

# **Sicurezza dell'aria negli edifici scolastici in Italia e specificità della Regione Lombardia.**

## **Analisi e proposte di intervento, oltre l'emergenza COVID-19.**

*Autore: ing. Luca Pauletti*

*Data : 22.08.2022*

### **1 - Introduzione**

Il 31 dicembre 2019 la Commissione Sanitaria Municipale di Whuan (Cina) segnalava all'OMS un cluster di polmonite "ignota", identificato 10 giorni più tardi nella sequenza RNA di un Coronavirus sconosciuto battezzato SARS-CoV-2.

Sarebbe bello dire che il resto è storia, ma non è così. La pandemia è ancora in corso e l'elevata mobilità mondiale (molto superiore a quella dei tempi dell'influenza "Spagnola") sembrano impedire un definitivo tramonto del virus, agevolando nuove varianti e ricombinazioni.

Il Covid-19 ha portato alla ribalta argomenti tecnici e scientifici sconosciuti ai più (dalla statistica alla Genetica, dall'Infettivologia alla Fisica) ponendo i "Decisori" a livello Nazionale e Locale di fronte a difficili e complesse scelte di tipo emergenziale.

Oggi, a distanza di oltre 2 anni dai primi casi di Codogno, la conoscenza e "confidenzialità" con il COVID-19, ci permette di esaminare con maggiore obiettività quali sono le pratiche più efficaci per combattere la diffusione ed i sintomi del Coronavirus.

OMS e ISS hanno oramai accertato che "il rischio di contagio attraverso i droplet o attraverso la via aerea prevale rispetto a quello mediante contatto con le superfici o oggetti contaminati <sup>1</sup> mentre "un singolo contatto con la superficie contaminata ha una probabilità inferiore a 1 su 10.000 di causare un'infezione".

Per questo motivo tutti gli organismi internazionali mondiali hanno riconosciuto che un ricambio d'aria pari ad almeno 10 litri al secondo per persona<sup>2</sup> sia indispensabile per la salubrità e la sicurezza degli ambienti chiusi non residenziali (scuole, uffici ...), tale valore è stato riconosciuto anche dal recente DPCM 26 Luglio 2022<sup>3</sup>.

Ma quanto emerge oggi può essere sorprendente. Infatti queste indicazioni sono presenti nelle norme, leggi e linee guida esistenti PRIMA del Covid-19, la cui applicazione sarebbe stata sufficiente a prevenire o per lo meno limitare la diffusione della Pandemia.

Tra i casi più eclatanti e con un enorme impatto sociale c'è quello della Scuola Italiana.

---

<sup>1</sup> Cap. 2 - Rapporto ISS COVID-19 • n. 12/2021

<sup>2</sup> WHO – Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19

<sup>3</sup> Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 26 luglio 2022 - Linee guida sulle specifiche tecniche in merito all'adozione di dispositivi mobili di purificazione e impianti fissi di aerazione e agli standard minimi di qualità dell'aria negli ambienti scolastici e in quelli confinati degli stessi edifici.

## 2 - La Scuola Italiana

Tra tutti i paesi europei, l'Italia è una delle poche nazioni dotata di Norme (il D.M. 18 dicembre 1975) e Leggi (LEGGE 11 gennaio 1996, n. 23) all'avanguardia che, già nel 1975, indicavano le specifiche portate dell'aria di cui "dovrà essere assicurata l'introduzione [...] mediante opportuni sistemi <sup>4</sup>" e qui sotto riportate.

<b>Ambienti adibiti ad attività didattica collettiva o attività di gruppo</b>		
<b>Scuole materne ed elementari</b>	<b>Scuole medie</b>	<b>Scuole secondarie di 2° grado</b>
2,5 volumi/ora	3,5 volumi/ora	5 volumi/ora

<b>Altri ambienti</b>		
<b>Ambienti di passaggio</b>	<b>Uffici</b>	<b>Servizi igienici, palestre, refettori</b>
1,5 volumi/ora	1,5 volumi/ora	2,5 volumi/ora

Tabella 1- Prescrizioni D.M. 12 Dicembre 1975

Dove la parola "dovrà essere assicurata" significa che tale immissione dell'aria deve essere affidata ad "opportuni sistemi" in grado di garantire e misurare nel tempo i valori di portata indicati.

L'unico sistema in grado di "assicurare" tale requisito nel tempo ed indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne (ad es. velocità e direzione del vento) è un impianto di ventilazione "non naturale", altresì detto VMC (Ventilazione Meccanica Controllata) o impianto HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning).

Tutti gli altri sistemi convenzionali quali l'apertura di finestre, porte e lucernai non solo NON assicurano alcuna portata (in quanto governati da elementi aleatori come il vento e la temperatura esterna) ma anzi comportano una lunga serie di svantaggi quali:

- Immissione di aria non filtrata e quindi con possibile elevata concentrazione di inquinanti e particolato (PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>)
- Immissione di aria con temperatura e velocità incompatibile con l'occupazione dei locali (soprattutto nel periodo invernale).
- Elevato spreco energetico (con conseguenti elevati costi di gestione e produzione di CO<sub>2</sub>) dovuto all'immissione continua ed incontrollata di aria esterna a scapito di quella interna (precedentemente riscaldata o raffrescata).

Non a caso gli impianti di ventilazione per legge e norma hanno specifiche prescrizioni circa la filtrazione dell'aria esterna, il recupero dell'energia dall'aria espulsa e il controllo di temperatura/velocità dell'aria immessa.

Le cause della mancata applicazione della Legge sono principalmente 4:

- La generale considerazione che la scuola abbia urgenze ben più importanti.
- La non sempre adeguata conoscenza del tema da parte degli organismi tecnici (Uffici Tecnici di Comuni e Provincie), di Controllo (ATS) e dello stesso Legislatore.
- I presunti elevati costi di esercizio degli impianti di ventilazione
- L'ambiguità e la contraddizione di altre e successive leggi.

---

<sup>4</sup> D.M. 18/12/1975 "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica" – paragrafo 5.3.12 "Purezza dell'aria"

Ne è testimonianza il da poco superato Decreto 11 Ottobre 2017 <sup>5</sup> relativo ai requisiti per la progettazione per la costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici, che parlava esclusivamente dell'obbligatorietà di "aerazione naturale diretta" tramite semplici finestre, ossia "tramite superfici apribili in relazione alla superficie calpestabile del locale (almeno 1/8 della superficie del pavimento)".

Se non bastasse anche il più recente DPCM 26 Luglio 2022 non è immune da questa contraddizione di fondo. Pur riconoscendo l'indispensabilità di un ricambio d'aria pari a 10 l/s per persona (peraltro non ottenibile con la ventilazione naturale), indica nell'apertura di porte e finestre il metodo "più semplice per implementare sin da subito l'ingresso di un flusso «d'aria esterna»"

Per fortuna il recente Decreto 23 Giugno 2022 <sup>6</sup>, che ha sostituito il precedente Decreto 11 Ottobre 2017, pone definitivamente fine a queste ambiguità, infatti dichiara che la progettazione di nuovi edifici così come le ristrutturazioni e riqualificazioni energetiche di quelli esistenti "è necessario garantire l'adeguata qualità dell'aria interna in tutti i locali abitabili tramite la realizzazione di impianti di ventilazione meccanica, facendo riferimento alle norme vigenti" ossia la norma italiana UNI 10339 e quella europea UNI EN 16798-1.

### 3 - Norme di riferimento e valori di Ventilazione per la Scuola

Nonostante le norme tecniche Nazionali (UNI), Europee (EN) ed internazionali (ISO) siano il riferimento più qualificato per definire quali siano i requisiti di ventilazione per gli ambienti indoor, solo il recente Decreto 23 Giugno 2022, riconosce e recepisce le due norme fondamentali in questo ambito ossia la norma italiana UNI 10339 <sup>7</sup> e la norma Europea UNI EN 16798-1 <sup>8</sup>.

La norma UNI10339 è infatti stata introdotta nel lontano 1995 ed è da anni la pietra miliare per la definizione delle portate di aria di rinnovo da immettere in ogni tipo di edificio a seconda della sua destinazione d'uso. Per le scuole italiane vengono indicati valori compresi tra 4 e 7 l/s per persona (ossia tra 14,4 e 25,2 m<sup>3</sup>/h per persona) in funzione del livello della scuola (dell'infanzia, primaria ...).

Per la norma UNI EN 16798-1 (che dal 2019 sostituisce la precedente UNI EN 15251) esistono invece 3 metodi di calcolo applicabili secondo 4 livelli di prestazione (Categorie I, II, III e IV legate ad altrettante percentuali crescenti di utenti insoddisfatti), per i 3 tipi di edifici (LPB-1 – Very Low Polluting Building, LPB-2 – Low Polluting Building e NLPB-3 – Not Low Polluting Building) e per 2 tipologie di occupanti (Adapted e Not-Adapted).

Dei 3 metodi di calcolo, i primi 2 sono quelli più indicati per le scuole (ed in genere per gli edifici non residenziali), in particolare il 1° metodo è quello che si presta ad un calcolo accurato della portata massima richiesta, mentre il 2° metodo si presta alla modulazione della portata dell'aria in funzione della CO<sub>2</sub> (o di altri inquinanti) presente nell'ambiente indoor.

La successiva Tabella 2 mette a confronto le prescrizioni del D.M. 18.12.1975 con quelle del Decreto 23.06.2022 (ossia le norma UNI 10339 e UNI EN 16798-1) per la progettazione di nuovi edifici scolastici, considerando le indicazioni del MIUR e dello stesso D.M. 18.12.1975 circa le dimensioni e l'affollamento

---

<sup>5</sup> Art. 2.3.5.2 "Aerazione naturale diretta e ventilazione meccanica controllata" – Decreto 11.10.2017 "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici"

<sup>6</sup> Art. 2.4.5 "Aerazione, Ventilazione e Qualità dell'Aria" – Decreto 23.06.2022 "Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi."

<sup>7</sup> UNI 10339 "Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura"

<sup>8</sup> UNI EN 16798-1 "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"

massimi delle classi (vedasi successiva Tabella 4). Le portate contrassegnate con il simbolo "\*" sono state calcolate considerando anche la presenza di un docente.

Aula	Decreto 22 giugno 2022 - Nuovi edifici scolastici										
	D.M. 18/12/1975				UNI 10339			UNI EN 16798-1 - Metodo 1 - Classe II			
Denominazione corrente	Portata [vol/h]	Portata* [l/s x occupante]	Portata* [m³/h x occupante]	Portata* max [m³/h x aula]	Portata [l/s x occupante]	Portata [m³/h x occupante]	Portata* max [m³/h x aula]	Portata Q <sub>P</sub> [l/s x occupante]	Portata Q <sub>B</sub> [l/s x superficie]	Portata Q <sub>TOT</sub> [m³/h x occupante]	Portata* max [m³/h x aula]
Scuole dell'infanzia	2,5	3,6	13,0	<b>351,0</b>	4	14,4	<b>388,8</b>	7	0,35	27,5	<b>741,6</b>
Scuole primarie	2,5	3,6	13,0	<b>351,0</b>	5	18,0	<b>486,0</b>	7	0,35	27,5	<b>741,6</b>
Scuole second. di 1° grado	3,5	5,1	18,2	<b>510,3</b>	6	21,6	<b>604,8</b>	7	0,35	27,5	<b>769,1</b>
Scuole second. di 2° grado	5	7,9	28,5	<b>882,0</b>	7	25,2	<b>781,2</b>	7	0,35	27,7	<b>857,8</b>

Tabella 2 - Confronto prescrizioni DM 18/12/1975 e Decreto 22/06/2022 (UNI 10339 e UNI EN 16798-1) per nuovi edifici scolastici

Il Decreto 23.06.2022 prevede tuttavia 3 tipologie di intervento ossia:

- Nuove costruzioni, demolizioni/ricostruzioni, ampliamenti e sopra elevazioni
- Ristrutturazioni importanti di primo livello
- Ristrutturazioni importanti di secondo livello e riqualificazioni energetiche

per ciascuno di questi 3 casi, l'allegato del Decreto al par. 2.4.5 definisce i possibili criteri applicabili per ciascuna norma. Criteri che sono identici per la UNI 10339 mentre possono variare di molto per la UNI EN 16798-1.

