



RAPPORTI ISTISAN 25|15

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

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

G. Settimo, M. Arpaia, M. Cerasa, S. Della Libera, M. Gherardi, M.G. Grollino,
E. Guerriero, M. Inglessis, R. Mari, F. Ravaioli, F. Regina, F. Scaini, L. Tofful
per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor*



AMBIENTE
E SALUTE

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

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

Gaetano Settimo (a), Margherita Arpaia (b), Marina Cerasa (c),
Simonetta Della Libera (d), Monica Gherardi (e), Maria Giuseppa Grollino (f),
Ettore Guerriero (c), Marco Inglessis (a), Roberto Mari (g),
Francesca Ravaioli (h), Francesco Regina (i), Federica Scaini (a),
Luca Tofful (c) per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor*

(a) *Dipartimento Ambiente e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma*

(b) *Direzione generale valutazioni ambientali,*

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Roma

(c) *Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma*

(d) *Centro nazionale Sicurezza delle Acque Istituto Superiore di Sanità, Roma*

(e) *Dipartimento Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro e Ambientale,*

Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro, Roma

(f) *Laboratorio Biotecnologie RED, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,*

l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, Roma

(g) *Azienda Unità Sanitaria Locale Toscana Centro, Regione Toscana, Firenze*

(h) *Dipartimento della salute umana, della salute animale e dell'ecosistema (One Health)*

e dei rapporti internazionali, Ministero della Salute, Roma

(i) *Azienda Sanitaria Provinciale di Trapani, Regione Sicilia, Trapani*

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

Rapporti ISTISAN

25/15

Istituto Superiore di Sanità

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

Gaetano Settimo, Margherita Arpaia, Marina Cerasa, Simonetta Della Libera, Monica Gherardi, Maria Giuseppa Grollino, Ettore Guerriero, Marco Inglessis, Roberto Mari, Francesca Ravaioli, Francesco Regina, Federica Scaini, Luca Tofful per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor*
2025, xi, 69 p. Rapporti ISTISAN 25/15

Obiettivo di questo documento è fornire delle corrette strategie di monitoraggio dell'aria *indoor* negli uffici 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 del personale, e per ribadire il ruolo centrale di responsabilità nella promozione e tutela della salute da parte dei luoghi di lavoro così come previsto dalla World Health Organization e dagli obiettivi di sviluppo sostenibile fissati nell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite. 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*; Uffici e ambienti similari; 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 offices: strategies for monitoring chemical and biological pollutants.

Gaetano Settimo, Margherita Arpaia, Marina Cerasa, Simonetta Della Libera, Monica Gherardi, Maria Giuseppa Grollino, Ettore Guerriero, Marco Inglessis, Roberto Mari, Francesco Regina, Francesca Ravaioli, Federica Scaini, Luca Tofful, for the National *Indoor* Air Study Group
2025, xi, 69 p. Rapporti ISTISAN 25/15 (in Italian)

Purpose of this document is to provide correct *indoor* air monitoring strategies in offices, 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 workers, in particular reiterating the central role of responsibility for the promotion and protection of workplaces, as provided by the World Health Organization and the achievement of the Sustainable Development Goals set in the United Nations 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, Arpaia M, Cerasa M, Della Libera S, Gherardi M, Grollino MG, Guerriero E, Inglessis M, Mari R, Ravaioli F, Regina F, Scaini F, Tofful L per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento *Indoor*. *Qualità dell'aria indoor negli uffici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2025. (Rapporti ISTISAN 25/15).

Legale rappresentante dell'Istituto Superiore di Sanità: *Rocco Bellantone*

Registro della Stampa - Tribunale di Roma n. 114 (cartaceo) e n. 115 (online) del 16 maggio 2014

Direttore responsabile della serie: *Antonio Mistretta*

Redazione: *Sandra Salinetti*

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 16/12/2015 (Prot. 372571), 10/2/2016 (Prot. 3880), 27/7/2023 (Prot. 35562), 5/6/2024 (Prot. 24534) e del 20/3/2025 (Prot. 0012487) dal Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità.

Di seguito l'attuale elenco dei componenti:

Gaetano SETTIMO	<i>Coordinatore del Gruppo</i> , Istituto Superiore di Sanità
Margherita ARPAIA	Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
Paolo BAGNOD	Regione Valle d'Aosta
Marco BALDINI	ARPAM-Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Anna BARBIERI	Azienda USL 6, Regione Emilia-Romagna
Stefano BASSI	Azienda USL Toscana centro, Regione Toscana
Eleonora BECCALONI	Istituto Superiore di Sanità
Lucia BISCEGLIA	Agenzia Regionale strategica per la Salute e il Sociale, Regione Puglia
Silvia BRINI	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Biagio Maria BRUNI	Istituto Superiore di Sanità
Massimiliano CANNAS	Agenzia Regionale Sanitaria, Regione Marche
Marina CERASA	Consiglio Nazionale delle Ricerche
Danilo CEREDA	Regione Lombardia
Mattea CHIRICO	Istituto Superiore di Sanità
Nicoletta CORNAGGIA	Regione Lombardia
Emanuel CRESCENZI	ARTA Abruzzo-Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Simonetta DELLA LIBERA	Istituto Superiore di Sanità
Manuela DE SARIO	DEP Lazio - Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale del Lazio
Piero DI CARLO	Università di Studi Gabriele D'Annunzio, Chieti, Regione Abruzzo
Floriana DI GIORGIO	Azienda Sanitaria Locale Roma 6, Regione Lazio
Maria Gesuina DIRODI	Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
Gianni FORMENTON	ARPA Veneto-Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Giuseppe FIORENTINO	Regione Campania AORN Ospedale dei Colli, Regione Campania
Roberto GIAMMATTEI	Azienda Sanitaria Locale Roma 6, Regione Lazio
Monica GHERARDI	Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro
Ettore GUERRIERO	Consiglio Nazionale delle Ricerche
Silvestro GRECO	Regione Calabria
Maria Giuseppa GROLLINO	Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile
Marco INGLESSIS	Istituto Superiore di Sanità
Fabrizio MANNELLI	Ministero della Salute
Roberto MARI	Azienda USL Toscana centro, Regione Toscana
Marika MARIUZ	Regione Friuli Venezia Giulia
Elena NICOSIA	Regione Liguria
Francesco PIZZO	Dipartimento di Prevenzione APSS, Provincia Autonoma di Trento
Laura PETRONE	Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
Francesca RAVAIOLI	Ministero della Salute
Francesco REGINA	Azienda Sanitaria Provinciale di Trapani, Regione Sicilia
Antonello SERRA	Azienda Ospedaliero Universitaria Sassari, Sassari, Regione Sardegna
Stefania STROMBONI	Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali
Antonio PIERSANTI	Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile
Silvia RIPETTA	Regione Piemonte
Federica SCAINI	Istituto Superiore di Sanità
Luca TOFFUL	Consiglio Nazionale delle Ricerche

Maria TUTINO
Rosabianca TREVISI
Alberto Manfredi SELVAGGI
Luca VERDI

ARPA Puglia- Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro
ARPA Molise, Regione Molise
Agenzia provinciale per l'ambiente e la tutela del clima Dipartimento
Protezione dell'ambiente, della natura e del clima, Energia, Sviluppo del
territorio e Sport Bolzano- Sistema Nazionale per la Protezione
dell'Ambiente

