

7 - Umidità



Sommario

7.1	Vapore d'acqua	250
-----	----------------------	-----



Il sottomodulo **Umidità (1)** ha per obiettivo la quantificazione dell'entalpia del vapore acqueo prodotto e/o immesso nella zona oggetto di certificazione. Esso è costituito dalla sola scheda **Vapore d'acqua (2)**, composta a sua volta dai riquadri **Vapore d'acqua (3)** e **Portata di vapore (4)**.

Considerato che il fabbisogno di energia termica latente viene calcolato esclusivamente per le zone termiche servite da sistemi che garantiscono il controllo dell'umidità dell'aria, il presente modulo è da compilare solo per quelle zone termiche dotate di un impianto di climatizzazione che garantisca tale servizio. Il sottomodulo umidità è, comunque, compilabile ma, per zone termiche non climatizzate, i valori inseriti sono ininfluenti ai fini del calcolo eseguito dal software.



7.1 Vapore d'acqua

Il riquadro **Vapore d'acqua** (3) richiede di selezionare, dall'elenco a discesa **Attività** (5), la tipologia di operazioni svolte dagli occupanti l'ambiente climatizzato o mantenuto a temperatura controllata. In funzione della destinazione d'uso dell'oggetto dell'ACE, solo alcune voci della seguente lista saranno mostrate nell'elenco a tendina:

- Seduto a riposo;
- Seduto in attività leggera;
- Seduto in attività media;
- Seduto al ristorante;
- In piedi, lavoro leggero;
- In piedi, lavoro medio;
- In piedi, lavoro pesante;
- In movimento;
- Danza moderata;
- In cammino a 1.3 m/s;
- Attività atletica.

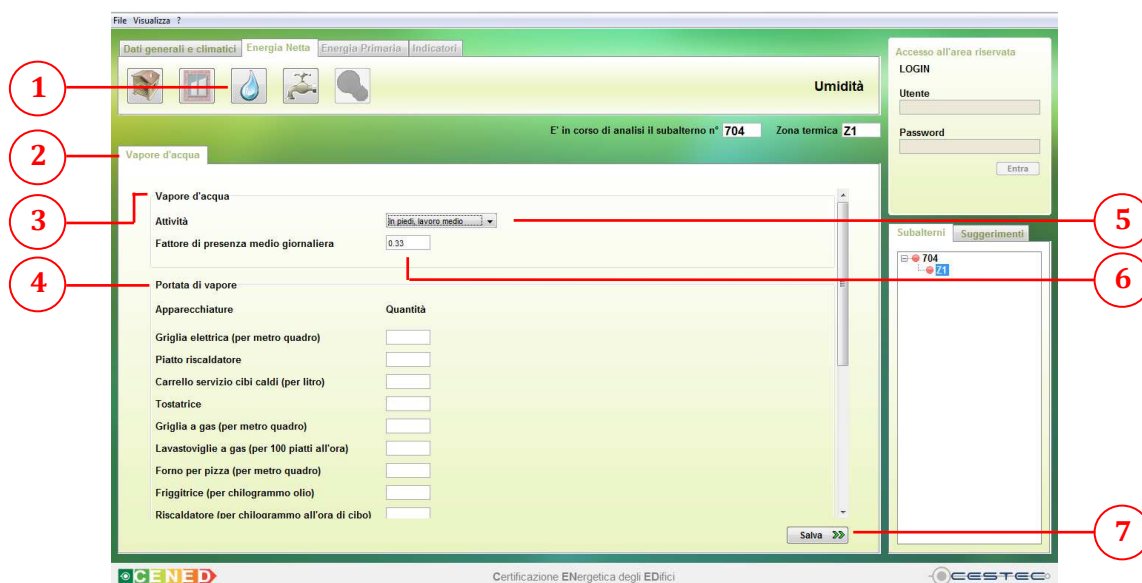


Figura 7.1: Sottomodulo "Umidità".



L'utente dovrà, quindi, scegliere, tra le attività proposte dal menù a tendina **Attività (5)**, quella che meglio descrive il suo caso e valutare il comportamento medio degli utenti della zona termica in analisi.

Alla scelta del tipo di **Attività (5)** il software associa un valore medio di portata di vapore g_v [g/(h·pers)] secondo quanto indicato al Prospetto XXVI del d.d.g. n. 5796, nel quale sono riportate le possibili applicazioni delle varie tipologie di attività.

