

# UMIDIFICAZIONE DELL'ARIA

PER VALUTARE COME L'UMIDITÀ DELL'ARIA INFLUISCE SUL BENESSERE FISICO DELLE PERSONE OCCORRE TENERE CONTO DI DIVERSI FATTORI, IN PARTICOLARE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DELLA TEMPERATURA. SE I RELATIVI PARAMETRI SONO CORRETTI, PER UNA PERSONA SANA È SUFFICIENTE, IN INVERNO, UN'UMIDITÀ RELATIVA DELL'ARIA DEL 30%. LIMITANDO LA TEMPERATURA DEI LOCALI A 21 °C, VENTILANDO QUANTO NECESSARIO E FILTRANDO BENE L'ARIA NON È NECESSARIO RICORRERE A UN'UMIDIFICAZIONE ARTIFICIALE. QUESTO CONSENTE GRANDI RISPARMI IN TERMINI DI DENARO ED ENERGIA.

La presente scheda informativa tratta il tema dell'umidificazione dell'aria negli ambienti chiusi in condizioni climatiche normali ed è destinata soprattutto a specialisti e progettisti di impianti di ventilazione controllata, architetti e responsabili della gestione tecnica degli edifici. È indirizzata anche a persone che soffrono di disturbi della pelle, degli occhi o dell'apparato respiratorio riconducibili all'aria troppo secca. Gli esempi illustrati nella scheda sono validi sia per gli ambienti aerati naturalmente che per quelli ventilati meccanicamente.

Per valutare come l'umidità dell'aria influisce sul benessere fisico delle persone occorre tenere conto di diversi aspetti:

- fisica dell'aria umida;
- elementi di fisiologia umana;
- elementi di igiene dell'aria e di fisica delle costruzioni;
- elettrostatica;
- consumo energetico.

## INFORMAZIONI BIBLIOGRAFICHE

Da approfondite ricerche effettuate dalla Scuola universitaria di Lucerna in norme, basi legali articoli scientifici, libri specializzati e «letteratura grigia» nazionali e internazionali emergono due elementi fondamentali.

Fino ai tardi anni Novanta, la letteratura specializzata indica un range del tasso di umidità relativa (UR) per gli ambienti chiusi compreso fra 40 e 60%. La maggior parte di questi dati si basa su uno studio di Scofield und Sterling [1] che indica tale range come ottimale in quanto sarebbe quello in cui la crescita dei microorganismi (virus, batteri, acari, muffe ecc.) è minore. Nel 2006 questo studio è stato rielaborato e il range è stato ampliato a 30–70% UR [2]. La **figura 1** sintetizza i risultati aggiornati della ricerca.

Dai pertinenti documenti emergono risultati contrastanti per quanto riguarda l'influsso dell'umidità relativa sul benessere delle persone. Spesso, durante le ricerche, non sono stati considerati o indicati gli altri parametri in grado di influire sulla qualità dell'aria. A questo riguardo sono per es. fondamentali i materiali da costruzione utilizzati, le caratteristiche dei fruitori dei locali, gli apparecchi presenti nei locali stessi, il trattamento subito dall'aria immessa e le modalità di ventilazione. Spesso vengono attribuiti alla secchezza dell'aria disturbi che possono trarre origine anche da altre carenze a livello della qualità dell'aria come, per esempio, elevata presenza di polveri, formaldeide e composti organici volatili (VOC) o fumo di tabacco. Per valutare correttamente in che modo l'umidità relativa influisce sul benessere delle persone devono quindi essere considerati contemporaneamente tutti gli aspetti rilevanti.



## LA FISICA DELL'ARIA UMIDA

Dal punto di vista fisico, l'aria è caratterizzata principalmente da tre parametri: temperatura, pressione e contenuto assoluto di vapore acqueo. Si tratta di parametri correlati: quanto più elevata è la temperatura dell'aria, tanto maggiore è la quantità d'acqua che l'aria stessa può contenere sotto forma di vapore invisibile. In **tabella 1** è illustrato, a titolo esemplificativo, il caso di una località a 540 m s.l.m. con una pressione in condizioni normali di 950 hPa (950 mbar). Il contenuto di vapore acqueo è indicato in grammi per chilogrammo di aria (secca) [g<sub>acqua</sub>/kg<sub>aria</sub>].

L'umidità relativa dell'aria indica il rapporto fra la pressione di vapore dell'acqua effettivamente contenuta nell'aria e la pressione di vapore in condizioni di saturazione. A parità di contenuto assoluto di vapore acqueo, l'umidità relativa varia in funzione della temperatura e dell'altitudine. La **tabella 2** indica la corrispondenza fra il contenuto assoluto di vapore e l'umidità relativa alla temperatura di 20°C all'altezza di 540 m s.l.m. Nella prassi, per descrivere uno stato dell'aria è generalmente sufficiente indicarne la temperatura e il contenuto di vapore acqueo e/o l'umidità relativa.

