

Idronica Line
Programmi di Calcolo

PSYCRO



Manuale per l'utente

Software per il calcolo delle trasformazioni dell'aria umida
su modello di diagramma psicrometrico ASHRAE.

WATTS
INDUSTRIES
Technology by nature

PSYCHRO



La **Watts Industries Italia s.r.l.** è lieta di mettere a disposizione degli studi di progettazione questa realizzazione con l'augurio che risulti un valido strumento di lavoro.

Le informazioni contenute in questo manuale sono soggette a modifiche senza preavviso; Watts Industries Italia srl si riserva il diritto di apportare modifiche e miglioramenti al prodotto quando ritenuto opportuno. Questa pubblicazione descrive lo stato del prodotto al momento della pubblicazione della stessa e in nessun modo potrà riflettere il prodotto futuro.

Indice

	Pag. 
Prefazione	4
Caratteristiche generali	5
Istruzioni per l'installazione su disco rigido	5
 1. IL DIAGRAMMA PSICOMETRICO	6
 2. TRASFORMAZIONI PSICOMETRICHE FONDAMENTALI	8
Esempio di calcolo - Risoluzione analitica e grafica	
2.1 Miscela invernale	9
 3. TRASFORMAZIONI PSICOMETRICHE COMBinate	12
Esempio di calcolo - Risoluzione analitica e grafica	
3.1 Miscela + Raffreddamento con deumidificazione - <i>Esemp_A.psy</i>	13
3.2 Raffreddamento con deumidificazione - <i>Esemp_B.psy</i>	20
3.3 Raffreddamento con deumidificazione + Postriscaldamento - <i>Esemp_C.psy</i>	24
3.4 Miscela + Riscaldamento e Umidificazione adiabatica - <i>Esemp_D.psy</i>	29
3.5 Miscela + Riscaldamento e Umidificazione con vapore - <i>Esemp_E.psy</i>	32
3.6 Preriscaldamento e Umidificazione adiabatica + Postriscaldamento - <i>Esemp_F.psy</i>	36
 4. COSTRUZIONE DI UNA TRASFORMAZIONE COMBINATA	40
 5. STAMPA	42

PREFAZIONE

Questa guida è stata preparata con il proposito di offrire una serie di informazioni per la giustificazione analitica dei calcoli eseguiti con l'uso del programma PSYCHRO.

PSYCHRO, rappresenta un utilissimo strumento per risolvere graficamente i vari problemi psicrometrici inerenti agli impianti di condizionamento dell'aria e studiare le trasformazioni dell'aria umida: il diagramma proposto dal programma è la versione ASHRAE (asse delle ascisse con isoterme - rette a temperature bulbo secco costanti - assi delle ordinate con rette a umidità specifica costante).

All'interno del programma, una guida in linea di Windows rappresenta un ulteriore metodo per ottenere con rapidità le informazioni relative alla gestione delle finestre di dialogo.

Nel programma la massima attenzione è stata posta per velocizzare e semplificare il lavoro di impostazione dei parametri e della imputazione dati, senza per questo trascurare la possibilità di adattare le procedure alle intenzioni del progettista.

L'utente rimarrà piacevolmente sorpreso dalla facilità d'uso, dai limitati tempi di progettazione richiesti e dalla completezza delle giustificazioni di calcolo.

GIUSTIFICAZIONE E COMPRESIBILITÀ DEL PROGRAMMA SONO POSSIBILI IN TEMPI RAPIDI AVENDO UNA MINIMA CONOSCENZA DELL'USO DEL DIAGRAMMA PSICROMETRICO MODELLO ASHRAE

La cortese comunicazione delle eventuali anomalie riscontrate, ci consentirà di migliorare ancora la qualità del prodotto.

Ci permettiamo di rammentare che l'elaboratore elettronico è solamente uno strumento di calcolo più aggiornato di altri, ma che il giudizio di merito nella scelta dei dati di progetto e nella certificazione dei risultati spetta comunque al Progettista.

CARATTERISTICHE GENERALI

Psychro è in grado di lavorare senza altro supporto su qualsiasi P.C. avente i seguenti requisiti MINIMI di sistema:



Hardware (richiesto)

- 2 Mb spazio libero su disco
- 8 Mb di memoria RAM (min.)
- Lettore cd rom
- Risoluzione dello schermo (min) 800x600

Software (richiesto)

- Windows 98, ME, NT, 2000 , XP

ISTRUZIONI PER L'INSTALLAZIONE...

Nel supporto allegato viene fornito, in formato compresso, il pacchetto software **Psychro** in ambiente Windows®: l'operazione di caricamento, a cura dell'utente, è facilitata da una apposita procedura attivabile nel seguente modo



1. Inserire il CD di Psychro nell'unità CD-ROM
2. Se sul computer non è impostata l'apertura automatica del Cd , attivare la procedura manuale di installazione, da pulsante *Avvio (Start)* – *Esegui*
3. Selezionare la cartella (directory), del programma da installare sfogliando il contenuto del CD-ROM.
4. Eseguire il file **INSTALLA.EXE**
5. Seguire le istruzioni a video : **verificare la correttezza del percorso e il nome directory proposta (nomedirectory default "PSY2")**
6. Terminata l'installazione, viene creato, se non già presente, un gruppo di programmi di IDRONICA sul desktop e un'icona di collegamento.
7. Lanciare direttamente il programma con doppio click sull'icona.

Conservare il cd-rom originale, da utilizzare per una eventuale altra installazione.

Attenzione:

®Tutti i nomi di prodotti o marchi registrati appartengono ai rispettivi proprietari. Le informazioni contenute nel cd rom fornito, sono soggette a modifiche senza preavviso. Watts Industries Italia srl si riserva il diritto di apportare modifiche e miglioramenti al prodotto quando ritenuto opportuno e declina ogni responsabilità eventualmente derivante dall'impiego non corretto del programma. Sono vietati l'uso e la detenzione dei programmi privi della regolare licenza d'uso; l'utente non può alterare, disassemblare o copiare il software e la documentazione allegata.

1. IL DIAGRAMMA PSICROMETRICO

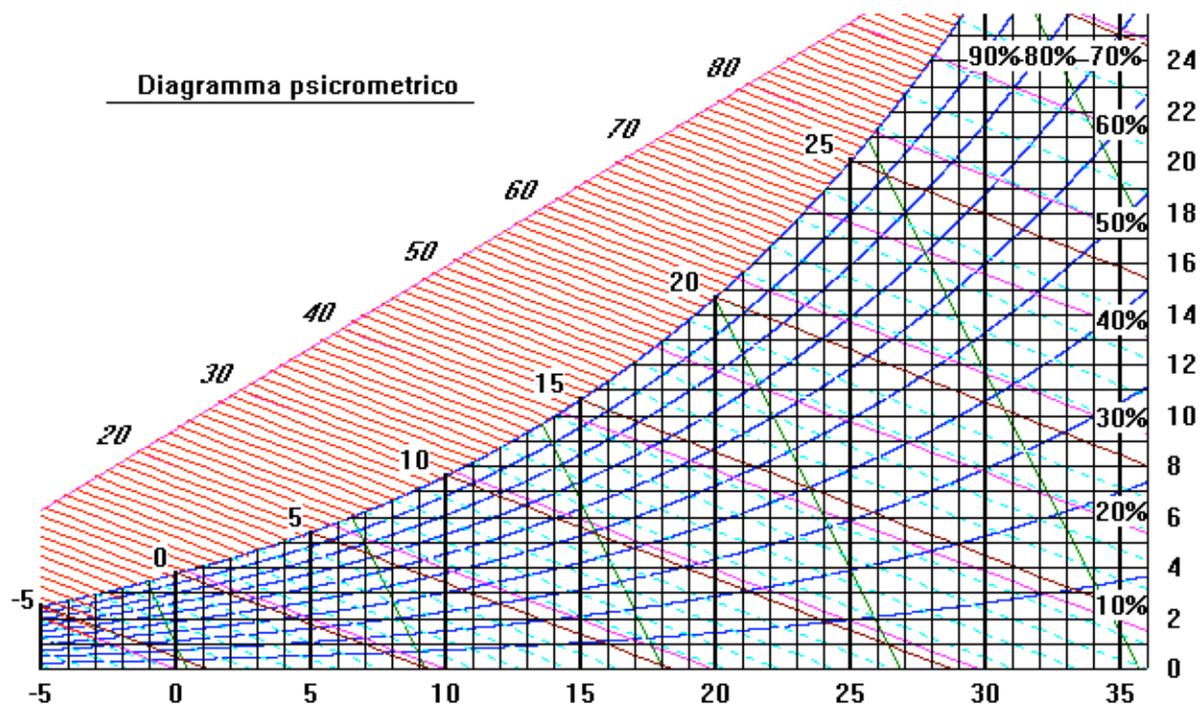
Il programma è costituito da un diagramma elettronico psicrometrico ASHRAE in cui è possibile rappresentare l'andamento delle varie trasformazioni termodinamiche e dei parametri dell'aria umida.

La rappresentazione grafica può essere diversa a seconda degli intervalli (*t_{bs}* e *x*) scelti ma soprattutto della pressione atmosferica stabilita.

(Default : Altitudine 0 m ; Temperatura bulbo secco 15°C ; Pressione 101325 kPa).

L'uso del puntatore del mouse consente una lettura grafica immediata delle condizioni di uno specifico punto selezionato, e visualizza i valori delle varie grandezze all'interno della finestra con titolo **Coordinate**.

Conoscendo invece i valori di almeno una coppia di grandezze è possibile identificare analiticamente le condizioni di un punto mediante l'utilizzo della calcoltrice psicrometrica (Menù *Opzioni*).



Tutti i dati caratteristici di ogni curva/linea o punto del diagramma psicrometrico sono espressi nelle diverse unità di misura come stabilito dal S.I.:

TEMPERATURA BULBO SECCO (*T_{bs}*)

La temperatura a bulbo secco (°C), indicata sull'asse delle ascisse, è la temperatura attuale misurata con un normale termometro; il fondo scala è variabile dall'utente (-40+ 100°C)

UMIDITÀ SPECIFICA (*x*)

Umidità specifica (g/Kg), indicata sull'asse delle ordinate, è la quantità di grammi di vapor d'acqua contenuta in 1 kg di aria secca. Il fondo scala è variabile dall'utente (0 - 40 g/Kg).

CURVA DI SATURAZIONE

(o curva ad umidità relativa 100%) è il luogo dei punti rappresentanti, per ogni temperatura, il massimo contenuto di vapor d'acqua (in grammi) che ogni Kg di aria può ricevere.

Sul diagramma è la curva più esterna.

CURVE DELL'UMIDITÀ RELATIVA (UR)

indicano invece la percentuale di vapor d'acqua effettivamente contenuta nell'aria rispetto alla massima contenibile alla corrispondente temperatura

Sul diagramma sono indicate da una serie di curve concave (10% , 20%, 30%, ecc...)

TEMPERATURA DI BULBO UMIDO (T_{bu})

rappresentate da rette oblique tratteggiate, è la temperatura fornita da un normale termometro avente il bulbo avvolto da una garza imbevuta di acqua distillata.

La temperatura di bulbo umido (°C) è sempre inferiore o al massimo uguale al valore di temperatura simultaneamente indicato dal termometro a bulbo secco.

La temperatura di bulbo umido risulta tanto più prossima alla temperatura a bulbo secco quanto più umida è l'aria (tanto maggiore è la sua umidità relativa).

ENTALPIA (h)

L'entalpia (kJ/kg), rappresentata da rette oblique parallele ed equidistanti, è la quantità di calore posseduta da un kg di miscela aria-vapor d'acqua rispetto all'aria secca a zero °C.

Analiticamente è definita dall'espressione (S.I.)

$$h = 1,006 t + 2501 x + 1,805 t x \quad [\text{kJ/kg}]$$

in cui

t è la temperatura a bulbo secco dell'aria °C

x è il contenuto igrometrico (umidità specifica) kg acqua/ kg aria secca

VOLUME SPECIFICO (v)

Il volume specifico (m³/kg) della miscela aria secca - vapor d'acqua dipende, oltre che dalla temperatura, anche dall'umidità dell'aria.

Serve a trasformare i Kg di aria umida in m³ nel caso si debba effettuare la scelta di ventilatori, determinare la velocità nell'aria nei canali, ecc...

Sul diagramma i valori sono rappresentati da rette oblique parallele.

2. TRASFORMAZIONI PSICROMETRICHE FONDAMENTALI

MISCELA

Due quantità (masse) di aria umida mescolate fra loro, le cui condizioni di miscuglio risultanti si trovano applicando i principi della conservazione della materia e dell'energia.

RISCALDAMENTO

I trattamenti di riscaldamento sono rappresentati sul diagramma psicrometrico da rette a contenuto igrometrico costante, con variazioni di temperatura in aumento.

Trasformazione dell'aria umida con scambio di solo calore sensibile (calore latente=0)

RAFFREDDAMENTO

I trattamenti di solo raffreddamento sono rappresentati sul diagramma psicrometrico da rette a contenuto igrometrico costante con variazioni di temperatura in diminuzione (la temperatura non deve scendere al di sotto della curva di saturazione altrimenti il raffreddamento viene accompagnato da deumidificazione)

Trasformazione dell'aria umida con scambio di solo calore sensibile (calore latente=0)

RAFFREDDAMENTO CON DEUMIDIFICAZIONE

Combinazione dei trattamenti di raffreddamento e di umidificazione.

Il raffreddamento viene accompagnato da deumidificazione quando la temperatura superficiale della batteria è inferiore al punto di rugiada dell'aria (....la diminuzione della temperatura prosegue fino al di sotto della curva di saturazione).

UMIDIFICAZIONE

L'aggiunta diretta di vapor d'acqua (a temperatura uguale a quella dell'aria) è rappresentata sul diagramma psicrometrico da rette a temperatura costante con variazioni di contenuto igrometrico in aumento (è questo un trattamento che difficilmente trova riscontro in pratica per la difficoltà di disporre di vapore a temperatura inferiore a 100°C.)

Trasformazione con scambio di solo calore latente (calore sensibile =0);

UMIDIFICAZIONE ADIABATICA

Spruzzando l'acqua sotto forma di minutissime goccioline si attiva il processo evaporativo.

Il calore necessario per l'evaporazione dell'acqua (calore latente di evaporazione) viene sottratto all'aria che pertanto si raffredda.

Trascurando il modesto apporto di calore, dovuto al contenuto entalpico dell'acqua, sul diagramma psicrometrico l'umidificazione adiabatica è rappresentata da una retta ad entalpia costante con variazioni di contenuto igrometrico in aumento.

(il programma per questa trasformazione tiene comunque conto anche del contenuto entalpico dell'acqua)

DEUMIDIFICAZIONE

E' rappresentata sul diagramma psicrometrico da rette a temperatura costante con variazioni di contenuto igrometrico in diminuzione.

E' questo un trattamento teorico che non trova riscontro in pratica.

