

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale

Prima sessione 2024

Prova scritta del 25 luglio 2024

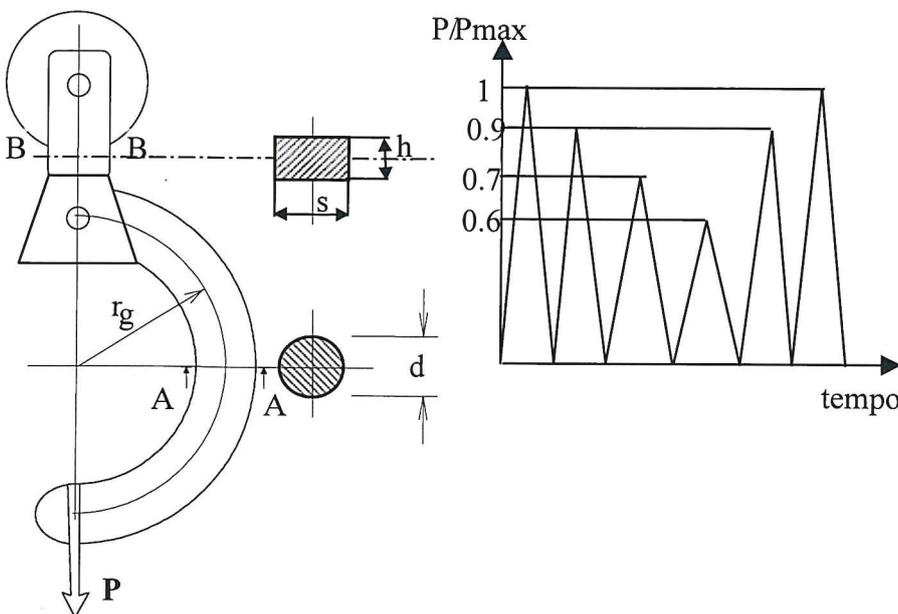
TRACCIA 1

IL CANDIDATO SVOLGA ALMENO UNO DEI TEMI PROPOSTI

TEMA 1

TEMA 1 – PARTE 1

Il gancio schematizzato in figura è realizzato in acciaio con forgiatura di precisione. Nell'arco della sua vita prevista, esso solleva il carico P di valore non costante, secondo una storia di carico come quella rappresentata in figura. Si esegua la verifica statica in corrispondenza delle sezioni **A-A** e **B-B**. Successivamente, si determini il numero totale di cicli che il gancio può effettuare con un coefficiente di sicurezza pari a v_σ . A tal fine si applichi il metodo del serbatoio per determinare l'istogramma di carico a partire dalla storia di carico data.



DATI

$r_g = 100 \text{ mm}$
 $d = 60 \text{ mm}$
 $s = 50 \text{ mm}$
 $h = 20 \text{ mm}$
 $P_{\max} = 35 \text{ kN}$
 $\sigma_R = 580 \text{ MPa}$
 $\sigma_S = 430 \text{ MPa}$
 $\sigma_{a \infty, 1} = 290 \text{ MPa}$
 $v_\sigma = 1,6$



Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale

Prima sessione 2024

Prova scritta del 25 luglio 2024

TEMA 1 – PARTE 2

Un sistema di sollevamento (Figura 1) è formato da una trave (B) saldata ad una piastra (A), a sua volta bullonata alla parete verticale, due piastre (D) saldate ad una piastra (C), bullonata alla trave stessa. Sul perno (E) è alloggiata una carrucola (F) su cui scorre una fune (I) che, tramite un motore elettrico, viene avvolta ad un tamburo (G), sollevando una massa (H) di 8 tonnellate. Sono già dimensionate le piastre C e D, il perno e la saldatura a cordone d'angolo che le connette (Figura 2). Tutti i componenti vanno realizzati in acciaio S355.

Si chiede di:

- 1) Dimensionare la trave con sezione di tipo IPE, scegliendola dal catalogo allegato, in modo che risulti verificata con coefficiente di sicurezza statico pari a 3 rispetto allo snervamento.
- 2) Progettare e verificare staticamente l'unione saldata tra trave (B) e piastra (A) e riportarne uno schizzo quotato;
- 3) Calcolare il numero massimo di sollevamenti che può sopportare la saldatura tra piastra (D) e (C) con probabilità di sopravvivenza del 97.7%, secondo la procedura da Eurocodice 3;
- 4) Nell'ipotesi che, tramite un controllo non distruttivo, si riscontri la presenza di una cricca di 3 mm sulla saldatura come in Figura 5, si calcoli la massima massa sollevabile per non avere propagazione a fatica della cricca.

Si chiede al candidato di fornire una relazione di calcolo ordinata in cui siano chiare le scelte fatte e le opportune verifiche.

