

Organizza il corso di aggiornamento tecnico

## Le novità dei Decreti del 26/06/2015

Palazzo delle Professioni di Prato - Sala del Teatro  
Via Pugliesi 26 – Prato

Venerdì 15 gennaio 2016 – Ore 14.00 – 18.45

# Approfondimenti sulla ventilazione

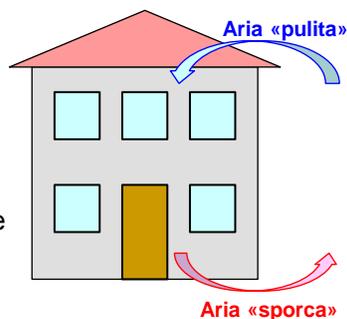
## A cosa serve la ventilazione ?

La ventilazione serve a ricambiare l'aria per **espellere**

- L'umidità generata nell'ambiente
- La CO<sub>2</sub> emessa dalle persone
- Altri gas e vapori (fra cui i VOC) immessi nell'ambiente

Si può fare

- **Naturalmente** (spiffero, apertura finestre)
- **Meccanicamente** convogliando l'aria in condotte
  - Solo estrazione
  - Solo immissione
  - **A doppio flusso**



## L'aria e la quantità di aria

- **Aria secca:** miscela di N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 20,95 %, Ar 0,9%, CO<sub>2</sub> 388 ppm, ...
- La **quantità** di aria (**massa**) si dovrebbe misurare in **kg** ma risulta più intuitivo indicare la quantità di un gas riferendosi al suo volume
- Il **volume** di una determinata quantità (massa) di aria dipende da temperatura e pressione
  - Il **volume** è direttamente proporzionale alla **temperatura assoluta**.  
In un anno la temperatura dell'aria esterna può variare di 35 °C → ≈12%
  - Il **volume** è inversamente proporzionale alla **pressione assoluta**.  
Un ventilatore con prevalenza di 1000 Pa produce una riduzione del volume dell'aria di → ≈1%  
Passando dalla quota del livello del mare a 1000 metri la pressione si riduce del 11,4 % ed il volume dell'aria aumenta del 12,8 %

Altitudine (m)	Pressione atmosferica (%)
0	100
1.000	88,6
2.000	78,5
4.000	60,8

6

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Metri cubi effettivi/normali

Per esprimere comunque le quantità (massa) di aria come «volumi» si usa un artificio:

- **1 Nm<sup>3</sup>** (“**normal m<sup>3</sup>**”) = quantità (massa!) di un gas che occupa un m<sup>3</sup> se portato a pressione atmosferica e 0 °C  
... di uso generale nella tecnica
- **1 Stm<sup>3</sup>** (“**standard m<sup>3</sup>**”) = quantità di un gas che occupa 1 m<sup>3</sup> se portato a pressione atmosferica e 15 °C  
... utilizzato per il gas (15 °C è la temperatura del terreno)
- Il volume vero della quantità di gas (nelle reali condizioni di temperatura e pressione) di chiama “volume effettivo”.  
Se si vuole esplicitare si deve scrivere **Em<sup>3</sup>**

Quando si indica solo “**m<sup>3</sup>**” si sottintende generalmente **Em<sup>3</sup>**

→ Occorre verificare a quali condizioni è riferito il dato...

7

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Conversioni

La densità dell'aria secca è 1,293 kg/Nm<sup>3</sup>

$$\text{Portata} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] = \text{Portata} \left[ \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \right] \cdot \text{Densità} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3} \right]$$

$$\text{Portata} \left[ \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \right] = \text{Portata} \left[ \frac{\text{Em}^3}{\text{h}} \right] \cdot \frac{273,13[\text{°C}]}{273,13 + T[\text{°C}]} \cdot \frac{P_{\text{man}}[\text{mbar}] + P_{\text{atm}}[\text{mbar}_{\text{abs}}]}{1013[\text{mbar}_{\text{abs}}]}$$

$$\text{Portata} \left[ \frac{\text{Em}^3}{\text{h}} \right] = \text{Portata} \left[ \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \right] \cdot \frac{273,13[\text{°C}] + T[\text{°C}]}{273,13} \cdot \frac{1013[\text{mbar}_{\text{abs}}]}{P_{\text{man}}[\text{mbar}] + P_{\text{atm}}[\text{mbar}_{\text{abs}}]}$$

$P_{\text{man}}$  = Pressione manometrica = pressione nella condotta rispetto a quella atmosferica  
 $P_{\text{atm}}$  = pressione atmosferica assoluta (dipende dalla quota)

## Cosa fa la norma UNI-TS 11300-1

- La norma UNI-TS 11300-1 parla di “m<sup>3</sup>”
- Si tratta di **m<sup>3</sup> effettivi** alla temperatura di circa 20 °C e pressione atmosferica.  
Densità: 1,2 kg/m<sup>3</sup>
- Quando si fanno i bilanci di umidità espressa in g/kg occorre moltiplicare le portate per la densità

## Esempio: velocità nella condotta

- Calcolo della velocità in una condotta tenendo conto della temperatura e della pressione



- $1000 \text{ kg/h} \rightarrow 773,5 \text{ Nm}^3/\text{h} \rightarrow 858 \text{ Em}^3/\text{h}$  a  $30 \text{ °C}$ ,  $1013 \text{ mbar}_{\text{abs}}$
- Quota =  $500 \text{ m} \rightarrow \text{Patm} = 955 \text{ mbar}$
- $P = 50 \text{ mm c.a.} \rightarrow \text{Preale} = 955 \text{ mbar}_{\text{abs}} + 5 \text{ mbar} \rightarrow 960 \text{ mbar}_{\text{abs}}$
- Portata corretta  $\rightarrow 906 \text{ Em}^3/\text{h}$  a  $30 \text{ °C}$ ,  $960 \text{ mbar}_{\text{abs}}$
- Sezione rettangolare  $400 \times 300 \text{ mm} \rightarrow 0,12 \text{ m}^2$
- **Velocità**  $906 \text{ Em}^3/\text{h} / (0,12 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ s/h}) \rightarrow 2,1 \text{ m/s}$

11

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## ...nel diagramma psicrometrico

- **Le grandezze sono riferite alla massa di aria secca**
- Nella pratica, si utilizzano i volumi
- **Il passaggio si effettua con il volume specifico espresso in  $\text{m}^3$  effettivi per kg di aria secca, riportato sul diagramma psicrometrico (v)**
  - Le variazioni di pressione all'interno di un impianto hanno effetti trascurabili
  - Della differenza di quota si tiene conto utilizzando un diagramma psicrometrico diverso a seconda della quota

12

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Riscaldamento dell'aria

- Nel caso degli impianti di ventilazione si lavora  $\approx$  a pressione costante.
- In questo caso il calore accumulato, scambiato o trasportato corrisponde alla variazione di entalpia  $h$   
$$Q = M \times c_p \times \Delta T = M \times \Delta J \quad (J = \text{entalpia})$$
- $M$  = massa dell'aria (kg oppure  $\text{Nm}^3$ )
- $c_p$  = Calore specifico dell'aria secca a pressione costante:  
 $c_p = 1,005 \text{ kJ/kgK} \approx 0,277 \text{ Wh/kg}^\circ\text{C} \approx 0,358 \text{ Wh/Nm}^3^\circ\text{C}$   
 $\approx 0,33 \text{ Wh/m}^3^\circ\text{C}$  a  $20^\circ\text{C}$   
 $\rightarrow$  per aria mediamente umida  **$0,34 \text{ Wh/m}^3^\circ\text{C}$**  a  $20^\circ\text{C}$
- $\Delta T$  = Differenza di temperatura ( $^\circ\text{C}$  o  $\text{K}$ )