La seguente Tabella 3 illustra e mette a confronto le portate previste per ciascun caso in funzione della norma applicata, sempre considerando i valori di riferimento dell'Aula campione (con dimensioni e affollamento massimi) illustrati nella successiva Tabella 4.

Criteri di Aerazione, Ventilazione e IAQ per le diverse tipologie di intervento (par. 2.4.5)	UNI 10339			UNI EN 16798-1		
	Parametri di calcolo	Portata [l/s x occupante]	portata* max [m³/h]	Parametri di calcolo	Portata Q <sub>TOT</sub> [l/s x occupante]	portata* max [m³/h]
Nuove costruzioni, demolizione e ricostruzione, ampliamento e sopra elevazioni	Par. 9.1.1 Prospetto III rif. "Edifici adibiti ad attività scolastiche e assimilabili"	4 ... 7	388,8 ... 781,2	Edificio LPB-1 Categoria II	7,6 ... 7,7	741,6 ... 857,8
Ristrutturazioni importanti di primo livello				Edificio LPB-2 Categoria II	8,3 ... 8,4	802,9 ... 934,3
Ristrutturazioni importanti di secondo livello e le riqualificazioni energetiche				Edificio LPB-2 Categoria II o III*	4,7 ... 8,4	458,8 ... 934,3

Tabella 3 - Confronto dei criteri e delle portate previste da Decreto 22/06/2022 in funzione del tipo di intervento

Tutti i valori indicati nelle Tabelle 2 e 3 sono stati calcolati prendendo a riferimento i valori massimi di superficie e numero di alunni delle "Aule modello" ottenuti tramite i valori indicati dal DM 18/12/1975 (altezza Aula e m² per Alunno) e dal MIUR (affollamento massimo di ogni classe). Tali valori e le loro risultanze in termini di dimensione della "Aula modello" sono riportati nella seguente Tabella 4.

Tipologia di scuola	Numero alunni <sup>a</sup>		Requisiti Aula <sup>b</sup>		Dimensioni "Aula modello"		
	Min.	Max	m² per alunno	altezza min. [m]	Superficie min [m²]	Superficie max [m²]	Volume per alunno [m³]
Scuole dell'infanzia	18	26	1,8	3	32,4	46,8	5,4
Scuole primarie	15	26	1,8	3	27	46,8	5,4
Scuole second. di 1° grado	18	27	1,8	3	32,4	48,6	5,4
Scuole second. di 2° grado	27	30	1,96	3	52,92	58,8	5,88

Tabella 4 - Valori dimensionali e di occupazione delle classi secondo le indicazioni MIUR (a) ed il DM 18/12/1975 (b).

I valori indicati dalle norme UNI 10339 e UNI EN 16798-1 sono stati validati dalle principali organizzazioni tecniche accreditate a livello nazionale ed internazionale, quali AICARR<sup>9</sup>, ASHRAE<sup>10</sup> e REHVA<sup>11</sup>. Inoltre vengono insegnati in tutti i corsi di Laurea di Ingegneria ed Architettura attinenti ai temi degli impianti HVAC.

Ma la cosa più importante è che tutte queste norme sono state sviluppate ben prima della comparsa del COVID-19, nella consapevolezza che il corretto ricambio dell'aria negli ambienti è indispensabile per garantire la salubrità degli ambienti proteggendo gli occupanti dalle eccessive concentrazioni di inquinanti gassosi (CO, CO<sub>2</sub>, Radon, Formaldeide ...), non gassosi (Particolato) e biologici (Virus, Batteri, Funghi e altri microrganismi).

Oggi l'Istituto Superiore di Sanità – ISS<sup>12</sup> e l'Organizzazione Mondiale della Sanità - OMS o WHO<sup>13</sup>, hanno ufficialmente riconosciuto che queste prescrizioni sono altrettanto valide per combattere anche il COVID-19, in quanto i meccanismi di contagio sono i medesimi di tutte le altre forme virali di tipo influenzale, ossia si propagano principalmente per via aerea.

#### **4 - Salubrità dell'aria, non solo COVID-19**

Le norme Nazionali ed Europee citate nel capitolo precedente e numerosi altri studi, riconoscono che la salubrità e sicurezza dell'aria respirata negli ambienti indoor non è legata esclusivamente alla presenza o meno di virus e batteri.

Il corpo umano ogni giorno emette in media circa 15kg di aria "respirata" e altri gas metabolici, pari a circa 12 m<sup>3</sup>. Nello stesso intervallo di tempo emette circa 2,5 kg di urina e feci e 1,5 kg di rifiuti.

L'aria ed il gas emesso dal metabolismo umano sono quindi la principale fonte di inquinamento antropico degli ambienti chiusi. L'uomo, solo tramite il proprio metabolismo, immette nell'aria CO<sub>2</sub>, vapore acqueo, metano, idrogeno, acetone, etanolo, isoprene, aldeidi ...

A queste sostanze si aggiungono gli inquinanti gassosi emessi da arredi, vestiti e suppellettili (formaldeide, alcani, toluene, xilene, benzene, stirene, fenolo ...) così come quelli provenienti dall'esterno (NO<sub>2</sub>, Radon, Ozono, Anidride solforosa, Monossido di Carbonio ...).

Tutte queste sostanze inquinanti sono di natura esclusivamente gassosa.

Tutte queste sostanze inquinanti non possono essere rimosse da alcuna mascherina FFP2 o da qualsivoglia "sanificatore" o "purificatore" dell'aria.

Mascherine e purificatori d'aria possono essere un valido aiuto all'incremento della sicurezza e nella gestione dell'emergenza in tutti gli ambienti dove è già presente un sistema di ventilazione e ricambio dell'aria.

Anche il recente DPCM 26 Luglio 2022, specifico per gli ambienti scolastici, nella sua premessa afferma che:

- La qualità dell'aria indoor, sia dal punto di vista degli inquinanti che della carica microbica, è un requisito essenziale per il mantenimento della buona salute della popolazione scolastica e per il suo sviluppo conoscitivo.

---

<sup>9</sup> AICARR. Protocollo per la riduzione del rischio da diffusione del del SARS-CoV2-19 mediante gli impianti di climatizzazione e ventilazione in ambienti sanitari. 2020:1-4

<sup>10</sup> ASHRAE. Handbook HVAC fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2017

<sup>11</sup> REHVA. REHVA COVID-19 guidance document. Version 4. 17 November 2020. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations; 2020

<sup>12</sup> Rapporto ISS COVID-19 • n. 12/2021

<sup>13</sup> WHO – Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19

- l'utilizzo di apparecchi di sanificazione, igienizzazione e purificazione dell'aria [...] non può prescindere da o escludere la valutazione delle condizioni microclimatiche e della qualità dell'aria indoor e outdoor.

Negli ambienti scolastici è quindi obbligatoria la presenza di sistemi di ventilazione e ricambio dell'aria a prescindere dalla situazione di emergenza sanitaria ancora in corso. Gli altri mezzi di prevenzione, in particolare le mascherine e gli apparecchi di purificazione dell'aria, sono solo un supporto per incrementare la sicurezza nei casi di specifica emergenza o di affollamento particolarmente elevato.

In definitiva l'emergenza COVID-19 ha portata alla ribalta quanto già era risaputo ma, per varie ragioni, dimenticato.

## **5 - Analogia con l'epidemia del Colera a Milano**

E' interessante notare come un caso analogo sia occorso in occasione della 4 epidemia mondiale di Colera che ha colpito Milano (ed gran parte del nord Italia) tra il 1863 ed il 1870.

In quella occasione, su una popolazione comunale di circa 265.000 abitanti, ci furono 5.000 decessi ufficiali, anche se stime più realistiche parlano di 15.000 morti pari al 5% della popolazione.

La principale causa di trasmissione della malattia era dovuta alla contaminazione di acque e alimenti con uno specifico batterio di origine fecale.

In quegli anni si è assistita alla contrapposizione tra il mondo medico, che chiedeva una rigida quarantena domiciliare degli infetti e la costruzione di nuovi lazzaretti, ed il mondo ingegneristico-architettonico che sollecitava l'ammodernamento della rete fognaria cittadina ferma ancora a quella romana costruita prima del 400 D.C.

Dopo oltre 1400 anni il Comune di Milano diede disposizione di ammodernare la complessa rete fognaria del centro storico (piano Bianchi e Bignami) e poi quella periferica tramite il famoso primo piano regolatore (1884-1889) ad opera dell'ing. Cesare Beruto.

Così come avvenuto oggi con il COVID-19 la comunità tecnica e scientifica di allora ha riscoperto ed applicato quanto già risaputo sin dei tempi dell'Impero Romano.

Oggi a centinaia di anni da quell'epidemia di Colera, nessun di sognerebbe di fare a meno di una rete fognaria comunale che a Milano conta 1561 km di condotti e di un sistema di monitoraggio composto da 350 datalogger che controllano h24 oltre 3.000 parametri funzionali del sistema.

Oggi come allora il legislatore ha la possibilità di riconoscere l'urgenza di dotare tutti gli ambienti ad elevato affollamento, ed in particolare le Scuole Italiane, di impianti di ventilazione meccanica controllata e di sistemi di monitoraggio.

## 6 - Indoor Air Quality e suo monitoraggio

Al giorno d'oggi tutte le reti fognarie e dell'acqua potabile d'Italia, sono dotate di sensori e sistemi di supervisione che permettono di monitorare il corretto funzionamento dell'impianto, avvisando il gestore di eventuali anomalie e malfunzionamenti.

In modo del tutto analogo i sistemi di ventilazione devono essere dotati di soluzioni atte al monitoraggio e controllo del loro corretto ed adeguato comportamento. Adeguatezza che può essere compromessa sia dal funzionamento dell'impianto stesso, sia l'eccessivo affollamento di un ambiente oltre i suoi limiti di progetto. Quest'ultima non conformità può essere momentanea e occasionale (l'attività sporadica di 2 classi di alunni in un'unica aula) oppure frequente e ripetitiva (come per il cambio di destinazione d'uso di un ambiente da ufficio amministrativo ad aula scolastica).

La soluzione universalmente riconosciuta come la più efficace ed economica per verificare la qualità dell'aria negli ambienti indoor (IAQ – Indoor Air Quality) e quindi la loro corretta ventilazione, è quella di monitorare la concentrazione di CO<sub>2</sub> attraverso opportuni sensori.

Tuttavia il monitoraggio può prevedere anche la misura di altri parametri come quelli generici (Temperatura, Umidità relativa ...) o come quelli relativi ad inquinanti specifici (il particolato PM<sub>2,5</sub> negli ingressi alla scuola, il Radon nelle zone a rischio, uno o più composti organici volatili VOC ...).

Il valore della concentrazione di CO<sub>2</sub> ha tuttavia due significati ben distinti, ovvero:

- È un indice della concentrazione di Ossigeno (O<sub>2</sub>) nell'ambiente, infatti all'aumentare della concentrazione di CO<sub>2</sub> diminuisce dello stesso valore quella del O<sub>2</sub> contenuto nell'aria. Valori superiori ad una certa soglia indicano che l'ambiente è povero di ossigeno e che gli occupanti sono in pericolo di asfissia. Per questo possiamo definirlo come un indice di "Ossigenazione dell'aria".
- È un indice "sentinella" della corretta ventilazione dell'aula scolastica in relazione al suo affollamento e all'attività svolta. Valori superiori ad una certa soglia indicano che l'ambiente è eccessivamente contaminato dai sottoprodotti metabolici degli occupanti. Per questo motivo possiamo definirlo come un indice della "Salubrità dell'aria".