Segreteria organizzativa

Maria MOSETTI

Istituto Superiore di Sanità

Gruppo ad hoc di esperti:

Margherita ARPAIA
Rossella BRIANCESCO
Barbara BRUNETTO
Marina CERASA
Mattea CHIRICO
Anna Maria COCCIA
Francesco DI GREGORIO
Simonetta DELLA LIBERA
Giuseppe FIORENTINO
Ettore GUERRIERO
Monica GHERARDI
Marco INGLESSIS
Patrizia IACOVACCI
Giuseppina LA ROSA
Teresa LA TORRETTA

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
Istituto Superiore di Sanità
Istituto Superiore di Sanità
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto Superiore di Sanità
Istituto Superiore di Sanità
Azienda Sanitaria Provinciale di Trapani, Regione Sicilia
Istituto Superiore di Sanità
AORN Ospedale dei Colli, Regione Campania
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro
Istituto Superiore di Sanità
Istituto Superiore di Sanità
Istituto Superiore di Sanità
Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo
Economico Sostenibile

Roberto MARI
Laura PETRONE
Francesca RAVAIOLI
Francesco REGINA
Federica SCAINI
Gaetano SETTIMO
Luca TOFFUL
Luca VERDI

Azienda USL Toscana centro, Regione Toscana
Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
Ministero della Salute
Azienda Sanitaria Provinciale di Trapani, Regione Sicilia
Istituto Superiore di Sanità
Istituto Superiore di Sanità
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Agenzia provinciale per l'ambiente e la tutela del clima Dipartimento
Protezione dell'ambiente, della natura e del clima, Energia, Sviluppo del
territorio e Sport Bolzano- Sistema Nazionale per la Protezione
dell'Ambiente

Luca VITANZA

Istituto Superiore di Sanità

INDICE

Acronimi	v
Presentazione	vii
1. Inquinanti chimici: strategie e metodi di monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	1
1.1. Informazioni di base necessarie al monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	1
1.2. Programmazione delle attività di monitoraggio dell'aria <i>indoor</i> negli uffici.....	5
1.3. Obiettivi, modalità, tempi e frequenza del monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	11
1.4. Scelta dei punti di prelievo per il monitoraggio e posizionamento della strumentazione di rilevamento	15
1.5. Misure contemporanee in aria ambiente outdoor	16
1.6. Attività da effettuare prima dell'inizio del monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	16
2. Inquinanti biologici: strategie e metodi di monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	18
2.1. Rischio biologico negli uffici e ambienti simili	18
2.1.1. Microrganismi negli uffici e ambienti simili	20
2.1.2. Virus negli uffici e ambienti simili	22
2.1.3. Allergeni negli uffici e ambienti simili	24
2.2. Obiettivi, durata e frequenza del monitoraggio dell'aria <i>indoor</i>	25
2.2.1. Campionamento di microrganismi.....	25
2.2.2. Campionamento di virus	29
2.2.3. Campionamento di allergeni	30
2.3. Campionamento dalle superfici.....	31
2.3.1. Campionamento di virus dalle superfici.....	33
2.3.2. Campionamento di allergeni dalle superfici.....	33
2.4. Metodi di analisi.....	34
2.4.1. Metodi di analisi per i batteri e i funghi	34
2.4.2. Metodi di analisi per i virus	36
2.4.3. Metodi di analisi per gli allergeni	36
Bibliografia	39
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>	65

ACRONIMI

ASPP	Addetto al Servizio di Prevenzione e Protezione
CEN	<i>European Committee for Standardization</i>
COV	Composto Organico Volatile (in inglese VOC, <i>Volatile Organic Compound</i>)
ECHA/RAC	<i>European Chemicals Agency/Risk Assessment Committee</i>
HSE	<i>Health, Safety and Environment</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation, and Air Conditioning</i>
IPA	Idrocarburi Policiclici Aromatici
IRP	<i>Infectious Respiratory Particles</i>
ISO	<i>International Standard Organization</i>
LCI	<i>Lowest Concentration of Interest</i>
OEL	<i>Occupational exposure limit values</i>
OEL-TWA	<i>Occupational Exposure Limit values – Time-Weighted Average</i>
OEL-STEL	<i>Occupational exposure limit values – Short-Term Exposure Limit</i>
PCB	PoliCloroBifenili
PCDD	PoliCloroDibenzoDiossine
PCDF	PoliCloroDibenzoFurani
PCR	<i>Polymerase Chain Reaction</i>
PM	<i>Particulate Matter</i> , materiale particolato
PNP	Piano Nazionale della Prevenzione
ppmv	parti per milione-ppm volume/volume
RLS	Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza
RSPP	Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione
WHO	<i>World Health Organization</i>
SSN	Servizio Sanitario Nazionale
STEL	<i>Short Term Exposure Limit</i>
SVOC	<i>Semi Volatile Organic Compound</i>
TLV®	<i>Threshold Limit Value</i>
TLV®-C	<i>Threshold Limit Value – Ceiling</i>
TLV®-TWA	<i>Threshold Limit Value – Time-Weighted Average</i>
TLV®-STEL	<i>Threshold Limit Value – Short-Term Exposure Limit</i>
VLEP	Valori Limite di Esposizione Professionale
UNI	Ente Italiano di Normazione
UTA	Unità di Trattamento dell'Aria
UFC/m³	Unità Formanti Colonia/m ³
UFC/cm²	Unità Formanti Colonia/cm ²
VVOC	<i>Very Volatile Organic Compound</i>
VMC	Ventilazione Meccanica Controllata

PRESENTAZIONE

La grande importanza delle problematiche connesse con la qualità dell'aria *indoor* negli edifici pubblici e privati nei quali il personale viene occupato principalmente in lavori di ufficio, dalle istituzioni e amministrazioni alle banche, dalle assicurazioni agli uffici postali, dagli studi di consulenza delle libere professioni, ai servizi e spazi amministrativi delle aziende ad altri luoghi assimilabili, ha sollecitato il Gruppo di Studio Nazionale (GdS) Inquinamento *Indoor*, istituito presso l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), ad elaborare un documento che descriva le principali strategie da utilizzare per la definizione di piani di monitoraggio, controllo e valutazione della qualità dell'aria *indoor* richiamando le indicazioni presenti nei documenti già pubblicati dallo stesso GdS come *Rapporti ISTISAN*. Il GdS Inquinamento *Indoor* vuole aiutare a perfezionare le conoscenze e la valutazione più ampia possibile dei livelli di concentrazione in aria *indoor* dei principali inquinanti chimici e biologici che possono influire sullo stato di salute del personale, degli utenti nonché della clientela e fornitori. Questo richiede lo sviluppo e l'implementazione di piani e strumenti efficaci per la gestione della qualità dell'aria *indoor*, identificando e prevenendo i rischi per la salute in anticipo.

Il documento contiene una serie di riferimenti per l'adozione di un piano di azioni di "grande visione" dedicato, integrato e coerente per proteggere e promuovere la salute e, al contempo, un ambiente di lavoro dignitoso per tutti, come descritto nell'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile n. 8 dell'Agenda delle Nazioni Unite 2030. Il posto di lavoro deve essere sempre di più considerato come contesto dove sviluppare attività di prevenzione primaria della salute, non solo per prevenire le esposizioni, ma anche per valutare e migliorare la salute generale del personale.