UNIONE

Consente la rappresentazione della retta dei carichi termici (rapporto tra il carico sensibile/carico totale) e il collegamento di più trattamenti elementari psicrometrici.

2.1 ESEMPIO: MISCELA INVERNALE

Determinare le condizioni della miscela costituita da:

CONDIZIONI PUNTO 1 (A)

3,4041 kg/s (10.000 m³/h) di aria ricircolata a 20°C 45% U.R.
(contenuto igrometrico 6.5 gr H₂O/Kg_{aria secca})

CONDIZIONI PUNTO 2 (B)

1,702 kg/s (5000 m³/h) di aria esterna a -5°C 80% U.R.
(contenuto igrometrico 2.0 gr H₂O/Kg_{aria secca})

RISOLUZIONE ANALITICA

Temperatura e contenuto igrometrico della miscela risultano:

$$T_{mix} = T_{BS_A} \frac{M_A}{M} + T_{BS_B} \frac{M_B}{M} = [^{\circ}C]$$

dove

M = portata di immissione (M_A+M_B)

M_A = portata di aria esterna

M_B = portata di ricircolo

T_{BS_A} = temperatura bulbo secco punto A

T_{BS_B} = temperatura bulbo secco punto B

T_{BS_{MIX}} = temperatura bulbo secco punto C sulla retta AB

$$T_{mix} = 20 \frac{3,4041}{5,1061} + -5 \frac{1,7020}{5,10610} = 11,67[^{\circ}C]$$

$$X_{mix} = X_A \frac{M_A}{M} + X_B \frac{M_B}{M} = [gH_2O / Kg_{aria secca}]$$

dove

M = portata di immissione (M_A+M_B)

M_A = portata di aria esterna

M_B = portata di ricircolo

X_A = umidità specifica punto A

X_B = umidità specifica punto B

X_{MIX} = umidità specifica punto C sulla retta AB

$$X_{mix} = 2 \frac{3,4041}{5,1061} + 6,5 \frac{1,7020}{5,10610} = 5 [gH_2O / Kg_{aria secca}]$$

Sostituendo al valore di X_A X_B o di T_{BS_A} T_{BS_B} il valore dell'entalpia (h_A h_B) sempre in riferimento alle condizioni A-B è possibile ottenere il valore incognito H_C

Condizioni PUNTO C

T_{mix} = T_{BS} (C) 11.67 °C

X_{mix} = X (C) 5 gH₂O/Kg_{aria secca}

Dal diagramma su carta è possibile , segnati i punti A-B-C ottenere dei medesimi le altre caratteristiche (T_{bu}, T_{sat}, volume spec.)

RISOLUZIONE GRAFICA

L'uso del diagramma elettronico consente di determinare con rapidità le condizioni di miscela (C) di due masse d'aria; per eseguire correttamente la trasformazione operare nella sequenza indicata:

- 1) Impostare le condizioni iniziali (punto 1) e finali (punto 2) caratterizzate da valori della temperatura a bulbo secco in °C (tbs) e umidità relativa in % (U.R.) e assegnare l'etichetta (Default A , B, C)



- 2) Scegliere il metodo di calcolo in base ai dati di input conosciuti

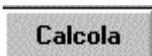
nell'esempio

- *port1 + port2* valori delle portate d'aria dello stato 1 e stato 2

oppure

- *% + Totale* quota di portata d'aria in percentuale dello stato 1 rispetto al valore totale di miscela e portata totale

- *port1 + Totale* portata d'aria dello stato 1 e portata totale

- 3) Selezionare il pulsante ;

viene così tracciata la retta A-B sulla quale giace il punto C rappresentante il punto di miscela delle due masse d'aria.

- 4) Per salvare le operazioni suddette scegliere  e dal Menù interno la voce "Fine Trattamento"

Il programma mantiene la visualizzazione grafica del trattamento sul video e permette la stampa del foglio di lavoro (Menù *File- Stampa*).

Attenzione:

In particolare il pulsante  visualizza tutte le grandezze relative ai singoli punti tracciati nel trattamento in uso.

Dai campi di richiesta Punto 1 e 2 dei dati psicrometrici, l'uso del pulsante Dx del mouse ATTIVA la calcolatrice psicrometrica con la quale è possibile ottenere le grandezze eventualmente mancanti.

Riportiamo qui a lato la pagina, completa dei dettagli di calcolo ottenuta in fase di stampa.

Progetto: Determinazione del punto rappresentante la miscela di due masse d'aria a differenti condizioni (aria esterna Tbs -5 - U.R. 85% ; aria ricircolata Tbs 20°C - U.R. 45%)

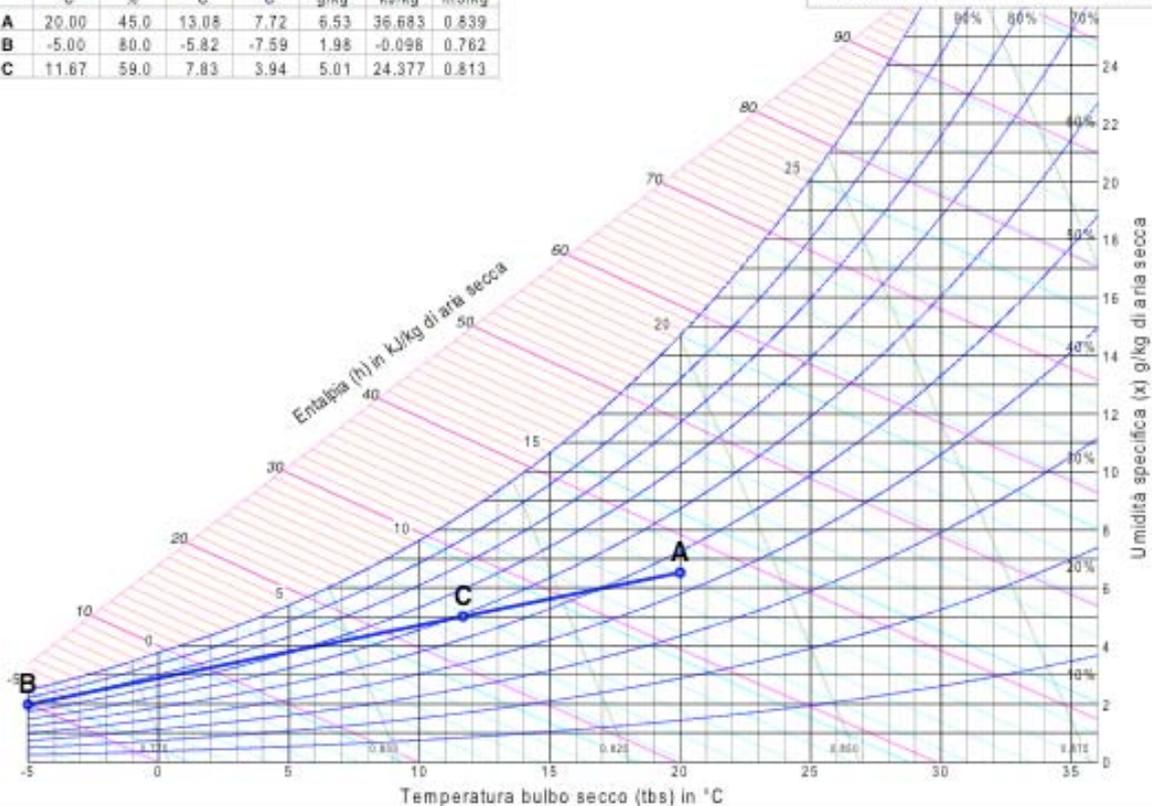
Foglio n.001

Esempio dei calcolo trattamento semplice - Miscela invernale

SEQUENZA DEI TRATTAMENTI												
n.	Trattamento	Tratto	qm	qv	dt	dx	dh	Qs	Qt	qx	S/T	dh/dx
			kg/s	m ³ /h	K	g/kg	kJ/kg	kW	kW	g/s		
1	Miscela	A	3.4041	10284								
		B	1.7021	4670								

CONDIZIONI FISICHE DEI PUNTI							
pto	tbs	UR	tbu	tsa	x	h	v
	°C	%	°C	°C	g/kg	kJ/kg	m ³ /kg
A	20.00	45.0	13.08	7.72	6.53	36.683	0.839
B	-5.00	80.0	-5.82	-7.59	1.98	-0.098	0.762
C	11.67	59.0	7.83	3.94	5.01	24.377	0.813

DIAGRAMMA PSICROMETRICO basato su ASHRAE
Temperatura normale - livello del mare
Pressione barometrica 101325 Pa - UNITA' SI -



Miscela

3. TRASFORMAZIONI PSICROMETRICHE COMBINATE

Il diagramma dell'aria umida permette di visualizzare ogni trattamento dell'aria necessario per un impianto di climatizzazione : i trattamenti combinati possono considerarsi degli esempi di applicazioni pratica con sequenze di trasformazioni preselezionate che richiedono pochi dati di input per il calcolo.

Tra tali trattamenti proponiamo alcuni tra i più importanti risolti sia dal punto di vista analitico che grafico; gli stessi esempi, contenuti nel disco originale, sono caricati all'atto dell'installazione nella sub-dir di Default ..\LAVORI con estensione .psy.

In ogni caso con una sequenza di trasformazioni elementari dell'aria umida è possibile comunque creare lo stesso tipo di trattamento complesso (vedi esempio di costruzione).

Nel menù "Trattamenti" è possibile selezionare:

- *Miscela + Raffreddamento con deumificazione*
- *Raffreddamento con deumificazione*
- *Raffreddamento con deumificazione + post-riscaldamento*
- *Miscela + riscaldamento e umidificazione adiabatica*
- *Miscela + Riscaldamento + Umidificazione con vapore*
- *Pre-riscaldamento +Umidificazione adiabatica + Post- riscaldamento*

3.1 CONDIZIONAMENTO ESTIVO TUTT'ARIA ESTERNA MISCELA + RAFFREDDAMENTO CON DEUMIDIFICAZIONE

Uno dei problemi di condizionamento d'aria estivo che si incontra più spesso, è quello di determinare la portata d'aria da immettere nella zona in esame avente le condizioni fisiche necessarie a neutralizzare i carichi sensibili e latenti presenti nella zona stessa.

Il calcolo si sviluppa fissando oltre ai dati derivanti dalla stima dei carichi ambiente, anche una certa temperatura bulbo secco dell'aria di immissione.

Si determinano quindi le altre caratteristiche dell'aria di immissione il cui punto (D) rappresentativo, giace sulla retta dei carichi ambiente che ha origine nel punto (B) che caratterizza le condizioni ambientali.

ESEMPIO contenuto nel programma *Esemp_A.psy*

Per risolvere il problema è necessario contare sui seguenti dati input derivanti dal calcolo dei carichi:

Condizioni interne:		Volume	1425	m³
tbs	25.0 °C	Carico sensibile amb.	26.994	kW
UR	50.0 %	 Carico latente amb.	3.411	kW
Condizioni esterne:		q rinnovo	2040.0	m ³ /h ↓
tbs	32.0 °C	 tbs immissione	15.5	°C
UR	50.0 %			

Quadro relativo input 1-7a

1	Condizioni interne: $t_{bs_{amb}}$ e $U_{r_{amb}}$	25°C	50%
2	Condizioni esterne: $t_{bs_{ext}}$ e $U_{r_{ext}}$	32°C	50%
3	Volume della zona condizionata Vol in m ³	1425 m ³	
4	Carico sensibile ambiente Q_{sens} in kW	26.994 kW	
5	Carico latente ambiente Q_{lat} in kW oppure 5.a Q_x in g/s	3.411 kW 1.335 g/s (4.8 kg/h)	
6	Portata d'aria di rinnovo q_{rinn} in m ³ /h (a 0.816 m ³ /kg)	2040 m ³ /h	
7.a	Temperatura dell'aria da immettere nella zona considerata $t_{bs_{imm}}$ in °C o in alternativa alla $t_{bs_{imm}}$	15.5°C	
7.b	Portata d'aria da immettere q_{imm} in kg/s	2.7777 kg/s	



Questi ultimi dati input sono alternativi e vengono fissati dal progettista sulla base dell'esperienza.

Il dato input 7.a porta alla determinazione non solo delle portate in gioco, ma dei criteri di funzionamento del sistema, del dimensionamento del gruppo di trattamento, ecc.

Il valore è generalmente compreso tra 14°C e 16°C; esso può essere meglio definito per successivi tentativi.

Il dato input 7.b, porta invece alla determinazione della $t_{bs_{imm}}$, ecc.

PROCEDIMENTO ANALITICO DI CALCOLO CON DATI INPUT DA 1. – 7.a :

- 1) Si fissano sul diagramma psicrometrico i punti rappresentanti le condizioni d'aria esterna (A) ed interna (B)
- 2) Si calcola il rapporto Sensibile/Totale ambiente

$$\frac{Q_{sen}}{Q_{tot}} = \frac{Q_{sen}}{Q_{sen} + Q_{lat}}$$

Poichè il valore di questo rapporto corrisponde sul DPS al rapporto dh_{sen}/dh_{tot} il punto rappresentativo delle condizioni dell'aria di immissione nell'ambiente, non può che giacere sulla retta caratterizzata da tale rapporto.

Ad esempio:
$$\frac{Q_{sen}}{Q_{sen} + Q_{lat}} = \frac{26.994}{26.994 + 3.411} = 0.888 = dh_{sen}/dh_{tot}$$

- 3) Conosciuto il rapporto dh_{sens}/dh_{tot} (retta dei carichi ambiente) e impostata la tbs_{imm} dell'aria il cui stato sarà rappresentato dal punto D, si calcola l'umidità specifica di questo stato in modo da soddisfare il rapporto detto tra lo stato (C) e quello (D).

Si procede quindi ad assegnare allo stato (D) (di cui è definita la sola tbs), valori di x via via decrescenti a partire da un valore di X pari a quello del punto (B), verificando per

ogni ipotesi il rapporto dh_{sen}/dh_{tot} : per calcolare dh_{sen} è necessario calcolare l'entalpia di un punto fittizio con tbs come (B) e x come (D) ricercato.

Ad esempio con $tbs_{imm} = 15.5^{\circ}C$, solo il valore x (W) pari a 9.39933 g/kg corrisponde ad un contenuto entalpico tale da verificare:

$$\frac{dh_{sen}}{dh_{tot}} = \frac{49.08179 - 39.363618}{50.3097876 - 39.363618} = 0.8878$$

in cui

39.363618 è l'entalpia del punto ricercato (D)

50.3097876 è l'entalpia del punto (B)

49.08179 è l'entalpia di un punto (B_1) avente tbs come (B) e x come (D).

