

POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLE PROFESSIONI DI INGEGNERE CIVILE-AMBIENTALE, INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE

I Sessione 2025 – Commissione 2 INDUSTRIALE – Sezione A

PROVA PRATICA del 18 settembre 2025

Il/la candidato/a svolga uno a scelta tra i temi proposti in seguito.

Nello sviluppo della soluzione ai quesiti proposti, il/la candidato/a consideri che, oltre alla correttezza dei contenuti tecnico-scientifici, verranno valutati l'ordine, l'organizzazione e la leggibilità del testo e degli schemi e disegni prodotti.

Tema #1

Si consideri un velivolo della categoria “normal” di peso massimo al decollo $MTOW = 3400 \text{ kg}$ e peso alare pari al 10% di $MTOW$. Si consideri la condizione di volo rappresentata dal punto A ($n = 3.6$) del diagramma di manovra.

In base alle seguenti ipotesi:

- La semiala si può semplificare come una trave a semi-guscio in lega di Alluminio incastrata ad un estremo (attacco alare) e libera all'altro, avente lunghezza $L=8 \text{ m}$ e sezione trasversale rappresentata in Figura 1.1 costante lungo la semiapertura.
- I carichi applicati sulla semiala sono la portanza, il peso proprio, il peso del combustibile (pari a 380 kg e approssimabile come distribuito sull'intera apertura alare), il peso della singola gamba carrello pari a 250 kg (in $x = 2 \text{ m}$ dall'attacco alare). Tutti i carichi si possono immaginare applicati in corrispondenza dell'anima anteriore della sezione alare di Figura 1.1.

Si richiede di analizzare la risposta strutturale della semiala del velivolo, in particolare:

- La posizione del centro di taglio della sezione alare;
- Lo stato di sollecitazione della sezione in corrispondenza del collegamento della gamba carrello in $x = 2 \text{ m}$, descrivendo la procedura per verificare se la struttura sopporta il carico con riferimento alle usuali normative aeronautiche;
- Il valore del gradiente di torsione sempre per $x = 2 \text{ m}$;
- La rotazione di torsione della semiala al suo estremo libero;
- Determinare inoltre il peso del cassone alare di Figura 1.1, verificando che risulti pari o inferiore al 40% del peso dell'ala. Per valori del peso del cassone superiori a quello atteso, proporre una metodologia che permetta di riportarlo all'interno del limite indicato nel rispetto delle condizioni normative. Commentare le ricadute sul calcolo indicato ai punti precedenti.

Si mettano in evidenza e si dia giustificazione delle ipotesi semplificative e delle assunzioni adottate per svolgere i calcoli.

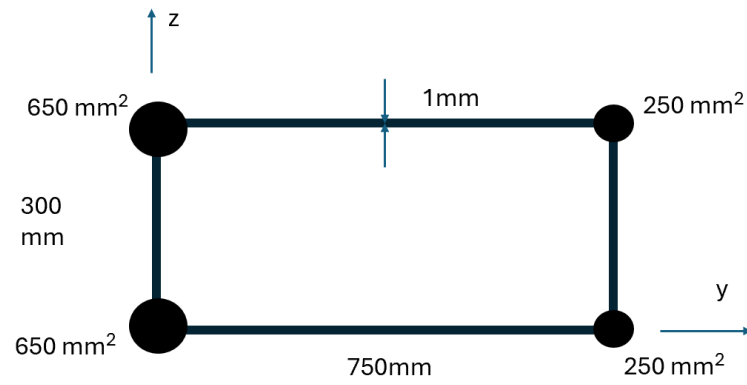


Figura 1.1

Tema #2

Con la tecnica di fotoplethysmografia è possibile misurare la variazione del volume di sangue che interessa la circolazione periferica. Le variazioni volumetriche del flusso sanguigno sono quantificate tramite le variazioni di intensità della luce che incide su un sensore ottico (fotodiodo). Anche se la luce ambiente può essere utilizzata come sorgente luminosa, sovente si considera un emettitore ottico che opera su lunghezze d'onda nel visibile o nell'infrarosso. Il segnale elettrico che ne deriva è noto come fotoplethysmogramma.

Un brano di 60 s di un fotoplethysmogramma, raccolto a riposo da un soggetto sano, è illustrato in Figura 2.1 A. Tramite stima spettrale non parametrica si vuole monitorare il variare della frequenza cardiaca nel corso del minuto di registrazione. A tale scopo, si procede nel seguente modo:

- si applica un filtro passabanda al segnale, con frequenze di taglio $f_{c\ alto}$ e $f_{c\ basso}$
- si calcola lo spettro di potenza di un brano di 6 s di segnale (Figura 2.1 B);
- si identifica la frequenza di picco f_p (Figura 2.1 C);
- si calcola la frequenza cardiaca moltiplicando f_p per 60;
- si ripetono i punti da b) a d) slittando la finestra di 0.5 s ogni volta.

Si chiede di:

- Definire la tipologia di filtro e valori plausibili per $f_{c\ alto}$ e $f_{c\ basso}$ motivando la scelta
- Disegnare il grafico di ampiezza (modulo) del diagramma di Bode del filtro proposto
- Discutere se l'incertezza della stima sia accettabile e, nel caso non lo fosse, proporre almeno una soluzione per mitigare il problema

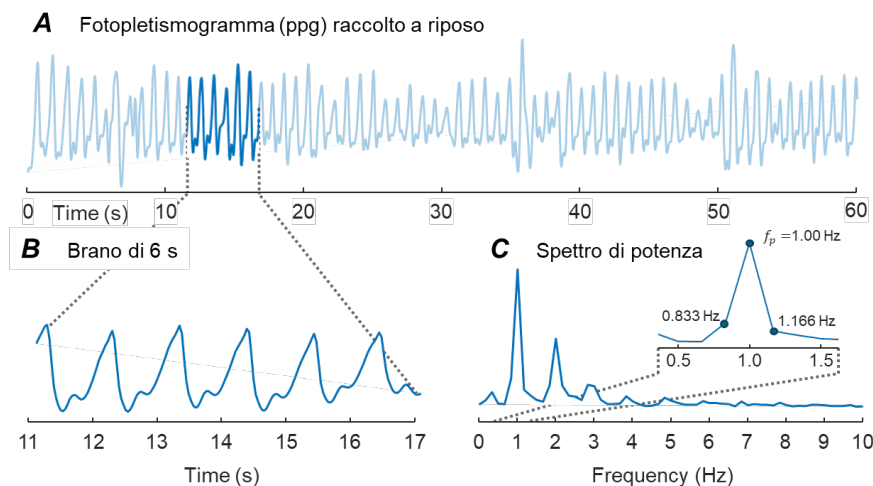


Figura 2.1

Tema #3

Progettare una sezione di trattamento primario per un impianto di **potabilizzazione dell'acqua** destinato a servire una popolazione di 50.000 *abitanti*, con un consumo medio giornaliero pro capite di 200 *L/abitante giorno*.

