



NOTA TECNICA AD INTERIM

**Monitoraggio della CO₂ per prevenzione
e gestione negli ambienti *indoor*
in relazione alla trasmissione dell'infezione
da virus SARS-CoV-2**

NOTA TECNICA AD INTERIM

Monitoraggio della CO₂ per prevenzione e gestione negli ambienti *indoor* in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2

Gaetano SETTIMO

Luigi BERTINATO

Marco MARTUZZI

Marco INGLESSIS

Fortunato "Paolo" D'ANCONA

Maria Eleonora SOGGIU

Silvio BRUSAFERRO

Dipartimento Ambiente e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Segreteria scientifica della Presidenza, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Dipartimento Ambiente e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Dipartimento Ambiente e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Dipartimento Malattie Infettive, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Dipartimento Ambiente e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità, Roma

Istituto Superiore di Sanità

Nota tecnica ad interim. Monitoraggio della CO₂ per prevenzione e gestione negli ambienti *indoor* in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2.

Gaetano Settimo, Luigi Bertinato, Marco Martuzzi, Marco Inglessis, Fortunato "Paolo" D'Ancona, Maria Eleonora Soggiu, Silvio Brusaferrò

ii, 24 p.

Per contrastare la diffusione dell'epidemia da virus SARS-CoV-2, garantire la qualità dell'aria *indoor* risulta fondamentale nella tutela della salute dei cittadini e dei lavoratori. Il rapporto fornisce una serie di raccomandazioni per l'utilizzo delle misurazioni della CO₂ come guida negli ambienti *indoor* in relazione al contenimento del rischio di contagio da COVID-19.

Istituto Superiore di Sanità

Interim technical note. CO₂ monitoring for prevention and management in indoor environments in relation to the transmission of SARS-CoV-2 virus infection.

Gaetano Settimo, Luigi Bertinato, Marco Martuzzi, Marco Inglessis, Fortunato "Paolo" D'Ancona, Maria Eleonora Soggiu, Silvio Brusaferrò

ii, 24 p.

To prevent the spread of the SARS-CoV-2 virus outbreak, it is critical to ensure indoor air quality to protect the health of citizens and workers. The report provides a set of recommendations for the use of indoor CO₂ measurements as a guide in relation to containing the risk of COVID-19 infection.

Per informazioni su questo documento scrivere a: gaetano.settimo@iss.it

Citare questo documento come segue:

Settimo G, Bertinato L, Martuzzi M, Inglessis M, D'Ancona F, Soggiu ME, Brusaferrò S. *Nota tecnica ad interim. Monitoraggio della CO₂ per prevenzione e gestione negli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2022.

La responsabilità dei dati scientifici e tecnici è dei singoli autori, che dichiarano di non avere conflitti di interesse.

Redazione e grafica a cura del Servizio Comunicazione Scientifica dell'Istituto Superiore di Sanità
(Sandra Salinetti e Paola De Castro)

© Istituto Superiore di Sanità 2022
viale Regina Elena 299 – 00161 Roma



Indice

Destinatari del rapporto.....	ii
Introduzione	3
Programmazione delle attività di misurazione della CO ₂ negli ambienti <i>indoor</i>	6
Informazioni di base necessarie alla misurazione della CO ₂	11
Scelta dei punti di misura negli ambienti <i>indoor</i>	12
Tempi e frequenza delle misurazioni di CO ₂	13
Bibliografia	16
Appendice A	19
A1. Documenti del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor	21
A2. Depuratori/purificatori d'aria mobili sono realmente una soluzione?.....	22

Destinatari del documento

I principali destinatari di questo documento sono i cittadini, i lavoratori, i datori di lavori, i Servizi di Protezione e Prevenzione (SPP), i gestori degli immobili, e le autorità sanitarie dei Dipartimenti di Prevenzione del Servizio Sanitario Nazionale (SSN), impegnati ognuno per il loro ruolo, nell'adozione e nel rispetto dei programmi d'azione COVID-19 per rispondere alle esigenze di protezione e prevenzione della salute del personale e della collettività nel contesto delle attuali conoscenze.

Le misure della CO₂ devono essere interpretate come un indicatore/guida, e dipendono da una serie di fattori quali: il numero delle persone, la natura delle attività, le dimensioni degli ambienti/spazi, la frequenza e durata di apertura di porte, finestre e balconi, il tipo di marcia e i tempi di funzionamento del sistema di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC), il posizionamento degli strumenti/dispositivi automatici/sensori.

Introduzione

Per fronteggiare la diffusione del virus SARS-CoV-2 e delle sue varianti, nei molteplici e diversi ambienti *indoor*, l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ha fornito una serie di indicazioni e raccomandazioni: l'obiettivo è l'ottimizzazione dei ricambi dell'aria esterna in modo naturale o con sistemi meccanici e, più in generale, della ventilazione. L'approccio raccomandato non si basa su singole azioni a sé stanti, ma su un set di azioni che devono funzionare contemporaneamente e in modo complementare per risultare efficaci nella riduzione del rischio (1-5) e che devono far parte della strategia organica di prevenzione e mitigazione del rischio. L'attenzione alla qualità dell'aria *indoor* è sempre stata un vero punto di forza per promuovere e salvaguardare la salute dei cittadini e in questo momento lo è ancora di più, considerando che, allo stato attuale la maggior parte dei contagi da SARS-CoV-2 e delle sue varianti si verificano in ambienti e spazi *indoor*.

A conferma della particolare attenzione che deve essere posta agli ambienti *indoor* questo rapporto approfondisce una serie di aspetti tecnici che costituiscono una guida generale nel disegno e nello svolgimento di una corretta strategia di monitoraggio delle concentrazioni di anidride carbonica (CO₂) (espresse in parti per milione-ppm volume/volume) mediante strumenti/dispositivi automatici/sensori fissi o portatili.

Lo scopo principale delle misurazioni di CO₂ è quello di identificare gli ambienti con scarsi ricambi d'aria, di promuovere e realizzare quotidianamente modalità operative di ottimizzazione dei ricambi dell'aria esterna in modo naturale e con sistemi meccanici, di implementare efficaci programmi di miglioramento e controllo sotto diversi aspetti con una visione unitaria, prima che sorgano situazioni di disagio, scarsa produttività o problematiche di salute per l'esposizione degli occupanti ai vari agenti chimici, biologici e fisici – ad esempio COV (Composti Organici Volatili), materiale particolare (*Particular Matter*) PM₁₀, PM_{2,5}, SVOC (*Semi Volatile Organic Compounds*, composti organici semivolatili), odori, batteri, virus, allergeni, funghi filamentosi (muffe) e all'umidità, ecc.

Sul piano operativo, è importante tener conto, quanto più possibile, di tutta una serie di informazioni per comprendere se le misurazioni di CO₂ possano essere considerate efficaci, individuare quali azioni debbano essere rivalutate alla luce delle risultanze delle misurazioni per migliorare i ricambi dell'aria esterna e la ventilazione, e se è necessario apportare delle modifiche alla strategia di misura (dalla scelta degli ambienti/spazi, al tipo di dispositivo/sensore/caratteristiche tecniche, al posizionamento del dispositivo/sensore, alle modalità di misurazione di tipo frazionato, continuo o una tantum). In particolare le misurazioni che vengono effettuate dipendono in modo complesso da una serie di fattori che come noto hanno un'influenza sulle concentrazioni di CO₂ negli ambienti *indoor*: il numero delle persone nelle normali condizioni di occupazione, la natura delle attività (impegno fisico), le caratteristiche e dimensioni degli ambienti e degli spazi *indoor*, le condizioni di utilizzo, la frequenza e durata di apertura di porte, finestre e balconi, la marcia e tempi di funzionamento del sistema di ventilazione, il posizionamento degli strumenti/dispositivi automatici/sensori.

