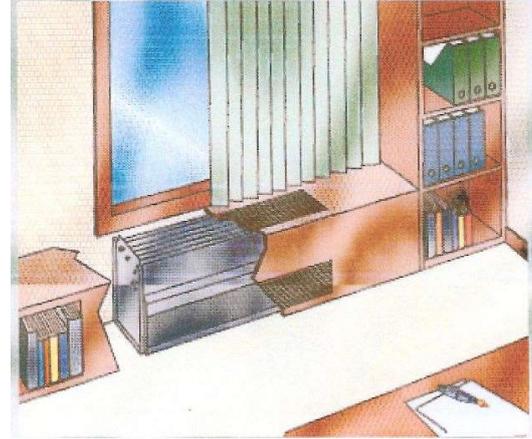


# **CLIMATIZZAZIONE E ARIA DI RINNOVO AI TEMPI DEL COVID-19**

Innovazioni, Logiche di Progetto, Adeguamento Impianti Esistenti

**GIUSEPPE DELGIUDICE**





## Indice Argomenti

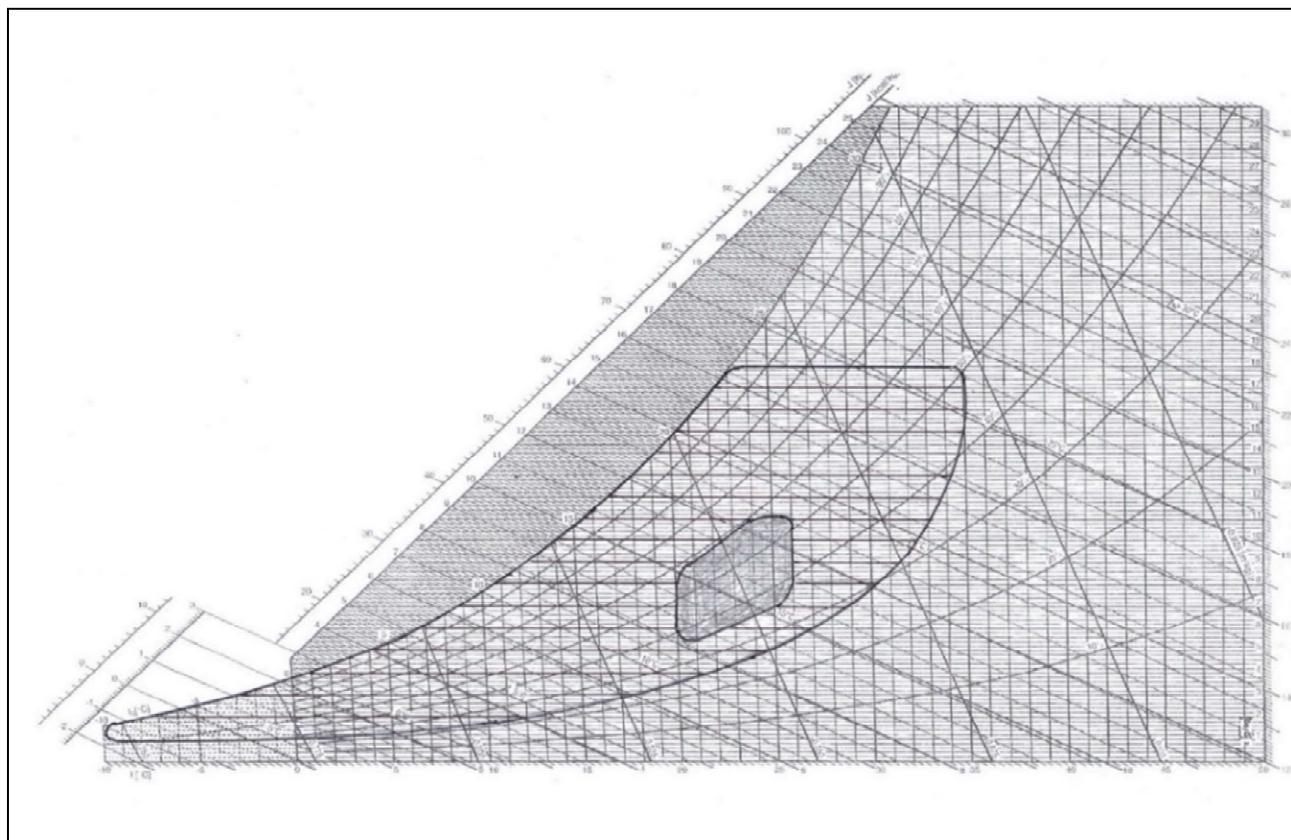
- [ 1 - pag. 03 ] **Coronavirus Transmission 30 Marzo 2020 - When Tokyo Gov. Yuriko Koike called an emergency new conference Monday night**
- [ 2 - pag. 04 ] **AICARR Journal - Aprile 2020**  
*Giorgio Buonanno, Università degli Studi di Cassino*  
**“La Trasmissione del Virus come Particella Aerodispersa: i Rischi negli Ambienti Indoor”**  
*Francesca Romano d’Ambrosio, Presidente di AICARR*  
**“Il Ruolo Fondamentale degli Impianti HVAC”**  
*M. Vio - Past President di AICARR*  
***Gli Impianti di Climatizzazione e il Rischio di Contagio***  
***“Alcune Ipotesi sul SARS-CoV2-19 partendo dal caso di comune Influenza”***
- [ 3 - pag. 07 ] **Erin Bromage - University of Massachusetts**  
***Come si Rischia il Contagio da Coronavirus***
- [ 4 - Pag. 11 ] **Inquinanti Indoor**  
**Tutela della Salute in Ambienti Confinati**
- [ 5 - Pag. 21 ] **Data Base di Progetto**  
***Prima del COVID-19***
- [ 6 - Pag. 35 ] **Climatizzazione e Aria di Rinnovo**  
***Applicazioni [Passato e Presente]***

## Premessa

L'emergenza per la contaminazione da SARS-CoV2-19 ha sollevato una serie di dubbi sul possibile rapporto tra impianto di climatizzazione e diffusione del virus. La comunità scientifica, a livello internazionale, è attualmente impegnata nella ricerca su origini, diffusione, contagi e, in attesa di un vaccino certificato, va preso atto delle comunicazioni di questi giorni da parte dei Ricercatori e Commentatori "la presenza del Coronavirus potrebbe durare a lungo o non sparire ma purtroppo non è possibile prevedere se e quando il virus scomparirà".

Attualmente, nella letteratura scientifica, non c'è traccia di SARS dovuta agli impianti di condizionamento [2 – Prof. Buonanno] ma esiste comunque la certezza che uno dei meccanismi di diffusione del virus è quello diretto; il virus viene trasportato nell'aria dalle goccioline [Micro-droplet infetti] emessi dalle persone contagiate, dalle polveri, e dalle particelle microscopiche in grado di penetrare e depositarsi nell'apparato respiratorio. Queste particelle, solide e liquide, sono state classificate in |  $PM_{10}$  | Polveri fini  $PM_{2,5} = 2.500 \text{ nm}$  | Polveri Ultrafini Nanoparticelle  $0,1 \mu\text{m} = 100 \text{ nm}$  |

In presenza di Micro-droplet nell'ambiente interno, la concentrazione delle polveri assume valori elevati e per tempi lunghi a causa del ridotto rinnovo dell'aria ambiente, ne consegue la necessità di adeguamento delle tecniche di ventilazione.



L'ambiente interno è in continuo rapporto con il contesto climatico esterno attraverso l'involucro edilizio che svolge la funzione di protezione e filtro rispetto alle variazioni stagionali; l'impianto di climatizzazione mantiene, all'interno degli ambienti confinati, i parametri di progetto all'interno dei campi di variabilità assegnati.

L'interfaccia tra edificio e clima va ottimizzata in modo da assegnare all'impianto di climatizzazione il ruolo residuale del microclima interno; i requisiti di classificazione del comfort termico si possono rispettare a condizione che i carichi sensibili siano contenuti entro i valori limite di  $50 \text{ W/m}^2$  per l'inverno e  $80 \text{ W/m}^2$  per l'estate e, nel contempo, vengano assicurate le condizioni di igiene ambientale e di tutela della salute per gli occupanti

[ 1 ] Coronavirus Transmission 30 Marzo 2020 - When Tokyo Gov. Yuriko Koike called an emergency new conference Monday night, reporters expected her to announce tougher <https://youtu.be/SwWjLr4oPRw>

### Emissione in Ambiente da Starnuto, Tosse, Parlato



### Sala Monitor



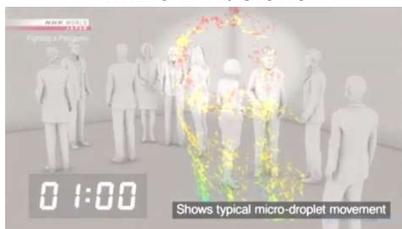
### Ingrandimento



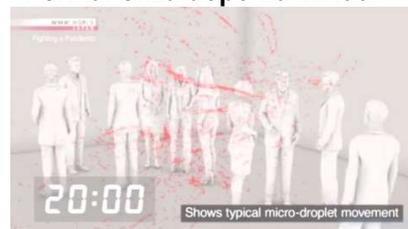
### Intrattenimento



### Inizio Diffusione



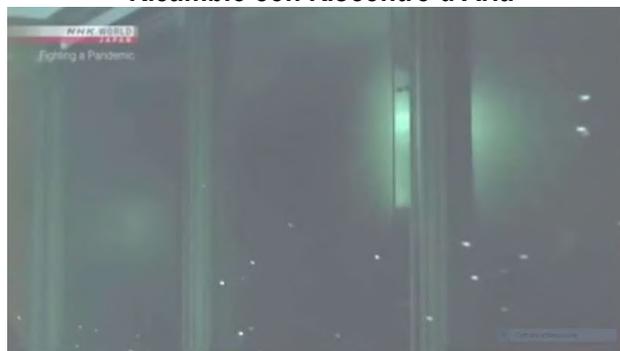
### Permanenza dopo 20 Minuti



### Presenza Virus in Ambiente Chiuso



### Ricambio con Riscontro d'Aria



**Giorgio Buonanno, Università degli Studi di Cassino**

**“La Trasmissione del Virus come Particella Aerodispersa: i Rischi negli Ambienti Indoor”**

**Francesca Romano d’Ambrosio, Presidente di AICARR**

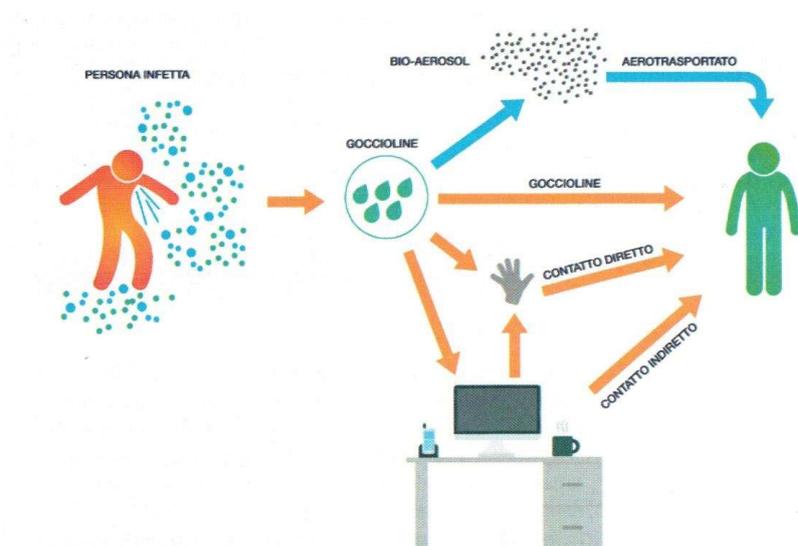
**“Il Ruolo Fondamentale degli Impianti HVAC”**

**M. Vio - Past President di AICARR**

**Gli Impianti di Climatizzazione e il Rischio di Contagio**

**“Alcune Ipotesi sul SARS-CoV2-19 partendo dal caso di comune Influenza”**

Sintesi Argomenti Trattati: per il Testo Completo consultare la Rivista



**Figura 1** – L’OMS ha segnalato quale principale meccanismo di esposizione al virus quello del contatto diretto o indiretto con le secrezioni respiratorie (goccioline) di una persona infetta (colore arancione); in azzurro è indicato il meccanismo dell’aerotrapianto di goccioline contaminate che non è ad oggi evidenziato dalle fonti ufficiali (figura adattata da quella fornita da Francesco Franchimon)

La presenza di una sorgente di aerosol in un ambiente interno la concentrazione delle polveri tende ad assumere valori molto più elevati e per tempi molto più lunghi rispetto a quanto accadrebbe negli ambienti aperti, a causa della ridotta ventilazione.

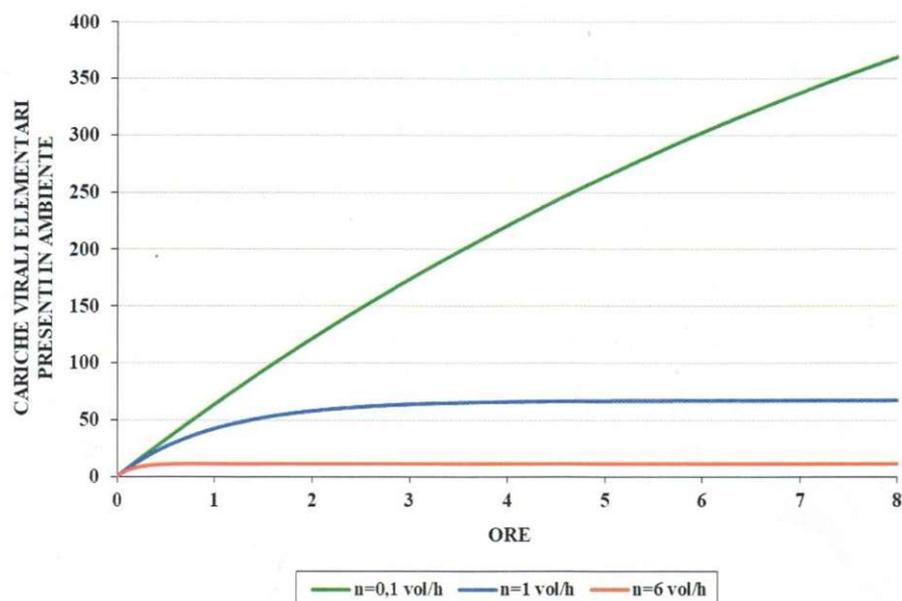
Una persona può essere ritenuta sorgente di particelle liquide emesse durante i diversi atti respiratori: respirazione orale e nasale, vocalizzazione, starnuti, colpi di tosse.

Ogni gocciolina emessa da un soggetto contagioso (Micro-droplet infetto) porta con sé un carico virale che si disperde secondo le leggi della termodinamica:

- A) Regione di prossimità tra 1 e 3 metri all’interno della quale ricadono per gravità le particelle più grandi
- B) Area più esterna nella quale le particelle più piccole sono libere di diffondersi

Negli spazi confinati (ambienti chiusi) non sufficientemente aerati le particelle “virali” tendono a saturare l’ambiente vanificando, di fatto, l’adozione della distanza di sicurezza e, di conseguenza, rendendo necessaria una corretta ventilazione (aria di rinnovo) del locale con un numero adeguato di ricambi orari.

Partendo dalle informazioni relative a infezione causata da comune influenza, le cui caratteristiche sono note e modellate nel tempo, si osserva la rimozione di cariche virali nel tempo in relazione alla portata di aria esterna di rinnovo.



**Figura 1** – Andamento nel tempo delle cariche virali elementari presenti in ambiente per ogni persona infetta, per diversi valori del tasso di ventilazione

Il numero di cariche virali presenti in ambiente è in rapporto inverso alla portata d'aria di rinnovo; il rischio di contagio dipende dalla concentrazione di cariche virali elementari, e non al loro numero assoluto, per cui risulta necessario limitare la presenza di persone, soprattutto in locali di piccole dimensioni. La probabilità di contrarre il Virus, da una persona Infettata, dipende anche dal tempo di permanenza in ambiente; il rischio di contagio cambia se l'infettato entra in un ambiente e ci resta solo per poco tempo (supermercato) o se si tratta di ufficio aperto al pubblico. L'andamento nel tempo delle cariche virali elementari presenti in ambiente è massimo a fine giornata di lavoro; il diagramma è valido per la comune influenza ma non per il SARS-CoV2-19 che produce un numero superiore di cariche virali elementari. In condizioni di emergenza risulta necessario non interrompere l'immissione di aria esterna anche dopo l'orario di lavoro. Le caratteristiche delle cariche virali della comune influenza sono note e modellate nel tempo; sulla base di quanto documentato, relativamente alla concentrazione in relazione alla portata d'aria, risulta:

#### Cariche virali elementari presenti in Ambiente

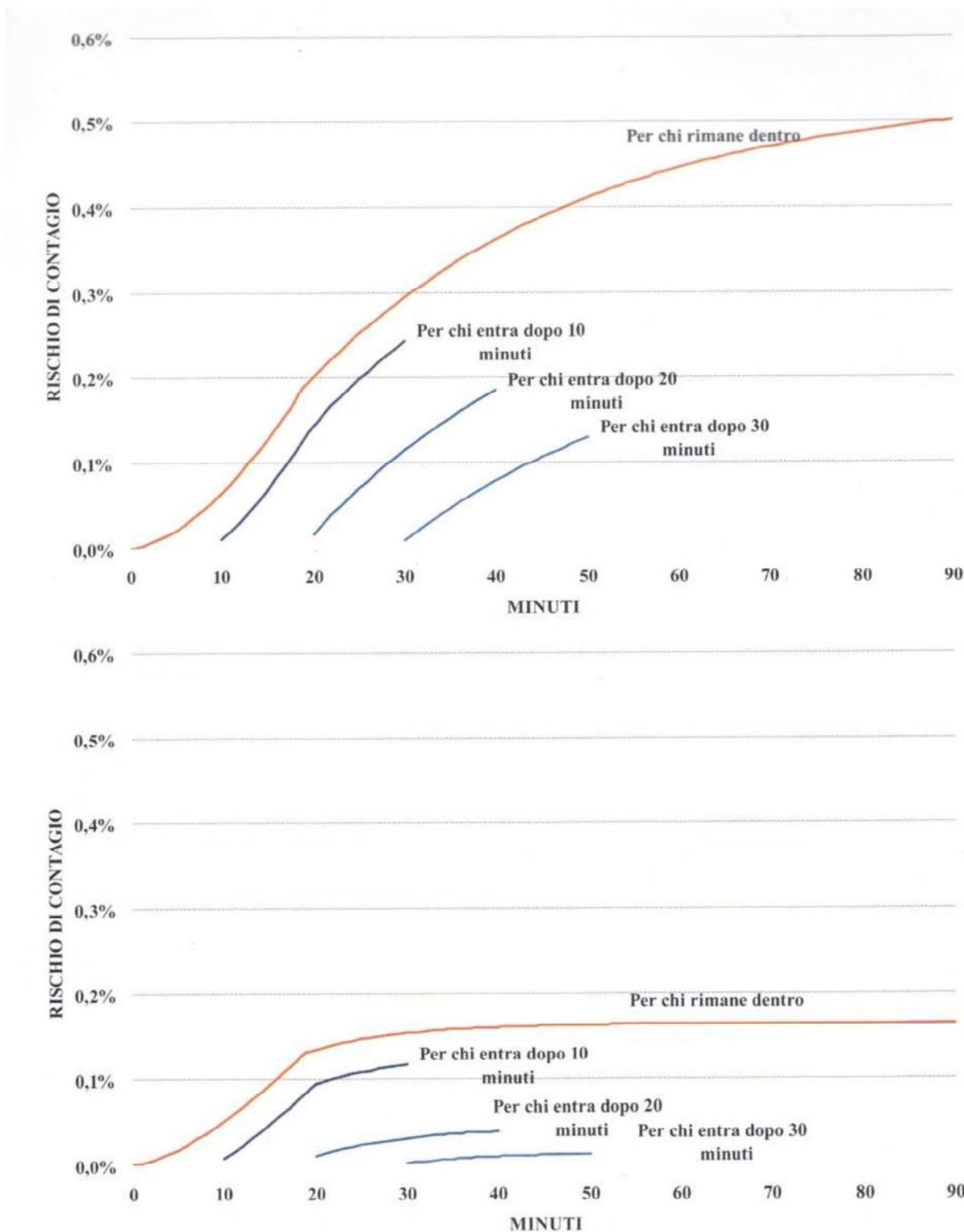
Ore da inizio rilievo	1	2	3	4	5	6	7	8
A) 0,3 m <sup>3</sup> /(h • mq)	70	125	175	250	270	310	340	375
B) 3 m <sup>3</sup> /(h • mq)	40	58	62	63	64	65	66	67
C) 18 m <sup>3</sup> /(h • mq)	10	10	10	10	10	10	10	10

Nella comune influenza, il rischio di contagio varia in rapporto al tasso di ventilazione; i valori sopra indicati si riferiscono alle sole goccioline più sottili che formano l'aerosol; non sono considerate le goccioline più pesanti cadute a terra. A fine giornata, quando le persone sono uscite, è necessario proseguire con l'aria di rinnovo per rimuovere il residuo ambiente;

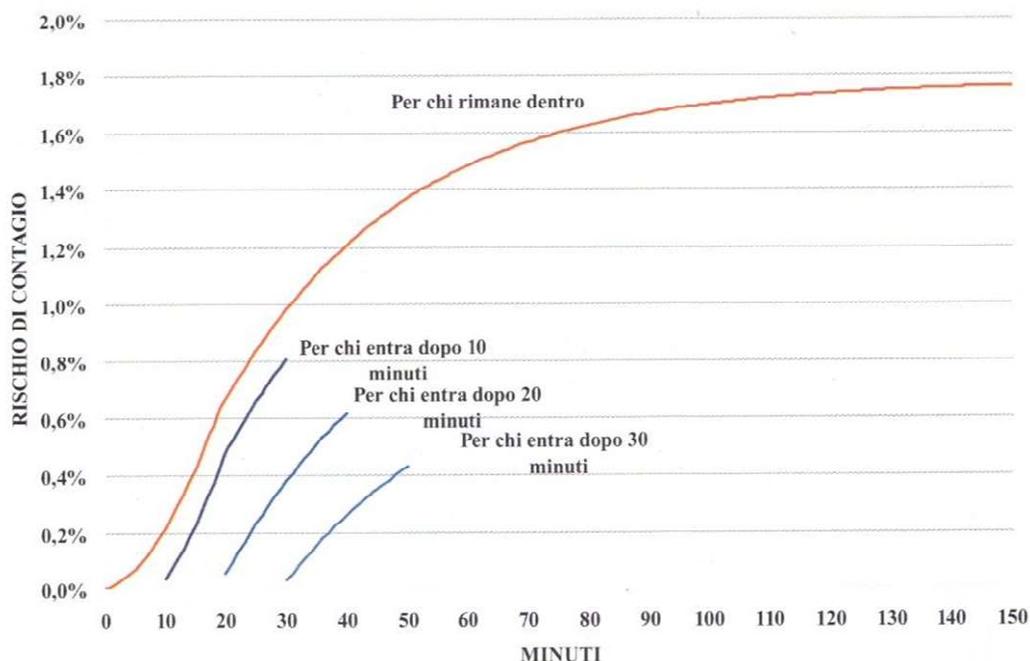
#### Cariche virali elementari presenti in Ambiente

Ore da Fine Servizio	0	1	2	3	4
B) 3 m <sup>3</sup> /(h • mq)	67	22	9	2	0
C) 18 m <sup>3</sup> /(h • mq)	10	4	2	0	

L'andamento della concentrazione di cariche virali all'interno degli ambienti dipende dalla portata di aria esterna di rinnovo che svolge la funzione di diluizione e rimozione della miscela; va però considerato che il SARS-CoV2-19 produce un numero superiore di cariche virali elementari e più aggressive.



