



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
(Lauree di primo livello D.M. 509/99 e D.M. 270/04 e Diploma Universitario)

SEZIONE B - Seconda sessione 2024

**PROVA SCRITTA DEL 21 NOVEMBRE 2024**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**Classi di laurea:**

**L-9: Ingegneria Industriale**

**AMBITI:**

**Gestionale/Automazione Industriale/Meccanica**

**Tema n. 1 (ambito GESTIONALE)**

**PARTE A**

Il candidato discuta il ruolo delle scorte nell'ambito del processo di gestione dei materiali di una qualsivoglia filiera produttiva. In particolare, descriva: tipologia e funzioni delle scorte, possibili classificazioni delle scorte, modalità di misura delle scorte, modelli di calcolo, parametri e dati chiave per le analisi, indicatori di misura e prestazione.

**PARTE B**

PlasticTH è una PMI manifatturiera specializzata nella produzione e vendita di componenti termoplastici per maniglie di porte e finestre e per tendaggi e nella rivendita di componenti metallici per maniglie e tendaggi.

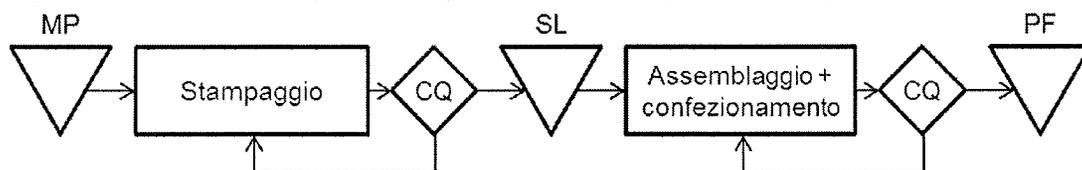
Tutti gli articoli trattati dall'azienda sono gestiti a scorta ed in particolare:

- i componenti termoplastici sono prodotti internamente per stampaggio e successivo assemblaggio dei sottoassiemi a formare l'articolo finito (logica "make");
- gli articoli da rivendita sono acquistati presso un fornitore esterno (logica "buy").

L'azienda serve clienti sia italiani che esteri, con frequenze e tempi di spedizione variabili a seconda della localizzazione geografica dei clienti.

**Il processo produttivo**

In Figura 1 è riportato uno schermo del processo di produzione dei componenti termoplastici.



**Figura 1. Schema del processo di produzione**

Come mostrato in figura, il processo di produzione è suddiviso in due fasi:

1. lo stampaggio dei prodotti, realizzato tramite presse ad iniezione;
2. l'assemblaggio ed il confezionamento dei componenti stampati, attività svolte manualmente da operai specializzati.

I prodotti in uscita dal reparto di stampaggio vengono stoccati in un magazzino intermedio in attesa di essere ammessi al reparto di assemblaggio e confezionamento, in quanto i due reparti operano su turni di lavoro differenti. In particolare:

- il reparto di stampaggio è aperto su 2 turni/giorno da 8 ore ciascuno;
- il reparto di assemblaggio e confezionamento è aperto solamente su 1 turno/giorno da 8 ore.

Sono previsti in tutto due controlli qualità nell'arco del processo di produzione:

- un primo controllo avviene a valle del processo di stampaggio e viene svolto a campione sui pezzi in uscita dalla pressa: è controllato l'8% dei prodotti stampati e quelli trovati difettosi vengono scartati;
- un secondo controllo viene svolto sulle confezioni in uscita dal reparto di assemblaggio: è controllata 1 confezione ogni 10 e quelle con imballo o contenuto (n. di pezzi) non conforme alle specifiche ritornano in reparto, dove sono riconfezionate.

Le attività di produzione e di trasporto tra i reparti sono svolte su lotti da 500 pezzi; la Tabella 1 riporta la durata media delle attività presso i reparti di stampaggio e di assemblaggio e confezionamento.

Reparto	Trasporto ingresso [min/lotto]	Attesa ingresso [min/lotto]	Setup [min/lotto]	Lavorazione unitaria [min/pz]	Controllo unitario [min/pz]	Trasporto uscita [min/lotto]
Stampaggio	10	0	30	0,25	1,5	15
Assemblaggio	0	<i>Da determinare</i>	15	0,10	1,0	5

Tabella 1. Durata delle attività presso i reparti di produzione.