L'aria dell'atmosfera terrestre è infatti composta<sup>14</sup> al 78,08% da Azoto (N<sub>2</sub>), al 20,95% da Ossigeno (O<sub>2</sub>), al 0,93% di Argon (Ar), al 0,04% di Anidride Carbonica (CO<sub>2</sub>) ... più una miscela di altri gas (Neon, Elio ...) di percentuale inferiore allo 0,005%.

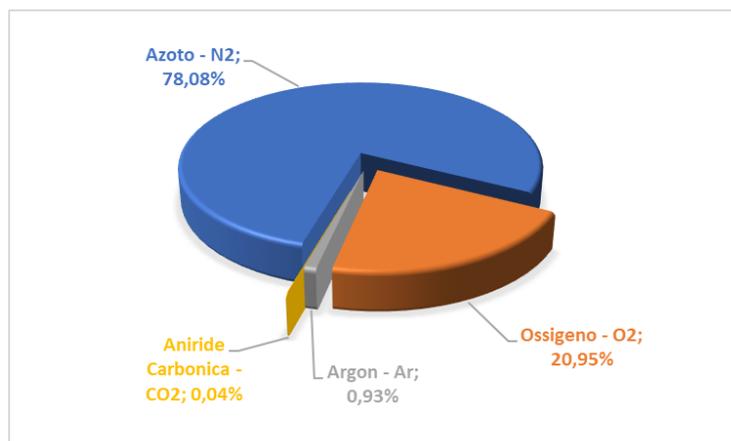


Figura 1 - Composizione dell'aria atmosferica secca<sup>13</sup>

<sup>14</sup> Composizione Aria Secca (fonte Wikipedia), i valori espressi sono relativi alla Proporzione o frazione molare

In considerazione del basso valore percentuale della CO<sub>2</sub>, per la misura della sua concentrazione si utilizza più spesso l'unità di misura "ppm" (ossia parti per milione), considerando che 10.000 ppm corrispondono ad una concentrazione pari all'1%.

A titolo informativo, il valore medio della concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'aria espirata da un individuo è pari a circa 38.000 ppm <sup>15</sup> (ossia 3,8%) mentre quello dell'aria esterna è pari a 400 ... 450 ppm (ossia lo 0,04% visto in precedenza). Quest'ultimo valore tuttavia aumenta di circa 2,5 ppm all'anno <sup>16</sup> per effetto antropico causa del Global Warming.

Ma quali sono i valori di riferimenti e le norme che li specificano?

### **6.1 – Valori di riferimento di CO<sub>2</sub> per la "Ossigenazione" dell'aria.**

In ambito industriale e di processo, sono riconosciuti due valori limite per la salute e sicurezza degli operatori <sup>17</sup> ossia:

- TWA-8h (Time Weight Average 8 hours) ossia il valore medio misurato nelle 8 ore di lavoro
- STEL (Short Term Exposure Limit) ossia il valore istantaneo misurato durante il turno di lavoro.

I valori indicati a riferimento anche da Federchimica – ASSOGASTECNICI <sup>18</sup> sono pari a

- TWA-8H = 5.000 ppm CO<sub>2</sub>, corrispondente ad una concentrazione di Ossigeno ≤ 20,5%
- STEL = 15.000 ppm CO<sub>2</sub>, corrispondente ad una concentrazione di Ossigeno ≤ 19,5%

Tali valori, tuttavia, fanno riferimento alla vera e propria asfissia da eccesso di CO<sub>2</sub> (e conseguente carenza di O<sub>2</sub>) che, oltre il valore limite STEL, si manifesta con sintomi che vanno dall'effetto narcotico, al malessere, alle difficoltà respiratorie, alla perdita di conoscenza ... fino al decesso.

### **6.2 – Valori di riferimento di CO<sub>2</sub> per la "Salubrità" dell'aria.**

La situazione è invece diversa quando si valuta la concentrazione di CO<sub>2</sub> come valore sentinella della corretta ventilazione e salubrità degli ambienti indoor.

La normativa di riferimenti più autorevole in Italia ed in Europa è sempre la UN EN 16798-1 che nella sua Tabella B.9 indica i valori limite di concentrazione del CO<sub>2</sub>, rispetto al valore esterno, a seconda delle 4 Categorie di edificio.

Categoria	Differenziale massimo tra concentrazione CO <sub>2</sub> indoor ed esterna [ppm]	Limite concentrazione CO <sub>2</sub> indoor [ppm] *
I	550	950
II	800	1200
III	1350	1750
IV	1350	1750

\* con una concentrazione esterna di CO<sub>2</sub> pari a 400 ppm

Tabella 5 - Limiti di concentrazione del CO<sub>2</sub> secondo la norma UNI EN 16798-1 – Table B.9

Il Decreto 22/06/2022 indica per le scuole di fare riferimento, a meno di specifici casi, alla categoria II. Ne consegue che il valore limite da non superare è pari a circa 1.200 ppm.

<sup>15</sup> Progetto QAES - Analisi effetti delle mascherine sulla concentrazione di CO<sub>2</sub> reinalata (2022)

<sup>16</sup> ENEA - <https://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/ccs/perche-catturare-la-co2/la-co2-in-atmosfera>

<sup>17</sup> US Department of Labor – OSHA Occupation Database – Carbon Dioxide -

<https://www.osha.gov/chemicaldata/183>

<sup>18</sup> Atti Convegni 24.05.2016 – L'anidride carbonica, aspetti di sicurezza – Autore: L. De Lorenzi.

I valori indicati sono da considerarsi come dei veri e propri limiti, in quanto la letteratura scientifica e numerose linee guida internazionali identificano un notevole decremento delle facoltà cognitive degli occupanti quando il valore di CO<sub>2</sub> supera i 1.000 ppm per periodi prolungati <sup>19</sup>.

A luglio 2022 anche l'Istituto Superiore di Sanità ha pubblicato un importante documento<sup>20</sup> specifico sulla concentrazione di CO<sub>2</sub> negli ambienti indoor. Questa autorevole "Nota Tecnica" documenta come "concentrazioni continue di CO<sub>2</sub> permanentemente superiori ai 1.000 ppvm [...] indicano che i ricambi di aria esterna e la ventilazione sono insufficienti e vanno migliorati" secondo le indicazioni della norma UNI EN 16798-1.

In conclusione, per le aule scolastiche è possibile definire 3 "scalini" di qualità dell'aria, tali da verificare se ventilazione dei locali e tasso di occupazione sono compatibili con la sicurezza degli occupanti, ossia:

Sicurezza dell'aria indoor	Concentrazione CO <sub>2</sub>	Note
Buona	Fino a 1000 ppm	
Accettabile	Tra 1001 e 1200 ppm	Ammessa solo per periodi limitati < 30'
Inaccettabile	Oltre 1200 ppm	Ammessa solo per eventi transitori < 10'

Tabella 6 - Indice di sicurezza dell'aria indoor e soglie di concentrazione del CO<sub>2</sub>

A titolo di esempio prendiamo in considerazione la Figura 2, tratta dal sistema di monitoraggio dell'aria installato presso la scuola IS Puecher Olivetti di Rho (MI). L'immagine mette a confronto due aule di lezione ossia:

- L'Aula ITA.1 (linea azzurra) che si affida esclusivamente all'apertura delle finestre e porte per il ricambio dell'aria (15' ad ogni ora)
- L'Aula Termica 2 (linea arancione) dove è stato installato un semplice sistema di ventilazione meccanica conforme alle indicazioni del D.M. 18/12/1975.

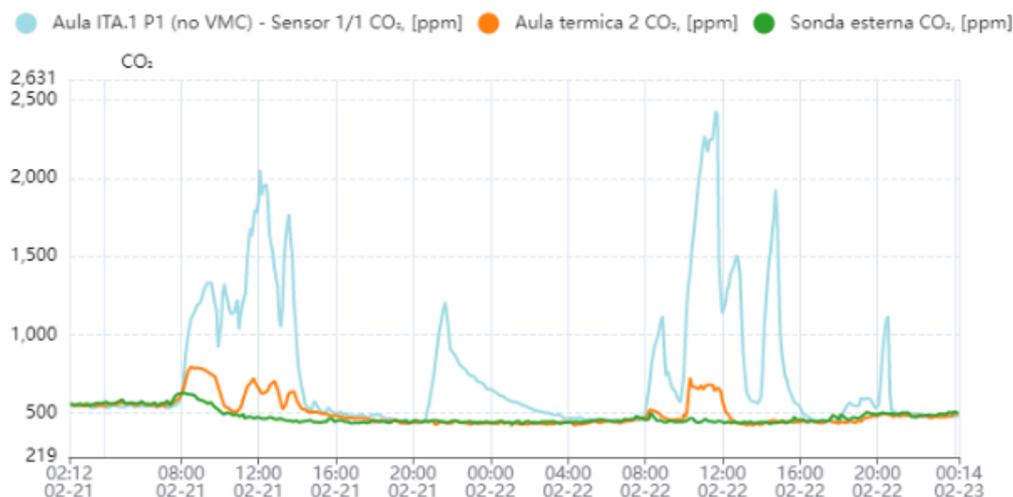


Figura 2 - Valori di CO<sub>2</sub> in due classi con e senza sistema VMC.

<sup>19</sup> "Classroom carbon dioxide concentration, school attendance, and educational attainment." - Gaihre S, Semple S, Miller J, Fielding S, Turner S. (2014)

<sup>20</sup> ISS – Nota Tecnica ad interim – "Monitoraggio della CO<sub>2</sub> per la prevenzioni e gestione negli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2.

I valori sono stati misurati tra il 21 ed il 22 febbraio 2022, ma il comportamento illustrato è sostanzialmente uguale durante tutto il periodo invernale dell'anno scolastico.

L'immagine evidenzia come il valore di CO<sub>2</sub> della "Aula Termica 2" rimanga sempre inferiore ai 1.000 ppm, sia durante i cicli diurni di lezione, sia durante la notte (nonostante l'impianto di ventilazione sia spento).

I valori di CO<sub>2</sub> della "Aula ITA.1" invece si impennano non appena gli studenti accedono all'aula, raggiungendo in più occasioni concentrazioni superiori ai 1.500-2.000 ppm.

Merita poi una particolare menzione la recente Prassi di Riferimento UNI/PdR 122:2022 " Monitoraggio della qualità dell'aria negli edifici scolastici - Strumenti, strategie di campionamento e interpretazione delle misure". Questo documento riassume i principali parametri specifici dell'IAQ, definendo le procedure per il monitoraggio con e senza l'ausilio di laboratori di prova. Anche in questo documento la CO<sub>2</sub> viene definita come "il principale indicatore della qualità dell'aria"<sup>21</sup> che, in talune circostanze, è dimostrato essere proporzionale anche alla concentrazione di altri inquinanti quali il PM<sub>10</sub> ed il TVOC.

### 6.3 – Utilizzo delle mascherine e concentrazione del CO<sub>2</sub>.

Un'autorevole ricerca<sup>22</sup>, ha recentemente dimostrato come l'adozione di mascherine da parte di docenti e studenti, impoverisca pericolosamente la quantità di Ossigeno inspirata, come testimoniato dal notevole incremento dei valori di concentrazione di CO<sub>2</sub> presente nell'aria inalata.

Valori che, con la mascherina FFP2-KN95 in uso presso le scuole, possono aumentare la concentrazione dell'aria inspirata dagli studenti fino ad 8.000 ppm, rispetto a quella dell'ambiente.