Gli studi effettuati hanno dimostrato come un eccessivo affollamento, una ventilazione non efficace, nonché il lungo tempo trascorso in ambienti/spazi e il mancato rispetto delle misure di prevenzione quali l'uso della mascherina e il distanziamento, possono portare ad un aumento delle concentrazioni di CO₂ e aumentare il rischio di aerosol infettivi negli ambienti *indoor*. Infatti, è sempre più riconosciuto che in spazi chiusi, non idoneamente aerati e sovraffollati, a distanze brevi/ravvicinate o anche a lungo raggio, si accumula, se sono presenti fonti di emissione una maggiore carica virale trasportata dalle goccioline ed altri aerosol rilasciate dal soggetto/i emettitore/i (1-5). Ne consegue che le associazioni dirette tra l'elevate concentrazioni di CO₂ e l'aumento dei rischi di trasmissione di COVID-19, devono essere interpretate con

estrema cautela e richiedono ulteriori attività di approfondimento per evitare sopravvalutazioni o sottovalutazioni (es. le emissioni di aerosol non sono proporzionali alle emissioni di CO₂; e a parità di concentrazione di CO₂, l'utilizzo delle mascherine riduce la diffusione di aerosol). Si sottolinea ancora una volta che l'utilizzo delle misurazioni di CO₂ non fornisce una misura diretta dei ricambi dell'aria ma queste devono essere **interpretate come un indicatore/guida che l'aria presente negli ambienti/spazi non viene sostituita/cambiata con aria fresca esterna da troppo tempo o regolarmente o in maniera efficace e di conseguenza il rischio di infezione potrebbe aumentare**. Inoltre, la concentrazione di CO₂ non è correlata all'effettivo carico di infezione non si conosce il tasso di emissione virale delle persone che si sono succedute nell'ambiente/spazio, sia perché gli strumenti/dispositivi automatici/sensori di CO₂ non rilevano il COVID-19. Quindi un ambiente/spazio con un certo numero di persone avrà lo stesso livello di concentrazione di CO₂ indipendentemente dal fatto che nessuno dei presenti sia infettato, o che una o più persone siano infette.

Le misurazioni in continuo, periodiche o ad intervalli regolari (es. settimanali nelle diverse stagioni) della CO₂ mediante l'installazione di strumenti/dispositivi automatici/sensori sono tecnicamente semplici rispetto alle altre sostanze emesse dagli occupanti, ma al fine di una migliore capacità di interpretazione e valutazione della lettura del dato utile alla gestione degli ambienti/spazi è fondamentale l'elaborazione di una appropriata strategia di conduzione delle misurazioni (a tale proposito, la scelta degli ambienti/spazi dove eseguire le attività di misura deve essere effettuata con particolare attenzione alle dimensioni, ai tempi, alle frequenze, al tipo di attività svolta, alla durata e livello di occupazione: ad esempio una misurazione effettuata durante i periodi di bassa occupazione può fornire livelli di CO₂ ma risultare una misura fuorviante rispetto ai rischi a momenti con grande affollamento). Ciò consente di attuare eventuali specifici interventi correttivi sulle cause di rischio evitando o minimizzando eventuali problematiche. **La strategia deve essere redatta e modulata di volta in volta per rispondere agli scopi specifici e alle finalità che si vogliono raggiungere, per valutare adeguatamente i risultati delle misurazioni, per adottare azioni di miglioramento e per individuare precocemente eventuali comportamenti non corretti nella gestione dell'apertura delle finestre/balconi ed anomalie nella funzionalità dei sistemi di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC)**. Non è necessario installare in modo permanente strumenti/dispositivi automatici/sensori di CO₂ negli ambienti/spazi. In questo percorso, è opportuno sottolineare che le misurazioni di CO₂ sono un'attività di monitoraggio per acquisire una serie di informazioni di base, ma da sole non portano alcun miglioramento negli ambienti *indoor*, se non fanno parte della strategia organica e integrata di prevenzione e mitigazione del rischio che risolve la causa delle elevate concentrazioni di CO₂; in pratica è inutile misurare se ad esse non seguono le azioni che conducono ad una reale diminuzione del rischio. In ogni caso l'uso delle misure di CO₂ non significa che tutte le altre azioni/pilastri di prevenzione possano essere sostituite, ridotte, rimodulate o eliminate.

Per il buon utilizzo delle misurazioni della CO₂ occorre anche considerare un altro fattore di estrema importanza nella strategia organica di prevenzione, ovvero **lo svolgimento sistematico di specifiche attività di formazione, informazione, e sensibilizzazione sui vantaggi e sui limiti che si possono ottenere con la misurazione della CO₂ (non è la misura della qualità dell'aria *indoor*), sulle azioni quotidiane da porre in essere e sui comportamenti d'adottare per riuscire a raggiungere l'obiettivo di una maggiore frequenza nei ricambi dell'aria e nella ventilazione con aria esterna**.

Le metodologie di rilevamento della CO₂ negli ambienti *indoor* possono ormai considerarsi delineate e di uso corrente. A tale proposito, l'adozione della norma UNI EN ISO 16000 parte 26:2012 "Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO₂)" e le indicazioni sulle modalità operative presenti nei *Rapporti ISTISAN* pubblicati dal Gruppo di Studio Nazionale (GdS) Inquinamento *Indoor* dell'ISS costituiscono un ulteriore passo avanti rispetto a quanto finora realizzato nella nostra nazione (vedi Appendice A1) e consentono di operare correttamente ed uniformemente.

La norma UNI EN ISO 16000 parte 26:2012 riporta chiare indicazioni sui principi di misura, indicando che, sebbene esistano numerosi metodi di misura della CO₂, gli strumenti che funzionano secondo il principio di misura del *Non Dispersive Infrared* (NDIR) (quello più diffuso) e della spettroscopia fotoacustica (PAS) sono quelli che consentono di effettuare misure continue più affidabili nell'intervallo compreso tra 1 ppmv e 5000 ppmv (6).

Per quanto riguarda la valutazione dei dati raccolti, nel *Rapporto ISTISAN 16/15 "Presenza di CO₂ e H₂S in ambienti indoor: conoscenze attuali e letteratura scientifica in materia"*, è presente una panoramica dei valori guida e di riferimento utilizzati nella maggior parte delle nazioni a livello europeo e internazionale. Il Rapporto raccomanda di utilizzare una concentrazione di CO₂ massima di 1000 ppmv; valore che è ritenuto ancora valido in questo periodo pandemico come "primo approccio gestionale" (vedi Tabella 1, p. 9). Tale approccio deve essere seguito dall'adozione di una serie di azioni su aspetti specifici più significativi riportati nel documento (es. frequenza ricambio dell'aria, apertura finestre, balconi, condizioni operative dei sistemi di ventilazione: portate, distribuzione dei flussi in ogni parte dell'ambiente/spazio, tempi di funzionamento dell'impianto di ventilazione, riduzione della densità di occupazione in funzione del tipo di attività svolta) per giungere ad una identificazione delle essenziali misure di miglioramento.

Nella norma UNI EN 16798-1:2019 sono presenti i riferimenti delle concentrazioni *indoor* di CO₂ al di sopra di quella dell'aria ambiente-*outdoor* da raggiungere per una buona qualità dell'aria *indoor* e le relative portate d'aria esterna (4 categorie ipotizzando una emissione di CO₂ di 20 L/h persona, con concentrazioni *indoor* comprese tra i 550 ppmv = 10 L/s persona e 1350 ppmv = 4 L/s persona).

Il controllo mediante strumenti/dispositivi automatici/sensori di CO₂ e il tempo necessario per fornire letture corrette sono stati definiti nei seguenti documenti:

- "Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti standard. Indicazioni operative e progettuali. Linee guida" (7);
- Norma UNI EN ISO 16000-26:2012 (6);
- Norma UNI EN 16798-1:2019 (8);
- *Rapporti ISTISAN* del GdS-ISS Inquinamento *Indoor* (Appendice A1).

Programmazione delle attività di misurazione della CO₂ negli ambienti *indoor*

In questo contesto emergenziale è fortemente cresciuta la consapevolezza del ruolo che riveste la qualità dell'aria *indoor* e soprattutto l'impatto che hanno nel loro complesso i ricambi dell'aria e la ventilazione naturale e meccanica sul processo di miglioramento continuo della salute della popolazione. È evidente l'inversione di tendenza rispetto agli ultimi anni su una serie di aspetti che hanno determinato nel tempo situazioni di criticità negli ambienti *indoor* fino ad oggi troppo spesso trascurati (es. isolamento, riduzione dei ricambi d'aria esterna, cattiva progettazione degli impianti di ventilazione, prestazioni inadeguate degli impianti di ventilazione, poca attenzione alla distribuzione dei flussi in tutte gli ambienti/spazi in modo efficace ed efficiente, poca attenzione alla scelta dei filtri, ai tempi di funzionamento, una carente manutenzione degli impianti e materiali che inquinano l'aria).

