



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**  
*Prima sessione 2019*  
*Prima prova scritta del 12 giugno 2019*

**TEMA N. 1**

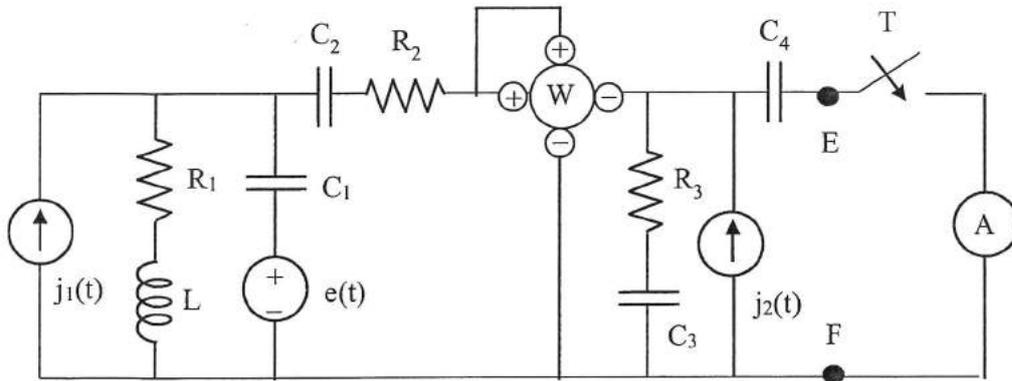
La multinazionale petrolifera MegaPetroOil Inc. commissiona il dimensionamento di un'apparecchiatura allo studio di progettazione per cui lavora il Candidato. In particolare, si vuole trattare una portata di 20000 kg/h di kerosene (42° API) che lascia la base di una colonna di stripping a 200°C per raffreddarla a 90°C mediante 70000 kg/h di petrolio greggio leggero (34° API) che arriva dallo stoccaggio a 40°C. Si adotti uno scambiatore di calore a fascio tubiero. Si consideri che il kerosene entra nello scambiatore alla pressione di 5 bar, il greggio a 6.5 bar. È permessa una caduta di pressione di 0.8 bar su entrambe le linee. Il fattore di sporcamento è di 0.0003 (W/m<sup>2</sup>°C)<sup>-1</sup> per il petrolio e di 0.0002 (W/m<sup>2</sup>°C)<sup>-1</sup> per il kerosene.

Si includa nel progetto uno schema del sistema di controllo e lo si discuta brevemente. Le proprietà fisiche di kerosene e olio greggio si trovano in Tabella 1.

**Tabella 1.** Lista delle proprietà fisiche di kerosene e petrolio greggio leggero.

proprietà	unità di misura	kerosene		petrolio	
		ingresso	uscita	uscita	ingresso
temperature	°C	200.000	90.000	78.000	40.000
calore specifico	kJ/(kg °C)	2.720	2.260	2.090	2.010
conducibilità termica	W/(m °C)	0.130	0.135	0.133	0.135
densità	kg/m <sup>3</sup>	690.000	770.000	800.000	840.000
viscosità	mN sm <sup>-2</sup>	0.22	0.800	2.400	4.300

TEMA N. 2



**Testo**

La rete di figura è in regime sinusoidale con l'interruttore T aperto. Sono noti i parametri  $R_1, R_2, R_3, L, C_1, C_2, C_3$  e le grandezze impresse dai generatori ideali:

$$e(t) = \sqrt{2} E \sin(\omega t + \alpha); \quad j_1(t) = \sqrt{2} J_1 \cos(\omega t + \beta_1); \quad j_2(t) = \sqrt{2} J_2 \cos(\omega t + \beta_2)$$

Determinare a T aperto:

- il valore  $P_W$  misurato dal wattmetro ideale a valore medio;
- il valore della potenza reattiva  $Q_{C1}$  entrante nel condensatore ideale  $C_1$ ;
- il valore della impedenza equivalente  $Z_{EF\text{eq-}sx}$  della rete a sinistra della porta EF;
- il valore del fasore della tensione a vuoto  $\bar{V}_{EF0-sx}$  della rete a sinistra della porta EF.

Si consideri ora la rete di figura con interruttore T chiuso. Tale rete sia in regime sinusoidale.

Determinare a T chiuso:

- il valore  $I_A$  misurato dall'ampmetro ideale a valore efficace.

Dati		Risultati
$E = 100 \text{ V}$	$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$	A T aperto determinare:
$J_1 = 10 \sqrt{2} \text{ A}$	$\beta_1 = -\frac{\pi}{4} \text{ rad}$	$P_W =$
$J_2 = 10 \sqrt{2} \text{ A}$	$\beta_2 = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$	$Q_{C1} =$
$R_1 = 20 \Omega$	$R_2 = 10 \Omega$	$Z_{EF\text{eq-}sx} =$
$R_3 = 10 \Omega$	$L = 20 \text{ mH}$	$V_{EF0-sx} =$
$C_1 = 50 \mu\text{F}$	$C_2 = 100 \mu\text{F}$	A T chiuso determinare:
$C_3 = 100 \mu\text{F}$	$C_4 = 50 \mu\text{F}$	$I_A =$
$\omega = 1000 \text{ rad/s}$		

### TEMA N. 3

#### Prima parte

L'azienda XYZ s.p.a produce due prodotti: il prodotto A ed il prodotto B.

In tabella 1 e 2 sono riportate le previsioni di vendita per le successive settimane e gli ordini già acquisiti di ciascun prodotto. L'azienda utilizza questi dati per sviluppare il piano principale di produzione (Master Production Schedule – MPS) e definire anche gli available to promise (ATP).

Il record MPS del prodotto A si calcola utilizzando la tecnica lot sizing con lotto multiplo di 40 pezzi, scorte iniziali pari a 60 pezzi e scorta di sicurezza di 16 pezzi (si lancia l'ordine se la giacenza è minore della scorta di sicurezza).

Il record MPS del prodotto B si calcola utilizzando la tecnica con lotto multiplo di 60 pezzi, scorte iniziali pari a 40 pezzi e scorta di sicurezza di 10 pezzi (si lancia l'ordine se la giacenza è minore della scorta di sicurezza).

Tabella 1 – Previsioni ed ordini acquisiti per il prodotto finito A.

PERIODI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Previsioni	30	10	15	15	15	10	10	10	30	10	60	15	10
Ordini	7	7	2	6	5	4	0	0	0	0	0	6	6

Tabella 2 – Previsioni ed ordini acquisiti per il prodotto B.

PERIODI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Previsioni	20	20	20	20	10	10	35	35	10	10	35	35	10
Ordini	10	5	3	0	0	5	0	14	0	0	0	0	0

- Si calcolino i record MPS, completi anche di ATP, per i prodotti A e B.
- Dopo che sono stati calcolati il piano principale di produzione e gli available to promise, simulare l'arrivo dei seguenti ordini per il prodotto A:

- richiesta di 20 pezzi nel periodo 3
- richiesta di 40 pezzi nel periodo 7
- richiesta di 20 pezzi nel periodo 4
- richiesta di 60 pezzi nel periodo 12
- richiesta di 100 pezzi nel periodo 13

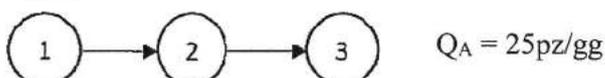
Si evidenzino sul record MPS i cambiamenti alla luce degli ordini accettati, aggiornando la riga degli ordini, dell'ATP e delle scorte. (non è richiesto di rilanciare nuovi ordini MPS)

- Si calcoli il carico di capacità per i centri di lavoro utilizzando il metodo
  - dei fattori aggregati
  - delle distinte di capacità.

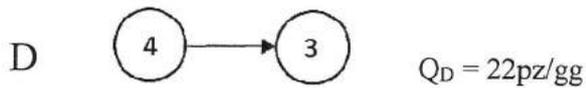
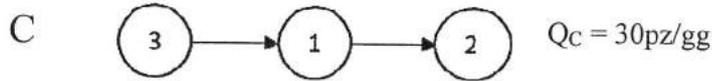
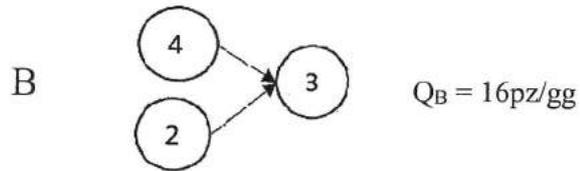
Per il calcolo del carico di capacità nei centri di lavoro creare l'operation setback charts con i centri produttivi, i dati di lavoro, i tempi e la distinta base per i prodotti A e B. I dati sopra sopra indicati sono ipotizzati a discrezione del candidato che poi calcolerà il carico di capacità per i centri di lavoro con i dati supposti.

#### Seconda parte

Si considerino i cicli dei seguenti prodotti di un'azienda che realizza lavorazioni meccaniche conto terzi ed <sup>2</sup> organizzata in 4 reparti che producono complessivamente 4 famiglie di prodotto diverse, di cui sono riportati i cicli produttivi.



A



Reparto	p	K2	K3	K4	A [min/pz]	B [min/pz]	C [min/pz]	D [min/pz]
1	2.00%	98.00%	87.00%	48.00%	6	-	6	-
2	1.00%	97.00%	87.00%	48.00%	9	10	8	-
3	1.00%	98.00%	87.00%	48.00%	4	4	4	3
4	3.00%	99.00%	87.00%	48.00%	-	3	-	4

Il numero di ore disponibili per la produzione  $N_{ij}$  è pari a 8h/gg per ogni prodotto su ogni reparto.

Si richiede di:

1. Dimensionare i reparti, calcolando la potenzialità produttiva ed il numero di macchine.
2. Calcolare i coefficienti di utilizzo teorico e reale, commentando i risultati ottenuti.
3. Rappresentare il layout finale, giustificando le scelte fatte.
4. L'azienda sta valutando di creare una cella dedicata per A e C. Quale sarebbe il coefficiente di utilizzo teorico della cella? Commentare i risultati ottenuti.
5. In riferimento al suo posizionamento sul diagramma P-Q, descrivere le principali caratteristiche della produzione per reparti (ZONA III).

**TEMA N. 4**

Il candidato delinea le metodologie per l'analisi cinematica (analisi di posizione, velocità, e accelerazione) dei meccanismi articolati piani in catena chiusa, apportando come esempio lo studio del quadrilatero articolato.

**TEMA N. 5**

L'allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ha una tenacità a frattura di circa  $3 \text{ MPa m}^{1/2}$ . Si supponga di effettuare una caratterizzazione della superficie del campione e rilevare difetti superficiali con raggio  $a = 50 \mu\text{m}$ . Si stimi la resistenza a trazione di questo campione; si mostrino schematicamente i possibili modi di attivazione dei difetti in trazione.

Lo stesso materiale è stato testato in flessione a 3 punti utilizzando 10 barrette rettangolari di larghezza  $w = 10 \text{ mm}$  e altezza  $h = 5 \text{ mm}$  ed una distanza tra i supporti  $L = 50 \text{ mm}$ . I carichi a rottura misurati sono riportati in **Tabella 1**:

**Tabella 1.** Carichi a rottura per 10 provini in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  testati a flessione a 3 punti.

Campione	Carico a rottura (N)
1	1040
2	1092
3	1120
4	1210
5	1320
6	1381
7	1410
8	1470
9	1490
10	1540

Determinare il modulo di Weibull  $m$  ed il fattore di normalizzazione  $\sigma_0$  per i campioni. Calcolare la resistenza a flessione al 50% e al 90% di probabilità di sopravvivenza.

Descrivere la microstruttura ed il meccanismo di propagazione dei difetti nell'allumina tenacizzata con zirconia.

## *TEMA N. 6*

Limitatamente al segmento di volo ed escludendo le problematiche al lancio, il candidato descriva non solo a parole, ma con schizzi, grafici e formule una missione spaziale attualmente in fase operativa o in fase di sviluppo o immaginaria, partendo dalla definizione degli obiettivi, dei vincoli e dei principali requisiti di sistema e sottosistema.

In particolare, avendo individuato uno o più sottosistemi le cui peculiarità giochino un ruolo determinante per il positivo raggiungimento degli obiettivi inizialmente definiti, si richiede che ne vengano discusse le soluzioni concettuali e delineate le soluzioni realizzative..

*TEMA N. 7*

Protesi sostitutive totali d'anca: il candidato ne descriva la struttura e le diverse componenti, con particolare riferimento ai materiali di norma utilizzati; discuta poi le limitazioni e i vantaggi legati all'utilizzo di diverse classi di biomateriali per la realizzazione delle diverse componenti, con particolare riferimento ad aspetti di biocompatibilità chimica e meccanica.

### TEMA N. 8

Un recipiente cilindrico in pressione a fondo emisferico, di diametro esterno pari a 400 mm e pareti di spessore pari a 10 mm è sottoposto a temperatura ambiente ( $T=23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ad una pressione pari a 6 bar.

Il recipiente è interamente realizzato in PVC rigido, e a temperatura ambiente il materiale è caratterizzato dalle seguenti proprietà meccaniche:

E [GPa]	3
$\sigma_s$ [MPa]	58
$\nu$	0.33

Rispondere ai seguenti quesiti:

- 1) Calcolare lo stato di tensione e di deformazione nella zona più sollecitata del recipiente, al tempo  $t_0=0$  h (si utilizzino le formulazioni per gusci spessi).
- 2) Qual è la pressione massima ammissibile al fine di garantire la tenuta del recipiente?
- 3) Calcolare lo stato di deformazione dopo un tempo  $t_1=4$ h, utilizzando il modello di Kelvin-Voigt per l'andamento della deformazione in funzione del tempo a pressione costante ( $\eta=10^{13}$  Pa\*s).
- 4) Calcolare la deformazione al tempo  $t_4=24$ h sapendo che al tempo  $t_2=6$ h la pressione del recipiente aumenta di 1.5 bar ed al tempo  $t_3=10$  h la pressione aumenta a 9 bar. Utilizzare l'espressione della cedevolezza  $D(t)=3.1t^{0.2}$ [GPa<sup>-1</sup>].
- 5) Ad una temperatura pari a 0°C, con la stessa storia di carico descritta al punto 3, la deformazione risulterà maggiore o minore? Motivare la risposta discutendo il comportamento meccanico dei polimeri termoplastici amorfi al variare della temperatura.
- 6) Calcolare la cedevolezza al tempo  $t_1=4$ h alla temperatura  $T=38^{\circ}\text{C}$ , sapendo che la temperatura di transizione vetrosa del PVC è pari a 75°C, utilizzando il principio di equivalenza tempo-temperatura. (Utilizzare l'espressione della cedevolezza in funzione del tempo definita al punto 4).

## TEMA N. 9

Si consideri una pompa di calore operante con il refrigerante R134a il cui scopo è riscaldare una portata di acqua  $\dot{m}_a$ . La macchina è costituita da un compressore, un condensatore, uno scambiatore interno rigenerativo, una valvola di laminazione ed un evaporatore.

La condensazione avviene alla temperatura  $t_{cond} = 55^\circ\text{C}$ . Il refrigerante all'uscita del condensatore si trova allo stato di liquido saturo (1) mentre, dopo il passaggio attraverso lo scambiatore rigenerativo, si trova nelle condizioni di liquido sottoraffreddato (stato 2) con sottoraffreddamento  $\Delta T_{sott} = 10\text{ K}$ . Il fluido viene laminato (3) fino alla pressione di evaporazione (corrispondente ad una temperatura di saturazione  $t_{evap} = 5^\circ\text{C}$ ). All'uscita dell'evaporatore (stato 4) il fluido R134a è nella condizione di vapore saturo secco. Il calore necessario all'evaporazione viene fornito da una portata d'acqua  $\dot{m}_{a,evap} = 8\text{ kg s}^{-1}$  proveniente da un campo di sonde geotermiche. Tale portata entra nell'evaporatore alla temperatura  $t_{a,evap,IN} = 10^\circ\text{C}$  ed esce alla temperatura  $t_{a,evap,OUT} = 7^\circ\text{C}$ . Per l'acqua (fluido incomprimibile) che fluisce all'evaporatore si consideri un calore specifico  $c_{a,EVAP} = 4.20\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$ . Il refrigerante attraversa quindi lo scambiatore rigenerativo uscendo nelle condizioni di vapore surriscaldato (stato 5). Il fluido viene infine compresso e, alla mandata del compressore, si trova nelle condizioni 6. La compressione avviene con rendimento isoentropico  $\eta_{is} = 0.83$ .

Si considerino tutti gli scambiatori di calore adiabatici verso l'esterno e, inoltre, si considerino trascurabili le perdite di carico. Tutto il sistema opera in regime stazionario.

1. Tracciare lo schema della pompa di calore e le trasformazioni nel diagramma pressione-entalpia specifica.
2. Calcolare la potenza richiesta al compressore [kW].
3. Calcolare il coefficiente di effetto utile del ciclo, COP [-].
4. Determinare l'efficienza termica dello scambiatore rigenerativo.

Il calore scambiato al condensatore viene utilizzato per riscaldare la portata di acqua  $\dot{m}_a = 11\text{ kg s}^{-1}$  fino alla temperatura  $t_{a,IN} = 54^\circ\text{C}$ . Questa portata di acqua calda  $\dot{m}_a$  (proveniente dal condensatore) entra poi (sempre alla medesima temperatura  $t_{a,IN}$ ) in uno scambiatore a piastre (1 passaggio lato caldo / 1 passaggio lato freddo) dove fluisce in controcorrente rispetto ad una portata di acqua  $\dot{m}_{a,utenza} = 6\text{ kg s}^{-1}$  (proveniente dai terminali d'impianto) ed entrante nello scambiatore a piastre alla temperatura  $t_{a,utenza,IN} = 45^\circ\text{C}$ .

Lo scambiatore di calore ha 85 piastre utili per lo scambio termico (spessore 0.7 mm) in acciaio inox (conducibilità termica  $\lambda_{piastra} = 17\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ ). Ciascuna piastra ha altezza  $L$  pari a 0.5 m e profondità  $w$  pari a 0.19 m. La distanza tra le piastre è  $b = 3.5\text{ mm}$ .