Gli uffici rappresentano una categoria di ambienti eterogenei in cui si svolgono una molteplicità e diversità di attività e funzioni quali amministrative, finanziarie, economiche e di servizio alla clientela, che possono ospitare stanze, ambienti e spazi modulari adattati in base alle necessità, *open space* a spazio aperto, o delimitati da pannelli divisorii, sale riunioni, sale conferenze, aule di formazione, archivi, reception/desk accoglienza per visitatori nell'immediate vicinanze dell'ingresso e spazi relax.

Edifici, ambienti, utilizzazione e occupazione degli spazi che negli ultimi anni (la gran parte durante il periodo pandemico) sono stati oggetto di profondi e continui cambiamenti, generando nuovi modelli comportamentali e culturali molto diversi dal tradizionale lavoro faccia a faccia e centralizzato (lavoro ibrido o da remoto, lavoro agile e il telelavoro *home office*).

Oggi molti uffici vedono la presenza della maggior parte del personale solo per alcuni giorni della settimana, trasformando gli ambienti di lavoro in spazi sempre più specializzati, funzionali, condivisi e progettati utilizzando standard, tecnologie e norme tecniche che creano nuove sfide nel mercato del lavoro e nelle attività di prevenzione primaria. Il perseguimento di un piano di costante e continuo miglioramento della qualità dell'aria *indoor* negli uffici si tradurrà in significativi benefici per la salute del personale, che all'interno dell'ufficio trascorre la maggior parte del tempo ed implica necessariamente il pieno coinvolgimento della comunità aziendale dei datori di lavori, management, quadri, personale e fornitori che devono includere tra i valori dell'azienda anche la qualità dell'aria *indoor*.

Negli ambienti adibiti a ufficio, sono obbligatori e necessari specifici interventi in materia di prevenzione primaria della salute, considerando che qualunque sia il rischio, l'esposizione negli ambienti *indoor* del personale assume un particolare significato e rilievo, sia per le vulnerabilità dei soggetti (es. personale con suscettibilità e disabilità diversificate più o meno complesse, o con malattie respiratorie, asmatici e allergici, o alterazione del sistema immunitario, personale più anziano, clienti, visitatori, ecc.), sia per gli elevati tempi di permanenza (es. gli ambienti e gli

spazi adibiti ad ufficio rappresentano dopo l'abitazione i luoghi dove il personale trascorre più tempo, in media circa 8-10 ore al giorno per almeno cinque giorni alla settimana) influenzando le prestazioni, la produttività, la qualità del servizio, le relazioni e la soddisfazione del personale, oltre che riducendo i costi sanitari e di assistenza a carico del lavoratore e del Servizio Sanitario Nazionale (SSN). Si stima che nel corso della nostra vita lavorativa trascorriamo oltre 65000 ore negli ambienti di lavoro.

Nel nostro Paese, in relazione alla qualità dell'aria *indoor*, esiste un evidente ritardo legislativo che deve essere obbligatoriamente e rapidamente colmato, con l'emanazione di uno specifico atto secondo un'ottica integrata che contenga idonei riferimenti per inquinanti chimici e biologici in linea con quelli elaborati e aggiornati con lo stato delle conoscenze dalla World Health Organization (WHO), con i protocolli e le procedure operative di rilevamento e controllo previste e pubblicate nei *Rapporti ISTISAN* del GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS.

Anche l'attuale sistema di leggi in materia di prevenzione e protezione della salute (DL.vo 81/2008 s.m.i.) ha comportato una confusione di linguaggio, una difficoltà, un'ambiguità di interpretazione, e persino incoerenze nell'ambito di applicazione, che hanno disorientato tecnici, operatori dell'SSN e gli altri soggetti interessati quali ad esempio Dirigenti del personale, Dirigenti amministrativi, RSPP, ASPP, RLS, medici competenti, Uffici tecnici comunali, provinciali, Decisori politici, Proprietari degli edifici, ecc., nel guidare lo sviluppo di piani, programmi operativi e valutazioni. Sussiste un'urgente necessità di colmare l'evidente divario, attraverso una concreta revisione e aggiornamento al DL.vo 81/2008 s.m.i., che tuttora risulta carente e non esaustivo al riguardo di idonei riferimenti sulla qualità dell'aria *indoor* sia come definizioni, sia come concentrazioni di riferimento sui principali inquinanti, sia sulle metodiche di prelievo e analisi da adottare per la verifica al fine di consentire al meglio l'interpretazione dei risultati, coerentemente con le indicazioni e i valori guida *health based* già stabiliti dalla WHO e contenuti nei *Rapporti ISTISAN* del GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS.

È obbligatorio che il Documento di Valutazione del Rischio (DVR) contenga tra i fattori di rischio la qualità dell'aria *indoor*, al fine di adottare e/o mantenere misure e interventi per proteggere la salute, anticipando, eliminando o mitigandone gli effetti e controllarne il rischio.

È opportuno ricordare che negli uffici, nel caso di inquinanti chimici non è possibile utilizzare gli standard 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) prolungati 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.

Il Piano Nazionale della Prevenzione PNP 2020-2025 contiene le Linee di supporto centrali, dette anche Azioni Centrali del PNP, finalizzate a migliorare la capacità del sistema sanitario di promuovere e governare la prevenzione e a facilitare il raggiungimento degli obiettivi del PNP. Tra le 13 Linee di Azioni Centrali del PNP, è presente la Linea n. 8 “Definizione di un Piano nazionale per la qualità dell'aria *indoor* (IAQ)” che prevede l'adozione di un Piano Nazionale attraverso il coordinamento istituzionale.

Nel Piano strategico-operativo nazionale di preparazione e risposta a una pandemia influenzale (PanFlu) 2021-2023, è presente il miglioramento della qualità dell'aria *indoor* tra le misure preventive più efficaci. Pertanto, tra le misure cruciali del Piano è prevista l'adozione di un piano di prevenzione sulla qualità dell'aria *indoor* semplice ed efficace, che deve essere supportato da una pianificazione di azioni a breve, medio e lungo termine di monitoraggio, valutazione, informazione e formazione del personale per coinvolgere e responsabilizzare la comunità nella corretta gestione alla qualità dell'aria *indoor*.

Nella bozza del “Nuovo Piano strategico operativo di preparazione e risposta ad una pandemia da patogeni a trasmissione respiratoria a maggiore potenziale pandemico 2024-2028”, viene

ancora una volta confermato il ruolo centrale del miglioramento della qualità dell'aria *indoor* tra i principi guida fondamentali da adottare come misure di prevenzione e risposta di salute pubblica.

Complessivamente, molti di questi aspetti sono riportati nell'“Air Pollution Strategy del Country Profile” del nostro Paese pubblicato dalla WHO nel 2017, in cui si sottolinea la necessità di un sistema di *governance* sulla qualità dell'aria *indoor* fondato su un quadro legislativo che consente di rivedere e aggiornare il DL.vo 81/2008 s.m.i., tenendo conto delle trasformazioni in corso nel mondo del lavoro, delle attività, degli ambienti *indoor* e del personale, al fine di rafforzare la ricerca di soluzioni di prevenzione primaria per vivere in salute, con la responsabilità reciproca e condivisa tra l'organizzazione e il personale.