Il controllo dei ricambi dell'aria esterna e della ventilazione espressi generalmente attraverso le metriche dei ricambi ora (h^{-1}), portata specifiche per persona L/s o m^3/s^* , rappresenta un aspetto di primaria importanza nella gestione degli ambienti/spazi ed in particolare della qualità dell'aria *indoor* è rilevante ai fini della salute in generale e non solo in relazione alla pandemia, e rappresenta quindi un indicatore di qualità di più ampia valenza, ben oltre il COVID-19.

Relativamente a questo ultimo aspetto vale la pena ricordare le raccomandazioni e le indicazioni da adottare, in modo organico su base giornaliera, nel periodo di permanenza negli ambienti *indoor*, presenti nei Rapporti COVID n. 11/2021 (1-4), e quelli del poster "Nuovo coronavirus. Consigli per gli ambienti chiusi" nel marzo 2020 (5), che si è avvalso dell'esperienza del GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS.

La CO₂ negli ambienti *indoor* è solitamente nota come indicatore delle emissioni di bioeffluenti e odori provenienti principalmente dall'aria espirata da parte degli occupanti (è il sottoprodotto naturale del metabolismo della respirazione che risulta più caldo, con un contenuto elevato di umidità e di CO₂ presente al 4%v circa= 40.000 ppmv, i cui livelli correlano bene con l'occupazione e l'insoddisfazione a condizione che non ci siano altre sorgenti interne di CO₂ diverse dalla presenza umana) che vengono trasportati e dispersi nell'ambiente/spazio dai movimenti dell'aria (9-11). **È noto che non può essere utilizzata come "indicatore generale" della qualità dell'aria *indoor* perché non tiene conto delle altre importanti sorgenti di inquinanti *indoor* come i materiali, gli arredi, i tendaggi, le pitture, i trattamenti di finitura, le colle, le resine, i siliconi, i prodotti per la pulizia, le combustioni, ecc., che emettono COV, SVOC, VVOC, materiale particolato-PM₁₀, PM_{2,5}, CO e NO₂, oltre alla presenza di funghi filamentosi [muffe], allergeni, batteri e virus solo per citare alcuni "classici" inquinanti *indoor*.**

La misurazione della CO₂ è semplice ed è comunemente utilizzata, ma per farlo si devono acquisire diverse tipologie di informazioni di base sugli ambienti/spazi, e considerare le situazioni al contorno che si possono avere quali:

* Per passare da ricambi ora a m^3/h persona, va applicata la seguente formula:

$$h^{-1} \times \text{volume ambiente/area (m}^3\text{)} = m^3/h \text{ diviso per numero persone} = m^3/h \text{ persona.}$$

Per passare da m^3/h persona a ricambi ora, va applicata invece questa formula:

$$m^3/h \text{ persona} \times \text{numero persone} = m^3/h \text{ diviso il volume ambiente/area (m}^3\text{)} = \text{ricambi ora } h^{-1}.$$

Nelle **scuole** sono previsti valori di portate d'aria esterna:

- ventilazione mediante opportuni sistemi tra $>2,5$ - $>5 h^{-1}$ (la UNI 10339:1995 indica portate di aria esterna tra i 4 e i 7 L/s persona).

Nelle **degenze** sono previsti valori di portate d'aria esterna:

- ventilazione meccanica la UNI 10339:1995 indica portate di aria esterna di 11 L/s persona.

- dimensioni, tipo di attività svolta, tipo e qualità della ventilazione, filtrazione dell'aria (es. filtri classificati secondo UNI EN ISO 16890:2017 come ISO ePM₁₀, ISO ePM_{2,5} e ISO ePM₁ gli ex F7-F9 della UNI EN 779), modalità di riscaldamento/raffrescamento, sorgenti di combustione, componenti costruttive e impiantistiche, prestazione energetica/interventi di riqualificazione, cambio infissi, ecc.;
- attività e condizioni operative di utilizzo (es. occupazione costante dalla mattina alla sera con un numero consistente di persone che varia nel corso delle giornate o limitato a brevi periodi/una o più ore nell'arco delle giornate, solo la mattina, solo il pomeriggio oppure solo la sera con un numero consistente di persone che varia nel corso delle giornate o limitato a brevi periodi/una o più ore), ecc.

Per una razionale strategia delle misurazioni, le attività devono essere programmate ed effettuate nei diversi ambienti/spazi per le seguenti finalità:

- identificare di ambienti/spazi con scarsi ricambi dell'aria (si ricorda che tale misura non indica il flusso di aria della ventilazione) durante l'occupazione di personale, fruitori, pazienti, studenti, ecc.;
- verificare se gli ambienti/spazi sono dotati di regolari ricambi dell'aria durante l'occupazione e lo svolgimento di attività con la presenza di personale, fruitori, pazienti, studenti, ecc.;
- identificare gli eventuali interventi di miglioramento finalizzati alla prevenzione o individuazione precoce del possibile rischio (es. apertura finestre**, balconi, controlli sulle condizioni operative portate, flussi, e sui tempi di funzionamento dell'impianto di ventilazione, alcuni dei quali sono dotati di sensori di misurazione di CO₂), ma anche in assenza di attività quando gli ambienti/spazi sono vuoti e sono necessarie diverse ore prima che la concentrazione di CO₂ ritorni ai livelli di base;
- monitorare i livelli di concentrazione di CO₂ in determinati ambienti/spazi durante l'occupazione e l'attività di routine;
- verificare la misura puntuale dei livelli di CO₂, mirata a soddisfare richieste o a risolvere problematiche poste all'attenzione da parte dei fruitori;
- verificare l'efficacia delle misure di ottimizzazione dei ricambi dell'aria e della ventilazione adottate nei diversi ambienti/spazi per controllare anche il loro stato di funzionamento nel tempo.

Come è noto, nella Norma UNI EN ISO 16000:26 "Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO₂)" (6), vengono indicati due differenti principi di misura della CO₂ nell'intervallo compreso tra 1 ppmv e 5000 ppmv:

- il *Non Dispersive Infrared* (NDIR) (quello più diffuso);
- la *Photoacoustic Spectroscopy* (PAS, spettroscopia fotoacustica).

Pertanto si sconsiglia di utilizzare strumenti/dispositivi automatici/sensori che non rispondono alla norma UNI EN ISO 16000:26, per non compromettere la significatività delle misure o dell'intera azione di rilevamento limitando e influenzando la lettura del risultato finale (principi di misura diversi possono fornire risultati non comparabili), quali:

- sensori elettrochimici (non consente una misura selettiva della CO₂; le misure sono influenzate da altre sostanze);
- sensori che non misurano direttamente la concentrazione della CO₂ ma restituiscono il dato in equivalenti di CO₂ (eCO₂ o CO_{2e}).

** Le superfici apribili devono essere uniformemente distribuite sulle superfici esterne, evitando che si formino sacche di ristagno dell'aria. La profondità del locale rispetto all'apertura di aerazione non deve essere superiore a 2 volte l'altezza del locale.

Per le strutture sanitarie si ricorda che gli infissi delle porte e delle finestre devono avere, nella parte alta, dispositivi atti ad assicurare una naturale ventilazione delle sale, delle camere e dei corridoi. Le finestre meglio indicate per le sale di degenza sono quelle che si aprono su muro pieno a non meno di 1,20 m dal pavimento. I reparti per malati contagiosi devono rispettare il rapporto di superficie finestrata maggiore a 1/5 del pavimento della stanza (7).

In generale tutti gli strumenti/dispositivi automatici/sensori devono consentire di visualizzare, memorizzare e scaricare i dati delle misurazioni effettuate per calcolare parametri quali le medie di tutte le misure effettuate, pertanto non sono consigliabili per le attività di monitoraggio routinario quelli che forniscono visivamente solo il valore numerico istantaneo e che non permettono di memorizzare le misurazioni dell'intero periodo. È opportuno che tali strumenti/dispositivi/sensori misurino contemporaneamente anche altri parametri d'interesse per la qualità degli ambienti *indoor* come la temperatura e l'umidità relativa dell'aria. Altro fattore di estrema importanza per la buona qualità finale dei risultati è la taratura degli strumenti/dispositivi automatici/sensori.