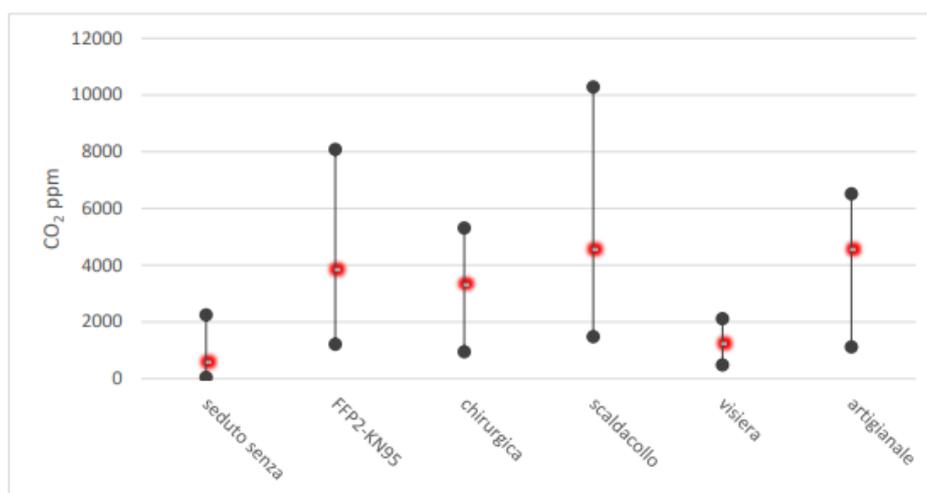


Figura 3 - Concentrazione di CO<sub>2</sub> inspirata in posizione da seduto, al netto della CO<sub>2</sub> ambiente <sup>20</sup>

Ne consegue che nelle classi scolastiche prive di Ventilazione Meccanica Controllata, dove la concentrazione di CO<sub>2</sub> può superare i 2.000 ppm anche con l'apertura delle finestre, il risultato per gli studenti sia di inalare aria con concentrazione sempre superiore sia ai 5.000 ppm ed in alcuni casi anche superiore ai 10.000 ppm.

Valori che comportano la respirazione di aria estremamente povera di Ossigeno (anche <20%) per lunghi periodi e senza alcuna interruzione. Valori riconosciuti come pericolosi anche in ambito industriale per il pericolo di ipossia.

<sup>21</sup> Prospetto 3 – Anidride carbonica – pag. 13 UNI/PdR 122:2022

<sup>22</sup> Progetto QAES - Analisi effetti delle mascherine sulla concentrazione di CO<sub>2</sub> reinalata (2022)

## 7 - Il problema del Particolato

Il ricambio dell'aria tramite semplice apertura delle finestre può essere pericoloso anche per quanto riguarda il particolato (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>), soprattutto nelle zone più urbanizzate e nella Pianura Padana.

Le finestre infatti non filtrano l'aria che quindi entra nell'ambiente con le medesime concentrazioni esterne di particolato (oltre a pollini, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ed altri inquinanti).

Diverso il discorso invece per i sistemi VMC o HVAC che invece obbligatoriamente devono filtrare l'aria secondo standard rigorosi, così come i loro filtri vengono sostituiti o rinnovati regolarmente.

A solo titolo di esempio, nel 2021 i dati ARPA Lombardia hanno rilevato lo sfioramento del limite di 50µg/m<sup>3</sup> per ben 66 giorni a Cremona, 61 a Milano e 59 a Brescia.

### PM10 – numero giorni superamento 50 µg/m<sup>3</sup> anno 2021

Stazione peggiore del capoluogo (stazioni del programma di valutazione)

Capoluoghi	2005	2017	2018	2019	2020	2021	Riduzione % (2005-2021)
Bergamo	111	70	42	29	46	39	-65%
Brescia	133	81	48	53	62	59	-56%
Como	122	69	43	27	46	41	-66%
Cremona	146	105	56	64	78	66	-55%
Lecco	67	43	25	19	24	19	-72%
Lodi	168	90	78	55	59	60	-64%
Mantova	135	87	34	57	66	55	-59%
Milano	152	97	79	72	90	61	-60%
Monza	145*	86	51	44	66	46	-68%
Pavia	121	101	53	65	64	53	-56%
Sondrio	114	22	14	9	7	19	-83%
Varese	78	45	21	17	25	17	-78%

\* dato 2006



Le stazioni che hanno rispettato il limite nel 2021 sono il 26%, nel 2020 erano il 15%, nel 2005 rispettava unicamente la stazione di Bormio.

Tabella 7 - Analisi PM10 in Lombardia nel 2021

Il D.Lgs. 155/2010 ammette un massimo di 35 giorni in cui il limite di 50µg/m<sup>3</sup> può essere sfiorato.

L'OMS<sup>23</sup>, sullo stesso argomento, indica in 45µg/m<sup>3</sup> il limite massimo giornaliero per il PM10 e non consente alcun sfioramento.

È evidente che l'immissione di aria esterna non filtrata può costituire un serio pericolo per la salute degli occupanti.

## 8 – Il Radon

Oltre alla qualità dell'aria legata agli elementi patogeni e virali, merita inoltre particolare menzione quella legata alla concentrazione del Radon.

Lo stesso ISS<sup>24</sup> afferma che "stime recenti attribuiscono al Radon il 6-15% dei tumori ai polmoni a livello mondiale. Diverse analisi epidemiologiche hanno dimostrato che il Radon è al secondo posto, dopo il fumo da tabacco, fra le cause principali di cancro ai polmoni. Il rischio aumenta in proporzione al crescere della concentrazione di Radon nell'aria e della durata dell'esposizione."

Il Radon è infatti un gas radioattivo di origine naturale che risale in superficie soprattutto nelle aree di origine vulcanica. La sua provenienza dal sottosuolo e il suo elevato peso fanno sì che gli ambienti a

<sup>23</sup> WHO global air quality guidelines 2021

<sup>24</sup> ISS – Aspetti epidemiologici del Radon (1 Marzo 2012) - <https://www.epicentro.iss.it/radon/epidemiologia>

piani inferiori (interrati, piano terra, primo piano) siano i più esposti al rischio di una sua presenza oltre i limiti consentiti.

Da molti anni il Ministero della Salute, tramite l'ISS, ha istituito l'Archivio Nazionale Radon (ANR) dove al 2019 erano archiviate oltre 50.000 misurazioni validate della concentrazione di Radon in Abitazioni, Scuole e Luoghi di Lavoro effettuate su tutto il territorio italiano.

Per le Scuole, come riportato dall'ISS stesso<sup>25</sup>:

*"Sono state effettuate indagini nelle Scuole di diverse Regioni (15), per un totale di oltre 20.000 locali misurati in circa 8.300 edifici scolastici.*

*Tali indagini hanno riguardato principalmente asili nido, scuole materne e scuole elementari. I valori medi misurati in queste indagini vanno da 33 Bq/m<sup>3</sup> a 438 Bq/m<sup>3</sup>.*

*I valori medi di concentrazione di Radon riscontrati sono spesso un po' superiori a quelli misurati nelle abitazioni, in quanto tali scuole sono generalmente dislocate al solo piano terra, dove la concentrazione di Radon è maggiore di quella ai piani superiori, in quanto la maggior parte del radon proviene dal suolo."*

Il D.Lgs. 101/2020, entrato in vigore il 27 agosto 2020, ha aggiornato il quadro normativo, definendo nuovi livelli massimi di riferimento Radon per le abitazioni e i luoghi di lavoro e obbligando le regioni ad effettuare una nuova campagna di misure atta ad individuare le nuove aree prioritarie.

Il recente Decreto 23 Agosto 2022 dedica l'intero capitolo 2.4.12 al tema del Radon, definendo in 200 Bq/m<sup>3</sup> il massimo valore medio annuo consentito per la concentrazione di questo gas radioattivo.

Come per qualsiasi altro tipo di inquinante gassoso (es. Formaldeide, Monossido di Carbonio ...) anche per il Radon una delle migliori strategie di contenimento della sua concentrazione è quella di assicurare una ventilazione adeguata negli ambienti indoor tramite sistemi VMC.

## 9 - Gli aspetti energetici

Nell'immaginario comune, aprire le finestre per cambiare l'aria è molto più economico dell'utilizzo di sistemi di ventilazione meccanica (alimentati dalla rete elettrica).

Premesso che, come già dimostrato, l'apertura delle finestre non soddisfa né le portate richieste né la necessaria filtrazione dell'aria, la ventilazione VMC è notevolmente più vantaggiosa energeticamente della ventilazione naturale.

Il motivo è presto detto. I sistemi VMC sono per legge dotati di cosiddetti "recuperatori di calore" che utilizzano la temperatura dell'aria espulsa per riscaldare o raffreddare l'aria aspirata dall'esterno. L'efficienza di questi recuperatori è molto elevata e normalmente si aggira tra l'80 ed il 90%.

Per questo motivo anche il Decreto 23 Giugno 2022, all'Art. 2.4.5 del suo Allegato, dichiara che indipendentemente dal tipo di intervento (nuova scuola, ristrutturazione di primo o secondo livello o riqualificazione energetica) deve essere soddisfatto il requisito di "contenimento del fabbisogno di energia termica per ventilazione" e per questo "gli impianti di ventilazione meccanica prevedono anche il recupero del calore".

Nel caso invernale questo significa che:

- Se si aprono le finestre, l'energia spesa per riscaldare l'aria andrà completamente sprecata. L'impianto di riscaldamento dovrà riscaldare nuovamente l'aria esterna che entra dagli infissi.
- Se si utilizza un impianto VMC, l'energia spesa per riscaldare l'aria sarà utilizzata in gran parte per riscaldare l'aria esterna immessa a fronte della modesta energia impiegata per movimentare l'aria tramite i ventilatori.

Consideriamo ora le portate indicate della Decreto 23 Giugno 2023 e dalla norma UNI 10339, e ammettiamo per assurdo che possano essere ottenute con l'apertura di porte e finestre, confrontiamo il costo mensile per singola classe della ventilazione naturale con quello della ventilazione meccanica

---

<sup>25</sup> ISS - <http://radon.iss.it/tag/mappe-radon-regioni/>

(VMC con recuperatore di calore) nel caso invernale e secondo alcuni parametri di riferimento <sup>26</sup>. Il risparmio energetico dei sistemi VMC è evidente e pari ad oltre il 70%.

Tipologia di scuola	UNI 10339						Risparmio VMC su Vent. Naturale
	Denominazione corrente	Portata max per classe [m <sup>3</sup> /h]	Potenza termica spesa ogni ora aprendo le finestre [kW]	Costo mensile senza VMC [€]	Potenza elettrica assorbita ogni ora per VMC [kW]	Costo mensile termico [€]	
Scuole dell'infanzia	388,8	2,4	26,8	0,1	4,02	7,3	73%
Scuole primarie	486,0	3,0	33,5	0,1	5,02	9,1	73%
Scuole second. di 1° grado	604,8	3,7	41,6	0,2	6,25	11,4	73%
Scuole second. di 2° grado	781,2	4,8	53,8	0,2	8,07	14,7	73%

Tabella 8 - Confronto consumi energetici mensili per aule di scuole diverse con Ventilazione Naturale e con Ventilazione Meccanica (VMC)

Considerando che in Italia nell'anno scolastico appena concluso ci sono circa 368.000 aule scolastiche<sup>27</sup> sprovviste di impianti di ventilazione meccanica, si può stimare che l'adozione di tali sistemi in tutte le scuole potrebbe consentire un risparmio di oltre 31 Mio€/anno per soli costi di riscaldamento nel periodo invernale (metà novembre – fine febbraio). Tali risparmi, calcolati solo per la scuola statale, sarebbero ripartiti tra le varie regioni secondo la seguente Tabella 9.

