

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI



FACOLTÁ DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA



Laurea in Architettura

DICAAR

IMPIANTI PER LA SOSTENIBILITA' ENERGETICA DEGLI EDIFICI

A.A. 2018-2019

Le condizioni ambientali di comfort adattativo

Docente: GIORGIO POPOLANO- ROBERTO RICCIU

Roberto Ricciu: Corso di impianti per la
sostenibilità energetica degli edifici

PROPRIETÀ TERMODINAMICHE DEI GAS PERFETTI

I gas perfetti (o ideali) soddisfano le leggi di Boyle e di Dalton.

**Legge di Boyle $p v = \text{cost.}$
a $T = \text{cost.}$**

Equazione di stato dei gas perfetti

$$p v = R T$$

R = costante del gas in esame (J/kg K)

p = pressione cui si trova il sistema termodinamico (Pa)

v = volume specifico del sistema termodinamico (m³/kg)

T = temperatura termodinamica cui si trova il sistema termodinamico (K)

L'Equazione di Stato dei gas perfetti sostituendo al volume specifico il volume totale $V = m v$ diviene: $p V = m R T$

COMPOSIZIONE DELL'ARIA

L'aria è composta da una miscela di vari componenti, allo stato sia di gas che di vapore. I componenti gassosi sono costituiti essenzialmente da azoto (78% del volume) e ossigeno (21% del volume), ai quali si aggiungono percentuali minori di altri gas. Tra i vapori il componente preponderante è il vapore d'acqua.

Tabella 1. Composizione dell'aria atmosferica.

Costituente	% Peso	% Volume	Peso molecolare
Ossigeno O ₂	23.188	20.99	32
Azoto N ₂	75.468	78.03	28
Argon Ar	1.296	0.94	40
Anidride Carbonica CO ₂	0.046	0.03	44
Idrogeno H ₂	0.001	0.01	2
Altri gas (tracce)	0.001	-	-
Aria atmosferica	100.00	100.00	29

TERMODINAMICA DELL'ARIA (UMIDA)

La sensazione di benessere che un individuo avverte all'interno di un ambiente confinato è legata all'ottenimento di un campo di valori per alcuni determinati parametri ambientali fra cui particolarmente rilevanti sono :

- temperatura
- umidità relativa ambiente

L'aria umida è una miscela di due gas perfetti: un aeriforme, l'aria secca e il vapor d'acqua, il cui contenuto varia in funzione delle condizioni ambientali. Per caratterizzare lo stato dell'aria umida si considerano varie grandezze tra cui:

- titolo
- grado idrometrico
- entalpia.

TERMODINAMICA DELL'ARIA (UMIDA)

Per sapere in che proporzione il vapor d'acqua è contenuto nella massa dell'aria secca si fa riferimento al titolo della miscela (o umidità assoluta) indicato generalmente con x :
TITOLO $x =$ (massa di vapore / massa di aria secca)

$$x = m_v / m_a$$

$$x = 0,622 (\varphi p_s) / (p - \varphi p_s)$$

dove: 0,622 è il rapporto fra le costanti dell'aria secca R_a ($R_a = 287 \text{ J/kgK}$) e del vapore R_v ($R_v = 462 \text{ J/kgK}$) □

φ è il grado igrometrico della miscela ($0 \leq \varphi \leq 1$)

p_s è la pressione di saturazione corrispondente alla temperatura della miscela

TERMODINAMICA DELL'ARIA (UMIDA)

La massa totale m della miscela sarà: $m = m_v + m_a$

Il titolo della miscela non viene però utilizzato per esprimere le condizioni di benessere di un ambiente, che vengono invece riferite all'umidità relativa (UR) o grado igrometrico ϕ definito dal rapporto:

$$UR = \phi = m_v / m_s \quad \text{dove :}$$

m_v = massa di vapor d'acqua

m_s = massa del vapor d'acqua che satura il volume alle stesse condizioni di pressione e temperatura

Applicando alla definizione di grado igrometrico l'equazione di stato dei gas perfetti si può anche scrivere:

$$\phi = m_v / m_s = (\text{circa}) p_v / p_s \quad \text{da cui}$$

$$p_v = p_s \phi$$

TERMODINAMICA DELL'ARIA (UMIDA)

Nel caso di una miscela ideale di aria e vapor d'acqua l'entalpia specifica è data dalla somma delle entalpie parziali di aria secca e vapor d'acqua. L'entalpia di 1 kg di aria secca alla temperatura t (ha) è pari al calore necessario per portare 1 kg di aria secca da 0°C a $t^\circ \text{C}$:

$$h_a = C_{pa} * t$$

$C_{pa} = 1,005 \text{ kJ/kg K}$ è il calore specifico a pressione costante dell'aria secca.