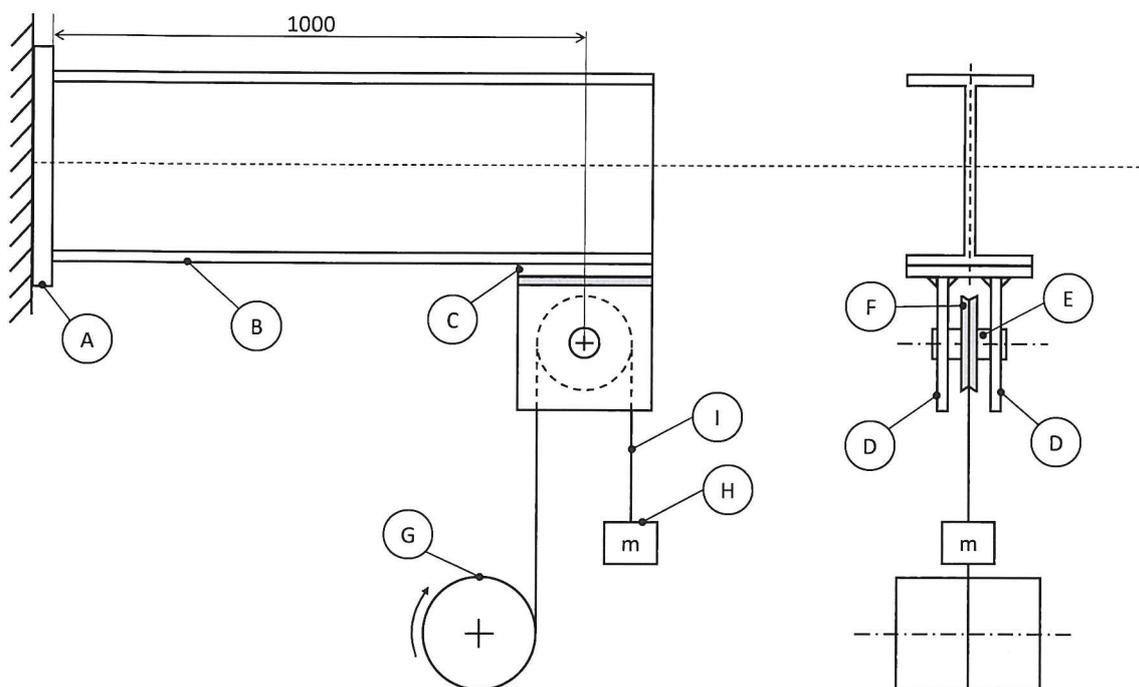


Figura 1: Sistema di sollevamento da studiare



Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Prima sessione 2024
Prova scritta del 25 luglio 2024

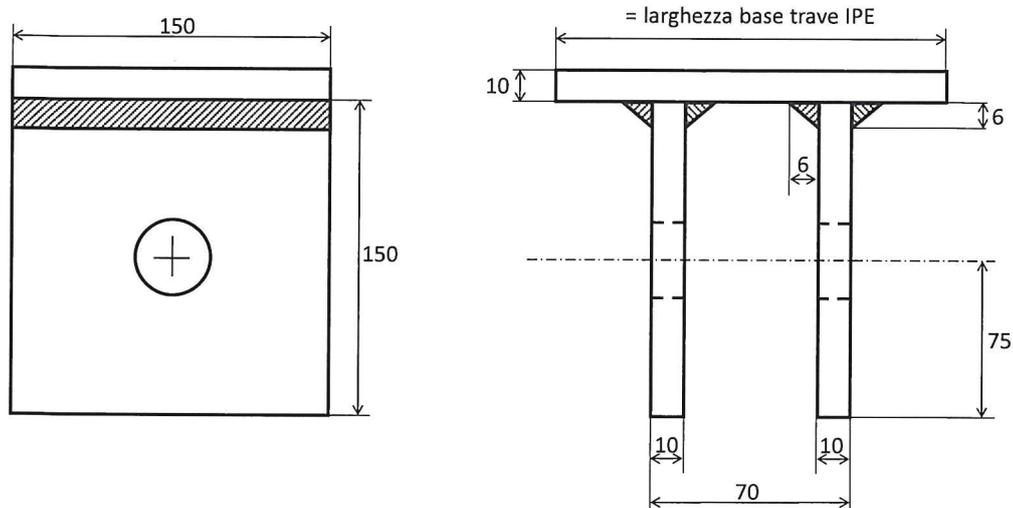


Figura 2: Particolare piastra C e D con saldatura a cordone d'angolo

Materiale	Tensione di rottura	Tensione di snervamento	Modulo elastico	Coeff. di Poisson	K_{Ic}	ΔK_{Ith}
S355	510 MPa	355 MPa	206 GPa	0.3	$180 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$	$5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$

