Riflessioni sulle necessità impiantistiche per gli edifici del futuro

L'adozione di adeguate configurazioni impiantistiche, l'uso di nuove tecnologie e di sistemi di controllo sono soltanto alcuni degli strumenti a disposizione per migliorare la salubrità dell'ambiente interno in condizioni di emergenza e non solo

*A. Boeche, R. Zecchin**

Le raccomandazioni degli enti istituzionali

Dopo l'inizio della pandemia COVID-19 sono stati emanati diversi documenti, che porgono suggerimenti atti a ridurre il rischio di contagio, alcuni dei quali riguardanti espressamente gli impianti di ventilazione e climatizzazione relativamente al controllo della diffusione di particelle infette aerotrasportate (bioaerosol).

L'ISS ha emanato in data 25 maggio due rapporti: il Rapporto n. 5/2020 rev.2 [1] e il Rapporto n. 33/2020 [2]. Quest'ultimo fornisce indicazioni dettagliate sull'operatività di diversi tipi di impianti di climatizzazione secondo il seguente schema:

- in funzione delle condizioni locali (regione) si determina una "probabilità di presenza di soggetto infetto", come illustrato in Figura 1;
- in funzione di tale probabilità si determina un "livello di rischio in ambiente";
- in funzione del livello di rischio vengono suggerite "raccomandazioni operative" piuttosto dettagliate per le varie tipologie di impianto.

I provvedimenti suggeriti dal Rapporto n. 33 dell'ISS in alcuni casi sono molto articolati e non sempre del tutto condivisibili, come negli esempi seguenti.

Nei casi in cui è raccomandato un limite massimo della velocità dell'aria, la verifica deve essere eseguita fino a una quota di 2 metri dal pavimento in tutto l'ambiente, anche al di fuori della zona occupata.

Quando è raccomandato di escludere l'aspirazione dalle aree comuni viene consigliato sigillare le eventuali griglie di transito dell'aria, provvedendo ad aprire i serramenti verso l'esterno per garantire l'espulsione dell'aria.

Negli impianti a tutta aria, è raccomandata l'esclusione del ricircolo, mediante chiusura a tenuta d'aria della luce di ricircolo.

È suggerito di escludere "meccanicamente" i recuperatori di calore a piastre o rotativi.

Ulteriori documenti hanno trattato i temi del contrasto alla diffusione del contagio, in buona parte, ma non sempre, concordemente [3

Tabella 8. DM Salute 30/04/2020, Allegato.

Probabilità	Condizione nella Regione/Province Autonome
Molto bassa	Nessun nuovo caso negli ultimi 5 giorni
Bassa	Trend dei casi stabile, $R^*_t \leq 1$, nessun aumento di numero o dimensione dei focolai
Moderata	Trasmissione diffusa gestibile con misure locali (cosiddette "zone rosse", accesso controllato)
Alta	Trasmissione diffusa non gestibile con misure locali

*R_t: tasso di contagiosità dopo l'applicazione delle misure atte a contenere il diffondersi della *malattia*.

Figura 1 – Determinazione della probabilità di presenza di individui infetti secondo il Rapporto n.33 dell'ISS

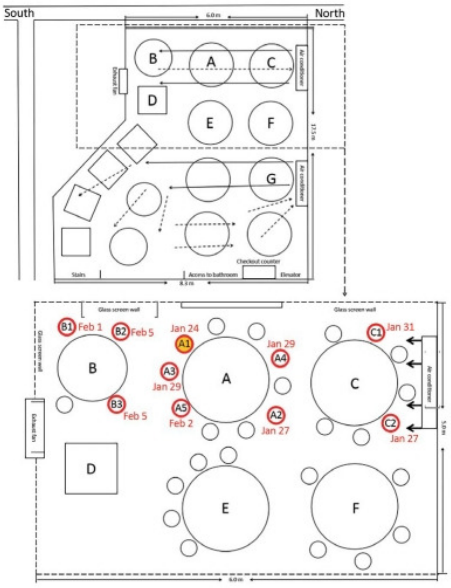

Figura 2 – Disposizione dei clienti e del climatizzatore a ricircolo nel ristorante di Guangzhou [9]