Le variazioni di stato dell'aria possono essere rappresentate nel cosiddetto diagramma h,x di Mollier. La **figura 2** mostra un diagramma semplificato, con il seguente esempio: aria esterna (umidità relativa dell'aria = 40%) alla temperatura di 0°C e contenuto assoluto di vapore acqueo pari a 1,55 g per kg d'aria (g<sub>acqua</sub>/kg<sub>aria</sub>). Alla temperatura di 21°C ogni kg d'aria può trattene- re 16,7 g di acqua (il relativo dato non è raffigurato nel diagramma). Riscaldando l'aria esterna da 0°C a 21°C senza aggiungere vapore, l'umidità relativa scende al 10% perché il vapore presente

è ora solo un decimo di quello che potrebbe essere contenuto nella medesima

Se si vuole che l'aria scaldata a 21°C abbia un'umidità relativa pari al 30% UR occorre aggiungere la quantità d'acqua mancante, cioè la differenza fra 1,55 e 4,65 g<sub>acqua</sub>/kg<sub>aria</sub> = 3,1 g<sub>acqua</sub>/kg<sub>aria</sub>. Ciò significa che in un locale avente una superficie di 30 m<sup>2</sup>, un'altezza di 2,5 m e un ricambio naturale d'aria pari a 0,5 volte all'ora (corrisponde a una corretta aerazione attraverso le finestre) devono essere vaporizzati 145 g di acqua ogni ora (30 m<sup>2</sup> \* 2,5 m \* 0,5 h<sup>-1</sup> \* 1,25 kg<sub>aria</sub>/m<sup>3</sup> \* 3,1 g<sub>acqua</sub>/kg<sub>aria</sub> = 145 g<sub>acqua</sub>/h).

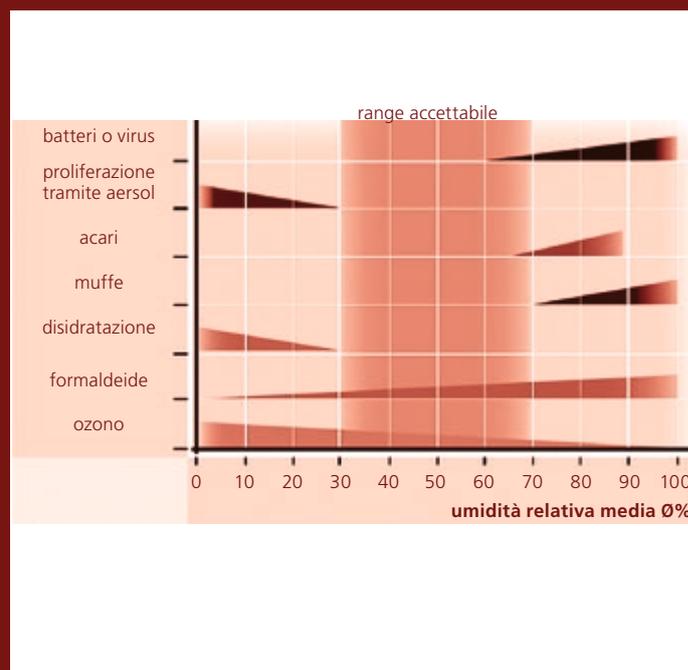
Ciò avviene in parte tramite la cessione di vapore acqueo da parte di persone e piante attraverso l'evaporazione naturale. Alla temperatura di 20°C, una persona perde ogni ora circa 50 grammi di acqua svolgendo attività tranquille e circa 130 grammi se svolge lavori domestici. Quantità analoghe di vapore acqueo vengono cedute dalle piante di grandi dimensioni, se vengono annaffiate con circa un litro d'acqua al giorno. Cucinare, farsi la doccia e asciugare biancheria in casa sono altre attività che producono vapore acqueo e che possono contribuire ad aumentare l'umidità dell'aria di un ambiente chiuso. L'eventuale umidificazione restante dovrebbe avvenire attraverso sistemi artificiali di vaporizzazione. Per ogni kg (litro) di acqua occorrerebbero circa 0,7 chilowattora [kWh] di energia termica.

L'esempio dimostra che, in condizioni di elevata temperatura ambiente e di cattiva aerazione dei locali (per es. finestre sempre aperte a ribalta in inverno), il fabbisogno di umidificazione può aumentare di molto, e di conseguenza anche il consumo di energia. Questo fatto è illustrato graficamente più avanti.

