

# Patologie da umidità e interventi impiantistici

A. Cocchi, G. Rausa

prima parte

## 0. INTRODUZIONE

Parlare di edifici ammalati appare oggi frutto di una "moda" o, più garbatamente, di una "tendenza": molti sono ormai i convegni che a tale argomento dedicano buona parte del loro tempo, se non addirittura l'intero contesto. È dei primi del settembre scorso la conferenza internazionale CIB dedicata agli "Healthy Buildings" [1], che segue di poco altre analoghe iniziative.

Forse lo era meno parlarne dieci anni fa, nell'immediato post-Legge 373, quando in Emilia Romagna ci si dedicava profondamente alla individuazione dei limiti di accettabilità della purezza dell'aria, nell'ambito di quel vasto movimento di studio che portò allora alla stesura della Legge Regionale meglio nota come Normativa Tecnica Regionale [2, 3], assunta poi da altre regioni, ed anche dal CER, come punto di riferimento per la normativa edilizia prestazionale; a questi studi seguivano poi le prime indicazioni per la realizzazione di una "valigetta del collaudatore", il cui scopo era quello di rendere effettivamente e rapidamente misurabili sul campo i valori assunti all'interno degli edifici da quelle grandezze fisiche che la NTR aveva indicato come parametri spia della eventuale inaccettabilità dell'ambiente confinato [4].

Tra gli indicatori di uno stato di inaccettabilità

delle condizioni interne ne figurano due, tra loro intimamente collegati per le conseguenze che possono derivare alla vivibilità di un ambiente abitativo, e sono l'umidità relativa e la temperatura superficiale interna; di essi o, meglio, delle loro conseguenze sullo stato di "vivibilità dell'ambiente", ci occuperemo nel seguito del presente intervento, tralasciando di parlare degli altri [1, 5, 6], il cui interesse è pur grande ma esula dal tema specifico.

Indagini condotte in diverse località europee hanno posto in evidenza che il 45% degli edifici è affetto da muffe superficiali attribuibili ad umidità, che l'umidità penetra negli edifici nel 58% dei casi per difetti di progettazione, nel 35% per difetti di esecuzione, nel 12% per errata scelta dei materiali, nell'11% per cattivo utilizzo degli edifici [7]; in molti casi, progetti corretti vengono eseguiti con insufficiente accuratezza, annullando così i potenziali benefici derivanti dall'impiego di materiali e di tecnologie di pregio.

La presenza di condensazione sulla superficie interna delle strutture affacciate all'esterno (ma si vedrà che il fenomeno si può presentare anche sulle superfici di strutture interne!), od all'interno delle strutture stesse, trae origine da errori commessi nella scelta dei materiali, movimentazione e ricambio dell'aria e, ultimo ma non ultimo, utilizzazione dell'edificio; nel proseguo, verranno esaminate cause ed effetti del fenomeno, non trascurando quelli di più diretta ricaduta sulla salute.

## 1. L'UMIDITÀ

L'umidità costituisce da sempre un pericolo per ogni tipo di struttura, dall'umana all'edilizia: in particolare, essa produce in quest'ultima scaldamento delle proprietà fisiche quali modulo di elasticità, conduttività termica, resistenza al gelo.

Alcune tipologie di edificio nascono da sempre esposte al problema, presentando inevitabilmente condizioni favorevoli al fenomeno della condensazione del vapor d'acqua contenuto nell'aria: tipico è il caso delle piscine coperte; ma proprio in esse il problema può essere affrontato e risolto fin dalla fase progettuale, in ossequio al principio che un nemico non desta preoccupazione se è possibile prevederne le mosse.

Nel settore dell'edilizia abitativa, il problema dell'umidità non si è presentato per centinaia di anni, ragion per cui nessuno vi ha mai posto attenzione, il che in un certo qual modo giustifica le prime pesanti sconfitte subite, ma solo le prime!

Quali le origini del nuovo problema?