### Il ciclo di ordine-consegna al cliente

La Figura 2 schematizza il ciclo di ordine e consegna al cliente attuato dall'azienda.

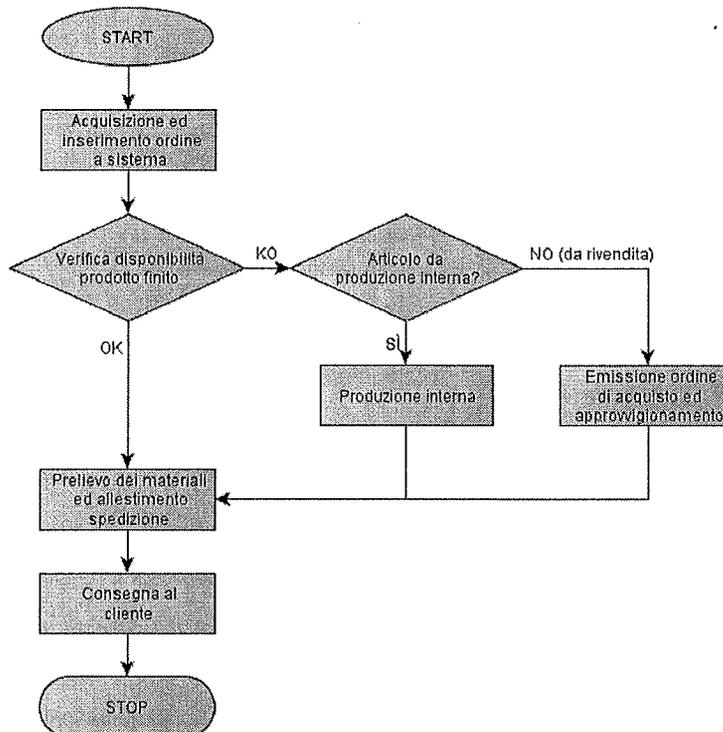


Figura 2. Il ciclo di ordine e consegna al cliente.

La prima fase del ciclo è costituita dall'acquisizione ed inserimento dell'ordine a sistema, che richiede in media 1 giorno indipendentemente dal canale utilizzato (telefono, fax, e-mail, portale web dell'azienda) e dalla nazionalità del cliente. Non

appena l'ordine è acquisito, l'addetto all'ufficio Spedizioni verifica che gli articoli ordinati siano disponibili a magazzino prodotti finiti.

In caso affermativo, si procede al prelievo dei materiali da magazzino ed all'allestimento della spedizione, la cui durata dipende dal tipo di articolo come riportato in Tabella 2. In tabella è inoltre indicato il grado di copertura delle scorte mantenuto dall'azienda per ciascuna famiglia di articoli.

Tipo di articolo	Durata prelievo + allestimento [giorni]	Grado di copertura delle scorte
Componenti termoplastici	1	90%
Articoli da rivendita	2	85%

**Tabella 2. Durata delle attività di prelievo ed allestimento e puntualità di consegna per tipo di articolo**

La frequenza e la durata del trasporto variano a seconda della nazionalità del cliente, come riportato in Tabella 3.

Nazionalità	Frequenza di spedizione	Durata media del trasporto [giorni]
Italia	Giornaliera	1
Estero	Settimanale <sup>1</sup>	4

**Tabella 3. Frequenza e durata delle spedizioni in funzione della nazionalità del cliente**

In caso di stock-out, è invece necessario provvedere al riapprovvigionamento degli articoli ordinati e, in particolare:

- nel caso dei componenti termoplastici, occorre svolgere l'intero ciclo di produzione descritto;
- in caso di articoli da rivendita, l'ufficio Acquisti emette un ordine di riapprovvigionamento verso il fornitore aziendale: in genere, sono necessari 7 giorni affinché gli articoli ordinati siano consegnati a PlasticTH.