Regione	N° Classi/Sezioni Scuola Statale					Risparmio annuale [€]
	Infanzia	Primaria	I° Grado	II° Grado	Totale	
Piemonte	2.997	8.859	5.308	8.418	25.582	2.173.096
Lombardia	4.723	20.273	12.418	17.460	54.874	4.661.342
Veneto	1.875	10.460	6.341	9.212	27.888	2.368.982
Friuli V.G.	717	2.541	1.529	2.547	7.334	622.996
Liguria	810	2.765	1.712	2.858	8.145	691.887
Emilia R.	2.198	8.790	5.355	8.684	25.027	2.125.951
Toscana	2.650	7.129	4.531	7.847	22.157	1.882.155
Umbria	737	1.974	1.115	1.935	5.761	489.376
Marche	1.340	3.307	1.963	3.314	9.924	843.007
Lazio	3.673	11.861	7.357	11.654	34.545	2.934.469
Abruzzo	1.192	2.862	1.720	2.814	8.588	729.519
Molise	291	658	396	700	2.045	173.715
Campania	5.827	13.820	9.381	14.705	43.733	3.714.956
Puglia	3.648	8.795	5.474	9.701	27.618	2.346.047
Basilicata	541	1.267	779	1.506	4.093	347.685
Calabria	1.920	4.890	2.870	5.040	14.720	1.250.409
Sicilia	5.037	11.823	7.328	11.654	35.842	3.044.645
Sardegna	1.215	3.412	2.234	3.919	10.780	915.721
<b>TOTALE Classi</b>	<b>41.391</b>	<b>125.486</b>	<b>77.811</b>	<b>123.968</b>	<b>368.656</b>	<b>31.315.958</b>

Tabella 9 - Potenziali risparmi ottenibili con l'adozione della VMC, ripartiti per regione

L'adozione della stessa soluzione anche per gli altri ambienti scolastici (laboratori, uffici amministrativi, refettori, uffici per i docenti) potrebbe incrementare di un ulteriore 30% il risparmio sopra indicato (oltre 40 Mio€/anno).

<sup>26</sup> T<sub>EST</sub> = 5°C, T<sub>INT</sub> = 20°C, 135 ore al mese di funzionamento, Riscaldamento tramite Pompa di Calore con COP=3, VMC con Potenza assorbita specifica SPI = 0,3 W/m<sup>3</sup>/h, costo energia elettrica = 0,25 €/kWh, recuperatore con rendimento del 85%

<sup>27</sup> MIUR - Focus "Principali dati della scuola – Avvio Anno Scolastico 2021/2022"

## 10 - La Scuola ed i recenti provvedimenti nazionali e Regionali.

### 10.1 - Regione Marche

A Febbraio del 2021, Regione Marche ha finanziato un bando<sup>28</sup> per l'acquisto e l'installazione degli impianti VMC nelle aule scolastiche, con un investimento pari a 9 Mio€ diviso in 3 tranches (2 Mio€ nel febbraio 2021, 4 Mio€ a luglio 2021 e 3 Mio€ a carico del bilancio 2022). Le risorse sono state stanziare a favore di Comuni e Province (proprietari delle Scuole nel proprio territorio). Le domande pervenute alla Regione sono state pari a 187, per un totale di 3.027 aule distribuite in 323 scuole marchigiane di ogni ordine e grado che verranno gradualmente dotate di questi impianti.

A Marzo del 2022, Regione Marche ha presentato i risultati di uno studio condotto con la Fondazione David Hume<sup>29</sup> proprio sull'efficacia dei sistemi VMC nel combattere la diffusione del COVID-19 negli spazi scolastici. Lo studio ha certificato che, con una portata di ricambio dell'aria pari a 6 vol/ora gli impianti di Ventilazione meccanica controllata (VMM) installati in un ambiente chiuso abbattano di oltre l'80% il rischio di infezione da SARS-CoV-2.

### 10.2 - Provincia di Bolzano

La provincia autonoma di Bolzano è stata molto attiva nella promozione di una consistente campagna di monitoraggio e di indagine presso le scuole del proprio territorio.

Già nel corso del 2015/2016 con l'iniziativa "Aria viziata a scuola" la "Agenzia Provinciale per l'ambiente e la tutela del clima" aveva dimostrato il diverso comportamento delle aule scolastiche dotate di ventilazione meccanica controllata, rispetto a quelle dove venivano aperte le finestre al solo cambio dell'ora.<sup>30</sup>

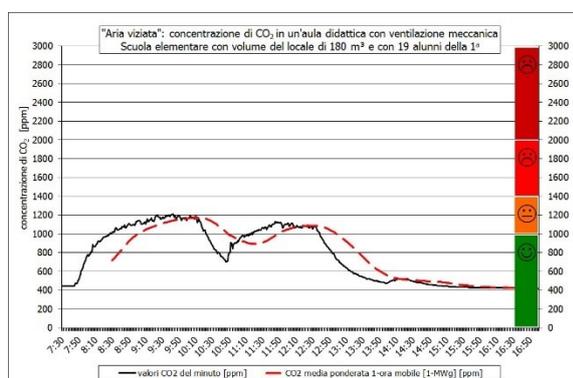


Figura 4 - Valori misurati in una classe con sistema VMC

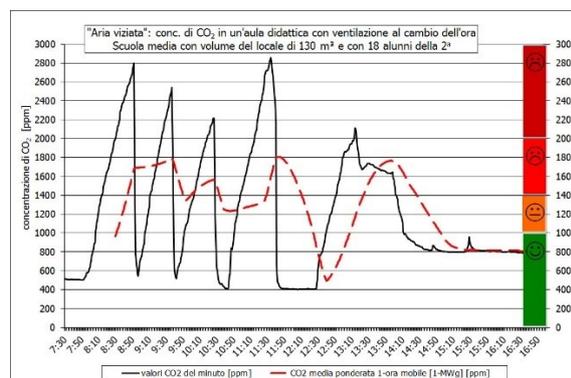


Figura 5 - Valori misurati in una classe senza VMC

Nel corso dell'anno scolastico 2020-21 è stata poi rinnovata una campagna di misurazione e conoscenza del tema nelle scuole, dando al contempo indicazioni più stringenti circa l'apertura delle finestre quando il valore di CO<sub>2</sub> superava i 1000 ppm.

E' interessante notare come la provincia di Bolzano, assieme alle provincie lombarde di Sondrio, Lecco, Como e Varese, faccia parte del "Programma di Cooperazione INTERREG V-A Italia-Svizzera" finanziato dal Fondo Europeo di sviluppo regionale.

Questo programma cofinanzia il progetto QAES – "Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici" che nel corso del 2021-2022 si è fatto promotore della pubblicazione UNI/PdR 122:2022, ossia della prima prassi di riferimento nazionale per il "Monitoraggio della qualità dell'aria negli edifici scolastici" (già descritta nel precedente capitolo "Indoor Air Quality e suo monitoraggio").

<sup>28</sup> decreto n.7 del 23.02.2021 attuativo della DGR n.148 de 15.02.2021".

<sup>29</sup> <https://www.fondazionehume.it/data-analysis/controlled-mechanical-ventilation-cmv-works/>

<sup>30</sup> <https://ambiente.provincia.bz.it/progetti/aria-viziata-a-scuola-iniziativa.asp>

Il progetto QAES ha inoltre prodotto tutta una serie di studi e ricerche estremamente utili e aggiornate anche in conseguenza della pandemia.

### **10.3 – Regione Veneto**

Il 3 Maggio 2022, la Giunta regionale del Veneto ha approvato la delibera DGR n. 514 con la quale, tramite opportuno bando, vengono messi a disposizione anche per la salubrità dell'aria all'interno degli edifici scolastici, i contributi della legge regionale LR 59/99 per il 2022 e pari a 850.000 €.

La delibera specifica (punto C.3) che sono ammissibili a contributo anche "le spese per lavori, di fornitura e posa in opera di sistemi fisici/apparecchiature per la sanificazione e ventilazione meccanica controllata ad uso esclusivo degli ambienti interni adibiti o da adibire all'attività scolastica".

Nonostante la delibera non faccia distinzione e non definisca la priorità tra i sistemi di "sanificazione" e quelli di "Ventilazione meccanica controllata", consente in ogni caso di erogare contributi tra 20.000 e 100.000 € in favore di adeguamenti delle classi scolastiche secondo gli indirizzi del DM 18/12/1975.

### **10.4 - Governo Italiano**

La Legge 18 Febbraio 2022, n11, aveva preso l'impegno di definire entro 30 giorni gli "standard minimi di qualità dell'aria negli ambienti scolastici e in quelli confinati degli stessi edifici, ai sensi della norma tecnica numero 5.3.12 di cui al Decreto del Ministro dei lavori pubblici 18 dicembre 1975 [...], in relazione al presente quadro epidemiologico e alle conoscenze sulla dinamica dei contagi da virus aerei".

Tali standard sono stati pubblicati con il DPCM 26 Luglio 2022, tuttavia questo decreto riporta solamente delle linee guida, redatte sulla base del parere dell'ISS, contenenti delle "raccomandazioni operative" che oltre ad essere in molti casi contraddittorie con il recente Decreto 23 Giugno 2023 (di applicazione obbligatoria), non prevede nuovi o maggiori oneri a carico della finanza pubblica.

La vera novità introdotta dal DCPM è contenuta nel capitolo 3, dove si indica il processo da seguire prima di qualsiasi intervento di miglioramento della qualità dell'aria nelle scuole ossia:

- Il Dirigente scolastico deve inviare la richiesta alle "Autorità competenti" di effettuare le attività preliminari di monitoraggio della qualità dell'Aria (interna ed esterna).
- Le "Autorità competenti", identificate nel Dipartimento di prevenzione delle ASL (o ATS) e ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente), devono eseguire le attività preliminari di monitoraggio in conformità al DPCM
- I proprietari sia degli immobili scolastici pubblici (Comuni, Provincie ed Enti delle scuole paritarie) che di quelli privati, devono porre in essere gli interventi necessari secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

In sostanza con il DPCM 26 Luglio 2022, vengono scaricati sulle regioni (ossia ASL e ARPA) i costi e gli oneri di effettuare i monitoraggi, mentre vengono scaricati sulle Provincie e Comuni i costi ed oneri di adeguamento dell'impianto o dell'acquisto dei eventuali dispositivi.

## 11 - Casi studio

A solo titolo di esempio si vuole citare brevemente 3 casi studio relativi a scuole lombarde. Tali casi hanno solo lo scopo di portare all'attenzione alcune criticità/opportunità utili alle finalità di questo documento:

### 11.1 - Istituto Comprensivo Statale di Bagnatica (BG) <sup>31</sup>

È stato preso in considerazione il presso della Scuola Primaria di Bagnatica, un edificio di recente progettazione e realizzazione (inaugurazione 19.09.2015) composta da 13 aule scolastiche, 1 laboratorio, 1 sala musicale, 5 stanze non scolastiche (direzione, aula docenti, segreteria ...) ed una sala mensa.



Figura 6 - Scuola Primaria di Bagnatica, lato Ovest

L'edificio si sviluppa su 3 piani (di cui uno seminterrato) ed è dotato di un impianto centralizzato HVAC per la ventilazione meccanica in tutti gli ambienti. Tale impianto è dotato di normale UTA (unità di trattamento dell'aria) con recuperatore di calore a flussi incrociati, filtri e ventilatori a portata costante.

Ad inizio pandemia la mancanza di chiarezza delle prime linee guida del MIUR e dell'ISS, assieme alla totale assenza di un qualsivoglia pannello di controllo dell'impianto HVAC installato, ha portato allo spegnimento dell'impianto e all'apertura delle finestre. L'interessamento dell'Amministrazione Comunale ha portato ad uno stesso tavolo l'Ufficio Tecnico, la Dirigenza scolastica e il responsabile della conduzione dell'impianto.

Il tavolo tecnico ha concordato la preventiva sanificazione dell'impianto di ventilazione, la verifica del suo corretto funzionamento, la sua riaccensione e l'installazione di alcuni sensori per il monitoraggio dell'IAQ negli ambienti.