- 4) Si calcola il salto entalpico tra punto (B) e punto (D)

$$dh_{(D-B)} = h_D - h_B$$

nell'esempio: $50.3097876 - 39.3637014 = 10.946086$ kJ/kg

- 5) Si calcola la portata d'aria da immettere per neutralizzare il carico totale zona

$$q_{imm} = \frac{Q_{tot}}{dh} \text{ in kg/sec}$$

nell'esempio $q_{imm} = \frac{30.404943}{10.946086} = 2.7777$ kg/sec

- 6) La conoscenza della portata massica totale consente di calcolare la miscela e relativi rapporti

$$q_{(C)} = q_{(A)} + q_{(B)}$$

$q_{(C)}$ corrisponde alla portata di immissione q_{imm}

$q_{(A)}$ corrisponde alla portata di rinnovo q_{rinn} ($q_{rinn} = q_{rinn}/0.816 \square 3600$)

$q_{(B)}$ corrisponde alla portata di ripresa che entra nella miscela (l'eccedenza di ripresa pari a $q_{(A)}$ viene espulsa)

$$R_{(A)} = \frac{q_{(A)}}{q_{(C)}}$$

$$R_{(B)} = \frac{q_{(B)}}{q_{(C)}}$$

nell'esempio $q_{(B)} = 2.7777 - 0.6944 = 2.0833$

$$R_{(A)} = 0.249991$$

$$R_{(B)} = 0.75009$$

- 7) Si determinano le caratteristiche dell'aria rappresentate dal punto C

$$tbs_{(C)} = R_{(A)} \cdot tbs_{ext} + R_{(B)} \cdot tbs_{amb}$$

$$h_{(C)} = R_{(A)} \cdot h_{(A)} + R_{(B)} \cdot h_{(B)}$$

oppure

$$x_{(C)} = R_{(A)} \cdot x_{(A)} + R_{(B)} \cdot x_{(B)}$$

nell'esempio

$$tbs_{(C)} = 0.24999 \cdot 32 + 0.75009 \cdot 25 = 26.75^\circ\text{C}$$

$$h_{(C)} = 55.345 \text{ kJ/kg}$$

- 8) Si calcolano infine:

- la potenza totale che scambia la batteria: $Q_{tot} = q_{imm} \cdot (h_{(C)} - h_{(D)})$

$$\text{nell'esempio: } Q_{tot} = 2.7777 \cdot (55.345 - 39.363) = 44.380 \text{ kW}$$

- la potenza sensibile che la batteria scambia: $Q_{sen} = q_{imm} \cdot (h_{(C1)} - h_{(D)})$
(C_1) è assunto pari a $tbs_{(C)}$ ma con la stessa x del punto (D)

$$\text{nell'esempio: } Q_{sen} = 2.7777 \cdot (50.873 - 39.363) = 31.971 \text{ kW}$$

- il rapporto $\frac{Q_{sen}}{Q_{tot}}$ caratteristico della batteria ; $31.971/44.380 = 0.720$

- la produzione di acqua condensata $q_x = d_x \cdot q_{imm}$; $q_x = 1.75 \cdot 2.7777 = 4.86\text{g/s}$

- il fattore di contatto della batteria $f_s = \frac{tbs_{(C)} - tbs_{(D)}}{tbs_{(C)} - ts}$; $f_s = \frac{26.75 - 15.50}{26.75 - 12.28} = 0.777$

9) VERIFICHE

- Il punto (D) non può essere sulla Curva di saturazione (max 99%UR).
- L'intersezione del prolungamento verso sinistra della retta C-D avente caratteristiche $\frac{Q_{sen}}{Q_{tot}}$ deve intersecare la curva di saturazione (temperatura superficiale t_s) e NON PUO'ESSERLE TANGENTE; t_s , nell'esempio vale 12.28°C.
- Il numero di ricircoli $\frac{q_v}{Vol}$ dovrebbe superare 4-5 (spetta al progettista il giudizio!) in cui q_v deriva da $q_{imm} \cdot 3600 \cdot 0.816$

VARIANTI

Come variante parziale di questa procedura di calcolo ai punti 2° e 3°), si può utilizzare anziché il rapporto dh_{sen}/dh_{tot} , il rapporto dh_{tot}/dx (delta entalpico/ delta umidità specifica) per definire la caratteristica del tratto B-D.

In questo caso il dato input è Q_x che costituisce la portata d'acqua in grammi corrispondente al carico di umidità da neutralizzare in ambiente, mentre è assente il corrispondente dato input carico latente.

Per calcolare il rapporto dh_{tot}/dx è comunque necessario conoscere il carico latente che si ottiene:

$$Q_{lat} = Q_x \cdot 2.555 \quad \text{nell'esempio: } Q_{lat} = 1.335 \cdot 2.555 = 3.410 \text{ kW}$$

in cui: 2.555 corrisponde al calore specifico del vapore in kJ/g

Si calcola poi il rapporto desiderato:

$$dh_{tot}/dx = \frac{Q_{sen} + Q_{lat}}{Q_x} \quad \text{nell'esempio: } \frac{26.994 + 3.410}{1.335} = 22.77$$

PROCEDIMENTO ANALITICO DI CALCOLO CON DATI INPUT DA 1. – 7.b :

1v) Si fissano sul diagramma psicrometrico i punti rappresentanti le condizioni d'aria esterna (A) ed interna (B)

2v) Si calcola il rapporto Sensibile/Totale ambiente

$$\frac{Q_{sen}}{Q_{tot}} = \frac{Q_{sen}}{Q_{sen} + Q_{lat}}$$

Poichè il valore di questo rapporto corrisponde sul DPS al rapporto dh_{sen}/dh_{tot} il punto rappresentativo delle condizioni dell'aria di immissione nell'ambiente, non può che giacere sulla retta caratterizzata da tale rapporto.

Ad esempio: $\frac{Q_{sen}}{Q_{sen} + Q_{lat}} = \frac{26.994}{26.994 + 3.411} = 0.888 = dh_{sen}/dh_{tot}$

3v) La conoscenza della portata massica totale consente di calcolare la miscela e relativi rapporti

$$q_{(C)} = q_{(A)} + q_{(B)}$$

$q_{(C)}$ corrisponde alla portata di immissione q_{imm}

$q_{(A)}$ corrisponde alla portata di rinnovo q_{rinn} ($q_{rinn} = q_{rinn}/0.816 \square 3600$)

$q_{(B)}$ corrisponde alla portata di ripresa che entra nella miscela (l'eccedenza di ripresa pari a $q_{(A)}$ viene esplulsa)

$$R_{(A)} = \frac{q_{(A)}}{q_{(C)}} \qquad R_{(B)} = \frac{q_{(B)}}{q_{(C)}}$$

nell'esempio $q_{(B)} = 2.7777 - 0.6944 = 2.0833$

$$R_{(A)} = 0.249991 \qquad R_{(B)} = 0.75009$$

4v) Si determinano le caratteristiche dell'aria rappresentate dal punto C

$$tbs_{(C)} = R_{(A)} \cdot tbs_{ext} + R_{(B)} \cdot tbs_{amb}$$

$$h_{(C)} = R_{(A)} \cdot h_{(A)} + R_{(B)} \cdot h_{(B)} \qquad \text{oppure}$$

$$x_{(C)} = R_{(A)} \cdot x_{(A)} + R_{(B)} \cdot x_{(B)}$$

nell'esempio $tbs_{(C)} = 0.24999 \cdot 32 + 0.75009 \cdot 25 = 26.75^\circ\text{C}$

$$dh_{(C)} = 55.345 \text{ kJ/kg}$$

5v) Nota l'entalpia dello stato C, si calcola l'entalpia del punto (D)

$$h_{(D)} = h_{(B)} - \frac{Q_{sen} + Q_{lat}}{q_{imm}} \qquad \text{nell'esempio: } h_{(D)} = 50.309 - \frac{30.405}{2.7777} = 39.363 \text{ kJ/kg}$$

6v) Si ricerca per successivi tentativi la tbs del punto (D) in grado di soddisfare, in relazione al punto (B), il rapporto noto dh_{sen}/dh_{tot} . Nell'esempio solo una tbs (D) pari a 15.5°C ha entalpia 39.363 e x 9.39933 valore quest'ultimo che porta ad avere un punto (B₁) di pari x e di entalpia 49.08179.

7v) Si calcolano infine:

- la potenza totale che scambia la batteria: $Q_{tot} = q_{imm} \cdot (h_{(C)} - h_{(D)})$

nell'esempio: $Q_{tot} = 2.7777 \cdot (55.345 - 39.363) = 44.380 \text{ kW}$

- la potenza sensibile che la batteria scambia: $Q_{sen} = q_{imm} \cdot (h_{(C1)} - h_{(D)})$
(C₁) è assunto pari a t_{bs(C)} ma con la stessa x del punto (D)

nell'esempio: $Q_{sen} = 2.7777 \cdot (50.873 - 39.363) = 31.971 \text{ kW}$

- il rapporto $\frac{Q_{sen}}{Q_{tot}}$ caratteristico della batteria ; $31.971/44.380 = 0.720$

- la produzione di acqua condensata $q_x = d_x \cdot q_{imm}$
nell'esempio $q_x = 1.75 \cdot 2.7777 = 4.86 \text{ g/s}$

- il fattore di contatto della batteria $f_s = \frac{t_{bs(C)} - t_{bs(D)}}{t_{bs(C)} - t_s}$; $f_s = \frac{26.75 - 15.50}{26.75 - 12.28} = 0.777$

8°v) VERIFICHE

- Il punto (D) non può essere sulla Curva di saturazione (max 99%).

- L'intersezione del prolungamento verso sinistra della retta C-D avente caratteristiche

$$\frac{Q_{sen}}{Q_{tot}}$$

deve intersecare la curva di saturazione (temperatura superficiale t_s) e NON PUO' ESSERLE TANGENTE; t_s deve comunque essere più alta di 4°C.

- Il numero di ricircoli $\frac{q_v}{Vol}$ dovrebbe superare 4-5
(spetta al progettista il giudizio!)

in cui q_v deriva da $q_{imm} \cdot 3600 \cdot 0.816$

Progetto: Esempio di calcolo elaborato con Psychro Ver. 2.0 -2002.
CONDIZIONAMENTO ESTIVO TUTTARIA ESTERNA

Foglio n.001

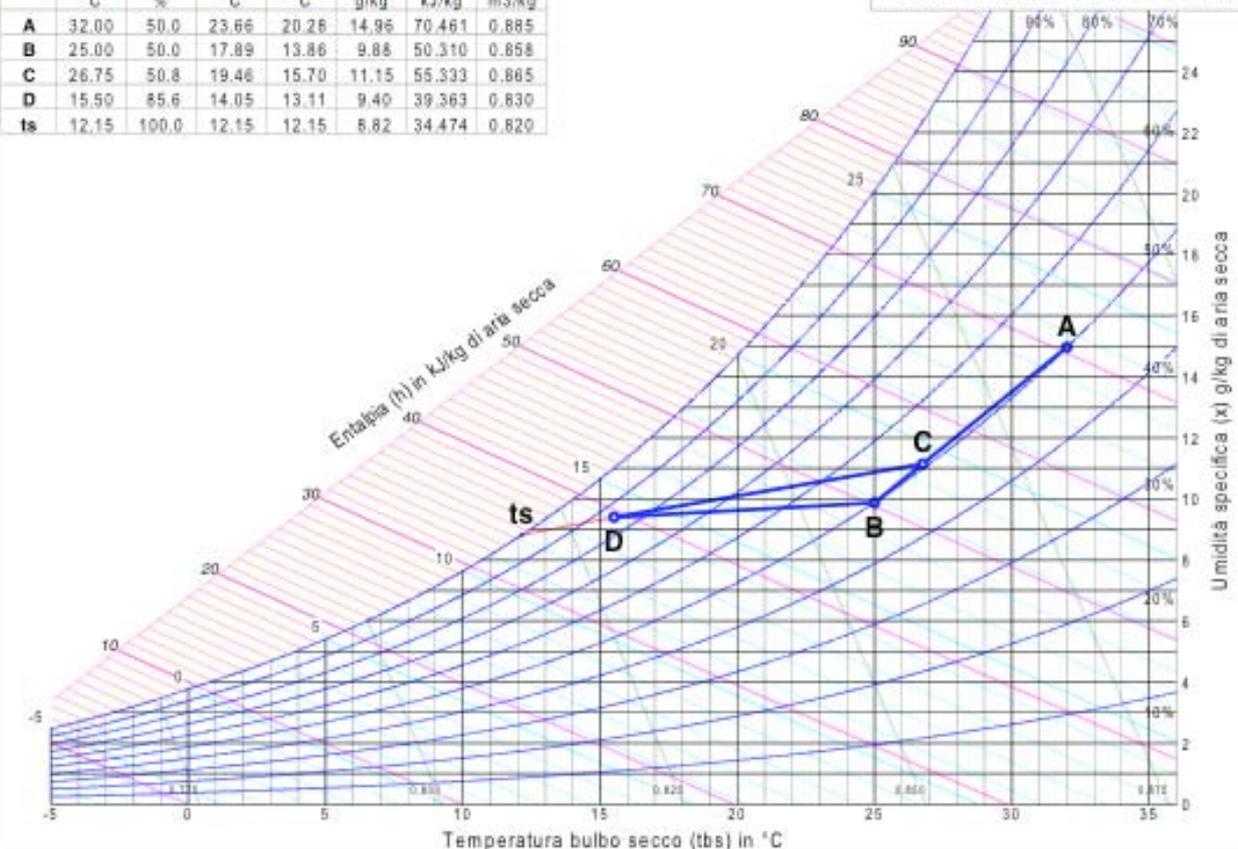
Miscela + raffreddamento con deumificazione - dati input 1-7a

Condizioni interne:		Carico sensibile ambiente		$Q_{sens} = 26.994 \text{ kW}$
temperatura bulbo secco	$t_{bs,amb} = 25.00 \text{ }^\circ\text{C}$	Carico latente ambiente		$Q_{lat} = 3.411 \text{ kW}$
umidità relativa	$UR_{amb} = 50.00 \%$	Carico totale ambiente		$Q_{tot} = 30.405 \text{ kW}$
Condizioni esterne:		Rapporto Sensibile/Totale		$Q_{sens}/Q_{tot} = 0.888$
temperatura bulbo secco	$t_{bs,est} = 32.00 \text{ }^\circ\text{C}$	Portata d'aria di rinnovo		$q_{rinn} = 2039 \text{ m}^3/\text{h}$
umidità relativa	$UR_{est} = 50.00 \%$	<small>(portata d'aria normale a $0.816 \text{ m}^3/\text{kg}$ - UNI10338)</small>		$= 0.694 \text{ kg/s}$
Volume della zona condizionata	$Vol = 1425 \text{ m}^3$	Temperatura aria da immettere nella zona		$t_{bs,im} = 15.50 \text{ }^\circ\text{C}$

SEQUENZA DEI TRATTAMENTI			CONDIZIONAMENTO ESTIVO TUTTA ARIA									
n.	Trattamento	Tratto	qm	qv	dt	dx	dh	Qs	Qt	qx	S/T	dh/dx
			kg/s	m ³ /h	K	g/kg	kJ/kg	kW	kW	g/s		
1	Miscela	A	0.6940	2212								
		B	2.0834	6436								
2	Raffreddamento con deumificazione	C	2.7774	8647								
		D	2.7774	8300	11.25	1.75	15.970	31.961	44.357	4.862	0.721	9.12
Fattore di contatto		$f_s = 0.771$			n°. ricircoli		$qv/vol = 5.726$					

CONDIZIONI FISICHE DEI PUNTI							
pto	tbs	UR	tbu	t _{sa}	x	h	v
	°C	%	°C	°C	g/kg	kJ/kg	m ³ /kg
A	32.00	50.0	23.66	20.26	14.96	70.461	0.885
B	25.00	50.0	17.89	13.86	9.88	50.310	0.858
C	26.75	50.8	19.46	15.70	11.15	55.333	0.865
D	15.50	85.6	14.05	13.11	9.40	39.363	0.830
ts	12.15	100.0	12.15	12.15	8.82	34.474	0.820

DIAGRAMMA PSICROMETRICO basato su ASHRAE
Temperatura normale - livello del mare
Pressione barometrica 101325 Pa - UNITA' SI -



File: ESEMP_A

3.2 CONDIZIONAMENTO ESTIVO ARIA PRIMARIA + F.C. RAFFREDDAMENTO CON DEUMIDIFICAZIONE

Come noto negli impianti di condizionamento ad aria primaria + F.C., il trattamento riguarda esclusivamente l'aria di rinnovo (tutta esterna) con l'obiettivo ideale di portarla a condizioni neutre pari a quelle interne (nell'esempio la $t_{bs_{imm}}$ ideale sarebbe pari a 25°C). Nella pratica, il processo di deumidificazione è possibile invece solo fissando condizioni finali di temperatura molto più basse (nell'esempio la $t_{bs_{imm}}$ è impostata a 14°C).