13

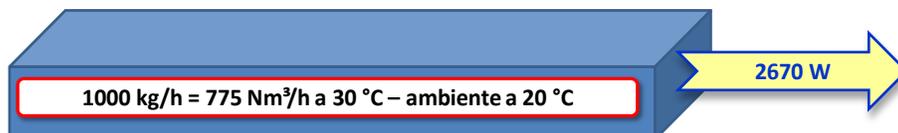
ANTA - Ventilazione

18/01/2016

### Potenza sensibile trasportata da un flusso d'aria

$$\Phi = Q/t = M/t \times c_p \times \Delta T = G \times c_p \times \Delta T = G \times \Delta J$$

$G$  = portata in massa (kg/h)



$$\Phi = 1000 \text{ kg/h} \times 0,277 \text{ Wh/kg}^\circ\text{C} \times (30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 2770 \text{ W} \rightarrow$$

con una condotta 300 x 400 mm...

... quando per trasportare la stessa potenza in un impianto ad acqua bastano due tubi in rame 12/10 mm ...

14

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## L'aria umida

- **Aria umida:** miscela di “aria secca” e vapor acqueo
- Legge di Dalton: la “pressione totale” è la somma delle “pressioni parziali” generate dai vari gas della miscela se occupassero tutto il volume libero

Miscela di gas → tutto avviene come se ciascun gas fosse da solo

**In presenza di acqua, il vapore in miscela con l'aria secca è in equilibrio (o meno) con il vapore acqueo in base alla temperatura della miscela ed alla sua pressione parziale**

18

18/01/2016

ANTA - Ventilazione

## Come caratterizzare l'aria umida

- Contenuto di umidità assoluta X:  
grammi di vapor acqueo / kg aria secca
- Altri dati rilevanti: temperatura e pressione totale della miscela
- **Umidità di saturazione  $X_{sat}$ :** massima umidità assoluta che può essere presente nella miscela con l'aria
  - In linea di principio dovrebbe essere l'umidità che genera una pressione parziale pari a quella  $p_{sat}$  di equilibrio alla temperatura della miscela
  - La pressione parziale del vapor acqueo dipende dal rapporto fra massa di aria secca e massa di vapor acqueo ma anche dalla pressione totale
  - Negli impianti di climatizzazione e ventilazione la pressione può variare solo a causa della quota di installazione. All'interno di un impianto la pressione è praticamente costante (vedi esempio Nm<sup>3</sup>)
  - **L'umidità di saturazione  $X_{sat}$ , fissata la pressione, diventa funzione solo della temperatura t della miscela**

20

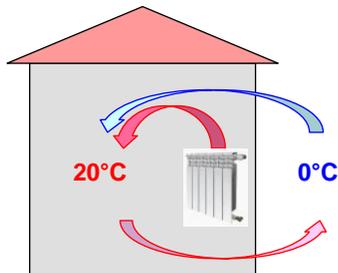
18/01/2016

ANTA - Ventilazione

## I costi del servizio «ventilazione»

La **ventilazione** comporta due costi

- **Termico**, di «trattamento» dell'aria entrante *per portarla alle condizioni interne*
  - In **inverno**: è sufficiente **riscaldare** l'aria, raramente occorre umidificare
  - In **estate**: occorre **raffreddare** e **deumidificare** l'aria esterna
- **Meccanico** di trasporto e movimentazione dell'aria entrante e di quella uscente
  - In caso di mera «aerazione», è gratuito
  - In caso di presenza di ventilatori ci sono consumi significativi di energia elettrica



42

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## I costi del servizio «ventilazione»

La **ventilazione** comporta due costi

- **Termico**, di «trattamento» dell'aria entrante *per portarla alle condizioni interne*
  - In **inverno**: è sufficiente **riscaldare** l'aria, raramente occorre umidificare
  - In **estate**: occorre **raffreddare** e **deumidificare** l'aria esterna
- **Meccanico** di trasporto e movimentazione dell'aria entrante e di quella uscente
  - In caso di mera «aerazione», è gratuito
  - In caso di presenza di ventilatori ci sono consumi significativi di energia elettrica

E' compreso nel fabbisogno per riscaldamento o per raffreddamento.  
Sono compresi anche i fabbisogni di umidificazione e deumidificazione

Sono attribuiti a «ventilazione» solo i consumi elettrici del ventilatore

43

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Dispersioni per ventilazione

Calore sensibile per riscaldamento  $Q_V$   
 = Volume aria x calore specifico x  $\Delta T$

Calore specifico dell'aria:  $0,34 \text{ Wh/m}^3 \text{ K}$

Volume = Portata x tempo

Espressione del ricambio d'aria:

- Portata in  $\text{m}^3/\text{h}$
- numero di ricambi del volume in un'ora

**Residenziale:**

- Ricambio d'aria di progetto:  $0,5 \text{ h}^{-1}$
- Ricambio d'aria medio:  $0,3 \text{ h}^{-1}$

$Q_V = 1550 \text{ kWh}$ ,  $S = 100 \text{ m}^2$   
 $Q_V = 15 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$



$V = 350.000 \text{ m}^3$ ,  $\Delta T = 13^\circ\text{C}$   
 $Q_V = 1550 \text{ kWh}$



$V' = 81 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $t = 4320 \text{ h}$   
 $V = 350.000 \text{ m}^3$



$V = 270 \text{ m}^3$ ,  $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$   
 $\rightarrow Q = 81 \text{ m}^3/\text{h}$



$S = 100 \text{ m}^2 \rightarrow V = 270 \text{ m}^3$

44

18/01/2016

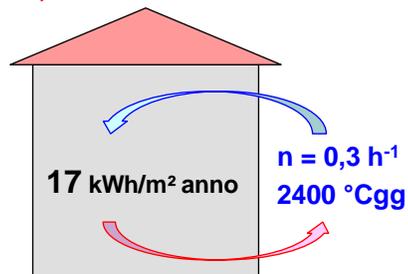
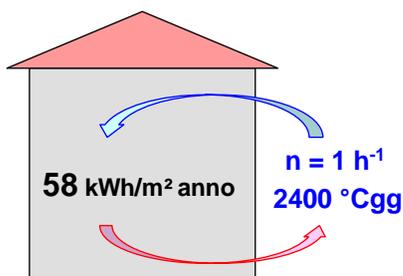
ANTA - Ventilazione

## Costo energetico della ventilazione: inverno

Energia dispersa = Volume aria x calore specifico x  $\Delta T$

- Calore specifico dell'aria:  $0,34 \text{ Wh/m}^3 \text{ K}$
- Per ogni  $\text{m}^2$ ... **1 ricambio ora**  $\rightarrow 3 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $3 \text{ m}^3/\text{h} \times 2400 \text{ }^\circ\text{Cgg} \times 0,34 \text{ Wh/m}^3\text{K} \times 24 \text{ h/gg} \rightarrow 58 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$