**Figura 5** – Andamento nel tempo del rischio per l'ingresso di un contagiato al minuto 0, in un supermercato da 1000 m<sup>3</sup>. In alto il caso di  $n = 0,2$  volumi/h, in basso quello di  $n = 0,6$  volumi/h



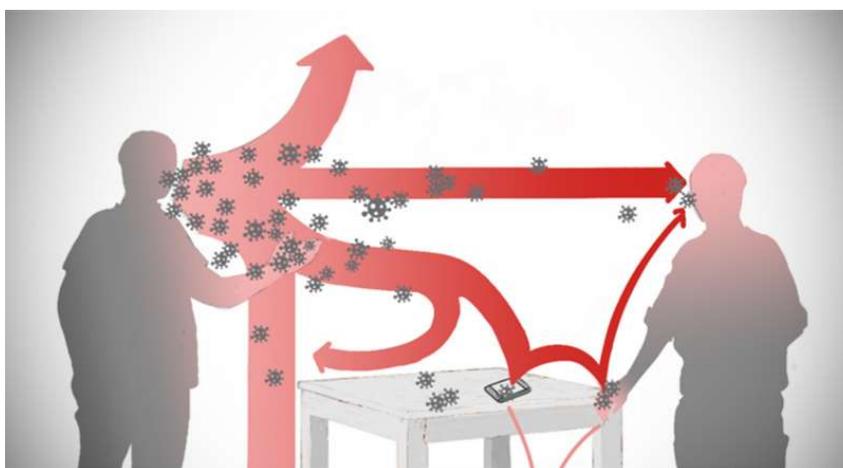
**Figura 6** – Andamento nel tempo del rischio per l'ingresso di un contagiato al minuto 0, in un ufficio pubblico da 300 m<sup>3</sup>

In entrambi i casi (supermercato e ufficio) si ipotizzi che la persona infetta entri nel locale al tempo 0 e ci resti per 20 minuti; il rischio viene calcolato sia per chi lavora nel locale sia per chi vi entra 10, 20, 30 minuti dopo la persona infettata, rimanendovi a sua volta per 20 minuti.

Premessa la necessità di aumento dell'aria di rinnovo in circolazione, negli impianti a tutt'aria il rischio di contagio è comunque legato al movimento delle persone che, passando da un ambiente all'altro possono contaminare gli altri occupanti.; non va poi trascurato il rischio concreto di contrarre il Virus per l'utilizzo di Servizi Igienici promiscui. Si ribadisce che i diagrammi si riferiscono a dati di rischio per l'Influenza Comune; nel caso del CoV2-19 il Rischio Contagio è di molto maggiore e il Virus è più aggressivo.

**[ 3 ] Erin Bromage - University of Massachusetts  
Come si Rischia il Contagio da Coronavirus**

Sintesi Argomenti Trattati: per il Testo Completo <https://.ilpost.it/2020/05/12/contagi-coronavirus-luoghi>



(Patricia A. V. Piñero - Wikimedia)

L'autore spiega in modo accessibile, sulla base delle indagini epidemiologiche condotte in diversi paesi, le modalità di diffusione del Coronavirus affermando che il principale luogo di contagio sono le abitazioni e, di conseguenza, a maggior ragione gli uffici. La stima sulla quantità di particelle necessarie per avviare un'infezione non è di semplice definizione e gli studi sono tutt'ora in corso.

Oltre ai molteplici rischi di contatto, si può rimanere infetti sia nel caso in cui si venga esposti a mille particelle in una sola volta sia nel caso in cui, per breve tempo, si ripetano operazioni che portano a un accumulo di virioni, fino a superare la soglia che rende possibile l'infezione vera e propria.

I bagni, dove sono presenti superfici che vengono inevitabilmente toccate da chi le utilizza, si possono considerare tra i luoghi più a rischio per la diffusione del Coronavirus; oltre al contatto sulle superfici la diffusione avviene anche, tramite le goccioline che si sollevano (in particolari circostanze) con l'attivazione dello sciacquone.

Oltre a quanto dimostrato [ 1 ] in Sala Monitor, con uno starnuto o un colpo di tosse, viene confermato che le gocce più grandi ricadono quasi subito al suolo, perché più pesanti, mentre le altre possono rimanere sospese più a lungo e quindi diffondersi più facilmente nei luoghi chiusi, dove c'è un minore ricambio d'aria; con il respiro, i virioni viaggiano in misura molto minore.

Con l'espiazione, si espelle una quantità minore di materiale dalle vie respiratorie profonde, dove si accumulano le maggiori riserve del coronavirus; la carica virale dei respiri è quindi molto bassa, almeno basandosi sull'esperienza con altri virus come quelli dell'influenza stagionale (che non hanno nulla a che fare con l'attuale).

In ufficio chiuso, occupato da una sola persona positiva al coronavirus, il rischio di contagio per un eventuale interlocutore di fronte dipende da una serie di circostanze; se il funzionario starnutisce o tossisce emette molte particelle virali per cui il rischio di ricevere il contagio è molto elevato. Se l'interlocutore non si trova di fronte, ma in un altro punto dell'ufficio, il rischio rimane anche se minore; i Micro-droplets restano in sospensione nell'aria per qualche minuto ma potrebbero comunque essere respirati.

La probabilità di contagio è più remota se la persona infetta respira regolarmente (ma non tossisce né starnutisce); in questo caso la probabilità di avviare l'infezione si verifica dopo circa 1 ora.

Nel caso di una riunione di lavoro, il rischio è più elevato in quanto, parlando, si emettono fino a dieci volte i droplet che si emettono respirando in silenzio per cui, se non si adottano precauzioni, è possibile infettare in pochi minuti il proprio interlocutore.

Premessa l'incertezza sulle modalità di diffusione del Coronavirus, sulla base di recenti fatti di cronaca, si possono fare valutazioni sul rischio di contagio a seconda dei luoghi e delle circostanze.

Dopo le case di riposo, i casi di contagio più recenti sono avvenuti nelle carceri, nei luoghi di culto e sul posto di lavoro; più in generale, come prevedibile, in luoghi chiusi con scarso ricambio d'aria e con alta concentrazione di persone.

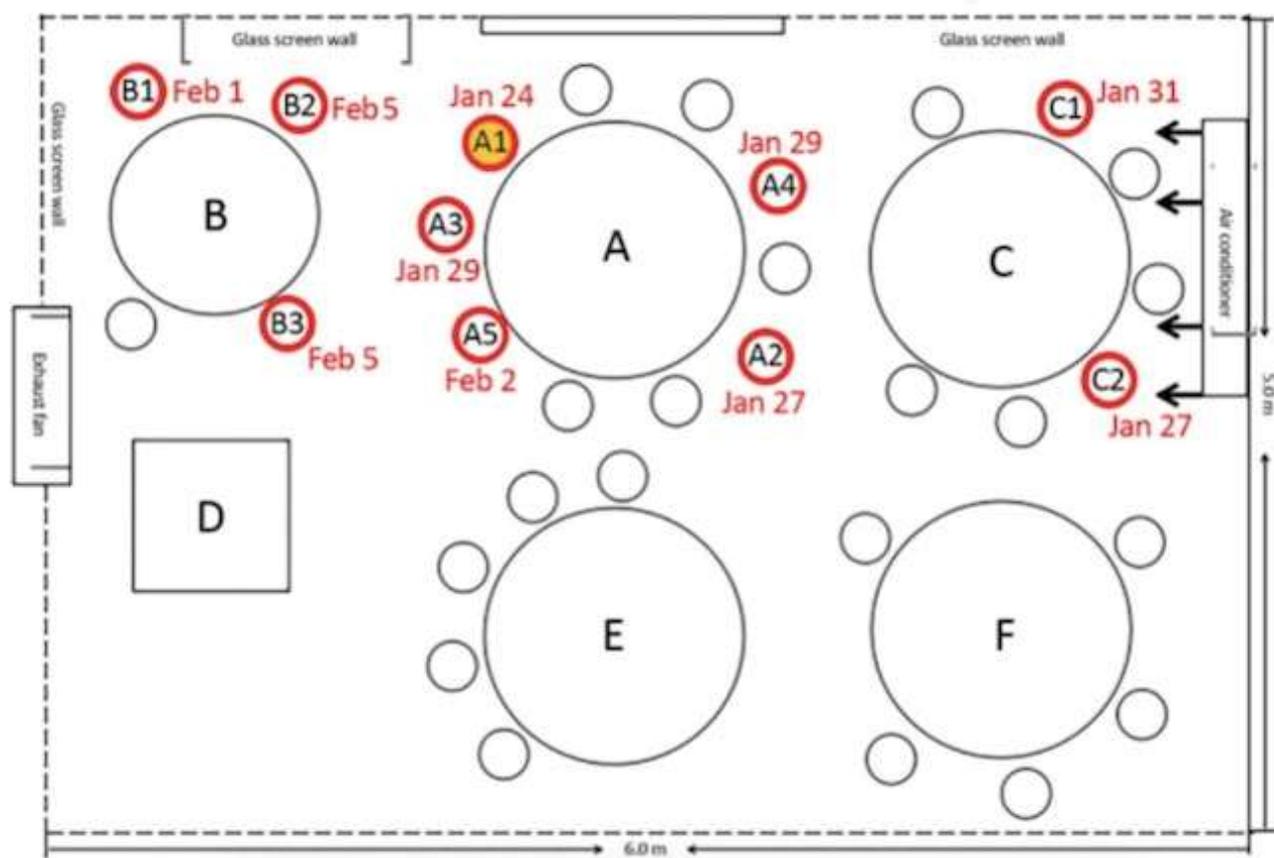
Sul posto di lavoro i rischi sono consistenti; in un call center con 216 impiegati la presenza di una persona infetta, nel corso di una settimana, ha contagiato 94 operatori e tutti, tranne 2, hanno poi sviluppato sintomi della COVID-19. Dallo schema risulta evidente come il contagio abbia interessato quasi esclusivamente le postazioni da un lato dell'ufficio, a conferma che la condivisione di uno stesso spazio a poca distanza da un infetto possa fare la differenza.



Per i Ristoranti, gli studi non sono promettenti; lo schema mostra come la persona infetta (A1) era a tavola con 9 amici per una cena durata circa 90 minuti; A1 non aveva sintomi, quindi rilasciava nell'aria i droplet con la normale respirazione, e questi erano poi trasportati da destra a sinistra dal sistema di ventilazione del ristorante. Circa la metà delle persone a tavola con l'infetto ha sviluppato i primi sintomi della COVID-19 entro una settimana dalla cena.

Altre persone sono poi rimaste infettate a causa dei flussi d'aria all'interno del locale, mentre nei tavoli E ed F, non esposte al flusso d'aria, nessuno dei commensali ha poi sviluppato sintomi.

Sia nel caso del call center sia nel caso del ristorante i Micro-droplets hanno sicuramente avuto un ruolo centrale nella diffusione del contagio, ma non se ne può avere certezza; in entrambi i contesti, si sono toccati molti oggetti sui quali potevano essersi depositati i droplet, per via diretta o dopo che l'infetto ha tossito protetto da una mano e poi, con questa, ha toccato qualche oggetto.



Un'altra situazione particolare, su come possa avvenire la catena dei contagi risulta, da un tracciamento svolto per un caso particolare di Chicago, in occasione di cerimonie e feste:

- (A) non sa di essere positivo al coronavirus e condivide, con due membri della sua famiglia alcuni piatti da asporto, durante una cena durata circa 3 ore
- Il giorno dopo (A) si reca ad un funerale, abbraccia diverse persone per esprimere le condoglianze
- Entro 4 giorni entrambi i familiari con cui aveva condiviso il pasto si sono ammalati
- (A) intanto ha partecipato a una festa di compleanno, durata circa 3 ore, con altre 9 persone e 7 dei partecipanti si sono poi ammalate

Solo qualche giorno dopo questi eventi (A) inizia ad avere sintomi tali da rendere necessario un suo trasferimento in ospedale, dove è morto dopo un breve ricovero, mentre la sua catena di contagio è proseguita.

Tre persone che avevano partecipato con lui alla festa di compleanno sono andate in chiesa, senza sapere di essere state contagiate e rimanendo per diverso tempo a stretto contatto con altri fedeli hanno diffuso ulteriormente il coronavirus.

Stando al tracciamento dei contatti svolto sul caso di Chicago (A) è stato da solo responsabile del contagio di 16 persone con età compresa tra 5 e 86 anni; tre di queste sono morte.

In tutti e tre i casi descritti, risulta evidenza della semplicità con cui si diffonde il virus, ma risulta altrettanto evidenti le circostanze in comune: luoghi chiusi, con persone a stretto contatto, e in contesti dove si parla a voce alta, si canta, si passano oggetti gli uni con gli altri. Questo spiega perché i contagi siano più frequenti in casa, al lavoro, sui mezzi pubblici e nei ristoranti.

Nei supermercati invece, il problema sembrerebbe più circoscritto in quanto gli spazi offerti sono più ampi, ci sono meno interazioni tra le persone e, con gli accessi contingentati, la densità di occupazione risulta inferiore; il rischio di contagio è basso per il pubblico mentre risulta più elevato per il personale.

All'aperto, il passaggio di un contagioso non implica che si venga contagiati, anche perché il processo di contagio deriva dalla quantità di particelle virali e dal loro accumulo in un breve periodo di tempo. Il rischio potrebbe essere un po' più elevato per il passaggio di una persona che fa attività motoria correndo, in quanto espira sicuramente più droplet; in questo caso va però considerato che il tempo di esposizione è limitato per la velocità di transito.

## [ 4 ] Inquinanti Indoor

### *Tutela della Salute in Ambienti Confinati*

---

#### **Premessa**

Per gli ambienti di lavoro il D.Lvo 626/94 e le Direttive comunitarie (OMS guidelines) prescrivono che il Committente o il Datore di Lavoro assicurino condizioni igieniche adeguate all'interno degli ambienti provvedendo alla regolare pulizia e manutenzione tecnica: "l'impianto di ventilazione e di trattamento dell'aria deve assicurare che all'interno dell'ambiente considerato non vi siano sostanze inquinanti in concentrazioni tali da arrecare danno alle persone che ci vivono o lavorano".

La qualità dell'aria interna è oggetto di normativa tecnica dal 1995 con la UNI 10339 e dal 2005, per gli ambienti non residenziali, con la UNI EN 13779.

27/09/2001 Ministero della Salute: Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati" con delega alle regioni per l'emissione dei regolamenti per la salvaguardia della salute negli ambienti Indoor: la condizione ambientale è accettabile quando:

- i parametri microclimatici sono nella normalità
- i contaminanti interni specifici sono in concentrazioni non dannose
- l'80% delle persone sono soddisfatte della qualità dell'aria

*Poiché ogni inquinante ha sulle persone un effetto diverso, sia come entità sia come tipologia, non è possibile una definizione rigorosa di qualità dell'aria e nemmeno indicare l'esatta soglia di accettabilità.*

*Definizione di qualità dell'aria:*

- *Criteri Oggettivi*      *definizione delle concentrazioni dei potenziali inquinanti e calcolo col Metodo Prescrittivo → finalizzato a ottenere nell'ambiente una concentrazione di inquinanti tale da rappresentare un rischio per la salute degli occupanti accettabile a seconda delle tipologie e alla destinazione d'uso degli ambienti stessi*
  
- *Criteri Soggettivi*      *grado di insoddisfazione delle persone misurato col Metodo Prestazionale → al fine di verificare che l'impianto di ventilazione e di trattamento dell'aria assicuri che, all'interno dell'ambiente considerato, non vi siano sostanze inquinanti in concentrazione tale da arrecare danno alle persone che ci vivono o lavorano*

*Il concetto di verifica del grado di soddisfazione è stato introdotto in quanto, oltre al rischio sanitario inerente l'esposizione continua in un ambiente insalubre, esiste un aspetto qualitativo legato soprattutto alla percezione olfattiva, che può rendere l'aria più o meno gradevole, pur senza avere implicazioni di carattere sanitario.*

*L'attenzione alla qualità dell'aria, parallelamente al problema energetico, è diventato di primaria importanza per una serie di fattori:*

- *il tempo trascorso all'interno degli ambienti confinati è nell'ordine di  $\frac{3}{4}$  del totale*
- *l'inquinamento dell'aria esterna è in aumento e con esso anche l'inquinamento dell'aria interna*
- *si impiegano nuovi prodotti, per l'edificio e per gli arredi, che emettono sostanze inquinanti*
- *negli ambienti sono presenti fotocopiatrici, stampanti, ecc.*
- *la cattiva manutenzione degli impianti di condizionamento è spesso causa della Sindrome da Edificio Malato*
- *l'utilizzo, sempre più diffuso, di serramenti di migliore qualità (anche per esigenze di abbattimento acustico) riduce il ricambio naturale dell'aria ambiente*

03/11/2006 Supplemento ordinario alla gazzetta ufficiale, serie generale n° 256, allegato A]: verificato che l'assenza o l'inadeguata manutenzione negli impianti aeraulici è spesso fonte di problemi ambientali e di salute per le persone è stato pubblicato lo schema di Linea Guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione.

La ventilazione degli ambienti confinati con aria esterna, a causa del crescente inquinamento nelle aree urbane e industriali, richiede la valutazione e la quantificazione degli inquinanti in modo da predisporre un trattamento adeguato per renderla idonea alla diluizione e rimozione degli inquinanti prodotti all'interno dell'ambiente interno.

Il progetto dell'impianto di climatizzazione, oltre al calcolo dei carichi di picco e verifiche energetiche, deve assicurare la conformità dell'igiene ambientale e deve essere corredato da un adeguato programma di manutenzione predittiva che mantenga costante, nel tempo di vita utile dei componenti, i requisiti di efficienza energetica e di igiene ambientale.

### **Indoor Air Quality (IAQ)**

Il Ministero dell'Ambiente (1991) definisce "inquinamento indoor", per gli ambienti confinati, la presenza nell'aria di contaminanti fisici, chimici e biologici, non presenti naturalmente nell'aria esterna di sistemi ecologici aperti di elevata qualità. Negli ambienti chiusi dove le persone trascorrono gran parte della vita quotidiana, per evitare il degrado dell'aria interna, nocivo per la salute delle persone, è necessario controllare la concentrazione di agenti inquinanti nocivi aero dispersi da:

- materiali di costruzione
- arredi fissi e mobili
- rivestimenti di pavimenti, pareti e soffitti
- prodotti isolanti con resine miste a formaldeide
- combustione per usi domestici
- prodotti chimici per la pulizia
- fotocopiatrici e apparecchiature elettroniche
- bioeffluenti emessi dalle persone
- presenza di fumatori

Influiscono inoltre le modalità di uso degli spazi (stili di vita e di lavoro), inadeguatezza della ventilazione e/o riduzione dei ricambi d'aria per risparmio energetico.

Il mantenimento di un'adeguata purezza dell'aria, all'interno degli ambienti confinati non industriali, dipende dalla possibilità di controllo dei fattori che concorrono a determinarne la concentrazione in relazione al tipo di contaminante; la diluizione e l'eliminazione dei contaminanti dipende dalla quota di ricambio d'aria tra interno ed esterno.

Gli inquinanti aero dispersi in ambiente vengono diluiti dall'aria esterna di rinnovo per cui l'aria di estrazione contiene la somma dei contaminanti presenti [aria esterna + produzione ambiente]; la migliorata qualità costruttiva dei serramenti, per l'abbattimento acustico e la riduzione delle infiltrazioni, ha ridotto drasticamente il grado di ricambio d'aria nella stagione invernale con conseguente aumento della concentrazione degli inquinanti.

Assumendo pari a 100 la portata d'aria di infiltrazione attraverso le fessure dei serramenti di classe 1 [UNI EN 12207], migliorando la qualità costruttiva, a parità di condizioni, si riduce la portata di infiltrazione e di conseguenza aumenta la concentrazione degli inquinanti:

Classificazione	1	2	3	4
Rapporto Infiltrazione	100%	54%	18%	6%

I principali inquinanti degli ambienti interni sono suddivisi secondo l'origine prevalente: biologici, particolato, chimici; ogni singolo inquinante presente nell'ambiente interno può essere classificato in base al rapporto indoor/outdoor. Questo rapporto consente di classificare l'origine prevalente:

- quando è superiore all'unità, l'origine è interna
- quando è inferiore all'unità, l'origine è esterna

Il rischio per la salute, determinato dalla contaminazione dell'aria, è soggettivo e non dipende solo dalla concentrazione degli inquinanti nell'aria ambiente ma dipende anche dal tempo di permanenza; gli inquinanti responsabili di uno stesso effetto possono essere più di uno o in sinergia tra alcuni di essi. La patologia degli ambienti che soffrono di questo fenomeno è denominata SBS [Sick Building Syndrome = Sindrome da Edificio Malato].

La risposta degli individui, ad una stessa esposizione di un determinato inquinante, varia in funzione delle condizioni e della suscettibilità individuali; numerosi effetti possono manifestarsi anche per la contemporanea presenza di altri fattori come: stress, pressioni lavorative, disagi di origine stagionale.

Definizioni del termine SBS:

Commissione Nazionale per l'inquinamento degli ambienti confinati (1991)

*Edificio malato nel quale le persone che vi soggiornano lamentano patologie che possono essere messe in relazione con l'inalazione dell'aria in esso contenuta*

Organizzazione Mondiale della Sanità

*Reazione al microclima che colpisce la maggior parte degli occupanti e che non può essere correlata con una causa evidente quale un'eccessiva esposizione ad un singolo agente o un difetto del sistema di ventilazione*

### Contaminanti Microbiologici

Le principali fonti di inquinamento microbiologico degli ambienti indoor sono gli occupanti (uomo e animali); la polvere, le strutture e i servizi degli edifici. Altre possibili sorgenti di microrganismi sono gli umidificatori e i condizionatori d'aria dove la presenza di elevata umidità e l'inadeguatezza della manutenzione facilitano l'insediamento e la moltiplicazione dei microrganismi che poi vengono diffusi negli ambienti dall'impianto di distribuzione dell'aria.