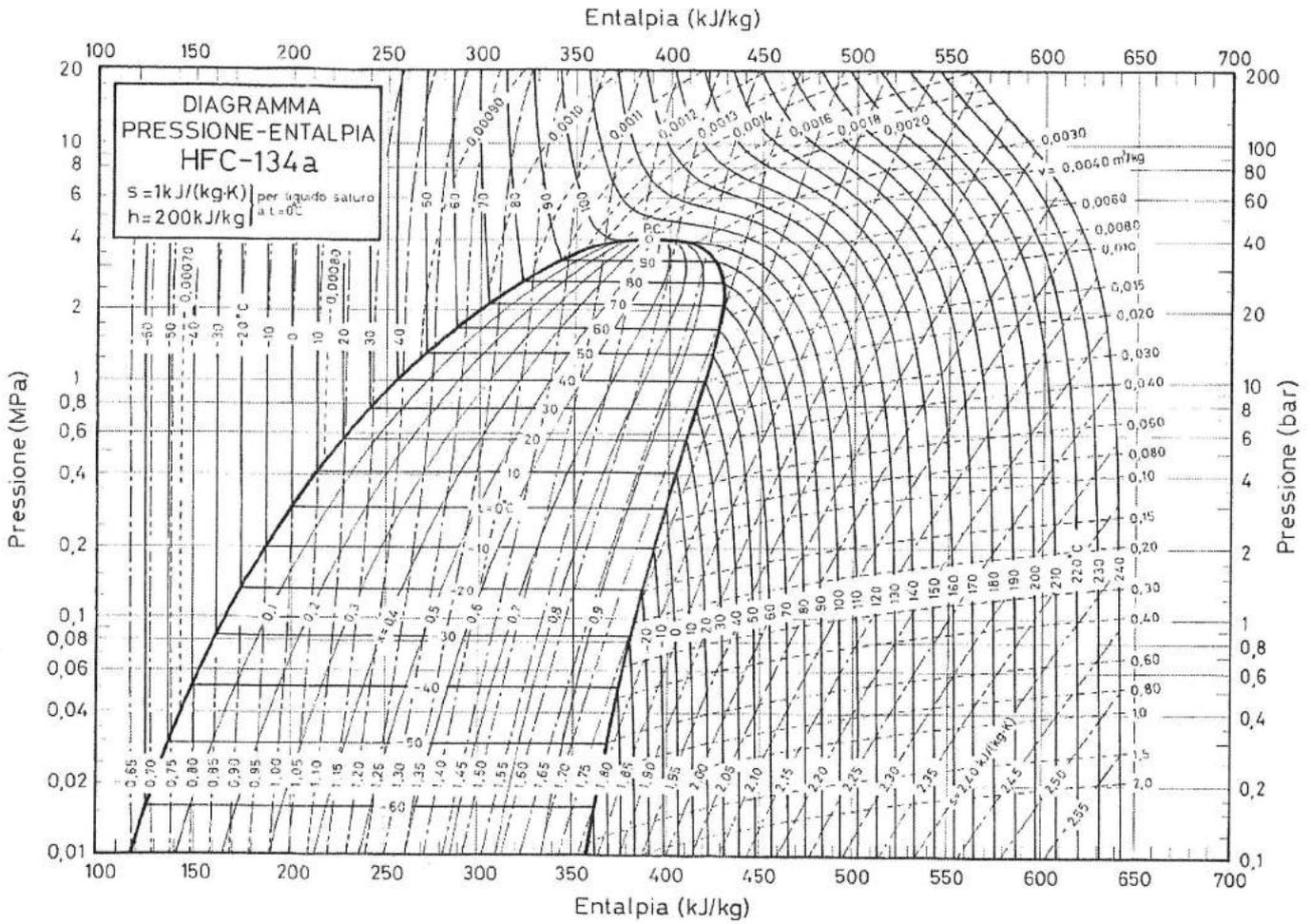
Per il calcolo del coefficiente di scambio termico si utilizzi la seguente equazione (moto turbolento):  $Nu = 0.23 Re^{0.66} Pr^{0.4} (\mu_a/\mu_p)^{0.14}$ . Per il calcolo del fattore di attrito si utilizzi la seguente espressione:  $f = 2.8 Re^{-0.18}$ . Si consideri lo scambiatore di calore adiabatico verso l'esterno.

5. Si determini la temperatura  $t_{a,U}$  della portata di acqua  $\dot{m}_a$  in uscita dallo scambiatore a piastre.
6. Si determini la temperatura  $t_{a,utenza,U}$  della portata  $\dot{m}_{a,utenza}$  in uscita dallo scambiatore a piastre (temperatura di mandata ai terminali d'impianto).
7. Si determini il flusso termico scambiato.
8. Si valutino le perdite di carico nello scambiatore a piastre.

I dati mancanti dovranno essere opportunamente assunti dal candidato.

Per l'acqua (fluido incomprimibile) si considerino le seguenti proprietà.

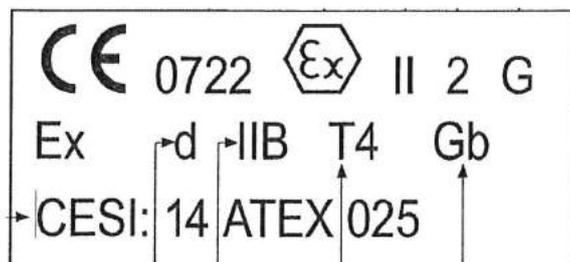
$t$ [°C]	$c$ [kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\rho$ [kg m <sup>-3</sup> ]	$\mu$ [μPa s]	$\lambda$ [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
45	4.180	990.3	595.8	0.635
50	4.181	988.1	546.5	0.641
55	4.183	985.7	503.6	0.646



## TEMA N. 10

Si richiede al candidato di sviluppare i seguenti punti:

- a. Dare la definizione di: sicurezza nei riguardi di un determinato evento sfavorevole, tasso di guasto, entità del danno associato, danno probabile, rischio naturale e rischio residuo. Indicare un esempio di apparecchio intrinsecamente sicuro nei confronti dell'evento sfavorevole della folgorazione. Considerando  $m$  componenti, definire il concetto di sicurezza in un sistema serie e in un sistema parallelo. Cosa è opportuno fare per migliorare la sicurezza di un sistema serie? Cosa è opportuno fare per migliorare la sicurezza di un sistema parallelo? In quale dei due sistemi è maggiore la necessità di segnalare tempestivamente il guasto di uno degli  $m$  componenti? Perché?
- b. Quanto vale la resistenza di terra di un elettrodo sferico profondo e di un elettrodo sferico affiorante? Discutere l'influenza della profondità di posa sulla tensione totale di terra (a parità di corrente dispersa nel terreno) e sull'andamento spaziale della tensione di contatto a vuoto nelle vicinanze del dispersore. Definire la tensione di passo e la tensione di passo a vuoto. Considerando una rete di dispersori a maglia, in che zona è massima la tensione di passo? Quale accorgimento costruttivo potrebbe essere adottato per limitarla? Valutare la pericolosità della tensione di passo in relazione all'insorgenza di fibrillazione ventricolare.
- c. Quali sono le misure di protezione totale contro i contatti diretti? In assenza di isolamento, per garantire la protezione contro i contatti diretti, è necessario che i componenti abbiano grado di protezione almeno IP2X (riportare graficamente degli esempi). Esistono delle parti per le quali il solo grado di protezione IP2X non è ritenuto sufficiente? Cosa è prescritto in questi casi?
- d. Cosa significa "circuito di comando a sicurezza positiva"? Fare un esempio di circuito di comando non a sicurezza positiva e di un circuito di comando a sicurezza positiva, illustrando le motivazioni di tale diversificazione. Come viene alimentato il circuito di comando di un dispositivo (modalità di alimentazione, tensione di alimentazione, messa a terra)? Che cos'è il "comune delle bobine"? Cosa non deve essere assolutamente installato sul comune delle bobine? Perché?
- e. Indicare i principali contenuti della direttiva 2014/34/UE in merito alla classificazione degli apparecchi elettrici. Indicare il significato di tutte le informazioni riportate nella targhetta seguente.



## TEMA N. 11

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 OPAMP reale (come, ad esempio, saturazione dell'uscita, tensione di offset, 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:

$$V_{OUT} = V_{REF} + 0.625 \cdot \frac{I_P}{I_{PN}}$$

dove  $I_P$  è il valore in amperes 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 25 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,  $[I_{PN}, -I_{PN}]$ ). Assumere  $V_{OUT}$  e  $V_{REF}$  indipendenti dalla corrente scambiata ai rispettivi terminali.

Infine, noto che il sistema di conversione A/D presenta una frequenza di campionamento di 20 kSample/s e una impedenza di ingresso alta (e.g.,  $> 10\text{ M}\Omega$ ), si proponga una modifica al circuito di *Figura A* affinché il segnale portato all'ingresso del sistema di conversione A/D (cioè, il segnale  $v_{in}^{A/D}$ ) presenti una banda limitata in modo da evitare *aliasing*.

*Nota:* Il candidato assuma eventuali dati mancanti.

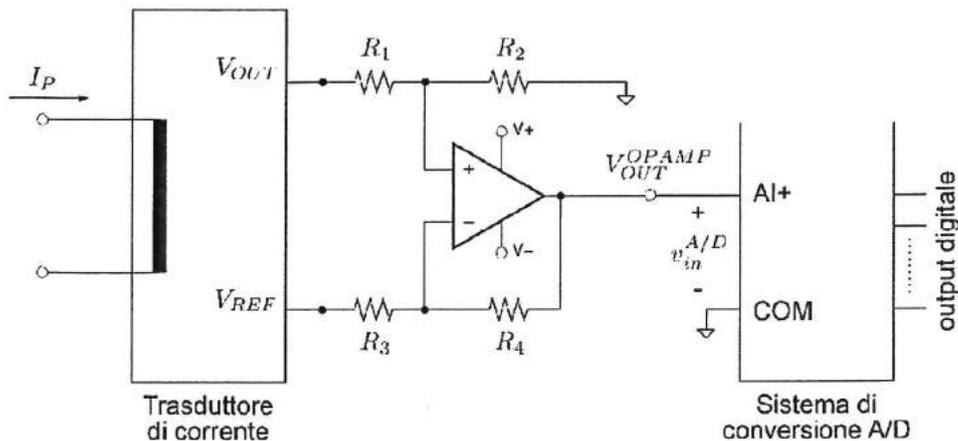


Figura A



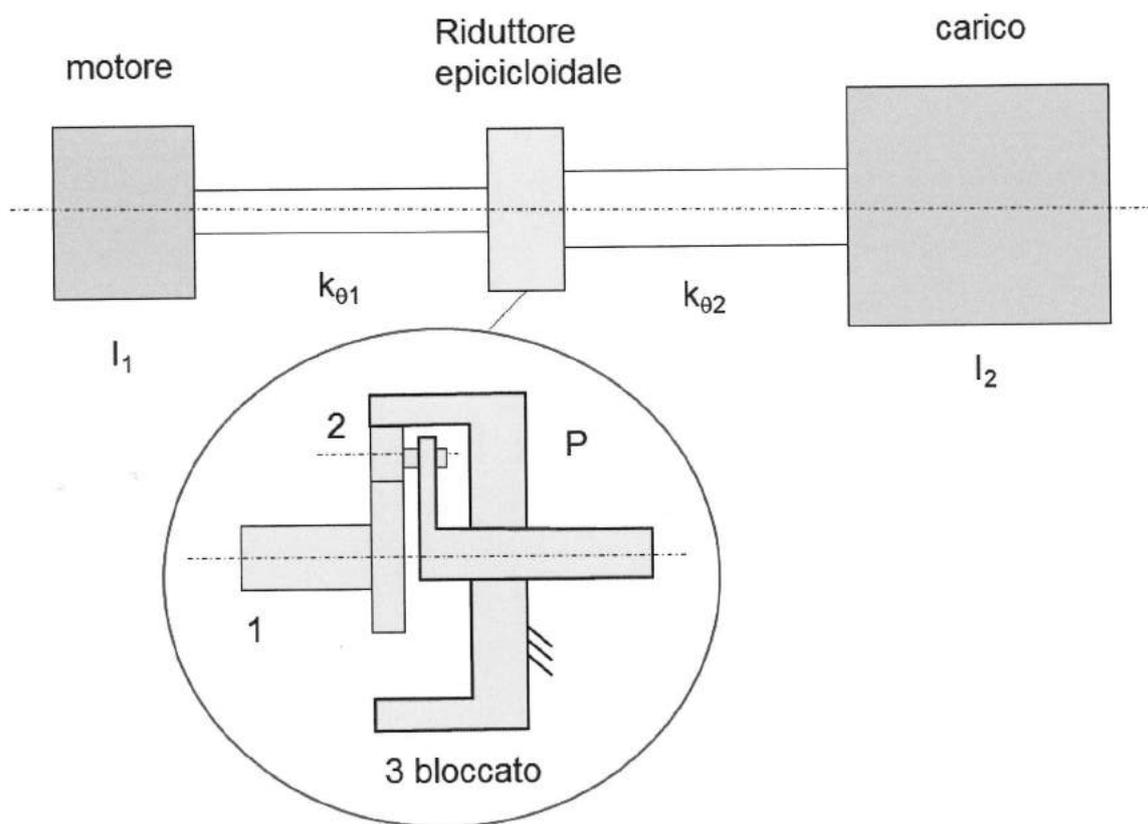
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

*Prima sessione 2019*

*Seconda prova scritta del 12 giugno 2019*

**TEMA MECCANICA**



Calcolare con un approccio a parametri concentrati la frequenza fondamentale delle vibrazioni torsionali.

Si considerino trascurabili le caratteristiche inerziali dei 2 alberi e del riduttore epicicloidale.

Dati:  $N_1 = 50$  denti,  $N_2 = 25$  denti,  $N_3 = 100$  denti,  $k_{\theta 1} = 10000$  Nm/rad,  $k_{\theta 2} = 15000$  Nm/rad,  $I_1 = 0.1$  kgm<sup>2</sup>,  $I_2 = 0.4$  kgm<sup>2</sup>



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

*Prima sessione 2019*

*Seconda prova scritta del 12 giugno 2019*

**TEMA "ENERGETICA"**

Secondo il rapporto statistico elaborato da TERNA, la potenza efficiente lorda degli impianti elettrici di generazione al 31 dicembre 2017 ammontava a 117144.3 MW. Essa risultava, secondo fonte energetica, così ripartita:

- idroelettrici: 22837.9 MW;
- termoelettrici tradizionali: 64045.1 MW;
- geotermoelettrici: 813.1 MW;
- eolici: 9765.9 MW;
- fotovoltaici: 19682.3 MW.

Se si considerano le varie tipologie di *impianto termoelettrico tradizionale* asservite alla *sola produzione di energia elettrica*, si evince che la potenza efficiente lorda totale ammontava a 37882.6 MW mentre la sua ripartizione, secondo tipo di impianto, risultava:

- combustione interna (CI) → 1240.2 MW;
- turbine a gas (TG) → 2718.7 MW;
- a vapore a condensazione (C) → 11747.6 MW;
- ciclo combinato (CC) → 21823.9 MW;
- turbo espansione (TE) → 171.0 MW;
- altro genere (V) → 181.2 MW;

Tralasciando le categorie TE e V, il candidato presenti in maniera comparativa

- il range di potenza entro il quale ciascuna tecnologia viene di norma impiegata;
- lo schema di riferimento, il ciclo termodinamico, l'efficienza ed i valori di pressione e temperatura normalmente adottati da ogni singola tecnologia;
- la capacità di adattamento alle repentine e sempre più frequenti variazioni di carico richieste dalla rete.

Infine, il candidato presenti una comparazione tra le varie tecnologie sopra indicate basandosi sul loro impatto in termini di emissioni in atmosfera, inquinamento termico ed acustico e occupazione di suolo.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

*Prima sessione 2019*

*Seconda prova scritta del 12 giugno 2019*

**TEMA Innovazione del prodotto**

Meccanica dell'intaglio e criterio della Strain Energy Density (SED):

- 1) Descrivere l'influenza della presenza di un intaglio raccordato sul comportamento statico di un organo meccanico realizzato con un materiale di tipo duttile e fragile;
- 2) Descrivere l'influenza della presenza di un intaglio raccordato sul comportamento a fatica di un organo meccanico realizzato con un materiale di tipo duttile e fragile;
- 3) Descrivere le peculiarità dei campi tensionali in prossimità di cricche ed intagli aperti a spigolo vivo, introducendo in particolare il concetto di singolarità, l'influenza dell'angolo di apertura sulla singolarità e definendo i Notch Stress Intensity Factor (NSIF);
- 4) Descrivere i criteri per la verifica a fatica di componenti con intagli a spigolo vivo basati sui NSIF e la SED (Strain Energy Density);
- 5) Descrivere il tipo di mesh (numero minimo di divisioni o grandezza di elemento) necessario alla descrizione accurata dei campi tensionali in prossimità di intagli raccordati col metodo degli elementi finiti;
- 6) Descrivere il tipo di mesh (numero minimo di divisioni o grandezza di elemento) necessario alla descrizione accurata dei campi tensionali in prossimità di cricche e intagli acuti, descrivendo la procedura necessaria alla determinazione dei Notch Stress Intensity Factors (NSIF) col metodo degli elementi finiti;
- 7) Descrivere il tipo di mesh e la procedura per calcolare accuratamente la Strain Energy Density (SED) mediata in un volume di controllo circolare all'apice di intagli a V acuti col metodo degli elementi finiti, per la successiva applicazione di criteri di resistenza basati sulla SED;
- 8) Si consideri la piastra in acciaio SAE 1045 in figura 1, dove è presente un intaglio ad asola ("doppia U") raccordato con raggio di raccordo  $\rho=1$  mm e lunghezza  $2a=20$  mm (si consideri la piastra come se avesse larghezza  $W$  infinita rispetto alla dimensione dell'intaglio). In figura 2 è rappresentata, in termini di range di tensione nominale netta  $\Delta\sigma_n$ , la curva di fatica del materiale per il rapporto di ciclo  $R=0$ , ottenuta tramite test su provini con intaglio blando (foro con  $K_{tn}=2.5$ ). Inoltre, per il materiale in questione si ha  $\Delta K_{th}=6.9$  MPa $\cdot$ m $^{0.5}$ , sempre per  $R=0$ . Utilizzando il metodo energetico basato sulla SED mediata in un opportuno volume di controllo, si stimi il limite di fatica in termini di range di tensione nominale (a  $2\cdot 10^6$  cicli) per la piastra di figura 1 soggetta a trazione con  $R=0$ .
- 9) Considerando il materiale di cui sopra e la stessa piastra priva di intaglio, stimare la massima lunghezza di cricca accettabile per non penalizzare il limite a fatica del materiale base, sia nel caso in cui la cricca inneschi centralmente, sia nel caso in cui la cricca inneschi da un bordo della piastra.