**$0,3 \text{ ricambi/ora} \rightarrow 17,4 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$**



45

18/01/2016

ANTA - Ventilazione

45

18/01/2016

# Ventilazione - residenziale

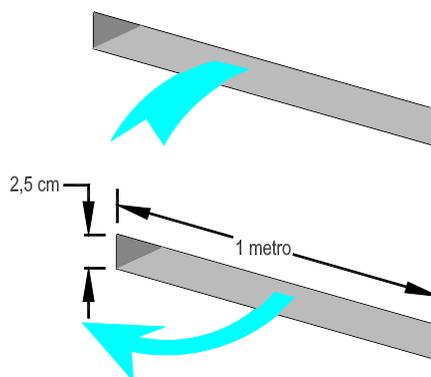
## Appartamento da 100 m<sup>2</sup> utili

Volume netto  $V = 100 \text{ m}^2 \times 2,7 \text{ m} = 270 \text{ m}^3$

Portata  $V' = 270 \text{ m}^3 \times 0,3 \text{ h}^{-1} = 81 \text{ m}^3/\text{h}$

Sezione a 1 m/s  $\rightarrow 230 \text{ cm}^2$

(1 x entrata + 1 x uscita aria)



$H_v = 81 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{K} = 27,5 \text{ W/K}$

**equivalenti a 68 m<sup>2</sup> di parete a 0,4 W/m<sup>2</sup> K**

Potenza media:  $27,5 \text{ W/K} \times (20 - 7) \text{ }^\circ\text{C} = 400 \text{ W}$

46

ANTA - Ventilazione

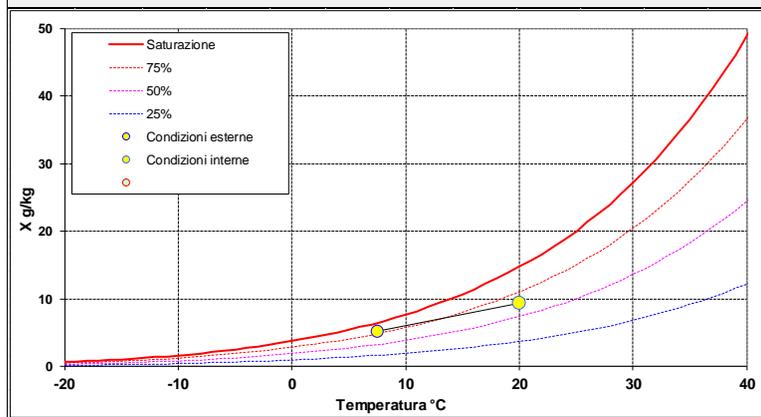
18/01/2016

Ricambio d'aria ed umidità di equilibrio										
Descrizione	T	U.R.	G	X <sub>sat</sub>	X	V'	J	P	Densità	v
	°C	%	kg/h	g/kg	g/kg	m <sup>3</sup> /h	kJ/kg	kW	kg/Nm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /kg
Condizioni esterne	7,5	80	81	6,43	5,14	65	20,5		1,289	0,797
Condizioni interne	20	63,4	81	14,7	9,33	68	43,8		1,286	0,835

Portata di vapore persone	g/h pers.	80	Superficie locali	m <sup>2</sup>	80
Numero persone	n	3	Altezza locali	m	2,7
Portata vapore	g/h	240	Volume locali	m <sup>3</sup>	216
Vapore extra	g/h	100	Ricambi ora	h <sup>-1</sup>	0,3
Vapore immissione	g/h	418	Portata aria	m <sup>3</sup> /h	64,8
Vapore totale	g/h	758	Umidità espulsione	g/kg	9,3

0,3 ricambi  
ora  
saranno  
sufficienti?

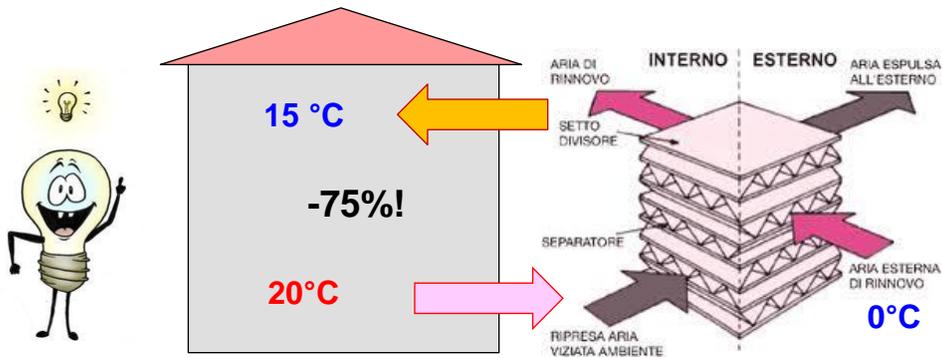


47

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Come rimediare: recuperatori



**Possiamo usare l'aria interna espulsa per riscaldare quella entrante!**

48

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Il costo dell'energia elettrica

**100 W continui → 0,1 kW**

Durata stagione di riscaldamento:  
 $180 \text{ gg} \times 24 \text{ h} = 4320 \text{ h}$

Energia elettrica **consegnata** stagionale:  
 $4320 \text{ h} \times 0,1 \text{ kW} = 432 \text{ kWh}$

Energia **primaria** stagionale:  
 $432 \text{ kWh} \times 2,174 = 940 \text{ kWh}$

**Incidenza su prestazione energetica**  
 $940 \text{ kWh} / 100 \text{ m}^2 = 9,4 \text{ kWh/m}^2$

**Energia elettrica: prendi uno, paghi due!**



**NEGLI EDIFICI AD ALTA EFFICIENZA OCCORRE TENERE CONTO CORRETTAMENTE ANCHE DEI CONSUMI ELETTRICI APPARENTEMENTE MODESTI**

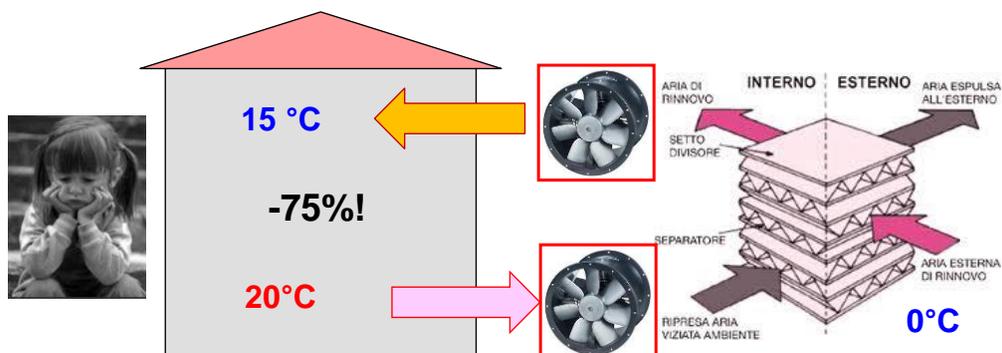
**→ Prodotti a basso consumo elettrico**

49

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Ma ci voleva anche quello...



