



RAPPORTI ISTISAN 20|3

ISSN: 1123-3117 (cartaceo) • 2384-8936 (online)

Qualità dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici

G. Settimo, L. Bonadonna, P.M.B. Gucci, M. Gherardi,
A. Cecinato, S. Brini, F. De Maio, A. Lepore, G. Giardi,
per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor*



AMBIENTE
E SALUTE

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

Qualità dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici

Gaetano Settimo (a), Lucia Bonadonna (a),
Paola M.B. Gucci (a), Monica Gherardi (b), Angelo Cecinato (c),
Silvia Brini (d), Francesca De Maio (d), Arianna Lepore (d), Giuliana Giardi (d),
per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor*

(a) *Dipartimento Ambiente e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma*
(b) *Dipartimento Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale,
Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro, Roma*
(c) *Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma*
(d) *Dipartimento Valutazione, Controlli e Sostenibilità Ambientale,
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma*

ISSN: 1123-3117 (cartaceo) • 2384-8936 (online)

Rapporti ISTISAN
20/3

Istituto Superiore di Sanità

Qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici.

Gaetano Settimo, Lucia Bonadonna, Paola M.B. Gucci, Monica Gherardi, Angelo Cecinato, Silvia Brini, Francesca De Maio, Arianna Lepore, Giuliana Giardi, per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor
2020, x, 67 p. Rapporti ISTISAN 20/3

Obiettivo di questo documento è fornire delle corrette strategie di monitoraggio dell'aria indoor nelle strutture scolastiche sia per un'adeguata attività di misura, acquisizione, verifica e valutazione degli inquinanti chimici e biologici, sia per supportare adeguatamente specifici protocolli di prevenzione individuale e collettiva, con l'obiettivo di migliorare lo stato di salute degli studenti e degli insegnanti e staff scolastico, e per ribadire il ruolo centrale di responsabilità nella promozione e tutela della salute da parte delle strutture scolastiche così come previsto dalla World Health Organization e dagli obiettivi di Sviluppo Sostenibile fissati nell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (UN). Si riportano i principali fattori da considerare per pianificare le attività di monitoraggio in relazione agli ambienti e alle sorgenti indoor. Vengono descritti i principi generali e le caratteristiche dei metodi per il campionamento e l'analisi dei Composti Organici Volatili (COV), del materiale particolato (PM₁₀ e PM_{2,5}), dei microinquinanti organici (IPA, PCDD/F e PCB) e inorganici (metalli e metalloidi), biologici (virus, batteri, funghi e allergeni) con riferimento alle norme elaborate a livello europeo.

Parole chiave: Aria indoor; Strutture scolastiche; COV; materiale particolato PM₁₀; PM_{2,5}; Metalli; IPA; PCDD/F; PCB; Batteri; Virus; Allergeni; Campionamento; Analisi

Istituto Superiore di Sanità

Indoor air quality in schools: strategies for monitoring chemical and biological pollutants.

Gaetano Settimo, Lucia Bonadonna, Paola M.B. Gucci, Monica Gherardi, Angelo Cecinato, Silvia Brini, Francesca De Maio, Arianna Lepore, Giuliana Giardi, for the National Indoor air Study Group
2020, x, 67 p. Rapporti ISTISAN 20/3 (in Italian)

Purpose of this document is to provide correct indoor air monitoring strategies in schools, both for proper measurement, acquisition, verification and evaluation of chemical and biological pollutants, and to support Individual specifications and collective prevention protocols, with the aim of improving health students and school workers, in particular reiterating the central role of responsibility for the promotion and protection of schools, as provided by the World Health Organization and the achievement of the Sustainable Development Goals set in the United Nations (UN) 2030 Agenda. The main factors to be considered in order to plan the monitoring activities in relation to the internal environments and the sources are reported. The general principles and characteristics of the methods of sampling and analysis of Volatile Organic Compounds (VOCs), particulate matter (PM₁₀ and PM_{2,5}), organic micropollutants (PAH, PCDD/F and PCB) and inorganic (metals and metalloids), biological (virus, bacteria, moulds and allergens) are described.

Key words: Indoor air; Schools; VOC; PM₁₀; PM_{2,5}; Metals; PAH; PCDD/F; PCB; Bacteria; Virus; Allergens; Sampling; Analysis

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

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: www.iss.it

Citare questo documento come segue:

Settimo G, Bonadonna L, Gucci PMB, Gherardi M, Cecinato A, Brini S, De Maio F, Lepore A, Giardi G, per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. *Qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporti ISTISAN 20/3).

Legale rappresentante dell'Istituto Superiore di Sanità: *Silvio Brusaferrò*
Registro della Stampa - Tribunale di Roma n. 114 (cartaceo) e n. 115 (online) del 16 maggio 2014

Direttore responsabile della serie: *Paola De Castro*

Redazione: *Sandra Salinetti, Manuela Zazzara*

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



Gruppo di Studio Nazionale (GdS) Inquinamento Indoor

Il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor* dell'ISS è stato nominato con note del 16 dicembre 2015 (Prot. 372571) e del 10 febbraio 2016 (Prot. 3880) dal Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità.

Di seguito l'attuale elenco dei componenti:

Gaetano SETTIMO	Coordinatore del Gruppo, Istituto Superiore di Sanità
Gennaro AMATO	Regione Campania
Eleonora BECCALONI	Istituto Superiore di Sanità
Lucia BONADONNA	Istituto Superiore di Sanità
Marco BALDINI	Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Salvatore BONGIORNO	Regione Valle d'Aosta
Silvia BRINI	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Angelo CECINATO	Consiglio Nazionale delle Ricerche
Daniela CIMINI	Azienda Sanitaria Unica Regionale Area Vasta 2 Regione Marche
Mattea CHIRICO	Istituto Superiore di Sanità
Alessandro CIPRIANI	Regione Valle d'Aosta
Annamaria DE MARTINO	Ministero della Salute
Francesco DI GREGORIO	Azienda Sanitaria Provinciale di Trapani Regione Sicilia
Maria Gesuina DIRODI	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Sergio FUSELLI	già esperto Istituto Superiore di Sanità
Angela GANZI	Regione Emilia Romagna
Stefano GIOVANNOLI	Regione Abruzzo
Monica GHERARDI	Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro
Claudia MANCUSO	Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali
Katia MAIELLA	Regione Abruzzo
Lucia MANGIAMELE	Regione Basilicata
Valeria MARISI	Regione Abruzzo
Antonella MILIENI	Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali
Carla PETTAZZI	Azienda Sanitaria Locale di Asti Regione Piemonte
Antonella PILOZZI	Istituto Superiore di Sanità
Giovanni PIRONTI	Ministero della Salute
Domenica PULVIRENTI	Azienda Sanitaria Provinciale di Catania Regione Sicilia
Augusto SANNA	Regione Sardegna
Anna SANTARSIERO	Istituto Superiore di Sanità
Genesio SCALONI	Azienda Sanitaria Unica Regionale Area Vasta 2 Regione Marche
Marco SCHIANTU	Regione Sardegna
Raffaella UCCELLI	Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile
Massimo VAZZOLER	Regione Veneto
<i>Segreteria organizzativa</i>	
Maria MOSETTI	Istituto Superiore di Sanità

Gruppo *ad hoc* di esperti:

Lucia BONADONNA	Istituto Superiore di Sanità
Rossella BRIANCESCO	Istituto Superiore di Sanità
Silvia BRINI	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Barbara BRUNETTO	Istituto Superiore di Sanità
Angelo CECINATO	Consiglio Nazionale delle Ricerche
Anna Maria COCCIA	Istituto Superiore di Sanità
Francesca DE MAIO	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Simonetta DELLA LIBERA	Istituto Superiore di Sanità
Sergio FUSELLI	già esperto Istituto Superiore di Sanità

Giuliana GIARDI	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Monica GHERARDI	Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro
Paola Margherita Bianca GUCCI	Istituto Superiore di Sanità
Marcello IACONELLI	Istituto Superiore di Sanità
Patrizia IACOVACCI	Istituto Superiore di Sanità
Giuseppina LA ROSA	Istituto Superiore di Sanità
Arianna LEPORE	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Pierluigi MELONI	Istituto Superiore di Sanità
Rosa PARADISO	Istituto Superiore di Sanità
Gaetano SETTIMO	Istituto Superiore di Sanità

INDICE

Presentazione	v
Introduzione	1
Bibliografia.....	6
1. Strategie e metodi di monitoraggio degli inquinanti chimici in aria <i>indoor</i>	10
1.1. Informazioni di base necessarie al monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	10
1.2. Programmazione delle attività di monitoraggio dell'aria <i>indoor</i> negli ambienti scolastici	12
1.3. Obiettivi, modalità, tempi e frequenza del monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	17
1.4. Scelta dei punti di prelievo per il monitoraggio e posizionamento della strumentazione di rilevamento.....	20
1.5. Misure contemporanee in aria ambiente outdoor	21
1.6. Attività da effettuare prima dell'inizio del monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	21
Bibliografia.....	22
2. Inquinanti biologici: strategie e metodi di monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	23
2.1. Rischio biologico negli ambienti scolastici.....	23
2.1.1. Microrganismi negli ambienti scolastici.....	24
2.1.2. Virus negli ambienti scolastici.....	26
2.1.3. Allergeni negli ambienti scolastici.....	28
2.2. Obiettivi, durata e frequenza del monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	29
2.2.1. Campionamento di microrganismi.....	29
2.2.2. Campionamento di virus.....	32
2.2.3. Campionamento di allergeni.....	33
2.3. Campionamento dalle superfici.....	34
2.3.1. Campionamento di virus dalle superfici	35
2.3.2. Campionamento di allergeni dalle superfici	35
2.4. Metodi di analisi	36
2.4.1. Metodi di analisi per i virus	38
2.4.2. Metodi di analisi per gli allergeni	38
Bibliografia.....	40
Appendice A	
Valori guida WHO e valori di riferimento utilizzati in alcuni Paesi europei per gli inquinanti chimici e biologici	45
Appendice B	
Questionario per la raccolta di informazioni di base sulle strutture scolastiche per la valutazione dell'aria <i>indoor</i>	51
Appendice C	
Questionario per report delle informazioni da registrare durante i monitoraggi dell'aria <i>indoor</i>	63

PRESENTAZIONE

La grande importanza delle problematiche connesse con la qualità dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici (dal nido, all'infanzia, alla scuola primaria e secondaria di I grado e di II grado) che ospitano questo importante compito educativo, sia nel settore pubblico come in quello privato, ha sollecitato il Gruppo di Studio (GdS) Nazionale Inquinamento *Indoor*, istituito presso l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ad elaborare un documento operativo, organico e condiviso, che descriva le principali strategie da utilizzare sia per la definizione di piani monitoraggio della qualità dell'aria *indoor* (richiamando le indicazioni presenti nei documenti già pubblicati dallo stesso GdS come *Rapporti ISTISAN*), sia, e soprattutto per perfezionare la conoscenza e la valutazione dei livelli di concentrazione in aria *indoor* dei principali inquinanti chimici e biologici connessi con le condizioni di "qualità" del patrimonio edilizio scolastico e con le attività ivi svolte, al fine di orientare gli interventi di miglioramento dello stato di salute dei giovani alunni, del personale docente e non docente, che ormai rappresentano sempre più una sfida attuale e futura per tutti i livelli di governo (dai Comuni alle Regioni ai Ministeri Salute, dell'Istruzione e della Ricerca Scientifica, e del Lavoro e delle Politiche Sociali) e per il Servizio Sanitario Nazionale (SSN), impegnati tra l'altro al conseguimento e realizzazione in tutte le sue diverse forme degli obiettivi di Sviluppo Sostenibile fissati nell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (UN), che includono obiettivi specifici di responsabilità per il mondo scolastico – ad esempio l'obiettivo 3 "Garantire le condizioni di salute e il benessere per tutti a tutte le età", l'obiettivo 4 "Offrire un'educazione di qualità, inclusiva e paritaria e promuovere le opportunità di apprendimento durante la vita per tutti", l'obiettivo 8 "Promuovere una crescita economica duratura, inclusiva e sostenibile, la piena e produttiva occupazione e un lavoro decoroso per tutti", l'obiettivo 9 "Costruire infrastrutture resistenti, promuovere l'industrializzazione sostenibile e inclusiva e favorire l'innovazione", l'obiettivo 10 "Riduzione delle disuguaglianze tra i Paesi;" e l'obiettivo 16 "Promuovere società pacifiche e inclusive per lo sviluppo sostenibile, garantire a tutti l'accesso alla giustizia, realizzare istituzioni effettive, responsabili e inclusive a tutti i livelli" – che hanno un impatto diretto e indiretto su tutti gli altri obiettivi di sviluppo sostenibile.

Gli edifici scolastici rappresentano una categoria di ambienti in cui si svolgono una molteplicità e una eterogeneità di attività e funzioni didattico-educative, in rapido progresso, che si differenziano dalle 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 presentano un forte impatto sulla salute, sull'istruzione, sull'educazione, e sui profili lavorativi. In tali ambienti sono presenti una serie di fonti di rischio per la salute degli studenti (oltre 8,5 milioni in Italia) del personale docente comune e di sostegno, dei tecnici, del personale amministrativo e non docente (collaboratore scolastico, operatori esterni, ecc.).

In vista delle importanti decisioni di spesa pubblica che verranno prese dai Governi (centrale, regionale e dai comuni), che consentirà di proseguire nel suo complesso il miglioramento degli edifici scolastici, va sottolineato come il focus specifico degli interventi e dei piani di rinnovamento, spesso resi necessari dalle cattive condizioni di conservazione, non possono essere orientati esclusivamente al tema dell'isolamento, del contenimento e dell'efficientamento energetico degli edifici (tenuto conto delle condizioni climatiche locali), che possono avere come risultato quello di alterare o peggiorare la qualità dell'aria, le condizioni microclimatiche e la naturale aerazione dell'edificio, ma devono seguire degli approcci funzionali sotto molti aspetti noti di tipo integrato e regolari, in grado di contribuire al miglioramento complessivo della qualità dell'aria e delle condizioni di lavoro, con l'obiettivo di promuovere e in senso più ampio garantire in modo permanente la salute degli studenti, del personale docente e non docente. Allo stesso

modo, deve offrire a tutti i massimi benefici del più attuale modello educativo e formativo di qualità non dimenticando a sua volta che l'istruzione e la salute si influenzano a vicenda sia a livello individuale che di Comunità. Analogamente tale approccio deve essere adottato per tutte quelle sequenze di azioni/interventi sempre più frequenti e massici e generalmente di lunga durata, svolte in diverse fasi, che riguardano le micro e macro ristrutturazioni, riqualificazioni o l'adeguamento tecnico-impiantistico (idrico, elettrico, termico, antincendio, ecc.) o di bonifica (es. amianto).

In tutte le nostre scuole, in cui per le diverse esigenze didattiche e motorie interagiscono personale docente, non docente, tecnico-amministrativo, studenti (bambini e adolescenti in rapida crescita, alcuni con disabilità e handicap fisici e psichici, sensoriali, migranti o minoranze), operatori di ditte esterne (addetti alla pulizia, addetti alla manutenzione, ecc.), sono obbligatori e necessari specifici interventi in materia di prevenzione della salute, considerando che qualunque sia il rischio l'esposizione negli ambienti *indoor* degli studenti e dei lavoratori (docenti, staff e personale della scuola), assume un particolare significato e rilievo, sia per le vulnerabilità dei soggetti (es. studenti e lavoratori alcuni con suscettibilità e disabilità diversificate più o meno complesse, o con malattie respiratorie, asmatici e allergici, o alterazione del sistema immunitario, ecc.), sia per gli elevati tempi di permanenza (es. gli ambienti e gli spazi scolastici rappresentano dopo l'abitazione i luoghi dove gli studenti trascorrono più tempo, in media circa 6-8 ore al giorno per almeno cinque giorni alla settimana per nove mesi l'anno, mentre per i docenti, staff e per il personale amministrativo si può estendere per periodi più o meno lunghi).

Nell'ultimo decennio le attività sulla qualità dell'aria *indoor* nelle scuole hanno rappresentato un chiaro obiettivo prioritario e comune dei diversi piani e programmi di prevenzione sia a livello nazionale (PNP 2010-2012, 2014-2018, Accordo tra Governo, Regioni, Province Autonome di Trento e Bolzano 2010: Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio *indoor* per allergie e asma, CCM *Indoor-School* 2010-2013), che a livello europeo (Risoluzione del Consiglio del 26 novembre 2018, Strategia per la Gioventù 2010-2018, 2019-2027, Strategia per l'ambiente e salute dell'Unione Europea SCALE, il Piano europeo d'azione per l'ambiente e la salute 2004-2010, il 6° e il 7° programma quadro, Accordo di Partenariato 2014-2020) e internazionale (Obiettivi dello Sviluppo Sostenibile UN, UNECE, UNEP) in accordo con le principali azioni sviluppate dalla Organizzazione Mondiale della Sanità (*World Health Organization*, WHO) (Dichiarazione di Ostrava, 2017, Dichiarazione di Parma, 2010) che oggi costituiscono un prezioso punto di partenza per lo sviluppo e la diffusione di un piano d'azione generale con atti legislativi mirati (già in essere in diversi Paesi europei che hanno stabilito le concentrazioni massive consentite in aria *indoor* su selezionati inquinanti prioritari dal punto di vista degli impatti sulla salute e hanno permesso di pianificare le attività di misurazione, le modalità operative di controllo, il relativo tempo di monitoraggio e verifica, la pubblicazione di apposite linee guida, ecc.).

Nel nostro Paese, in relazione alla qualità dell'aria *indoor* esiste un ritardo legislativo che deve essere obbligatoriamente e rapidamente colmato, con l'emanazione di uno specifico atto che contenga idonei riferimenti per inquinanti chimici e biologici in linea con quelli elaborati dalla WHO, con i protocolli e le procedure specifiche più recenti e di facile utilizzo previste dalla norma ISO 16000 *Indoor Air* nelle sue diverse parti e dai rapporti del GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS. Anche l'attuale sistema di leggi in materia di prevenzione e protezione della salute ha comportato una confusione di linguaggio, una difficoltà e un'ambiguità di interpretazione, compreso l'ambito di applicazione, che non hanno aiutato, anzi spesso hanno causato come risultato quello di confondere e disorientare i tecnici e gli operatori del SSN e altri soggetti interessati (es. Dirigenti scolastici, RSPP, Uffici tecnici Comunali, Uffici Scolastici regionali, Uffici regionali sanitari, Proprietari degli edifici scolastici, ecc.), impegnati a vario titolo nello sviluppo di programmi e valutazioni, influenzando o rallentando l'individuazione delle specifiche azioni di prevenzione e

riduzione dell'esposizione, la conoscenza e la formazione continua e dedicata al miglioramento della qualità dell'aria *indoor* nei diversi ambienti tipicamente *indoor*.

Per questo motivo, in questo percorso di avvicinamento è necessario continuare ad apportare una concreta armonizzazione, revisione, aggiornamento e ampliamento su specifici aspetti anche al DL.vo 81/2008 s.m.i., che tuttora risulta non esaustivo e carente al riguardo di idonei riferimenti per gli ambienti *indoor* (es. sia come definizioni, sia come metodologie di rilevamento e misura, sia come concentrazioni di riferimento sui principali inquinanti), coerentemente con quelle che sono le indicazioni già prodotte dalla WHO, che tenga conto del tipo di attività svolta negli ambienti scolastici, della vulnerabilità e sensibilità degli studenti e del personale docente e non docente, dei livelli di concentrazione degli inquinanti chimici e biologici e infine dei livelli di esposizione in tali ambienti. Gli studenti, in quanto sono i soggetti primari a cui vanno rivolte tutte le attività e le potenzialità delle prestazioni didattiche, culturali e formative, ma nel contempo sono i più vulnerabili perché presentano un organismo non ancora completamente sviluppato, e in costante crescita, devono essere oggetto di una speciale attenzione e protezione riguardo a quelle che possono essere le caratteristiche di "qualità" dell'aria *indoor* che vengono a determinarsi nei diversi ambienti, luoghi e spazi funzionali presenti negli edifici scolastici progettati per queste attività (es. aule, laboratori didattici specializzati: multimediali, musicali, biblioteche, palestre, uffici amministrativi, ecc.).

Complessivamente, tutti questi aspetti sono evidenziati nell'*Air Pollution Strategy del Country Profile* del nostro Paese pubblicato dalla WHO nel 2017, in cui si sottolinea la necessità di predisporre un atto legislativo specifico sulla qualità dell'aria *indoor*, di apportare una revisione e aggiornamento al DL.vo 81/2008 s.m.i., che deve tener conto delle trasformazioni in corso nel mondo del lavoro, delle attività e degli ambienti *indoor*, degli aspetti specifici legati alle esposizioni *indoor* dei cittadini e dei lavoratori, al fine di rafforzare la ricerca di soluzioni di prevenzione e protezione dei rischi per vivere in salute.

Considerando che l'istruzione è uno dei principali determinanti sociali della salute, questo documento del GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS incentrato sugli ambienti scolastici, intende offrire l'opportunità di:

- far comprendere lo stretto rapporto esistente tra ambiente scolastico, salute e inquinamento dell'aria *indoor* nell'eterogeneo contesto scolastico (es. aule, laboratori didattici linguistici, informatici e musicali, palestre, uffici amministrativi, ecc.), attraverso la conoscenza e l'acquisizione di dati sugli inquinanti chimici e biologici;
- promuovere e facilitare le azioni di riduzione dell'esposizione ad inquinanti chimici e biologici;
- stimolare la corretta scelta e uso dei processi di efficientamento energetico (il cui vero ruolo fino ad oggi non è stato ben compreso e ancora una volta nella Direttiva (UE) 2018/844 è stato esplicitato in modo chiaro da ottimizzare il livello di benessere, la qualità dell'aria *indoor*);
- far comprendere la necessità di effettuare un regolare ricambio dell'aria;
- ammodernare aule, laboratori didattici specialistici, palestre, uffici, ecc.;
- fornire arredi sempre più adeguati alla didattica (banco, sedie, ecc. spesso recuperati, o acquistati per poco);
- scegliere materiali didattici e di consumo (es. per inalazione o per contatto dermico, il non lavarsi le mani dopo l'uso o l'introduzione di dita e materiali didattici direttamente in bocca) tenendo conto dei livelli emissivi di sostanze inquinanti dei singoli materiali (richiedendo per esempio ai progettisti e ai fornitori la documentazione utilizzata per la

scelta dei materiali, i rapporti e i dati sulle emissioni degli inquinanti, il rispetto degli standard UE, ecc.),

- riordinare le informazioni di base sui materiali, sulle condizioni d'uso dei prodotti e delle attrezzature utilizzate nell'attività di pulizia dagli addetti/operatori spesso di tipo qualitativa, non sempre al passo e poco considerate perché generalmente gli operatori effettuano le attività di riordino e di pulizia delle aule, degli ambienti e/o luoghi (spolveratura, spazzamento, lavaggio, disinfezione, sanificazione, ecc.) subito dopo la fine dell'orario scolastico (es. facendo riferimento al documento operativo elaborato che contiene le procedure, i protocolli, le modalità, i tempi, le tecniche e le schede di pulizie per ciascun ambiente, alle schede di sicurezza, alle schede tecniche, al registro sui controlli dello stato di conservazione dei prodotti molto spesso trascurati, ovvero all'assenza di momenti di verifiche e controlli, ecc.),
- favorire l'acquisizione di comportamenti positivi e prevenire quelli più a rischio (es. valutando le conseguenze delle nostre azioni come causa possibile di danni immediati o futuri es. l'uso improprio ed errato di prodotti e materiali, la noncuranza, ecc.);
- attivare e realizzare efficaci programmi di tipo educativo e formativo obbligatori per gli studenti e per il personale sui potenziali rischi per la salute, e accrescere le conoscenze di nozioni sulla tematica (visto che generalmente le attività formative riguardano esclusivamente l'ergonomia, i videotermini, le modalità/esercitazioni di evacuazione in caso d'incendio, di eventi sismici o crolli, ecc. e raramente i temi della qualità dell'aria *indoor*), non tenendo conto dei bisogni specifici degli studenti e delle attività svolte dal personale docente e non, di elaborare, adattare, implementare e approfondire la divulgazione e la diffusione delle attività e delle buone pratiche sulla qualità dell'aria *indoor* nel contesto scolastico;
- predisporre la restituzione dei risultati dei monitoraggi a tutte le parti interessate, di promuovere e consolidare una cultura della prevenzione della Salute su questa tematica che studenti e personale possono riportare a tutta la famiglia, secondo i più aggiornati riferimenti tecnico-scientifici raccomandati dalla WHO, in parte recepite e rese obbligatorie dalla legislazione nazionale.

In particolare il documento si applica a:

- *inquinanti chimici*
 - Composti Organici Volatili (COV)*;
 - materiale particolato sospeso (*Particulate Matter*, PM) PM₁₀ e PM_{2,5} e, se si ritiene necessario la caratterizzazione chimica del PM₁₀ e PM_{2,5} in termini di contenuto di selezionati composti organici semivolatili (*Semi-Volatile Organic Compounds*, SVOC)* come: Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), PolichloroDibenzoDiossine (PCDD), PolichloroDibenzoFurani (PCDF), PolichloroBifenili (PCB) e metalli;
- *inquinanti biologici*
 - batteri, funghi, virus e allergeni

Questi inquinanti sono tutti fonti potenziali di rischio, presenti nei diversi ambienti, aree o luoghi degli edifici scolastici utilizzati dagli studenti, dal personale docente, dal personale tecnico-amministrativo e non, quali aule per la didattica e la formazione, i laboratori più

* La definizione di COV e SVOC è quella proposta dalla WHO nel documento "Indoor Air Quality: Organic Pollutants".

specialistici es. linguistici, informatici, musicali e artistici, le palestre, le biblioteche, le sale riunioni, gli uffici amministrativi, le segreterie, le aree comuni, ecc.