L'aria primaria viene quindi preparata con contenuti entalpici molto minori delle condizioni neutre ideali, con il risultato di avere una quota di potenza di neutralizzazione eccedente.

Tale quota eccedente, che nell'esempio risulta pari al 26% del carico sensibile ambiente, potrà essere considerata come "contributo" e defalcata dalla potenza da assegnare alle unità locali (fan-coils) destinate a neutralizzare il carico sensibile ambiente.

Il calcolo si sviluppa, nota la portata e fissata una certa temperatura bulbo secco dell'aria di immissione, determinando semplicemente l'umidità specifica del punto C e conseguentemente la sua entalpia.

Si verifica che con la t_{bs} fissata, la trasformazione intersechi la curva di saturazione ad una temperatura superficiale di batteria (t_s) realizzabile, oppure si ripete il calcolo con una diversa t_{bs} di immissione più adatta.

ESEMPIO contenuto nel programma

Esemp_B.psy

Per risolvere il problema è necessario contare sui seguenti dati input:

Condizioni interne:		Volume	1500	m ³
t_{bs}	25.0 °C	Carico sensibile amb.	45.000	kW
UR	50.0 %	Carico latente amb.	2.200	kW
Condizioni esterne:		q rinnovo	3000.0	m ³ /h
t_{bs}	32.0 °C	t_{bs} immissione	14.0	°C
UR	50.0 %			

- Condizioni interne: $t_{s_{amb}}$ e $U_{r_{amb}}$ 25°C 50%
- Condizioni esterne: $t_{s_{ext}}$ e $U_{r_{ext}}$ 32°C 50%
- Volume della zona condizionata Vol in m³ 1500 m³
- Carico sensibile ambiente Q_{sens} in kW 45.000 kW
- Carico latente ambiente Q_{lat} in kW 2.200 kW
oppure 5.a Q_x in g/s 0.86 g/s (3,1 kg/h)
- Portata d'aria di rinnovo q_{rinn} in m³/h (a 0.816 m³/kg) 3000 m³/h
- Temperatura dell'aria da immettere
nella zona considerata $t_{s_{imm}}$ in °C 14°C

In questo caso la portata d'aria da immettere q_{imm} corrisponde alla portata di rinnovo q_{rinn} .

N.B. Il carico sensibile ambiente Q_{sen} è comprensivo dell'apporto FAN-COIL.

Il valore del carico sensibile ambiente impostato non ha praticamente influenza sul trattamento, se non ai fini della determinazione del valore residuo di potenza sensibile che dovranno fornire i FAN-COILS.

PROCEDIMENTO ANALITICO DI CALCOLO UTILIZZATO DAL PROGRAMMA :

1) Si fissano sul diagramma psicrometrico i punti rappresentanti le condizioni d'aria esterna (A) ed interna (B)

2) Si calcola la portata d'aria massica da trattare considerando che, in questo caso, la portata di immissione è pari a quella di rinnovo

$$q_{imm} = \frac{Q_{rin}}{0.816 \cdot 3600} = 1.0212 \text{ kg/s}$$

3) Si calcola l'umidità specifica dell'aria da immettere, di cui già si è fissata la tbs (nell'esempio 14°C), rappresentata dal punto (C), dopo aver calcolato Q_x (carico di umidità ambiente in g/s)

$$Q_x = \frac{Q_{lat}}{2.555} \text{ nell'esempio: } \frac{2.200}{2.555} = 0.861 \text{ g/s}$$

$$x_{(C)} = x_{(B)} - \frac{Q_x}{q_{imm}} = 9.88 - \frac{0.861}{1.0212} = 9.036 \text{ g/kg ;}$$

$$h_{(C)} = 36.918 \text{ kJ/kg}$$

Si verifica che il prolungamento del tratto A-C intersechi effettivamente la curva di saturazione e si calcola t_s (nell'esempio ~ 10°C).

4°) Si calcola infine:

- la potenza totale che scambia la batteria $Q_{tot} = q_{imm}(h_{(A)} - h_{(C)})$
 $Q_{tot} = 1.0212 (70.461 - 36.918) = 34.256 \text{ kW}$

- la potenza sensibile che scambia la batteria $Q_{sen} = q_{imm}(h_{(A1)} - h_{(C)})$
 (A1) è assunto con pari tbs (A) ma con la stessa x del punto (C).

$$\text{nell'esempio } Q_{sen} = 1.0212 (55.312 - 36.918) = 18.784 \text{ kW}$$

- il rapporto $\frac{Q_{sen}}{Q_{tot}}$ caratteristico della batteria, che nell'esempio $\frac{18.784}{33.550} = 0.56$

- la quota di potenza sensibile fornita dalla batteria eccedente le condizioni neutre (B), considerata come contributo utile alla neutralizzazione del carico sensibile ambiente:

$$Con_{sen} = q_{imm}(h_{(B1)} - h_{(C)})$$

(B1) è di pari tbs (B) e di pari x (C)

$$\text{nell'esempio } Q_{sen} = 1.0212(48.981 - 36.918) = 12.318 \text{ kW}$$

- il residuo di potenza sensibile che dovranno fornire i FAN-COILS
 nell'esempio: $Q_{FAN} = Q_{sen} - Con_{sen}$

$$Q_{FAN} = 45.000 - 12.318 = 32.682 \text{ kW}$$

- la produzione di acqua condensata $q_x = d_x \cdot q_{imm}$
 nell'esempio $q_x = 5.914 \cdot 1.0212 = 6.039 \text{ g/s}$

- il fattore di contatto della batteria $f_s = \frac{tb_{S(A)} - tb_{S(C)}}{tb_{S(A)} - ts}$

nell'esempio $f_s = \frac{32 - 14}{32 - 10} = 0.818$

- Il numero di ricircoli $\frac{q_v}{Vol}$ dovuto alla sola aria primaria

nell'esempio $\frac{q_v}{Vol} = 2$

in cui $q_v = q_{rinn} = q_{imm}$

le unità locali (fan-coils) provvederanno a fornire gli ulteriori ricircoli.

VARIANTI

Come variante parziale di questa procedura di calcolo si può utilizzare il dato input Q_x che costituisce la portata d'acqua in grammi corrispondente al carico di umidità da neutralizzare in ambiente, mentre è assente il corrispondente dato input carico latente.

Nota: Le piccole differenze tra i valori risultanti sopra pubblicati (calcolo manuale) e quelli forniti dal programma, sono dovute alla diversa approssimazione dei decimali.

Progetto: Esempio di calcolo elaborato con Psychro Ver. 2.0 -2002.
CONDIZIONAMENTO ESTIVO ARIA PRIMARIA + F.C.

Foglio n.001

Raffreddamento con deumidificazione

Condizioni interne:

temperatura bulbo secco	tbs _{amb} = 25.00 °C
umidità relativa	UR _{amb} = 50.00 %

Condizioni esterne:

temperatura bulbo secco	tbs _{est} = 32.00 °C
umidità relativa	UR _{est} = 50.00 %

Volume della zona condizionata Vol = 1500 m³

Carico sensibile ambiente

Q_{sen} = 45.000 kW

Carico latente ambiente

Q_{lat} = 2.200 kW

Carico totale ambiente

Q_{tot} = 47.200 kW

Rapporto Sensibile/Totale

Q_{sen}/Q_{tot} = 0.953

Portata d'aria di rinnovo

q_{renv} = 3000 m³/h

(portata d'aria normale a 0.816 m³/kg - UNI10338)

= 1.021 kg/s

Temperatura aria da immettere nella zona

tbs_{im.m} = 14.00 °C

SEQUENZA DEI TRATTAMENTI			CONDIZIONAMENTO ESTIVO ARIA PRIMARIA									
n.	Trattamento	Tratto	qm	qv	dt	dx	dh	Qs	Qt	qx	S/T	dh/dx
			kg/s	m ³ /h	K	g/kg	kJ/kg	kW	kW	g/s		
1	Raffreddamento con deumidificazione	A C	1.0212 1.0212	3255 3034	18.00	5.92	33.544	18.792	34.255	6.043	0.549	5.67

Contributo di potenza sensibile fornito dall'aria primaria per la neutralizzazione di Q_{sen}

CON_{sen} = 11.484 kW

Potenza fan-coil

Q_{FAN} = 33.516 kW

Fattore di contatto fs = 0.818

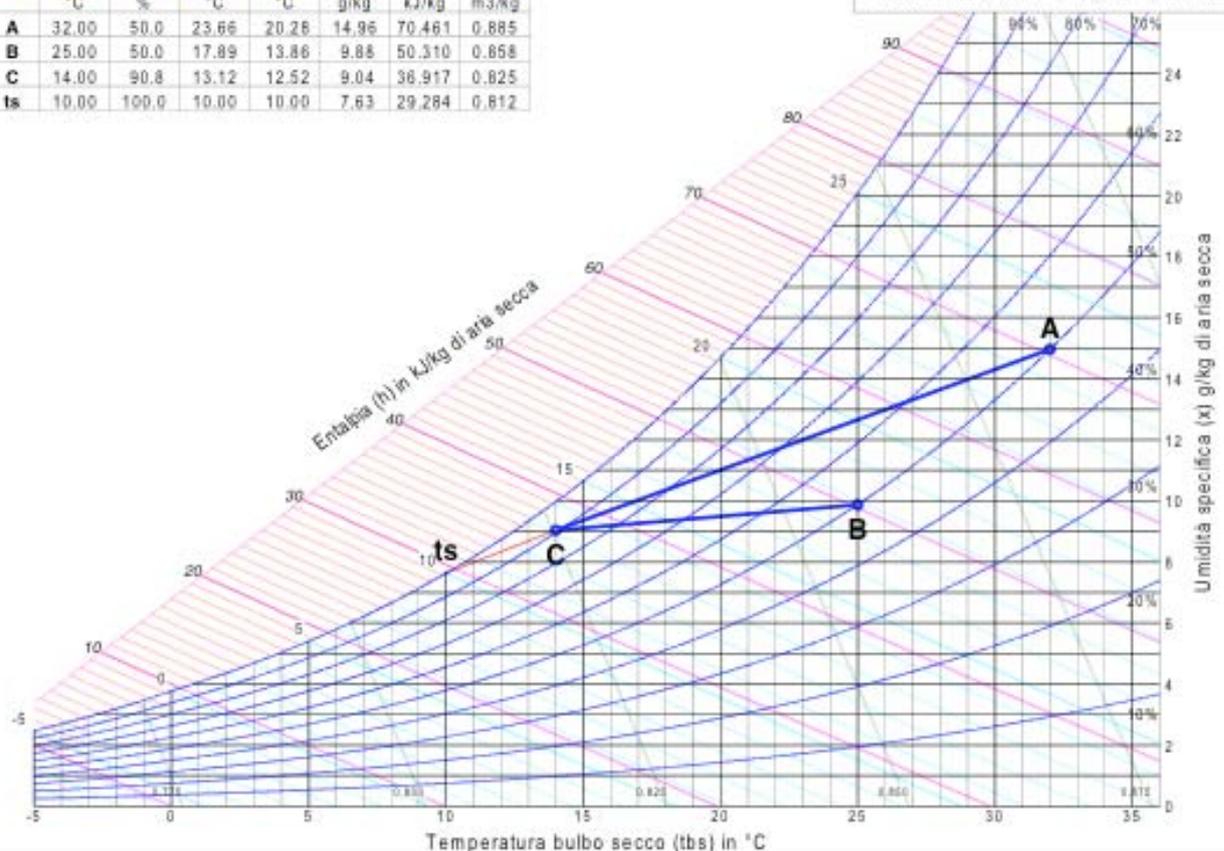
n°, ricircoli

qv/vol = 2.000

CONDIZIONI FISICHE DEI PUNTI

pto	tbs	UR	tbu	t _{sa}	x	h	v
	°C	%	°C	°C	g/kg	kJ/kg	m ³ /kg
A	32.00	50.0	23.66	20.26	14.96	70.461	0.885
B	25.00	50.0	17.89	13.86	9.88	50.310	0.858
C	14.00	90.8	13.12	12.52	9.04	36.917	0.825
ts	10.00	100.0	10.00	10.00	7.63	29.284	0.812

DIAGRAMMA PSICROMETRICO basato su ASHRAE
Temperatura normale - livello del mare
Pressione barometrica 101325 Pa - UNITA' SI -



File: ESEMP_B

3.3 CONDIZIONAMENTO ESTIVO TUTTA ARIA ESTERNA

RAFFREDDAMENTO CON DEUMIDIFICAZIONE + POSTRISCALDAMENTO

Quando si tratta di condizionamento estivo a tutta aria esterna, ci si può trovare in presenza di carichi latenti ambiente che possono essere molto alti (la retta dei carichi ambiente non interseca la retta di raffreddamento) e temperatura dell'aria a valle della batteria di raffreddamento troppo bassa per essere direttamente immessa in ambiente, se si opera con la sola batteria fredda.

Il postriscaldamento risolve questi problemi consentendo la trasformazione e portando la tbs di immissione a valori accettabili pur con una spesa energetica supplementare.

Il calcolo si sviluppa impostando, oltre ai dati derivanti dalla stima dei carichi, la temperatura superficiale della batteria e la temperatura di immissione dell'aria negli ambienti.