Il vapor d'acqua è sempre presente, sia pure in quantità diverse, nell'aria; raramente visibile, specie all'interno degli edifici, ci rendiamo conto della sua presenza nel momento in cui esso interferisce con i nostri meccanismi di termoregolazione, oppure quando si trasforma in acqua, condensando per effetto del contatto con correnti d'aria o superfici a temperatura più bassa; l'acqua può essere presente nelle strutture provenendo altresì dal terreno o da infiltrazioni di pioggia.

Tralasciando di parlare di questi casi, prenderemo in considerazione le diverse possibilità di condensazione che si presentano in pratica, cercando di evidenziarne la causa e, conseguentemente, i possibili rimedi.

Il contenuto di vapor d'acqua nell'aria va da un minimo (zero in aria secca) ad un massimo il cui valore è determinato dalla temperatura dell'aria stessa ed al quale corrisponde un determinato valore di pressione parziale, pari alla tensione di vapore a quella temperatura: aumentando quest'ultima aumenta la tensione di vapore e quindi anche la quantità di vapore che può essere contenuta in un determinato volume di aria (ad esempio un metro cubo).

Nella stagione fredda, l'aria esterna, anche se in condizioni prossime alla saturazione, contiene

pochi grammi di vapor d'acqua per metro cubo d'aria, mentre l'aria interna, più calda, anche se con umidità relativa del 50-70%, ne contiene assai di più.

L'ambiente interno viene costantemente alimentato di vapore per effetto sia della presenza delle persone che del funzionamento di apparecchiature, del compimento di operazioni particolari, della evaporazione diretta da superfici bagnate; in particolare:

- una persona dedita ad attività sedentaria emette 30-45 g/h di vapor d'acqua, mentre in attività minimale questi valori salgono già a 55-70 g/h, per raggiungere rapidamente anche 140 g/h in corrispondenza di uno stato medio-alto di attività. In otto ore di sonno, due persone producono mediamente circa 650-750 g di vapore d'acqua;
- la combustione di gas a fiamma libera comporta, oltre agli altri prodotti della combustione, la formazione di 175 g di vapore ogni 1000 kcal bruciate. Nell'ora di preparazione del pasto, si sviluppano da 1 a 2 kg di vapor d'acqua che, se non allontanati mediante camino, si disperdono in ambiente;
- la cottura dei cibi ed il lavaggio delle stoviglie comportano la dispersione in ambiente di 2-3 kg di vapore al giorno per una famiglia di quattro persone;
- l'uso del bagno per operazioni igieniche (bagno e doccia esclusi) comporta l'evaporazione di circa 100-200 g d'acqua al giorno per persona.

A questi apporti di vapor d'acqua vanno aggiunti quelli derivanti dal lavaggio dei pavimenti, dal lavaggio ed asciugatura della biancheria, dei capelli, bagno, doccia, in quantità imprecisabili in quanto legate ad abitudini personali.

Questi apporti di vapor d'acqua, nel complesso valutabili attorno a 2-3 g/h per metro cubo di alloggio, devono essere smaltiti all'esterno per non dare origine a condizioni di disagio; l'allontanamento avviene per:

- ricambio d'aria,
- condensazione su superfici fredde,
- migrazione attraverso le strutture di confine.

Il ricambio d'aria comporta l'allontanamento dall'alloggio di aria calda ed umida, che viene sostituita con aria fredda ed a minor contenuto di umidità: nel complesso, il ricambio orario previ-

sto dalle vigenti disposizioni di legge per l'edilizia abitativa comporta l'allontanamento di 2-4 g di vapore per metro cubo di alloggio, variabili in relazione alle condizioni termoigrometriche esterne.

La condensazione su superfici fredde ed opache deve essere accuratamente evitata, onde impedire formazione di muffe e degrado fisico delle superfici stesse; sulle pareti vetrate, la condensazione può avere un effetto positivo solo se è previsto un sistema di allontanamento automatico della condensa, altrimenti il fenomeno della condensazione viene seguito da quello della rievaporazione, quindi assume solo funzioni di volano riequilibratore.