Nella trattazione non rientrano chiaramente i laboratori dedicati alle attività didattiche e alle esercitazioni di chimica, di biologia, di scienze generale o le officine (es. meccaniche, lavorazioni metalli, falegnameria, ecc.), in cui si fa uso sotto cappa di agenti chimici e biologici (di non sempre modesta entità) la cui qualità dell'aria, nonché la formazione e informazione del personale docente, dei tecnici di laboratorio, ecc., che degli studenti, è oggetto di specifiche raccomandazioni e norme tecniche che fanno riferimento ad esposizioni professionali derivanti dall'utilizzo di prodotti chimici e biologici i cui standard sono di derivazione occupazionale-industriale – ad esempio i Valori Limite di Esposizione Professionale (VLEP) dell'Allegato XXXVIII e XVIII del DL.vo 81/2008 s.m.i.) o i valori limite di soglia (*Threshold Limit Value*, TLV®, *Occupational Exposure Limit*, OEL ECHA/RAC) prolungate nel tempo o di breve periodo TLV-TWA®, OEL-TWA (*Time-Weighted Average*) o TLV®-STEL, OEL-STEL (*Short Term Exposure Limit*), TLV-C® (*Ceiling*), ecc.

Va ricordato che le metodologie che si propongono nel presente documento sono già comunemente utilizzate in numerose iniziative nazionali ed europee e fanno riferimento ai principali metodi elaborati sulla qualità dell'aria *indoor* dall'*International Standard Organization* (ISO) e recepiti dall'*European Committee For Standardization* (CEN) e in parte in Italia dall'Ente Italiano di Normazione (UNI).

In questi dieci anni d'attività il Gruppo di Studio Nazionale (GdS) Inquinamento *Indoor* dell'ISS, nel quale sono rappresentate le varie componenti ministeriali (Ministero della Salute, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali), le regioni e gli istituti di ricerca (Istituto Superiore di Sanità-ISS, Consiglio Nazionale delle Ricerche-CNR, Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro-INAIL, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile-ENEA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale-ISPRA, Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente-SNPA), la cui composizione è riportata nelle pagine precedenti, ha elaborato una serie di documenti di riferimento, e svolto attività di formazione informazione, al fine di consentire e attuare azioni armonizzate a livello nazionale, e di portare una maggiore chiarezza, comprensione e conoscenza in uno dei temi di grandi attualità di questi anni.

I documenti del GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS, già pubblicati come *Rapporti ISTISAN* o documenti divulgativi (dove sono state formulate tra l'altro delle raccomandazioni per prevenire l'inquinamento dell'aria *indoor*, per migliorare i comportamenti, la sensibilizzazione culturale e la consapevolezza, la formazione, per ridurre l'esposizione e gli effetti sulla salute e per aumentare la competitività economica), intendono promuovere e favorire la progettazione e lo sviluppo di una strategia nazionale sulla qualità della aria *indoor*, che oggi rappresenta una priorità che il nostro Paese deve raggiungere. Di seguito si riporta l'elenco:

- *Rapporti ISTISAN 13/4: Strategie di monitoraggio dei Composti Organici Volatili (COV) in ambiente indoor;*
- *Rapporti ISTISAN 13/37: Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente indoor;*
- *Rapporti ISTISAN 13/39: Workshop. Problematiche relative all'inquinamento indoor: attuale situazione in Italia. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 25 giugno 2012. Atti;*
- *Rapporti ISTISAN 15/4: Workshop. La qualità dell'aria indoor: attuale situazione nazionale e comunitaria. L'esperienza del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 28 maggio 2014. Atti;*

- *Rapporti ISTISAN 15/5: Strategie di monitoraggio per determinare la concentrazione di fibre di amianto e fibre artificiali vetrose aerodisperse in ambiente indoor;*
- *Rapporti ISTISAN 15/25: Parametri microclimatici e inquinamento indoor;*
- *Rapporti ISTISAN 16/15: Presenza di CO₂ e H₂S in ambienti indoor: conoscenze attuali e letteratura scientifica in materia;*
- *Rapporti ISTISAN 16/16: Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM₁₀ e PM_{2,5} in ambiente indoor: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici;*
- *Rapporti ISTISAN 19/17: Qualità dell'aria indoor negli ambienti sanitari: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici;*
- *Opuscolo divulgativo dal titolo "L'aria nella nostra casa".*

Gaetano Settimo
Coordinatore del GdS Inquinamento *Indoor*

INTRODUZIONE

Gli edifici scolastici attivi nei territori in cui operano fruttuosamente e in stretto contatto con il tessuto sociale, rappresentano un insieme di luoghi e centri di vita sociale fondamentali, dove si costruiscono, si acquisiscono, si incoraggiano e si sviluppano le conoscenze pratiche e le competenze operative necessarie alle nuove generazioni di cittadini delle società del mondo di domani (questo ruolo tra l'altro è richiamato nell'obiettivo 4 "Offrire un'educazione di qualità, inclusiva e paritaria e promuovere le opportunità di apprendimento durante la vita per tutti" dell'Agenda dello Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite e della strategia dell'Unione europea per la gioventù 2019-2027) (1-9). Il sistema scolastico ancora oggi è il principale agente di socializzazione delle moderne società. Questo ruolo apparentemente scontato, deve poter tenere il passo con i cambiamenti delle strategie e degli approcci di apprendimento, dei requisiti e delle capacità degli spazi, dei profili richiesti, ecc., al fine di migliorare e sostenere con continuità l'equità nello sviluppo delle conoscenze e competenze, il benessere economico personale e sociale (come riportato dalla Commissione Europea è probabile che la maggior parte dei bambini che iniziano oggi la scuola elementare eserciteranno un domani professioni attualmente sconosciute), l'educazione alla salute (4-13), e poter riflettere l'idea di progetto nazionale di istruzione, educazione, apprendimento formazione, occupazione, reddito e prevenzione della salute, che non può funzionare senza la consapevolezza, la partecipazione attiva e la collaborazione e la responsabilità reciproca e condivisa tra l'organizzazione scolastica e i genitori. Infatti a parità di altre condizioni, livelli di scolarizzazione più elevati contribuiscono a migliorare lo stato socioeconomico, l'impegno civile e lo stato di salute.

Sul piano operativo, per svolgere questo ruolo, a cui tutti i cittadini sia per sensibilità individuale che collettiva guardano con grande attenzione, le scuole devono poter disporre di:

- specifici ambienti e spazi fisici sempre più specializzati e funzionali, ben progettati e arredati utilizzando standard e norme tecniche dedicate in base ai programmi e alle attività, che possono avere impatto positivo sulla didattica;
- adeguate prestazioni tecniche, quali ad esempio le dimensioni minime per tipologia di destinazione degli ambienti scolastici per l'infanzia, per la primaria e la secondaria, % di superfici dedicate, dimensionamento aree attrezzate, ecc.;
- aule di tipo tradizionale e/o più avanzate, "gli spazi del fare", aree per la didattica collaborativa con i nuovi metodi di lavoro e con le dotazioni di computer, lavagne interattive multimediali (LIM), tablet, ecc.;
- laboratori disciplinari specialistici come quelli linguistici, informatici, musicali, artistici, le palestre motorie e sportive, la biblioteca, l'aula magna, le segreterie e gli uffici amministrativi, le aree comuni, solo per citarne alcuni, che risultano caratterizzati dalla presenza in aria *indoor* di agenti chimici e biologici che possono influire sullo stato di salute, sull'apprendimento e sulle capacità didattiche e lavorative degli studenti, del personale docente e non docente, ecc. e sui cui è necessario attuare efficaci misure di controllo e di formazione specifica (12-20).

Infatti indipendentemente dagli effetti sulla salute, la qualità dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici ha una sua influenza negativa sui diversi fruitori della scuola:

- *Studenti*
Per gli studenti svolge un ruolo su: qualità del rendimento, apprendimento, motivazioni e risultati educativi (es. maggiore affaticamento, ridotta capacità di attenzione, perdita di

concentrazione, riduzione delle giornate di presenza/frequenza a scuola per infezioni respiratorie o attacchi di asma bronchiale che comportano un aumento dei costi sanitari a carico delle famiglie);

– *Personale docente e non docente*

La qualità dell'aria degli ambienti della scuola influenza le prestazioni e la soddisfazione del personale docente, tecnico-amministrativo e non (es. aumento/perdita della produttività, della concentrazione, dei tempi di reazione (7), del livello di motivazione e di riduzione dell'insoddisfazione, incremento delle competenze professionali, riduzione delle giornate di non presenza a scuola, stress, aumento dei costi sanitari e di assistenza a carico del lavoratore, dell'SSN, ecc.) e il benessere fisico e mentale.

Pertanto il perseguimento del miglioramento della qualità dell'aria *indoor* nelle scuole si tradurrà nel suo complesso in un beneficio significativo per tutta la vita sulla salute degli studenti, del personale docente, tecnico-amministrativo, del personale di ditte esterne e non (es. livello di istruzione, migliori condizioni di vita, crescita delle conoscenze sanitarie, maggiori opportunità di occupazione e reddito, riduzione delle diseguaglianze sulla salute e sulla povertà sociale, ecc.), alcuni dei quali con bisogni specifici (es. con handicap fisici e psichici, asmatici e allergici, migranti e minoranze), che all'interno degli ambienti scolastici trascorrono la maggior parte del loro tempo (12-22).

Nello specifico per le scuole, risulta fondamentale considerare l'insieme dei rapporti strettissimi che intercorrono tra:

- “qualità”, funzionalità, grado di ammodernamento e prestazione per tipologia di struttura edilizia scolastica (es. l'edificio era stato progettato sin dall'inizio per ospitare ambienti scolastici, con spazi didattici tradizionali, oppure è un edificio che è stato semplicemente riadattato e/o adeguato alle esigenze scolastiche, che ha comportato la chiusura di porte e finestre, lo spostamento di muri, ottenendo come risultato aule con *layout* e volumetrie poco adatte o del tutto inadeguate alla didattica, oppure è un edificio scolastico di rilevanza storica, ecc.);
- tipi di misure di efficienza energetica;
- caratteristiche delle finiture e degli arredi didattici, tecnici e sportivi;
- qualità e corretto utilizzo dei materiali delle attrezzature didattiche (es. pennarelli, tempere, colori acrilici, evidenziatori, colle, stampanti, ecc.);
- numero e presenza di studenti;
- corretta scelta dei materiali e prodotti per pulizia delle aule (banchi, sedie, lavagne, armadi, arredi vari, pavimenti, tende, bocchette d'aerazione, vetri, ecc.) laboratori (scrivanie, banconi, bacheche, pavimenti, tende, ecc.), palestra (attrezzature, stuoie, panche, pavimenti, ecc.), uffici (scrivania, sedia, tende, pavimenti, bocchette di aerazione, ecc.) (spesso a tali operazioni non viene data la sua effettiva importanza, con poche verifiche e controlli sul servizio svolto quotidianamente);
- tipo di aerazione (naturale o forzata) e presenza e operatività degli impianti tecnologici (es. le scuole di nuova realizzazione e per quelle sottoposte ad interventi di ristrutturazione stanno iniziando a dotarsi di sistemi tecnologici finalizzati ad una migliore gestione della ventilazione non solo ai fini energetici, ma anche per il riscaldamento e raffrescamento, ecc.);
- regolare e sistematica attività manutentiva sull'intero edificio per affrontare l'invecchiamento dei materiali e degli arredi (es. interventi di imbiancatura, riparazioni di porte interne ed esterne, ripristino di mobili e arredi, manutenzione dei servizi igienici,

degli impianti tecnologici per garantire le prestazioni iniziali e continue di tali impianti, del verde, ecc.);

- divieto di fumare, e più in generale qualità della gestione organica delle molteplici attività di prevenzione routinaria messe in atto e condivise all'interno dell'organizzazione scolastica nei diversi momenti della giornata, e i comportamenti degli studenti, del personale docente, del personale non docente e di quello tecnico-amministrativo (13-22).

Per questo occorre mettere in atto una serie di nuove strategie, interventi radicali, appropriati e organizzati, che dipendono da molti fattori che non possono essere limitati a singole voci come è stato fatto fino ad oggi, ad esempio adeguamenti di tipo elettrico, idrico, la messa in sicurezza antisismica, antincendio, architettonica, o di efficienza energetica, senza comprendere tra gli interventi o tra le priorità il miglioramento della qualità dell'aria *indoor*. Tutti questi interventi di adeguamento contribuiscono in modo significativo sulla qualità dell'aria *indoor* e sullo stato di salute degli studenti e di tutto il personale (da quello docente a quello non docente). Pertanto è necessario un approccio integrato responsabile e globale di prevenzione quotidiana (non va dimenticata un'efficace azione specifica di formazione e sensibilizzazione sui temi della qualità dell'aria) che tenga conto in modo più ampio sia dei cambiamenti, delle funzioni e della versatilità degli ambienti didattici (questo è uno dei motivi per cui gli edifici scolastici hanno urgente bisogno di un rinnovamento profondo), sia delle nuove esigenze nel fare didattica, sia della gestione sostenibile dell'edificio, che della qualità dell'aria *indoor* secondo le direttrici individuate dalla WHO già agli inizi degli anni 2000: *Ottawa Charter for Health Promotion, Children's Environment and Health Action Plan for Europe* (CEHAPE) (29), Dichiarazione di Parma (30), e alcune linee guida sull'aria *indoor* elaborate dallo *European Regional Office* della WHO (31, 32).

Permane, quindi la necessità di un vero cambiamento e aggiornamento degli interventi di prevenzione e promozione della salute, che tenga conto della specificità dei "fruitori" e del valore protettivo che devono avere i diversi ambienti scolastici. Purtroppo ancora fino a poco tempo fa la maggior parte delle attività e degli interventi diretti e indiretti di prevenzione e formazione è limitata esclusivamente a selezionati ambienti e attività didattiche con una specifica esposizione professionale svolte nei laboratori specialistici di chimica, meccanica, fisica, ecc., ai fattori ergonomici (es. postura nello svolgimento delle attività didattiche e nell'uso dei videoterminali, ecc.), infortunistici (scivolamenti, cadute e lesioni, ecc.), e di sicurezza antincendio, impiantistica e/o adeguamento strutturale dell'edificio (es. elettrico, idrico, antisismica, abbattimento delle barriere architettoniche, ecc.). In ogni caso nella programmazione di tutte queste numerose attività, risultano carenti gli aspetti relativi alla qualità dell'aria *indoor*, alle esposizioni *indoor*, all'impatto dell'ambiente costruito sulla salute, alle condizioni microclimatiche di utilizzo (es. temperatura ambiente, umidità relativa, ricambi d'aria, ecc.), alle attività didattiche e motorie svolte nelle aule, palestra o nei laboratori didattici specialistici, al ruolo dei materiali da costruzione (mattoni, blocchi, pietre, malte, ecc.), decorazione (es. pitture, vernici, ecc.), ai componenti di arredo (es. mobili, scrivanie, banchi, armadi, tendaggi, ecc.), ai prodotti per la pulizia e detergenza di uso quotidiano, ecc., alle condizioni igieniche degli ambienti, o a quelli più che mai essenziali relativi alla formazione del personale. In questo scenario la risposta del sistema scolastico nazionale e del SSN si è concretizzata con l'iniziare gradualmente in modo episodico/occasionale ad effettuare indagini o attività di monitoraggio della qualità dell'aria *indoor* dedicate alla presenza o alla verifica delle concentrazioni di inquinanti chimici e biologici nelle aule o ambienti *indoor* (19-25). Mai come oggi tali attività di verifica e controllo vengono poste all'attenzione della direzione scolastica da parte dei docenti, dal personale amministrativo dal personale non docente e dagli studenti, che lamentano spesso situazioni di "disagio" durante la permanenza nell'edificio scolastico. Solitamente sul piano operativo si tratta di richieste che vengono formulate per reclami a situazioni di disagio legate al cattivo ricambio dell'aria, alla

presenza di nuovi arredi nelle aule, durante o post lavori di manutenzione o ristrutturazione delle aule, palestre, uffici, dopo la consegna delle aule, o dopo l'utilizzo di prodotti per la pulizia e detergenza, o disinfestazione, o dovuti al non corretto funzionamento dei sistemi di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) o alla presenza di umidità (18-29).

Nello specifico la WHO, al fine di meglio affrontare le diverse problematiche della qualità dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici, ha pubblicato alcuni documenti (13, 14, 15, 30-38) e, nello specifico lo "School Environments. Policies and current status" (36), che ha raccolto un elenco dei principali programmi di studio finanziati in Europa sugli aspetti legati alla qualità *indoor* (sorgenti, qualità e quantità di prodotti chimici e biologici, comfort termico, consumo di energia e ventilazione), in cui è stata posta l'attenzione su selezionanti inquinanti chimici, biologici e sul grado di ventilazione, con l'obiettivo di migliorare le conoscenze sui livelli di concentrazione di tali inquinanti. Più in generale il documento contiene una sintesi delle diverse politiche adottate per il miglioramento della "qualità" degli ambienti scolastici nei diversi paesi a seguito della sottoscrizione della Dichiarazione di Parma (32). Sempre con riferimento al documento della WHO, entrando nel dettaglio, ci si accorge come sia sempre più necessaria per la rilevanza e la responsabilità sociale che rivestono le scuole, la presenza di esperti altamente qualificati e specializzati negli ambienti *indoor* di grande impatto come quelle delle strutture scolastiche.

La Commissione Europea ha finanziato diversi studi sulla qualità dell'aria *indoor* – *Health Effects of School Environment* (HESE) (39), *School Environment and Respiratory Health of Children* (SEARCH) (40), solo per citarne alcuni – e nell'ultimo progetto europeo *Schools Indoor Pollution and Health: Observatory Network in Europe* (SINPHONIE) (41) ha iniziato a sviluppare linee guida e raccomandazioni per un ambiente scolastico sano, costituendo, pertanto, un supporto informativo supplementare alle linee guida nazionali in vigore. Nel documento, che per gli aspetti metodologici fa riferimento alle norme ISO disponibili, vengono individuati indicatori fisici, chimici e biologici per la valutazione della qualità dell'aria *indoor* nelle scuole europee e, tra i fattori di stress microbiologico, vengono indicati specifici gruppi fungini da monitorare.

Per quanto riguarda in particolare gli inquinanti chimici, un esame della situazione attuale nella UE evidenzia che alcuni Stati membri, come ad esempio la Francia, il Belgio, i Paesi Bassi, la Germania solo per citarne alcuni (42-46) hanno pubblicato dei documenti guida ed elaborato con specifici interventi prioritari una legislazione nazionale sulla qualità dell'aria *indoor*, nelle scuole, con valori numerici (valori di riferimento, guida, tempistica, ecc.), con indicazioni per il controllo, lo svolgimento di campagne di rilevamento della qualità dell'aria *indoor*, e l'elaborazione dei dati di monitoraggio dell'aria *indoor*, che sono in linea con gli attuali valori guida della WHO pubblicati nel 2009 e nel 2010. La Francia, già dal 2012 con l'aggiornamento della legge Grenelle 2 con gli articoli L. 221-8 e R. 221-30 e seguenti del Codice Ambiente, ha reso obbligatorio il monitoraggio della qualità dell'aria *indoor* in ambienti con presenza di bambini con età inferiore a 6 anni e di ragazzi in età adolescenziale, come gli asili nido, le scuole medie, gli istituti professionali e le superiori, ecc. In particolare per le scuole materne è già in vigore dal 1° gennaio 2018 (originariamente era stato previsto per il 1° gennaio 2015) il monitoraggio *indoor* per il benzene, la formaldeide, l'anidride carbonica (CO₂) e il tetracloroetilene (per gli asili e le scuole vicine a lavanderie), mentre per le scuole medie e superiori è in vigore il 1° gennaio 2020. Contemporaneamente veniva pubblicata già nel 2016, una specifica guida pratica e un piano d'azione che riportata le attività di autovalutazione da effettuare attraverso delle griglie di autodiagnosi sui livelli di benzene, formaldeide, tetracloroetilene e CO₂ al fine di identificare rapidamente le azioni di miglioramento della qualità dell'aria *indoor* (47). Lo scopo di questa guida pratica era quello di coinvolgere e formare e tutte le figure (dal personale docente, non docente, agli studenti, alle famiglie e al personale di

manutenzione) ad una maggiore responsabilità sulla tematica in un approccio coordinato e proattivo di continuo miglioramento dell'aria *indoor*. Per i Paesi Bassi nel documento *Indoor air quality in primary schools* sono stati individuati dei valori obiettivo per una serie di inquinanti chimici e biologici, mentre per quanto riguarda il Belgio, nella Regione Fiamminga, il Governo ha pubblicato due decreti, il *Décret relatif à la qualité de l'air intérieur* del 31 gennaio 2019, pubblicato il 12 marzo 2019 e il *Arrêté royal modifiant le code du bien-être au travail en matière de qualité de l'air intérieur dans les locaux de travail* del 2 maggio 2019 (48), in cui il governo si impegna ad educare i cittadini sull'importanza della qualità dell'aria *indoor*, a pubblicare guide di buone pratiche sull'aria *indoor*, per diversi tipi di edifici: scuola, ospedale, ecc., di vietare l'uso di determinati prodotti in ambienti *indoor*, quando le guide sulle buone pratiche e le misure non consentono di mitigare efficacemente gli effetti di questi prodotti, di fissare requisiti per la manutenzione e il controllo operativo degli impianti che incidono sulla qualità dell'aria *indoor*, di sviluppare un osservatorio nazionale della qualità dell'aria *indoor*. Inoltre è presente un livello di riferimento sulla CO₂. Per quanto riguarda la Germania, si deve far riferimento alle linee guida *Guidelines for Indoor Air Hygiene in School Buildings*, in cui sono indicate le principali sorgenti, gli inquinanti, e i valori guida *Richtwert RWI* e *RWII* (49) che tengono conto di gruppi di popolazione sensibili e di bambini.

In questi paesi il rispetto delle indicazioni di legge e l'applicazione corretta di protocolli pratici rimane uno dei punti fondamentali per il raggiungimento di una buona qualità dell'aria *indoor* nelle strutture scolastiche.

Nel nostro Paese la difficoltà maggiore rimane quella relativa all'assenza di una vera politica nazionale integrata in materia di qualità dell'aria *indoor*, con specifici riferimenti legislativi, che riporti i valori numerici di riferimento nazionali (es. valori guida, riferimento, valori d'azione, ecc.), mentre per la corretta strategia di monitoraggio e valutazione dei risultati, sono già a disposizione i *Rapporti ISTISAN* (pubblicati dal GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS) (44, 45, 50, 51, 52). In assenza di riferimenti nazionali è possibile utilizzare quelli presenti nei documenti sull'*indoor air quality* della WHO (33, 34, 36) oppure quelli presenti nella specifica legislazione di altri Paesi europei o, per analogia, ad altri standard quali, ad esempio, quelli relativi all'aria ambiente per cui sono stati emanati specifici riferimenti legislativi (es. DL.vo 155/2010 s.m.i.) su un numero limitato di inquinanti (42-46, 48, 49).

Mentre per quanto riguarda invece gli inquinanti biologici, sebbene esistano raccomandazioni di agenzie e organismi internazionali, non vi sono, a livello legislativo, standard di riferimento per i parametri microbiologici della qualità dell'aria *indoor*, ciò avviene a causa delle difficoltà che si riscontrano nel correlare i dati degli esami microbiologici con quelli delle indagini epidemiologiche (52).

In Appendice A1 si riportano i principali riferimenti numerici per diversi inquinanti chimici d'interesse presenti nella legislazione o nei documenti guida di diversi Paesi europei (42-46, 48, 49). In Appendice A2 si riportano alcuni riferimenti numerici per gli inquinanti biologici proposti da alcune associazioni e Paesi che però non rappresentano valori limite vincolanti in quanto non inseriti in atti legislativi.

Lo scopo principale del GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS è di fornire agli operatori le procedure e gli strumenti necessari a migliorare quotidianamente la conoscenza della qualità dell'aria negli "ambienti e negli spazi simbolo in cui si insegna a diventare cittadini" e di adeguare, sviluppare e ripensare la programmazione di iniziative e di azioni di prevenzione (con una visione unitaria per essere realmente efficaci), di sensibilizzazione culturale, formazione e informazione continua, tutela e promozione dello stato di salute a ogni livello della "Comunità scolastica" dai dirigenti scolastici, al personale docente e non docente, agli studenti (bambini e ragazzi, alcuni dei quali con disabilità fisica e psichica, asmatici, allergici, migranti, minoranze), confermando il ruolo di primo piano della scuola come luogo di educazione e di cultura della

prevenzione della salute per le nuove generazioni (sapranno così riconoscere e ridurre i rischi per la salute durante la permanenza a scuola e nelle proprie case), che rappresentano l'indicatore più sensibile delle relazioni tra fattori di rischio ambientali e salute della popolazione generale in considerazione della minore età e dei tempi di permanenza durante i periodi critici delle fasi dello sviluppo (con una media che va tra le 25 e le 50 ore circa a settimana), così come previsto dagli Organismi internazionali (dalla WHO alla UNECE al Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente UNEP), europei e nazionali.

Bibliografia

1. United Nations. *Sustainable Development Goals (SDG)*. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. UN Resolution A7RES/70/1, New York.
2. Italia. Delibera 22 dicembre 2017 n. 108/2017. Approvazione della strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile. *Gazzetta Ufficiale – Serie generale* n.111 del 15 maggio 2018.
3. Europa. Risoluzione del Consiglio dell'Unione europea e dei rappresentanti dei governi degli Stati membri, riuniti in sede di Consiglio, su un quadro di cooperazione europea in materia di gioventù: La strategia dell'Unione europea per la gioventù 2019-2027. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* C 456 del 18 dicembre 2018.
4. Europa. Risoluzione del Consiglio e dei rappresentanti dei governi degli Stati membri, riuniti in sede di Consiglio, su un piano di lavoro dell'Unione europea per la gioventù per il 2016-2018. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* C 417 del 15 dicembre 2015.
5. European Commission. Commission Staff Working Document. *Evaluation of the EU youth strategy*. Brussels: European Commission; 2017. (SWD(2017) 281 final).
6. Europa. Relazione congiunta del Consiglio e della Commissione sull'attuazione di un quadro rinnovato di cooperazione europea in materia di gioventù per il 2012 (2010-2018) (2012/C 394/03). *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* C 394 del 20 dicembre 2012.
7. Organisation for Economic Co-operation and Development OECD. *Equity in education breaking down barriers to social mobility Programme for International Student Assessment (PISA)*. Paris: OECD Publishing; 2018.
8. Commissione Europea. Expert Panel on effective ways of investing in Health (EXPH), Options to Foster Health Promoting Health Systems, 7 November, 2019. European Union; 2019.
9. Ministero Pubblica Istruzione. *Direttiva 21 luglio 1995, n. 254. Carta dei servizi scolastici*. Roma: Ministero Pubblica Istruzione; 1995.
10. Italia. Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri. Indirizzi per l'attuazione dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite e della Strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile. *Gazzetta Ufficiale – Serie Generale* n.137 del 15 giugno 2018.
11. Europa. Raccomandazione del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 dicembre 2006 relativa a competenze chiave per l'apprendimento permanente. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L 39410 del 30.12.2006.
12. Commissione Europea. *Libro bianco sul futuro dell'Europa. Riflessioni e scenari per l'UE a 27 verso il 2025*. Bruxelles: Commissione Europea; 2017. (COM(2017) 2025 final).
13. WHO Regional Office for Europe. *The impact of health and health behaviours on educational outcomes in high-income countries: a review of the evidence*. Regional Office for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2011.
14. WHO Regional Office for Europe. *Health 2020: Education and health through early development*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2015.