Figura 7 - Sensore IAQ con indicatore luminoso in funzione

<sup>31</sup> <https://www.icbagnatica.edu.it/>

Il 3 Maggio 2021 sono stati installati un sensore di temperatura umidità e 4 sensori IAQ in 5 luoghi significativi dell'istituto.

Tutti i sensori IAQ misurano Temperatura, Umidità relativa e CO<sub>2</sub>, inoltre i dispositivi sono dotati di un segnale LED il cui colore assume il colore verde, giallo o rosso in funzione del superamento delle 2 soglie di CO<sub>2</sub> pari a 1.000 e 1.500 ppm.

Il personale docente è stato inoltre informato sull'utilizzo dei dispositivi, dando loro le istruzioni di aprire le finestre qualora l'impianto di ventilazione fosse spento ed il valore di CO<sub>2</sub> superasse il 1.500 ppm (luce rossa sui dispositivi).

Il monitoraggio dell'intero anno scolastico in corso (figura 7) ha appurato che non sono mai stati superati i 700 ppm di concentrazione di CO<sub>2</sub>, dimostrato il perfetto funzionamento del sistema HVAC ed ha garantito la sicurezza di alunni e lavoratori.



Figura 8 - Valori CO<sub>2</sub> nelle 3 classi dell'istituto, nel corso dell'anno scolastico in corso.

Nella stagione invernale il numero di classi in quarantena per l'elevato numero di casi positivi è stato contenuto e l'anno scolastico si è potuto svolgere senza particolari emergenze.

Inoltre il sistema di monitoraggio via cloud, in caso di valori registrati anomali, informa immediatamente il personal dell'Ufficio Tecnico del Comune, il Dirigente e l'RSPP della scuola, i quali possono comunque accedere in qualsiasi momento ai dati dell'impianto per controllarne il buon funzionamento e la sicurezza degli occupanti.

**Conclusioni:** la scuola, pur essendo dotata di un moderno impianto di ventilazione, ne ha escluso l'utilizzo per via della impossibilità di conoscerne lo stato di funzionamento e gli effetti positivi sulla sicurezza degli occupanti. Un sistema di monitoraggio ha dato all'Ufficio Tecnico comunale, al Dirigente e agli stessi Docenti-Studenti un facile strumento di controllo e verifica dell'impianto e della salubrità dell'aria.

## 11.2 - Istituto di Istruzione Superiore - Puecher Olivetti di Rho (MI) <sup>32</sup>

La scuola è composta da 2 blocchi di edifici di 3 piani ciascuno (più seminterrato). L'intera scuola, fino a Gennaio 2022, era sprovvista di alcun sistema di Ventilazione Meccanica.

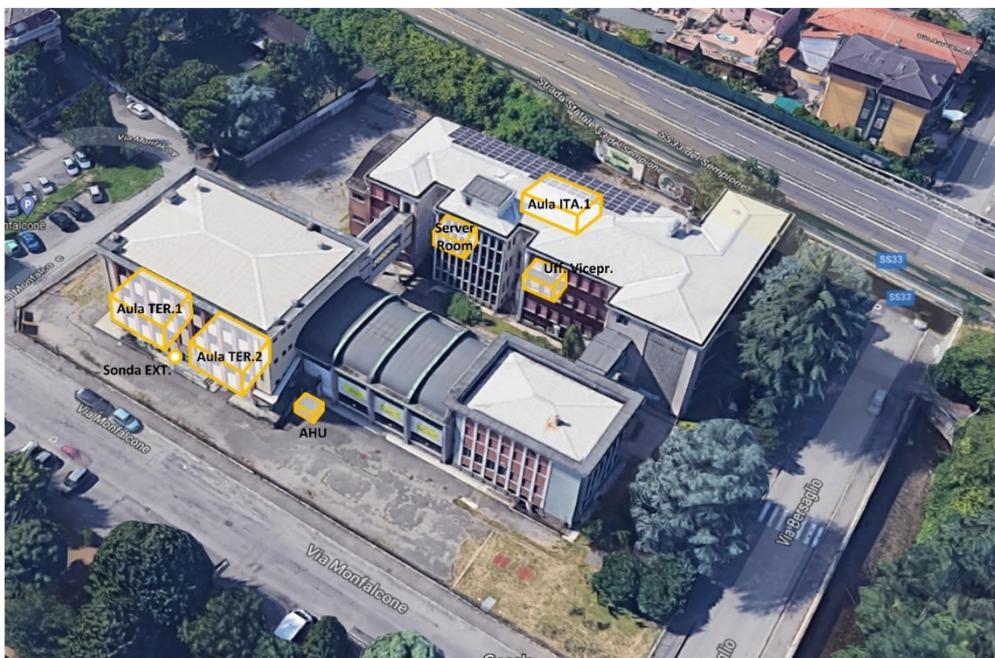


Figura 9 - Vista prospettica dell'Istituto e delle aree interessate dall'intervento

Un intervento di riqualificazione e studio condotto assieme all'Associazione AICARR, ha consentito l'installazione, di una unità di Ventilazione Meccanica Controllata (nella foto indicata come AHU) asservita all'Aula TER.2.

Al contempo sono stati installati 5 sensori IAQ di cui 1 all'esterno, 1 nell'Aula TER.2 (dotata di impianto di ventilazione) e le altre 3 in aule prive di sistema di ventilazione (Aula TER.1, Aula ITA.1 ed Ufficio Vicepreside).



Figura 11 - Aula TER.2 e condotta di mandata dell'aria



Figura 10 - Aula TER.2, particolare sensore CO<sub>2</sub>

<sup>32</sup> <https://www.puecherolivetti.edu.it/>

I sensori installati, a differenza di quelli precedenti, sono dotati di un display e-ink che illustra i valori di CO<sub>2</sub>, Temperatura e Umidità relativa.

Inoltre l'indicatore visivo "a semaforo" e un allarme sonoro avvisano in modo non invasivo gli occupanti quando il valore di CO<sub>2</sub> ha superato la soglia di qualità non accettabile secondo la norma UN EN 16798-1 (1.200 ppm). Il personale docente è stato istruito ad aprire le finestre immediatamente in caso di superamento di tale soglia fino a quando il valore rientra nell'area di accettabilità (inferiore ai 1.200 ppm).

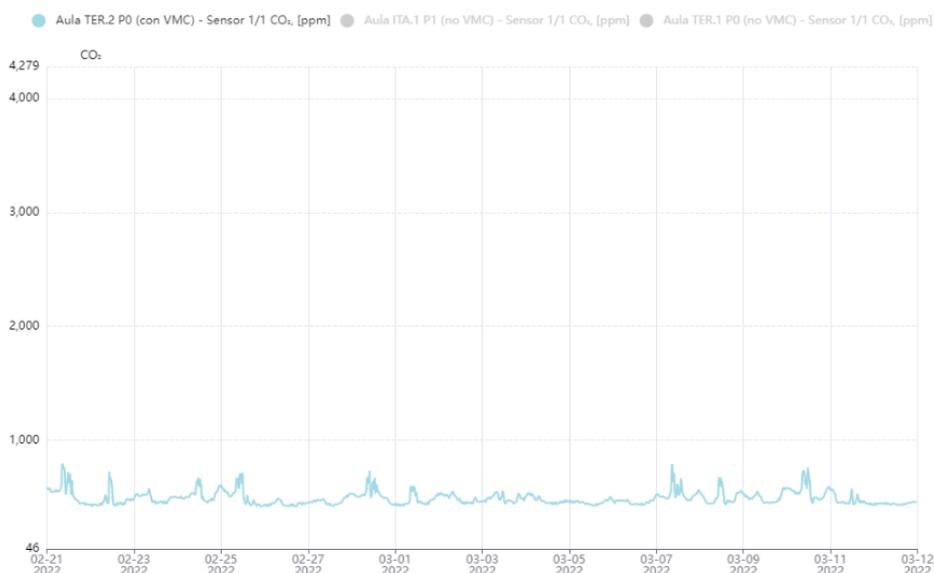
Oltre ai sensori di qualità dell'aria, sono stati installati ulteriori sensori in grado di monitorare l'effettivo funzionamento dell'unità di VMC, consentendo al personale scolastico di verificare in ogni momento eventuali malfunzionamenti o anomalie.

La campagna di misurazione è iniziata il 15 febbraio del 2022 ed ha permesso di mettere a confronto sia aule omologhe per dimensioni ed utilizzo (Aula TER.1 senza VMC e Aula TER.2 con VMC), sia aule con impiego e dimensione diversa (Aula ITA.1 e Uff. Vicepresidenza senza VMC).

Nonostante la campagna di misurazione sia ancora in corso, i risultati delle misure effettuate nel periodo invernale hanno evidenziato dei comportamenti specifici particolarmente interessanti.

Preso a riferimento il periodo delle 3 settimane comprese tra 21 febbraio – 12 Marzo, si evince che:

- L'efficacia del sistema di Ventilazione Meccanica Controllata che ha garantito concentrazioni di CO<sub>2</sub> sempre inferiori ai 1.000 ppm, assicurando agli occupanti una buona salubrità dell'aria nell'Aula TER.2
- Nell'Aula TER.1 omologa a quella precedente per dimensioni, affollamento ed utilizzo, i valori di CO<sub>2</sub> hanno superato i 1.200 ppm in 7 giorni su 13 di lezione. In ogni caso i valori non hanno superato i 2.000 ppm.
- Nell'Aula ITA.1 diversa dalle precedenti per dimensioni ed utilizzo, i valori di CO<sub>2</sub> hanno superato il limite di 1.200 ppm ogni giorno, mentre il limite di 2.000 ppm è stato superato per 7 giorni su 14 di lezione