Considerando le necessità di rispondere alle questioni cruciali legate alla prevenzione primaria della salute, al controllo degli inquinanti e delle infezioni, ai rischi di epidemie o pandemie causate da agenti patogeni emergenti o riemergenti, alla riduzione delle emissioni di carbonio dai materiali e dalle attrezzature, il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici (vedi Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia: *Energy Performance of Building Directive*, EPBD) e all'impatto dovuto dai cambiamenti climatici, si rende necessario raggiungere un nuovo atteggiamento culturale di miglioramento costante e continuo della qualità dell'aria *indoor* negli uffici.

Con questo documento il GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS vuole contribuire a sviluppare e consolidare la piena consapevolezza di un approccio di prevenzione primaria di salvaguardia e miglioramento della salute che passa dalla qualità dell'aria che si respira negli uffici che rappresentano tipici ambienti *indoor*. In particolare, si applica a:

- *inquinanti chimici*
 - composti organici (VVOC, COV)*, che sono tra gli inquinanti più frequentemente utilizzati negli studi sulla qualità dell'aria *indoor*;
 - materiale particellare sospeso PM₁₀ e PM_{2,5}**, e nel caso in cui si ritiene necessaria la caratterizzazione chimica del PM₁₀ e PM_{2,5} in termini di contenuto di selezionati composti organici semivolatili (SVOC)* come IPA, PCDD, PCDF, PCB e metalli;
- *inquinanti biologici*
 - batteri, funghi, virus-*Infectious Respiratory Particles* IRP*** e allergeni.

Questi inquinanti sono tutti fonti potenziali di rischio, presenti nei diversi ambienti, spazi o aree degli edifici ad uso ufficio utilizzati dal personale, dai clienti e fornitori.

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

In questi quindici anni d'attività il GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS, nel quale sono rappresentate le varie componenti ministeriali (Ministero della Salute, Ministero dell'Ambiente e

* La definizione di VVOC, COV e SVOC è quella proposta dalla WHO nel documento “*Indoor Air Quality: Organic Pollutants*”. Tale classificazione è quella utilizzata anche nella norma UNI EN ISO 16000 e UNI 11976.

** Il PM₁₀ e il PM_{2,5} sono materiale particellare che penetra attraverso un ingresso dimensionale selettivo conforme al metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione secondo la norma UNI EN 12341.

*** IRP (*Infectious Respiratory Particles*) è la nuova terminologia della WHO, per i patogeni che si trasmettono attraverso l'aria, suddividendo il processo in: trasmissione aerea, che si verifica quando le IRP entrano nel tratto respiratorio attraverso l'inalazione, a breve o lunga distanza; deposizione diretta, che si verifica quando le IRP seguono una traiettoria semi-balistica a corto raggio, depositandosi sulla superficie della mucosa facciale.

della Sicurezza Energetica, Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali), le regioni e gli istituti di ricerca (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), ha elaborato una serie di documenti di riferimento, e svolto attività di formazione e informazione per aumentare la consapevolezza, al fine di consentire e attuare azioni armonizzate unificate a livello nazionale.

I documenti del GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS, già pubblicati come *Rapporti ISTISAN* e documenti divulgativi, intendono promuovere e favorire la progettazione e lo sviluppo di una strategia nazionale sulla qualità dell'aria *indoor*, che ancora oggi rappresenta una priorità che il nostro Paese deve sostenere e 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”;
- *Rapporti ISTISAN 20/3*
“Qualità dell'aria *indoor* negli ambienti scolastici: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici”.

Inoltre, sono stati prodotti dei *leaflet* e dei podcast sull'argomento scaricabili dalla pagina web istituzionale <https://www.iss.it/podcast>:

- Opuscolo divulgativo dal titolo “L’aria nella nostra casa”.
- Opuscolo divulgativo dal titolo “Intossicazioni da monossido di carbonio. Come proteggersi”.

Quando in casa c’è una brutta atmosfera - cosa fare (o non fare) per migliorare la qualità dell’aria *indoor*;

- Monossido di carbonio, un gas silenzioso, invisibile e mortale. Impariamo ad evitarlo.

Gaetano Settimo
Coordinatore del GdS Inquinamento *Indoor*

1. INQUINANTI CHIMICI: STRATEGIE E METODI DI MONITORAGGIO DELL'ARIA *INDOOR*

Per programmare un piano di monitoraggio della qualità dell'aria negli uffici risulta di grande utilità la raccolta delle informazioni di base sull'edificio, sull'appartamento o su una parte dell'edificio o dell'appartamento occupato/adibito a tale attività, sull'ubicazione, sulle componenti costruttive e impiantistiche presenti nei diversi ambienti.

L'elaborazione di queste informazioni di base è essenziale per:

- determinare il tipo e il numero di sostanze inquinanti da ricercare (es. nel caso specifico di uffici a servizio di attività produttive artigianali/industriali, è necessario raccogliere informazioni sui possibili inquinanti prodotti/derivanti dall'attività stessa);
- stabilire le modalità operative con cui effettuare il monitoraggio (es. rilevamento di tipo continuo o frazionato);
- individuare le metodologie di rilevamento ufficiali (es. metodi ISO, EN, UNI, *Rapporti ISTISAN*), per la scelta di strumentazione e opportuni materiali di campionamento e per l'impostazione della corretta durata da adottare (es. 30 minuti, 1 ora, 8 ore, 24 ore, ecc.);
- finalizzare gli obiettivi specifici del programma di monitoraggio e per la scelta dei valori numerici di riferimento da utilizzare per interpretare e valutare i risultati (es. valori guida, riferimento, valori d'azione, ecc.) presenti nei documenti sulla *air quality* della WHO oppure quelli presenti nella specifica legislazione di altri Paesi europei (Appendice A).

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 si vogliono raggiungere con lo svolgimento delle attività di monitoraggio, che tiene conto della natura dei contaminanti e dei loro effetti sulla salute, della natura dell'esposizione (costante, intermittente, occasionale, ecc.), dei metodi di misurazione e delle loro caratteristiche, dei tempi, della durata e della frequenza delle misure, del numero di personale interessato, dei valori di riferimento, valori guida, ecc., per raccogliere, interpretare, valutare e comunicare al meglio i dati e i risultati del monitoraggio (Fuselli, *et al.*, 2013; Settimo, 2015; Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020).

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

La molteplicità delle sorgenti presenti negli uffici, insieme alle dimensioni degli ambienti, spazi e aree, al tipo di attività svolta dal personale e alla presenza di impianti tecnologici comportano il rilascio di svariate tipologie di inquinanti chimici nell'aria e a possibili inquinanti prodotti dalle reazioni di trasformazione. 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 dell'ufficio che fanno parte dell'edificio/appartamento, accanto alle informazioni di base che descrivono dettagliatamente gli aspetti più significativi delle attività che vi si svolgono (es. orari, frequenza e densità di utilizzo degli uffici, orari apertura al pubblico, misure organizzative, tipologia e modalità di conduzione impianti, ecc.).