**Inverno:**  
**Se recuperiamo il 75% → - 13 kWh/m<sup>2</sup> anno**  
**Se consumiamo 40+40 = 80 W → + 8 kWh/m<sup>2</sup> anno**

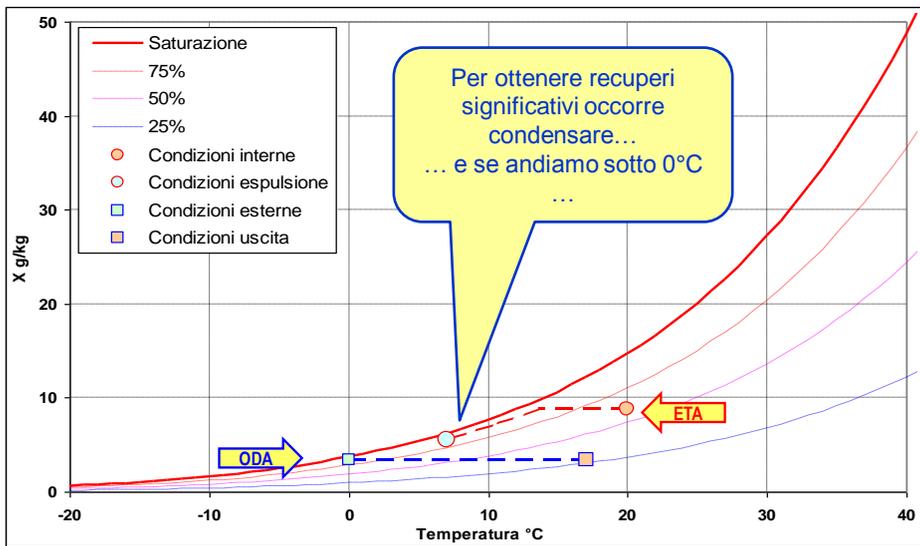
## Da un progetto: fabbisogno elettrico UTA

DESCRIZIONE		A	B	C	D
Portata	m <sup>3</sup> /h	16000	9500	8000	5500
Potenza mandata	kW	10,6	6,98	5,06	2,18
Potenza ripresa	kW	3,68	2,59	2,31	1,52
Potenza totale	kW	14,28	9,57	7,37	3,7
Consumo specifico	Wh/m <sup>3</sup>	0,89	1,01	0,92	0,67

**Incidenza energia primaria elettrica: 28 kWh/m<sup>2</sup> anno solo inverno**

**Si tratta di un ospedale: la sola energia elettrica invernale dei ventilatori delle UTA determina un consumo elettrico elevatissimo.**

## Scambiatore recuperatore invernale

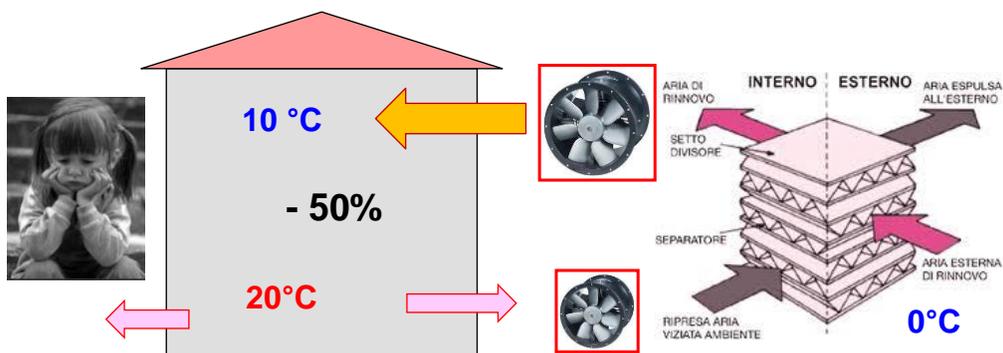


52

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## E se non mettiamo a punto bene...



Se le portate sono sbilanciate e/o l'aria esce da fessure dell'involucro edilizio scende l'efficienza di recupero  
Il bilancio energetico può diventare negativo

53

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Calcolo del recuperatore

- In questo momento «rendimento medio»...
- La norma di prodotto prevede che l'efficienza del recuperatore sia dichiarata in sette punti diversi risultanti da combinazioni di:
  - 3 portate, mantenendo il bilanciamento:  
→ 0,67, 1,00 e 1,5 x la portata nominale, sia primario che secondario
  - 4 portate con sbilanciamento -30%;0 → 0,-30% → +50%,0 → 0,+50%
- La nuova UNI-TS 11300-1 prevede che si interpoli linearmente il rendimento del recuperatore
- In mancanza di dati si prende il rendimento del recuperatore e si sottraggono 10 punti percentuali.
- Nelle norme europee si possono trovare dei modelli matematici per simulare eventuali scambi col terreno, non ancora contemplati da questa norma.

54

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Costo estivo: deumidificazione

100 m<sup>2</sup> → 270 m<sup>3</sup>

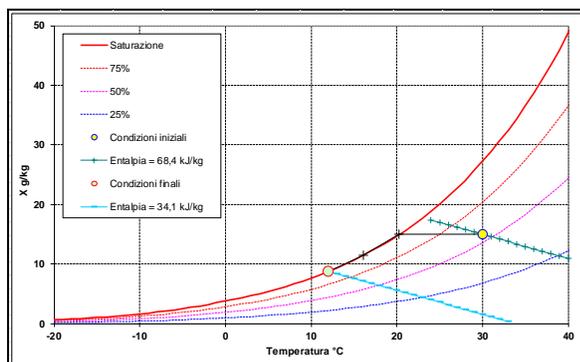
n=0,3 → 81 m<sup>3</sup>/h

**Condizioni esterne:**  
30 °C, 55% U.R.

**Condizioni uscita batteria**  
12 °C, 100% U.R.

**Potenza sensibile: 470 W**

**Potenza latente: 420 W**



55

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Bilancio umidità

### Nuova UNI-TS 11300-1: aggiunto il bilancio dell'umidità

- + Produzione di vapore interna
- + Immissione di vapore con aria immessa
- Uscita di vapore con aria estratta
- determina l'umidità di equilibrio

#### bilancio umidità

- **Inverno** → **UNI-TS 11300-2**  
→ **fabbisogni per umidificazione**
- **Estate** → **UNI-TS 11300-3 futura**  
→ **fabbisogni per deumidificazione**

70

18/01/2016

ANTA - Ventilazione

## Condizioni interne di progetto

- Temperature ed umidità estive ed invernali di progetto: in funzione di classe e destinazione d'uso
- Esempio: umidità di progetto (min invernale / max estivo)
  - Alta qualità 45 / 55%
  - Media qualità 40 / 60%
  - Bassa qualità 35 / 65 %
  - Obbligo impianto quando si esce dal range 30 / 70 %
- Per garantire la qualità dell'aria di progetto occorrono:
  - Ricambi d'aria invernali sufficienti e/o umidificazione
  - Ricambi d'aria estivi e deumidificazione

**Tanti ricambi d'aria → tanta energia richiesta!**

71

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Portate d'aria di base

- Residenziale, senza impianto di ventilazione  
→  $n = 0,5 \text{ h}^{-1} \times 0,6 = 0,3 \text{ h}^{-1}$
- Residenziale con ventilazione e non residenziale
  - Portata minima calcolata secondo UNI 10339:95
  - Se maggiore, utilizzare la portata reale nell'impianto di ventilazione

Un primo calcolo della ventilazione viene effettuato trascurando la presenza dell'impianto di ventilazione: «fabbisogno di energia utile del fabbricato»

72

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Portata di aria di riferimento 10339

$$q_{ve,0} = \left( n_{per} \cdot q_{ve,0,p} + A \cdot q_{ve,0,s} \right) \cdot \frac{0,8}{\varepsilon_{cv}} \cdot (C_1 \cdot C_2)$$

- $q_{ve,0}$  portata di aria esterna minima, di riferimento [l/s];
- $n_{per}$ : numero di persone previste a progetto o calcolato mediante l'affollamento convenzionale come  $n_{per} = (n_s \cdot A)$
- $n_s$ : indice di affollamento [persone/m<sup>2</sup>]
- $q_{ve,0,p}$ : portata di aria esterna minima per persona [l/s];
- A: superficie in pianta del locale [m<sup>2</sup>]
- $q_{ve,0,s}$ : portata di aria esterna minima per m<sup>2</sup> [l/(m<sup>2</sup>s)];
- $\varepsilon_{cv}$ : **efficienza convenzionale di ventilazione**;
- C1: coefficiente correttivo per impianti misti;
- C2: coefficiente correttivo che tiene conto della variazione di densità dell'aria per effetto dell'altitudine della località.