Tabella 1: Proprietà dei materiali



Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Prima sessione 2024
Prova scritta del 25 luglio 2024

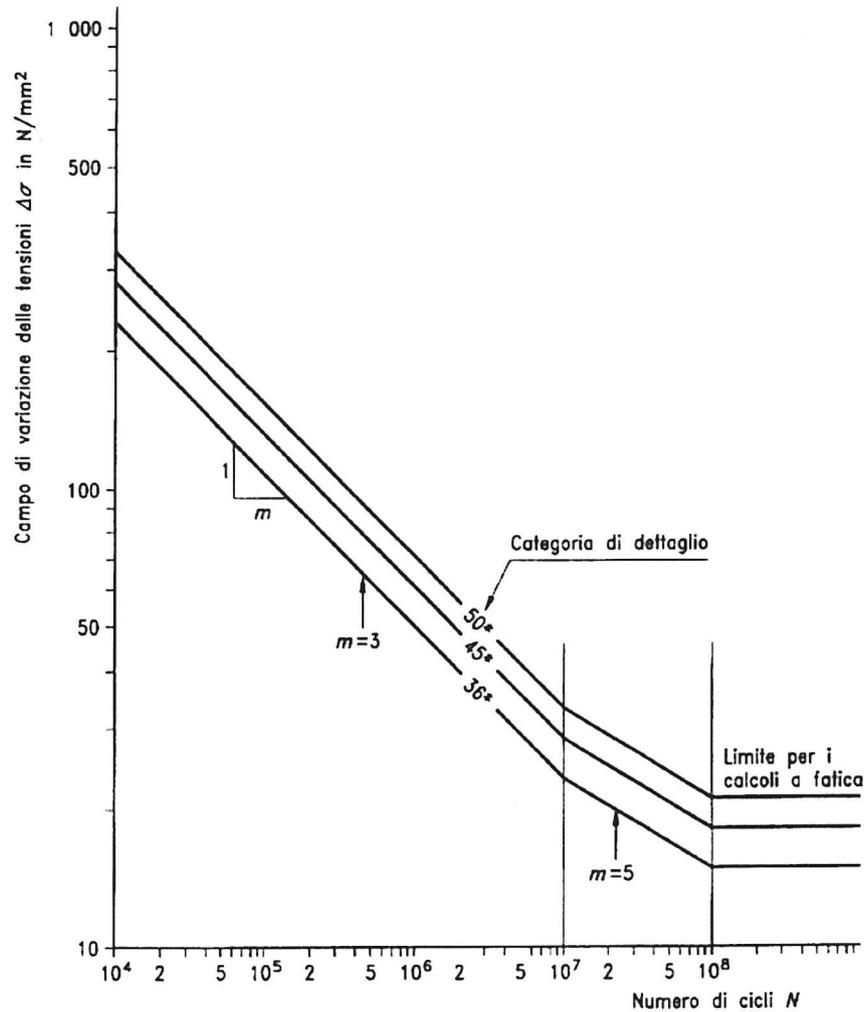


Figura 3: Curve di resistenza a fatica (Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio)

Categoria dei dettagli (nominale)	log a per $N < 10^7$		Campo di variazione delle tensioni al limite di fatica ad ampiezza costante ($N = 10^7$) $\Delta\sigma_D$ (N/mm^2)	Campo di variazione delle tensioni al limite per i calcoli a fatica ($N = 10^8$) $\Delta\sigma_L$ (N/mm^2)
	$N \leq 10^7$ ($m = 3$)	$N \geq 10^7$ ($m = 5$)		
50*	11.551	14.585	33	21
45*	11.401	14.335	29	18
36*	11.101	13.835	23	15

Tabella 2: Valori numerici per le curve di resistenza a fatica (Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio)

