

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024

IL CANDIDATO SVOLGA ALMENO UNO DEI TEMI PROPOSTI

TEMA 1 – 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 invertente 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:

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

dove I_P è il valore in ampere della corrente di picco in ingresso 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 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, $[-I_{PN}, +I_{PN}]$). Calcolare la resistenza vista dal morsetto V_{OUT} del trasduttore di corrente.

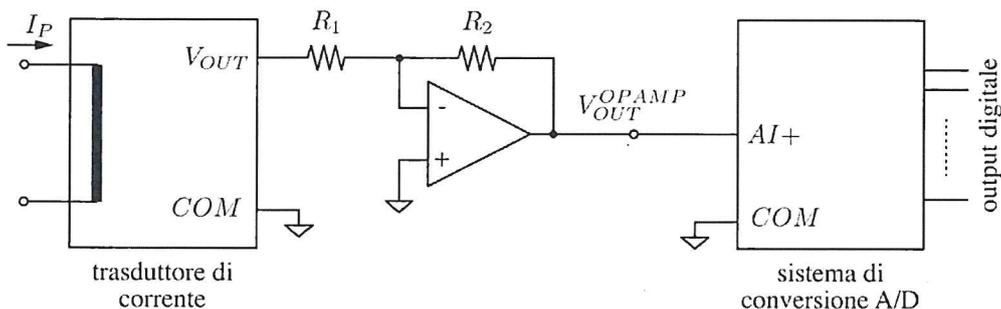


Figura A

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024

TEMA 1 – PARTE 2

Si consideri una sorgente di tensione dc con valori di tensione di uscita nell'intervallo $[V_{in,min}, V_{in,max}] = [34 \text{ V}, 52 \text{ V}]$ e impedenza di uscita nulla. Si chiede di progettare un convertitore buck che consenta di adattare il livello di tensione della sorgente ad un carico resistivo di 5Ω che richiede una corrente continua media costante di 4.8 A .

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 ingresso.
- 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; 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 affinché la corrente media all'uscita del convertitore (cioè la corrente che attraversa il carico) sia quella voluta (i.e., 4.8 A) indipendentemente dal particolare valore della tensione di ingresso V_{in} , all'interno del range $[V_{in,min}, V_{in,max}]$.
- 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 24 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
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024

TEMA 2 – PARTE 1

Un'azienda specializzata nella produzione di articoli in terracotta produce due tipi di vasi per piante, uno di tipo standard (Cristal) ed uno elaborato (Lux). L'azienda presenta un processo produttivo articolato in tre reparti, rispetto ai quali, in un certo esercizio, si sono sostenuti i costi di seguito indicati:

- Preparazione impasto: la preparazione è interamente automatizzata ed avviene mediante una mescolatrice automatica la cui quota annua di ammortamento è stata pari a 45.920 euro. In questo reparto lavora un supervisore che nell'anno è costato all'azienda 70.000 euro; si hanno inoltre costi annui di energia per 3.360 euro;
- Lavorazione: l'impasto di argilla è plasmato sino ad ottenere la forma del vaso desiderata. Vi lavorano 8 operai il cui costo ammonta a 56.000 euro per addetto, la quota annua di ammortamento delle attrezzature ammonta a 15.680 euro ed il costo della forza motrice consumata nell'anno è pari a 5.040 euro;
- Cottura: qui un operaio (costo annuo 63.000 euro) svolge mansioni di alimentazione, scarico e supervisione del forno. La quota annua di ammortamento è di 72.870 euro mentre il suo funzionamento ha richiesto 8.400 euro di energia elettrica.

Esiste inoltre un reparto manutenzione, in cui lavora un addetto il cui costo ammonta a 67.200 euro e per il quale sono stati sostenuti costi per materiali di consumo per 8.400 euro ed ammortamenti di attrezzature per 11.550 euro. Esso viene ripartito sui centri di lavorazione sulla base del costo del lavoro in essi localizzato. I costi dei centri finali vengono imputati al prodotto utilizzando le seguenti basi:

- Preparazione impasto: peso dei vasi;
- Lavorazione: minuti MOD (manodopera);
- Cottura: superficie occupata dai vasi.