In particolare, diversi studi hanno evidenziato che gli umidificatori di impianti centralizzati sono idonei terreni di coltura per batteri termofili e termoresistenti e serbatoi di endotossine batteriche. Negli umidificatori domestici è stata riscontrata anche la presenza di funghi mesofili. Altri siti che possono costituire serbatoi di contaminanti biologici sono le torri di raffreddamento degli impianti di condizionamento ed anche i serbatoi e la rete distributiva dell'acqua ad uso domestico.

Tra i contaminanti ambientali di interesse emergente, un ruolo sempre più importante assumono gli allergeni indoor. L'aumento di prevalenza dell'asma registrato negli ultimi anni nei bambini e negli adolescenti e soprattutto a carico delle forme perenni (non stagionali), in una considerevole parte delle quali è evidenziabile una sensibilizzazione a allergeni presenti negli ambienti indoor.

I principali allergeni all'interno degli edifici sono dovuti solitamente agli acari, agli animali domestici ed a microrganismi come funghi e batteri; la condizione ambientale che ne favorisce la crescita è l'elevata umidità, dell'aria e delle murature.

Gli allergeni prodotti dagli animali domestici sono presenti nei peli, nella forfora, nella saliva e nell'urina. Il principale allergene del gatto (Fel d I) è contenuto nella forfora ed è diffuso nell'aria da particelle di 1-10 µm di diametro. Nelle case dove vi è almeno un gatto la concentrazione di allergeni nell'aria varia da 20 a 1140 ng/m<sup>3</sup>. Il principale allergene del cane è il Can f I; nelle case dove il cane è presente la concentrazione supera i 10 µg/g di polvere.

I biocontaminanti prodotti da animali domestici sono facilmente trasportabili dalle persone (tramite gli indumenti), pertanto si diffondono anche negli ambienti in cui solitamente non ci sono animali. Negli ambienti in cui questi sono vissuti, dopo il loro allontanamento ci vogliono sei mesi per riportare i livelli di concentrazione ai valori della case in cui l'animale non è presente.

### **Inquinanti Chimici**

#### **MONOSSIDO DI CARBONIO (CO mg/cm<sup>3</sup> 1,2 – cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> )**

I livelli di CO sono significativamente influenzati dalla presenza di processi di combustione, quali sistemi di riscaldamento e cottura senza ventilazione o con scarsa ventilazione e fumo da tabacco; in questi casi le concentrazioni interne possono superare quelle esterne. La vicinanza di sorgenti outdoor (ad esempio, strade a elevato traffico, garage, parcheggi) possono avere un impatto significativo sulle concentrazioni all'interno di edifici.

#### **BIOSSIDO DI ZOLFO (SO<sub>2</sub>)**

Le principali fonti negli ambienti indoor sono costituite da radiatori a cherosene, stufe e radiatori a gas privi di scarico esterno e dal fumo di tabacco: valori elevati superiori a 250 µg/m<sup>3</sup> si riscontrano nelle abitazioni riscaldate con stufe a cherosene; queste possono emettere anche grandi quantità di aerosol acidi.

#### **BIOSSIDO DI AZOTO (NO<sub>2</sub>)**

Le principali fonti indoor sono costituite da radiatori a cherosene, stufe e radiatori a gas privi di scarico esterno e dal fumo di tabacco. I valori più elevati vengono generalmente rilevati nelle cucine. I livelli di NO<sub>2</sub>, durante la cottura di cibi con stufe e fornelli a gas, possono essere superiori a 1000 µg/m<sup>3</sup>. In presenza di stufe e fornelli a gas il valore più frequente del rapporto, tra concentrazione indoor e outdoor, è pari a 2 ÷ 3 e aumenta sino a 5 per riscaldamento e fornelli a gas con ventilazione e scarico all'esterno inefficienti.

#### **FORMALDEIDE (H-CHO)**

La formaldeide è un composto organico in fase di vapore che oltre a essere un prodotto della combustione, è anche emesso da resine urea-formaldeide usate per l'isolamento (cosiddette UFFI) e da resine usate per truciolato e compensato di legno, tappezzerie, moquette e altro materiale da arredamento. Negli ambienti indoor i livelli sono generalmente compresi tra 10 e 50 µg/m<sup>3</sup>. Concentrazioni particolarmente elevate sono state osservate in certe situazioni, quali case prefabbricate e in locali con recente posa di mobili in truciolato o moquette.

#### **OZONO (O<sub>3</sub>)**

La quota proveniente dall'esterno rappresenta generalmente la maggior parte dell'ozono presente nell'aria interna, tuttavia, in un ambiente confinato può essere emesso in maniera significativa da strumenti elettrici ad alta tensione (motori elettrici, stampanti laser, fax, apparecchi che producono raggi ultravioletti, filtri elettronici non correttamente installati o senza adeguata manutenzione).

#### **COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (VOC)**

Negli uffici, fattori importanti sono sicuramente il fumo da sigaretta e gli strumenti di lavoro quali stampanti e fotocopiatrici. Altre importanti fonti di inquinamento sono i materiali di costruzione e gli arredi (mobili, moquette, rivestimenti) che possono determinare emissioni continue durante il tempo (settimane o mesi); importanti concentrazioni di VOC sono riscontrabili in particolare nei periodi immediatamente successivi alla posa dei materiali o alla installazione di arredi.

Possono determinare una emissione importante, anche se di breve durata nel tempo, il funzionamento di dispositivi di riscaldamento e l'uso di materiali di pulizia e di prodotti vari (colle, adesivi, solventi).

Un'errata collocazione delle prese d'aria in prossimità di aree ad elevato inquinamento (vie ad alto traffico, parcheggio sotterraneo, autofficina) possono determinare una importante penetrazione di VOC dall'esterno.

#### BENZENE (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

Per quanto riguarda specificatamente gli ambienti interni degli edifici (indoor), le sorgenti di maggior rilievo sono i prodotti di consumo (adesivi, materiali di costruzione e vernici). Il fumo di una sigaretta contiene un quantitativo di benzene significativo e considerevolmente variabile, misurato nell'intervallo da 6 µg/m<sup>3</sup> a 73 µg/m<sup>3</sup>. Numerosi studi indicano che il contributo di sorgenti indoor di benzene, non ultimo il fumo di tabacco, ma anche il rilascio da materiali, da prodotti di consumo e l'impatto di parcheggi interni

agli edifici può essere rilevante, e nei termini da alcuni µg/m<sup>3</sup> sino alla decina e più µg/m<sup>3</sup>, con i valori più elevati attribuibili in linea di massima ad elevate quantità di fumo da tabacco.

#### PARTICOLATO AERODISPERSO (PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>)

Negli ambienti indoor, il particolato è prodotto principalmente dal fumo di sigaretta, dalle fonti di combustione e dalle attività degli occupanti.

La composizione del particolato da combustione varia in base al tipo di combustibile e alle condizioni in cui avviene la combustione.

L'esame del particolato fine raccolto all'interno e all'esterno di abitazioni ed edifici ha consentito di verificare la presenza di n-alcani, acidi grassi (palmitico e stearico), esteri flatati in particolato indoor.

#### ANTIPARASSITARI

Sono presenti in prodotti usati per eliminare zanzare, mosche, blatte e altri insetti. Gli antiparassitari penetrano all'interno degli edifici, anche quando vengono applicati all'esterno, tramite soluzioni di continuità e fessure presenti nelle fondazioni e negli scantinati. Un settore di applicazione di questi composti è il trattamento antimuffa del legno. Una rilevante esposizione cronica ad antiparassitari (in particolare pentaclorofenolo) è stata documentata in soggetti che abitano ambienti ove vi è presenza di superfici di legno trattate, che rilasciano lentamente e per anni tali composti nell'aria ambientale.

#### FIBRE MINERALI SINTETICHE (MMMMF)

Sono fibre minerali prodotte artificialmente: fibre vetrose (lana di vetro e di roccia), fibre ceramiche, fibre di carbonio e numerose altre fibre che sono andate nel tempo a sostituire le fibre di amianto. In particolare i diversi tipi di materiali fibrosi naturali ed artificiali sono suddivisi in fibre artificiali minerali (man made mineral fibres, MMMF) e in fibre artificiali organiche (man made organic fibers, MMOF).

Le MMMF comprendono a loro volta diversi tipi di materiali fibrosi, tra cui in particolare le fibre vetrose artificiali (man made vitreous fibers, MMVF) e le fibre ceramiche.

### Inquinanti Fisici - Randon

Il radon è un gas radioattivo classificato, insieme ai suoi prodotti di decadimento, come agente cancerogeno di gruppo 1 (massima evidenza di cancerogenicità) dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (OMS): l'esposizione al radon è considerata la seconda causa per cancro polmonare dopo il fumo da sigaretta.

Si stima che l'esposizione domestica al radon sia responsabile in Italia del 5-20% dei tumori polmonari, molti dei quali tra fumatori a causa di un probabile effetto sinergico tra radon e fumo. Le principali sorgenti di provenienza del radon indoor sono il suolo sottostante l'edificio e i materiali da costruzione.

In Italia, l'esposizione della popolazione è stata valutata tramite un'indagine nazionale, promossa e coordinata dall'Istituto Superiore di Sanità e dall'ANPA e realizzata negli anni 1989-1996 in collaborazione con le regioni su un campione di oltre 5000 abitazioni. L'indagine ha permesso di stimare la distribuzione della concentrazione di radon nelle abitazioni: il valore medio è risultato di 70-75 Bq/m<sup>3</sup>, a cui corrisponde, secondo una stima preliminare, un rischio individuale sull'intera vita dell'ordine di 0,5%.

In circa l'1% di abitazioni è stata misurata una concentrazione di radon superiore a 400 Bq/m<sup>3</sup> e in circa il 4% di esse (800.000) la concentrazione è risultata superiore a 200 Bq/m<sup>3</sup>.

## **Ambienti Confinati - Effetti sulla Salute e sul Comfort Ambientale della IAQ**

Le patologie aventi un quadro clinico ben definito e per le quali può essere identificato uno specifico agente causale presente nell'ambiente confinato vengono incluse nel gruppo delle cosiddette "Malattie associate agli edifici o Building-related illness (BRI)".

Sono comprese le patologie causate da specifici agenti biologici, chimici e fisici ( polveri, formaldeide, radon, amianto, ecc.); nel complesso si tratta di effetti sulla salute a carico dell'apparato respiratorio, cute, mucose esposte, sistema nervoso e sistema immunologico, come malattie respiratorie, asma, febbre da umidificatori, alveolite, legionellosi, etc.

Recentemente è stata rivolta una particolare attenzione al possibile rischio di tumori legato alla presenza negli ambienti indoor di composti con dimostrata evidenza di cancerogenicità (fumo da sigaretta, radon, amianto); è stato ipotizzato che anche l'inquinamento indoor da composti organici volatili (es. formaldeide, benzene) possa costituire un significativo rischio cancerogeno per i soggetti che trascorrono molto tempo in ambienti confinati e contribuisca in modo significativo al rischio cancerogeno complessivo della popolazione generale.

Tra le patologie determinate dall'esposizione ad agenti indoor, le forme più frequenti comprendono quadri clinici caratterizzati da effetti neurosensoriali che determinano condizioni di malessere, diminuzione del comfort degli occupanti e percezione negativa della qualità dell'aria. In questo contesto la "Sindrome dell'edificio malato o Sick-Building Syndrome (SBS)" viene definita come una sindrome caratterizzata da sintomi che vengono lamentati dalla maggior parte degli occupanti di un edificio.

Un quadro patologico particolare è la "Sindrome da sensibilità chimica multipla o Multiple Chemical Sensitivity syndrome (M.C.S.)" che comprende una sindrome caratterizzata da reazioni negative dell'organismo a agenti chimici ed ambientali presenti a concentrazioni generalmente tollerate dalla maggioranza dei soggetti.

### **Effetti Cancerogeni**

Fumo passivo, Radon e suoi prodotti di decadimento, Amianto e fibre minerali.

E' stato ipotizzato che anche la presenza di VOC (formaldeide e benzene) nell'aria indoor possa costituire un significativo rischio cancerogeno per i soggetti che trascorrono molto tempo negli ambienti confinati e contribuisca in modo significativo al rischio cancerogeno complessivo della popolazione generale.

### **Effetti Irritativi e sul Comfort della Qualità dell'Aria Indoor**

Comfort ambientale e benessere microclimatico si riferiscono ad una condizione dell'aria percepita come ottimale dal soggetto dal punto di vista delle proprietà sia fisiche (temperatura, umidità, ventilazione) sia chimiche (aria pulita o fresca). Dal punto di vista igienico-sanitario una condizione ambientale è da considerare accettabile quando i principali parametri microclimatici sono nell'intervallo di normalità e nel contempo non sono presenti contaminanti specifici in concentrazioni dannose ma, soprattutto, quando la grande maggioranza delle persone esposte (80% o più) sono soddisfatte della qualità dell'aria.

E' da sottolineare che hanno un ruolo fondamentale nello sviluppo degli effetti sulla salute, oltre ai livelli di esposizione, anche le caratteristiche individuali dei soggetti esposti, che causano differenze nella manifestazione di tali effetti (susceptibilità individuale). La risposta dei singoli individui ad una stessa esposizione ambientale, o di uno stesso individuo nel tempo può, infatti, variare per una serie di condizioni personali. Alla base della iper susceptibilità vi possono essere fattori genetici congeniti (es. deficit enzimatici) o fattori fisiologici o patologici (es. età, sesso, gravidanza, stato nutrizionale, abitudine al fumo, malattie preesistenti, allergia, asma). Gruppi della popolazione particolarmente iper susceptibili sono i bambini, gli anziani, le donne gravide ed i soggetti con situazioni patologiche preesistenti, quali malattie polmonari, asma bronchiale, sensibilizzazione allergica.

Il microclima (complesso dei parametri che condizionano lo scambio termico soggetto-ambiente) unitamente all'inquinamento chimico, incide in maniera significativa sulla "qualità" degli ambienti in cui si vive e si lavora e quindi sul benessere delle persone. In effetti il conseguimento del benessere termico, cioè lo stato di piena soddisfazione nei confronti dell'ambiente stesso, costituisce una condizione indispensabile e prioritaria per il conseguimento del benessere totale. La valutazione completa di benessere termico prevede che siano prese in considerazione, sia in fase di studio sia successivamente in fase di intervento, anche altre condizioni come correnti d'aria ed elevata asimmetria di temperatura radiante le quali costituiscono le principali cause di "disagio locale" cioè non uniformità delle variabili ambientali.

I quadri clinici caratterizzati da effetti irritativi e neurosensoriali che determinano condizioni di malessere, diminuzione del comfort degli occupanti e percezione negativa della qualità dell'aria, sono le forme più frequenti, tra le patologie determinate dall'esposizione ad agenti indoor.

I principali composti chimici responsabili di reazioni irritative negli ambienti confinati sono: formaldeide e aloe aldeidi, composti organici volatili (VOC) e sostanze presenti nel fumo di tabacco ambientale, fibre minerali artificiali. L'intensità della risposta dell'organismo all'effetto irritante dipende da alcuni parametri microclimatici, quali temperatura e umidità.

Anche le fibre minerali artificiali, in particolare la lana di vetro, possono essere responsabili di effetti irritativi cutanei che si manifestano con prurito intenso conseguente alla stimolazione meccanica diretta delle microfibre aerodisperse che si depositano sulla cute. Epidemie di dermatiti da fibre minerali sono state osservate in edifici, specialmente in occasione di lavori di manutenzione su pannelli coibentanti, od a seguito di contaminazione delle condutture dell'aria forzata causate da rotture dei condotti e penetrazione del coibente nel quale erano avvolte

Gli effetti sensoriali associati alla qualità dell'aria indoor sono definiti come sensazioni soggettive negative conseguenti a stimoli ambientali che non causano danni permanenti.

Gli effetti sensoriali a lungo termine, collegati a un disagio prolungato, si manifestano come irritabilità, depressione, incapacità di concentrazione, ansietà, cefalea, problemi di digestione, mal di schiena e insonnia.

Infine, alterazioni comportamentali o effetti psico-sociali sono altri tipi di effetti secondari che possono essere osservati in presenza di disagio sensoriale lessato alla qualità dell'aria: esempi di tali effetti di una certa rilevanza sono assenteismo, conflittualità, decremento della produttività, ecc.

Stime della OMS indicano che effetti sensoriali primari o secondari, espressione di disagio, si rilevano nei soggetti che risiedono nel 30% di tutte le nuove costruzioni.

### Concentrazione Inquinanti

La quantità di inquinanti presenti nell'aria si esprime in base alla concentrazione;

*per convertire da ppm a mg/m<sup>3</sup> → moltiplicare ppm per la massa molecolare [kg/kmol] della specie chimica considerata e dividere per la costante 24,45. Ad esempio la massa molecolare della CO<sub>2</sub> è pari a 44,01 e la massa volumica è pari a 0,018 mg/dm<sup>3</sup> → conversione della concentrazione da volume in peso:*

- Concentrazione in volume = 1000 ppm

- Concentrazione in peso mg/m<sup>3</sup> =  $[(1.000 \cdot 44,01) : 24,45] = 1.800$

Per effetto dell'accumulo degli inquinanti negli organi e nei tessuti, è necessario conoscere la concentrazione mediata nel tempo che è diversa per le varie tipologie.

Fonti di inquinante prodotta all'interno degli edifici:

GAS o VAPORI                      CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, VOC, Ozono, Radon

MICRORGANISMI                      Muffe, Batteri, Spore, Funghi

PARTICOLATO                      Polvere, Fumo di Tabacco, Fibre, ecc.

INQUINANTI PRESENTI NELL'ARIA ESPRESSI IN BASE ALLA CONCENTRAZIONE - *Le Recknagel*

Definizione		Massa Volumica	Concentr. max luoghi di lavoro	
		mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	ppm = cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Biossido di Carbonio	CO <sub>2</sub>	0,0018	9,000	5.000
Monossido di Carbonio	CO	0,0012	0,060	50
Formaldeide	H-CHO	0,0012	0,0012	1,000
Ozono	O <sub>3</sub>	0,0020	0,0002	0,100
Benzène	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,0032	0,026	8,000

Valori guida proposti dall'OMS per i livelli di concentrazione nell'aria degli inquinanti, associati ai tempi di esposizione, al di sotto dei quali non sono attesi effetti avversi per la salute, secondo le evidenze scientifiche disponibili:

Inquinante	um	15 min	30 min	1 ora	8 ore	24 ore	1 anno
CO	mg/m <sup>3</sup>	100	60	30	10		
NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>			200			40
SO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	500				125	50
Ozono	µg/m <sup>3</sup>				120		

### Bioeffluenti Atossici e Anidride Carbonica

I bioeffluenti (odori corporali) sono l'unico inquinante la cui emissione non può essere evitata negli ambienti occupati; questi sono costituiti da una grande quantità di composti organici sotto forma di gas e di particolato, originati dal metabolismo umano ed emessi principalmente attraverso il sudore, le secrezioni cutanee e la respirazione.

Pur non avendo azione tossica, i bioeffluenti sono spesso la principale causa di cattiva qualità dell'aria nei locali a elevata densità di occupazione. La CO<sub>2</sub>, a differenza delle polveri, non ha rilevanza igienico sanitaria; la sua misurazione assolve la prescrizione di comfort in relazione alla qualità dell'aria.

Negli ambienti generici (Uffici e Appartamenti), a differenza dell'industria, le fonti inquinanti localizzate non sono quantificate per cui si suppongono uniformemente distribuite; il rilievo della concentrazione, da parte dell'eventuale strumento di regolazione, viene effettuata come valore medio per ciascuna unità immobiliare.

La concentrazione di CO<sub>2</sub> non è tossica al di sotto di 10.000 ÷ 15.000 ppm; l'effetto sull'organismo umano diventa insostenibile oltre il 2,5% = 25.000 ppm.

Nei posti di lavoro il contenuto max ammissibile di CO<sub>2</sub> è pari a 5.000 ppm = 0,5%.

### Bioeffluenti Tossici - Composti Organici Volatili [VOC]

In alternativa all'anidride carbonica, si può adottare come indicatore una miscela di VOC in genere presenti nei bioeffluenti (acetone, nonano, ecc.) la cui concentrazione viene misurata con sensori generalmente indicati come "sensori di qualità dell'aria":

VOC Composti Organici Volatili

*Famiglia di sostanze tra cui prevalgono gli alcani, i cicloalcani, i terpeni, gli idrocarburi aromatici e clorurati e le aldeidi; tra queste le più diffuse in ambienti residenziali sono il diclorometano, il limonene, il toluene, ma il più importante dal punto di vista tossicologico e mutagenico è la formaldeide [H-CHO].*

La presenza di VOC nell'aria interna è legata all'uso di numerose sostanze, quali solventi, deodoranti, tarmicidi, colle, vernici, detersivi domestici, cere per pavimento, ecc. Sono inoltre causa di VOC i processi di combustione, il fumo di tabacco, il metabolismo umano, e gli stessi impianti di condizionamento.

In particolare, la presenza di formaldeide è dovuta ad alcuni tipi di arredo a base di truciolato, all'uso di alcuni tipi di vernici, collanti, cosmetici, prodotti per le piante verdi, schiume poliuretatiche e anche nel fumo da tabacco.

Il tasso di emissione di formaldeide, da parte dei materiali varia col tempo:

- schiume isolanti (urea formaldeide) si dimezza ogni 2-3 anni
- pannelli di truciolato  $4 \mu\text{g}/\text{m}^2$
- un pacchetto di sigarette  $380 \mu\text{g}$
- fornello a gas  $15-25 \mu\text{g}/\text{h}$

Gli impianti di condizionamento portano un contributo non trascurabile, nell'ordine di decine e anche centinaia di  $\text{mg}/\text{h}$  di VOC, attraverso adesivi, sistemi di sigillatura e isolamento canali, recuperatori, filtri, ecc.

Rilievo della concentrazione di VOC eseguiti in alcuni edifici del Nord Italia:

- Aria Esterna  $370 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Aria Ambiente  $3250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di cui  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Formaldeide

Effetti della concentrazione di Formaldeide:

- $> 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per breve durata  $\rightarrow$  irritazione oculare
- $1000 \div 2000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow$  marcata irritazione delle vie respiratorie

Vi è il sospetto che la Formaldeide sia cancerogena nel caso di inalazione cronica; concentrazioni superiori a  $5600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  provocano il tumore nasale nei roditori.

La formaldeide rappresenta un modello e un indicatore della presenza in ambiente dei VOC in quanto è una sostanza che si trova con maggior frequenza in ambienti in cui si siano verificati disagi alle persone, attribuibili alla presenza di componenti organici volatili

### **Ozono [O<sub>3</sub>]**

La principale fonte di ozono è normalmente l'aria esterna, dove la sua formazione è una delle conseguenze dello *smog fotochimico*: può avere origine anche all'interno, da parte di sorgenti di radiazione UV [fotocopiatrici, stampanti, filtri elettrostatici, ionizzatori].

I livelli di ozono in ambiente, in assenza di una fonte di mantenimento, tendono a decadere velocemente; dopo circa  $\frac{1}{2}$  ora la concentrazione si dimezza.