Temperatura dell'aria	Contenuto massimo di vapore acqueo	Contenuto assoluto di vapore acqueo	Umidità relativa (UR) a 20°C
-20°C	0,7 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	0,0 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	0% UR
-10°C	1,7 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	3,1 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	20% UR
0°C	4,1 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	6,3 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	40% UR
10°C	8,2 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	9,4 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	60% UR
20°C	15,7 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	12,6 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	80% UR
30°C	28,4 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	15,7 g <sub>acqua</sub> /kg <sub>aria</sub>	100% UR

**Tabella 1:** contenuto massimo di vapore acqueo nell'aria a diverse temperature, a 540 m s.l.m.

**Tabella 2:** contenuto assoluto e relativo di vapore acqueo nell'aria a 20°C, a 540 m s.l.m.



**Figura 1:** come l'umidità relativa dell'aria in un ambiente influisce su determinati aspetti di rilievo per la salute

## ELEMENTI DI FISILOGIA UMANA

In una persona sana le mucose delle vie aeree, delle cavità nasali e della faringe costituiscono un potente sistema di umidificazione, in grado di impedire la comparsa di disturbi della funzione respiratoria dovuti a un tasso di umidità inadeguato.

Infatti l'aria inspirata, nel suo percorso fino agli alveoli, le ramificazioni più esterne dei polmoni, viene riscaldata a 37°C e umidificata fino a 100% UR. Indipendentemente dal «grado di secchezza» dell'aria inspirata, il sistema di umidificazione naturale è sufficiente a innalzare l'umidità relativa dell'aria a 80–90% UR nella faringe e successivamente a 90–99% UR nella trachea [3–8] (**figura 3**). Solo in persone anziane è stato osservato un possibile effetto dell'aria secca sulla capacità di autodepurazione delle vie respiratorie [9].

Per quanto riguarda la relazione fra aria secca e effetti fisiologici sulle vie respiratorie, sugli occhi e sulla pelle, la letteratura scientifica si basa fondamentalmente sul range di valori accettabili per l'umidità relativa, che parte da 30% UR. Se l'umidità relativa non scende troppo al di sotto di tale soglia per un periodo considerevole di tempo, non vi sono da temere effetti negativi sulla salute per le persone sane, a condizione che la temperatura ambiente sia adeguata e che l'igiene dell'aria sia sufficiente. [10, 11].

In caso di gravi patologie dell'apparato respiratorio come bronchite cronica, enfisema, asma e anche in caso di gravi malattie della pelle, un'umidità elevata dell'aria è importante, soprattutto quando i pazienti accusano affanno o febbre. Un'umidificazione di questo genere può essere effettuata localmente con apparecchi medicali che garantiscono l'igiene e la qualità dell'aria necessarie.

Anche per alcune categorie di persone particolarmente sensibili un'umidificazione dell'ambiente può essere opportuna in determinate circostanze. Si tratta per esempio di persone che hanno già sofferto di una malattia dell'apparato respiratorio (per es. sinusite) e che reagiscono con maggiore rapidità e intensità a situazioni di discomfort termico (secchezza dell'aria, correnti d'aria).

## ELEMENTI DI IGIENE DELL'ARIA E DI FISICA DELLE COSTRUZIONI

È dimostrato che quando l'umidità dell'aria è eccessiva si verificano problemi igienici nell'impianto di umidificazione stesso, nei condotti dell'aria, nei filtri o sulle pareti più fredde dei locali, dove si creano condizioni ideali per la proliferazione di microorganismi indesiderati di ogni specie. Raffreddore, bronchite, asma e tosse cronica sono disturbi documentati quando l'elevata umidità dell'aria in un ambiente chiuso porta alla formazione di muffe [12]. Un elevato tasso di umidità favorisce anche la crescita degli acari della polvere. Problemi dovuti all'umidità possono portare a disturbi che si manifestano ancor prima che compaiano le tipiche macchie di muffa negli angoli più freddi dei locali e dietro i mobili.

## ELETTROSTATICA

L'aria umida, di per sé, è isolante, ma può rendere conduttrice la superficie di numerosi materiali isolanti. Tuttavia, solamente a partire da tassi di umidità relativa superiori a 65% UR la resistenza elettrica di una superficie viene ridotta a tal punto da consentire una sostanziale messa a terra. Mentre per esempio il vetro o le fibre naturali posseggono questa proprietà, lo stesso non si può dire per molti altri materiali quali il politetrafluoroetilene PTFE o il polietilene PE.