I valori unitari delle basi sono indicati nella tabella seguente:

	Peso (Kilogrammi)	MOD (minuti)	Superficie (mq)
Vaso Cristal	0,750 kg	14 min	0,14 mq
Vaso Lux	0,875 kg	20 min	0,105 mq

Inoltre, nel corso dell'esercizio:

- sono stati prodotti 36.000 vasi Cristal e 24.000 vasi Lux;
- per la produzione dei vasi sono stati consumati complessivamente 456 quintali di argilla, di cui 259,2 quintali per i vasi Cristal e 196,8 quintali per i vasi Lux. Il costo dell'argilla è stato pari a 900 euro il quintale.

Presentare il costo unitario di produzione dei prodotti Cristal e Lux alla fine dell'esercizio.

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024

TEMA 2 – PARTE 2

I dati di bilancio dell'azienda Novembre 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 nel secondo biennio.

Stato Patrimoniale							
	2021	2022	2023		2021	2022	2023
ATTIVO				PATRIMONIO NETTO E PASSIVO			
Immobilizzazioni	231.000	373.800	401.800	Patrimonio netto	163.800	169.400	105.000
immateriali	9.800	8.400	7.000	capitale	84.000	84.000	84.000
terreni e fabbricati	155.400	277.200	302.400	riserva legale	63.700	82.600	79.800
impianti e macchinari	65.800	88.200	92.400	utile (perdita) di esercizio	16.100	2.800	-58.800
finanziarie	0	0	0	Passività	555.800	761.600	802.200
Attivo circolante	483.000	553.000	502.600	Trattamento di fine rapporto	25.200	30.800	37.800
Rimanenze	214.200	228.200	235.200	Debiti	471.800	691.600	716.800
Materie prime, sussidiarie, di consumo	71.400	76.020	78.400	debiti verso banche (<12 mesi)	180.600	229.600	294.000
Semilavorati	35.700	38.080	39.200	debiti verso banche (>12 mesi)	0	196.000	182.000
Prodotti finiti	107.100	114.100	117.600	debiti verso fornitori (<12 mesi)	239.400	228.200	182.000
Crediti verso clienti	232.400	275.800	249.200	debiti verso fornitori (>12 mesi)	0	0	0
Disponibilità liquide	36.400	49.000	18.200	altri debiti operativi (<12 mesi))	51.800	37.800	58.800
depositi bancari e postali	0	0	0	altri debiti operativi (>12 mesi)	0	0	0
denaro e valori in cassa	36.400	49.000	18.200	Ratei e risconti passivi	58.800	39.200	47.600
Ratei e risconti attivi	5.600	4.200	2.800				
TOTALE ATTIVITA'	719.600	931.000	907.200	TOTALE PASSIVITA' e PATR. NETTO	719.600	931.000	907.200