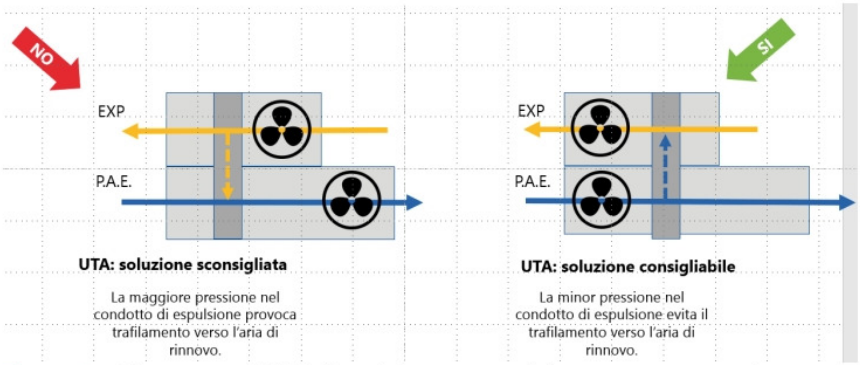

Figura 3 – Diverse possibilità di posizionamento del recuperatore rotativo

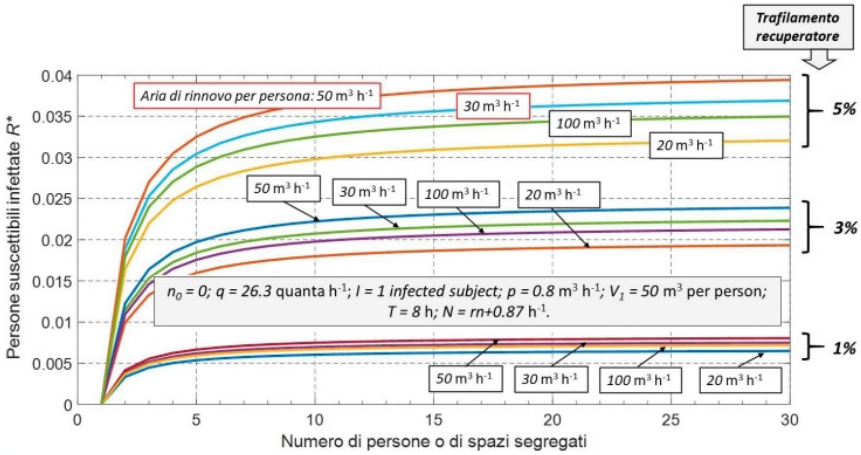

Figura 4 – Numero di persone suscettibili di infezione in funzione della percentuale di trafilamento di un recuperatore di calore e del numero di persone interessate

– 8]: ad essi si rimanda per ulteriori approfondimenti.

Le modalità di gestione e di immediato intervento sugli impianti sono certamente importanti, ma si deve purtroppo rilevare che una grande quantità di locali, anche soggetti a molteplicità di utenti, quali scuole e ambienti pubblici, ne sono totalmente sprovvisti: un adeguato rinnovo d'aria è fondamentale per la riduzione dei rischi di contagio in generale. Esemplare a questo riguardo è il caso del ristorante cinese, recentemente salito alla ribalta, dove risulta evidente come la carenza di aria di rinnovo e la ricircolazione continua del condizionatore sopra gli stessi avventori (vedi Figura 2), abbia provocato la diffusione del contagio da SARS-CoV-2 da una persona infetta a numerose altre [9].

Dall'approccio prescrittivo a quello prestazionale

Può essere molto utile, per l'analisi e il confronto tra diverse tipologie e per l'ottimizzazione progettuale, l'impiego di modelli matematici di simulazione del funzionamento degli impianti in diverse configurazioni e condizioni operative, in relazione alla diffusione del contagio.

