

Monitoraggio della qualità dell'aria negli edifici scolastici - Strumenti, strategie di campionamento e interpretazione delle misure

Air quality monitoring in school buildings - Instruments, sampling strategies and measurements interpretation

La presente prassi di riferimento nasce dalla necessità di fornire ai gestori degli edifici scolastici una procedura semplificata per monitorare la qualità dell'aria di un edificio scolastico, garantendo una sufficiente attendibilità e qualità della misura. Inoltre, sostiene il gestore nella comprensione della problematica, nel formulare le richieste al laboratorio di prova e nell'interpretazione dei risultati delle prove.

La prassi è stata sviluppata nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia-Svizzera.

Pubblicata il 20 gennaio 2022

ICS 13.040.20, 13.040.99





© UNI
Via Sannio 2 – 20137 Milano
Telefono 02 700241
www.uni.com – uni@uni.com

Tutti i diritti sono riservati.

I contenuti possono essere riprodotti o diffusi (anche integralmente) a condizione che ne venga data comunicazione all'editore e sia citata la fonte.

Documento distribuito gratuitamente da UNI.

PREMESSA

La presente prassi di riferimento UNI/PdR 122:2022 non è una norma nazionale, ma è un documento pubblicato da UNI, come previsto dal Regolamento UE n.1025/2012, che raccoglie prescrizioni relative a prassi condivise all'interno del seguente soggetto firmatario di un accordo di collaborazione con UNI:

IDM Südtirol - Alto Adige
Piazza della Parrocchia, 11
I-39100 Bozen / Bolzano

La presente prassi di riferimento è stata elaborata dal Tavolo “Monitoraggio della qualità dell’aria negli edifici scolastici - Strumenti, strategie di campionamento e interpretazione delle misure” condotto da UNI, costituito dai seguenti esperti:

Carlo Battisti - Project Leader (IDM Südtirol-Alto Adige)
Francesco Babich (Eurac Research)
Mariadonata Bancher (Agenzia per l'Energia Alto Adige - CasaClima)
Gianmaria Fulici (Provincia Autonoma di Bolzano)
Luca Pampuri (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana)
Katja Glücker (IDM Südtirol-Alto Adige)
Akshit Gupta (Eurac Research)
Clara Peretti (Provincia Autonoma di Bolzano)
Tiziano Teruzzi (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana)
Mirko Zancarli (Agenzia per l'Energia Alto Adige - CasaClima)

La presente prassi di riferimento è stata ratificata dal Presidente dell'UNI ed entra in vigore il 20 gennaio 2022.

Le prassi di riferimento, adottate esclusivamente in ambito nazionale, rientrano fra i “prodotti della normazione europea”, come previsti dal Regolamento UE n.1025/2012, e sono documenti che introducono prescrizioni tecniche, elaborati sulla base di un rapido processo ristretto ai soli autori, sotto la conduzione operativa di UNI.

Le prassi di riferimento sono disponibili per un periodo non superiore a 5 anni, tempo massimo dalla loro pubblicazione entro il quale possono essere trasformate in un documento normativo (UNI, UNI/TS, UNI/TR) oppure devono essere ritirate.

Chiunque ritenesse, a seguito dell’applicazione della presente prassi di riferimento, di poter fornire suggerimenti per un suo miglioramento è pregato di inviare i propri contributi all’UNI, Ente Italiano di Normazione, che li terrà in considerazione.

Operazione co-finanziata dall'Unione Europea, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, dallo Stato Italiano, dalla Confederazione elvetica e dai Cantoni nell’ambito del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia-Svizzera.

SOMMARIO

INTRODUZIONE	4
1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE	5
2 RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI.....	5
3 TERMINI E DEFINIZIONI	7
4 SIMBOLI E ABBREVIAZIONI	8
4.1 SIMBOLI.....	8
4.2 ACRONIMI.....	8
4.3 UNITÀ DI MISURA	8
5 PRINCIPIO	8
6 ANALISI PRELIMINARI E SOPRALLUOGHI DEGLI EDIFICI SCOLASTICI	10
6.1 GENERALITÀ	10
6.2 SOPRALLUOGHI.....	10
7 INDICATORI, INQUINANTI E APPROCCIO ALLE MISURE.....	10
7.1 GENERALITÀ	10
7.2 UNITÀ DI MISURA	11
7.2.1 TEMPERATURA	11
7.2.2 UMIDITÀ.....	11
7.2.3 PRESSIONE ATMOSFERICA	11
7.2.4 GAS NELL'ARIA.....	11
7.2.5 TASSO DI RICAMBIO DELL'ARIA E PORTATE	12
7.3 INDICATORI E INQUINANTI	12
7.3.1 APERTURA/CHIUSURA FINESTRE E PORTE.....	28
7.4 APPROCCIO ALLE MISURE, STRUMENTAZIONI E CONTROLLO SULLA QUALITÀ DEL DATO	30
7.4.1 CONTROLLO SULLA QUALITÀ DELLA MISURA ESEGUITE IN AUTONOMIA	34
APPENDICE A	39
APPENDICE B	42
APPENDICE C	44

APPENDICE D	45
APPENDICE E	46
BIBLIOGRAFIA.....	48

INTRODUZIONE

Negli edifici scolastici si svolgono attività e funzioni didattico-educative molteplici ed eterogenee che si differenziano da quelle che caratterizzano le altre tipologie di edifici sociali, in quanto il “valore” e la “qualità” infrastrutturale degli ambienti, l’adattabilità, la connettività e l’elevato tasso di occupazione degli spazi scolastici hanno un forte impatto sulla salute, sull’istruzione, e sull’educazione. I gestori di edifici scolastici sono responsabili della salute e sicurezza degli studenti e del personale insegnante.

La qualità dell’aria interna negli ambienti scolastici (dal nido, all’infanzia, alla scuola primaria e secondaria di I grado e di II grado), sia nel settore pubblico che in quello privato, è tema di primaria importanza, sotto il profilo della salute e dell’apprendimento. Per tenere sotto controllo la qualità dell’aria di un edificio scolastico e per verificare il rispetto di eventuali limiti legislativi o normativi fissati per la concentrazione di uno o più inquinanti presenti negli ambienti, il gestore può agire in autonomia o appoggiarsi a un laboratorio di prova che dispone delle apparecchiature e delle competenze necessarie per effettuare la misura.

La presente prassi di riferimento nasce dalla necessità di fornire ai gestori degli edifici scolastici una procedura semplificata per monitorare la qualità dell’aria di un edificio scolastico, garantendo una sufficiente attendibilità e qualità della misura. Inoltre, sostiene il gestore nella comprensione della problematica, nel formulare le richieste al laboratorio di prova e nell’interpretazione dei risultati delle prove.

La presente prassi di riferimento è basata sulle norme vigenti, sulla letteratura tecnica del settore e sull’esperienza maturata sul campo dagli autori e da personale degli enti pubblici e di ricerca coinvolti nella sua redazione.

La presente prassi di riferimento non può essere applicata per la definizione di strategie di monitoraggio di agenti patogeni come virus (ad esempio da SARS-COV-2).

1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La UNI/PdR presenta i seguenti obiettivi diversificati:

- definire una procedura operativa semplificata per il monitoraggio e il controllo della qualità dell'aria attraverso il monitoraggio di alcuni parametri indicatori. La procedura è applicabile in autonomia dai gestori degli edifici, senza l'appoggio di un laboratorio di prova;
- definire le procedure, che il gestore può seguire, in caso di affidamento di monitoraggio a un laboratorio di prova: comprensione della problematica, come affidare l'incarico, quali parametri misurare, valutare e interpretare i risultati delle prove commissionate.

Le procedure di monitoraggio semplificate riportate nel presente documento non sostituiscono le procedure standardizzate contenute nelle norme UNI/EN/ISO che rimangono le uniche norme di riferimento per i laboratori di prova.

Vengono descritti i principali inquinanti che possono essere presenti all'interno di un ambiente indoor come un'aula scolastica.

La prassi di riferimento si completa con:

- Appendice A: Formulario sopralluogo scuole
- Appendice B: Rapporto di prova secondo UNI CEI EN ISO/IEC 17025
- Appendice C: Scheda identificativa dello strumento
- Appendice D: Carta di controllo
- Appendice E: Rappresentazione dei risultati.

La UNI/PdR non affronta il tema delle analisi soggettive e della percezione degli occupanti quali parametro per descrivere la qualità dell'aria, concentrandosi invece sulle misure strumentali.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI

ISO 16000-3:2011 Indoor air - Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air - Active sampling method

ISO 16000-4:2011 Indoor air - Part 4: Determination of formaldehyde - Diffusive sampling method

ISO 16000-34:2018 Indoor air - Part 34: Strategies for the measurement of airborne particles

ISO 16000-37:2019 Indoor air - Part 37: Measurement of PM_{2,5} mass concentration

ISO 18593:2018 Microbiology of the food chain - Horizontal methods for surface sampling

UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018 Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura

UNI EN 12341:2014 Aria ambiente - Metodo gravimetrico di riferimento per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso PM₁₀ o PM_{2,5}

UNI EN 14211:2012 Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di azoto e monossido di azoto mediante chemiluminescenza

UNI EN 15780:2011 Ventilazione degli edifici - Condotti - Pulizia dei sistemi di ventilazione

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

UNI EN 12792:2005 Ventilazione degli edifici - Simboli, terminologia e simboli grafici all'interno del paragrafo 2 e tutte le norme da cui sono state prese o tradotte le definizioni

UNI EN 17141:2021 Camere bianche ed ambienti controllati associati - Controllo della biocontaminazione

UNI EN ISO 10551:2019 Ergonomia dell'ambiente fisico - Scale di giudizio soggettivo per la valutazione degli ambienti fisici

UNI EN ISO 11665-1:2019 Misura della radioattività nell'ambiente - Aria: radon-222 - Parte 1: Origini del radon e dei suoi prodotti di decadimento a vita media breve e relativi metodi di misura

UNI ISO 11665-4:2021 Misura della radioattività nell'ambiente - Aria: radon-222 - Parte 4: Metodo di misura ad integrazione per la determinazione della concentrazione media di attività usando un campionamento passivo e analisi successiva

UNI EN ISO 11665-5:2020 Misure di radioattività in ambiente - Aria: radon-222 - Parte 5: Metodi di misura in continuo della concentrazione in attività

UNI EN ISO 11665-6:2020 Misure di radioattività in ambiente - Aria: radon-222 - Parte 6: Metodi di misura puntuali della concentrazione in attività

UNI EN ISO 16000-1:2006 Aria in ambienti confinati - Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento

UNI EN ISO 16000-2:2006 Aria in ambienti confinati - Parte 2: Strategia di campionamento per la formaldeide

UNI EN ISO 16000-5:2007 Aria in ambienti confinati - Parte 5: Strategia di campionamento per i composti organici volatili (VOC)

UNI EN ISO 16000-15:2008 Aria in ambienti confinati - Parte 15: Strategia di campionamento per diossido di azoto (NO₂)

UNI EN ISO 16000-19:2014 Aria in ambienti confinati - Parte 19: Strategie di campionamento di muffe

UNI EN ISO 16000-26:2012 Aria in ambienti confinati - Parte 26: Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO₂)

UNI EN ISO 16000-32:2015 Aria in ambienti confinati - Parte 32: Indagine per verificare la presenza di inquinanti negli edifici

3 TERMINI E DEFINIZIONI

Ai fini del presente documento valgono i termini e le definizioni seguenti:

3.1 taratura: Operazione che consente di determinare l'errore di indicazione di strumenti e sistemi di misura (nonché i valori dei campioni di misura), al fine di garantire risultati di misura più precisi e affidabili. Il processo di taratura di strumenti e campioni consiste nel confronto con un campione di riferimento di più alto livello e consente così alle misure da essi prodotti di acquisire la proprietà fondamentale della riferibilità metrologica ai campioni nazionali o internazionali. (Fonte: Accredia)

3.2 aerazione: Ventilazione naturale ottenuta aprendo le finestre. (Fonte: UNI EN 12792)

3.3 ambiente con aerazione: Luogo dove il ricambio dell'aria viene effettuato esclusivamente mediante apertura delle finestre, porte o portefinestre.

3.4 ambiente con sistema di ventilazione meccanica: Luogo dove il ricambio dell'aria viene effettuato mediante sistemi di ventilazione meccanica controllata, che può essere centralizzata, puntuale oppure ibrida.

3.5 carta di controllo: Documento che permette di verificare statisticamente la tendenza nel tempo delle prestazioni di uno strumento.

3.6 laboratorio di prova: Struttura, pubblica o privata, che opera con ragione sociale propria o all'interno di un'azienda o di una struttura pubblica, per effettuare analisi, prove e diagnosi in una molteplicità di settori, in funzione degli specifici clienti a cui si rivolge. (Fonte: Accredia)

3.7 procedura standardizzata: Descrizione di una metodologia di misura descritta in una norma, ad es. UNI, CEN, ISO.

3.8 procedura semplificata: Descrizione di una metodologia di misura non riportata in una norma UNI, CEN, ISO, ma con riconosciuta validità. La procedura semplificata viene descritta al punto 7.4 e consiste in una serie di operazioni che il gestore può eseguire in autonomia.

3.9 gestore: Persona fisica o ente con o senza personalità giuridica, garante dell'identità culturale e del progetto educativo della scuola e responsabile della conduzione dell'istituzione scolastica nei confronti dell'Amministrazione e degli utenti. Il gestore può essere il dirigente scolastico, il coordinatore o un'altra figura.

3.10 ambiente indoor: Ambienti confinati di vita e di lavoro, adibiti a: dimora, svago, lavoro. Spazio chiuso o confinato comunicante con l'esterno attraverso aperture sull'involucro esterno, all'interno del quale si svolgono attività non di tipo industriale.

3.11 operatore: Tecnico che effettua l'attività di prova.

4 SIMBOLI E ABBREVIAZIONI

4.1 SIMBOLI

Simbolo	Quantità	Unità di misura
CO ₂	Anidride carbonica	ppm
n	Tasso di ventilazione	Vol/h, h ⁻¹
NO ₂	Biossido di azoto	µg/m ³
TVOC	Composti organici volatili totali	µg/m ³ , ppb
VOC COV	Composti organici volatili espressi individualmente	µg/m ³
PM10 PM2.5	Particolato	µg/m ³

4.2 ACRONIMI

Acronimo	Termine
BTEX	Benzene, toluene, etilbenzene e xilene
IAQ	Indoor Air Quality, qualità dell'aria interna
IEQ	Indoor Environmental Quality, qualità dell'ambiente interna
IR	Infra Red, infrarosso
NDIR	Non Dispersive Infra Red, infrarosso non dispersivo
PM	Particulate Matter, particolato
TVOC	Total Volatile Organic Compounds, composti organici volatili totali
VOC	Volatile Organic Compounds, composti organici volatili
WHO	World Health Organization, Organizzazione Mondiale della Sanità

4.3 UNITÀ DI MISURA

ppb	Parti per miliardo
ppm	Parti per milione
Bq	Becquerel
UFC	Unità formanti colonia

5 PRINCIPIO

La qualità dell'aria è una componente della qualità degli ambienti interni, insieme al comfort termico, il comfort illuminotecnico e il comfort acustico. Alcuni inquinanti sono strettamente collegati ai parametri del comfort termico, come descritto in seguito.