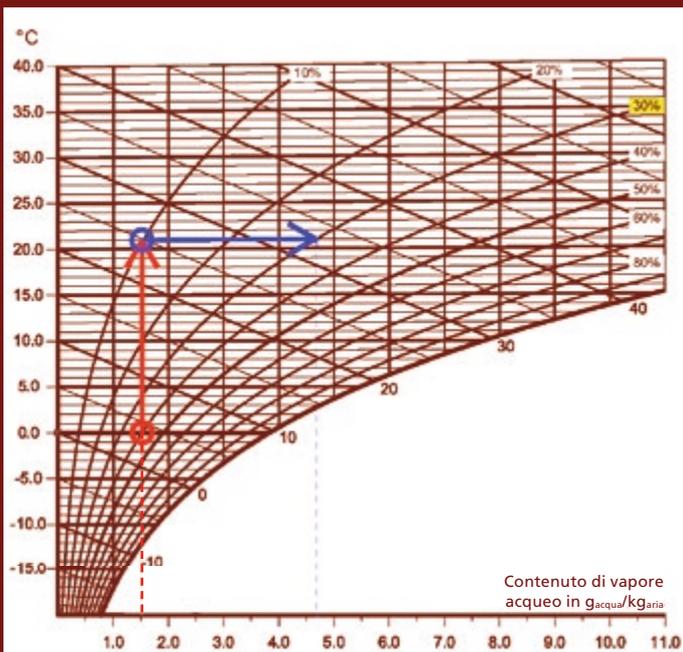


Figura 2: diagramma h,x di Mollier con l'esempio riportato nel testo

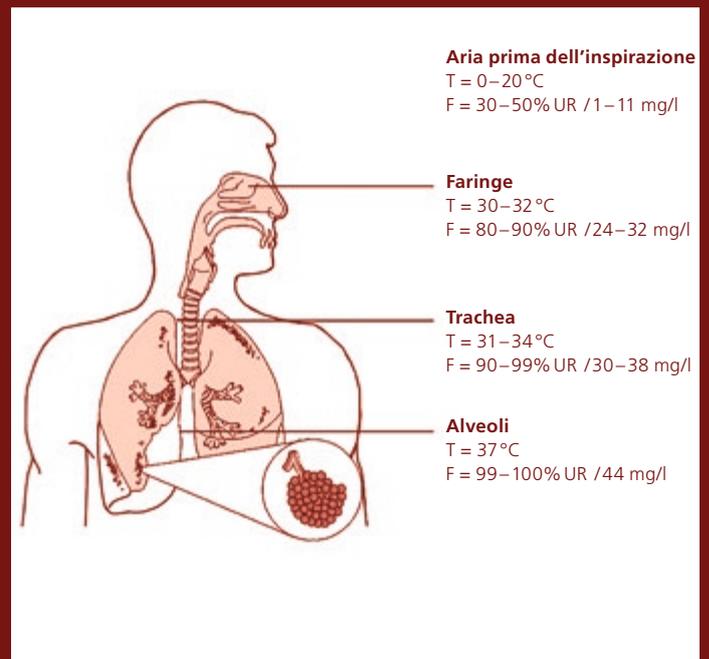


Figura 3: umidificazione dell'aria nell'apparato respiratorio (T: temperatura; U: umidità)

Per evitare scariche elettrostatiche, un'umidificazione attiva non è la misura più appropriata. È più sensato scegliere i materiali costruttivi che possiedano caratteristiche di compensazione del potenziale (messa a terra) tali da evitare accumuli di cariche elettrostatiche. Pavimenti conduttivi collegati all'impianto di terra della casa e bracciali antistatici sono l'unico sistema efficace e sicuro per prevenire le scariche elettrostatiche eventualmente pericolose per le persone (per es. in una camera operatoria) e per determinati oggetti.

Normalmente le leggere scosse elettriche dovute alle scariche elettrostatiche sono solamente fastidiose, ma non pericolose. Se tuttavia si verificano più volte al giorno per un lungo periodo di tempo è opportuno rimuoverne la causa. Le misure che possono essere adottate sono le seguenti:

- nel caso delle sedie da ufficio, sia le ruote che le fodere in fibre artificiali possono portare ad un accumulo di cariche elettrostatiche. Tappetini antistatici sotto la postazione di lavoro e ruote speciali possono contribuire ad alleviare il problema;
- le superfici delle scrivanie e dei tavoli da lavoro devono essere realizzate con materiali in grado di disperdere l'elettricità statica. Se sulla scrivania è posato un sottomano in materiale plastico, è opportuno rimuoverlo;
- i capi di vestiario in cotone accumulano meno elettricità statica dei capi in seta o in fibre artificiali. Le scarpe con soles di gomma creano spesso problemi sui pavimenti in moquette. Soles in cuoio o scarpe con soles speciali evitano l'accumulo di cariche elettrostatiche;
- se le situazioni problematiche ora elencate possono essere

escluse, è necessario intervenire sul rivestimento del pavimento. Generalmente è sufficiente un trattamento antistatico del pavimento. In caso contrario il rivestimento deve essere sostituito.