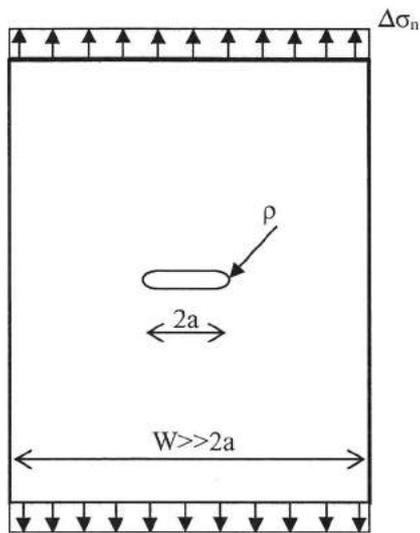


Figura 1: piastra con intaglio a U

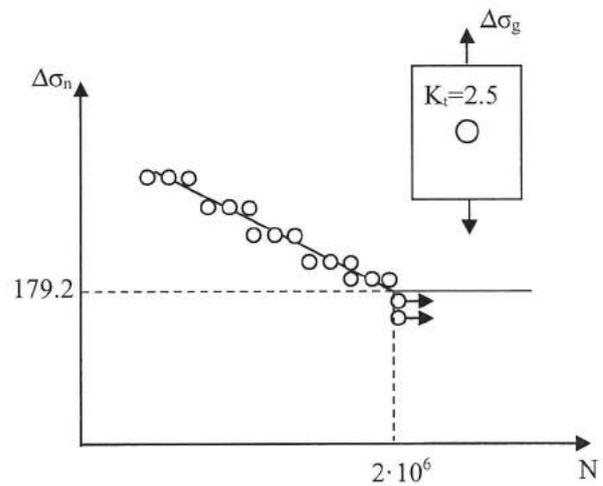


Figura 2: curve di fatica per intaglio blando

Raggio critico  $R_c = \frac{I_1}{\pi} \left( \frac{\Delta K_{th}}{\Delta \sigma_0} \right)^2$ , con  $\Delta \sigma_0$  limite di fatica del materiale base.

$\Delta \bar{W} = H \cdot \frac{\Delta \sigma_{pe}^2}{2E}$  dove  $\sigma_{pe}$  = tensione di picco elastico e  $H = F(2\alpha) \cdot \Omega \left( 2\alpha, \frac{R_c}{\rho} \right)$ .

$2\alpha$  = angolo di apertura dell'intaglio,  $\nu$  = coefficiente di Poisson del materiale.

Tabelle utili:

Tabella 1		Tabella 2		Tabella 3					
$2\alpha$	$F(2\alpha)$	$(\nu=0.3)$		$2\alpha$	$R_c/\rho$	$\nu=0.3$	$\Omega$	$\nu=0.35$	$\nu=0.4$
		Deformazione piana							
		$I_1$	$I_2$						
0	0.7850			0°	0.8450	2.1450			
$\pi/6$	0.6917			30°	0.8366	1.8810			
$\pi/4$	0.6692			60°	0.8066	1.6479			
$\pi/3$	0.6620			90°	0.7504	1.4379			
$\pi/2$	0.7049			120°	0.6687	1.2437			
$2\pi/3$	0.8779			135°	0.6201	1.1505			
$3\pi/4$	1.0717								
$5\pi/6$	1.4417								

$2\alpha$	$R_c/\rho$	$\nu=0.3$	$\Omega$	$\nu=0.35$	$\nu=0.4$
0	0.01	0.5638	0.5432	0.5194	
	0.05	0.5086	0.4884	0.4652	
	0.1	0.4518	0.4322	0.4099	
	1	0.1314	0.1217	0.1110	
$\pi/3$	0.01	0.6678	0.6436	0.6157	
	0.05	0.5998	0.5769	0.5506	
	0.1	0.5302	0.5087	0.4842	
	1	0.1435	0.1349	0.1252	
$\pi/2$	0.01	0.6290	0.6063	0.5801	
	0.05	0.5627	0.5415	0.5172	
	0.1	0.4955	0.4759	0.4535	
	1	0.1328	0.1256	0.1174	
$3\pi/4$	0.01	0.4114	0.3966	0.3795	
	0.05	0.3652	0.3516	0.3359	
	0.1	0.3206	0.3082	0.2938	
	1	0.1037	0.0988	0.0932	



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

***ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE***

***Prima sessione 2019***

***Seconda prova scritta del 12 giugno 2019***

**TEMA Meccatronica**

Si discuta il funzionamento di un convertitore dc-dc a commutazione che consenta di ottenere una tensione di uscita superiore rispetto a quella di ingresso. In particolare si evidenzino i seguenti punti.

1. Si riporti il circuito elettrico e si descriva il principio di funzionamento, analizzando le differenze tra modalità di funzionamento continuo e discontinuo.
2. Si discutano le principali fonti di perdita che limitano l'efficienza del convertitore, con particolare riferimento ai dispositivi di commutazione e all'induttore.

*A*



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

*Prima sessione 2019*

*Seconda prova scritta del 12 giugno 2019*

**TEMA Gestionale**

Prima parte

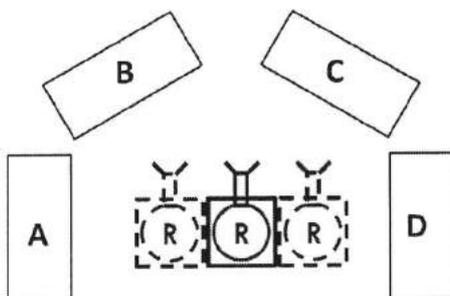
Spiegare i principi e le tecniche del lean management. Inoltre ipotizzare un piano di implementazione della filosofia lean in un'impresa. Si ipotizzi che

- l'impresa sia un'impresa manifatturiera interessata ad adottare il lean management nei propri processi produttivi;
- l'impresa in precedenza non ha mai riorganizzato in modo lean l'azienda.

Seconda parte

In un impianto industriale sono presenti 4 macchine a controllo numerico servite da uno o più robot. I dati delle macchine sono riportati in tabella.

	A	B	C	D	Robot
LOAD [min]	1	0.5	1	0.5	-
UNLOAD [min]	1	0.5	1	0.5	-
RUN [min]	5	1	2	3	-
C [€/h]	90	50	70	60	55



In figura sono riportate le due configurazioni alternative, ovvero:

- 1 robot che serve 4 macchine
- 2 robot che servono 2 macchine

E' richiesto di:

1. Determinare la durata del ciclo ripetitivo e la produttività delle due configurazioni utilizzando come criterio di priorità il costo orario delle macchine.
2. Calcolare il fattore di inattività, i coefficienti di utilizzo, il costo produttivo unitario [€/pz] delle due configurazioni. Cosa suggeriscono i risultati ottenuti?
3. Determinare la durata del ciclo ripetitivo e la produttività della prima configurazione (1 robot che serve 4 macchine) utilizzando come criterio di priorità l'ozio delle macchine.
4. Descrivere le caratteristiche principali dei sistemi FMS (Flexible Manufacturing Systems).



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

*Prima sessione 2019  
Seconda prova scritta del 12 giugno 2019*

**TEMA Materiali**

Un polimero ha un comportamento meccanico che può essere rappresentato con un elemento di Maxwell: una molla di costante elastica  $G = 3 \cdot 10^5$  Pa in serie con un pistone di viscosità  $\eta = 5 \cdot 10^6$  Pa\*s. A  $t = 0$  s viene applicato uno sforzo costante di 15 kPa per una durata di 600 s. A  $t = 600$  s la deformazione viene mantenuta costante, mentre il rilassamento dello sforzo viene monitorato in funzione del tempo.

- Qual è il valore della deformazione  $\epsilon$  immediatamente dopo l'applicazione dello sforzo a  $t = 0$  s?
- Qual è il valore della deformazione  $\epsilon$  immediatamente dopo l'applicazione dello sforzo a  $t = 600$  s?
- Qual è il valore dello sforzo a  $t = 900$  s?
- Disegnare le curve di sforzo e deformazione in funzione del tempo tra  $t = 0$  e  $t = 900$  s.

Descrivere i fenomeni di creep e rilassamento associati al comportamento viscoelastico dei materiali.

Descrivere la variazione di rigidità con la temperatura per materiali polimerici amorfi, semicristallini ed elastomerici. Correlare tale andamento ai meccanismi di deformazione e scorrimento che avvengono nel polimero a livello molecolare.

Indicare analogie e differenze del comportamento viscoelastico di polimeri e vetri inorganici. Descrivere il processo di tempra termica del vetro quale sfruttamento del suo comportamento viscoelastico.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

***ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE***

***Prima sessione 2019***

***Seconda prova scritta del 12 giugno 2019***

**TEMA Bioingegneria**

Il candidato definisca le proprietà dei materiali biostabili, biodegradabili, biorisorbibili, bioattivi e bioinerti. In particolare, descriva le caratteristiche di materiali polimerici biorisorbibili e bioattivi e le loro applicazioni in ambito biomedico e nell'ingegneria dei tessuti.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

***ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE***

***Prima sessione 2019***

***Seconda prova scritta del 12 giugno 2019***

**TEMA Sicurezza**

Il D.Lgs. 9 Aprile 2008 “Testo unico per la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro”, rappresenta una tappa importante in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

Il testo unico ha riassunto e ordinato in sé le normative antecedenti e suddivise per settori.

In candidato illustri le principali figure professionali che entrano in gioco nel sistema della sicurezza. Descriva inoltre il ruolo delle figure definite nel titolo IV e degli adempimenti che le stesse devono ottemperare ai fini della sicurezza nei cantieri temporanei e mobili.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

***ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE  
Prima sessione 2019  
Seconda prova scritta del 12 giugno 2019***

**TEMA Aerospaziale**

Il candidato proceda, nell'ambito della missione spaziale individuata, al dimensionamento dei principali sottosistemi giustificando numericamente le scelte.

Delinei quindi una plausibile time-schedule con le principali milestone di realizzazione e di controllo da parte dell'ente preposto (agenzia spaziale).

Scelto quindi un particolare strumento ne analizzi in dettaglio il funzionamento, le prestazioni e i punti deboli ( failure analysis) lungo il percorso realizzativo dei vari modelli descrivendo i tests per gli stessi (STM,QM etc.) e compilando una test matrix che illustri la validità del metodo.

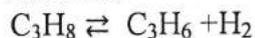


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**  
*Prima sessione 2019*  
*Seconda prova scritta del 12 giugno 2019*

**TEMA Chimica**

Il propano ( $C_3H_8$ ) viene deidrogenato a propilene ( $C_3H_6$ ) in un reattore catalitico secondo la reazione:



L'alimentazione (P0) è costituita da propano e viene miscelata con la portata di riciclo (P4) prima di entrare nel reattore (P1). La portata in uscita dal reattore (P2) alimenta un separatore dal quale si ottengono due portate:

- una portata (P3) contenente  $H_2$ ,  $C_3H_6$  e 0.555% del propano non reagito in uscita dal reattore, che costituisce il prodotto del processo;
- una portata (P4) contenente il resto del  $C_3H_8$  non reagito e il 5% del propilene ( $C_3H_6$ ) uscito in P3, che viene riciclata con l'alimentazione.

La conversione totale del propano è dell'90%. Base di calcolo 100 mol/h

Calcolare:

- Tutte le portate e le composizioni molari
- Il rapporto di riciclo (moli riciclate/moli fresche alimentate)
- La conversione per passaggio

Disegnare lo schema di processo ed indicare la tipologia di reattore e il tipo di catalizzatore utilizzato in questa deidrogenazione catalitica (reazione endotermica). Ci sono altre vie per ottenere il propilene? Argomentare.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019**

**Seconda prova scritta del 12 giugno 2019**

**TEMA Elettrica**

I parametri relativi al circuito equivalente semplificato riferito al secondario di un trasformatore trifase (potenza nominale  $P_n = 400$  kVA, tensione nominale secondaria  $V_{2n} = 693$  V, frequenza  $f = 50$  Hz, rapporto spire  $n = 50$ , collegamento triangolo/stella) sono i seguenti:

**corrente e perdite a vuoto**                     $i_0 = 2.4 \%$                      $p_0 = 0.31 \%$   
**tensione e perdite di corto circuito**    $v_{cc} = 4.64 \%$                      $p_{cc} = 1.03 \%$

La macchina alimenta un carico alla tensione  $V_2 = V_{2n}$  erogando 315.4 kW con fattore di potenza 0.872 in ritardo.

- a) Determinare, con riferimento al circuito equivalente semplificato del trasformatore con collegamento a stella:
- i parametri resistivo ed induttivo  $R_{20}$  e  $X_{20}$  del ramo derivato **riferiti al secondario**;
  - i parametri resistivo ed induttivo  $R''$  e  $X''$  del ramo serie **riferiti al secondario**;
  - tensione di alimentazione, corrente assorbita al primario e rendimento nelle condizioni di carico considerate.

Si supponga che il carico sia costituito da un motore asincrono trifase (tensione nominale  $V_{2n}$ , numero di poli  $2p = 6$ , collegamento fasi a stella) di cui si dispone dei seguenti dati:

**Resistenza di una fase di statore**     $R_1 = 47.3 \text{ m}\Omega$   
**Coppia di avviamento alla tensione nominale**                     $C_a = 1830 \text{ Nm}$   
**Prova al sincronismo**                     $P_{10} = 7.22 \text{ kW}$                      $I_{10} = 75 \text{ A}$   
(tensione di alimentazione 690 V)

- b) Con riferimento al circuito equivalente semplificato del motore con collegamento a stella, determinare
- resistenza  $R_{12}$  e reattanza  $X$  del ramo serie;
  - velocità e rendimento del motore nelle condizioni di carico considerate;
  - il rendimento complessivo dell'insieme trasformatore-motore.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

**TEMA Aerospaziale**

Si consideri un satellite meteo di massa 2000 kg lanciato dalla base di Kourou nella Guyana Francese (LAT 5.15518 N ,LONG 52.64779 W) per essere collocato in orbita sun sincrona dawn - dusk (6 AM del nodo ascendente) circolare alla quota di 800 km.

**Fase di lancio:**

Si calcoli l'azimuth effettivo di lancio  $\beta$  ( Nel calcolo di  $\beta$  si consideri anche l'effetto della rotazione della Terra ) e si verifichi la compatibilità' con gli angoli possibili dalla base ( $349^\circ < \beta < 90^\circ$ ).

Si ipotizzi che a causa di un problema col lanciatore, l'orbita finale ottenuta abbia inclinazione corretta ma longitudine del nodo ascendente con errore  $\Delta\Omega = -2^\circ$  e forma dell'orbita non perfettamente circolare. ( $e=0.05$ ,  $a=7200$  km). Si determini in che punto dell'orbita debba essere eseguita la manovra correttiva per il nodo ascendente e si determini la possibilità di circolarizzare l'orbita mantenendo la condizione di sun sincronismo nella stessa manovra o se si necessita di una dedicata manovra nel piano. Si quantifichino i  $\Delta V$  necessari e si calcoli la variazione di massa  $\Delta M$  con manovre impulsive e  $I_{sp}=270$  s.

**Fase operativa:**

Il satellite sia stabilizzato a tre assi con sistemi ottici NADIR pointing e la verifica del puntamento sia eseguita da un sotto-sistema di bordo per la determinazione di assetto che usi bersagli esterni. Si descriva a parole il sotto sistema e la tipologia di sensori necessari evidenziandone la complementarità.

Supponendo di avere pannelli solari con celle a elevata efficienza rivolti sempre verso il Sole si determini la superficie necessaria per garantire una potenza al bus di 600W. Si evidenzi se esistono fasi di eclisse durante l'operazione del satellite a cavallo dei solstizi

**Fase di deorbiting:**

Si voglia a fine vita fare distruggere il satellite mediante un rientro controllato in atmosfera ottenendo alla quota di 100 km un flight path angle pari a  $-6^\circ$ . Trascurando l'effetto dell'atmosfera si calcoli il punto di manovra, il  $\Delta V$  necessario e il tempo per il raggiungimento della quota di 100 km ipotizzando di raggiungere la quota richiesta con un variazione totale di anomalia minore di  $180^\circ$ .

Il candidato assuma eventuali dati mancanti indicando i motivi delle scelte.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

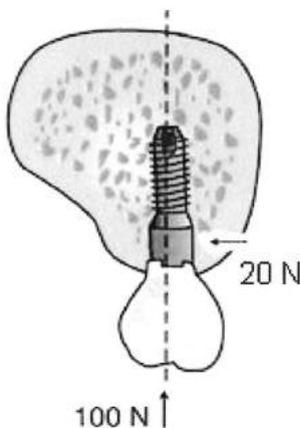
**TEMA Bioingegneria**

Facendo riferimento ad un dispositivo protesico endosseo, quale un impianto dentale, si riporti una dettagliata descrizione della situazione clinica in esame, dei processi di interazione tra dispositivo e tessuti biologici circostanti, del recupero di funzionalità conseguente all'applicazione del dispositivo, nonché delle metodiche finalizzate alla progettazione del dispositivo stesso.

In riferimento agli aspetti di progettazione del dispositivo, il candidato soffermi la propria attenzione sui seguenti punti chiave:

- progettazione/identificazione del/i materiale/i costituente/i: requisiti chimici e meccanici;
- progettazione delle caratteristiche superficiali ai fini della interazione con il tessuto osseo;
- progettazione della conformazione geometrica: requisiti meccanici e clinico/chirurgici.

Il candidato proponga infine una progettazione di massima (in termini di dimensionamento meccanico) in considerazione di una condizione di impianto singolo e dei valori tipici di carico (come riportato in figura).