La qualità dell'aria interna è definita accettabile quando “non sono presenti contaminanti in concentrazione superiore ai limiti consentiti e quando una larga maggioranza delle persone esposte non esprime insoddisfazione”. L'approccio soggettivo, ovvero quello che indaga la soddisfazione degli occupanti, le loro lamentele e la loro percezione è una tematica complessa e non indagabile tramite misure oggettive, che sono invece l'oggetto della presente prassi di riferimento.

Gli inquinanti presenti all'interno di un'aula didattica possono avere due origini.

- Interna:
 - emessi dai materiali che costituiscono la struttura e l'arredo dell'aula;
 - emessi dall'attività metabolica dalle persone che soggiornano all'interno dell'aula;
 - emessi dalle attività svolte dalle persone all'interno dell'aula;
 - emessi dai sistemi impiantistici presenti se non correttamente mantenuti.
- Esterna:
 - traffico veicolare;
 - emissioni gassose di impianti civili e industriali;
 - emissioni diffuse provenienti da cantieri e depositi di materiale a cielo aperto;
 - emissioni gassose naturali provenienti dal sottosuolo (ad es. radon).

L'effetto dell'inquinamento di un ambiente peggiora quando parallelamente sono presenti problemi di:

- ricambio d'aria insufficiente;
- difetti tecnici di sistemi tecnologici, strutture e elementi interni (rivestimenti);
- surriscaldamento (le elevate temperature possono favorire l'emissione di alcuni materiali).

Il controllo dell'inquinamento di un ambiente interno può essere effettuato in due modalità:

- dal gestore, monitorando in autonomia alcuni parametri indicatori, come ad esempio la CO₂
 Vantaggi: costi contenuti, controllo esteso a tutto il periodo di attività della scuola;
 Svantaggi: pochi parametri misurabili, necessita di personale formato;
- dal gestore, incaricando un laboratorio di prova
 Vantaggi: maggior numero di parametri misurabili, maggiore precisione della misura;
 Svantaggi: costi elevati.

Queste due modalità in alcuni casi possono essere impiegate in alternativa, in altri necessariamente in combinazione.

Nel prospetto 1 sono descritti i parametri misurabili in autonomia e quelli che necessitano il coinvolgimento di un laboratorio di prova. Ulteriori dettagli sono descritti al punto 7.4.

Prospetto 1 - Parametri di qualità dell'aria

Parametri misurabili in autonomia dalla scuola	Principali parametri che necessitano il coinvolgimento di un laboratorio di prova
- anidride carbonica (CO ₂) Parametri integrativi (opzionali): - temperatura dell'aria - umidità relativa dell'aria - pressione atmosferica	- formaldeide - VOC, TVOC - radon - particolato - misure biologiche - NOx - ...

6 ANALISI PRELIMINARI E SOPRALLUOGHI DEGLI EDIFICI SCOLASTICI

6.1 GENERALITÀ

La caratterizzazione dello stato di fatto dell'edificio è alla base delle valutazioni sull'approccio di misura dei parametri della qualità degli ambienti indoor.

Per la valutazione dell'approccio alle misure di qualità dell'aria si può fare riferimento alla norma UNI EN ISO 16000-32 che descrive i requisiti per verificare la presenza di inquinanti o di altri fattori nocivi negli edifici, la successiva campionatura di aree sospette e l'individuazione della quantità e del tipo di inquinante.

6.2 SOPRALLUOGHI

In Appendice A è riportato un esempio di formulario per eseguire un sopralluogo in un edificio scolastico con finalità di valutazione della qualità dell'aria e parametri influenti e dei sistemi tecnologici.

7 INDICATORI, INQUINANTI E APPROCCIO ALLE MISURE

7.1 GENERALITÀ

La misura della qualità dell'aria deve necessariamente fornire un'informazione corretta e chi la fa deve avere quindi conoscenze specifiche sulle tecniche e il contesto in cui viene fatta. Una misura è il risultato dell'impiego di strumentazione abbinato a procedure standardizzate, ma anche conoscenza delle variabili che condizionano il risultato della misura e del contesto in cui la misura viene effettuata.

Ai fini di una corretta interpretazione dei dati, per esempio misurati nello stesso ambiente ma da istituti diversi, è necessario che la persona che effettua tale interpretazione conosca il livello di equivalenza tra i vari metodi di misurazione. I metodi riportati nelle normative UNI, EN, ISO, sono detti "metodi di riferimento", tutti gli altri metodi, nazionali o alternativi, possono essere comunque impiegati, previa verifica che i risultati ottenuti siano equivalenti a quelli ottenuti con il metodo di riferimento (per questo esistono delle norme dedicate): tale operazione deve essere condotta dal laboratorio che decide di impiegare un metodo alternativo, mentre il gestore deve sincerarsi che il laboratorio lo abbia fatto.

Il metodo di prova descrive le tecniche che consentono di misurare un parametro fisico o chimico che caratterizza la qualità dell'aria di un ambiente. Queste tecniche hanno sostanzialmente due approcci, di seguito descritti. In funzione dell'inquinante/indicatore possono essere adottate solo misure dirette o indirette oppure entrambe.

- Misura indiretta, in questo caso la sostanza da misurare viene prima concentrata su un supporto idoneo (fiala, filtro, soluzione) e poi determinato in un altro momento. La misura indiretta è più sensibile, precisa di quella diretta, il risultato che ottengo rappresenta la concentrazione media dell'inquinante nel tempo che ho impiegato a prelevare (30 min, 1 ora ecc.). Uno svantaggio della misura indiretta è che si presta poco a prelievi di breve durata e il suo impiego è più costoso di quella diretta.
- Misura diretta, è caratteristica della strumentazione automatica dove il risultato della misura è ottenuto in tempi molto brevi (secondi). La misura diretta è alle volte meno sensibile di quella indiretta ma ha il vantaggio di ottenere gli andamenti nel tempo della concentrazione di un

inquinante. Importante nella misura diretta è che lo strumento sia in grado di misurare l'evento nello stesso tempo in cui questo avviene.

7.2 UNITÀ DI MISURA

Le principali unità di misura e relative conversioni sono descritte per i seguenti parametri riferiti all'aria indoor: temperatura, umidità, pressione, concentrazione di gas, tasso di ventilazione.

7.2.1 TEMPERATURA

L'unità di misura più diffusa è il grado Celsius (simbolo °C), mentre l'unità di misura della temperatura nel Sistema Internazionale (SI) è il Kelvin (simbolo K). La conversione tra gradi Celsius e Kelvin è la seguente: $T [K] = T [^{\circ}C] + 273.15$.

7.2.2 UMIDITÀ

Il parametro più utilizzato è l'umidità relativa, definita come il rapporto tra la massa di vapore acqueo contenuto in un certo volume di aria e la massima massa di vapore contenibile nello stesso volume in condizioni di saturazione (tale valutazione deve essere fatta a una determinata temperatura). L'umidità relativa è espressa in %.

Il parametro che correla l'umidità relativa e la temperatura è definito umidità specifica. È definito come contenuto di vapore d'acqua dell'aria umida, ovvero dal rapporto tra la massa di vapore acqueo e la massa di aria secca contenute nello stesso volume d'aria umida. L'umidità specifica è espressa in kg_v/kg_{as} , dove il pedice v indica il vapore, mentre as l'aria secca.

7.2.3 PRESSIONE ATMOSFERICA

Grandezza fisica che esprime il rapporto tra la forza peso della colonna d'aria che grava su una superficie e la misura dell'area della superficie stessa. Si misura nel sistema internazionale in pascal (Pa). Lo strumento che la misura è il barometro.

7.2.3.1 Differenza di pressione (o pressione differenziale)

La differenza di pressione tra l'interno (dell'edificio) e l'esterno dipende dal gradiente termico e dalla differenza tra l'interno e l'esterno della densità dell'aria. In assenza di altre forze (come ad esempio il vento) e assumendo nullo l'effetto camino, quando l'interno è più caldo dell'esterno, la base dell'edificio è in depressione rispetto all'esterno e la parte alta è in pressione rispetto all'esterno. Se l'aria interna è più fredda, è vero il contrario. Tale fenomeno è strettamente legato alla migrazione di gas radon dal terreno verso gli ambienti interni. La differenza di pressione si esprime in Δp .

7.2.4 GAS NELL'ARIA

La concentrazione dei gas inquinanti nell'aria viene generalmente espressa in:

- ppm: parti di inquinante per milione di parti di aria. $1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$
- ppb: parti di inquinante per miliardo di parti di aria. $1 \text{ ppb} = 1/1000 \text{ ppm}$
- mg/m^3 : milligrammi di inquinante per metro cubo di aria
- $\mu g/m^3$: microgrammi di inquinante per metro cubo di aria
- Vol%: concentrazione di un inquinante espressa come rapporto sul volume d'aria

- Bq/m³: Becquerel per metro cubo di aria, esprime la radioattività di un gas
- Fibre/litro: numero di fibre per litro d'aria.

Per la conversione delle unità di misura si utilizzano le seguenti equazioni:

Prospetto 2 - Conversione delle concentrazioni

Gas	Conversione a 25 °C
CO	1 ppb = 1.146 µg/m ³
CO ₂	1 ppb = 1.800 µg/m ³
HCHO	1 ppb = 1.228 µg/m ³
NO ₂	1 ppb = 1.882 µg/m ³
O ₃	1 ppb = 1.963 µg/m ³

7.2.5 TASSO DI RICAMBIO DELL'ARIA E PORTATE

Il tasso di ricambio dell'aria rappresenta la velocità con cui tutta l'aria all'interno di una stanza viene sostituita mediante aerazione o ventilazione. Viene calcolato come massa d'aria ricambiata rispetto al volume totale della stanza in questione ed è indicato nell'intervallo di tempo di un'ora.

Le unità di misura utilizzate per caratterizzare il ricambio d'aria negli ambienti indoor sono:

- portata: m³/h, L/s/persona, L/s/per area
- tasso di ventilazione: vol/h, h⁻¹.

7.3 INDICATORI E INQUINANTI

I principali indicatori e inquinanti della qualità dell'aria sono di seguito descritti all'interno dei prospetti. Per ogni parametro è riportata una descrizione, i dettagli per le misure e un esempio di rappresentazione e di lettura dei dati.

Guida alla lettura dei prospetti e dei grafici

I valori riportati nei grafici devono essere letti come esempio di rappresentazione grafica, secondo quanto indicato nell'Appendice E dedicata alla rappresentazione delle misure. I grafici sono quindi esempi che non devono essere presi come riferimento di limiti oppure valori guida da seguire. Le unità di misura di ogni parametro sono rappresentate sugli assi, per ulteriori dettagli fare riferimento alla descrizione riportata dopo i grafici.

Incertezze di misura

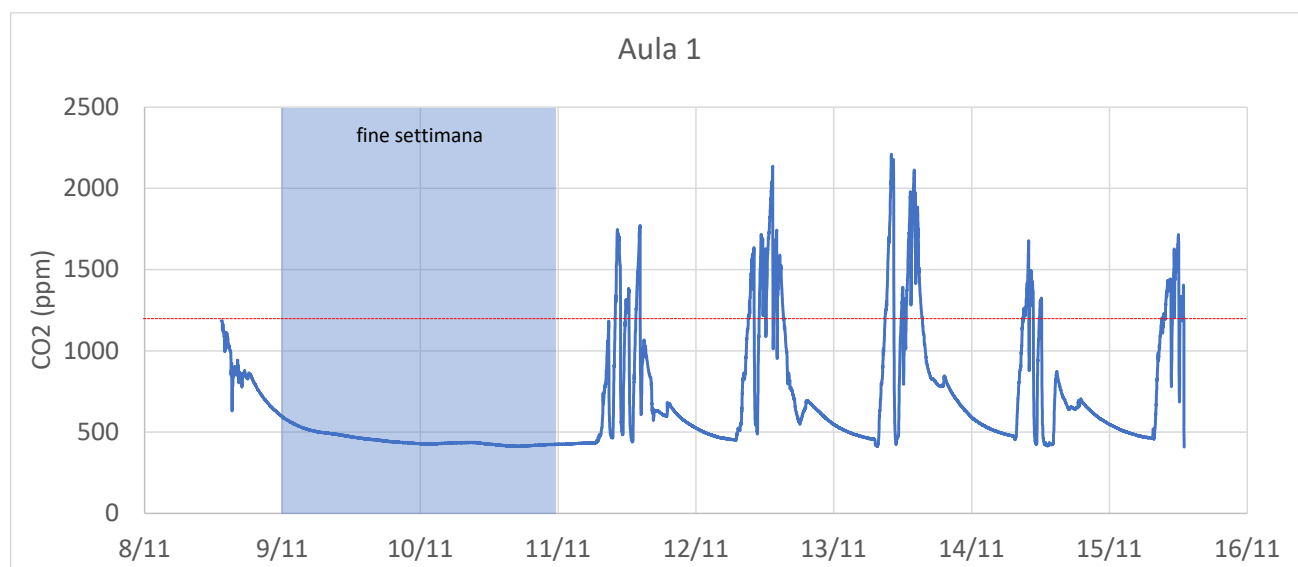
Ogni misura è caratterizzata da un errore, questo errore va stimato e associato al risultato della misura preceduto dal segno $\pm$. L'errore della misura associato al risultato prende il nome di "incertezza di misura". L'approccio alla stima dell'incertezza di misura è una materia complessa, trattata in diverse norme, la principale è la ISO/IEC Guide 98-3:2008.

Durata dei monitoraggi

La durata dei monitoraggi è legata ai loro obiettivi, alle caratteristiche degli strumenti e ai risultati ottenuti.