73

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Valori dei coefficienti

- $q_{ve,0,p}$  e  $q_{ve,0,s}$ 
  - **UNI-TS11300-1:2008: uguali a 10339:1995**
  - UNI-TS 11300-1:2014: uguali a 10339:rev, con riferimento alla qualità dell'aria **media**

**Negli edifici residenziali si considera l'immissione solo in alcuni locali «nobili».**  
L'estrazione in bagni e cucine si considera compresa, va verificata la portata minima
- Efficacia di ventilazione  $\epsilon_{cv}$ 
  - 10339:rev: dipende dal tipo di movimento dell'aria nel locale:
    - A miscelazione totale
    - A pistone
  - **UNI-TS 11300-1  $\rightarrow \epsilon_{cv} = 0,8$**

**Nella UNI-TS 11300-1:rev è ancora ammesso 0,3 ricambi ora in caso di ventilazione naturale nel settore residenziale**

74

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Ventilazione residenziale

- 10339 attuale:
  - Immissione  $0,04 \text{ p/m}^2 \times 11 \text{ l/s p} = 0,44 \text{ l/s m}^2$   
 $\rightarrow 1,6 \text{ m}^3/\text{h m}^2 \rightarrow 0,59 \text{ h}^{-1}$   
*(non c'è portata in base alla superficie, solo persone)*
  - Estrazione nei bagni 4 vol/h, cucina q.b.
- Bozza 10339 nuova
  - Immissione (soggiorni, camere, altro)  $3 \text{ l/s p} + 0,14 \text{ l/s m}^2$
  - Estrazione bagni: q.b., min 8 l/s continui, 15 l/s utilizzo
  - Estrazione cucine: q.b., min 13 l/s continui, 30 l/s utilizzo
  - Affollamento
    - 2 persone monocali, ed una sola camera
    - 1 p/camera sotto  $14 \text{ m}^2$ , 2 p/camera a partire da  $14 \text{ m}^2$

75

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

# Ventilazione non residenziale

Descrizione	Fabbisogno	Affollamento	Altezza	Ricambi progetto	Ricambi medi
	<i>l/s pers</i>	<i>pers/m<sup>2</sup></i>	<i>m</i>	<i>h<sup>-1</sup></i>	<i>h<sup>-1</sup></i>
<b>E.1 (1); E.1 (2) Edifici residenziali</b>					
Dormitori	11	0,1	4	1,0	0,6
Camere	11	0,05	3	0,7	0,4
<b>E.1 (3) Edifici adibiti ad albergo, pensioni ed attività similari</b>					
Ingresso, soggiorno	11	0,2	4	2,0	1,2
Sale conferenze	5,5	0,6	4	3,0	1,8
Sala da pranzo	10	0,4	4	3,6	2,2
Camere	11	0,05	4	0,5	0,3
<b>E.2 Edifici adibiti ad uffici ed assimilabili</b>					
Uffici singoli	11	0,06	4	0,6	0,4
Open space	11	0,12	4	1,2	0,7
Sala riunioni	10	0,6	4	5,4	3,2
CED	7	0,08	4	0,5	0,3

Anche il solo fabbisogno invernale è elevatissimo

76

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## I tempi cambiano...

Finora:

- Il fabbisogno per ventilazione è sempre stato «annegato» in quello per riscaldamento e raffrescamento
- I calcoli di prestazione energetica si facevano soprattutto per l'ambito residenziale: in passato la ventilazione non era la parte maggiore delle dispersioni

Ma adesso

- Si estendono i calcoli anche all'ambito non residenziale
- I nuovi edifici sono coibentati e le dispersioni per ventilazione sono significative
- Si pretende una qualità dell'aria accettabile, anche nei luoghi affollati
- Non ci si può affidare all'apertura manuale delle finestre

**Soluzione razionale: ventilazione meccanica controllata**

77

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Portata di aria media

- **Portata minima di riferimento  $\rightarrow q_{ve,0}$**   
*è una portata di dimensionamento, deve essere convertita in portata media*
- **Ventilazione naturale (solo aerazione)**
  - $q_{ve} = q_{ve,0} \times f_{ve,t} \rightarrow f_{ve,t}$  frazione temporale di occupazione
  - Per edifici residenziali rimane  $q_{ve,0} = V \times 0,5 \text{ h}^{-1}$  e  $f_{ve,t} = 0,6 \rightarrow q_{ve} = 0,3 \text{ h}^{-1}$
- **Ventilazione meccanica**
  - Si applica la formula generale che esplicita l'andamento temporale
  - **La portata di riferimento da utilizzare  $q_{ve,f}$  è la massima fra:**
    - $q_{ve,0}$  = portata minima di riferimento
    - $q_{ve,des}$  = portata di progetto dell'impianto di ventilazione, che a sua volta è il massimo fra
      - $q_{ve,sup}$  portata immessa
      - $q_{ve,ext}$  (o  $q_{ve,eta}$ ) portata estratta

78

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Per ogni locale ...

... Occorre specificare:

- Se la ventilazione è naturale o meccanica
  - Se la ventilazione è meccanica:
    - Se è un locale di immissione / transito / estrazione
    - Se è un locale con immissione / estrazione
- ... solo i locali di immissione hanno un carico di ventilazione che può essere positivo, nullo o negativo a seconda della temperatura di immissione

82

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

Impianto Centralizzato - Ventilazione						
Dati generali						
Portate						
Condotti						
Generazione						
Altri dati						
Portate dei locali ( <input checked="" type="checkbox"/> rendi modificabili)						
Zona	Locale	Descrizione	Tipologia	qve.sup [m³/h]	qve.ext [m³/h]	qve.0 [m³/h]
1	1	SALA	Immissione	70,00	-	67,64
1	2	CUCINA	Estrazione	-	40,00	141,48
1	3	BAGNO1	Immissione	-	20,00	46,44
1	6	CAMERA1	Estrazione + Immissione	25,00	-	25,19
1	7	BAGNO2	Trasito	-	30,00	68,04
1	8	BAGNO3	Estrazione	-	30,00	68,04
1	10	DISIMPEGNO_2	Trasito	-	-	0,00
1	11	CAMERA2	Immissione	25,00	-	20,75
1	12	CAMERA3	Immissione	20,00	-	20,43

**Per ogni locale connesso ad un impianto di ventilazione occorre stabilire se è di immissione, estrazione, entrambi, nessuno dei due (transito).**

**Le portate devono essere quelle effettive, se note**

## Criteri di dimensionamento

- Portate immesse in sale e camere calcolate in base ai m<sup>2</sup> ed al numero di persone
- Tutta la portata estratta è distribuita fra bagni e cucina verificando che sia sufficiente
- Velocità massime nelle condotte: 2...3 m/s
- Velocità massime nelle bocchette 1 m/s
- Diametro tipico condotta principale per una singola unità immobiliare: 120...150 mm

85 ANTA - Ventilazione 18/01/2016

# Formula principale

Impianto fermo

Impianto acceso

Frazione tempo accensione ventilazione

$$q_{ve,k,mn} = \left( \overline{q_{ve,0}} + \overline{q_{ve,x}} \right)_k \times (1 - \beta_k) + \left( q_{ve,f} \times b_{ve} \times FC_{ve} + \overline{q_{ve,x}} \right)_k \times \beta_k$$

Portata media equivalente

Portata media di ventilazione naturale

Portata addizionale a causa del vento

Portata nominale ventilazione

Fattore di riduzione per temperatura di immissione

Fattore di riduzione per tipo di regolazione

Portata infiltrazione a ventilazione in funzione

Invece di sommare le quantità di calore e far riferimento alle portate effettive, si genera una «portata di riferimento» complessiva.  
 ... ma i bilanci di umidità e di inquinanti seguono le portate effettive (no  $b_{ve}$ ) ...