La casella **Fattore di presenza medio giornaliero (6)** risulta già compilata, secondo quanto riportato nel Prospetto XXV del d.d.g. n. 5796, in funzione della categoria di edificio scelta come destinazione d'uso alla precedente sezione **Dati zona termica**. Il valore è ciò nonostante editabile, quindi l'utente, in presenza di dati di progetto, può modificare il valore proposto per descrivere più correttamente il caso oggetto di certificazione.

I campi del riquadro **Portate di vapore (4)** si riferiscono ad apparecchiature professionali specifiche per determinate destinazioni d'uso. L'utente deve inserire il numero di apparecchiature riscontrate nell'analisi della zona termica in esame in modo tale da computare la portata massica media giornaliera dovuta a tutte le apparecchiature presenti. A tal fine la Tabella 7.1 riporta anche le potenze elettriche associate alla portata di vapore proposta, in modo da permettere l'elaborazione dei valori di portata di vapore da inserire in funzione delle apparecchiature riscontrate in loco.

Allo scopo di rendere effettive tutte le modifiche appena eseguite è necessario cliccare sul pulsante **Salva (7)** ed accedere al successivo sottomodulo **Acqua Calda Sanitaria**.



Tabella 7.1: Valori medi della portata di vapore $G_{v,p}$, [g/h], dovuti alla presenza di apparecchiature caratterizzate dalla potenza massima assorbita P_{max} [W] (Prospetto XXVIII del d.d.g. 5796).

Portata di vapore per apparecchiature	P_{max} [W]	$G_{v,p}$ [g/h]
<i>Apparecchiature per ufficio</i>		
Macchine del caffè	1500	650
<i>Apparecchiature ospedaliere</i>		
Bagni	750=1800	350-850
<i>Apparecchiature per ristorante</i>		
<i>Apparecchiature elettriche senza cappa:</i>		
Caffettiera (per litro)		300
Lavastoviglie (per 100 piatti/h)		150
Riscaldatore a immersione (per litro)	50	10
Griglia (per metro quadro)	29000	1600
Piatto riscaldatore	4900	2300
Carrello servizio cibi caldi (per litro)	50	5
Tostatrice	5300	3500
<i>Apparecchiature a gas, senza cappa:</i>		
Griglia (per metro quadro)	50000	13000
Lavastoviglie (per 100 piatti all'ora)	400	50
Forno per pizza (per metro quadro)	15000	1000
<i>Apparecchiature a gas, con cappa:</i>		
Friggitrice (per chilogrammo olio)	1500	100
<i>Apparecchiature a vapore, senza cappa:</i>		
Riscaldatore (per chilogrammo all'ora di cibo)	200	15
Lavastoviglie (per 100 piatti all'ora)	900	150
Lavastoviglie (per 100 piatti all'ora)	350	150
<i>Negozi e supermercati</i>		
<i>Banchi frigoriferi aperti:</i>		
Surgelati, ad un piano (per metro di banco)	200	-50
Surgelati, a due piani (per metro di banco)	550	-200
Surgelati, a tre piani (per metro di banco)	1250	-450
Surgelati, a 4 o 5 piani (per metro di banco)	1550	-550
Gelati (per metro di banco)	350	-100
Carni, ad un piano (per metro di banco)	300	-100
Carni, a più piani (per metro di banco)	850	-300
Latticini, a più piani (per metro di banco)	750	-250
Altri prodotti, ad un piano	200	-50
Altri prodotti, a più piani	750	-250



Qualora venga modificata la destinazione d'uso scelta precedentemente, dopo che il sottomodulo **Umidità (1)** è già stato compilato, il software informa l'utente del cambiamento automatico del valore del fattore di presenza medio giornaliero nel sottomodulo **Umidità (1)**, tramite la finestra **Info (4)** (Figura 7.2). L'utente dovrà, quindi, rivalutare i valori precedentemente inseriti e verificarne l'esattezza.