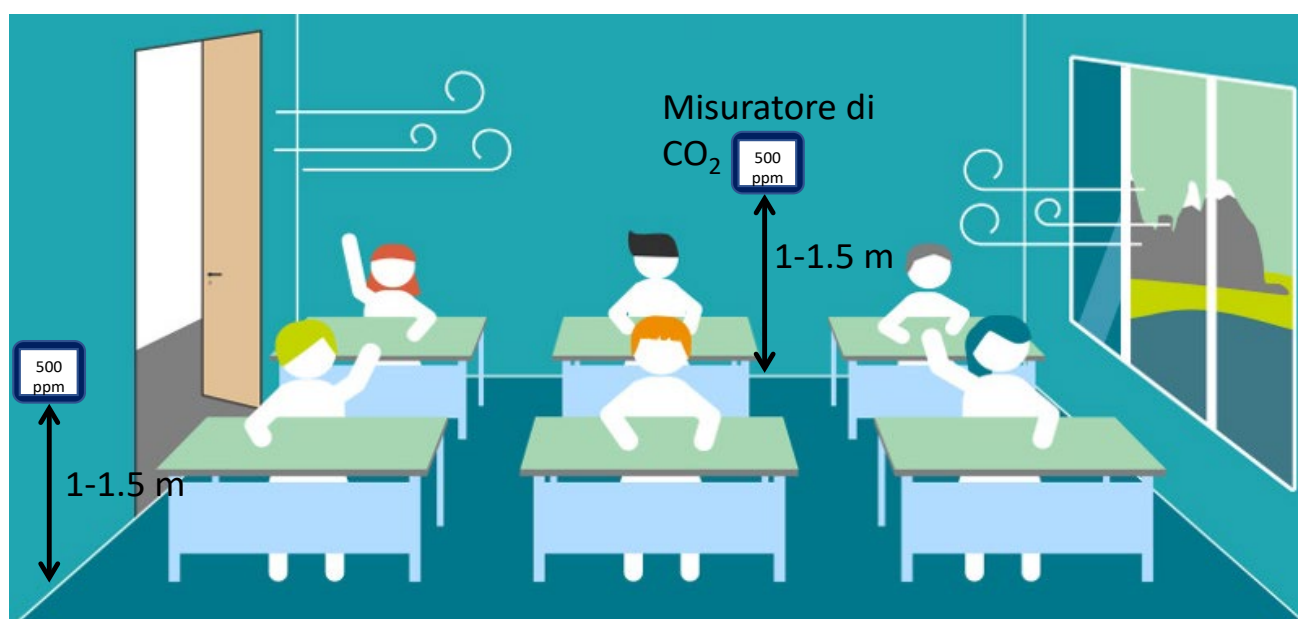
Prospetto 3 - Anidride carbonica

Che cos'è	La CO ₂ è un gas incolore e inodore, prodotto di scarto della respirazione cellulare: è prodotta dall'uomo con la respirazione. È inoltre prodotta dai processi di combustione. È il principale indicatore della qualità dell'aria. Sebbene se a concentrazioni ridotte non sia un inquinante la CO ₂ viene misurata perché permette di quantificare facilmente la concentrazione degli inquinati indoor.
Fonti	La principale fonte di emissione all'interno dei locali scolastici di CO ₂ sono le persone.
Finalità del monitoraggio	– Valutazione della qualità dell'aria in ambienti occupati dalle persone; monitoraggio in continuo. – Determinazione delle caratteristiche di aereazione/ ventilazione dell'ambiente. – Valutazione di strategie di ricambio dell'aria. – Verifica di soluzioni di riqualificazione (aperture, sistemi di ventilazione...). – Confronto con valori normativi.
Unità di misura	ppm (riferimenti: UNI EN 16798-1 e UNI EN ISO 16000-26).
Principio di misura	Rilevatori ad infrarosso (IR) o infrarosso non dispersivo (NDIR).
Norma tecnica di riferimento	La norma UNI EN ISO 16000-26 descrive la pianificazione delle misurazioni dell'inquinamento da anidride carbonica.
Cosa deve contenere il report del monitoraggio (per misure effettuate da laboratorio di prova)	Oltre ai contenuti riportati in Appendice B (che fanno riferimento alla norma UNI EN ISO 16000-26) potranno essere raccolte le seguenti informazioni aggiuntive che migliorano la comprensione dei dati del monitoraggio: – numero di alunni (ora per ora); – caratteristiche e funzionamento del sistema di ventilazione (quando presente); – apertura/chiusura delle finestre/porte.
Durata, dettagli del periodo di misura e indicazioni operative per il monitoraggio	– Durata: almeno 1 settimana con un fine settimana. – Intervallo di misura: 1 minuto. – Collocazione: seguire quando riportato in UNI EN ISO 16000-26: installazione tra 1.0 - 1.5 metri da terra come altezza rappresentativa dell'aria che gli occupanti respirano. Gli strumenti di misura dovranno essere collocati lontano da fonti di calore (sistemi di riscaldamento, irraggiamento) e dalle aperture/ immissione dei sistemi di ventilazione. In figura 2 è rappresentato un esempio di collocazione corretta.
Influenza con altri parametri	Sì: tasso di ventilazione, temperatura dell'aria.
Limiti normativi o legislativi	La norma UNI EN 16798-1 descrive i limiti di concentrazione in funzione delle categorie di comfort. Il valore di 1200 ppm (800 + 400) ppm viene assunto come riferimento per una buona qualità dell'aria negli edifici scolastici. Il valore di 400 ppm viene preso come riferimento della concentrazione di CO ₂ esterna in mancanza di un dato da monitoraggio (Fonte: UNI CEN/TR 16798-2).

Figura 1 - Esempio di rappresentazione dei dati di CO₂

In figura 1 è rappresentato un esempio di grafico di concentrazione di CO₂. Elementi importanti, per facilitare la lettura del grafico sono:

- titolo (ad esempio locale nel quale è stata eseguita la misura) e unità di misura;
- intervallo temporale rappresentativo (nel grafico una settimana di misura con evidenziato il fine settimana; è possibile dettagliare una singola giornata di misura);
- limiti normativi considerati (con il relativo riferimento). Nel grafico il limite inserito è 1200 ppm (UNI EN 16798-1, Classe II).

Figura 2 - Esempio di collocazione di misuratori di CO₂

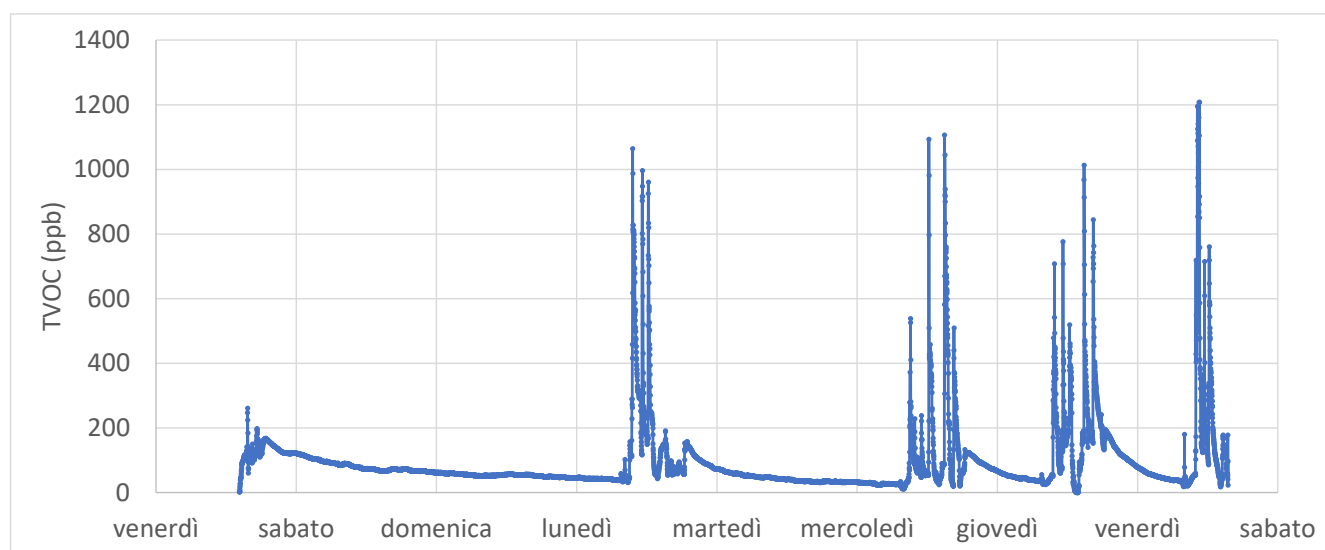
In figura 2 sono rappresentati due esempi di collocazione della strumentazione per la misura della CO₂. La collocazione si riferisce anche alla misura di altri parametri quali la temperatura e l'umidità relativa, se misurati con un unico strumento.

Prospetto 4 - VOC e TVOC

Che cosa sono	La classe dei composti organici volatili - COV o VOC comprende svariati composti con comportamenti fisici e chimici differenti, ma sono accomunati dal fatto che presentano un'elevata volatilità. Tali composti sono caratterizzati dalla presenza di carbonio legato organicamente. Sono inquinanti gassosi che possono provenire dall'esterno o da fonti interne: idrocarburi alifatici, aromatici e clorurati, aldeidi (es. formaldeide), terpeni, alcoli, eteri e chetoni, BTEX (benzene, toluene, etilbenzene e xilene). La sommatoria dei singoli composti organici volatili si definisce TVOC ovvero composti organici volatili totali; trattasi di numerosi gruppi di composti, difficoltosi da determinare singolarmente, alle volte si preferisce quindi determinarli come sommatoria di tutti i composti. Un elenco dettagliato delle fonti dei singoli VOC è riportato nell'Appendice informativa B della norma UNI EN ISO 16000-32.	
Fonti	Le fonti interne di un ambiente indoor sono: – i materiali costituenti l'involucro edilizio e gli arredi; – le presone presenti; – le attività svolte. Le fonti esterne sono: – traffico motorizzato; – emissioni di flussi convogliati civili e industriali.	
Finalità del monitoraggio	Come per gli altri inquinanti la finalità della misura è l'ottimizzazione della ventilazione e/o filtrazione affinché un dato inquinante non sia presente in concentrazioni né nocive né che possano recare fastidio.	
	VOC	Determinazione delle concentrazioni dei singoli VOC
	TVOC	Valutazione in continuo delle concentrazioni dei TVOC
Unità di misura	$\mu\text{g}/\text{m}^3$, ppb	
Principio di misura	VOC	Campionamento con cartucce adsorbenti, campionatori passivi o canister, determinazione gascromatografica
	TVOC	Come per VOC e poi sommati
Norma tecnica di riferimento	UNI EN ISO 16000-5	
Cosa deve contenere il report del monitoraggio (per misure effettuate da laboratorio di prova)	Durante la pianificazione del monitoraggio, devono essere specificati i parametri rilevanti. I parametri rilevati devono essere indicati nel report insieme all'incertezza di misura. I risultati di una misura con gascromatografia dei VOC, dovranno essere riportati per singolo composto, espressi in concentrazione e associati all'incertezza di misura. Quando si utilizzano campionatori passivi, devono essere specificate le formule di conversione utilizzate per calcolare il risultato, compresi i coefficienti di diffusione e i tassi di assorbimento. L'analisi per singolo composto non consente di individuare tutti i VOC presenti, quindi la sommatoria sarà sottostimata. L'analisi dei TVOC riduce tutti i VOC in un unico segnale associato a un VOC di riferimento (es isobutilene). La diversa risposta dei singoli composti al VOC di riferimento fa sì che anche in questo caso il risultato sarà sotto o sovrastimato.	

	Aldeidi a bassa massa molecolare, ammine e VOC altamente polari, possono essere esclusi e dovranno così essere determinati separatamente utilizzando metodi adeguati.	
Controllo sulla qualità della misura e sulla strumentazione	La misura necessita di strumentazione e competenze specifiche, in possesso ai laboratori di prova. l'accreditamento della prova è una garanzia per l'attendibilità del risultato.	
Durata, dettagli del periodo di misura e indicazioni operative per il monitoraggio	VOC	Per ambienti con aerazione, se si vuole osservare il contributo dei materiali: arieggiare intensamente gli ambienti per 15 minuti, a seguito dei quali dovranno essere chiuse tutte le aperture per 8 ore (ottimali se durante la notte). Il campionamento dovrà essere eseguito con porte e finestre chiuse. Per ottenere informazioni sull'efficacia della ventilazione intensiva oraria, la stanza viene ventilata intensamente dopo il campionamento aprendo porte e finestre per 5 min. Si richiudono porte e finestre e dopo un tempo di attesa di 1 h viene prelevato un ulteriore campione. Per ambienti con ventilazione meccanica: accendere l'impianto almeno 3 ore prima dell'inizio della misura. Annotare il funzionamento dell'impianto.
	TVOC	Misura in continuo: utilizzare l'ambiente per le normali attività. Non è necessaria preparazione prima della misura.
Influenza con altri parametri	Sì: temperatura e umidità relativa e tasso di ventilazione (Fonte: UNI EN ISO 16000-5)	
Limiti normativi o legislativi	Nella norma UNI EN 16798-1 sono riportati i limiti sulle emissioni dei materiali; non vi è limite specifico per la concentrazione di TVOC nell'aria. Vi sono valori guida fissati dall'OMS e da organismi non italiani (come ad esempio Umweltbundesamt tedesco).	

Figura 3 - Esempio di rappresentazione dei dati di TVOC



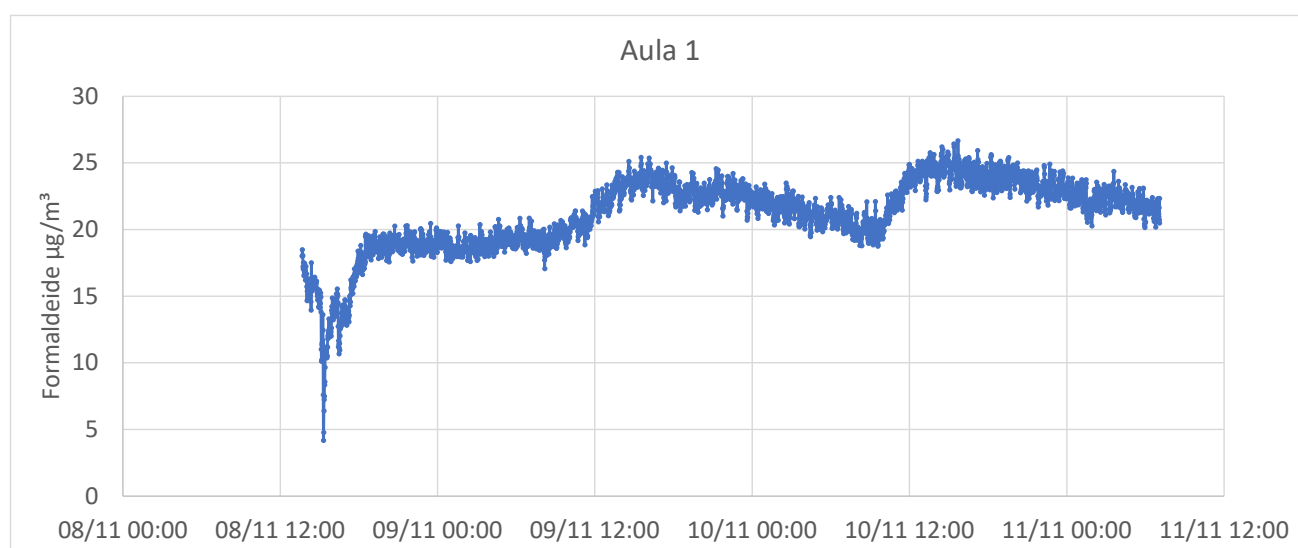
Nel grafico è rappresentato l'andamento di TVOC (espresso in ppb) in continuo in un'aula.