## CONSUMO ENERGETICO

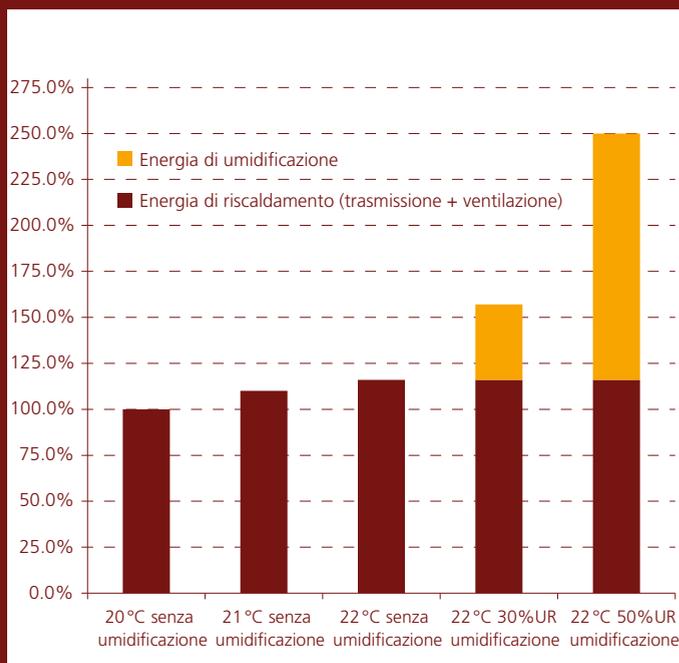
Se è necessario ricorrere all'umidificazione dell'aria dell'ambiente interno, occorre considerare anche il consumo energetico che ne deriva e che dipende fortemente dal grado di umidità richiesto e dalle condizioni d'esercizio.

È generalmente noto che un aumento di 1 °C della temperatura ambiente comporta un incremento del consumo di energia di circa il 6% (sull'Altopiano svizzero). Quasi nessuno si rende conto del fatto che la richiesta di un tasso di umidità relativa pari al 50% comporta un consumo energetico per il riscaldamento e l'umidificazione più che doppio rispetto a un analogo edificio senza umidificazione attiva (**figura 4**).

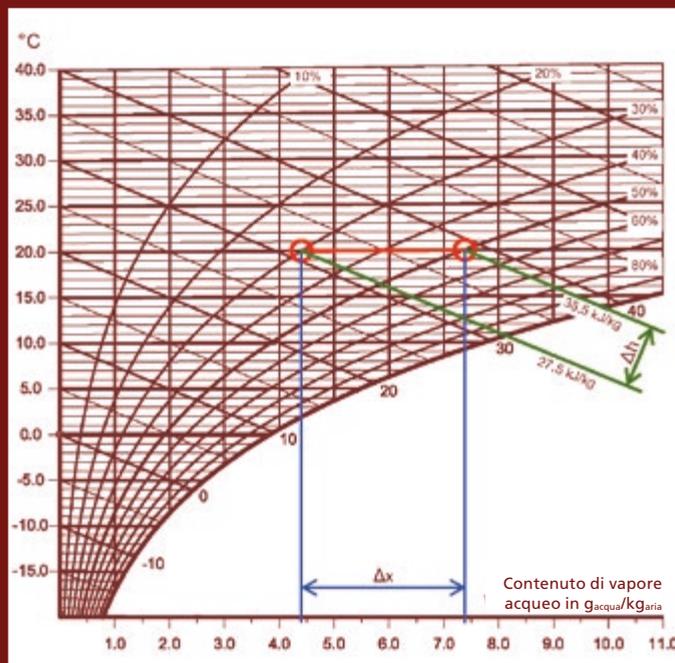
## ESEMPIO PRATICO

Quanta energia elettrica è necessaria per portare l'umidità relativa dell'aria da 30% UR a 50% UR in un impianto di ventilazione controllata per mezzo di un umidificatore a vapore? La temperatura dell'aria è di 20 °C e la portata massica di aria secca è pari a 0,1 kg/s (ventilazione di casa unifamiliare con portata volumetrica pari a ca. 310 m<sup>3</sup>/h).

Dal diagramma h,x (**cf. figura 5**) si evincono le seguenti relazioni:



**Figura 4:** consumo energetico annuo di una palazzina per uffici a Zurigo. Ipotesi: ricambio d'aria durante la notte 0,5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, durante il giorno 2,0 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> tasso di efficienza annua del recupero di calore: 90%



**Figura 5:** Variazione di stato in caso di umidificazione con vapore

stato dell'aria 1: temperatura 20°C,  
 umidità assoluta 4,4 g<sub>acqua</sub>/kg<sub>aria</sub>  
 densità energetica 31,0 kJ/kg<sub>aria</sub>

stato dell'aria 2: temperatura 20°C,  
 umidità assoluta 7,4 g<sub>acqua</sub>/kg<sub>aria</sub>  
 densità energetica 38,5 kJ/kg<sub>aria</sub>