Quesito 1) Alla luce alle informazioni fornite, al candidato è richiesto di calcolare il tempo medio di attraversamento e l'indice di flusso (scomposto nelle sue componenti: effetto lotto ed effetto di processo), definito come il rapporto tra LT complessivo/Tempo di lavorazione di un pezzo:

- 1.1 dei singoli reparti di produzione (stampaggio e assemblaggio + confezionamento);
- 1.2 dell'intero sistema di produzione dell'azienda.

Per farlo è opportuno valutare le Capacità Produttive (lotti/giorno) dei reparti, così da valutare al meglio i tempi di attesa.

Quesito 2) Considerando una settimana di 5 giorni lavorativi e che un ordine può essere spedito a partire dal giorno del suo allestimento il candidato dovrà inoltre calcolare, per ciascuna categoria di clienti (Italia vs. Estero) e di prodotti (componenti termoplastici vs. articoli da rivendita):

- 2.1 il tempo di ciclo ordine-consegna teorico (ipotizzando il materiale disponibile a magazzino);
- 2.2 il tempo di ciclo ordine-consegna effettivo;
- 2.3 si discutano l'incidenza dello scostamento tra i due valori e l'impatto sul servizio al cliente.

PARTE A

Analizzare i criteri per la scelta del sistema di trasmissione meccanica in una macchina operatrice, considerando vantaggi e svantaggi di catene, cinghie e ingranaggi. Descrivere le applicazioni più comuni di ciascun tipo di trasmissione e le condizioni in cui si preferisce una soluzione rispetto alle altre. Illustrare i parametri caratteristici di cinghie e ingranaggi. (Massimo quattro facciate)

PARTE B

- I. Nella trasmissione a ruote dentate a denti diritti schematicamente rappresentata in figura, il motore aziona un albero intermedio (2) che trasmette il moto a due alberi coassiali ((3) e (4)), uno dei quali è cavo ed alloggia al suo interno un supporto del secondo albero. Su ciascuno dei due alberi finali sono calettate due palette, disposte a  $180^\circ$ , che si muovono in un fluido e ricevono da questo una reazione tangenziale (che si può ritenere a distanza  $h$  dall'asse di rotazione) pari a:

$$F = k v^2$$

dove  $v$  è la velocità periferica delle palette a di stanza  $h$  e  $k = 750 \text{ kg/m}$ .

Si richiede il calcolo della potenza richiesta al motore e la coppia motrice (si ipotizzino i rendimenti unitari).

