

SECONDA PROVA DELL'ESAME DI STATO – SIMULAZIONE

Indirizzo: Meccanica, mecatronica ed energia

Articolazione: Energia

Il candidato svolga la prima parte della prova e risponda a due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

PRIMA PARTE

In un locale destinato a ufficio si vuole, con un impianto di condizionamento ad aria, mantenere durante il periodo invernale una temperatura ambiente di 20 °C, con umidità relativa del 50%.

L'ufficio sia occupato da 40 persone, che svolgono un'attività mediamente moderata, per cui le Norme UNI 10339 prevedono un carico termico sensibile di 75 W per persona, e un carico termico latente anch'esso pari a 75 W per persona.

All'esterno si ha una temperatura di 4°C e una umidità relativa del 70%.

Si sa inoltre che:

- il locale disperde all'esterno, attraverso pareti, infissi e vetrate, un carico termico di 12 kW;
- che il carico termico prodotto all'interno da illuminazione e macchinari vari, è di 3000 W;
- che la temperatura di progetto per l'aria di immissione è di 28 °C.

Nell'ipotesi che l'impianto sia a tutt'aria esterna, ossia non sia presente ricircolo dell'aria, il candidato deve:

- disegnare le trasformazioni nell'impianto di condizionamento sul diagramma psicrometrico allegato in **FIGURA 1**;
- calcolare la portata massica di aria secca necessaria;
- calcolare la potenza termica della batteria di riscaldamento;
- calcolare la portata di acqua di umidificazione, considerando una umidificazione con acqua liquida.

Il candidato ripeta poi i calcoli considerando un ricambio d'aria esterna non totale, ma di soli 1000 m³/h.

Valuti infine la portata di ricambio che occorrerebbe teoricamente prevedere per evitare di utilizzare un umidificatore.

SECONDA PARTE

Dovranno essere sviluppati due dei seguenti quesiti, tenendo in considerazione anche le esperienze, qualora effettuate, di alternanza scuola-lavoro.

1. Pompa di calore. Spiegare in cosa consista la differenza con un impianto frigorifero, e indicarne i diversi modi di funzionamento in funzione della diversa stagione di utilizzo.
2. Impianto di climatizzazione a tutta aria. Indicare, spiegandone i motivi, i criteri di determinazione delle condizioni del punto di immissione nel locale da climatizzare, sia nel caso estivo che nel caso invernale.
3. Indicare quale sia la tipica situazione in cui il coefficiente R (fattore termico ambientale) di un locale è negativo e spiegare come si debba operare per il condizionamento del locale stesso.
4. Impianti frigoriferi ad assorbimento. Elencare le principali differenze con un impianto frigorifero normale e descriverne i principi di funzionamento.