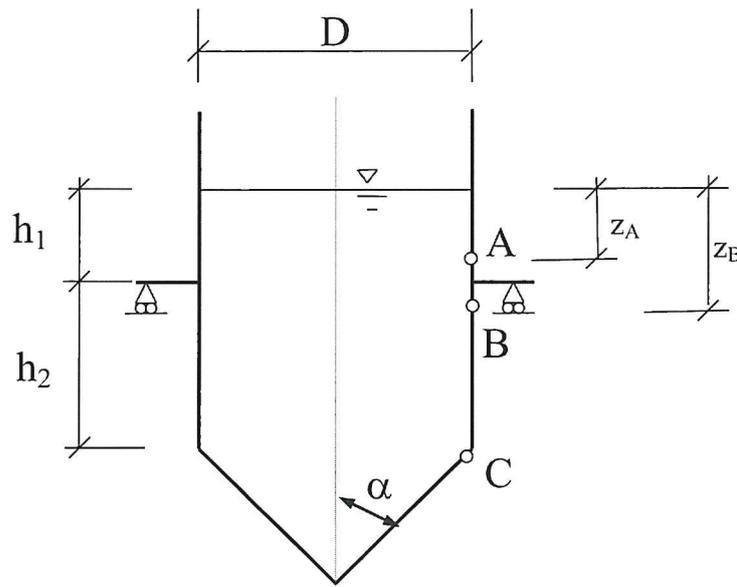
Conto Economico			
	2021	2022	2023
Valore della produzione	1.151.500	1.507.380	1.068.620
ricavi delle vendite	1.148.000	1.498.000	1.064.000
variazione semilavorati e prodotti finiti	3.500	9.380	4.620
<i>variazione semilavorati</i>	2.800	2.380	1.120
<i>variazione prodotti finiti</i>	700	7.000	3.500
Costi della produzione	1.090.600	1.437.380	1.100.120
per materie prime, sussidiarie e di consumo	536.900	730.380	539.420
per servizi (costi industriali)	182.000	224.000	159.600
per il personale:	193.200	218.400	225.400
<i>stipendi (costi industriali)</i>	187.600	212.800	218.400
<i>stipendi (costi di struttura)</i>	0	0	0
<i>trattamento fine rapporto (c. industriali)</i>	5.600	5.600	7.000
ammortamenti e svalutazioni	11.200	60.620	10.780
<i>immobilizzazioni materiali (c. industriali)</i>	10.500	59.220	9.380
<i>immobilizzazioni immateriali (c. di politic</i>	0	0	0
<i>svalutazione crediti (c. industriali)</i>	700	1.400	1.400
variazione di materie prime, suss. e di consu	2.100	4.620	2.380
oneri diversi di gestione (costi di struttura)	169.400	208.600	167.300
Differenza fra valore e costi della produzione	60.900	70.000	-31.500
Oneri finanziari	42.000	74.200	79.800
Proventi finanziari da investimenti	4.200	8.400	53.200
Risultato prima delle imposte	23.100	4.200	-58.100
Imposte sul reddito	7.000	1.400	700
Risultato di esercizio	16.100	2.800	-58.800

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024

TEMA 3 – PARTE 1

Il serbatoio rappresentato in figura è realizzato con uno spessore costante t di acciaio avente tensione di scostamento dalla proporzionalità σ_{p02} . Il serbatoio è sostenuto in corrispondenza del tratto cilindrico centrale ed è riempito con acqua avente peso specifico γ .

Si esegua il calcolo del coefficiente di sicurezza statico secondo il criterio di Guest nei punti A, B e C indicati in figura. *Nota: il punto C si consideri appartenente al tratto di parete inclinata e alla quota h_1+h_2 dal pelo libero.*



DATI:

$$\gamma = 10000 \text{ N/m}^3$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$z_A = 0.9 h_1$$

$$\sigma_{p02} = 240 \text{ MPa}$$

$$h_1 = 1.2 \text{ m}$$

$$z_B = 1.2 h_1$$

$$D = 4.6 \text{ m}$$

$$h_2 = 2.2 \text{ m}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024

TEMA 3 – PARTE 2

Un argano di sollevamento (figura 1) è montato su di un carrello agganciato alla trave orizzontale AB, saldata alla trave BC, a sua volta saldata alla trave CE. In E vi è un'ulteriore saldatura a piena penetrazione ad una piastra, completamente vincolata alla parete. Le travi AB e BC siano di sezione quadrata cava, mentre CE circolare cava, con diametro interno costante e diametro esterno variabile da H in poi (si mantenga il rapporto tra diametri esterni $D_E/D_H=1.2$). L'argano, in posizione A solleva una massa M, la trasporta in B, la scarica e poi torna in A a vuoto, per poi riprendere il ciclo. Si vuole che la struttura sia realizzata in acciaio S275. Si risponda alle seguenti richieste, illustrando il procedimento svolto e le eventuali assunzioni:

- 1) Con riferimento a due posizioni della massa M (posizione A e posizione B), si ricavino le reazioni vincolari riferite ad un sistema cartesiano X-Y-Z da definire in corrispondenza dell'incastro nella sezione E, inoltre si traccino i diagrammi delle sollecitazioni (sforzo assiale N, taglio T, momento/i flettente/i M_f , momento torcente M_t) in corrispondenza delle travi AB, BC, C-H-E. *Nota: si trascuri il peso delle travi.*
- 2) Dimensionare le travi AB, BC e C-H-E in modo da avere un coefficiente di sicurezza statico allo snervamento almeno pari a 3 (scegliendo le sezioni da catalogo), rispetto alla condizione di carico più gravosa. *Nota: si trascuri il peso delle travi.*
- 3) Dimensionare e verificare lo spallamento in H a fatica per garantire un coefficiente di sicurezza a 10^6 cicli almeno pari a 1.5; per i calcoli del K_t , usare, conservativamente, i grafici e le formule riportate per il caso di albero pieno. *Nota: si trascuri il peso delle travi e la sollecitazione di torsione*
- 4) Si utilizzi l'Eurocodice 3 per la verifica a fatica della saldatura in E, valutando il coefficiente di sicurezza a 10^6 cicli con una probabilità di sopravvivenza del 97.7%. Si valuti inoltre la massima massa M sollevabile. *Nota: si trascuri il peso delle travi e la sollecitazione di torsione*

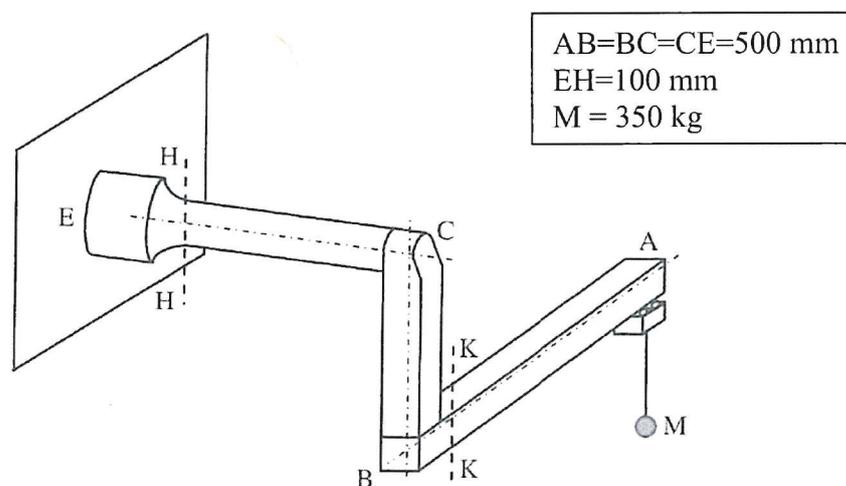


Figura 1: Schema della struttura da studiare

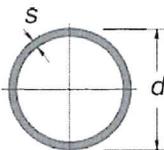


Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024

Tabella 1: Proprietà del materiale

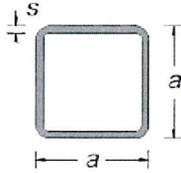
Materiale	Tensione di rottura	Tensione di snervamento	Modulo elastico	Coeff. di Poisson
S275	430 MPa	275 MPa	206 GPa	0.3

