

Il monitoraggio della CO₂ come arma di contrasto alla diffusione del Covid-19



Covid-19 e CO₂. Un uso “insolito” della misura della concentrazione di anidride carbonica negli ambienti chiusi.

Autore:

Ing. Vito Lisanti (Direttore Tecnico di Extratech srl - Società di Ingegneria)

Come si trasferisce il virus per via aerea?

La pandemia di Covid-19 ha messo in evidenza una serie di sfide legate alla trasmissione dei virus per via aerea, in particolare ora che le restrizioni di isolamento si stanno allentando e ci si riunisce di più al chiuso. Recentemente, c'è stata una crescente evidenza [1] che il virus SARS-CoV-2 può essere facilmente trasmesso dagli aerosol esalati da una persona infetta, con particelle rilevate nell'aria diverse ore dopo. La Figura 1 mostra i diversi meccanismi di trasmissione del virus per via aerea da parte di una persona infetta e come la ventilazione possa essere considerata un metodo importante per rimuovere le particelle del virus da un ambiente interno.

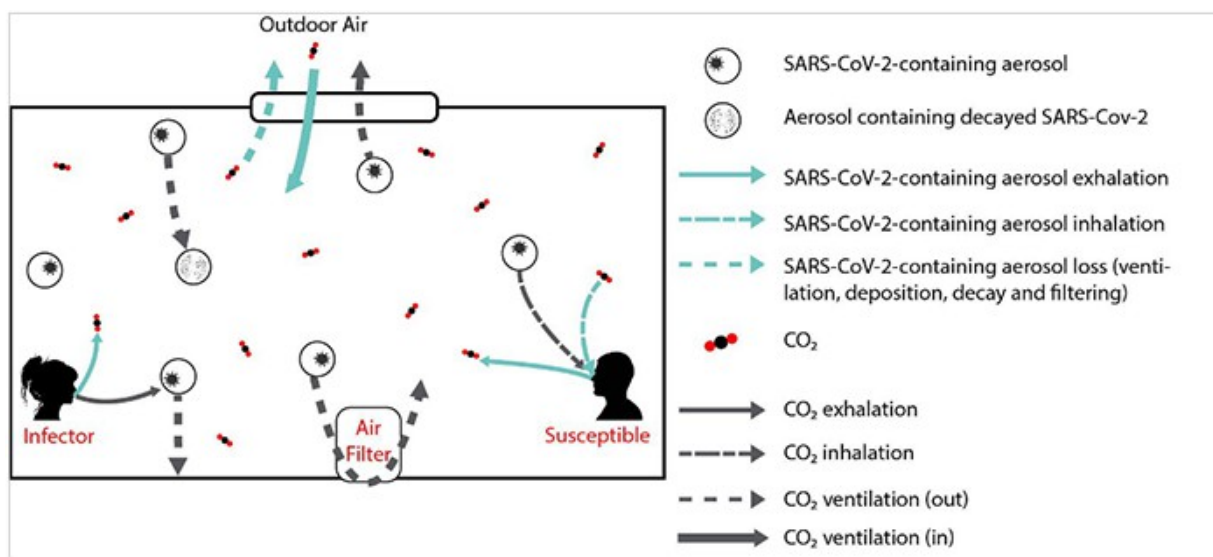


Figura 1:

Illustrazione dei meccanismi di aumento e diminuzione dei livelli di CO₂ e della trasmissione del virus in un ambiente interno ventilato. Le frecce grigie denotano il movimento delle particelle di virus, e le frecce blu illustrano la CO₂. I meccanismi per diminuire le particelle di virus sono il decadimento naturale e la rimozione tramite ventilazione o filtrazione. [1]

Gli ambienti interni possono essere facilmente monitorati, utilizzando sensori di CO₂ ad alte prestazioni e a basso costo, come la gamma di prodotti AIQ di Extratech. I dati dei sensori possono essere utilizzati per valutare la qualità dell'aria interna e aiutare ad adottare le azioni per ridurre la trasmissione di Covid-19.



