

Corso di

IMPIANTI TECNICI per l'EDILIZIA

**Impianti di climatizzazione
Criteri di Dimensionamento**



Prof. Paolo ZAZZINI
Dipartimento INGEO
Università "G. D'Annunzio" Pescara
www.lft.unich.it

Climatizzare un ambiente significa **mantenere le condizioni di B. T. I.** con continuità nel tempo, **garantendo** contemporaneamente una **adeguata qualità dell'aria**

In **regime estivo** l'aria immessa in ambiente attraverso l'impianto di climatizzazione deve essere in grado di **asportare con continuità il carico termico sensibile e/o sottrarre il vapore in eccesso** mediante **asportazione del calore latente**;

In **regime invernale** l'aria immessa in ambiente deve **fornire con continuità il calore** corrispondente al **fabbisogno termico dell'edificio** ed **asportare il vapore in eccesso** prodotto all'interno dell'ambiente

Fasi della **progettazione**:

- Stima dei **carichi termici** estivi e delle **dispersioni termiche** invernali;
- Calcolo della **portata d'aria** totale che occorre immettere in ambiente \dot{M}_a ;
- Determinazione delle **condizioni di introduzione** (t_i ed x_i):

*valori dei parametri termodinamici dell'aria immessa che assicurano la **creazione in ambiente di condizioni di comfort** dopo opportuna **miscelazione con l'aria presente nell'ambiente stesso**;*

- Dimensionamento dei **componenti** dell'impianto in grado di **realizzare le condizioni di introduzione** per la **portata d'aria** calcolata e di **distribuirla ai vari ambienti**.

Per un **impianto a tutt'aria** sarà necessario progettare l'Unità di Trattamento Aria (**UTA**) e le **centrali termica e frigorifera**, oltre che i **canali di distribuzione** dell'aria e i **terminali di immissione** in ambiente (bocchette)

Per un **impianto misto aria acqua**, ai componenti già elencati vanno aggiunti la **rete di distribuzione dell'acqua** con i relativi **terminali di immissione** (ventilconvettori o mobiletti ad induzione)

La **portata d'aria di progetto** viene trattata nell'Unità di Trattamento Aria (**UTA**) prima di essere trasportata attraverso i canali di distribuzione e immessa in ambiente.

E' conveniente effettuare un **ricircolo** dell'aria ambiente in modo da garantire un certo **risparmio energetico**.

Questo è possibile solo se la **portata calcolata** è **maggiore** di quella che **garantisce la necessaria purezza** dell'aria (portata d'aria primaria).

Negli **impianti misti aria-acqua** di solito **non si effettua il ricircolo** poiché la portata di progetto corrisponde alla **più grande** tra quelle necessarie per il **controllo della purezza** dell'aria e per la **gestione del carico latente** e di solito la **prima è maggiore della seconda**.

Se indichiamo con:

- \dot{V} : portata d'aria calcolata (m³/h)
- \dot{V}_p : portata d'aria primaria (m³/h)
- \dot{V}_r : portata d'aria secondaria (m³/h)

La **portata d'aria di ricircolo** (m³/h) si calcola come segue:

$$\dot{V}_r = \dot{V} - \dot{V}_p$$

Impianti a tutt'aria

Carico totale da gestire: $Q_T = \dot{M}_a \cdot (h_I - h_a) \quad [W]$

dove: \dot{M}_a : portata in massa d'aria $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$

h_I : entalpia specifica dell'aria in condizioni di introduzione $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

h_a : entalpia specifica dell'aria in condizioni ambiente di progetto $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

Ricordando la formula che esprime l'entalpia specifica in funzione della temperatura e dell'umidità specifica dell'aria:

$$h = c_{pa} \cdot t + x \cdot (c_{pv} \cdot t + r)$$

in cui: c_{pa} : calore specifico dell'aria secca $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$

c_{pv} : calore specifico del vapore $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$

r : calore latente di vaporizzazione dell'acqua $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

si ha:

$$\begin{aligned}h_I - h_a &= c_{pa} \cdot t_I + x_I \cdot (c_{pv} \cdot t_I + r) - [c_{pa} \cdot t_a + x_a \cdot (c_{pv} \cdot t_a + r)] = \\ &= (c_{pa} + x_I \cdot c_{pv}) \cdot t_I - (c_{pa} + x_a \cdot c_{pv}) \cdot t_a + r \cdot (x_I - x_a)\end{aligned}$$

Ponendo:

$$c_p = c_{pa} + x \cdot c_{pv} \qquad c_p = 1 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

si ottiene:

$$h_I - h_a = c_p \cdot (t_I - t_a) + r \cdot (x_I - x_a) = q_S + q_L$$

da cui:

$$\dot{Q}_T = \dot{M}_a \cdot (h_I - h_a) = \dot{M}_a \cdot c_p \cdot (t_I - t_a) + \dot{M}_a \cdot r \cdot (x_I - x_a) = \dot{Q}_S + \dot{Q}_L$$

Il carico totale è dunque costituito da una **componente sensibile** ed una **latente**

Condizioni di introduzione

Trattamento estivo

In regime estivo le **condizioni di benessere** impongono una temperatura dell'aria ambiente pari a **$26 \pm 1^\circ\text{C}$** ed una umidità relativa pari a **$50 \pm 10 \%$** .