Tabella 2: Catalogo di sezioni



d x s mm	Peso kg/m	Sezione di passaggio cm ²	Sezione metallica cm ²	Momenti di inerzia Jx = Jy cm ⁴	Moduli di resistenza Wx = Wy cm ³	Raggi di inerzia ix = iy cm
33,7 x 2,6	2,010	6,380	2,540	3,090	1,840	1,100
33,7 x 2,9	2,220	6,110	2,810	3,360	1,990	1,090
33,7 x 3,2	2,420	5,850	3,070	3,600	2,140	1,080
42,4 x 2,6	2,570	10,90	3,250	6,460	3,050	1,410
42,4 x 2,9	2,840	10,50	3,600	7,060	3,330	1,400
42,4 x 3,2	3,110	10,20	3,940	7,620	3,590	1,390
48,3 x 2,6	2,950	14,60	3,730	9,780	4,050	1,620
48,3 x 2,9	3,270	14,20	4,140	10,70	4,430	1,610
48,3 x 3,2	3,590	13,80	4,530	11,60	4,800	1,600
60,3 x 2,9	4,140	23,30	5,230	21,60	7,160	2,030
60,3 x 3,2	4,540	22,80	5,740	23,50	7,780	2,020
60,3 x 3,6	5,070	22,10	6,410	25,90	8,580	2,010
76,1 x 2,6	4,750	39,50	6,000	40,60	10,70	2,600
76,1 x 2,9	5,280	38,80	6,670	44,70	11,80	2,590
76,1 x 3,2	5,800	38,20	7,330	48,80	12,80	2,580
76,1 x 3,6	6,490	37,30	8,200	54,00	14,20	2,570
88,9 x 2,6	5,570	55,00	7,050	65,70	14,80	3,050
88,9 x 3,2	6,810	53,50	8,620	79,20	17,80	3,030
88,9 x 3,6	7,630	52,40	9,650	87,90	19,80	3,020
88,9 x 4,0	8,430	51,40	10,70	96,30	21,70	3,000
114,3 x 3,6	9,900	90,10	12,50	192,0	33,60	3,920
114,3 x 4,0	11,00	88,70	13,90	211,0	36,90	3,900
114,3 x 4,5	12,10	87,10	15,50	234,0	41,00	3,890
139,7 x 2,9	9,860	141,0	12,50	292,0	41,80	4,840
139,7 x 3,6	12,20	138,0	15,40	357,0	51,10	4,810
139,7 x 4,0	13,50	136,0	17,10	393,0	56,20	4,800
139,7 x 4,5	14,90	134,0	19,10	437,0	62,60	4,780
168,3 x 3,2	13,10	206,0	16,60	566,0	67,20	5,840

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024



a mm	s mm	Peso kg/m	Sezione metallica cm ²	Momenti di inerzia	Moduli di resistenza	Raggi di inerzia
				Jx = Jy cm ⁴	Wx = Wy cm ³	ix = iy cm
20	1.5	0,87	1,11	0,64	0,64	0,76
	2.0	1,13	1,44	0,79	0,79	0,74
25	1.5	1,11	1,41	1,30	1,04	0,96
	2.0	1,44	1,84	1,63	1,31	0,94
30	2.0	1,76	2,24	2,94	1,96	1,15
	3.0	2,54	3,24	3,99	2,66	1,11
35	2.0	2,07	2,64	4,81	2,75	1,35
	3.0	3,01	3,84	6,61	3,78	1,31
40	2.0	2,39	3,04	7,34	3,67	1,55
	3.0	3,49	4,44	10,20	5,10	1,52
	4.0	4,52	5,76	12,60	6,30	1,48
50	2.0	3,01	3,84	14,77	5,91	1,96
	3.0	4,43	5,64	20,85	8,34	1,92
	4.0	5,78	7,36	26,15	10,46	1,89
60	2.0	3,64	4,64	26,05	8,68	2,37
	3.0	5,37	6,84	37,14	12,38	2,33
	4.0	7,03	8,96	47,07	15,69	2,29
70	2.0	4,27	5,44	41,96	11,99	2,78
	3.0	6,31	8,04	60,27	17,22	2,74
	4.0	8,29	10,56	76,95	21,98	2,70
80	2.0	4,90	6,24	63,32	15,83	3,19
	3.0	7,25	9,24	91,45	22,86	3,15
	4.0	9,55	12,16	117,38	29,35	3,11
	5.0	11,78	15,00	141,25	35,31	3,07
100	2.0	6,15	7,84	125,54	25,11	4,00
	3.0	9,14	11,64	182,71	36,54	3,96
	4.0	12,06	15,36	236,34	47,27	3,92
	5.0	14,92	19,00	286,58	57,32	3,88
120	2.0	7,41	9,44	219,13	36,52	4,82
	3.0	11,02	14,04	320,53	53,42	4,78
	4.0	14,57	18,56	416,73	69,46	4,74
	5.0	18,06	23,00	507,92	84,65	4,70
150	3.0	13,85	17,64	635,57	84,74	6,00
	4.0	18,34	23,36	830,53	110,74	5,96
	5.0	22,77	29,00	1.017,42	135,66	5,92
180	3.0	16,67	21,24	1.109,37	123,26	7,23
	4.0	22,11	28,16	1.454,56	161,62	7,19
	5.0	27,48	35,00	1.787,92	198,66	7,15
200	3.0	18,56	23,64	1.529,43	152,94	8,04
	4.0	24,62	31,36	2.008,71	200,87	8,00
	5.0	30,62	39,00	2.473,25	247,33	7,96