86 ANTA - Ventilazione 18/01/2016

$$q_{ve,k,mn} = \left( q_{ve,0} + q_{ve,x} \right)_k \times (1 - \beta_k) + \left( q_{ve,f} \times b_{ve} \times FC_{ve} + q_{ve,x} \right)_k \times \beta_k$$

Invece di sommare le quantità di calore e far riferimento alle portate effettive, si genera una «portata di riferimento» complessiva.  
 ... ma i bilanci di umidità e di inquinanti seguono le portate effettive...

Questa formula serve a calcolare il  $Q_{H,nd,sys}$ ,  
 cioè il fabbisogno di energia utile richiesto al sistema idronico  
 $b_{ve}$  può essere  $\neq 1$  quando c'è  
 un recuperatore oppure una batteria di riscaldamento  
 In presenza di batteria di riscaldamento  
 si calcola il carico applicato a questa.

87
ANTA - Ventilazione
18/01/2016

## Portata media di ventilazione naturale $q_{ve,0}$

- Ventilazione ottenuta per mezzo di aperture dedicate.
- Tassi di ricambio d'aria specificati in funzione della schermatura dell'edificio

CLASSE DI SCHERMATURA	DESCRIZIONE	Alta permeabilità	Media permeabilità	Bassa permeabilità
Nessuna schermatura	Edifici in aperta campagna Grattacieli in città	1,2	0,7	0,5
Media schermatura	Edifici in campagna con alberi o con altri edifici vicini, periferia	0,9	0,6	0,5
Forte schermatura	Edifici di media altezza nei centri cittadini, edifici in mezzo a foreste	0,6	0,5	0,5

Tabelle simili per altre destinazioni d'uso, anche in funzione del numero di pareti esposte

88
ANTA - Ventilazione
18/01/2016

## Portata addizionale per vento ad imp. fermo $q'_{ve,x}$

- Ventilazione per infiltrazione ad impianto fermo.
- $V$  = volume
- $n_{50}$  = ricambi d'aria con 50 Pa,  $h^{-1}$
- $e$  = coefficiente di esposizione

$$Q_{ve,x} = \frac{V \cdot n_{50} \cdot e}{3600}$$

Valori di default di $n_{50}$			
DESCRIZIONE	Alta permeabilità	Media permeabilità	Bassa permeabilità
Residenziale unifamiliare	14	7	2
Residenziale collettivo ed altri	8	4	1

In mancanza di info su serramenti assumere permeabilità media

Valori di default di $e$			
DESCRIZIONE	Molto schermato	Mediamente schermato	Poco schermato
Una sola facciata esposta	0,01	0,02	0,03
Più di una facciata esposta	0,04	0,07	0,10

= 1,4 ... 0,04 ricambi ora

89

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Portata addizionale per vento $q_{ve,x}$

- Ventilazione per infiltrazione ad impianto in funzione.
- $V$  = volume
- $n_{50}$  = ricambi d'aria con 50 Pa,  $h^{-1}$
- $e$  = coefficiente di esposizione
- $q_{ve,sup}$  = portata di progetto di immissione
- $q_{ve,ext}$  = portata di progetto di estrazione
- $f$  = valore in tabella

$$q_{ve,x} = \frac{q'_{ve,x}}{1 + \frac{f}{e} \left[ \frac{q_{ve,sup} - q_{ve,ext}}{V \cdot n_{50} / 3600} \right]^2}$$

Valori di default di $f$	
DESCRIZIONE	Tutti gli edifici
Una sola facciata esposta	20
Più di una facciata esposta	15

La ventilazione per infiltrazione si riduce quando l'impianto entra in funzione in ragione della differenza fra portata immessa ed estratta

90

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Fattore di intermittenza $\beta_k$

L'intermittenza  $\beta_k$  è data in funzione della categoria dell'edificio

- $\beta_k = 24/24$  per edifici residenziali, collegi ed ospedali
- $\beta_k = 8/24$  per tutti gli altri

## Fattore di correzione $b_{ve,k}$

Il fattore di correzione  $b_{ve,k}$  tiene conto della temperatura di immissione  $\vartheta_{sup}$ .

- $\vartheta_{int,set}$  set-point di temperatura interna
- $\vartheta_{sup}$  temperatura aria immessa
- $\vartheta_e$  temperatura esterna

$$b_{ve,k} = \frac{\vartheta_{int,set} - \vartheta_{sup}}{\vartheta_{int,set} - \vartheta_e}$$

Solo per gli effetti termici, non per i bilanci di umidità

Valori di  $\vartheta_{sup}$

- In presenza di recuperatore si calcola
- In presenza di una batteria
  - Calcolo di progetto: valore noto con  $\vartheta_{sup} < \vartheta_{int,set}$
  - Calcolo standard: valore noto con  $\vartheta_{sup} < \vartheta_{int,set}$  altrimenti  $\vartheta_{sup} = \vartheta_{int,set}$

# Fattore di efficienza della regolazione FCve

Destinazione d'uso dell'edificio	Bocchetta con rilevatore di presenza integrato	Tipo di sensore					
		Presenza <sup>a)</sup>		Movimento <sup>a)</sup>		CO <sub>2</sub> <sup>b)</sup>	
		Modulo di regolazione della portata	Ventilatore a velocità variabile	Modulo di regolazione della portata	Ventilatore a velocità variabile	Modulo di regolazione della portata	Ventilatore a velocità variabile
E.1 - Residenze	0,80	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70	0,70
E.2 - Uffici singoli	0,68	0,64	0,64	0,67	0,70	0,57	0,61
E.2 - Open space	0,80	0,80	0,80	0,53	0,59	0,45	0,50
E.2 - Sala riunioni	0,55	0,55	0,60	0,34	0,43	0,29	0,37
E.3							
E.4 - Ristorazione	0,8	0,8	0,8	0,58	0,63	0,49	0,53
E.4 - Cinema, teatri, sale per congressi	-	-	-	-	-	0,33	0,40
E.5	-	-	-	-	-	0,33	0,40
E.6	-	-	-	-	-	-	-
E.7 - Edificio scolastico primario	0,64	0,64	0,68	0,67	0,70	0,57	0,61
E7. - Edificio scolastico secondario	0,8	0,8	0,8	0,48	0,54	0,41	0,47
E.8	-	-	-	-	-	-	-

a) I tipi di sensore "Presenza" e "Movimento" corrispondono alla funzione 2 "Presence control" riportata al punto 4.1 del Prospetto 2 della UNI EN 15232:2012.

