

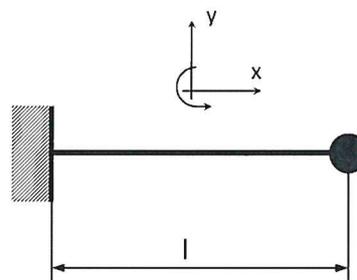


Il candidato sviluppi uno dei seguenti temi proposti. Ciascun tema è composto da due quesiti.

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 $l = 0.5$ m incastrata ad una estremità alla struttura portante. Lo strumento si può considerare come una massa concentrata $M = 4$ 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 a prima frequenza propria assiale e flessionale > 130 Hz.
2. L'ingombro trasversale della sezione deve essere contenuto in 120×130 mm² nelle direzioni y e z rispettivamente.
3. La massa della struttura di supporto deve avere una massa $m < 1.8$ kg.

Si evidenzino le eventuali assunzioni preliminari considerate durante il predimensionamento.

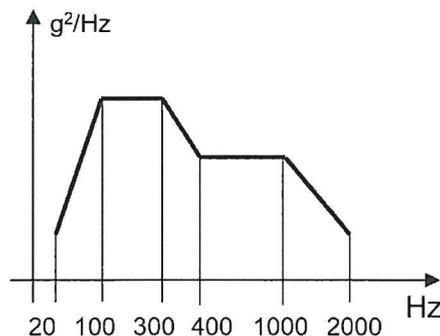
Si scelga la sezione che soddisfa le prime due condizioni e che minimizza la massa del supporto. Si calcolino i margini di sicurezza nei punti che si ritengono più critici, considerando un fattore di sicurezza $FS = 1.5$ e un'accelerazione quasi statica di 80 g applicata esclusivamente allo strumento (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 tipi e le entità dei carichi termomeccanici a cui sono sottoposti le strutture. Infine si suggeriscano le alternative progettuali per la scelta dei materiali per i diversi componenti della struttura, precisandone e confrontandone in modo critico i campi di utilizzo 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 polimerici in ambito biomedicale.

Si proceda anzitutto ad una descrizione delle configurazioni microstrutturali che possono contraddistinguere questi materiali, nonché delle conseguenze di tali configurazioni su proprietà elastiche e visco-elastiche. Riportare grafici rappresentativi il comportamento meccanico.

Si consideri quindi una specifica applicazione, descrivendo le proprietà meccaniche e di biocompatibilità richieste, fornendo quindi una descrizione del materiale polimerico che si vorrebbe utilizzare.

Si riportino infine le limitazioni nell'impiego di materiali polimerici in ambito biomedicale.

Quesito 2

Le tecnologie di manifattura additiva si stanno attualmente imponendo in molti settori. In riferimento al settore biomedicale, le tecnologie di stampa 3D trova applicazione per la realizzazione di modelli anatomici, dispositivi protesici e matrici per l'ingegneria tessutale nella medicina rigenerativa.

Il candidato esprima il proprio parere circa le potenzialità della stampa 3D nel settore biomedicale e fornisca esempi di possibili applicazioni pratiche.

Il candidato elabori il piano progettuale di una ricerca dedicata allo sviluppo di un dispositivo biomedicale innovativo che possa avvalersi della stampa 3D, precisando i seguenti aspetti:

- definizione del nuovo dispositivo biomedicale;
- carattere di innovatività rispetto allo stato dell'arte;
- descrizione delle attività da sviluppare per raggiungere l'obiettivo progettuale;
- organizzazione del gruppo di lavoro con indicazione dei ruoli dei singoli partecipanti;
- costi del progetto e sostenibilità economica tramite eventuali finanziamenti.

Tema chimica

Quesito 1

Calcolare la temperatura teorica di combustione per un gas contenente il 10% di CO, il 10% di CH₄ e l'80% di N₂, che viene bruciato con il 130% di eccesso d'aria. Tutti i gas si trovano inizialmente preriscaldati a 500 K. Si consideri come temperatura di riferimento 25°C e come base di calcolo 100 moli di alimentazione. Le entalpie di formazione necessarie per il calcolo sono riportate in Tabella 1, mentre le entalpie in funzione della temperatura sono riportate in Tabella 2.