Diverse Nazioni hanno introdotto nelle loro legislazioni norme *ad hoc* relative alle concentrazioni della CO₂ nelle quali vengono date precise indicazioni sui valori di concentrazione e sui relativi tempi di misurazione che si sono dimostrate estremamente utili nella gestione degli ambienti/spazi. A tale proposito nel *Rapporto ISTISAN 16/15 "Presenza di CO₂ e H₂S in ambienti indoor: conoscenze attuali e letteratura scientifica in materia"* (12), si riporta una disamina di massima delle principali indicazioni elaborate a livello europeo e internazionale (Tabella 1). Il *Rapporto ISTISAN 16/15* raccomanda di utilizzare nelle valutazioni una concentrazione massima della CO₂ di 1000 ppmv che rappresenta un riferimento/guida per diversi Paesi della UE ed extra UE, **"un primo approccio" gestionale nel processo di conoscenza della qualità dell'aria indoor non legato strettamente a problematiche di salute (gli effetti sulla salute si verificano a livelli di concentrazione significativamente più elevati)**; un valore superiore di circa 600 ppmv rispetto al valore medio di CO₂ in aria ambiente-*outdoor* che è compreso tra i 400 e i 500 ppmv (con variazioni orarie e giornaliere che risentono della stagione e possono essere superiori anche ai 150 ppmv). In alcuni casi le nazioni hanno proposto valori di 800-900 ppmv al fine di limitare la diffusione dei virus e spesso facendo riferimento alla percentuale di aria già respirata dagli occupanti,^{***} al superamento di tali valori si raccomanda di individuare delle azioni in termini di miglioramento della ventilazione/ricambio dell'aria (es. apertura finestre con una maggiore frequenza, controlli sulle condizioni operative impianti di ventilazione: portate, flussi, e sui tempi di funzionamento dell'impianto di ventilazione) e/o riduzione del numero di persone ammesse negli ambienti/spazi in funzione del tipo di attività svolta. Il valore di 1000 ppmv è ritenuto ancora adeguato per il periodo pandemico; se tale valore viene superato devono essere individuate delle azioni in termini di ventilazione/ricambio dell'aria e distribuzione dell'aria che nella maggior parte degli ambienti corrisponde a 10 L/s persona: valore già raccomandato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (World Health Organization, WHO) (13) e contenuto nelle norme UNI EN 16798-1:2019 (8) e ISO 17772-1:2017 (14); e/o la riduzione del numero di persone ammesse negli ambienti/spazi.

Nello specifico valori di concentrazione di CO₂ permanentemente superiori ai 1000 ppmv durante l'occupazione continua degli ambienti di cui si conoscono le principali caratteristiche fisiche e di utilizzo indicano che i ricambi di aria esterna e la ventilazione sono insufficienti e vanno migliorati.

Le concentrazioni della CO₂ all'interno di ambienti/spazi aumentano generalmente nel tempo in presenza di un numero costante di fruitori e in funzione dei ricambi dell'aria; questa crescita non risente dell'utilizzo della mascherina chirurgica/FFP2 o di altre misure aggiuntive come la filtrazione dell'aria con depuratori/purificatori (che non forniscono ricambi dell'aria esterna) dotati per esempio di filtri *High Efficiency Particulate Air filter*-HEPA o *Ultra Low Penetration Air*-ULPA, la cui prestazione è stata verificata secondo la norma UNI EN 1822:2019 o verificati secondo la UNI EN ISO 16890:2017 "Filtri d'aria per ventilazione generale – Parte 1. Specifiche tecniche, requisiti e sistema di classificazione dell'efficienza basato sul particolato (ePM)", ISO ePM1, ISO ePM2,5, ISO ePM10 (Appendice A2). Nel caso di depuratori/purificatori d'aria mobili gli elementi filtranti sono esclusi dal campo di applicazione della UNI EN ISO 16890:2017. La norma di riferimento è la UNI EN ISO 29464:2019 "Depurazione dell'aria e di altri gas – Terminologia".

^{***} percentuale di aria già respirata dagli occupanti=rapporto tra la concentrazione di CO₂ nell'aria *indoor* (C_{ai}) meno la concentrazione di CO₂ nell'aria *outdoor* (C_{ao}) diviso la concentrazione di CO₂ nell'aria espirata (C_{ae}) moltiplicato per 100: $Fr = \frac{C_{ai} - C_{ao}}{C_{ae}} \times 100$. Questa percentuale è ritenuta valida se inferiore all'1%.

Tabella 1. Valori guida della CO₂ in ambiente *indoor* nei documenti *ad hoc* e nelle legislazioni dei diversi Paesi*. Aggiornamento della Tabella 1 del Rapporto ISTISAN 16/15 (12)

Nazione	Valore guida
Nazione europea	
Belgio	1.620 mg/m³ (900 ppmv) per 8 ore (15) 2160 mg/m³ (1200 ppmv) per 8 ore (15)
Finlandia	S1 1.350 mg/m³ (750 ppmv) (16) S2 1.710 mg/m³ (950 ppmv) (16)
Francia	1.440 mg/m³ (800 ppmv) (17, 18) 1.800 mg/m³ (1.000 ppmv) (19, 20)
Germania	1.800 mg/m³ (1.000 ppmv) < 1.800 mg/m³ (1.000 ppmv) concentrazione innocua; tra 1800 mg/m³ (1000 ppmv) e 3600 mg/m³ (2000 ppmv) concentrazione elevata; > 3600 mg/m³ (2000 ppmv) concentrazione inaccettabile
Norvegia	1.800 mg/m³ (1.000 ppmv)
Paesi Bassi	scuole: 1.710 mg/m³ (950 ppmv) nuove costruzioni (21) 2160 mg/m³ (1200 ppmv) (21)
Portogallo	1.800 mg/m³ (1.000 ppmv) (22) 2.250 mg/m³ (1.250 ppmv) (22)
Spagna	1.440 mg/m³ (800 ppmv) (23) 1.800 mg/m³ (1.000 ppmv) (23)
Nazione extra-europea	
Brasile	1.800 mg/m³ (1.000 ppmv)
Canada	1.800 mg/m³ (1.000 ppmv)
Giappone	1.800 mg/m³ (1.000 ppmv) scuole: 2.700 mg/m³ (1.500 ppmv) concentrazione media nella giornata scolastica
Hong Kong	1.440-1.800 mg/m³ (800-1.000 ppmv) per 8 ore 1.800 mg/m³ (1.000 ppmv), livello usato se l'obiettivo è il risparmio energetico; 972 mg/m³ (1750 ppmv) edificio ristrutturato scuole: (24) 1.800 mg/m³ (1.000 ppmv) durante il periodo di occupazione (aule dotate di VMC e VMC+ventilazione naturale)
Regno Unito	2.700 mg/m³ (1.500 ppmv) per più di 20 minuti consecutivi ogni giorno (aule con ventilazione naturale) 3.600 mg/m³ (2.000 ppmv) concentrazione massima che non deve essere superata per più di 20 minuti consecutivi ogni giorno (aule con ventilazione naturale)
Repubblica di Corea	1.800 mg/m³ (1.000 ppmv)
Singapore	1.800 mg/m³ (1.000 ppmv) per 8 ore
Stati Uniti	CDC (25) 1440 mg/m³ (800 ppmv)
	ASHRAE 1.800 mg/m³ (1.000 ppmv) Secondo lo standard ASHRAE 62.1:2016 il valore limite per l'accettabilità della qualità dell'aria <i>indoor</i> è stabilito pari ad una differenza fra concentrazione di CO ₂ interna ed esterna di 1260 mg/m³ (700 ppmv) e corrisponde a condizioni di ventilazione ritenute disagiabili (odore corporeo) da circa il 20% delle persone presenti.
	Illinois 1.800 mg/m³ (1.000 ppmv)
Taiwan	1.800 mg/m³ (1.000 ppmv)

* Laddove il documento di riferimento non riporti il fattore di conversione mg/m³ a ppmv per la CO₂, sono stati utilizzati i fattori di conversione della WHO riportati nelle linee guida per la qualità dell'aria *indoor* (WHO, 2010), riferiti alla temperatura di 25°C e alla pressione di 760 mmHg: 1 mg/m³= 0,556 ppmv; 1 ppmv = 1,8 mg/m³.