Prospetto 5 - Formaldeide

Che cos'è	Composto organico volatile (VOC) tra i più diffusi e noti, gas incolore con un odore acre e irritante. Secondo lo IARC è un prodotto cancerogeno di classe A1, è questo il principale motivo di ricerca e dell'esistenza di un limite di legge. Usata nell'industria chimica, nella fabbricazione di oggetti di design d'interni e nei prodotti per la pulizia. Molti prodotti della costruzione contengono formaldeide, in particolare viene utilizzato per la produzione di resine, utilizzate a loro volta per la produzione di truciolato e materiali a base di legno, colle, prodotti isolanti, ecc. La formaldeide viene rilasciata anche a distanza di molti anni dai collanti in cui è presente.	
Fonti	Oltre a essere un prodotto della combustione (fumo di tabacco e altre fonti di combustione), è anche emesso da resine urea-formaldeide usate per l'isolamento e da resine usate per truciolato e compensato di legno, per tappezzerie, moquette, tendaggi e altri tessuti sottoposti a trattamenti antipiega e per altro materiale da arredamento e schiume melamminiche.	
Finalità del monitoraggio	Monitoraggio puntuale: verifica concentrazione per rispetto limiti legislativi. Monitoraggio in continuo: valutazione delle variazioni nel tempo della concentrazione di formaldeide al variare della temperatura e di altri parametri, come ad esempio il tasso di ventilazione dell'ambiente. Altre finalità (UNI EN ISO 16000-2): – verificare l'efficacia di interventi di bonifica.	
Unità di misura	$\mu\text{g}/\text{m}^3$, mg/m^3 , ppm	
Principio di misura	Esistono diversi metodi per misurare la formaldeide. Fondamentalmente, soddisfano diverse esigenze e possono essere suddivisi in misurazioni a breve termine con campionamento attivo, misurazioni a lungo termine con campionatori attivi o diffusivi, misurazioni continue: – cromatografia liquida ad alta pressione (HPLC), fiale trattate con DNPH; – prelievo di aria con un captatore, reazione con un reattivo, determinazione analitica (secondo ISO 16000-3).	
Norma tecnica di riferimento	UNI EN ISO 16000-2 ISO 16000-3 (monitoraggio breve termine – 1 ora)	
Cosa deve contenere il report del monitoraggio (per misure effettuate da laboratorio di prova)	– Condizioni dell'ambiente durante la misura (temperatura, umidità relativa) – Collocazione della strumentazione – Verifica del condizionamento effettuato nelle ore precedenti alla misura in condizioni di equilibrio – Impostazioni e funzionamento sistemi di ventilazione se presenti.	
Durata, dettagli del periodo di misura e indicazioni operative per il monitoraggio	Misura puntuale (monitoraggio breve termine)	Per ambienti con aerazione: arieggiare intensamente gli ambienti per 15 minuti, a seguito dei quali dovranno essere chiuse tutte le aperture per almeno 8 ore (ottimali se durante la notte). Il campionamento dovrà essere eseguito con porte e finestre chiuse. Per ambienti con ventilazione meccanica: accendere l'impianto almeno 3 ore prima dell'inizio

		della misura. Annotare il funzionamento dell'impianto. Durata indicativa: da 30 minuti a più ore. La Circolare del Ministero della Sanità non fornisce indicazioni sulla durata della misura.
	Misura in continuo (monitoraggio lungo termine)	Utilizzare l'ambiente per le normali attività. Non è necessaria preparazione prima della misura. Durata indicativa: 2 giorni. Tale misura è molto complessa ed dovrà essere valutata in specifiche situazioni.
Influenza con altri parametri	Sì: temperatura (interna e esterna), umidità e ventilazione, condizionano sensibilmente il risultato della prova.	
Limiti normativi o legislativi	Circolare del Ministero della Sanità n. 57 del 22 giugno 1983: limite concentrazione formaldeide: 0,1 ppm = 123 µg/m³. Organizzazione Mondiale della Sanità: limite concentrazione formaldeide: 100 µg/m³.	

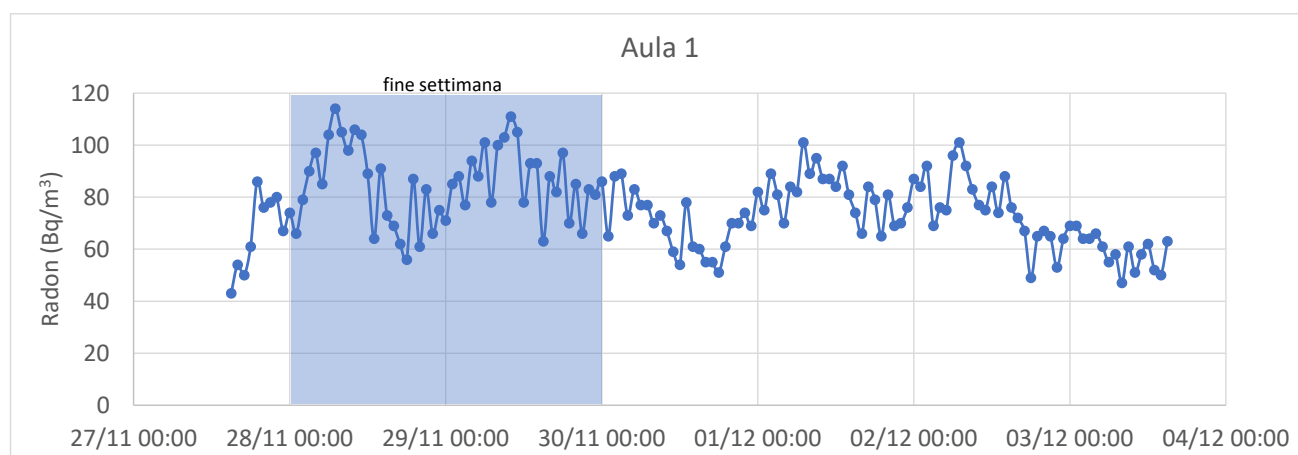
Figura 4 - Esempi di rappresentazione dei dati di formaldeide in continuo



Il grafico mostra un monitoraggio invernale in continuo di classe in una scuola dell'infanzia durante un fine settimana. La variazione di concentrazione è legata alla variazione della temperatura dell'ambiente.

Prospetto 6 - Radon

Che cos'è	Gas nobile di origine naturale incolore e radioattivo, prodotto di disintegrazione dell'uranio. Presente nella crosta terrestre, il Radon penetra negli edifici attraverso crepe, fessure o punti aperti delle fondamenta.	
Fonti	La fonte principale del Radon nelle abitazioni sono le rocce sottostanti l'edificio e il terreno fino alla superficie, dai quali il gas radon viene propagato. Fonte secondaria possono essere i materiali da costruzione.	
Finalità del monitoraggio	– Monitoraggio annuale: verifica concentrazione per rispetto limiti legislativi. – Monitoraggio in continuo di durata inferiore a un anno: valutazione delle concentrazioni presenti nei locali al momento del loro utilizzo; valutazione delle variazioni nel tempo della concentrazione di radon al variare della temperatura e di altri parametri, come ad esempio il tasso di ventilazione dell'ambiente. Altre finalità: – verificare l'efficacia di interventi di risanamento.	
Unità di misura	Bq/m ³	
Principio di misura	<u>Sistemi passivi:</u> – Rilevatori a tracce nucleari (definiti anche <i>dosimetri</i>) – Rilevatori a elettrete <u>Sistemi attivi:</u> – Rivelatori a gas (camera di ionizzazione) – Rivelatori a scintillazione (Celle di Lucas) – Rivelatori a semiconduttore (Silicio)	
Norma tecnica di riferimento	UNI ISO 11665-1 UNI ISO 11665-4 (campionamento passivo) UNI ISO 11665-5 (misure in continuo) UNI ISO 11665-6 (misure puntuali)	
Cosa deve contenere il report del monitoraggio (per misure effettuate da laboratorio di prova)	– Collocazione della strumentazione di misura. – Condizione dell'ambiente (presenza/assenza di impianti di ventilazione ecc.), numero di aperture. – Piano.	
Durata, dettagli del periodo di misura e indicazioni operative per il monitoraggio	Campionamento passivo	Il D.Lgs 101/2020 prevede una misura della durata di 1 anno.
	Misure in continuo	Il periodo di misura varia in funzione degli obiettivi di monitoraggio da 1 settimana a periodi più lunghi.
Influenza con altri parametri	Sì: temperatura e tasso di ventilazione.	
Limiti normativi o legislativi	D.Lgs 101/2020: livello massimo di riferimento espresso in termini di valore medio annuo della concentrazione di attività di radon in aria: 300 Bq/m ³ (gli edifici scolastici sono inclusi tra i luoghi di lavoro). Tale valore è un livello di riferimento, ovvero si consiglia di intervenire per ridurre le concentrazioni anche quanto il limite non viene raggiunto, ma si avvicina.	

Figura 5 - Esempio di rappresentazione dei dati di radon

Variazioni di concentrazione di radon in una scuola durante una settimana invernale.

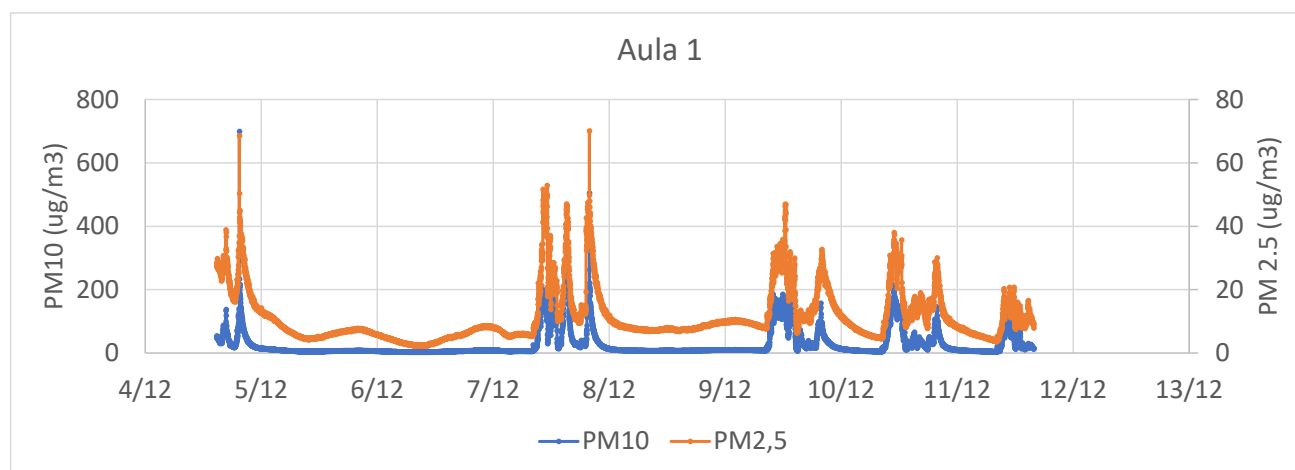
Prospetto 7 - Polveri (particolato)

Che cos'è	Per “polveri” si intendono tutte le particelle solide che rimangono sospese in aria per un tempo sufficiente a interessare le vie respiratorie. La sigla PM “Particulate Matter” viene tradotta con “materiale particellare sospeso”, il numero accanto indica la grandezza del diametro della particella che può variare fino a 10 micron o micrometri (1 micron = 1 milionesimo del metro). Il PM10 è chiamato anche frazione toracica in quanto, passando per il naso, è in grado di raggiungere la gola e la trachea (localizzate nel primo tratto dell'apparato respiratorio). Le particelle più piccole (con diametro inferiore a 2,5 micron) chiamate PM2,5 o frazione respirabile, possono invece arrivare ancora più in profondità nei polmoni.
Fonti	Indoor: combustione (camini e stufe per il riscaldamento e per la preparazione di cibi), desquamazione della pelle, rilascio da parte di materiali da costruzione ed elementi di arredo, sollevamento di polveri legata a diverse attività, cattivo stato di manutenzione dei sistemi di condizionamento. Outdoor: gas di scarico prodotti da mezzi di trasporto con motori a benzina e diesel (auto, bus, camion, motorini, ecc.), sollevamento di polveri dalle superfici stradali, combustioni derivate dagli impianti di riscaldamento e dai camini per uso di biomasse e gasolio.
Finalità del monitoraggio	– Identificare le principali sorgenti indoor e outdoor dell'inquinamento associato al PM10 e PM2,5 e alle sue caratteristiche chimiche e stimarne i relativi contributi; – eseguire la raccolta di specifiche informazioni che agevolino i processi decisionali dei soggetti competenti, in sede di valutazione dell'esposizione degli occupanti al PM10 e PM2,5 e alle sostanze tossiche, con riferimento ai diversi tempi di permanenza in un dato ambiente indoor; – verificare il rispetto di valori guida o di riferimento stabiliti dalle Autorità competenti o da Organismi internazionali (es. WHO).
Unità di misura	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Principio di misura	Misura in continuo	Diffrattometro laser
	Misura puntuale	Metodo gravimetrico: determinazione della concentrazione in massa del particolato sospeso attraverso la filtrazione su filtri e pesatura di questi tramite bilancia. Solo per polveri totali.
Norma tecnica di riferimento	UNI EN 12341 (metodo gravimetrico): PM10 e PM2.5 ISO 16000-34 ISO 16000-37(PM2.5)	
Cosa deve contenere il report del monitoraggio (per misure effettuate da laboratorio di prova)	Vedere Appendice B.	
Controllo sulla qualità della misura e sulla strumentazione	La norma UNI EN 12341 contiene tutte le indicazioni procedurali essenziali. In particolare sono descritte in tale norma: – le caratteristiche costruttive e prestazionali cui devono essere conformi le teste di prelievo (impattori inerziali per il “taglio” selettivo della frazione PM10 e PM2,5), le linee di aspirazione, i supporti per l'alloggiamento dei filtri, i sistemi di aspirazione; – le procedure di trattamento, trasporto, condizionamento e conservazione delle membrane filtranti; – i requisiti della bilancia analitica e le procedure per la determinazione gravimetrica; – le procedure di controllo e assicurazione di qualità; – i criteri di misura e l'espressione dei risultati.	
Durata, dettagli del periodo di misura e indicazioni operative per il monitoraggio	Per definire il periodo temporale di osservazione bisogna fare riferimento ai valori guida, stabiliti dalle Autorità competenti o contenuti nelle linee guida WHO (2021). Infatti, se si vuole confrontare la concentrazione ottenuta con un valore-guida di riferimento, la durata del monitoraggio deve essere uguale al tempo associato al valore-guida (per il PM10 e PM2,5 è nominalmente di 24 h). Se invece la durata del campionamento è inferiore alla durata prevista dal valore guida/riferimento, ma viene scelta in base allo svolgimento di attività scolastiche, alla permanenza di persone, o all'attivazione di fonti interne, la misura fornisce un valore orientativo che risulterà utile a individuare e a stimare i possibili contributi ai livelli di contaminazione di un dato ambiente, indotti dall'attività delle singole sorgenti in funzione al momento del rilevamento. È quindi necessario acquisire le informazioni circa la presenza/assenza di occupanti e quali azioni essi svolgano all'interno dei locali, sul funzionamento/attivazione degli impianti di ventilazione meccanica, riscaldamento, ecc. In ogni caso, dovranno essere specificati i parametri e le condizioni d'uso degli ambienti indoor per i quali le misurazioni si possano ritenere rappresentative. La frequenza delle misure viene pianificata in relazione all'obiettivo del monitoraggio tenendo conto delle attività, della/e sorgente/i, delle possibili	

	variazioni temporali (orarie, giornaliere, mensili, stagionali), delle variabili microclimatiche. I campionatori di PM10 e PM2,5 da utilizzare nelle attività di prelievo devono essere rispondenti alle caratteristiche della norma UNI EN 12341.
Influenza con altri parametri	Sì: tasso di ventilazione.
Limiti normativi o legislativi	Il valore guida WHO aggiornata nel 2021 per l'esposizione della popolazione a PM2,5 su base annuale è pari a 5 µg/m³, mentre quello giornaliero è 15 µg/m³. Per l'esposizione della popolazione a PM10, il valore guida annuale della WHO è di 15 µg/m³ mentre su base giornaliera è 45 µg/m³. Secondo la guida WHO 2021, i valori guida definiti per il PM10 e per il PM2,5 in aria ambiente sono applicabili anche agli ambienti indoor.