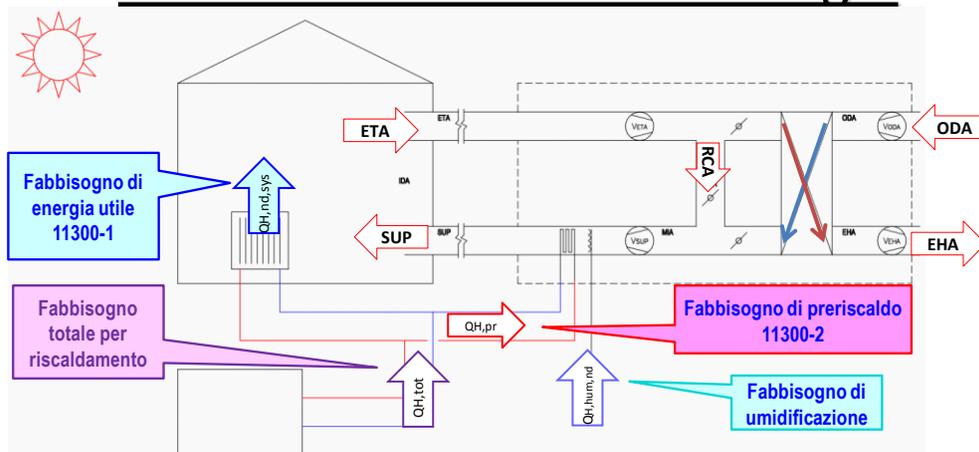
b) Il tipo di sensore CO<sub>2</sub>, corrisponde alla funzione 3 "Demand control" riportata al punto 4.1 del Prospetto 2 della UNI EN 15232:2012.

E3 = ospedali

E5 = attività commerciali  
E6 = attività sportive

E8 = attività produttive

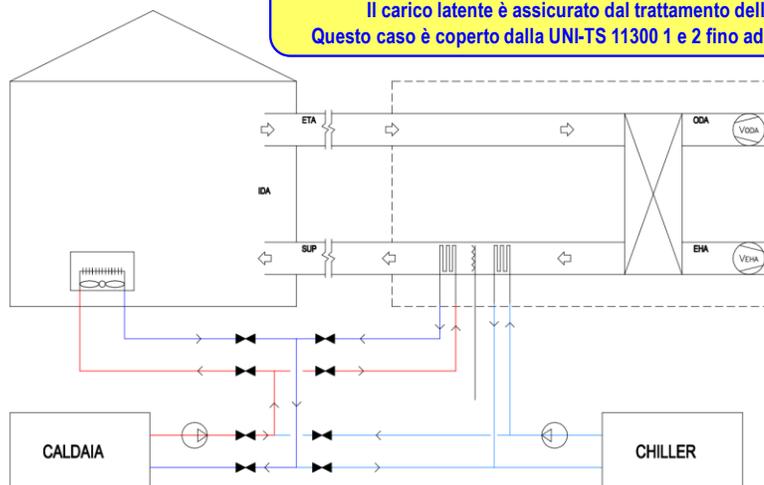
# Schema di riferimento energia



A seconda della configurazione possono essere presenti lo scambiatore, la batteria, l'umidificatore

## Impianto aria primaria

La portata di aria è quella necessaria per il ricambio.  
 Il carico sensibile è assicurato dall'impianto idronico.  
 Il carico latente è assicurato dal trattamento dell'aria  
 Questo caso è coperto dalla UNI-TS 11300 1 e 2 fino ad aria neutra



95

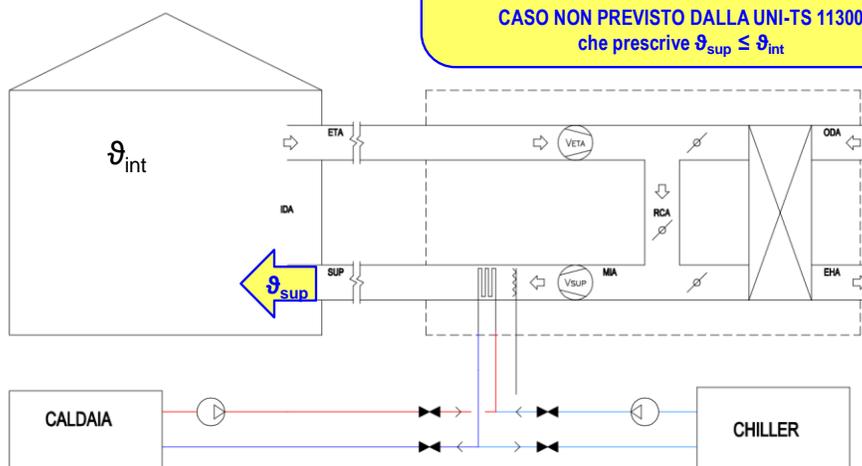
ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## Impianto a tutt'aria

Il carico sensibile ed il carico latente vengono entrambi soddisfatti per mezzo dell'aria.  
 L'aria deve spesso essere ricircolata per riuscire a trasportare una potenza sensibile sufficiente

CASO NON PREVISTO DALLA UNI-TS 11300  
 che prescrive  $\vartheta_{sup} \leq \vartheta_{int}$



96

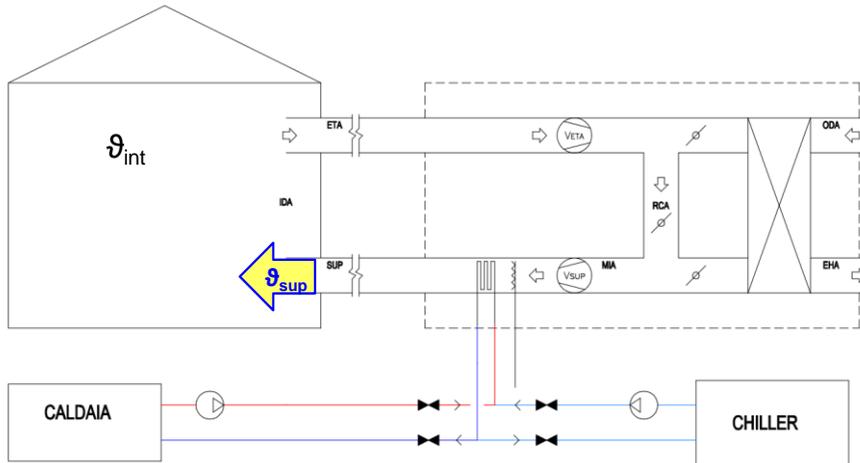
ANTA - Ventilazione

18/01/2016

Il problema dell'impianto a tutt'aria è il calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti.

$$Q_{H;nd;sys} = Q_{H;tr} + Q_{H;ve} - \eta_{H;gn} \cdot Q_{H;gn} \quad \text{con } \eta_{H;gn} = f(y) = f(Q_{H;gn} / (Q_{H;tr} + Q_{H;ve}))$$

Con l'impianto a tutt'aria deve essere  $Q_{H;nd;sys} = 0$ ,  $Q_{H;ve} < 0$  e salta il calcolo di  $\eta_{H;gn}$



97

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

A seconda della configurazione possono essere presenti lo scambiatore, la batteria, l'umidificatore