Tabella 1. Entalpie di formazione $\Delta\hat{H}_{f,i}^0$ a 298 K.

Composto <i>i</i>	$\Delta\hat{H}_{f,i}^0$ [kJ/mol]
CH ₄	-74.85
CO	-110.52
CO ₂	-393.51
H ₂ O(g)	-241.83

Tabella 2. Entalpie [J/mol] in funzione della temperatura *T* a 1 atm.

<i>T</i> [K]	N ₂	O ₂	Aria	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂ O
273	0	0	0	0	0	0	0
291	524	527	523	630	525	655	603
298	728	732	726	879	728	912	837
300	786	790	784	950	786	986	905
400	3695	3752	3696	4740	3699	4903	4284
500	6644	6811	6660	9100	6652	9204	7752
600	9627	9970	9673	14054	9665	13807	11326
700	12652	13225	12736	19585	12748	18656	15016
800	15756	16564	15878	25652	15899	23710	18823
900	18961	19970	19116	32204	19125	28936	22760
1000	22171	23434	22367	39204	22413	34308	26823
1100	25472	26940	25698	46567	25760	39802	31011
1200	28819	30492	29078	54308	29154	45404	35312
1300	32216	34078	32501	62383	32593	51090	39722
1400	35639	37693	35953	70709	36020	56860	44237
1500	39145	41337	39463	79244	39576	62676	48848
1750	47940	50555	48325	101556	48459	77445	60751
2000	56907	59914	57320	124725	57488	92466	73136

Quesito 2

Da un impianto di idrodealchilazione si ottengono 3.5 t/h di miscela benzene-toluene al 40% ponderale in benzene. Il frazionamento della miscela è condotto mediante distillazione continua a pressione atmosferica con rapporto di riflusso *r* pari a 2.5 in modo da ottenere un distillato con x_D pari a 0.975 e un residuo con x_R pari a 0.025 (molare in benzene). Le caratteristiche termiche dei componenti sono riportate in Tabella 3. Si assumano valori medi su base molare per il calcolo delle proprietà della miscela benzene-toluene. Si consideri la seguente condizione termica di alimentazione: liquido a 20°C. Si richiede di:

- Rappresentare in Figura 1 (allegata al testo) il diagramma dell'equilibrio liquido-vapore del sistema benzene-toluene assumendo il comportamento ideale (modello di Raoult-Dalton) e tramite l'equazione di Brown per α costante e pari a 2.5. Le costanti per la valutazione delle tensioni di vapore secondo Antoine sono riportate in Tabella 4.
- Applicare il metodo di McCabe-Thiele per determinare il numero di stadi ideali e la posizione del piatto di alimentazione.
- Determinare il consumo di acqua al condensatore, assumendo di disporre di acqua in ciclo chiuso alla temperatura di 25°C, laddove la temperatura di uscita non deve superare i 40°C.

- Determinare il consumo di vapore riscaldante al reboiler, assumendo che il vapor d'acqua sia disponibile in condizioni saturate a 2.4 ata.

Tabella 3. Caratteristiche termiche dei componenti.

	benzene(1)	toluene(2)
λ [kcal/kg]	94.5	87.0
c_p [kcal/(kg·°C)]	0.457	0.470
M [kg/kmol]	78.11	92.13

Tabella 4. Costanti per la valutazione delle tensioni di vapore secondo Antoine (logaritmi decimali, P in mmHg, T in °C).

i	A_i	B_i	C_i
benzene(1)	6.90565	1211.033	220.790
toluene(2)	6.95334	1343.943	219.377

