazione. È sufficiente una definizione di massima, anche con dispositivi manuali: non sono richiesti dimensionamenti numerici o comandi automatici.
7) **Inquadramento della colonna.** Per una colonna con entrambi i bracci collegati, spiegare il trasferimento dei carichi al pavimento e ricavare i diagrammi qualitativi delle azioni interne da un modello semplificato dichiarato. Assumere il sollevatore fermo, con carrello sostenuto dai dispositivi di arresto (il moto relativo verticale tra carrello e colonna si può ritenere quindi vincolato). Sono ammesse grandezze simboliche e/o semplificazioni.

**Ulteriori richieste di progetto:**

8) Spiegare / motivare l'eventuale necessità di ulteriori verifiche per carichi ripetuti nel tempo, usura o giochi e indicare uno o due casi di carico anomalo o uso improprio che richiederebbero verifiche aggiuntive.
9) **Realizzare uno schizzo quotato, anche a mano libera, di una delle due alternative seguenti:**
   a) braccio telescopico completo di tampone di appoggio;
   b) articolazione e staffa di collegamento tra il carrello della colonna e il braccio telescopico.

Indicare le quote principali e funzionali coerenti con i calcoli e rendere comprensibili accoppiamenti e funzionamento; sono ammessi schemi locali integrativi. Non sono richiesti disegni esecutivi o quotature complete. La scelta riguarda solo lo schizzo: tutte le attività di calcolo restano richieste.

**Preventivi indicativi**

Predisporre, in forma estremamente sintetica e semplificata (anche aiutandosi con tabelle se lo si ritiene opportuno)

10) **un preventivo orientativo per l'attività professionale** di progettazione preliminare del gruppo, indicando le principali prestazioni comprese, le eventuali esclusioni e il criterio adottato per stimare il compenso, con le principali spese e gli oneri da considerare.
11) **una stima preliminare del costo di realizzazione** di un esemplare del gruppo progettato, articolata per principali voci e accompagnata da una breve motivazione dei criteri estimativi adottati.

Sono sufficienti stime di ordine di grandezza basate su ipotesi dichiarate. Non sono richiesti un documento contrattuale completo, richiami normativi, un computo analitico o la conoscenza di prezzi. Saranno considerate la coerenza e la ragionevolezza delle voci e dei criteri adottati.

**Immagini di riferimento:**



*Figura 1. Fotografia di un ponte di sollevamento commerciale.*

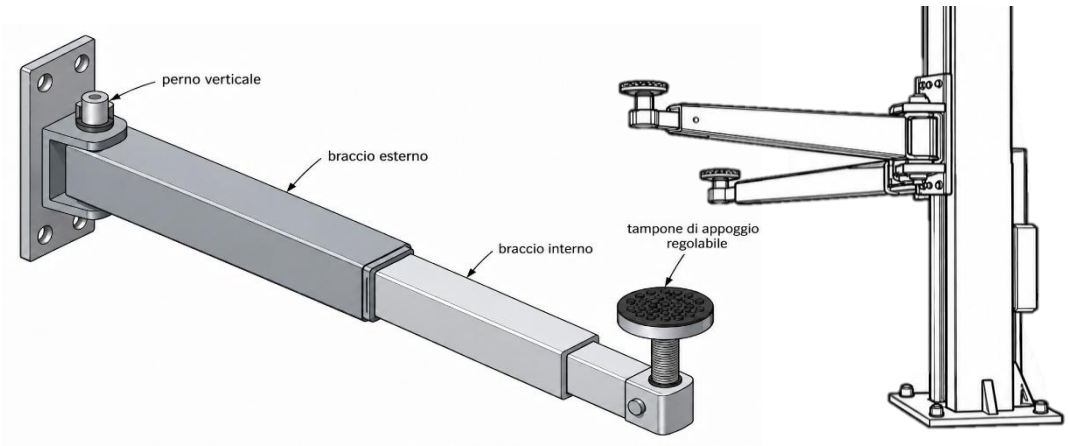



*Figura 2. Immagini semplificate con dettaglio di un esempio di braccio telescopico.*

Le immagini sono esclusivamente illustrative e non costituiscono una soluzione da riprodurre. Per geometria, componenti e condizioni di progetto valgono le prescrizioni della traccia e il candidato ha piena libertà di scelta progettuale.