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024

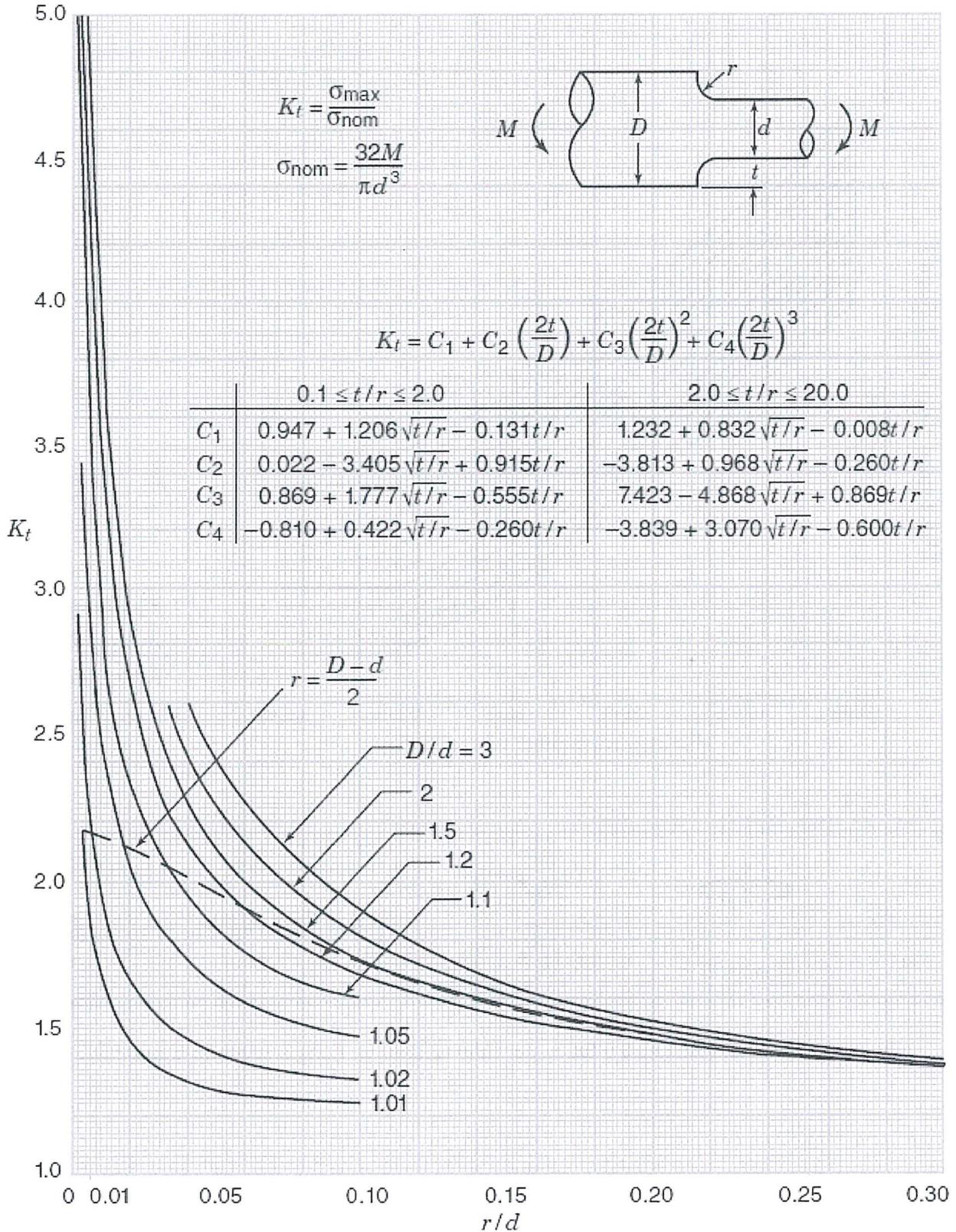
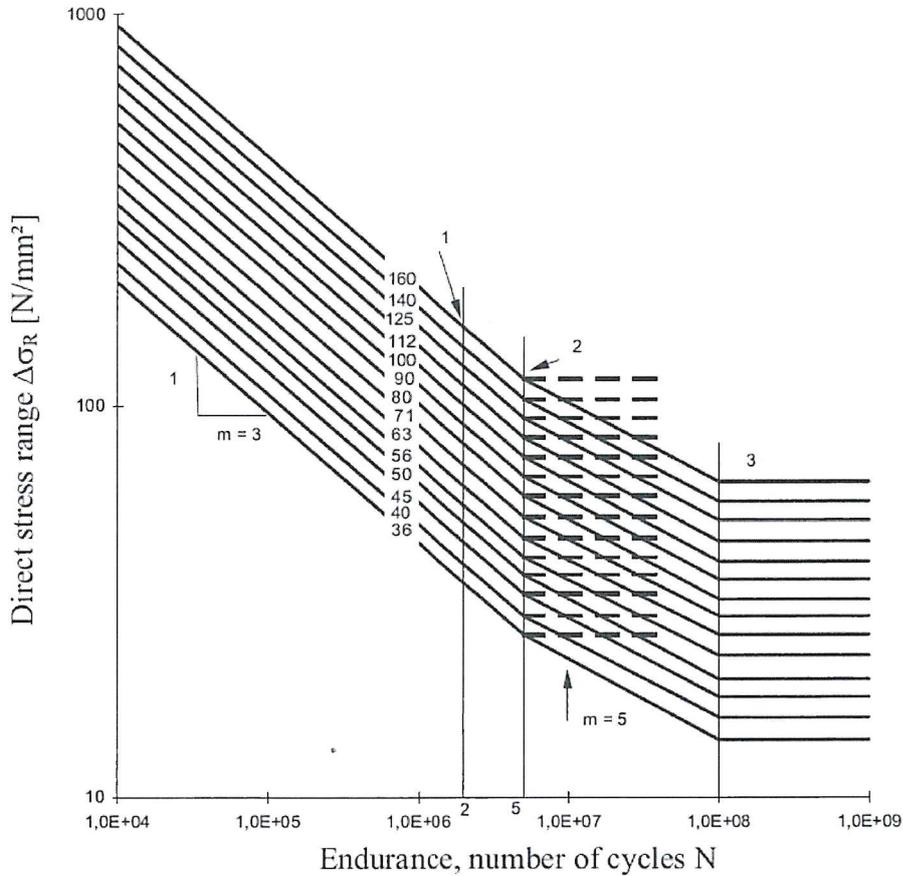