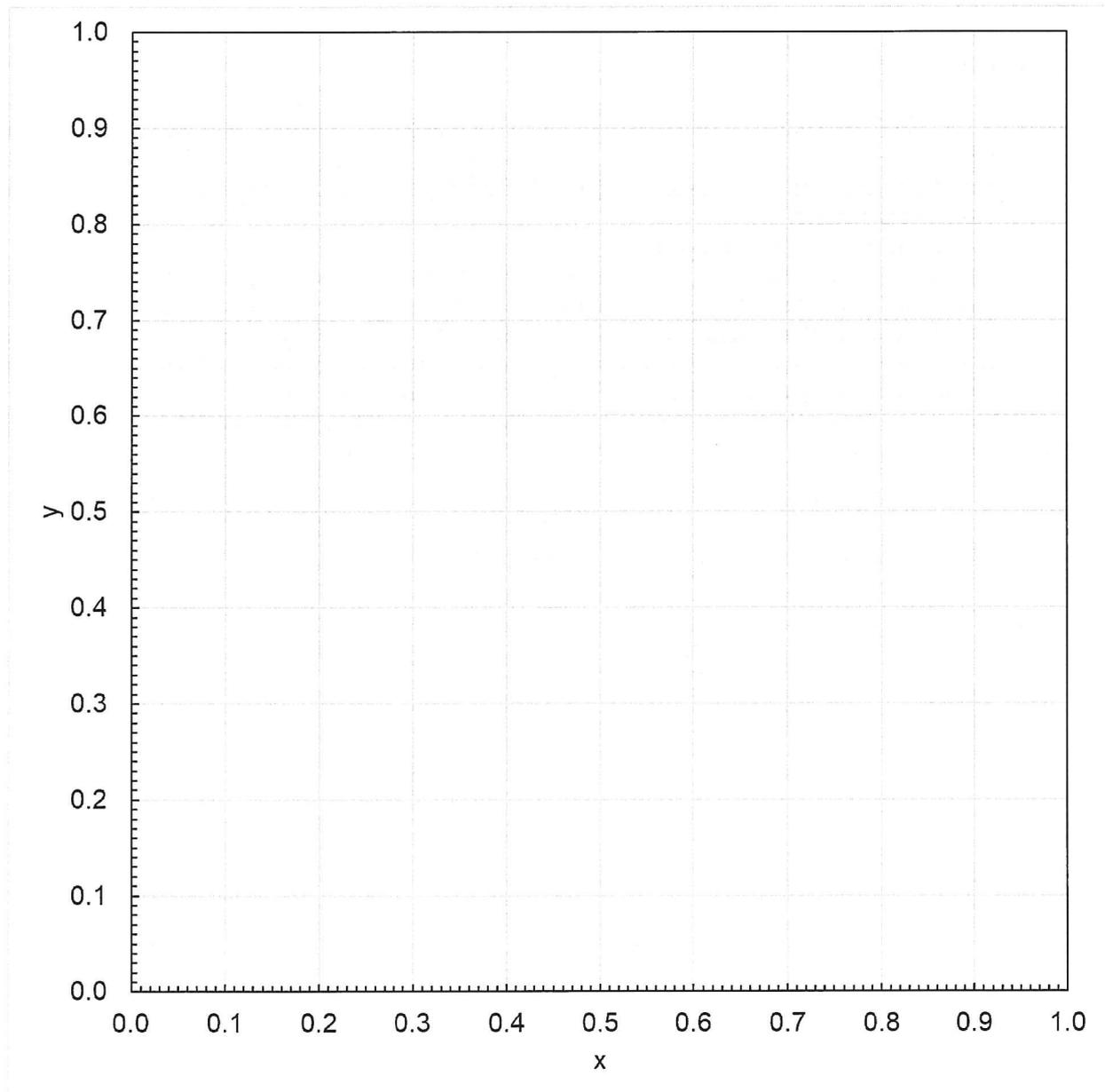


Figura 1. Equilibrio liquido-vapore del sistema benzene-toluene [da completare].

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.