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale

Prima sessione 2024

Prova scritta del 25 luglio 2024

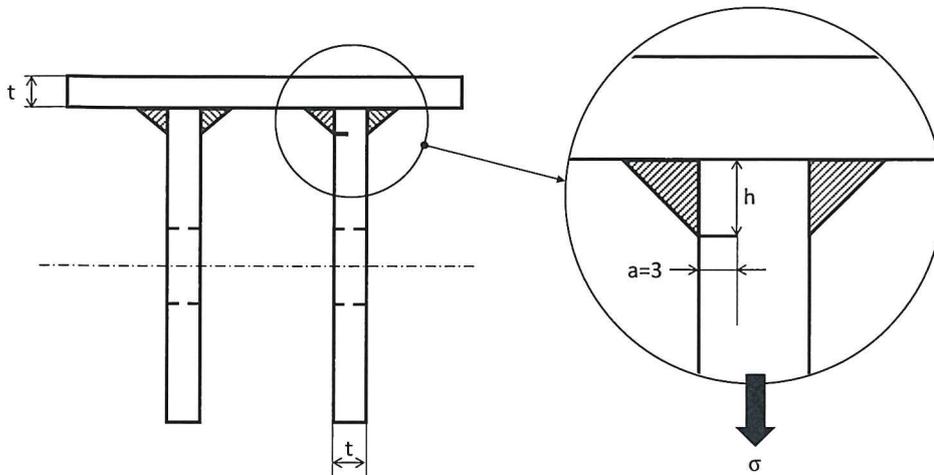
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
71		<p>Giunta a croce</p> <p>1 - Saldatura di testa a completa penetrazione</p>	<p>1 - Ispezionata e trovata esente da discontinuità al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3</p> <p>2 - Sono richieste due valutazioni della resistenza a fatica. La prima, per le cricche alla radice, è valutata con quanto riportato in 9.4.3 considerando la categoria 36 per σ_w e la categoria 60 per σ_m. La seconda, per le cricche all'attacco del cordone, è valutata determinando l'ampiezza delle tensioni nelle lamiere che reggono i carichi, categoria 71</p> <p>1 e 2 - - Il disallineamento delle piastre che reggono i carichi non deve eccedere il 15% dello spessore della lamiera intermedia</p>
96 *)		<p>Giunti con cordoni d'angolo</p> <p>2 - Giunti con cordoni d'angolo, a parziale penetrazione e a parziale penetrazione equivalente alla piena penetrazione come definito in fig. 6.6.9(a)</p>	
63		<p>Giunta sovrapposizione saldata</p> <p>3 - Giunti a sovrapposizione con saldatura a cordoni d'angolo</p>	<p>3 - La sollecitazione nell'elemento principale deve essere calcolata sulla base dell'area mostrata nello schizzo</p>

*) vedere 9.7.3.

Figura 4: Categorie di dettaglio (Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio)



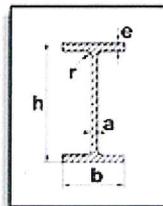
Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Prima sessione 2024
Prova scritta del 25 luglio 2024



$$K_I = 1.12 \cdot F_s \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi a}$$

$$F_s = 0.85 \left(\frac{h}{t} \right)^{0.17} \cdot \left(\frac{a}{t} \right)^{-0.23}$$

Figura 5: Giunto con cricca



TRAVI I.P.E.

Tabella dei carichi netti
uniformemente ripartiti per
 $\sigma = 1600 \text{ Kg/cm}^2$

PROFILO					Peso Kg/m	Sez. cm ²	Wx cm ³	Jx cm ⁴
h	b	a	e	r				
80	46	3,8	5,2	5,0	6,0	7,6	20,0	80
100	55	4,1	5,7	7,0	8,1	10,3	34,2	171
120	64	4,4	6,3	7,0	10,4	13,2	53,0	318
140	73	4,7	6,9	7,0	12,9	16,4	77,3	541
160	82	5,0	7,4	9,0	15,8	20,1	109	869
180	91	5,3	8,0	9,0	18,8	23,9	146	1317
200	100	5,6	8,5	12,0	22,4	28,5	194	1943
220	110	5,9	9,2	12,0	26,2	33,4	252	2772
240	120	6,2	9,8	15,0	30,7	39,1	324	3892
270	135	6,6	10,2	15,0	36,1	45,9	429	5790
300	150	7,1	10,7	15,0	42,2	53,8	557	8356
330	160	7,5	11,5	18,0	49,1	62,6	713	11770
360	170	8,0	12,7	18,0	57,1	72,7	904	16270
400	180	8,6	13,5	21,0	66,3	84,5	1160	23130
450	190	9,4	14,6	21,0	77,6	98,8	1500	33740
500	200	10,2	16,0	21,0	90,7	116	1930	48200
550	210	11,1	17,2	24,0	106	134	2440	67120
600	220	12,0	19,0	24,0	122	156	3070	92080