Un esempio di modello di simulazione è quello sviluppato da Cavallini et al. [10] che, a partire dalle relazioni di Wells-Riley e di Gammaitoni-Nucci [11], consente di determinare, in un tipico piano di edificio adibito a uffici, con diverse tipologie di impianto di condizionamento a tutt'aria, l'andamento nel tempo della concentrazione di cariche virali e della probabilità di contagio, in presenza di un ipotetico infetto (caratterizzato dall'emissione virale espressa in quanta/h), in funzione dei tempi di permanenza, della portata d'aria nei vari locali, della frazione di aria di rinnovo, ecc. permettendo di valutare l'effetto delle portate d'aria e le possibilità di miglioramento mediante rimozione o disattivazione delle cariche virali per mezzo di sistemi filtranti di diversa efficienza, oppure di dispositivi a radiazione UV-C o a ionizzazione.

Alcune considerazioni sulle indicazioni dell'iSS

I recuperatori di calore

Le prescrizioni dell'ISS sono notevolmente restrittive riguardo ai recuperatori di calore, indicandone la necessità di "esclusione meccanica", indipendentemente dalla tipologia (rotativi o statici). Secondo la REHVA [4] i recuperatori rotativi sono accettabili anche in condizioni di emergenza sanitaria, purché posizionati e installati correttamente (vedi Figura 3).

In effetti, facendo ricorso al modello di simulazione precedentemente citato (Cavallini et al. [8]) le probabilità di contagio dovute a trafilamento di aria espulsa verso l'aria di rinnovo appaiono veramente esigue, come risulta dalla Figura 4.

Una soluzione costruttiva che consente comunque una razionale esclusione del recuperatore rotativo, quando richiesto, è quella indicata in Figura 5, avendo l'avvertenza che le batterie di scambio termico siano adeguatamente dimensionate.

L'aumento della portata d'aria

Un provvedimento che viene da più parti proposto per ridurre il rischio di contagio è l'aumento della portata d'aria di rinnovo in condizioni di emergenza. Tale accorgimento negli impianti esistenti può essere attuato, in linea di principio,

aumentando la velocità di rotazione dei ventilatori, azione possibile, ma entro limiti alquanto ristretti. Infatti la potenza necessaria per l'azionamento dei ventilatori è praticamente proporzionale al cubo della portata: un aumento di 20% – 30% della portata comporta un aumento di 75% – 120% della potenza richiesta. Nel caso di impianti esistenti difficilmente è disponibile un siffatto margine di potenza sul motore e ne consegue la necessità di sostituzione del motore stesso. La possibilità di aumento di portata mantenendo lo stesso motore è in ogni caso subordinata al tipo di trasmissione che deve essere a puleggia o con inverter avente adeguato margine di frequenza e di potenza. Non è da dimenticare infine l'aumento di rumorosità del ventilatore, che per i citati aumenti di portata può essere anche superiore a 5 dB(A). Più semplice è il caso di un nuovo impianto: per consentire un aumento di portata in condizioni di emergenza si deve allora provvedere a un adeguato dimensionamento dei ventilatori e dei condotti, accettando i conseguenti aumenti di ingombro e di costo.

L'effetto dell'aumento della portata d'aria è comunque piuttosto limitato ai fini della limitazione del contagio. Si può valutare, facendo ricorso allo stesso modello di simulazione, che un aumento percentuale di 20 – 30% della portata d'aria di rinnovo, p. es. attorno ai valori usuali di 30 – 50 m³/h per persona darebbe luogo a una diminuzione di pochi punti percentuali della probabilità individuale di infezione nelle condizioni riportate in Figura 6.

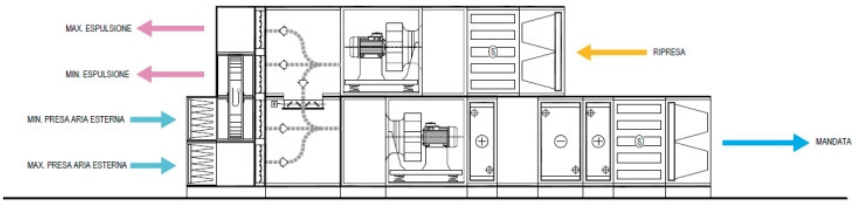

Figura 5– **UTA con presa di A.E. ed espulsione sdoppiate. Per funzionamento a parziale ricircolo (Minima A.E. e minima espulsione) o a tutta aria esterna (Massima A.E. e massima espulsione) per "free cooling" o emergenza sanitaria**