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

***TEMA Ingegneria Chimica***

La multinazionale petrolifera GlobalPetroleum commissiona al Candidato la progettazione di una apparecchiatura per la distillazione continua dell'acetone da una soluzione acquosa. L'alimentazione è un liquido saturo che contiene 10 mol% di acetone. È richiesto di ottenere acetone alla purezza di almeno 95 mol% e che l'effluente acquoso contenga meno di 1 mol% di acetone.

Si richiede di:

- 1) calcolare il numero di stadi ideali;
- 2) progettare i piatti della colonna considerando l'alimentazione minima al 70% del massimo (10 000 kg/h);
- 3) includere nel progetto uno schema con servizi, strumentazione e sistema di controllo e discuterlo brevemente.



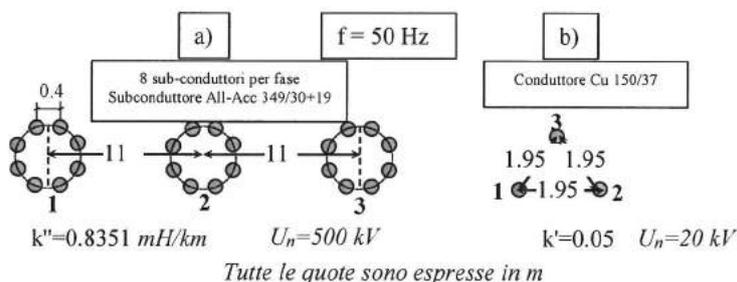
**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

**Il candidato svolga uno dei due temi proposti, a scelta.**

**TEMA Elettrica n. 1 (impianti)**

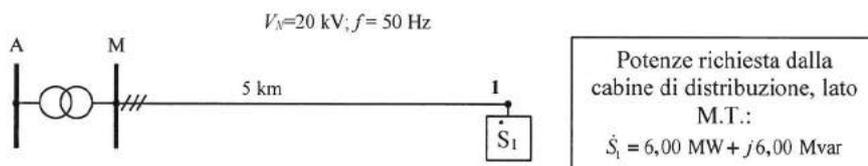
1) Con riferimento alle due teste di palo a) e b) mostrate in figura e con i dati ivi specificati si calcolino l'impedenza longitudinale chilometrica e l'ammettenza trasversale chilometrica. Si assuma per la conduttanza trasversale valore nullo in entrambi i casi.



Per il caso a) si calcoli l'impedenza totale alla sequenza zero considerando che: la linea in altissima tensione (neutro a terra) è lunga complessivamente 300 km e la resistività del terreno è 100  $\Omega\text{m}$ ;

Per il caso b) si calcoli l'impedenza assoluta alla sequenza zero considerando che la linea è a neutro isolato, che l'altezza media sul terreno  $H_m = 12 \text{ m}$  e che è lunga complessivamente 6 km;

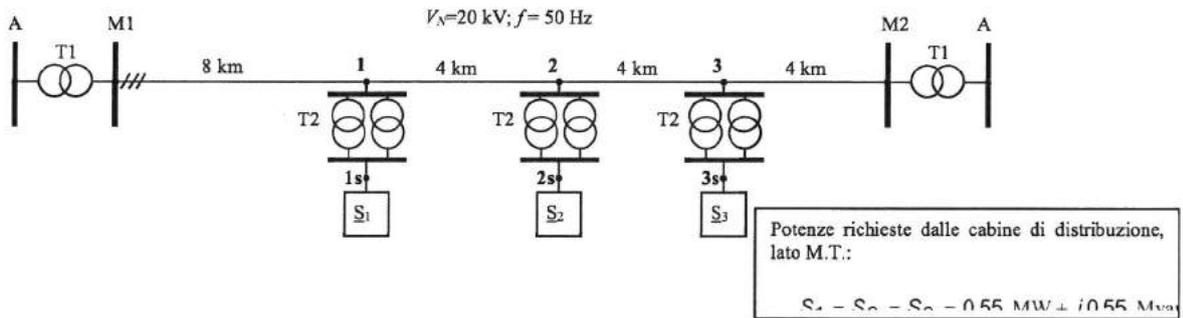
2) Con riferimento alla linea trifase di figura, esercita a tensione nominale  $U_n = 20 \text{ [kV]}$ , si richiede di:



- dimensionare la linea in cavo ARG7HIRX ( $\rho_{20^\circ\text{C}} = 0.03 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ) sapendo che si prevede l'utilizzo di tre cavi unipolari posati a trifoglio a contatto direttamente interrati in terreno a resistività termica pari a 200  $^\circ\text{Ccm/W}$  e che la massima caduta di tensione ammissibile deve essere del 1 %;
- dopo il dimensionamento, calcolare la massima caduta di tensione percentuale;
- calcolare le perdite elettriche Joule complessive e quelle dielettriche ( $\tan \delta = 5 \cdot 10^{-3}$ );
- supponendo che le protezioni della conduttura in cavo intervengano in  $t = 2 \text{ s}$  e che la corrente di corto circuito massima termicamente equivalente per tutto il tempo  $t$  sia 12,5 kA, verificare se la sezione scelta è adeguata ( $\vartheta_{\text{esercizio}} = 90^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta_{\text{massima}} = 250^\circ\text{C}$ );
- nell'ipotesi che il cliente 1 voglia rifasare il proprio carico fino a  $\cos \varphi_N = 0.95$ , si calcoli la potenza del gruppo di rifasamento, si scelga il livello di tensione su cui installarlo e il collegamento.

f) quanto valgono le perdite attive nella situazione di cui al punto e)?

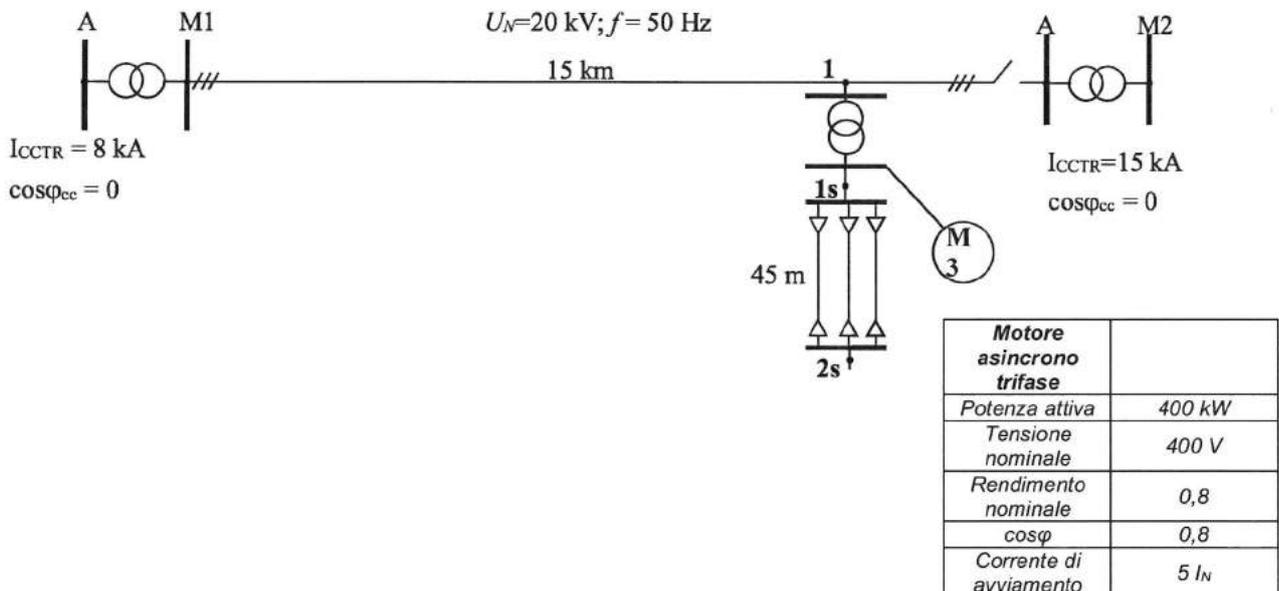
3) Con riferimento alla rete trifase alimentata ad entrambe le estremità (a neutro isolato) di figura, esercita a tensione nominale  $U_N=20$  [kV], si richiede di:



- dimensionare la linea aerea della rete trifase di distribuzione (a neutro isolato) alimentata alle due estremità, in base ai dati stabiliti in figura e considerando conduttori in lega di alluminio ed una caduta di tensione ammissibile del 2 % (si consideri come distanza inter-fase  $D = 1,2$  m);
- dopo il dimensionamento, calcolare la massima caduta di tensione percentuale;
- con la stessa sezione scelta per il punto a) e b), calcolare nell'ipotesi di linea a sbalzo da M1, la massima caduta di tensione percentuale;
- con la stessa sezione scelta per il punto a) e b), calcolare nell'ipotesi di linea a sbalzo da M2, la massima caduta di tensione percentuale.

4) Si supponga che tutta la linea M1-M2 di figura sia costituita da conduttori in rame con induttanza chilometrica  $\ell=1,2$  [mH/km] e resistenza chilometrica  $r = 0,1797$  [ $\Omega$ /km] e che per ciascuna linea in cavo 1s-2s i parametri alla sequenza diretta siano  $r_d = 78$  [m $\Omega$ /km] e reattanza chilometrica  $x_d = 78$  [m $\Omega$ /km] e che inoltre, per tali cavi, si abbia  $\underline{z}_0=3,5 \underline{z}_d$ . L'interruttore in M2 risulta aperto.

Dalla sbarra 1s è alimentato un motore asincrono di grossa taglia i cui dati sono raccolti in figura



Il trasformatore derivato nel punto 1 è di gruppo Dyn/11 e ha le seguenti caratteristiche:

<i>Potenza</i>	$U_1$	$U_2$	$u_{cc} \%$	$\cos\varphi_{cc}$
1000 [kVA]	20 [kV]	400 [V]	4,0	0,22

Si supponga inoltre che le sbarre MT  $M1$  e  $M2$  siano alimentate da due trasformatori 132 kV/20 kV (*gruppo YNyn6*;  
 $P = 40 \text{ MVA}$ ;  $u_{cc} = 15 \%$ ;  $\cos\varphi_{cc} = 0,04$ ).

- Si calcolino la corrente di guasto nel caso di cortocircuito trifase in 2s senza motore.
- Si calcolino la corrente di guasto nel caso di cortocircuito trifase in 1s senza motore.
- Si calcolino la corrente di guasto nel caso di cortocircuito monofase in 2s senza motore.
- Si calcolino la corrente di guasto nel caso di cortocircuito trifase in 1s considerando la presenza del motore.

Per le corde aeree si usino le tabelle CEI-UNEL seguenti:

Tabella CEI-UNEL 01437 per corde di rame crudo

Grandezza	Formazione: numero fili $\times$ d		Sezione teorica mm <sup>2</sup>	Diametro esterno mm	Massa teorica kg/km	Carico di rottura daN	Resistenza elettrica teorica a 20 °C $\Omega$ /km
	n. $\times$ mm						
16/7	7 $\times$ 1,70		15,69	5,1	144,1	664,0	1,140
25/7	7 $\times$ 2,14		25,18	6,42	228,3	1028	0,7199
35/7	7 $\times$ 2,52		34,91	7,56	316,6	1426	0,5192
40/7	7 $\times$ 2,70		40,08	8,1	363,4	1637	0,4522
50/7	7 $\times$ 3,00		49,48	9	448,7	2021	0,3663
65/19	19 $\times$ 2,10		65,81	10,5	602,6	2632	0,2781
70/19	19 $\times$ 2,14		68,34	10,7	625,8	2733	0,2678
95/19	19 $\times$ 2,52		94,76	12,6	867,7	3790	0,1831
120/19	19 $\times$ 2,80		117,0	14	1071	4679	0,1564
150/37	37 $\times$ 2,30		153,7	16,1	1415	5949	0,1196
230/37	37 $\times$ 2,80		227,8	19,6	2096	8817	0,08073

Tabella CEI-UNEL 01435 per corde di alluminio crudo

Grandezza	Formazione: numero fili $\times$ d		Sezione teorica mm <sup>2</sup>	Diametro esterno mm	Massa teorica kg/km	Carico di rottura daN	Resistenza elettrica teorica a 20 °C $\Omega$ /km
	n. $\times$ mm						
25/7	7 $\times$ 2,14		25,18	6,42	68,00	431,0	1,137
35/7	7 $\times$ 2,50		34,36	7,5	94,10	575,0	0,8332
50/7	7 $\times$ 3,00		49,48	9	135,5	790,0	0,5786
70/19	19 $\times$ 2,14		68,34	10,7	188,0	1169	0,4210
95/19	19 $\times$ 2,50		93,27	12,5	256,6	1559	0,3085
120/19	19 $\times$ 2,90		125,5	14,5	345,3	2003	0,2292
240/37	37 $\times$ 2,90		244,4	20,3	673,8	3900	0,1180
500/61	61 $\times$ 3,20		490,6	28,8	1355	7285	0,05690
800/61	61 $\times$ 4,00		766,5	36,0	2118	10970	0,03770

Tabella CEI-UNEL 01436 per corde di lega di alluminio

Grandezza	Formazione: numero fili $\times$ d		Sezione teorica mm <sup>2</sup>	Diametro esterno mm	Massa teorica kg/km	Carico di rottura daN	Resistenza elettrica teorica a 20 °C $\Omega$ /km
	n. $\times$ mm						
35/7	7 $\times$ 2,52		34,91	7,56	95,60	995,0	0,9429
50/7	7 $\times$ 3,00		49,48	9	135,5	1410	0,6653
70/19	19 $\times$ 2,14		68,34	10,7	188,0	1948	0,4840
95/19	19 $\times$ 2,52		94,76	12,6	260,7	2701	0,3491
120/19	19 $\times$ 2,90		125,5	14,5	345,3	3577	0,2636
150/37	37 $\times$ 2,25		147,1	15,75	405,6	4193	0,2253
185/37	37 $\times$ 2,52		184,5	17,64	508,8	5259	0,1797
200/37	37 $\times$ 2,60		196,4	18,2	541,6	5599	0,1688
240/37	37 $\times$ 2,90		244,4	20,3	673,8	6965	0,1357
300/61	61 $\times$ 2,52		304,2	22,68	840,6	8671	0,1092
400/61	61 $\times$ 2,90		402,9	26,1	1113	11480	0,08247

Tabella CEI-UNEL 01434 per corde di alluminio-acciaio

Grandezza	Formazione: numero fili $\times$ d		Sezione teorica mm <sup>2</sup>			Rapporto tra sez. All e Acc	Diametro esterno mm	Massa teorica totale kg/km	Carico di rottura con acciaio tipo 170 daN	Resistenza elettrica teorica a 20 °C $\Omega$ /km
	n. $\times$ mm		All	Acc	Tot					
	All	Acc								
42/6 + 1	6 $\times$ 3,00	1 $\times$ 3,00	42,41	7,069	49,48	6,0	9	171,5	1613	0,6766
68/12 + 7	12 $\times$ 2,68	7 $\times$ 2,68	67,69	39,49	107,2	1,7	13,4	496,3	6195	0,4266
128/26 + 7	26 $\times$ 2,50	7 $\times$ 1,95	127,6	20,90	148,5	6,1	15,85	516,2	4909	0,2261
191/26 + 7	26 $\times$ 3,06	7 $\times$ 2,38	191,2	31,14	222,3	6,1	19,38	772,0	7122	0,1509
212/30 + 7	30 $\times$ 3,00	7 $\times$ 3,00	212,0	49,48	261,5	4,3	21	973,7	9866	0,1362
265/26 + 7	26 $\times$ 3,60	7 $\times$ 2,80	264,6	43,10	307,7	6,1	22,8	1068	9752	0,1090
349/30 + 19	30 $\times$ 3,85	19 $\times$ 2,30	349,2	78,94	428,1	4,4	26,9	1586	15610	0,08274
382/54 + 7	54 $\times$ 3,00	7 $\times$ 3,00	381,7	49,48	431,2	7,7	27	1443	12710	0,07573
416/30 + 19	30 $\times$ 4,20	19 $\times$ 2,50	415,6	93,26	508,9	4,5	29,3	1881	18490	0,06952
434/54 + 7	54 $\times$ 3,20	7 $\times$ 3,20	434,2	56,29	490,5	7,7	28,8	1641	14060	0,06656
520/54 + 19	54 $\times$ 3,50	19 $\times$ 2,10	519,5	65,80	585,3	7,9	31,5	1953	16850	0,05564
629/54 + 19	54 $\times$ 3,85	19 $\times$ 2,30	628,6	78,94	707,5	8,0	34,6	2368	20050	0,04598
748/54 + 19	54 $\times$ 4,20	19 $\times$ 2,50	748,1	93,26	841,4	8,0	37,7	2801	23770	0,03864
1657/150 + 37	150 $\times$ 3,75	37 $\times$ 2,68	1657	208,7	1866	7,9	56,26	6269	53280	0,01758

Per le condutture in cavo si usino i seguenti dati:

PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE

sezione nominale mm <sup>2</sup>	posa in aria				posa in terra							
					R <sub>i</sub> = 100 °C cm/W				R <sub>i</sub> = 200 °C cm/W			
	Cu ...	Al	Cu ..	Al	Cu ...	Al	Cu ..	Al	Cu ...	Al	Cu ..	Al
1x 25	176	—	157	—	158	—	152	—	123	—	118	—
1x 35	213	—	190	—	189	—	182	—	146	—	141	—
1x 50	255	200	228	177	224	174	216	168	172	134	166	129
1x 70	320	250	284	221	274	214	265	206	209	163	202	158
1x 95	390	306	346	269	328	256	316	246	249	195	241	188
1x120	450	353	399	311	373	292	360	281	282	221	273	213
1x150	510	400	451	353	416	326	402	314	313	246	304	238
1x185	585	461	520	406	471	370	456	357	354	278	344	269
1x240	690	545	614	481	544	429	528	415	407	321	397	311
1x300	790	630	705	552	611	483	595	468	456	361	446	351
1x400	910	730	816	645	688	550	673	534	512	410	503	400
1x500	1050	850	944	753	776	627	761	611	575	465	568	455
1x630	1190	965	1087	877	873	713	856	696	645	528	637	518

RESISTENZA APPARENTE DEL CONDUTTORE A 90°C (Ohm/km)

