



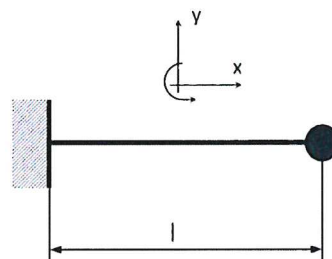
**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE
ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE INDUSTRIALE.
Seconda sessione 2024. Prova scritta del 14 novembre 2024**

Il candidato sviluppi **uno** dei seguenti temi proposti. Ciascun tema è composto da **due** quesiti.

Tema aerospaziale

Quesito 1

Si esegua la progettazione preliminare di una struttura di supporto per uno strumento di bordo. Si ipotizzi che il supporto sia una trave lunga $l = 0.3$ m incastrata ad una estremità alla struttura portante. Lo strumento si può considerare come una massa concentrata $M = 5$ kg attaccata all'altra estremità del supporto, come mostrato nella figura. Si assuma inoltre che il materiale del supporto abbia un modulo di elasticità $E = 71000$ MPa, una densità $\rho = 2800$ kg/m³ e una tensione di snervamento $\sigma_s = 450$ MPa.



Visto che la struttura del supporto deve presentare una sezione cava per consentire il passaggio dei cablaggi, si considerino almeno due tipologie di sezione (circolare cava e rettangolare cava) e si proceda al predimensionamento del supporto sapendo che:

1. Il supporto deve avere la prima frequenza propria assiale e flessionale > 150 Hz.
2. L'ingombro trasversale della sezione deve essere contenuto in 110×120 mm² nelle direzioni y e z rispettivamente.
3. La massa della struttura di supporto deve avere una massa $m < 2.1$ kg.

Si evidenzino le eventuali assunzioni preliminari considerate durante il predimensionamento.

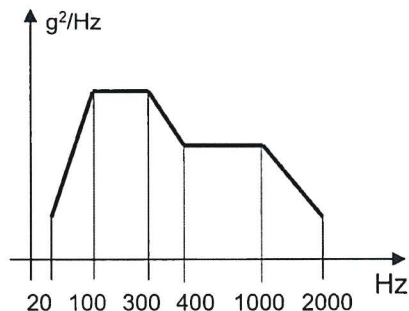
Si scelga la sezione che soddisfa le prime due condizioni e che minimizza la massa del supporto. Si calcolino i margini di sicurezza nei punti che si ritengono più critici, considerando un fattore di sicurezza $FS = 1.5$ e un'accelerazione quasi statica di 70 g applicata esclusivamente allo strumento (si trascuri la massa del supporto). Le valutazioni si devono eseguire nei seguenti casi:

1. Accelerazione agente lungo la direzione positiva dell'asse x .
2. Accelerazione agente lungo la direzione negativa dell'asse y .
3. Accelerazione agente lungo la direzione positiva degli assi x e y contemporaneamente.

Si proceda quindi alla verifica del supporto in presenza di una sollecitazione random applicata alla base lungo la direzione dell'asse x . La PSD in input è riportata nella figura sottostante. Si stimi:

1. La tensione massima nella trave alla sezione dell'incastro con riferimento alla $\ddot{x}_{max}$ valutata con l'approccio a 3σ . Si supponga che l'accelerazione agisca solo sulla massa concentrata (si trascuri la massa del supporto) e che la trave presenti un rapporto di smorzamento $\zeta = 0.02$.
2. Il margine di sicurezza all'instabilità della trave per le condizioni di carico descritte al punto precedente.

Frequenza [Hz]	Ampiezza PSD [g ² /Hz]
20	0.001
100	0.25
300	0.25
400	0.15
1000	0.15
2000	0.001



Quesito 2

Il candidato risponda ad uno a scelta tra i seguenti quesiti:

1. Si consideri un satellite che debba svolgere una missione spaziale a scelta del candidato verso un qualsivoglia pianeta. Si ipotizzi un insieme di possibili obiettivi scientifici e si descrivano le diverse fasi della missione.
2. Si consideri un qualsivoglia velivolo che operi in atmosfera terrestre. Se ne descrivano le diverse fasi del volo e si ipotizzino i requisiti di funzionamento per tutte le condizioni operative.

Per il tipo di veicolo scelto in precedenza, si descrivano i carichi meccanici a cui sono sottoposte le strutture e le conseguenti scelte dei tipi di materiali da utilizzare per i diversi componenti, confrontandone in modo critico le alternative progettuali e le prestazioni. Il candidato giustifichi in modo quantitativo, dove possibile, le affermazioni fatte.

Tema bioingegneria industriale

Quesito 1

Il candidato esponga in merito all'applicazione dei materiali ceramici in ambito biomedicale, con particolare riferimento ai dispositivi protesici.

Si discutano preliminarmente le caratteristiche microstrutturali di questi materiali e la correlazione tra microstruttura e comportamento meccanico. Particolare attenzione venga rivolta al comportamento elasto-fragile ed alle cause di questo comportamento.

Prendendo a riferimento una specifica applicazione in ambito protesico, si discutano i requisiti richiesti in relazione alle prestazioni funzionali che devono essere garantite, con particolare riferimento a proprietà meccaniche, biocompatibilità, bioinerzia o bioattività.

Si discutano infine i limiti all'impiego dei materiali ceramici in ambito biomedicale.

Quesito 2

La progettazione di dispositivi biomedicali atti a svolgere un ruolo meccanico, come ad esempio la protesi d'anca, richiede una accurata strategia finalizzata all'identificazione di una configurazione ottimizzata, ossia capace di reggere alle sollecitazioni meccaniche applicate in vivo, ma anche di garantire una adeguata leggerezza.

In tale ottica si discuta in merito a:

- Selezione dei materiali per la fabbricazione della protesi;
- Identificazione delle condizioni di carico;
- Metodologie di calcolo computazione per la progettazione e la verifica meccanica (riportare, in linea generale, i fondamenti matematici del metodo degli elementi finiti);
- Modalità e strategie per l'integrazione tessuto-impianto.