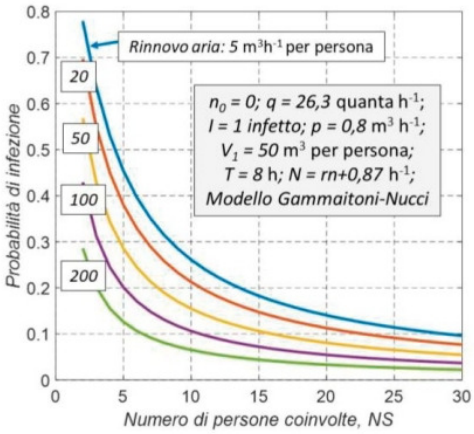

Figura 6 - **Andamento della probabilità individuale di infezione in funzione della portata d'aria di rinnovo e del numero di persone in presenza di un infetto**

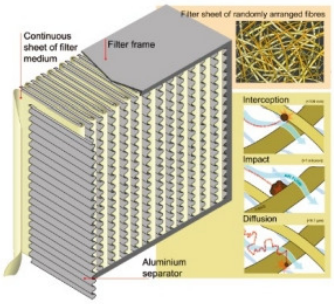

Figura 7 – **Esempio e struttura di filtro ad alta efficienza.** Doc. tecnica Camfil

Nuove tecniche per la salubrità dell'ambiente interno

Il problema della portata d'aria di rinnovo tocca anche altri aspetti: l'aumento rispetto ai valori di norma (UNI EN 16798-1, ISO 17772, ASHRAE 62-1) viene "premiato" dai protocolli di certificazione (p. es. LEED, WELL) in quanto aumenta in generale la qualità dell'aria interna (IAQ), ma nell'attuale contesto la riduzione della concentrazione di cariche patogene, oltre che per maggiore diluizione conseguente all'aumento di portata, può avvenire per abbattimento o inattivazione delle medesime. Gli accorgimenti che permettono di conseguire questo obiettivo sono:

- filtri ad alta efficienza (HEPA);
- filtri elettrostatici;
- radiazioni UV-C;
- ionizzazione dell'aria.

Il ricorso a queste tecniche, con opportuni criteri di dimensionamento e collocazione potrebbe evitare la chiusura del ricircolo d'aria, in condizioni di emergenza, negli impianti che ne siano provvisti.

I filtri ad alta efficienza

Questa tipologia di filtri (EPA: Efficiency Particulate Air Filters; HEPA: High Efficiency Particulate Air filter), (VEDI Figura 7) è ben nota per il suo impiego in ambito sanitario e altre applicazioni; volendo estenderne l'uso agli impianti civili, una possibilità è quella di predisporre una sezione adatta a gestirli, per inserirli in condizioni di emergenza sanitaria, limitando così al solo periodo emergenziale la relativa penalizzazione energetica.

La loro capacità filtrante (specialmente per gli HEPA) è adatta ad arrestare con ottima efficienza anche le particelle infette batteriche o virali aerotrasportate più piccole. La norma di riferimento è la UNI EN 1822-1:2019 "Filtri per l'aria ad alta efficienza (EPA, HEPA e ULPA)".

Aspetti da tener presenti nell'utilizzo di filtri HEPA sono:

- il consumo energetico dei ventilatori, dovuto alle perdite di carico degli elementi filtranti;
- la non trascurabile manutenzione necessaria alla loro periodica sostituzione;
- l'ingombro, dovuto alle loro dimensioni e alle basse velocità di attraversamento richieste per l'aria.

Filtri Elettronici o Elettrostatici

Questo tipo di filtri, dopo un periodo di abbandono, stanno nuovamente trovando applicazione sia nelle nelle centrali di trattamento che all'interno di condotti o unità locali. Sono costituiti da una prima sezione "di polarizzazione" che carica positivamente o negativamente, secondo la loro natura, le particelle aerotrasportate (anche microbiche o virali), seguita da una seconda sezione "di raccolta", con piastre caricate alcune positivamente e altre negativamente, che attraggono e trattengono le particelle precedentemente caricate. Un vantaggio di questi apparecchi, che vanno sempre preceduti da un prefiltro, è la loro bassissima perdita di carico. Una certa attenzione precauzionale richiede la pulizia periodica (lavaggio) delle piastre collettrici. La norma di riferimento per questo tipo di filtri è la UNI 11254:2007 – "Filtri per aria elettrostatici attivi per la ventilazione generale – Determinazione della prestazione di filtrazione".