Il trattamento prevede:

1. Vasca di sedimentazione primaria (decantazione)
2. Filtro a sabbia a valle della sedimentazione
3. Clorazione finale per disinfezione

Si richiede di:

1. Calcolare la portata giornaliera totale e oraria dell'impianto
2. Dimensionare la vasca di sedimentazione (volume e superficie)
3. Dimensionare il filtro a sabbia (superficie minima)
4. Calcolare il volume del serbatoio di contatto per clorazione
5. Calcolare il fabbisogno giornaliero di cloro (in *kg*)

Utilizzare per lo svolgimento i seguenti dati tecnici:

- Tempo di ritenzione in vasca di sedimentazione: 2 *ore*
- Velocità di filtrazione sabbia: 5 *m/h*
- Tempo di contatto minimo cloro: 30 *minuti*
- Dose di cloro: 2 *mg/L*
- Rendimento decantazione: 70% solidi sospesi
- Rendimento filtro: 90% solidi rimanenti
- Concentrazione iniziale solidi sospesi: 100 *mg/L*

Tema #4

Un'azienda manifatturiera del settore automotive produce componenti meccanici destinati all'assemblaggio di alberi di trasmissione. La caratteristica critica di qualità da monitorare è il diametro del componente, il cui valore nominale è pari a 10.0 mm , con tolleranza tecnica pari a $\pm 0.1 \text{ mm}$.

Per garantire la stabilità del processo produttivo, il responsabile qualità ha deciso di applicare il controllo statistico di processo (SPC). Sono stati prelevati 10 campioni consecutivi, ciascuno composto da $n = 5$ pezzi, rilevando i valori di diametro riportati in Tabella 4.1.

Tabella 4.1. Dati grezzi del diametro (mm)

Campione	Misure (mm)
1	10.1 – 9.9 – 10.0 – 10.2 – 10.1
2	9.8 – 9.9 – 10.1 – 10.0 – 10.2
3	10.3 – 10.1 – 10.2 – 10.4 – 10.0
4	9.7 – 9.9 – 9.8 – 9.9 – 10.0
5	10.0 – 10.1 – 10.2 – 10.0 – 9.9
6	10.2 – 10.3 – 10.1 – 10.0 – 10.4
7	9.8 – 10.0 – 9.9 – 10.1 – 9.7
8	10.5 – 10.4 – 10.3 – 10.2 – 10.1
9	9.9 – 9.8 – 9.7 – 9.9 – 10.0
10	10.0 – 10.2 – 10.1 – 10.0 – 10.3

1. Per ciascun campione si calcoli: la media, il range, la deviazione standard campionaria.
2. Si determini: la media complessiva delle medie campionarie, la media complessiva dei range, la media complessiva delle deviazioni standard.
3. Si calcolino i limiti di controllo per le carte di controllo: Carta $\bar{X} - R$, Carta $\bar{X} - S$. La Tabella 4.2 riporta i valori delle costanti da utilizzare il calcolo dei limiti di controllo.
4. Si costruisca la Carta $\bar{X} - R$, con le due rappresentazioni: carta delle medie $\bar{X}$, carta dei range R ;
5. Si costruisca la Carta $\bar{X} - S$, con le due rappresentazioni: carta delle medie $\bar{X}$, carta delle deviazioni standard S .
6. Si analizzino i risultati complessivi, individuando eventuali punti fuori controllo o pattern anomali.
7. Considerata la numerosità del campione ($n = 5$), si discuta quale tra le due carte di controllo, $\bar{X} - R$ o $\bar{X} - S$, risulta più appropriata per il monitoraggio del processo, si motivi la scelta.
8. Si confronti la media complessiva del processo con il valore target nominale (10.0 mm) e commentare eventuali scostamenti.
9. Si calcoli la tolleranza naturale del processo e si verifichi se il processo è capace di rispettare le tolleranze tecniche ($\pm 0.1 \text{ mm}$).

Tabella 4.2. Tabella delle costanti per la costruzione di carte di controllo

Dimensione del campione (n)	A_2	D_3	D_4	d_2	c_4	A_3	B_3	B_4
2	1.880	-	3.267	1.128	0.798	2.659	-	3.267
3	1.023	-	2.574	1.693	0.886	1.954	-	2.568
4	0.729	-	2.282	2.059	0.921	1.628	-	2.266
5	0.577	-	2.115	2.326	0.940	1.427	-	2.089
6	0.483	-	2.004	2.534	0.952	1.287	0.030	1.970
7	0.419	0.076	1.924	2.704	0.959	1.182	0.118	1.882
8	0.373	0.136	1.864	2.847	0.965	1.099	0.185	1.815
9	0.337	0.184	1.816	2.970	0.969	1.032	0.239	1.761
10	0.308	0.223	1.777	3.078	0.973	0.975	0.284	1.716
15	0.223	0.347	1.653	3.472	0.982	0.789	0.428	1.572
25	0.153	0.459	1.541	3.931	0.990	0.606	0.565	1.435

Tema #5

Un complesso terziario ad uso amministrativo deve essere realizzato su un terreno di superficie rettangolare di dimensioni $40\text{ m} \times 60\text{ m}$.

L'edificio principale si sviluppa in un'area interna, mantenendo una distanza di 5 metri dal perimetro del lotto. La struttura è costituita da 4 piani fuori terra di superficie uniforme, un piano interrato e un piano copertura con terrazzamento che ospita i due locali macchina degli ascensori per il trasporto persone e il locale centrale di condizionamento con gruppo frigorifero (Figura 5.1).

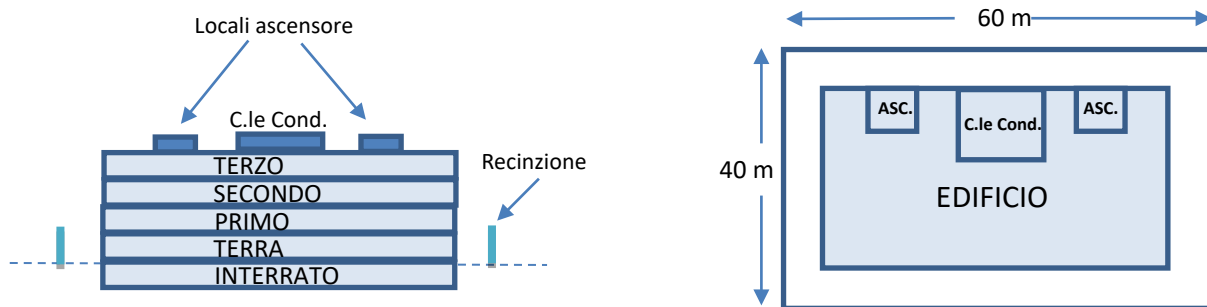


Figura 5.1

I piani sono destinati agli usi di seguito specificati, oltre alla presenza di servizi igienici, disimpegni e scale.