Parallelamente alla programmazione delle misurazioni di CO₂ è necessario lo svolgimento di specifiche, efficaci e regolari attività di formazione, informazione e sensibilizzazione sui vantaggi e sui limiti di queste misurazioni (es. per consentire di adattare la durata e la frequenza dei ricambi dell'aria alle caratteristiche degli ambienti/spazi, alle condizioni climatiche e al loro utilizzo, per superare le indicazioni di pericolosità o le false rassicurazioni) e sulle buone abitudini che devono essere adottate da tutte le parti coinvolte con diverse capacità di azione e responsabilità come:

- occupanti (docenti, studenti, pazienti, lavoratori);
- fruitori (clienti di ristoranti, bar, centri commerciali, palestre, mezzi di trasporto);
- responsabili e gestori degli interventi di ottimizzazione dei ricambi dell'aria esterna e della ventilazione.

Informazioni di base necessarie alla misurazione della CO₂

Nella fase di elaborazione del piano di misurazione dei livelli delle concentrazioni di CO₂, risulta rilevante la raccolta di una serie di dati caratteristici degli ambienti/spazi accanto alle informazioni di base che descrivono dettagliatamente gli aspetti più significativi della molteplicità di attività che vi si svolgono, e che giocano un ruolo essenziale nella rappresentatività delle misure di CO₂.

Occorre considerare:

- caratteristiche fisiche degli ambienti/spazi (es. dimensioni e volumetrie degli ambienti, *layout*, presenze e dimensioni/area di porte, finestre, tipologie di infissi, mobilio, tendaggi, posizione dei caloriferi/elementi radianti per il riscaldamento, certificazione di prestazione energetica, ecc.);
- caratteristiche impiantistiche e le modalità con cui si effettua il ricambio dell'aria (es. ventilazione naturale o VMC), la frequenza dei ricambi d'aria, il tipo di funzionamento/attivazione, la distribuzione e il posizionamento delle prese di mandata ed estrazione nei diversi ambienti in modo da ottenere una buona distribuzione-ventilazione uniforme in ogni parte dell'ambiente/spazio, il posizionamento e tipo di eventuali filtri dell'aria (UNI EN ISO 16890:2017), la frequenza di ricambio dei filtri, ecc.;
- ogni modifica dell'ambiente/spazi (es. aperture straordinarie delle finestre, aumento portate VMC modificheranno le condizioni di equilibrio e di conseguenza la rappresentatività);
- condizioni di utilizzo che si possono avere durante lo svolgimento delle attività quotidiane (presenza ben definita di persone nel tempo costante, occasionale o temporanea);
- attività svolte negli ambienti *indoor* (es. ufficio, lezione, studio, sportiva, commerciale, ecc.), le condizioni d'uso delle aree e dei locali (es. continuative, diurno, pomeridiano, orari di apertura al pubblico, ecc.);
- età, sesso e tipo di attività svolta (leggera, media, pesante: i volumi di CO₂ prodotti sono strettamente legati alle attività metaboliche che spingono verso l'alto l'emissione e può fare parecchia differenza, lo stesso vale per le cariche virali) dagli occupanti degli ambienti;
- presenza di sorgenti di combustione;
- presenza di animali domestici;
- misure organizzative adottate;
- ottimizzazione dei tempi di apertura delle finestre e dei balconi in funzione del numero di persone, delle attività svolte nell'ambiente/area e della volumetria dello spazio per evitare condizioni di disagio/*discomfort* (correnti d'aria calde o fredde direttamente sulle persone), il corretto funzionamento dell'impianto di ventilazione e la verifica del rispetto di valori di riferimento e prescrizioni.
- attività e programmi di formazione e aggiornamento obbligatori per il personale, quelli di sensibilizzazione, eventuali raccomandazioni prodotte, programmi di informazione per gli studenti sui temi della qualità dell'aria *indoor*.

Nei casi in cui è necessario reperire ulteriori informazioni può essere utile compilare questionari di rilevazione simili a quelli proposti nei *Rapporti ISTISAN 19/17 e 20/3 (26, 27)*.

Scelta dei punti di misura negli ambienti *indoor*

In tutti gli ambienti *indoor* la scelta della posizione dove collocare gli strumenti/dispositivi automatici/sensori riveste grande rilevanza, al fine di ottenere dei risultati rappresentativi e utili a formulare raccomandazioni per le corrette azioni di prevenzione da adottare (dal momento che ambienti/spazi poco frequentati e di grande volumetria risultano di difficile valutazione).

La UNI EN ISO 16000:26 prevede per ambienti/spazi con una superficie fino a 50 m² (135-150 m³) un solo punto di misurazione preferibilmente collocato al centro dell'ambiente. In ambienti/spazi più ampi è necessario posizionare più di un punto di misurazione per garantire la misura di eventuali possibili disomogeneità/gradienti che si ripercuotono sulla concentrazione di CO₂.

La scelta del punto di misurazione in un ambiente/spazi e le caratteristiche degli strumenti/dispositivi automatici/sensori possono provocare differenze dei valori di concentrazione di CO₂ misurati anche di 250 ppm.

Nell'operare la scelta del punto di misurazione in un'ambiente/spazio (ufficio, aula, degenza, palestra, banche, poste, cinema, centri commerciali, mezzi di trasporto) è necessario posizionare la strumentazione di rilevamento secondo i seguenti criteri specificati nelle UNI EN ISO 16000 parte 1 e 26 e nei *Rapporti ISTISAN* del GdS Inquinamento *Indoor* (Appendice A1):

- a un'altezza di circa 1,5 m dal pavimento (nel caso di aule in cui gli studenti sono in posizione seduta al banco, un'altezza compresa tra 1 e 1,5 m dal pavimento);
- a una distanza di circa 1,5-2 m dalle persone;
- a una distanza non inferiore a 1,0 m da librerie, armadi o altri ostacoli;
- lontano da fuoriuscite di correnti d'aria naturale (es. vicino alle finestrate, porte ingresso) o forzata da pareti o soffitti che può incanalare l'aria verso direzioni obbligate;
- lontano da sorgenti o fonti di calore (es. a ridosso dei radiatori dei termosifoni fissi o portatili, fancoil, faretti, ecc.).

Tempi e frequenza delle misurazioni di CO₂

Nei diversi studi effettuati e nei dati riportati in letteratura si rileva come le concentrazioni della CO₂ variano nel corso della giornata e la causa di tale significativa variabilità è associata al numero di occupanti, al tipo di attività svolta, alle modalità di apertura/chiusura delle finestre e dei balconi e di marcia dell'impianto di ventilazione. Pertanto la scelta dei tempi e delle frequenze delle misurazioni deve essere accuratamente pianificata, pena l'ottenimento di misure fuorvianti e non rappresentative dell'uso degli ambienti/spazi nell'arco della giornata. Questo perché singole misure istantanee/rapide/spot di durata molto limitata fino ad 1 ora non aiutano a rispondere a nessuno degli obiettivi (es. possibili eventi transitori che possono causare un accumulo momentaneo di CO₂; il mancato raggiungimento dello stato di "equilibrio" o "stato stazionario"), tenuto conto che per "la stabilizzazione/acclimatazione" dello strumento sono necessari almeno 30 minuti. Occorre programmare in maniera opportuna sia i tempi sia la frequenza con cui effettuare le misurazioni ricordando che **la strategia di misurazione delle concentrazioni di CO₂ viene redatta e modulata di volta in volta per rispondere agli obiettivi, agli scopi specifici e alle finalità che si vogliono raggiungere con le attività di misurazione.** La durata della misurazione di tipo frazionato o continuo dipende dallo scopo specifico dell'attività di misurazione e deve tener conto dei diversi fattori già citati che possono influenzare la rappresentatività dell'intera strategia. **In genere il dato che interessa è quello che descrive l'intera giornata con presenza di persone come media di tutte le misure nel periodo di attività/occupazione e la durata delle misurazioni deve essere pari al tempo che è associato al valore di riferimento/guida che si vuole utilizzare nel confronto.** Per fare un esempio nel caso di uffici, scuole, strutture sanitarie, banche, poste, attività commerciali, solo per citarne alcuni dove tutti i giorni della settimana e a orari stabiliti si effettua la maggior parte delle attività, si presenta la necessità di effettuare misurazioni in continuo che coprano l'intero orario con presenza di persone (scuole h 8-14, uffici h 8-17, poste h 8-19, palestre h 7-22) e rilevamenti che coprano gli intervalli di non attività, in assenza di lavoratori, studenti, pazienti, fruitori, complementare alle 24 ore (h 14-8, h 17-8, h 19-8, h 22-7). In alcuni casi, si possono presentare situazioni estremamente variabili a causa di diversi fattori e pertanto occorre programmare in maniera opportuna le misurazioni, con una attenta analisi degli scenari di utilizzo. **La durata della campagna di misurazione deve essere almeno settimanale da ripetere più volte nel corso delle diverse stagioni** perché i livelli di CO₂ variano nel corso dell'anno, in funzione della temperatura dell'aria esterna, che influenza i comportamenti dei fruitori relativi all'apertura delle finestre, balconi e delle porte. Questo consente di ottenere una ben precisa conoscenza della situazione, di individuare punti e momenti critici (es. orari, occupazione) e adottare modalità di conduzione che migliorino la qualità degli ambienti/spazi. **Tale periodo in genere è quello necessario per tipizzare un andamento medio della CO₂ nel tempo e per descrivere, in maniera quanto più rappresentativa possibile, gli ambienti/spazi.**