Le radiazioni UV-C

La radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda compresa principalmente fra 260 e 270 nm (quindi nel campo delle radiazioni UV-C) ha un elevato effetto di inattivazione e blocco della riproduzione dei microorganismi, soprattutto virus e batteri. Questa caratteristica è nota da molti decenni, ma finora scarsamente utilizzata nell'impiantistica civile.

Le lampade germicide (lampade UVGI), di cui le più diffuse sono quelle a vapori di mercurio a bassa pressione, emettono prevalentemente a lunghezza d'onda di 254 nm. Sono recentemente apparse anche lampade germicide a LED, con dimensioni ridotte e vita molto lunga. La norma di riferimento è la ISO 15714:2019 "Method of evaluating the UV dose

to airborne microorganisms transiting in-duct ultraviolet germicidal irradiation device".

L'azione delle lampade UV è efficace sulle superfici direttamente colpite dalla radiazione e il loro uso all'interno di apparecchiature, come le sezioni di una centrale di trattamento dell'aria o i terminali d'ambiente, ha un effetto prevalentemente limitato alla sanificazione dell'apparecchiatura stessa, a meno che non si adottino sorgenti di potenza rilevante. Per l'applicazione a un flusso d'aria in un condotto è invece necessario valutare il tempo di permanenza delle particelle infette sotto l'azione della radiazione, in modo tale che la dose di radiazione sia sufficiente per l'inattivazione dello specifico agente patogeno. La sensibilità dei microrganismi alla radiazione UV è molto variabile: l'ordine di grandezza necessario per l'inattivazione al 90% dei virus (D90) è relativamente basso, di alcune decine di joule per centimetro quadro. La citata norma ISO riporta alcuni dati in merito, tra cui quelli relativi a generici coronavirus, ma senza riferimento specifico al SARS-CoV-2, sottolineando la notevole incertezza dei dati stessi e la necessità di assumere un sufficiente margine di sicurezza. In base alla potenza e alla disposizione della sorgente di UV e alla velocità dell'aria, è possibile valutare la lunghezza del tratto di condotto adeguato al trattamento richiesto; criteri di dimensionamento sono riportati nell'ASHRAE Handbook, Applications Volume.

Le lampade germicide UV-C possono essere montate direttamente in ambiente, purché schermate rispetto allo spazio occupato dalle persone (cosiddette lampade "upper room", vedi Figura 8), o all'interno di unità locali autonome a ricircolo. È da ricordare che la radiazione UV-C è sempre dannosa per gli occhi e per la pelle.

Ionizzazione dell'aria

Un plasma è una miscela pressoché neutra (elettricamente) formata da ioni gassosi atomici o molecolari, elettroni liberi e gas neutri. Esistono sul mercato da qualche anno apparecchi che, con un consumo elettrico molto basso, generano nell'aria un plasma con altissimo effetto di inattivazione su microorganismi, ma anche su altri tipi di inquinanti (VOC, odori). Questi possono essere del tipo sia per installazione diretta in ambiente che per montaggio in condotti d'aria o entro centrali di trattamento o unità terminali, e in questi ultimi casi posizionamento e dimensionamento dei componenti devono seguire le indicazioni della casa costruttrice. Alcuni modelli, corredati anche di elementi filtranti spinti (HEPA), si prestano per diverse applicazioni, come ad esempio la sterilizzazione di sale operatorie ospedaliere prima o dopo l'uso, laboratori di ricerca e altro.

È da osservare che, ai fini della quantificazione dell'efficienza degli apparecchi ionizzatori, non è attualmente disponibile un riferimento normativo; tuttavia la loro compattezza, e la sostanziale assenza di perdite di carico, ne rendono promettenti gli impieghi sia locali che impiantistici.