La **temperatura di introduzione** viene scelta di solito pari a **$10-12^\circ\text{C}$ inferiore** a quella di benessere (**$14-16^\circ\text{C}$**).

Temperature più basse possono creare condizioni di discomfort

Trattamento invernale

In regime invernale le **condizioni di benessere** impongono una temperatura dell'aria ambiente pari a **$20 \pm 1^\circ\text{C}$** ed una umidità relativa pari a **$50 \pm 10 \%$** .

La temperatura di introduzione viene scelta di solito pari a **$15-25^\circ\text{C}$ superiore** a quella di benessere (**$35-45^\circ\text{C}$**).

Tenendo conto di queste indicazioni **si fissano** le temperature di progetto (**t_a**) e di introduzione (**t_i**) per i due regimi stagionali.

Calcolo della PORTATA

Fissate le temperature di introduzione, si calcola la **portata da trattare**:

$$\text{Regime invernale: } \dot{Q}_S = \dot{M}_a \cdot c_p \cdot (t_I - t_a)$$

$$\text{Regime estivo: } \dot{Q}_S = \dot{M}_a \cdot c_p \cdot (t_a - t_I)$$

dove:

\dot{Q}_S : carico termico sensibile [W]

\dot{M}_a : portata d'aria $\left[\frac{kg}{s} \right]$

c_p : calore specifico dell'aria $\left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$

t_a : temperatura di benessere dell'aria [$^{\circ}C$]

t_I : temperatura di introduzione [$^{\circ}C$]

$$\dot{M}_a \Big|_{est} = \frac{\dot{Q}_S}{c_p \cdot (t_a - t_I)}$$

$$\dot{M}_a \Big|_{inv} = \frac{\dot{Q}_S}{c_p \cdot (t_I - t_a)}$$

Poiché l'impianto dovrà operare **sia in regime estivo che invernale**, si sceglierà la **più grande tra le due portate** e con tale valore si ricalcolerà la **temperatura di introduzione** relativa al **valore di portata più piccolo**

Esempio:

$$\dot{M}_a|_{est} > \dot{M}|_{inv} \Rightarrow \dot{M}_a|_{est} = \dot{M}_a$$

Si sceglie la portata estiva.

La temperatura di introduzione estiva resta invariata, mentre quella invernale viene ricalcolata

$$t_{I,inv} = t_a + \frac{\dot{Q}_s}{\dot{M}_a \cdot c_p}$$

A questo punto deve essere calcolato il valore dell'**umidità specifica di introduzione**.

A questo proposito è necessario conoscere il valore del **carico latente** in **regime estivo** ed in **regime invernale**, che è legato alla **massa di vapore introdotta o prodotta** all'interno dell'ambiente.

$$\dot{Q}_L = \dot{M}_v \cdot r$$

dove:

r : calore latente di vaporizzazione dell'acqua = $2416 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

\dot{M}_v : portata di vapore $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$

Se è noto il carico latente si ottiene la portata di vapore da smaltire dividendolo per il calore latente di vaporizzazione.

L'umidità specifica di introduzione si determina con la relazione:

$$\dot{M}_v = \dot{M}_a \cdot (x_a - x_l) \Rightarrow x_l = x_a - \frac{\dot{M}_v}{\dot{M}_a}$$

L'umidità specifica di **introduzione** risulta **minore** di quella **ambiente** (produzione in eccesso da smaltire).

Produzione di vapore in ambiente in funzione dell'attività svolta

	$\frac{kg}{s} \cdot 10^{-6}$
Persona a riposo	14
Persona durante una attività leggera (intellettuale)	28
Persona durante lavoro leggero (fisico)	56
Persona durante lavoro fisico pesante o attività sportiva	112
Cottura di cibi (pentola senza coperchio)	250
Cottura di cibi (pentola con coperchio)	97
Doccia calda	555
Asciugatura di panni (5 kg circa)	55
Cibi caldi in tavola per porzione	4

Retta di CARICO o retta di INTRODUZIONE

Il **punto di introduzione** determinato **non è unico**.

Variando la portata, variano le coordinate del punto di introduzione

Retta di carico (o *retta ambiente* o *retta di introduzione*):

Luogo geometrico dei punti di introduzione.