Figura 2:

Sistema di misurazione portatile dello CO2 integrato con sensori termoigrometrici e di rilevazione della concentrazione di gas Radon per il controllo della qualità dell'aria interna nelle abitazioni ed uffici.

Per approfondire le caratteristiche dei sistemi di misura:

AIQ – Sistema di Misura / Monitoraggio della qualità dell'aria interna [link](#)

e

RnF - Sistema di Misura / Monitoraggio del Radon [link](#)

Equazione della trasmissione dei virus per via aerea (Covid-19).

Correlazione fra CO2 esalata e probabilità di infezione

Molte teorie moderne sulla trasmissione dei virus per via aerea sono basate sull'equazione di Wells-Riley, che nella sua prima forma è stata usata per modellare la diffusione del morbillo negli anni '70 [2].

L'equazione di base:

$$P = 1 - e^{-n}$$

dove

P è la probabilità di infezione della persona suscettibile secondo la quantità di dosi di virus che inalano, definita da n . L'ipotesi nell'adattare questa espressione per l'uso pratico è che la quantità di CO_2 esalata da una persona infetta e successivamente inalata da una persona suscettibile sia legata alla quantità di virus attivo a cui la persona suscettibile è esposta. Sulla base di questo presupposto, la quantità di CO_2 in eccesso introdotta in un particolare ambiente interno tramite l'esalazione in un dato periodo (in questo caso 1 ora) può quindi essere utilizzata come veicolo per calcolare la probabilità di infezione.

L'equazione seguente, derivata da Peng e Jimenez, può essere usata per stimare il rischio di trasmissione relativo alla quantità di CO_2 in eccesso introdotta in un ambiente interno per esalazione da una persona infetta [1].

$$\Delta c_{\text{CO}_2}^* = \frac{0.0001/1h \times N E_{p,\text{CO}_2}}{(1 - \eta_{im})(N - 1)E_p(1 - m_{ex})(1 - m_{in})B} \times \frac{\frac{1}{\lambda_0} - \frac{1 - e^{-\lambda_0 D}}{\lambda_0^2 D}}{\frac{1}{\lambda} - \frac{1 - e^{-\lambda D}}{\lambda^2 D}}$$

dove:

$\Delta c_{\text{CO}_2}^*$ è la quantità di CO_2 in eccesso inalata necessaria per aumentare la probabilità di infezione dello 0.01%;

λ_0 è il tasso di ventilazione;

E_{p,CO_2} è l'eccesso di CO_2 inalata;

D è la durata dell'esposizione (1 ora);

B è il tasso di respirazione della persona suscettibile;

m_{in} e m_{ex} sono l'efficienza di filtrazione della mascherina rispettivamente durante l'inspirazione e l'espiazione;

η_{im} tiene conto dell'immunità della persona suscettibile;

λ include tutti i meccanismi di perdita del virus nell'ambiente (inclusa la ventilazione);

N è il numero di occupanti nella stanza.

Questa equazione contiene i parametri rilevanti per valutare i rischi proporzionali di trasmissione di un dato ambiente, compreso l'uso della mascherina e l'occupazione della stanza. Un esempio dei dati risultanti per diversi ambienti è presentato di seguito nella Figura 3.