Figura 6 - Esempio di rappresentazione dei dati di particolat



Nel grafico sono rappresentati gli andamenti di PM10 (in blu, con lettura dei valori sull'asse di sinistra) e di PM2,5 (in arancione, con lettura dei valori sull'asse di destra).

Prospetto 8 - Ossidi di azoto

Che cos'è	Gli ossidi di azoto sono: biossido di azoto (NO ₂) e monossido di azoto (NO); questi possono essere presenti in aria ambiente come gas di colore rosso bruno, di odore pungente e altamente tossico.
Fonti	In ambienti indoor le sorgenti di NO ₂ sono costituite dai fornelli da cucina, dalle stufe, dagli impianti di riscaldamento con caldaie interne e dal fumo di tabacco ambientale. Una fonte outdoor è rappresentata dal traffico veicolare e dalla presenza di garage o parcheggi coperti, essendo l'NO ₂ contenuto anche nei gas di scarico degli autoveicoli. Ulteriore fonte sono le emissioni gassose convogliate di impianti civili e industriali.
Finalità del monitoraggio	Determinare e quantificare la presenza di ossidi di azoto.
Unità di misura	µg/m³, ppm
Principio di misura	Chemiluminescenza ultravioletti UV.

Norma tecnica di riferimento	UNI EN ISO 16000-15 UNI EN 14211
Cosa deve contenere il report del monitoraggio (per misure effettuate da laboratorio di prova)	Quando si utilizzano campionatori diffusivi, deve essere riportata l'equazione di conversione utilizzata per calcolare il risultato. Nei risultati della misurazione, i dati numerici sono generalmente riportati in modo che l'ultima cifra decimale (posizione significativa) rifletta contemporaneamente l'ordine di grandezza dell'incertezza di misura.
Influenza con altri parametri	Sì: tasso di ventilazione.
Limiti normativi o legislativi	Il valore guida WHO aggiornata nel 2021 per l'esposizione della popolazione a NO ₂ su base annuale è pari a 10 µg/m ³ , mentre quello giornaliero è 25 µg/m ³ .

Prospetto 9 - Agenti biologici (in aria)

Che cosa sono	Particelle organiche aerodisperse di dimensione dell'ordine dei micrometri, spesso legate ad altre particelle di dimensioni maggiori, costituite da acari della polvere, materiali biologici, batteri (es. legionelle), virus, funghi (muffe e lieviti), pollini. I parametri microbiologici per un'analisi quantitativa di base sono rappresentati da: – carica batterica psicrofila batteri con crescita intorno ai 22 °C (intervallo 15-25 °C), considerati indicatori di contaminazione microbica ambientale; – carica batterica mesofila batteri con crescita intorno ai 37 °C (intervallo 25-40 °C), considerati indicatori di contaminazione di origine umana o animale; – carica fungina comprendente muffe e lieviti, indicatori ambientali molto importanti, in quanto sono molto spesso correlati a un'elevata umidità e polverosità, ridotta ventilazione e scarsa qualità dell'aria.
Fonti	I microrganismi sono onnipresenti e in grado di vivere e riprodursi utilizzando una moltitudine di substrati. Negli ambienti indoor come quello scolastico, l'apporto microbico dipende soprattutto dall'introduzione e dalla movimentazione di persone e oggetti; inoltre, le caratteristiche di qualità dell'aria indoor, possono essere influenzate dai movimenti di circolazione dell'aria, anche proveniente dall'esterno e, in misura minore dalla peculiarità dei materiali propri dell'ambiente stesso (arredamenti, pitture e rivestimenti delle pareti, ecc.) che, nel corso del tempo, possono rilasciare sostanze o particelle nell'ambiente.
Finalità del monitoraggio	Negli ambienti scolastici il rischio dovuto alla presenza di agenti biologici è in prevalenza di natura infettiva e allergica, in dipendenza del contenuto nel bioaerosol di batteri, virus, funghi, pollini e altre componenti di origine organica. Le vie di esposizione a condizioni di pericolo per la salute sono principalmente legate a inalazione e/o contatto di aria/superfici contaminate. Il campionamento e l'analisi del bioaerosol, oltre a consentire la valutazione delle caratteristiche biologiche dell'aria, rappresenta anche uno strumento indispensabile per

	prevenire il rischio sanitario per la popolazione in generale e per quella scolastica in particolare. Obiettivo principale è quindi verificare la contaminazione batterica e fungina.	
Unità di misura	UFC/m ³ di aria (Unità Formanti Colonia per metro cubo di aria) MPN/m ³ di aria (Numero più Probabile di Microrganismi per metro cubo di aria)	
Principio di misura	Campionamento per sedimentazione o gravimetrico	I microrganismi, veicolati dalle particelle (PM) in sospensione nell'aria, vengono raccolti per deposizione sulla superficie di una piastra (capsula di Petri) di dimensioni note, esposta all'aria per tempi predeterminati e contenente un idoneo terreno di coltura. Dopo opportuna incubazione delle piastre, si procede alla conta del numero di colonie cresciute e la misurazione viene espressa come numero per unità di superficie. Questo metodo non permette di correlare il numero di microrganismi rilevati a un volume di aria noto ed è influenzato dal grado di ventilazione e dall'umidità dell'aria dell'ambiente campionato.
	Campionamento	Mediante aspirazione, è possibile convogliare un determinato quantitativo di aria direttamente su un substrato nutritivo solido idoneo per la crescita microbica o in un mezzo liquido da sottoporre in seguito ad analisi. Misura la concentrazione dei microrganismi presenti nel bioaerosol del volume di aria campionato con un apposito strumento e minimizza le differenze di distribuzione dei batteri.
Norma tecnica di riferimento	UNI EN ISO 16000-19:2014 Strategie di campionamento di muffe UNI EN ISO 14698-1:2004 Controllo della biocontaminazione Metodo Unichim 1962-2:2006 Ambienti di Lavoro - Contaminazione microbiologica dell'aria (Batteri e miceti) - Determinazione mediante campionatore attivo per impatto ortogonale Rapporti ISTISAN 20/03 Qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici	
Cosa deve contenere il report del monitoraggio (per misure effettuate da laboratorio di prova)	Oltre a quanto riportato nell'Appendice B il report dovrà contenere: – tipo e caratteristiche dell'ambiente indoor e situazione al momento del prelievo (ad es. dopo le lezioni, dopo la pulizia dei locali, ecc.); – attività che vi si svolgono; – caratteristiche dell'outdoor.	
Durata, dettagli del periodo di misura e indicazioni operative per il monitoraggio	Dovendo mettere in correlazione la concentrazione microbica e la possibilità della sua inalazione durante l'esposizione, i campionatori dovranno essere posizionati a un'altezza media pari a m 1,5 da terra per simulare un'altezza media delle prime vie respiratorie umane. Nel caso di monitoraggi in ambienti scolastici in presenza di bambini (scuole dell'infanzia e scuole primarie) l'altezza del campionamento dovrà essere ridotta a 1 m. I prelievi dovranno, inoltre, essere effettuati in prossimità del centro del locale da monitorare e a una distanza da pareti, porte e finestre non inferiore a 1 m.	

Influenza con altri parametri	Si: tasso di ventilazione, temperatura, umidità relativa dell'aria e interstiziale (nelle murature).
Limiti normativi o legislativi	La variabilità dovuta alla ricettività e alla risposta individuale al rischio di infezione microbica è tale da non permettere la definizione di limiti di esposizione accettati dalla comunità scientifica internazionale e da poter essere utilizzati come valori soglia. Possono essere utilizzati i valori di riferimento riportati nelle Linee Guida di INAIL, ISS e OMS. I valori di riferimento devono essere inquadrati nel contesto oggetto di studio e considerati nel tempo in base alle caratteristiche dell'ambiente che si sta monitorando.

Figura 7 - Rappresentazione degli esiti delle misure in formato tabellare

Descrizione punto	Data prelievo	Parametro	Condizioni	MPN/m ³
Esterno	31/08	Colonie a 22°C	Dopo la pulizia	120
Esterno	31/08	Colonie a 36°C	Dopo la pulizia	65
Esterno	31/08	Muffe	Dopo la pulizia	460
Sezione	31/08	Colonie a 22°C	Dopo la pulizia	85
Sezione	31/08	Colonie a 36°C	Dopo la pulizia	80
Sezione	31/08	Muffe	Dopo la pulizia	268

Nella tabella sono rappresentate le concentrazioni di carica batterica e fungina, in una classe e all'esterno.

Prospetto 10 - Agenti biologici (su superfici)

Che cos'è	Negli ambienti indoor le superfici possono costituire un substrato ideale per lo sviluppo della flora batterica, in quest'ambito l'apporto dei microrganismi e degli elementi nutritivi necessari per il loro sostentamento può avvenire sia per contatto diretto che per sedimentazione delle particelle in sospensione nell'aria indoor. Altre superfici che possono richiedere il controllo sono quelle dei sistemi di ventilazione (canalizzazioni).	
Fonti	Come per agenti biologici (aria).	
Finalità del monitoraggio	– Verificare la corretta pulizia di superfici indoor quali banchi, sedie, maniglie, bagni. – Verificare lo stato di canali di ventilazione.	
Unità di misura	Unità Formanti Colonia (UFC) per cm ² Unità Formanti Colonia (UFC) per piastra	
Principio di misura	Metodo microbiologico	Riferibile al metodo della spugna, delle slide flessibili, delle piastre a contatto e dei tamponi.
Norma tecnica di riferimento	ISO 18953 (per le superfici) UNI EN 15780 (per le condotte aerauliche)	

Cosa deve contenere il report del monitoraggio (per misure effettuate da laboratorio di prova)	Come sopra riportato per il campionamento dell'aria.
Durata, dettagli del periodo di misura e indicazioni operative per il monitoraggio	Per le superfici: il campionamento può essere eseguito facendo aderire alla superficie da monitorare la piastra di Petri contenente il terreno colturale idoneo alla crescita dei microrganismi, che si desidera rilevare (o le slides flessibili). In alternativa si possono utilizzare i tamponi o le spugnette sterili inumidite, strofinandole sull'area da campionare. Nel caso di kit già pronti all'uso si devono seguire le indicazioni della ditta produttrice. Per le condotte aerauliche: UNI EN 15780.
Limiti normativi o legislativi	Linee guida dell'INAIL "La contaminazione microbiologica delle superfici negli ambienti lavorativi" (2017). Per valutare lo stato di contaminazione delle superfici negli ambienti scolastici, si può ricorrere a due procedure analitiche che già in altri campi vengono utilizzate per la determinazione dei microrganismi sulle superfici: la tecnica delle piastre a contatto (es. Compact Dry, Rodac Weight, Maxi Contact Plate) e la tecnica dei tamponi (Fonte: Rapporti ISTISAN 20/3).

Figura 8 - Rappresentazione degli esiti delle misure in formato tabellare

Descrizione punto	Data prelievo	Parametro	Condizioni	UFC/piastra
Aula 3: banco centrale	31/08/2021	Carica mesofila totale aerobia	Dopo la pulizia	12
Aula 3: banco centrale	31/08/2021	Muffe	Dopo la pulizia	1
Aula 3: cattedra	31/08/2021	Carica mesofila totale aerobia	Dopo la pulizia	5
Aula 3: cattedra	31/08/2021	Muffe	Dopo la pulizia	0

Prospetto 11 - Amianto

Che cos'è e fonti	L'amianto, detto anche asbesto, è un termine generico, commerciale, che raggruppa un insieme di minerali appartenenti alla serie degli anfibioli e dei serpentini, chimicamente costituiti da silicati idrati di calcio e magnesio. Grazie alle sue proprietà, l'amianto è stato ampiamente utilizzato nell'industria dal 1930, sia in forma pura che miscelato ad altri materiali, ad esempio in associazione al cemento per formare il cemento-amianto (per la produzione di tegole, lastre piane e corrugate, condutture tubi, ecc.) o ad altre sostanze chimiche, per produrre isolanti termici o acustici. La sola presenza dell'amianto, non rappresenta sempre un rischio; lo può diventare se il materiale che lo contiene è degradato o danneggiato in modo tale da disperdere le sue fibre nell'ambiente circostante, ad esempio per effetto di sollecitazioni meccaniche, per stress termici, per dilavamento di acqua o anche per soli atti di vandalismo. Malgrado la L. 257/1992 abbia proibito l'impiego e la produzione dell'amianto e dei materiali contenenti amianto, il rischio di esposizione a
-------------------	---

	tale minerale permane tuttora, poiché la maggior parte dei materiali contenenti amianto sono situati negli edifici pubblici, nelle scuole e anche nelle abitazioni civili anteriori al 1980. (Fonte: Progetto di mappatura dell'amianto nelle scuole, Lazio 2015). Le principali fonti all'interno degli edifici scolastici sono: – pavimenti in vinilamianto; – isolante dietro ai radiatori; – intonaci; – guarnizioni caldaie; – pitture.
Riferimenti legislativi	Dal punto di vista dell'individuazione dell'amianto nelle scuole e delle relative responsabilità, occorre considerare il principale provvedimento attuativo, il D.M. 06/09/1994. Questo Decreto descrive come individuare i materiali contenenti amianto, i compiti gestionali che conseguono per la mitigazione del rischio e le modalità da adottare qualora si intenda bonificare e rimuovere i materiali stessi.
Dettagli e finalità del monitoraggio, iter da seguire in caso si sospetta presenza di amianto	Spesso è difficile capire se tetti, lastre, piastrelle, tubazioni, tubi o altri materiali contengono veramente amianto dato che visivamente possono essere molto simili a quelli senza amianto. La vetustà dell'edificio costituisce un buon indizio poiché dal 1994 in Italia è vietato l'utilizzo dell'amianto. Per questo motivo si può dedurre che un edificio, costruito o risanato completamente dopo il 1994, non contenga più materiali in amianto. Negli altri casi è necessario affidarsi a un esperto che in alcuni casi dovrà analizzare il materiale sospetto. La presenza di amianto in un edificio, di per sé non comporta pericolo per la salute degli occupanti, sempre che il materiale sia in buone condizioni e non venga manomesso, bucato, tagliato o danneggiato in alcun modo. Qualora il materiale sia però danneggiato a causa della normale usura, degli agenti atmosferici o di manomissioni, si può verificare il rilascio di fibre che costituisce un serio pericolo per la salute delle persone. I gestori degli edifici nei quali sono stati trovati materiali contenenti amianto hanno l'obbligo di garantire un periodico controllo degli stessi. Le bonifiche di materiali contenenti amianto comportano generalmente un rischio, sia di tipo professionale per il personale addetto alla rimozione, sia ambientale, connesso alle modalità di smaltimento del materiale come rifiuto e una possibile contaminazione delle aree interessate all'intervento. Per prevenire un pericolo, in caso di risanamento, devono essere rispettate disposizioni molto rigide (vedi D.M. 6 settembre 1994).
Unità di misura e monitoraggio	Fibre/litro In base al principio di minimizzazione dei rischi, la concentrazione di fibre d'amianto aerodisperse deve essere inferiore a 1000 fibre respirabili per litro. È importante sottolineare che il monitoraggio dell'aria ambiente consente di misurare la concentrazione di fibre solo al momento del campionamento. Pertanto, i risultati devono essere considerati al pari di un'informazione aggiuntiva e non possono sostituire una valutazione dettagliata comprensiva di tutti i fattori esterni.