Tutti i punti della retta di carico possono costituire potenzialmente dei **punti di introduzione** perché soddisfano il rapporto esistente tra il carico sensibile e quello latente

$$\text{Carico termico sensibile: } \dot{Q}_S = \dot{M}_a \cdot c_p \cdot (t_I - t_a)$$

$$\text{Portata di vapore: } \dot{M}_v = \dot{M}_a \cdot (x_I - x_a)$$

$$\text{Carico termico latente: } \dot{Q}_L = \dot{M}_v \cdot r = \dot{M}_a \cdot (x_I - x_a) \cdot r$$

Noti i carichi sensibile e latente si può determinare il **carico termico totale**:

$$\text{Carico termico totale: } \dot{Q}_T = \dot{Q}_S + \dot{Q}_L = \dot{M}_a \cdot c_p \cdot (t_I - t_a) + \dot{M}_a \cdot r \cdot (x_I - x_a) = \dot{M}_a \cdot (h_I - h_a)$$

Dalle equazioni scritte si può costruire il sistema seguente:

$$\begin{cases} \dot{Q}_T = \dot{M}_a \cdot (h_I - h_a) \\ \dot{M}_v = \dot{M}_a \cdot (x_I - x_a) \end{cases}$$

Dividendo membro a membro si ottiene: $\frac{(h_I - h_a)}{(x_I - x_a)} = \frac{\dot{Q}_T}{\dot{M}_v} \Rightarrow (h_I - h_a) = \frac{\dot{Q}_T}{\dot{M}_v} \cdot (x_I - x_a)$

Quella scritta è **l'equazione della retta passante per i punti di introduzione I ed ambiente A**, in cui il termine $\frac{\dot{Q}_T}{\dot{M}_v}$ rappresenta il coefficiente angolare

Indicando con **x ed h** le **coordinate di un punto appartenente alla retta A**, si ha:

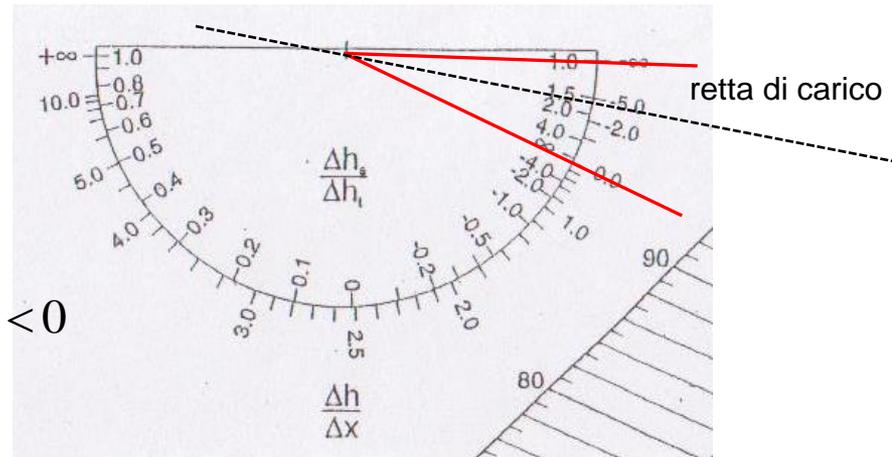
$$\frac{(h - h_a)}{(h_I - h_a)} = \frac{(x - x_a)}{(x_I - x_a)} \Rightarrow (h - h_a) = \frac{(h_I - h_a)}{(x_I - x_a)} \cdot (x - x_a) \qquad \frac{\dot{Q}_T}{\dot{M}_v} = \frac{(h_I - h_a)}{(x_I - x_a)} = \frac{\Delta h}{\Delta x}$$

Variando portata si ottiene di volta in volta un **diverso punto di introduzione**. Qualunque siano le sue coordinate **esso apparterrà comunque alla retta di introduzione**

1° caso: REGIME INVERNALE con PRODUZIONE INTERNA di vapore da smaltire

Carico sensibile (<0) prevalente
rispetto a quello latente (>0)

$$\text{Carico termico totale: } \dot{Q}_T < 0 \Rightarrow \frac{\dot{Q}_T}{\dot{M}_v} = \frac{\Delta h}{\Delta x} < 0$$



In questo caso il rapporto tra il carico sensibile e quello totale è maggiore di uno.

$$\Delta h_S < 0$$

$$\Delta h_L > 0$$

$$|\Delta h_S| > |\Delta h_L|$$

$$\Delta h_T = \Delta h_S + \Delta h_L < 0$$

$$|\Delta h_S| > |\Delta h_T| \Rightarrow \frac{\Delta h_S}{\Delta h_T} > 1$$

La retta di carico si trova nel settore delimitato dalle due rette rosse.