L'entalpia del vapore sarà la somma del calore necessario a vaporizzare una certa quantità di acqua alla temperatura di 0°C e del calore necessario a portare tale vapore alla temperatura t :

$$h_v = x r + x * C_{pv} * t$$

$C_{pv} = 1,875 \text{ kJ/kg K}$ è il calore specifico a pressione costante del vapor d'acqua

$r = 2501 \text{ kJ/kg}$ è il calore latente di vaporizzazione dell'acqua a 0°C .

TERMODINAMICA DELL'ARIA (UMIDA)

In definitiva l'entalpia della miscela h è espressa dalla seguente relazione:

$$h = h_a + h_v = C_{pa} t + x (C_{pv} t + r) \quad (\text{kJ/kg a})$$

Nel Sistema Internazionale di unità di misura si può scrivere con sufficiente approssimazione:

$$h = 1 t + x (1,9 t + 2500) \quad (\text{kJ/kg a})$$

TERMODINAMICA DELL'ARIA (UMIDA)

Ulteriori parametri molto importanti nella psicrometria sono:

1) la temperatura di rugiada: per l'aria umida in un determinato stato fisico è definita come la temperatura alla quale si raggiunge la condizione di saturazione attraverso un processo di raffreddamento isobaro a titolo costante

2) la temperatura di bulbo bagnato (o bulbo umido):

definita come la temperatura cui si porta l'acqua in condizioni di equilibrio di scambio di calore convettivo e di massa con aria in moto fortemente turbolento.

Si misura con un termometro (schermato da ogni effetto radiante) il cui elemento sensibile è mantenuto bagnato da acqua (come avviene nello psicrometro).

TERMODINAMICA DELL'ARIA (UMIDA)

Le trasformazioni dell'aria umida sono processi termodinamici .

I processi più comuni sono:

- 1. miscelazione adiabatica di più correnti di aria umida**
- 2. riscaldamento e raffreddamento sensibile (a titolo costante)**
- 3. umidificazione adiabatica**
- 4. raffreddamento con deumidificazione**

Allo studio delle trasformazioni psicrometriche si applicano:

- Principio di conservazione della materia

$$\mathbf{m_a ENTR. = m_a USC.}$$

$$\mathbf{m_v ENTR. = m_v USC.}$$

- Principio di conservazione dell'energia:

$$\mathbf{Q = hM USC - hM ENTR}$$

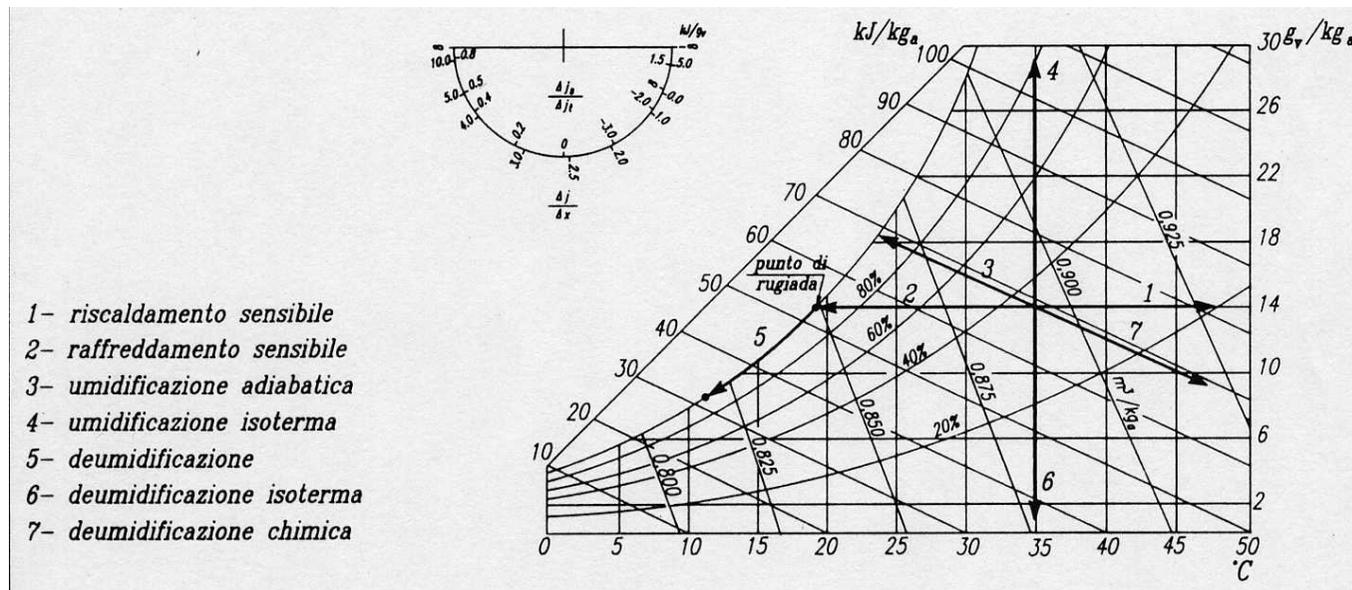
Q è la quantità di calore scambiata nella trasformazione mentre $hM = h_a + h_v$ è l'entalpia totale della miscela (h_a aria secca + h_v vapore).