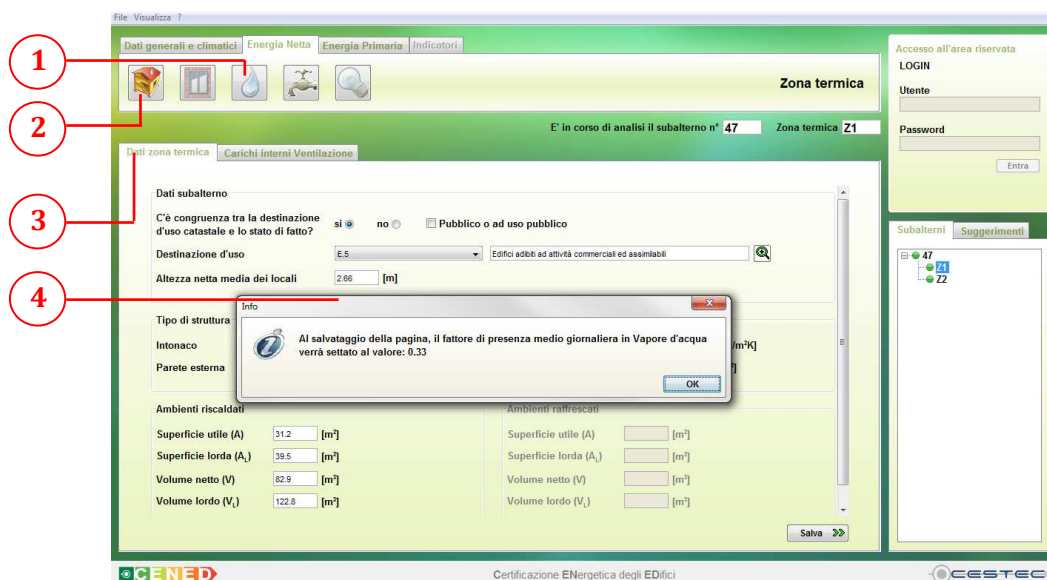


Figura 7.2: Avviso sull'aggiornamento automatico del fattore di presenza medio giornaliero.

Riquadro I: Il calcolo del carico latente

Per ciascuna zona, se servita da un impianto di climatizzazione che controlla l'umidità dell'aria, è necessario calcolare il fabbisogno convenzionale di energia termica latente necessario per ristabilire le condizioni di set-point previste (cfr § E.3 del d.d.g. n. 5796).

Il calore latente (di trasformazione) è la quantità di energia per unità di massa necessaria per ottenere una transizione di fase di una sostanza. Al fine di controllare il livello di umidità relativa dell'ambiente siamo interessati a determinare l'ammontare di energia assorbita o ceduta da una certa quantità di acqua durante il passaggio di stato liquido-vapore o vapore-liquido.

Nel caso di climatizzazione invernale, il carico latente immesso in ambiente dalle sorgenti interne piuttosto che dal sistema di ventilazione corrisponde tipicamente ad un apporto gratuito, riducendo l'energia che è necessario fornire al sistema di umidificazione per raggiungere il valore di umidità relativa di set-point. All'opposto, nel caso di climatizzazione estiva, il carico latente, che si aggiunge tipicamente al carico sensibile, corrisponde all'energia che il sistema di deumidificazione deve asportare dall'aria interna. Ad ogni coppia di valori "umidità relativa - temperatura" è associato il valore di umidità assoluta (kg_{H_2O}/kg_{AS}) dell'aria presente nell'ambiente.

Una volta definite:

- le condizioni di temperatura e umidità relativa di set-point;
- le eventuali sorgenti di vapore all'interno della zona termica;
- le condizioni dell'aria di rinnovo;

è possibile determinare il carico latente da asportare o eventualmente immettere utilizzando l'equazione seguente.



$$Q_{Wv} = \left[(G_{v,per} + G_{v,p}) + \left(\sum_{k=1}^{N_r} \rho_a \cdot \dot{V}_{v,k} \cdot (x_k - x_i) \right) \right] \cdot h_v \cdot \Delta t \quad (7.1)$$

dove:

Q_{Wv} è l'entalpia del vapore di acqua prodotto all'interno della zona da persone, processi e sorgenti varie (cottura, lavaggi, ecc.) e della quantità netta di vapore di acqua introdotta nella zona dagli scambi d'aria con l'ambiente circostante per infiltrazione, aerazione e/o ventilazione [kWh];

$G_{v,per}$ è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di persone, [g/h];

$G_{v,p}$ è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di apparecchiature, [g/h];

ρ_a è la massa volumica dell'aria, pari a 1,2 kg/m³;

$\dot{V}_{v,k}$ è la portata volumetrica d'aria media giornaliera k-esima della zona dovuta a ventilazione naturale o aerazione o infiltrazione e dalla ventilazione meccanica, solo se distinta dalla portata d'aria di processo per il controllo dell'umidità dell'aria, [m³/h];

x_k è l'umidità massica media giornaliera dell'aria umida entrante con il ricambio d'aria k-esimo, [g_{H2O}/kg_{AS}];

x_i è l'umidità massica media giornaliera dell'aria umida uscente con il ricambio d'aria k-esimo, che si assume pari al valore dell'umidità prefissata per l'aria della zona, [g_{H2O}/kg_{AS}];

h_v è l'entalpia specifica del vapore di acqua convenzionalmente posta pari a 0,695 Wh/g;

Δt è la durata del tempo considerato, [kh].