98

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

Impianto Centralizzato - Ventilazione							
Dati generali Portate Condotti Generazione Altri dati							
Portate dei locali ( <input checked="" type="checkbox"/> rendi modificabili)							
Zona	Locale	Descrizione	Tipologia	qve,sup [m³/h]	qve,ext [m³/h]	qve,0 [m³/h]	
1	1	SALA	Immissione	70,00	-	-	67,64
1	2	CUCINA	Estrazione	-	40,00	-	141,48
1	3	BAGNO1	Immissione	-	20,00	-	46,44
1	6	CAMERA1	Estrazione + Immissione	25,00	-	-	25,19
1	7	BAGNO2	Trasito	-	30,00	-	68,04
1	8	BAGNO3	Estrazione	-	30,00	-	68,04
1	10	DISIMPEGNO_2	Trasito	-	-	-	0,00
1	11	CAMERA2	Immissione	25,00	-	-	20,75
1	12	CAMERA3	Immissione	20,00	-	-	20,43

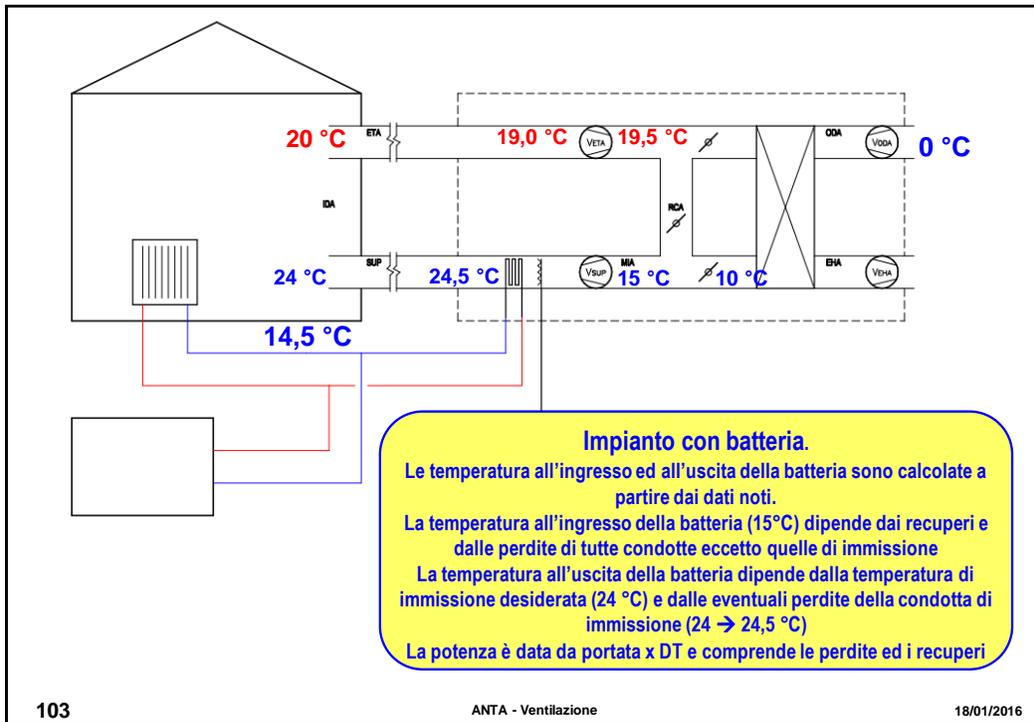
**Per ogni locale connesso ad un impianto di ventilazione occorre stabilire se è di immissione, estrazione, entrambi, nessuno dei due (transito).**

**Le portate devono essere quelle effettive, se note**

## Perdite dei condotti

- I condotti possono avere perdite:
  - Termiche → se fuori dallo spazio climatizzato
  - Di massa → solo ai fini della potenza del ventilatore
- Perdite termiche:
  - Vengono calcolate in base al diametro idraulico, allo spessore di isolante ed alla temperatura ambiente
  - Vengono tenute in considerazione come variazioni di temperatura dell'aria
  - Il recupero elettrico è tenuto in considerazione come aumento della temperatura dell'aria





**Impianto idronico**

Fabbisogno termico (kWh/anno)	Fabbisogno elettrico (kWh/anno)	Rendimenti
QH.sys.nd 6178	QH.e.aux 0	Emissione rH.e 99.0
QH 5965	QH.d.aux 220	Regolazione rH.g 95.0
QH.gr.out 6368	QH.dp.aux 0	Distribuzione rH.d 99.8
QH.gr.in 5893	QH.gr.aux 47	Accumulo rH.a 100.0
		Distribuzione primaria rH.dp 100.0
		Generazione rH.gn 106.1

**Impianto aeraulico**

Fabbisogno termico (kWh/anno)	Fabbisogno elettrico (kWh/anno)	Rendimenti
QH.rec.nd 2350	QH.rec.dp.aux 0	Distribuzione primaria rH.rec.dp 100.0
QH.num.nd 0	QH.rec.gr.aux 0	Generazione rH.rec.gn 188.6
QH.rec.gr.out 2350	QW.aux.el 0	
QH.rec.gr.in 573	QH.num.el 0	

**Risultati Globali (impianto idronico + impianto aeraulico)**

Fabbisogno energia primaria	QpH 7718 kWh/anno	Combustibile scelto	Metano
Rendimento globale medio stagionale	rHg 107.7	Consumo combustibile	593 Nm³/anno
		Consumo energia elettrica	840 kWh/anno

**Fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione**

Servizio	Qd [kWh]	Qe [kWh]	EP [kWh/kWh]
Riscaldamento	7503	7503	53.48
Acqua calda sanitaria	2816	2816	20.07
Ventilazione	1066	1066	7.60
<b>Totale</b>	<b>11385</b>	<b>11385</b>	<b>81.15</b>

**Vettori energetici ed emissioni di CO2**

Vettore energetico	Consumo	U.M.	CO2 [kg/anno]	Servizi
Metano	862 Nm³/anno		1711	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria
Energia elettrica	1297 kWh/anno		1221	Riscaldamento, Acqua calda sanitaria, Ventilazione

In presenza di batteria il fabbisogno per riscaldamento si compone di due parti: idronico ed aeraulico

I fabbisogni elettrici del ventilatore compaiono nei totali alla voce ventilazione in quanto non sono parte dei consumi per riscaldamento

## Ventilazione ed efficienza energetica

Affinchè la ventilazione non diventi un costo energetico ed economico insostenibile occorre:

- **Ottimizzare il recupero energetico**
  - **Bilanciare le portate di estrazione ed immissione**
  - Evitare scambi per ventilazione attraverso altre parti dell'involucro edilizio
  - **Blower door test: l'edificio deve essere a tenuta**
- **Minimizzare i consumi elettrici specifici**
  - Diminuire le perdite di carico → componenti dimensionati generosamente
  - Diminuire le perdite di carico → manutenzione filtri e condotte
  - ...
- **Usare la ventilazione quanto necessario (regolazione)**
  - Rilevare la presenza delle persone (sensori CO2)
  - Rilevare la presenza di umidità

105

ANTA - Ventilazione

18/01/2016

## VMC: attenzione

- **Costo di investimento** piuttosto elevato
- **Costi di manutenzione** ed esercizio manutenzione dei filtri e consumi elettrici
- A lungo termine: **pulizia** condotte e loro sostituzione
- **Scelta dei ventilatori**  
(bassi rendimenti e consumi elettrici non trascurabili)
- Attenzione al layout per limitare il rumore trasmesso
- Attenzione alle velocità per limitare il rumore generato
- Attenzione alle superfici delle condotte di aria esterna
- Necessità di uno **spazio adeguato** per i vari componenti

106

ANTA - Ventilazione

18/01/2016