Tabella 3: Catalogo travi IPE



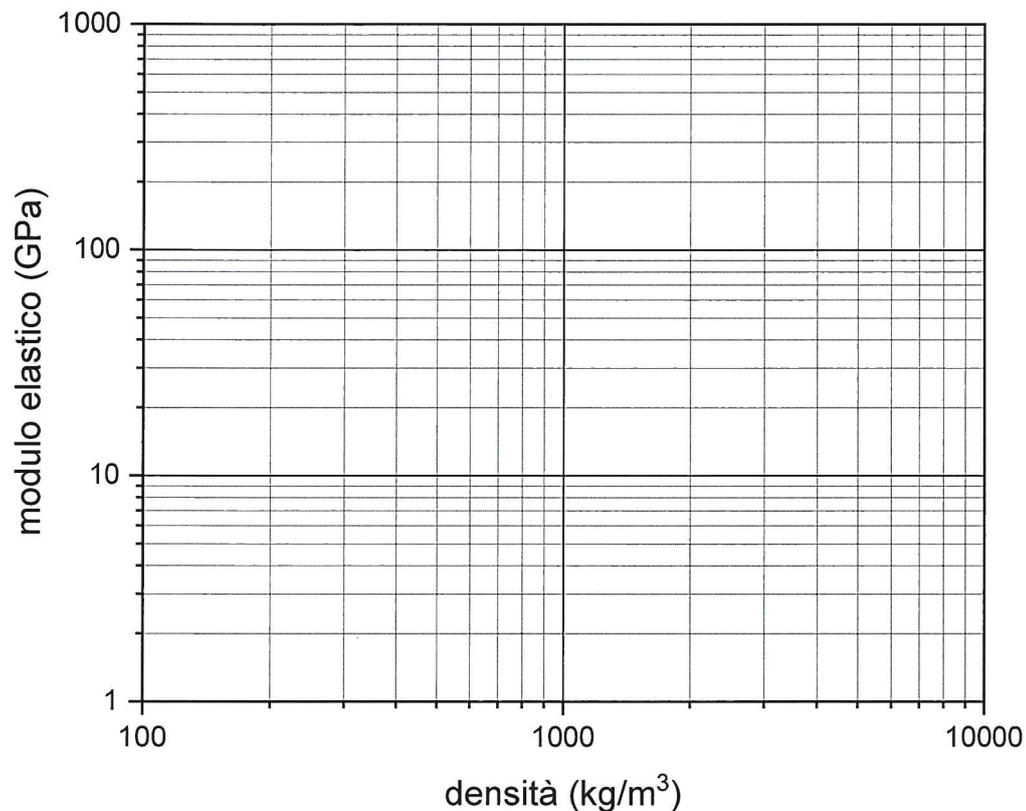
Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Prima sessione 2024
Prova scritta del 25 luglio 2024

TEMA 2

TEMA 2 – PARTE 1

Si consideri la fabbricazione di pannelli rigidi, sottoposti a flessione, il più leggeri possibile, a partire dai seguenti materiali, considerati sia in forma di *monoliti densi* che di *solidi porosi a celle aperte*.

Materiale	Modulo elastico della fase solida, E_s (GPa)	Densità della fase solida, ρ_s (kg/m ³)	Porosità	Tipologia di solido cellulare
A	200	8000	90	Bending dominated
B	100	2000	80	Stretch dominated
C	400	2000	75	Bending dominated
D	250	6000	85	Stretch dominated



Con il supporto del grafico sopra riportato, rispondere ai seguenti quesiti:

- 1) Individuare sia analiticamente che graficamente il materiale in grado di configurare i pannelli monolitici (=in assenza di qualsiasi porosità) più leggeri;
- 2) Ricordare la dipendenza della densità e del modulo elastico dalla porosità; nel secondo caso, fornire le equazioni caratterizzanti il modulo elastico di solidi cellulari a celle aperte sia nella forma 'bending dominated' che nella forma 'stretch dominated' (è richiesta anche una breve descrizione delle due tipologie);



Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale

Prima sessione 2024

Prova scritta del 25 luglio 2024

- 3) Individuare sia analiticamente che graficamente il materiale in grado di configurare i pannelli in assoluto più leggeri, considerando i quattro materiali sia in forma monolitica che in forma porosa (NB: considerare ogni materiale poroso secondo la tipologia indicata in tabella).

TEMA 2 – PARTE 2

Si consideri la possibile sostituzione del materiale polimerico ABS (*Densità*: 1.05 ton/m³, *Limite elastico*: 43 MPa, *Modulo elastico*: 2.5 GPa; *Prezzo*: 2.6 €/kg), con i seguenti materiali:

<i>Materiale</i>	<i>Densità (ton/m³)</i>	<i>Limite elastico (MPa)</i>	<i>Modulo elastico (GPa)</i>	<i>Prezzo (€/kg)</i>
Lega di magnesio	1.80	320	46	9
Lega di alluminio	2.73	380	72	5
Composito lega Al/SiC	2.24	300	90	6
Si ₃ N ₄	3.20	500	310	44
SiC	3.10	320	400	17
PMMA	1.20	70	3	3
PEEK	1.31	100	4	85
CFRP	1.55	850	110	40
GFRP	1.86	250	22	35