Sono possibili diverse tecnologie per l'ionizzazione delle molecole d'aria, che avviene all'interno di tali dispositivi, mentre l'azione sanificante si esplica nel seguito del tempo all'interno dell'ambiente in cui viene immessa l'aria così trattata.

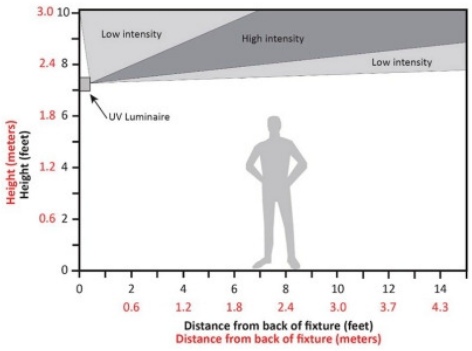

Figura 8 - Il principio di applicazione delle lampade UV-C "upper-room". Fonte: IES CR-2-20-V1

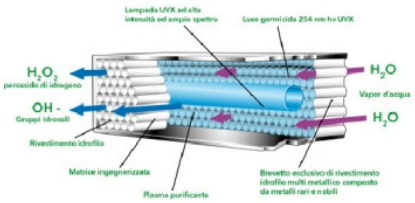

Figura 9 – Principio di funzionamento di un ionizzatore fotocatalitico. Doc. Tec. ActiveTek

Figura 10 – Esempio di ionizzatore NTP. Doc. Tec. Jonix

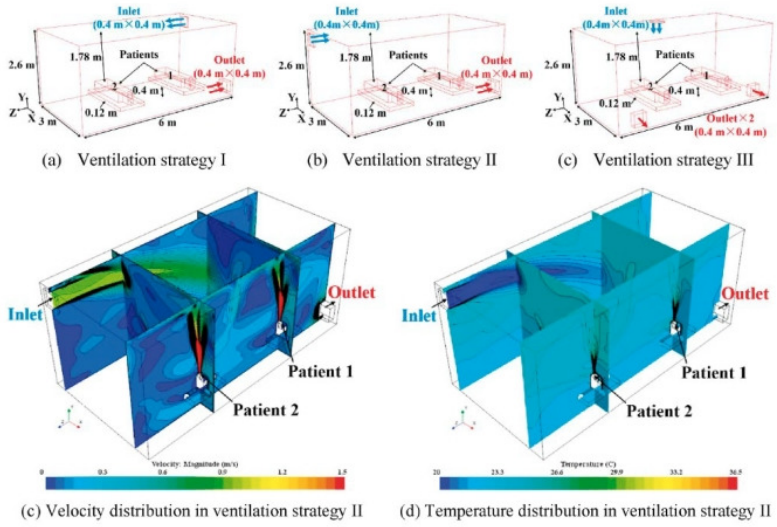

Figura 11 - Confronto tra diverse strategie di ventilazione [12]

Apparecchi ad effetto fotocatalitico

Il principio di funzionamento è questo: una lampada UV-C irradia una superficie alveolare di biossido di titanio o di altro materiale analogo (vedi Figura 9), che a sua volta provoca una forte ionizzazione delle molecole di ossigeno e di vapore acqueo dell'aria che lambisce tale superficie, con formazione di specie fortemente reattive e ossidanti (ossidrili, perossido di idrogeno, ecc.).

Apparecchi a plasma freddo

Un'altra modalità di produzione del plasma può avvenire mediante microscariche elettriche prodotte da elettrodi ad alta tensione alternata (vedi Figura10); questa tecnologia viene denominata "a plasma freddo" (NTP: Non Thermal Plasma). Per questo tipo di apparecchi recentemente sono stati conclusi esperimenti che hanno dimostrato l'efficacia dei sistemi NTP specificamente sul SARS-CoV-2.