Con l'apertura delle finestre, nel tempo, il livello di ozono all'interno dell'ambiente diventa pari all'esterno; con l'infiltrazione dai serramenti la concentrazione all'interno si riduce al  $20\% \div 10\%$ .

L'ozono è un gas fortemente reattivo, in grado di ossidare numerosi componenti cellulari (amminoacidi, proteine, lipidi). L'esposizione anche per brevi periodi a concentrazioni di ozono superiori a  $0,40 \text{ ppm}$  può ridurre: l'efficacia dei sistemi di difesa (abilità dei polmoni a inattivare atteri e virus), i sistemi di trasporto mucociliari, i macrofagi polmonari.

L'esposizione continua a concentrazioni ridotte [ $\text{ppm } 0,08 \div 0,10$ ] ha un effetto comprovato sulla irritazione agli occhi e dei tratti respiratori.

L'ozono inoltre attacca e infragilisce le gomme, indebolisce i tessuti e stinge i colori; è stato rilevato un effetto sinergico con la  $\text{SO}_2$ .

### **Inquinanti Prodotti dai Processi di Combustione**

Nelle case di abitazione sono presenti numerosi inquinanti [Ossidi di Azoto, Ossidi di Carbonio, Ossidi di Zolfo] prodotti dai processi di combustione (cottura di cibi, impinti termici autonomi, fumo da tabacco).

Gli ossidi di Azoto e di Carbonio dipendono essenzialmente dalle modalità di combustione e in particolare influiscono gli apparecchi di cottura che scaricano direttamente in ambiente i prodotti della combustione. La concentrazione, all'interno degli ambienti, può superare di  $5 \div 6$  volte la concentrazione nell'aria esterna.

Gli  $\text{NO}_x$  hanno azione prevalentemente irritante; l'esposizione cronica ad una concentrazione  $> 350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  provoca un aumento dei disturbi respiratori nei bambini. Sopra i  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gli stessi sintomi si aggravano e si manifestano anche negli adulti sani.

La tossicità dell'ossido di carbonio è dovuta alla sua affinità con l'emoglobina (210 volte maggiore di quella dell'ossigeno) con cui forma la carbossiemoglobina; gli organi che più risentono della presenza di CO sono quelli che richiedono i più elevati fabbisogni di ossigeno [cervello, cuore, muscoli in attività]. Concentrazioni medie superiori a 10 ppm sono particolarmente sensibili per le persone che presentano malattie delle arterie coronarie e periferiche, gli ammalati di broncopneumopatie croniche ostruttive e quelli affetti da disordini ematologici.

Gli ossidi di zolfo - presenti solo con l'uso di gasolio, cherosene, carbone - possono raggiungere concentrazioni medie nell'ordine di  $0,1 \div 2,0$  ppm; la  $SO_2$  è tossico a concentrazioni superiori a 5 ppm. A concentrazioni inferiori ha azione prevalentemente irritante e può determinare un aumento delle malattie bronchiali e cardiovascolari.

### **Microrganismi**

Molti microrganismi (muffe, funghi) trovano il loro terreno di coltura nell'acqua o nelle zone umide: componenti degli impianti di condizionamento come umidificatori, torri evaporative, parti rese umide dalla condensa superficiale, ecc.)

La contaminazione di componenti degli impianti di condizionamento, ad opera dei microrganismi, è un evento ricorrente, dovuto alla difficoltà di ispezione e alla cattiva manutenzione degli impianti; la crescita può virtualmente avere luogo in ogni componente di impianto:

- *Spore di Penicillium, Cladosporium, Aspergillus* sono state trovate a valle delle batterie di raffreddamento
- *Polveri, VOC (metanolo, acetone, fenolo, ecc.) e spore (soprattutto di penicillium) possono essere emessi dai filtri*

L'isolamento in fibre porose dei canali e delle unità di trattamento dell'aria può fungere da ricettacolo e terreno di coltura di microrganismi, soprattutto in presenza di sporco e umidità, e consentirne la sopravvivenza anche dopo la sterilizzazione.

Il fenomeno della condensa superficiale è particolarmente insidioso; si manifesta ogni volta che l'umidità relativa dell'aria condensa sulla superficie di una parete.

La germinazione di muffe e di altri microrganismi diviene possibile quando l'attività dell'acqua (ovvero, in regime stazionario, la sua umidità relativa) rimane più alta, per un sufficiente periodo di tempo, rispetto a un valore di soglia "grado di attività minima" funzione della specie di muffa, della temperatura, del substrato, ecc.

### **Particelle Inalabili**

L'attenzione, per i danni alla salute, è concentrata sulle particelle con dimensioni tra 0 e 10  $\mu m$  tra cui:

3  $\div$  10  $\mu m$       frazione grossolana

< 5  $\mu m$         frazione fine

La frazione fine viene spesso indicata come complesso delle particelle solide respirabili.

Le frazioni fini e grossolane delle particelle inalabili, hanno differenti fonti e differenti composizioni chimiche.

Le composizioni delle particelle esistenti in ambienti chiusi sono diverse da quelle esistenti all'esterno per effetto di barriera da parte delle strutture; tuttavia la massa delle particelle presenti all'interno può essere superiore rispetto all'esterno per effetto del fumo, generazione di polveri, accumulo di polveri e particelle introdotte dall'esterno per infiltrazione e sull'abbigliamento delle persone.

### **Sindrome da Edificio Malato [SBS] Sick Building Syndrome**

Si manifesta attraverso sintomi non specifici che possono essere raggruppati in cinque categorie principali:

Manifestazioni Respiratorie: *sensazione di irritazione e secchezza delle mucose nasali e faringee, e in misura minore di forme asmatiche*

Manifestazioni Oftalmiche: *secchezza ed irritazione delle mucose degli occhi*

Manifestazioni Cutanee: *arrossamenti e secchezza della pelle, e in alcuni casi eritemi e dermatiti*

Sensazioni Olfattive e Gustative sgradevoli

Manifestazioni Neuropsichiche: *astenia, torpore, sonnolenza, difficoltà di concentrazione, diminuzione della memoria, mal di testa, talvolta nausea e vertigini* Si tratta di sensazioni di malessere che spariscono durante il fine settimana e le vacanze e che hanno una recrudescenza alla ripresa del lavoro; le cause specifiche di insorgenza dipendono da diversi fattori:

Natura Chimica      *VOC, sostanze gassose varie, Fumo da tabacco*  
 Natura Fisica      *Temperatura, Umidità relativa, Vibrazioni, Ioni, Particolato*  
 Biologica  
 Psicologica

Questi fattori hanno un effetto sinergico: la qualità dell'ambiente è determinata dall'interazione tra lo spazio fisico e lo spazio mentale:

- la sintomatologia è più pronunciata fra le femmine che fra i maschi
- i lavoratori in edifici ventilati naturalmente presentano meno sintomi di quelli in edifici condizionati
- negli edifici più caldi si presentano più sintomi che negli edifici più freddi
- esiste un legame fra alcuni sistemi di umidificazione e raffrescamento e le manifestazione dei sintomi
- la sintomatologia è più pronunciata fra coloro che sono meno soddisfatti del proprio lavoro

Di norma in ambienti correttamente ventilati e ben controllati igroscopicamente il carico di microinquinanti biologici (in particolare batteri e funghi) diminuisce sensibilmente; se però l'impianto è mal funzionante o carente di manutenzione si realizza una concentrazione anomala di biocontaminanti che peggiora la situazione rispetto all'ambiente ventilato in modo naturale.

Per i normali ambienti di residenza o ufficio è considerato accettabile il limite di 500 ufc/m<sup>3</sup> per i batteri e 300 ufc/m<sup>3</sup> per le muffe.

## [ 5 ] Data Base di Progetto

### *Prima del COVID-19*

#### Premessa

Il meccanismo fisico con cui la ventilazione riduce la concentrazione di inquinanti, è quello della diluizione; l'andamento, in funzione del tempo, della concentrazione di inquinante dipende dalla concentrazione interna iniziale e dalla portata dell'aria di rinnovo che svolge la funzione di diluizione e di rimozione della miscela.

La quantità di aria esterna necessaria per la diluizione della CO<sub>2</sub> va modulata in relazione alle effettive necessità dell'ambiente; i tassi prescritti di ventilazione con aria esterna stabiliscono i limiti minimi di accettabilità, mentre la concentrazione di CO<sub>2</sub> determina (durante il funzionamento) il valore effettivo della portata d'aria necessaria. Va precisato che la correlazione tra le concentrazioni interne di CO<sub>2</sub> e i tassi di ventilazione è valida solo in regime stazionario.

In un ambiente privo di ventilazione, nota l'emissione di CO<sub>2</sub>, si può determinare il tempo necessario per raggiungere una determinata concentrazione.

Si può calcolare ad esempio il tempo necessario per raggiungere la concentrazione di 1000 ppm per diverse cubature, partendo da una concentrazione iniziale di CO<sub>2</sub>, all'interno dell' ambiente, pari a 500 ppm e con presenza di una persona con produzione di 21 l/h di CO<sub>2</sub>:

Ambiente	mc	10	20	<b>30</b>	50
Aria	litri	10.000	20.000	<b>30.000</b>	50.000
Emissione CO <sub>2</sub>	l/min	0,35	0,35	<b>0,35</b>	0,35
[1000 - 500]	Δ ppm	500	500	<b>500</b>	500
Δ ppm	%	0,05	0,05	<b>0,05</b>	0,05
Accumulo CO <sub>2</sub>	litri	5	10	<b>15</b>	20
Tempo min = Accum: Emiss.		14,3	28,6	<b>42,9</b>	71,5

### Diluizione del Biossido di Carbonio

In presenza di ventilazione con aria esterna, per raggiungere la condizione di regime (1000ppm), il tempo aumenta in relazione al tasso di ventilazione; ad esempio per l'ambiente da 30 mc, con portata nella prima ora di 16 m<sup>3</sup>/h di aria esterna contenente 400 ppm di CO<sub>2</sub>, il tempo aumenta da 42,9 min a 60 min:

$$C_i = C_s + \frac{(q \cdot 10^3)}{Q} + \left[ (C_0 - C_s) - \frac{(q \cdot 10^3)}{Q} \right] \cdot e^{-nt}$$

C<sub>i</sub> Concentrazione aria interna IDA in ppm dopo il tempo t espresso in ore

n (Q : V) Tasso orario di ricambio dell'aria = 16 : 30 = 0,533

e Base dei logaritmi naturali o iperbolici = 2,71828

C<sub>s</sub> Concentrazione nell'aria di apporto SUP = 400 ppm

C<sub>0</sub> Concentrazione interna iniziale = 500 ppm

q Portata di inquinante prodotto in ambiente = 21 l/h

Q Portata di aria esterna nella prima ora = 16 m<sup>3</sup>/h

V Volume del locale = 30 m<sup>3</sup>

Nella prima ora risulta:

$$\text{ppm} = \left[ 400 + \frac{(21 \cdot 10^3)}{16} \right] + \left\{ \left[ (500 - 400) - \frac{(21 \cdot 10^3)}{16} \right] \cdot 2,71828^{-(0,533 \cdot 1)} \right\} =$$

$$\text{ppm} = [400 + 1313] + \{ [100 - 1313] : 1,7 \} = 1713 + \{ [- 1213] : 1,7 \} = \text{ppm} = 1713 - 713 = 1000$$

Nella prima ora la portata d'aria esterna è pari al 50% circa rispetto alla condizione di regime; nella prima ora sono sufficienti 16 m<sup>3</sup>/h contro 35 m<sup>3</sup>/h per le ore successive.

Dopo la prima ora, In condizione di regime permanente e con inquinante uniformemente distribuito, la concentrazione risulta inversamente proporzionale alla portata di aria esterna:

$$C_i = C_s + \frac{(q \cdot 10^3)}{Q} = 400 + \frac{21.000}{35} = 1000 \text{ ppm}$$

La portata di aria esterna a regime può essere determinata in base alla concentrazione di inquinante che si vuole mantenere in ambiente [C<sub>i</sub> - C<sub>s</sub> = Produzione Ambiente]:

$$Q = \frac{(q \cdot 10^3)}{(C_i - C_s)} = \frac{21.000}{(1000 - 400)} = 35 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tasso di ricambio d'aria necessario per mantenere la concentrazione di inquinante C<sub>i</sub> in ambiente:

$$n = \frac{(q \cdot 10^3)}{V \cdot (C_i - C_s)} = \frac{21.000}{30 \cdot (1000 - 400)} = 1,17 \text{ Vol/h}$$

## Efficienza di Ventilazione

Il tasso di ricambio dell'aria governa la velocità con cui la concentrazione interna di un contaminante aumenta o diminuisce in risposta ad una variazione della concentrazione esterna dello stesso contaminatore.

Il tasso di ricambio dell'aria rappresenta il rapporto, espresso in volume scambiato per unità di tempo, con il quale l'aria interna è sostituita dall'aria esterna: ad esempio in un ambiente da 200 m<sup>3</sup> se vengono introdotti 100 m<sup>3</sup>/h per sostituire un'eguale quantità di aria ambiente, il tasso di ricambio è pari a 0,5 Vol/h.

Il ricambio dell'aria ambiente è ottenibile con tre modalità:

- Infiltrazioni, dovute alla differenza di pressione tra l'interno e l'esterno dell'ambiente
- Ventilazione naturale per l'apertura di porte e finestre
- Ventilazione meccanica ottenuta con lo scambio di aria, tra ambiente interno ed esterno, per mezzo di un ventilatore o da un sistema motorizzato

L'ipotesi di concentrazione uniforme degli inquinanti all'interno dell'ambiente non è mai verificata; di fatto si trova una migliore qualità dell'aria in prossimità del diffusore di immissione rispetto alle zone vicino alle fonti inquinanti o alle griglie di estrazione; l'ottimizzazione della distribuzione dell'aria in ambiente è definita dal fattore di efficienza della ventilazione.

L'efficienza della ventilazione, misura della capacità di rimozione dell'inquinante dall'ambiente, dipende sia dalle caratteristiche dell'emissione (collocazione, caratteristiche) sia dalla tipologia del sistema di ventilazione: con miscelazione perfetta l'efficienza è pari a 1.

La norma UNI EN 13779 definisce l'efficienza di ventilazione il rapporto tra le concentrazioni di inquinamento nell'aria di apporto, nell'aria espulsa e nell'aria di respirazione (all'interno della zona occupata):

$$\epsilon_v = \frac{(C_x - C_s)}{(<C_i> - C_s)}$$

$C_x$	aria estratta	$ETA$
$C_s$	aria di apporto	$SUP$
$C_i$	aria interna	$IDA$ (zona occupata)

In sostanza l'efficienza di ventilazione (efficienza di rimozione degli inquinanti all'interno della zona di respirazione) rappresenta la misura della capacità di rimozione dell'inquinante all'interno della zona occupata ovvero rapporto tra la concentrazione dell'inquinante tra l'aria espulsa e la concentrazione media nella zona occupata.

Nota l'efficienza di ventilazione  $\epsilon_v$  i valori calcolati per l'inquinante uniformemente distribuito, vengono modificati:

$$C_i = C_s + \frac{(q \cdot 10^3)}{(\epsilon_v \cdot Q)}$$

$$Q = \frac{(q \cdot 10^3)}{[\epsilon_v \cdot (C_i - C_s)]}$$

$$n = \frac{(q \cdot 10^3)}{[\epsilon_v \cdot V \cdot (C_i - C_s)]}$$

## Efficienza Convenzionale di Ventilazione

Con l'impianto di ventilazione meccanica la concentrazione di inquinanti all'interno dell'ambiente viene diluita con immissione di aria esterna e rimossa per mezzo dell'impianto di estrazione. Le concentrazioni di inquinanti presenti nell'aria esterna vanno rese compatibili (attraverso un'adeguata filtrazione) con la produzione interna in modo che la concentrazione finale risulti conforme ai requisiti prescrittivi di igiene ambientale. In alcuni casi particolari può essere utile o necessario ridurre le quantità di aria esterna e provvedere con una più efficace filtrazione dell'aria di ricircolo.

Va considerato che l'ipotesi di concentrazione uniforme degli inquinanti non è mai, di fatto, rispettata; con la diffusione a miscelazione, la qualità dell'aria risulta migliore in prossimità del diffusore e la concentrazione di inquinanti risulta maggiore nella zona occupata (zona di respirazione) rispetto alla griglia di ripresa, per un effetto di corto circuito. Lo studio sull'efficienza di ventilazione ha consentito la quantificazione dell'efficienza di ventilazione.

I vari documenti sull'argomento, pur presentando tra loro sostanziali differenze, hanno in comune la definizione delle portate minime di aria di ventilazione per l'ottenimento di un determinato livello di qualità dell'aria interna; in tutti questi standard è presente il concetto di efficienza di ventilazione.

La revisione dello Standard ASHRAE 62/89 di riferimento [*Ventilazioni for Acceptable Indoor Air Quality*] aggiornato nel 1999, indica l'esistenza di due metodi per il raggiungimento delle condizioni di qualità accettabile per l'aria interna:

<i>Indoor Air Quality Procedure</i>	prevede il controllo dei contaminanti conosciuti e controllabili → metodo prestazionale
<i>Ventilation Rate Procedure</i>	definisce la qualità e la quantità della ventilazione necessaria all'interno degli ambienti → metodo prescrittivo

Per lo standard ASHRAE 62/89R l'efficienza di ricambio d'aria [ $E_{ac}$  efficienza dimensionale di ricambio d'aria] può essere considerata una misura della capacità del sistema di fornire aria esterna nel volume occupato dalle persone:

- Immissione di aria fredda dall'alto	$E_{ca}$ 1,0
- Immissione di aria fredda dal basso ed estrazione dall'alto quando si utilizzano velocità basse e si ottiene una stratificazione termica (displacement ventilation)	$E_{ca}$ 1,2
- Immissione di aria fredda da pavimento quando la velocità è Sufficiente a indurre una buona miscelazione dell'aria ambiente	$E_{ca}$ 1,0
- Immissione di aria calda dall'alto con $\Delta t_u < 8K$	$E_{ca}$ 1,0
- Immissione di aria calda dall'alto con $\Delta t_u > 8K$	$E_{ca}$ 0,8
- Immissione di aria calda dal basso ed estrazione dall'alto	$E_{ca}$ 0,7

In alternativa alla procedura prescrittiva è previsto che si possa adottare quella prestazionale: procedura analitica. In questo caso, la determinazione della portata di ventilazione si basa sulla considerazione delle emissioni di contaminanti che possono essere previste per lo specifico edificio e sulla adozione di opportuni valori massimi ammessi di concentrazione per ciascuno dei contaminanti considerati.

Questa scelta è raccomandabile per ambienti nei quali si abbiano sorgenti di contaminazione particolarmente forti o numerose, quando negli ambienti si vogliono ottenere livelli molto bassi di contaminazione, quando si vogliono adottare criteri di accettabilità (effetti sulla percezione degli odori, irritazione sensoriale) diversi da quello previsto nella procedura prescrittiva.

Tecnical Report prENV1752 pubblicato dal Comitato Europeo di Normazione (CEN): *Ventilation for Buildings - Design Criteria for the Indoor Environment*

CR 1752:1998 Efficienza di ventilazione nella zona occupata (*breathing zone*):

DIFFUSIONE A MISCELAZIONE: mandata ed estrazione dall'alto

- Raffreddamento	$\Delta t_u$	K	< 0	$E_v$ 0,9 ÷ 1,0
- Riscaldamento	$\Delta t_u$	K	0 ÷ 2	$E_v$ 0,9
			2 ÷ 5	$E_v$ 0,8
			> 5	$E_v$ 0,4 ÷ 0,7

DIFFUSIONE A MISCELAZIONE: mandata dall'alto ed estrazione dal basso

- Raffreddamento	$\Delta t_u$	K	> 5	$E_v$ 0,9
			5 ÷ 0	$E_v$ 0,9 ÷ 1,0
- Riscaldamento	$\Delta t_u$	K	> 0	$E_v$ 1,0

DIFFUSIONE A DISLOCAMENTO: mandata dal basso ed estrazione dall'alto

- Raffreddamento	$\Delta t_u$	K	< 0	$E_v$ 1,2 ÷ 1,4
- Riscaldamento	$\Delta t_u$	K	0 ÷ 2	$E_v$ 0,7 ÷ 0,9
			> 2	$E_v$ 0,2 ÷ 0,7

Per la definizione dell'efficienza convenzionale si è assunto come dato di base che, in un sistema di diffusione dell'aria in cui non si verificano disomogeneità termiche nella zona occupata, il valore puntuale della temperatura dell'aria rappresenta un buon tracciante anche per i contaminanti dell'aria interna; l'ipotesi che, in presenza di sorgenti inquinanti uniformemente distribuite, l'uniformità della temperatura sia coerente con una buona miscelazione dell'aria e una buona efficienza di ventilazione. Va considerato però che l'omogeneità di diluizione degli inquinanti, con una buona efficienza di ventilazione, non garantisce anche la condizione di assenza di correnti d'aria.

I valori del quoziente di temperatura, ricavabili dai diagrammi forniti dai costruttori dei terminali, sono indicatori dell'efficacia della miscelazione e possono quindi essere associati all'efficienza di ventilazione.

Per la diffusione dall'alto, mediante diffusori a miscelazione, il valore massimo di efficienza convenzionale è pari a 1,0; solo per l'immissione a dislocamento, con aria a temperatura inferiore rispetto alla zona occupata, l'efficienza di ventilazione risulta superiore a 1,0.

Negli impianti misti aria-acqua viene poi introdotto un ulteriore coefficiente correttivo che tenga conto della mutua interazione tra flussi di aria primaria e di ventilazione.