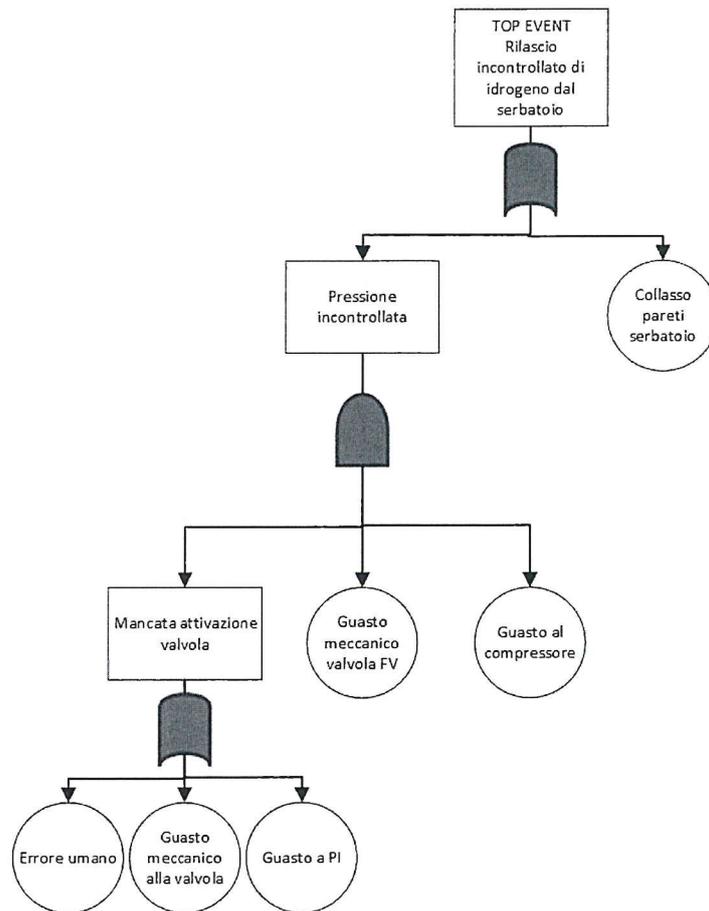
Il candidato illustri, anche attraverso esempi specifici, gli obiettivi generali che l’approccio prestazionale si prefigge ovvero quelli connessi alla definizione degli aspetti procedurali, ai criteri di valutazione del rischio e alla progettazione delle conseguenti misure compensative. Discutere una tra le dieci strategie antiincendio contemplate dal codice.

Quesito 2

Il candidato applichi le metodologie richieste con lo scopo di eseguire un’analisi di sicurezza di un serbatoio contenente idrogeno:

- stima della frequenza di accadimento e del MTBF del Top Event dell’albero riportato in figura, con i valori forniti a tabella.
- Costruzione dell’albero degli eventi
- 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 0.5 kg/s da un foro pari a 20 mm. 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.



EVENTI	Frequenza [eventi/anno]
Errore umano	0.2
Guasto meccanico alla valvola	0.13
Guasto a PI	0.75
Guasto meccanico valvola FV	0.15
Guasto al compressore	0.88
Collasso pareti del serbatoio	$9.6 \cdot 10^{-5}$

DATI

Calore di combustione idrogeno: 143000 kJ/kg

Rapporto di combustibile nella miscela stechiometrica aria-combustibile $\sigma=0.19$

Mole di reagente/mole di prodotto nella miscela stechiometrica aria-combustibile $\alpha= 1.01$