A tal proposito le informazioni da acquisire dalla Direzione del personale, dagli uffici tecnici, dal servizio HSE o RSPP, riguardano:

- *Caratteristiche fisiche dell'edificio/appartamento*
 - localizzazione (es. urbana, urbana centrale, urbana periferia, urbana industriale, industriale, rurale) e orientamento dell'edificio nord, sud, est o ovest;
 - età (es. edificio storico, moderno, ecc.) e stato dell'edificio (es. pitture scrostate, presenza di sporco o detriti, macchie di danni causati dall'acqua su pareti, pannelli del controsoffitto, ecc., umidità sulle superfici (es. condensa sulle finestre);
 - numero e altezza dei piani;
 - numero di stanze per piano;
 - dimensioni e *layout* delle stanze, degli ambienti e spazi;
 - presenze di porte, finestre, forma, dimensioni, posizione, modalità apertura es. a singola anta, a due ante, scorrevole, bilico, a ribalta, vasistas, a libro, orientamento aperture finestre e balconi: esterna, interna; nord, sud, est o ovest;
 - eventuali adeguamenti, ristrutturazioni o efficientamento energetico (es. cambio di serramenti, cappotto, ecc.);
 - presenza di schermatura solari integrate nelle facciate (es. frangisole, *brise-soleil*, ecc.), sugli infissi (es. film, pannelli, pellicole, tapparelle, ecc.), o esterne (es. tende da sole, ombrelloni, ecc.). I dispositivi di schermatura solare non devono ostacolare la ventilazione delle finestre e non devono favorire l'afflusso di aria calda che sale dalla parete esterna;
 - caratteristiche e schede tecniche/sicurezza dei materiali impiegati nelle pareti, pavimenti, parquet, legno, soffitto e per ciascuna altra componente costituente l'edificio, i rapporti, le certificazioni emissive dei materiali e i dati sulle emissioni degli inquinanti di pitture, vernici, ecc. (es. UNI EN 717:1, UNI EN 16516, ISO 16000, ecc.);
 - funzionamento degli apparecchi a combustione (es. a gas, legna, pellet, propano, ecc.);
 - presenza e posizione degli ascensori o di altre strutture, presenza di un garage nell'edificio che può causare l'ingresso diretto o indiretto degli inquinanti prodotti dai motori a combustione dei veicoli attraverso le porte, le scale, le finestre, ecc.;
 - presenza di scale;
 - posizione dei caloriferi/elementi radianti per il riscaldamento; la presenza e il posizionamento di impianti di climatizzazione come, ad esempio le pompe di calore;
 - posizione dei bagni;
 - certificazione di prestazione energetica, attestato di prestazione energetica-APE, ecc.
- *Ricambio dell'aria*
 - modalità con cui si effettua il ricambio dell'aria, la strategia di ventilazione (es. ventilazione naturale attraverso le aperture delle finestre, porte e balconi o ventilazione meccanica controllata UTA/VMC);
 - nel caso del ricambio dell'aria di tipo naturale è necessario conoscere la disposizione, il numero, la forma, le dimensioni (anche rispetto all'ambiente) e la modalità apertura delle finestre, balconi e porte, il periodo di apertura e la durata nei diversi periodi stagionali. Per quanto riguarda la UTA/VMC risulta di fondamentale importanza l'acquisizione della relazione tecnica dell'impianto contenente schemi di distribuzione per i diversi ambienti serviti;
 - frequenza e calcolo dei volumi di ricambio aria/ora (h^{-1}), L/s persona o m^3/s (ad es. nel calcolo bisogna ricordare che fornire un valore di ricambio aria/ora (h^{-1}) basso in un

- ambiente grande necessità di più aria, rispetto ad un valore di ricambio aria/ora (h^{-1}) più grande in un ambiente più piccolo);
- misurazioni dei flussi d'aria;
 - misurazione della distribuzione dei flussi dell'aria;
 - misurazioni di temperatura, umidità relativa e CO_2 ;
 - posizionamento delle prese di mandata ed estrazione nei diversi ambienti;
 - tipologia di filtri dell'aria (es. ISO ePM_{10} , ISO $\text{ePM}_{2,5}$, ISO ePM_1 : UNI EN ISO 16890:2017);
 - posizionamento dei sistemi filtranti dell'aria nell'UTA/VMC;
 - frequenza di ricambio dei filtri dell'aria;
 - tipo di funzionamento/attivazione (giorni tipo: giorni feriali, fine settimana - festivi e altri giorni specifici, ore di funzionamento al giorno);
 - registri di marcia;
 - durante le attività di pulizia caratterizzati da emissioni per un periodo di tempo;
 - durante la sanificazione caratterizzati da emissioni per un periodo di tempo;
 - scopi degli interventi di manutenzione;
 - rapporti d'intervento;
 - periodicità e modalità di controllo degli impianti di condizionamento fissi e mobili, UTA/VMC e di misurazione dei flussi d'aria.
- *Mobilio, tendaggi, tappezzeria, scrivanie, sedie e altro mobilio*, caratteristiche e schede tecniche/sicurezza dei materiali adottati per pareti, pavimenti, soffitto, mobilio inclusi armadi e librerie lungo le pareti, i rapporti, le certificazioni emissive dei materiali e i dati sulle emissioni degli inquinanti di mobilio, scrivanie, ecc. (es. UNI EN 717:1, UNI EN 16516, ISO 16000, ecc.).
 - *Numero di personale, principali attività svolte, tempi di permanenza, attrezzature* da ufficio utilizzate nell'ambiente di lavoro (es. personal computer, stampanti, fotocopiatrici*, proiettori, materiale cartaceo, sono una parte comune degli ambienti d'ufficio).
 - *Ambiente di lavoro* (es. in *open space*, stanze singole, con più postazioni di lavoro, sale riunioni, ecc.) e condizioni d'uso delle aree e dei locali (es. con attività continuativa, diurno, pomeridiano, accesso di pubblico, orari di apertura o di ricevimento di pubblico nonché della clientela e fornitori, ecc.).
 - *Misure organizzative, attività e i programmi di formazione* sulla qualità dell'aria *indoor*, aggiornamenti obbligatori per il personale, eventuali raccomandazioni prodotte sulle modalità di gestione dei ricambi dell'aria negli ambienti, spazi e aree, sulle buone pratiche, sui programmi di informazione e promozione efficace sulla qualità dell'aria *indoor*.
 - *Pulizie nei diversi ambienti e relative procedure, protocolli, modalità, metodologie d'intervento, periodicità* (es. orario in cui si effettuano le attività, se è presente il personale o meno, proprio perché si possono emettere/rilasciare inquinanti); lista dei prodotti detergenti utilizzati per le diverse superfici (es. pavimenti, marmi, parquet, tavoli, sedie, librerie, ecc.), che contengono nella loro composizione VOC e COV che vengono rilasciati nell'ambiente dopo l'applicazione le concentrazioni d'utilizzo, la sequenza utilizzo dei prodotti, le modalità a singolo passaggio o più passaggi giornalieri, gli

* Durante il funzionamento delle fotocopiatrici e stampanti laser si può produrre ozono, COV e PM . Le quantità di ozono rilasciate durante il funzionamento dipendono dalle caratteristiche tecniche della fotocopiatrice/stampante, dal tempo di funzionamento e dalle condizioni di manutenzione dei dispositivi. Altro aspetto da considerare sono le dimensioni dell'ambiente/spazio di funzionamento.

strumenti utilizzati (es. tipo di scopa, tipo di aspirapolvere, panni in microfibra), scheda di sicurezza dei prodotti utilizzati, note tecniche, standard UE come LCI, registro sui controlli dello stato di conservazione dei prodotti, ecc.; funzionamento UTA/VMC (es. fattibilità di un aumento delle portate dell'aria) o apertura finestre, durante tale attività, ecc.