Nel fissare, per tentativi, la temperatura superficiale della batteria è necessario tener conto che essa sia realizzabile (9-12°C); mentre per quanto attiene la temperatura di immissione, anch'essa fissata per tentativi, conviene considerare che a temperature maggiori corrispondono portate maggiori d'aria.

Si determinano le altre caratteristiche dell'aria di immissione (D) in modo che il suo punto rappresentativo giaccia sulla retta dei carichi ambiente che ha origine in (B) e si calcola la portata d'aria necessaria; valore quest'ultimo che dovrà essere verificato se congruo.

Si procede molto semplicemente a calcolare le condizioni prima del postriscaldamento, punto (C) che giace sulla retta A-t_s.

ESEMPIO contenuto nel programma

Esemp_C.psy

Condizioni interne:		Volume	<input type="text" value="1500"/>	m ³
tbs	<input type="text" value="25.0"/> °C	Carico sensibile amb.	<input type="text" value="32.000"/>	kW
UR	<input type="text" value="50.0"/> %	Qx  Carico latente amb.	<input type="text" value="9.800"/>	kW
Condizioni esterne:		t superficiale	<input type="text" value="11.50"/>	°C
tbs	<input type="text" value="32.0"/> °C	tbs immissione	<input type="text" value="18.0"/>	°C
UR	<input type="text" value="50.0"/> %			

- Condizioni interne: tbs_{amb} e Ur_{amb} 25°C 50%
- Condizioni esterne: tbs_{ext} e Ur_{ext} 32°C 50%
- Volume della zona condizionata Vol in m³ 1500 m³
- Carico sensibile ambiente Q_{sens} in kW 32.000 kW
- Carico latente ambiente Q_{lat} in kW 9,8 kW
oppure 5.a Q_x in g/s 3.83 g/s (13.79 kg/h)
- Temperatura superficiale della batteria t_s in °C 11.5°C
- Temperatura di immissione dell'aria tbs_{imm} in °C 18°C

PROCEDIMENTO ANALITICO DI CALCOLO UTILIZZATO DAL PROGRAMMA :

1) Si fissano sul diagramma psicrometrico i punti rappresentanti le condizioni d'aria esterna (A) ed interna (B)

2) Si calcola il rapporto Sensibile/Totale ambiente

$$\frac{Q_{sen}}{Q_{tot}} = \frac{Q_{sen}}{Q_{sen} + Q_{tot}} \quad \text{nell'esempio: } \frac{32}{32 + 9.8} = 0,765$$

Poichè il valore di questo rapporto corrisponde sul diagramma al rapporto dh_{sen}/dh_{tot} (retta dei carichi) si può procedere a determinare per successive iterazioni l'umidità specifica del punto D (aria immissione) di cui è già nota la tbs in modo che la sua entalpia possa verificare tale rapporto.

Nell'esempio con una $tbs_{(D)}=18^{\circ}\text{C}$, solo il valore di $x_{(D)}$ pari a 9,02 g/kg porta ad una entalpia $h_{(D)}$ di 40.958 KJ/kg che verifica il rapporto (B-D):

$$\frac{dh_{sen}}{dh_{tot}} = \frac{48.116 - 40.958}{50.310 - 40.958} = 0,765$$

Il punto D è quindi caratterizzato da

$$tbs_{(D)}=18^{\circ}\text{C}; \quad x_{(D)}=9,02 \text{ g/kg}; \quad h_{(D)}= 40.958 \text{ KJ/kg}$$

3) Si calcola il salto entalpico tra (B) e (D)

$$dh_{(B-D)} = h_{(D)} - h_{(B)}$$

$$\text{nell'esempio } dh_{(B-D)} = 50.310 - 40.958 = 9.352 \text{ KJ/kg}$$

4) Si determina la portata d'aria massica da trattare:

$$Q_{imm} = \frac{Q_{sen} + Q_{lat}}{dh} \quad \text{nell'esempio } Q_{imm} = \frac{32 + 9.8}{9.352} = \frac{41.8}{9.352} = 4.469 \text{ kg/sec}$$

5°) Si determinino le caratteristiche dell'aria dopo il trattamento di raffreddamento con deumidificazione (punto C).

Il punto in questione è definito da una $x_{(C)} = x_{(D)}$;

nell'esempio $x_{(C)} = x_{(D)} = 9,02$

e giace sulla retta A-t_s avente caratteristica

$$\frac{dh_{sen}}{dh_{tot}} \quad \text{nell'esempio } \frac{53.788 - 32.860}{70.461 - 32.860} = 0,557$$

Si ricerca con successive iterazioni la $h_{tot(C)}$ in grado di soddisfare tale rapporto.

Nell'esempio solo uno stato dell'aria avente $h_{(C)} = 36,167 \text{ KJ/kg}$ e $x_{(C)} = 9,02 \text{ g/kg}$ verifica il rapporto caratteristico della retta A-C

$$\frac{dh_{sen}}{dh_{tot}} = \frac{55.272 - 36,167}{70.461 - 36,167} = 0,557$$

Il punto C è quindi così definito

$$tbs_{(C)} = 13.31^{\circ}\text{C}; \quad x_{(C)} = 9,02 \text{ g/kg}; \quad h_{(C)} = 36,167 \text{ KJ/kg}$$

6) Si determinano infine:

- La potenza totale di scambio della batteria fredda:

$$Q_{tot} = (h_{(A)} - h_{(C)}) = 4.469 \cdot (70.461 - 36.167) = 153.26 \text{ kw}$$

- La produzione di acqua condensata:

$$q_x = d_x \cdot q_{imm} \quad ; \quad q_x = (14,96 - 9,02) \cdot 4.469 = 26.54 \text{ g/s}$$

- Il fattore di contatto della batteria fredda:

$$f_s = \frac{tb_{S(A)} - tb_{S(C)}}{tb_{S(A)} - t_s} \quad \text{che nell'esempio:} \quad f_s = \frac{32 - 13.31}{32 - 11.5} = 0,912$$

- La potenza necessaria per il postriscaldamento: $Q_{post} = Q_{imm}(h_{(D)} - h_{(C)})$

$$\text{nell'esempio: } Q_{post} = 4.469 \cdot (40.958 - 36.167) = 21.41 \text{ kw}$$

- Il numero di ricircoli: $\frac{q_v}{Vol}$ che nell'esempio: $\frac{4.469 \cdot 3600 \cdot 0,816}{1500} = 8,75$

Progetto: Esempio di calcolo elaborato con Psychro Ver. 2.0 -2002
CONDIZIONAMENTO ESTIVO TUTTARIA ESTERNA

Foglio n.001

Raffreddamento con deumificazione + Post-riscaldamento

Condizioni interne:		Carico sensibile ambiente	$Q_{samb} = 32.000 \text{ kW}$
temperatura bulbo secco	$t_{bsamb} = 25.00 \text{ }^\circ\text{C}$	Carico latente ambiente	$Q_{lab} = 9.800 \text{ kW}$
umidità relativa	$UR_{amb} = 50.00 \%$	Carico totale ambiente	$Q_{tot} = 41.800 \text{ kW}$
Condizioni esterne:		Rapporto Sensibile/Totale	$Q_{sens}/Q_{tot} = 0.766$
temperatura bulbo secco	$t_{bsext} = 32.00 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura saturazione	$t_s = 11.50 \text{ }^\circ\text{C}$
umidità relativa	$UR_{ext} = 50.00 \%$	Temperatura aria da immettere nella zona	$t_{bsimm} = 18.00 \text{ }^\circ\text{C}$
Volume della zona condizionata	$Vol = 1500 \text{ m}^3$		

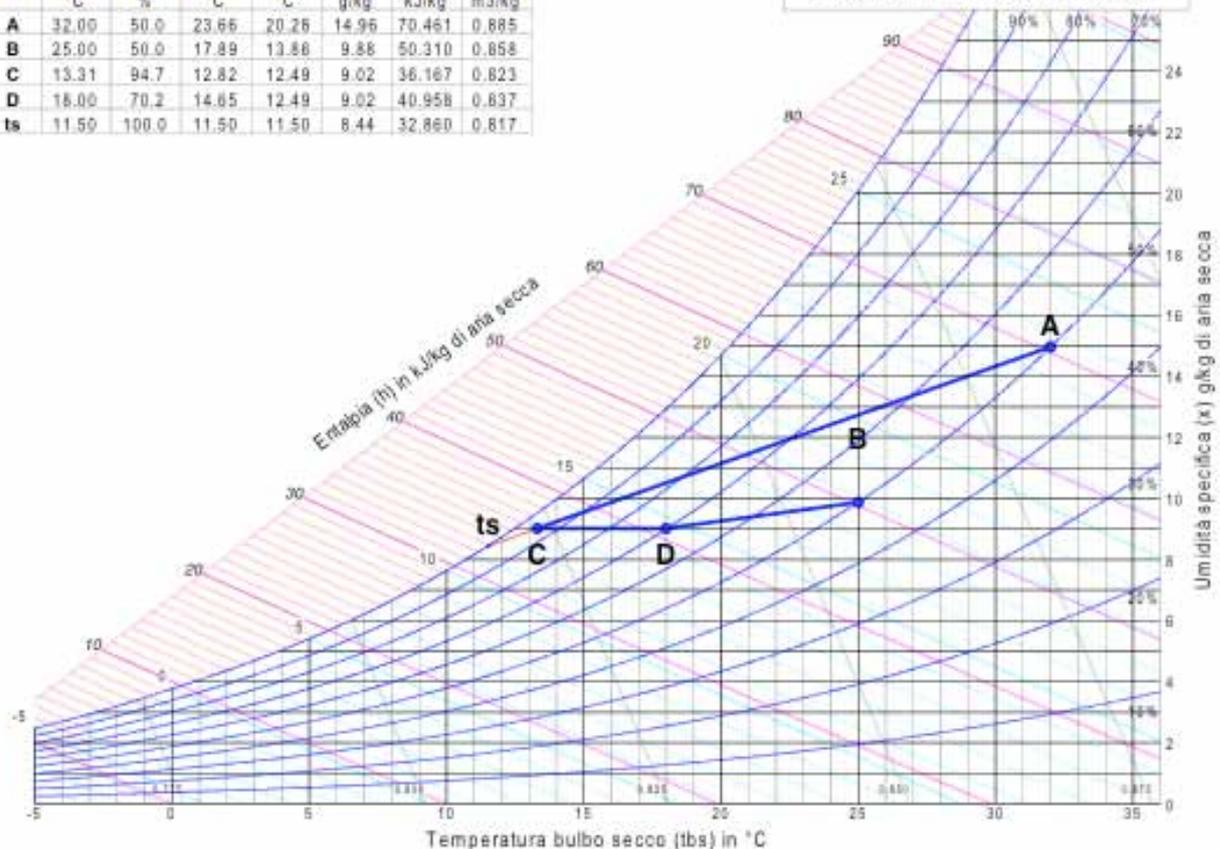
SEQUENZA DEI TRATTAMENTI			CONDIZIONAMENTO ESTIVO TUTTARIA ESTERNA									
n.	Trattamento	Tratto	qm	qv	dt	dx	dh	Qs	Qt	qx	S/T	dh/dx
			kg/s	m3/h	K	g/kg	kJ/kg	kW	kW	g/s		
1	Raffreddamento con deumificazione	A	4.4696	14245								
		C	4.4696	13248	18.69	5.94	34.295	85.384	153.286	26.537	0.557	5.78
2	Postriscaldamento	C	4.4696	13248								
		D	4.4696	13465	4.89		4.791	21.415	21.415		1.000	

Fattore di contatto $f_s = 0.912$ n° , ricircoli $qv/vol = 8.753$

CONDIZIONI FISICHE DEI PUNTI

pto	tbs	UR	tbu	t _{sa}	x	h	v
	$^\circ\text{C}$	%	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	g/kg	kJ/kg	m3/kg
A	32.00	50.0	23.66	20.26	14.96	70.461	0.885
B	25.00	50.0	17.89	13.86	9.88	50.310	0.858
C	13.31	94.7	12.82	12.49	9.02	36.167	0.823
D	18.00	70.2	14.65	12.49	9.02	40.958	0.837
t _s	11.50	100.0	11.50	11.50	8.44	32.860	0.817

DIAGRAMMA PSICROMETRICO basato su **ASHRAE**
Temperatura normale - livello del mare
Pressione barometrica 101325 Pa - UNITA' SI -



File: ESEMP_C

3.4 CONDIZIONAMENTO INVERNALE TUTTA ARIA ESTERNA MISCELA + RISCALDAMENTO E UMIDIFICAZIONE ADIABATICA

Il problema di condizionamento invernale più comune è quello di determinare le condizioni dell'aria all'uscita della batteria calda tali per cui possa essere umidificata da un semplice umidificatore ad ugelli atomizzatori ed abbia un contenuto entalpico sensibile in grado di compensare il fabbisogno termico ambiente.

Il calcolo si sviluppa partendo dal valore noto della portata di immissione negli ambienti valutato precedentemente in base alle esigenze estive mentre, il punto caratteristico di tale aria di immissione che giace sulla retta dei carichi ambiente (l'eventuale carico latente ambiente è in questo caso negativo!), viene determinato per successive iterazioni (vedi p.to 4).

Si ricorda che in presenza di aumenti igrometrici (e relativi salti termici) elevati è conveniente adottare il trattamento con doppia batteria (pre e post) o l'umidificazione a vapore (vedi trattamenti E ed F).

ESEMPIO contenuto nel programma
Esemp_D.psy

Condizioni interne:		Volume	1500	m³
tbs	20,0 °C	Fabbisogno sensibile	25,680	kW
UR	50,0 %	Carico latente amb.	2,470	kW
Condizioni esterne:		q rinnovo	2040,0	m³/h
tbs	-5,0 °C	q immissione	2,7777	kg/s
UR	80,0 %	t_{H2O}	15,0	°C

- | | | | |
|---|---|------------------------|-----|
| 1 | Condizioni interne: tbs _{amb} e Ur _{amb} | 20°C | 50% |
| 2 | Condizioni esterne: tbs _{ext} e Ur _{ext} | -5°C | 80% |
| 3 | Fabbisogno sensibile ambiente: F _{sen} in kW inteso come totale delle dispersioni dell'involucro della zona nette dagli eventuali apporti interni <u>quando sicuramente presenti</u> (calcolo conservativo). | 25.680 kW | |
| 4 | Carico latente ambiente C _{lat} in kW inteso come contributo all'umidificazione dell'aria ambiente (quando sicuramente presente). | 2.47 kW | |
| 5 | Volume della zona Vol in m ³ : | 1500 m ³ | |
| 6 | Portata d'aria di rinnovo Q _{rinn} in m ³ /h (a 0.816 m ³ /kg) | 2040 m ³ /h | |
| 7 | Portata d'aria di immissione Q _{imm} in kg/s | 2.7777 kg/s | |
| 8 | Temperatura dell'acqua per l'umidificazione t _{H2O} | 15°C | |

Il dato 7 è, in genere, vincolato dalle esigenze del ciclo estivo (il ventilatore ed i canali sono gli stessi!).