La migrazione di vapor d'acqua attraverso le pareti perimetrali comporta, nelle condizioni di realizzazione tipiche del periodo pre-bellico (muratura in mattoni dello spessore di 30 cm), l'allontanamento dall'alloggio di 2-3 g di vapore per ora e per metro quadrato di superficie perimetrale esterna che, riportati al volume, corrispondono mediamente a 0,25 g/h.

Nel complesso, si vede quindi che la funzione di veicolo trasportatore dell'umidità prodotta all'interno degli alloggi verso l'esterno viene assolta fondamentalmente dal ricambio d'aria, che in [8] viene valutato come minimo in 28 m<sup>3</sup>/h/persona, corrispondenti ad un tasso di ricambio di circa 0,8 volumi/h: ciò peraltro non significa che si possa rinunciare ad occuparsi degli altri meccanismi, cui si devono invece le principali cause di degrado fisico.

## 2. COMPORTAMENTO IGROTERMICO DELLE PARETI

Al paragrafo precedente sono stati posti in evidenza i motivi fondamentali per cui si può verificare la condensazione del vapor d'acqua o sulla superficie interna delle pareti esterne o all'interno delle stesse: nel momento in cui l'aria viene a contatto con una superficie la cui temperatura è uguale o inferiore a quella di rugiada si ha condensazione; a sua volta, la temperatura di rugiada dipende dal contenuto relativo di umidità dell'aria e dalla sua temperatura. La figura 1 (scheda 1), dedotta come le successive da [9], riporta un nomogramma dal quale è agevole dedurre il valore della temperatura di rugiada per le diverse condizioni termoigrometriche che si possono usualmente presentare: si vede così, a titolo di

esempio, che con aria a 20°C ed umidità 80°C la temperatura di rugiada vale circa 16°C.

Se una parete separa tra loro due masse d'aria umida, chiaramente nel caso particolare quelle interna ed esterna all'abitazione, la differenza di temperatura esistente tra le stesse fa sì che si instauri un flusso di calore attraverso la parete, flusso che a sua volta determina la distribuzione della temperatura all'interno della parete stessa e sulle sue superfici di confine.

La superficie a contatto con l'aria interna si viene così a trovare a un valore di temperatura inferiore a quello dell'aria stessa, talché è possibile che si verifichi il fenomeno della condensazione superficiale se questo valore risulta inferiore a quello di rugiada: va subito detto, a questo proposito, che tra aria ambiente e superficie interna si verifica in genere una differenza di temperatura compresa tra 2 e 6°C, con tendenza a valori anche più elevati man mano che cala l'isolamento termico offerto dalla parete (a titolo di esempio, con 20°C interni e -5°C esterni, la superficie interna di un vetro semplice si mantiene attorno a 12°C).

Esistendo poi una differenza di pressione parziale del vapore tra interno ed esterno (ordine di grandezza 0,01 atmosfere nelle condizioni di cui sopra), si instaura la migrazione del vapore attraverso la parete, con conseguente possibilità che si verifichi l'incontro con superfici o zone interne a temperatura inferiore a quella di condensazione; la formazione di condensazione interstiziale è condizionata, quindi, dalla concorrenza di due fattori: la permeabilità al flusso di calore (o conduttanza termica), che determina la distribuzione interna della temperatura, e la permeabilità al flusso di vapore, che determina la distribuzione interna della temperatura di condensazione. Là dove le due curve di distribuzione vengono a contatto si verifica la formazione di acqua, che viene trattenuta dal materiale.