Tema chimica

Quesito 1

Del metanolo liquido viene bruciato con il 100% di eccesso d'aria in un forno. Per la progettazione di tale forno, è necessario conoscere la temperatura massima di esercizio, considerando di alimentare con CH_3OH a temperatura ambiente (25°C) e aria a 100°C . I parametri per il calcolo dei calori specifici c_p [$\text{J}/(\text{mol}\cdot^\circ\text{C})$] attraverso la formulazione $c_p = A + B\cdot T + C\cdot T^2$ sono riportati in Tabella 1. Si considerino i seguenti dati aggiuntivi di entalpie: $\Delta\hat{H}_{c,\text{CH}_3\text{OH}(l)}^0 = -726.6$ kJ/mol; $\Delta\hat{H}_{25^\circ\text{C},\text{aria}}^{100^\circ\text{C}} = 2.191$ kJ/mol; $\Delta\hat{H}_{p,\text{H}_2\text{O}} = 44.013$ kJ/mol.

Tabella 1. Parametri A , B e C per il calcolo dei calori specifici c_p [$\text{J}/(\text{mol}\cdot^\circ\text{C})$].

Specie	A	$B\cdot 10^2$	$C\cdot 10^5$
CO_2	36.11	4.233	-2.887
H_2O	33.46	0.688	0.7604
O_2	29.10	1.158	-0.6076
N_2	29.00	0.2199	0.5723

Quesito 2

Del metanolo viene prodotto a partire da CO e H_2 secondo la reazione $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}$ ($\Delta\hat{H}_{298\text{K}}^0 = -90.135$ kJ/mol). In generale, CO e H_2 possono reagire per dare vari prodotti, oltre a CH_3OH (ad esempio, CH_4 , formaldeide, acetone). Pertanto, è fondamentale utilizzare un catalizzatore attivo alle minori temperature possibili e particolarmente selettivo. A tale scopo, i catalizzatori attualmente utilizzati sono a base di $\text{Cu}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ e permettono di ottenere selettività particolarmente elevate. Si consideri di operare la sintesi del metanolo da CO e H_2 in un reattore a fascio tubiero, contenente all'interno dei tubi il catalizzatore sopra citato. Si consideri di inviare in alimentazione al processo una portata P_0 pari a 100 mol/h contenente il 31%^{mol} di CO , il 66%^{mol} di H_2 e il 3%^{mol} di N_2 . Tale portata viene miscelata con una portata di riciclo (P_4) in rapporto 4:1 rispetto alla portata di alimentazione ($P_4 = 4\cdot P_0$). La portata in ingresso al reattore (P_1) contiene l'11%^{mol} di N_2 . I prodotti in uscita dal reattore vengono inviati ad un condensatore dal quale si ricava una portata P_2 di CH_3OH liquido puro e una portata di gas contenente CO , H_2 e N_2 . Tale portata di gas viene in parte spurgata (P_3), in parte inviata in riciclo al reattore (P_4). Lo schema semplificato del processo è riportato in Figura 1.

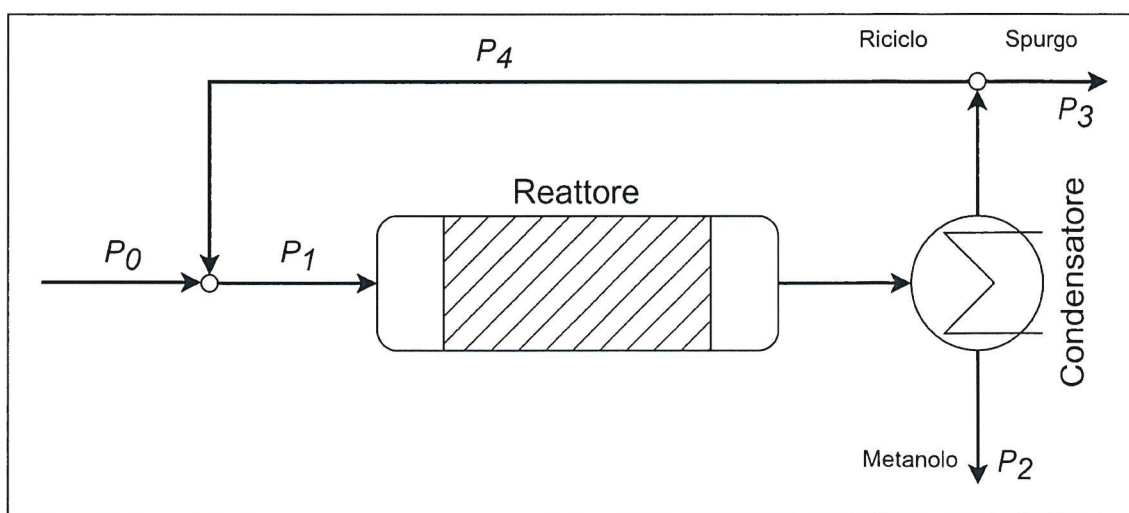


Figura 1. Schema d'impianto semplificato del processo di produzione del metanolo descritto nel testo.

Considerando di operare alla pressione di 50 bar con una selettività del catalizzatore del 100%, assumendo che la portata di alimentazione P_I sia a 500 K e che la temperatura massima di uscita dei prodotti dal reattore sia di 600 K, si calcoli:

- La portata di metanolo prodotta.
- La portata e la composizione dello spurgo.
- La conversione di CO per passaggio e la conversione totale di CO.
- La quantità di calore che è necessario asportare dal reattore e che può essere impiegata per la produzione di vapore ad alta pressione.

A seguire, vengono riportati ulteriori dati che possono essere necessari per lo svolgimento dell'esercizio, in particolare: le entalpie standard di formazione $\Delta \bar{H}_{f,i}^0$ [kJ/mol] a 298 K (Tabella 2), i parametri per il calcolo del calore specifico del CH_3OH secondo l'equazione $c_p = R \cdot (A + BT + CT^2)$ [J/(mol·K)] valida tra 298 K e 1500 K (Tabella 3) e le entalpie di combustione [J/mol] (Tabella 4).

Tabella 2. Entalpie standard di formazione di CO e CH_3OH a 298 K.

Composto i	$\Delta \bar{H}_{f,i}^0$ (298 K) [kJ/mol]
CO	-110.525
CH_3OH	-200.660

Tabella 3. Parametri per il calcolo del calore specifico c_p del CH_3OH secondo l'equazione $c_p = R \cdot (A + BT + CT^2)$ [J/(mol·K)] valida tra 298 K e 1500 K.

A	$B \cdot 10^3$	$C \cdot 10^6$
2.211	12.216	-3.45

Tabella 4. Entalpie di gas di combustione [J/mol] a diverse temperature T [K].