Le misurazioni così ottenute permettono di comprendere, in assenza di attività, la capacità dell'ambiente di ritornare ai suoi livelli di base di CO₂ (è un altro elemento di valutazione per individuare cattivi ricambi dell'aria/ventilazione e per intervenire) sia se lo strumento/dispositivo/sensore funziona (CO₂ vicino ai 400-500 ppmv).

Vista la grande varietà delle caratteristiche degli ambienti/aree e del periodo e dei livelli di occupazione nella Tabella 2 si riportano, alcune indicazioni utili per l'elaborazione della strategia di monitoraggio e l'utilizzo delle misure di CO₂.

Tabella 2. Misurazioni della CO₂, caratteristiche degli ambienti o spazi e durata delle attività di monitoraggio

Caratteristiche	Area e volumetrie	Durata e frequenza di occupazione	Idoneità della misurazione CO ₂	Durata del periodo di misurazione CO ₂
Ambienti domestici, Aule per didattica e formazione, Laboratori specialistici (musicali, linguistici, informatici, ecc.), Stanze ufficio, Camere di degenza, Sale studio, Sale riunioni, Aree di attesa	Piccoli ambienti 50 m ² con volumetrie fino a 150 m ³	Permanente e continua nel corso delle giornate	Sì	Deve coprire l'intera giornata. Valutazione degli intervalli di attività e non attività. Può bastare anche 1 solo punto.
Spogliatoi, spazi comuni (es. corridoi)	Piccoli ambienti 50 m ² con volumetrie fino a 150 m ³	Breve, transitoria e variabile nel corso delle giornate o limitato a brevi periodi	Sì, ma va posta grande attenzione soprattutto se le concentrazioni di CO ₂ misurate risultano molto basse (< 400 ppmv) o molto alte (>1500 ppmv); potrebbe essere necessario spostare il dispositivo/sensore in un'altra posizione all'interno dell'ambiente/spazio, o rimodulare i tempi di misurazione per ottenere misure più rappresentative. Possibilità di sacche in cui l'aria ristagna. La CO ₂ cambia rapidamente quando le persone si spostano.	Deve coprire l'intera giornata. Valutazione degli intervalli di attività. I dati raccolti e memorizzati vanno trattati con grande cautela. Nonostante le incertezze è comunque importante acquisirle e tenerne conto. Può bastare anche 1 solo punto.
Aule per la didattica e la formazione, Aule universitarie, Laboratori specialistici (musicali, linguistici, informatici, ecc.), Biblioteche, Stanze ufficio, Camere di degenza, Ambulatori, Aree attesa, Sale riunioni, Sale palestre, Spazi commerciali, Bar, Ristoranti, Mezzi di trasporto	Ambienti medi 60-350 m ² con volumetrie fino a 950 m ³	Permanente e continua	Sì, ma va posta grande attenzione alla possibilità di sacche in cui l'aria ristagna che possono portare a una sovrastima / sottostima.	Deve coprire l'intera giornata. Valutazione degli intervalli di attività e non attività. Servono almeno 2 punti nelle zone più occupate per fornire informazioni rappresentative dei livelli di concentrazione di CO ₂ .

Caratteristiche	Area e volumetrie	Durata e frequenza di occupazione	Idoneità della misurazione CO ₂	Durata del periodo di misurazione CO ₂
Uffici prenotazioni (es. CUP), Spazi commerciali, Bar, Mensa, Ristoranti, Mezzi di trasporto	Ambienti medi 60-350 m ² con volumetrie fino a 950 m ³	Breve, transitoria e variabile nel corso delle giornate o limitato a brevi periodi di tempo	Sì, ma va posta grande attenzione soprattutto se le concentrazioni misurate risultano molto basse (< 400 ppmv) o molto alte (> 1500 ppmv); potrebbe essere necessario spostare il dispositivo/sensore in un'altra posizione all'interno dell'ambiente/spazio, o rimodulare i tempi di misurazione per ottenere misure più rappresentative visto che l'occupazione e la generazione della CO ₂ è costante per brevi periodi. Maggiore è il volume dello spazio, maggiore è il tempo impiegato per raggiungere la stabilizzazione della concentrazione.	Deve coprire l'intera giornata. Valutazione degli intervalli di attività e non attività. I dati raccolti e memorizzati vanno trattati con grande cautela. Nonostante le incertezze è comunque importante acquisirle e tenerne conto, un "primo approccio" gestionale nel processo di conoscenza degli ambienti per migliorare la gestione nei diversi periodi stagionali. Servono almeno 2 punti.
Aula magna, Auditorium, Teatri Centri commerciali, Aeroporti, Stazioni ferroviarie, Palazzetti dello sport	Ambienti grandi superiori ai 350 m ² con volumetrie oltre i 1000 m ³	Limitato a brevi periodi di tempo	Sì, va posta grande attenzione, visto che l'occupazione e la generazione della CO ₂ è costante per brevi periodi. Maggiore è il volume dello spazio, maggiore è il tempo impiegato per raggiungere la stabilizzazione della concentrazione. La misura può risentire dell'effetto serbatoio dell'ambiente/spazio.	Deve coprire l'intera giornata. Valutazione degli intervalli di attività e non attività. Si ottengono misure poco affidabili e i dati raccolti e memorizzati vanno trattati con estrema cura. Nonostante le incertezze è comunque importante acquisirle e tenerne conto "primo approccio" gestionale nel processo di conoscenza degli ambienti per migliorare la gestione nei diversi periodi stagionali. Servono più punti di misurazione nelle zone più occupate.

Bibliografia

1. Gruppo di lavoro ISS Ambiente e Qualità dell'aria *indoor*. *Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2*. Versione del 23 marzo 2020. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporto ISS COVID-19, n. 5/2020).
2. Gruppo di lavoro ISS Ambiente e Qualità dell'aria *indoor*. *Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2*. Versione del 21 aprile 2020. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporto ISS COVID-19, n. 5/2020. Rev).
3. Gruppo di lavoro ISS Ambiente e Qualità dell'aria *indoor*. *Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2*. Versione del 25 maggio 2020. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporto ISS COVID-19, n. 5/2020. Rev.2).
4. Gruppo di lavoro ISS Ambiente e Qualità dell'aria *indoor*. *Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2*. Versione del 18 aprile 2021. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2021. (Rapporto ISS COVID-19, n. 11/2021).
5. Istituto Superiore di Sanità. *Nuovo coronavirus. Consigli per gli ambienti chiusi*. [poster] Roma: ISS; 2020. https://www.iss.it/documents/20126/0/Poster+INDOOR_r+%282%29.pdf/5d94072b-af95-fb36-a522-e63a3ea8d8cc?t=1584100070035.
6. UNI EN ISO 16000-26:2012. *Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO₂)*. Milano: Ente Nazionale d'Unificazione; 2012.
7. Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro-ISPEL. *Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro Requisiti e standard Indicazioni operative e progettuali. Linee Guida*. Roma: ISPEL; 2006.
8. UNI EN 16798-1:2019. *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica - Modulo M1-6*. Milano: Ente Nazionale d'Unificazione; 2019.
9. Persily AK. Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide. *ASHRAE Trans.* 1997;103:193-204.
10. Persily A. Challenges in developing ventilation and indoor air quality standards: the story of ASHRAE Standard 62. *Build Environ.* 2015; 91:61-69.
11. Persily AK. Field measurement of ventilation rates. *Indoor Air* 2016; 26. 97-111.
12. Settimo G, Turrio Baldassarri L, Brini S, Lepore A, Moricci F, de Martino A, Casto L, Musmeci L, Nania MA, Costamagna F, Marcello I, Fuselli S, per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor*. *Presenza di CO₂ e H₂S in ambienti indoor: conoscenze attuali e letteratura scientifica in materia*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2016. (Rapporti ISTISAN 16/15).
13. WHO. *Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19*. Geneva: World Health Organization; 2021.
14. ISO 17772-1:2017. Energy performance of buildings - Indoor environmental quality. Part 1: *Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings*. Geneva: International Standard Organization; 2017.
15. Belgio. Avis n° 221 du 22 février 2019 concernant le projet d'arrêté royal modifiant le Code sur le bien-être au travail en matière de qualité de l'air intérieur dans les locaux de travail.