**Dati del problema**

Velocità angolare albero motore

$$\omega_m = 1000 \text{ giri/minuto}$$

Distanza del punto di applicazione di  $F$  dall'asse di rotazione

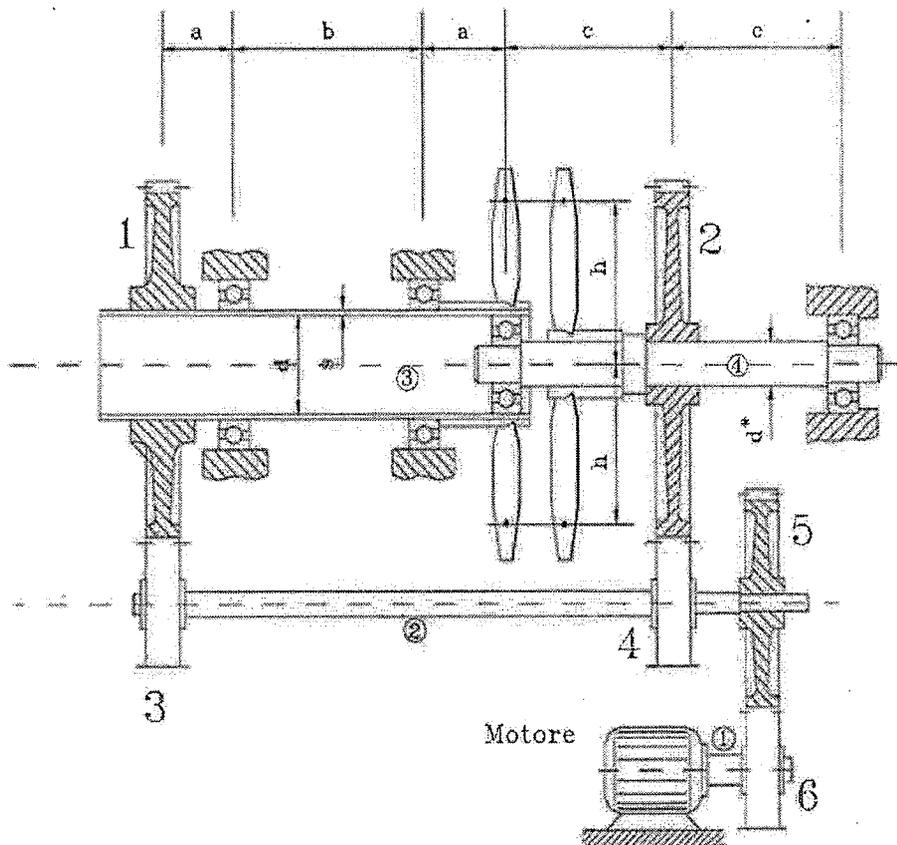
$$h = 150 \text{ mm}$$

Ruote dentate

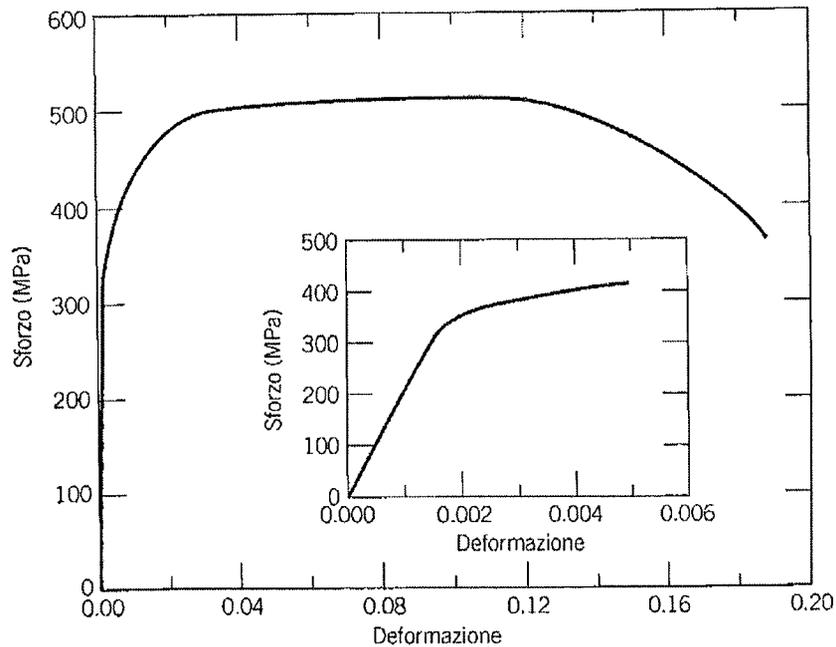
$$z_1 = 44; z_3 = 21; m_{13} = 7 \text{ mm}$$

$$z_2 = 70; z_4 = 21; m_{24} = 5 \text{ mm}$$

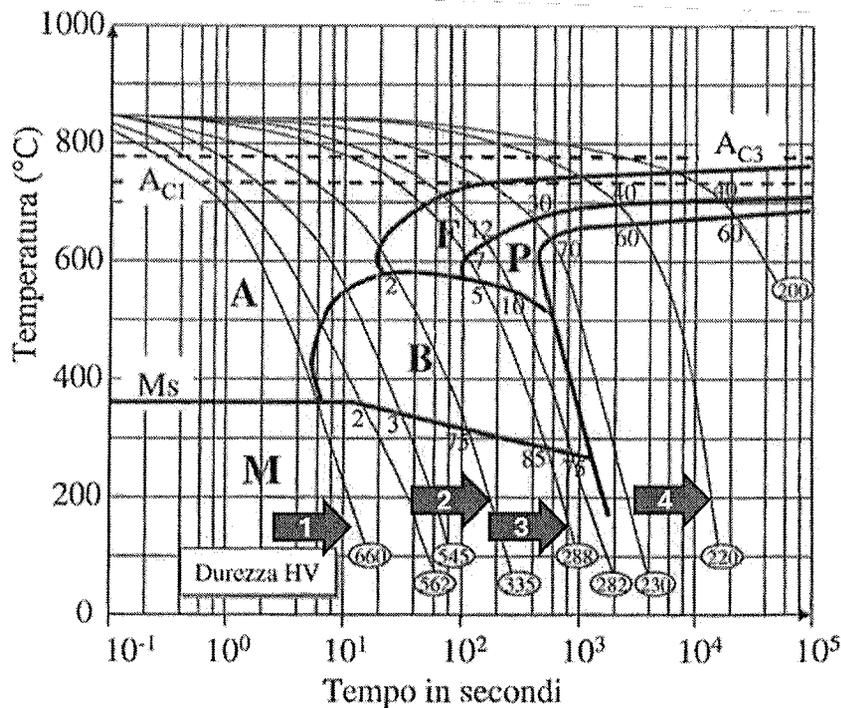
$$z_5 = 60; z_6 = 19; m_{56} = 5 \text{ mm}$$