T [K]	N_2	H_2	CO
273	0	0	0
291	524	516	525
298	728	718	728
300	786	763	786
400	3695	3655	3699
500	6644	6589	6652
600	9627	9518	9665

Tema sicurezza

Quesito 1

Il D.M. 3 agosto 2015 “Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell’articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, rappresenta una prima ed importante tappa in materia di prevenzione incendi. Il Codice nasce al fine di semplificare e razionalizzare l’attuale corpo normativo relativo alla prevenzione degli incendi attraverso l’introduzione di un unico testo organico e sistematico e mediante l’utilizzo di un nuovo approccio metodologico più aderente al progresso tecnologico e agli standard internazionali.

Il candidato illustri, anche attraverso esempi specifici, la differenza tra regola tecnica orizzontale e verticale. Discutere e descrivere una tra le regole tecniche verticali.

Quesito 2

Il candidato applichi le metodologie richieste con lo scopo di eseguire un’analisi di sicurezza del sistema di rifornimento di gas naturale liquido (GNL) “Truck To Ship”:

- stima della frequenza di accadimento e del MTBF del Top Event dell’albero riportato in figura, con i valori forniti a tabella.
- stima delle conseguenze di un jet fire determinando il flusso termico irraggiato al suolo a 10 m di distanza dall’incendio mediante il modello a sorgente puntiforme. La modellazione del termine sorgente suggerisce una portata rilasciata di circa 2.5 kg/s da un foro pari a 5 mm. Si assume che la fuoriuscita sia principalmente gassosa. A favore di conservatività, si assume una fiamma orientata verticalmente verso l’alto dal punto di foratura. Si assuma una temperatura ambientale di 298 K e un’umidità relativa del 70%.

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

DATI

Calore di combustione idrogeno: 50000 kJ/kg

Rapporto di combustibile nella miscela stechiometrica aria-combustibile $\sigma=0.095$

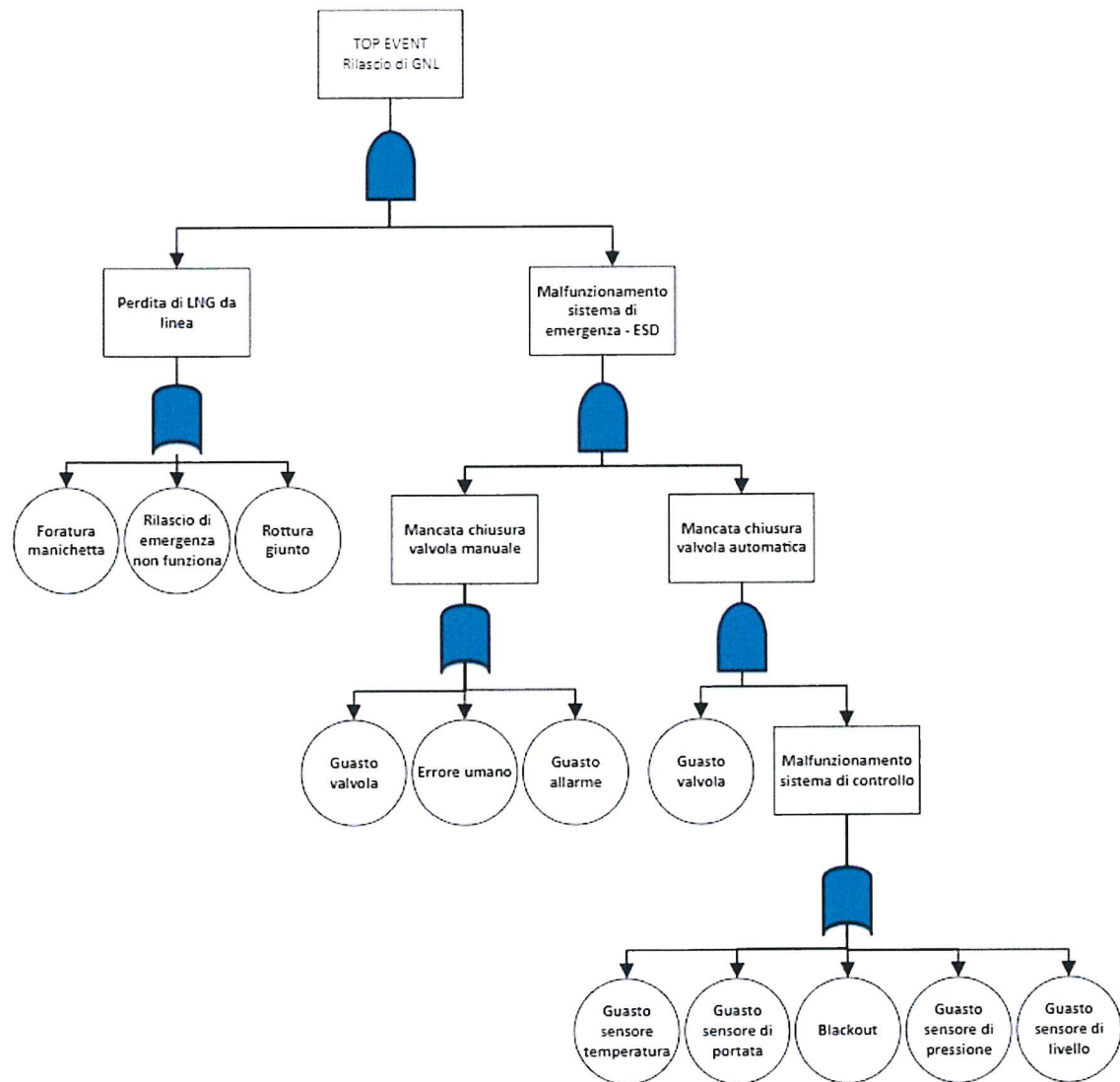
Mole di reagente/mole di prodotto nella miscela stechiometrica aria-combustibile $\alpha= 1.1$