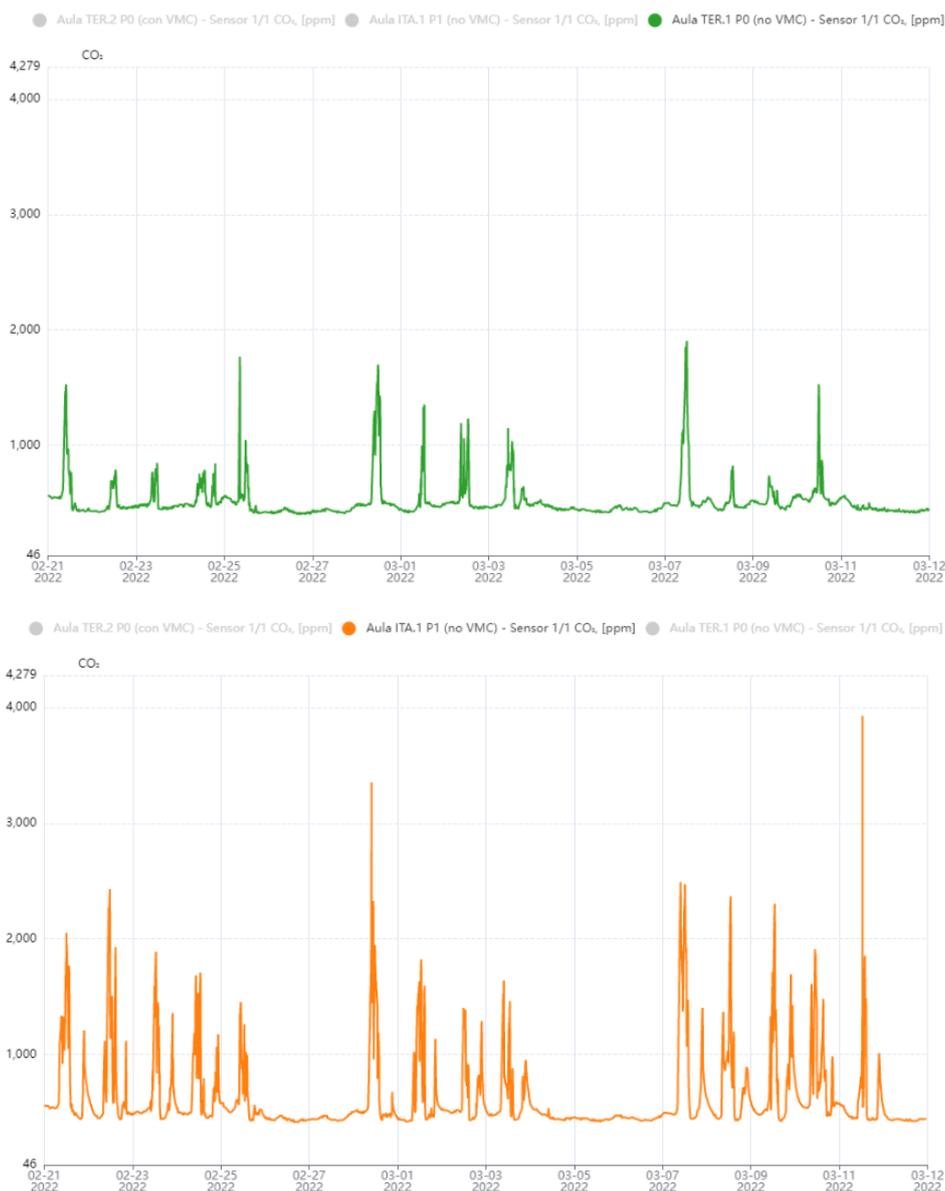


Figura 12 - Confronto valori di CO<sub>2</sub> tra 3 Aule dell'istituto

I valori finora misurati hanno permesso di identificare le aule più critiche e quelle con situazioni più accettabili. Nel caso specifico dell'Aula ITA.1 si presume che la superficie, tipologia ed esposizione degli infissi impedisca una corretta ventilazione dell'aula.

Per settembre 2022 è inoltre stata pianificata una estensione del monitoraggio del CO<sub>2</sub> ad altre aule dell'istituto e ad una campagna di monitoraggio dei valori di particolato (PM1, PM2,5 e PM10) sia all'esterno che in 2 aule campione.

**Conclusioni:** La Dirigenza scolastica ha appurato di poter contare su una campagna dati attendibile con la quale potrà pianificare i futuri interventi di miglioramento e riqualificazione dell'edificio, dando priorità alle situazioni più critiche e meno complesse. Inoltre, grazie al monitoraggio dell'unità VMC, il personale scolastico ha acquisito confidenza e competenza con l'impianto, permettendogli di diagnosticare eventuali anomalie e malfunzionamenti

### 11.3 - Istituto di Istruzione Superiore - Caterina Caniana – Bergamo <sup>33</sup>

La scuola è composta da 3 edifici di 3 piani ciascuno (più seminterrato) direttamente connessi tra loro. La parte più vecchia della scuola risale al 1968, mentre la parte più moderna e situata ad Est è stata inaugurata nel 2009.

L'edificio ed i relativi impianti sono gestiti e mantenuti dalla Provincia di Bergamo.

L'istituto conta in totale circa 186 locali, di cui 47 Aule didattiche, 8 Laboratori, 8 Aule Amministrative e di supporto ai Docenti, oltre a palestra, auditorium, bagni e altri locali tecnici.

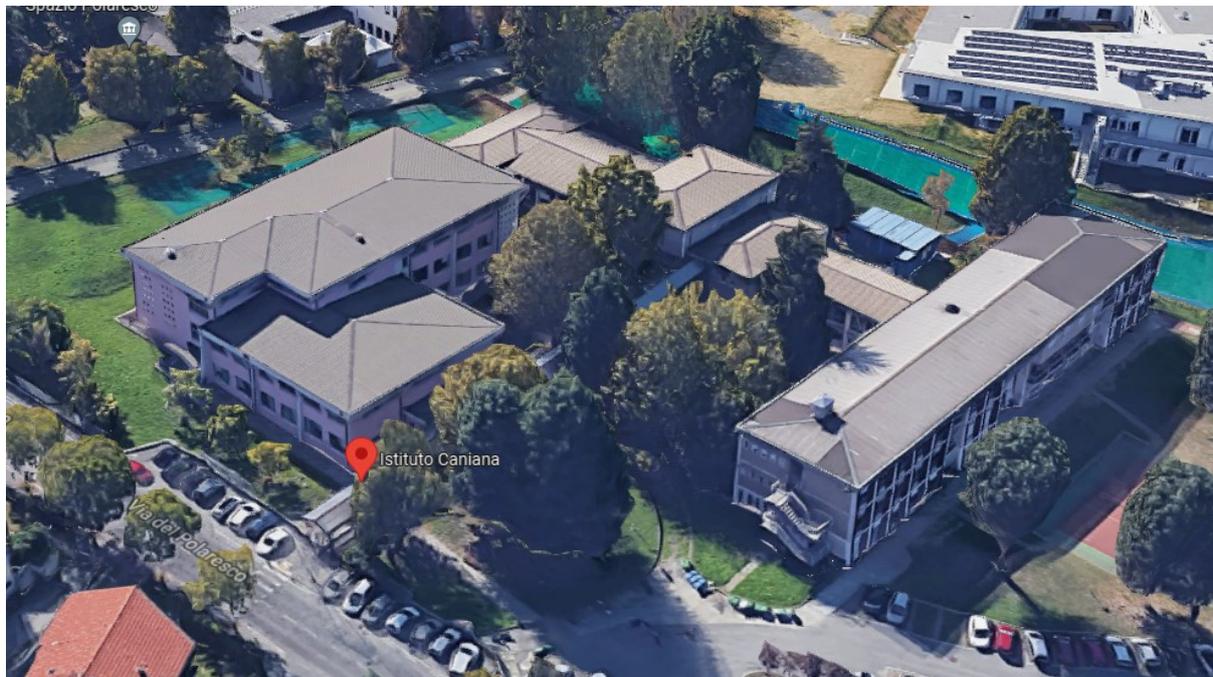


Figura 13 - Vista aerea dell'Istituto IS Caterina Caniana

L'Istituto ha due aree completamente diverse circa la ventilazione dei locali. L'edificio più moderno è dotato di un impianto di Ventilazione Meccanica Controllata che garantisce il ricambio dell'aria in 28 Aule. I due edifici meno recenti invece affidano la ventilazione esclusivamente all'apertura delle finestre, in questo caso le aule e laboratori interessati sono 27 (oltre a tutte le stanze di destinazione amministrativa e di supporto ai docenti).

L'RSSP dell'Istituto, ben prima della pandemia, aveva definito un protocollo di sicurezza che prescriveva l'apertura obbligatoria delle finestre ad ogni cambio lezione, per poter ottemperare il più possibile le prescrizioni del DM 18/12/1975.

La Dirigente e l'RSPP dell'istituto lamentano 3 grossi problemi.

- Lo stato di funzionamento dell'unità VMC è del tutto ignoto, in quanto è del tutto assente un pannello/display informativo circa il suo stato (acceso/spento, eventuali allarmi, parametri principali ...). Ogni eventuale informazione deve essere richiesta alla Provincia con estrema difficoltà.
- Gli infissi e le finestre nelle 27 aule non sono tutti uguali. In alcuni casi la loro natura ne rende estremamente difficoltosa l'apertura ad ogni cambio lezione. In altri casi l'apertura di porte e finestre anziché immettere aria esterna nelle classi, richiama quella dei corridoi (e quindi proveniente da altre aule) con conseguente pericoloso aumento della probabilità di contagio.

<sup>33</sup> <https://istitutocaniana.edu.it/>

- La mancanza di un sistema di verifica dello stato di funzionamento dell'impianto di ventilazione e dell'apertura periodica delle finestre, rende qualsiasi protocollo di sicurezza estremamente fragile e poco efficace.

La Dirigente e l'RSPP sono estremamente interessati a poter applicare un sistema di monitoraggio della qualità dell'aria simile a quello installato presso l'Istituto Superiore di Rho. Tuttavia l'importo dell'intervento (quantificato in circa 25-30.000 € per il monitoraggio di tutte le aule ed uffici amministrativi) richiede un incontro con l'ufficio "Edilizia Scolastica e Istituzionale" della Provincia di Bergamo.

**Conclusioni:** Nonostante l'elevata preparazione sul tema della ventilazione, Dirigente ed RSSP sono impossibilitati da applicare un qualsiasi efficace protocollo di sicurezza circa la salubrità dell'aria, sia nell'edificio dotato di VMC che in quello che ne è privo. La presenza di un sistema di monitoraggio del CO<sub>2</sub> nelle aule e dello stato di funzionamento dell'impianto VMC permetterebbe di risolvere questo problema. Per qualsiasi intervento è inoltre indispensabile un tavolo di coordinamento con la Provincia di Bergamo.

## 12 - Il patrimonio scolastico in Lombardia

La Lombardia è la regione con il maggior numero di scuole, classi e studenti.

Secondo l'ultimo report del Ministero dell'Istruzione <sup>34</sup> il patrimonio scolastico in Lombardia è così composto:

	n° Istituti	n° Sedi scolastiche	n° Classi	n° Alunni
Scuola Infanzia	771	1.331	4.723	102.667
Scuola Primaria		2.175	20.273	400.188
Scuola I° Grado		1.095	12.418	264.833
Scuola II° Grado	345	655	17.460	394.093
<b>Totale</b>	<b>1.116</b>	<b>5.256</b>	<b>54.874</b>	<b>1.161.781</b>

Tabella 10 - Prospetto Istituti, sedi, classi ed alunni in Lombardia (2021-2022)

Gli studenti con disabilità sono complessivamente pari a 47.856 ossia il 4% della popolazione scolastica.

Inoltre il territorio, pur essendo estremamente diversificato, vede la maggior parte delle scuole concentrate nelle aree più densamente popolate ed inquinate della regione.

L'elevata densità antropica lombarda unita alla sua eccezionale vocazione industriale e commerciale, rendono indispensabile (da un punto di vista sia sanitario che economico) attuare efficaci politiche di adeguamento della sicurezza della popolazione scolastica e di tutto il personale dipendente coinvolto.

Il rischio che l'emergenza pandemica attuale possa protrarsi per gli anni a seguire, o che possano comparire nuove forme influenzali o virali, è estremamente concreto e particolarmente critico nelle aree con elevata densità e mobilità della popolazione. Un rischio con un elevato impatto sia sulla salute dei cittadini che sull'economica del territorio.

Oltre alla qualità dell'aria legata agli elementi patogeni e virali, merita inoltre particolare menzione quella legata alla concentrazione del Radon.

La regione Lombardia infatti è, assieme al Lazio, il territorio con la maggiore concentrazione di questo gas negli ambienti indoor <sup>35</sup>, soprattutto in quelli al piano interrato e al piano terra (situazione sempre presente nel patrimonio scolastico).

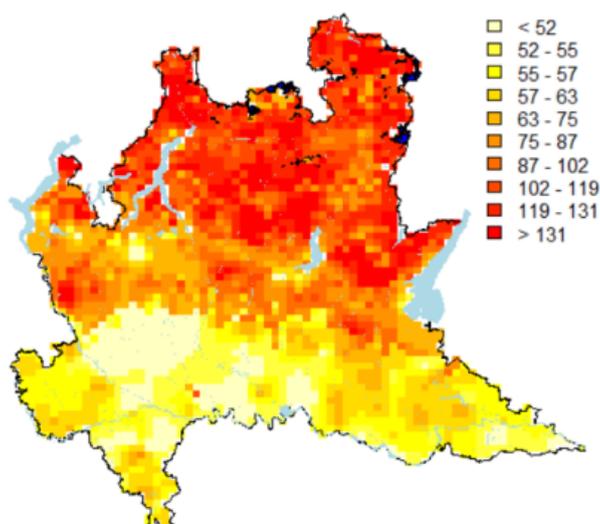


Figura 14- Mappe delle concentrazioni medie di Radon in Bq/m<sup>3</sup> [fonte ARPA Lombardia]

<sup>34</sup> Focus "Principali dati della Scuola – Avvio Anno Scolastico 2021/2022" - Ottobre 2021

<sup>35</sup> Report "Radon in Lombardia" Aggiornamento Adozione Linee Guida Regionali Anno 2021

Anche in questo caso è ampiamente documentato che la Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) con le stesse indicazioni della UNI 10339 permette una elevata riduzione del rischio.