7.3.1 APERTURA/CHIUSURA FINESTRE E PORTE

Monitorando la posizione delle finestre e delle porte si acquisiscono informazioni per caratterizzare gli ambienti scolastici. Correlando il dato di apertura/chiusura con quello di concentrazione degli inquinanti è possibile descrivere la velocità di ricambio dell'aria in funzione della tipologia e quantità di aperture.

Prospetto 12 - Parametri, strumentazione, riferimenti e dettagli per le misure di qualità dell'aria (*riepilogo*)

Parametro di misura	Strumentazione <i>dettagli</i>	Necessità/ assenza degli occupanti	Durata e dettagli delle misure	Normative di riferimento sul campionamento o riferimenti legislativi	Normative di riferimento sui limiti o riferimenti legislativi
CO ₂	Analizzatore, centralina, datalogger <i>Misura in continuo</i>	Presenza	Intervallo di misura: 1 minuto	UNI EN ISO 16000-26	UNI EN 16798-1 e CEN/TR 16798-2
VOC	Canister <i>Misura puntuale</i>	Assenza	30 min – 2 ore	UNI EN ISO 16000-5	Limiti per alcuni VOC
TVOC	PID <i>Misura in continuo</i>	Assenza/ presenza	Durata monitoraggio: ore/giorni		
Formaldeide	Fiale DNPH <i>Misura puntuale</i>	Assenza ¹	30 min – 2 ore	UNI EN ISO 16000-2 ISO 16000-3 ISO 16000-4	Circolare del Ministero della Sanità n. 57 del 22 giugno 1983
Radon	Misura in continuo		Intervallo di misura: 10 minuti	UNI ISO 11665-1 UNI ISO 11665-5 (misure in continuo)	
	Dosimetri <i>Misura puntuale</i>		1 anno	UNI ISO 11665-1 UNI ISO 11665-4 (campionamento passivo)	D.Lgs. 101/2020
Polveri (PM _x)	<i>Misura in continuo</i>		Intervallo di misura: 10 minuti	UNI EN 12341 ISO 16000-34 ISO 16000-37(PM2.5)	
	<i>Misura puntuale</i>	Assenza/ presenza	30 min – 2 ore		
Ossidi di azoto (NO ₂)	<i>Misura in continuo</i>			UNI EN ISO 16000-15 UNI EN 14211	
Analisi biologiche	Campionatore microbiologico <i>Misura puntuale</i>	Assenza	Durata misura: 15 minuti per ogni ambiente	UNI EN ISO 16000-19 UNI EN ISO 14698-1 Metodo Unichim 1962-2:2006	Linee Guida INAIL, ISS e OMS
Amianto		Assenza		D.M. 06/09/1994	D.M. 06/09/1994

¹ UNI EN ISO 16000-2: può essere effettuato con presenza di persone.

7.4 APPROCCIO ALLE MISURE, STRUMENTAZIONI E CONTROLLO SULLA QUALITÀ DEL DATO

Le misure di qualità dell'aria possono essere eseguite:

- da un laboratorio di prova accreditato, secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025;
- da un laboratorio di prova non certificato, un professionista, un ente, come previsto dalla serie ISO 16000.

A loro volta le misure possono essere eseguite utilizzando uno strumento:

- conforme alla norma tecnica di riferimento;
- non conforme.

Per le misure realizzate con strumentazione non conforme alle normative tecniche di riferimento sono riportate di seguito le indicazioni per eseguire un controllo pianificato per garantire qualità della misura per alcuni parametri e indicatori della qualità dell'aria. È possibile acquisire dati sui parametri di seguito descritti anche attraverso sistemi di gestione e di regolazione dell'edificio: anche in questo caso, al fine di garantire la qualità del dato, dovranno essere eseguiti i controlli riportati al punto 7.4.1.

Eseguire misure con strumentazione o sistemi affidabili e dei quali si ha controllo del risultato è fondamentale al fine di garantire la qualità del monitoraggio.

Molti strumenti e sistemi commerciali non permettono di essere tarati dall'utente, il più delle volte sono accompagnati da una dichiarazione di conformità prodotta dal costruttore e un eventuale taratura successiva, può avere dei costi che superano il valore dello strumento stesso. Il controllo della funzionalità dello strumento tuttavia è di primaria importanza, e va fatto a intervalli di tempo stabiliti perché qualsiasi apparecchio si stori con il tempo. Strumenti per la misura di temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica e anidride carbonica possono essere controllati dall'utente in maniera semplice, tutte le volte che è necessario farlo.

Il monitoraggio in autonomia (ovvero quello che può essere realizzato dal gestore dell'edificio scolastico) di parametri della qualità dell'aria (CO₂, temperatura, umidità relativa e pressione) prevede alcuni passaggi e conoscenze fondamentali:

1. Registrazione delle apparecchiature

Un principio base per l'assicurazione della qualità di un dato è la registrazione delle apparecchiature. Ad ogni apparecchio di misura installato andrebbe associato un codice identificativo univoco, questo codice deve apparire sullo strumento e su una Scheda identificativa che raccoglie tutta la sua storia. Le informazioni minime da registrare sono riportate nell'Appendice C.

2. Unità di misura

Strumenti per la misura della qualità dell'aria utilizzano unità di misura per esprimere il risultato, è importante prendere familiarità con le unità di misura e confrontare risultati di misure diverse solo se espressi con la stessa unità di misura. Ad es. non è possibile confrontare una concentrazione espressa in µg/m³ con una in ppb oppure vol%, prima di farlo bisogna uniformare le unità di misura a una sola. Dettagli sulle conversioni sono descritte al punto 7.2.4.

3. Verifica della strumentazione

Nessuna misura è attendibile se prima non è stata verificata la funzionalità dello strumento utilizzato. Durante l'uso, con intervalli stabiliti, ogni strumento deve essere controllato.

Seguono procedure semplificate per la taratura e il controllo in Appendice D.

4. Carte di controllo

In Appendice D è descritta la carta di controllo.

5. Posizionamento apparecchiature, condizioni di misura

Una misura ambientale deve essere rappresentativa del contesto in cui viene effettuata, ad es. un termometro montato sul soffitto di un'aula non è rappresentativo della temperatura percepita dagli occupanti di un'aula, in questo caso il termometro segnerà una temperatura maggiore di quella presente ad altezza persona. All'interno di un metodo di misura standardizzato sono contenute tutte le informazioni necessarie sul posizionamento delle apparecchiature e le condizioni da rispettare per effettuare la misura. Un esempio di collocazione della strumentazione è riportato in figura 2.

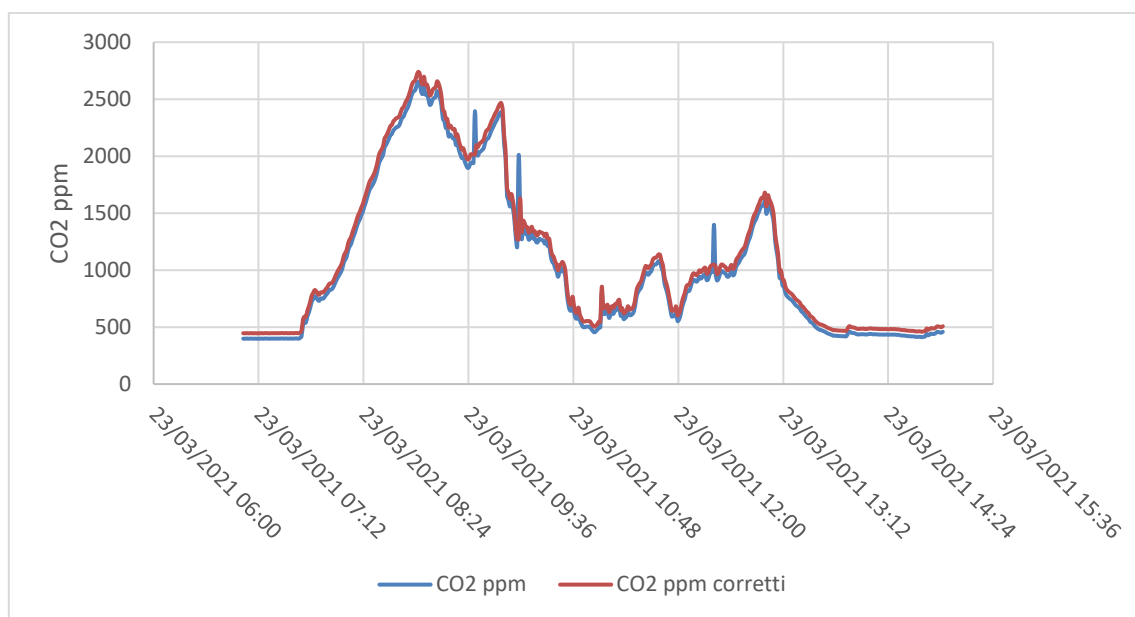
6. Misura e registrazione dei dati

Un sistema di monitoraggio è composto dallo strumento e dal software che acquisisce e registra i dati, senza registrazione non è possibile fare le necessarie valutazioni. Il criterio di registrazione non è casuale, ogni costruttore ne adotta uno suo, es. media del minuto (consigliato), media di più minuti (5,10, 15...) valore puntuale del minuto o di più minuti (es. l'ultimo valore acquisito di 15 min.). È importante sapere come il software dello strumento acquisisce i dati.

7. Validazione ed elaborazione dei dati

I dati grezzi di misura acquisiti da un software non sono pronti per essere interpretati, necessitano prima di essere sottoposti a un'operazione importante: la validazione. La validazione è un'azione di "pulizia" dove i dati frutto di anomalie dello strumento, derive o manomissioni vengono eliminati.

Figura 9 - Esempio di validazione dei dati



Nel grafico sopra sono riportati i dati grezzi (blu) e i dati validati (rosso) puliti da picchi dovuti a manomissioni.

Per l'affidamento a un laboratorio di prova di una misura di inquinanti in aria sono necessarie le seguenti conoscenze:

A. Individuazione del laboratorio di prova

Individuare un laboratorio di prova per effettuare analisi specifiche è un'operazione difficoltosa, può essere utile consultare la pagina web di ACCREDIA: www.accredia.it, banche dati, ricerca laboratori di prova. Oppure consultare l'agenzia per l'ambiente locale, unità sanitaria locale per farsi consigliare.

B. Accredimento

Un laboratorio di prova accreditato soddisfa i requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura definiti dalla norma ISO/IEC 17025. Un laboratorio di prova accreditato garantisce al cliente la sua competenza a effettuare determinate prove. In Italia, l'ente unico di accreditamento è "ACCREDIA".

C. Metodi di misura

I metodi di misura standardizzati sono documenti che descrivono tutte le procedure necessarie a eseguire una determinata prova. È importante che in fase di contratto il laboratorio di prova dichiari al cliente quale metodo di misura andrà applicare. Nei prospetti da 1 a 9 sono riportati i riferimenti per ciascun inquinante.

D. Rapporto di prova

È il documento finale che contiene il risultato della misura e tutte le informazioni necessarie a caratterizzarlo. Il rapporto di prova viene elaborato dal laboratorio che ha effettuato la prova, le informazioni devono essere chiare e permettere al cliente di capirle e di ricostruire tutta l'attività svolta.

Per i parametri che devono essere misurati da un laboratorio di prova, quali ad esempio i composti organici volatili e la formaldeide, l'uso di strumentazione non professionale risulta critico. Il problema principale è che si vanno a misurare quantità molto piccole con sensori non sufficientemente sensibili. Ad esempio molti sensori commerciali per la misura della formaldeide riportano un campo di misura da 0 a 5 ppm. Si è osservato che in un ambiente indoor, il valore limite di formaldeide che non deve essere superato è di 0,1 ppm, per fare questo il sensore dovrebbe essere quindi così sensibile da rilevare con precisione una concentrazione di almeno 0,05 ppm (100 volte più piccola).

Quindi la sensibilità è il problema principale di questi strumenti e di conseguenza anche la selettività, ovvero la capacità di "isolare" il segnale della sostanza ricercata da quello generato da altre sostanze "interferenti", più piccola è la quantità che da misurare, più alto è il peso che possono avere gli interferenti sul risultato.

In un'aula scolastica quando in seguito a una ristrutturazione o all'inserimento di nuovi arredi viene misurata correttamente la concentrazione di formaldeide, è prevedibile che, se non vengono variate le condizioni, questa rimarrà tale per anni. Vale lo stesso principio per i composti organici volatili dove, salvo casi particolari, l'inquinamento prodotto dell'attività svolta dalle persone e dalle persone stesse è molto maggiore di quello dato da arredi e struttura. Quindi conoscendo l'attività svolta, l'emissione di VOC non cambierà sensibilmente nel tempo. Se questi inquinanti vengono misurati correttamente una volta ed è noto il tasso di ventilazione necessario per avere concentrazioni ridotte, allora la sola misura della CO₂, temperatura e umidità dell'aria sono sufficienti a monitorare la qualità dell'aria di un ambiente.

Se vi è necessità di misurare la concentrazione di alcuni inquinanti particolari all'interno di un ambiente, la strategia migliore è richiedere il supporto di un laboratorio di prova, il quale dovrà disporre delle apparecchiature e delle conoscenze adeguate. In questa eventualità è necessaria comunque una conoscenza di base, per valutare l'attività svolta dal laboratorio incaricato.

Il passo iniziale per misurare un inquinante in aria è l'applicazione di un metodo di prova standardizzato, ovvero la procedura da adottare, la tecnica, le caratteristiche delle apparecchiature, i materiali da impiegare. I metodi di prova sono elaborati ed emessi da enti nazionali e internazionali come UNI, EN, ISO, la loro applicazione non è obbligatoria a meno che non sia previsto e richiamato da riferimenti legislativi. È comunque importate che un laboratorio li applichi, ad esempio nell'eventualità in cui sia necessario un confronto dei dati misurati nello stesso ambiente da parte di istituti diversi. Se sono stati impiegati metodi diversi e non si conosce il livello di equivalenza fra un metodo e l'altro, anche l'interpretazione ne risulterà difficoltosa. Tutti gli altri metodi, possono essere comunque impiegati, previa verifica che i risultati ottenuti siano equivalenti a quelli ottenuti con il metodo di riferimento (per questo esistono delle norme dedicate).