Cavi unipolari 

Sezione mm <sup>2</sup>	Tutte le tensioni	
	conduttori in rame	cond. in alluminio
10	2.35	—
16	1.48	—
25	0.936	—
35	0.675	—
50	0.499	0.818
70	0.345	0.566
95	0.249	0.409
120	0.197	0.323
150	0.162	0.265
185	0.129	0.211
240	0.0995	0.163
300	0.0805	0.133
400	0.0645	0.106
500	0.0521	0.0854
630	0.0429	0.0704

REATTANZA DI FASE A 50 Hz (Ohm/km)

Cavi unipolari 

Sezione mm <sup>2</sup>	1.8/3 kV	3.6/6 kV	6/10 kV	8.7/15 kV	12/20 kV	15/20 kV
10	0.13	0.14	0.16	—	—	—
16	0.12	0.14	0.15	0.15	—	—
25	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	—
35	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15
50	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14
70	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13
95	0.098	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13
120	0.095	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12
150	0.092	0.097	0.10	0.11	0.11	0.12
185	0.089	0.094	0.10	0.11	0.11	0.11
240	0.086	0.091	0.097	0.10	0.11	0.11
300	0.084	0.089	0.095	0.099	0.10	0.11
400	0.083	0.087	0.092	0.096	0.099	0.10
500	0.081	0.084	0.089	0.092	0.096	0.098
630	0.079	0.082	0.087	0.090	0.093	0.096

VALORI DELLA CAPACITÀ A 50Hz (μF/km)

Sezione mm <sup>2</sup>	1.8/3 kV		3.6/6 kV		6/10 kV	8.7/15 kV	12/20 kV	15/20 kV	15/30 kV	26/45 kV
	schermati	armati	schermati	armati						
10	0.19	0.16	0.15	0.14	0.16	—	—	—	—	—
16	0.23	0.18	0.17	0.16	0.18	0.15	—	—	—	—
25	0.27	0.21	0.20	0.18	0.21	0.18	0.17	—	—	—
35	0.30	0.23	0.23	0.19	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	—
50	0.34	0.25	0.26	0.22	0.26	0.21	0.18	0.17	0.15	—
70	0.40	0.28	0.30	0.24	0.29	0.24	0.21	0.19	0.16	0.14
95	0.45	0.30	0.33	0.25	0.32	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16
120	0.50	0.32	0.37	0.28	0.36	0.29	0.25	0.22	0.19	0.17
150	0.55	0.34	0.40	0.29	0.38	0.31	0.27	0.24	0.20	0.19
185	0.60	0.37	0.44	0.31	0.42	0.34	0.29	0.26	0.22	0.21
240	0.68	0.38	0.49	0.32	0.47	0.37	0.32	0.28	0.24	0.23
300	0.75	0.41	0.54	0.35	0.52	0.42	0.35	0.31	0.27	0.25
400	0.83	0.44	0.60	0.38	0.57	0.45	0.39	0.34	0.29	0.27
500	0.88	0.45	0.64	0.39	0.64	0.51	0.43	0.38	0.32	0.30
630	0.92	—	0.72	—	0.73	0.58	0.49	0.43	0.36	0.33

## Tema Elettrica n. 2 (progettazione macchine)

Progettare un motore asincrono trifase a 6 poli con rotore a doppia gabbia, per servizio intermittente 40% operativo e 60% fermo, con una costante di tempo termica ben superiore a quella del periodo del ciclo. La potenza richiesta quando il motore opera è pari a  $P=75$  kW, ed il motore è alimentato ad una tensione nominale  $V_n = 400$  V e frequenza 50 Hz.

E' richiesto:  $T_{max} \geq 3 T_{nom}$  e  $T_{spunto} \geq T_{nom}$  ed un fattore di potenza nominale  $\cos\phi > 0.85$ .

Presentare il progetto completo di calcoli, disegni ed avvolgimento, compilando la seguente tabella riassuntiva:

Scelte progettuali		Statore			
Flusso magnetico per polo		Diametro interno			
Induzione al traferro		Lunghezza assiale			
Carico elettrico (A/m)		Altezza cava/dente			
Densità di corrente statore		Larghezza dente			
Densità di corrente rotore		Altezza corona			
		Diametro esterno			
Rotore		Avvolgimenti di statore e di rotore			
Spessore traferro		Numero di Cave		Numero di Cave	
Altezza cava/dente		N.conduttori / fase		N.conduttori / fase	
Larghezza dente		Paralleli cava		Percorsi parallelo	
Tipo conduttore e dimensioni		Paralleli macchina		Paralleli filo	
Diametro albero		Tipo conduttore e dimensioni		Diametro conduttore	
				Coeff. avvolgimento	
Circuito magnetico ( $V_n$ )		Pesi e perdite		VERIFICHE	
FMM (traferro)		Rame Statore		Perdite totali	
FMM (denti)		Conduttore rotore		Rendimento	
FMM (corona)		Ferro statore		scorrimento nom.	
FMM (rotore)		Ferro rotore		$\cos \phi$ nominale	
Corr.Magnetizz.		Perdite Joule stat.		$T_{max} / T_{nom}$	
Reatt.magnetizz.		Perdite Joule rot.		$T_{spunto} / T_{nom}$	
Reatt. dispersione		Perdite ferro			
		Perdite meccanic.			



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

**TEMA "ENERGETICA"**

Un edificio ad uso uffici di recente costruzione si sviluppa su tre piani e presenta una pianta rettangolare con le seguenti dimensioni:

- 30 m esposti a Sud
- 25 m sposti a Est

Si consideri soltanto il piano intermedio di altezza pari a 3 m. Le superfici disperdenti sono le superfici laterali esposte a Sud, Est e Ovest. Il pavimento e il soffitto possono essere considerati adiabatici in quanto confinano con ambienti di uguale destinazione d'uso. La superficie esposta a Sud è completamente vetrata con trasmittanza termica pari a  $1.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ; inoltre, è presente un sistema di schermatura solare esterno con fattore di ombreggiamento pari a 0.7 costante tutto l'anno.

Sulle superfici rivolte a Est e Ovest è presente una superficie finestrata di  $15 \text{ m}^2$  ciascuna, con una trasmittanza termica di  $1.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ; in questo caso non è presente alcun sistema di ombreggiamento e non sono presenti ostacoli all'esterno. La restante superficie opaca è realizzata in calcestruzzo e isolamento termico esterno, con una trasmittanza complessiva di  $0.18 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

All'interno dell'edificio saranno presenti 30 persone con 30 computer e il carico di illuminazione sarà pari a  $5 \text{ W}/\text{m}^2$ , in modo continuativo dalle ore 9:00 alle ore 18:00.

Le condizioni interne di progetto sono:

- Estate: temperatura dell'aria interna di  $26^\circ\text{C}$  e l'umidità relativa compresa tra 50 e 60%.
- Inverno: temperatura dell'aria interna di  $20^\circ\text{C}$  e l'umidità relativa compresa tra 50 e 60%.

Le condizioni esterne di progetto sono:

- Estate: temperatura massima dell'aria di  $34^\circ\text{C}$ , umidità specifica  $13.5 \text{ g}_v/\text{kg}_{\text{as}}$ , escursione termica di  $11^\circ\text{C}$ .
- Inverno: temperatura dell'aria di  $-5^\circ\text{C}$ , umidità relativa del 90%.

Quesiti:

- Determinare la potenza di progetto invernale.
- Determinare la potenza di progetto estiva.

Per la climatizzazione del piano considerato si prevedono due soluzioni alternative:

1. Impianto a tutta aria
2. Impianto con ventilconvettori ad acqua e aria primaria.

Dimensionare la centrale trattamento dell'aria per le due soluzioni, riportando le trasformazioni nel diagramma dell'aria umida allegato. Si valuti anche il risparmio energetico legato al recuperatore di calore installato nella centrale di trattamento dell'aria. I parametri non esplicitati possono essere assunti dal candidato in conformità alla normativa di settore.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

**TEMA Gestionale**

Prima parte

Di seguito si riportano, in ordine sparso, le voci incluse nei bilanci riclassificati della Bianchi S.p.A. con i relativi valori, omettendo le voci il cui valore è zero in tutti e tre gli anni. Si chiede al candidato di:

- redigere lo stato patrimoniale (SP) riclassificato finanziariamente;
- redigere lo stato patrimoniale (SP) riclassificato funzionalmente;
- redigere il conto economico (CE) riclassificato in forma scalare a ricavi e costo del venduto e la sua versione percentualizzata;
- calcolare, esplicitando la modalità di calcolo e motivando eventuali approssimazioni, le seguenti voci: capitale di terzi a interesse implicito, capitale di terzi a interesse esplicito, capitale investito nella gestione extra-caratteristica, reddito della gestione extra-caratteristica;
- calcolare, esplicitando la modalità di calcolo, motivando eventuali approssimazioni e arrotondando alla seconda cifra decimale, i seguenti indici: ROE, ROA, ROI, ROI', ROS, rigiro del capitale investito netto nella gestione caratteristica, effetto della prima e seconda leva finanziaria, quoziente di indebitamento, quoziente di indebitamento finanziario, grado di elasticità degli impieghi e delle fonti, indice di disponibilità, indice di liquidità, indice di copertura delle immobilizzazioni, durata media dei crediti vs clienti e dei debiti vs fornitori, spread, durata media delle scorte di materie prime e delle scorte di prodotti finiti;
- analizzare l'andamento economico-finanziario dell'azienda nel triennio, toccando: redditività; effetto delle leve finanziarie; struttura e solidità patrimoniale; equilibrio tra fabbisogni e mezzi di copertura; ciclo finanziario

<b>Voci SP riclassificato finanziariamente</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Ratei e risconti attivi a breve	1.255.488	2.903.058	3.574.241
Immobilizzazioni tecniche	106.321.913	119.050.675	136.038.658
Fondi spese future	16.933.533	18.370.299	18.613.252
Debiti finanziari a breve	83.007.326	82.683.919	164.158.227
Disponibilità, di cui:	63.819.644	65.751.287	67.779.914
<i>materie prime, sussidiarie e di consumo</i>	30.916.885	31.974.870	30.104.207
<i>prodotti in corso di lavorazione e semilavorati</i>	7.864.076	9.989.356	11.023.587
<i>prodotti finiti e merci</i>	25.038.683	23.787.061	26.652.120
Immobilizzazioni finanziarie (esclusi crediti operativi a lungo)	118.617.060	125.617.299	163.358.101
Capitale proprio	91.795.369	97.136.461	95.250.406
Fondi ammortamento	98.451.272	107.510.772	118.281.790
Ratei e risconti passivi a breve	225.341	521.982	1.357.379
Liquidità differite	134.478.387	149.285.322	159.334.314
Crediti operativi a lungo termine	4.875.894	19.020.408	30.534.894
Debiti a medio-lungo termine	63.676.819	112.777.555	118.554.883
Immobilizzazioni immateriali	23.374.085	25.883.845	34.256.124
Liquidità immediate	487.759	6.001.990	482.883
Esigibilità	99.140.570	94.512.896	79.143.192

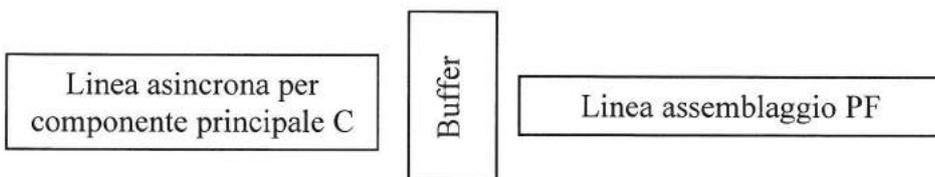
<b>Voci SP riclassificato funzionalmente</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Liquidità immediate esclusa cassa	471.195	5.985.040	474.370
Ratei e risconti attivi operativi	1.000.833	2.903.058	3.189.404
Debiti operativi (esclusi ratei e risconti)	96.354.270	91.727.144	74.907.636
Ratei e risconti passivi operativi	225.341	521.982	1.357.379
Debiti finanziari (esclusi ratei e risconti)	146.684.145	195.461.474	282.713.110
Cassa	16.564	16.950	8.513
Immobilizzazioni immateriali nette	7.695.737	7.334.331	12.427.407
Ratei e risconti attivi finanziari	254.655	0	384.837
Capitale proprio	91.795.369	97.136.461	95.250.406
Disponibilità	63.819.644	65.751.287	67.779.914
Immobilizzazioni tecniche nette	23.548.989	30.089.417	39.585.585
Liquidità differite operative nette (esclusi ratei e risconti)	139.354.281	168.305.730	189.869.208
Fondo TFR e fondi per rischi e oneri	19.719.833	21.156.051	22.848.808
Immobilizzazioni finanziarie (esclusi ratei e risconti)	118.617.060	125.617.299	163.358.101

<b>Voci CE riclassificato in forma scalare a ricavi e costo del venduto</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Proventi gestione extra-caratteristica	977.840	404.531	3.253.038
Ricavi netti di vendita	301.534.404	315.882.796	318.677.375
Costi di struttura	43.022.562	45.165.601	44.599.989
Acquisti di MP e componenti	170.111.352	181.449.288	186.337.026
Variazione rimanenze prodotti finiti (RF-RI)*	-3.635.561	-1.251.622	246.061
Costi per capitalizzazioni interne	628.892	401.738	3.297.664
Sopravvenienze e insussistenze attive	376.520	8.478.592	10.617.612
Imposte sul reddito	5.130.961	3.795.806	4.158.710
Variazione rimanenze materie prime e componenti (RF-RI)*	6.709.273	1.005.086	-1.777.131
Costi di politica	11.517.162	12.139.448	12.150.293
Costo del personale diretto	35.178.960	35.812.965	36.599.297
Oneri finanziari	5.802.148	7.230.452	13.595.943
Sopravvenienze e insussistenze passive	30.685	229.883	43.742
Variaz. rimanenze semilavorati e prodotti in corso di lavoraz. (RF-RI)*	289.943	2.125.280	161.232
Ammortamenti industriali	5.953.524	6.347.313	7.309.979
Altri costi industriali di trasformazione	28.166.524	29.534.553	28.566.927

\*RF-RI: rimanenze finali – rimanenze iniziali

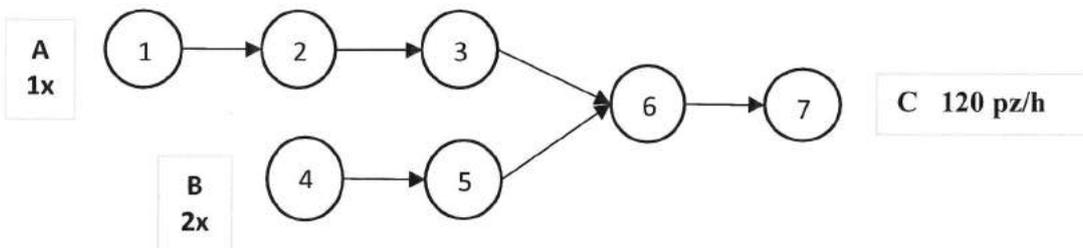
### Seconda parte

L'azienda Alfa S.p.A. realizza tre modelli (1, 2 e 3) di un certo prodotto (PF) che vengono assemblati in una linea mixed model. A monte del sistema di assemblaggio è presente una linea asincrona che produce il principale componente per l'assemblaggio C (che a sua volta è composto da A e B, come da distinta). A valle della linea è presente un magazzino che raccoglie il semilavorato C e da dove poi attinge la linea di assemblaggio del PF.



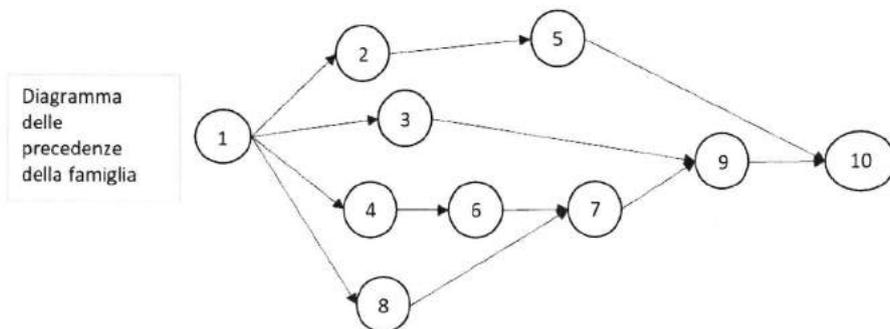
DATI LINEA PRODUZIONE COMPONENTE PRINCIPALE C

DATI MACCHINE	1	2	3	4	5	6	7
p	2%	4%	1%	2%	1%	2%	1%
K2	99%	99%	98%	97%	97%	96%	98%
K3	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
K4	90%	90%	90%	95%	95%	90%	95%
K1	98%	96%	99%	98%	99%	98%	99%
t [min/pz]	1	0.5	1.5	0.5	1	1	1.5



DATI LINEA ASSEMBLAGGIO PF

t [s] dei task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Modello 1	12	0	8	20	0	6	31	7	12	15
Modello 2	21	4	10	0	5	0	27	5	10	10
Modello 3	18	5	0	25	4	0	26	9	8	14



E' richiesto di:

1. Dimensionare la linea di produzione del componente C calcolando potenzialità e numero di macchinari di ogni stadio ed il coeff. di utilizzo teorico e reale della linea; si ricorda che ogni stadio è opportunamente disaccoppiato da buffer interoperazionali.
2. Utilizzando Petterson proporre un bilanciamento della linea di assemblaggio dei PF (definire i vincoli necessari e la F.O.) e rappresentare il layout del sistema che si vuole proporre sapendo che la linea di assemblaggio produce mediamente 960 pz/gg (1 gg = 8h).
3. Valutare il bilanciamento proposto (con indici quantitativi) e capire se sono necessarie modifiche per poter produrre  $Q = 960 \text{ pz/gg}$ .
4. Ipotizzando di avere un sistema di assemblaggio multimodel con un setup di 30' per lotto con 4 operatori necessari ( $Cop = 30\text{€}/h$ ), e sapendo che  $mdc = 5\text{€}/\text{pz}$  (margine di contribuzione), valutare quanti lotti produrre e quantità di pezzi per lotto ( $V=90\text{€}/\text{pz}$  e  $i = 20\%$ ).
5. Rappresentare un layout dell'intero impianto, evidenziando le risorse presenti.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

**Tema Innovazione del Prodotto**

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. 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  $M=300$  kg, 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 chiede di:

- 1) 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) e verificare la saldature in E;
- 2) Dimensionare e verificare lo spallamento in H a fatica per garantire un coefficiente di sicurezza a  $10^6$  cicli almeno pari a 1.5 (N.B. attenzione alla condizione multiassiale); per i calcoli del  $K_t$ , usare, conservativamente, i grafici e le formule riportate per il caso di albero pieno;
- 3) Tramite il metodo della Strain Energy Density (SED) mediata, si effettui la verifica a fatica della saldatura in E, valutandone il coefficiente di sicurezza (sia in energia sia in termini di massa sollevabile) a  $10^6$  cicli con una probabilità di sopravvivenza del 97.7%;

Si assuma che dopo un certo periodo di lavoro, tramite un'ispezione, venga riscontrata una cricca passante sulla trave EC, a 200 mm da E, che si estende per un'ampiezza  $2\theta=30^\circ$ . Si chiede di:

- 4) Calcolare la massima massa sollevabile per non avere propagazione instabile della cricca, mantenendo un coefficiente di sicurezza statico pari a 3 (N.B. attenzione alla condizione di modo misto);
- 5) Calcolare la massima massa sollevabile per non avere propagazione a fatica (N.B. attenzione alla condizione di modo misto).