Dopo un primo periodo di smarrimento, che ha visto i più impreparati a comprendere il fenomeno anche nelle sue linee elementari, oggi tutti i termotecnici, ed anche molti non termotecnici, sono in grado di valutare la distribuzione della temperatura e della pressione parziale del vapore all'interno di una struttura edilizia, vuoi per conoscenza diretta dei fenomeni, vuoi per il diffuso impiego di strumenti di calcolo automatico; relativamente meno note sono le motivazioni fisiche della migrazione del vapore all'interno dei

Scheda n. 1

**LA DIFFUSIONE DEL VAPOR ACQUEO NEI CORPI CAPILLAR-POROSI**

Il trasporto di massa nei corpi capillar-porosi, quali appunto possono essere classificati gli usuali materiali per l'edilizia, è estremamente complesso, in contrasto con la estrema semplicità della legge di Fick che racchiude peraltro tutto il problema nel coefficiente di diffusione: conseguentemente, tutti i metodi di previsione basati sulla legge di Fick (tipico è il caso della costruzione grafica di Glaser) trovano la loro limitazione proprio nel valore da assegnare alla permeabilità al vapore, la cui evoluzione temporale, sia pure a parità di materiale, assume notevole importanza specie quando al fenomeno migratorio si associa l'accumulo più o meno localizzato di umidità.

Le forze che danno origine alla migrazione di vapore sono riconducibili a:

- gradienti di pressione macroscopici attraverso il corpo poroso;
- gradienti di pressione nell'acqua soggetta a fenomeni di capillarità;
- gradienti di pressione osmotica in presenza di sali disciolti;
- gradienti di pressione conseguenti a gradienti termici;
- gradienti di pressione parziale nella fase vapore;
- forza di gravità;

il tutto reso più complesso dalle inevitabili disomogeneità dei materiali da costruzione e dalla tridimensionalità delle strutture edilizie.

I meccanismi di diffusione possono essere schematizzati, peraltro senza soluzione di continuità, come rappresentato in figura 1, con una diversa concorrenza dei fenomeni di trasporto in fase liquida ed in fase vapore.

Il trasporto in fase liquida è prodotto principalmente dalla capillarità, a sua volta condizionata dai gradienti sia di umidità che di temperatura: in tal senso, il fenomeno di trasporto risente della formazione di umidità interstiziale sia direttamente che indirettamente, in quanto ogni variazione del valore del gradiente di temperatura porta a modificare le condizioni di possibile condensazione.

Il trasporto in fase vapore è governato essenzialmente dal coefficiente di diffusione che, per un materiale poroso, è influenzato dalla microgeometria del sistema (sezione di passaggio, volume d'aria contenuto, tortuosità dei percorsi capillari) e dalla dipendenza sia dell'umidità in fase vapore da quella in fase liquida, sia della pressione di saturazione dalla temperatura.

COMMENTO	DIMENSIONI DE CAPILLARI (m)	TIPO DI TRASPORTO	SCHEMA DEL MOTO	POSSIBILITÀ DI MOTO DI vapore/liquido
PREDOMINA IL TRASPORTO DELLA FASE VAPORE ZONA IGROSCOPICA	$r \cdot 10^{-8}$	DIFFUSIONE SUPERFICIALE CON ADSORBIMENTO		LIQUIDO IMMOBILE
		EFFUSIONE DIFFUSIONE DEL VAPORE		
		TRASPORTO IN SERIE LIQUIDO-VAPORE		
		TRASPORTO IN PARALLELO LIQUIDO-VAPORE PREDOMINA VAPORE		
CONTENUTO DI UMIDITÀ CRITICO	$r \cdot 10^{-7}$			
PREDOMINA IL TRASPORTO DEL LIQUIDO ZONA DI BAGNABILITÀ	$r \cdot 10^{-8}$	TRASPORTO IN PARALLELO LIQUIDO-VAPORE PREDOMINA LIQUIDO		LIQUIDO IN MOTO
		TRASPORTO CAPILLARE DI LIQUIDO		

**FIGURA 1**  
*Esemplificazione schematica dei meccanismi elementari di trasporto dell'umidità*

materiali e della connessione esistente tra i due fenomeni di trasporto di calore e di massa (si veda la scheda n. 2).

### 3. UMIDITÀ E CONDENSAZIONE SUPERFICIALE: CONSIDERAZIONI IGIENICHE

Dal punto di vista igienico-sanitario, l'umidità è da considerarsi una tra le più importanti cause di insalubrità delle abitazioni.