Figura 2: K_t per albero in flessione

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024



- 1 Detail category $\Delta\sigma_C$
- 2 Constant amplitude fatigue limit $\Delta\sigma_D$
- 3 Cut-off limit $\Delta\sigma_L$

71		11) Tube socket joint with 80% full penetration butt welds.	11) Weld toe ground. $\Delta\sigma$ computed in tube.
40		12) Tube socket joint with fillet welds.	12) $\Delta\sigma$ computed in tube.

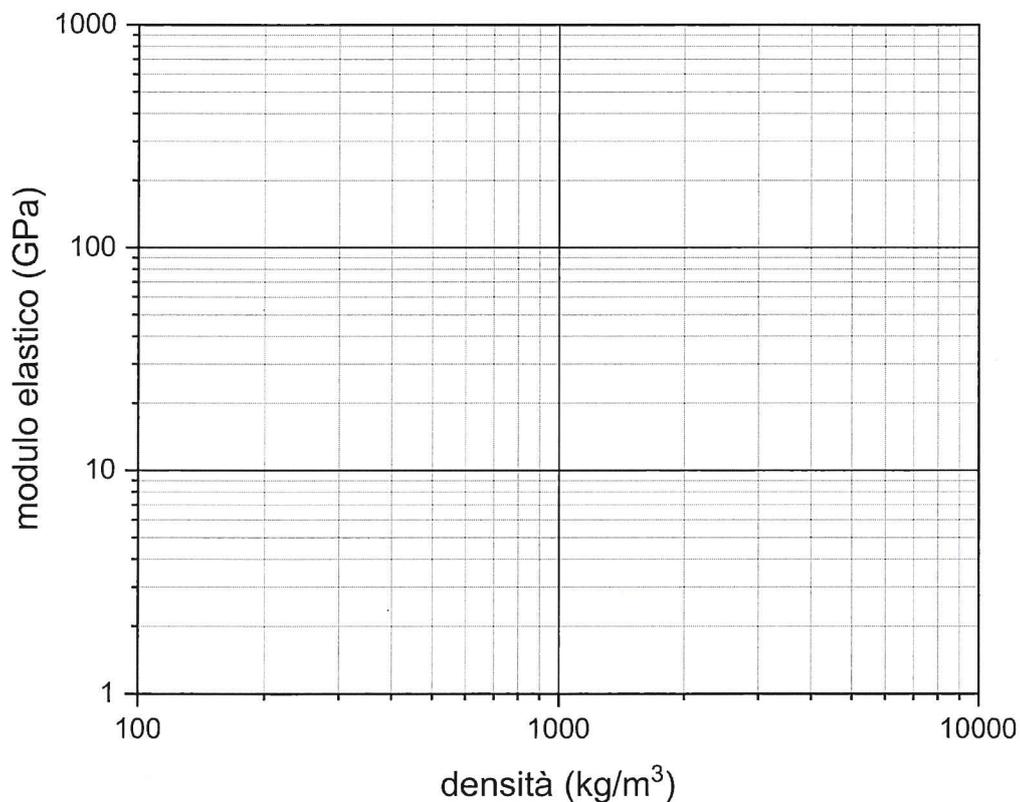
Figura 3: Curva di resistenza a fatica per tubo saldato su flangia secondo Eurocodice 3.

Esame di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere Industriale
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 2024

TEMA 4 – 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	6000	90	Stretch dominated
B	100	2000	80	Bending dominated
C	400	2000	75	Stretch dominated
D	250	8000	85	Bending 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
Seconda sessione 2024 - Prova scritta del 14 novembre 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 4 – PARTE 2

Si consideri la possibile sostituzione della ghisa (*Densità: 7.10 ton/m³, Limite elastico: 430 MPa, Modulo elastico: 175 GPa; Conducibilità termica: 35 W/m·K*), nella fabbricazione di pinze freno leggere e ad alto grado di smaltimento di calore:

<i>Materiale</i>	<i>Densità (ton/m³)</i>	<i>Limite elastico (MPa)</i>	<i>Modulo elastico (GPa)</i>	<i>Conducibilità termica (W/m·K)</i>
Lega di magnesio	1.80	320	46	90
Lega di alluminio	2.73	380	72	160
Composito lega Al/SiC	2.24	300	90	130
Acciaio alto C	7.80	800	210	50
Acciaio medio C	7.80	650	210	54
Acciaio microlegato	7.80	950	205	52
Lega di rame	8.94	300	130	250
Lega di nichel	8.90	850	210	90
Lega di tungsteno	18.50	950	350	110

L'alleggerimento e l'aumento dello smaltimento di calore hanno la stessa priorità, ipotizzando che lo spessore delle pareti sia condizionato dalla resistenza (non dalla rigidità). Si risponda ai seguenti quesiti:

1. Ricordare la dipendenza dello smaltimento di calore massimo 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 all'aumento dello smaltimento termico;
3. Individuare un'espressione analitica che permetta l'ottimizzazione simultanea di massa e smaltimento termico; fornire una graduatoria di efficienza di sostituzione;
4. Fornire un'espressione che valorizzi, per i materiali proposti, anche il contenimento delle deformazioni elastiche;
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.