La sostituzione è finalizzata alla riduzione, *con la stessa priorità*, sia della *massa* che dello *spessore* di pannelli inflessi, a parità di larghezza e lunghezza, e di *resistenza* allo stesso momento flettente applicato. Si risponda ai seguenti quesiti:

- 1) Ricordare la dipendenza dello spessore minimo e della massa minima dalle proprietà dei materiali (specificare le proprietà coinvolte); fornire una breve ma dettagliata dimostrazione;
- 2) Schematizzare un grafico di selezione che permetta lo studio della sostituzione in generale, specificando la sintassi delle proprietà rappresentate negli assi orizzontale e verticale; individuare una zona del grafico in grado di fornire soluzioni sempre migliorative, indipendentemente dalla priorità assegnata alla riduzione della massa rispetto alla riduzione dello spessore;
- 3) Individuare un'espressione analitica che permetta l'ottimizzazione simultanea di massa e spessore; fornire una graduatoria di efficienza di sostituzione;
- 4) Fornire un'espressione che valorizzi, per i materiali proposti, anche il contenimento delle deformazioni elastiche e del costo;
- 5) Fornire una graduatoria aggiornata dei materiali proposti, attraverso un'ipotesi di importanza relativa tra le proprietà (a giudizio del candidato ma congruente con la selezione preliminare);
- 6) Individuare almeno due proprietà, in aggiunta a quelle mostrate in tabella, potenzialmente utili nella selezione multi-proprietà.



Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale

Prima sessione 2024

Prova scritta del 25 luglio 2024

TEMA 3

TEMA 3 – PARTE 1

Gli amplificatori operazionali (OPAMPs) sono dei componenti di grande importanza nella realizzazione di un gran numero di circuiti elettronici. Considerando tali componenti, si descriva:

- 1) il comportamento ai morsetti di ingresso e uscita del componente ideale,
- 2) la risposta in frequenza ingresso/uscita tipica di un componente reale,
- 3) i principali aspetti di non idealità di un OAMP reale (compresi saturazione dell'uscita, correnti di offset agli ingressi, correnti di bias, slew-rate, impedenza di ingresso finita, impedenza di uscita non nulla).

Si consideri poi il circuito di *figura A*. Nel circuito è impiegato un amplificatore di differenze realizzato mediante OPAMP per acquisire l'informazione data da un trasduttore di corrente e portarla all'ingresso di un sistema di conversione analogico/digitale (A/D) che ha un range di ingresso di $[-10\text{ V}, +10\text{ V}]$.

La tensione di uscita del trasduttore di corrente segue la legge:

$$V_{OUT} = V_{REF} + 0.8 \cdot \frac{I_P}{I_{PN}}$$

dove I_P è il valore in ampere della corrente di picco in ingresso, V_{REF} è il valore in volt della tensione di riferimento, che è pari a circa 2.5 V, rispetto alla quale viene variata la tensione di uscita V_{OUT} in modo proporzionale al valore della corrente in ingresso I_P , e I_{PN} è un parametro costante di valore uguale alla massima corrente di picco misurabile dal trasduttore, pari a 30 A.

Determinare i valori delle resistenze R_1, R_2, R_3, R_4 per avere un segnale in uscita all'amplificatore operazionale che copra tutto il range di ingresso del sistema di conversione A/D (cioè, $[-10\text{ V}, +10\text{ V}]$) con il variare della corrente I_P all'interno del range nominale (cioè, $[-I_{PN}, +I_{PN}]$). Nel determinare i valori delle resistenze R_1, R_2, R_3, R_4 , si tenga conto che il trasduttore di corrente opera in modo ottimale quando la resistenza differenziale vista tra il morsetto V_{OUT} e V_{REF} è di 1 k Ω .

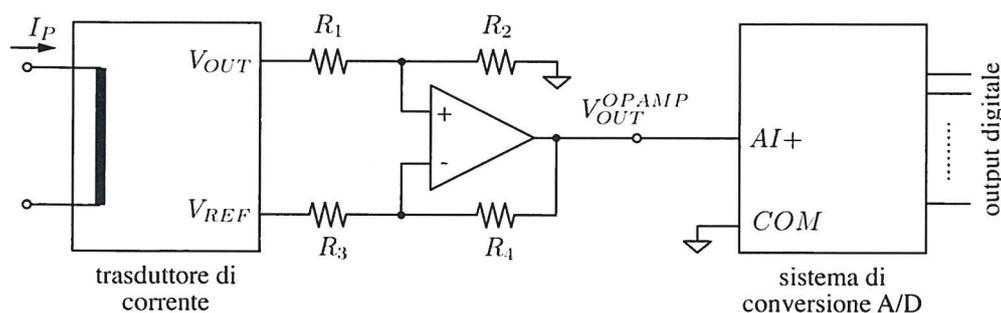


Figura A



Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale

Prima sessione 2024

Prova scritta del 25 luglio 2024

TEMA 3 – PARTE 2

Si consideri una sorgente di tensione dc con valore di tensione di uscita di 24 V, corrente media massima erogabile pari a 4.8 A e impedenza di uscita nulla. Si chiede di progettare un convertitore boost che consenta di adattare il livello di tensione della sorgente ad un carico resistivo che dovrà lavorare con tensione applicata continua selezionabile nell'intervallo $[V_{out,min}, V_{out,max}] = [34 \text{ V}, 52 \text{ V}]$.