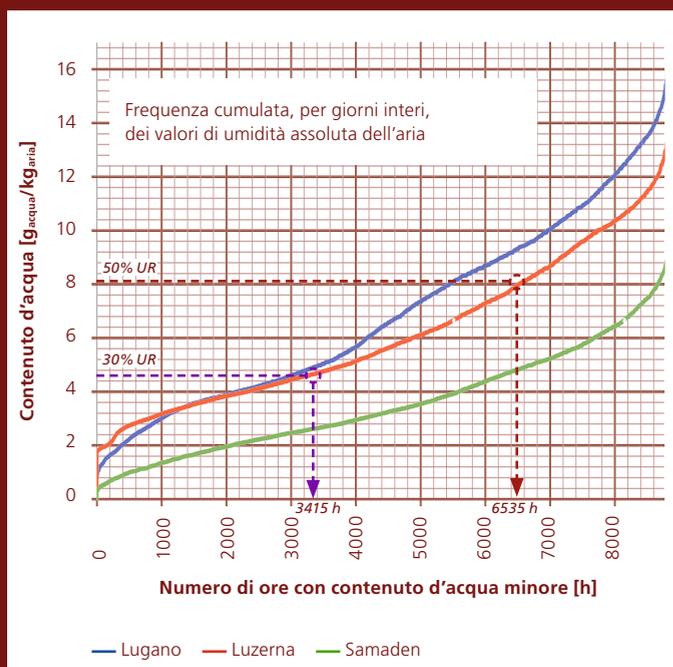
differenza umidità assoluta  $\Delta x$  = 3,0 g<sub>acqua</sub>/kg<sub>aria</sub>  
 differenza densità energetica  $\Delta h$  = 7,5 kJ/kg<sub>aria</sub>  
 fabbisogno d'acqua: 0,1 kg<sub>aria</sub>/s \* 3,0 g<sub>acqua</sub>/kg<sub>aria</sub> = 0,3 g<sub>acqua</sub>/s = 1,08 kg<sub>acqua</sub>/h  $\approx$  1,08 l<sub>acqua</sub>/h  
 potenza elettrica: 0,1 kg<sub>aria</sub>/s \* 7,5 kJ/kg<sub>aria</sub> = 0,75 kJ/s = 0,75 kW  
 energia elettrica giornaliera: 12 h \* 0,75 kW = 9 kWh

Per calcolare il fabbisogno energetico per l'umidificazione artificiale, sono oggi disponibili dati meteorologici orari per tutte le regioni della Svizzera. La **figura 6** mostra, prendendo come esempio Lucerna, il numero di ore all'anno in cui occorrerebbe umidificare se si volesse avere il 30% o il 50% di umidità relativa in un ambiente con temperatura di 20°C.

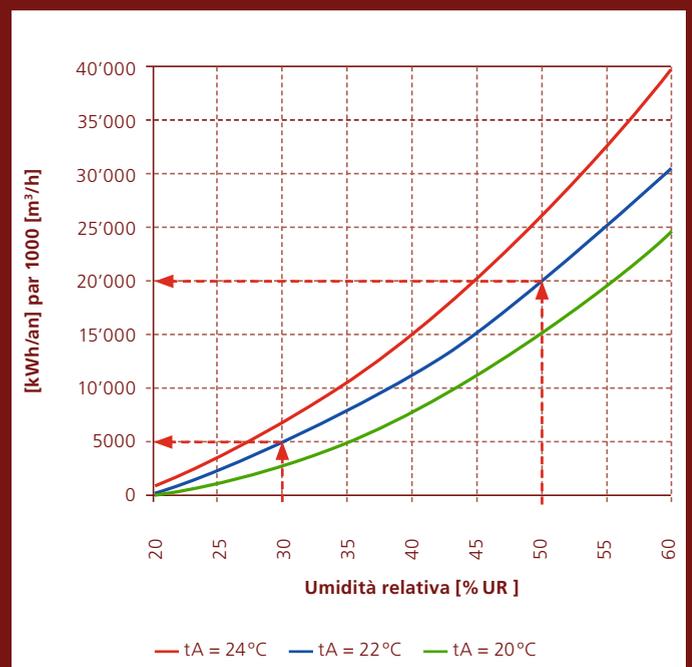
La superficie al di sotto di una curva integrale fino al contenuto d'acqua corrispondente all'umidità relativa desiderata (a 20°C) rappresenta il quantitativo annuo di acqua necessario per umidificare nel modo desiderato ogni kg di aria messo in circolazione. Moltiplicando il flusso massico dell'aria per il calore di evaporazione dell'acqua si ottiene il fabbisogno energetico

annuo per l'umidificazione (senza tenere conto delle perdite). Questo calcolo è presentato nel grafico delle **figura 7** sull'esempio di un impianto avente una portata di 1000 m<sup>3</sup>/h di aria esterna. Questo grafico può essere utilizzato per stimare il fabbisogno energetico annuo per l'umidificazione per valori di temperatura ambiente e di umidità relativa desiderati. A tale scopo, il valore riportato sull'asse delle ordinate in corrispondenza dell'umidità relativa e della temperatura desiderate deve essere diviso per 1000 e moltiplicato per il flusso massico di aria esterna dell'impianto considerato (in m<sup>3</sup>/h).