Diagramma Psicrometrico

Unità SI

Temperatura da 0°C a +50°C

Pressione 101,325 kPa

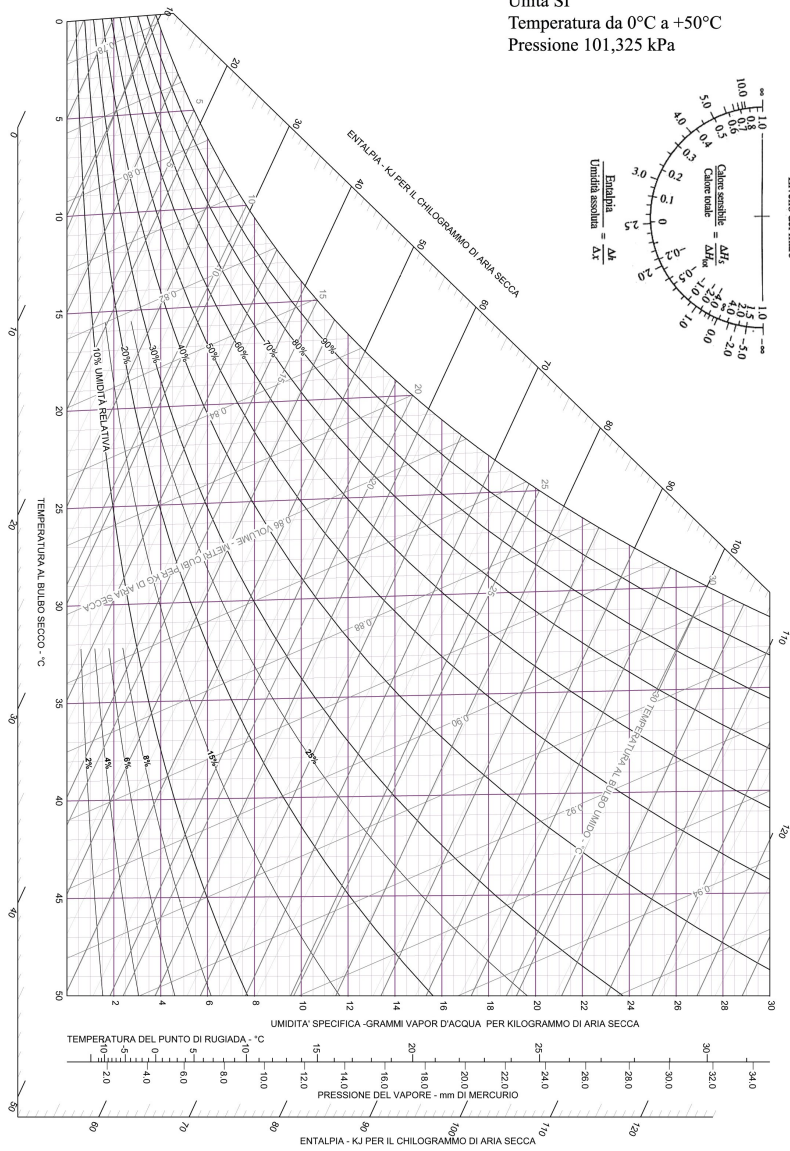


FIGURA 1

Prima parte. Sul diagramma psicrometrico (FIGURA 2) si individuano le condizioni relative all'aria interna al locale (punto A) e all'ambiente esterno (punto E).

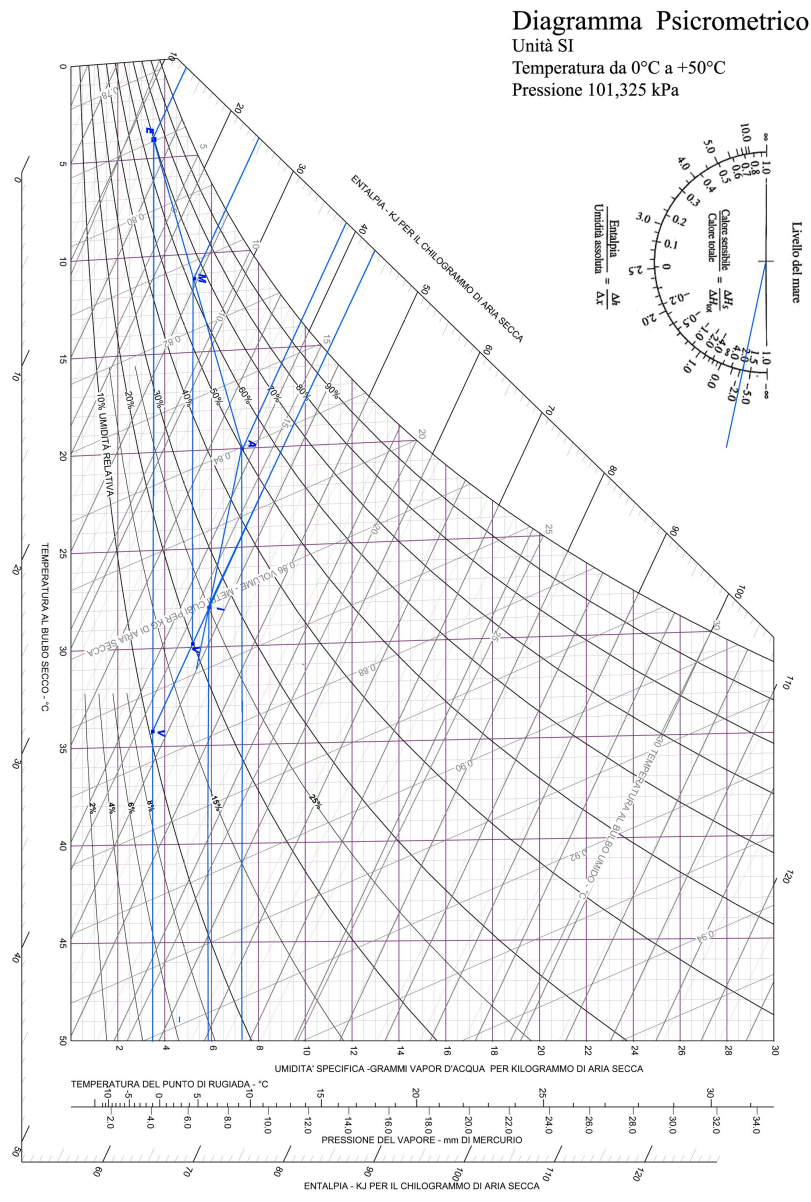


FIGURA 2

Da diagramma o da calcolo si valutano:

	$t_A(^{\circ}\text{C})$	φ	$x_A(\text{g/kg})$	$h_A(\text{kJ/kg})$
Punto A	20	0,5	7,3	38,5

	$T_E(^{\circ}\text{C})$	φ	$x_E(\text{g/kg})$	$h_E(\text{kJ/kg})$
Punto E	4	0,7	3,5	12,8

Calcoliamo poi la pendenza della retta di carico, $R = \frac{\Phi_{sens}}{\Phi_{tot}}$.

Il carico termico sensibile dovuto alla presenza delle 40 persone è $\Phi_{sens1} = 75 \cdot 40 = 3000 \text{ W}$; gli altri carichi sensibili sono, in accordo ai dati del testo, $\Phi_{sens2} = 3000 \text{ W}$ prodotto da macchinari e illuminazione, e $\Phi_{sens3} = 12 \text{ kW}$ dispersi all'esterno e da reintegrare con l'impianto di condizionamento.

Il carico sensibile totale sarà dato dalla somma algebrica dei vari carichi sensibili:

$$\Phi_{sens} = 3000 + 3000 - 12000 = -6000 \text{ W}$$

Il carico termico latente è dovuto unicamente alla presenza delle 40 persone e vale: $\Phi_{lat} = 75 \cdot 40 = 3000 \text{ W}$..

Il carico termico totale è quindi: $\Phi_{tot} = -6000 + 3000 = -3000 \text{ W}$.

$$\text{Si ha quindi } R = \frac{\Phi_{sens}}{\Phi_{tot}} = \frac{-6000}{-3000} = 2 .$$

Sul diagramma circolare centrale del diagramma psicrometrico siamo evidentemente nella parte a sinistra (indicata nel terzo volume, cap.27, come zona B), tipica del condizionamento invernale.

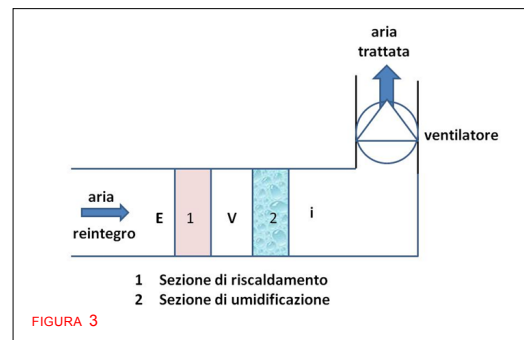
Tracciata la semiretta dal centro del diagramma circolare al punto sulla circonferenza $R=2$, se ne traccia la parallela passante per il punto A e, sull'isoterma $t=28^{\circ}\text{C}$ (dato assegnato dal testo) si individua il punto I, che dà le caratteristiche dell'aria di immissione.

	$t_i(^{\circ}\text{C})$	φ	$x_i(\text{g/kg})$	$h_i(\text{kJ/kg})$
Punto I	28	0,25	5,8	43,1

Individuato il punto I di immissione dell'aria nel locale, le trasformazioni che l'aria esterna deve subire per arrivare da E a I sono:

- prima un riscaldamento a titolo costante, fino a un punto che, con riferimento alla FIGURA 3, indichiamo con V (a valle della batteria di riscaldamento);
- poi una umidificazione, realizzata con spruzzo di aria liquida, che possiamo considerare adiabatica (per cui la trasformazione sarà indicata con un segmento parallelo alle rette a entalpia costante) fino a portarsi nel punto I.

Quindi il punto V, che definisce le condizioni dell'aria a valle della batteria di riscaldamento, sarà dato dall'intersezione della retta a $x = \text{costante} = x_E = 3,5$ e della retta a $h = \text{costante} = h_I = 43,1$



Calcolo portata dell'aria necessaria.

Noti h_A e h_I , e nota la quantità di calore totale che dobbiamo immettere nel locale Φ_{tot} , sarà:

$$q_{ma} \cdot (h_I - h_A) = \Phi_{tot} . \text{ Quindi } q_{ma} = \frac{\Phi_{tot}}{h_I - h_A} = \frac{3}{43,1 - 38,5} \cong 0,65 \text{ kg/s}$$

La potenzialità della batteria di riscaldamento sarà: $P_{risc} = q_{ma} \cdot (h_V - h_E) = 0,65 \cdot (43,1 - 12,8) \cong 19,7 \text{ kW}$.