Peso molecolare idrogeno: 2 g/mol

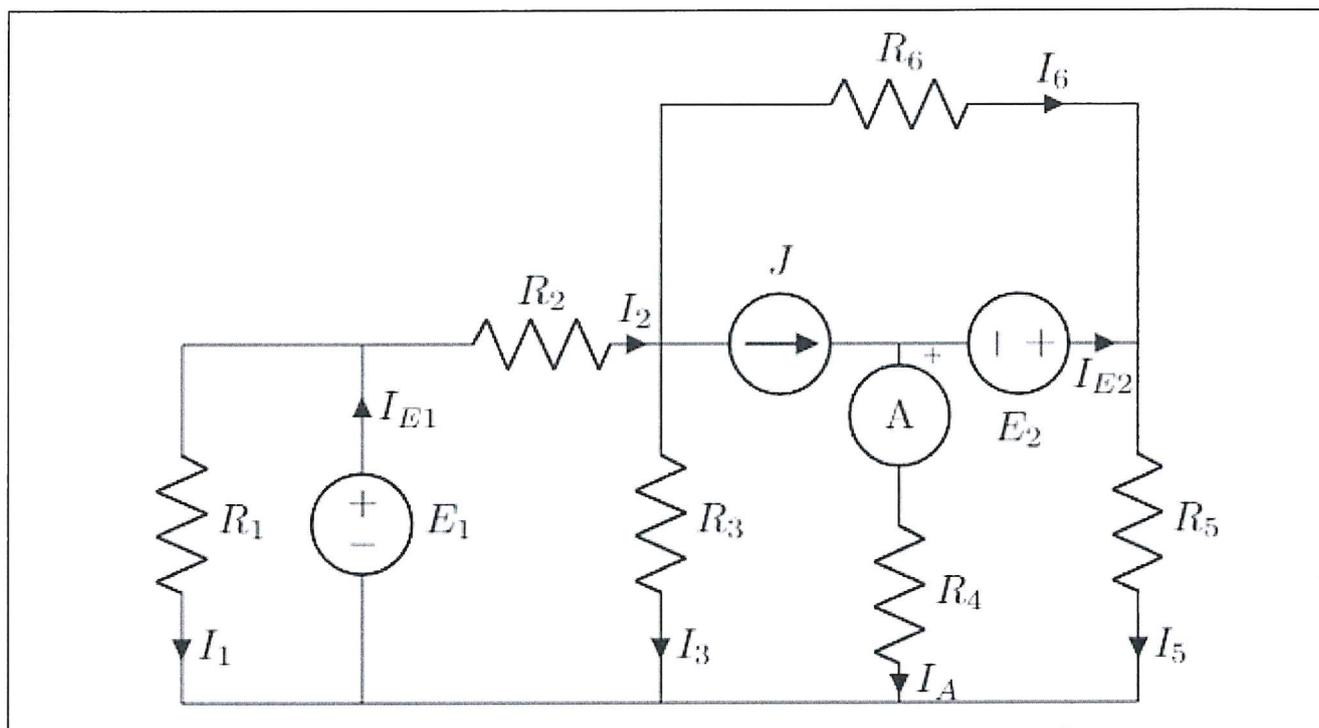
Temperatura adiabatica della fiamma: 2380 K

Densità idrogeno: 0.0899 kg/m³

Densità dell'aria: 1.29 kg/m³

Tema Ingegneria Elettrica

Quesito 1



Della rete rappresentata in figura, operante in regime stazionario:

- 1) Calcolare il valore della corrente I_A letta dall'amperometro ideale.
- 2) Calcolare i valori delle correnti $I_1, I_2, I_3, I_5, I_6, I_{E1}, I_{E2}$.
- 3) Calcolare la potenza complessivamente dissipata dai resistori R_k $k=1, \dots, 6$.
- 4) Calcolare la potenza uscente dal generatore di corrente J .

Dati

$$R_1 = 40 \, \Omega$$

$$R_2 = 20 \, \Omega$$

$$R_3 = 20 \, \Omega$$

$$R_4 = 4 \, \Omega$$

$$R_5 = 20 \, \Omega$$

$$R_6 = 20 \, \Omega$$

$$E_1 = 5 \, \text{V}$$

$$E_2 = 15 \, \text{V}$$

$$J = 8 \, \text{A}$$

Risultati

$$I_A =$$

$$I_1 =$$

$$I_2 =$$

$$I_3 =$$

$$I_5 =$$

$$I_6 =$$

$$I_{E1} =$$

$$I_{E2} =$$

$$P_R =$$

$$P_J =$$

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:

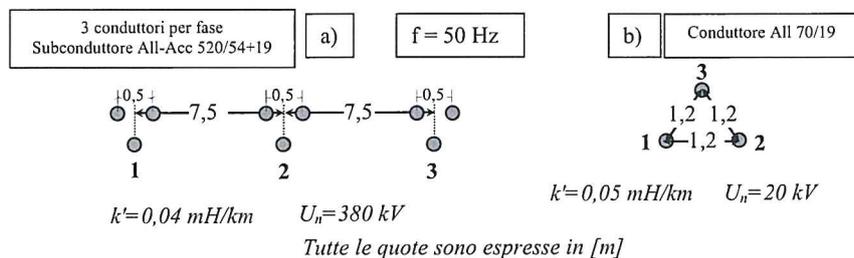
Scelte progettuali		Note			
Flusso magnetico					
Induzione nel ferro					
Carico elettrico (A/m)					
Densità di corrente AT					
Densità di corrente BT					
Dimensioni					
Avvolgimento BT		Avvolgimento AT		NUCLEO	
Num. spire		Num. spire		Altezza colonna	
Sezione spire		Sezione spire		Sezione colonna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

2b

Si risponda alle seguenti 4 domande:

- 1) Con riferimento alle 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 da attribuire al circuito monofase equivalente alla sequenza diretta. Si assuma per la conduttanza trasversale valore nullo in entrambi i casi.