I tassi di ventilazione base, indicati nella UNI 10339, vanno quindi corretti in relazione alle efficienze di ventilazione:

$$Q_{\text{eff}} = Q_{\text{base}} \cdot 0,85 \cdot \frac{1}{(\epsilon_v \cdot C)}$$

$\epsilon_v$  = efficienza convenzionale di ventilazione  
C = fattore correttivo di interferenza

Efficienza convenzionale di ventilazione, per impianti con diffusori a miscelazione installati sopra il volume convenzionale occupato (comuni tipologie di diffusori a miscelazione installati a soffitto o parete con  $\Delta t_u$  10K) :

TIPOLOGIA DI DIFFUSORE	Raffreddamento	Riscaldamento
- Diffusore a effetto elicoidale	1,00	1,00
- Diffusore a coni	0,90	0,75
- Diffusore lineare a feritoia	0,75	0,60
- Bocchetta a semplice o doppio filare	0,70	0,60

Efficienza convenzionale di ventilazione, per impianti con diffusori a miscelazione o dislocamento installati sotto o all'interno del volume convenzionale occupato:

TIPOLOGIA DI DIFFUSORE	Raffreddamento		Riscaldamento	
	$\Delta t_u$	$\epsilon_v$	$\Delta t_u$	$\epsilon_v$
- Diffusore elicoidale a pavimento	$\Delta t_u$ 7 K	$\epsilon_v$ 1,2	$\Delta t_u$ 7 K	$\epsilon_v$ 1,1
- Diffusore sottopoltrona o similare	$\Delta t_u$ 7 K	$\epsilon_v$ 1,3	$\Delta t_u$ 7 K	$\epsilon_v$ 1,3
- Diffusore a dislocamento	$\Delta t_u$ 5 K	$\epsilon_v$ 1,3	$\Delta t_u$ 0 K	$\epsilon_v$ 0,8

Fattori correttivi di interferenza per impianti misti aria-acqua in relazione della posizione relativa tra diffusore e terminale ad acqua convettivo o radiante:

- FC + AP con immissione dell'aria primaria separata dal ventiloconvettore:
  - Diffusore AP centrale a soffitto, indipendentemente dalla posizione FC C = 0,95
  - Flusso AP discorde rispetto alla mandata del ventiloconvettore C = 0,95
  - Flusso AP concorde rispetto alla mandata del ventiloconvettore C = 1,05
- FC + AP con immissione dell'aria primaria assieme al ventiloconvettore:
  - Flusso AP non attraversa la batteria del ventiloconvettore C = 1,00
  - Flusso AP attraversa la batteria del ventiloconvettore sempre in funzione C = 1,00

Note: - la valutazione del quoziente di temperatura va fatta alla minima velocità  
- soluzione on/off sconsigliata, fattore C da valutare

## Controllo Dinamico di Qualità dell'Aria

La regolazione automatica, indicata con l'acronimo DCV (*Demand Controlled Ventilation*) consiste in un sistema a ventilazione controllata in cui la portata d'aria è governata, con regolatore on/off o proporzionale, dal tasso di inquinamento presente in ambiente. Questo sistema è indicato quando la produzione degli inquinanti è discontinua e imprevedibile.

Con l'impianto DCV va posta particolare attenzione nella scelta dell'indicatore, ovvero della sostanza la cui concentrazione è rappresentativa di quella dell'*inquinante guida* e può essere rilevata facilmente dal sensore. L'*inquinante guida* è quello che richiede la massima portata di ricambio per essere diluito a concentrazioni accettabili:

*Inquinanti guida*, relativi indicatori e valori limite di concentrazione da adottare per mantenere una qualità dell'aria soddisfacente in ambiente:

<i>Inquinanti Guida</i>	Indicatore	Limite di Concentrazione
Bioeffluenti	CO <sub>2</sub>	800 ÷ 1.500 ppm
	VOC	0,04 ÷ 0,10 mg/m <sup>3</sup>
Umidità Relativa	UR per presenza di occupanti	40% ÷ 55%
Fumo da Tabacco	VOC (Ossido di Carbonio)	2 ÷ 5 ppm (CO)

Indicatori consigliati per i diversi tipi di edificio:

Tipologia Edificio	Indicatore Consigliato
Uffici	CO <sub>2</sub> – VOC
Residenziale	UR
Scolastico	CO <sub>2</sub> oppure Timer
Attività ricreative	CO <sub>2</sub>

## Percezione Soggettiva dell'IAQ

Nel 1988 Fanger, in merito alla *percezione olfattiva della qualità dell'aria interna*, ha introdotto due nuove grandezze:

G <i>capacità inquinante</i> o carico inquinante	misurato in <i>olf</i>
ζ <i>percezione di inquinamento</i>	misurata in <i>decipol</i>

Secondo Fanger, il carico inquinante complessivo si ottiene semplicemente sommando i contributi delle varie fonti inquinanti (escludendo sinergie e/o effetti di mascheramento); ne consegue che la somma di due componenti, ciascuno dei quali al di sotto della soglia accettabile, può produrre un effetto complessivo non accettabile dal punto di vista olfattivo.

In base a questa teoria, negli edifici dove non vi sono problemi legati a inquinanti pericolosi per la salute, l'entità della ventilazione deve dipendere dalla percezione olfattiva più che dalla concentrazione delle sostanze presenti.

Accade spesso che larghe percentuali di individui manifestino insoddisfazione per la qualità dell'aria anche là dove le concentrazioni di inquinanti sono inferiori ai valori massimi accettabili. Fonti di cattivo odore considerate:

- Persone e loro attività
- Materiali da costruzione e arredi
- Sostanze chimiche usate per la pulizia
- Impianti stessi di ventilazione e condizionamento

Unità di misura:

*olf* capacità inquinante di una persona in quiete, in condizioni di benessere e mediamente pulita (0,7 docce al di)

*decipol* livello di inquinamento percepito in un ambiente, con un carico inquinante di 1 *olf*, in cui vi è una portata di ventilazione di 10 l/s (36 m<sup>3</sup>/h)

Inquinanti presenti nell'Aria Esterna - Media Annuale - UNI EN 13779

Localizz.	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Particolato		
Outdoor	ppm	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	PM10 µg/m <sup>3</sup>	
Campagna	350	630	< 1	5-35	< 5	< 100	< 20
Città	375	675	1 - 3	15 -40	5 - 15	100-300	10-30
Centro	400	720	2 - 6	30- 80	10 - 50	200-1000	20-50

INQUINAMENTI PRESENTI NELL'ARIA ESPRESSI IN BASE ALLA CONCENTRAZIONE				
<i>*LE RECKNAGEL 1986</i>		<i>Massa Volumica</i>	<i>Max luoghi di lavoro*</i>	
Definizione		mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ppm
Biossido di Carbonio	CO <sub>2</sub>	0,0018	9,000	5.000
Monossido di Carbonio	CO	0,0012	0,060	50
Formaldeide	H-CHO	0,0012	<u>0,0012</u>	1,000
Ozono	O <sub>3</sub>	0,0020	0,0002	0,100
Benzène	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,0032	0,026	8,000

CONTAMINANTI INDOOR

UNI EN 1525 / 08

Emissione di Sostanze Inquinanti da Arredi e Strutture

Emissione		Minima	Bassa
Sostanza Inquinante		Very low polluting	Low polluting
Σ VOC Totale Sostanze Volatili	mg/hm <sup>2</sup>	0,100	0,200
Formaldeide	mg/hm <sup>2</sup>	0,020	0,050
Ammoniaca	mg/hm <sup>2</sup>	0,010	0,030
IARC Emissione Cancerogene	mg/hm <sup>2</sup>	0,002	0,005
Prodotti inodori	n.c.	10%	15%

**Table C.1 — Design criteria for spaces in different types of building**

Type of building/ space	Occupancy person/m <sup>2</sup>	Category	Minimum ventilation rate, i.e. for occupants only  l/s × m <sup>2</sup>	Additional ventilation for building (add only one)		Additional ventilation when smoking is allowed <sup>a)</sup>  l/s × m <sup>2</sup>
				low-polluting building <sup>b)</sup> l/s × m <sup>2</sup>	non low- polluting building l/s × m <sup>2</sup>	
Single office (cellular office) (see C.3.3)	0,1	A	1,0	1,0	2,0	-
		B	0,7	0,7	1,4	-
		C	0,4	0,4	0,8	-
Landscaped office (see C.3.4)	0,07	A	0,7	1,0	2,0	0,7
		B	0,5	0,7	2,4	0,5
		C	0,3	0,4	0,8	0,3
Conference room (see C.3.5)	0,5	A	5,0	1,0	2,0	5,0
		B	3,5	0,7	1,4	3,6
		C	2,0	0,4	0,8	2,0
Auditorium (see C.4)	1,5	A	15	1,0	2,0	-
		B	10,5	0,7	1,4	-
		C	6,0	0,4	0,8	-
Restaurant (see C.5)	0,7	A	7,0	1,0	2,0	-
		B	4,9	0,7	1,4	5,0
		C	2,8	0,4	0,8	2,8
Classroom (see C.6)	0,5	A	5,0	1,0	2,0	-
		B	3,5	0,7	1,4	-
		C	2,0	0,4	0,8	-
Kindergarten (see C.7)	0,5	A	6,0	1,0	2,0	-
		B	4,2	0,7	1,4	-
		C	2,4	0,4	0,8	-
Department store (see C.8)	0,15	A	2,1	2,0	3,0	-
		B	1,5	1,4	2,1	-
		C	0,9	0,8	1,2	-

<sup>a)</sup> Additional ventilation required for comfort when 20 % of the occupants are smokers. The health risk of passive smoking should be considered separately.

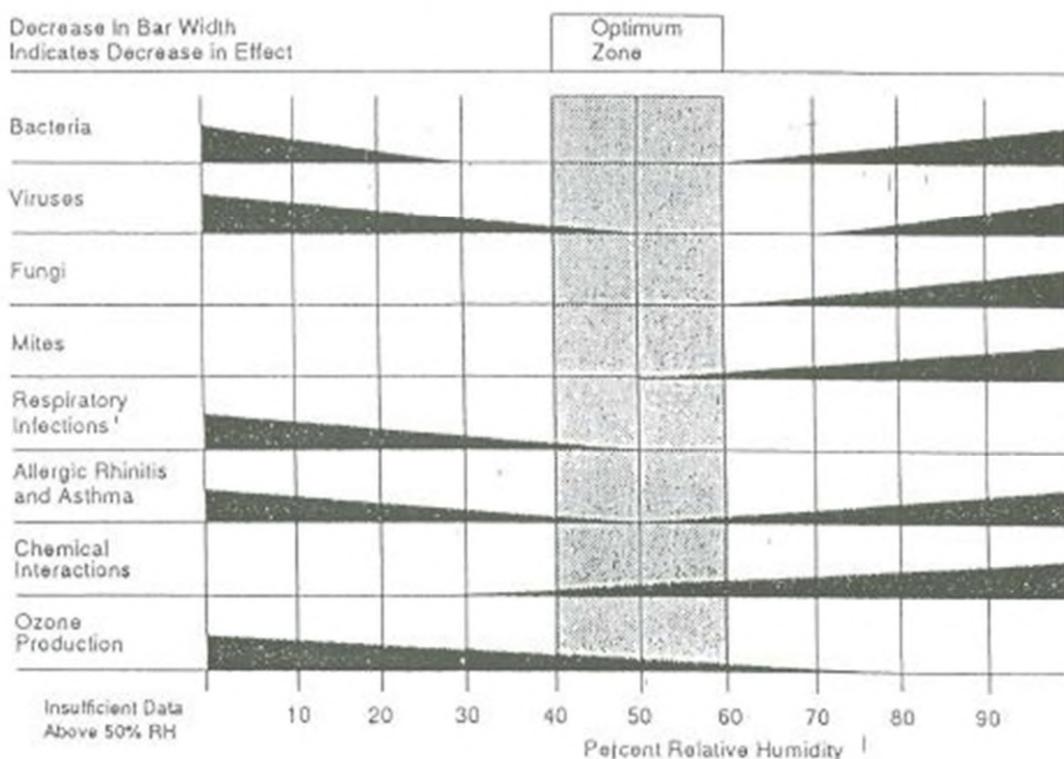
<sup>b)</sup> It is recommended that low-polluting materials, etc. are used for low-polluting buildings (see Annex G: Guidelines for low-polluting buildings).

NOTE This table applies for the occupancy listed in the table and for a ventilation effectiveness of one.

La quantità di vapore da rimuovere all'interno dell'ambiente dipende dall'attività metabolica delle persone e dalla temperatura ambiente; l'umidità assoluta dell'aria primaria determina il limite inferiore della temperatura di alimentazione delle Travi Fredde e quindi la resa sensibile dell'apparato.

Temperatura Ambiente °C		22	24	26
met 1,0 Seduto, Rilassato	g/h	42	50	60
<b>met 1,2 Seduto: Scuola, Ufficio</b>	<b>g/h</b>	<b>66</b>	<b>74</b>	<b>83</b>
met 1,4 Banca Magazzino	g/h	86	98	108
met 1,4 Ristorante	g/h	99	111	121
met 2,0 Commesso	g/h	150	165	180

L'Umidità ha Effetti Diretti e Indiretti sulla Asetticità degli Ambienti e sulla Salute



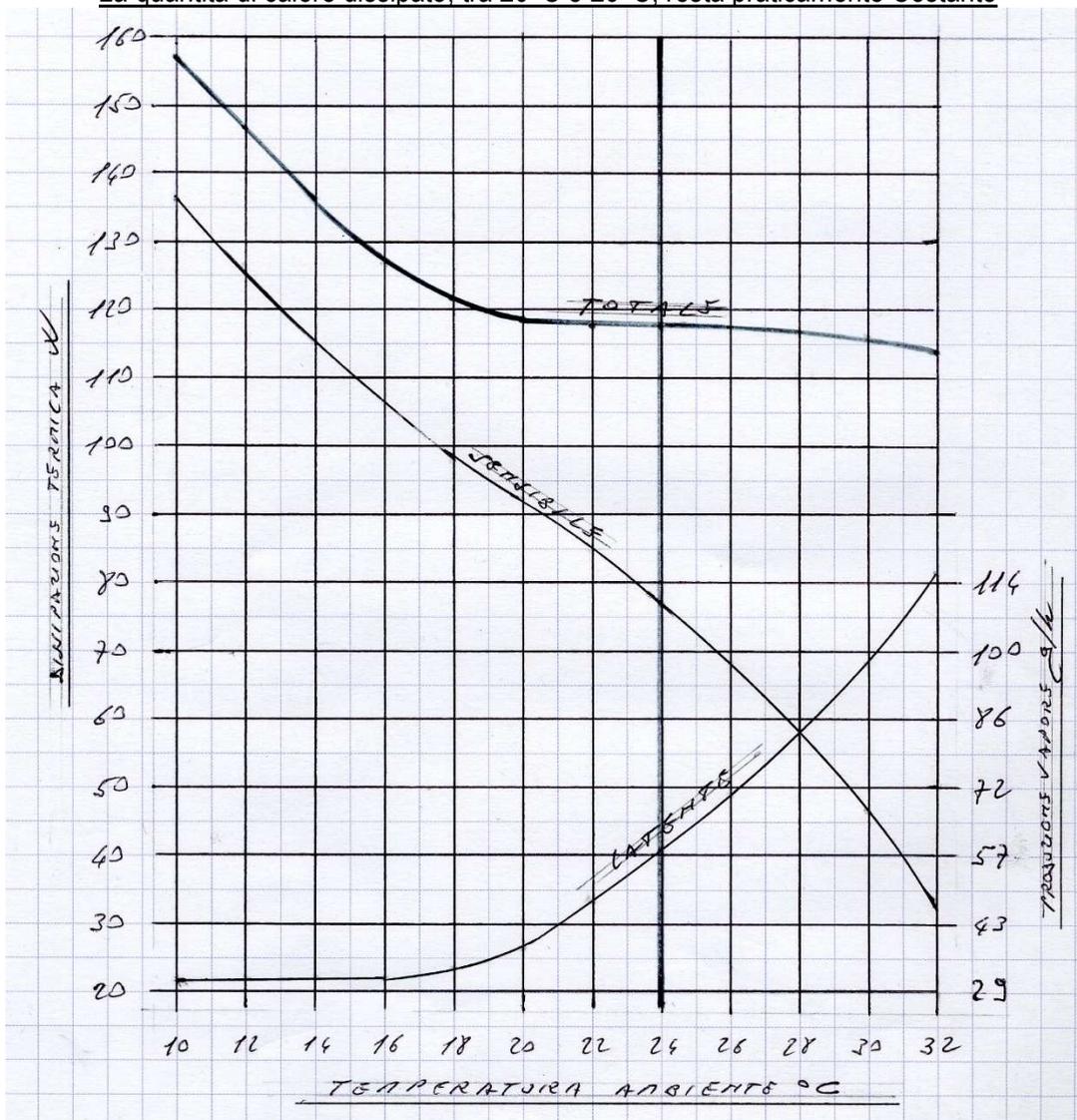
E' interessante notare come Batteri e Virus, si diffondano maggiormente in ambiente secco e molto umido; queste due condizioni sono tipiche della stagione invernale, quando coincidono secchezza all'interno degli ambienti e umidità relative elevate all'esterno nell'aria atmosferica; in presenza poi di sostanze inquinanti, polveri inalabili (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>) il rischio di contaminazione da Micro-droplet infetti diventa molto elevato anche a causa delle ridotte difese immunitarie dell'organismo nella stagione fredda; è di questi giorni la comunicazione della OMS e ISS che "in autunno ci sarà una seconda ondata di contaminazioni"

Flusso Termico Medio del Corpo Umano

met	W/m <sup>2</sup>	Attività	MASCHES WL	Media WL	Sensibile V <sub>s</sub>	Sensibile WL	Vapore g/h
1,0	58,2	Seduto, Rilassato	115	105	70	35	50
1,1	64,0	Lavoro al PC	130	115	72	43	62
1,2	69,8	Seduto: Ufficio, Scuola	135	126	75	51	73
1,4	81,5	Banca, Magazzino	162	147	80	67	96
		Ristorante (compreso cibi)	180	165	89	76	109
1,6	93,1	Acquisti	182	168	85	83	118
2,0	116,6	Commesso	225	210	95	115	164

Il flusso termico medio è valutato su percentuali normali di maschi, femmine, bambini, assumendo il carico termico per la femmina adulta pari all'85% e 75% per il bambino

La quantità di calore dissipato, tra 20°C e 26°C, resta praticamente Costante





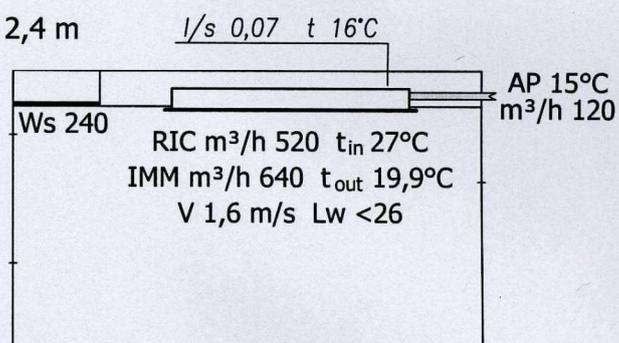
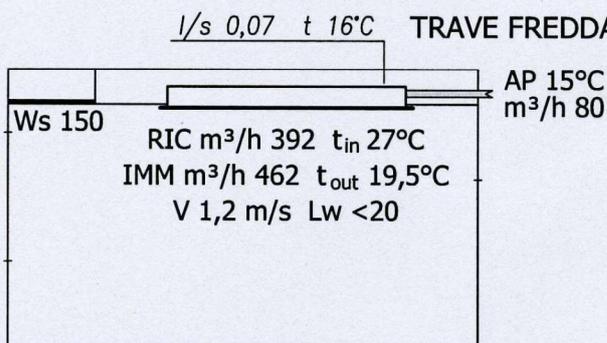
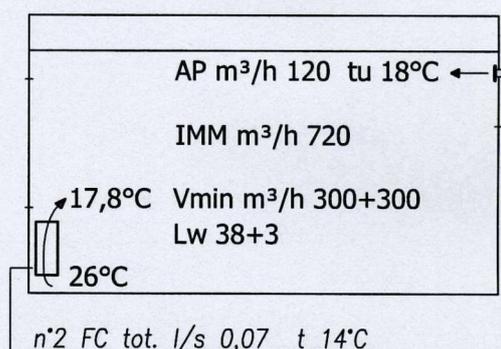
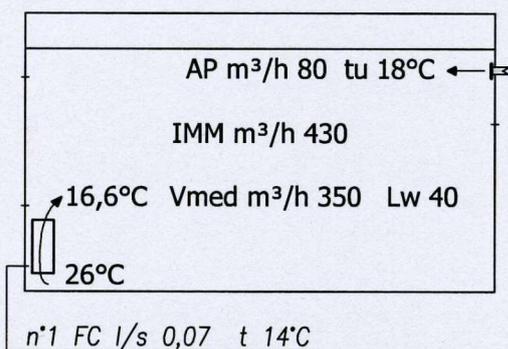
### Confronto tra diverse Tipologie di Terminali

mq 14 Ws 1260	UFFICIO TIPO $t_{BS}$ 26°C UR 55%	mq 21 Ws 1890
---------------	--------------------------------------	---------------

#### IMPIANTO A TUTT'ARIA ( AE 21% )



#### VENTILOCONVETTORI L 1,2 m Alimentazione 4 TUBI + AP

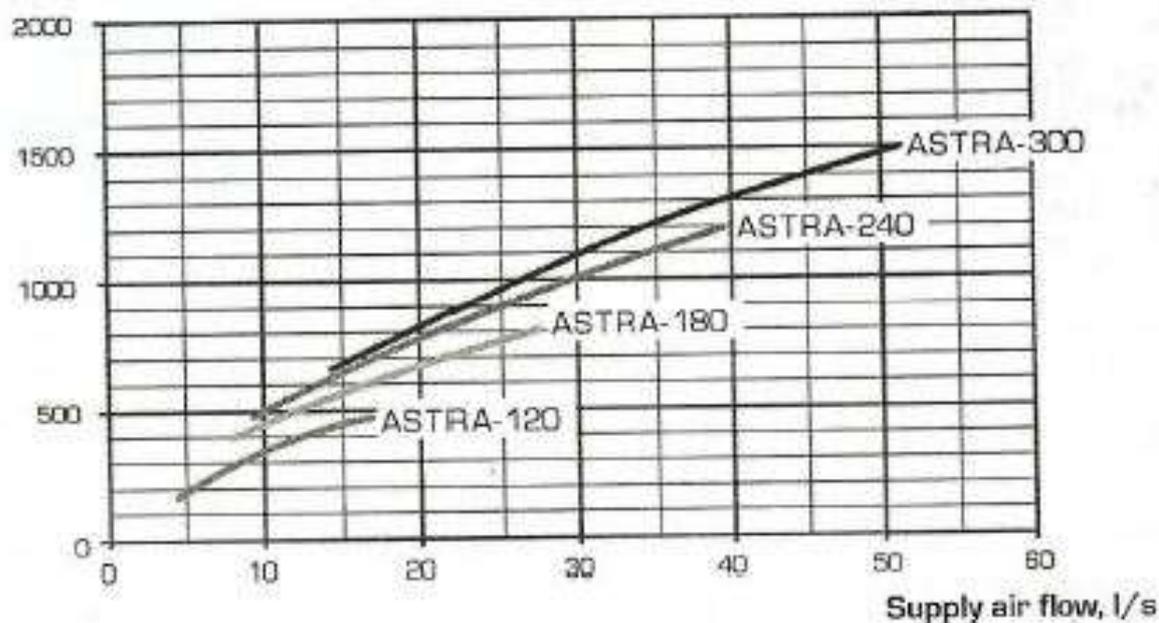


Dal confronto sui requisiti prestazionali per i diversi tipi di terminali risulta:

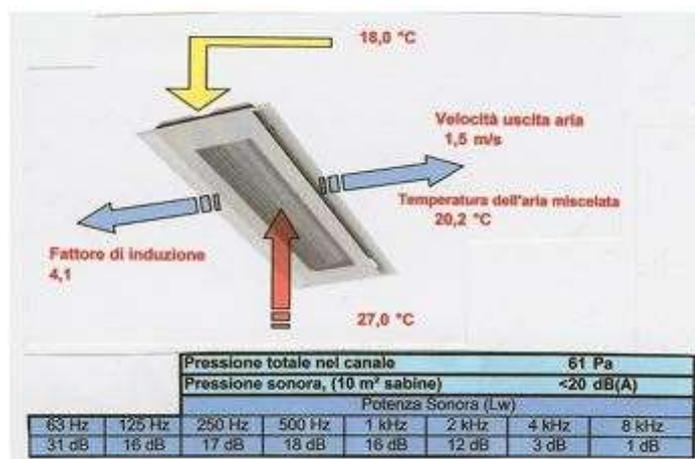
- Impianto a tutt'aria con miscelazione centrale dell'aria esterna =  $m^3 / (h \cdot m^2) = 27 = 10 \text{ Vol/h}$
- Impianto con Terminale Ambiente (Trave Fredda o FC) =  $m^3 / (h \cdot m^2) = 32 = 12 \text{ Vol/h}$

### Quick Selection

Cooling effect in W incl supply air



Trave Attiva lunghezza nominale m 2,4 - Portata AP 30 l/s - Pressione 60 Pa  
 Temperatura acqua 16/19°C, portata l/h 270 (l/s 0,075), Tubi Cu ø 12x1  
 Calore rimosso dalla batteria e trasferito all'acqua 924 W [ $\Delta t_m$  9,5] W/K 97  
 Potenza sensibile complessiva (compreso contributo AP) 1.248 W  
 Portata aria indotta l/s 124 - Portata aria miscelata l/s 154



Trave Attiva lunghezza nominale m 3,0 - Portata A.P. 33,3 l/s - temp. 16°C, Pressione 70 Pa - portata acqua l/h 360 - Potenza Sensibile (compreso contributo A.P.) 1.200 W – Livello di Potenza Sonora 34 db(A)



## Ventiloconvettore



Electron microscope image showing fibers, dust, and other deposited material on a residential air conditioner coil.