Peso molecolare metano: 16 g/mol

Temperatura adiabatica della fiamma: 2200 K

Densità metano: 0.657 kg/m³

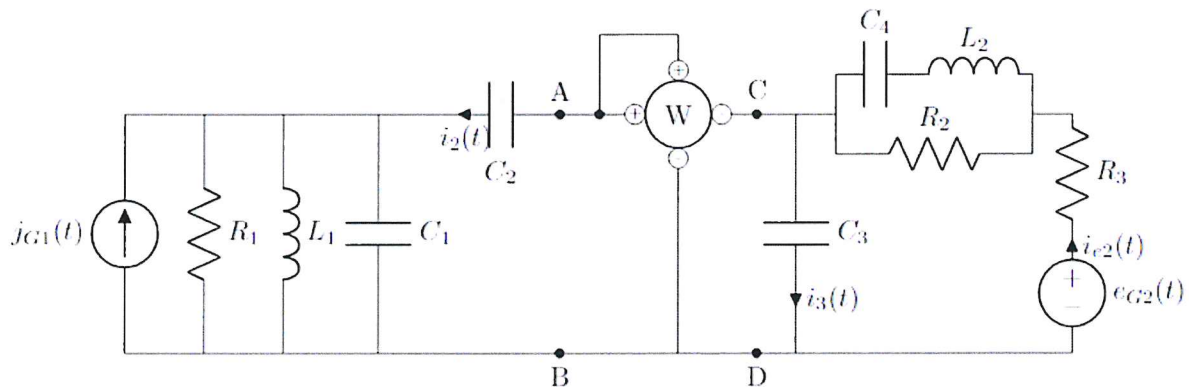
Densità dell’aria: 1.29 kg/m³



EVENTI	Frequenza [eventi/anno]
Guasto sensore di temperatura	$2,28 \cdot 10^{-2}$
Guasto sensore di portata	$2,37 \cdot 10^{-2}$
Guasto sensore di pressione	$5,52 \cdot 10^{-3}$
Guasto sensore di livello	$6,05 \cdot 10^{-3}$
Blackout	$5,11 \cdot 10^{-1}$
Guasto valvola	$1,30 \cdot 10^{-1}$
Guasto allarme	$1,75 \cdot 10^{-2}$
Foratura manichetta	$7,14 \cdot 10^{-1}$
Rilascio emergenza non funzionante	$2,19 \cdot 10^{-2}$
Rottura giunto	$2,24 \cdot 10^{-2}$
Errore umano	$2,00 \cdot 10^{-1}$

Tema Ingegneria Elettrica

Quesito 1



Della rete rappresentata in figura, operante in regime sinusoidale:

- 1) Calcolare i valori efficaci delle correnti $i_2(t)$, $i_3(t)$, $i_{e2}(t)$
- 2) Calcolare i parametri del circuito equivalente simbolico di Thevenin ($\bar{V}_{Th, sx}$, $\bar{Z}_{Th, sx}$) della rete alla sinistra dei morsetti AB.
- 3) Calcolare i parametri del circuito equivalente simbolico di Thevenin ($\bar{V}_{Th, dx}$, $\bar{Z}_{Th, dx}$) della rete alla destra dei morsetti CD.
- 4) Calcolare la potenza P_W letta dal wattmetro a valore medio.

Dati

$$R_1 = 10 \, \Omega$$

$$R_2 = 10 \, \Omega$$

$$R_3 = 20 \, \Omega$$

$$L_1 = 20 \, \text{mH}$$

$$L_2 = 20 \, \text{mH}$$

$$C_1 = 50 \, \mu\text{F}$$

$$C_2 = 50 \, \mu\text{F}$$

$$C_3 = 50 \, \mu\text{F}$$

$$C_4 = 50 \, \mu\text{F}$$

$$\omega = 1000 \, \text{rad/s}$$

$$j_{G1}(t) = 10 \sin(\omega t + \pi/4) \, \text{A}$$

$$e_{G2}(t) = 15\sqrt{2} \sin(\omega t) \, \text{V}$$

Risultati

$$I_2 =$$

$$I_3 =$$

$$I_{e2} =$$

$$\bar{V}_{Th, sx} =$$

$$\bar{Z}_{Th, sx} =$$

$$\bar{V}_{Th, dx} =$$

$$\bar{Z}_{Th, dx} =$$

$$P_W =$$

Quesito 2

Il candidato risponda ad uno a scelta tra i seguenti quesiti:

2a

Si esegua il progetto preliminare di massima di un trasformatore trifase in olio, per servizio continuativo, di potenza nominale pari a $S_n=500$ kVA, con tensione primaria $V_{n1} = 20$ kV ± 2.5 % e tensione secondaria $V_{n2} = 400$ V, per frequenza $f=50$ Hz. Si preveda un collegamento Triangolo-Stella, una tensione di corto circuito pari a $v_{cc}\%=6$ % ed un rapporto tra le perdite $P_{Joule}/P_{ferro} > 5$.

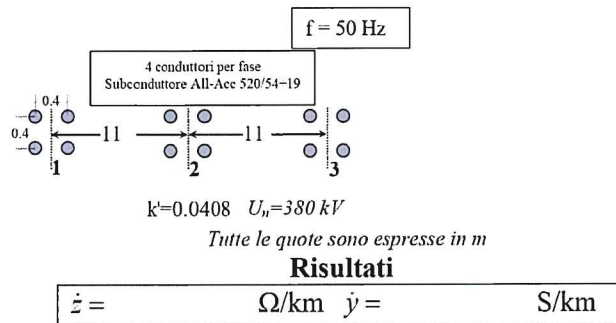
Presentare il progetto completo, compilando la seguente tabella riassuntiva:

Scelte progettuali		Note	
Flusso magnetico			
Induzione nel ferro			
Carico elettrico (A/m)			
Densità di corrente AT			
Densità di corrente BT			
Dimensioni			
Avvolgimento BT		Avvolgimento AT	
Num. spire		Num. spire	
Sezione spire		Sezione spire	
Tipo conduttore		Tipo conduttore	
Altezza avvolg.		Altezza avvolg.	
Diametro interno		Diametro interno	
Diametro esterno		Diametro esterno	
Note sull'avvolg.		Note sull'avvolg.	
CASSA		PESI	
Altezza cassa		Conduttore BT	
Larghezza cassa		Conduttore AT	
Lunghezza cassa		Ferromagn.	
Tipo di raffredd. e descrizione			Perdite avv. BT
			Perdite avv. AT
			Perdite ferro
			Sovratemp. BT
			Sovratemp. AT
			Rendimento
			Corrente a vuoto
			Tensione cc %

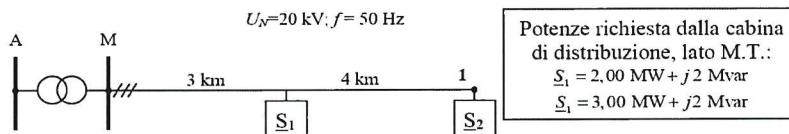
2b

Si risponda alle seguenti 3 domande:

- 1) Con riferimento alla linea aerea in figura (tutte le quote sono espresse in m), si calcolino l'impedenza longitudinale chilometrica e l'ammettenza trasversale chilometrica (la linea è trasposta). Si assuma per la conduttanza trasversale valore nullo.