15. WHO Regional Office for Europe. *Health Equity Policy Tool. A framework to track policies for increasing health equity in the WHO European Region*. Geneva: WHO Regional Office for Europe; 2019.
16. Organisation for Economic Co-operation and Development. *School user survey: improving learning spaces together*. Paris: OECD Publishing; 2018.
17. Commissione Europea. *Istruzione e formazione 2020 Conclusioni dei gruppi di lavoro 2014-2015*. Bruxelles: Commissione Europea; 2016.
18. Borri S (Ed.). *The classroom has broken changing school architecture in Europe and across the world*. Firenze: Istituto nazionale di documentazione innovazione e ricerca educativa; 2018.
19. Borri S (Ed.). *Spazi educativi e architetture scolastiche: linee e indirizzi internazionali*. Firenze: Istituto nazionale di documentazione innovazione e ricerca educativa; 2016.
20. Ministro per i lavori pubblici di concerto, Ministro per la pubblica istruzione. Decreto ministeriale 18 dicembre 1975. Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica. *Gazzetta Ufficiale* n. 29 del 2 febbraio 1976.
21. Italia. Decreto Presidente della Repubblica 27 aprile 1978, n. 384. Regolamento di attuazione dell'art. 27 della L. 30 marzo 1971, n. 118, a favore dei mutilati e invalidi civili, in materia di barriere architettoniche e trasporti pubblici. *Gazzetta Ufficiale* n. 204 del 22 luglio 1978.
22. Italia. Legge 11 gennaio 1996, n. 23 Norme per l'edilizia scolastica. *Gazzetta Ufficiale – Serie Generale* n.15 del 19 gennaio 1996.
23. Italia. Accordo Stato-Regioni del 27/09/2001 tra il Ministero della salute, le regioni e le province autonome sul documento concernente: Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati. *Gazzetta Ufficiale - Serie generale* n. 276 del 27 novembre 2001.
24. Italia. Accordo, ai sensi dell'articolo 9 del decreto legislativo 27 agosto 1997, n. 281, tra Governo, Regioni, Province autonome di Trento e Bolzano, Province, Comuni e Comunità montane concernente Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie ed asma. *Gazzetta Ufficiale – Serie generale* n. 9 del 13 gennaio 2011.
25. Ministero della Salute. Decreto ministeriale 25 gennaio 2016. Adozione del documento di indirizzo per l'attuazione delle linee di supporto centrali al Piano nazionale della prevenzione 2014-2018. *Gazzetta Ufficiale – Serie generale* n. 36 del 13 febbraio 2016.
26. Italia. Accordo, ai sensi dell'articolo 4, comma 1, del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281, tra il Governo, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano sul documento concernente "Indirizzi di policy integrate per la Scuola che Promuove Salute". Conferenza Stato-Regioni del 17 gennaio 2019.
27. Presidenza del Consiglio dei Ministri. *School Book. Il punto sull'edilizia scolastica*. Roma: Presidenza del Consiglio dei Ministri; 2015.
28. Presidenza del Consiglio dei Ministri. *School Book 2. Il punto sull'edilizia scolastica. per il coordinamento e l'impulso nell'attuazione degli interventi di riqualificazione dell'edilizia scolastica*. Roma: Presidenza del Consiglio dei Ministri; 2016.
29. Istituto Nazionale di Statistica. *Studenti e scuole dell'istruzione primaria e secondaria in Italia. Differenze strutturali tra scuole statali e paritarie*. Roma: ISTAT; 2017.
30. WHO Regional Office for Europe. *Ottawa Charter for Health Promotion*. Geneva: WHO Regional Office for Europe; 1986.
31. WHO Regional Office for Europe. *Children's Environment and Health Action Plan for Europe. Fourth Ministerial conference on environment and health*. Budapest: WHO Regional Office for Europe; 2004.
32. WHO Regional Office for Europe. *Dichiarazione di Parma su Ambiente e Salute. Quinta Conferenza Ministeriale Ambiente e Salute "Proteggere la salute dei bambini in un ambiente che cambia"*. Parma: WHO Regional Office for Europe; 2010.

33. WHO Regional Office for Europe. *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Copenhagen: WHO Europe, 2010.
34. WHO Regional Office for Europe. *Guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. Copenhagen: WHO Europe; 2009.
35. WHO Regional Office for Europe. *Santé 2020: l'éducation et la santé par le développement de la petite enfance*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2015.
36. WHO Regional Office for Europe. *School environment: policies and current status*. Copenhagen: Regional Office for Europe, 2015.
37. Winblad U, World Health Organization. Health Education and Promotion Unit & WHO Global School Health Initiative. Primary school physical environment and health: WHO Global School Health Initiative. Geneva: WHO; 1997. (WHO/SCHOOL/97.2, WHO/EOS/97.15). (WHO information series on school health; document 2).
38. World Health Organization; United Nations Framework Convention on Climate Change. *Climate and health country profile ITALY*. Geneva: WHO; 2018.
39. Simoni M, Annesi-Maesano I, Sigsgaard T, Norback D, Wieslander G, Nystad W, Canciani M, Sestini P, Viegi G. School air quality related to dry cough, rhinitis, and nasal patency in children. *Eur Respir J* 2010;35:742-9.
40. Zauli Sajani S, Colaiacomo E, De Maio F, Lauriola P, Sinisi L, Gruppo SEARCH. School environment and children respiratory health: the SEARCH project. *Epidemiol Prev* 2009;33:239-41.
41. European Commission. Directorate General for Health and Consumers Directorate General Joint Research Centre - Institute for Health and Consumer Protection. *Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe - Final Report*. Luxembourg: European Union; 2014.
42. Settimo G, D'Alessandro D. European community guidelines and standards in indoor air quality: what proposals for Italy. *Epidemiol Prev*. 2014;38(6):36-41.
43. Settimo G. Attività del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. *Notiziario Istituto Superiore Sanità* 2017;30(4):3-7.
44. Settimo G. Qualità dell'aria negli ambienti confinati: aspetti tecnici e legislativi. Workshop. La qualità dell'aria indoor: attuale situazione nazionale e comunitaria. In: Santarsiero A, Musmeci L, Fuselli S per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor (Ed.). *Workshop. La qualità dell'aria indoor: attuale situazione nazionale e comunitaria. L'esperienza del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 28 maggio 2014. Atti*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2015. (Rapporti ISTISAN 15/4). p. 1-10.
45. Settimo G. Inquinamento dell'aria in ambienti confinati: orientamenti e valutazioni in campo nazionale e comunitario. In: Fuselli S, Musmeci L, Pillozzi A, Santarsiero A, Settimo G per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor (Ed.). *Workshop. Problematiche relative all'inquinamento indoor: attuale situazione in Italia. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 25 giugno 2012. Atti*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/39). 7-20.
46. Settimo G. La qualità dell'aria in ambienti confinati: nuovi orientamenti nazionali e comunitari. *Notiziario Istituto Superiore di Sanità* 2012;25(5):7-10.
47. Ministère de la Transition Écologique et Solidaire Ministère Des Solidarités et de la Santé. *Guide pratique pour une meilleure qualité de l'air dans les lieux accueillant des enfants et des adolescents. Guide pratique 2019*. Paris: Ministère de la Transition Écologique et Solidaire Ministère Des Solidarités et de la Santé; 2019.
48. Settimo G. La qualità dell'aria indoor negli ambienti scolastici e negli uffici. La situazione in Italia. In: 7° *Incontri Mediterranei di Igiene Industriale. Inquinamento indoor e outdoor: Valutazione dei rischi, figure e competenze. 3-4 ottobre 2019*. Lamezia Terme: AIDII, Milano; 2019. p45-49.

49. Federal Environment Agency UBA. *Guidelines for indoor air hygiene in school buildings*. Berlin: UBA; 2008.
50. Fuselli S, Pillozzi A, Santarsiero A, Settimo G, Brini S, Lepore A, de Gennaro G, Demarinis Loiotile A, Marzocca A, de Martino A, Mabilia R. *Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/4).
51. Settimo G, Musmeci L, Marzocca A, Cecinato A, Cattani G, Fuselli S, per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor. *Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM₁₀ e PM_{2,5} in ambiente indoor. Caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2016. (Rapporti ISTISAN 16/16).
52. Bonadonna L, Briancesco R, Brunetto B, Coccia AM, De Gironimo V, Della Libera S, Fuselli S, Gucci PMB, Iacovacci P, Lacchetti I, La Rosa G, Meloni P, Paradiso R, Pini C, Semproni M per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor. *Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente indoor*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/37).

1. STRATEGIE E METODI DI MONITORAGGIO DEGLI INQUINANTI CHIMICI IN ARIA *INDOOR*

Per programmare un piano di monitoraggio della qualità dell'aria nelle scuole risulta di grande utilità, la raccolta delle informazioni di base sull'edificio scolastico, sull'età, sull'ubicazione e sulla tipologia e edilizia (es. edificio storico, cemento armato, in legno, prefabbricato, ecc.), sulle componenti costruttive e impiantistiche presenti nei diversi ambienti didattici (es. materiali da costruzione e arredo impiegati, interventi di riqualificazione, cambio infissi, dimensioni aula, tipo di attività didattica svolta, il tipo e la qualità della ventilazione, la prestazione energetica, modalità di riscaldamento/raffrescamento, ecc.), sull'organizzazione spaziale, senza dimenticare le attività e quelle che sono le condizioni operative di utilizzo degli ambienti scolastici (es. permanenza nel solo turno diurno, diurno e pomeridiano, solo pomeridiano, serale per attività didattiche ad alunni adulti, per incontri e colloqui tra docenti e genitori, oppure per attività pomeridiane e serali extrascolastiche meno specialistiche per assemblee, eventi, riunioni, manifestazioni, o dall'uso per attività sportive effettuate dalle associazioni sportive, ecc.), al fine di ottenere una ben precisa conoscenza del "valore e della qualità" della struttura scolastica. L'elaborazione di queste informazioni di base risultano essenziali per determinare il tipo e il numero di sostanze inquinanti da ricercare, le modalità operative con cui effettuare il monitoraggio (es. rilevamento di tipo continuo o frazionato), per l'individuazione delle metodologie di rilevamento (es. metodi ISO, EN, UNI, *Rapporti ISTISAN*) (1-4), per la scelta della strumentazione (es. campionatore attivo o passivo), per l'impostazione della corretta durata d'analisi da adottare per finalizzare gli obiettivi specifici del programma di monitoraggio.

Va ricordato come la strategia di monitoraggio dell'aria è redatta e modulata di volta in volta per rispondere agli obiettivi, agli scopi specifici e alle finalità che devono essere chiari che si vogliono raggiungere con lo svolgimento delle attività di monitoraggio, con i tempi, durata e frequenza delle misure (1-4).

1.1. Informazioni di base necessarie al monitoraggio dell'aria *indoor*

Le sorgenti presenti negli ambienti *indoor* degli edifici scolastici, insieme al tipo di attività svolta (lezione o studio) dagli studenti, dal personale docente, tecnico, amministrativo e non docente, alla gestione e organizzazione delle differenti aree didattiche e amministrative e degli impianti tecnologici comportano il rilascio di svariate tipologie di inquinanti chimici nell'aria. Per identificare e studiare i principali inquinanti chimici in aria *indoor*, risulta di grande utilità la raccolta di una serie di elementi e di dati caratteristici degli ambienti che fanno parte dell'edificio scolastico (dagli impianti agli orari e frequenza di utilizzo delle aule e degli altri spazi), accanto alle informazioni di base che descrivono dettagliatamente gli aspetti più significativi della molteplicità di attività didattiche che vi si svolgono.

A tal proposito le informazioni da acquisire dalla Direzione scolastica, dall'Area tecnica della scuola o dagli Uffici Comunali, riguardano:

- le caratteristiche fisiche dell'edificio (es. certificazione di prestazione energetica, *layout*, dimensioni delle aule e degli ambienti in generale, numero e altezza dei piani, presenze di porte, finestre, tipologie di infissi, mobilio, tendaggi, attrezzature didattiche, eventuali adeguamenti o ristrutturazioni, caratteristiche e schede tecniche dei materiali adottati per

pareti, pavimenti, soffitto e mobilio, le certificazioni emissive dei materiali, e delle pitture e vernici, posizione dei caloriferi/elementi radianti per il riscaldamento, posizione dei bagni, presenza e posizione degli ascensori o altre strutture, ecc.. Eventuali segnalazioni su: pitture scrostate, presenza di sporco o detriti, macchie di danni causati dall'acqua (es. pareti, pannelli del controsoffitto, ecc.), umidità sulle superfici (es. condensa sulle finestre), malfunzionamenti degli impianti, ecc.;

- le caratteristiche impiantistiche e le modalità con cui si effettua il necessario ricambio dell'aria (es. ventilazione naturale o VMC), a tale riguardo risulta di fondamentale importanza l'acquisizione della relazione tecnica dell'impianto contenente gli schemi di distribuzione, il posizionamento di eventuali filtri dell'aria, la frequenza di ricambio dei filtri, il calcolo dei volumi di ricambio aria/ora, la frequenza dei ricambi d'aria, il tipo di funzionamento/attivazione, il posizionamento delle prese di mandata ed estrazione nei diversi ambienti, i registri di marcia, i rapporti d'intervento, la revisione dei protocolli, la periodicità e le modalità di controllo degli impianti, gli scopi degli interventi di manutenzione, nonché della pulizia/sanificazione, con la lista dei prodotti utilizzati (es. scheda dei prodotti, concentrazione d'utilizzo, note tecniche, ecc.), ecc.
- le procedure, i protocolli, le modalità metodologie d'intervento e la periodicità delle pulizie (es. tipo di scopa, aspirapolvere, panni in microfibra, repellenti per insetti e parassiti, più passaggi giornalieri, singolo passaggio, ecc.), nei diversi ambienti didattici, nei laboratori musicali, linguistici, informatici, nelle palestre motorie e sportive, ecc., la lista dei prodotti utilizzati per le diverse superfici (es. scheda dei prodotti utilizzati, concentrazione d'utilizzo, note tecniche, ecc.), ecc.;
- le procedure e la periodicità delle disinfestazioni (es. sono presenti segni di infestazioni ad es. scarafaggi, roditori, piccioni, ecc.);
- le procedure e la periodicità delle potature e dello sfalcio del verde o della sistemazione delle aiuole se sono presenti cortili o giardini di pertinenza della scuola, ecc.;
- le attività svolte negli ambienti *indoor* (es. in aula, nei laboratori didattici musicali, linguistici, informatici, in palestra, ecc.) e le condizioni d'uso delle aree e dei locali (es. continuative, diurno, pomeridiano, ecc.);
- la presenza di personale docente, tecnico e non docente, e quali siano le principali attività e/o azioni che essi svolgono nei diversi ambienti *indoor* (es. aule, laboratori didattici musicali, linguistici, informatici, musicali, linguistici, nelle palestre motorie e sportive, in aula magna, nelle biblioteche, biblioteche, ecc.);
- la presenza e/o assenza di studenti (es. numero di studenti in aula, tempi di permanenza, strumenti didattici utilizzati, abitudini comportamentali che possono essere nettamente diversi).
- la presenza di personale tecnico-amministrativo negli uffici amministrativi, le principali attività svolte (es. utilizzo di tipiche attrezzature da ufficio es. personal computer, stampanti, fotocopiatrici, materiale cartaceo, ecc.) gli orari di apertura al pubblico o di ricevimento, ecc.;
- i rapporti tecnici e le relazioni dei controlli effettuati sulla qualità dell'aria *indoor* nelle aule, nei laboratori didattici musicali, linguistici, informatici, nelle palestre motorie e sportive, in aula magna, nelle biblioteche, negli uffici amministrativi, ecc.);
- le misure organizzative, le attività e i programmi di formazione e aggiornamento obbligatori per il personale docente e non, quelli di sensibilizzazione, eventuali raccomandazioni prodotte, programmi di informazione per gli studenti sui temi della qualità dell'aria *indoor*.

Nei casi in cui è necessario reperire ulteriori informazioni può essere utile compilare questionari di rilevazione simili a quello proposto in Appendice B. Esso riporta un elenco di voci che andranno selezionate e compilate dai tecnici, eventualmente integrate da informazioni peculiari per evidenziare le caratteristiche degli ambienti scolastici, le modalità operative, la presenza di studenti e di personale docente, tecnico amministrativo, operatori di ditte esterne, ecc.. Le informazioni raccolte permetteranno in fase di elaborazione del piano di monitoraggio, di orientare le successive scelte riguardanti le sostanze inquinanti da ricercare, la durata del campionamento (orario, giornaliero, settimanale, ecc.), i metodi di campionamento (attivo o passivo), la scelta degli opportuni materiali solidi adsorbenti (carbone attivo, gel silice, ecc.), il trattamento preliminare dei campioni e le successive procedure di analisi chimica da effettuare in laboratorio (un esempio è riportato in Appendice C).

1.2. Programmazione delle attività di monitoraggio dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici

In generale, le attività di monitoraggio degli inquinanti chimici in aria *indoor* vengono effettuate dai vertici dell'organizzazione scolastica (es. dirigente scolastico, Ufficio Scolastico regionale, Responsabile della Scuola per le Scuole d'infanzia, Direzione Educazione Servizi all'Infanzia, o Delegato, ecc.) per garantire l'efficacia dei sistemi e delle procedure di tutela sanitaria adottati a garanzia dei lavoratori (docenti e non) e degli studenti e per evidenziare le differenze esistenti tra i diversi ambienti scolastici (aule, laboratori didattici specialistici, palestra, uffici amministrativi, ecc.). In tale processo, le attività vengono programmate ed effettuate nei diversi spazi educativi e lavorativi per le seguenti finalità:

- la conoscenza dei livelli di concentrazione degli inquinanti in determinate aree o locali dell'edificio scolastico durante le attività didattiche svolte dal personale docente (es. aula, laboratori didattici, palestre, attività extracurricolari, ecc.) o durante i compiti di routine o supplementari svolti dal personale non docente o dagli operatori di ditte esterne;
- la valutazione dei livelli di esposizione umana individuale e collettiva agli inquinanti *indoor* (es. nelle aule, nelle palestre, in aree comuni, quali compiti vengono svolti, le modalità, la durata e la frequenza, presenza di ulteriori attività insolite, ecc.) a cui sono soggetti il personale docente, quello tecnico-amministrativo, gli studenti e in special modo i gruppi di individui particolarmente vulnerabili (es. studenti o personale con bisogni specifici, accompagnatori, visitatori, ecc.);
- la verifica e la conferma del rispetto dei valori di qualità dell'aria *indoor* individuati dal datore di lavoro, o stabiliti dalle Autorità competenti in relazione alla permanenza in determinate aule, aree o locali dell'edificio scolastico e alle vulnerabilità del personale docente e degli studenti (es. aula, musicali, linguistici, informatici, nelle palestre motorie e sportive, in aula magna, nelle biblioteche, ecc.) dei tecnici (es. aula, laboratori didattici specialistici musicali, linguistici, informatici, nelle palestre motorie e sportive, in aula magna, nelle biblioteche, ecc.), del personale tecnico-amministrativo (es. uffici amministrativi, ecc.) e degli operatori di ditte esterne e non (es. attività di pulizia aule, adeguamento e manutenzione, fornitori, servizi di supporto, ecc.), particolarmente vulnerabili;
- l'identificazione e riduzione dei livelli emissivi di specifiche sorgenti *indoor* (ubiquitarie, sito specifiche, dominanti, minoritarie, ecc.), in determinate aree o locali in assenza o durante lo svolgimento di attività con la presenza di personale docente, tecnico-

amministrativo, studenti, operatori di ditte esterne di pulizia, di edilizia, dei manutentori e dei fornitori, ecc. per attuare eventuali interventi di miglioramento;

- la conoscenza delle variazioni nel tempo delle concentrazioni degli inquinanti in aria *indoor* in determinate aree o locali;
- la verifica puntuale nello spazio e nel tempo della qualità dell'aria *indoor*, mirata a soddisfare richieste o a risolvere problematiche poste all'attenzione da parte degli studenti, da personale docente e dal personale tecnico-amministrativo, ecc., afflitto da bisogni specifici (es. allergici, asmatici, ecc.);
- la verifica e la valutazione della qualità dell'aria *indoor* in determinate aree e/o locali e in quelle ad essi adiacenti durante l'esecuzione di lavori di manutenzione o ristrutturazione o al termine di questi, al fine di salvaguardare gli studenti, il personale docente, quello tecnico-amministrativo, gli accompagnatori, gli operatori di ditte esterne di pulizia, i fornitori, ecc. In questo caso è necessario acquisire una descrizione dettagliata del tipo di intervento/lavoro effettuato, locali interessati, schede tecniche, schede di sicurezza dei prodotti utilizzati, ecc.;
- la verifica dell'impatto e dell'efficacia delle misure preventive e di risanamento individuate e adottate nelle diverse aree;
- la verifica dell'impatto e dell'efficacia delle misure di risanamento individuate e adottate nelle diverse aree.

Negli edifici scolastici, gli ambienti e le aree di maggior utilizzo sono identificate nelle aule, nei laboratori didattici specialistici come quelli musicali, linguistici, informatici, ecc. dedicati alla didattica degli studenti con bisogni specifici, quali ridotta capacità di movimento, o handicap (es. studenti o personale su sedia a rotelle, ecc.) e nelle palestre motorie e sportive. Si possono individuare:

- le aule didattiche, dove la permanenza degli studenti, si estende all'intero arco della giornata scolastica. Per molti studenti rappresenta l'ambiente o lo spazio scolastico più intensamente e ampiamente frequentato;
- i laboratori didattici specialistici specificatamente allestiti e attrezzati per ospitare attività multimediali, artistiche, musicali, linguistiche, informatiche, dove la permanenza degli studenti si limita a brevi periodi (uno o due periodi/giornate) nell'arco della settimana scolastica;
- la palestra, spogliatoi e depositi, specificatamente allestite e attrezzate per ospitare le attività motorie degli studenti, dove la permanenza degli studenti si limita a brevissimi periodi (una o due ore) nell'arco della settimana scolastica;
- aula magna e biblioteche, ecc. dove la permanenza degli studenti e del personale docente e non, si limita a brevissimi periodi (una o più ore) nell'arco dell'anno scolastico.

Nelle scuole oltre agli ambienti sopra citati sono presenti delle aree funzionali dedicate alla gestione e al funzionamento della struttura, dove la permanenza del personale tecnico-amministrativo, si limita al solo periodo diurno o pomeridiano o a tutti e due i periodi.

Gli inquinanti chimici che possono essere di maggior interesse sono quelli derivanti dalle informazioni di base e dalle condizioni di utilizzo delle aule e degli ambienti, o più in generale quelli già individuati dalla WHO nei diversi documenti elaborati (5, 6), quali:

- COV, alcuni dei quali sono classificati dall'*International Agency for Research on Cancer* (IARC) come cancerogeni di Gruppo 1 (cancerogeno accertato per l'uomo) (es. benzene, formaldeide e tricloroetilene) e di Gruppo 2A (probabile cancerogeno per l'uomo) (es. tetracloroetilene);

- PM₁₀ corrispondente alla frazione toracica e PM_{2,5} corrispondente alla frazione respirabile del materiale particolato (in tal caso, la concentrazione in massa è l'approccio minimo della valutazione della qualità dell'aria *indoor*);
- SVOC, tra cui IPA (es. Benzo[a]pirene + altri selezionati IPA sulla base di proprietà cancerogena nel PM₁₀ o nel PM_{2,5}): classificazione Gruppi 1, 2A o 2B secondo la IARC.

In alcuni specifici casi può risultare utile determinare nel PM₁₀ o nel PM_{2,5} anche altri SVOC come i policloro dibenzo-p-diossine (PCDD), policloro dibenzofurani (PCDF) e i policlorobifenili (PCB) espressi in termini di tossicità equivalente (WHO-TE), e i metalli (es. arsenico, cadmio, nichel, piombo, ecc.).

I COV possono essere campionati con sistemi di diverso tipo, a seconda della specifica finalità d'indagine (1); questi si distinguono in:

- *campionatori attivi* dove il prelievo dell'aria, che deve essere eseguito a basso flusso si attua mediante l'uso di pompe con flusso di aspirazione opportunamente calibrato (es. mL/min) e con tubi/fiale riempiti con specifici materiali adsorbenti generalmente in carbone attivo, gel silice ricoperti con reattivi e/o stabilizzanti, oppure sistemi di tipo polimerico. In commercio esistono vari tipi di tubi/fiale di varie dimensioni che contengono quantità variabile di materiale adsorbente (es. *jumbo*, *medium* e *large*) con capacità di carico diversa, da utilizzare in funzione del livello medio di concentrazione ambientale *indoor* atteso. L'ingombro di tali sistemi è minimo, ma va considerato l'impatto acustico della pompa che spesso non è trascurabile, anche se possono essere alloggiati in apposite custodie insonorizzanti e quello visivo è molto limitato. Possono necessitare di allaccio alla rete elettrica;
- *campionatori passivi*, ovvero sistemi basati sul fenomeno della diffusione dei gas; in questo caso si utilizzano cartucce o dispositivi costituiti da specifici materiali adsorbenti generalmente in carbone attivo e gel silice ricoperti con reattivi e/o stabilizzanti. L'ingombro di tali sistemi è trascurabile e l'impatto acustico è nullo e quello visivo è molto limitato; non necessitano di allaccio alla rete elettrica; tuttavia hanno lo svantaggio di richiedere tempi lunghi di campionamento;

Sia nel caso dei campionatori attivi che nel caso dei campionatori passivi la scelta del substrato di cattura è determinante ai fini del campionamento efficiente e selettivo degli analiti di interesse; alcuni substrati di cattura sono non analita-specifico, mentre altri, soprattutto quelli derivatizzati, sono analita-specifico. Per la corretta scelta dei materiali adsorbenti da utilizzare per il rilevamento dei COV, si rimanda all'Appendice C del *Rapporto ISTISAN 13/4 (1)* dove è stato riportato un elenco dei principali materiali adsorbenti solidi.