NB: Il salto entalpico $\frac{F_{sen} - C_{lat}}{Q_{imm}}$ non dovrebbe superare per questa tipologia, i 25kJ/kg altrimenti è conveniente sdoppiare il ciclo di riscaldamento (vedi esempio F).

PROCEDIMENTO ANALITICO DI CALCOLO UTILIZZATO DAL PROGRAMMA :

- 1) Si fissano sul diagramma psicrometrico i punti rappresentanti le condizioni d'aria esterna (A) ed interna (B)
- 2) La conoscenza della portata totale consente di calcolare la miscela e relativi rapporti $Q_{(C)} = Q_{(A)} + Q_{(B)}$ (valori generalmente derivati precedentemente dal calcolo estivo).

$Q_{(C)}$ corrisponde alla portata di immissione Q_{imm}
 $Q_{(A)}$ corrisponde alla portata di rinnovo Q_{rin} ($Q_A = Q_{rin}/0.816 \cdot 3.600$)
 $Q_{(B)}$ corrisponde alla portata di ripresa che entra nella miscela (l'eccedenza di ripresa pari a $Q_{(A)}$ viene espulsa).

$$R_{(A)} = \frac{Q_{(A)}}{Q_{(C)}} \quad R_{(B)} = \frac{Q_{(B)}}{Q_{(C)}}$$

nell'esempio $Q_{(B)} = 2.7777 - 0.6944 = 2.0833$

$$R_{(A)} = 0.249991 \quad R_{(B)} = 0.75009$$

- 3°) Si determinano le caratteristiche dell'aria rappresentate dal punto (C) con particolare riferimento anche al valore $x_{(C)}$

$$\begin{aligned}
 tbs_{(C)} &= R_{(A)} \cdot tbs_{ext} + R_{(B)} \cdot tbs_{amb} \\
 h_{(C)} &= R_{(A)} \cdot h_{(A)} + R_{(B)} \cdot h_{(B)}
 \end{aligned}$$

oppure

$$x_{(C)} = R_{(A)} \cdot x_{(A)} + R_{(B)} \cdot x_{(B)}$$

nell'esempio $tbs_{(C)} = 0.24999 \cdot 5 + 0.75009 \cdot 20 = 13.75185^\circ\text{C}$

$$h_{(C)} = 28.839 \text{ kJ/kg} \quad x = 5.946 \text{ (UR 0.611)}$$

- 4°) Si determinano le caratteristiche dell'aria d'immissione punto (E) tale per cui la sua entalpia risulti

$$h_{(E)} = h_{(B)} + \frac{F_{sen} - C_{lat}}{Q_{imm}} \text{ in kJ/kg}$$

$$\text{ad esempio: } 38.545 + \frac{35 - 4.5}{2.5531} = 50.491$$

e sia verificato il rapporto tra il punto E e quello B:

$$\frac{dh_{sen}}{dh_{tot}} \text{ pari a quello } \frac{F_{sen}}{F_{sen} - C_{lat}} \text{ nell'esempio } \frac{35}{35 - 4.5} = 1.1475$$

Si procede poi per tentativi (p.to 3 dell'esempio A) per determinare la $tbs_{(E)}$ che rappresenta la temperatura di immissione.

Nel ns. esempio il punto E ricercato ha le seguenti caratteristiche:

$$x_{(E)} = 6.91 \text{ e } tbs_{(E)} = 29.07$$

- 5) Si determinano le altre caratteristiche del punto (D) finale del trattamento di riscaldamento (C-D) a umidità specifica costante ($x_{(D)} = x_{(C)}$).

Nell'esempio $x_{(D)} = x_{(C)} = 5.94$

Lo stato dell'aria rappresentato dal punto D avrà l'entalpia di quella rappresentata dal punto (E) diminuita dell'entalpia dell'acqua utilizzata per la umidificazione.

In effetti il punto (D) non si trova esattamente sulla isoentalpica rispetto al punto (E), ma sulla retta

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \text{entalpia acqua in kJ/g (rapporto nella isoentalpica è zero!)}$$

$$h_C = h_D - [(x_D - x_C) \cdot t_{H_2O} \cdot 4.187 \cdot 10^{-3}] \text{ dove } t_{H_2O} \text{ è la temperatura dell'acqua (15°C)}$$

Nell'esempio h_D risulta:

$$h_C = 26,843 - [(6,57 - 1,98) \cdot 15 \cdot 4.187 \cdot 10^{-3}] = 26,55$$

La tbs del punto (D) rappresenta la temperatura dell'aria prima dell'umidificazione adiabatica. Nell'esempio con $h_{(D)} = 46,84$ e $x = 6,91$ la tbs_(F) risulta 29,07

- 6) Si calcola infine:

- la potenza totale che scambia la batteria $Q_{tot} = (h_{(D)} - h_{(C)}) \cdot Q_{imm}$
Nell'esempio $Q_{tote} = [26,554 - (-0.098)] \cdot 2.5531 = 68.045$

- la portata d'acqua necessaria all'umidificazione nell'esempio $q_x = 2.702$ g/s

- Il numero di ricircoli $\frac{q_v}{Vol}$ nell'esempio pari a 5,44

Progetto: Esempio di calcolo elaborato con Psychro Ver. 2.0 -2002
CONDIZIONAMENTO INVERNALE TUTTARIA ESTERNA

Foglio n.001

Miscela + riscaldamento e umidificazione adiabatica

Condizioni interne:

temperatura bulbo secco	tbs _{amb} = 20.00 °C
umidità relativa	UR _{amb} = 50.00 %

Condizioni esterne:

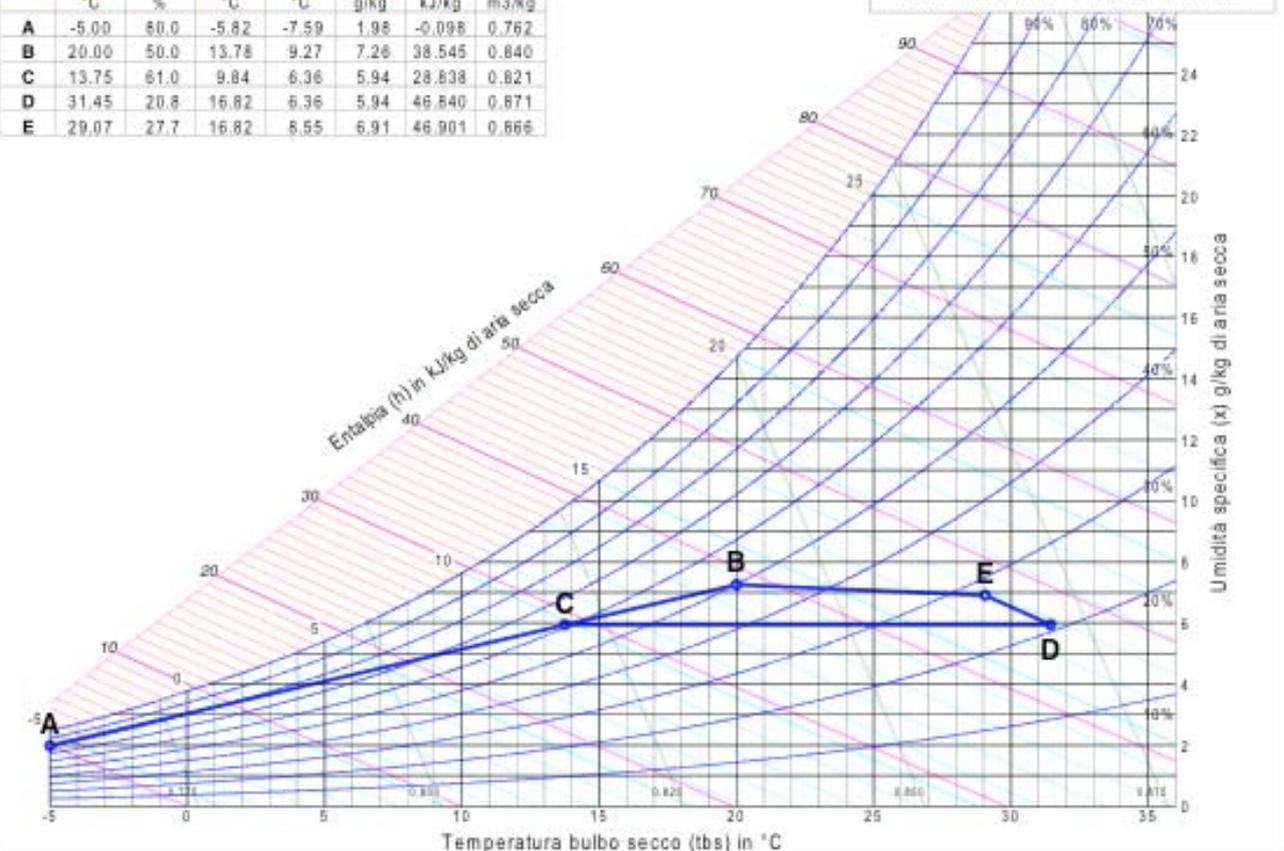
temperatura bulbo secco	tbs _{est} = -5.00 °C
umidità relativa	UR _{est} = 80.00 %
Volume della zona condizionata	Vol = 1500 m ³

Fabbisogno sensibile ambiente	Q _{sen} = 25.680 kW
Carico latente ambiente	Q _{lat} = 2.470 kW
Fabbisogno totale ambiente	Q _{tot} = 28.150 kW
Rapporto Sensibile/Totale	Q _{sen} /Q _{tot} = 0.912
Portata d'aria di rinnovo	q _{renv} = 2040 m ³ /h
(portata d'aria normale a 0.816 m ³ /kg - UNI10338)	= 0.695 kg/s
Portata d'aria da immettere nella zona	q _{imm} = 2.7777 kg/s
Temperatura acqua per umidificazione	t _{H2O} = 15.00 °C

SEQUENZA DEI TRATTAMENTI			CONDIZIONAMENTO INVERNALE TUTTA ARIA									
n.	Trattamento	Tratto	qm	qv	dt	dx	dh	Qs	Qt	qx	S/T	dh/dx
			kg/s	m ³ /h	K	g/kg	kJ/kg	kW	kW	g/s		
1	Miscela	A	0.6945	1905								
		B	2.0832	6301								
2	Riscaldamento	C	2.7777	8205								
		D	2.7777	8712	17.71		18.001	50.002	50.002		1.000	
3	Umidificazione adiabatica	E	2.7777	8712								
			2.7777	8657	2.38	0.97	0.061				2.702	
										n°. ricircoli	qv/vol = 5.440	

CONDIZIONI FISICHE DEI PUNTI								
pto	tbs	UR	tbu	t _{sa}	x	h	v	
	°C	%	°C	°C	g/kg	kJ/kg	m ³ /kg	
A	-5.00	80.0	-5.82	-7.59	1.98	-0.098	0.762	
B	20.00	50.0	13.78	9.27	7.26	38.545	0.840	
C	13.75	81.0	9.84	6.36	5.94	28.838	0.821	
D	31.45	20.8	16.82	6.36	5.94	46.840	0.871	
E	29.07	27.7	16.82	8.55	6.91	46.901	0.866	

DIAGRAMMA PSICROMETRICO basato su ASHRAE
Temperatura normale - livello del mare
Pressione barometrica 101325 Pa - UNITA' SI -



File: ESEMP_D

3.5 CONDIZIONAMENTO INVERNALE TUTTA ARIA ESTERNA*MISCELA + RISCALDAMENTO E UMIDIFICAZIONE CON VAPORE*

Questo problema di condizionamento invernale consiste nel determinare le condizioni dell'aria all'uscita della batteria calda tali per cui possa essere umidificata da aggiunta diretta di vapor d'acqua saturo ed abbia un contenuto entalpico sensibile in grado di compensare il fabbisogno termico ambiente.

Il calcolo si sviluppa partendo dal valore noto della portata di immissione negli ambienti valutato precedentemente in base alle esigenze estive mentre, il punto caratteristico di tale aria di immissione che giace sulla retta dei carichi ambiente (l'eventuale carico latente ambiente è in questo caso negativo!), viene determinato per successive iterazioni (vedi p.to 4).

ESEMPIO contenuto nel programma:

Esemp_E.psy

Condizioni interne:		Volume	1500	m³
tbs	20,0 °C	Fabbisogno sensibile	25,680	kW
UR	50,0 %	Carico latente amb.	2,470	kW
Condizioni esterne:		q rinnovo	2040,0	m³/h ↓
tbs	-5,0 °C	q immissione	2,7777	kg/s ↓
UR	80,0 %	tH2O	105,0	°C

- | | | | |
|---|--|------------------------|-----|
| 1 | Condizioni interne: $t_{bs_{amb}}$ e $U_{r_{amb}}$ | 20°C | 50% |
| 2 | Condizioni esterne: $t_{bs_{ext}}$ e $U_{r_{ext}}$ | -5°C | 80% |
| 3 | Fabbisogno sensibile ambiente: F_{sen} in kW inteso come totale delle dispersioni dell'involucro della zona nette dagli eventuali apporti interni <u>quando sicuramente presenti</u> (calcolo conservativo). | 25.680 kW | |
| 4 | Carico latente ambiente C_{lat} in kW inteso come contributo all'umidificazione dell'aria ambiente (quando sicuramente presente). | 2.47 kW | |
| 5 | Volume della zona Vol in m ³ : | 1500 m ³ | |
| 6 | Portata d'aria di rinnovo Q_{rinn} in m ³ /h (a 0.816 m ³ /kg) | 2040 m ³ /h | |
| 7 | Portata d'aria di immissione Q_{imm} in kg/s | 2.7777 kg/s | |
| 8 | Temperatura del vapor d'acqua per l'umidificazione t_{vap} | 105°C | |

Il dato 7 è, in genere, vincolato dalle esigenze del ciclo estivo (il ventilatore ed i canali sono gli stessi !).

PROCEDIMENTO ANALITICO DI CALCOLO UTILIZZATO DAL PROGRAMMA :

- 1) Si fissano sul diagramma psicrometrico i punti rappresentanti le condizioni d'aria esterna (A) ed interna (B)
- 2) La conoscenza della portata totale consente di calcolare la miscela e relativi rapporti $Q_{(C)} = Q_{(A)} + Q_{(B)}$ (valori generalmente derivati precedentemente dal calcolo estivo).