Strumenti computazionali per la progettazione

L'uso di modelli di fluidodinamica computazionale (CFD) per lo studio del moto dell'aria negli ambienti è stato finora dedicato alla valutazione delle condizioni di comfort termoigrometrico, ma può essere utile anche per lo studio della diffusione di bioaerosol infetto. Poiché il sistema non è più costituito dalla sola fase gassosa è tuttavia necessario in questo caso aggiungere al classico approccio euleriano delle equazioni di Navier-Stokes anche appropriati algoritmi di tipo lagrangiano che considerino le forze di attrito e di gravità sulle particelle del bioaerosol; è poi necessaria una adeguata

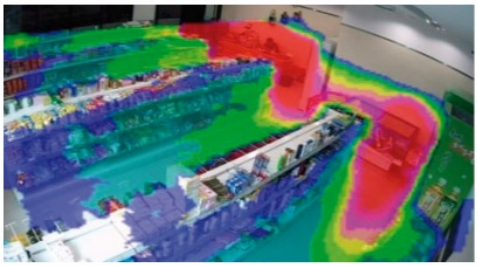

Figura 12 – Visualizzazione dell'affollamento mediante sistema di videorilevamento

rappresentazione della distribuzione dimensionale e dell'emissione delle particelle. Sono numerosi i lavori su questo tema cha appaiono nella letteratura scientifica e certamente ne potrà derivare un utile contributo per la miglior conoscenza di questo gravoso fenomeno. A titolo di esempio si cita uno studio, mediante CFD, [12] della dispersione di cariche infettive in una terapia intensiva (vedi Figura 11), ma lo stesso approccio può evidentemente essere applicato anche ad altre tipologie di ambiente.

Quali impianti per il futuro?

Considerazioni generali

Alla luce di quanto sommariamente descritto, si espongono alcune considerazioni, certamente non esaustive, sulle tipologie impiantistiche e le loro caratteristiche in relazione alla salubrità dell'ambiente interno, non solo in emergenza ma anche nell'uso ordinario. Come osservazione preliminare si può dire che non può esistere, ai fini di cui si tratta, una "classificazione di bontà" delle possibili configurazioni impiantistiche: bisogna considerare gli usi specifici e applicare in modo adeguato i diversi provvedimenti atti a limitare la diffusione di contagi.

Gli impianti ad aria primaria hanno portate più ridotte, rispetto a quelli a tutta aria, e non prevedono ricircolo, ma è consigliabile che la ripresa avvenga individualmente dai singoli ambienti trattati e non, come comunemente avviene, attraverso corridoi e servizi, che potrebbero risultare contaminati dal flusso proveniente da locali in cui siano presenti persone infette.

Per quanto riguarda i terminali, i sistemi radianti sono caratterizzati da una ridotta movimentazione dell'aria ambiente (sostanzialmente dovuta alla immissione dell'aria primaria) e questo limita la diffusione e il trasporto di particelle contaminate; d'altra parte ventilconvettori, induttori, travi attive, che ovviamente movimentano maggiori quantità d'aria, se opportunamente dotati di dispositivi a ionizzazione, possono addirittura diventare componenti attivi della sanificazione dell'ambiente.

Gli impianti a tutta aria (eccetto quelli per laboratori e applicazioni sanitarie) sono generalmente concepiti per funzionare con parziale ricircolo d'aria, eventualmente variabile: come già menzionato, alcune raccomandazioni istituzionali suggeriscono, nella presente situazione pandemica, di inibire totalmente la funzione di ricircolo; questo provvedimento che spesso non è di semplice attuazione, dovrebbe quindi essere attuato anche in altri casi di criticità sanitaria, comportando evidentemente difficoltà gestionali e inefficienze energetiche. Tuttavia, in relazione a quanto sopra esposto riguardo alla possibilità di sanificazione dell'aria, si può valutare la possibilità di mantenimento del ricircolo anche in caso di emergenza, dotando gli impianti di opportuni dispositivi di abbattimento o filtrazione delle cariche virali che, in ragione proprio della portata tendenzialmente elevata non solo possono evitare i rischi altrimenti attribuibili al ricircolo ma, possono invece dar luogo a una maggiore diluizione delle eventuali cariche infette prodotte all'interno di uno stesso ambiente, con conseguente maggior salubrità.

La diffusione dell'aria in ambiente è certamente un problema molto complesso: la fluidodinamica computazionale, ma anche lo studio diretto su "mock-up" possono fornire utili indicazioni progettuali.