La presenza del filtro in prossimità della batteria bagnata costituisce l'ambiente ideale per la proliferazione di muffe e batteri.

### [ 6 ] Climatizzazione Aria di Rinnovo Applicazioni [Passato e Presente]

La Direttiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) sulla Prestazione Energetica nell'Edilizia, fornisce i requisiti generali per l'aria all'interno degli Ambienti in Edifici non Residenziali, con indicazione dei limiti di accettabilità, per tre modalità di progetto: Qualità Percepita, Concentrazione di Bio-Effluenti, Portata Aria Esterna di Rinnovo Predefinita. Le Norme sono finalizzate alla riduzione dei consumi energetici entro limiti che assicurino la qualità dell'aria interna, il rumore, la luminosità e le condizioni termo-igrometriche.

In questa fase di Pandemia, l'attenzione verso i problemi di sanificazione degli ambienti interni è al massimo livello e la comunità scientifica è impegnata nel massimo sforzo di studi e ricerche; nel settore degli impianti di climatizzazione. La confusione regna sovrana e "gli addetti ai lavori", in attesa del vaccino previsto per il prossimo anno, vengono responsabilizzati in scelte concrete e immediate tra "Fattibilità e Ragionevolezza" in merito alle quali saranno chiamati a dare giustificazioni (dopo il vaccino) col rischio di dover rispondere anche economicamente (o addirittura penalmente) sulle scelte fatte.

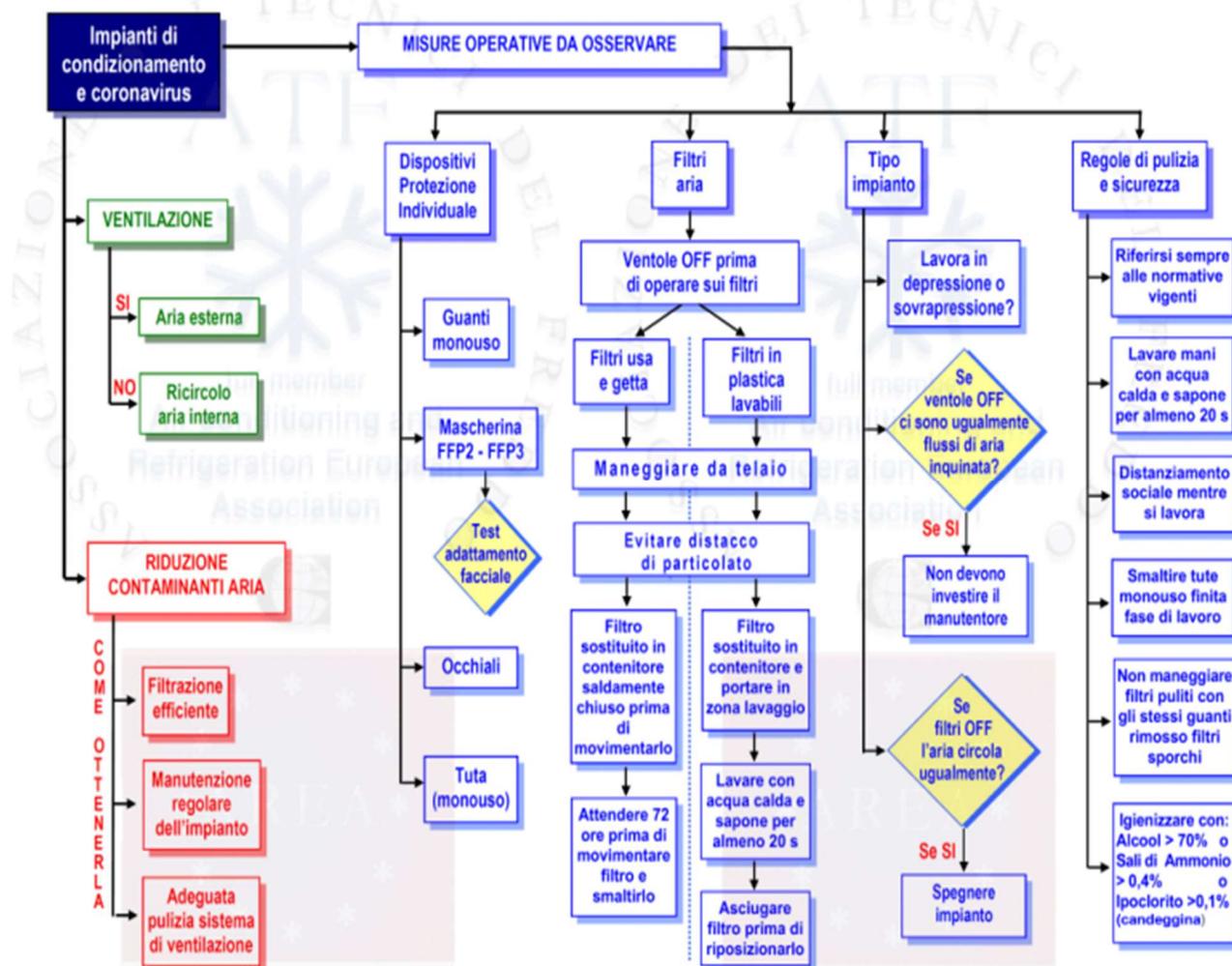
Le associazioni dei tecnici del freddo [AREA europea e ATF italiana] hanno pubblicato, in questo mese di maggio, le Linee Guida atte a garantire il corretto utilizzo degli impianti di ventilazione e climatizzazione.

L'associazione ASSOCLIMA (costruttori sistemi di climatizzazione) "ribadisce che non c'è alcuna evidenza scientifica sul presunto rapporto tra aria condizionata e diffusione del COVID-19" e indica come cautela l'immissione dell'aria di rinnovo trattata con sistemi di filtrazione.

A tale proposito va rilevato che i filtri attualmente in uso possono, nel migliore dei casi, risultare efficaci per le polveri fini [ $PM_{2,5} = 2.500 \text{ nm}$ ] ma i [Micro-droplet infetti] appartengono alla classificazione delle Polveri Ultrafini [Nanoparticelle con dimensione  $0,1 \mu\text{m} = 100 \text{ nm}$ ].

Il COVID-19 è un Virus e non va confuso col Batterio della Legionella che ha dimensione di  $0,3 \div 09 \mu\text{m} = 300 \div 900 \text{ nm}$ .

Le raccomandazioni "generiche" sulla necessità di pulizia degli impianti è sempre opportuna per l'igienizzazione degli impianti a causa della diffusione dei  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  ma in presenza di Virus  $PM_{0,1}$  sono necessari provvedimenti e interventi di Sanificazione.



Ciò premesso e alla luce di quanto a oggi è “dato sapere”, gli interventi sugli impianti esistenti e le scelte per i nuovi progetti vanno pianificati sulla base delle “prescrizioni di Igienizzazione disponibili” mentre per le necessità di Sanificazione bisogna procedere, per il momento, con “cautela” facendo tesoro di Esperienza e Buonsenso.

Le nuove esigenze di distanziamento sociale e la consapevolezza dei possibili rischi, per nuove forme di contagio, richiedono il ripensamento delle logiche di progetto degli impianti di climatizzazione.

In merito ai requisiti di prestazione energetica e di qualità dell'aria, con riferimento alla **EPBD** attuale, sono definiti **Quattro Livelli di Aspettativa | 1° Alto | 2° Normale | 3° Accettabile | 4° Basso |**

Il nuovo standard include alcuni requisiti che, in analogia ai precedenti, sono prescritti come “minimi di portata aria esterna di rinnovo”.

Il criterio di scelta deve necessariamente essere riferito a uno o più dei seguenti metodi:

- Qualità dell'Aria Percepita dagli occupanti
- Concentrazione di inquinanti massima consentita
- Predeterminazione delle portate di aria esterna di rinnovo

Il Tecnico sceglierà la Categoria di Classificazione del progetto documentandone motivazioni e sostenibilità.

**Direttiva EPBD - Portata Specifica di Aria Esterna Minima di Rinnovo Raccomandata corrispondente alla quantità calcolata col metodo della concentrazione del biossido di carbonio (diluizione della CO<sub>2</sub>) a cui viene aggiunta la quantità necessaria per l'Inquinamento dagli Ambienti. A tale proposito sono classificate Tre Categorie di Contaminazione | A) Minima | B) Bassa | C) Elevata |**

**Aria Esterna di Rinnovo: Predeterminazione Portata Specifica Unitaria**

<b>1° Alto Livello</b>	Percentuale Insoddisfatti <b>15%</b> - Portata per diluizione <b>CO<sub>2</sub></b> Persone = 36 [m <sup>3</sup> /(h • p)] Contributo per diluizione Inquinanti Edificio [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )]   <b>A 1,8   B 3,6   C 7,2</b>
<b>2° Normale</b>	Percentuale Insoddisfatti <b>20%</b> - Portata per diluizione <b>CO<sub>2</sub></b> Persone = 25 [m <sup>3</sup> /(h • p)] Contributo per diluizione Inquinanti Edificio [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )]   <b>A 1,3   B 2,5   C 5,0</b>
<b>3° Accettabile</b>	Percentuale Insoddisfatti <b>30%</b> - Portata per diluizione <b>CO<sub>2</sub></b> Persone = 15 [m <sup>3</sup> /(h • p)] Contributo per diluizione Inquinanti Edificio [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )]   <b>A 0,7   B 1,5   C 2,9</b>

**Spazi Operativi di Riferimento Prima del SARSCoV2-19:**

- Densità di Occupazione per Ambienti adibiti a Ufficio = 10 [m<sup>2</sup>/p]
- Uffici per Funzionari e/o Open Space = 15 [m<sup>2</sup>/p]
- Sale Riunioni = 2 [m<sup>2</sup>/p]

**Prima del Coronavirus - Aria Esterna di Rinnovo: Predeterminazione Portata Specifica Complessiva**

*Dati relativi a Portate Specifiche, Ambienti h 2,9 m, Efficienza di Ventilazione 1,0*

Densità di Occupazione	<b>1° Livello di Aspettativa [ ALTO ]</b>	(Rinnovo min.)
<b>Uffici 10 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. <b>A</b> = [36 + (1,8 x 10)] = 54 m <sup>3</sup> /h = <b>5,4</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 1,9 (32)	
	Cat. <b>B</b> = [36 + (3,6 x 10)] = 72 m <sup>3</sup> /h = <b>7,2</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 2,5 (24)	
	Cat. <b>C</b> = [36 + (7,2 x 10)] = 108 m <sup>3</sup> /h = <b>10,8</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 3,7 (16)	
<b>Open Space 15 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. <b>A</b> = [36 + (1,8 x 15)] = 63 m <sup>3</sup> /h = <b>4,2</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 1,5 (40)	
	Cat. <b>B</b> = [36 + (3,6 x 15)] = 90 m <sup>3</sup> /h = <b>6,0</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 2,1 (28)	
	Cat. <b>C</b> = [36 + (7,2 x 15)] = 144 m <sup>3</sup> /h = <b>9,6</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 3,3 (18)	
<b>Sale Riunioni 2 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. <b>A</b> = [36 + (1,8 x 2)] = 40 m <sup>3</sup> /h = <b>20</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 6,9 (9)	
	Cat. <b>B</b> = [36 + (3,6 x 2)] = 44 m <sup>3</sup> /h = <b>22</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 7,6 (8)	
	Cat. <b>C</b> = [36 + (7,2 x 2)] = 50 m <sup>3</sup> /h = <b>25</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 8,6 (7)	
	<b>2° Livello di Aspettativa [ NORMALE ]</b>	(Rinnovo min.)
<b>Uffici 10 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. <b>A</b> = [25 + (1,3 x 10)] = 38 m <sup>3</sup> /h = <b>3,8</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 1,3 (46)	
	Cat. <b>B</b> = [25 + (2,5 x 10)] = 50 m <sup>3</sup> /h = <b>5,0</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 1,7 (35)	
	Cat. <b>C</b> = [25 + (5,0 x 10)] = 75 m <sup>3</sup> /h = <b>7,5</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 2,6 (23)	
<b>Open Space 15 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. <b>A</b> = [25 + (1,3 x 15)] = 45 m <sup>3</sup> /h = <b>3,0</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 1,0 (60)	
	Cat. <b>B</b> = [25 + (2,5 x 15)] = 62 m <sup>3</sup> /h = <b>4,2</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 1,4 (43)	
	Cat. <b>C</b> = [25 + (5,0 x 15)] = 100 m <sup>3</sup> /h = <b>6,7</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 2,3 (26)	
<b>Sale Riunioni 2 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. <b>A</b> = [25 + (1,3 x 2)] = 28 m <sup>3</sup> /h = <b>14</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 4,8 (12)	
	Cat. <b>B</b> = [25 + (2,5 x 2)] = 30 m <sup>3</sup> /h = <b>15</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 5,2 (11)	
	Cat. <b>C</b> = [25 + (5,0 x 2)] = 35 m <sup>3</sup> /h = <b>17</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 6,0 (10)	
	<b>3° Livello di Aspettativa [ ACCETTABILE ]</b>	(Rinnovo min.)
<b>Uffici 10 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. <b>A</b> = [15 + (0,7 x 10)] = 22 m <sup>3</sup> /h = <b>2,2</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 0,8 (75)	
	Cat. <b>B</b> = [15 + (1,5 x 10)] = 30 m <sup>3</sup> /h = <b>3,0</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 1,0 (60)	
	Cat. <b>C</b> = [15 + (2,9 x 10)] = 44 m <sup>3</sup> /h = <b>4,4</b> [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )] Vol/h 1,5 (40)	



## Concentrazione di CO<sub>2</sub>

In merito alla Concentrazione del Biossido di Carbonio va considerato che la CO<sub>2</sub>, pur non avendo azione tossica, è spesso la principale causa di cattiva qualità dell'aria all'interno degli ambienti confinati; a differenza delle polveri (o peggio dei Micro-droplet infetti) non ha rilevanza sanitaria; la sua misurazione assolve la prescrizione di comfort in relazione alla qualità dell'aria. L'effetto sull'organismo umano diventa insostenibile oltre la concentrazione di 25.000 ppm; nei posti di lavoro il contenuto max ammissibile è pari a 5.000 ppm.

Il contenuto di CO<sub>2</sub> nell'aria esterna è indicativamente pari a 350 ppm in campagna, 400 ppm in periferia e 450 ppm in centro città; va però considerato che la CO<sub>2</sub> è un gas che si diffonde rapidamente nell'aria per cui le concentrazioni in una determinata località in genere non subiscono variazioni superiori a 50 ppm.

La quantità di CO<sub>2</sub> emessa dipende dal livello di attività metabolica e, per un soggetto adulto, si può mediamente assumere:

- Seduto, Rilassato Met 1,0 Emissione CO<sub>2</sub> 17.000 cm<sup>3</sup>/h
- Attività di Ufficio Met 1,2 Emissione CO<sub>2</sub> 21.000 cm<sup>3</sup>/h
- Attività Leggera Met 1,6 Emissione CO<sub>2</sub> 28.000 cm<sup>3</sup>/h

Negli Uffici, sulla base delle classificazioni assunte, con CO<sub>2</sub> Aria Esterna 450 ppm, fattore di efficienza della ventilazione pari a 1,0 si determina la media risultante per effetto del Rinnovo con Aria Esterna:

$$CO_2 = \{ [21.000 : (m^3 / h)] + 450 \} = \text{ppm}$$

Densità di Occupazione		10 m <sup>2</sup> /p	15 m <sup>2</sup> /p	2 m <sup>2</sup> /p
Alto Livello	Edif. A	839	783	975
	Edif. B	742	683	727
	Edif. C	645	596	870
Livello Normale	Edif. A	1.003	917	1.200
	Edif. B	870	789	1.150
	Edif. C	730	660	1.050
Livello Accettabile	Edif. A	1.404	1.258	1.726
	Edif. B	1.150	1.003	1.617
	Edif. C	927	812	1.500

*Nota: Con aumento della Portata di Aria Esterna per Coronavirus, la concentrazione di CO<sub>2</sub> si riduce*

**Proposta di Classificazione Transitoria - 2° Livello di Aspettativa [ Normale ]  
Portate di Aria Esterna di Rinnovo Compensazione per Presenze Occasionali e SARSCoV2-19**

Il Tecnico, a seguito di quanto richiesto dal Committente, deve Documentare le Scelte Progettuali e, con riferimento alla EPBD, deve Classificare sia il Livello di Aspettativa sia la Categoria di Contaminazione degli Ambienti precisando Motivazioni e Sostenibilità delle Scelte. In attesa di nuove Direttive, dovendo comunque procedere con Scelte Progettuali, si propone l'incremento delle portate di Aria Esterna di Rinnovo sulla base delle Categorie di Classificazione per i Contaminanti dell'Edificio:

*A) Contaminazione Minima Prevista dalla EPBD prima del Coronavirus: presenza dei soli Operatori*

*A<sub>1</sub>) Contaminazione Minima Prevista dalla EPBD prima del Coronavirus: presenze occasionali Esterne*

**A<sub>2</sub>) Contaminazione Edificio Minima, dopo Coronavirus: con Distanziamento e presenze Esterne**

**A<sub>3</sub>) Contaminazione Edificio Minima, dopo Coronavirus: senza Distanziamento e presenze Esterne**

**Sulla Base di queste premesse, per il 2° Livello di Aspettativa [ Normale ] la Portata Predeterminata Specifica Unitaria, risulta:**

**Livello di Aspettativa [ Normale ] Portata per diluizione CO<sub>2</sub> Persone = 25 [m<sup>3</sup>/(h • p)]**

**Contributo per diluizione Inquinanti Edificio [m<sup>3</sup>/(h • m<sup>2</sup>)] | A 1,3 | A<sub>1</sub> 2,5 | A<sub>2</sub> 5,0 | A<sub>3</sub> 7,2 |**

**Dopo il Coronavirus - Aria Esterna di Rinnovo: Predeterminazione Portata Specifica Complessiva**

Dati relativi a Portate Specifiche, Ambienti h 2,9 m, Efficienza di Ventilazione 1,0

Densità di Occupazione	Edificio	Categoria di Contaminazione [ A ]	Minima	(Rinnovo min.)
<b>Uffici 10 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. A	$[25 + (1,3 \times 10)] = 38 \text{ m}^3/\text{h} = 3,8 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	Vol/h 1,3	(46)
	Cat. A <sub>1</sub>	$[25 + (2,5 \times 10)] = 50 \text{ m}^3/\text{h} = 5,0 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	Vol/h 1,7	(35)
	Cat. A <sub>2</sub>	$[25 + (5,0 \times 10)] = 75 \text{ m}^3/\text{h} = 7,5 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	<b>Vol/h 2,6</b>	<b>(23)</b>
	Cat. A <sub>3</sub>	$[25 + (7,2 \times 10)] = 97 \text{ m}^3/\text{h} = 9,7 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	<b>Vol/h 3,3</b>	<b>(18)</b>
<b>Open Space 15 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. A	$[25 + (1,3 \times 15)] = 45 \text{ m}^3/\text{h} = 3,0 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	Vol/h 1,0	(60)
	Cat. A <sub>1</sub>	$[25 + (2,5 \times 15)] = 62 \text{ m}^3/\text{h} = 4,2 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	Vol/h 1,4	(43)
	Cat. A <sub>2</sub>	$[25 + (5,0 \times 15)] = 100 \text{ m}^3/\text{h} = 6,7 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	<b>Vol/h 2,3</b>	<b>(26)</b>
	Cat. A <sub>3</sub>	$[25 + (7,2 \times 15)] = 133 \text{ m}^3/\text{h} = 8,9 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	<b>Vol/h 3,1</b>	<b>(20)</b>
<b>Sale Riunioni 2 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. A	$[25 + (1,3 \times 2)] = 28 \text{ m}^3/\text{h} = 14 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	Vol/h 4,8	(12)
	Cat. A <sub>1</sub>	$[25 + (2,5 \times 2)] = 30 \text{ m}^3/\text{h} = 15 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	Vol/h 5,2	(11)
	Cat. A <sub>2</sub>	$[25 + (5,0 \times 2)] = 35 \text{ m}^3/\text{h} = 17 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	<b>Vol/h 6,0</b>	<b>(10)</b>
	Cat. A <sub>3</sub>	$[25 + (7,2 \times 2)] = 40 \text{ m}^3/\text{h} = 20 \text{ [m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	<b>Vol/h 6,8</b>	<b>(8)</b>

**Palazzo uffici**
**Rapporto Aria Esterna di Rinnovo / Aria di Trattamento in Circolo in relazione ai Carichi Sensibili Ambiente, adottando i Valori [A<sub>2</sub> con Distanziamento] e [A<sub>3</sub> Senza Distanziamento]**

Palazzo Uffici di 6 Piani con spazi operativi iniziali di 10 m<sup>2</sup>/p, aumentati poi a 15 m<sup>2</sup>/p per il richiesto distanziamento sociale; assumendo pari a 2.000 m<sup>2</sup> la superficie complessiva dei spazi operativi con trattamento diretto, la superficie complessiva interna risulta di 2.500 m<sup>2</sup> di cui | Disimpegni 380 | Servizi Igienici 110 | Ascensori 60 |. La superficie dei 2.000 m<sup>2</sup> con trattamento diretto è, a sua volta, diversificata per le destinazioni d'Uso | Uffici 1.500 | Sale Riunioni 250 | Archivi 75 | Break 175 | e quindi con mutate esigenze per l'aria esterna di rinnovo.