Un'altra tipologia di campionatori da poter utilizzare per i COV è costituita dai *canister*, ovvero bottiglie in vetro, bombole, o cilindri in acciaio inox a chiusura ermetica, in cui è stato fatto il sottovuoto spinto attraverso il collegamento con pompe; regolando il flusso d'ingresso dell'aria, i dispositivi possono essere utilizzati per prelievi sia istantanei sia di breve-media durata. I *canister* comportano campionamenti di volumi contenuti di aria che consentono di "fotografare" il livello di contaminazione ambientale nell'intervallo di tempo di durata del prelievo, generalmente breve, quando la sensibilità del metodo analitico lo consenta. Il volume massimo campionabile con questi sistemi corrisponde al volume del contenitore *canister*. L'ingombro dei *canister* è trascurabile e non vi è impatto acustico limitato; non necessitano di allaccio alla rete elettrica. Alternativamente si usano sacchi gonfiabili, in materiale inerte, in cui l'aria è pompata a pressione.

Il numero di COV da inserire nel piano di monitoraggio può variare sensibilmente sulla base delle informazioni di base acquisite es. dalle schede tecniche dei prodotti presenti, dalle caratteristiche specifiche dei materiali, dalle modalità di utilizzo e occupazione degli ambienti, dalle condizioni di esercizio, dai materiali da costruzione e arredo, dalle attività e dai compiti

svolti dal personale docente e non, dagli studenti, e soprattutto dalla finalità del programma di attività di monitoraggio elaborato.

Il PM₁₀ e il PM_{2,5} possono essere campionati esclusivamente con sistemi di tipo attivo utilizzando campionatori equipaggiati con una testa di prelievo selettiva rispondenti alla norma UNI EN 12341, in grado di selezionare per impatto inerziale la frazione dimensionale d'interesse. Il campione di aria aspirata attraverso la testa di prelievo PM₁₀ o PM_{2,5} viene raccolto su filtri costituiti da un substrato poroso in fibra di vetro, quarzo o politetrafluoroetilene (PTFE); la concentrazione del PM₁₀ o del PM_{2,5} viene determinata per via gravimetrica. L'ingombro fisico e l'impatto acustico di tali campionatori spesso non sono trascurabili e possono necessitare di allaccio alla rete elettrica. Il PM₁₀ e PM_{2,5} raccolto su filtri può essere utilizzato per la successiva caratterizzazione dei microinquinanti organici (es. IPA) e inorganici (es. metalli) (2). Anche per i microinquinanti organici e inorganici da inserire nel piano di monitoraggio valgono le considerazioni già fatte sui COV.

Nel caso in cui si vuole conoscere qualitativamente il livello di concentrazione di PM₁₀ e di PM_{2,5} è possibile effettuare anche un rilevamento in tempo reale, mediante strumenti automatici ad alta risoluzione temporale, che misurano il diametro ottico in luogo di quello aerodinamico ed effettuano sia la fase di campionamento sia quella successiva di misura della concentrazione (2). Tali strumenti forniscono talvolta anche il conteggio numerico delle particelle (es. Numero di particelle/cm³).

Questo tipo di rilevazione può risultare particolarmente vantaggiosa per lo studio dell'andamento spazio-temporale del PM nell'ambiente oggetto di studio. L'ingombro fisico e l'impatto acustico di tali strumenti spesso non sono trascurabili per questo devono essere scelti campionatori silenziosi, possono necessitare di allaccio alla rete elettrica.

In Tabella 1 si riportano le metodiche ISO 16000 *Indoor Air*, recepiti dal CEN e in parte dall'UNI, con cui effettuare la scelta dei punti di prelievo e i prelievi stessi, le tecniche analitiche da applicare per la determinazione delle concentrazioni degli inquinanti chimici.

Accanto alle norme ISO possono essere utilizzati come riferimenti i documenti elaborati dal Gruppo di Studio Nazionale (GdS) Inquinamento *Indoor* dell'ISS:

- *Rapporti ISTISAN 13/4*
Strategie di monitoraggio dei Composti Organici Volatili (COV) in ambiente *indoor*
- *Rapporti ISTISAN 13/37*
Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente *indoor*
- *Rapporti ISTISAN 16/16*
Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM₁₀ e PM_{2,5} in ambiente *indoor*: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici.

Completano il piano di monitoraggio la misura e la registrazione in continuo a lungo termine dei principali parametri microclimatici quali: CO₂, temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria.

La misura di tali parametri deve essere effettuata non solo per la verifica del rispetto dei valori di riferimento già previsti nei documenti o rapporti di riferimento, in relazione alle diverse attività e carico di lavoro svolto dal personale docente, amministrativo, non docente, personale di ditte esterne, ecc., alla durata della permanenza nelle aule o aree o locali degli studenti, al corretto ricambio dell'aria, al corretto funzionamento/conduzione dei sistemi di VMC, ma per l'effetto sul comportamento emissivo dei materiali e sui prodotti utilizzati o in un determinato ambiente, area educativa, zona e/o locale amministrativo della struttura scolastica.

Tabella 1. Norme UNI EN ISO per gli ambienti *indoor* specifiche per gli inquinanti COV, SVOC e PM₁₀ e PM_{2,5} (in grigio le parti non ancora recepite in Italia dall'UNI)

Norma	Titolo
UNI EN ISO 16000	Aria in ambienti <i>indoor</i>
Parte 1	Aspetti generali della strategia di campionamento
Parte 2	Strategia di campionamento per la formaldeide
Parte 3	Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air - Active sampling method
Parte 4	Determination of formaldehyde - Diffusive sampling method
Parte 5	Strategia di campionamento per i composti organici volatili (COV)
Parte 6	Determination of volatile organic compounds in <i>indoor</i> and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID
Parte 12	Strategia di campionamento per policlorobifenili (PCB), policlorodibenzo-p-diossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
Parte 13	Determination of total (gas and particle-phase) polychlorinated dioxin-like biphenyls and polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans - Collection on sorbent-backed filters with high resolution gas chromatographic/mass spectrometric analysis
Parte 14	Determination of total (gas and particle-phase) polychlorinated dioxin-like biphenyls (PCBs) and polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans (PCDDs/PCDFs) – Extraction, clean up, and analysis by high-resolutions gas chromatographic and mass spectrometric analysis
Parte 26	Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO ₂)
Parte 29	Test methods for VOC detectors
Parte 32	Indagine per verificare la presenza di inquinanti negli edifici
Parte 37	Strategies for the measurement PM _{2,5}
UNI EN ISO 16017	Aria in ambienti confinati, aria ambiente e aria negli ambienti di lavoro. Campionamento e analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare
Parte 1	Campionamento mediante aspirazione con pompa
Parte 2	Campionamento per diffusione
UNI EN 12341	Aria ambiente - Metodo gravimetrico di riferimento per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso PM ₁₀ o PM _{2,5}
UNI EN 16450	Aria ambiente - Sistemi di misura automatici per la misurazione della concentrazione del particolato (PM ₁₀ , PM _{2,5})
UNI EN 14902	Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione di Pb, Cd, As e Ni nella frazione PM ₁₀ del particolato in sospensione
UNI EN 15549	Qualità dell'aria Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di benzo[a]pirene in aria ambiente

Pertanto la misura della concentrazione di CO₂, può servire da indicatore o segnale di avvertimento di fenomeni di accumulo di inquinanti all'interno degli ambienti o aree che è generalmente dovuta, ma non sempre, al livello d'occupazione e alla presenza di attività. Per esempio i livelli di CO₂ variano tipicamente nel corso della giornata didattica (es. all'inizio della giornata saranno dell'ordine dei 400 ppm e con l'occupazione degli studenti il livello aumenterà fino a raggiungere valori superiori ai 1000 ppm).

1.3. Obiettivi, modalità, tempi e frequenza del monitoraggio dell'aria *indoor*

Una distinzione che deve essere fatta sin da subito nella programmazione, scelta e durata del monitoraggio dell'aria, è la finalità, lo scopo, le risposte che si vogliono ottenere o l'obiettivo che si vuole raggiungere con la conduzione dei campionamenti in una determinata aula, laboratorio didattico, palestra, ambiente, area, ufficio amministrativo della struttura scolastica. Nel caso in cui l'obiettivo del monitoraggio dell'aria è quello di acquisire dei dati preliminari, la durata minima del campionamento deve essere di almeno una settimana nella stagione calda e di una settimana nella stagione fredda. Nel caso in cui invece il monitoraggio è condotto per effettuare dei confronti o controlli di conformità (es. valori di riferimento, azione, ecc.) la durata minima delle attività di campionamento devono essere di almeno due settimane nella stagione calda e due nella stagione fredda (1, 2).

In termini generali il campionamento deve permettere di conoscere il valore della concentrazione degli inquinanti per poi effettuare:

- confronto con valori guida, riferimento, azione, stabiliti dalle Autorità competenti (es. Azienda Sanitaria Locale-ASL), o raccomandati da Organismi internazionali (es. WHO), o individuati dal datore di lavoro (es. altri riferimenti individuati per la gestione dei diversi luoghi della struttura sanitaria) e per verificare il relativo rispetto (5-8);
- valutazione dell'esposizione del personale docente e non docente e degli studenti alle sostanze presenti nell'aria;
- identificazione di possibili azioni da attuare per risolvere eventuali problematiche in modo da evitare o impedire la ricorrenza dei problemi o delle lamentele;
- identificazione di possibili azioni da attuare per ridurre e/o limitare l'esposizione personale docente e non docente e degli studenti;
- approfondimento o completamento dei risultati di indagini svolte negli anni precedenti nelle stesse aule, laboratori, palestra, uffici, ecc.;
- valutazione dei progressi, o identificazione e acquisizione di nuove conoscenze, indirizzare indagini mirate e/o più complete, ovvero caratterizzare determinate fasi o momenti della giornata didattica in cui lo svolgimento di compiti o azioni da parte degli studenti e del personale docente e non docente possono avere come conseguenza l'attivazione e/o la presenza di alcune tipologie di sorgenti, proporre, suggerire e attuare una corretta diffusione di protocolli di valutazione e soprattutto promuovere un miglioramento delle azioni di prevenzione e protezione del personale docente e non docente operante e degli studenti che frequentano la scuola.

Conseguentemente, le strategie di monitoraggio devono essere elaborate caso per caso, focalizzate sugli inquinanti prevedibilmente presenti e contemplando prelievi di breve durata, di tipo frazionato o continui, che tengano conto delle attività didattiche e lavorative del personale docente, tecnico e amministrativo, delle modalità operative della didattica, dei tempi di permanenza, dello stato di occupazione (es. la condivisione dell'aula, del laboratorio o della palestra per più classi contemporaneamente), o non occupazione, della presenza di studenti e del numero, di operatori di ditte esterne impegnati nelle pulizie quotidiane, negli interventi di adeguamento impiantistico o in generale in interventi di manutenzione per garantire le prestazioni iniziali e continue di tali sistemi tecnologici, delle attività dei fornitori, ecc.. La durata del campionamento deve tener conto dei diversi fattori citati che possono influenzare la rappresentatività del monitoraggio stesso.

Nel caso in cui lo studio vuole rispondere al primo caso è necessario effettuare rilevamenti della stessa durata di tempo associato al valore guida raccomandato per esempio dall'ASL, o dalla WHO o presenti nella legislazione di Paesi europei, al valore di riferimento o al valore di azione, individuato dal datore di lavoro (per es. se si utilizzano i valori guida WHO per il PM₁₀ la durata deve essere di 24 ore, per il toluene la durata deve essere settimanale, per la formaldeide la durata deve essere di 30 minuti o nel caso in cui si vuole utilizzare il riferimento presente nella legislazione della Francia, la durata deve essere settimanale). Mentre se la finalità dello studio è quella di conoscere la concentrazione degli inquinanti in uno specifico e determinato momento (es. concentrazione massima dove la durata del prelievo è compresa tra alcuni minuti e un paio d'ore) si possono effettuare rilevamenti di breve durata nelle quali è possibile evidenziarne la presenza o l'uso di alcune specifiche sorgenti, ma deve essere garantito che durante tutto il prelievo le condizioni reali di utilizzo delle aule siano rispettate ad esempio l'apertura di finestre e porte, l'accensione/spegnimento del sistema di VMC, le attività e procedure di lavoro, ecc..

Se si vuole invece conoscere l'eventuale ruolo, contributo o influenza ai livelli di concentrazione degli inquinanti chimici dovuto all'uso di sistemi VMC può essere utile effettuare una strategia di monitoraggio in tre diversi stati operativi del VMC e di occupazione/uso delle aule, laboratori didattici specialistici, palestra, uffici, ecc. (es. VMC spento e in assenza di attività, VMC acceso e in assenza di attività, VMC acceso e in presenza delle ordinarie attività svolte).

Sulla base di quanto detto gli obiettivi principali delle attività di monitoraggio degli inquinanti chimici nelle scuole sono quelli che consentono di:

- promuovere e attuare una corretta strategia di prevenzione della salute e di riduzione dell'esposizione con particolare riferimento agli studenti più vulnerabili della classe e/o del personale docente e tecnico-amministrativo, ecc. in relazione alla permanenza in aula, nei laboratori didattici specialistici, in palestra o in altre determinate aree educative, motorie, e/o amministrative, alla frequenza di utilizzo di materiale didattico, ecc.;
- identificare le possibili sorgenti di inquinamento dell'aria *indoor* durante utilizzo e la presenza degli studenti e del personale (es. legati ai materiali da costruzione, alla pavimentazione della palestra, all'arredo tecnico, alle dotazioni e all'utilizzo di materiali e prodotti didattici, di prodotti per la pulizia e detergenza, uso degli impianti di ventilazione e climatizzazione, in condizioni operative normali o durante eventuali usi multipli o in caso di anomalie, es. errato utilizzo di prodotti didattici, o errata applicazione di procedure, ecc.);
- conoscere i livelli di concentrazione degli inquinanti chimici nelle diverse aule, laboratori specialistici, palestra, uffici, segreterie, ecc. e confrontare le diverse concentrazioni con i valori guida, riferimento, azione, ecc.;
- verificare il corretto funzionamento degli impianti tecnologici di condizionamento (VMC) e gli specifici ricambi d'aria per le diverse aree o locali (aule, palestra, laboratori specialistici, uffici, ecc.);
- accertare le corrette modalità come da protocollo di utilizzo (es. laboratori specialistici, palestra, ecc.), conduzione, manutenzione e pulizia come da protocollo (es. mettere in atto modelli comportamentali o accorgimenti gestionali tali da impedire un utilizzo errato, o errate applicazioni);
- individuare azioni e misure da intraprendere per risolvere eventuali non conformità.

Nelle aule, nei laboratori specialistici o nella palestra dove l'attività è continuativa per più giornate, si possono prevedere pertanto campionamenti giornalieri in funzione del reale uso dei locali per le attività didattiche e motorie per il PM₁₀ e PM_{2,5}, mentre per i COV i rilevamenti possono essere di durata settimanale o in funzione del reale uso dei locali durante lo svolgimento delle attività didattiche e motorie, sulla base della durata di tempo associato al valore guida individuato che si vuole utilizzare (es. dalla WHO o presenti nella legislazione e nei documenti

guida di altri Paesi europei) (5-8). Nel caso in cui la durata del campionamento è inferiore/superiore a quella prevista dalla WHO per il valore guida, o a quella indicata nella legislazione di altri Paesi europei per il valore di concentrazione previsto, la misura rappresenta solo un riferimento orientativo-operativo (5-8).

In tutti i casi, a parità di periodo di integrazione scelto sulla base del valore guida o in generale del valore di concentrazione assunto a riferimento, può essere opportuno frazionare i campionamenti in intervalli temporali più brevi. Per esempio nel caso delle aule, dei laboratori specialistici e della palestra, in cui l'utilizzo è giornaliero (es. orario h. 8-14) è necessario ottenere dei tempi di prelievo rappresentativi dei tempi di permanenza degli studenti e del personale docente, tecnico, ecc. e dei periodi di non utilizzo o scevri da attività (es. orario di attività h. 8-14 e non attività h. 14-8) e infine eventuali prelievi continuativi di campione per 24 ore.

Anche nel caso delle aree amministrative dove la presenza del personale degli uffici amministrativi, del personale addetto alle segreterie, del personale addetto alla biblioteca, ecc., è necessario predisporre campionamenti di tipo frazionato, identificando e attuando prelievi rappresentativi dei diversi impieghi o attività ivi svolte, atti a coprire i tempi di permanenza del personale amministrativo e non, ma anche i periodi di non utilizzo o scevri da attività (es. orario di attività h 7-14 e non attività h 14-7) e infine eventuali prelievi continuativi di campione per 24 ore.

Per fare un esempio nel caso del campionamento di PM_{10} nelle aule, nei laboratori specialistici, nella palestra, o negli uffici, ecc., dove tutti i giorni della settimana e a orari stabiliti si effettuano le attività didattiche, motorie e amministrative, si deve prevedere una serie di rilevamenti che coprano l'orario con presenza di studenti e personale docente o di attività svolte dal personale amministrativo (es. h. 8-14) e rilevamenti che coprano gli intervalli di non attività, in assenza di studenti, docenti impegnati nelle attività didattiche, motorie o in quelle amministrative complementare alle 24 ore (es. h. 14-8). Terminato il periodo di campionamento, il filtro di raccolta del PM_{10} nel periodo di attività didattica/amministrativa in aula/ufficio viene rimosso dalla linea di prelievo e sostituito con quello del periodo complementare di non attività in assenza di studenti e docenti. I filtri a rotazione sono riposti in appositi contenitori in materiale plastico e conservati in frigo in attesa di essere riutilizzati il giorno seguente, fino a completare il ciclo settimanale di attività. Per i filtri di PM_{10} che devono poi essere sottoposti ad analisi di speciazione per il contenuto di IPA, il periodo massimo di campionamento per i due filtri (filtro attività+ filtro di non attività) non deve superare le 24 ore.

Gli intervalli di misura e la loro combinazione permettono di tipizzare un andamento medio degli inquinanti negli ambienti esaminati e di descrivere, in maniera quanto più rappresentativa possibile, le condizioni di utilizzo dell'aula/laboratorio specialistico, palestra, o ufficio, ecc., il comportamento degli studenti e del personale docente/amministrativo al loro interno, il numero di studenti/stato occupazione, utilizzo e operatività di sistemi di ventilazione, modalità di pulizia, ecc. Con analogo criterio può essere effettuato il campionamento dei COV sia nel caso di utilizzo di campionamenti attivi che di quelli passivi. A tale proposito è importante attenersi scrupolosamente ai metodi di campionamento e analisi che indicano anche quali sono le modalità di conservazione del campione per garantire la sua stabilità/integrità, fino alla analisi.

Per le aule, i laboratori didattici, la palestra o le aree amministrative o per altre aree dotate di impianti tecnologici di VMC nel fissare la durata della misura è quantomeno opportuno, per ogni ora dell'intervallo della misura (es. h 8-14 o h 14-8) una quantità di aria inferiore al 10% del volume immesso negli ambienti, per ventilazione, nello stesso periodo di tempo. Quando la velocità di ventilazione non può essere misurata o comunque l'informazione non è disponibile, il volume orario di campionamento deve essere regolato in modo tale da risultare inferiore al 10% della volumetria della stanza (1, 2).

1.4. Scelta dei punti di prelievo per il monitoraggio e posizionamento della strumentazione di rilevamento

In tutti gli ambienti *indoor* degli edifici scolastici la scelta dei punti di prelievo dove collocare gli strumenti e i dispositivi per determinare la concentrazione degli inquinanti in aria riveste grande rilevanza ai fini della valutazione del dato ambientale e della qualità dell'esposizione degli studenti, dei docenti, del personale tecnico-amministrativo, degli operatori/addetti, ecc.; pertanto essa deve essere operata ponendo una particolare attenzione alle caratteristiche delle aule e degli ambienti esaminati, alla gestione e descrizione dei tempi di permanenza (degli studenti, del personale docente, del personale tecnico-amministrativo, di operatori esterni, e di addetti alle pulizie, ecc.) alle specifiche condizioni di utilizzo (attività svolta, materiale didattico utilizzato, comportamenti, numero di studenti/stato occupazione, utilizzo e operatività di sistemi di ventilazione, ecc.), al fine di ottenere un risultato che possa essere realmente descrittivo della qualità dell'aria *indoor* e utile a formulare approcci metodologici per attuare corrette azioni di prevenzione e protezione degli studenti e del personale operante (docente non docente) nelle strutture scolastiche.

Per gli ambienti scolastici non è necessario investigare tutti i suoi ambienti ma possono essere individuate le aree omogenee e più rappresentative in relazione agli obiettivi del programma di rilevamento (es. aule, laboratori didattici, palestre, uffici amministrazione, ecc.).

Nell'operare la scelta del punto di campionamento di un'aula, di un laboratorio didattico specialistico, o della palestra è necessario posizionare la strumentazione di rilevamento al centro dell'aula o del laboratorio didattico specialistico, e al centro della palestra o dell'ufficio oggetto di studio oppure in altre posizioni ambientali strategiche (vicino alla cattedra del docente), qualora ciò risulti di difficile realizzazione, il punto deve essere ad una distanza non inferiore a 1 m dalla parete più vicina e ad un'altezza di circa 1,5 m dal pavimento, così come specificato nella UNI EN ISO 16000-1 e nei *Rapporti ISTISAN* che regolano la materia (1, 2).

Nel caso specifico delle aule in cui gli studenti sono in posizione seduta al banco, può rivelarsi utile posizionare il campionatore a un'altezza compresa tra 1 e 1,5 m dal pavimento che corrisponde orientativamente alla zona in cui gli studenti e personale docente compiono la respirazione.

In riferimento al personale degli uffici tecnico-amministrativi che opera a contatto con i genitori (es. segreterie, ecc.), i campionatori saranno posizionati a un'altezza compresa tra 1,2 e 1,5 m dal pavimento (1, 2) in considerazione del fatto che i lavoratori trascorrono gran parte della loro propria attività in posizione seduta.

Inoltre non è consigliabile posizionare i campionatori in punti delle aule o delle aree e/o locali che siano soggetti a fuoriuscite di correnti d'aria naturale o forzata da pareti o soffitti che può incanalare l'aria verso direzioni obbligate, o all'aperture di porte ingresso, o ad irraggiamento solare diretto (es. vicino alle finestre) o che ospitino sorgenti o fonti di calore (es. a ridosso dei radiatori dei termosifoni fissi, portatili, fancoil, faretto, ecc.) per non compromettere la significatività delle misure o dell'intera azione di rilevamento per i gradienti di temperatura, di flussi fluidodinamico e di concentrazione che si generano all'interno degli spazi *indoor*.

1.5. Misure contemporanee in aria ambiente *outdoor*

Al fine di valutare il contributo delle sorgenti interne ai livelli di concentrazione *indoor* dei principali inquinanti chimici (es. COV, PM₁₀ e PM_{2,5}, SVOC, ecc.) è necessario determinare contemporaneamente le concentrazioni degli stessi inquinanti in aria *outdoor* (all'esterno degli ambienti scolastici esaminati). Infatti, la conoscenza delle concentrazioni *outdoor* degli inquinanti di interesse permette di pesare e stimare la situazione di inquinamento nel contesto locale delle aree studiate, in particolare di individuare eventuali contributi alle concentrazioni *indoor* di inquinanti atmosferici, dovuti all'ingresso di aria *outdoor* e quindi al ricambio dell'aria, sia esso naturale o forzato (1, 2).

I campionamenti dell'aria ambiente *outdoor* devono essere effettuati preferibilmente nelle vicinanze degli ambienti dell'edificio scolastico oggetto di studio, comunque a non meno di 1 m dalla parete esterna e a un'altezza confrontabile con quella di posizionamento del campionatore all'interno delle aule, laboratori didattici specialistici, palestra, uffici, segreterie o delle zone sotto esame. Se gli ambienti scolastici sono dotati di impianti tecnologici centralizzati di VMC o di climatizzazione, per valutare correttamente il contributo dell'aria *outdoor* un secondo campionatore va posizionato contemporaneamente alle misure, in prossimità della presa d'aria esterna dell'impianto.

Gli intervalli temporali di campionamento dell'aria *outdoor* devono essere gli stessi utilizzati per il monitoraggio *indoor*.

1.6. Attività da effettuare prima dell'inizio del monitoraggio dell'aria *indoor*

Per creare le condizioni migliori per un'efficace attività di monitoraggio è necessario effettuare un ricambio dell'aria degli ambienti (es. aule, laboratori didattici, palestra, biblioteca, uffici, biblioteca, area comuni, aula magna, ecc.) prima di procedere al rilevamento degli inquinanti. Questa azione permette di allontanare le sostanze che si sono già accumulate nell'aula, nel laboratorio didattico specialistico, in palestra, nell'ufficio e/o nelle altre aree in studio in base all'uso che ne è stato fatto precedentemente e alla presenza continuativa o occasionale di persone in numero e con caratteristiche indefinite fino a quel momento.

In generale, le indicazioni relative alle modalità con cui effettuare questa azione preventiva dipendono dal diverso tipo di ventilazione di cui sono dotate le aule o gli altri ambienti scolastici. Nel caso in cui la ventilazione è di tipo naturale è consigliabile effettuare, prima di iniziare le attività di monitoraggio, una ventilazione completa dell'aula o degli altri ambienti per almeno 15 minuti, tenendo aperte porte e finestre della stanza e se possibile anche quelle del corridoio, in assenza di qualsiasi attività o presenza umana. Dopo tale periodo di tempo le porte e le finestre dovranno essere richiuse per circa 8 ore (preferibilmente per un'intera notte) e solo successivamente si potrà dare inizio ai campionamenti e alle misurazioni, tenendo le porte e le finestre della stanza chiuse (questo rappresenta il dato del bianco). Infine le misure andranno ripetute, con le stesse modalità, durante l'utilizzo ordinario dell'aula o degli altri ambienti con la presenza/permanenza di studenti, personale docente e tecnico-amministrativo, lavoratori ditte esterne, ecc.

Se invece l'aula o gli ambienti dell'edificio scolastico sono dotati di sistemi VMC o di impianti climatizzazione o di condizionamento (es. pompe di calore, radiatori, split, stufe o scaldini portatili, ventilatori, ecc.) questi sistemi saranno mantenuti accesi secondo l'operatività abituale per almeno 3 ore prima di operare in assenza di qualsiasi attività o presenza umana, e solo

successivamente si potrà dare inizio al campionamento (questo rappresenta il dato del bianco). A seguire la misura andrà ripetuta, con le stesse modalità, durante l'utilizzo ordinario dell'area e/o locale con la presenza/ permanenza di studenti, personale docente e tecnico-amministrativo, lavoratori/operatori, ecc.