- Interrato: cabina di trasformazione MT/BT, centrale termica e archivi documentali.
- Terra: reception con accoglienza clienti, sala d'attesa e sale riunioni.
- Primo: Centro Elaborazione Dati (CED) e uffici amministrativi.
- Secondo: uffici direzionali, locali cucina, mensa aziendale, bar interno.
- Terzo: uffici operativi.

Il Centro Elaborazione Dati (CED) richiede continuità assoluta di alimentazione elettrica data la criticità delle operazioni svolte. L'intero edificio deve essere climatizzato mediante impianti per riscaldamento invernale e condizionamento estivo.

L'Ente Distributore dichiara i seguenti parametri per la fornitura elettrica in media tensione nel punto di consegna:

- Tensione nominale: $V_n = 20\text{ kV}$ trifase con neutro isolato.
- Potenza di cocto: $S_{cc} = 500\text{ MVA}$.
- Corrente di guasto a terra lato MT: $I_g = 100\text{ A}$.
- Tempo di eliminazione del guasto a terra: $t = 0,5\text{ s}$.

Il candidato, assumendo valori ragionevoli e tecnicamente giustificati per i parametri non specificati, dovrà sviluppare i seguenti punti:

1. **Progettazione del Sistema di Trasformazione MT/BT**, con i quadri generali di media e bassa tensione ed i sistemi di protezione e sezionamento.
2. **Dimensionamento Linea di Alimentazione Centrale di Condizionamento**, con verifica della caduta di tensione e coordinamento del dispositivo di protezione.
3. **Dimensionamento dell'impianto di terra**, in modo da ottenere il coordinamento con le protezioni e la verifica dei requisiti normativi di sicurezza.

4. **Progetto dell'impianto elettrico di un ufficio rappresentativo**, di dimensioni $4\text{ m} \times 3\text{ m}$, che comprenda il centralino di locale, il sistema di illuminazione con disposizione dei corpi illuminanti, per garantire livelli di illuminamento conformi alle normative.

Il candidato dovrà illustrare le problematiche affrontate e giustificare le scelte tecnico-economiche operate con riferimento a sicurezza, affidabilità ed efficienza energetica, citando i riferimenti normativi applicabili. Gli elaborati grafici comprenderanno schemi a blocchi, schemi unifilari e planimetrie degli impianti.

La valutazione considererà la competenza tecnica, la capacità di sintesi, la chiarezza espositiva, la correttezza normativa e l'innovazione delle soluzioni proposte.

Tema #6

1. Per riscaldare una portata di acqua da $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ viene utilizzato il calore di condensazione di un ciclo Rankine organico (ORC) percorso da R114, alimentato con 1000 m^2 di collettori solari, soggetti a una radiazione solare pari a 850 W/m^2 . Lo schema dell'ORC è riportato in Figura 6.1

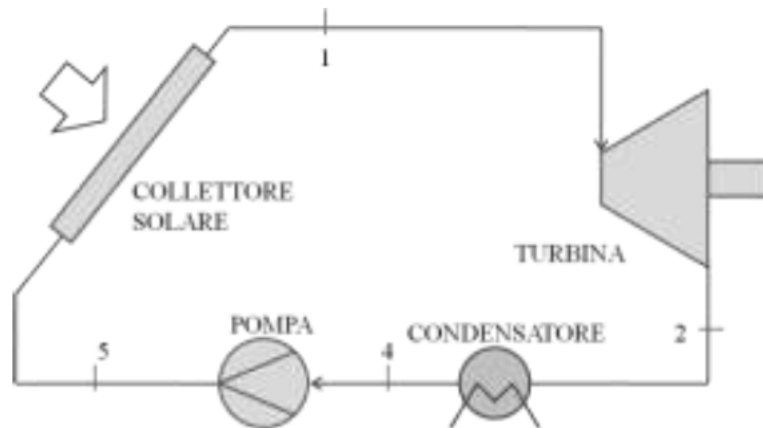


Figura 6.1

Dimostrare quantitativamente che l'efficienza energetica della produzione di acqua calda sanitaria nell'ORC è superiore a quella che si otterrebbe riscaldando direttamente la stessa portata di acqua con i medesimi pannelli solari.

Considerare i seguenti dati per il ciclo, come schematizzato in Figura 6.2:

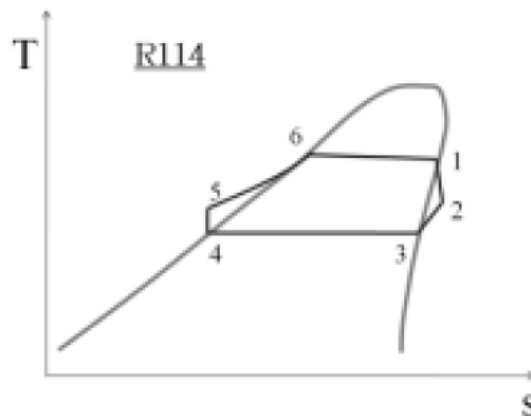


Figura 6.2

- Temperatura ambiente $T_0 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Temperatura del sole: 5780 K .
- Temperatura di evaporazione del ciclo ORC: $90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Nel caposaldo 1 (pressione di saturazione $p_1 = 11.47\text{ bar}$): vapore saturo: $h_1 = 227.1\text{ kJ/kg}$; $s_1 = 0.7038\text{ kJ/kgK}$; liquido saturo: $h_6 = 131.5\text{ kJ/kg}$; $s_6 = 0.4406\text{ kJ/kgK}$
- Temperatura di condensazione del ciclo ORC: $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Nel caposaldo 3 (pressione di saturazione $p_3 = 3.881\text{ bar}$):

- vapore saturo: $h_3 = 201.4 \text{ kJ/kg}$; $s_3 = 0.6725 \text{ kJ/kgK}$
- liquido saturo: $h_4 = 81.57 \text{ kJ/kg}$; $s_4 = 0.2957 \text{ kJ/kgK}$
- Rendimento isoentropico della turbina del ciclo ORC: 0.85
- Rendimento elettrico della turbina: 0.92
- Punto 2_{is} : $p = 3.881 \text{ bar}$; $s = 0.7038 \text{ kJ/kgK}$; $h = 211.6 \text{ kJ/kg}$.
- Punto 2_p : $p = 3.881 \text{ bar}$; $s = 0.7108 \text{ kJ/kgK}$
- Volume specifico del R134a liquido $v = 0.00087 \text{ m}^3/\text{kg}$

Al fine di effettuare il calcolo della potenza termica assorbita dai pannelli solari si utilizzino la seguente relazione:

$$\Phi_{sol} = A_{coll} \cdot \eta \cdot I_{tot}$$

dove: $\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T^*$ e I_{tot} è la radiazione solare totale.