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

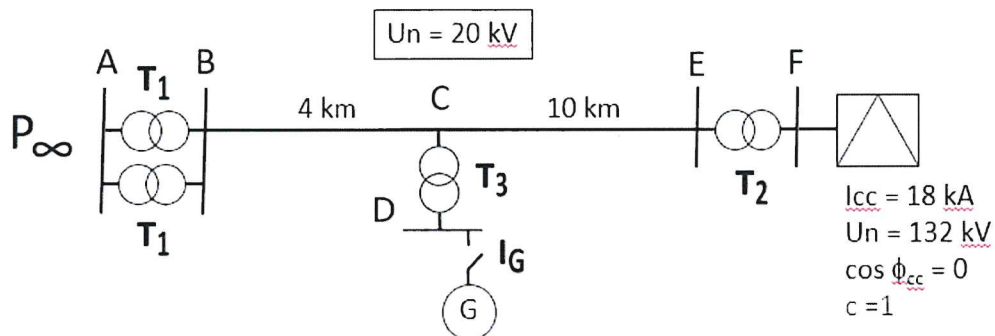


- dimensionare la linea in cavo RG7H1RX sapendo che si prevede l'utilizzo di tre cavi unipolari direttamente interrati con resistenza termica del terreno $R_t = 200^\circ\text{C cm/W}$, ad una temperatura pari a 40°C e che la massima caduta di tensione ammissibile deve essere del 3% ;
- dopo il dimensionamento, calcolare la massima caduta di tensione percentuale ;
- calcolare le perdite elettriche Joule complessive e quelle dielettriche ($\tan\delta = 2 \cdot 10^{-3}$) ;
- supponendo che le protezioni della conduttura in cavo intervengano in $t = 1,5 \text{ s}$ e che la corrente di corto circuito massima termicamente equivalente per tutto il tempo t sia 9 kA , verificare se la sezione scelta è adeguata ($\vartheta_{\text{esercizio}} = 90^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{massima}} = 250^\circ\text{C}$) ;
- Quale sarebbe la caduta di tensione percentuale lungo il cavo se i cavi fossero installati nello stesso sito ma in posa piana? Perché avviene questa variazione? .

Risultati

a)	Sezione commerciale del cavo	[mm ²]	
b)	Cdt percentuale	[%]	
c)	Perdite complessive Joule	kW	
	Perdite complessive dielettriche	kW	
d)	La sezione scelta <i>è/non è</i> idonea perché il cavo (in condizioni adiabatiche di corto circuito) sopporta kA.		
e)	Cdt percentuale	[%]	

- 3) Con riferimento alla linea trifase di figura, esercita a tensione nominale $U_n=20$ [kV] a 50 Hz, e ai dati sotto riportati, si richiede:



Trasformatore	T1	T2	T3
Potenza	7,5 MVA	15 MVA	630 kVA
V_{1n}/V_{2n}	132/20 kV	132/20 kV	20/0.4 kV
$V_{cc}\%$	9 %	9 %	4.2 %
$\cos \phi_{cc}$	0.042	0.042	0.32
Gruppo	Yy /0	Yy /0	Dyn /11

Generatore	
Potenza	400 kVA
V_n	400 V
$X_{sincr.}$	110%
$X_{subtrans.}$	11%
X_{inv}	0.15 X_{sincr}

Linea	
R_{20° [Ω/km]	0.180
X [Ω/km]	0.330

- Calcolo della corrente di **guasto fase/terra nel punto D** supponendo il generatore scollegato (I_G aperto).
- Corrente circolante al primario del trasformatore **T3** nel caso di **guasto fase/terra nel punto D** supponendo il generatore scollegato (I_G aperto).
- Calcolo della **corrente circolante nel ramo C-E** per **guasto fase/terra nel punto D** supponendo il generatore scollegato (I_G aperto).
- Calcolo della corrente **subtransitoria di guasto fase/fase nel punto D** supponendo il generatore in D collegato (I_I chiuso).
- Calcolo della **corrente di guasto trifase in C (regime permanente)** supponendo il generatore in D collegato (I_I chiuso).

Risultati

Domanda a) CORTO F-T IN D – I_G aperto	Corrente di guasto F-T in D	[kA]	
Domanda b) CORTO F-T IN D – I_G aperto	Corrente richiamata al primario di T2	[A]	
Domanda c) CORTO F-T IN D – I_G aperto	Corrente circolante nel ramo C-E	[A]	
Domanda d) CORTO F-F IN D – I_G chiuso	Corrente di guasto F-F in D	[kA]	
Domanda d) CORTO TRIFASE IN C – I_G chiuso	Corrente di guasto 3F in C	[kA]	

DATI COSTRUTTIVI E PORTATE DI CORRENTE

COEFFICIENTI DI CORREZIONE DELLE PORTATE DI CORRENTE

TEMPERATURA DELL'AMBIENTE DIVERSA DA QUELLA DI RIFERIMENTO

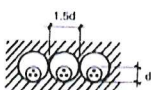
Temperatura ambiente °C	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Cavi in terra	1.04	1.00	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80	—	—	—	—
Cavi in aria *	—	1.09	1.05	1.00	0.95	0.90	0.85	0.79	0.74	0.67	0.60

* Non esposti al sole direttamente

CAVI TRIPOLARI (O TERNE DI CAVI UNIPOLARI A TRIFOGLIO) POSATI IN TERRA

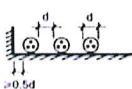
Numero di cavi o terne (in orizzontale)		2	3	4	6
Distanza fra i cavi o terne	7 cm	0.84	0.74	0.67	0.60
	25 cm	0.86	0.78	0.74	0.69

CAVI TRIPOLARI (O TERNE DI CAVI UNIPOLARI A TRIFOGLIO) POSATI IN TUBO INTERRATO

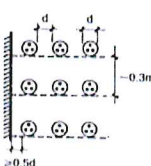


Numero di cavi (in orizzontale)	1	2	3
	0.82	0.69	0.61

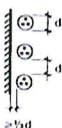
CAVI TRIPOLARI POSATI IN ARIA



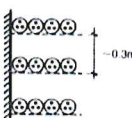
Numero cavi (in orizzontale)	1	2	3	6
	0.95	0.90	0.88	0.85