In realtà il fabbisogno energetico per l'umidificazione è ancora maggiore. Oltre alla necessità di effettuare periodicamente una pulizia degli umidificatori occorre infatti considerare anche i maggiori consumi determinati da temperature più elevate dovute a importanti carichi interni. Invece di ricorrere a un'ulteriore umidificazione, per mantenere l'umidità relativa desiderata d'inverno è meglio evitare un'eccessiva temperatura ambiente. Un altro metodo vantaggioso per risparmiare energia è la riduzione notturna dell'umidità. La mattina, nella fase di riavvio dell'impianto, grazie al trascurabile accumulo di umidità, un'umidità dell'aria ridotta non ha un effetto negativo sul consumo, diversamente da una ridotta temperatura ambiente. È opportuno, piuttosto, che la mattina l'aumento dell'umidità per raggiungere il valore previsto non avvenga prima di un'ora. In tal modo si evitano un'umidificazione immediata alla massima potenza e il pericolo di presenza di bagnato su parti dell'impianto. A questo riguardo può essere utile un sistema di controllo dell'umidità dell'aria immessa.



**Figura 6:** diagramma delle frequenze cumulate del contenuto di vapore acqueo per tre località (valori per giorni interi) con l'esempio di Lucerna: ore in cui è necessario umidificare per avere un tasso di umidità negli ambienti interni pari a 30% al 50% dopo aver riscaldato l'aria esterna a 20°C



**Figura 7:** fabbisogno energetico annuo minimo per l'umidificazione di 1000 m<sup>3</sup>/h di aria esterna fino al raggiungimento del tasso di umidità relativa desiderato, a diverse temperature ambiente tA (esempio valido per l'Altopiano svizzero)

## SINTESI E RACCOMANDAZIONI

- L'apparato respiratorio umano è un sistema di regolazione dell'umidità perfettamente funzionante.
- Non vi è alcuna evidenza medica che giustifichi un'umidificazione attiva nei normali impianti di ventilazione controllata nella regione dell'Altipiano.
- Gli impianti di ventilazione con regolazione basata sulla presenza di persone (per es. regolazione con sensori di CO<sub>2</sub>) hanno anche l'effetto che l'umidità relativa dell'aria nei locali scende raramente al di sotto del 30% UR, grazie all'elemento umano come fonte di umidità.
- Prima di progettare e installare un impianto per l'umidificazione dell'aria è necessario assicurare una qualità ineccepibile dell'aria all'interno degli ambienti attraverso l'impiego di materiali esenti da sostanze tossiche e di un impianto di ventilazione dotato di buoni filtri per le polveri fini (F7-F9).
- Se risulta tuttavia necessario ricorrere a un'umidificazione artificiale dell'aria, è sufficiente un tasso di circa 30% UR alla temperatura di circa 21 °C.

### NORME E DIRETTIVE

Si osservi che le seguenti indicazioni relative all'umidificazione si riferiscono essenzialmente ad ambienti con ventilazione meccanica.

Le norme e le direttive attualmente in vigore (SIA, CFSL, VDI, DIN, ASHRAE) indicano il range 30 - 60 (70) % UR. Inoltre, secondo le norme SIA e le direttive VDI, si può scendere sotto il limite del 30% UR per il 10% del tempo di occupazione dell'edificio (SIA 382/1:2014 e SIA 180:2014, n. 3.5.1.3 e 3.5.1.4) [13, 14].

Ciò è riportato espressamente anche nelle Indicazioni concernenti la legge sul lavoro (OLL 3, art. 16, Indicazioni relative alle ordinanze 3 e 4 concernenti la legge sul lavoro, cap. 2, sez. 2, art. 16).

Un'umidificazione attiva può essere opportuna se non addirittura necessaria in alcuni casi particolari come, per es. in archivi speciali, musei, ambienti con materiali sensibili, laboratori o impianti di produzione con esigenze particolari in fatto di umidità relativa.