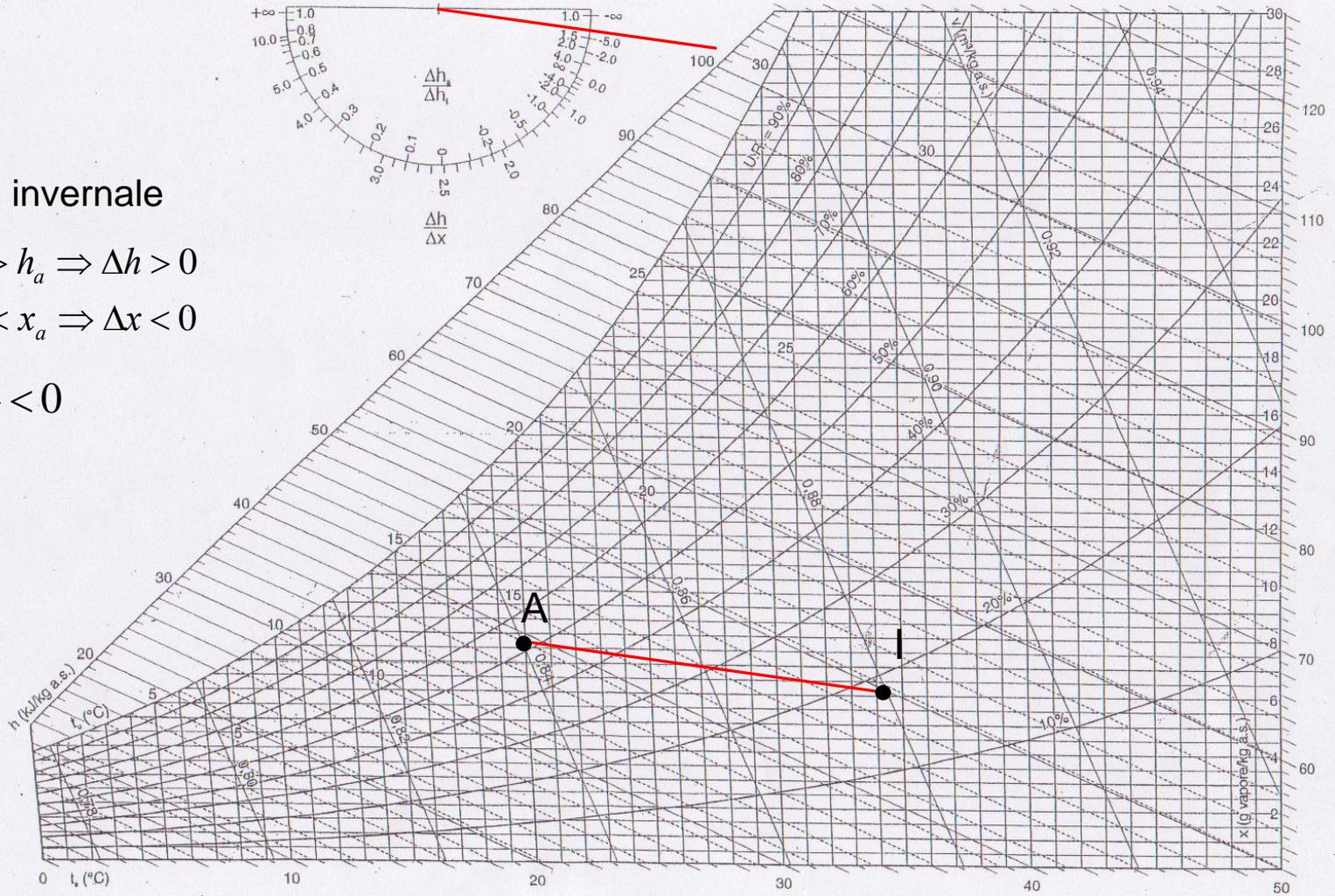
DIAGRAMMA PSICROMETRICO
(P = 101,325 kPa)

Regime invernale

$$h_I > h_a \Rightarrow \Delta h > 0$$

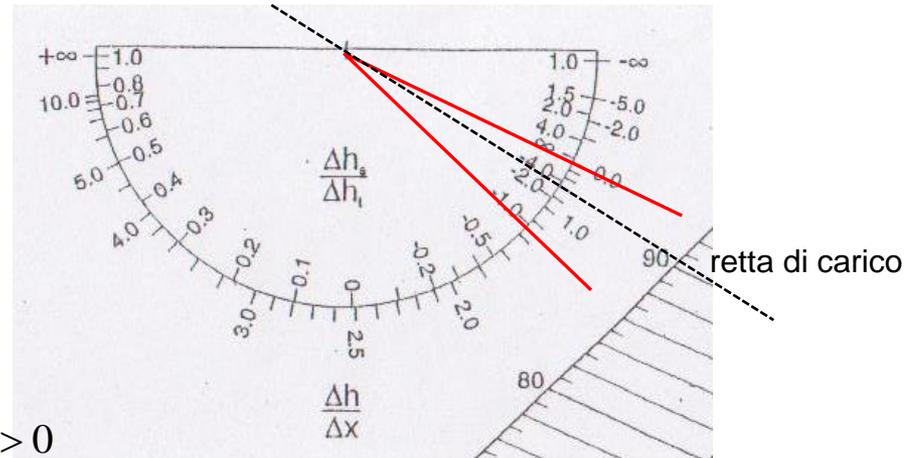
$$x_I < x_a \Rightarrow \Delta x < 0$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} < 0$$