Bibliografia

1. Fuselli S, Pilozzi A, Santarsiero A, Settimo G, Brini S, Lepore A, de Gennaro G, Demarinis Loiotile A, Marzocca A, de Martino A, Mabilia R. *Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/4).
2. Settimo G, Musmeci L, Marzocca A, Cecinato A, Cattani G, Fuselli S, per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor. *Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM₁₀ e PM_{2,5} in ambiente indoor. Caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2016. (Rapporti ISTISAN 16/16).
3. Settimo G. Attività del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. *Notiziario Istituto Superiore Sanità* 2017;30(4):3-7.
4. Settimo G. La qualità dell'aria in ambienti confinati: nuovi orientamenti nazionali e comunitari. *Notiziario Istituto Superiore di Sanità* 2012;25(5):7-10.
5. WHO Regional Office for Europe. *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Copenhagen: WHO Europe, 2010.
6. Settimo G, D'Alessandro D. European community guidelines and standards in indoor air quality: what proposals for Italy. *Epidemiol Prev*. 2014;38(6):36-41.
7. Settimo G. Qualità dell'aria negli ambienti confinati: aspetti tecnici e legislativi. Workshop. La qualità dell'aria indoor: attuale situazione nazionale e comunitaria. In: Santarsiero A, Musmeci L, Fuselli S per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor (Ed.). *Workshop. La qualità dell'aria indoor: attuale situazione nazionale e comunitaria. L'esperienza del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 28 maggio 2014. Atti*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2015. (Rapporti ISTISAN 15/4). p. 1-10.
8. Settimo G. Inquinamento dell'aria in ambienti confinati: orientamenti e valutazioni in campo nazionale e comunitario. In: Fuselli S, Musmeci L, Pilozzi A, Santarsiero A, Settimo G per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor (Ed.). *Workshop. Problematiche relative all'inquinamento indoor: attuale situazione in Italia. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 25 giugno 2012. Atti*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/39). 7-20.

2. INQUINANTI BIOLOGICI: STRATEGIE E METODI DI MONITORAGGIO DELL'ARIA *INDOOR*

L'aria di un ambiente *indoor* può comportare l'esposizione a diversi inquinanti di natura biologica che, per contatto dermico o inalazione, possono diventare fattori di rischio per la salute degli occupanti.

Tra gli ambienti *indoor*, le scuole rappresentano una realtà particolarmente significativa. In quest'ambito si muove un gran numero di individui, come studenti di varie fasce d'età, personale docente e non docente, genitori, visitatori occasionali, ecc., e la valutazione dell'esposizione di ognuno di questi gruppi di persone a fattori di rischio per la salute risulta abbastanza complessa.

Si presume che, tra i frequentatori degli ambienti scolastici, gli studenti siano la categoria più sensibile agli effetti degli inquinanti eventualmente presenti, poiché i tempi di permanenza in aula o altri ambienti didattici, la convivenza con altri studenti, e soprattutto, stile di vita e condizioni fisiologiche possano avere ulteriori influenze negative.

Il concetto di contaminazione *indoor* sebbene richiami più facilmente l'idea di un inquinamento di natura chimica in un ambiente *indoor*, in realtà comprende i non meno importanti effetti negativi sulla salute umana dovuti alla grande varietà di particelle biologiche inalabili e/o respirabili (*bioaerosol*) in grado di provocare malesseri e patologie di natura infettiva, allergica o tossigena (1).

Il *bioaerosol*, costituito da un insieme di componenti di origine biologica quali microrganismi, insetti e materiale biologico da essi derivato (squame cutanee, peli (animali), pollini, endotossine, acari della polvere, spore fungine, allergeni, ecc.) è in grado di diffondersi facilmente nell'aria e di formare aggregati di varie dimensioni che possono restare a lungo in sospensione negli ambienti *indoor*. Queste particelle (PM) non si comportano come una polvere inerte ma fungono da veicolo di trasporto per tossine, allergeni e diverse forme microbiche, la cui sopravvivenza è supportata dalla sostanza organica in esse contenuta.

Gli effetti sulla salute del materiale particellare (PM) veicolato dal *bioaerosol* dipendono sia dalla dimensione delle particelle (più sono piccole e più efficace diventa la capacità di penetrazione nell'apparato respiratorio), che dalla composizione e attività biologica delle stesse (2).

Nelle scuole, come pure in altri ambienti *indoor*, gli inquinanti sono generalmente presenti a basse concentrazioni, ma un'esposizione prolungata può essere ugualmente dannosa per la salute, anche tenendo conto che le caratteristiche di un ambiente scolastico non sono statiche e variano in funzione di molti fattori. Parametri stagionali e meteorologici, condizioni strutturali e impiantistici (acqua/aria) degli edifici, microclima, numero dei soggetti presenti e attività da loro svolta agiscono singolarmente e in sinergia per modificare l'*indoor*.

La presenza di contaminanti di origine biologica è uno degli elementi determinanti per valutare la qualità dell'aria *indoor* e stabilire se si possono instaurare condizioni negative per la salute.

2.1. Rischio biologico negli ambienti scolastici

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.

Inoltre, si distingue contatto diretto se la trasmissione avviene tra individuo e individuo, oppure contatto indiretto, qualora il contatto sia con oggetti o superfici.

In ambito scolastico, il rischio biologico può essere amplificato quando si presentano condizioni di sovraffollamento all'interno delle aule e/o insufficiente ricambio d'aria che possono provocare, insieme ad una generica sensazione di disagio, una limitata diluizione degli agenti biologici aerodispersi e un aumento della temperatura e dell'umidità, condizioni, favorevoli allo sviluppo di muffe.

L'esposizione degli studenti al *bioaerosol* degli ambienti *indoor* è associata ad un aumentato rischio di contrarre malattie allergiche, asma e infezioni respiratorie (1-3). L'esposizione ad inquinanti biologici *indoor* può, infatti, interferire con la funzionalità respiratoria, e può determinare effetti infiammatori a livello delle vie aeree.

Tra gli agenti biologici, i funghi filamentosi (muffe) rivestono particolare importanza poiché, oltre a costituire un indice rilevante di qualità ambientale, in quanto correlabili ad una elevata umidità, polverosità e ridotta ventilazione, possono essere responsabili di reazioni di ipersensibilità, sintomi respiratori allergici e patologie infettive.

L'esposizione alle muffe negli ambienti *indoor*, come quelli scolastici, è, infatti, associata in modo significativo a disturbi dell'apparato respiratorio, asma, aumentata sensibilità alle sostanze chimiche e alle allergie (4).

La sintomatologia che può far seguito all'esposizione alle muffe è molto ampia: raffreddore, tosse, congestione, irritazione degli occhi con lacrimazione, respiro corto, congiuntivite, rinite, oltre ad asma e allergie. Alcune muffe, inoltre, producono micotossine che hanno effetti cancerogeni, teratogeni e proprietà neurotossiche (4, 5).

Sulla base di alcuni studi epidemiologici si è potuto stimare che nei bambini in età scolare l'esposizione a muffe in ambiente *indoor* può aumentare fino a cinque volte il rischio di contrarre l'asma (6). L'asma bronchiale, d'altra parte, risulta la principale causa di assenze scolastiche nelle scuole primarie e secondarie (7). Uno studio ha anche evidenziato una percentuale di positività pari al 14% tra i bambini in età scolare sottoposti a prove allergiche per gli allergeni fungini (8).

In Italia, l'asma e la rinite allergica risultano tra le patologie croniche più diffuse nell'infanzia e nell'adolescenza (9). Si calcola che circa il 15-20% della popolazione italiana soffra di allergie, fenomeno in crescita, soprattutto tra i più giovani che frequentano le scuole e le donne (<http://www.epicentro.iss.it/problemi/asma/asma-epi.asp>).

Numerose evidenze dimostrano che la rimozione degli allergeni in ambiente *indoor* determina una riduzione dei sintomi nei pazienti allergici. Nelle scuole è stato anche dimostrato che le misure che tendono a migliorare la qualità dell'aria, pur non evitando la comparsa di malattie respiratorie o allergiche, contribuiscono ad attenuarne i sintomi e a prevenire forme acute anche gravi, migliorando la qualità di vita di tutti coloro che frequentano usualmente la scuola sia per motivi di studio che di lavoro (10).

2.1.1. Microrganismi negli ambienti scolastici

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.

Il numero di microrganismi con cui si può venire in contatto negli ambienti *indoor* delle strutture scolastiche è molto vario, può essere elevato in caso di un insufficiente ricambio d'aria

e per condizioni di elevata umidità o ristagno d'acqua e, per molti di essi, non sono ben chiare le modalità attinenti alla loro infettività attraverso l'aria. Solo nel caso dei virus è nota la dose infettante minima ed è quantificabile intorno a poche unità. Anche 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 (11).

La varietà ed eterogeneità degli agenti biologici che concorrono alla formazione del *bioaerosol* e la complessità dei molteplici fattori implicati, che rendono difficoltoso caratterizzare la matrice aria, rendono necessaria una indagine sistematica per poter valutare la qualità microbiologica di un ambiente *indoor* come quello scolastico. Sarà necessario cominciare dalla ricerca di microrganismi specifici, o aggregati coltivabili di microrganismi, che siano degli indicatori adatti a delinearne le caratteristiche di salubrità. In seguito sarà possibile programmare delle analisi di routine al fine di determinare la presenza di specifici agenti patogeni sia nell'aria che sulle superfici con la definizione di un piano di monitoraggio che prenda in considerazione:

- tipo e caratteristiche dell'ambiente scolastico *indoor* da investigare (aule, laboratori didattici specialistici, biblioteche, uffici di segreteria, palestre);
- attività che vi si svolgono;
- tipologia dei frequentatori dell'ambiente da valutare (studenti, personale docente e personale non docente);
- caratteristiche dell'ambiente *outdoor*.

I parametri microbiologici per un'analisi quantitativa di base sono rappresentati da:

- *Carica batterica psicrofila*
batteri con crescita intorno ai 22°C (intervallo 15-30°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 ad un'elevata umidità e polverosità, ridotta ventilazione e scarsa qualità dell'aria.

Successivamente l'indagine può essere approfondita con un'analisi qualitativa che, sulla base dell'obiettivo che si vuole raggiungere, dovrebbe evidenziare la presenza di:

- batteri Gram-positivi, appartenenti soprattutto al genere *Staphylococcus* spp. (in particolar modo ricercare la presenza del patogeno *S. aureus*), poiché indici di una contaminazione di origine antropica; Enterococchi/Streptococchi fecali indicatori di una contaminazione sia ambientale che fecale, potendo sopravvivere in condizioni ambientali difficili;
- batteri Gram-negativi, produttori di endotossine. Tra essi si possono ricercare i batteri appartenenti al genere *Pseudomonas* spp. (soprattutto *P. aeruginosa*) che, per la loro capacità di adattamento, sopravvivenza e moltiplicazione anche in condizioni ambientali sfavorevoli, sono in grado di fornire utili indicazioni sulla qualità dell'ambiente; sono da considerarsi, inoltre, un valido indicatore della presenza di altri batteri Gram-negativi vitali, ma coltivabili con difficoltà; *Enterobacteriaceae* (*Escherichia coli*, *Klebsiella* spp.) che possono dare utili informazioni sui livelli di contaminazione legata allo stato igienico-ambientale, essendo tipici indicatori di inquinamento di origine fecale.

2.1.2. Virus negli ambienti scolastici

I virus rappresentano una delle cause più comuni di malattie infettive trasmesse in ambienti *indoor*, come quello delle strutture scolastiche, soprattutto a causa delle loro caratteristiche di elevata contagiosità e resistenza ambientale.

Per quanto riguarda i virus è necessario considerare che per questo parametro non esistono indicatori di contaminazione, a causa dell'ampia varietà di gruppi virali esistenti, delle grandi differenze fra loro, di virulenza e di patogenicità e, soprattutto, sapendo che la presenza/assenza di un patogeno non indica la presenza/assenza di altri patogeni virali; ogni virus deve essere considerato "indicatore" di sé stesso, con variabilità di concentrazione spazio-temporali e di specie. Pertanto, la ricerca mirata di virus in un ambiente *indoor* può essere predisposta a valle di conclamate situazioni critiche.

I primi virus ad essere identificati nell'aria di ambienti *indoor* sono stati gli adenovirus alla fine degli anni '60; le prime rassegne sui virus in ambienti *indoor* sono state pubblicate negli anni '80 (12, 13).

Da allora virus appartenenti a diverse famiglie sono stati identificati nell'aria e sulle superfici di differenti tipi di ambienti *indoor* e diverse epidemie sono state documentate in edifici pubblici e privati, mezzi di trasporto (aerei), strutture comunitarie quali ospedali, caserme e soprattutto scuole.

Di seguito vengono descritte le caratteristiche generali di alcuni gruppi di virus che possono essere trasmessi in ambienti *indoor* scolastici per via aerea mediante *droplet*-nuclei o con goccioline aeree di grandi dimensioni, oppure per contatto con superfici contaminate.

Il virus dell'influenza è responsabile di una malattia acuta del tratto respiratorio molto contagiosa, caratterizzata da febbre, cefalea, tosse e mialgia; la patologia respiratoria può essere accompagnata anche da manifestazioni a carico del tratto gastrointestinale. In genere i sintomi si risolvono entro una settimana dall'esordio, ma possono talvolta verificarsi casi severi per sovrainfezioni batteriche o virali. La trasmissione avviene soprattutto per diffusione di goccioline di secrezioni naso-faringee espulse mediante starnuti e tosse; tali goccioline possono depositarsi direttamente sulle mucose di ospiti a contatto ravvicinato e/o su oggetti e superfici. Anche la trasmissione aerea mediata da *droplet*-nuclei o polveri contaminate rappresenta una importante via di trasmissione (14, 15). In letteratura sono descritte epidemie influenzali in ospedali, strutture residenziali, mezzi di trasporto e strutture scolastiche (16-21).

Le scuole rappresentano ambienti ad elevato rischio per epidemie da virus influenzali, dal momento che i bambini e gli adolescenti presentano *attack-rate* elevati, contribuendo in modo considerevole alla trasmissione dell'infezione nella comunità. È stato dimostrato che la temporanea chiusura delle scuole durante i periodi di picco epidemico può contribuire a mitigare l'impatto di epidemie (17, 22, 23).

I rhinovirus rappresentano la causa più comune di infezione del tratto respiratorio superiore (comuni raffreddori) soprattutto nei bambini in età scolare, nei quali possono verificarsi dai sei agli otto episodi durante l'anno. Possono, inoltre, essere coinvolti nella acutizzazione di patologie come l'asma e la broncopneumopatia cronica ostruttiva. I rhinovirus sono molto infettivi; si stima, infatti, che un paziente infetto sia in grado di contagiare il 75% dei membri di una famiglia o di una scolaresca. Si conoscono più di 100 tipi di rhinovirus con proprietà antigeniche diverse ed è proprio la grande varietà di antigeni virali che determina la frequente ricorrenza dell'infezione. La trasmissione più diffusa è quella mediante goccioline aeree di grandi dimensioni, ma è stata dimostrata anche la trasmissione attraverso piccole particelle aerosolizzate (24). Sono documentate epidemie da rhinovirus in ambienti *indoor*, come scuole, strutture di lungodegenza, ospedali, strutture sanitarie neonatali (25-27).

Gli enterovirus sono responsabili di numerose patologie a carico di diversi organi e apparati: patologie respiratorie, gastrointestinali (diarrea), oculari, cardiovascolari (miocarditi) e del sistema nervoso centrale. Le infezioni sono comuni in tutto il mondo e sono presenti durante tutto l'anno con un picco nei paesi temperati in estate-autunno. Gli enterovirus si replicano nel tratto gastro-intestinale e vengono trasmessi principalmente per via oro-fecale, ma anche mediante secrezioni respiratorie. Sono documentate epidemie da enterovirus in ambienti scolastici (28-30). Il virus dell'epatite A è responsabile di una malattia infettiva acuta che colpisce il fegato che può decorrere in maniera asintomatica oppure manifestarsi con malessere generale, febbre, ittero, nausea e vomito. La malattia ha in genere un'evoluzione benigna, ma possono verificarsi forme con andamento grave e forme fulminanti per insufficienza epatica. L'infezione si trasmette per via oro - fecale, mediante cibi o bevande contaminati. Epidemie da epatite A in ambienti scolastici sono documentate in letteratura (31, 32).

Gli adenovirus sono responsabili di infezioni a carico dell'apparato respiratorio, dell'apparato gastro-intestinale e uro-genitale e a carico dell'occhio (congiuntiviti, cheratocongiuntiviti). Rappresentano una causa importante di morbilità e mortalità in pazienti immunodepressi, nei neonati e nei bambini. Sono molto contagiosi: espettorato e secrezioni orali possono contenere 10^6 - 10^7 particelle virali/mL (33). È stato dimostrato che la maggior parte della popolazione all'età di dieci anni ha contratto un'infezione da adenovirus. Dopo l'infezione si sviluppano anticorpi tipo-specifici che conferiscono una protezione duratura per lo stesso sierotipo. Gli adenovirus vengono trasmessi principalmente per contatto diretto e per via fecale-orale, ma possono essere trasmessi anche per via aerea. Epidemie provocate da adenovirus sono state documentate in diverse tipologie di ambienti *indoor*, comprese strutture scolastiche, sanitarie, e assistenziali (34-36).

La trasmissione di virus in ambienti *indoor* non è esclusiva dei virus respiratori, ma è possibile anche per virus gastroenterici. I norovirus sono responsabili di gastroenterite sporadica ed epidemica in tutte le fasce d'età, rappresentando in tutto il mondo un importante problema di sanità pubblica.

La dose infettante è molto bassa (10^1 - 10^2 particelle virali) e di conseguenza questi virus sono molto contagiosi. Inoltre, un soggetto infetto elimina nell'ambiente una elevata carica virale (milioni di particelle virali/g di feci o per mL di vomito); questo spiega il verificarsi di epidemie soprattutto in contesti comunitari quali case di cura, caserme, navi da crociera e scuole. I norovirus sono trasmessi per via oro-fecale, per consumo di acqua o alimenti contaminati o contatto con superfici contaminate o contatto diretto persona-persona.

Alcuni studi dimostrano la possibilità di loro trasmissione in ambienti *indoor* anche attraverso la via aerea. Infatti, le particelle virali possono aerosolizzare durante episodi di vomito o a seguito degli scarichi degli impianti igienici; possono quindi essere inalate, depositate nelle alte vie respiratorie e in seguito ingoiate con il muco respiratorio. Possono inoltre depositarsi sulle superfici ed essere quindi trasferite per contatto o essere di nuovo risospese nell'aria (37).

Uno studio del 2017 descrive una epidemia da norovirus in una scuola con 20 casi e *attack rate* del 52,6%; in questo caso è stata ipotizzata la trasmissione per via aerea attraverso l'aria condizionata (38). Un'altra epidemia scolastica è stata documentata negli Stati Uniti, in una scuola elementare, con 27 studenti affetti da nausea, vomito e diarrea (39). Durante l'epidemia il virus è stato rilevato su una tastiera di un computer e sul mouse, evidenziando rischi legati all'utilizzo di apparecchiature informatiche in comune.

Nel 2013 lo *European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) ha pubblicato un rapporto tecnico sulla prevenzione delle infezioni da norovirus nelle scuole (40).

Gli studi e le ricerche sulla presenza dei virus in ambienti *indoor* risultano di difficile interpretazione per la mancanza di specifici riferimenti normativi e di valori soglia. Sono, infatti, ancora poco conosciuti sia le dinamiche della sopravvivenza e della disseminazione/trasporto dei

virus in ambienti *indoor*, sia il ruolo che hanno la ventilazione, il microclima e gli altri fattori ambientali. Ne consegue che la possibilità di prevenire e controllare le infezioni virali negli ambienti *indoor*, come quello scolastico, è molto limitata, anche in relazione a imprevedibili situazioni comportamentali degli studenti.

2.1.3. Allergeni negli ambienti scolastici

L'esposizione agli allergeni *indoor* può verificarsi in tutti i luoghi chiusi, quindi sia nelle abitazioni private che in strutture comunitarie, ricreative, sociali, commerciali, mezzi di trasporto, uffici e scuole.

È stato ormai dimostrato che le patologie respiratorie allergiche, quali ad esempio l'asma, sono il risultato dell'interazione tra predisposizione genetica dell'individuo ed esposizione ambientale. Inoltre esiste l'evidenza di una relazione dose risposta tra esposizione ambientale ad alcuni allergeni *indoor* e sensibilizzazione (presenza di anticorpi IgE specifici), nonché tra esposizione ambientale e insorgenza della sintomatologia allergica e asmatica in individui già sensibilizzati (41, 42).

Acquisire informazioni sull'esposizione agli allergeni *indoor* è molto importante perché permette sia di valutare i fattori di rischio per la sensibilizzazione e/o l'insorgenza dei sintomi, sia di ridurre l'esposizione agli allergeni stessi.

A questo proposito sono stati condotti numerosi studi per determinare il livello degli allergeni *indoor* in ambienti sia pubblici che privati, nonché la correlazione della loro concentrazione con l'insorgenza dei sintomi nei soggetti esposti. Una serie di studi è stata effettuata anche dall'Istituto Superiore di Sanità nell'ambito di alcuni progetti di ricerca al fine di mettere a punto metodiche di campionamento e di analisi standardizzate e di ottenere utili informazioni sulla presenza degli allergeni *indoor* in abitazioni private, uffici e in particolar modo nelle scuole. Infatti, l'applicazione di procedure rigorose e standardizzate in tutte le fasi del processo, dalla raccolta del campione fino al dosaggio dei singoli allergeni, costituisce un aspetto di fondamentale importanza per ottenere informazioni attendibili. (43, 44).

Per il dosaggio di alcuni degli allergeni più diffusi sono disponibili in commercio kit ELISA standardizzati che utilizzano anticorpi monoclonali; la contemporanea disponibilità di appositi filtri per il campionamento costituisce, inoltre, un rilevante aiuto per la standardizzazione di tutto il processo.

L'attenzione si è focalizzata soprattutto sugli allergeni maggiori che sono i più importanti dal punto di vista clinico, ma per ciascuna fonte allergenica esistono anche altri allergeni potenzialmente importanti, definiti allergeni minori, che possono essere rilevanti per i soggetti sensibilizzati a tali allergeni.

Dal momento che una persona difficilmente permane un'intera giornata in un singolo ambiente confinato, l'analisi del rapporto tra l'esposizione ambientale agli allergeni e la sensibilizzazione risulta molto complessa, dato che non è facile stabilire dove e quando si verifica la sensibilizzazione e quali concentrazioni di allergeni possono indurla; è più facile, invece, stimare se la carica allergenica presente nel luogo in esame può provocare la comparsa di sintomi nei soggetti allergici e/o l'aggravamento della patologia allergica.

Gli allergeni *indoor* si definiscono "perenni" in quanto, anche se con concentrazioni variabili, possono essere presenti durante tutto l'anno all'interno degli ambienti *indoor*. Le più comuni fonti allergeniche *indoor* sono rappresentate da acari, scarafaggi, mammiferi e miceti.

Gli acari, insieme alle loro spoglie ed escrementi, pur essendo molto più abbondanti negli ambienti domestici sono stati ritrovati anche in quegli ambienti pubblici, come gli uffici e le strutture scolastiche, dove si possono instaurare condizioni che favoriscono lo sviluppo e la diffusione dei loro allergeni.

Tra i mammiferi le principali specie responsabili delle patologie allergiche sono *Canis familiaris* e *Felis domesticus*. Il Fel d 1, l'allergene maggiore del gatto, responsabile di attacchi acuti di asma, viene considerato tra i più potenti allergeni *indoor*; esso viene prodotto dalle ghiandole sebacee e dalle cellule epiteliali squamose del gatto, si accumula sui peli, e poiché aderisce molto facilmente ai vestiti, può essere trasportato dall'uomo anche in ambienti in cui il gatto non è presente, come appunto negli ambienti scolastici.

Gli scarafaggi sono responsabili di una elevata percentuale di casi di asma severa negli Stati Uniti e in Nord Europa, in Italia invece il fenomeno della sensibilizzazione è ancora in fase di valutazione. La diffusione di allergeni provenienti da tale fonte è considerevole soprattutto in edifici molto vecchi e con un livello di igiene non adeguato.

Per quanto riguarda i miceti, una distinzione comunemente adottata è quella che prevede l'esistenza di due gruppi, i miceti atmosferici e i miceti domestici. Tra i primi, di particolare importanza sono *Alternaria* spp. e *Cladosporium* spp. che sono ubiquitari sul terreno insieme ad altri miceti ambientali e hanno un andamento stagionale. Tra i secondi, che possono comprendere anche *Alternaria* spp. e *Cladosporium* spp. penetrati in ambienti *indoor*, di primaria importanza è *Aspergillus* spp.

Le patologie causate dai miceti non sono sempre di natura allergica IgE-mediata e, inoltre, specie in alcuni soggetti immunodepressi, possono essere rappresentate da gravi infezioni dell'apparato respiratorio provocate dalla inalazione delle spore del fungo appartenente al genere *Aspergillus*. Nel caso invece di vere e proprie forme allergiche IgE-mediate, la patologia che i miceti provocano è spesso difficile da diagnosticare da un punto di vista allergologico a causa della qualità non sempre ottimale delle preparazioni predisposte per la diagnosi stessa, effettuata mediante test cutanei (*skin prick test*) disponibili sul mercato.

2.2. Obiettivi, durata e frequenza del monitoraggio dell'aria *indoor*

2.2.1. Campionamento di microrganismi

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.

I metodi di indagine utilizzati per valutare la qualità microbiologica dell'aria *indoor* degli ambienti scolastici sono gli stessi che vengono impiegati per stimare le caratteristiche di qualità di altri ambienti *indoor*.

L'approccio analitico è necessariamente preceduto dal sopralluogo e dalla raccolta di tutte le informazioni utili sulla numerosità degli studenti, sul fabbricato (solati, infissi, ecc.) e sugli impianti idraulici ed eventualmente sistemi VMC presenti nell'ambiente scolastico da investigare (aule, laboratori didattici, biblioteche, uffici, palestre, sale riunione, mensa, ecc.). Prosegue con la fase del monitoraggio vero e proprio. Per quanto riguarda quest'ultimo, dovranno essere ricercati, in primo luogo, i microrganismi selezionati come indicatori, al fine di valutare complessivamente la qualità dell'aria e, in base ai risultati ottenuti, sarà possibile decidere se proseguire le analisi in caso fosse necessario avere risultati più specifici.