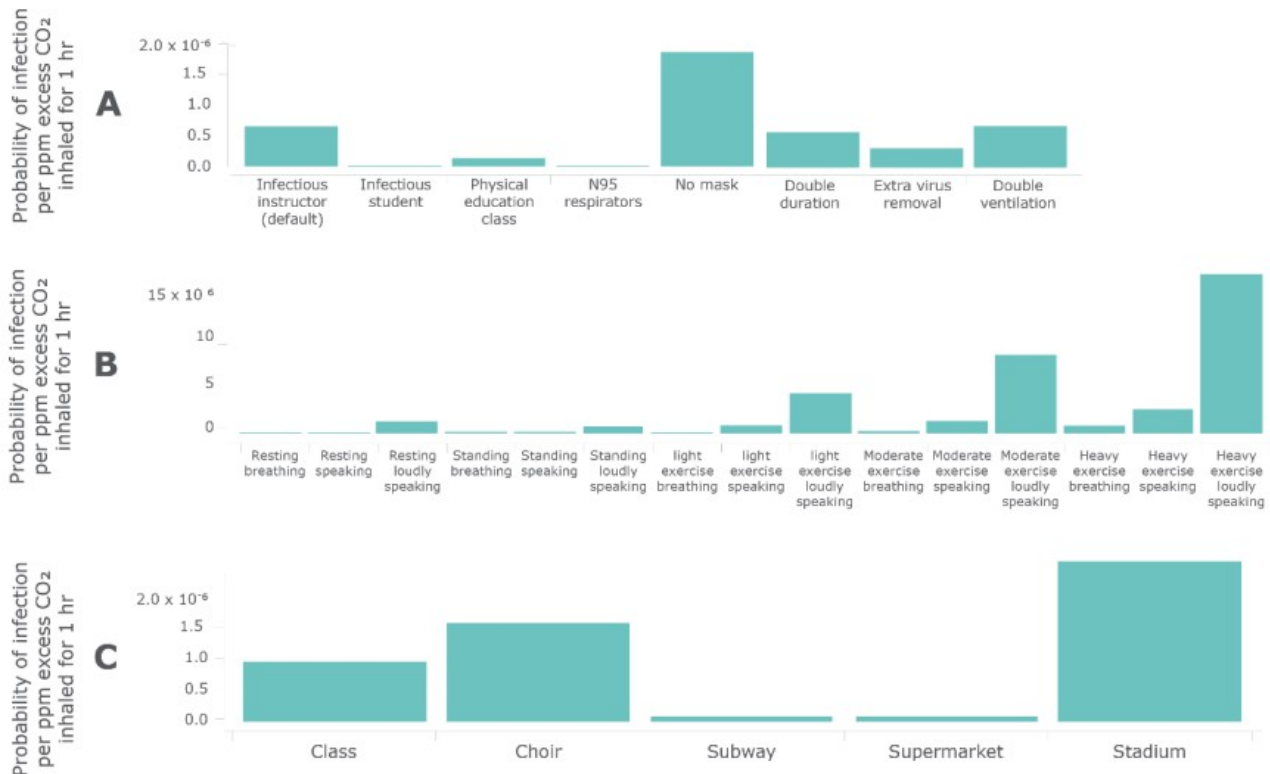


Figura 3: Probabilità di infezione per eccesso di ppm di CO₂ per una durata di 1 ora in diverse condizioni ambientali interne. A: classe universitaria con 10 occupanti, B: livelli variabili di attività fisica, C: occupazione variabile e volumi della stanza. [1]

Guardando prima la parte A della Figura 3, la probabilità di trasmissione è calcolata per la stessa aula universitaria in diverse condizioni, le dimensioni della stanza e l'occupazione sono equivalenti in ogni caso. La prima cosa da notare è che il rischio di trasmissione è più alto se il docente è infettivo (default in tutti gli altri casi), rispetto all'ipotesi che sia uno degli studenti ad essere infettivo. Questo è dovuto al fatto che il docente proietta un numero maggiore di particelle di virus (e quindi di CO₂) nell'ambiente parlando alla classe, assumendo che gli studenti siano generalmente silenziosi. Si presume che sia il docente che gli studenti indossino mascherine, se non diversamente specificato.