**Bilancio Portate Aria con Provvedimento [ A<sub>2</sub> ] → Distanziamento Spazi Operativi [15 m<sup>2</sup>/p]**

 Ambienti con Trattamento Diretto m<sup>2</sup> 2.000 • h 2,9 m = m<sup>3</sup> 5.800

 Densità di Occupazione m<sup>2</sup> 2.000 : 15 m<sup>2</sup>/p = 134 Persone + Presenze Occasionali

 Portata Aria Esterna di Rinnovo n° 134 • 100 m<sup>3</sup>/(h • p) = 13.400 m<sup>3</sup>/h ≈ 2,3 Vol/h (rinn. 26 min con Eff. Vent. 1,0)

Potenza specifica media progetto Estate	W/m <sup>2</sup> 70	W/m <sup>2</sup> 60	W/m <sup>2</sup> 50
Potenza max sensibile ambiente	kW 140	kW 120	kW 100
Portata Aria in Circolo con Δt <sub>U</sub> 10K	m <sup>3</sup> /h 42.000	m <sup>3</sup> /h 36.000	m <sup>3</sup> /h 30.000
Diffusione Aria Ambiente	21 m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> ) = 7,2 Vol/h	18 m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> ) = 6,2 Vol/h	15 m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> ) = 5,2 Vol/h
Percentuale Aria Esterna di Rinnovo	32%	37%	45%

Col distanziamento degli spazi operativi risulta:

- Riduzione numero Operativi 33% [da 200 a 134]
- Riduzione Portata di Aria Esterna 12% [da 19.400 a 13.400]
- Riduzione Potenza per Raffreddamento Sensibile Ambiente 8% ÷ 10%
- Riduzione Portata d'Aria in Circolo 12% ÷ 16%
- Miglioramento della Qualità dell'Aria Interna e Riduzione dei Rischi per Contagio dal Coronavirus

**Bilancio Portate Aria con Provvedimento [ A<sub>3</sub> ] → Spazi Operativi Invariati [10 m<sup>2</sup>/p]**

Ambienti con Trattamento Diretto m<sup>2</sup> 2.000 • h 2,9 m = m<sup>3</sup> 5.800

Densità di Occupazione m<sup>2</sup> 2.000 : 10 m<sup>2</sup>/p = 200 Persone + Presenze Occasionali

Portata Aria Esterna di Rinnovo n° 200 • 97 m<sup>3</sup>/(h • p) = 19.400 m<sup>3</sup>/h = 3,3 Vol/h (rinn. 18 min con Eff. Vent. 1,0)

Potenza specifica media progetto Estate	W/m <sup>2</sup> 80	W/m <sup>2</sup> 70	W/m <sup>2</sup> 60
Potenza max sensibile ambiente	kW 160	kW 140	kW 120
Portata Aria in Circolo con Δt <sub>U</sub> 10K	m <sup>3</sup> /h 48.000	m <sup>3</sup> /h 42.000	m <sup>3</sup> /h 36.000
Diffusione Aria Ambiente	24 m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> ) = 8,3 Vol/h	21 m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> ) = 7,2 Vol/h	18 m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> ) = 6,2 Vol/h
Percentuale Aria Esterna di Rinnovo	40%	46%	54%

In questa seconda ipotesi risulta inevitabile l'aumento dei consumi energetici, peggioramento della Qualità Indoor e maggiori rischi di contagio all'interno degli ambienti; è di questi giorni la comunicazione di OMS e ISS che "in autunno ci sarà una seconda ondata di contaminazioni" accompagnata dalla raccomandazione di "aumentare le distanze fisiche e i ricambi d'aria".

**ALTERNATIVA**  
**Declassamento Livello di Aspettativa da [2° Normale] a [3° Accettabile]**

**Livello di Aspettativa [ Accettabile ] Portata per diluizione CO<sub>2</sub> Persone = 15 [m<sup>3</sup>/(h • p)]**

**Contributo per diluizione Inquinanti Edificio [m<sup>3</sup>/(h • m<sup>2</sup>)] | A 0,7 | A<sub>1</sub> 1,5 | A<sub>2</sub> 2,9 | A<sub>3</sub> 5,0 |**

**Dopo il Coronavirus - Aria Esterna di Rinnovo: Predeterminazione Portata Specifica Complessiva**

*Dati relativi a Portate Specifiche, Ambienti h 2,9 m, Efficienza di Ventilazione 1,0*

Densità di Occupazione	Edificio Categoria di Contaminazione [ A ] Minima	(Rinnovo min.)	
<b>Uffici 10 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. A <sub>3</sub> = [15 + (5,0 x 10)] = 65 m <sup>3</sup> /h = 6,5 [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )]	Vol/h 2,3	( 26 )
<b>Open Space 15 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. A <sub>3</sub> = [15 + (5,0 x 15)] = 90 m <sup>3</sup> /h = 6,0 [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )]	Vol/h 2,1	( 29 )
<b>Sale Riunioni 2 [m<sup>2</sup>/p]</b>	Cat. A <sub>3</sub> = [15 + (5,0 x 2)] = 25 m <sup>3</sup> /h = 12,5 [m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> )]	Vol/h 4,3	( 14 )

**Palazzo Uffici**

*Nota: in caso di declassamento, l'ipotesi di distanziamento degli spazi operativi non viene considerato*

**Bilancio Portate Aria con Provvedimento [ A<sub>3</sub> ] → Spazi Operativi Invariati [10 m<sup>2</sup>/p]**

Ambienti con Trattamento Diretto m<sup>2</sup> 2.000 • h 2,9 m = m<sup>3</sup> 5.800

Densità di Occupazione m<sup>2</sup> 2.000 : 10 m<sup>2</sup>/p = 200 Persone + Presenze Occasionali

Portata Aria Esterna di Rinnovo n° 200 • 65 m<sup>3</sup>/(h • p) = 13.000 m<sup>3</sup>/h = 2,3 Vol/h (rinn. 26 min con Eff. Vent. 1,0)

Potenza specifica media progetto Estate	W/m <sup>2</sup> 80	W/m <sup>2</sup> 70	W/m <sup>2</sup> 60
Potenza max sensibile ambiente	kW 160	kW 140	kW 120
Portata Aria in Circolo con Δt <sub>U</sub> 10K	m <sup>3</sup> /h 48.000	m <sup>3</sup> /h 42.000	m <sup>3</sup> /h 36.000
Diffusione Aria Ambiente	24 m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> ) = 8,3 Vol/h	21 m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> ) = 7,2 Vol/h	18 m <sup>3</sup> /(h • m <sup>2</sup> ) = 6,2 Vol/h
Percentuale Aria Esterna di Rinnovo	27%	31%	36%

Questa Alternativa potrebbe rappresentare un giusto compromesso tra le esigenze di Rinnovo Aria Esterna e Contenimento dei Consumi Energetici a condizione che si accetti, "secondo la presente Proposta di Classificazione Transitoria" il passaggio al Livello di Aspettativa Inferiore e, in ogni caso, nel rispetto dei Requisiti Prescrittivi (che saranno pubblicati) dopo il SARSCoV2-19.

D'altra parte, questa soluzione comporta la (notevole) riduzione di 1/3 di A.E. con aumento del tempo di rinnovo, all'interno degli ambienti, da 18 a 26 minuti passando quindi da 3 Rinnovi a 2 Rinnovi ogni ora; un giusto compromesso potrebbe essere rappresentato dall'aumento progressivo, da inizio a fine turno di lavoro, coincidente con l'inevitabile aumento delle concentrazioni inquinanti; nell'esempio considerato si passa da m<sup>3</sup>/h 13.000 di inizio per arrivare progressivamente a m<sup>3</sup>/h 19.400 a fine giornata.

*Nota: le Percentuali Aria Esterna di Rinnovo sono indicate come riferimento, per Impianti a tutt'Aria con Δt<sub>U</sub> 10K della Portata max di Trattamento per il Picco Estivo; nei circa 9 mesi di funzionamento con Portata Ridotta al 75%, la Portata di Aria Esterna rimane costante per cui l'incidenza % di Aria Esterna aumenta di conseguenza.*

*Ad esempio, nel Palazzo Uffici con Carico di Picco Specifico di 70 W/m<sup>2</sup> e Livello 3° la portata complessiva max è di 42.000 m<sup>3</sup>/h con A.E. 31% ma, nei 9 mesi con portata ridotta, la portata complessiva si riduce a 31.500 m<sup>3</sup>/h e di conseguenza la percentuale di A.E. aumenta al 41%.*

### Aria di Trattamento Ambienti

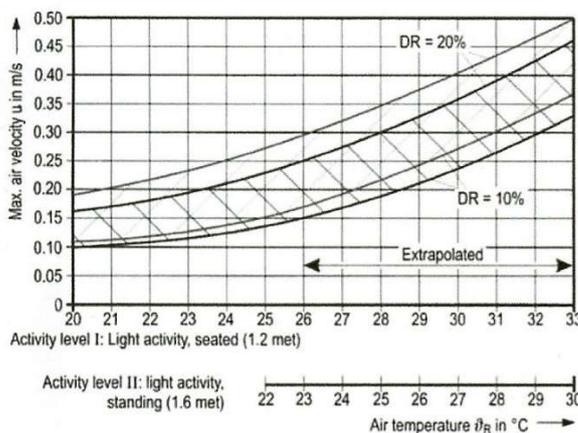
Negli impianti di climatizzazione a tutt'aria, centralizzati o con terminali di ricircolo ambiente, la massima portata complessiva (ricircolo + aria esterna) viene calcolata sulla base dei carichi sensibili estivi di picco; va però considerato, ai fini della portata d'aria in circolazione, che le condizioni max di progetto si verificano solo per brevi periodi dell'anno e per un numero limitato di ore nella giornata. Il carico medio stagionale, per un palazzo uffici a Milano, è pari a circa 2/3 e su 2.000 ore di esercizio, per un palazzo uffici di Milano, è stato rilevato:

Fatt. di Carico	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
Ore di Funz.	30	160	300	400	400	240	200	140	80	40

Anche nella stagione invernale il carico termico medio stagionale è pari a circa 2/3 rispetto al carico di progetto.

Le condizioni di Massimo Carico Estivi si verificano per circa il 25% rispetto alle ore di funzionamento dell'impianto e quindi la Portata d'Aria in Circolo, per la maggior parte del periodo di funzionamento, potrebbe essere ridotta al 75% con evidenti benefici sia per il Contenimento dei Consumi Energetici sia per il Fastidio da Correnti d'Aria: Frequente causa di Contestazioni quando l'Impianto Funziona alle Portate necessarie per i Carichi di Picco Estivo.

Ne consegue che l'impianto deve essere gestito, con adeguato sistema di regolazione automatica, in modo da assicurare le prestazioni termoigrometriche con Portata Base (per circa 9 mesi l'anno) del 75% in modalità [CAV] mentre nel periodo di massimo carico estivo il funzionamento sarà gestito in modalità [VAV] indipendente per ciascuna Zona Termica.



Maximum indoor air velocities for category C (DR < 30%) are not indicated here as this category will be found only seldom in commercial buildings.

Fig. 1: Allowable range for maximum indoor air velocities to EN ISO 7730

$V_{50}$  Valore medio aritmetico  
 $s$  Scostamento  
 $V_{84} = V_{50} + s$   
 $\tau_u = \frac{s}{V_{84}}$  grado di turbolenza

17.2.2 Distribuzione per miscelazione. Diagramma delle velocità dell'aria. Modificata da [1].

Tabella E-3.3 - Livelli di rumorosità accettabili in vari tipi di ambiente.

ambiente	NC, RC-N	NCB	livello globale dB(A)
studi radiofonia, televisivi e di registrazione	20	10-25	25
sale da concerto, teatri d'opera	20-25	10-15	25-30
cinematografi, sale per conferenze	25-30	20-30	30-35
residenze:			
- camere da letto	25-30	25-40	30-35
- soggiorni	30-35		35-40
uffici:			
- ad occupazione singola	25-35	30-40	30-40
- a pianta aperta	35-40		40-45
aule scolastiche	25-35	30-40	30-40
ospedali:			
- camere di degenza	25-35	25-40	30-35
- laboratori	30-35		35-40
centri meccanografici	40-45	30-40	45-50
piscine, palestre	35-45	30-40	40-50
grandi magazzini	35-45	30-40	40-50

### **Impianto Misto: Aria Primaria e Ventilconvettori**

L'aria Primaria, proveniente da un condizionatore centrale, provvede a: fornitura dell'aria esterna di rinnovo, controllo medio dell'umidità relativa per tutto l'edificio, pre-trattamento e filtrazione dell'aria esterna. La temperatura di distribuzione può essere mantenuta neutra rispetto alla temperatura ambiente, o raffreddante solo nella stagione estiva o anche sempre raffreddante, con-post trattamenti localizzati, quando la distribuzione è indipendente per ciascuna zona termica.

I Ventilconvettori, presenti all'interno degli ambienti climatizzati, provvedono con ricircolo dell'aria ambiente al trattamento termico (solo sensibile) dei carichi termici; in realtà, nella stagione estiva, è frequente l'alimentazione con acqua a temperatura inferiore alla temperatura di rugiada dell'aria ambiente, con inevitabili condensazioni sulla batteria di raffreddamento.

	<p>I filtri installati sui Ventilconvettori sono efficaci solo per le polveri grosse e quindi non idonei al trattenimento di polveri fini dovute a inquinanti prodotti in ambiente da PC e Persone; inoltre la presenza del filtro in prossimità della batteria bagnata (nella stagione estiva) costituisce l'ambiente ideale per la proliferazione di muffe e batteri. Nel caso poi di contaminazione da Micro-droplet il filtro è del tutto inutile e dannoso per le complicazioni di manipolazione.</p>
---	--

Electron microscope image showing fibers, dust, and other deposited material on a residential air conditioner coil.

L'indipendenza delle funzioni svolte, tra Aria Primaria Centrale e Ventil Convettori Locali, e la semplicità di progettazione hanno determinato il successo di questa tipologia di impianto ma, a fronte dei problemi di sanificazione introdotti dal SARSCoV2-19, saranno necessari interventi in merito alle modalità di funzionamento e gestione; in ogni caso, la facilità di regolazione individuale e l'assenza della canalizzazione di ricircolo, necessaria nell'impianto a tutt'aria, costituisce un motivo di preferenza per talune applicazioni.

Va rilevato che questo terminale non è adatto al trattamento delle "zone interne" che hanno minori esigenze di raffreddamento, praticamente costante tutto l'anno, e necessità di ricambi d'aria più impegnativi.

### **Impianti a Tutt'Aria**

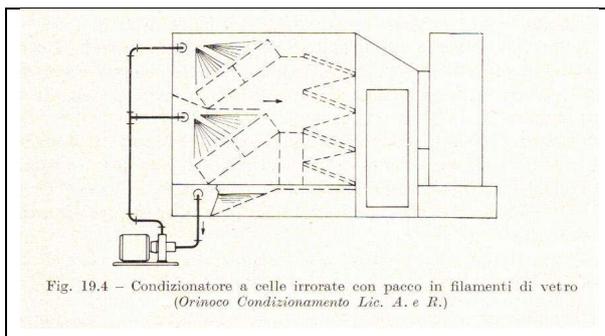
L'aria di trattamento degli ambienti è fornita dall'unità centrale che provvede alle esigenze di trattamento termo-igrometrico degli ambienti, immissione dell'aria esterna di rinnovo e filtrazione.

A prescindere dalle diverse Tipologie [mono-condotto con post terminali, portata fissa o variabile, doppio condotto con cassette di miscela, ecc.] in merito alla diffusione dei Micro-droplet infettivi per la presenza di una persona contagiata, l'aria di ricircolo centralizzata diluisce la concentrazione nel locale infettato ma deposita i virioni sia nei condotti di ricircolo sia nell'unità di trattamento centrale e li distribuisce in tutti gli ambienti.

Senza entrare nel merito sulle possibilità di sanificazione dell'aria trattata dall'unità centrale (materia da specialisti del settore) si potrebbe forse ipotizzare l'utilizzo di Lavatori d'Aria. Questi dispositivi vengono utilizzati nel condizionamento industriale per pulire l'aria da immettere in ambienti dove vengono svolte lavorazioni industriali di sostanze igroscopiche quali: fibre tessili, prodotti farmaceutici, tabacco, pelli, caramelle, ecc.

L'intimo contatto tra l'acqua e l'aria può essere assicurato con due modalità:

- Una potente rete di ugelli polverizza un'ingente portata d'acqua, suddividendola in minuscole goccioline che vengono a stretto contatto con il flusso d'aria
- Irrorazione, con portata d'acqua inferiore, su celle con pacco in filamenti di vetro o altra sostanza con effetto analogo al passaggio attraverso la batteria di deumidificazione nella stagione estiva.



Le celle hanno un ottimo effetto filtrante e sono anche efficaci per l'assorbimento di odori, gas o vapori; a valle delle celle sono inseriti separatori di gocce per le goccioline trasportate. Il funzionamento del lavatore può essere integrato con la deumidificazione sulla batteria fredda della stagione estiva.

In attesa di chiarimenti e direttive in merito ai sistemi di ventilazione centralizzata è chiaramente evidente la pericolosità di canali di Ricircolo centralizzati; l'Unità Centrale dovrebbe assicurare il Trattamento e la Distribuzione dell'Aria Esterna di Rinnovo mentre il Trattamento e la Distribuzione dell'Aria di Ricircolo dovrebbe essere ottenuta con Unità Autonome indipendenti per ciascuna Zona Termica.

### **Impianto con Travi Fredde Attive**

Le Travi Fredde Attive hanno avuto origine nel Nord Europa, come evoluzione dei sistemi radianti a soffitto, in particolare per il raffreddamento delle zone interne svolgendo anche la funzione di diffusione dell'aria primaria.

Nei paesi d'origine, i carichi sensibili ambiente sono inferiori rispetto alle nostre latitudini, per cui le prestazioni estive di questi apparecchi sono adatte anche per le zone perimetrali; il riscaldamento è fornito con corpi scaldanti tradizionali

Il successo e la diffusione nel nostro paese, è dovuto in prevalenza al gradimento da parte di Architetti per le caratteristiche di fruibilità degli spazi, igiene per l'assenza di filtri, assenza di motore elettrico (per il ricircolo dell'aria ambiente) e assenza di personale di manutenzione per la rotazione periodica dei filtri "particolarmente critica e onerosa in questi tempi di Coronavirus".

Alle nostre latitudini, in alcuni casi per motivi commerciali, l'applicazione è stata forzosamente estesa anche alle zone perimetrali con alimentazione delle batterie di scambio termico a 4 Tubi, trasformando di fatto la funzione originaria da Trave Fredda a Trave Termica; in realtà, l'uso corretto di questa tipologia di terminali richiederebbe l'integrazione lungo la fascia perimetrale di facciata dell'edificio, con Travi Termiche Passive, funzionanti a convezione naturale in raffreddamento ed a radiazione nella fase di riscaldamento, alimentate con acqua fredda in estate e acqua calda in inverno.

Nella Trave Attiva l'Aria Primaria svolge la "funzione motrice" per l'aria indotta di ricircolo che attraversa la batteria di scambio termico e ne determina la resa; la portata di Aria di ricircolo è direttamente proporzionale alla portata di Aria Primaria e Rapporto di Induzione.

L'interdipendenza delle funzioni costituisce la "criticità del sistema" in quanto la portata di Aria Primaria Motrice viene calcolata in base alle esigenze Termiche dell'Ambiente mentre l'Aria Esterna di Rinnovo è determinata dalle esigenze di Igienizzazione; le due funzioni sono interdipendenti e questa peculiarità rende particolarmente impegnativo il progetto iniziale e, nel contempo, più oneroso l'intervento di riconfigurazione.

La dimensione di questi apparecchi è limitata a due o tre lunghezze [in genere m 1,8 / 2,4 / 3,0] e il campo di lavoro è condizionato sia dalla portata di motrice sia dalla pressione di alimentazione degli ugelli induttori.

**La portata di aria motrice non corrisponde alla sola necessità di Rinnovo Aria Esterna; l'Aria Primaria di Alimentazione agli Ugelli, prima della comparsa del COVID-19, era quindi composta da una Ridotta quantità di Aria Esterna e da una quota di Ricircolo Centrale, in grado di assicurare la prestazione termica richiesta dal Terminale; questa modalità di funzionamento si ritiene non sia più accettabile a causa dei Rischi di Contaminazione in tutto l'edificio attraverso il Ricircolo Centralizzato.**

**La presenza di canalizzazioni di ricircolo, ripresenta i problemi di diffusione dei Micro-droplet infetti, (descritti per l'impianto a tutt'aria) con diluizione dall'ambiente contaminato agli altri ambienti.**

Ad esempio si consideri, prima del Coronavirus, la Potenza max Sensibile (compreso contributo A.P.) per un modello di Trave Fredda da m 2,4 con temperatura acqua di ingresso alla batteria 16°C ( $\Delta t$  medio 3K), aria ambiente temp. 26°C e aria di ricircolo, di ingresso alla batteria, 27°C:

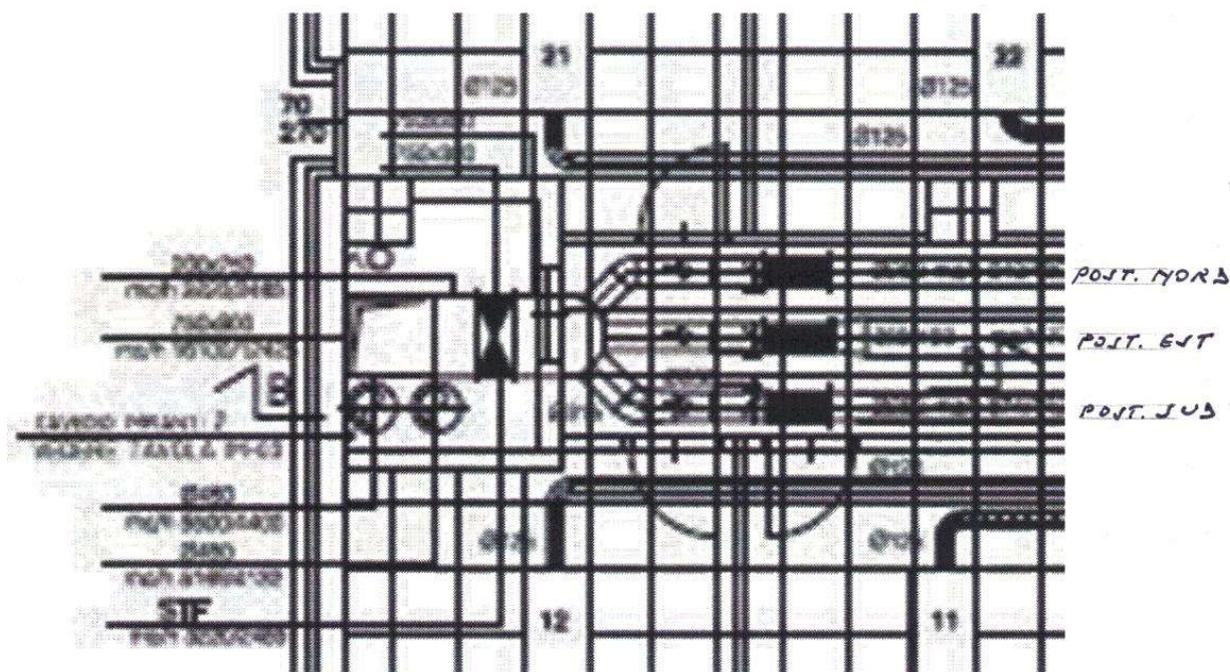
Pressione agli ugelli	100 Pa	60Pa	100Pa
Portata Aria Primaria temp. 18°C	108 m <sup>3</sup> /h	108 m <sup>3</sup> /h	144 m <sup>3</sup> /h
Posizione Apertura Ugelli	2,8	4,3	4,3
Fattori di Induzione	6,1	5,6	5,7
Portata Aria di Immissione	m <sup>3</sup> /h 774	m <sup>3</sup> /h 720	m <sup>3</sup> /h 965
Potenza Sensibile (AP + Batt)	W 1.324	W 1.248	W 1.554
$\Delta t_U$ Aria [Amb. – Aria Imm.]	5,2 K	5,2 K	4,8 K

Con pressione di alimentazione agli Ugelli di 100 Pa, in relazione all'apertura, la portata di A.P. aumenta da 108 a 144 m<sup>3</sup>/h e la resa sensibile aumenta da 1.324 a 1.554 W; il contributo dell'Aria Primaria con  $\Delta t_U$  8K (costituita da Aria Esterna + Ricircolo Centrale) è rispettivamente pari a 288 e 384 W.