η_0 è il rendimento ottico pari a 0.837, a_1 è il coefficiente di perdita termica di primo ordine pari a $4 \text{ W/m}^2\text{K}$, e $T^* = (T_m - T_{amb})/I_{tot}$, dove T_m è la temperatura media del fluido circolante nei collettori (per ORC si può considerare T_m coincidente con temperatura di evaporazione).

2. Il candidato consideri un ambiente ad uso ufficio climatizzato in regime invernale con un impianto a tutta aria esterna che controlla il carico termico totale (sensibile + latente) per garantire in ambiente una temperatura $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidità relativa $UR_i = 50\%$.

L'ufficio ha una pianta rettangolare ($11 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, altezza 4 m) e ha due pareti adiacenti e il soffitto confinanti con l'ambiente esterno a $T_e = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ e $UR_e = 70\%$, mentre una parete verticale lunga e il pavimento confinano con ambienti alla stessa temperatura. L'altra parete verticale corta confina invece con un corridoio (si consideri il fattore di correzione per lo scambio termico verso ambienti non climatizzati pari a $btr = 0.7$).

La trasmittanza della parte opaca del soffitto e delle pareti disperdenti verso l'ambiente esterno è pari a $U_{op,e} = 2.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ mentre il coefficiente di assorbimento solare della superficie esterna è pari a $\alpha_s = 0.6$. La trasmittanza della parte opaca della parete disperdente verso l'ambiente non climatizzato (corridoio) è pari a $U_{op,nr} = 2.50 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Sono inoltre presenti 2 ponti termici lineari verso ambiente esterno, ognuno di lunghezza 4 m e caratterizzati da una trasmittanza termica lineica pari $\Psi_e = 0.15 \text{ W/mK}$.

L'area della parete lunga disperdente verso l'esterno ha una finestra a unica anta di dimensioni 2 m altezza e 1.5 m larghezza costituita da una vetrocamera con trasmittanza $U_g = 2.50 \text{ W/m}^2\text{K}$ e da un telaio in PVC dallo spessore di 2 cm con trasmittanza $U_f = 2.80 \text{ W/m}^2\text{K}$. Inoltre, il ponte termico dovuto al distanziale vale 0.04 W/mK . La trasmittanza di energia solare totale del vetro è pari a $g_{gl} = 0.35$. Inoltre, in ambiente si infila una portata di aria esterna pari a $\dot{G}_{inf} = 0.15 \text{ h}^{-1}$.

Nell'ambiente ci sono 5 persone ($Q_s = 60 \text{ W/persona}$ e $Q_{lat} = 70 \text{ W/persona}$) e sull'involucro incide una radiazione solare media di $I = 130 \text{ W/m}^2$.

Si calcoli:

- a. Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione $[W/K]$
- b. L'energia termica sensibile scambiata per infiltrazione nel mese di marzo considerando il valor medio mensile della temperatura media giornaliera dell'aria esterna pari a $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ $[kWh]$
- c. La potenza termica totale che deve fornire l'impianto all'ambiente interno $[kW]$

Supponendo che l'impianto di climatizzazione immetta in ambiente una portata d'aria esterna pari a 0.25 kg/s , si calcolino:

- d. L'entalpia specifica con la quale viene immessa l'aria in ambiente $[kJ/kg]$;
- e. La temperatura con la quale viene immessa l'aria in ambiente $[^{\circ}\text{C}]$
- f. La potenza termica della batteria di preriscaldamento e post-riscaldamento $[kW]$ (facendo l'ipotesi che l'umidificazione sia operata con acqua liquida) e la portata di acqua necessaria all'umidificazione $[kg/s]$ per portare l'aria dalle condizioni esterne a quelle di immissione
- g. Si sviluppi uno schema dell'impianto includendo centrale termo-frigorifera, distribuzione idronica, unità di trattamento aria e distribuzione aeraulica.

Si consideri il coefficiente di scambio termico superficiale esterno pari a $h_e = 25\text{ W/m}^2\text{K}$.

Tema #7

Si consideri il sistema di distribuzione (con singolo albero a camme) delle valvole di un motore a 4 cilindri per combustione interna. La puleggia per la fasatura è montata sull'estremità dell'albero motore come mostrato in Figura 7.1 ed ha un raggio $R_{pulley} = 60 \text{ mm}$. La coppia trasmessa dalla puleggia dentata è $T = 12 \text{ Nm}$ con una tensione nel ramo teso $T_T = 458 \text{ N}$. Un tendicinghia è posizionato sul ramo lasco della cinghia dentata. L'angolo di avvolgimento sul tendicinghia è $\alpha = 160^\circ$.

Si consideri costante la coppia trasmessa, mentre la velocità di rotazione varia come mostrato in Tabella 7.1. Al/Alla candidato/a è richiesta la definizione dei parametri del cuscinetto a sfere su cui viene montato il tendicinghia. Si consideri una vita a fatica di $L_h = 22000 \text{ ore}$ garantendo una affidabilità del 90%. In particolare, è richiesto di:

1. Calcolare il valore della forza T_L nel ramo lasco della cinghia
2. Calcolare il valore della forza risultante R applicata sul tendicinghia
3. Calcolare il valore del carico equivalente P_{eq} agente sul tendicinghia
4. Definire i valori dei coefficienti correttivi a_1 e a_{SKF} assunti nella designazione
5. Calcolare il coefficiente di carico dinamico di base del cuscinetto C_{min}

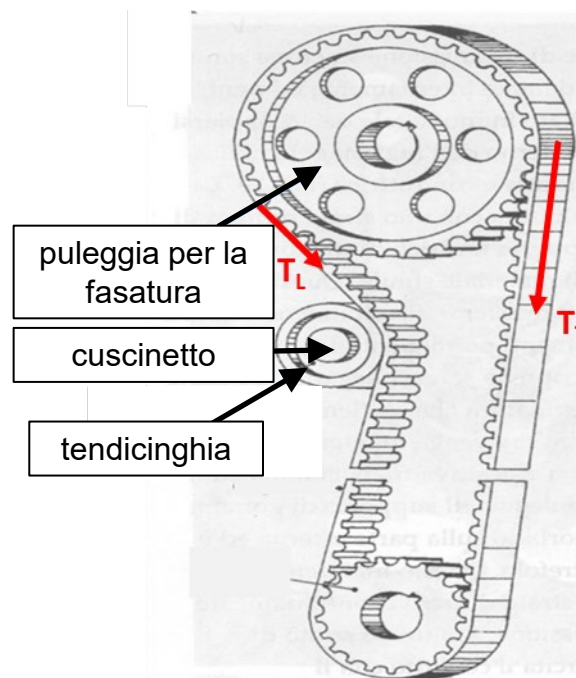


Figura 7.1. Layout del sistema distribuzione

Tabella 7.1. Velocità di rotazione del pretensionatore e relative percentuali di lavoro nel tempo