2° caso: REGIME INVERNALE con PRODUZIONE INTERNA di vapore da smaltire

Carico latente (>0) prevalente
rispetto a quello sensibile (<0)



$$\text{Carico termico totale: } \dot{Q}_T > 0 \Rightarrow \frac{\dot{Q}_T}{\dot{M}_v} = \frac{\Delta h}{\Delta x} > 0$$

$$\Delta h_S < 0$$

$$\Delta h_L > 0$$

$$|\Delta h_S| < |\Delta h_L|$$

$$\Delta h_T = \Delta h_S + \Delta h_L > 0$$

$$|\Delta h_S| > |\Delta h_T| \Rightarrow \frac{\Delta h_S}{\Delta h_T} < -1$$

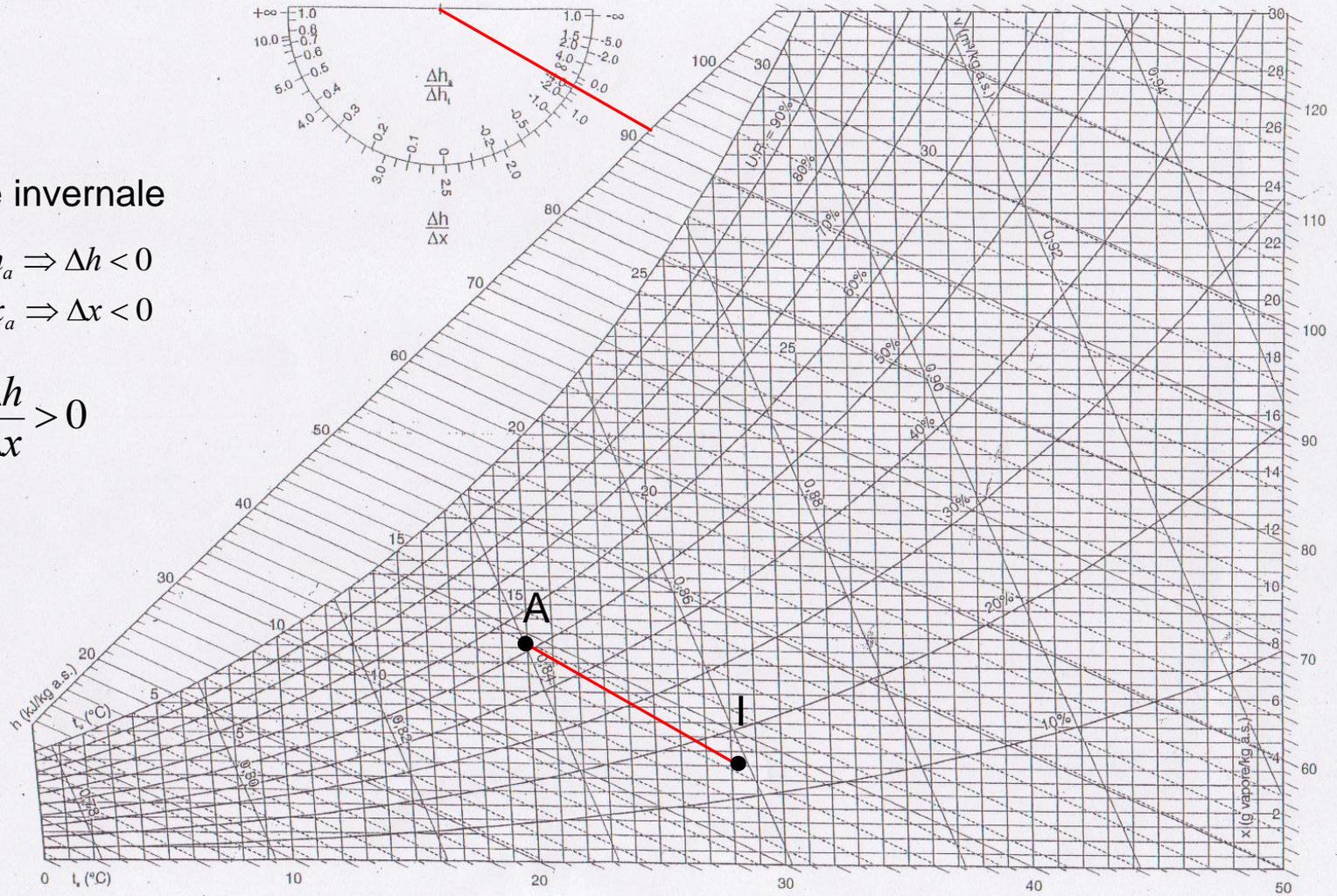
DIAGRAMMA PSICROMETRICO
(P = 101,325 kPa)