La riduzione della concentrazione di cariche infettive può anche essere ottenuta mediante dispositivi locali (filtrazione, UV-C, ionizzazione, ma anche unità di ventilazione decentralizzata con recupero di calore), soprattutto nella riqualificazione di edifici esistenti (per esempio edifici storici o scuole) in cui l'invasività di strutture impiantistiche complesse e ingombranti deve necessariamente essere limitata.

Infine vale la pena menzionare che, accanto ad impianti di climatizzazione avanzati ed efficienti, gli impianti speciali possono offrire un ulteriore livello di sicurezza, grazie all'implementazione delle tecnologie degli "smart building", quali, per esempio il monitoraggio delle temperature corporee, con individuazione immediata di soggetti contagiati, o l'individuazione di affollamenti nei percorsi e nelle aree di stazionamento, a partire dalle acquisizioni di sistemi di videosorveglianza (vedi Figura 12).

Conclusioni

L'adozione di adeguate configurazioni impiantistiche, l'uso di tecnologie nuove o finora poco usate (UV-C, ionizzazione, filtrazione ad alta efficienza) nelle centrali, nei terminali, ma anche direttamente negli ambienti, la corretta installazione e manutenzione dei recuperatori di calore, lo studio della diffusione dell'aria mediante modelli CFD o mock-up, l'impiego di sistemi di controllo e monitoraggio, sono gli strumenti a disposizione dei progettisti per migliorare la salubrità dell'ambiente interno in condizioni di emergenza e non, verso uno scenario di crescente sicurezza e sostenibilità. ■

* *Adileno Boeche*, Manens-Tifs S.p.A., Socio AiCARR
Roberto Zecchin, Manens-Tifs S.p.A., Università degli Studi di Padova, Socio AiCARR

BIBLIOGRAFIA

[1] ISS. Rapporto n. 5/2020 rev.2. Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2. (rev. 2 del Rapporto di pari numero in data 21 aprile). Gruppo di lavoro "Ambiente e qualità dell'aria indoor". Istituto Superiore di Sanità, 25 maggio 2020
[2] ISS Rapporto n. 33/2020. Indicazioni sugli impianti di ventilazione/climatizzazione in strutture comunitarie non sanitarie e in ambienti domestici in relazione alla diffusione del virus SARS-CoV-2. Gruppo di lavoro "Ambiente-Rifiuti COVID-19". Istituto Superiore di Sanità. 25 maggio 2020
[3] AiCARR). Posizione di AiCARR sul funzionamento degli impianti di climatizzazione durante l'emergenza SARS-CoV-2. 19 Aprile 2020
[4] REHVA. How to operate and use building services in order to prevent the spread of the coronavirus disease (COVID-19) virus (SARS-CoV-2) in workplaces. 3 aprile 2020
[5] ASHRAE. Position Document on Infectious Aerosols. 14 aprile 2020
[6] Schoen, L. J. Guidance for building operation during the COVID-19 Pandemic. ASHRAE Journal Newsletter. 24 marzo 2020
[7] WHO. Getting your workplace ready for COVID-19. World Health Organization, Geneva, 3 Marzo 2020
[8] WHO. Infection prevention and control during health care when novel coronavirus (nCoV) infection is suspected. Interim guidance. World Health Organization, Geneva, 19 Marzo 2020
[9] Lu J., GuJ., Li K., Xu1 C., Su W., Lai Z., Zhou D., Yu C., Xu B., Yang Z. 2020. COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. Emerging infectious diseases, 26(7)
[10] Cavallini A., Busato F., Pregliasco F. Remarks on the air recirculation in HVAC systems during the SARS-CoV-2 outbreak: the case of all-air ducted plants. AiCARR Journal, Vol. 63, n. 4, 50-55, 9-2020
[11] Gammaitoni L., Nucci M.C. Using a mathematical model to evaluate the efficacy of TB control measures. Emerg Infect Dis. 1997 Jul-Sep; 3(3): 335—342. doi: 10.3201/eid0303.970310
[12] Ren J. Numerical Study of Three Ventilation Strategies in a prefabricated COVID-19 inpatient ward. Building and Environment. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107467