L'umidità, infatti, oltre a ben noti effetti negativi sui materiali (deterioramento di intonaci e decorazioni, alterazioni delle opere in legno, sviluppo di miceti ecc.) determina, tramite l'evaporazione e la maggior conduttanza termica dei muri, condizioni favorevoli alle affezioni reumatiche, respiratorie e renali. Secondo stime dell'O.M.S., buona parte della diminuzione delle affezioni riconducibili alla malattia reumatica metastreptococcica rilevata negli ultimi 20 anni nei paesi più

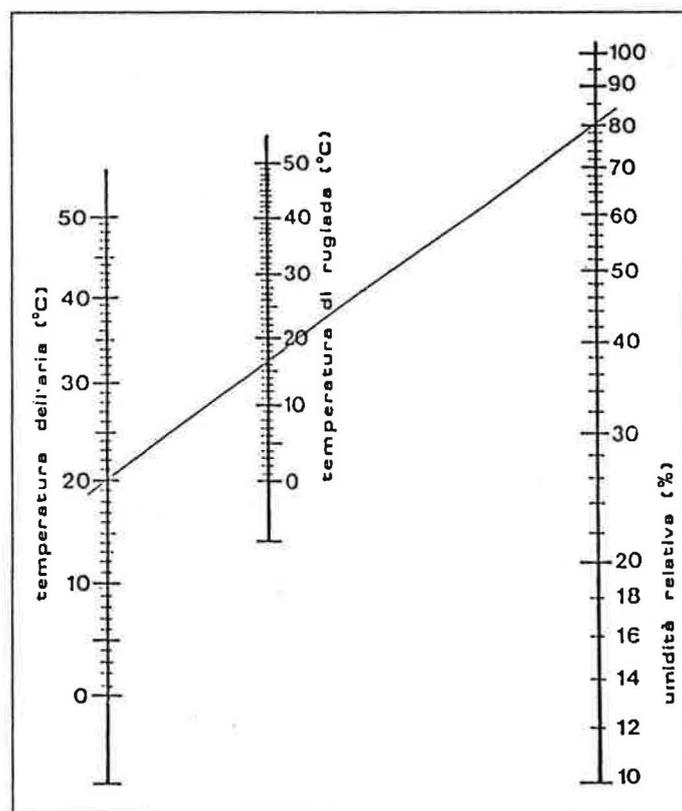
#### Scheda n. 2

### FENOMENI DI TRASPORTO DI CALORE E DI MASSA

I fenomeni di trasporto di calore e di massa sono rappresentabili analiticamente mediante espressioni formalmente equivalenti, note rispettivamente come leggi di Fourier e di Fick; conseguentemente, la distribuzione del parametro che esprime la forza motrice del flusso è anch'essa esprimibile con formulazioni analoghe, note rispettivamente come equazioni di Fourier e di Fick.

La possibilità di considerare i due fenomeni con un'unica trattazione matematica comporta una perfetta analogia formale tra le figure che rappresentano la distribuzione della temperatura e quella della pressione parziale del vapore all'interno di un sistema aria-parete pluristrato-aria, quale appunto può essere schematicamente considerato il complesso di due ambienti adiacenti all'interno di un edificio, talché è possibile associare alla temperatura superficiale interna il valore di umidità relativa cui corrisponde la formazione di condensa: questa associazione dà origine a diagrammi o tabelle, semplicisticamente riconducibili al nomogramma di figura 2, qui sotto riportato.

**FIGURA 2**  
*Nomogramma per il calcolo della temperatura di rugiada*



progrediti è da ascrivere, oltre che alla terapia e profilassi chemioantibiotica, al miglioramento delle caratteristiche igieniche abitative, segnatamente alla diminuzione dell'affollamento ed alla diminuzione dell'umidità.

Alcune delle sostanze chimiche responsabili dell'inquinamento di ambienti confinati sono notoriamente idrosolubili e quindi una loro diffusione attraverso le pareti alveolari è possibile solo se esse sono fisicamente disciolte: l'epitelio alveolare deve perciò essere umido.