$Q_{(C)}$ corrisponde alla portata di immissione Q_{imm}
 $Q_{(A)}$ corrisponde alla portata di rinnovo Q_{rin} ($Q_A = Q_{rin}/0.816 \approx 3.600$)
 $Q_{(B)}$ corrisponde alla portata di ripresa che entra nella miscela (l'eccedenza di ripresa pari a $Q_{(A)}$ viene espulsa).

$$R_{(A)} = \frac{Q_{(A)}}{Q_{(C)}} \quad R_{(B)} = \frac{Q_{(B)}}{Q_{(C)}}$$

nell'esempio $Q_{(B)} = 2.7777 - 0.6944 = 2.0833$

$$R_{(A)} = 0.249991 \quad R_{(B)} = 0.75009$$

- 3) Si determinano le caratteristiche dell'aria rappresentate dal punto (C) con particolare riferimento anche al valore $x_{(C)}$

$$\begin{aligned}
 tbs_{(C)} &= R_{(A)} \cdot tbs_{ext} + R_{(B)} \cdot tbs_{amb} \\
 h_{(C)} &= R_{(A)} \cdot h_{(A)} + R_{(B)} \cdot h_{(B)} \\
 \text{oppure} \\
 x_{(C)} &= R_{(A)} \cdot x_{(A)} + R_{(B)} \cdot x_{(B)}
 \end{aligned}$$

nell'esempio

$$\begin{aligned}
 tbs_{(C)} &= 0.24999 \cdot 5 + 0.75009 \cdot 20 = 13.75185^\circ\text{C} \\
 h_{(C)} &= 28.839 \text{ kJ/kg} \quad x = 5.946 \text{ (UR 0.611)}
 \end{aligned}$$

- 4) Si determinano le caratteristiche dell'aria d'immissione punto (E) tale per cui la sua entalpia risulti

$$h_{(E)} = h_{(B)} + \frac{F_{sen} - C_{lat}}{Q_{imm}} \text{ in kJ/kg ;}$$

$$\text{ad esempio: } 38.5447898 + \frac{25.680 - 2.47}{2.7777} = 46.901$$

e sia verificato il rapporto tra il punto E e quello B:

$$\frac{dh_{sen}}{dh_{tot}} \text{ pari a quello } \frac{F_{sen}}{F_{sen} - C_{lat}} \text{ nell'esempio } \frac{25.680}{25.680 - 2.47} = 1.1064196$$

Si procede poi per tentativi (p.to 3 dell'esempio A) per determinare la $tbs_{(E)}$ che rappresenta la temperatura di immissione.

Nel ns. esempio il punto E ricercato ha le seguenti caratteristiche:
 $x_{(E)} = 6.91$ e $tbs_{(E)} = 29.07$

- 5) Si determinano le altre caratteristiche del punto (D) finale del trattamento di riscaldamento (C-D) a umidità specifica costante ($x_{(D)} = x_{(C)}$).
Nell'esempio $x_{(D)} = x_{(C)} = 5.94 \text{ g/kg}$

Lo stato dell'aria rappresentato dal punto D dovrà giacere sulla retta passante dal punto (E) avente come rapporto caratteristico il valore dell'entalpia del vapor saturo aggiunto:

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \text{entalpia vapor d'acqua}$$

nell'esempio con vapor saturo 105°C $\frac{\Delta h_{(D-E)}}{\Delta x_{(D-E)}} = 2,683 \text{ KJ/gH}_2\text{O}$

Procedendo analiticamente il punto D avrà quindi la seguente entalpia:

$$h_{(D)} = h_{(E)} - [(x_{(E)} - x_{(C)}) \cdot 2,683] = 46,901 - [(6,91 - 5,946) \cdot 2,683] = 44.314 \text{ KJ/kg}$$

la tbs del punto (D) rappresenta la temperatura dell'aria prima dell'umidificazione con vapor saturo.

Nell'esempio con $h_{(D)} = 44.314$ e $x_{(D)} = 5.94$ la tbs_(D) risulta $28,95^\circ\text{C}$.

- 6) Si calcola infine:

- la potenza totale che scambia la batteria $Q_{tot} = (h_{(D)} - h_{(C)}) \cdot Q_{imm}$
Nell'esempio $Q_{tot} = (44.314 - 28.84) \cdot 2.7777 = 42,9 \text{ kw}$

- la portata di vapor d'acqua necessaria all'umidificazione : $q_x = 2.702 \text{ g/s}$

- Il numero di ricircoli $\frac{q_v}{Vol}$ nell'esempio pari a 5,44

Progetto: Esempio di calcolo elaborato con Psychro Ver. 2.0 -2002
CONDIZIONAMENTO INVERNALE TUTTARIA ESTERNA

Foglio n.001

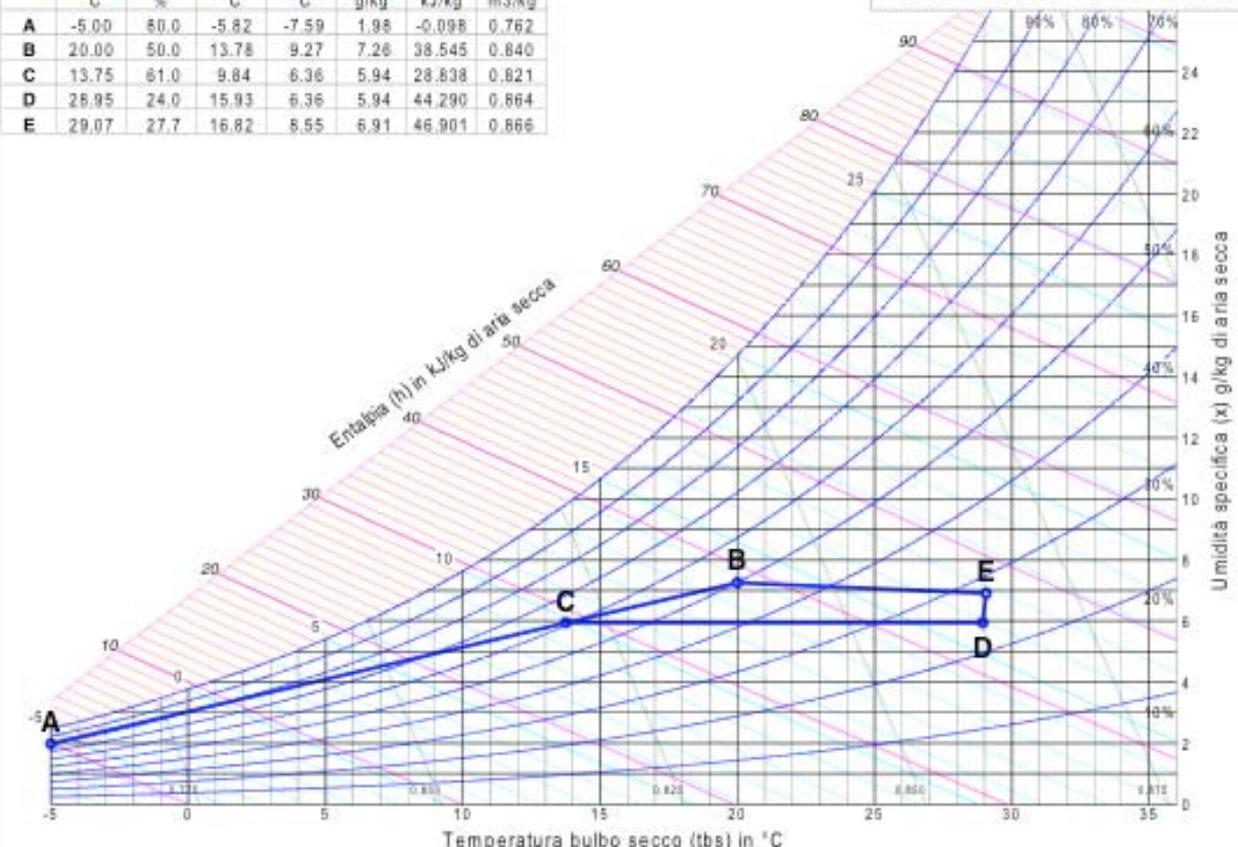
Miscela + riscaldamento e umidificazione con vapore

Condizioni interne:		Fabbisogno sensibile ambiente	$Q_{sens} = 25.680 \text{ kW}$
temperatura bulbo secco	$t_{bs\text{amb}} = 20.00 \text{ }^\circ\text{C}$	Carico latente ambiente	$Q_{lat} = 2.470 \text{ kW}$
umidità relativa	$UR_{\text{amb}} = 50.00 \%$	Fabbisogno totale ambiente	$Q_{tot} = 28.150 \text{ kW}$
Condizioni esterne:		Rapporto Sensibile/Totale	$Q_{sens}/Q_{tot} = 0.912$
temperatura bulbo secco	$t_{bs\text{est}} = -5.00 \text{ }^\circ\text{C}$	Portata d'aria di rinnovo	$q_{\text{rinn}} = 2040 \text{ m}^3/\text{h}$
umidità relativa	$UR_{\text{est}} = 80.00 \%$	(portata d'aria normale a $0.816 \text{ m}^3/\text{kg}$ - UNI10338)	$= 0.695 \text{ kg/s}$
Volume della zona condizionata	$Vol = 1500 \text{ m}^3$	Portata d'aria da immettere nella zona	$q_{\text{imm}} = 2.7777 \text{ kg/s}$
		Temperatura vapore per umidificazione	$t_{v\text{vap}} = 105.00 \text{ }^\circ\text{C}$

SEQUENZA DEI TRATTAMENTI			CONDIZIONAMENTO INVERNALE TUTTA ARIA									
n.	Trattamento	Tratto	qm	qv	dt	dx	dh	Qs	Qt	qx	S/T	dh/dx
			kg/s	m ³ /h	K	g/kg	kJ/kg	kW	kW	g/s		
1	Miscela	A	0.6945	1905								
		B	2.0832	6301								
2	Riscaldamento	C	2.7777	8205								
		D	2.7777	8640	15.20		15.452	42.921	42.921		1.000	
3	Umidificazione con vapore	D	2.7777	8640								
		E	2.7777	8657	0.12	0.97	2.610			2.702		
										n°. ricircoli	qv/vol = 5.440	

CONDIZIONI FISICHE DEI PUNTI							
pto	tbs	UR	tbu	t _{sa}	x	h	v
	°C	%	°C	°C	g/kg	kJ/kg	m ³ /kg
A	-5.00	80.0	-5.82	-7.59	1.98	-0.098	0.762
B	20.00	50.0	13.78	9.27	7.26	38.545	0.840
C	13.75	81.0	9.84	6.36	5.94	28.838	0.821
D	28.95	24.0	15.93	6.36	5.94	44.290	0.864
E	29.07	27.7	16.82	8.55	6.91	46.901	0.866

DIAGRAMMA PSICROMETRICO basato su ASHRAE
Temperatura normale - livello del mare
Pressione barometrica 101325 Pa - UNITA' SI -



File: ESEMP_E

3.6 CONDIZIONAMENTO INVERNALE TUTTA ARIA ESTERNA

PRERISCALDAMENTO + UMIDIFICAZIONE. ADIABATICA + POSTRISCALDAMENTO

Quando si tratta di condizionamento invernale a tutta aria esterna, la trasformazione prevede salti entalpici elevati che consigliamo di sdoppiare il processo di riscaldamento dell'aria su due batterie iterponendo il modulo di umidificazione.

Questa soluzione risolve anche i grossi problemi di regolazione della temperatura finale di immissione che risulterebbe (con l'unica batteria) assai influenzata dall'intervento ON/OFF dell'umidostato che controlla l'umidità relativa ambiente.

Il calcolo si sviluppa impostando, oltre ai dati derivati dalle stima dei carichi, il valore dell'umidificazione ad un livello prossimo alla saturazione (UR p.to D nell'esempio pari a 85%). Si determinano quindi i parametri dell'aria di immissione (punto E) che giace sulla retta dei carichi ambiente noto il suo valore di portata già valutato precedentemente in base alle esigenze estive e corrispondente, in questo trattamento, alla portata di rinnovo.

ESEMPIO contenuto nel programma

Esemp_F.psy

I dati noti sono:

Condizioni interne:		Volume	1500	m³
t _{bs}	20,0 °C	Fabbisogno sensibile	35,000	kW
UR	50,0 %	Carico latente amb.	2,470	kW
Condizioni esterne:		q rinnovo	7500,0	m³/h
t _{bs}	-5,0 °C	UR punto D	85,00	%
UR	80,0 %	t_{H2O}	15,0	°C

- | | | | |
|---|---|------------------------|-----|
| 1 | Condizioni interne: t _{bs_amb} e U _{r_amb} | 20°C | 50% |
| 2 | Condizioni esterne: t _{bs_ext} e U _{r_ext} | -5°C | 80% |
| 3 | Fabbisogno sensibile ambiente: F _{sen} in kW inteso come totale delle dispersioni dell'involucro della zona nette dagli eventuali apporti interni <u>quando sicuramente presenti</u> (calcolo conservativo). | 35.00 kW | |
| 4 | Carico latente ambiente C _{lat} in kW inteso come contributo all'umidificazione dell'aria ambiente (quando sicuramente presente). | 2.47 kW | |
| 5 | Volume della zona Vol in m ³ : | 1500 m ³ | |
| 6 | Portata d'aria di rinnovo Q _{rinn} in m ³ /h (a 0.816 m ³ /kg) | 7500 m ³ /h | |
| 7 | Valore % umidificazione (UR punto D) | | |
| 8 | Temperatura dell'acqua per l'umidificazione t _{H2O} | 15°C | |

Il dato 6 è, in genere, vincolato dalle esigenze del ciclo estivo (il ventilatore ed i canali sono gli stessi!); in questo caso c'è identità tra portata di rinnovo e portata di immissione.

PROCEDIMENTO ANALITICO DI CALCOLO UTILIZZATO DAL PROGRAMMA :

- 1) Si fissano sul diagramma psicrometrico i punti rappresentanti le condizioni d'aria esterna (A) ed interna (B)
- 2) Si calcola la portata massica di immissione
 $Q_{imm} = Q_{rin} / 0.816 \cdot 3600$; nell'esempio $Q_{imm} = 7500 / 0.816 \cdot 3600 = 2,5531 \text{ kg/s}$
- 3) Si determinano le caratteristiche dell'aria d'immissione punto (E) tale per cui la sua entalpia risulti

$$h_{(E)} = h_{(B)} + \frac{F_{sen} - C_{lat}}{Q_{imm}} \text{ in kJ/kg}$$

$$\text{ad esempio: } 38.545 + \frac{35 - 4.5}{2.5531} = 50.491 \text{ KJ/kg}$$

e sia verificato il rapporto caratteristico della retta dei carichi ambiente tra il punto E e quello B:

$$\frac{dh_{sen}}{dh_{tot}} \text{ pari a quello } \frac{F_{sen}}{F_{sen} - C_{lat}} \text{ nell'esempio } \frac{35}{35 - 4.5} = 1.1475$$

Si procede poi per tentativi per determinare la $t_{bs(E)}$ che rappresenta la temperatura di immissione.

Nel ns. esempio il punto E ricercato ha le seguenti caratteristiche:

$$x_{(E)} = 6.57 \text{ g/kg e } t_{bs(E)} = 33.46^\circ\text{C}$$

- 4°) Si determinano le altre caratteristiche del punto (D) iniziale del postriscaldamento e finale del trattamento di umidificazione.