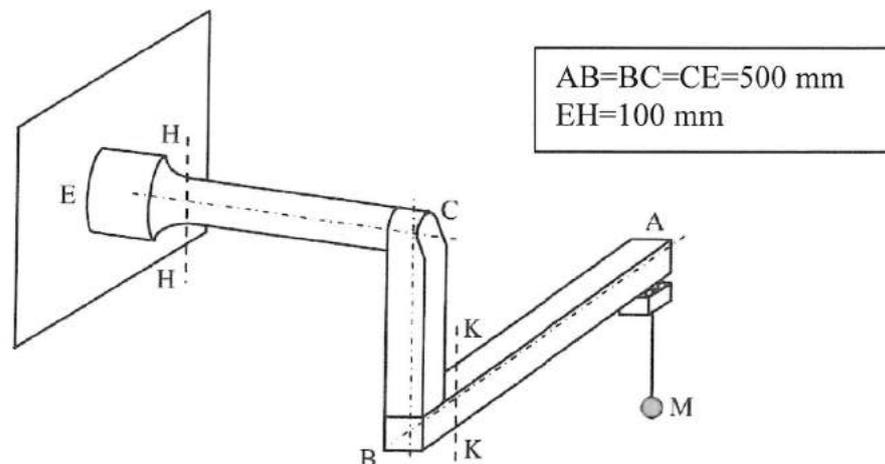


Figura 1: Schema della struttura da studiare

Tabella 1: Proprietà del materiale

Materiale	Tensione di rottura	Tensione di snervamento	Modulo elastico	Coeff. di Poisson	$K_{Ic}$	$\Delta K_{Ith}$
S275	430 MPa	275 MPa	206 GPa	0.3	$220 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$	$10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$

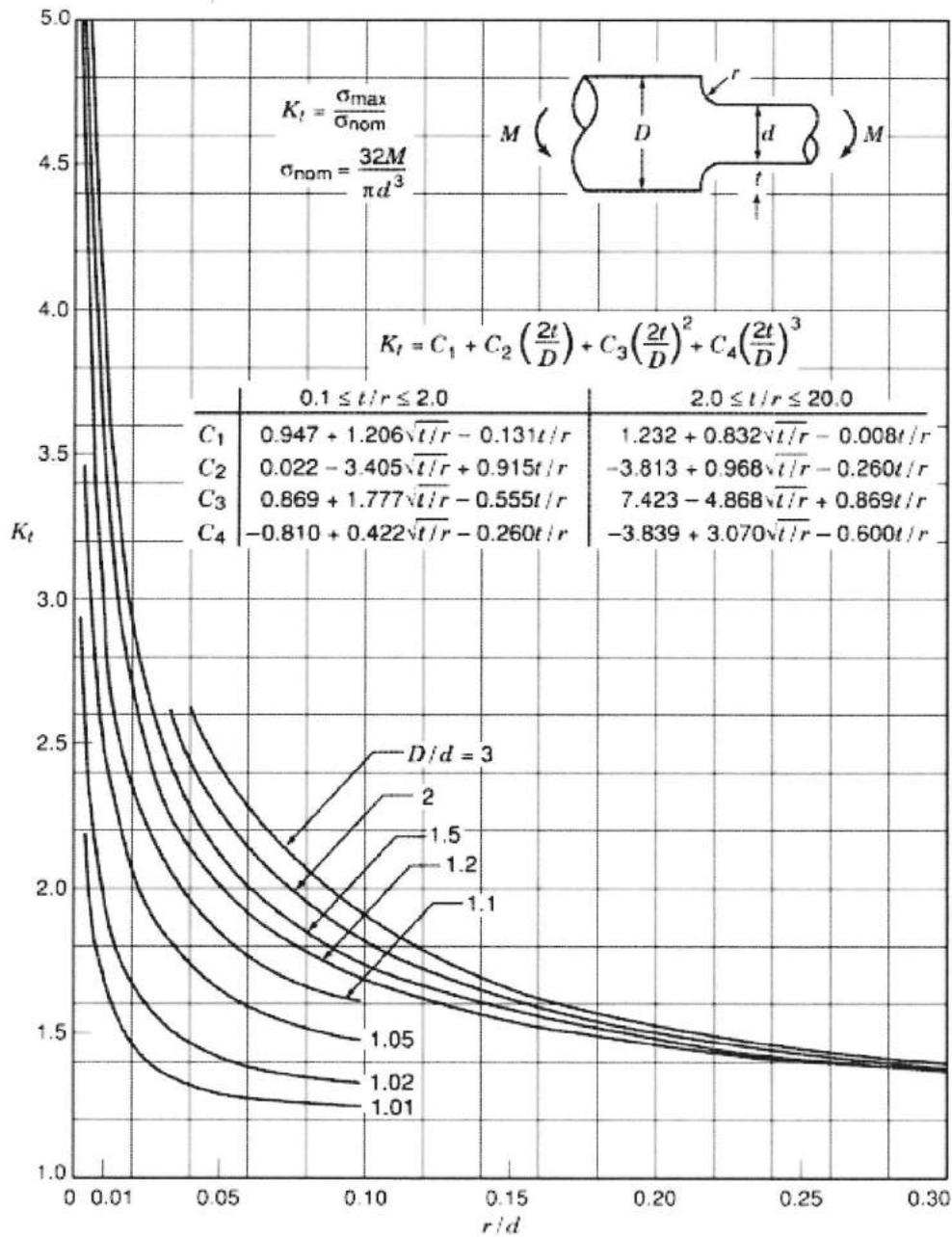


Figura 2:  $K_t$  per albero in flessione

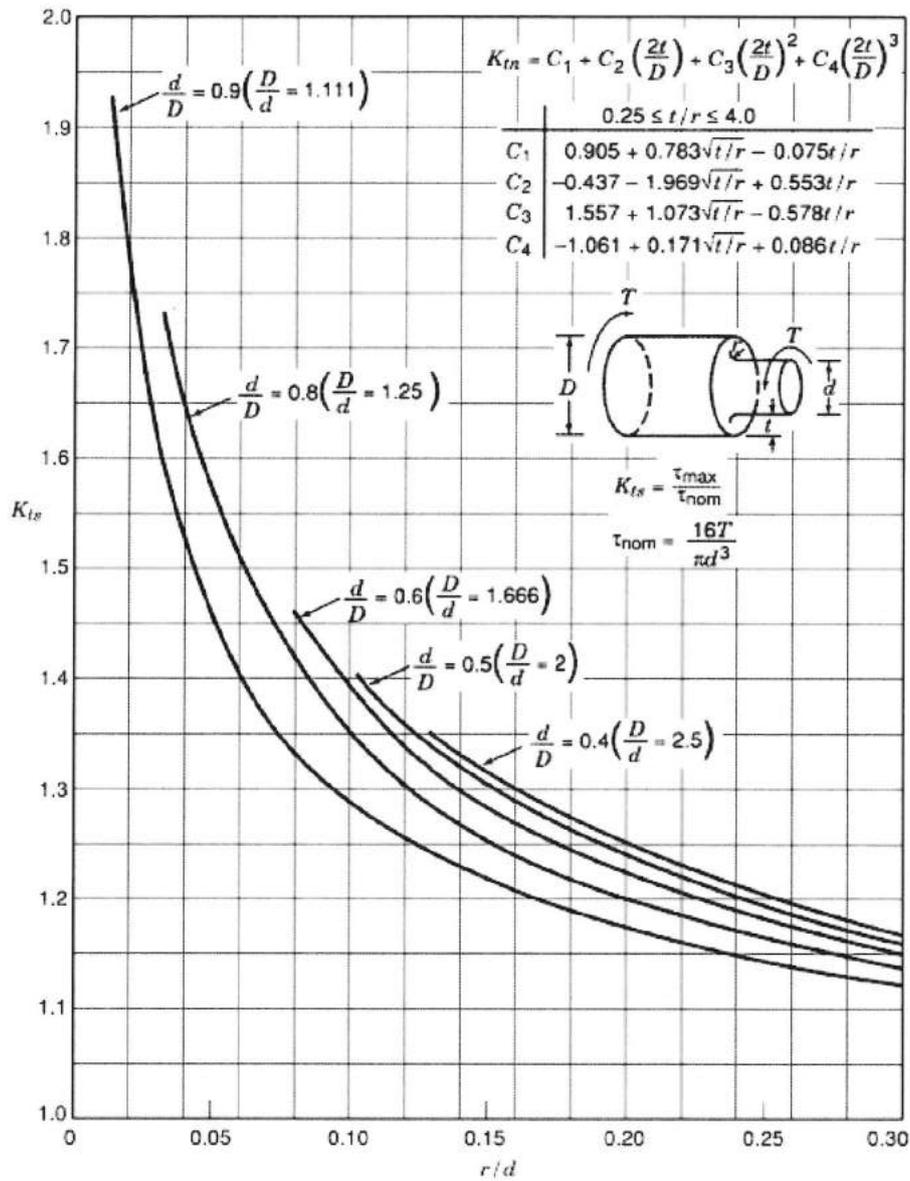


Figura 3:  $K_t$  per albero in torsione

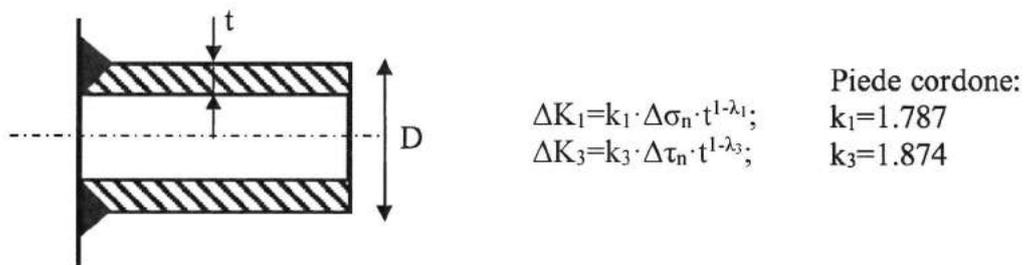
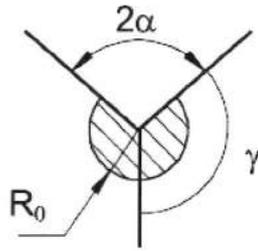


Figura 4: Formule per il calcolo dei  $\Delta K$  sul cordone di saldatura per un albero cavo in flessione + torsione

Tabella 2: Coefficienti utili al calcolo della SED mediata



$2\alpha$ [rad]	$\gamma$ [rad]	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\chi_1$	$\chi_2$	$e_1$	$e_2$	$e_3$
0	$\pi$	0.5000	0.5000	0.5000	1.000	1.000	Plane strain	Plane strain	Axis-sym.
$\pi/6$	$11\pi/12$	0.5014	0.5982	0.5455	1.071	0.921	0.13449	0.34139	0.41380
$\pi/3$	$5\pi/6$	0.5122	0.7309	0.6000	1.166	0.814	0.14485	0.27297	0.37929
$\pi/2$	$3\pi/4$	0.5445	0.9085	0.6667	1.312	0.658	0.15038	0.21530	0.34484
$2\pi/3$	$2\pi/3$	0.6157	1.1489	0.7500	1.841	0.219	0.14623	0.16793	0.31034
$3\pi/4$	$5\pi/8$	0.6736	1.3021	0.8000	4.153	-0.569	0.12964	0.12922	0.27587
							0.11721	0.11250	0.25863

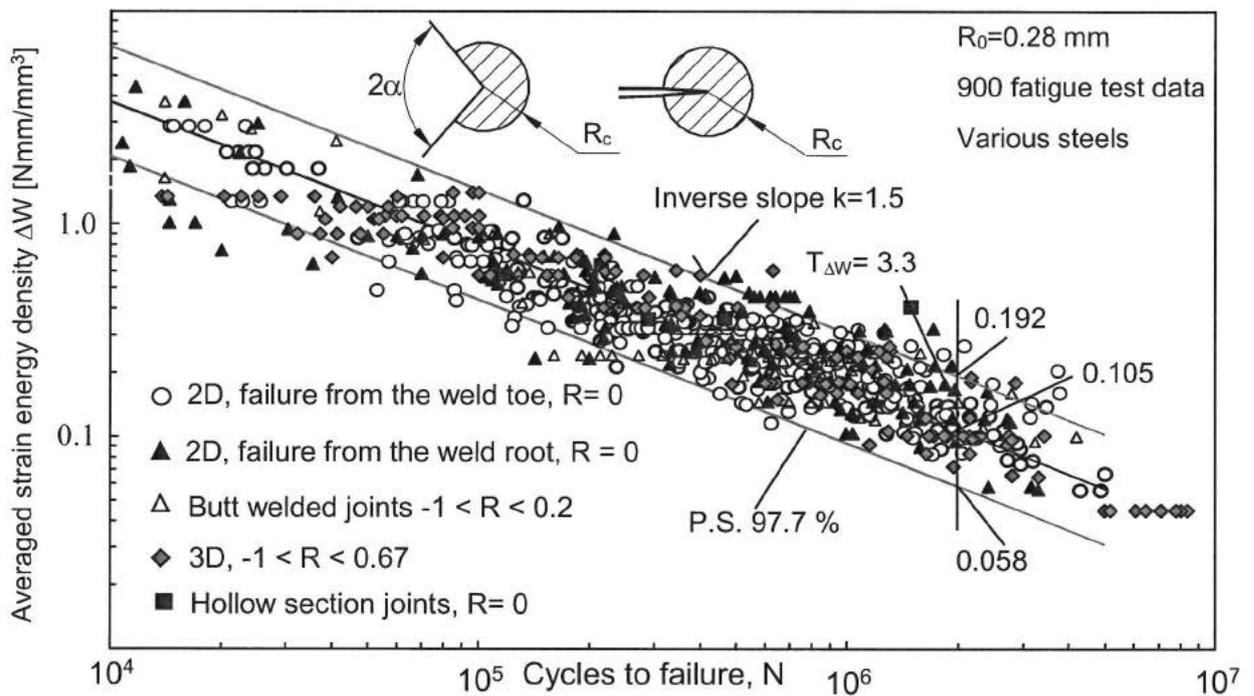


Figura 5: Curva di fatica per giunti saldati

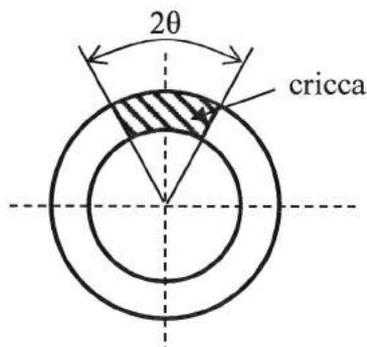
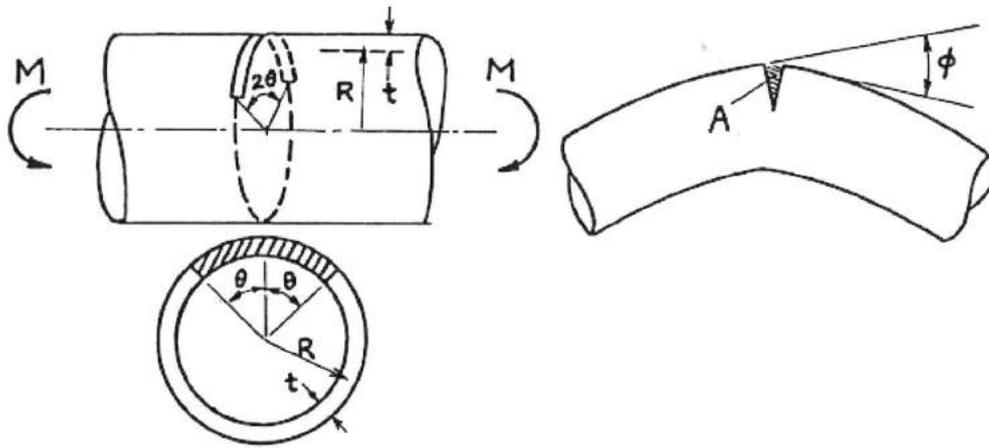


Figura 6: Sezione criccata a 200 mm da E



$$\sigma = M / (\pi R^2 t)$$

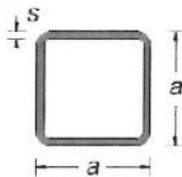
$$\epsilon^2 = (U/R) / \sqrt{12(1-\nu^2)}$$

$$K_I = \sigma \sqrt{R} \left( \frac{\sqrt{2}}{\epsilon} \right)^{1/2} \cdot G(\theta)$$

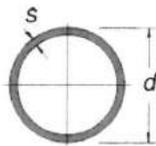
$$G(\theta) = \sin \theta \left[ 1 + \frac{1 - \theta - \cot \theta (1 - \theta \cot \theta)}{2 \cot \theta + \sqrt{2} \cot \left( \frac{\pi - \theta}{\sqrt{2}} \right)} \right]$$

Figura 7: Calcolo del  $K_I$  in flessione

Per il calcolo del  $K_{II}$  di un albero cavo in torsione:  $K_{II} = \tau_n \sqrt{\pi \cdot R \cdot \theta}$  (con  $\theta$  in radianti e  $\tau_n = \tau$  nominale)



a mm	s mm	Peso kg/m	Sezione metallica cm <sup>2</sup>	Momenti di inerzia	Moduli di resistenza	Raggi di inerzia
				Jx = Jy cm <sup>4</sup>	Wx = Wy cm <sup>3</sup>	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



d x s mm	Peso kg/m	Sezione di passaggio cm <sup>2</sup>	Sezione metallica cm <sup>2</sup>	Momenti di inerzia	Moduli di resistenza	Raggi di inerzia
				Jx = Jy cm <sup>4</sup>	Wx = Wy cm <sup>3</sup>	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



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

**TEMA Materiali**

1) Descrivere i trattamenti superficiali di cromatazione e cromatura. Indicare quali sono le principali applicazioni di tali trattamenti.