L'eccesso di umidità nell'aria inspirata può, pertanto, essere considerato come elemento favorente l'azione di alcuni inquinanti chimici degli interni. Gli eventuali microrganismi patogeni che vengono immessi nell'abitazione umida godono di una più lunga sopravvivenza in confronto di ciò che avviene negli ambienti ben asciutti; è noto, infatti, che l'aria di ambienti abitati ha, rispetto all'aria libera, un più alto contenuto di microrganismi (batteri, miceti e virus) ed il numero di questi è tanto più grande quanto più numerose sono le persone presenti e quanto meno attivo è il ricambio dell'aria.

Diversi microrganismi possono causare infezioni, malattie o reazioni allergiche. È chiaro che, dal punto di vista della salubrità dell'aria, interessa conoscere particolarmente il comportamento dei germi patogeni, soprattutto di quelli eliminati attraverso le vie respiratorie, e ciò in rapporto alla diffusione delle malattie infettive attraverso l'aria.

L'aria in senso lato, pur potendo rappresentare un pericolo di contagio in tutte o quasi le malattie, è in realtà un veicolo particolarmente importante solo in alcune di esse; più precisamente nelle malattie respiratorie ed in quelle nelle quali l'eliminazione avviene attraverso le vie respiratorie (malattie esantematiche, meningite cerebrospinale, differite ecc.). Secondo le classiche esperienze di Flugge, con la vociferazione, con gli starnuti e con la tosse, vengono proiettate nell'aria particolari particelle umide, le cosiddette *goccioline*, contenenti, insieme a muco, residui epiteliali e leucociti, gli agenti infettanti.

Ulteriori ricerche, rese possibili anche dalla disponibilità di attrezzature di rilevamento particolari, mentre da un lato hanno precisato l'importanza epidemiologica dei vari tipi di goccioline, dall'altra hanno fornito tutta una serie di informazioni intorno alla loro quantità, grandezza, forza

di propulsione, permanenza nell'aria ecc.

Le goccioline eliminate parlando, le cosiddette goccioline della bocca, si formano nella parte anteriore della cavità orale. Mediante l'uso di fotogrammi a luce stroboscopica, si è potuto stabilire che le dimensioni variano tra 25 e 2  $\mu\text{m}$ .

Si formano in quantità maggiore o minore, in rapporto con la quantità di saliva presente, l'energia del discorso, le pause intercalate, le consonanti pronunciate (specialmente nella pronuncia delle consonanti h, b, f, t, s, e k), hanno una bassa velocità, vengono proiettate in ogni senso ma non oltrepassano, davanti all'individuo, la distanza di 30 cm. Con uno starnuto si calcola che vengano eliminate intorno alle 20.000 goccioline con diametro da 10  $\mu\text{m}$  ad oltre 1 mm e con una velocità iniziale di circa 45 m/s, che permette a quelle più grosse di essere proiettate fino alla distanza di 4,5 m.

Infine, le cosiddette goccioline bronchiali, frequenti nelle affezioni infiammatorie dei polmoni e dei bronchi, risultano costituite, in prevalenza, da leucociti e germi. Si calcola che per ogni colpo di tosse ne vengono eliminate da un minimo di 10 ad un massimo di 100, in relazione con l'entità della tosse da un lato e con la sede e la natura del processo morboso dall'altro; sono più piccole delle goccioline precedentemente descritte, il che, unitamente all'attività di proiezione, fa sì che possano pervenire a qualche metro di distanza.

Raggiunta l'atmosfera, il destino di queste particelle è diverso in funzione delle dimensioni: le più grosse, infatti, in base alla legge di gravità, sedimentano nello spazio di pochi secondi, mentre le più piccole, e cioè quelle di diametro inferiore a 100  $\mu\text{m}$ , evaporano rapidamente dando luogo alla formazione dei cosiddetti nuclei di goccioline (nuclei di Wells) [10, 11]. Nell'aria assolutamente stagnante questi nuclei si depositano con una velocità di 30-90 cm/h, ma in condizioni ordinarie rimangono sospese per un più lungo periodo di tempo e possono, ad esempio, attraverso i corridoi, raggiungere gli altri locali posti sullo stesso piano e, attraverso le scale ed i vani degli ascensori, diffondersi ad un intero fabbricato; inoltre, in presenza di notevole umidità, possono condensare vapore d'acqua e costituire i ben noti aerosol microbici.