16. Finlandia. Classification for Indoor Environment 2018, Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate, FISIAQ. Espoo, Finland, The Building Information Foundation RTS sr, Helsinki, Finland.
17. Francia. Haut Conseil de la Santé Publique-HCSP. Avis du 28 avril 2021 relatif à l'adaptation des mesures d'aération, de ventilation et de mesure du dioxyde de carbone (CO₂) dans les établissements recevant du public (ERP) pour maîtriser la transmission du SARS-CoV-2. <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1009>.
18. Francia. Haut Conseil de la Santé Publique-HCSP. Avis du 21 janvier 2022 relatif à la mesure du dioxyde de carbone (CO₂) dans les établissements recevant du public (ERP) pour maîtriser la transmission du SARS-CoV-2. <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1154>.
19. Francia. Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public.
20. Francia. Décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public.
21. Paesi Bassi. National Institute for Public Health and the Environment-RIVM. Ventilatie en COVID-19 Notitie bij LCI-richtlijn COVID-19. Notitie 3 juni 2021, wijziging 21 december 2021 <https://lci.rivm.nl/ventilatie-en-covid-19>.
22. Portogallo. Diário da República, 1.^a série. Saúde e Ambiente e Ação Climática Portaria n° 138-G/2021 de 1 de julho.
23. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). La ventilación como medida preventiva frente al coronavirus SARS-CoV-2. Documento técnico. 2021.
24. Regno Unito. UK BB101-Department for Education (DfE). Guidelines on Ventilation, Thermal Comfort and Indoor Air Quality in Schools, UK. 2018. <https://www.gov.uk/government/publications/building-bulletin-101-ventilation-for-school-buildings>.
25. Centers for Disease Control and Prevention-CDC. Ventilation in Buildings. Update June 2, 2021. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation.html>.
26. Settimo G, Bonadonna L, Gucci PMB, Gherardi M, Cecinato A, Brini S, De Maio F, Lepore A, Giardi G, per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. *Qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporti ISTISAN 20/3).
27. Settimo G, Bonadonna L, Gherardi M, di Gregorio F, Cecinato A, per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. *Strategie di monitoraggio della qualità dell'aria indoor negli ambienti sanitari: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2019. (Rapporti ISTISAN 19/17).

Appendice A

A1. Documenti del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor*

Si riportano i riferimenti dei documenti che il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor* ha pubblicato, al fine di attuare azioni armonizzate a livello nazionale per ridurre e mitigare l'esposizione all'inquinamento *indoor* e gli effetti sulla salute, per migliorare il controllo dei rischi sui luoghi di lavoro *indoor*, per sensibilizzare i comportamenti e rendere consapevole la popolazione di uno dei temi di grande attualità e priorità per il nostro Paese. Di seguito si riporta l'elenco dei rapporti disponibili al link <https://www.iss.it/rapporti-istisan>:

- *Rapporti ISTISAN 20/3*
Qualità dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici;
- *Rapporti ISTISAN 19/17*
Qualità dell'aria *indoor* negli ambienti sanitari: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici;
- *Opuscolo divulgativo*
"L'aria nella nostra casa": 2017;
- *Rapporti ISTISAN 16/16*
Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM₁₀ e PM_{2,5} in ambiente *indoor*: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici;
- *Rapporti ISTISAN 16/15*
Presenza di CO₂ e H₂S in ambienti *indoor*: conoscenze attuali e letteratura scientifica in materia;
- *Rapporti ISTISAN 15/25*
Parametri microclimatici e inquinamento *indoor*;
- *Rapporti ISTISAN 15/5*
Strategie di monitoraggio per determinare la concentrazione di fibre di amianto e fibre artificiali vetrose aerodisperse in ambiente *indoor*;
- *Rapporti ISTISAN 15/4*
Workshop. La qualità dell'aria *indoor*: attuale situazione nazionale e comunitaria. L'esperienza del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor*. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 28 maggio 2014. Atti;
- *Rapporti ISTISAN 13/39*
Workshop. Problematiche relative all'inquinamento *indoor*: attuale situazione in Italia. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 25 giugno 2012. Atti;
- *Rapporti ISTISAN 13/37*
Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente *indoor*;
- *Rapporti ISTISAN 13/4*
Strategie di monitoraggio dei Composti Organici Volatili (COV) in ambiente *indoor*.

A2. Depuratori/purificatori d'aria mobili sono realmente una soluzione?

Come già riportato nel Rapporto ISS COVID-19 n. 11/2021 “Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti *indoor* in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2” (4), nel caso in cui non è possibile migliorare in alcun modo i ricambi dell'aria esterna con l'apertura delle finestre/balconi e la ventilazione e si vuole dotare gli ambienti/spazi con sistemi/dispositivi di depurazione, la scelta deve essere fatta con la massima attenzione valutando caso per caso e *in primis* se la soluzione è vista a breve termine, o se è probabile che sia a lungo termine (superiore ad uno anno), oppure se è a servizio di ambienti/spazi dedicati all'isolamento temporaneo.

Sono disponibili sul mercato una varietà di depuratori d'aria (noti anche come purificatori d'aria) mobili/fissi a parete o installati all'interno dei sistemi di ventilazione. I diversi depuratori/purificatori utilizzano diverse tecnologie e meccanismi d'azione a seconda della natura degli inquinanti chimici e biologici su cui generalmente agiscono. Alcuni depuratori/purificatori d'aria dispongono di funzioni di monitoraggio e controllo (es. stato di pulizia o sostituzione filtro) e la possibilità di programmare il funzionamento.

Alcuni depuratori/purificatori sfruttano più di una tecnologia di depurazione per raggiungere i loro obiettivi di rimozione/inattivazione; si possono classificare in quattro categorie a seconda della tecnologia e del principio di funzionamento, basati su:

- filtrazione meccanica, che catturano e rimuovono il materiale particolato-PM come per esempio quelli dotati di filtri ad altissima efficienza *High Efficiency Particulate Air filter*-HEPA, *Ultra Low Penetration Air*-ULPA, testati secondo la norma UNI EN 1822:2019;
- generazione ed emissione/aggiunta di componenti reattivi ioni, ozono, elettrofiltri (testati secondo la norma UNI 11254:2007), che eliminano o trasformano gli inquinanti indesiderati (es. rimuovono il materiale particolato-PM, reagiscono con gli agenti inquinanti, inattivano i microrganismi) come per esempio gli ionizzatori, ozonizzatori, plasma, ossidazione fotocatalitica PCO. Possono rilasciare/generare inquinanti primari e secondari, es. ozono o sottoprodotti della depurazione persistenti e pericolosi come i radicali ossidrilici, specie reattive all'ossigeno, UFP, ecc. Alcuni dispositivi utilizzano filtri adsorbenti per trattenere alcuni dei sottoprodotti generati;
- utilizzo degli UV-C/UVGI che inattivano i contaminanti batteri e virus. Possono impiegare anche dei filtri ad altissima efficienza HEPA;
- utilizzo simultaneo di più fasi/tecnologie come ad esempio filtrazione + adsorbimento (per esempio: filtri HEPA + filtri a carbone attivo oppure UV-C + filtri HEPA; UVC + filtri elettrostatici + filtri adsorbenti in carbone attivo o altre sostanze adsorbenti) per rimuovere contemporaneamente il materiale particolato-PM, i composti organici volatili-COV e altre sostanze gassose. L'ordine con cui le fasi tecnologiche si susseguono è molto importante per determinarne l'efficacia; per esempio filtri a carbone attivo posizionanti a monte dei filtri HEPA o a monte di una tecnologia che può produrre sottoprodotti indesiderati risulterà meno efficace. Rispetto al controllo del materiale particolato-PM, il controllo degli inquinanti in fase gassosa è molto più complesso. I filtri adsorbenti (es. in carbone attivo) hanno dimostrato di essere efficaci per i molti inquinanti della famiglia dei COV, e durante il loro utilizzo non producono sottoprodotti chimici potenzialmente dannosi. I filtri adsorbenti hanno una capacità di adsorbimento finita, e quindi, devono essere sostituiti regolarmente per evitare di diventare loro stessi una sorgente degli inquinanti che ha adsorbito durante il funzionamento.