% tempo	Velocità di rotazione (rpm)
50	2400
35	4500
15	6000

La Figura 7.2 mostra la vista in sezione di una parte della testa di un motore a combustione interna a 4 cilindri in cui le valvole sono controllate da un singolo albero a camme. La corretta

movimentazione delle valvole è garantita dalle camme direttamente a contatto con le punterie a bicchierino (elementi 2 e 3 in Figura 7.2) collegate direttamente allo stelo della valvola. La camma ha un profilo tale per cui la distanza minima tra l'asse di rotazione della camma ed il punto di contatto è $Cam_{min} = 16 \text{ mm}$, mentre la distanza massima tra l'asse di rotazione della camma ed il punto di contatto è $Cam_{max} = 26 \text{ mm}$.

Il corretto funzionamento delle valvole è garantito da due molle ad elica cilindriche e coassiali che lavorano in parallelo. Le molle devono esercitare una forza massima $F_{max} = 450 \text{ N}$ quando la valvola è aperta e $F_{min} = 250 \text{ N}$ quando la valvola è chiusa. Si considerino le due molle aventi uguale rigidezza e uguale lunghezza assiale. Le due molle devono essere montate in un volume cilindrico con un diametro $D_{V_MAX} = 35 \text{ mm}$ e una altezza massima $H_{V_MAX} = 45 \text{ mm}$ (elemento 3 in Figura 7.2).

Il materiale della molla è un acciaio C75 (caratteristiche meccaniche $R_{p.02} = 1050 \text{ MPa}$, limite di fatica $\Delta\tau_{adm} = 450 \text{ MPa}$).

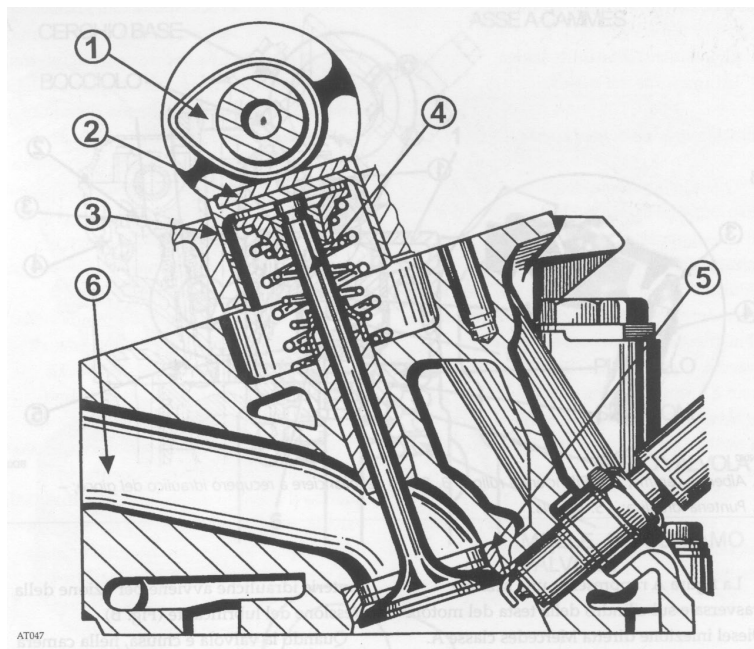


Figura 7.2. Vista in sezione di un dettaglio della testa di un motore a combustione interna a 4 cilindri

Considerato questo sottosistema, al/alla candidato/a viene richiesta la definizione della geometria della molla esterna. In particolare, viene richiesto, relativamente a tale molla, di:

6. Definire il valore del coefficiente c assunto per il dimensionamento
7. Definire il valore del diametro del filo d_{out} , considerando i vincoli geometrici illustrati e sfruttando tutto lo spazio disponibile sul diametro esterno
8. Valutare la rigidezza k_{out}
9. Calcolare il valore del parametro di Wahl λ'
10. Calcolare il valore della tensione massima di taglio τ_{max}
11. Verificare la resistenza statica della molla
12. Calcolare il valore dell'ampiezza della tensione di taglio a fatica $\Delta\tau$
13. Verificare la molla a fatica (con durata di vita infinita)
14. Valutare il numero di spire attive i (arrotondando il valore al primo decimale e assumendo il modulo di taglio del materiale $G = 79 \text{ GPa}$)

Viene inoltre richiesta la valutazione e la verifica delle tensioni di contatto hertziane tra la camma e la punteria durante le condizioni di lavoro. Per i raggi di curvatura della camma, si assuma un profilo circolare con $R_{min} = 16 \text{ mm}$ in condizione di distanza minima e valvola chiusa e $R_{max} = 4.5 \text{ mm}$ in condizioni di distanza massima e valvola aperta. Si considerino i due componenti a contatto prodotti in acciaio (assumendo modulo elastico $E = 206 \text{ GPa}$). La camma ha una lunghezza assiale $l_{cam} = 35 \text{ mm}$.

Al/Alla candidato/a viene richiesto di:

15. Valutare la massima tensione di contatto hertziana σ_0 tra la camma e la punteria durante il funzionamento del motore
16. Valutare la tensione equivalente massima σ_{id} (sempre secondo la teoria di Hertz)
17. Valutare la minima resistenza di snervamento richiesta al materiale utilizzato per garantire un coefficiente di sicurezza C. S. = 1.5

Con riferimento al meccanismo camma – punteria di Figura 7.2, si supponga che la camma, rappresentata in Figura 7.3, sia una camma armonica e che la corrispondente legge di spostamento della punteria (legge di alzata) sia: $y(\vartheta) = h/2 \cdot [1 - \cos(\pi \cdot \vartheta/\beta)]$ dove h è l'alzata massima imposta dalla camma alla punteria e $\beta = \pi/3$ è l'angolo di camma

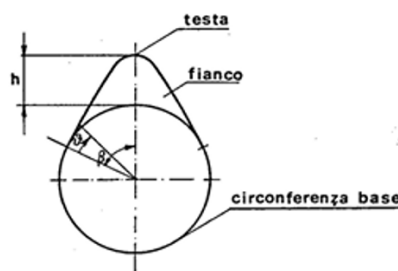


Figura 7.3. Schema della camma

Trascurando, per semplicità, ogni forma di attrito e il contributo della forza peso dei vari componenti e ipotizzando che l'albero a camme azioni una sola valvola del motore, il/la candidato/a determini:

18. Il valore della velocità di primo distacco tra camma e punteria, considerando una massa del bicchierino (elementi 2 e 3 di Figura 7.2) $m_B = 50 \text{ g}$ e una massa della valvola (elemento 4 di Figura 7.2) $m_v = 50 \text{ g}$;
19. L'espressione della coppia da applicare all'albero a camme per attuare la punteria, nel caso in cui l'albero a camme stia accelerando;
20. L'espressione della coppia assorbita dal sistema di distribuzione, ridotta all'albero motore. Si consideri trascurabile il momento d'inerzia polare del rullo tenditore.