Va peraltro considerato il destino delle goccioline che sedimentano: una volta sedimentate evaporano più o meno rapidamente, secondo le con-

dizioni termoigrometriche, ed i germi in esse contenuti possono aderire ai granuli di polvere e, risollemandosi con questi, costituire un nuovo pericolo.

E' curioso osservare che un elevato grado di umidità esistente nell'ambiente è elemento favorevole al permanere della vitalità microbica, ma nello stesso tempo elemento sfavorevole alla creazione di polveri infettanti: nella polvere sollevata dai pavimenti e da mobili e suppellettili di abitazioni, non è infrequente il reperimento di microrganismi patogeni, quali lo streptococco emolitico, il batterio difterico, il batterio tubercolare e numerosi virus e miceti.

Il destino delle goccioline, dei nuclei delle goccioline, e dei granuli di polvere, dipende dalle loro dimensioni: in pratica, tutte le particelle con diametro superiore a 10  $\mu\text{m}$  vengono trattenute nelle prime vie respiratorie, mentre una percentuale sempre più grande delle particelle progressivamente più piccole raggiunge i polmoni.

Circa il 90% delle particelle con diametro di 1  $\mu\text{m}$  è trattenuto nei bronchioli terminali e negli alveoli; la percentuale diminuisce fino al diametro di 0,25  $\mu\text{m}$  (perché molte particelle restano sospese e vengono espirate), ma torna ad aumentare al di sotto di questa dimensione, in quanto i movimenti browniani favoriscono il contatto con le pareti alveolari.

Per i microrganismi la cui porta di ingresso naturale sono le vie aeree superiori come, ad esempio, lo streptococco emolitico, il batterio difterico, il virus del morbillo, il virus dell'influenza, la *Legionella pneumophila* ecc., possono risultare infettive sia le particelle grosse che quelle più piccole; mentre per i microrganismi che hanno come porta di ingresso i bronchioli terminali e gli alveoli, come, ad esempio, l'agente delle psittacosi e l'*Histoplasma capsulatum*, è probabile che solo le particelle più piccole siano infettive.

Sperimentalmente è stato osservato che per infettare una cavia con la *Brucella suis* per via aerea con le particelle di 3-5  $\mu\text{m}$ , o più grandi, sono necessarie almeno 1.000 unità microbiche, mentre con quelle di circa 1  $\mu\text{m}$  bastano 12 microrganismi; nei due casi la porta di ingresso è costituita, rispettivamente, dalle vie respiratorie superiori e dai polmoni.

Numerose altre ricerche hanno confermato che nell'infezione per via polmonare in genere la dose richiesta è molto piccola; infatti per la *Pa-*

*steurella turalensis* sono sufficienti tre unità microbiche nella cavia e 25 nell'uomo, e per la *Coxiella burneti* un solo microrganismo sia nella cavia sia nell'uomo.

Un altro aspetto nel quale può intervenire l'umidità degli ambienti confinati è rappresentato dalle manifestazioni allergiche, che, come ormai ben noto, possono interessare la cute, le vie aeree superiori e gli alveoli polmonari.

Senza addentrarci sulle tematiche di prevalente valenza fisiopatologica (sede e natura delle reazioni, meccanismi patogenetici, sintomatologia ecc.), ricordiamo che le manifestazioni allergiche conseguenti all'inalazione di determinati materiali sono in rapporto con le proprietà fisiche e chimiche delle particelle inalate, la immunoreattività dell'ospite e le modalità di esposizione.

Gli aspetti più lampanti relativi agli ambienti confinati sono rappresentati dalla rinite allergica, dall'asma bronchiale e dall'alveolite estrinseca allergica.