Si propone, quindi, un esempio di calcolo di carico latente nel caso di climatizzazione estiva, nel mese di agosto a Milano. Sono assunte le seguenti condizioni, valutate come quelle di un ufficio:

- le condizioni esterne medie mensili (riferimento prospetto XXVII del d.d.g. n. 5796) corrispondono ad una pressione parziale di vapore di 2012 Pa, da cui deriva una umidità massica media giornaliera di 12,6 g_{H2O}/kg_{AS};
- la zona termica ha set-points di 26°C di temperatura e 50% di umidità relativa, da cui deriva una umidità massica media giornaliera di 10,8 g_{H2O}/kg_{AS};
- l'ufficio è utilizzato 24 ore al giorno con fattore di presenza medio giornaliero pari a 8/24 (prospetto XXV d.d.g. n. 5796), per 31 giorni, da 3 persone con attività "seduto in attività media"; si assume, quindi, un'immissione di vapore $g_v = 80$ g/(h pers) (prospetto XXVI d.d.g. n. 5796) ed un ricambio orario di 39,6 m³/(h pers) (prospetto XI d.d.g. n. 5796). Si hanno, perciò, immissioni di vapore di $G_v = 240$ g/h * 8/24 = 80 g/h e la portata volumetrica d'aria è pari a 118,8 m³/h, per un numero di ore mensili pari a 744 h;
- non sono presenti apparecchiature significative per le immissioni di vapore.

$$Q_{Wv} = \left[\left(80 \frac{g}{h} + 0 \frac{g}{h} \right) + \left(1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 118,8 \frac{m^3}{h} \cdot (12,6 - 10,8) \frac{g}{kg} \right) \right] \cdot 0,695 \frac{Wh}{g} \cdot 0,744 \cdot kh = 174 [kWh] \quad (7.2)$$

Riquadro II: La condensa superficiale, caso studio

Esempio:

Determinazione delle condizioni ambiente in una camera da letto matrimoniale occupata da 2 persone prima e dopo una notte di riposo.

Alla base di questo esempio vi sono le seguenti 2 ipotesi:

- l'ambiente prima di essere occupato è nelle condizioni di set-point;
- durante la notte la temperatura è costantemente mantenuta alle condizioni di set-point.

Utilizzando il concetto espresso dall'equazione 7.1 è possibile determinare il valore dell'umidità assoluta presente in ambiente nel caso non vi sia un sistema adibito al suo controllo prima e dopo l'occupazione per il riposo notturno dello stesso, valutandolo con l'equazione 7.3:



$$x_{i_h07.00} = \frac{\left\{ (G_{v,per} + G_{v,p}) + [\rho_a \cdot \dot{V}_{v,k} \cdot (x_k - x_{i_h22.00})] \right\}}{\rho_a \cdot V} \cdot \Delta t + x_{i_h22.00} = \quad (7.3)$$

$$= \frac{\left\{ (100 + 0) + [1,2 \cdot 11,34 \cdot (5 - 7,4)] \right\}}{1,2 \cdot 37,8} \cdot 9 + 7,4 = 20,8 [g/kg]$$

dove:

$G_{v,per}$ è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di persone pari a $50 \text{ g}/(\text{h pers}) \cdot 2 \text{ pers} = 100 \text{ g}/\text{h}$;

$G_{v,p}$ è la portata massica media giornaliera di vapore d'acqua dovuta alla presenza di apparecchiature pari a $0 \text{ g}/\text{h}$ perché non vi sono apparecchiature che producono vapore all'interno del locale;

ρ_a è la massa volumica dell'aria, pari a $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$;

$\dot{V}_{v,k}$ è la portata volumetrica d'aria media oraria della camera dovuta a ventilazione naturale o aerazione o infiltrazione e dalla ventilazione meccanica pari a:

$$V \cdot n = (S \cdot h_{netta}) \cdot n = 37,8 \text{ m}^3 \cdot 0,3 \text{ h}^{-1} = 11,34 \text{ m}^3/\text{h} \quad (7.4)$$

dove:

V è il volume netto della camera, pari a $37,8 \text{ m}^3$;

n è il numero di ricambi d'aria pari a $0,3 \text{ h}^{-1}$ nell'ipotesi di: serramenti chiusi e con prestazioni di tenuta all'aria non ottime;

S è la superficie calpestabile della camera, pari a 14 m^2 ;

h_{netta} è l'altezza interpiano netta della camera, pari a $2,7 \text{ m}$;

x_k è l'umidità massica dell'aria umida entrante con il ricambio d'aria, pari a $5 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{AS}}$;

$x_{i_h22.00}$ è l'umidità massica dell'aria umida uscente con il ricambio d'aria, che si assume pari al valore dell'umidità assoluta prefissata per l'aria della zona pari a $7,4 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{AS}}$ (umidità assoluta associata alle condizioni di set-point);

T_{set} è la temperatura di set-point dell'ambiente, pari a 20°C ;

$U.R._{set}$ è l'umidità relativa di set-point dell'ambiente, pari a 50% ;

Δt è l'intervallo temporale su cui è svolta l'analisi, pari a 9 h (essendo compreso fra le $22:00$ e le ore $7:00$ dell'indomani).