- *Regole comportamentali e altre azioni* che il personale ha acquisito con il piano di formazione dedicato e con l'esperienza quotidiana (es. modalità, durata e frequenza aperture delle finestre, balconi, porte in funzione del periodo stagionale, divieto di fumare esteso anche alle sigarette elettroniche, maggiore attenzione all'utilizzo di prodotti deodoranti per ambienti (che aggiungono VVOC e COV a quelli già presenti nell'aria provenienti dalle altre sorgenti. L'origine naturale di questi VVOC e COV non significa che non abbiano effetti sulla salute. Infatti, la tossicità di una sostanza, sia essa di origine naturale o sintetica, è intrinsecamente legata alla sua natura chimica e non alla sua origine), cosmetici, momenti della giornata in cui effettuare le pulizie nell'area relax e specifiche modalità da adottare in questa fase per il potenziamento dei ricambi dell'aria (es. frequenza e durata di apertura finestre e balconi, cappa aspirante accesa, aumento portata aria UTA/VMC, ecc.).
- *Presenza di depuratori d'aria noti anche come purificatori d'aria**, dispositivi fissi o portatili che utilizzano diverse tecnologie e meccanismi d'azione a seconda della natura degli inquinanti chimici e biologici su cui agiscono. È necessario acquisire la relazione e la valutazione tecniche che ha portato a scegliere il depuratore/purificatore, la tecnologia e le caratteristiche principali, eventuali rilasci di sottoprodotti reattivi e pericolosi, portata di aria pulita erogata CADR, posizionamento, volume ambiente, numero di persone, attività svolta, modalità e durata di funzionamento, standard della misura della prestazione, formazione, costo filtri e materiali adsorbenti, frequenza e costo pulizia, frequenza e costo manutenzione (per evitare che la loro efficienza diminuisca nel tempo), rumorosità, ecc.
- *Procedure e periodicità delle disinfestazioni* (es. presenza di segni di infestazioni come scarafaggi, roditori, piccioni, ecc.).

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 uffici, l'età edificio, l'ubicazione, design degli ambienti/spazi, le modalità operative degli utenti, la presenza di clientela, visitatori, operatori di ditte esterne, livello di efficientamento energetico, modalità di ricambio dell'aria-strategia di ventilazione, 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).

* Consultare l'allegato A2 "Depuratori/purificatori d'aria mobili sono realmente una soluzione?" della *Nota tecnica ad interim. Monitoraggio della CO₂ per prevenzione e gestione negli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2* pubblicato dall'Istituto Superiore di Sanità nel 2022.

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

In generale, le attività di monitoraggio degli inquinanti chimici in aria *indoor* vengono effettuate dai vertici della direzione aziendale per garantire l'efficacia delle azioni e delle procedure di tutela sanitaria adottate sulla qualità dell'aria a garanzia della salute del personale e della organizzazione. In tale processo, le attività vengono programmate ed effettuate nei diversi ambienti e spazi dell'ufficio (es. stanze ufficio, studio, *open space*, sale riunioni, aule per la formazione, archivi, reception/desk, accoglienza, aree comuni, sale relax, o in altre determinate aree dell'ufficio, ecc.) per le seguenti finalità:

- conoscere i livelli di concentrazione degli inquinanti in determinati ambienti, spazi, aree o locali dell'edificio durante le attività lavorative ed avere un quadro rappresentativo;
- conoscere l'evoluzione della qualità dell'aria *indoor* e attuare eventuali interventi di miglioramento al fine di anticipare i rischi per la salute;
- valutare i livelli di esposizione umana individuale e collettiva agli inquinanti *indoor*, tenendo conto dei compiti che vengono svolti, le modalità, la durata e la frequenza (es. esposizione singola, ripetuta, ecc.), presenza di ulteriori attività insolite, a cui è soggetto il personale e in special modo i gruppi di individui particolarmente vulnerabili (es. personale con bisogni specifici, utenti, clientela e fornitori ecc.). Se viene ritenuta troppo elevata rispetto ai riferimenti utilizzati è necessario intervenire per ridurla;
- verificare e confermare nel tempo il rispetto dei valori di qualità dell'aria *indoor* individuati dal datore di lavoro, o stabiliti dalle Autorità competenti in relazione alla permanenza e alle vulnerabilità del personale;
- contribuire a identificare e ridurre per quanto possibile i livelli emissivi di specifiche sorgenti *indoor* (sito specifiche, ubiquitarie, dominanti, minoritarie, ecc.), in determinate ambienti, aree o locali durante lo svolgimento di attività con la presenza di personale, utenti, clientela e fornitori e in assenza di personale, utenti, clientela e fornitori;
- conoscere le variazioni nel tempo delle concentrazioni degli inquinanti in aria *indoor* in determinate aree o locali in presenza di personale, utenti, clientela e fornitori e in assenza di personale, utenti, clientela e fornitori, al fine di anticipare i rischi per la salute;
- 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 del personale, degli utenti, della clientela e fornitori afflitto da bisogni specifici (es. allergici, asmatici, ecc.);
- verifica e valutazione della qualità dell'aria *indoor* in determinate aree e/o locali e in quelle ad essi adiacenti durante l'esecuzione di lavori di pulizia, manutenzione, o ristrutturazione o al termine di questi che possono comportare emissioni di PM, VVOC, COV e di altre sostanze, al fine di salvaguardare il personale, gli utenti, la clientela e i fornitori. In questo caso è necessario acquisire una descrizione dettagliata del tipo di intervento/lavoro effettuato, i locali interessati, le schede tecniche, schede di sicurezza dei prodotti utilizzati, ecc.;
- verifica dell'impatto e dell'efficacia delle misure preventive e di risanamento individuate e adottate nelle diverse aree;
- conoscere i livelli di concentrazione degli inquinanti in eventi particolari o emergenze (es. inquinamento esterno eccezionale legato ad incendi, incidenti in siti produttivi vicini all'ufficio, ecc.);
- valutare la condivisione dei dati spiegando i principali risultati.