Numero di cavi (in orizzontale)		1	2	3	6
Numero di strati (in verticale)	1	1.00	0.98	0.96	0.93
	2	1.00	0.95	0.93	0.90
	3	1.00	0.94	0.90	0.87



Numero cavi (in verticale)	1	2	3	6
	1.00	0.93	0.90	0.87



Numero di cavi (in orizzontale)		1	2	3	6
Numero di strati (in verticale)	1	0.95	0.84	0.80	0.75
	2	0.95	0.80	0.76	0.71
	3	0.95	0.78	0.74	0.70



Numero cavi (in orizzontale)	1	2	3	6
	0.95	0.78	0.73	0.68

PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE

sezione nominale mm ²	posa in aria				posa in terra							
					$R_t = 100 \text{ } ^\circ\text{C cm/W}$				$R_t = 200 \text{ } ^\circ\text{C cm/W}$			
	Cu ... Al	Cu ... Al	Cu ... Al	Cu ... Al	Cu ... Al	Cu ... Al	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

sezione nominale mm ²	posa in aria		posa in terra			
			$R_t = 100 \text{ } ^\circ\text{C cm/W}$		$R_t = 200 \text{ } ^\circ\text{C cm/W}$	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
3x 25	144	—	149	—	117	—
3x 35	177	—	175	—	138	—
3x 50	209	164	207	161	162	126
3x 70	260	203	253	197	198	154
3x 95	315	246	300	234	234	183
3x120	362	283	342	266	266	208
3x150	408	319	381	298	296	232
3x185	468	366	431	337	335	262
3x240	550	430	500	392	387	303
3x300	630	495	561	441	435	341

sezione nominale mm ²	posa in aria		posa in terra			
			$R_t = 100 \text{ } ^\circ\text{C cm/W}$		$R_t = 200 \text{ } ^\circ\text{C cm/W}$	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
3x 25	140	—	150	—	118	—
3x 35	172	—	177	—	139	—
3x 50	203	159	208	162	163	127
3x 70	251	197	255	199	199	155
3x 95	303	237	301	235	235	184
3x120	347	272	342	267	266	208
3x150	391	307	381	299	296	232
3x185	446	349	430	338	334	262
3x240	520	410	494	390	382	302
3x300	595	474	553	438	427	339

DATI TECNICI

VALORI TEORICI DELLA RESISTENZA APPARENTE DEL CONDUTTORE A 50 Hz ED A 90°C (Ohm/km)

Cavi unipolari 

Sezione mm ²	Conduttori in rame				Conduttori in alluminio			
	1.8/3 kV 3.6/6 kV	6/10 kV 8.7/15 kV	12/20 kV 15/20 kV 18/30 kV	26/45 kV	1.8/3 kV 3.6/6 kV	6/10 kV 8.7/15 kV	12/20 kV 15/20 kV 18/30 kV	26/45 kV
10	2.35	2.35	—	—	—	—	—	—
16	1.48	1.48	—	—	—	—	—	—
25	0.936	0.936	0.936	—	—	—	—	—
35	0.674	0.675	0.675	—	—	—	—	—
50	0.499	0.499	0.499	—	0.818	0.818	0.818	—
70	0.345	0.345	0.345	0.345	0.566	0.566	0.566	0.566
95	0.249	0.249	0.249	0.249	0.409	0.409	0.409	0.409
120	0.197	0.197	0.197	0.197	0.323	0.323	0.323	0.323
150	0.161	0.161	0.161	0.161	0.263	0.263	0.263	0.263
185	0.128	0.128	0.128	0.128	0.210	0.210	0.210	0.210
240	0.0984	0.0983	0.0982	0.0981	0.161	0.161	0.161	0.161
300	0.0789	0.0788	0.0787	0.0786	0.130	0.130	0.130	0.129
400	0.0625	0.0624	0.0623	0.0622	0.102	0.102	0.102	0.102
500	0.0496	0.0494	0.0493	0.0491	0.0813	0.0810	0.0813	0.0805
630	0.0396	0.0394	0.0393	0.0391	0.0649	0.0646	0.0649	0.0645

Cavi unipolari 

Sezione mm ²	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

Cavi tripolari 

Sezione mm ²	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	0.250	0.410
120	0.198	0.325
150	0.162	0.265
185	0.130	0.213
240	0.100	0.164
300	0.0815	0.134
400	0.0658	0.108
500	0.0536	0.0879

VALORE DELLA CAPACITÀ A 50 Hz (μF/km)

Sezione mm ²	1.8/3 kV		3.6/6 kV		6/10 kV	8.7/15 kV	12/20 kV	15/20 kV	18/30 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

VALORE DELLA REATTANZA DI FASE A 50 Hz (Ohm/km)

Cavi unipolari  (valore medio)

Sezione mm ²	1.8/3 kV	3.6/6 kV	6/10 kV	8.7/15 kV	12/20 kV	15/20 kV	18/30 kV	26/45 kV
10	0.19	0.20	0.21	—	—	—	—	—
16	0.18	0.19	0.20	0.21	—	—	—	—
25	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	—	—	—
35	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.20	0.21	—
50	0.16	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.20	—
70	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.21
95	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	0.19	0.20
120	0.15	0.16	0.16	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19
150	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	0.19
185	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18
240	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18
300	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17
400	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17
500	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17
630	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16

Cavi unipolari 

Sezione mm ²	1.8/3 kV	3.6/6 kV	6/10 kV	8.7/15 kV	12/20 kV	15/20 kV	18/30 kV	26/45 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	0.16	—
50	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	—
70	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15
95	0.098	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14
120	0.095	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14
150	0.092	0.097	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13
185	0.089	0.094	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12
240	0.086	0.091	0.097	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12
300	0.084	0.089	0.095	0.099	0.10	0.11	0.11	0.12
400	0.083	0.087	0.092	0.096	0.099	0.10	0.11	0.11
500	0.081	0.084	0.089	0.092	0.096	0.098	0.10	0.11
630	0.079	0.082	0.087	0.090	0.093	0.096	0.099	0.10