Regime invernale

$$h_I < h_a \Rightarrow \Delta h < 0$$

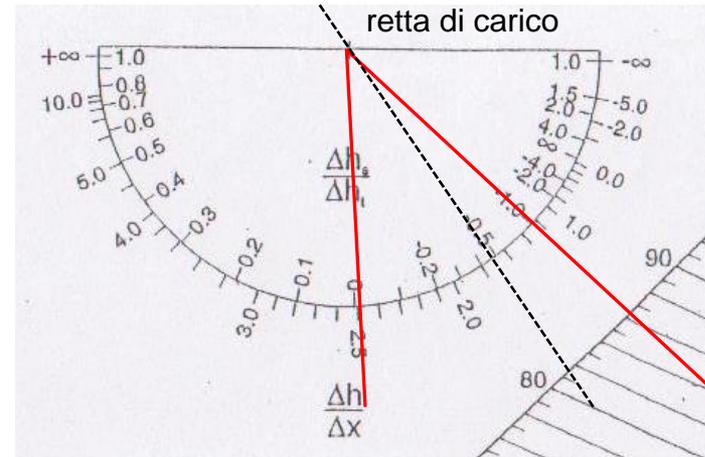
$$x_I < x_a \Rightarrow \Delta x < 0$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} > 0$$



3° caso: Stagione intermedia (inv.) con ridotto carico sensibile e carico latente molto elevato (elevata produzione di vapore)

Carico latente (>0) prevalente
rispetto a quello sensibile (<0)



Carico termico totale: $\dot{Q}_T > 0 \Rightarrow \frac{\dot{Q}_T}{\dot{M}_v} = \frac{\Delta h}{\Delta x} > 0$

$$\Delta h_S < 0$$

$$\Delta h_L > 0$$

$$|\Delta h_S| < \frac{1}{2} \cdot |\Delta h_L|$$

$$\Delta h_T = \Delta h_S + \Delta h_L > 0$$

$$|\Delta h_T| > |\Delta h_S| \Rightarrow -1 < \frac{\Delta h_S}{\Delta h_T} < 0$$

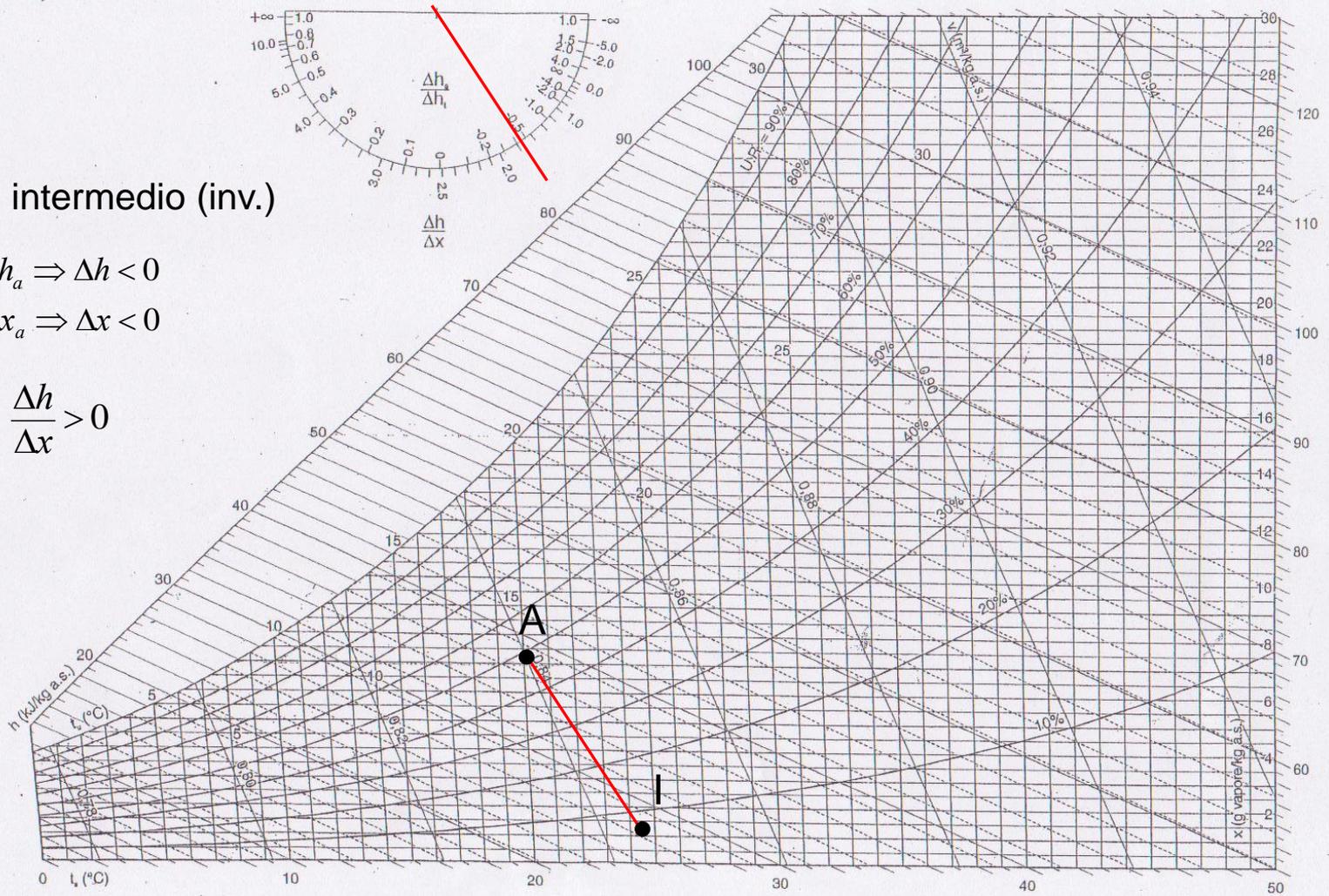
DIAGRAMMA PSICROMETRICO
(P = 101,325 kPa)