Nell'esempio $x_{(D)} = x_{(E)} = 6.57 \text{ g/kg}$

noti $x_{(D)} = x_{(E)}$ e $UR_{(D)}$

$$h_{(D)} = 26.843$$

$$UR_{(D)} = 85\%$$

$$t_{bs(D)} = 10.22^\circ\text{C}$$

- 5°) Si procede, nota $X_{(C)} = X_{(A)}$ (nell'esempio $X_{(C)} = X_{(A)} = 1.98$) a calcolare l'entalpia dello stato dell'aria rappresentato dal punto C che avrà un valore pari a quello rappresentata dal punto (D) diminuita dell'entalpia dell'acqua utilizzata per la umidificazione. In effetti il punto (C) non si trova esattamente sulla isoentalpica rispetto al punto (D), ma sulla retta

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \text{entalpia acqua in KJ/g (rapporto nella isoentalpica è zero!)}$$

$$h_C = h_D - [(x_D - x_C) \cdot t_{H_2O} \cdot 4.187 \cdot 10^{-3}] \text{ dove } t_{H_2O} \text{ è la temperatura dell'acqua (15}^\circ\text{C)}$$

Nell'esempio h_D risulta:

$$h_C = 26,843 - [(6,57 - 1,98) \cdot 15 \cdot 4.187 \cdot 10^{-3}] = 26,55 \text{ KJ/kg}$$

La t_{bs} del punto (C) rappresenta la temperatura dell'aria prima dell'umidificazione adiabatica e dopo il preriscaldamento.

Nell'esempio con $h_{(C)} = 26,55$ e $x_{(C)} = 1,98$ la $t_{bs(C)}$ risulta $21,40^\circ\text{C}$

6) Si calcola infine:

- la potenza totale che scambia la batteria di preriscaldamento

$$Q_{\text{tote}} = (h_{(C)} - h_{(A)}) \cdot Q_{\text{imm}}$$

$$\text{nell'esempio } Q_{\text{tote}} = [26,554 - (-0.098)] \cdot 2.5531 = 68.045 \text{ kw}$$

- la portata d'acqua necessaria all'umidificazione nell'esempio $q_x = 11.727 \text{ g/s}$

- la potenza totale che scambia la batteria di postriscaldamento:

$$Q_{\text{tots}} = (h_{(E)} - h_{(D)}) \cdot Q_{\text{imm}} \quad ; \quad \text{nell'esempio } Q_{\text{tots}} = (50,491 - 26,843) \cdot 2,5531 = 60,376 \text{ kw}$$

- Il numero di ricircoli $\frac{q_v}{Vol}$ nell'esempio pari a 5

Progetto: Esempio di calcolo elaborato con Psychro Ver. 2.0 -2002
CONDIZIONAMENTO INVERNALE TUTTARIA ESTERNA

Foglio n.001

Pre-riscaldamento + umidificazione adiabatica + post-riscaldamento

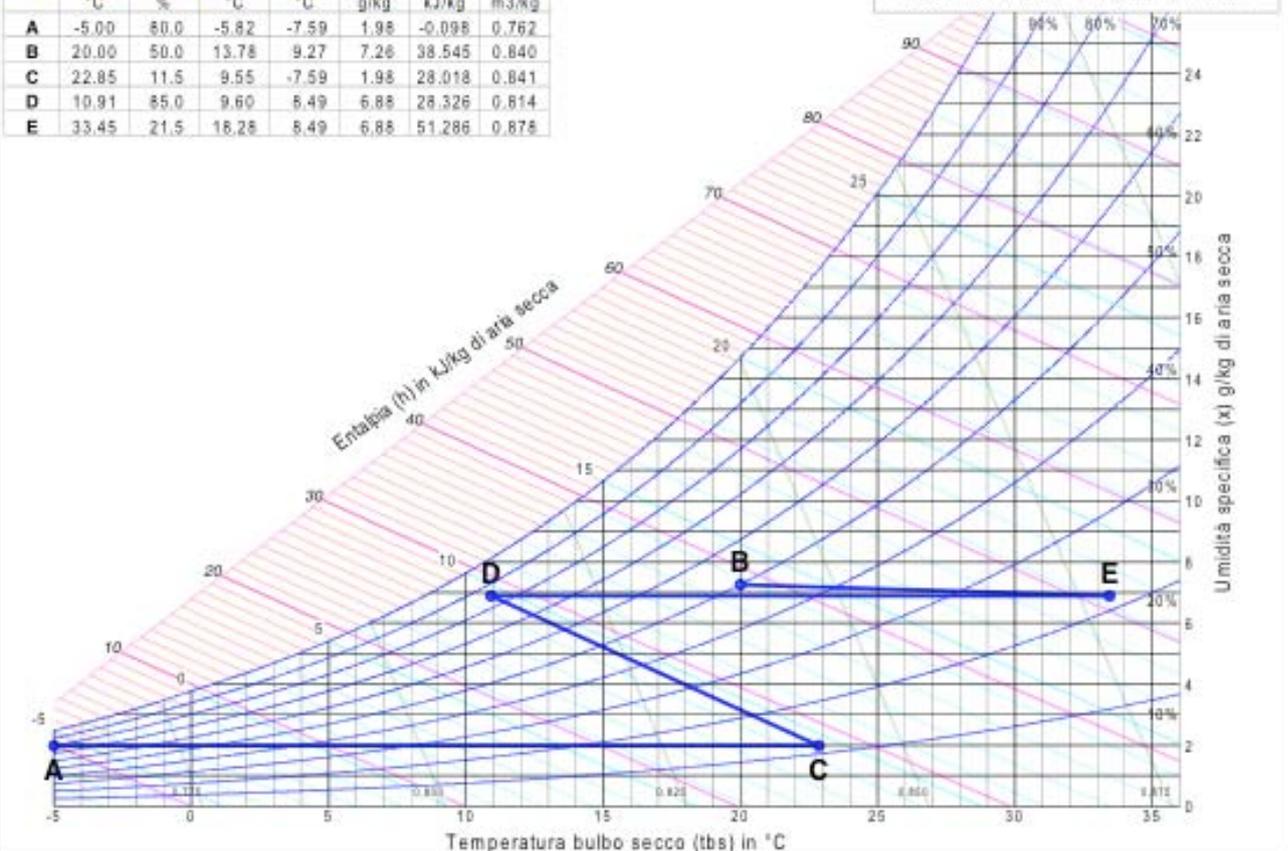
Condizioni interne:		Fabbisogno sensibile ambiente	$Q_{sens} = 35.000 \text{ kW}$
temperatura bulbo secco	$t_{bs_{amb}} = 20.00 \text{ }^\circ\text{C}$	Carico latente ambiente	$Q_{lat} = 2.470 \text{ kW}$
umidità relativa	$UR_{amb} = 50.00 \%$	Fabbisogno totale ambiente	$Q_{tot} = 37.470 \text{ kW}$
Condizioni esterne:		Rapporto Sensibile/Totale	$Q_{sens}/Q_{tot} = 0.934$
temperatura bulbo secco	$t_{bs_{ext}} = -5.00 \text{ }^\circ\text{C}$	Portata d'aria di rinnovo	$q_{rinn} = 7500 \text{ m}^3/\text{h}$
umidità relativa	$UR_{ext} = 80.00 \%$	(portata d'aria normale a $0.816 \text{ m}^3/\text{kg}$ - UNI10338)	$= 2.553 \text{ kg/s}$
Volume della zona condizionata	$Vol = 1500 \text{ m}^3$	Umidità relativa punto D	$UR_D = 85.00 \%$
		Temperatura acqua per umidificazione	$t_{H_2O} = 15.00 \text{ }^\circ\text{C}$

SEQUENZA DEI TRATTAMENTI			CONDIZIONAMENTO INVERNALE TUTTARIA ESTERNA									
n.	Trattamento	Tratto	qm	qv	dt	dx	dh	Qs	Qt	qx	S/T	dh/dx
			kg/s	m ³ /h	K	g/kg	kJ/kg	kW	kW	g/s		
1	Preriscaldamento	A	2.5531	7004								
		C	2.5531	7732	27.85		28.115	71.781	71.781		1.000	
2	umidificazione adiabatica	C	2.5531	7732								
		D	2.5531	7478	11.94	4.90	0.308			12.521		
3	Postriscaldamento	D	2.5531	7478								
		E	2.5531	8072	22.55		22.961	58.621	58.621		1.000	

n°. riciccoli qv/vol = 5.000

CONDIZIONI FISICHE DEI PUNTI								
pto	tbs	UR	tbu	t _{sa}	x	h	v	
	°C	%	°C	°C	g/kg	kJ/kg	m ³ /kg	
A	-5.00	80.0	-5.82	-7.59	1.98	-0.098	0.762	
B	20.00	50.0	13.78	9.27	7.26	38.545	0.840	
C	22.85	11.5	9.55	-7.59	1.98	28.018	0.841	
D	10.91	85.0	9.60	8.49	6.88	28.326	0.814	
E	33.45	21.5	18.28	8.49	6.88	51.286	0.878	

DIAGRAMMA PSICROMETRICO basato su ASHRAE
Temperatura normale - livello del mare
Pressione barometrica 101325 Pa - UNITA' SI -



File: ESEMP_F

4. COSTRUZIONE DI UN TRATTAMENTO COMBINATO

Il programma consente la costruzione di una sequenza combinata di trattamenti personalizzata direttamente dall'utente unendo fra loro le trasformazioni elementari presenti nella prima parte del Menù *Trattamenti*.

Proponiamo di seguito un esempio di sequenza di due trattamenti elementari per ottenere la trasformazione :

Miscela - Raffreddamento con deumidificazione

- 1) Selezionare dal Menù Trattamenti l'opzione *Miscela*, impostare i dati richiesti:

Esempio: Punto 1 tbs = 32°C ; U.R. = 50%

Punto 2 tbs = 25°C ; U.R. = 50%

Etichetta punto 2 "sotto"

Portata d'aria di rinnovo : port1 - 2040 m³/h

Portata totale di miscela : 8157 m³/h



Portata:	m3/h	port1	totale
1	2040,0	25,0	
2	6117,0	75,0	
3 Miscela	8157,0		

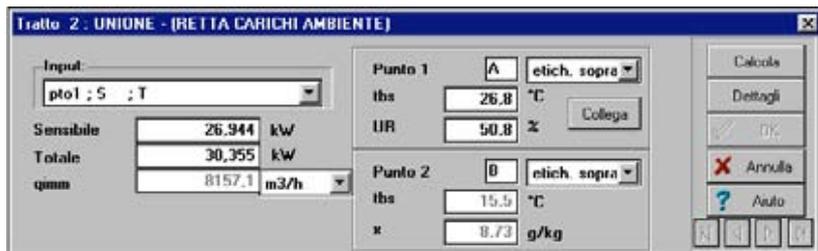
Calcola

Procedere premendo il pulsante

Avvertenza:

- Notare che il valore di portata d'aria *qimm* nei tratti della sequenza successivi alla prima trasformazione, resta memorizzato essendo risultato dei trattamenti precedenti.
- Si sottolinea che **Etichetta** (lettera dell'alfabeto) indica la denominazione del punto sul diagramma ; per evitare che le etichette si sovrappongano con le rette rappresentative dei trattamenti è possibile muovere la lettera sopra o sotto, il suddetto punto.

- 2) Selezionare per salvare la trasformazione di miscela il pulsante  il programma mantiene in visualizzazione grafica la retta tracciata sul diagramma in uso e propone un sottomenù da cui per continuare la sequenza si sceglie l'opzione **Unione**.
- 3) Nella nuova finestra di dialogo selezionare come dati di input la stringa *Punto 1 + S + T*



Sensibile	26.944 kW
Totale	30.355 kW
qimm	8157,1 m3/h

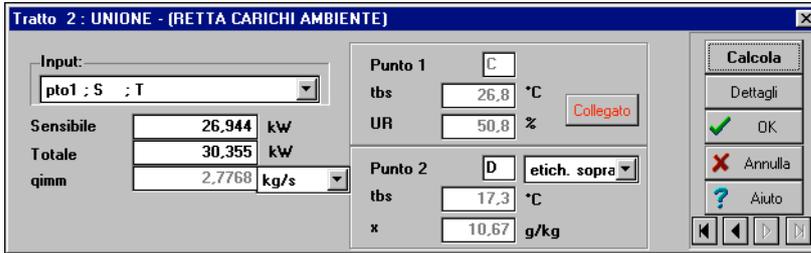
Punto	tbs	UR
Punto 1	26,8 °C	50,8 %
Punto 2	15,5 °C	

ed inserire i valori (...precalcolati con l'uso del software STIMA10 TFM o dall'utente)

Calore sensibile ambiente (S) = 26.944 kW

Calore Totale ambiente (T) = 30.355 kW

- 4) Premere il pulsante **Collega** nel riquadro relativo al punto 1 e selezionare nella nuova finestra la cella **C**



Assegnare l'etichetta (D) al punto da determinare (p.to 2), e impostare etichetta "sotto".
Confermare con il pulsante **OK**

- 5) Premere **Calcola** e confermare con **OK**

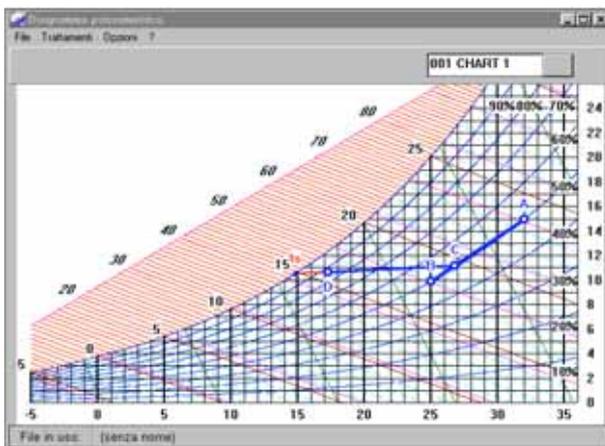
6) Nel nuovo sottomenù selezionare l'opzione : *Raffreddamento con deumidificazione*

7) Nella finestra di dialogo selezionare come dati di input la stringa : *Punto 1 + Punto 2*



e unire mediante il pulsante **Collega** i punti 1 con la cella **C** e il punto 2 con (la cella **D**

- 8) Selezionando il pulsante sul diagramma in uso verrà tracciata la retta C-D;



permette la lettura di tutte le grandezze relative ai punti A-B-C-D

- 9) Concludere la procedura premendo **OK** e selezionare l'opzione *Fine trattamento*. La trasformazione *Miscela - Raffreddamento con deumidificazione* così ottenuta è pronta per la stampa.



Watts Industries Italia S.r.l.

Via Brenno, 21 - 20046 Biassono (MI), Italia

Tel +39 039 49.86.236 - Fax +39 039 49.86.306

e-mail: idronicaline@wattsindustries.it

www.idronicaline.net - www.wattsindustries.com