Il/la candidato/a assuma ogni parametro eventualmente necessario per lo svolgimento del tema e non fornito con opportuno senso ingegneristico, giustificandone la scelta.

Tema #8

Progettare un sistema di test e caratterizzazione di accelerometri MEMS con fondo scala pari a $\pm 5g$.

Si pensi di dover testare dei vassoi contenenti 25 componenti caricati contemporaneamente.

Il candidato illustri:

- la tecnologia scelta per il sistema di movimentazione del vassoio
- la metodologia di test
- la metodologia di caratterizzazione
- il riferimento delle misure con un sistema/componente di riferimento certificato
- lo schema a blocchi del sistema di test
- le criticità del sistema e le necessarie ipotesi necessarie per la realizzazione, installazione e operatività della macchina

Il sistema deve essere pensato per una macchina “sperimentale”: le problematiche di ingombro, peso, sistema di carico/scarico e alimentazione elettrica sono quindi “non troppo stringenti”.

Si lascia quindi al candidato notevole libertà per questa parte di progetto pur chiedendo delle indicazioni di massima ai fini della realizzazione del sistema di test e caratterizzazione.

POLITECNICO DI TORINO

ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLE PROFESSIONI DI INGEGNERE CIVILE-AMBIENTALE, INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE

I Sessione 2025 – Commissione 2 INDUSTRIALE – Sezione B

PROVA PRATICA del 18 settembre 2025

Il/la candidato/a svolga uno a scelta tra i temi proposti in seguito.

Nello sviluppo della soluzione ai quesiti proposti, il/la candidato/a consideri che, oltre alla correttezza dei contenuti tecnico-scientifici, verranno valutati l'ordine, l'organizzazione e la leggibilità del testo e degli schemi e disegni prodotti.

Tema #1

Si consideri la produzione di un albero rotante destinato a un riduttore meccanico di media potenza, utilizzato nell'industria manifatturiera per macchine utensili. La produzione avviene in una azienda metalmeccanica di media dimensione, dotata di:

- reparto taglio e preparazione materiali;
- officina con torni CNC, trapani radiali, centri di lavoro e rettificatrici;
- reparto per i trattamenti termici (interno o esterno in outsourcing);
- laboratorio di controllo qualità attrezzato con micrometri, calibri, alesametri, rugosimetro e macchina di misura a coordinate (CMM).

Caratteristiche finali del prodotto:

- Lunghezza totale: $250\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$
- Diametro principale: $\varnothing 40\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$
- Spallamento ridotto: $\varnothing 30\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ (lunghezza 50 mm)
- Foro assiale passante: $\varnothing 10\text{ mm} \pm 0.02\text{ mm}$
- Rugosità superficiale richiesta: $R_a \leq 1.6\text{ }\mu\text{m}$

Il semilavorato è una barra in acciaio C45 laminata a caldo, $\varnothing 45\text{ mm}$, lunghezza 270 mm .

1. Si progetti il processo produttivo dell'albero richiesto, articolando le fasi principali e individuando per ciascuna:
 - a. Processo di lavorazione (es. taglio, tornitura, foratura, trattamenti, rettifica, controllo).
 - b. Strumenti/macchinari necessari.
 - c. Competenze richieste ai lavoratori
 - d. Parametri critici che influenzano il risultato
2. Si schematizzi l'intero processo sotto forma di diagramma di flusso.
3. Si indichino quali fasi sono più critiche per garantire le tolleranze finali richieste e perché.
4. Si consideri la fase di tornitura di sgrossatura e finitura del tratto principale $\varnothing 40\text{ mm}$ dell'albero.

Il semilavorato è una barra in acciaio C45 di $\varnothing 45\text{ mm}$, lunghezza lavorata 200 mm .

Dati:

- Diametro iniziale barra: $\varnothing 45\text{ mm}$

- Diametro finale richiesto: $\varnothing 40 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$
 - Lunghezza da tornire: 200 mm
 - Velocità di taglio consigliata: $V_c = 180 \text{ m/min}$
 - Profondità di passata in sgrossatura: $a_p = 2 \text{ mm}$
 - Avanzamento in sgrossatura: $f = 0.3 \text{ mm/giro}$
 - Avanzamento in finitura: $f = 0.1 \text{ mm/giro}$
 - Tornio a 2.000 giri/min massimo
- a. Si determini la quantità totale di materiale asportato in tornitura sul tratto principale.
 - b. Si calcoli il numero di passate necessarie per raggiungere il diametro finale, distinguendo sgrossatura e finitura.
 - c. Si determini la velocità di rotazione del pezzo (n) in giri/min da impostare, sulla base della velocità di taglio V_c .
 - d. Si calcoli il tempo di lavorazione per la sgrossatura, sapendo che ogni passata lavora l'intera lunghezza (200 mm).
 - e. Si calcoli il tempo della passata di finitura con i parametri indicati.
 - f. Si determini il tempo totale di lavorazione della tornitura del tratto principale.
5. Nel ciclo produttivo dell'albero rotante è prevista una fase di tempra superficiale per aumentare la resistenza all'usura nelle zone di accoppiamento con i cuscinetti. L'azienda dispone di:
- forno interno di tempra a induzione, con costo di attrezzaggio pari a 400 € per lotto e costo operativo di 10 € per pezzo;
 - possibilità di affidare il trattamento a un fornitore esterno, con costo unitario di 20 € per pezzo, senza costi fissi di attrezzaggio.

Si supponga un lotto di produzione pari a 100 pezzi.

- a. Si calcoli il costo totale del trattamento termico per il lotto di 100 pezzi, nel caso di esecuzione interna e nel caso di outsourcing.
- b. Si determini il costo unitario per pezzo in entrambe le opzioni.
- c. Si discuta quale scelta sia più conveniente economicamente, motivando la risposta.
- d. Si indichino altri fattori non economici che l'azienda dovrebbe considerare nella decisione (es. tempi di consegna, competenze interne, qualità, flessibilità).