Regime intermedio (inv.)

$$h_I < h_a \Rightarrow \Delta h < 0$$

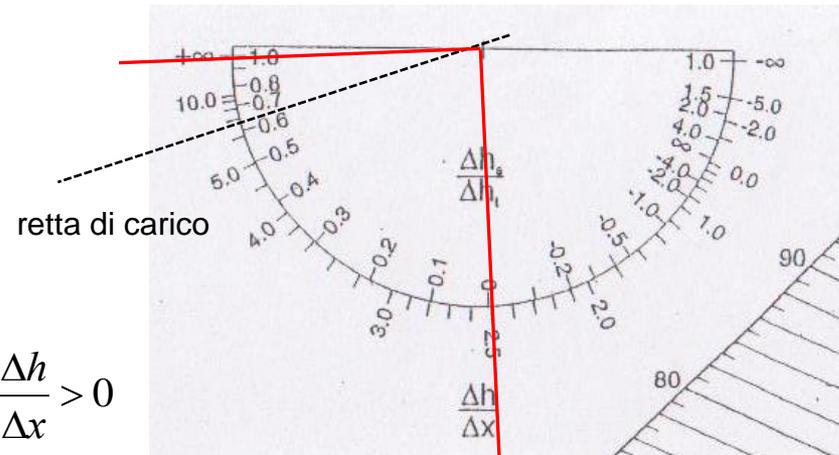
$$x_I < x_a \Rightarrow \Delta x < 0$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} > 0$$



4° caso: REGIME ESTIVO con PRODUZIONE INTERNA di vapore da smaltire

Carico sensibile e carico
latente entrambi positivi



$$\text{Carico termico totale: } \dot{Q}_T > 0 \Rightarrow \frac{\dot{Q}_T}{\dot{M}_v} = \frac{\Delta h}{\Delta x} > 0$$

In questo caso il rapporto tra il carico sensibile e quello totale è minore di uno perché il carico sensibile e quello latente sono entrambi positivi