Negli uffici e in altri luoghi assimilabili (stanze, studi, ambienti *open space*, sale riunioni, aule per la formazione, reception/desk accoglienza, aree comuni, archivi e aree direzionali dedicate al *management*), si possono individuare aree:

- dove la permanenza del personale si estende all'intero arco della giornata lavorativa (circa 8 ore al giorno 5 giorni a settimana);
- dove la permanenza del personale si limita a brevi periodi (uno, due o tre giornate) nell'arco della settimana;
- dove l'ingresso e la permanenza di pubblico si limitano ai soli periodi di apertura al pubblico o di ricevimento degli utenti, nonché della clientela e fornitori (una o più ore-periodi/giornate) nell'arco della settimana;
- dove la permanenza del personale si limita a brevi periodi (una o più ore-periodi/giornate) nell'arco della settimana;
- dove la permanenza del personale, 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 raccolte (*vedi* Appendice B) e dalle condizioni di utilizzo dei diversi ambienti/spazi degli uffici, o più in generale quelli già individuati dalla WHO e dal GdS Inquinamento *indoor* dell'ISS nei diversi documenti elaborati che offrono un'ampia panoramica (Settimo, 2015; Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a; Settimo *et al.*, 2020b; Settimo *et al.*, 2023), quali:

- VVOC e COV, che svolgono un ruolo cruciale nel determinare la qualità dell'aria *indoor*; i cui effetti sulla salute sono molto vari e possono essere più o meno gravi; alcuni 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), di Gruppo 2A (probabile cancerogeno per l'uomo) (es. tetracloroetilene, diclorometano, stirene);
- PM_{2,5} corrispondente alla frazione respirabile e PM₁₀ corrispondente alla frazione toracica del materiale particolato (in tal caso, la concentrazione in massa è l'approccio minimo della valutazione della qualità dell'aria *indoor*): classificate dalla IARC come cancerogeni di Gruppo 1 (cancerogeno accertato per l'uomo);
- SVOC, tra cui gli IPA, come ad esempio benzo[a]pirene + altri selezionati IPA sulla base di proprietà cancerogena nel PM₁₀ o nel PM_{2,5} con classificazione di Gruppo 1 (cancerogeno accertato per l'uomo), di Gruppo 2A (probabile cancerogeno per l'uomo) e di Gruppo 2B (possibile cancerogeno per l'uomo) secondo la IARC. In alcuni specifici casi può risultare utile determinare nel PM₁₀ o nel PM_{2,5} anche altri SVOC come PCDD, PCDF e PCB espressi in termini di tossicità equivalente (WHO-TE) classificati come Gruppo 1 (cancerogeno accertato per l'uomo), di Gruppo 2A (probabile cancerogeno per l'uomo) e di Gruppo 3 (non classificabile per la cancerogenicità per l'uomo);
- metalli (es. arsenico, cadmio, nichel, piombo, ecc.) classificati dalla IARC come cancerogeni di Gruppo 1 (cancerogeno accertato per l'uomo) (es. arsenico, cadmio, nichel), e di Gruppo 2B (possibile cancerogeno per l'uomo) (es. piombo).

I VVOC e i COV possono essere campionati con sistemi di diverso tipo, a seconda della specifica finalità d'indagine (Fuselli, *et al.*, 2013, Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a); 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 di campionamento 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 di campionamento 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-specifici, mentre altri, soprattutto quelli derivatizzati, sono analita-specifici. Per la corretta scelta dei materiali adsorbenti da utilizzare per il rilevamento dei VVOC e i COV, si rimanda all'Appendice C del *Rapporto ISTISAN 13/4* (Fuselli, *et al.*, 2013) dove è stato riportato un elenco dei principali materiali adsorbenti solidi.

Un'altra tipologia di campionatori da poter utilizzare per i VVOC e i COV è costituita dai *canister*, ovvero bottiglie in vetro, bombole, o cilindri in acciaio inox con pareti passivate e non a chiusura ermetica, in cui è possibile fare il vuoto attraverso il collegamento con pompe; regolando il flusso d'ingresso dell'aria, i dispositivi possono essere utilizzati per prelievi sia istantanei sia di breve-lunga 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. 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; non necessitano di allaccio alla rete elettrica. Alternativamente si usano sacchi gonfiabili, in materiale inerte, in cui l'aria è campionata all'interno delle sacche mediante l'uso di pompe con flusso di aspirazione opportunamente calibrato.

Il numero di VVOC e di COV da inserire nel piano di monitoraggio può variare sensibilmente sulla base delle informazioni di base acquisite ad esempio sui materiali e sulle caratteristiche specifiche dei costruzioni, arredo, finitura, pulizia, schede tecniche e di sicurezza dei prodotti presenti, modalità di utilizzo e occupazione degli ambienti, condizioni di esercizio, attività e dai compiti svolti dal personale, utenti, nonché dalla presenza di clientela e fornitori, dalle eventuali segnalazioni o lamentele raccolte e soprattutto dalla finalità del programma di attività di monitoraggio elaborato (vedi Appendice B).

Il PM₁₀ e il PM_{2,5} possono essere campionati 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} e 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 (es. va valutato se è possibile posizionare la pompa all'esterno dell'ambiente in esame) 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, PCDD/F, PCB) e inorganici (es. metalli) (Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et*

al., 2020a; Settimo *et al.*, 2020b). Per questi inquinanti (organici e inorganici) da inserire nel piano di monitoraggio valgono le considerazioni già fatte sui VVOC e 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 (Settimo *et al.*, 2016). Tali strumenti forniscono anche il conteggio numerico delle particelle, come ad esempio il numero di particelle/cm³ (UNI EN ISO 16000:42). 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 riporta l'elenco delle metodiche ISO 16000 *Indoor Air*, recepite dal CEN e in parte dall'UNI, e le altre metodiche UNI e CEN con cui effettuare la scelta dei punti di prelievo e 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 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 15/25*
“Parametri microclimatici e inquinamento *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”.

Questi documenti del GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS rappresentano la base della norma UNI 11976:2025 “Ergonomia dell'ambiente fisico. Strumenti per la valutazione della qualità dell'aria interna”. Completano il piano di monitoraggio la misura e la registrazione in continuo a lungo termine della CO₂ e dei principali parametri microclimatici quali: temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria.

Lo scopo principale delle misurazioni della concentrazione di CO₂ è quello di identificare gli ambienti con scarsi ricambi d'aria e sovraffollati, promuovendo e realizzando quotidianamente modalità operative di ottimizzazione dei ricambi dell'aria esterna in modo naturale o con sistemi meccanici UTA/VMC (es. frequenza e durata di apertura di porte, finestre e balconi, marcia e tempi di funzionamento del sistema di ventilazione, controllo del flusso d'aria, portate aria, ecc.), oppure sfruttando entrambe le modalità, di implementare efficaci programmi di miglioramento e controllo sotto diversi aspetti con una visione unitaria, prima che sorgano situazioni di disagio, scarsa produttività lavorativa (Wyron, 2004; Felguerais *et al.*, 2023 Morantes *et al.*, 2025), sintomatologie e problematiche di salute che rientrano comunemente in quelle definite come sindrome dell'edificio malato (*Sick Building Syndrome*, SBS) e malattie associate agli edifici (*Building Related Illnesses*, BRI), per l'esposizione del personale ai vari agenti chimici (es. VVOC, COV, PM₁₀, PM_{2,5}, SVOC, metalli, odori), biologici (es. batteri, virus, allergeni, funghi filamentosi-muffe), fisici (radon), e ai livelli di umidità e temperatura.