Un altro aspetto del grafico degno di nota è l'aumento significativo della probabilità di trasmissione quando non si indossa alcuna mascherina, soprattutto se paragonato all'uso di una mascherina N95 (FFP2). Nel caso della mascherina N95, il tasso di filtrazione per inalazione è più del doppio di quello della copertura facciale standard, evidenziando la protezione superiore per chi la indossa. Forse l'aspetto più interessante del modello è che il raddoppio della durata dell'esposizione (2 ore) e del tasso di ventilazione ha un impatto relativamente piccolo sulla probabilità di trasmissione. In questo caso, finché c'è una ventilazione sufficiente per consentire la rimozione costante delle particelle

di virus (e, per coincidenza, di CO₂), aumentare il tasso di ventilazione non vale la pena costi e sforzi aggiuntivi. I dati mostrano che la rimozione aggiuntiva del virus (ad esempio, un filtro HEPA) d'altra parte ha un impatto significativo.

I dati nella sezione B riassumono come il livello di sforzo fisico e il volume di conversazione abbiano un impatto sulla probabilità di trasmissione, aumentando in entrambi i casi con una combinazione di sforzo elevato e volume di conversazione che rappresenta la più alta probabilità di trasmissione.

La sezione C presenta le probabilità di trasmissione per diversi ambienti interni. Il caso del coro mette in evidenza che il maggiore scambio di CO₂ tra gli occupanti causato dal canto (cioè, l'aumento del tasso di respirazione) aumenta il rischio relativo di trasmissione se confrontato con scenari di basso sforzo come la metropolitana o il supermercato. Il caso dello stadio presenta il rischio più significativo a causa del livello di occupazione molto maggiore (>30'000 occupanti), anche quando si considera il volume molto più grande della stanza.

Dato che il rischio di trasmissione è relativo al livello di CO₂ in eccesso, è chiaro che per situazioni in cui un gran numero di persone si mescola e/o i livelli di sforzo sono alti, è importante poter monitorare i livelli di CO₂ per valutare e ridurre il rischio di trasmissione del virus.

Il monitoraggio e la ventilazione della CO₂

L'analisi dei dati riportati nella Figura 3, suggerisce che il monitoraggio e il controllo della CO₂ può giocare un ruolo importante e pratico nel controllo della trasmissione del virus. Essendo in grado di dimostrare che le misurazioni di CO₂ possono essere usate come conoscenza per la probabilità di trasmissione del virus, suggerisce che il monitoraggio attivo della CO₂ per una serie di diversi ambienti interni può essere utile come mezzo di controllo della diffusione del virus, specialmente durante la pandemia Covid-19.

Come funzionano i sistemi di monitoraggio in continuo e quali applicazioni sono possibili?

- Evoluzione dei sistemi di monitoraggio (Articolo Ingenio) [link](#)
- Famiglie di sistemi di monitoraggio [link](#)
- Monitoraggio dello CO2 nel Museo Archeologico Romano di Positano [link](#)

Valutazione dei livelli di CO₂ e del relativo rischio di trasmissione del virus.

Il primo passo è quello di valutare i livelli di CO₂ durante una giornata tipica, per esempio una giornata lavorativa in un edificio per uffici. L'HSE (Health and Safety Executive) del governo britannico, ente omologo dell'Ispettorato del Lavoro in Italia raccomanda l'uso di sensori NDIR, come la gamma dei prodotti della famiglia AIQ di Extratech. Di seguito alcune indicazioni sui livelli di concentrazione dello CO₂ [3].

- L'aria fresca all'aperto è di circa 400 ppm;
- All'interno, un valore di CO₂ costante inferiore a 800 ppm indica una buona ventilazione;
- Ambienti interni aventi livelli di CO₂ pari a 1500 ppm denotano una scarsa ventilazione e dovrebbero essere prese misure per ridurre questo livello;
- All'interno, dove si parla o si canta continuamente, o ci sono alti livelli di attività fisica, i livelli di CO₂ dovrebbero essere mantenuti al di sotto di 800 ppm.

Il sensore dovrebbe essere posizionato nella stanza per dare una lettura rappresentativa dei livelli ambientali. Questo significa posizionare il sensore lontano da fonti di CO₂ (ad esempio, stufette a gas) o altre fonti di ventilazione (ad esempio, finestra aperta o unità di ventilazione) per ottenere una rappresentazione reale della qualità dell'aria ambiente.