La rinite allergica e l'asma bronchiale sono in rapporto principalmente ai *pollini*, la cui natura riflette naturalmente le caratteristiche dell'aria esterna, ed è in relazione all'epoca stagionale; alle *polveri di casa*, universalmente riconosciute come causa di manifestazioni allergiche in rapporto alla presenza di due specie di acaro: *Dermatophagoides pteronyssinus* e *D. farinae*, assai frequentemente reperibili nelle abitazioni [12, 13]. Questi acari sono molto sensibili ai fattori microclimatici, temperatura ed umidità in particolare; l'ideale per il loro sviluppo sarebbe rappresentato da una temperatura dell'aria di 25°C e da una umidità relativa di almeno il 45%, quest'ultima estremamente importante per evitare la morte per essiccamento: contenuti di umidità superiori assicurano una lunga sopravvivenza (optimum tra 65 e 80%).

Segnalazioni recenti hanno richiamato l'attenzione su altri generi di acaro: *Glycyphagus*, *Hirstia*, *Tyrophagus* ed *Euroglyphus*, per citare i principali, anch'essi dipendenti per la sopravvivenza da valori dell'umidità relativa superiori al 45-55%.

Altri importanti agenti allergizzanti sono le *muffe*: mentre alcune specie del genere *Cladosporium* interessano prevalentemente gli ambienti esterni [14], il genere *Penicillium* è il classico micete dell'ambiente confinato, come l'*Aspergillus* [15].

Essi si sviluppano facilmente su materiali organi-

ci purché umidi: in particolare, le pareti umide consentono lo sviluppo di specie di *Cladosporium* ed *Aureobasidium*, mentre strutture in cuoio, cotone e carta umide sono sede di spore di *Penicillium* ed *Aspergillus*; anche alcuni insetti, come scarafaggi e cimici, possono essere chiamati in causa in reazioni allergiche in rapporto soprattutto a condizioni abitative molto carenti e con elevata umidità relativa [16].

Nella cosiddetta alveolite allergica estrinseca, una reazione infiammatoria a livello delle pareti alveolari e dei bronchioli periferici, sembrano in causa, accanto a situazioni tipicamente professionali come il cosiddetto "polmone dell'agricoltore", anche fattori legati a situazioni abitative per promiscuità con alcuni uccelli, o per utilizzo di sistemi di ventilazione contaminati da *actinomiceti termofili*, frequentemente reperiti in liquidi umidificanti, condizionatori d'aria e refrigeratori nonché amebe appartenenti al genere *Negleria* ed *Acanthamoebae* [17].

Quanto su esposto sottolinea l'importanza del fattore umidità relativa dell'aria consentendo di identificare nell'intervallo 40-60%, ed ancor meglio 45-55%, l'optimum per ottemperare a diver-

se e talvolta opposte istanze del microclima.

In effetti non va dimenticato che per assicurare la corretta attività respiratoria è necessario che le membrane mucose siano sufficientemente umide e questo, tra l'altro, per consentire l'effetto abbattente proprio sul contenuto in polveri, allergeni e microrganismi presenti nell'aria inspirata.

Il cosiddetto "effetto condizionatore" operato dalla mucosa respiratoria sull'aria inspirata ed espirata è, d'altronde, in rapporto con le caratteristiche termoigrometriche dell'aria ambiente: in condizioni di semplice riscaldamento degli ambienti, si creano generalmente condizioni nelle quali vengono a mancare alcuni fattori che condizionano la corretta umidificazione delle membrane respiratorie, come gli stimoli alle secrezioni derivanti dalla bassa temperatura ed i fenomeni di riconsolazione, che consentono abitualmente un recupero dal 30 al 50% dell'umidità presente nell'aria espirata; ne consegue un'eccessiva secchezza delle mucose ed un danneggiamento della funzione respiratoria ed abbattente delle stesse.

L'umidificazione corretta dell'aria ambiente è pertanto un'esigenza sanitaria.