Cavi tripolari 

Sezione mm ²	1.8/3 kV	3.6/6 kV	6/10 kV	8.7/15 kV	12/20 kV	15/20 kV	18/30 kV	26/45 kV
10	0.11	0.12	0.14	—	—	—	—	—
16	0.10	0.12	0.13	0.14	—	—	—	—
25	0.097	0.11	0.12	0.13	0.14	—	—	—
35	0.093	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	—
50	0.088	0.097	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	—
70	0.084	0.092	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14
95	0.081	0.089	0.097	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13
120	0.079	0.086	0.094	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13
150	0.077	0.084	0.091	0.097	0.10	0.11	0.11	0.12
185	0.076	0.082	0.088	0.094	0.098	0.10	0.11	0.11
240	0.074	0.079	0.085	0.090	0.094	0.098	0.10	—
300	0.072	0.077	0.084	0.088	0.092	0.096	0.10	—
400	0.071	0.075	0.082	0.086	—	—	—	—
500	0.070	0.074	0.079	—	—	—	—	—

Tab. A.1 - Conduttori a corda di rame crudo per linee elettriche aeree (da tab. UNEL 01437)

Grandezza	Formazione: numero fili x d n° x mm	Sezione teorica mm ²	Ø mm	Massa teorica kg/km	Carico di rottura daN	Resistenza elettrica teo- rica a 20°C Ω/km
16/ 7	7x1,70	15,69	5,1	144,1	664,0	1,140
25/ 7	7x2,14	25,18	6,42	228,3	1028	0,7199
35/ 7	7x2,52	34,91	7,56	316,6	1426	0,5192
40/ 7	7x2,70	40,08	8,1	363,4	1637	0,4522
50/ 7	7x3,00	49,48	9	448,7	2021	0,3663
65/19	19x2,10	65,81	10,5	602,6	2632	0,2781
70/19	19x2,14	68,34	10,7	625,8	2733	0,2678
95/19	19x2,52	94,76	12,6	867,7	3790	0,1831
120/19	19x2,80	117,0	14	1071	4679	0,1564
150/37	37x2,30	153,7	16,1	1415	5949	0,1196
230/37	37x2,80	227,8	19,6	2096	8817	0,08073

Tab. A.2 - Conduttori a corda di alluminio crudo per linee elettriche aeree (da tab. UNEL 01435)

Grandezza	Formazione: numero fili x d n°. x mm	Sezione teorica mm ²	Ø mm	Massa teorica kg/km	Carico di rottura daN	Resistenza elettrica teo- rica a 20°C Ω/km
25/7	7x2,14	25,18	6,42	68,00	431,0	1,137
35/7	7x2,50	34,36	7,5	94,10	575,0	0,8332
50/7	7x3,00	49,48	9	135,5	790,0	0,5786
70/19	19x2,14	68,34	10,7	188,0	1169	0,4210
95/19	19x2,50	93,27	12,5	256,6	1559	0,3085
120/19	19x2,90	125,5	14,5	345,3	2003	0,2292
240/37	37x2,90	244,4	20,3	673,8	3900	0,1180
500/61	61x3,20	490,6	28,8	1355	7285	0,05690
800/61	61x4,00	766,5	36	2118	10970	0,03770

Tab. A.3 - Conduttori a corda di lega di alluminio per
linee elettriche aeree (da tab. UNEL 01436)

Grandezza	Formazione: numero fili x d n° x mm	Sezione teorica mm ²	Ø mm	Massa teorica kg/km	Carico di rottura daN	Resistenza elettrica teorica a 20°C Ω /km
35/ 7	7x2,52	34,91	7,56	95,60	995,0	0,9429
50/ 7	7x3,00	49,48	9	135,5	1410	0,6653
70/19	19x2,14	68,34	10,7	188,0	1948	0,4840
95/19	19x2,52	94,76	12,6	260,7	2701	0,3491
120/19	19x2,90	125,5	14,5	345,3	3577	0,2636
150/37	37x2,25	147,1	15,75	405,6	4193	0,2253
185/37	37x2,52	184,5	17,64	508,8	5259	0,1797
200/37	37x2,60	196,4	18,2	541,6	5599	0,1688
240/37	37x2,90	244,4	20,3	673,8	6965	0,1357
300/61	61x2,52	304,2	22,68	840,6	8671	0,1092
400/61	61x2,90	402,9	26,1	1113	11480	0,08247

Tab. A.4 - Conduttori a corda di alluminio-acciaio per
linee elettriche aeree (da tab. UNEL 01434)

Grandezza	Formazione: numero fili x d n° x mm		Sezione teorica mm ²			Rap- por- to se- zioni allumi- nio-ac- ciaio	Ø mm	Massa teorica kg/km			Carico di rottura daN		Resisten- za elet- trica teorica a 20°C Ω /km
	allumi- nio	acciaio	allumi- nio	acciaio	totale			allumi- nio	acciaio	totale	con acciaio tipo 135	con acciaio tipo 170	
42/ 6+ 1	6x3,00	1x3,00	42,41	7,069	49,48	6,0	9	116,4	55,13	171,5	1515	1613	0,6766
68/ 12+ 7	12x2,68	7x2,68	67,69	39,49	107,2	1,7	13,4	186,9	309,4	496,3	5650	6195	0,4266
128/ 26+ 7	26x2,50	7x1,95	127,6	20,90	148,5	6,1	15,85	352,4	163,8	516,2	4696	4909	0,2261
191/ 26+ 7	26x3,06	7x2,38	191,2	31,14	222,3	6,1	19,38	528,0	244,0	772,0	6692	7122	0,1509
212/ 30+ 7	30x3,00	7x3,00	212,0	49,48	261,5	4,3	21	586,0	387,7	973,7	9183	9866	0,1362
265/ 26+ 7	26x3,60	7x2,80	264,6	43,10	307,7	6,1	22,8	730,8	337,7	1068	9157	9752	0,1090
349/ 30+ 19	30x3,85	19x2,30	349,2	78,94	428,1	4,4	26,9	965,1	620,6	1586	14520	15610	0,08274
382/ 54+ 7	54x3,00	7x3,00	381,7	49,48	431,2	7,7	27	1055	387,7	1443	12030	12710	0,07573
416/ 30+ 19	30x4,20	19x2,50	415,6	93,26	508,9	4,5	29,3	1148	733,2	1881	17200	18490	0,06952
434/ 54+ 7	54x3,20	7x3,20	434,2	56,29	490,5	7,7	28,8	1200	441,1	1641	13370	14060	0,06656
520/ 54+ 19	54x3,50	19x2,10	519,5	65,80	585,3	7,9	31,5	1436	517,4	1953	16180	16850	0,05564
629/ 54+ 19	54x3,85	19x2,30	628,6	78,94	707,5	8,0	34,6	1737	620,6	2358	18960	20050	0,04598
748/ 54+ 19	54x4,20	19x2,50	748,1	93,26	841,4	8,0	37,7	2068	733,2	2801	22490	23770	0,03864
1657/150+ 37	150x3,75	37x2,68	1657	208,7	1866	7,9	56,26	4610	1659	6269	50400	53280	0,01758

Tab. A.5 - Portate di corrente in regime permanente in conduttori a corda, con 40°C di sovratemperatura, all'aperto con aria tranquilla.