2) Descrivere le principali differenze tra microscopia ottica e microscopia elettronica a scansione.

3) Tre diversi tipi di viti autofilettanti (designati con A, B e C) in acciaio C20 sono stati forniti dopo carbocementazione. Sono state riscontrate delle anomalie nei tipi A e B. La tipologia A ha mostrato scarsa resistenza all'usura nella filettatura, mentre la tipologia B ha presentato delle fratture lungo la filettatura. Si ipotizza un errato trattamento nel ciclo globale di carbocementazione (le viti sono state fornite da tre differenti aziende). Una prima indagine ha dimostrato che vi è stata diffusione di C all'interno del materiale, per lo spessore desiderato.

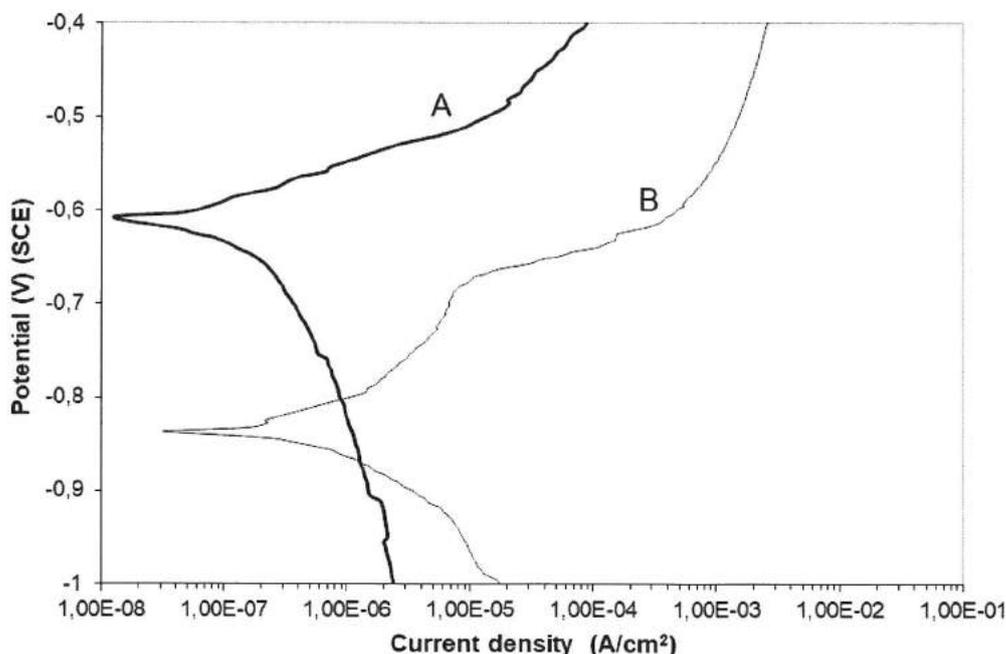
Quali altri tipi di analisi possono essere condotte sulle tipologie di viti A e B?

Quali possono essere le cause di tali anomalie?

4) Nella figura sottostante sono riportate le curve di polarizzazione anodica di due metalli (A e B) in una determinata soluzione. Calcolare per i materiali la densità di corrente di corrosione  $i_{\text{corr}}$  ed il potenziale di corrosione  $E_{\text{corr}}$ .

Quale metallo risulta il più resistente alla corrosione in questa soluzione?

Nell'ipotesi che il metallo A sia un acciaio, calcolare la velocità di corrosione, espressa in mm/anno.



5) Si deve realizzare una struttura in acciaio mediante saldatura. Tale struttura deve risultare resistente alla corrosione in un ambiente corrosivo (livello medio-alto) per la presenza di cloruri. Di seguito sono riportate la designazione europea e la designazione americana di 4 acciai.

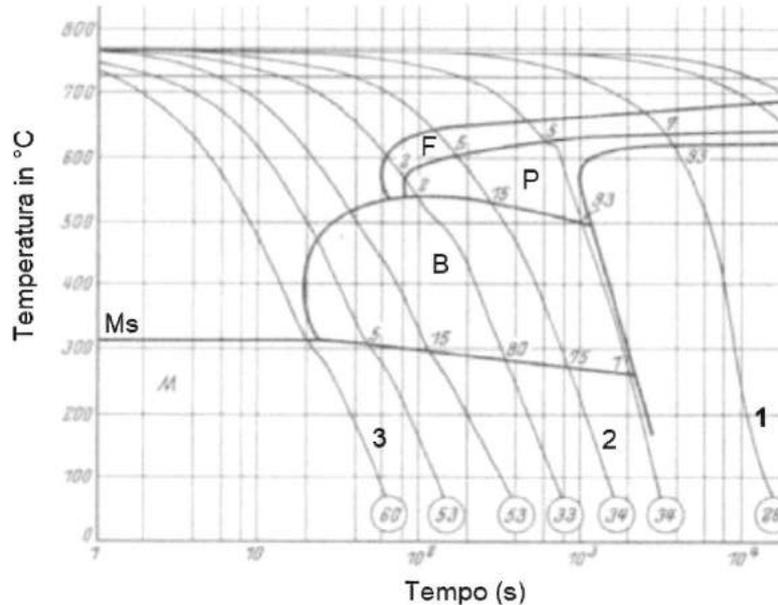
X5CrNiMo17-12-2 (AISI 316); X2CrNiMo17-12-2 (AISI 316L); X5CrNi18-10 (AISI 304), X2CrNi18-9 (AISI 304L).

Indicare la tipologia di acciaio più indicata per tale applicazione e motivare la risposta.

6) Che tipo di diagramma è quello sotto riportato?

Di che tipo di acciaio si tratta (eutetico, ipereutetico, ipoeutetico)?

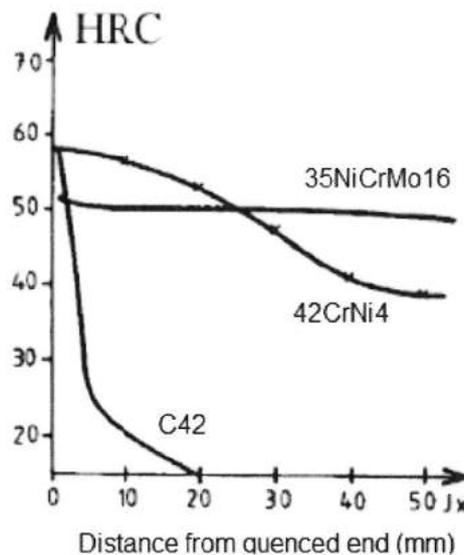
Quali fasi sono presenti al termine delle curve indicate con 1, 2 e 3?



7) Si deve costruire in acciaio un componente meccanico di diametro 9 cm, con al centro una percentuale di martensite pari almeno al 80%.

Di seguito sono riportate delle curve Jominy di alcuni acciai.

Indicare quale acciaio risulta più indicato per costruire il componente sopra descritto, motivando la risposta. Inoltre, spiegare il diverso comportamento dei tre acciai in base alla loro composizione.



8) Data la curva:

$\Delta l$ [mm]	F [N]
0	1600
0,2	2500
0,8	3000
2	3600
4	4200
6	4500
8,6	4600
9,8	3300

Noti:

- a) il carico di rottura  $F_m = 3300$  N; b) la lunghezza iniziale del provino  $l_0 = 20$  mm  
c) l'area della sezione iniziale  $S_0 = 5,6$  mm<sup>2</sup>; d) l'area della sezione di rottura  $S_{str} = 1,6$  mm<sup>2</sup>.

Tracciare la curva reale e la curva ingegneristica.

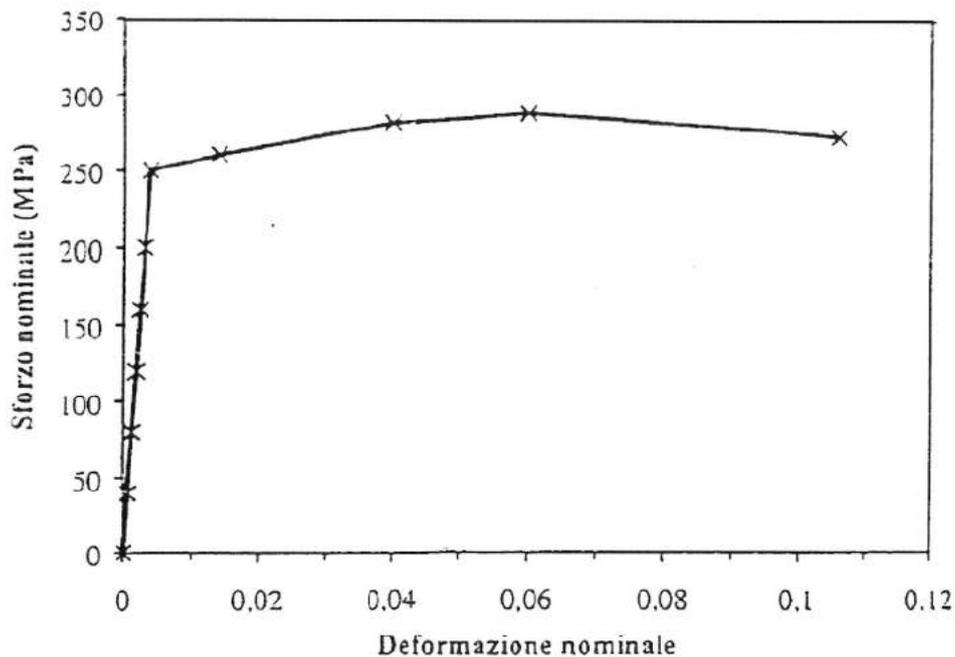
9) La figura seguente riporta la curva  $\sigma$ - $\epsilon$  nominale di un provino in lega di alluminio.

Valutare:

- Il modulo elastico
- Il limite di snervamento
- Il carico di rottura
- L'allungamento percentuale a rottura.

Si supponga di dovere utilizzare tale lega per realizzare un tirante di lunghezza 3 m che deve sostenere un peso di 20 kN. Scegliere il diametro del tirante nell'ipotesi che, una volta applicato il peso, il materiale sia soggetto ad uno sforzo inferiore alla metà del suo carico di snervamento.

Valutare poi l'allungamento che subirà il tirante quando sarà applicato il carico.



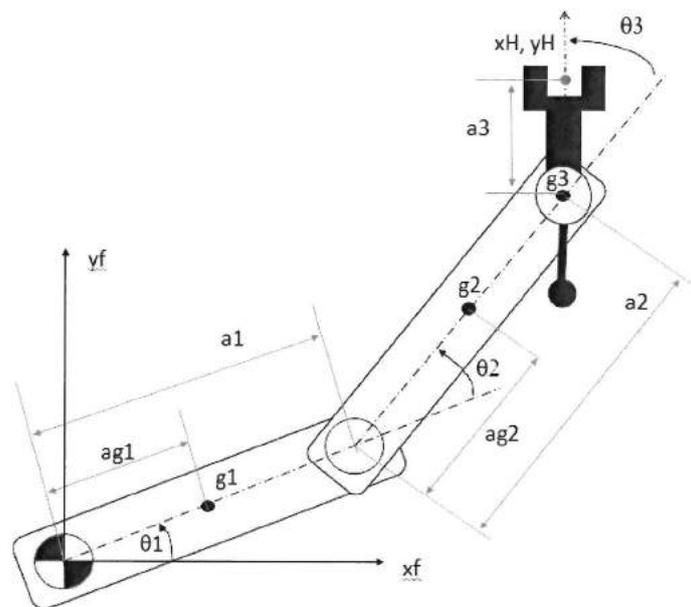


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

**TEMA MECCANICA**



Dati:  $a_1 = a_2 = 0.4$  m;  $a_3 = 0.15$  m;  $ag_1 = ag_2 = 0.2$  m;  $m_1 = 7$  kg,  $m_2 = 5$  kg,  $m_3 = 2$  kg (massa dei link);  $I_{g1} = 1.7$  kgm<sup>2</sup>,  $I_{g2} = 0.5$  kgm<sup>2</sup> (momento di inerzia baricentrico dei link);  $k_{\theta_1} = k_{\theta_2} = k_{\theta_3} = 10000$  Nm/rad (rigidezza dei giunti).

- 1) Disegnare lo spazio di lavoro raggiungibile dal polso del robot, considerando un range di escursione angolare dei giunti:  $\theta_1 = 0 - 90^\circ$ ;  $\theta_2 = 0 - 360^\circ$ ;
- 2) Eseguire l'analisi cinematica inversa per una posizione della mano ( $x_H = 0.57$  m,  $y_H = 0.57$  m), considerando che la direzione di approccio della mano formi un angolo di  $45^\circ$  rispetto all'asse  $x_f$ ;
- 3) Calcolare le pulsazioni naturali del sistema ipotizzando che la mano (link 3) sia bilanciata (baricentro coincidente con l'asse di rotazione) e che il suo momento d'inerzia sia trascurabile, per la seguente configurazione:  $\theta_1 = \theta_2 = 0^\circ$ ;  $\theta_3 = 45^\circ$ .



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

**TEMA di Meccatronica**

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  $5 \Omega$  che richiede una corrente continua media costante di  $4.8 \text{ A}$ .

È noto inoltre che il dispositivo di commutazione da utilizzare è un power MOSFET con le seguenti caratteristiche: frequenza di lavoro  $100 \text{ kHz}$ ;  $R_{DSon} = 10 \text{ m}\Omega$ ; tempi di commutazione  $t_{on-off} = 60 \text{ ns}$  e  $t_{off-on} = 20 \text{ ns}$ . Il diodo presenta una tensione  $V_{on} = 0.2 \text{ V}$ , 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.,  $4.8 \text{ A}$ ) 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.
- 5) Si supponga di voler utilizzare quanto progettato per caricare una batteria di tensione nominale pari a  $24 \text{ V}$ . Discutere gli effetti di una eventuale sostituzione del carico resistivo con la batteria, con particolare riferimento alla stabilità del sistema.

*Nota:* Il candidato assuma eventuali dati mancanti.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE INDUSTRIALE**

**Prima sessione 2019  
Prova pratica del 20 giugno 2019**

**TEMA Sicurezza**

Il candidato applichi le metodologie richieste con lo scopo di eseguire un'analisi di sicurezza sul seguente sistema:

- esecuzione della procedura di **HazId** (Hazard Identification) qualitativa in forma di **What-If**
- esecuzione di un'analisi **Hazop**;
- elencare i *Top Event* ritenuti plausibili;
- costruzione di **Fault Tree** (albero dei guasti) in relazione ad uno dei *Top Event* individuati
- stima della **frequenza di accadimento** e del **MTBF** del *Top Event* con i valori forniti a tabella.
- Considerando lo scenario di VCE di una nube di 6 ton di etilene, si valuti la distanza dalla sorgente alla quale è attesa una sovrappressione di 0,1 bar utilizzando il metodo del TNT equivalente.

Il candidato illustri le misure di protezione e mitigazione che si potrebbero adottare per migliorare la sicurezza di tale sistema.

**Produzione di etilene mediante cracking termico**

Il cracking termico degli idrocarburi è il principale processo per la produzione industriale dell'etilene. Nel cracking termico si formano importanti prodotti secondari, tra i quali il propilene, il butadiene e il benzene. Il metano e l'olio combustibile, di minor valore, sono anch'essi prodotti in quantità significative. Un parametro importante nella progettazione di forni commerciali per il cracking termico è la selettività verso il prodotto desiderato.

Il cracking termico degli idrocarburi è condotto in reattori tubolari anche noti come cracking furnaces, crackers, cracking heaters, ecc.