Le caratteristiche del monitoraggio del *bioaerosol* vengono quindi determinate dalla tipologia degli ambienti da investigare, dal tipo di contaminanti che si suppone possano essere presenti e dalle sorgenti di diffusione dell'inquinamento individuate, alcune saranno quelle tipiche dell'ambiente scolastico e altre saranno dovute all'apporto dell'aria *outdoor* tramite porte, finestre

ed eventuali impianti di aerazione. Come vedremo più avanti, non sarà necessario procedere al riconoscimento di tutti i costituenti complessivi del *bioaerosol*. Infatti, sia nell'ambiente *indoor* che in quello *outdoor* il criterio più idoneo e utilizzato consiste nell'identificare e studiare le specie e gruppi biologici quantitativamente più rappresentativi.

Prima di procedere al campionamento in un ambiente scolastico, sarà necessario decidere quali saranno i punti da campionare, la tecnica e la durata dei prelievi, il numero di campioni da effettuare, la valutazione dei possibili cambiamenti delle condizioni ambientali durante il campionamento stesso e gli strumenti da utilizzare.

Il punto di prelievo ideale dovrebbe essere il centro del locale da monitorare, rispettando le distanze da porte e finestre, anche considerando l'irraggiamento solare e la eventuale presenza di correnti d'aria che possano influenzare il risultato del campionamento.

Un campionamento ottimale dovrebbe consentire sia la determinazione del numero totale di particelle aerodiffuse per unità di volume d'aria (UFC/m³), sia il numero medio di cellule viventi. In questo caso, la scelta della tecnica analitica dipende non solo dall'agente biologico da ricercare, ma soprattutto dalla sua concentrazione presunta o, meglio, predeterminata con un campionamento preliminare.

Per campionare l'aria *indoor* degli ambienti scolastici, come del resto in tutti gli altri ambienti *indoor*, esistono due diversi tipi di metodologie, il campionamento passivo e quello attivo.

Nel campionamento di tipo passivo (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 di PM per unità di superficie (es. per m², in un tempo unitario).

Pur essendo semplice ed economico, il campionamento passivo presenta l'indubbio svantaggio di non essere un metodo quantitativo, non consentendo di mettere in relazione il numero di microrganismi raccolti con un volume di aria noto e mostra l'ulteriore inconveniente per cui, essendo il tasso di deposizione in funzione della massa posseduta, i microrganismi contenuti nelle particelle di dimensioni maggiori possono essere sovrastimati rispetto a quelli contenuti in particelle di dimensione più piccole, quindi più leggere, con velocità di sedimentazione più lenta e più soggette ad essere movimentate altrove dai moti convettivi dell'aria ambiente.

La proprietà fondamentale del campionamento attivo, o volumetrico, consiste nel poter prelevare volumi d'aria a grandezza nota, consentendo così di misurare la concentrazione dei microrganismi presenti nel *bioaerosol* e di minimizzare, nei confronti del campionamento passivo, le differenze di distribuzione dei batteri dovute alla temperatura, alle perturbazioni causate dai movimenti delle correnti d'aria e dalle dimensioni e forma degli aggregati aerodispersi. 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. Per superare eventuali condizioni di stress subito dalle cellule microbiche durante il campionamento, che può compromettere la vitalità e quindi la capacità dei microrganismi di riprodursi in terreno di coltura e per favorirne pertanto la rivitalizzazione, alcune volte si rende necessaria una fase di arricchimento.

I substrati nutritivi, sia solidi che liquidi, utilizzati per le analisi devono permettere una crescita ottimale dei microrganismi, evitando l'instaurarsi di effetti antagonisti connessi alla presenza di interferenze nutrizionali o metaboliche.

La procedura di campionamento/analisi prevede che l'aria aspirata venga convogliata su un terreno nutritivo, opportunamente predisposto all'interno di apparecchiature apposite e, dopo un idoneo periodo di incubazione, le colonie cresciute possono essere contate e identificate. Il grado

di contaminazione microbica viene espresso come Unità Formanti Colonia/m³ aria aspirata (UFC/m³).

Esistono diverse tipologie di sistemi di campionamento attivo, basati su principi di funzionamento differenti: campionatori per impatto, per filtrazione e per gorgogliamento.

Tra i campionatori attivi per impatto si distinguono: campionatori a fessura, campionatori a stadi sovrapposti con sistema aspirante esterno (es. il campionatore multistadio di *Andersen*) e campionatori monostadio con sistema aspirante integrato; questi ultimi utilizzano due diversi criteri di cattura delle particelle microbiche: l'impatto tangenziale oppure l'impatto ortogonale dell'aria sul terreno agarizzato.

Il campionamento attivo del PM (mediante filtrazione) viene comunemente utilizzato nel monitoraggio di inquinanti di origine chimica sia negli ambienti *indoor* che *outdoor* e soltanto successivamente è stato adattato anche al monitoraggio biologico. Un inconveniente di questo sistema, nel caso di prelievi prolungati o in condizioni estreme di umidità relativa, è che sulla membrana filtrante potrebbero crearsi delle condizioni di stress che incidano sulla sopravvivenza dei microrganismi che si stanno raccogliendo.

I campionatori attivi per gorgogliamento spingono l'aerosol ad attraversare un mezzo liquido (*liquid impinger*); in questo caso il campionamento, per la rimozione delle particelle dal flusso d'aria, sfrutta soprattutto la forza di inerzia unita alla diffusione delle particelle nel mezzo liquido. Questa tipologia di campionatori può risultare inadatta per la raccolta di particelle idrofobiche come le spore fungine.

Per una descrizione più dettagliata di come operano i più comuni campionatori di *bioaerosol* si rimanda al *Rapporto ISTISAN 13/37* (45).

Il sistema di campionamento più idoneo per il monitoraggio degli ambienti scolastici *indoor* è rappresentato dai campionatori di tipo *Surface Air System* (SAS), diffusi e utilizzati per la loro praticità e facilità di manipolazione. Il SAS è un campionatore monostadio a impatto ortogonale. Mediante filtrazione a fessura aspira quantità prefissate di aria, con flusso nominale che, in base al modello, può variare da 40 a 180 L/min, prelevando volumi compresi tra 10 e 1000 litri, consentendo una stima quantitativa diretta delle cellule batteriche vitali contabili. I volumi di aria da aspirare possono essere definiti e impostati in funzione dei livelli presunti di inquinamento microbico. L'aria viene convogliata, attraverso una testata di alluminio con una serie di piccoli fori appositamente progettati, direttamente sulla superficie dei differenti substrati nutritivi agarizzati, selettivi e/o specifici per i vari microrganismi da rilevare, contenuti in piastre *Rodac* di 55 mm di diametro, alloggiabili direttamente, al momento del prelievo, nella testata rimovibile e sterilizzabile del campionatore stesso. Ciò permette, quindi, di campionare selezionando in partenza i gruppi microbici da quantificare e valutare.

Tale campionatore ha una grande flessibilità di utilizzo e, grazie alla sua portata, comporta tempi ridotti di campionamento con il vantaggio di sottoporre le cellule microbiche raccolte a un minore stress da disidratazione. Il SAS, inoltre, è disponibile in commercio anche nel modello che in un corpo unico presenta due testate di aspirazione (DUO SAS 360), azionabili contemporaneamente. Il vantaggio di tale tipo di campionatore consiste nell'ottenere risultati rappresentativi dal punto di vista statistico utilizzando lo stesso tipo di terreno nutritivo su entrambe le testate; utilizzando due differenti terreni è possibile, inoltre, effettuare nello stesso tempo due prelievi impiegando terreni nutritivi specifici per due tipi di conte diverse (es. batteri e funghi). La possibilità di un campionamento in doppio porta a un reale vantaggio operativo in quanto i tempi possono essere dimezzati e questo è molto importante nei casi in cui molti locali devono essere monitorati, come ad esempio nelle strutture scolastiche.

Per quanto riguarda i punti di prelevamento nei campionamenti dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici è necessario fissare le misure di altezza e distanza dagli ostacoli.

Dovendo mettere in correlazione la concentrazione microbica e la possibilità della sua inalazione durante l'esposizione, i campionatori dovranno essere posizionati ad 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 materne 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.

2.2.2. Campionamento di virus

Per quanto riguarda i metodi per la ricerca dei virus negli ambienti *indoor*, come quello scolastico, allo stato attuale delle conoscenze, non esistono protocolli standard che descrivano metodi di campionamento dettagliati, virus da campionare e tecniche analitiche da utilizzare. Vi è infatti una mancanza di standardizzazione sia per il campionamento (molteplicità della strumentazione e delle tecniche) che per l'identificazione dei virus (utilizzo di sistemi cellulari, metodi molecolari, immunosaggi, altri). Gli studi sul confronto dei vari metodi di campionamento mostrano spesso risultati contraddittori e non sono quindi disponibili indicazioni per la scelta tra l'uno o l'altro di essi.

Possono essere utilizzati diversi tipi di campionatori attivi per i virus, basati su vari principi di funzionamento (46, 47). La strumentazione per la raccolta dei virus è simile a quella impiegata per la raccolta di altri tipi di particelle aerodisperse descritta in precedenza.

I campionatori più utilizzati per la raccolta dei virus in ambienti *indoor* scolastici sono quelli ad impatto su superficie liquida o *liquid impinger* che consentono di aspirare grandi volumi di aria a flusso controllato. Si tratta di dispositivi in vetro nei quali l'aria captata gorgoglia in soluzioni saline tamponate o in terreni di coltura liquidi. Le particelle virali possono essere analizzate direttamente mediante metodi culturali, molecolari o saggi immunologici. Le trappole liquide presentano il vantaggio di evitare la disidratazione delle particelle, mantenendo le capacità infettanti dei patogeni, anche se queste peculiarità sono meno importanti nel campionamento dei virus piuttosto che in quello di batteri e funghi, mentre i veri limiti dei gorgogliatori sono invece rappresentati dalla possibilità di evaporazione e riaerosolizzazione delle particelle già raccolte che, sfuggendo dal liquido di raccolta, possono ridurre l'efficienza del prelievo. I dispositivi più utilizzati per il campionamento dei virus sono gli impattatori AGI (*All-Glass Impingers*), come i sistemi AGI-30 e AGI-4. Dati di letteratura mostrano che le efficienze di recupero sono molto variabili (48-50).

Altri sistemi utilizzati per raccolta di virus da aerosol sono i dispositivi tipo *Biosampler*, che prevedono l'adsorbimento in liquido (soluzioni fisiologiche sterili, terreni di coltura selettivi) con movimento centrifugo e flusso di aspirazione prefissato. Dispositivi *Biosampler* sono stati utilizzati per campionamenti di virus influenzali in diversi ambienti *indoor*, anche scolastici (51, 52). Rispetto ai campionatori AGI, i *Biosampler* consentono di campionare per periodi di tempo più lunghi senza che si corra il rischio di danneggiare le bioparticelle adsorbite; vengono anche ridotti, inoltre, i rischi di riaerosolizzazione delle particelle stesse (53).

Per il campionamento dei virus si possono anche utilizzare dei campionatori ad impatto su superficie solida, come ad esempio il campionatore a fessura *slit sampler*, che debbono però essere opportunamente adattati per questo tipo di prelievo, in particolare bisogna avere l'accortezza di rispendere in tempi rapidi le particelle virali in un mezzo liquido.

Anche campionatori tipo il SAS possono essere impiegati nella captazione dei virus. Le piastre, contenenti uno specifico terreno di coltura agarizzato (es. TSA, *Tryptic Soy Agar*, o LMA, *Low Melting Agarose*), possono essere eluite, utilizzando per esempio *Beef Extract* pH 9 e l'eluato omogeneizzato e chiarificato mediante centrifugazione. Il liquido surnatante può essere inoculato

su colture cellulari oppure si può procedere alla estrazione degli acidi nucleici per l'analisi con metodi molecolari. (54).

Tipologie diverse di filtri possono essere utilizzate per la raccolta di virus in ambienti *indoor* scolastici mediante il metodo a filtrazione: filtri di cellulosa in politetrafluoroetilene (PTFE) o in policarbonato. Tuttavia il loro utilizzo è limitato dall'eventualità che possano verificarsi danni strutturali dovuti al flusso dell'aria che impatta sulle particelle virali catturate. Negli ultimi anni sono state utilizzate, in alternativa, membrane filtranti in gelatina contenute in capsule sterili, meno traumatiche per l'integrità virale; poiché durante il campionamento mantengono un ambiente umido; i filtri in gelatina consentono, inoltre, una maggiore flessibilità operativa perché si possono dissolvere in soluzione fisiologica.

2.2.3. Campionamento di allergeni

Il campionamento dell'aria *indoor* in ambito allergologico viene utilizzato principalmente per il monitoraggio *outdoor*, laddove l'interesse prevalente è rivolto alla determinazione della qualità e quantità dei pollini aerodispersi. Campionamenti dell'aria in ambienti *indoor* sono stati impiegati di rado, soprattutto per mettere in evidenza la presenza di muffe e spore e, solo occasionalmente, per valutare la presenza di pollini.

Le due metodiche storiche per il campionamento dell'aria, normalmente applicate anche in ambienti scolastici, sono quelle già in precedenza descritte: metodo attivo gravimetrico per aspirazione e metodo passivo per sedimentazione. Molto recentemente è stato validato un nuovo metodo per il campionamento degli allergeni nell'aria che si basa sull'utilizzo di un dispositivo denominato Inspirotec (Inspirotec, Inc, Chicago, Illinois) unitamente al sistema *Multiplex Array for Indoor Allergens* (MARIA, Indoor Biotechnology, Charlottesville, Virginia) (55). ma, proprio per la sua novità, non sono attualmente disponibili molti lavori da poter confrontare con quelli effettuati con le metodiche precedenti.

Nei casi in cui si decida di effettuare un campionamento dell'aria in ambiente *indoor* scolastico, *tout court* o in parallelo con quello del PM sedimentato, ci sono numerosi fattori che devono essere considerati e che sono simili a quelli relativi ai campionamenti microbiologici e al rilevamento di sostanze chimiche. Sono quindi importanti la scelta per il posizionamento del campionatore, la valutazione della variazione dei parametri ambientali (come temperatura e umidità) e la durata del campionamento, il numero di campionamenti da effettuare e infine le tecniche utilizzate per l'identificazione e la quantificazione degli allergeni. Inoltre, volendo effettuare una valutazione critica tra le varie modalità di campionamento, da aria e da superficie, la prima ha l'innegabile vantaggio di delineare un quadro più attinente alla reale esposizione essendo in grado di fornire indicazioni circa la concentrazione e la tipologia di allergeni aerodispersi. Tuttavia tale modalità presenta alcuni svantaggi che ne limitano l'applicazione, il più rilevante è il fatto che negli ambienti in cui l'aria è statica e quindi non soggetta a movimento o ricambio, la quantità di aeroallergeni dispersi è estremamente ridotta e pertanto difficilmente rilevabile, essendo gli stessi prevalentemente sedimentati.

Indipendentemente dalla tipologia di campionamento utilizzata è importante, in concomitanza al campionamento, raccogliere informazioni utili per meglio analizzare i rapporti di causa/effetto tra quantità/qualità degli allergeni *indoor* e patologie respiratorie allergiche e asmatiche. Tali informazioni sono costituite oltre che dalla data e durata del campionamento, anche dai dati di temperatura, di umidità relativa e dai dati relativi ai locali in cui è stato effettuato il campionamento (dimensioni, numero di occupanti, sistemi di areazione e riscaldamento). Inoltre andrebbe riportato qualsiasi evento riscontrato come anomalo, come ad esempio, tracce di umidità visibili all'interno dei locali. Tali informazioni sono importanti per analizzare, in modo appropriato le reali condizioni degli ambienti in cui si riscontrano, ad esempio, concentrazioni di

allergeni ritenute potenzialmente rischiose per la salute dei soggetti che vi soggiornano. Inoltre, potranno fornire elementi utili a migliorare lo stato in essere, sia intervenendo sulla struttura sia operando al meglio sul microclima (es. sui sistemi di areazione e riscaldamento) e sulle procedure di pulizia degli ambienti interessati dal campionamento e dalle operazioni di misura.

2.3. Campionamento dalle superfici

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 (PM) in sospensione nell'aria *indoor*. Tenendo anche presente che ricambi d'aria scarsi o addirittura assenti incrementano la deposizione del *bioaerosol* e che l'insorgere di correnti d'aria dovute al movimento delle persone o all'apertura di porte e finestre risolve e disperde nuovamente nell'aria parte del corpuscolato deposto, si comprende l'importanza del campionamento delle superfici per una buona definizione delle condizioni degli ambienti in esame. Per valutare lo stato igienico delle superfici esistono tre metodiche: metodo microbiologico, chimico e biochimico.

Secondo il metodo microbiologico i microrganismi possono essere rilevati e sommariamente identificati in 24-48 ore; al contrario sia il metodo chimico (che non necessita di strumentazione) che quello biochimico (che prevede l'acquisto di uno strumento per la lettura dei dati) sono in grado di fornire i risultati in pochi minuti.

Per una rapida valutazione dello stato igienico di una superficie si possono, infatti, utilizzare i diversi sistemi rapidi, biochimici o chimici, che permettono di rilevare la concentrazione dell'adenosin-tri-fosfato (ATP), molecola ubiquitaria nei microrganismi e nelle cellule animali e vegetali, sulle superfici da saggiare.

Il metodo microbiologico può essere applicato con differenti tecniche che, in linea generale, sono riferibili al metodo della spugna, delle *slide* flessibili, delle piastre a contatto e dei tamponi.

Il metodo di base più semplice e adatto a campionare superfici più ampie rispetto a tamponi o piastre a contatto, è il metodo della spugna che prevede l'utilizzo di spugnette imbevute con soluzione fisiologica sterile ed eventuali neutralizzanti che vengono strofinate sulla superficie da testare e successivamente sottoposte a trattamento di omogeneizzazione/eluizione. Il campione così ottenuto viene seminato su un terreno di coltura con la tecnica dell'inclusione in agar.

Le *slide* flessibili, pronte per l'uso, rappresentano un altro rapido metodo disponibile in commercio; tale tecnica si avvale della presenza simultanea di due differenti tipi di terreno sulle due facce di una stessa *slide* consentendo pertanto di effettuare contemporaneamente due diversi controlli.

In Italia non esistono linee guida che permettano di esprimere un giudizio di qualità igienica negli ambienti *indoor*, pertanto, per valutare lo stato di contaminazione delle superfici negli ambienti scolastici, si propone di 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.

Nella prima metodica vengono utilizzate apposite piastre a contatto, preparate con un terreno di coltura idoneo per la crescita del parametro da ricercare. Il prelievo viene effettuato facendo aderire la piastra sulla superficie da campionare; si consiglia di identificare almeno tre punti significativi da campionare sulla stessa superficie per ottenere il dato medio di contaminazione e di effettuare ciascun prelievo in doppio al fine di avere una maggiore possibilità di recupero e una migliore rappresentatività del dato. Dopo un idoneo periodo di incubazione si procede al

conteggio delle colonie cresciute sulla superficie dei terreni di coltura. Il grado di contaminazione microbica viene espresso come Unità Formanti Colonia per centimetro quadrato (UFC/cm²).

Il metodo delle piastre a contatto non è adatto per la determinazione delle specie patogene, in quanto necessitano di fasi di pre-aricchimento e arricchimento.

La tecnica dei tamponi è utilizzata soprattutto per campionamenti di superfici irregolari. I tamponi, costituiti da uno stelo rigido (in plastica, legno o alluminio) e da una testa morbida (in cotone, fibra sintetica o alginato) sono molto utilizzati per la versatilità di applicazione su molteplici superfici. A differenza del metodo delle piastre a contatto, il prelievo non avviene contemporaneamente all'inoculo del terreno di crescita, che avverrà in un secondo momento, in laboratorio, dopo il trasporto in condizioni refrigerate in appositi contenitori. Pertanto si deve tenere presente che durante tale periodo deve essere mantenuta la vitalità di tutti gli organismi presenti nel campione, cercando di ridurre al minimo ogni possibile modificazione della concentrazione originaria. A tal fine possono essere utilizzati sia la soluzione fisiologica tamponata che opportuni terreni, disponibili in commercio che escludono la presenza di fonti di carbonio, azoto e fattori di crescita organica per evitare la moltiplicazione microbica (per esempio, il terreno di Trasporto di *Stuart* e il terreno di Trasporto di *Ames*); esistono in commercio anche tamponi in kit già preparati con una soluzione di trasporto contenente agenti neutralizzanti che inattivano i più comuni disinfettanti o agenti sanitizzanti che potrebbero trovarsi sulle superfici da campionare, proteggendo così i microrganismi prelevati fino al momento dell'analisi.

Il prelievo consiste nello strisciare con tamponi sterili la superficie da saggiare. I tamponi di alginato di calcio (o simili) sono molto validi in quanto, dissolvendosi completamente in idonee soluzioni, consentono il totale recupero dei microrganismi raccolti. La soluzione ottenuta può essere quindi utilizzata direttamente per l'enumerazione e l'identificazione dei vari microrganismi. Questa metodica è utile nei casi in cui si prevede un grado elevato (>100 UFC/cm²) di contaminazione delle superfici. L'analisi viene effettuata mediante la tecnica dell'inclusione in agar.

Il numero dei microrganismi cresciuti sui terreni di coltura viene espresso come UFC/cm².

Per un approfondimento sulle metodiche di campionamento e analisi delle superfici si rimanda a quanto riportato nel *Rapporto ISTISAN 13/37* (45).

2.3.1. Campionamento di virus dalle superfici

I sistemi che vengono utilizzati per il campionamento di virus dalle superfici sono gli stessi impiegati per la batteriologia, ossia tamponi, spugnette e *slide*, che, dopo il prelievo, vengono sottoposti a successiva eluizione.

I tamponi più utilizzati sono quelli in cotone (60% degli studi) e poliestere (16%), seguiti da *rayon* e altri tamponi antistatici. Gli eluenti più utilizzati sono brodo (*beef extract*, *minimum essential medium*, brodo triptosio/fosfato) e soluzione di *Ringer*. Per il recupero dei virus il metodo più idoneo ed efficace è risultato essere il tampone di poliestere preumidificato ed eluito con soluzione di *Ringer* (concentrazione 1/4).

Per l'identificazione dei virus dalle superfici i protocolli che sono maggiormente utilizzati vengono descritti in una recente rassegna di *Julian et al.* che ha messo a confronto i risultati di 59 studi (56).

2.3.2. Campionamento di allergeni dalle superfici

Il campionamento dalle superfici permette di valutare la presenza di allergeni *indoor* derivanti da acari, blatte, animali domestici, roditori e muffe, consentendo di verificare anche il fenomeno

dell'accumulo, dovuto alla deposizione nel tempo, a fronte del valore istantaneo che si riscontra con il campionamento dell'aria *indoor*, che dà solamente la misura della quantità di allergeni in sospensione nel volume di aria campionata in quel momento.

La scelta di effettuare anche un campionamento delle superfici è più impegnativa ma garantisce una miglior comprensione dello stato igienico dell'ambiente e dell'origine degli allergeni che vi si possono ritrovare. Se uno studente possiede animali domestici (gatto e cane) si potrà verificare come gli allergeni possano essere soggetti al trasporto (*carry over*) da un luogo all'altro, anche tramite capi di vestiario, dall'ambiente domestico a quello scolastico. L'importanza del campionamento delle superfici è legata anche alla dimensione delle particelle aerodisperse su cui gli allergeni vengono trasportati, quelle con dimensioni che variano dai 5 ai 40 μm , possono depositarsi in tempi più rapidi, non potendosi allontanare molto dalla sorgente, mentre quelle di dimensioni minori possono rimanere più a lungo in sospensione nel *bioaerosol* ed essere trasportate più lontano.

Per la raccolta dalle superfici del PM sedimentato generalmente viene utilizzato un comune aspirapolvere, con potenza massima di 1800 W. È richiesta una potenza totale dello strumento superiore rispetto alla potenza d'uso che in genere è 1600 W, per evitare che lo strumento lavori in continuo alla massima potenza possibile. Sono inoltre disponibili in commercio beccucci in plastica che possono essere adattati all'estremità del tubo di aspirazione di quasi tutti i modelli di aspirapolvere. Tali beccucci dispongono di un apposito spazio all'interno del quale vengono adattati filtri specifici che intrappolano il PM raccolto dalle superfici. Il filtro va inserito nel beccuccio adattatore montato in testa al tubo dell'aspirapolvere. È necessario verificare che ci sia un contatto ottimale del beccuccio adattatore con la superficie che si sta campionando e che durante la raccolta non si favorisca l'aerodispersione.

L'aspirazione deve rigorosamente essere standardizzata sia per quanto riguarda la durata del prelievo che la superficie interessata.

Quando l'obiettivo specifico del campionamento è quello di conoscere la concentrazione di allergeni presenti in un determinato ambiente scolastico è opportuno selezionare in modo appropriato l'area (o le aree) di campionamento dove potrebbero potenzialmente accumularsi gli allergeni sulla base del locale che si sta esaminando ed esprimere il risultato in μg di allergene per grammo di polvere raccolta in un determinato filtro ($\mu\text{g/g}$) oppure $\mu\text{g/m}^2$ di superficie campionata per minuto.

Una delle fasi più critiche dell'intero processo è rappresentata dalla scelta delle aree da campionare dato che le aree selezionate devono essere rappresentative della carica allergenica realmente presente nel PM sedimentato dell'ambiente campionato della struttura scolastica. Dopo la fase di aspirazione del PM, si procede al distacco del beccuccio adattatore dal tubo dell'aspirapolvere e alla rimozione del filtro in esso contenuto. Il filtro contenente il PM si ripone nell'apposito contenitore (sacchetto di plastica). I beccucci adattatori possono essere lavati con comuni detergenti ed essere riutilizzati per altri prelievi di PM.

È buona norma che i campioni siano trasportati a temperatura controllata ($5\pm 3^\circ\text{C}$) dal luogo di raccolta al luogo di analisi. Qualora non si dovesse procedere subito con i test in laboratorio e la fase di estrazione venisse posticipata, i filtri potranno essere conservati a -20°C fino al momento dell'analisi.