Tema #2

La Figura 2.1 mostra il sistema di sospensione anteriore di un autoveicolo. La sospensione mostrata è di tipo MacPherson. Il braccio inferiore della sospensione è incernierato in una boccia mediante due cuscinetti a sfera (SKF 63010-2RS1). Il coefficiente di carico dinamico di base del cuscinetto è $C = 21.6 \text{ kN}$ mentre il coefficiente di carico statico è $C_0 = 15.6 \text{ kN}$. La boccia è fissata al telaio anteriore di meccanica mediante 4 bulloni classe 10.9. Il sistema è illustrato nelle Figure 2.1-2.4, dove sono mostrate anche le principali dimensioni necessarie per il dimensionamento della giunzione. I bulloni sono serrati con chiave dinamometrica. Il telaio di meccanica e le bocce sono prodotte in acciaio (modulo di Young $= 206000 \text{ MPa}$).

I carichi massimi applicati dal braccio della sospensione alla boccia (come mostrato in Figura 2.3 e 2.4) sono riportate nella Tabella 2.1.

Il coefficiente di attrito tra la boccia della sospensione ed il telaio di meccanica è $f = 0.4$, la rugosità superficiale è $R_a = 1.6 \text{ }\mu\text{m}$.

Viene richiesta al candidato la progettazione della giunzione bullonata e la verifica dei cuscinetti a sfera designati.

In particolare, per la progettazione della giunzione bullonata viene richiesto di:

1. Valutare la forza massima di taglio $F_{S\#}$ agente su ogni bullone (dove $\# = \text{numero bullone}$)
2. Valutare il carico di serraggio minimo $F_{p\text{lim}}$ richiesto sui componenti imbullonati, considerando il bullone maggiormente caricato
3. Definire la dimensione di primo tentativo dei bulloni
4. Valutare la forza assiale limite $F_{v\text{lim}}$ che può essere applicata al bullone
5. Valutare la forza assiale minima $F_{v\text{min}}$ sul bullone, considerando l'incertezza della coppia di serraggio
6. Definire la geometria del bullone: lunghezza totale l e lunghezza della parte filettata l_b
7. Valutare la riduzione di forza ΔF sul bullone causata dalla perdita di interferenza Δi dovuta alla rugosità superficiale
8. Valutare i carichi assiali esterni F_E applicati ad ogni bullone
9. Verificare la giunzione bullonata valutando:
 - a. se il carico minimo di serraggio è garantito nelle condizioni di lavoro
 - b. che i bulloni non vengano sottoposti a snervamento nelle condizioni di lavoro

Se la giunzione non risultasse verificata, rivedere il dimensionamento effettuato al fine di soddisfare i due ultimi requisiti di verifica.

Per la verifica dei cuscinetti nelle condizioni di carico dinamico, si faccia riferimento alle forze e alle relative escursioni della sospensione riportate nella Tabella 2.2. Il braccio della sospensione può essere considerato incernierato nella boccia come mostrato nello schema riportato in Figura 2.5. In particolare, per la verifica dei cuscinetti, è richiesto di:

1. Valutare l'angolo di oscillazione del braccio della sospensione e quindi dei cuscinetti nelle condizioni di carico riportate in Tabella 2.2
2. Definire la durata dei cuscinetti, considerando le condizioni di carico riportate in Tabella 2.2 ed una affidabilità del 98%

3. Valutare il carico statico equivalente P_0 agente sul cuscinetto, considerando la condizione di carico massimo utilizzata per la progettazione della giunzione bullonata
4. Definire il fattore di sicurezza statico dei cuscinetti

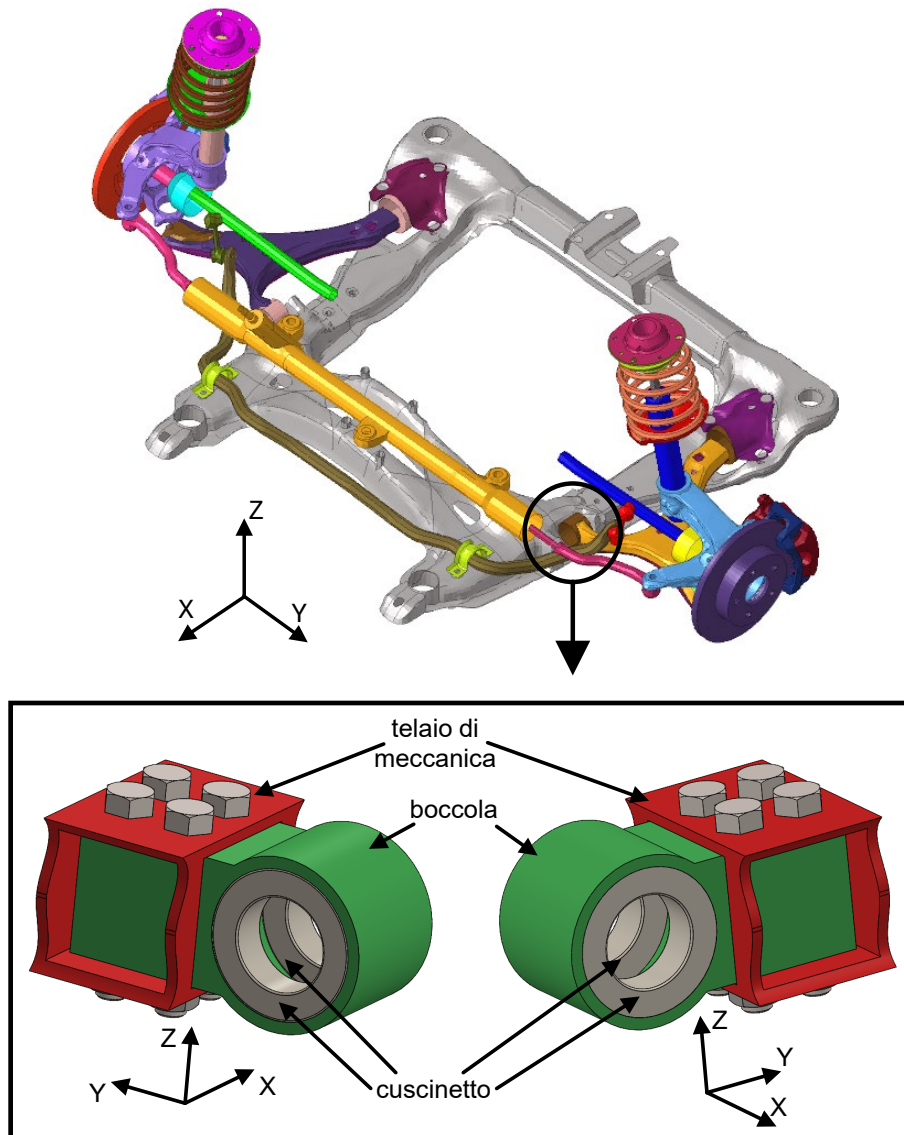


Figura 2.1. In alto: sospensione MacPherson e telaio anteriore di meccanica; Sotto: rappresentazione schematica di dettaglio del sottosistema telaio-boccola.