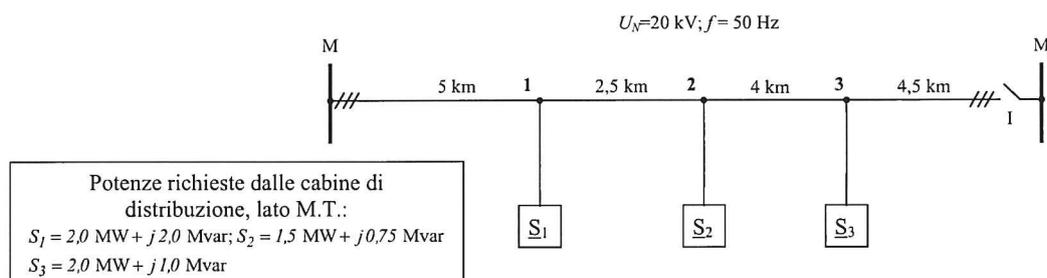
Nel caso a) la linea è trasposta e si trascurano le funi di guardia.



Per il caso a) si calcoli inoltre l'impedenza totale alla sequenza zero considerando che: la linea AAT (neutro a terra) è lunga complessivamente 270 km e la resistività del terreno è $100 \Omega\text{m}$;

Per il caso b) si calcoli inoltre la reattanza capacitiva totale alla sequenza zero considerando che: la linea MT, a neutro isolato, (l'altezza media sul terreno $H_m = 9,3 \text{ m}$) è lunga complessivamente 12 km;

- 2) Si richiede di sviluppare il dimensionamento della linea trifase di distribuzione in MT sulla base dello schema e degli elementi forniti di seguito (le sbarre di cabina **M** e **M'** possono considerarsi come generatori ideali di tensione a 20 kV):



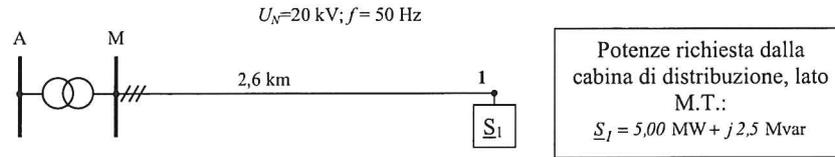
Al Candidato si richiede di:

A. Dimensionare, precisando i criteri di progetto, la linea aerea della rete trifase di distribuzione (a neutro isolato) a sbalzo (interruttore I aperto) in base ai dati stabiliti in figura e considerando conduttori di rame ($\rho_{20^\circ} = 0,018 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$) ed una caduta di tensione ammissibile del 4% (la distanza inter-fase è di 1,5 m);

B. Calcolare la massima caduta di tensione percentuale, sulla linea dimensionata come al punto A, prima e dopo aver rifasato localmente i carichi a $\cos\phi = 0,98$; inoltre calcolare le perdite di potenza prima e dopo il rifasamento;

C. Calcolare la potenza reattiva di un banco di condensatori di rifasamento inserito sulla sbarra M per avere un $\cos\varphi$ pari a 0,99, specificandone il collegamento e giustificando la scelta progettuale (senza considerare il rifasamento di cui al punto B).