È noto inoltre che il dispositivo di commutazione da utilizzare è un power MOSFET con le seguenti caratteristiche: frequenza di lavoro 200 kHz; $R_{DSon} = 5 \text{ m}\Omega$; tempi di commutazione $t_{off-on} = 50 \text{ ns}$ e $t_{on-off} = 30 \text{ ns}$. Il diodo presenta una tensione $V_{on} = 0.8 \text{ V}$ e resistenza equivalente serie $R_{DF} = 10 \text{ m}\Omega$, mentre il tempo di commutazione può essere assunto trascurabile.

Si chiede di:

- 1) Riportare lo schema circuitale completo del sistema da realizzare e individuare il range di duty-cycle entro cui lavorerà il dispositivo di commutazione (supposto sempre in funzionamento continuo), tenendo conto delle possibili tensioni in uscita.
- 2) Riportare il dimensionamento dell'induttore tale da garantire un'oscillazione massima della corrente dell'induttore pari al 20% (picco-picco) del suo valore medio in condizioni di massima potenza trasferita al carico; dimensionare la capacità d'uscita affinché il ripple statico di corrente sul carico sia inferiore al 5%.
- 3) Discutere una soluzione per il controllo automatico della corrente nell'induttore del boost affinché la corrente media all'ingresso del convertitore (cioè la corrente media assorbita dalla sorgente) sia quella voluta (i.e., 4.8 A) indipendentemente dal particolare valore della tensione di uscita, all'interno del range $[V_{out,min}, V_{out,max}]$.
- 4) Stimare l'efficienza del convertitore tenendo conto delle perdite nel power MOSFET (in conduzione e commutazione), nel diodo e nell'induttore, assumendo per quest'ultimo resistenza in continua $R_{Ldc} = 20 \text{ m}\Omega$ e resistenza in alternata $R_{Lac} = 60 \text{ m}\Omega$ a 200 kHz.
- 5) Si supponga di voler utilizzare quanto progettato per alimentare l'ingresso con tensione nominale pari a 42 V di un inverter per l'azionamento di un motore elettrico. Discutere gli effetti di una eventuale sostituzione del carico resistivo con l'inverter, con particolare riferimento alla stabilità del sistema.

Nota: Il candidato assuma eventuali dati mancanti.



Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Prima sessione 2024
Prova scritta del 25 luglio 2024

TEMA 4

TEMA 4 – PARTE 1

I dati di bilancio dell'azienda Luglio S.p.A. sono riportati qui di seguito. Si riclassifichi lo stato patrimoniale secondo il criterio finanziario e si costruisca il conto economico scalare a costo del venduto in valori assoluti e percentuali.

Successivamente si calcolino gli opportuni indici (esplicitando le modalità di calcolo) in modo da analizzare e commentare l'andamento economico finanziario nel primo e secondo biennio.

Stato Patrimoniale		anno 1	anno 2	anno 3
ATTIVO				
Immobilizzazioni	189.200	186.190	302.290	
immateriali	9.890	8.600	15.050	
terreni e fabbricati	56.760	59.340	85.140	
impianti e macchinari	116.100	109.650	176.730	
finanziarie	6.450	8.600	25.370	
Attivo circolante	302.290	399.900	424.840	
Rimanenze	188.340	267.460	248.110	
Materie prime, sussidiarie, di consumo	51.600	85.570	52.030	
Semilavorati	27.090	47.730	48.160	
Prodotti finiti	109.650	134.160	147.920	
Crediti verso clienti	92.450	117.820	146.200	
Disponibilità liquide	21.500	14.620	30.530	
depositi bancari e postali	18.490	12.470	28.380	
denaro e valori in cassa	3.010	2.150	2.150	
Ratei e risconti attivi	1.290	1.290	1.720	
TOTALE ATTIVITA'	492.780	587.380	728.850	
PATRIMONIO NETTO E PASSIVO		anno 1	anno 2	anno 3
Patrimonio netto	165.980	221.020	224.460	
capitale	83.420	83.420	83.420	
riserva legale	60.200	75.680	113.950	
utile (perdita) di esercizio	22.360	61.920	27.090	
Passività	326.800	366.360	504.390	
Trattamento di fine rapporto	10.750	15.050	19.350	
Debiti	313.470	349.590	484.180	
debiti verso banche (<12 mesi)	82.560	21.070	76.970	
debiti verso banche (>12 mesi)	52.890	41.280	43.860	
debiti verso fornitori (<12 mesi)	168.560	259.290	331.100	
debiti verso fornitori (>12 mesi)	0	0	0	
altri debiti operativi (<12 mesi)	9.460	27.950	32.250	
altri debiti operativi (>12 mesi)	0	0	0	
Ratei e risconti passivi	2.580	1.720	860	
TOTALE PASSIVITA' e PATR. NETTO	492.780	587.380	728.850	



Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Prima sessione 2024
Prova scritta del 25 luglio 2024

Conto Economico

	anno 1	anno 2	anno 3
Valore della produzione	1.054.790	1.279.250	1.519.190
ricavi delle vendite	1.051.350	1.234.100	1.505.000
variazione semilavorati e prodotti finiti	3.440	45.150	14.190
<i>variazione semilavorati</i>	5.590	20.640	430
<i>variazione prodotti finiti</i>	-2.150	24.510	13.760
Costi della produzione	996.740	1.154.550	1.432.760
per materie prime, sussidiarie e di consumo	861.290	1.006.200	1.161.000
per servizi (costi industriali)	19.350	18.920	28.810
per il personale:	98.040	122.120	144.480
<i>stipendi (costi industriali)</i>	60.200	70.520	83.850
<i>stipendi (costi di struttura)</i>	28.810	43.000	53.320
<i>trattamento fine rapporto (c. industriali)</i>	9.030	8.600	7.310
ammortamenti e svalutazioni	17.200	27.520	54.180
<i>immobilizzazioni materiali (c. industriali)</i>	9.460	17.200	43.000
<i>immobilizzazioni immateriali (c. di politica)</i>	3.010	4.730	5.160
<i>svalutazione crediti (c. industriali)</i>	4.730	5.590	6.020
variazione di materie prime, suss. e di consumo	6.450	33.970	-33.540
oneri diversi di gestione (costi di struttura)	7.310	13.760	10.750
Differenza fra valore e costi della produzione	58.050	124.700	86.430
Oneri finanziari	18.490	8.600	38.270
Proventi finanziari da investimenti	3.010	3.870	4.730
Risultato prima delle imposte	42.570	119.970	52.890
Imposte sul reddito	20.210	58.050	25.800
Risultato di esercizio	22.360	61.920	27.090

TEMA 4 – PARTE 2

Nell'azienda Gestionale S.p.A., produttrice dei prodotti X e Y, esistono 5 centri di costo: due di produzione (A e B), uno ausiliare (C) e due di servizio (S1 e S2) di supporto agli altri tre (A, B e C). I costi indiretti sostenuti dai centri sono i seguenti:

Costi indiretti	Centro A	Centro B	Centro C	Centro S1	Centro S2
Manutenzione	50000	130000	25000	35000	50000
Ammortamenti	12500	32500	6250	8750	12500
Spese generali	37500	97500	18750	26250	37500

I costi di illuminazione della Gestionale S.p.A. pari a 2.000 euro, non compresi nei dati riportati nella tabella precedente, vengono ripartiti sulla base della superficie occupata da ciascun centro di costo.

	Centro A	Centro B	Centro C	Centro S1	Centro S2
Superficie occupata da ciascun centro di costo (mq)	150	150	100	50	50

Il costo del centro ausiliare deve essere ripartito sulla base delle ore lavorate da ciascun centro di produzione (rispettivamente 2.000 e 3.000 ore da A e da B); il costo del centro di servizio S1 deve



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale

Prima sessione 2024

Prova scritta del 25 luglio 2024

essere ripartito tenendo conto del numero di addetti per centro di costo supportato (tabella sotto) mentre i costi di S2 devono essere attribuiti in misura pari al 30% ad A, al 50% a B e al 20% a C.

	Centro A	Centro B	Centro C	Centro S1	Centro S2
Numero di addetti per centro di costo	50	70	30	5	7

Il costo dei materiali diretti è pari a 50 e 45 euro rispettivamente per ogni unità di X e di Y, mentre il costo della manodopera diretta è pari rispettivamente a 20 e 30 euro per ogni unità di X e di Y. Vengono prodotte 1.000 unità di X e 4.000 unità di Y. Calcolare il costo dei due prodotti X e Y, ripartendo i costi comuni del reparto A sulla base del costo primo, e quelli del reparto B sulla base della manodopera diretta.