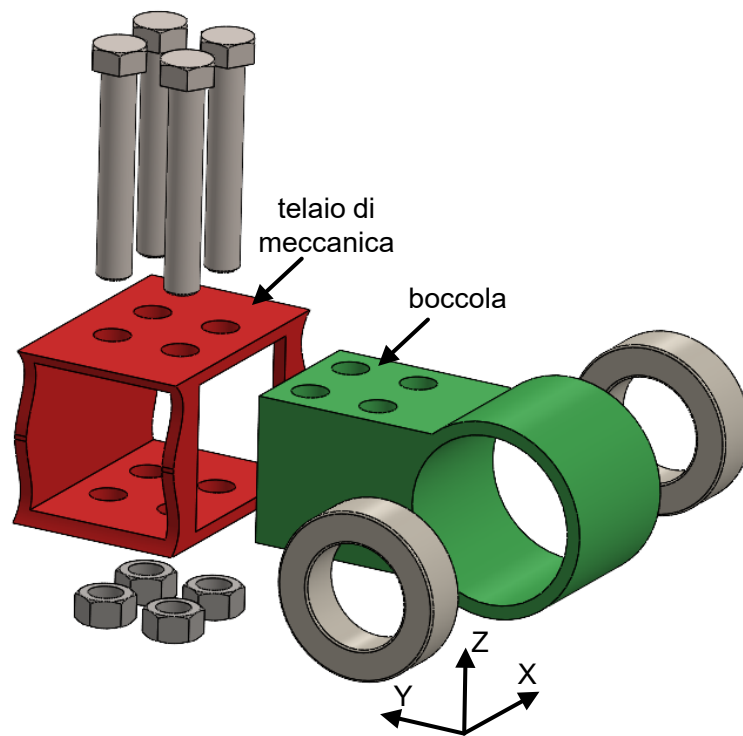


Figura 2.2. Vista esplosa del sottosistema telaio-boccola.

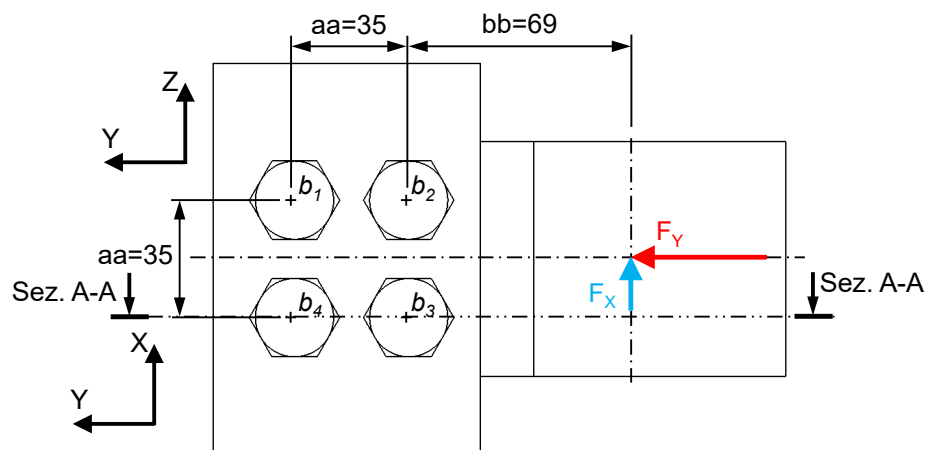


Figura 2.3. Vista dall'alto della boccola e del telaio anteriore con relativa giunzione bullonata (dimensioni in mm).

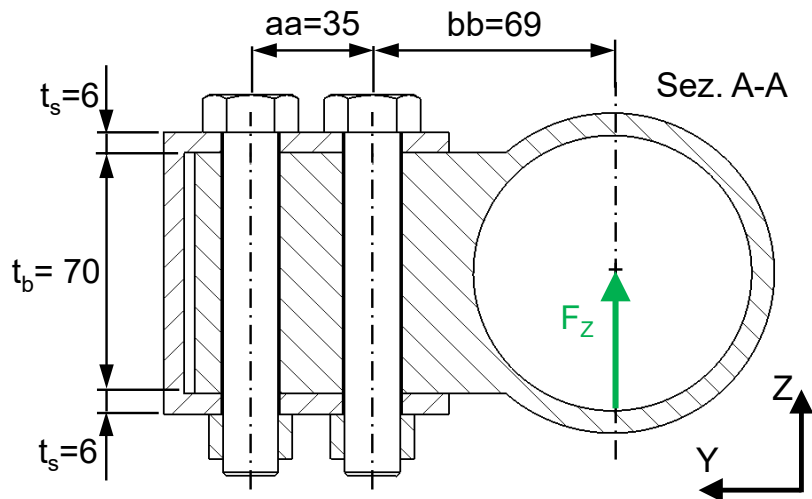


Figura 2.4. Vista in sezione del sottosistema telaio-boccola e relativa giunzione bullonata come indicato nella Figura 2.3 (Sez. A-A) (dimensioni in *mm*).

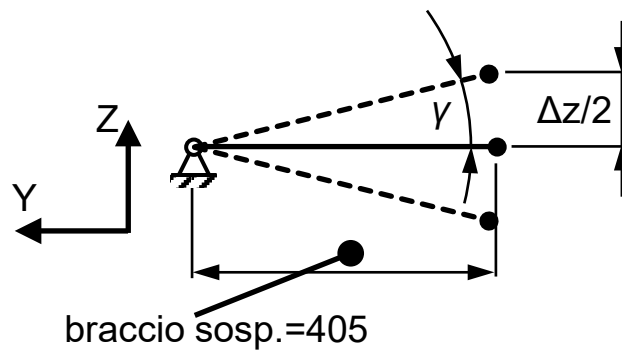


Figura 2.5. Schema del braccio inferiore della sospensione incernierato nella boccola (dimensioni in *mm*).

Tabella 2.1. Carichi massimi applicati alla boccola

	(N)
F_x	-2359
F_y	-6589
F_z	-1269

Tabella 2.2. Condizioni di carico dinamico applicate ai cuscinetti

Condizione	F_z	F_y	Δz	%tempo
	(N)	(N)	(mm)	(%)
1	-508	-2636	120	60
2	-888	-4612	170	30
3	-1142	-5930	210	10