3) Con riferimento alla linea trifase di figura, esercita a tensione nominale $U_n=20$ [kV], si richiede di:



a) dimensionare la linea in cavo ARG7H1R ($\rho_{20^\circ} = 0,03 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$) sapendo che si prevede l'utilizzo di tre cavi unipolari posati su piano direttamente interrati in terreno a resistività termica pari a 100°Ccm/W e che la massima caduta di tensione ammissibile deve essere del 4%;

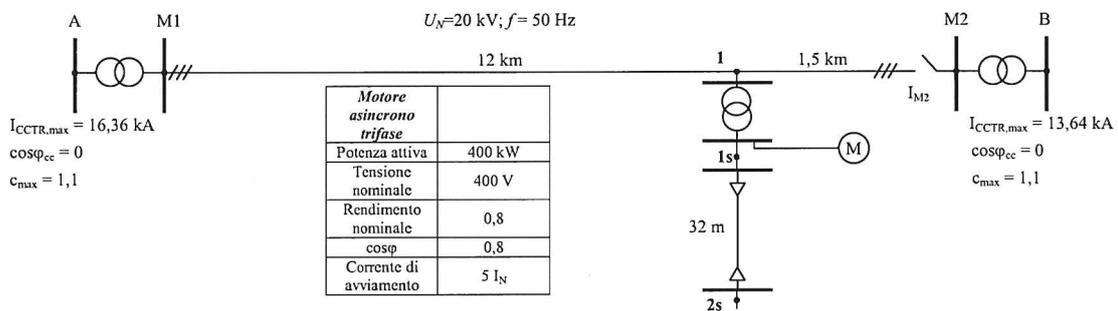
b) dopo il dimensionamento, calcolare la massima caduta di tensione percentuale;

c) calcolare le perdite elettriche Joule complessive e quelle dielettriche ($\tan\delta=2 \cdot 10^{-3}$), i valori calcolati sono accettabili?;

d) supponendo che le protezioni della conduttura in cavo intervengano in $t=1$ s e che la corrente di corto circuito massima termicamente equivalente per tutto il tempo t sia 9,0 kA, verificare se la sezione scelta è adeguata ($\vartheta_{\text{esercizio}}=90^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{massima}}=250^\circ\text{C}$);

e) Quale potrebbe essere la sezione del cavo di cui al punto a) se la temperatura del terreno fosse 30°C invece che 20°C ?

4) Si supponga che tutta la linea M1-M2 di figura sia costituita da conduttori in rame con induttanza chilometrica $\ell_e = 1,2$ [mH/km] e resistenza chilometrica $r_{20^\circ\text{C}} = 0,18$ [Ω/km] e che la linea in cavo 1s-2s abbia $r_{d, 20^\circ\text{C}} = 78$ [m Ω/km] e reattanza chilometrica $x_d = 78$ [m Ω/km] e che inoltre si abbia $Z_0=3,5 Z_d$:



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

Potenza	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 trasformatori 132 kV/20 kV (gruppo $YNyn6$; $P = 40$ MVA; $u_{cc} = 15$ %; $\cos\phi_{cc} = 0,04$). Si calcolino (i punti a , b , c e d con interruttore I_{M2} chiuso e senza motore):

- la corrente iniziale subtransitoria, la corrente di picco **massime** (secondo norma CEI 11-25) e la corrente termicamente equivalente nel tempo $T_k=0,1$ s nel caso di cortocircuito trifase in 2s;
- la corrente iniziale subtransitoria, la corrente di picco **massime** (secondo norma CEI 11-25) nel caso di cortocircuito bifase in 2s;
- la corrente iniziale subtransitoria, la corrente di picco **massime** (secondo norma CEI 11-25) nel caso di cortocircuito monofase in 2s;
- la corrente iniziale subtransitoria, la corrente di picco **massime** (secondo norma CEI 11-25) nel caso di corto circuito monofase in 1s;
- con l'interruttore I_{M2} aperto**, la corrente di guasto nel caso di cortocircuito trifase in 1s considerando la **presenza del motore**.
- Supponendo che tutta la rete di MT sia costituita complessivamente da 30 km (inclusi i 13,5 km mostrati in figura) di linee come la M1-M2 aventi capacità verso terra pari a 4 nF/km quale sarebbe la corrente di corto circuito monofase nel caso di guasto in 1.