I nostri sensori di CO₂ utilizzano LED a infrarossi proprietari per un basso consumo energetico, che permette ai datalogger di utilizzare anche soluzioni alimentate a batteria e quindi portatili. Una tale unità può essere facilmente spostata per valutare diversi luoghi e scenari. È anche importante considerare che altri parametri ambientali come la pressione barometrica e le variazioni di temperatura e di umidità ambientale, nonché il modo in cui la stanza viene utilizzata, influenzano la variazione dei livelli di CO₂, e bisogna fare attenzione nel comprendere come ogni parametro influisce sulla qualità dell'aria interna.

I parametri che influenzano i livelli di CO₂ sono già stati dimostrati nella Figura 3, i più importanti dei quali sono elencati di seguito.

Numero di occupanti della stanza:
più persone = maggiore CO₂

Dimensione della stanza:

I livelli di CO₂ nelle stanze più piccole aumenteranno più velocemente che nelle stanze più grandi.

Livello di ventilazione:

Le aree con scarsa ventilazione avranno un aumento di CO₂ quando sono occupate e diminuiranno più lentamente quando non sono occupate.

Tasso di espirazione:

lo sforzo e l'esercizio fisico aumentano il livello di CO₂

Un sistema di monitoraggio automatico della CO₂ può essere di grande aiuto poiché è in grado di rilevare la presenza di alte concentrazioni di CO₂ negli ambienti richiamando la nostra attenzione con un sms sulla necessità di un ricambio d'aria in una determinata stanza oppure può comandare direttamente l'impianto di aerazione centralizzata o locale presente nell'immobile. E' il caso di ricordare che gli interventi potrebbero essere anche quelli di ridurre il flusso di persone presenti contemporaneamente in un locale (ad es. in un museo, o in un'attività commerciale), oppure ridurre il tempo medio di permanenza, o modificarne il tipo di attività svolta



Figura 4:

Sistema di monitoraggio fisso dello CO₂ integrato con sensori termoisgrometrici e di rilevazione della concentrazione di gas Radon per il controllo da remoto della qualità dell'aria interna nelle abitazioni ed uffici e la gestione degli impianti di ventilazione, umidificazione/deumidificazione.

Differenti tipologie di ventilazione

- Ventilazione naturale -

Se si rileva che una stanza ha livelli elevati di CO₂, la soluzione più semplice in molti casi è la ventilazione naturale sotto forma di apertura di finestre e porte. Questa è a volte l'unica soluzione realistica, specialmente per molti vecchi edifici dove soluzioni più sofisticate sono difficili e costose da integrare. Il monitor di CO₂ può essere montato da qualche parte ragionevolmente centrale nella stanza, lontano dalle finestre e dalle fonti di calore, e un allarme può essere impostato per notificare agli occupanti il momento ottimale per aprire e chiudere le finestre. Questo è particolarmente importante nei climi più freddi dove c'è un equilibrio tra la ventilazione e il mantenimento della stanza comodamente calda, avere un misuratore di CO₂ aiuta gli occupanti a raggiungere questo obiettivo.

- Ventilazione meccanica -

La fase successiva della ventilazione consiste nell'avere qualche mezzo per muovere l'aria in una stanza meccanicamente, nelle seguenti modalità:

- Ricircolo;
- Impianto di aerazione;
- Ventilazione meccanica controllata.