Dal risultato del precedente calcolo pari a $x_{i_h07.00} = 26,8 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{AS}}$ e dall'ipotesi che l'ambiente sia mantenuto costantemente a 20° è possibile determinare univocamente l'umidità relativa in ambiente pari a $U.R. = 100\%$, condizione che si raggiunge con una quantità di circa $15 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{AS}}$. Tale valore è determinabile sia per via analitica utilizzando le relazioni che legano le grandezze proprie dell'aria umida, sia per via grafica aiutandosi con la Figura 7.3.

L'umidità relativa ha raggiunto il suo limite superiore, ciò significa che l'ambiente si colloca in condizione di saturazione di vapore e che, quindi, una quota parte del vapore immesso in ambiente subisce il passaggio di stato vapore-liquido, condensando tipicamente sulle pareti più fredde.

La condizione per la formazione di condensa superficiale in un ambiente è quella per cui una o più superfici si trovano a una temperatura inferiore o uguale alla temperatura di rugiada dell'aria umida. Dato il valore di temperatura e umidità relativa tramite l'utilizzo di un diagramma psicometrico, il valore della temperatura di rugiada è facilmente determinabile. È sufficiente spostarsi lungo la retta a umidità assoluta costante fino a intercettare la curva dell' $U.R. = 100\%$ e leggere la temperatura a bulbo secco associata (Figura 7.3).

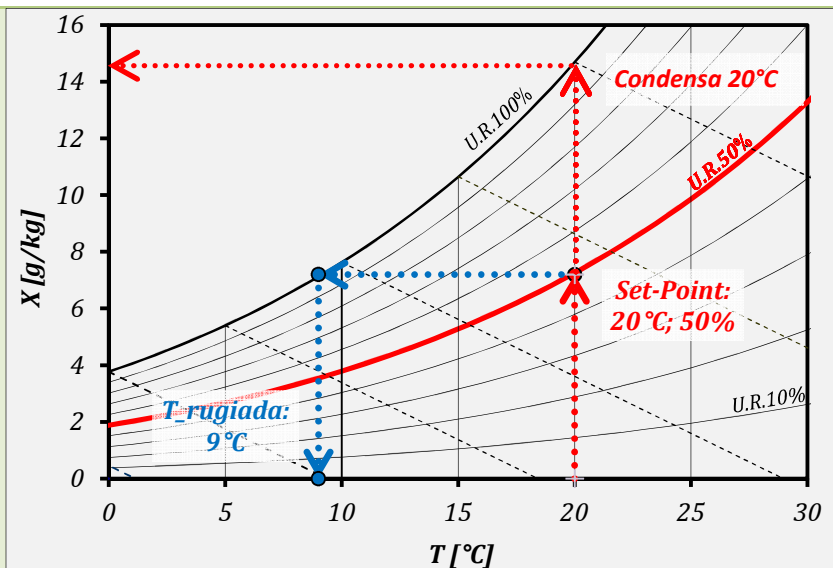


Figura 7.3: La temperatura di rugiada sul diagramma psicrometrico dell'aria umida.

Dal precedente grafico è, dunque, possibile determinare la temperatura di rugiada e conoscere a priori le condizioni per cui vi potrebbe essere formazione di condensa superficiale.

Dalla lettura del grafico è, inoltre, possibile ricavare le temperature superficiali minime delle superfici interne dell'involucro edilizio per cui non si ha formazione di condensa superficiale.

Elementi dell'involucro edilizio particolarmente conduttivi e normalmente definiti ponti termici (interfaccia parete- serramento, trave di bordo, pilastri in sezione di parete, ecc.) devono essere progettati in modo che la loro temperatura superficiale non scenda al di sotto dei 9°C, con le condizioni di set point proposte. Al crescere del tasso di umidità il valore minimo della temperatura di rugiada tenderà ad incrementarsi; allo stesso modo al crescere della temperatura la quantità massima di vapore acqueo contenibile dall'ambiente è maggiore.