FOGLIO DELLE RISPOSTE

Domanda n.1

a)	b)

Domanda n.2

A	Sez. commerciale	mm ²	
B	C.d.t. % prima del rifasamento	%	
	C.d.t. % dopo il rifasamento	%	
	Perdite prima del rifasamento	kW	
	Perdite dopo il rifasamento	kW	
C	Potenza reattiva del banco di rifasamento	Mvar	
	Collegamento	tipo	
D	C.d.t. con rete alimentata alle estremità	%	

Domanda n.3

a	Sez. commerciale	mm ²	
b	C.d.t. %	%	
c	Perdite Joule	kW	
	Perdite dielettriche	W	
d	La sez. scelta è verificata in regime adiabatico?		
e	Sez. commerciale	mm ²	

Domanda n.4

a max Trifase in 2s	Corrente iniziale subtransitoria	[A]	
	Corrente di picco	[A]	
	Corrente termicamente equivalente	[A]	
b max Bifase in 2s	Corrente iniziale subtransitoria	[A]	
	Corrente di picco	[A]	
c max Monofase in 2s	Corrente iniziale subtransitoria	[A]	
	Corrente di picco	[A]	
d max Monofase in 1s	Corrente iniziale subtransitoria	[A]	
	Corrente di picco	[A]	
e max Trifase in 1s considerando il motore	Corrente iniziale subtransitoria	[A]	
f max monofase in 1	Corrente iniziale subtransitoria	[A]	

PER LE CONDUTTURE IN CAVO SI USINO I SEGUENTI DATI:

PORTATE DI CORRENTE IN REGIME PERMANENTE (A)

sezione nominale mm ²	posa in aria				posa in terra							
					R _t = 100 °C cm/W				R _t = 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

COEFFICIENTI DI CORREZIONE DELLE PORTATE DI CORRENTE

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

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

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

REATTANZA DI FASE A 50 Hz (Ohm/km)

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
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 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

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			Rapport to se- zioni allumi- nio-ac- ciaio	Ø mm	Massa teorica kg/km			Carico di rottura daN		Resisten- za elct- 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.

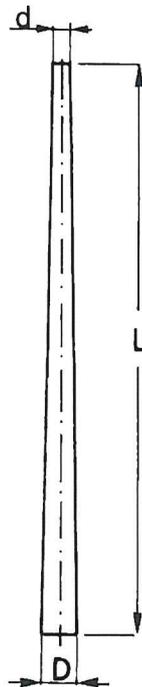
Designazione della corda	Corrente in A
42/ 6+ 1	219
68/ 12+ 7	259
128/ 26+ 7	356
191/ 26+ 7	458
212/ 30+ 7	492
265/ 26+ 7	576
349/ 30+19	712
382/ 54+ 7	765
416/ 30+19	819
434/ 54+ 7	849
520/ 54+19	987

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

Tensioni Campate	Tensioni		
	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	Tiro in testa di rottura teorico	D	d	peso
m	kg	cm	cm	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	27,75	620		
9,0	350	24,00	10,5	380
9,5		24,75		430
10,0		25,50		480
10,5		26,25		530
11,0		27,00		580
11,5		27,75		630
12,0	28,50	680		
9,0	450	25,50	12,0	500
10,0		27,00		580
11,0		28,50		670
12,0		30,00		770
9,0	600	27,50	14,0	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	Tiro in testa di rottura teorico	D	d	peso
m	kg	cm	cm	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	37,50	1300		
14,0	39,00	1500		
9,0	1200	33,50	20	900
10,0		35,00		1050
11,0		36,50		1175
12,0		38,00		1375
13,0		39,50		1500
14,0		41,00		1700
10,0	1500	37,00	22	1150
11,0		38,50		1300
12,0		40,00		1500
13,0		41,50		1650
14,0	43,00	1850		
10,0	1800	39,00	24	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	2400	42,00	27	1600
11,0		43,50		1800
12,0		45,00		2100
13,0		46,50		2400
14,0		48,00		2700
14,0		48,00		2700
16,0		51,00		3400

Tema Ingegneria Energetica

Quesito 1

Un evaporatore saldobrasato è composto da 39 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 ($\dot{m}_{\text{acqua}} = 1.5 \text{ kg/s}$).

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_{pl} [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]	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.