- Ricircolo -

Si tratta di spostare l'aria in una stanza, isolata da una fonte di aria fresca. Questo è tipicamente un ventilatore meccanico da scrivania o a torre senza collegamento con l'aria esterna. Il risultato qui è un leggero raffreddamento dell'aria, ma nessun cambiamento notevole nei livelli di CO₂ e nessun beneficio reale in termini di trasmissione del virus - può anche aumentare il rischio aumentando la mobilità delle particelle trasportate dall'aria. Un aspetto che può essere considerato è l'installazione di un filtro di grado medico in un sistema di ricircolo per rimuovere le particelle sospese nell'aria e quindi ridurre il rischio di trasmissione. Questo sarebbe appropriato quando l'accesso all'aria esterna non è possibile, anche se il monitoraggio del CO₂ diventa inaffidabile poiché i livelli di CO₂ non saranno probabilmente mantenuti facilmente al livello desiderato (400-800 ppm).

- Impianto di aerazione -

Il passo successivo in termini di efficacia (e complessità) è la ventilazione installata che sostituisce l'aria interna con aria fresca, in genere con mezzi meccanici (cioè, HVAC - Heating Ventilation & Air Conditioning).

Questo permette di monitorare i livelli di CO₂ come indicatore del rischio di trasmissione del virus, poiché il flusso di aria fresca impedisce ai livelli di CO₂ di ristagnare. Il sistema di aerazione può essere impostato per funzionare continuamente, temporizzato per i periodi di occupazione, o utilizzando un controllo manuale.

- Ventilazione meccanica controllata -

Questa è la forma più sofisticata di ventilazione in cui il feedback dei sensori (temperatura, umidità e CO₂) è usato per controllare il flusso d'aria dentro e fuori lo spazio interno. In termini di trasmissione di virus, il sistema può essere impostato per mantenere il livello di CO₂ entro limiti specifici (ad esempio, 400-800 ppm) per ridurre il rischio di trasmissione. Questo ha l'ulteriore vantaggio di essere più efficiente dal punto di vista energetico, non facendo funzionare la ventilazione quando i livelli di CO₂ sono relativamente bassi (cioè, vicino a 400 ppm).

CONCLUSIONE

In definitiva esiste un legame tra i livelli di CO₂ misurati in ambienti chiusi e il probabile rischio di trasmissione di virus per via aerea. I dati presentati mostrano come certe condizioni ambientali (come l'uso della mascherina, le dimensioni della stanza, il livello di occupazione, il livello di sforzo fisico) possono cambiare il livello di rischio relativo alla quantità di CO₂. Utilizzando queste informazioni e la misurazione accurata della CO₂ tramite il sistema di misura AIQ di Extratech, è possibile prendere decisioni informate e permettere ai presidi, datori di lavoro, responsabili della sicurezza di valutare e controllare la ventilazione, per garantire che le linee guida del governo siano seguite, per migliorare la salute interna e, soprattutto, per ridurre il rischio di trasmissione dei virus.

Referenze

- [1] J. W. Tang, W. P. Bahnfleth, P. M. Bluyssen, R. Tellier, P. Wargocki, S. J. Dancer, G. Buonanno, J. I. Jimenez, J. Kurnitski, Y. Li, S. Miller, C. Sekhar, L. Morawska, L. C. Marr and A. K. Melikov, "Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2)," *J Hosp Infect*, vol. 110, pp. 89-96, 2021.
- [2] Z. Peng and J. L. Jimenez, "Exhaled CO₂ as a COVID-19 Infection Risk Proxy for Different Indoor Environments and Activities," *Environmental Science & Technology Letters*, vol. 8, no. 5, pp. 392- 397, 2021.
- [3] E. C. Riley, G. Murphy and R. L. Riley, "Airborne Spread of Measles in a Suburban Elementary School," *Am. J. Epidemiol*, vol. 107, no. 5, pp. 421-432, 1978.
- [4] U. H. a. S. Executive, "Ventilation during the coronavirus (COVID-19) pandemic," 2021. [Online]. Available: <https://www.hse.gov.uk/coronavirus/equipment-and-machinery/air-conditioningand-ventilation/identifying-poorly-ventilated-areas.htm>. [Accessed 11 December 2021].
- [5] GSS Ltd Technical document
- [6] Extratech srl. <https://www.extratech.it>
- [7] <https://www.monitoraggiostrutturale.it>