Da ultimo il focus sulla particolare criticità regionale della concentrazione di PM<sub>10</sub> che rende indispensabile filtrare l'aria, prima di immetterla negli ambienti, per evitare che le elevate concentrazioni esterne rendano non sicura la ventilazione degli edifici scolastici.

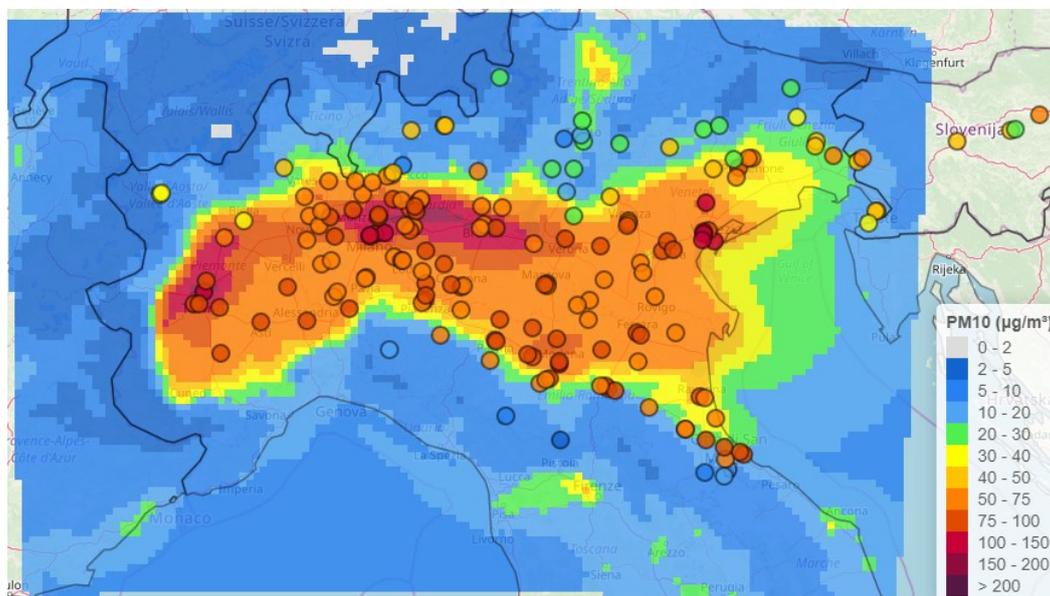


Figura 15 - La concentrazione di PM<sub>10</sub> nel Bacino Padano il 14.01.2020 [Fonte - progetto europeo prepAIR]

## 13 - Proposte e suggerimenti

Il recente Decreto 23 Giugno 2022 ha definitivamente chiarito quali devono essere i requisiti di tutti gli edifici pubblici, incluse le scuole. Il paragrafo "2.4.5 Aerazione, ventilazione e qualità dell'aria" senza alcuna ambiguità dichiara che "è necessario garantire l'adeguata qualità dell'aria interna in tutti i locali abitabili tramite la realizzazione di impianti di ventilazione meccanica, facendo riferimento alle norme vigenti" ossia alla UNI 10339 o alla UNI EN 16798-1.

È indubbio che un piano di ammodernamento dell'intero patrimonio scolastico (oltre 368 mila aule in tutta Italia) comporterebbe un investimento impegnativo e attuabile in tempi non immediati.

Tuttavia, il DPCM 26 Luglio 2022 indica una valida metodologia operativa ossia:

- Monitorare i valori di CO<sub>2</sub> nelle aule (tramite i dipartimenti preposti di ASL e ARPA)
- Analizzare i dati raccolti (a cura del proprietario della scuola – Comuni e/o Province)
- Attuare gli interventi necessari secondo la normativa vigente (vedi Decreto 23 Giugno 2022).

Tale metodologia può essere tuttavia migliorata grazie anche alle recenti indicazioni fornite dall'ISS<sup>36</sup> proprio sul tema del monitoraggio della CO<sub>2</sub>, in particolare considerando:

- L'importanza di specifiche attività di "formazione, informazione e sensibilizzazione" per Uffici tecnici Comunali, della Provincia, Dirigenti, RSSP, personale ATA, Docenti e Studenti.
- L'utilizzo del monitoraggio della CO<sub>2</sub> per individuare precocemente eventuali comportamenti non corretti nella gestione delle finestre o dei sistemi VMC (ove presenti) e attuare con rapidità le necessarie azioni di miglioramento.

### 13.1 – Il ruolo delle Regioni e delle Provincie Autonome

Nonostante le Regioni e Provincie Autonome non siano responsabili della gestione del patrimonio scolastico, la loro competenza per la tutela della Salute le chiama a giocare un ruolo di primo piano in qualsiasi strategia di miglioramento della salubrità dell'aria nelle Scuole di ogni ordine e grado.

Ne è riprova proprio l'indicazione del succitato DPCM 26 Luglio 2022 secondo la quale " Il dirigente scolastico richiede alle Autorità competenti (Dipartimenti di prevenzione delle ASL e ARPA) di effettuare le attività preliminari di monitoraggio della qualità dell'aria e di individuazione delle soluzioni più efficaci da adottare in conformità alle presenti linee guida." Questo significa che l'applicazione del Decreto porterà alla possibile esplosione di richieste di monitoraggio e analisi a carico delle Regioni.

A partire da queste considerazioni si propone proprio alle Regioni e Provincie Autonome la possibilità di farsi promotrici al più presto di un piano di intervento pluriennale per l'adeguamento delle scuole per la prevenzione a future nuove forme/varianti di Coronavirus.

Tale intervento permetterà di gestire in modalità "non emergenziale" le possibili richieste da parte dei Dirigenti scolastici ad ASL e ARPA, oltre a dare maggiore valore all'impegno delle Regioni che non si troverebbero identificate come semplici esecutori delle indicazioni di un DPCM.

### 13.2 – La proposta di un "Piano Regionale Triennale per l'IAQ nelle Scuole"

Sulla base di tutte le considerazioni presenti in questo documento, si propone alle Regioni e Provincie Autonome di farsi promotrici di un "Piano Regionale Triennale per l'IAQ nelle Scuole" così strutturato:

- A. L'attuazione da parte delle Regioni di un "piano di screening e monitoraggio" che permetta entro 3 anni di mappare la situazione dell'IAQ in tutte le scuole della regione tramite l'installazione opportuni sensori in ciascuna Aula scolastica.  
La copertura del 50% degli Istituti di Istruzione dovrebbe essere raggiunta entro l'anno scolastico 2022-2023

---

<sup>36</sup> ISS – Nota Tecnica ad interim – Monitoraggio della CO<sub>2</sub> per prevenzione e gestione negli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2

- B. L'istituzione da parte delle Regioni di un Tavolo Tecnico e/o Gruppo di Lavoro, assieme con le altre Istituzioni coinvolte, con il quale sviluppare un piano di formazione quinquennale (2023-2027) per la formazione, informazione e sensibilizzazione dei funzionari ASL e ARPA, degli Uffici Tecnici Comunali e Provinciali, dei Dirigenti Scolastici, degli RSPP delle scuole, del personale ATA, dei Docenti e degli Studenti.  
Tale piano di formazione avrà lo scopo sia di aumentare la consapevolezza sulle cause, rimedi ed effetti della non adeguata qualità dell'aria, sia di fornire gli strumenti operativi per partecipare al processo di monitoraggio e miglioramento.
- C. L'analisi annuale, da parte delle Regioni, dei dati ottenuti dal precedente "piano di screening e monitoraggio" atto a classificare le aule delle scuole in merito alla loro criticità, in modo da segnalare a Comuni e Province quali sono tra i propri istituti scolastici quelli che richiedono urgenti interventi di adeguamento secondo le norme vigenti.
- D. Il finanziamento, da parte delle Regioni, di un intervento straordinario su almeno 100 aule (pari allo 0,2% delle sedi scolastiche sul proprio territorio), atto a dotare questi istituti di un sistema VMC conforme alla normativa vigente durante la pausa scolastica estiva dell'anno 2023.  
La selezione degli istituti potrà avvenire sulla base della classificazione illustrata al precedente punto "C" della proposta.  
La finalità dell'intervento straordinario è quello di confrontare i valori del monitoraggio dell'IAQ ottenuti dal "piano di screening e monitoraggio" prima e dopo l'installazione del sistema VMC, atto a confermare la validità di questa soluzione ai fini della tutela della salute degli occupanti.

### **13.3 – Tempi e oneri per la Regione Lombardia**

Per i punti sopra esposti vengono di seguito riportate le tempistiche ed i possibili investimenti necessari (a solo titolo esemplificativo) il cui importo potrà essere in parte sovvenzionato mediante un contributo/bando regionale:

#### **Intervento A – Piano di Screening e Monitoraggio:**

- Anno scolastico 2022-2023,  
Aule interessate = 27.437,  
costo medio per aula = 400€ (comprensivo di installazione)  
**Totale investimento = 11 Mio €**
- Anno scolastico 2023-2024,  
Aule interessate = 13.718,  
costo medio per aula = 400€ (comprensivo di installazione)  
**Totale investimento= 5,5 Mio €**
- Anno scolastico 2024-2025,  
Aule interessate = 13.718,  
costo medio per aula = 400€ (comprensivo di installazione)  
**Totale investimento= 5,5 Mio €**
- Altri oneri,  
Portale Regionale per la raccolta e la pubblicazione dei dati raccolti, classificati per Istituto ed Aula.  
**Da determinare**

#### **Intervento B – Piano di formazione, informazione e sensibilizzazione:**

- Anno 2023-2027  
Uffici tecnici comunali coinvolti = 1.056

ATS coinvolte = 8  
Uffici Provinciali coinvolti = 12  
Totale ore di formazione annue previste = 12 (in moduli di 4 ore quadrimestrali)  
Numero tecnici per classe = 15-16  
Numero classi = 100  
costo medio per ora di lezione= 200€ (omnicomprensivi)  
**Totale investimento annuo = 250.000 – 300.000 €**

### ***Intervento C – Analisi e classificazione criticità***

- Anni 2023 - 2027  
Aule analizzate = 54.874  
Integrazione portale Regionale con software per l'analisi dei dati.  
**Da determinare**

### ***Intervento D – VMC e screening IAQ in tutte le scuole della regione***

- Anno 2023  
Aule scolastiche interessante = 100 aule, pari allo 0,2% delle 54.874 aule in Lombardia  
costo medio per classe per monitoraggio IAQ = 0 € (già contemplato nell'intervento A)  
costo medio per classe per sistema VMC = 11.000 € (omnicomprensivo)  
**Totale investimento annuo = circa 1,1 Mio €**
- Anno 2024  
Aule analizzate = 100  
Confronto con dati dell'anno precedente (senza sistema VMC).  
Valutazioni su efficacia e/o criticità soluzioni VMC e formulazione linee guida per Comuni e Provincie  
**Da determinare**

### ***Per la stesura del presente documento si ringraziano:***

*Ing. Clara Peretti, per la revisione ed i numerosi contributi al documento.  
L'associazione AICARR, per l'accesso ai dati IAQ della scuola IIS Puecher Olivetti di Rho  
I Dirigenti scolastici, gli RSPP, i docenti ed i Sindaci coinvolti nei casi studio citati.*