### GRUPPO DI ACCOMPAGNAMENTO

Dr. med. Otto Brändli, Consigliere di fondazione e Presidente della Swiss Lung Foundation

Alessandro Cerminara, Ingenieur Hospital Schweiz IHS, Gli ospedali svizzeri H+ Adrian Grossenbacher, Ufficio federale dell'energia (UFE)

Dr. Christian Monn, Segretariato di Stato dell'economia (Seco)

Roger Waeber, Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP)

Prof. Kurt Hildebrand, docente di impiantistica presso la Scuola universitaria di Lucerna, Commissione SIA per le norme sull'impiantistica e l'energia (KGE)

Prof. Dr. Rüdiger Külpmann, docente di impiantistica presso la Scuola universitaria di Lucerna, presidente della sezione «Klima und Raumlufttechnik» della Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene

Prof. Arnold Brunner, docente di impiantistica presso la Scuola universitaria di Lucerna, consulente in impiantistica di HBS-Group, responsabile direttiva filtri dell'aria SWKI

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Scofield and Sterling (1985-01) Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings (ASHRAE Transactions Vol. 91; 611-622)
- [2] R. Lazzarin und L. Nalini (2004) Air Humidification – Technical Health and Energy Aspects (Carel Industries S.p.A, Brugine Italy)
- [2a] A. V. Baughman, E. A. Arens (1996) Indoor humidity and human health – Part I: Literature review of health effects of humidity-influenced indoor pollutants (ASHRAE Transactions Vol. 102, pp. 193-211, Paper 3951)
- [2b] A. V. Baughman, E. A. Arens (1996) Indoor humidity and human health – Part II: Buildings and their systems (ASHRAE Transactions Vol. 102, pp. 212-221, Paper 3952)

- [3] D.F. Proctor, I. Andersen, G.R. Lundqvist (1977) Human nasal mucosal function at controlled temperatures (Respiration Physiology; 30: 109-24)
- [4] P. Cola (1982) Modification of inspired air. In: D.F. Proctor, I. Andersen: The nose: Upper airway physiology and the atmospheric environment (Elsevier, pp. 351-75; Amsterdam)
- [5] S. Ingelstedt (1956) Studies on the conditioning of air in the respiratory tract (Acta Oto-Laryngologica 131; 1-80)
- [6] J.E.C. Walker, R.E. Wells (1961) Heat and water exchange in the respiratory tract (Am. J. Med.; 30: 259-67)
- [7] P. Cola (1953) Some aspects of temperature, moisture and heat relationships in the upper respiratory tract (Acta Oto-Laryngologica 67; 449-56)
- [8] C. Sara, T. Currie (1965) Humidification by nebulization (Med. J. Aust.; 52; 174-9)
- [9] Sunwoo, Y., Chou, C., Takeshita, J., Murakami, M. and Tochiara, Y. (2006) 'Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity in Young and Elderly Men', J Physiol Anthropol 25(3): 229-238
- [10] von Hahn, N. (2007) Trockene Luft und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturrecherche (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, St. Augustin; pp. 103-107)
- [11] Pfluger, R., Feist, W., Tietjen, A., Neher, A. (2013) Physiological impairment at low indoor air humidity., Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft (2013), 73, Nr. 3, S. 107-108, www.passipedia.org/\_media/picopen/low\_humidity.pdf (20.03.2016)
- [12] Ufficio federale della sanità pubblica UFSP (2009) Attenzione muffa, guida ai problemi di umidità e muffa nelle abitazioni, Pubblicazioni della Confederazione, art. UFCL n. 311.310.i, Berna
- [13] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti (2014) SIA 180 Isolamento termico, protezione contro l'umidità e clima interno degli edifici (SIA Zurigo)
- [14] Società svizzera degli ingegneri e degli architetti (2014) SIA 382/1 Impianti di ventilazione e di climatizzazione – Basi generali ed esigenze (SIA Zurigo)

### FONTE TABELLE E FIGURE

Tabella 1 + 2, Figura 2, 4, 5, 6, 7: Scuola universitaria di Lucerna

Figura 1: R. Lazzarin e L. Nalini (2006); rielaborazione del grafico di Scofield e Sterling (1995) [proliferazione: diffusione attraverso l'aria (diffusione tramite particelle di polvere)]

Figura 3: Polveri fini PM10 – Domande e risposte riguardanti caratteristiche, emissioni, immissioni, effetti sulla salute e misure, Ufficio federale dell'ambiente UFAM, 2006, completato dalla Scuola universitaria di Lucerna con dati concernenti temperatura e umidità

SvizzeraEnergia, Ufficio federale dell'energia UFE  
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Indirizzo postale: CH-3003 Berna  
Infoline 0848 444 444, [www.svizzeraenergia.ch/consulenza](http://www.svizzeraenergia.ch/consulenza)  
[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.svizzeraenergia.ch](http://www.svizzeraenergia.ch)

Ordinazione: [www.pubblicazionifederali.admin.ch](http://www.pubblicazionifederali.admin.ch)  
Numero articolo 805.162.11



ClimatePartner®  
climaticamente neutrale  
Stampa | ID 53458-1611-1071