Pertanto è necessario acquisire tutte le informazioni sulla tecnologia dei depuratori/purificatori, quali per esempio:

- tipo di tecnologia utilizzata dal depuratore/purificatore;
- tipo di filtri d'aria impiegati dal depuratore/purificatore (l'efficienza minima deve essere stata testata secondo le norme UNI EN ISO; è il parametro più utile per comprendere l'efficienza di rimozione dei filtri. In generale, maggiore è la classificazione del filtro, maggiore è l'efficienza di rimozione di un filtro es. HEPA H14, ULPA U17, o combinazioni o classificazioni superiori (UNI EN 1822:2019; UNI EN ISO 29464:2019);

- potenza del depuratore/purificatore-portata d'aria=la quantità di aria “pulita” necessaria, deve essere adeguatamente dimensionata in funzione della volumetria/metratura dell'ambiente e dei ricambi dell'aria/ventilazione. Oggi si utilizza tantissimo il *Clean Air Delivery Rate-CADR** espresso in m³/h che rappresenta il tasso di aria filtrata emessa dal depuratore/purificatore che rappresenta uno dei parametri utili per comprendere l'efficacia;
- presenza di dispositivi per la misurazione degli inquinanti nell'aria che permettono di modificare la portata;
- *layout* dell'ambiente;
- tipo di attività svolta;
- numero di persone;
- tempo e modalità di funzionamento, per esempio vanno accesi ogni mattina all'inizio delle attività e vanno spenti alla fine della giornata. Il tempo di funzionamento ha una grande influenza sulle prestazioni e sulle capacità di riduzione delle concentrazioni degli inquinanti;
- corretto posizionamento nell'ambiente rispetto a finestre, balconi, porte e postazioni di lavoro (es., direzione dei flussi d'aria generati);
- eventuale rilascio diretto o formazione di sottoprodotti chimici secondari della depurazione che possono essere persistenti e pericolosi (specie reattive all'ossigeno ROS, ozono, radicali ossidrilici, precursori, particelle ultrafini-UFP, nanoparticelle, altri sottoprodotti sconosciuti);
- dati e certificazioni di performance disponibili su test specifici effettuati in ambienti reali simili che dimostrino efficacia e sicurezza comprovate nelle condizioni di utilizzo sia contro il virus SARS-CoV-2 e sulle sue varianti, sia sulle emissioni di sostanze chimiche. Spesso i dati e rapporti di prova rendono difficili l'interpretazione delle prestazioni non riportando adeguate informazioni sulle condizioni di prova, sulle prove effettuate e sui metodi di prova utilizzati. Le certificazioni e i rapporti di prova devono fornire le risultanze sulle emissioni dei prodotti primari o secondari (la formazione di sottoprodotti) che si possono formare durante il funzionamento. Questo è un aspetto che ancora non viene affrontato adeguatamente e che merita grande attenzione.

I rapporti devono contenere il volume della camera di prova o dell'ambiente testato, i tassi di ricambio dell'aria e se questi erano costanti, le concentrazioni utilizzate, il modello di occupazione, e le possibili variazioni dei parametri tra le condizioni di bianco e di prova.

I risultati ottenuti in un laboratorio di prova non significano necessariamente che il depuratore/purificatore sarà altrettanto efficace nell'ambiente reale (possono essere differenti le condizioni ambientali, che variano significativamente da spazio a spazio, vista la presenza di differenti tipi di materiali/arredi, differenti superfici con differenti tipi di finitura, ecc., combinate con la variabilità degli inquinanti già presenti es. i COV e le reazioni chimiche secondarie associate che possono essere un'importante sorgente *indoor* di materiale particellare, di UFP e nanoparticelle).

Nel contesto COVID-19 è assolutamente necessario conoscere gli impatti nell'uso dei dispositivi di depurazione/purificazione dell'aria per assicurarsi che il loro utilizzo non porti alla sostituzione di un rischio biologico con un rischio chimico (l'aggiunta di agenti reattivi può avviare reazioni chimiche indesiderate con la formazione per esempio di formaldeide, UFP, nanoparticelle, ecc.).

Non va fatta confusione tra efficienza ed efficacia. Un depuratore/purificatore può avere un'elevata efficienza ottenuta e certificata in laboratorio di prova, espressa solitamente in percentuale di riduzione %, o in percentuale di riduzione % del patogeno in minuti/ora (o rimozione dei log rispetto al tempo), ma può avere una efficacia molto bassa se la portata d'aria è troppo bassa rispetto al volume dell'ambiente/spazio, oppure se il funzionamento è intermittente o se i filtri sono intasati o troppo carichi. L'efficienza è un parametro semplice per i depuratori/purificatori che utilizzano la filtrazione, mentre risulta meno utile per quelli che generano ed emettono/aggiungono componenti o per quelli che

* CADR= A measure of air cleaner performance, defined as the amount of contaminant-free air delivered by the device, expressed in m³/h. Il CADR non verifica le prestazioni dei depuratori/purificatori per le UFP e le nanoparticelle.

utilizzano simultaneamente più fasi/tecnologie. Quindi è necessario richiedere e acquisire tutti questi dati e non limitarsi alle generiche dichiarazioni delle prestazioni presenti nei materiali commerciali o nei rapporti di prova forniti;

- Prestazioni ed efficienza delle tecnologie nel tempo (invecchiamento) come influiscono sulle prestazioni o sulla formazione di inquinanti primari e secondari/sottoprodotti;
- Rumorosità del depuratore/purificatore che può influire sui tempi e sulla frequenza di utilizzo/spegnimento per i possibili fastidi da parte dei fruitori. Il livello/classe di rumorosità espresso in dB(A) da considerare è quello durante il funzionamento alla massima portata d'aria. Impostazioni con portata d'aria inferiori possono produrre una minore rumorosità, ma il depuratore/purificatore sarà anche meno efficace nella rimozione degli inquinanti. La riduzione delle ore di funzionamento legato alla rumorosità riduce la potenziale efficacia. I livelli/classe di rumorosità devono essere presenti nella documentazione, non basta la definizione di silenzioso;
- Costi operativi e di manutenzione. I costi sono importanti perché la "pulizia dell'aria" deve essere un processo continuo e i depuratori/purificatori richiedono una continua e regolare pulizia e manutenzione, come la sostituzione dei filtri, lampade UV-C, ecc. per rimanere efficaci.

I depuratori/purificatori d'aria, non diluiscono e non rimuovono tutti gli inquinanti come accade quando viene effettuato il ricambio dell'aria esterna (es. vedi la concentrazione di CO₂ e l'UR%). Si sottolinea che l'aria di ricircolo fornita dai depuratori/purificatori non sostituisce in nessuna maniera i ricambi dell'aria con "aria fresca esterna" (spesso si considerano in termini di ricambi d'aria equivalenti), e quindi le finestre e i balconi non devono rimanere chiusi per tutta la durata di utilizzo ma vanno comunque aperte.

Pertanto l'uso dei depuratori/purificatori d'aria non può sostituire i ricambi dell'aria esterna/ventilazione, l'uso della mascherina, il distanziamento fisico e le altre misure di barriera.