Sezione nominale della corda mm ²	Corrente in A		
	Rame	Alluminio	Lega di AL
16	115	-	-
25	151	121	-
35	174	149	142
50	231	185	176
70	282	226	215
95	357	282	269
120	411	329	313
150	477	-	369
185	-	-	414
230	621	-	-
240	-	513	488
300	-	-	568

Tab. A.6 - Portate di corrente in regime permanente in corde di Alluminio-acciaio, con 40°C di sovratemperatura, all'aperto con aria tranquilla.

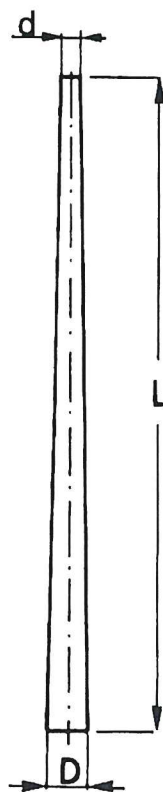
Designazione della corda	Corrente in A
42/ 6+ 1	219
68/ 12+ 7	259
128/ 26+ 7	356
191/ 26+ 7	458
212/ 30+ 7	492
265/ 26+ 7	576
349/ 30+19	712
382/ 54+ 7	765
416/ 30+19	819
434/ 54+ 7	849
520/ 54+19	987

Tab. A.11 - Distanze minime indicative tra i conduttori di linee aeree in M.T. (cm).

Tensioni Campate	fino a 10 kV	10 + 22 kV	22 + 30 kV
fino a 60 m	75	105	135
60 + 90	90	120	150
90 + 100	105	135	165

Tab. A.12 - Pali in cemento armato centrifugato per linee elettriche aeree in BT e MT.

L m	Tiro in testa di rottura teorico kg	D cm	d cm	peso kg
8,0	200	21,00	9,0	300
8,5		21,75		330
8,0	300	22,50	10,5	320
9,0		24,00		370
9,5		24,75		420
10,0		25,50		470
10,5		26,25		520
11,0		27,00		570
11,5	350	27,75	10,5	620
9,0		24,00		380
9,5		24,75		430
10,0		25,50		480
10,5		26,25		530
11,0		27,00		580
11,5	450	27,75	12,0	630
12,0		28,50		680
9,0		25,50		500
10,0		27,00		580
11,0	600	28,50	14,0	670
12,0		30,00		770
9,0		27,50		600
9,5		28,25		650
10,0		29,00		700
10,5		29,75		750
11,0		30,50		800
12,0		32,00		900
13,0		33,50		1050
14,0		35,00		1200



L m	Tiro in testa di rottura teorico kg	D cm	d cm	peso kg
9,0	900	31,50	18	800
9,5		32,25		850
10,0		33,00		900
10,5		33,75		950
11,0		34,50		1000
12,0		36,00		1200
13,0	1200	37,50	20	1300
14,0		39,00		1500
9,0		33,50		900
10,0		35,00		1050
11,0	1500	36,50	22	1175
12,0		38,00		1375
13,0		39,50		1500
14,0		41,00		1700
10,0	1800	37,00	24	1150
11,0		38,50		1300
12,0		40,00		1500
13,0		41,50		1650
14,0	2400	43,00	27	1850
10,0		39,00		1400
11,0		40,50		1600
12,0		42,00		1900
13,0		43,50		2100
14,0		45,00		2300
16,0		48,00		2600
10,0		42,00		1600
11,0		43,50		1800
12,0		45,00		2100
13,0		46,50		2400
14,0		48,00		2700
16,0		51,00		3400

Tema Ingegneria Energetica

Quesito 1

Un evaporatore saldobrasato è composto da 36 piastre. Ciascuna piastra è larga 89 mm e lunga 367 mm. La distanza tra due piastre è di 1.5 mm. Le piastre sono di acciaio inossidabile ($\lambda = 15 \text{ W/(m K)}$) con uno spessore di 0.15 mm. Una portata di massa di propano ($\dot{m}_{\text{propano}} = 0.08 \text{ kg/s}$) entra con un titolo di $x = 0.25$ e temperatura di saturazione di 5°C e scambia calore in controcorrente con una portata d'acqua ($\dot{m}_{\text{acqua}} = 1.4 \text{ kg/s}$).

Il coefficiente di scambio convettivo lato acqua può essere valutato con la seguente relazione:

$$Nu_{\text{acqua}} = 0.25 Re^{0.6} Pr^{0.33}$$

Il coefficiente di scambio convettivo lato refrigerante nell'ipotesi che il cambio di fase sia dominato dalla convezione forzata bifase:

$$Nu_{\text{propano}} = 0.122 \Phi \frac{\lambda_l}{D_h} Re^{0.8} Pr^{0.33}$$

$$\Phi = 1.22$$

Calcolare:

Il coefficiente di scambio convettivo lato acqua

Il coefficiente di scambio convettivo lato refrigerante

La temperatura di uscita dell'acqua

Per l'acqua utilizzare le seguenti proprietà termodinamiche:

ρ [kg m^{-3}]	μ [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]	λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	c_p [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]
1000	0.001284	0.58	4194

Per il propano usare le seguenti proprietà termodinamiche;

p [bar]	p_{cr} [bar]	ρ_l [kg m^{-3}]	ρ_v [kg m^{-3}]	$c_{p,l}$ [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]	λ_l [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	μ_l [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]	h_l [kJ kg^{-1}]	h_v [kJ kg^{-1}]
5.51	42.51	521.8	11.97	2532	0.103	0.000120	212.6	580.3

Quesito 2

Il candidato confronti criticamente le tecnologie più diffuse per la produzione combinata di energia elettrica e calore. In modo particolare, si evidenzino gli aspetti di regolazione, di flessibilità, di convenienza in funzione della richiesta dell'utenza termica.