2.4. Metodi di analisi

Un altro principale parametro per valutare la qualità dell'aria *indoor* è la concentrazione dei microrganismi raccolti nell'ambiente in condizioni vitali, che siano cioè coltivabili con l'utilizzo di tecniche analitiche che, con tempi e temperature di incubazione mirati, riescano a mettere in

evidenza e distinguere batteri e funghi di specifica natura ambientale (25-30°C per $t > 24$ h), o di più ristretta origine umana (30-37°C per $t = 24$ h).

Negli ambienti scolastici, ove si riscontrano alti valori di umidità relativa e una massiccia presenza di materiale cartaceo, oltre ai batteri ambientali e ai funghi si possono ricercare anche gli attinomiceti che, avendo temperature ottimali di crescita comprese tra 15°C e -37°C, con la loro eventuale presenza possono contribuire al giudizio complessivo della qualità dell'aria negli ambienti *indoor* monitorati.

I più importanti metodi di indagine di campioni di *bioaerosol* includono metodiche di coltura diretta e analisi biologiche, biochimiche e immunologiche. Considerando che molte specie di microrganismi di origine tipicamente ambientale sono difficilmente coltivabili in laboratorio e che i loro tempi di sviluppo sui terreni di coltura possono essere anche molto lunghi, sarebbe molto importante poter utilizzare tecniche di biologia molecolare che riescono a rilevare e distinguere specifici microrganismi, anche in assenza di crescita. Tuttavia, sebbene queste ultime abbiano il vantaggio di poter mettere in evidenza anche microrganismi coltivabili con difficoltà, si tratta di tecniche ancora non standardizzate, costose e, soprattutto, poco applicate nel monitoraggio dell'aria.

Con il metodo di enumerazione diretta, i microrganismi vitali raccolti dall'aria si evidenziano e si contano in piastra come UFC e quindi, dopo opportuno isolamento, possono essere identificati eseguendo test biochimici. Questa metodica analitica può essere utilizzata non solamente a seguito del prelievo d'aria con campionatori filtranti e aspiranti, ma anche per campioni raccolti dopo eluizione da gorgogliamento o delle membrane filtranti, oppure per analizzare polveri e tamponi prelevati direttamente dalle superfici.

La metodica della conta diretta è idonea per rilevare la presenza anche di agenti infettivi come stafilococchi e funghi patogeni, ove l'indagine analitica prosegua oltre la semplice enumerazione della flora microbica ambientale aerodispersa. È qui il caso di considerare che le colture in terreno agarizzato spesso sottostimano la reale densità dei microrganismi presenti nell'aria e che questo può essere ascrivibile a varie cause: la richiesta di particolari condizioni nutrizionali o di crescita da parte di alcuni microrganismi, il rilascio di sostanze ad azione inibitrice che possono rallentare o arrestare lo sviluppo delle cellule circostanti, eventualità che si verifica anche in presenza di una densità eccessiva di microrganismi sul terreno di coltura agarizzato dove si può riscontrare la cosiddetta inibizione "da contatto" dovuta a crescita adiacente.

Nel bioaerosol prelevato negli ambienti scolastici la ricerca dei batteri e dei funghi saprofiti presenti prevede l'utilizzo di terreni di coltura non selettivi che permettono la crescita di una grande varietà di microrganismi, come peraltro avviene nel caso delle analisi microbiologiche di campioni ambientali di qualsiasi origine e non solo di aria *indoor*. La ricerca di microrganismi specifici, quali stafilococchi, enterobatteri, attinomiceti, *Pseudomonadaceae*, *Enterobacteriaceae* richiede, invece, l'utilizzo di metodi e di terreni colturali selettivi, idonei alla loro rilevazione e alla loro successiva quantificazione e identificazione.

Per la crescita dei microrganismi rilevabili negli ambienti *indoor* scolastici, sono ampiamente disponibili in commercio terreni di coltura, sia selettivi che non, a formulazione completa da maneggiare, preparare e allestire seguendo le indicazioni della ditta produttrice. È possibile, comunque, utilizzare in alternativa le piastre già pronte con i terreni colturali disponibili in commercio.

Sia l'enumerazione che la successiva identificazione delle colonie cresciute sul substrato colturale dovrebbe essere eseguita secondo le indicazioni specifiche riportate dalla casa di produzione del terreno stesso. Per saggiare l'efficienza e la sterilità dei terreni utilizzati può risultare utile impiegare microrganismi di controllo.

Relativamente all'identificazione e alla classificazione dei funghi è indispensabile una comprovata e specifica esperienza in materia per poter individuare le diverse morfologie, i corpi

fruttiferi e gli elementi strutturali che contraddistinguono le differenti specie. Il riconoscimento dei funghi, infatti, deve prendere in considerazione sia le caratteristiche morfologiche macroscopiche della colonia, quali aspetto, forma, colore e consistenza, che quelle microscopiche costituite dalla morfologia delle strutture riproduttive e dalla tipologia delle spore prodotte, nonché i tempi di sviluppo e crescita delle colonie stesse.

Per una descrizione più dettagliata e approfondita delle metodiche analitiche inerenti il *bioaerosol*, la scelta dei substrati colturali, le temperature e i tempi idonei di incubazione, si rimanda al *Rapporto ISTISAN 13/37 (45)*.

2.4.1. Metodi di analisi per i virus

Per quanto riguarda la ricerca dei virus negli ambienti scolastici, dopo il campionamento (aria o superfici), si richiedono procedure diverse a seconda che si ricerchino virus vitali (metodi cellulari) o genomi virali (metodi molecolari).

A livello diagnostico la metodica più significativa è l'isolamento dei virus su opportune colture cellulari, sulle quali i virus possono moltiplicarsi. La presenza di virus può rendersi manifesta con la comparsa di alterazioni cellulari (effetto citopatico) che si esprimono morfologicamente in fenomeni diversi nel tappeto cellulare (perdita della forma, ingrossamento, formazione di inclusioni cellulari e/o citoplasmatiche, fenomeni di necrosi, degenerativi e formazione di sincizi).

Per l'identificazione dei virus, alle colture cellulari sono associate diverse problematiche; prima di tutto non esistono sistemi adattabili a tutti i virus, infatti alcuni virus possono moltiplicarsi su diverse linee cellulari, mentre altri presentano una specificità cellulare più stretta. Esistono, inoltre, gruppi virali (es. norovirus, virus dell'epatite A ed E) che non sono in grado di moltiplicarsi nelle linee cellulari attualmente utilizzate. Oltre a ciò l'utilizzo di metodiche cellulari necessita di tempi lunghi, variabili da 1 a 4 settimane. Gli studi effettuati in ambienti *indoor*, compresi quelli scolastici, per l'identificazione di virus con colture cellulari riguardano enterovirus, adenovirus, virus parainfluenzali, virus influenzali (57).

Le tecniche molecolari, basate sulla ricerca di sequenze del genoma virale, sono utilizzate con sempre maggiore frequenza per l'identificazione di virus dall'ambiente, inclusi gli ambienti *indoor* scolastici. I metodi molecolari sono più sensibili dei metodi colturali tradizionali. Le tecniche maggiormente utilizzate si basano sull'amplificazione in vitro degli acidi nucleici mediante *Polymerase Chain Reaction (PCR)*. Dopo l'amplificazione, è necessaria una fase di conferma mediante sequenziamento dei frammenti amplificati o ibridizzazione con sonde marcate. La *Real-Time PCR* rappresenta una evoluzione della PCR classica in quanto consente la simultanea amplificazione e quantificazione del DNA target.

I metodi molecolari, a fronte di innegabili ed evidenti vantaggi, presentano tuttavia alcune criticità: sono più costosi per quanto riguarda la strumentazione, richiedono competenze tecniche specialistiche e, soprattutto, non sono in grado di fornire informazioni sulla vitalità del patogeno.

2.4.2. Metodi di analisi per gli allergeni

Le procedure di analisi degli allergeni presenti negli ambienti *indoor* scolastici consistono in diverse fasi, qui di seguito brevemente descritte. Per la descrizione dettagliata e l'approfondimento delle metodiche analitiche si rimanda al *Rapporto ISTISAN 13/37 (45)*.

Estrazione

Dopo la raccolta del campione per l'analisi degli allergeni rilevabili nella polvere, la procedura di estrazione prevede, in primo luogo, che il campione di polvere venga setacciato mediante un setaccio a *mesh* n. 45.

La polvere fine così ottenuta andrà pesata, in modo da poter stabilire il volume di tampone da utilizzare per il quantitativo di polvere in questione. La metodica attualmente più utilizzata prevede l'estrazione dei campioni in base al seguente rapporto: 100 mg di polvere fine (dopo setacciatura) in 2 mL di *Phosphate Buffered Saline* (PBS) *Tween* 0,05%. Dopo aver aggiunto il volume di tampone nel rapporto appropriato è necessario far oscillare il tubo su un agitatore nelle condizioni stabilite dal protocollo. Tutte le operazioni devono essere eseguite con molta cautela e l'oscillazione deve essere impostata alla minima potenza dello strumento in modo da non creare schiuma nel campione. Il tubo andrà poi centrifugato e il soprannatante dovrà essere ripartito in aliquote e conservato a -20°C fino all'analisi. Come già accennato in precedenza, la concentrazione di allergeni misurata utilizzando la metodica di campionamento da superficie si esprime in termini di μg di allergene per grammo di polvere ($\mu\text{g}/\text{g}$) oppure μg di allergene/ m^2 per minuto, in base al protocollo di campionamento applicato.

Dosaggi degli allergeni nei campioni di polveri dopo estrazione

Successivamente alla fase di estrazione si esegue il dosaggio degli allergeni. Insieme alla procedura di campionamento, l'analisi degli allergeni è uno degli aspetti più critici di tutto il processo.

Il metodo ad oggi maggiormente utilizzato e più idoneo per effettuare la determinazione quantitativa degli allergeni specifici all'interno degli estratti di polvere prevede l'utilizzo del saggio ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*). Se si vuole mettere a punto e convalidare tale metodica *in house*, il materiale di partenza necessario è uno standard a concentrazione nota per l'allestimento di una curva standard sulla quale interpolare i campioni a concentrazione non nota. Generalmente lo standard è rappresentato dall'allergene di interesse. Inoltre sono necessari anticorpi monoclonali o policlonali specifici per l'allergene in esame e gli estratti di polvere raccolta negli ambienti da esaminare. Tutti gli altri reagenti necessari (anticorpo secondario, tamponi per i lavaggi, substrato-cromogeno) sono disponibili in commercio.

Il principio del metodo prevede che i pozzetti di una piastra ELISA vengano rivestiti con l'anticorpo monoclonale specifico per l'antigene che deve essere misurato, in una fase denominata di *coating* che prevede l'incubazione della piastra per legare l'anticorpo ai pozzetti. Seguono una serie di passaggi costituiti da tre o quattro lavaggi per eliminare l'anticorpo non legato, una incubazione della piastra con una soluzione di albumina da siero bovino oppure con altra soluzione contenente molecole che hanno la funzione di saturare le porzioni di plastica sulle quali non si sono legati gli anticorpi monoclonali primari durante la fase di *coating*. Dopo una ulteriore fase di lavaggio in ciascun pozzetto viene introdotto l'antigene (allergene) contenuto negli estratti di campioni di polvere. L'antigene, se presente negli estratti, si lega all'anticorpo specifico adsorbito. All'interno dei campioni di polvere possono essere presenti contemporaneamente tutti gli allergeni, ad esempio gli allergeni maggiori di gatto, cane, acari ecc. Ovviamente il legame di ciascun antigene sarà determinato dalla specificità dell'anticorpo adsorbito sulla piastra. Tutti gli altri antigeni verranno eliminati con la successiva fase di lavaggio. Infatti, dopo opportuna incubazione, i lavaggi effettuati hanno la funzione di eliminare gli antigeni in eccesso e/o non specifici. A questo punto viene introdotto un secondo anticorpo, monoclonale o policlonale, anch'esso specifico per l'antigene in esame, ma per un epitopo diverso da quello riconosciuto dall'anticorpo con cui è stato effettuato il *coating*. Tale anticorpo in genere è coniugato con un enzima specifico (perossidasi o fosfatasi) che si legherà alla porzione Fc del secondo anticorpo.

La reattività dei singoli pozzetti dell'intero sistema (costituito da anticorpo specifico con cui è stato effettuato il *coating*, dall'allergene, dal secondo anticorpo coniugato con enzima), viene quindi visualizzata con un substrato-cromogeno idoneo, in funzione dell'enzima utilizzato. Come accennato in precedenza, uno standard di riferimento appropriato, e a concentrazione nota, è fondamentale per ottenere una curva standard sulla quale interpolare le densità ottiche ottenute con i campioni di estratti di polvere saggiati, in modo da poter risalire alla loro concentrazione.

Attualmente sono disponibili in commercio una serie di sistemi ELISA, sotto forma di kit per rilevare e quantificare la presenza di allergeni *indoor* mediante l'utilizzo di anticorpi monoclonali specifici per i singoli allergeni. Ovviamente è possibile anche produrre reagenti in maniera autonoma, purificarli e utilizzarli per dosare i singoli allergeni. In ogni caso, indipendentemente dalla natura dei reagenti e dalla loro provenienza, come accennato all'inizio di questo paragrafo, un aspetto cruciale è rappresentato non solo dalla messa a punto, ma anche dalla convalida del metodo ELISA quantitativo in base a quanto richiesto dalla linea guida ICH Q2 (R1) (*Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology*). Ovviamente anche nel caso di un metodo che sia già stato convalidato, ad es. da un altro laboratorio o da una ditta che lo mette in commercio, per essere in grado di fornire risultati attendibili, il laboratorio che utilizza il metodo è tenuto a effettuare una ulteriore convalida, se pur ridotta, che dimostri che il metodo, nel proprio laboratorio e con il personale utilizzato, sia idoneo all'uso. Tale aspetto è fondamentale per fornire un reale supporto alla comunità scientifica e alle Autorità Regolatorie. Infatti, è importante avere dati riproducibili e il più possibile reali, per valutare la qualità dell'aria e stabilire le azioni correttive per limitare la presenza di allergeni negli ambienti *indoor*. Nell'ottica di fornire dati attendibili, inoltre, è di estrema importanza inserire nei singoli dosaggi ELISA sempre uno o due campioni di riferimento come controlli positivi e controlli negativi. I dati dei controlli devono ovviamente essere riproducibili e la curva standard deve essere sempre all'interno dei parametri stabiliti nella fase di convalida del metodo. È inoltre opportuno effettuare per ciascun campione da dosare almeno quattro o cinque diluizioni al raddoppio (ciascuna diluizione ripetuta in duplicato o in triplicato). In questo modo si ha la possibilità di avere almeno tre punti che possono essere interpolati nella porzione lineare della curva standard, fornendo dopo adeguati calcoli statistici la concentrazione dell'allergene del campione. Pertanto i valori ottenuti, corretti dal sistema di calcolo per il fattore di diluizione, e basati sui risultati sperimentali ottenuti almeno per i tre punti di diluizione, saranno affidabili e coerenti con i concetti moderni di convalida di un metodo analitico.

Bibliografia

1. Douwes J, Thorne PS, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Ann Occup Hyg* 2003;47(3):187-200.
2. Górny RL, Dutkiewicz J, Krysinska-Traczyk E. Size distribution of bacterial and fungal bioaerosols in indoor air. *Ann Agric Environ Med* 1999;6:105-113.
3. Sharpe RA, Bearman N, Thornton CR, Husk K, Osborne NJ. Indoor fungal diversity and asthma: a meta-analysis and systematic review of risk factors. *J Allergy Clin Immunol* 2015;135(1):110-22.
4. WHO Regional Office for Europe. *Guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. Copenhagen: WHO Europe; 2009.
5. Didwania N, Joshi M. Mycotoxins: A critical review on occurrence and significance. *Int J Pharm Pharmaceutical Sci* 2013;5:1005-10.
6. Immonen J, Meklin T, Taskinen T, Nevalainen A, Korppi M. Skin Prick Test findings in students from moisture and mould damaged schools: A three-year follow-up study. *Pediatr Allergy Immunol* 2001;12:87-94.

7. Bayer CW. ASHRAE looks at school IAQ. *Western HVACR News* 2001.
8. Taskinen T, Laitinen S, Meklin T, Husman T, Nevalainen A, Korppi M. Skin test and serum Ig E reactions to moulds in relation to exposure in children. In: Seppänen O, Säteri J (Ed.). *Healthy Buildings 2000: proceedings*. Helsinki: SIY Indoor Air Information Oy; 2000. Vol. 1, p. 233-8.
9. Galassi C, De Sario M, Biggeri A, Bisanti L, Chellini E, Ciccone G., Petronio MG, Piffer S, Sestini P, Rusconi F, Viegi G, Forastiere F. Changes in prevalence of asthma and allergies among children and adolescents in Italy: 1994-2002. *Pediatrics* 2006;117(1):34-42.
10. Gruppo Lavoro GARD-I Progetto n.1 “Programma di prevenzione per le scuole dei rischi indoor per malattie respiratorie e allergiche”. *La qualità dell’aria nelle scuole e rischi per malattie respiratorie e allergiche. Quadro conoscitivo sulla situazione italiana e strategie di prevenzione*. Roma: Ministero della Salute - GARD Italia; 2013.
11. Macher J (Ed.). *Bioaerosols: assessment and control*. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 1999.
12. Knight V. Viruses as agents of airborne contagion. *Ann N Y Acad Sci* 1980;353:147-56.
13. Couch RB. Viruses and indoor air pollution. *Bull N Y Acad Med* 1981;57(10):907-21.
14. Tellier R. Aerosol transmission of influenza A virus: a review of new studies. *J R Soc Interface* 2009;6 Suppl 6:S783-90.
15. La Rosa G, Fratini M, Della Libera S, Iaconelli M, Muscillo M. Viral infections acquired indoors through airborne, droplet or contact transmission. *Ann Ist Super Sanità* 2013;49(2):124-32.
16. Kim JH, Lee DH, Shin SS, Kang C, Kim JS, Jun BY, Lee JK. In-Flight Transmission of Novel Influenza A (H1N1). *Epidemiol Health* 2010;32:e2010006.
17. Lee BY, Brown ST, Cooley P, Potter MA, Wheaton WD, Voorhees RE, Stebbins S, Grefenstette JJ, Zimmer SM, Zimmerman RK, Assi TM, Bailey RR, Wagener DK, Burke DS. Simulating school closure strategies to mitigate an influenza epidemic. *J Public Health Manag Pract* 2010;16(3):252-61.
18. Flood L, Raupach J, D’Onise K, Russo D. Influenza B outbreak in a primary school in Adelaide, Australia, 2011. *Western Pac Surveill Response J* 2012;3(3):76-82.
19. Haque F, Sturm-Ramirez K, Homaira N, Gurley ES, Hossain MJ, Hasan SM, Chowdhury S, Sarkar S, Khan AK, Rahman M, Rahman M, Luby SP. Influenza B virus outbreak at a religious residential school for boys in Northern Bangladesh, 2011. *Influenza Other Respir Viruses* 2017;11(2):165-169.
20. Jermacane D, Gobin M, Young N, Yates J, Owusu GO. An outbreak of acute respiratory illnesses in primary school children with low vaccine uptake, UK, 2016. *Vaccine* 2017;35(42): 5527-5530.
21. Thorrington D, Balasegaram S, Cleary P, Hay C, Eames K. Social and economic impacts of school influenza outbreaks in England: survey of caregivers. *J Sch Health* 2017;87(3): 209-216.
22. Aldridge RW, Hayward AC, Field N, Warren-Gash C, Smith C, Pebody R, Fleming D, McCracken S. Decipher my data project and schools are school absences correlated with influenza surveillance data in England? Results from Decipher My Data-A Research Project Conducted through Scientific Engagement with Schools. *PLoS ONE* 2016;11(3): e0146964.
23. Luca G, Kerckhove KV, Coletti P, Poletto C, Bossuyt N, Hens N, Colizza V. The impact of regular school closure on seasonal influenza epidemics: a data-driven spatial transmission model for Belgium *BMC Infect Dis* 2018;18(1):29.
24. Myatt TA, Johnston SL, Zuo Z, Wand M, Keadze T, Rudnick S, Milton DK. Detection of airborne rhinovirus and its relation to outdoor air supply in office environments. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;169(11):1187-90.
25. Longtin J, Marchand-Austin A, Winter AL, Patel S, Eshaghi A, Jamieson F, Low DE, Gubbay JB. Rhinovirus outbreaks in long-term care facilities, Ontario, Canada. *Emerg Infect Dis* 2010;16(9):1463-5.

26. Miller EK, Linder J, Kraft D, Johnson M, Lu P, Saville BR, Williams JV, Griffin MR, Talbot HK. Hospitalizations and outpatient visits for rhinovirus-associated acute respiratory illness in adults. *J Allergy Clin Immunol* 2016 Mar;137(3):734-43.
27. Reese SM, Thompson M, Price CS, Young HL. Evidence of nosocomial transmission of human rhinovirus in a neonatal intensive care unit. *Am J Infect Control*. 2016 Mar 1;44(3):355-7.
28. Faustini A, Fano V, Muscillo M, Zaniratti S, La Rosa G, Tribuzi L, Perucci CA. An outbreak of aseptic meningitis due to echovirus 30 associated with attending school and swimming in pools. *Int J Inf Dis* 2006;10(4):291-297.
29. Akiyoshi K, Nakagawa N, Suga T. An outbreak of aseptic meningitis in a nursery school caused by echovirus type 30 in Kobe, Japan. *Jpn J Infect Dis* 2007;60(1):66-68.
30. Li JS, Dong XG, Qin M, Xie ZP, Gao HC, Yang JY, Yang XX, Li DD, Li J, Duan ZJ. Outbreak of febrile illness caused by coxsackievirus A4 in a nursery school in Beijing, China. *Virology* 2015;12:92-98.
31. McFarland N, Dryden M, Ramsay M, Tedder RS, Ngui SL; 2008 Winchester HAV Outbreak Team. An outbreak of hepatitis A affecting a nursery school and a primary school. *Epidemiol Infect* 2011;139(3):336-43.
32. Galmes-Truyols A, Gimenez-Duran J, Nicolau-Riutort A, Bosch-Isabel C, Vanrell-Berga JM, Portell-Arbona M. Outbreak of hepatitis A in a nursery school. *Biomed Res Int* 2013;2013:684908.
33. Tseng CC, Chang LY, Li CS. Detection of airborne viruses in a pediatrics department measured using real-time qPCR coupled to an air-sampling filter method. *J Environ Health* 2010;73(4):22-8.
34. Harley D, Harrower B, Lyon M, Dick A. A primary school outbreak of pharyngoconjunctival fever caused by adenovirus type 3. *Commun Dis Intell* 2001;25(1):9-12.
35. Akiyoshi K, Suga T, Fukui K, Taniguchi K, Okabe N, Fujimoto T. Outbreak of epidemic keratoconjunctivitis caused by adenovirus type 54 in a nursery school in Kobe City, Japan in 2008. *Jpn J Infect Dis* 2011;64(4):353-5.
36. Ghanaïem H, Averbuch D, Koplewitz BZ, Yatsiv I, Braun J, Dehtyar N, Wolf DG, Mandelboim M, Engelhard D. An outbreak of adenovirus type 7 in a residential facility for severely disabled children. *Pediatr Infect Dis J* 2011;30(11):948-52.
37. Nazaroff WW. Norovirus, gastroenteritis, and indoor environmental quality. *Indoor Air* 2011;21(5):353-6.
38. Zhang TL, Lu J, Ying L, Zhu XL, Zhao LH, Zhou MY, Wang JL, Chen GC, Xu L. An acute gastroenteritis outbreak caused by GII.P16-GII.2 norovirus associated with airborne transmission via the air conditioning unit in a kindergarten in Lianyungang, China. *Int J Infect Dis* 2017;65:81-4.
39. Centers for Disease Control and Prevention. Norovirus outbreak in an elementary school-District of Columbia, February 2007. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2008 Jan 4;56(51-52):1340-3.
40. European Centre for Disease Prevention and Control. Prevention of norovirus infection in schools and childcare facilities. Stockholm: ECDC; 2013.
41. Platts-Mills T, Leung DYM, Schatz M. The role of allergens in asthma. *Am Fam Physician* 2007;76:675-80.
42. Ferguson BJ. Environmental Controls of Allergies. *Otolaryngol Clin North Am* 2008;41:411-7.
43. Brunetto B, Barletta B, Brescianini S, Masciulli R, Perfetti L, Moscato G, Frusteri L, Schirru MA, Pini C, Di Felice G, Iacovacci P. Differences in the presence of allergens among several types of indoor environments. *Ann Ist Super Sanità* 2009;45(4):409-14.
44. Brunetto B, Brescianini S, Barletta B, Butteroni C, Rotondi D, Masciulli R, Aliberti M, Pini C, Di Felice G, Iacovacci P. Exposure to indoor allergens and association with allergy symptoms of employees in a work environment. *Ann Ist Super Sanità* 2009;45(4):415-22.

45. Bonadonna L, Briancesco R, Brunetto B, Coccia AM, De Gironimo V, Della Libera S, Fuselli S, Gucci PMB, Iacovacci P, Lacchetti I, La Rosa G, Meloni P, Paradiso R, Pini C, Semproni M. *Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente indoor*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/37).
46. Verreault D, Moineau S, Duchaine C. Methods for sampling of airborne viruses. *Microbiol Mol Biol Rev* 2008;72(3):413-44.
47. Ghosh B, Lal H, Srivastava A. Review of *bioaerosols* in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. *Environment International* 2015;85:254-72.
48. Hogan CJ Jr, Kettleson EM, Lee MH, Ramaswami B, Angenent LT, Biswas P. Sampling methodologies and dosage assessment techniques for submicrometre and ultrafine virus aerosol particles. *J Appl Microbiol* 2005;99(6):1422-34.
49. Trincado C, Dee S, Jacobson L, Otake S, Pijoan C. Evaluation of an all-glass impinger for the detection of porcine reproductive and respiratory syndrome virus in natural and artificial aerosols. *Vet Rec* 2006;158(6):206-8.
50. Hermann JR, Zimmerman JJ. Analytical sensitivity of air samplers based on uniform point-source exposure to airborne porcine reproductive and respiratory syndrome virus and swine influenza virus. *Can J Vet Res* 2008;72(5):440-3.
51. Fabian P, McDevitt JJ, Houseman EA, Milton DK. Airborne influenza virus detection with four aerosol samplers using molecular and infectivity assays: considerations for a new infectious virus aerosol sampler. *Indoor Air* 2009;19(5):433-41.
52. Cao G, Noti JD, Blachere FM, Lindsley WG, Beezhold DH. Development of an improved methodology to detect infectious airborne influenza virus using the NIOSH *bioaerosol* sampler. *J Environ Monit* 2011;13(12):3321-8.
53. Riemenschneider L, Woo MH, Wu CY, Lundgren D, Wander J, Lee JH, Li HW, Heimbuch B. Characterization of reaerosolization from impingers in an effort to improve airborne virus sampling. *J Appl Microbiol* 2010;108(1):315-24.
54. Ziros PG, Kokkinos PA, Legaki E, Vantarakis A. Development of an optimized method for the detection of airborne viruses with real-time PCR analysis. *Virology* 2011;8:369-74.
55. Gordon J, Reboulet R, Gandhi P, Matsui E. Validation of a novel sampling technology for airborne allergens in low income urban homes. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2018;120(1):96-7.
56. Julian TR, Tamayo FJ, Leckie JO, Boehm AB. Comparison of surface sampling methods for virus recovery from fomites. *Appl Environ Microbiol* 2011;77(19):6918-25.
57. Goyal SM, Anantharaman S, Ramakrishnan MA, Sajja S, Kim SW, Stanley NJ, Farnsworth JE, Kuehn TH, Raynor PC. Detection of viruses in used ventilation filters from two large public buildings. *Am J Infect Control* 2011;39(7):30-8.