**Reazione**

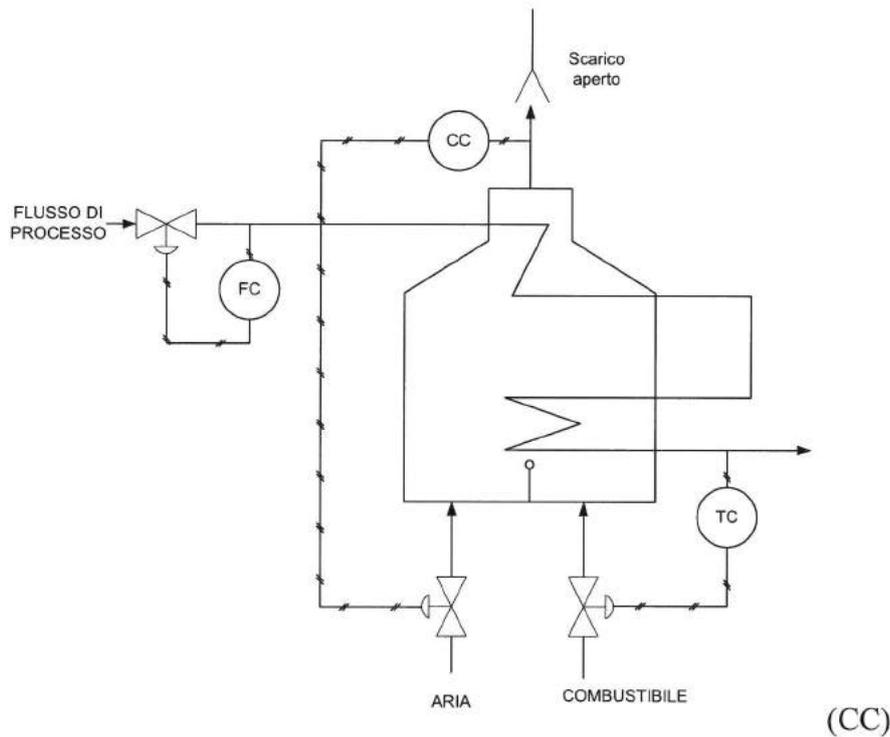
La reazione avviene nei serpentine di pirolisi posti nella sezione radiante del forno. Poiché durante la pirolisi si forma coke, in alimentazione viene aggiunto del vapore come diluente, il quale minimizza la reazione collaterale che genera coke e migliora la selettività verso le olefine, abbassando la pressione parziale degli idrocarburi. La temperatura della miscela composta dagli idrocarburi e dal vapore al momento dell'ingresso nella camera radiante (nota come temperatura di crossover) è compresa tra 500 e 700 °C. Temperature più basse vengono impiegate per miscele pesanti come il gasolio atmosferico (AGO, Atmospheric Gas Oil) e i gasoli da vuoto (VGO, Vacuum Gas Oils), per minimizzare il coking nella sezione convettiva, mentre per gas leggeri più refrattari, come l'etano e il propano, si impiegano temperature maggiori. Si può avere cracking incipiente anche a 400 °C. Tuttavia, per i gas leggeri la conversione incipiente è piuttosto bassa. A seconda del tempo di residenza nella zona radiante e della conversione richiesta, la temperatura in uscita dal serpentine è tipicamente mantenuta tra 775 e 950 °C e si utilizza un controllo di temperatura (TC) che agisce sulla valvola della linea di combustibile.

Il flusso di processo è regolato con l'ausilio di un controllo di flusso (FC) accoppiato alla valvola di tale linea.

*Caratteristiche Forno*

Numero di serpentini	50
Lunghezza del serpentino [m]	30
Diametro interno di un serpentino[mm]	100
Temperatura del gas in uscita [°C]	800
Temperatura del metallo in un serpentino pulito [°C]	1000
Temperatura massima del metallo [°C]	1150
Assorbimento medio di calore [kW/m <sup>2</sup> ]	80
Tempo di residenza [s]	0,5
Pressione in uscita [kPa]	200
Calo di pressione di un serpentino pulito [kPa]	70
Capacità produttiva di etilene [t/h]	18
Calore di combustione [kJ/kg]	50285

I fumi scaricati in atmosfera devono rispettare le concentrazioni per l'emissione in atmosfera secondo le norme vigenti. Per tale motivo si utilizza un controllo della concentrazione dei fumi di scarico (CC) che agisce sulla valvola della linea di aria.



Component and failure mode		Data Analysis					Component and failure mode								
		Mean (h-1)	LB (h-1)	Median (h-1)	UB (h-1)	EF	Sources								
1	Sensors							4	Pumps						
1.1	Pressure							4.1	Pumps, centrifugal, motor driven						
1.1.1	Fails to operate	6.3E-07	6.5E-08	3.2E-07	1.6E-06	4.9	1,2,3,4	4.1.1	Fails to start	2.6E-05	6.0E-06	1.7E-05	4.7E-05	2.8	3,4,6
1.1.2	Spurious operation	6.6E-07	2.9E-08	1.8E-07	1.1E-06	6.1	1,2,3,4	4.1.2	Fails to run	6.4E-05	1.7E-06	2.4E-05	3.3E-04	13,8	1,2,3,4,6
1.2	Temperature							4.2	Pumps, reciprocating, motor driven						
1.2.1	Fails to operate	2.6E-06	8.5E-08	8.3E-07	8.0E-06	9.7	1,2,3,4	4.2.1	Fails to start	2.3E-05	5.0E-06	1.5E-05	4.8E-05	3.1	3,4
1.2.2	Spurious operation	1.0E-06	9.3E-08	5.4E-07	3.2E-06	5.9	1,2,3,4	4.2.2	Fails to run	4.3E-05	1.2E-05	3.2E-05	9.0E-05	2.8	3
1.3	Flow							4.3	Pumps, turbine driven						
1.3.1	Fails to operate	2.7E-06	2.4E-07	1.5E-06	9.9E-06	6.4	1,2,3,4	4.3.1	Fails to start	9.9E-06	1.2E-06	6.2E-06	3.3E-05	5.3	1,3,6
1.3.2	Spurious operation	1.1E-06	4.5E-07	8.5E-07	1.6E-06	1.9	1,2,3,4	4.3.2	Fails to run	5.6E-04	5.4E-05	2.4E-04	1.1E-03	4.4	1,3,6
1.4	Level							4.4	Pumps, diesel driven						
1.4.1	Fails to operate	6.9E-07	2.0E-07	4.8E-07	1.2E-06	2.4	1,2,3,4	4.4.1	Fails to start	5.1E-05	6.0E-06	2.0E-05	6.8E-05	3.4	3,6
1.4.2	Spurious operation	5.2E-07	8.0E-08	2.9E-07	1.1E-06	3.7	1,2,3,4	4.4.2	Fails to run	2.5E-03	1.0E-04	1.6E-03	2.5E-02	15,9	3,6
2	Transmitters							5	Compressors						
2.1	Pressure							5.1	Compressor, motor driven						
2.1.1	Fails to obtain signal	7.3E-07	2.4E-07	5.9E-07	1.4E-06	2.4	2,3,4	5.1.1	Fails to start	1.4E-05	2.8E-06	1.4E-05	7.0E-05	5.0	6
2.2	Temperature							5.1.2	Fails to run	1.0E-04	1.0E-05	1.0E-04	1.0E-03	10,0	6
2.2.1	Fails to obtain signal	5.3E-07	9.6E-08	3.9E-07	1.6E-06	4.0	2,3,4	5.2	Compressor, turbine driven						
2.3	Flow							5.2.1	Fails to start	1.8E-05	3.2E-06	9.9E-06	3.0E-05	3.1	1,3
2.3.1	Fails to obtain signal	3.2E-06	1.4E-06	2.7E-06	5.4E-06	2.0	2,3,4	5.2.2	Fails to run	No data available					
2.4	Level							6	Batteries, rectifiers, inverters						
2.4.1	Fails to obtain signal	8.9E-07	1.2E-07	5.2E-07	2.3E-06	4.3	2,3,4	6.1	Batteries						
3	Valves							6.1.1	Fails to provide power	1.2E-06	2.3E-07	9.2E-07	3.6E-06	4.0	1,3,4,5
3.1	Air operated valves							6.2	Rectifier						
3.1.1	Fails to operate	1.7E-05	5.5E-06	1.2E-05	2.8E-05	2.3	3,4,5,7	6.2.1	Loss of output	9.9E-07	2.3E-07	6.7E-07	2.0E-06	2.9	1,3,4
3.1.2	Spurious operation	1.7E-06	2.3E-07	1.5E-06	1.0E-05	6.7	1,2,3,5,6	6.3	Inverter						
3.2	Solenoid							6.3.1	Loss of output	1.4E-05	1.5E-06	8.2E-06	4.3E-05	5.3	1,3,4,5
3.2.1	Fails to operate	2.6E-07	8.2E-08	1.9E-07	4.2E-07	2.3	4	7	Switches						
3.2.2	Spurious operation	6.3E-07	1.4E-07	6.2E-07	2.7E-06	4.3	1,2,6	7.1	Relay						
3.3	Motor operated valves							7.1.1	Fails to operate	3.5E-08	2.4E-09	2.9E-08	3.4E-07	11,9	2,6
3.3.1	Fails to operate	6.8E-06	2.2E-06	5.1E-06	1.2E-05	2.3	3,4	7.1.2	Spurious operation	2.0E-07	1.5E-08	1.9E-07	2.3E-06	12,3	1,2,6
3.3.2	Spurious operation	9.5E-07	1.6E-07	7.5E-07	3.4E-06	4.6	1,2,3	7.2	Electronic limit switch						
3.4	Control valve							7.2.1	Fails to operate	5.9E-08	6.4E-09	2.9E-08	1.3E-07	4.6	4,6
3.4.1	Fails to operate	5.9E-06	3.7E-06	5.9E-06	9.5E-06	1.6	3,4	7.2.2	Spurious operation	7.2E-07	1.6E-07	9.2E-07	5.3E-06	5.8	4,6
3.4.2	Spurious operation	8.3E-07	6.5E-08	5.3E-07	4.4E-06	8.3	3,5	8	Breakers						
3.5	Check valve							8.1	Breakers, 6-10 kV						
3.5.1	Fails to open	1.1E-07	9.6E-09	5.2E-08	2.8E-07	5.4	3,4,5	8.1.1	Fails to operate	2.5E-06	2.8E-07	1.1E-06	4.1E-06	3.8	3,4
3.5.2	Fails to close	2.2E-07	2.4E-08	1.0E-07	4.1E-07	4.1	3,4,5	8.1.2	Spurious operation	1.2E-06	1.8E-07	6.9E-07	2.6E-06	3.8	3,4
3.6	Safety valve, spring operated							8.2	Breakers, < 1 kV						
3.6.1	Fails to open	6.2E-08	3.3E-09	3.3E-08	3.4E-07	10.3	1,5,7	8.2.1	Fails to operate	1.9E-07	8.5E-08	1.8E-07	3.9E-07	2.1	3,4
3.6.2	Spurious opening	8.6E-07	2.1E-07	1.1E-06	5.5E-06	5.1	4,5	8.2.2	Spurious operation	1.6E-07	6.4E-08	1.3E-07	2.8E-07	2.1	3,4
3.7	Safety valve, pilot operated														
3.7.1	Fails to open	4.8E-07	1.0E-08	1.3E-07	1.8E-06	13.2	1,4,5								
3.7.2	Spurious opening	4.4E-06	8.6E-07	5.6E-06	3.6E-05	6.5	4,5								

Table 14-A-2. Operator Error Estimates (Kieviz).

No.	Description	HEP
1	Omission or incorrect execution of step in a familiar startup routine	0.001
2	Failure to respond to audible alarm in quiet control room by pressing single button	0.001
3	Failure to respond to audible alarm in quiet control room by some more complex actions such as going outside and selecting correct valve among many	0.01
4	Failure to respond to audible alarm in busy control room within 10 minutes	0.1
5	Failure to carry out rapid and complex actions to avoid serious incident such as an explosion	0.5

Table 14-A-3. THERP Estimated HEP's related to failure of administrative control.

No.	Description	HEP	EF
1	Carry out a plant policy or scheduled tasks such as periodic tests or maintenance performed weekly, monthly or at longer intervals	0.01	5
2	Initiated a scheduled shiftly checking or inspection function	0.001	3
3	Use written operations procedures under normal operating conditions	0.01	3
4	Use written operations procedures under abnormal operating conditions	0.005	10
5	Use a valve change list or restoration list	0.01	3
6	Use written test or calibration procedures	0.05	5
7	Use written maintenance procedure	0.3	5
8	Use a checklist properly	0.5	5

THERP : Technique for Human Error Rate Prediction

HEP : Human Error Probabilities [dimensionless]

EF: Error factor. EF created the symmetric area around the nominal HEP (uncertainty interval). The lower and upper interval values are respectively obtained with HEP/EF and HEP\*EF. When an upper bound of HEP s.t. HEP > 1 is obtained, use a log-normal probability distribution function.

Component and failure mode	Mean (h-1)	LB (h-1)	Median (h-1)	UB (h-1)	EF	Sources
9 Busbar					—	
9.1 Busbar, $6 < U < 20$ kV						
9.1.1 Fails to provide power	4.1E-07	1.1E-07	3.1E-07	8.6E-07	2.8	4
9.2 Busbar < 1 kV						
9.2.1 Fails to provide power	1.7E-07	7.6E-08	1.5E-07	3.0E-07	2.0	4
10 Diesel driven generators						
10.1 Fails to start	1.5E-04	2.8E-05	9.8E-05	3.5E-04	3.5	1,3,4,6
10.2 Fails to run	3.4E-03	6.3E-04	3.6E-03	2.0E-02	5.7	1,4,6
11 Transformers						
11.1 Power transformers						
11.1.1 Fails to provide power	1.7E-06	2.3E-07	1.2E-06	6.1E-06	5.2	1,2,4,5,6
11.2 Instrument transformers						
11.2.1 Fails to provide power	6.7E-07	1.0E-07	7.6E-07	5.5E-06	7.2	2,6
12 Fuses						
12.1 Fails to open	2.8E-09	2.8E-10	2.8E-09	2.8E-08	10.0	6
12.2 Premature opening	3.7E-07	1.6E-08	1.6E-07	1.7E-06	10.2	1,6
13 Pipings						
13.1 D<75mm						
13.1.1 Leakage	5.7E-10	2.1E-11	2.1E-10	2.1E-09	10.0	9
13.1.2 Break	1.1E-10	4.5E-13	1.3E-11	4.0E-10	30.0	9
13.2 75<D<150mm						
13.2.1 Leakage	2.3E-10	8.6E-12	8.6E-11	8.6E-10	10.0	9
13.2.2 Break	3.4E-11	1.3E-13	4.0E-12	1.2E-10	30.0	9
14 Static Pressure Vessels						
14.1 Basic Failure Rate	1.1E-10	4.3E-13	1.3E-11	3.9E-10	30.0	9
14.2 Catastrophic failure instantaneous release	5.7E-11	2.2E-13	6.7E-12	2.0E-10	30.0	9
14.3 Catastrophic failure short continuous release	5.7E-11	2.2E-13	6.7E-12	2.0E-10	30.0	9
14.4 Leakage from a 10 mm hole	1.1E-09	4.1E-11	4.1E-10	4.1E-09	10.0	9
15 Static single walled vessels						
15.1 Catastrophic failure	1.1E-09	4.3E-12	1.3E-10	3.9E-09	30.0	9
16 Reactor vessels and process vessels (e.g. heat exchangers)						
16.1 Basic Failure Rate	1.1E-09	4.3E-12	1.3E-10	3.9E-09	30.0	9
16.2 Catastrophic failure instantaneous release	5.7E-10	2.2E-12	6.7E-11	2.0E-09	30.0	9
16.3 Catastrophic failure short continuous release	5.7E-10	2.2E-12	6.7E-11	2.0E-09	30.0	9
16.4 Leakage from a 10 mm hole	1.1E-08	4.1E-10	4.1E-09	4.1E-08	10.0	9

**Table A14.40** Outage times of electrical power supply following a transmission line failure (after Atomic Energy Commission, 1975)

Outage time (%)	Proportion of outages (%)
<0.01	1.1
0.01-0.032	6.1
0.032-0.1	18.7
0.1-0.32	37.9
0.32-1.0	12.6
1.0-3.2	11.7
3.2-10	8.4

**Table A14.41** Duration of power failures in an explosives plant (after Ketron, 1980; reproduced by permission of the American Institute of Chemical Engineers)

Duration of power failure <i>t</i> (min)	No. of incidents
Momentary	13
$t < 1$	3
$1 < t < 10$	2
$10 < t < 60$	4
$t > 60$	6
Total	28

**Table A14.42** Failure rates of electrical power supply equipment (after Ketron, 1980; reproduced by permission of the American Institute of Chemical Engineers)

	Failure rate <sup>a</sup> (failures/d)
Diesel engine	0.008
Electric generator	0.0014
Electric motor	0.0014
Steam turbine	0.000057
Solenoid valves	0.0000063
Pneumatic valve	0.00011
Globe valve	0.0034

<sup>a</sup> Literature values.

**Table A14.45** Failure rates of some components of a steam supply system (after Coltharp et al., 1979; reproduced by permission of the American Institute of Chemical Engineers)

Equipment	Failure rate <sup>a</sup> (failures/10 <sup>6</sup> h)
Drives for spreader stoker:	
Electric drive	0.3
Steam drive	50
Boiler feed water pump	0.9
Condensate collection and return	10
Water wall tubes	57
Steam generating tubes	0.3
Superheater	0.4
Air preheater	1.1
Fans	
Overfire air	57
Induced draft	1.1
Drives for fans (forced draft, overfire air, induced draft)	
Electric drive	2
Steam drive	3
Ash conveyor	10

<sup>a</sup> Sources of data are: Edison Electric Institute (EEI), Hartford Steam Boiler (HSE) and automobile company.

**Table A14.43** Failure modes of emergency engines/generators (after B. Stevens, 1983; reproduced by permission of the American Institute of Chemical Engineers)

	No. of cases	Proportion (%)
Cracking/overheating	36	26.1
Cracking/freezing	13	9.4
Mechanical breakage	6	4.4
Bearings and journals/scoring	18	13.0
Engine block/breakage	14	10.1
Pistons/breakage	9	6.5
Valves/breakage	7	5.1
General mechanical	20	14.5
Piston rings/breakage	7	5.1
Crankshaft/cracking—breaking	8	5.8
Total	138	100.0

**Table A14.44** Mean probability of failure of emergency diesel generators at 63 nuclear plants from 1989-91 (Vesely, Uryasev, and Samanta, 1994; reproduced with permission from Elsevier)

	For individual diesels	Over station	Diesels or stations
Failure to start	$5.0 \times 10^{-3}$	$5.2 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-3}$
Failure to load-run	$9.6 \times 10^{-3}$	$9.5 \times 10^{-5}$	$9.3 \times 10^{-3}$

**Table 11-1** Failure Rate Data for Various Selected Process Components<sup>1</sup>

Instrument	Faults/year
Controller	0.29
Control valve	0.60
Flow measurement (fluids)	1.14
Flow measurement (solids)	3.75
Flow switch	1.12
Gas-liquid chromatograph	30.6
Hand valve	0.13
Indicator lamp	0.044
Level measurement (liquids)	1.70
Level measurement (solids)	6.86
Oxygen analyzer	5.65
pH meter	5.88
Pressure measurement	1.41
Pressure relief valve	0.022
Pressure switch	0.14
Solenoid valve	0.42
Stepper motor	0.044
Strip chart recorder	0.22
Thermocouple temperature measurement	0.52
Thermometer temperature measurement	0.027
Valve positioner	0.44

<sup>1</sup> Selected from Frank P. Lees, *Loss Prevention in the Process Industries* (London: Butterworths, 1986), p. 343.