Con l'Aumento delle Portate di Aria Esterna, richieste per le maggiori esigenze di Rinnovo, risulta possibile la modifica del funzionamento con Alimentazione agli Ugelli di sola Aria Esterna; riferendoci ai valori del Palazzo Uffici (mantenendo la densità di occupazione a 10 m<sup>2</sup>/p ) risulta: ambienti con Trattamento Diretto mq 2.000, potenza Sensibile di progetto Estivo (W/m<sup>2</sup> 80) kW 160, n° 120 Travi Fredde con Potenza Unitaria W 1.334

La Potenza delle Travi può tranquillamente essere aumentata, in relazione alle diverse esigenze termiche ambientali, con riduzione della temperatura di mandata dell'Aria Esterna (che può essere abbassata sino a 14°C = aumento del contributo a 430 e 575 W) intervento sull'apertura degli Ugelli.

In questo nuovo scenario diventa ancora più importante "determinante" l'adeguamento e l'adeguatezza della regolazione automatica, dei sistemi idronici e aeraulici, sia per il contenimento dei consumi energetici sia per evitare i problemi dovuti a correnti d'aria e shock termici per rapide variazioni sulle differenze di temperatura tra aria immessa e aria ambiente. I sistemi di regolazione esistenti vanno riprogettati (evitando imposizioni di "protocollo proprietario" anche per possibili evoluzioni future) al fine di adeguare i nuovi requisiti di igiene ambientale, migliorare le condizioni di vivibilità negli ambienti interni e riduzione dei consumi energetici; il tutto potrebbe essere economicamente agevolato dai recenti contributi previsti per gli interventi di riqualificazione.



La Distribuzione Centralizzata dell'Aria Esterna [Primaria di Alimentazione delle Travi Attive] dovrebbe essere Indipendente da altre Reti Aerauliche; le derivazioni saranno, a loro volta, indipendenti per ciascuna Zona Termica con dorsali distributive per ciascun fronte di esposizione pre regolate da batteria di post-riscaldamento.

La regolazione della distribuzione di Aria Primaria, per le Travi termiche, è a pressione costante per i circa 9 mesi di funzionamento ridotto (con controllo di guardia per alta temp. in raffreddamento o elevato CO<sub>2</sub>) mentre nei circa 3 mesi di max carico estivo viene attivato il controllo a portata variabile in relazione alla max richiesta di Zona termica o igrometrica.

Per gli ambienti ad uso intermittente (Sale Riunioni, Locali Break, ecc.) il trattamento di Base, con ambiente vuoto, viene assicurato da Trave Termica (come per gli Uffici) mentre per l'utilizzo, con elevato numero di presene, è necessario disporre di un sistema distributivo parallelo (indipendente dalla distribuzione per le Travi Termiche) che fornisca il necessario incremento di raffreddamento e aria di rinnovo in modalità VVT.

Si cita ad esempio una sala riunioni da 36 mq con presenza max di 18 persone:

Sala Vuota - Ventilazione Minima  $3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2) = \text{m}^3/\text{h} 108 (\sim 1 \text{ Vol}/\text{h})$

Sala Occupata - Ventilazione Necessaria =  $[(18 \cdot 25) + (3 \cdot 36)] = 558 \text{ m}^3/\text{h} (\sim 5,3 \text{ Vol}/\text{h})$

I Disimpegni, che hanno la non trascurabile superficie del 20% rispetto agli Uffici, non possono più essere Trattati con aria di transito (come in passato) ma devono disporre di un'alimentazione dedicata che assicuri il ricambio pari a circa  $1 \text{ Vol}/\text{h} \approx \text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2) 2,5 \div 3,0$ . In questi ambienti, trattati con sola aria esterna di rinnovo, la temperatura di immissione è neutra o comunque sempre raffreddante (tutto l'anno).

### Controllo Igrometrico

Nella stagione estiva l'Umidità Assoluta dell'Aria Esterna è più elevata rispetto alle condizioni richieste per l'Ambiente Interno dove, a sua volta, viene diffusa una quantità di vapore acqueo che dipende dall'attività metabolica delle persone e dalla temperatura ambiente; con riferimento alle temperature interne di progetto e in base all'attività svolta, risulta:

Temperatura Ambiente	Estate 26°C		Inverno 22°C	
	Vapore	Carico Latente	Vapore	Carico Latente
Attività Metabolica				
met 1,0 Seduto, Rilassato	g/h 60	W <sub>L</sub> 42	g/h 42	W <sub>L</sub> 30
met 1,1 Lavoro al PC	g/h 72	W <sub>L</sub> 50	g/h 54	W <sub>L</sub> 38
met 1,2 Seduto: Ufficio, Scuola	g/h 84	W <sub>L</sub> 59	g/h 66	W <sub>L</sub> 46
met 1,4 Banca, Magazzino	g/h 108	W <sub>L</sub> 76	g/h 86	W <sub>L</sub> 60
met 1,6 Ristorante (Compr. Cibi)	g/h 135	W <sub>L</sub> 95	g/h 110	W <sub>L</sub> 77
met 2,0 Commesso	g/h 180	W <sub>L</sub> 126	g/h 150	W <sub>L</sub> 105

Il flusso di vapore è valutato su percentuali medie di maschi, femmine e bambini assumendo il carico pari a 1,0 per l'uomo adulto, 0,85 per la donna e 0,75 per il bambino

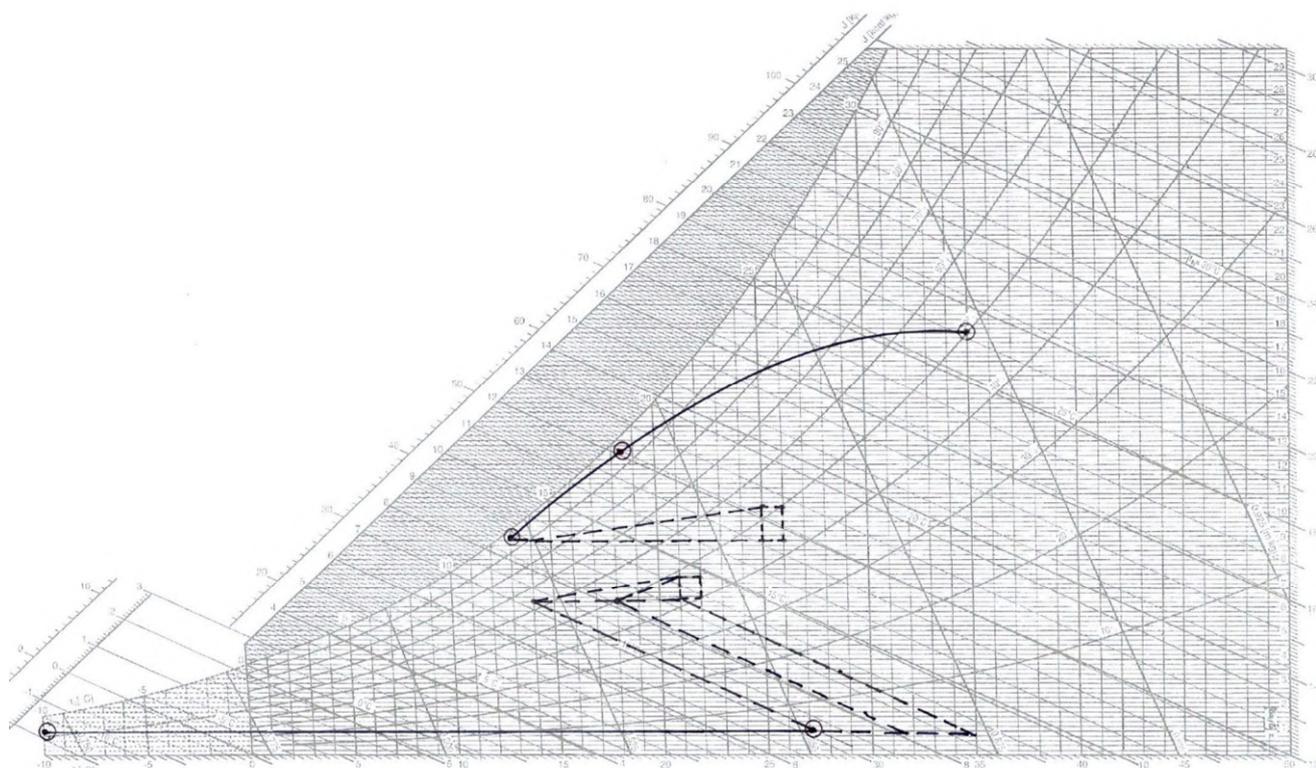
L'Umidità Relativa, all'interno degli ambienti confinati, va mantenuta entro limiti accettabili per contenere possibili effetti su benessere ambientale e salute:

Condizioni Ottimali di Progetto | Estate U.R max 55% (tolleranza + 5) | Inverno U.R. min. 40% (tolleranza - 5) |

Oltre al Carico Latente dovuto alle persone, va considerato anche il contributo (positivo o negativo) dovuto alla permeabilità della struttura per la quale, si propone indicativamente | Estate + 2 g/(h•m<sup>2</sup>) | Inverno - 2 g/(h•m<sup>2</sup>) |

L'Umidità Assoluta dell'Aria Ambiente e il Campo di Variabilità ammesso determinano l'esigenza e le modalità di Trattamento dell'Aria Esterna di Rinnovo nell'Unità Centrale; la commutazione, per il passaggio dalla Deumidificazione all'Umidificazione, è regolata in relazione all'Umidità Assoluta dell'Ara Esterna.

In estate e media stagione l'aria esterna deve essere necessariamente deumidificata mentre nel periodo di inizio inverno, quando l'Umidità Assoluta è inferiore a 7,5 g/kg viene interrotto il trattamento di deumidificazione a punto fisso e viene attivato il sistema di umidificazione con regolazione progressiva.



L'esigenza di Deumidificazione Controllata è Imprescindibile negli impianti con Travi Fredde (per l'assenza della rete di raccolta condense) e consigliabile per gli impianti con Ventilconvettori per evitare condensazioni all'interno dell'apparato.

A tale scopo l'Acqua Refrigerata di Ingresso alle Batterie Freddo deve essere mantenuta a temperatura costante di  $7^{\circ}\text{C} \div 8^{\circ}\text{C}$ ; in questo modo l'Umidità Assoluta dell'aria in Uscita varia da circa 9 g/kg nella stagione estiva a circa 8 g/kg in Media Stagione.

L'aumento delle portate di Aria Esterna, richiesto per le nuove esigenze da COVID-19, rende meno impegnativo sia il controllo della  $\text{CO}_2$  sia il rischio di condensazioni sulle batterie fredde dei Terminali per effetto del minor incremento dell'umidità assoluta all'interno degli ambienti.

Il trattamento di deumidificazione, se ottenuto con una sola Batteria richiede una portata d'acqua elevata mentre, con due batterie in serie, è possibile ridurre la portata d'acqua del 30%. Si cita ad esempio:

Portata Aria  $\text{m}^3/\text{h}$  15.000 | In  $33^{\circ}\text{C}$ , U.R. 50% | Out  $13^{\circ}\text{C}$ , U.R. 99% | Potenza kW 230 |

Con 1 Batteria PT 30/30 | Pa 3,0 | R 9 | Aria 2,5 m/s | → Acqua  $7^{\circ}\text{C} / 10,5^{\circ}\text{C}$  Portata  $\text{m}^3/\text{h}$  56

Con 2 Batterie PT 60/30 | Pa 3,0 | R 8 | Aria 2,5 m/s | → Acqua  $7,5^{\circ}\text{C} / 13,3^{\circ}\text{C}$  Portata  $\text{m}^3/\text{h}$  34

E' interessante notare come, a valle della prima batteria, si disponga di aria per eventuali esigenze di raffreddamento solo sensibile (ad esempio per apparati tecnologici) che invece, con una sola batteria, richiederebbe una spreco energetico per il post riscaldamento e la non necessaria deumidificazione.

In Estate l'Umidità Assoluta di Progetto, dopo le Batterie Freddo può essere assunta pari a 9 g/kg corrispondenti alla temperatura di saturazione di  $13^{\circ}\text{C}$ ; con queste condizioni di immissione dell'Aia Primaria, in assenza di persone, l'Umidità Relativa Interna risulta pari a circa il  $44\% \div 46\%$ .

Il funzionamento delle Batterie di Deumidificazione può proseguire sino a inizio inverno con Umidità Assoluta, dopo il Trattamento pari a 7,5 g/kg, l'U.R. con ambiente vuoto risulta pari al 45% circa.; pertanto il sistema di deumidificazione viene escluso quando la temperatura di saturazione dopo le batterie fredde scende sotto i  $10^{\circ}\text{C}$  o l'Umidità assoluta scende sotto i 7,5 g/kg.

L'impianto di Umidificazione viene attivato, nel periodo di inizio inverno, quando l'Umidità Assoluta dell'Aria Esterna scende sotto i  $7 \div 6,2$  g/kg corrispondenti alla temperatura di  $21^{\circ}\text{C}$  con  $45\% \div 40\%$  di U.R.

*Nota: mentre la deumidificazione non necessita di modulazione, in quanto l'acqua refrigerata viene alimentata a temperatura costante 7°C ÷ 8°C, l'umidificazione invernale deve necessariamente essere regolata in modo progressivo per assicurar l'umidità assoluta non inferiore a 6,2 g/lg e contemporaneamente temperatura di mandata regolata in base alle esigenze di raffreddamento sensibile ambiente (da 14°C a 22°C).*

Ciò premesso, l'umidità relativa in ambiente senza presenza di persone risulta pari al 45% circa in estate/media stagione e 40% in inverno; l'incremento, dovuto alle presenze, dipende dalla quantità di Aria Esterna immessa per le esigenze di rinnovo.

Riconsiderando l'ambiente da 10 m<sup>2</sup>/p, dopo Covid 19, con portata specifica minima di 65 m<sup>3</sup>/(h·p) per la soluzione "Alternativa" Cat. A<sub>3</sub> l'incremento di U.R. risulta:

#### Estate

[Addetto Operativo g/h 72 + Presenza Occasionale g/h 18 + Permeabilità Struttura g/h 20] = 110 g/h = 77 W<sub>L</sub>

$\Delta x = (110 \text{ g/kg} / 78 \text{ kg/h A.E.}) = 1,4 \text{ g/kg}$  che corrisponde all'incremento dal 45% al 55%

#### Inizio Inverno

[Addetto Operativo g/h 54 + Presenza Occasionale g/h 14 + Permeabilità Struttura g/h 0] = 68 g/h = 77 W<sub>L</sub>

$\Delta x = (68 \text{ g/kg} / 78 \text{ kg/h A.E.}) = 0,9 \text{ g/kg}$  che corrisponde all'incremento dal 40% al 52%

*Nota: prima del Covid 19, il trattamento di deumidificazione era più impegnativo per i ridotti volumi di A.E.*

#### Conclusione

La Comunità Scientifica, è attualmente impegnata nella ricerca sulle origini e la diffusione del SARS-CoV2-19 e, in attesa di un vaccino certificato, si prende atto delle dichiarazioni di Ricercatori e Commentatori, "la presenza del COVID-19 potrebbe durare a lungo o non sparire mai e purtroppo non è possibile prevedere se e quando il virus scomparirà".

A fine Gennaio 2020, in attuazione della EPBD III [ 2 ] il Consiglio dei Ministri ha approvato lo schema del Decreto legislativo di attuazione della Direttiva 2018/844, che ha modificato la precedente 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la 2012/27/UE sull'efficienza energetica. Lo schema di Decreto, una volta approvato, modificherà il D.lgs. 192 del 2005 e smi al fine di adeguarlo e integrarlo con le novità introdotte dalla nuova Direttiva.

In attesa di revisioni e aggiornamenti delle prescrizioni, per le attuali e possibili future emergenze, risulta imprescindibile l'adeguamento immediato dei sistemi aeraulici esistenti e la **revisione** delle Logiche per i Progetti in corso; i Tecnici devono pianificare le scelte, sulla base di prescrizioni pubblicate prima del COVID-19 e in assenza di nuove indicazioni per interventi a tutela della salute, devono documentare le scelte assumendosene la responsabilità.

L'impianto da solo non può risolvere i problemi di Sanificazione ma, nei limiti del possibile, è opportuna la riorganizzazione degli spazi operativi e la responsabilizzazione dell'Utenza; in ogni caso, tra i primi provvedimenti, è necessario l'aumento delle Portate d'Aria di Rinnovo e l'Eliminazione di Riciccoli Centralizzati.

Le Logiche di Progetto con relativi Esempi Applicativi, oggetto della presente pubblicazione, hanno lo scopo di offrire un contributo per la definizione di procedure e soluzioni di intervento sugli impianti esistenti e, nel contempo, indicare una proposta per la Documentazione di Progetto (in attesa di nuove Direttive) sulle maggiorazioni di "Portata Aria Esterna di Rinnovo" riferite alla Direttiva EPBD pubblicata prima del COVID-19.

Ad introduzione dell'argomento Climatizzazione si riporta una sintesi della Pubblicazione, da parte di Autorevoli Ricercatori, in merito a diffusione e contagio del Virus:

[ 1 ] Monitoraggio con raggi laser sulle modalità di diffusione del virus in ambiente confinato

[ 2 ] Rischi negli ambienti indoor e ruolo degli impianti HVAC

[ 2 ] Aria esterna di rinnovo e tempi di rimozione delle cariche virali per la comune influenza

[ 3 ] Tracciamenti e riscontri sulle modalità di diffusione del virus

La proposta (transitoria) di Integrazione delle Portate di Aria Esterna di Rinnovo [oggetto di questo lavoro, in attesa di nuove disposizioni] utilizza i parametri della EPBD e mantenendo come riferimento di Classificazione della Cat. A [veri low-polluted] assume Portate Specifiche di Edifici più Inquinanti per le diverse soluzioni:

A<sub>2</sub>) Livello di Aspettativa [2° = Normale]

A<sub>3</sub>) Livello di Aspettativa Inferiore [3° = Accettabile]

In concreto, con riferimento alla EPBD, risulta:

#### **Prima del COVID-19**

Cat. A) Livello 2° con Portata d'Aria riferita ai soli Operatori [1 Rinnovo ogni 50' = 1,2 Vol/h]

Cat. A<sub>1</sub>) Livello 2° con Portata d'Aria comprese Presenze Occasionali [1 Rinnovo ogni 40' = 1,5 Vol/h]

#### **Dopo COVID-19**

Cat. A<sub>2</sub>) Livello 2° con Distanziamento delle Postazioni Operative [1 Rinnovo ogni 30' = 2,0 Vol/h]

Cat. A<sub>2</sub>) Livello 2° senza Distanziamento delle Postazioni Operative [1 Rinnovo ogni 20' = 3,0 Vol/h]

Cat. A<sub>3</sub>) Livello 3° senza Distanziamento delle Postazioni Operative [1 Rinnovo ogni 30' = 2,0 Vol/h]

In ogni caso vale sempre il concetto guida: "la realizzazione deve essere conforme al progetto ma il progetto deve essere **adatto allo scopo**, col minimo impiego di energia e risorse"

---



#### Nota Biografica \* G. Delgiudice

Inizia ad operare nel settore degli impianti tecnologici nel 1960, sotto la guida di Rumor Strohmer, e per 40 anni sviluppa progetti e realizzazioni di impianti civili e industriali.

Attento all'insorgere di nuove tecnologie e soluzioni impiantistiche, l'Autore ha finalizzato la propria attività all'evoluzione dei sistemi per il miglioramento dei requisiti prestazionali, con attenzione al contenimento dei consumi energetici.

Dalle prime innovazioni sul riscaldamento col Sistema Monotubo (Convegno AICARR 1965) ha poi sviluppato [negli anni '70/'80] progetti integrati con sistemi a Pompa di Calore e Refrigerazione ad Espansione Diretta. Sempre in anticipo sull'evoluzione tecnologica, oltre alla climatizzazione, ha realizzato alcuni prestigiosi impianti industriali con Vapore e Olio Diatermico.

Le realizzazioni, all'epoca innovative, sono state presentate ai Convegni AICARR, SAIE, EXPOCOMFORT e pubblicate su qualificate Riviste del Settore: CDA, RCI, Il Progettista

Ha progettato e realizzato prestigiosi impianti di climatizzazione, sino all'anno 2000, con Architetti di fama internazionale: Albini Helg, Gae Aulenti, Santiago Calatrava.

Tra i progetti di maggior rilievo si segnala: Palazzo Uffici Telecom Piazza Affari, Albergo 5\* a Venezia, 1° Classificato (con Intertecno) per Impianti Tecnologici nel concorso Europeo Interdisciplinare Politecnico Bovisa, Palacongressi Fiuggi (Arch. Calatrava), Stabilimento di Produzione Cioccolato (VA): Centrali Tecnologiche e Climatizzazione Reparti di Lavorazione.

Successivamente, per altri 20 anni, ha esercitato la Libera Professione in attività di Progettazione e Supervisione nel settore Termotecnico con Docenze presso AICARR per i sistemi a Travi Fredde.

Rif. < deltacz39@gmail.com >