Di seguito vedremo tre situazioni standard da conoscere:

- 1. a) Miscelazione adiabatica di più correnti di aria umida**
- 2. b) riscaldamento/raffreddamento sensibile**
- 3. c) umidificazione adiabatica**

TERMODINAMICA DELL'ARIA (UMIDA)

Diagramma psicrometrico



Miscelazione adiabatica di più correnti di aria umida

Supponiamo di avere due portate d'aria (identificate con le lettere A e B) che si miscelano all'interno di una Unità di Trattamento Aria (UTA) di un sistema di climatizzazione;

a) Il processo è considerato adiabatico perché non vi è scambio di calore fra l'apparecchiatura nella quale avviene il processo e l'esterno.

b) Due miscele di aria umida (identificate dalla lettere A e B) hanno determinate caratteristiche fisiche, quali per esempio:

- **portata d'aria in massa (kg/s) o in volume (m³ /s)**
- **temperatura (° C)**
- **grado igrometrico (%)**

Analiticamente o tramite il diagramma psicrometrico per lettura diretta si possono ottenere gli altri parametri, quali:

- **volume specifico della miscela (m³ /kg) titolo della miscela (gv/kga)**
- **entalpia specifica della miscela (kJ/kga)**

Il punto di miscela (C) fra i due stati fisici si trova sulla retta che unisce A e B, denominata retta di lavoro, e si troverà più vicino al punto corrispondente alla portata maggiore. Il punto di miscela C dovrà rispettare le equazioni :

- **del principio di conservazione della massa di aria secca,**
- **del principio di conservazione della massa di vapore e**
- **del principio di conservazione dell'energia**

Riscaldamento / raffreddamento sensibile

Questo processo avviene facendo passare la miscela da una batteria di scambio termico collegata con un generatore di calore o un gruppo frigorifero.

In questo modo si aumenta o diminuisce la temperatura della miscela senza variarne il contenuto di umidità assoluta.

Un processo durante il quale il titolo si mantiene costante è appunto indicato come riscaldamento o raffreddamento “sensibile”.

Il flusso termico scambiato si calcola con la relazione:

$$Q_{12} = M (h_2 - h_1)$$

$$Q_{12} = M (C_{pa} + x c_{pv}) (t_2 - t_1)$$

Dove i pedici rappresentano rispettivamente:

-pedice “1”: condizioni di inizio del processo

-pedice “2”: condizioni di fine del processo

Nei calcoli tecnici si introducono alcune semplificazioni: si può considerare trascurabile il prodotto ($x c_{pv}$) e quindi la relazione per il calcolo di Q_{12} diventa:

$$Q_{12} = M C_{pa} (t_2 - t_1) \text{ (W)}$$

dove c_{pa} è il calore specifico a pressione costante dell'aria secca pari a 1 kJ/kgK.

Umidificazione adiabatica

L'umidificazione di una miscela avviene facendo passare la corrente d'aria attraverso una apparecchiatura entro la quale una serie di ugelli nebulizzano acqua o iniettano vapore sulla miscela.

E' buona regola utilizzare questo secondo trattamento in ambienti quali ospedali, scuole e tutti gli edifici dove è fondamentale evitare la contaminazione microbica dell'ambiente ad opera dei microrganismi presenti nell'acqua.

Il processo è dunque interpretabile come un miscelamento di tipo adiabatico fra la corrente d'aria e il vapor d'acqua iniettato.

Il punto identificativo dello stato finale del processo di umidificazione si trova su una retta passante per il punto rappresentativo delle condizioni iniziali 1 e di inclinazione determinata dal valore dell'entalpia specifica del vapore iniettato o dell'acqua nebulizzata (h_v). I valori di h_v del vapore si leggono da tabelle termodinamiche del vapor d'acqua in corrispondenza della temperatura.

Se l'umidificazione è effettuata utilizzando acqua nebulizzata, il valore dell'entalpia del liquido saturo è molto bassa per cui tale processo si considera pressoché ad entalpia costante: $h_1 = h_2$; ciò è dimostrato dal fatto che l'entalpia dell'acqua alla pressione atmosferica nell'intervallo $0^\circ \text{ C} - 100^\circ \text{ C}$ varia da 0 kJ/g a $0,419 \text{ kJ/g}$, per cui nelle applicazioni tecniche la trasformazione può essere ritenuta isoentalpica. Nel caso di umidificazione adiabatica deve essere introdotta l'efficienza di umidificazione ε che risulta essere compresa fra zero ed uno. Il valore massimo dell'efficienza di umidificazione è pari a circa l'85%.

TERMODINAMICA DELL'ARIA (UMIDA)

FINE