Il consumo di acqua nell'umidificatore sarà $q_{mH_2O} = q_{ma} \cdot (x_I - x_V) = 0,65 \cdot (5,8 - 3,5) \cong 1,5 \text{ g/s} \cong 5,4 \text{ kg/h}$.

Caso con aria di ricircolo.

Se l'impianto non è a tutt'aria esterna, ma l'aria esterna di ricambio è limitata a una portata volumetrica di $1000 \text{ m}^3/\text{h}$, si procede invece come segue.

Si calcola la portata massica dell'aria di ricambio corrispondente a quella volumetrica assegnata. Nota la temperatura ($4^{\circ}\text{C} = 277,15 \text{ K}$), la pressione (101325 Pa), la costante R dell'aria ($287 \text{ J}/(\text{kg K})$) si ha che

$$v = \frac{277,15 \cdot 287}{101325} \cong 0,785 \text{ m}^3/\text{kg} , \text{ da cui si calcola la portata massica dell'aria esterna } q_{maest} = \frac{1000}{3600 \cdot 0,785} \cong 0,354 \text{ kg/s} .$$

Si noti che disponendo del diagramma psicrometrico il calcolo del volume specifico può essere evitato: sul diagramma è riportata una serie di rette parallele a volume specifico costante, e il punto E cade proprio sulla retta a $v = 0,785 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Con riferimento alla FIGURA 4 si ha che a monte della batteria di riscaldamento arriva una miscela di 0,354 kg/s di aria esterna nelle condizioni del punto E, e 0,65 - 0,354 = 0,296 kg/s di aria di ricircolo nelle condizioni del punto A. Ne risulta che le condizioni del punto M (che giace nel diagramma psicrometrico sulla retta AE) saranno:

	$T_M(^{\circ}\text{C})$	φ	$x_M \text{ (g/kg)}$	$h_M \text{ (kJ/kg)}$
Punto M	11,3	0,62	5,2	24,5

Il punto V', che definisce le condizioni dell'aria a valle della batteria di riscaldamento, sarà dato dall'intersezione della retta a $x = \text{costante} = x_M = 5,2$ e della retta a $h = \text{costante} = h_I = 43,1$.

Riportandolo sul diagramma:

	$T_{V'}(^{\circ}\text{C})$	φ	$x_{V'} \text{ (g/kg)}$	$H_{V'} \text{ (kJ/kg)}$
Punto V'	29,7	0,20	5,2	43,1

Quindi la potenzialità della batteria di riscaldamento sarà in questo

$$\text{caso : } P_{\text{risc}} = q_{ma} \cdot (h_{V'} - h_M) = 0,65 \cdot (43,1 - 24,5) \cong 12,1 \text{ kW} .$$

$$\text{Il consumo di acqua nell'umidificatore sarà } q_{m\text{H}_2\text{O}} = q_{ma} \cdot (x_I - x_{V'}) = 0,65 \cdot (5,8 - 5,2) \cong 0,39 \text{ g/s} \cong 1,4 \text{ kg/h} .$$

Come si vede diminuiscono sia la potenza della batteria di riscaldamento che la portata d'acqua nell'umidificatore.

L'umidificatore potrebbe essere teoricamente eliminato se fosse $x_M = x_I$.

Prendendo come incognita la portata di reintegro, dovrà essere:

$$x_M = \frac{(0,65 - q_{est}) \cdot x_A + q_{est} \cdot x_E}{0,65} = x_I = 5,8 \text{ e conoscendo } x_A = 7,3 \text{ e } x_E = 3,5 \text{ si calcola:}$$

$$q_{est} \cdot (7,3 - 3,5) = 0,65 \cdot (7,3 - 5,8)$$

$$\text{e si ricava } q_{est} = 0,257 \text{ kg/s} .$$

Quindi con una portata di aria di reintegro esterna pari a 0,257 kg/s (portata volumetrica di 726 m³/h), e 0,393 kg/s di aria di ricircolo si potrebbe evitare l'uso dell'umidificatore, e si diminuirebbe ulteriormente la potenzialità della batteria di riscaldamento (per l'esattezza si porterebbe a 9,6 kW).

Seconda parte.

Le risposte a tutti i 4 quesiti posti sono discorsive e non presentano elementi di calcolo numerico; se ne tralascia l'esposizione.