$$\Delta h_S > 0$$

$$\Delta h_L > 0$$

$$\Delta h_T = \Delta h_S + \Delta h_L > 0$$

$$|\Delta h_T| > |\Delta h_S| \Rightarrow \frac{\Delta h_S}{\Delta h_T} < 1$$

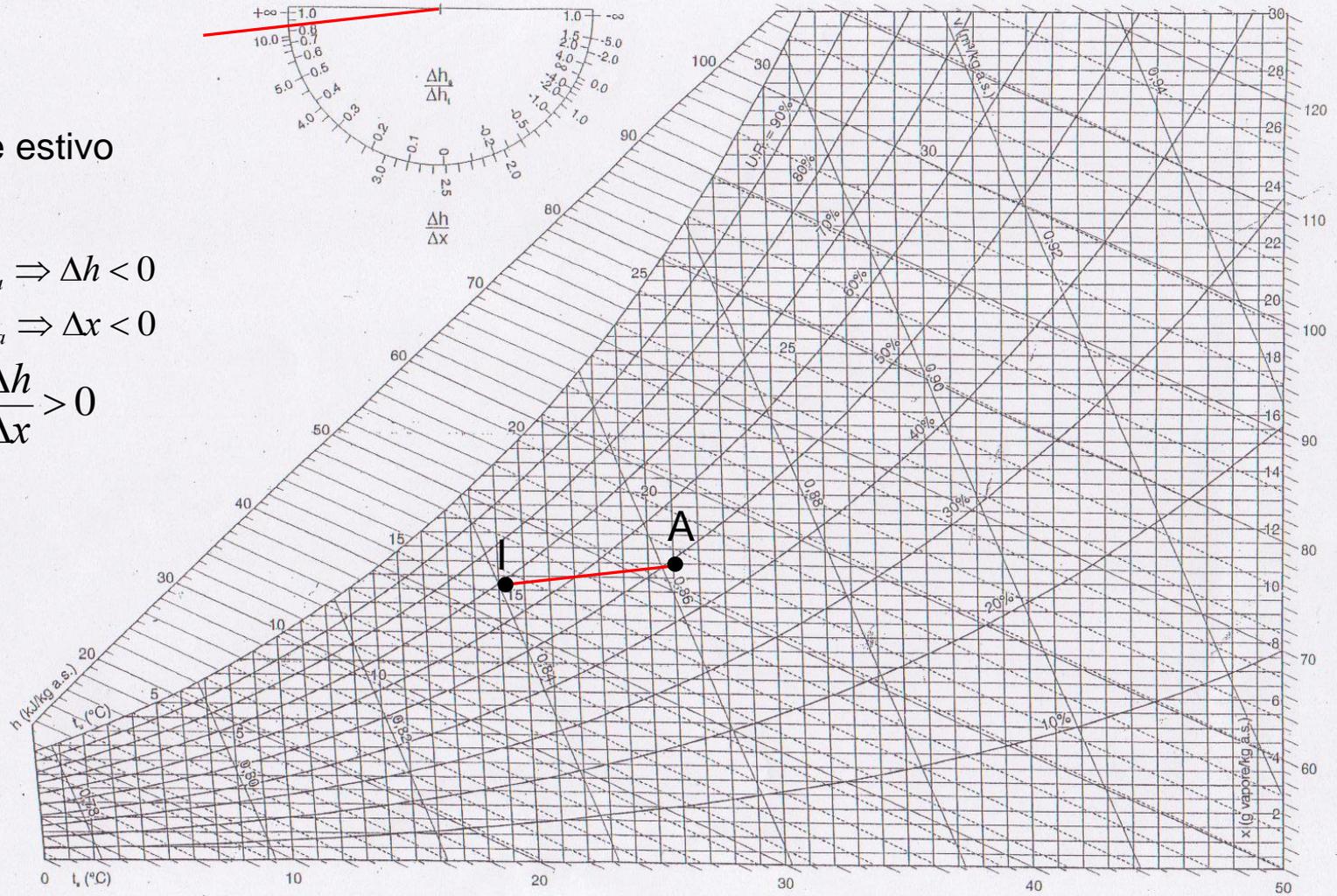
DIAGRAMMA PSICROMETRICO
(P = 101,325 kPa)

Regime estivo

$$h_I < h_a \Rightarrow \Delta h < 0$$

$$x_I < x_a \Rightarrow \Delta x < 0$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} > 0$$



CASI PARTICOLARI

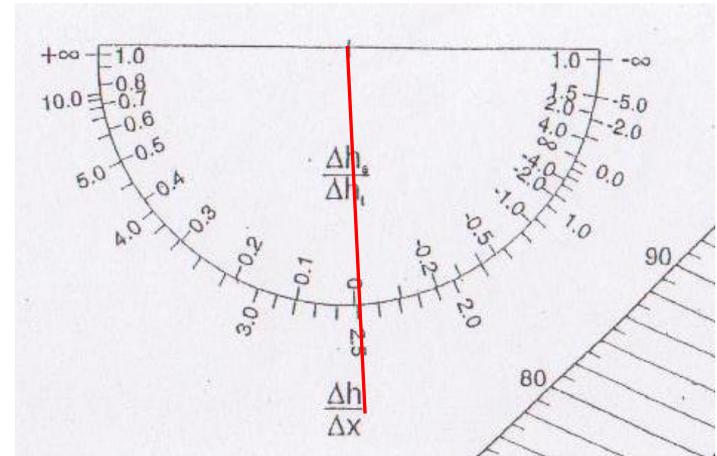
1. Assenza di carico sensibile, solo carico latente:

$$\frac{\Delta h_s}{\Delta h_T} = 0$$

$\Delta t = 0 \Rightarrow$ la retta di carico è una isoterma

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = 2,5 \frac{\text{kJ}}{\text{g}_v} \quad (\text{calore latente di condensazione dell'acqua})$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_a} \cdot \frac{\text{kg}_a}{\text{g}_v} = \frac{\text{kJ}}{\text{g}_v} \right]$$



2. Carico totale nullo

(il carico sensibile e quello latente si compensano a vicenda)

$$\frac{\Delta h_s}{\Delta h_T} \rightarrow \infty$$

la retta di carico è una isoentalpica

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = 0$$