È quindi necessario determinare il metodo di prova da applicare, concordandolo con il laboratorio di prova incaricato.

Il metodo di prova descrive le tecniche che consentono di misurare un parametro fisico o chimico che caratterizza la qualità dell'aria di un ambiente. Queste tecniche hanno sostanzialmente due approcci:

- misura indiretta, in questo caso il composto da misurare viene prima concentrato su un supporto idoneo (fiala, filtro, soluzione) e poi determinato in un altro momento;
- misura diretta, è caratteristica della strumentazione automatica dove il risultato della misura è ottenuto in tempi molto brevi (secondi).

La misura indiretta è più sensibile, precisa di quella diretta, il risultato ottenuto rappresenta la concentrazione media dell'inquinante nel tempo impiegato a prelevare (30 min, 1 ora, 1 anno ecc.). La misura indiretta, inoltre, si presta poco a prelievi di breve durata.

La misura diretta è alle volte meno sensibile di quella indiretta ma ha il vantaggio di ottenere gli andamenti nel tempo della concentrazione di un inquinante, che ad es., nel caso della CO₂ può essere un dato molto importante.

Il metodo determina anche quali sono le variabili ambientali che condizionano il risultato della prova.

7.4.1 CONTROLLO SULLA QUALITÀ DELLA MISURA ESEGUITE IN AUTONOMIA

La procedura per la verifica della qualità dello strumento e della misura prevede due fasi:

- registrazione delle caratteristiche dello strumento (nell'Appendice C è riportato un esempio di scheda identificativa);
- valutazione e controllo sistematico dei dati forniti dallo strumento attraverso la registrazione periodica dei dati in output (Appendice D).

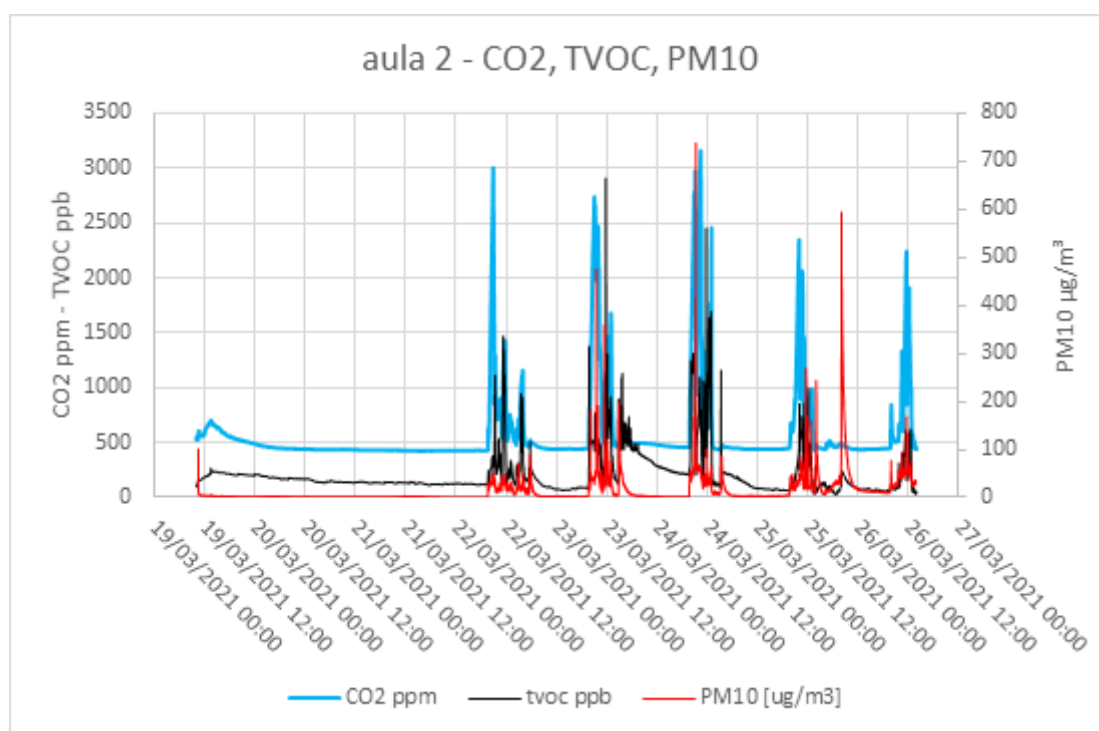
Nell'Appendice D è riportato un esempio di carta di controllo per la verifica della qualità della misura. Tale documento permette di valutare nel tempo le prestazioni dello strumento, tenendole sotto controllo.

Prospetto 13 - I parametri di qualità dell'aria

Parametri misurabili in autonomia dalla scuola	Principali parametri che necessitano il coinvolgimento di un laboratorio di prova
– anidride carbonica (CO₂) Parametri integrativi (opzionali): – temperatura dell'aria – umidità relativa dell'aria – pressione atmosferica	– formaldeide – VOC, TVOC – radon – particolato – misure biologiche – NO_x – ...

La misura della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria può essere utile, ad esempio per la valutazione dell'apertura degli infissi in caso di aerazione. Per questo motivo è consigliabile monitorare con lo stesso intervallo di misura la temperatura e l'umidità relativa dell'aria.

La scelta della CO₂ quale principale indicatore della qualità dell'aria trova riscontro nell'ampia letteratura scientifica e normativa (come ad esempio la UNI EN 16798-1). Si riporta, a titolo di esempio, un grafico di confronto (figura 10) nel quale viene evidenziato che le concentrazioni di CO₂ hanno andamento simile a quelle di TVOC e di PM₁₀.

Figura 10 - Confronto tra CO₂, TVOC e PM10

7.4.1.1 Procedure semplificate per controllo strumentazione per misure eseguite in autonomia

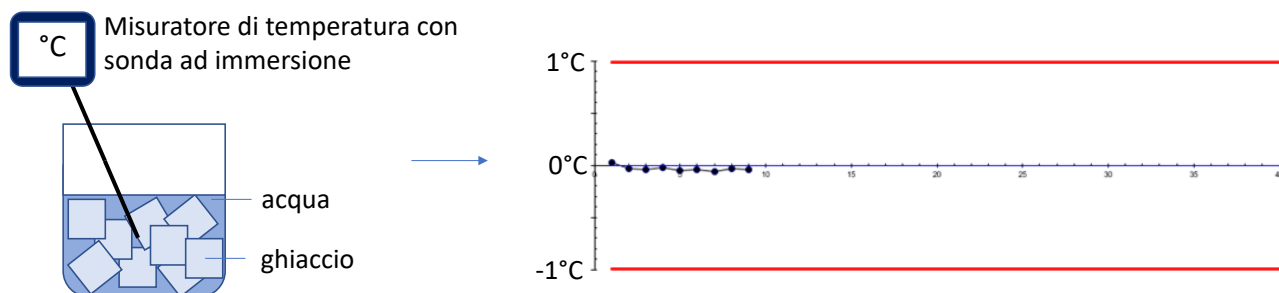
Sono descritte di seguito le procedure di controllo per i seguenti parametri:

- temperatura dell'aria
- umidità relativa dell'aria
- pressione atmosferica
- anidride carbonica.

Temperatura dell'aria

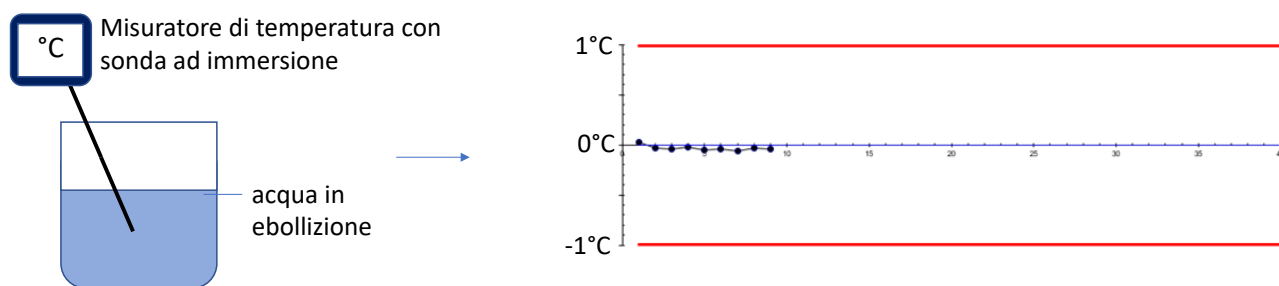
Si immerge il sensore una volta nel ghiaccio fondente (un bicchiere pieno di cubetti di ghiaccio ricoperto d'acqua) e una volta in acqua in ebollizione per avere con buona approssimazione il valore 0 °C e 100 °C. I sensori inseriti nella strumentazione per la misura della temperatura dell'aria spesso non consentono di essere immersi in un liquido; si può quindi utilizzare un termometro a immersione, tararlo come sopra descritto e quindi verificare per confronto gli altri sensori.

Figura 11 - Procedura per il controllo strumentazione per misure di temperatura eseguite in autonomia. Immersione in ghiaccio



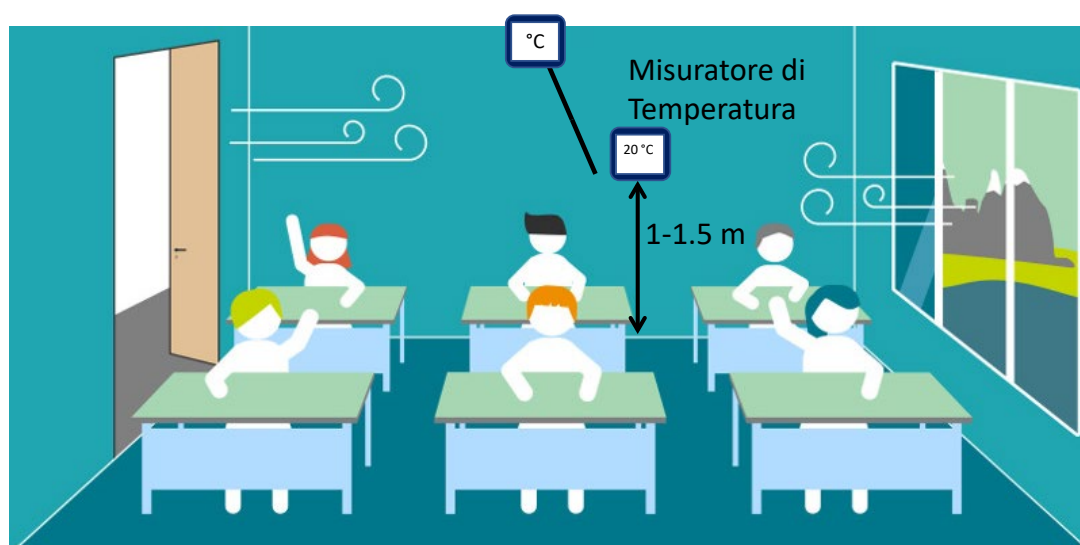
Lo scostamento o il limite di accettazione dovrà essere di $\pm 1^\circ\text{C}$.

Figura 12 - Procedura per la controllo strumentazione per misure di temperatura eseguite in autonomia. Immersione in acqua in ebollizione



Lo scostamento o il limite di accettazione dovrà essere di $\pm 1^\circ\text{C}$.

Figura 13 - Confronto con strumento collocato nell'aula scolastica

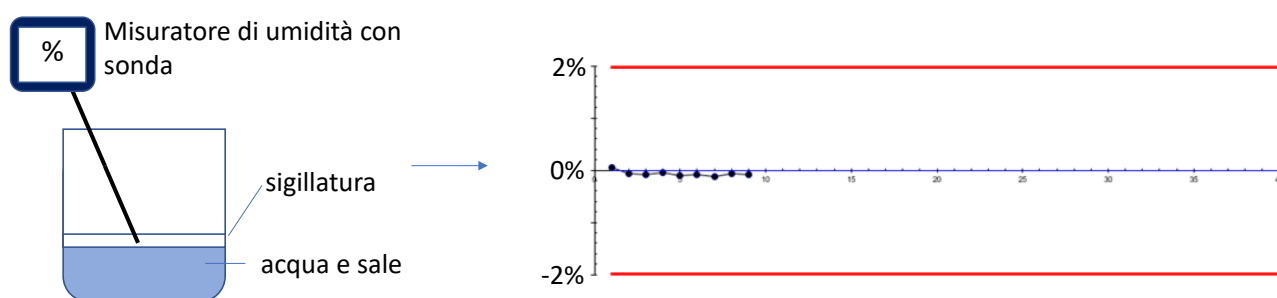


Lo scostamento o il limite di accettazione dovrà essere di $\pm 2^\circ\text{C}$. Verrà confrontato il differenziale tra il valore indicato dallo strumento di controllo (termometro a immersione) e quello dell'ambiente oggetto di monitoraggio.

Umidità relativa dell'aria: taratura mediante soluzione di sali saturi.

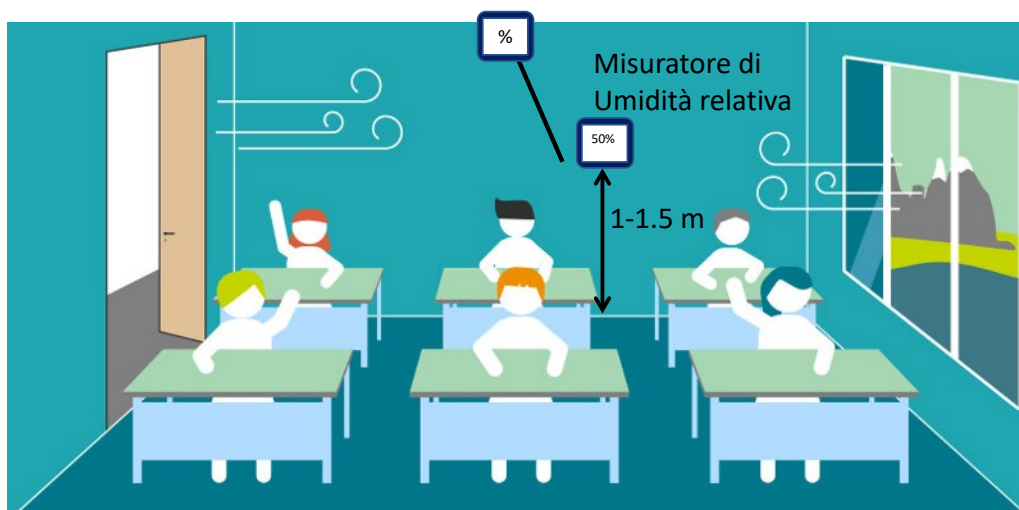
Un controllo, non completo, ma comunque sufficiente, di un sensore di umidità può essere effettuato esponendo il sensore prima a un gel igroscopico (come ad esempio un gel di silice che è economico e reperibile) e poi a una soluzione satura di sale da cucina. In questo modo avremo due punti di controllo: uno vicino allo zero e uno vicino al 75% di umidità relativa. Con un minimo di manualità si possono adattare due barattolini di plastica, uno per il gel e l'altro per la soluzione satura di sale, metà dei barattolini verranno riempiti con il gel o la soluzione, nell'altra metà si inserisce il sensore (senza immergerlo). Come per la temperatura anche in questo caso può essere più pratico procurarsi uno strumento con sonda che si adatti a essere inserito nel foro di un barattolino e con questo confrontare successivamente i sensori montati nei vari ambienti.