- II. I risultati di una prova di trazione condotta su un campione in acciaio sono raccolti in figura: la curva interna riporta i dati raccolti nella prima parte della prova utilizzando una scala amplificata rispetto alla curva esterna che riporta i dati relativi all'intera prova. Determinare:
- il modulo elastico;
  - il carico unitario a snervamento ( $\sigma_{p0,2}$ );
  - il carico unitario a rottura ( $\sigma_R$ );
  - il carico massimo su un provino cilindrico con diametro originale di 15 mm;
  - la variazione di lunghezza per un campione di 75 mm soggetto a una tensione di 480 MPa.



- III. Per le traiettorie di raffreddamento indicate dalle frecce nel diagramma CCT dell'acciaio 42CrMo4 sottostante, descrivere la microstruttura finale ottenuta alla fine del raffreddamento, indicare le rispettive proporzioni e specificare la durezza del materiale.



### Tema n. 3 (ambito AUTOMAZIONE)

#### PARTE A

Il candidato descriva la funzione di trasferimento dei sistemi single-input-single-output (SISO), fornendo degli esempi di applicazione in sistemi meccanici per il controllo del moto.

Il candidato descriva dettagliatamente il sistema di controllo in retroazione di un sistema modellato con una funzione di trasferimento.

Si descrivano inoltre gli aspetti legati alla digitalizzazione del controllore, quali la scelta del tempo di campionamento e le tipologie di discretizzazione esistenti

#### PARTE B

Si consideri un forno industriale alimentato da una resistenza elettrica. Attraverso prove sperimentali si è determinata la funzione di trasferimento approssimata fra l'ingresso di corrente  $u(t)$  e l'uscita di temperatura  $y(t)$ .

$$P_m(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{10}{(0.1s + 1)(s + 1)}$$

Il candidato:

- Tracci il diagramma di Bode della funzione di trasferimento
- Calcoli, anche in forma approssimata, il margine di fase nel caso si utilizzi un controllore proporzionale  $C(s) = 1000$  e commenti se il controllore è opportuno per il controllo del forno.
- Progetti un controllore affinché sia garantito l'errore a regime nullo, la pulsazione di taglio sia pari o superiore a 1 rad/s e che il margine di fase sia superiore a  $60^\circ$
- Indichi un tempo di campionamento opportuno per la discretizzazione del controllore.
- Fornisca lo pseudocodice del controllore utilizzato.

#### Formulario

Relazione approssimata specifiche in frequenza – Specifiche nel tempo:

##### Primo ordine:

pulsazione di taglio  $\omega_c$  – costante di tempo  $\tau$

$$\omega_c = 1/\tau$$

##### Secondo ordine:

pulsazione di taglio  $\omega_c$  – pulsazione naturale  $\omega_n$

smorzamento  $\xi$  - margine di fase  $PM$

$$\omega_c = \omega_n$$

$$\xi = PM/100$$

overshoot percentuale  $OV$  – smorzamento  $\xi$

$$OV = 100 e^{\frac{\pi \xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

#### Discretizzazione

$$\text{Eulero all'indietro } s \simeq \frac{1-z^{-1}}{T_c}, \text{ Eulero in avanti } s \simeq \frac{z-1}{T_c}$$

## Diagrammi di Bode