APPENDICE A
Valori guida WHO e valori di riferimento
utilizzati in alcuni Paesi europei
per gli inquinanti chimici e biologici

A1. Inquinanti dell'aria indoor: valori guida di qualità dell'aria* di alcuni Paesi europei e rischio unitario (Unit Risk, UR)
delle linee guida WHO relativi ad alcuni inquinanti**

Inquinante unità di misura	WHO aria ambiente	WHO aria indoor	Francia	Germania	Paesi Bassi	Regno Unito	Belgio Regione fiandringa	Finlandia ***	Austria	Portogallo	Norvegia	Polonia residen- ziale	Polonia uffici pubblici
Benzene µg/m ³	No VG 0,17 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 1,7 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	No VG 0,17 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 1,7 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	30 (24 h) 10 (1 a) AR: 10 LP: 5 dal 1/1/ 2013, 2 dal 1/1/ 2016 0,2 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 2 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	-	20	5 (1 a)	≤ 2 VI:10	-	-	5 (8 h)	--	10 (24 h)	20 (8 h)
Formaldeide µg/m ³	100 (30 min)	100 (30 min)	50 (2 h) 10 (1 a) 30 da 1/1/2013 10 da 1/1/2023 AR: 100 LP: 10 da 2019 (2012 nuovi edifici) 30 (2009) 50 (2009)	120	120 (30 min) 10 (1 a) 1,2 (LP)	100 (30 min)	10 (30 min) VI: 100 (30 min)	50	100 (30 min) 60 (24 h)	100 (8 h)	100 (30 min)	50 (24 h)	100 (8 h)
CO mg/m ³	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 7 (24 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 35 (1 h) 10 (8 h) 7 (24 h) 10 (8 h)	1,5 (8 h) RWI 6 (30 min) RWI 60 (30 min) RWI 15 (8 h) RWI	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h) 60 (30 min) 10 (8 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	5,7 (24 h) VI: 30 (1 h)	8	-	10 (8 h)	25 (1 h) 10 (8 h)	25 (1 h)	10 (8 h)

segue

continua

Inquinante unità di misura	WHO aria ambiente	WHO aria indoor	Francia	Germania	Paesi Bassi	Regno Unito	Belgio Regione fiamminga	Finlandia ***	Austria	Portogallo	Norvegia	Polonia residen- ziale	Polonia uffici pubblici
NO₂ µg/m ³	200 (1 h) 40 (1 a)	200 (1 h) 40 (1 a)	200 (1 h) 40 (1 a)	350 (30 min) RWII 60 (7 gg) RWII	200 (1 h) 40 (1 a)	300 (1 h) 40 (1 a)	135 (1 h) VI: 200 (1 h)	-	-	-	200 (1 h) 100 (24 h)	-	-
Naftalene µg/m ³	-	10 (1 a)	10 (1 a)	20 (7 gg) RWI 200 (7 gg) RWII	25	-	-	-	-	-	-	100 (24 h)	150 (8 h)
Stirene µg/m ³	260 (7 gg) 70 (30 min)	-	-	30 (7 gg) RWI 300 (7 gg) RWII	900	-	-	1	40 (7 gg) 10 (1 h)	-	-	20 (24 h)	30 (8 h)
IPA (BaP) ng/m ³	No VG 0,012 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 0,12 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	No VG 0,012 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 0,12 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	-	-	1,2	0,25 (1 a)	-	-	-	-	-	-	-
Tetracloro- etilene µg/m ³	250 (1 a) 8000 (30 min)	250 (1 a)	1380 (1-14 gg) 250 (1 a) VR: 250 LP: 250 dal 1/1/ 2015	1 (7 gg)	250	-	≤ 100	-	250 (7 gg)	-	-	-	-
Tricloro- etilene µg/m ³	No VG 2,3 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 23 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	No VG 2,3 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 23 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	800 (14 gg-1 a) AR: 10. VR: 2 LP da OMS: 2,0 (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 20 (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	1 (7 gg)	-	-	≤ 200	-	-	-	-	150 (24 h)	200 (8 h)

segue

continua

Inquinante unità di misura	WHO aria ambiente	WHO aria indoor	Francia	Germania	Paesi Bassi	Regno Unito	Belgio Regione fiamminga	Finlandia ***	Austria	Portogallo	Norvegia	Polonia residen- ziale	Polonia uffici pubblici
Dicloro- metano µg/m ³	3000 (24 h) 450 (7 gg)	-	-	200 (24 h) RWI 2000 (24 h) RWII	200 (1 a)	-	-	-	-	-	-	-	-
	Toluene µg/m ³	260 (7 gg) 1000 (30 min)	-	300 (1-14 gg) RWI 3000 (1-14 gg) RWII	200 (1 a)	≤ 260	-	75 (1 h)	-	-	-	200 (24 h)	250 (8 h)
COV µg/m ³	-	-	-	-	200 (1 a)	≤ 200	-	-	-	600 (8 h)	400	400	-
PM₁₀	50 (24 h) 20 (1 a)	-	50 (24 h) 20 (1 a) AR: 75 LP: 15	-	50 (24 h) 20 (1 a)	≤ 40 (24 h)	-	50	-	50 (8 h)	90 (8 h)	90 (8 h)	-
	PM_{2,5}	25 (24 h) 10 (1 a)	25 (24 h) 10 (1 a) AR: 50 LP: 10	25 (24 h)	25 (24 h) 10 (1 a)	≤ 15 (1 a)	-	-	-	25 (8 h)	40 (8 h)	40 (8 h)	-

* I valori guida di qualità dell'aria *indoor* indicano i livelli di concentrazione in aria degli inquinanti, associati ai tempi di esposizione, ai quali non sono attesi effetti avversi per la salute, per quanto concerne le sostanze non cancerogene.

** Per il corretto utilizzo di questi dati si raccomanda di consultare le indicazioni riportate dalla WHO nel lavoro originale; la stima dell'incremento del rischio unitario è intesa come il rischio addizionale di tumore, che può verificarsi in una ipotetica popolazione nella quale tutti gli individui sono continuamente esposti, dalla nascita e per tutto l'intero tempo di vita, ad una concentrazione dell'agente di rischio nell'aria che essi respirano.

*** I valori guida per gli ambienti confinati si applicano agli edifici che sono occupati per almeno sei mesi e dove il sistema di ventilazione è tenuto costantemente acceso.

a: anno; **g:** giorno; **gg:** giorni **min:** minuti;

AR: Azione Rapida;

LP: Lungo Periodo;

No VG: No Valore Guida;

VI: Valore Intervento;

VR: Valore di Riferimento;

RW I: Richtwert I, concentrazione di una singola sostanza al di sotto della quale allo stato attuale delle conoscenze non si aspettano danni alla salute. Il valore guida RW I viene dedotto dal RW II.

RW II: Richtwert II, concentrazione di una sostanza il cui superamento richiede un intervento immediato, è valore operativo.

Fonte: Settimo G. Le problematiche relative alla qualità dell'aria *indoor*. Rapporto ISTISAN 15/4

A2. Riferimenti di qualità indoor per il bioaerosol proposti da alcune associazioni e Paesi

Agenti biologici UFC/m ³	WHO ^a		Germania ^b		ACGIH ^c		ECA ^d		Federazione Russa ^e		IAQA ^f		Cina ^g		Polonia ^f		Polonia ^f			
	R	R	R	R	UP	UP	R	R	UP	R	R	R	R	R	R	R	R	UP		
Batteri totali	-	-	-	-	-	-	<100 (MB) <500 (B) <2500 (M) <10.000 (A) >10.000 (MA)	<50 (MB) <100 (B) <500 (M) >2.000 (A) >2.000 (MA)	-	-	-	<2500	≤1000	≤7000	-	-	-	-	-	
Funghi totali (muffe)	0 (patogeni) >50 (se presente una sola specie, mettere in atto procedure correttive) ≤150 (accettabile, se presenti diverse specie) >500 (accettabile, se presente Cladosporium o altre funghi delle piante)	>500 (se c'è anche una sola specie patogena, rischio per la salute) >10.000 (rischio per la salute)	>100 (non contaminato) Rapporto concentrazioni indoor/outdoor <1 (non contaminato se è presente la stessa specie o lo stesso genere)	>100 (non contaminato) Rapporto concentrazioni indoor/outdoor <1 (non contaminato se è presente la stessa specie o lo stesso genere)	>100 (non contaminato) Rapporto concentrazioni indoor/outdoor <1 (non contaminato se è presente la stessa specie o lo stesso genere)	>100 (non contaminato) Rapporto concentrazioni indoor/outdoor <1 (non contaminato se è presente la stessa specie o lo stesso genere)	<25 (MB) <100 (B) <500 (M) >2.000 (MA)	<25 (MB) <100 (B) <500 (M) >2.000 (MA)	1000-10.000 (in relazione alla specie)	>300 (se specie fungine comuni)	10	10	10	10.000	-	-	-	-	-	-
Batteri Gram positivi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

a WHO – World Health Organization, 1988
 b Germania - Steering Committee, 1999
 c ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1989
 d ECA – European Collaborative Action, 2003
 e Federazione Russa – Russian Federation, State Committee for Hygiene and Epidemiological Surveillance, 1993
 f IAQA – Indoor Air Quality Assessment. The Hague: Ministry of Social Affairs and Employment, Directorate General of Labor, RA 8.90, 1989
 g China Ministry of Health – Committee for hygiene and epidemiology. Standard “Hygienic Norm for Indoor Air Quality”, 2002
 h Poland Ministry of Health – Expert Committee on indoor air quality standard. “Indoor Air Quality”, 2001
 i Poland Central Institute for Labour Protection – Committee on indoor air quality. “Indoor Air Quality”, 2011
R: residenziale; **UP**: uffici pubblici
 Inquinamento: Molto Basso (**MB**); basso (**B**); intermedio (**M**); alto (**A**); molto alto (**MA**)

APPENDICE B
Questionario per la raccolta
di informazioni di base sulle strutture scolastiche
per la valutazione dell'aria *indoor*



Questionario sulle caratteristiche costruttive degli edifici scolastici per la valutazione dell'aria *indoor*

(compilare una scheda per ciascun ambiente da valutare)

A - Caratteristiche generali del singolo ambiente considerato

Superficie dell'area	.....	m ²	
Altezza	.....	m	
Ampiezza porta/ingresso	.....	m	
Porte a tenuta:	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Porte tenute	<input type="checkbox"/> chiuse	<input type="checkbox"/> aperte		
Ampiezza finestra singola	.....	m	
Ampiezza finestre multipla	.....	m	
Finestre esposte a:	<input type="checkbox"/> sud	<input type="checkbox"/> nord	<input type="checkbox"/> ovest	<input type="checkbox"/> est
Finestra apribile	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Finestra/e con vetri isolanti	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Finestre a tenuta	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Piano	<input type="checkbox"/> terra			
	<input type="checkbox"/> piano			
Muri esterni esposti a:	<input type="checkbox"/> sud	<input type="checkbox"/> nord	<input type="checkbox"/> ovest	<input type="checkbox"/> est
Certificazione di prestazione energetica	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Ambiente climatizzato	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Deviatori di aria su bocchette di mandata dei sistemi di ventilazione o sui <i>fancoil</i> o split	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Pulizia delle bocchette di ripresa e di mandata	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Umidità visibile	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Infiltrazioni visibili	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Presenza di muffe visibili	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Presenza di parassiti (roditori, insetti, ecc.)	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Presenza di gabinetti/docce	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Presenza di fiori	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Presenza di tende	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Presenza di purificatori aria	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Presenza di fumatori	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Presenza deodoranti	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		
Presenza di vegetazione	<input type="checkbox"/> sì	<input type="checkbox"/> no		

Informazioni sull'edificio e sull'area che ospita la scuola

Età dell'edificio: < 6 mesi
 < 2 anni
 < 10 anni
 10-20 anni
 > 20 anni

Tipo di area: rurale
 urbana (suburbana)
 urbana (centro)
 industriale
 altro (*specificare*).....

Caratteristiche dell'area

Traffico: leggero pesante
 Industria: pesante chimica artigianale

Distanza da principali fonti esterne d'inquinamento in km:.....

Presenza di alberi o verde sì no se sì, di che tipo

Regolare potatura sì no

Regolare manutenzione sì no

Danni da acqua e/o umidità

Sono presenti danni da infiltrazione di acqua? sì no
 Se sì, da quanto tempo?

Tipo di danno:

Ubicazione:

Sono presenti muffe visibili? sì no
 Se sì, da quanto tempo?

Tipo di muffa:

Ubicazione:

Sono in corso interventi di risistemazione? sì no

Pareti e pavimento

Pavimento con piastrelle: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Pavimento in cotto: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Pavimento in linoleum: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Carta da parati: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Rivestimenti in plastica: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Stucco: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Pannelli rivestiti: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Pannelli in legno: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Pavimento con parquet: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Presenza di tappeti: sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Altro materiale (*specificare*):.....
 sì no se sì, età (anni).....
 in cattivo stato sì no

Prodotti di pulizia usati per l'arredo

Treatments performed and sequence of operations:.....
.....
frequency: rarely often
Name and brand of cleaning products used:.....
 diluted concentrated superconcentrated
Certification of the product and characteristics yes no
Concentration of COV indicated on the label:
Who performs the intervention:
Last intervention []

Prodotti di pulizia usati per la palestra

Cleaning of the floor
Treatments performed and sequence of operations:.....
.....
frequency: rarely often
Name and brand of cleaning products used:.....
 diluted concentrated superconcentrated
Certification of the product and characteristics yes no
Concentration of COV indicated on the label:
Who performs the intervention:
Last intervention []

Cleaning of equipment
Treatments performed and sequence of operations:.....
.....
frequency: rarely often
Name and brand of cleaning products used:.....
 diluted concentrated superconcentrated
Certification of the product and characteristics yes no
Concentration of COV indicated on the label:
Who performs the intervention:
Last intervention []

Prodotti di pulizia usati per impianti di aria fissi e mobili

Cleaning of VMC systems
Treatments performed and sequence of operations:.....
.....
frequency: rarely often
Name and brand of cleaning products used:.....
 diluted concentrated superconcentrated
Certification of the product and characteristics yes no
Concentration of COV indicated on the label:
Who performs the intervention:
Last intervention []

Pulizia dei condizionatori dell'aria e/o pompe di calore

Trattamenti effettuati e sequenza operazioni:.....

.....

frequenza: raramente spesso

Nome e marca dei prodotti di pulizia utilizzati:.....

diluito concentrato superconcentrato

Certificazione del prodotto e caratteristiche sì no

Concentrazione dei COV indicata in etichetta:

Chi esegue l'intervento:

Ultimo intervento

Pulizia dei purificatori dell'aria

Trattamenti effettuati e sequenza operazioni:.....

.....

frequenza: raramente spesso

Nome e marca dei prodotti di pulizia utilizzati:.....

diluito concentrato superconcentrato

Certificazione del prodotto e caratteristiche sì no

Concentrazione dei COV indicata in etichetta:

Chi esegue l'intervento:

Ultimo intervento

Disinfestazioni e/o derattizzazioni per parassiti o insetti dell'ambiente

Vengono effettuate disinfestazioni e/o derattizzazioni per parassiti dell'ambiente? sì no

Se sì, con quale frequenza?

raramente spesso

Chi esegue l'intervento:

Ultimo intervento

Tipologia dei prodotti utilizzati:

insetticida

pesticida

altri prodotti (*specificare*).....

Certificazioni dei prodotti: sì no

Concentrazione dei prodotti utilizzati:

diluito

concentrato

superconcentrato

Profumazioni per ambienti e prodotti contro gli insetti

Si fa uso di deodoranti per ambienti? sì no

Se sì, quali? spray

gel

candele

bastoncini di incenso

olio essenziali

altri prodotti (*specificare*).....

con quale frequenza?

spesso

raramente

Ultimo utilizzo

Si fa uso di prodotti contro gli insetti? sì no
 Se sì, quali? spray
 stick/cerotti
 candele/zampironi
 olio essenziali
 altri prodotti (*specificare*).....
 con quale frequenza?
 spesso
 raramente
 Ultimo
 Se sì, quando è previsto il termine dei lavori?

Informazioni sull'impianto di VMC e/o condizionatore/climatizzatore

Quale tipologia di impianto è presente?
 centralizzato VMC non centralizzato climatizzatore entrambi
 L'impianto è dotato di umidificazione? sì no
 Se sì, con filtro
 senza filtro
 È stata verificata l'assenza di ristagno d'acqua/muffe nella vasca di raccolta condensa? sì no
 È presente ruggine sull'impianto? sì no
 È presente perdita d'acqua all'esterno dell'unità? sì no
 L'impianto è operativo con % di ricircolo? sì no
 Le bocchette di riprese e di mandata sono state pulite?
 Se sì, in che data?
 chi esegue l'intervento:
 È stata effettuata una manutenzione dell'impianto? sì no
 Se sì, in che data?
 e che tipo? totale
 parziale
 cosa è stato mantenuto e/o sostituito durante l'intervento?
 chi esegue l'intervento:
 Esiste un registro di marcia dell'impianto? sì no

Informazioni sul tipo riscaldamento/split/pompa di calore

Quale tipologia di riscaldamento è presente?
 centralizzato non centralizzato entrambi
 Se centralizzato, che tipologia è?
 radiatore
 fancoil
 altro (*specificare*).....
 Se non centralizzato, che tipologia è?
 split
 pompa di calore
 altro (*specificare*).....
 È stata effettuata una manutenzione degli split/pompa di calore/altro? sì no
 Se sì, in che data?
 e che tipo? totale
 parziale
 cosa è stato mantenuto e/o sostituito durante l'intervento?
 chi esegue l'intervento:

Tipo di combustibile per riscaldamento

- gas naturale (rete cittadina)
 gasolio
 biomassa (*specificare*).....
 altro (*specificare*).....

Informazioni sul tipo ventilatore dell'aria presenti

Quale tipologia di ventilatore è presente?

- mobile da tavola altro

È stata effettuata una manutenzione del ventilatore? sì no

Se sì, in che data? [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

..... e che tipo? totale

parziale

cosa è stato mantenuto e/o sostituito durante l'intervento?

chi esegue l'intervento:

Esiste un registro di marcia? sì no

B - Caratteristiche delle aree dell'edificio

Area didattica

Aule per didattica e formazione sì no

n. aule:.....

Laboratori per didattica e formazione sì no

n. aule:.....

Aula:

n. banchi:

n. alunni presenti:

Laboratori

n. banchi:

n. alunni presenti:

Aula Magna

n. banchi:

n. alunni presenti:

Area amministrativa

Ufficio con postazione singola sì no

Ufficio con più postazioni sì no

n. uffici con postazione singola

n. uffici con più postazioni

Area colloqui sì no

Sale riunioni sì no

Aree comuni sì no

Altre strutture (es. guardiania) (*specificare*):

.....

C - Altre informazioni

Area didattica

Studenti

Nel normale utilizzo dell'aula: n. studenti.....
 Durante il campionamento/prelievo: n. studenti
 Cambio personale e studenti sì no

Nel normale utilizzo del laboratorio: n. studenti.....
 Durante il campionamento/prelievo: n. studenti
 Cambio personale e studenti sì no

Fumo di tabacco e sigaretta elettronica

Quantità totale di tabacco in media al giorno consumata da tutti i presenti nell'area:

Tipo: sigarette sigari pipe
 Frequenza: regolare saltuaria

Numero totale di presenti nell'area che usano in media al giorno la sigaretta elettronica:

Frequenza: regolare saltuaria

Si è fumato nella stanza prima di cominciare il campionamento/prelievo? sì no

A quando risale l'ultima volta?.....

Si è fumato nella stanza vicina prima di cominciare il campionamento/prelievo? sì no

A quando risale l'ultima volta?.....

Si è fumato durante il campionamento/prelievo? sì no

Tipo: sigarette sigari pipe sigaretta elettronica
 Frequenza: regolare saltuaria

Area amministrativa

Personale impiegato

Nel normale utilizzo dell'ufficio: n. persone

Durante il campionamento/prelievo: n. persone permanentemente nell'ufficio.....

Ci sono dispositivi o altre attrezzature sì no
 (es. stampanti)

Fumo di tabacco e sigaretta elettronica

Quantità totale di tabacco in media al giorno consumata da tutti i presenti nell'area:

Tipo: sigarette sigari pipe
 Frequenza: regolare saltuaria

Numero totale di presenti nell'area che usano in media al giorno la sigaretta elettronica:

Frequenza: regolare saltuaria

Si è fumato nella stanza prima di cominciare il campionamento/prelievo? sì no

A quando risale l'ultima volta?.....

Si è fumato nella stanza vicina prima di cominciare il campionamento/prelievo? sì no

A quando risale l'ultima volta?.....

Si è fumato durante il campionamento/prelievo? sì no

Tipo: sigarette sigari pipe sigaretta elettronica
 Frequenza: regolare saltuaria

Aree comuni**Studenti e personale impiegato**

Nel normale utilizzo dell'area: n. persone

Durante il campionamento/prelievo: n. persone

Fumo di tabacco e sigaretta elettronica

Quantità totale di tabacco in media al giorno consumata da tutti i presenti nell'area:

Tipo: sigarette sigari pipe

Frequenza: regolare saltuaria

Numero totale di presenti nell'area che usano in media al giorno la sigaretta elettronica:

Frequenza: regolare saltuaria

Si è fumato nella stanza prima di cominciare il campionamento/prelievo? sì no

A quando risale l'ultima volta?

Si è fumato nella stanza vicina prima di cominciare il campionamento/prelievo? sì no

A quando risale l'ultima volta?

Si è fumato durante il campionamento/prelievo? sì no

Tipo: sigarette sigari pipe sigaretta elettronica

Frequenza: regolare saltuaria

APPENDICE C
Questionario per report delle informazioni
da registrare durante i monitoraggi dell'aria *indoor*



Questionario sulle attività di monitoraggio dell'aria *indoor* negli edifici scolastici

(compilare una scheda per ciascun ambiente monitorato)

A - Informazioni sulle attività di monitoraggio

A1 - Motivazioni che hanno portato al rilevamento dell'aria *indoor*

- Valutazione periodica: sì no
- Valutazione durante esecuzione di lavori di manutenzione o ristrutturazione: sì no
- Valutazione post esecuzione di lavori di manutenzione o ristrutturazione: sì no
- Reclamo posto all'attenzione: sì no
- Reclamo per odori: sì no
- occasionale
- prima mattina pomeriggio sera altro.....
- continuativo
- prima mattina pomeriggio sera altro.....
- Problemi di salute: sì no
- Si verificano sintomi:
- occasionali
- prima mattina pomeriggio sera altro.....
- continuativi
- prima mattina pomeriggio sera altro.....
- Quali:.....

A2 - Indirizzo edificio scolastico

.....

A3 - Inquinanti monitorati

- COV: sì no se sì, quali:
- PM₁₀: sì no
- PM_{2.5}: sì no
- Metalli: sì no se sì, quali:
- IPA: sì no se sì, quali:
- PCDD/F: sì no
- PCB: sì no se sì, quali:
- Biologici: sì no se sì, quali:

A4 - Tipo di prelievo

- Tempistica
- in tempo reale continua discontinua
- Modalità
- manuale: attivo passivo (diffusionale)
- in tempo reale: continua discontinua

A5 - Numero di campione:

A6 - Posizione dei sistemi di campionamento

Distanza dal muro: m.....

Altezza dal pavimento: m.....

A7- Stato della ventilazione naturale o meccanica

Abituale prima del prelievo

Ricambio naturale dell'aria

Apertura porte

Se sì, quando viene effettuata e per quanto tempo?

prima mattina min

pomeriggio min

sera min

Apertura finestre

Se sì, quando viene effettuata e per quanto tempo?

prima mattina min

pomeriggio min

sera min

Ventilazione con sistema meccanico (VMC) e/o condizionatore

Per quanto tempo rimane attivo il VMC? min

Durante il prelievo

Ricambio naturale dell'aria

Apertura porte

Se sì, quando viene effettuata e per quanto tempo?

prima mattina min

pomeriggio min

sera min

Apertura finestre

Se sì, quando viene effettuata e per quanto tempo?

prima mattina min

pomeriggio min

sera min

Ventilazione con VMC

in funzione

spento

come viene utilizzata normalmente dai fruitori

Ventilazione con condizionatore/ split/pompa di calore

in funzione

spento

come viene utilizzata normalmente dai fruitori

B - Periodo, tipo, dati microclimatici e climatici**B1 - Periodo di prelievo*****Per i parametri microclimatici***

Inizio data: ora:

Fine data: ora:

Per le condizioni climatiche

Inizio data: ora:

Fine data: ora:

Totale ore campionate:**B2 - Parametri microclimatici durante il prelievo**

Temperatura: °C

Velocità dell'aria: m/s

Umidità relativa: %

B3 - Livelli di CO₂ durante il prelievo ppm:.....**B4 - Condizioni climatiche durante il prelievo**

Temperatura media esterna: °C

Velocità del vento media: m/s

Umidità relativa media: %

Pioggia sì noNebbia sì noNeve sì no

*Serie Rapporti ISTISAN
numero di marzo 2020*

*Stampato da De Vittoria srl
via Alvari 36 – 00155 Roma*

Roma, marzo 2020