Figura 14 - Procedura per la controllo strumentazione per misure di umidità relativa eseguite in autonomia



Lo scostamento o il limite di accettazione dovrà essere di $\pm 2\%$.

Figura 15 - Confronto con strumento collocato nell'aula scolastica



Lo scostamento o il limite di accettazione dovrà essere di $\pm 2\%$.

Pressione atmosferica

Questo dato si può ottenere dal sito web dell'aeroporto o della stazione meteo più vicini. Bisogna fare attenzione che il valore di pressione indicato dagli aeroporti è sempre riferito al livello del mare, per portarlo alla quota in cui mi trovo va applicato quindi una conversione.

Anidride Carbonica

Come riferimento può essere presa, con buona approssimazione, la concentrazione di CO₂ esterna che in ambiente urbano, non eccessivamente trafficato, ha un valore intorno ai 450 ppm.

Temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica e anidride carbonica, misurati con strumentazione di tipo 2), il cui stato è stato controllato come descritto, e che quindi possono fornire informazioni affidabili e utili sulla qualità dell'aria all'interno di un ambiente di vita. Il controllo eseguito dovrà essere sistematicamente documentato: un esempio è riportato nell'Appendice C.

APPENDICE A

(informativa)

FORMULARIO SOPRALLUOGO SCUOLE**A.1 GENERALITÀ**

La presente Appendice fornisce una traccia sulle informazioni da raccogliere preliminarmente e durante i monitoraggi. Tali informazioni possono essere integrate con informazioni specifiche. Il presente formulario è frutto di elaborazione dalle norme ISO 16000 e Rapporti ISTISAN.

Data	
Persone presenti	
Formulario compilato da	

Nome scuola	
Indirizzo/numero	
N° piani (fuori terra/ interrato)	
Riferimenti responsabile	
Numeri di telefono utili per contatti della scuola	

A.2 UTILIZZO, SPAZI E STRUTTURA (PER OGNI EDIFICIO - CORPO DI FABBRICA/SCUOLA/DESTINAZIONE D'USO)

Orari di utilizzo	
N° classi	
N° studenti	
Mensa	sì ☐ no ☐
Palestra	sì ☐ no ☐
Laboratori	sì ☐ no ☐
Altri locali	
Locali particolari	
Manutenzione	
Pulizia degli ambienti	(orari, affidamento, ...)
Wireless disponibile	sì ☐ no ☐

A.3 CARATTERIZZAZIONE DELLE CLASSI (PER OGNI EDIFICIO - CORPO DI FABBRICA/SCUOLA/DESTINAZIONE D'USO)

Altezza classe	
Finestre (descrivere)	
Arredi	
Dotazioni	

A.4 CARATTERIZZAZIONE DELL'EDIFICIO

Anno di costruzione	
Anno ristrutturazione	
Ambiente attorno all'edificio	Rurale ☐ Urbano ☐ Centro città ☐ Traffico leggero ☐ Traffico pesante ☐ Area industriale ☐
Esposizione	Nord ☐ Sud ☐ Ovest ☐ Est ☐
Classe energetica	
Pareti	Coibentazione: sì ☐ no ☐
Infissi	PVC: legno ☐ alluminio ☐ Data installazione: Vetro: singolo ☐ doppio ☐ triplo ☐

A.5 IMPIANTI

Combustibile	Metano ☐ GPL ☐ Gasolio ☐ Biomassa ☐ Altro ☐
Rinnovabili	Fotovoltaico ☐ Solare termico ☐
Riscaldamento	
Raffrescamento	
Generazione caldo	Caldaia ☐ PDC ☐ Teleriscaldamento ☐ Nuovo ☐ datato ☐
Riscaldamento integrativo	(stufette, stufa a legna, a pellet, ...)
Generazione freddo	PDC ☐ Chiller ☐ Nuovo ☐ datato ☐
Generazione ACS	Boiler resistenza ☐ Caldaia ☐ PDC ☐ Teleriscaldamento ☐
Emissione	Corpi scaldanti (radiatori) ☐ Sistema radiante a pavimento ☐ Sistema radiante a soffitto ☐ Ventilconvettori ☐ Sistema canalizzato ☐
Regolazione	
VMC	Centralizzata ☐ Singolo ambiente ☐
VMC – recupero di calore	sì ☐ no ☐
Consumi (bollette)	Spese alte ☐ Spese contenute ☐
Ascensore	sì ☐ no ☐
Periodi utilizzo impianti	Riscaldamento Raffrescamento VMC

A.6 FINITURE

Pareti aule	Intonacate rivestite di ..
Pareti altri locali	Intonacate rivestite di ..
Pareti ...	Intonacate rivestite di ..
Pavimenti aule	In legno ceramica/gres PVC ...
Pavimenti altri locali	
Pavimenti ...	

A.7 PROBLEMATICHE ULTIMI ANNI

Muffa	(dove?)
Aria viziata	(dove?)
Odori	
Secchezza occhi	
Discomfort	
Temperature	(basse/alte)
Radon	
Formaldeide	
Elevata CO ₂	
Altro	

A.8 MONITORAGGI E ANALISI GIÀ ESEGUITE?

--	--

Fare fotografie a: piante (antincendio), aule, zone comuni, involucro, impianti.

Strumentazione da portare: metro laser, macchina fotografica.

Documentazione da richiedere: manutenzione impianti.

APPENDICE B

(informativa)

RAPPORTO DI PROVA SECONDO UNI CEI EN ISO/IEC 17025

Il report di prova sulla misura di qualità dell'aria eseguita da un laboratorio di prova deve riportare i seguenti contenuti. Oltre a questi, nei prospetti al punto 7.3 sono dettagliati dati aggiuntivi specifici per ogni indicatore e inquinate.

- Titolo;
- il nome e l'indirizzo del laboratorio di prova;
- il luogo di esecuzione delle attività di laboratorio, comprese quelle effettuate presso la scuola o in siti al di fuori delle sedi permanenti del laboratorio di prova, o in sedi temporanee mobili dello stesso;
- una univoca identificazione che permetta di riconoscere tutte le parti che lo compongono come parti integranti del rapporto completo, e una chiara identificazione della fine del rapporto;
- il nome e i recapiti del cliente;
- identificazione del metodo utilizzato;
- la descrizione, l'identificazione univoca e, quando necessario, le condizioni dell'oggetto;
- la data di ricevimento del(gli) oggetto(i) sottoposto(i) a prova, e la data del campionamento, quando questa è critica per la validità e l'utilizzo dei risultati;
- la(e) data(e) di esecuzione dell'attività di laboratorio;
- la data di emissione del rapporto;
- il riferimento al piano di campionamento e al metodo di campionamento utilizzati dal laboratorio di prova o da altro organismo, quando queste informazioni sono rilevanti per la validità o l'utilizzo dei risultati;
- una dichiarazione attestante che i risultati si riferiscono solo agli oggetti sottoposti a prova, taratura o campionamento;
- i risultati, corredati ove appropriato delle unità di misura;
- aggiunte, scostamenti o esclusioni dal metodo;
- l'identificazione della(e) persona(e) che autorizza il rapporto;
- una chiara identificazione dei risultati provenienti da fornitori esterni.

In aggiunta ai requisiti elencati, i rapporti di prova devono comprendere, ove necessario per l'interpretazione dei risultati, quanto segue:

- informazioni circa particolari condizioni di prova, quali le condizioni ambientali;
- dichiarazione di conformità a requisiti o specifiche;
- l'incertezza di misura riportata nella stessa unità di misura del misurando o in termini relativi rispetto al misurando stesso (per esempio in percentuale), quando:

- essa è rilevante per la validità o l'utilizzo dei risultati di prova,
 - è richiesta dal cliente, o
 - influisce sulla conformità rispetto ad un limite di specifica;
- ove appropriato, opinioni ed interpretazioni;
 - ulteriori informazioni che possono essere richieste da specifici metodi, autorità, clienti o gruppi di clienti;

Quando il laboratorio di prova è responsabile del campionamento, i rapporti di prova devono essere conformi ai requisiti elencati di seguito, ove necessario per l'interpretazione dei risultati di prova.

APPENDICE C

(informativa)

SCHEDA IDENTIFICATIVA DELLO STRUMENTO**C.1 GENERALITÀ**

La presente Appendice riassume le informazioni da raccogliere relative a strumenti di misura della qualità dell'aria (ad esempio misuratori di CO₂) e dei parametri degli ambienti interni (ad esempio termometri, igrometri, ...).

C.2 SCHEDA IDENTIFICATIVA DELLO STRUMENTO DI MISURA

Proprietario	
--------------	--

Nome dello strumento	
Modello/tipo	
Numero di serie/matricola	
Software/N° di licenza	
Ditta produttrice (indirizzo, contatti)	
Ditta distributrice (indirizzo, contatti)	
Data acquisto/ricevimento	
Data di messa in servizio	
Responsabile strumento	
Stato al momento di ricevimento (nuovo, usato, ricondizionato)	
Numero di identificazione/matricola	
Ubicazione	
Compilazione scheda (nominativo, data e firma)	
Riferimenti sulla taratura, certificati	

APPENDICE D

(informativa)

CARTA DI CONTROLLO**D.1 GENERALITÀ**

La presente Appendice descrive i contenuti della carta di controllo per la strumentazione per la verifica della funzionalità di uno strumento di misura. Obiettivo di tale documento è verificare che il dato fornito dallo strumento di misura sia corretto entro il limite di accettazione.

D.2 CARTA DI CONTROLLO DI UNO STRUMENTO

Numero di identificazione/matricola	
Descrizione su cosa deve essere controllato	
Limite di accettazione	

Nr.	Data	Valore di riferimento	Valore lettura	Limite di accettazione
1				
2				
3				
..				

APPENDICE E

(informativa)

RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI

E.1 GENERALITÀ

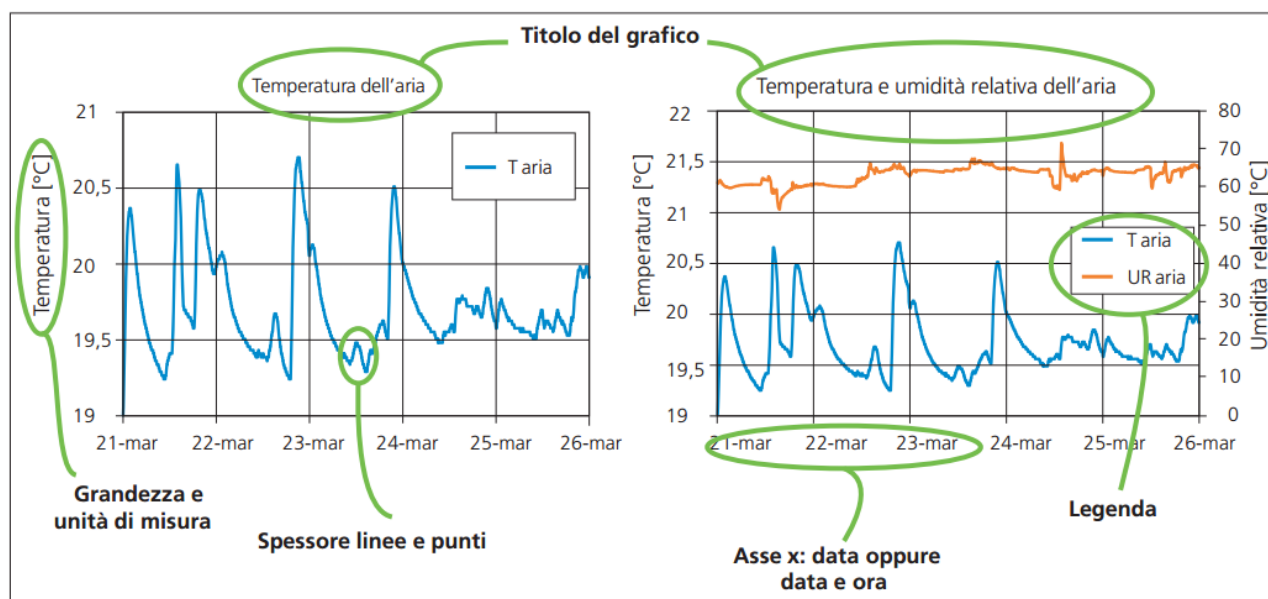
La presente Appendice fornisce informazioni ed esempi per rappresentare i risultati di monitoraggi di qualità dell'aria e di altri parametri. Obiettivo di tale appendice è migliorare la leggibilità e l'interpretazione dei dati misurati.

E.2 MISURE IN CONTINUO

Aspetti fondamentali per garantire una buona lettura dei dati sono:

- utilizzare un'ideale scala (valore massimo e minimo devono essere scelti in funzione dei dati. Nel grafico della temperatura in figura E.1 il valore minimo è 19 e il massimo è 21 °C);
- le linee e i punti devono avere uno spessore idoneo alla lettura: se troppo sottile potrebbe essere difficile da leggere, se troppo spesso alcuni dati si potrebbero sovrapporre e quindi perdere;
- la griglia orizzontale e verticale facilita la lettura;
- colori: per facilitare la lettura dei grafici per le persone daltoniche si suggerisce di utilizzare simboli facilmente riconoscibili;
- l'asse delle ordinate deve essere leggibile. In caso di rappresentazione di una data è importante evidenziare il momento del giorno a cui si fa riferimento (ovvero se il dato è riferito alla mezzanotte, al mezzogiorno oppure a un altro orario);
- quando si rappresentano più giornate di monitoraggio (nell'asse x) può essere utile evidenziare i giorni di scuola così come sabati e domeniche;
- selezionando una parte di dati (ad esempio le ore lavorative per un ufficio) è possibile facilitare la lettura e l'interpretazione evitando di inserire dati irrilevanti per l'analisi;
- per i grafici a due variabili deve essere evitata la sovrapposizione dei dati dei due parametri, adattando le due scale (ad esempio nel grafico di destra in figura E.1 è stata aumentata la scala delle temperature: il valore massimo è passato da 21 a 22 °C).

Figura E.1 - Esempio di rappresentazione di serie di dati continue



BIBLIOGRAFIA

- [1] Rapporti ISTISAN 16/16. Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM10 e PM2,5 in ambiente indoor: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici
- [2] Rapporti ISTISAN 20/3. Qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici
- [3] WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide (2021)



Membro italiano ISO e CEN

www.uni.com

www.youtube.com/normeuni

www.twitter.com/normeuni

www.twitter.com/formazioneuni

www.linkedin.com/company/normeuni

www.facebook.com/unmondofattobene

Sede di Milano

Via Sannio, 2 - 20137 Milano
tel 02700241, uni@uni.com

Sede di Roma

Via del Collegio Capranica, 4 - 00186 Roma
tel 0669923074, uni.roma@uni.com