Tabella 1. Norme UNI EN ISO per gli ambienti *indoor* specifiche per gli inquinanti VVOC, COV, SVOC, PM₁₀, PM_{2,5}, conteggio del numero di particelle e per la CO₂

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	Determinazione della formaldeide e di altri composti carbonilici nell'aria in ambienti confinati e nella camera di prova - Metodo di campionamento attivo
Parte 4	Determination of formaldehyde - Diffusive sampling method
Parte 5	Strategia di campionamento per i composti organici volatili (COV)
Parte 6	Determinazione dei composti organici (VVOC, VOC, SVOC) nell'aria interna e nella camera di prova mediante campionamento attivo su tubi assorbenti, desorbimento termico e gascromatografia utilizzando MS o 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	Misurazione della concentrazione di massa di PM _{2,5}
Parte 40	Sistema di gestione della qualità dell'aria <i>indoor</i>
Parte 41	Valutazione e classificazione
Parte 42	Misurazione della concentrazione del numero di particelle mediante contatori di particelle a condensazione
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
UNI 11976	Ergonomia dell'ambiente fisico. Strumenti per la valutazione della qualità dell'aria interna

In grigio le parti della ISO 16000 non ancora recepite in Italia dall'UNI

Alcuni studi sul virus SARS-CoV-2 e sue varianti evidenziano il ruolo della concentrazione di CO₂ sulla vivibilità e aerostabilità dei *bioaerosol* anche virali preservando il pH dell'involucro fluido circostante, aumentando ulteriormente il rischio di trasmissione. Va ricordato come nel caso dei *bioaerosol* virali ci sono altri fattori che influenzano il rischio di trasmissione per via aerea e che tale processo è un processo complesso (la quantità di virus presente nell'aria non è necessariamente proporzionale alle concentrazioni di CO₂), come il tipo di agente patogeno,

l'attività respiratoria, di vocalizzazione silenziosa, parlata, gridata, cantata, ecc., con differenze nelle emissioni di *aerosol* da soggetto a soggetto (es. quanto virus infettivo viene espirato-tasso di emissione), cosa accade al virus una volta che è nell'aria e quanto virus è necessario per causare un'infezione, il tempo di permanenza nel corso della giornata, il livello di occupazione nel tempo, il livello di ricambio dell'aria nel tempo, il volume dell'ambiente, tipo di attività*.

Pertanto la misura della concentrazione di CO₂, deve servire da “indicatore o segnale” di fenomeni di accumulo di inquinanti all'interno degli ambienti, spazi o aree (che dipendono dal contesto e non sono quindi generalizzabili perché non sono sempre proporzionali alle concentrazioni di specie inquinanti), e dipendono dalla densità e durata di permanenza e occupazione, dalle dimensioni e volumetrie degli ambienti e spazi *indoor*, dal livello di attività e dalle condizioni di utilizzo, dalle caratteristiche del personale, clienti, che negli uffici aperti al pubblico può essere dinamica ed elevata, dalla frequenza, durata e modalità di apertura parziale o completa di porte, finestre, balconi e prese d'aria, dalle condizioni di marcia, dalle portate, dai tempi di funzionamento del sistema di ventilazione UTA/VMC (es. continui, intermittenti o con una potenza parziale) e dalla distribuzione dei flussi dell'aria, in modo da adottare misure per migliorare costantemente la situazione di una scarso o inadeguato ricambio dell'aria. Le concentrazioni di CO₂ presentano tipicamente delle fluttuazioni temporali durante le giornate lavorative, con livelli in aumento durante i periodi di attività lavorativa e una diminuzione durante le pause. Tipicamente all'inizio della giornata in assenza di occupazione saranno dell'ordine dei 400 ppmv (spesso misurato, anche se i valori effettivi variano a seconda del tipo di edificio, delle dimensioni degli ambienti). Questo valore può risentire dell'area/località, e possono spesso essere più alti, mentre con l'inizio dell'occupazione del personale, del pubblico e dei clienti il livello aumenterà rapidamente fino a raggiungere dopo un determinato tempo di occupazione o allo “stato stazionario” valori superiori ai 1000 ppmv con l'occupazione. Questo andamento è strettamente correlato al volume degli ambienti e spazi *indoor*, al numero di occupanti, ai tassi di generazione di CO₂ e viene bilanciato dai ricambi dell'aria. Le concentrazioni di CO₂ durante i periodi di non occupazione possono essere più lenti e, in alcuni casi, minimi a causa della chiusura delle finestre e della natura ermetica dei nuovi edifici. Le concentrazioni di CO₂ possono presentare delle significative variazioni stagionali, con concentrazioni medie più elevate durante la stagione invernale.

Il documento ISS “Nota tecnica ad interim. Monitoraggio della CO₂ per prevenzione e gestione negli ambienti *indoor* in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2” raccomanda di utilizzare una concentrazione di CO₂ massima di 1000 ppmv (valore superiore di circa 600 ppmv rispetto al valore medio di CO₂ in aria ambiente-*outdoor* che è compreso tra i 400 e i 500 ppmv con variazioni orarie, giornaliere e stagionali); valore valido come “primo approccio gestionale e indicatore di accumulo di inquinanti” riconoscendo quelli che sono i “limiti” dell'utilizzo di tale valore, in quanto le concentrazioni di CO₂ non sono correlate e non sono indicatori di altri inquinanti. L'adozione di questo valore di riferimento deve essere seguito da una serie di azioni su aspetti specifici e significativi per giungere ad una identificazione delle essenziali misure di miglioramento con la diluizione/riduzione delle concentrazioni della CO₂ (es. densità di occupazione, tipo di attività svolta, caratteristiche degli occupanti, frequenza del ricambio dell'aria attraverso l'ingresso di aria esterna ottenuta in modo naturale o meccanica, ecc.), dell'umidità relativa dell'aria e degli inquinanti accumulati nell'aria come ad esempio i VVOC, COV, il PM₁₀, PM_{2,5}, odori, *bioaerosol* che può trasportare batteri, virus, allergeni, funghi filamentosi [muffe]), presenti in tutte gli ambienti, spazi, aree degli uffici (Allen *et al.*, 2016; Cedeño Laurent *et al.*, 2021).

* Per un utilizzo e un'interpretazione corretta delle misurazioni delle concentrazioni di CO₂ risulta utile applicare le indicazioni presenti nel documento *Nota tecnica ad interim. Monitoraggio della CO₂ per prevenzione e gestione negli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2* pubblicato dall'Istituto Superiore di Sanità nel 2022.

Pertanto, negli ambienti *indoor* per la valutazione delle concentrazioni di CO₂ non è corretto utilizzare il VLEP di 5000 ppmv presente nell'Allegato XXXVIII del DL.vo 81/2008 s.m.i.

Nel caso dei ricambi dell'aria il cui compito principale è quello di rinnovare l'aria degli ambienti immettendo aria dall'esterno, le soluzioni disponibili sono collegate al modo in cui si progetta e si costruisce la ventilazione che può essere di tipo:

- *Naturale*
(es. attraverso l'apertura finestre, balconi, porte e prese d'aria che possono essere aperte parzialmente o completamente e adattate come tempistica alle condizioni meteorologiche quotidiane) causato dalla differenza di pressione del vento e dal "galleggiamento termico";
- *Forzata o meccanica controllata*
(es. attraverso impianti, motori/ventilatori e condizioni operative di unità e sistemi di ventilazione quali portate, distribuzione dei flussi in condotti e griglie, diffusori, bocchette posizionati a soffitto, sulle pareti o a pavimento presenti in ogni parte dell'ambiente/spazio, filtrazione dell'aria, tempi di funzionamento dell'impianto di ventilazione, quando è in uso/non è in uso l'ufficio, dimensioni ambienti/spazi, densità di occupazione, volumetrie ambienti, filtrazione, ecc.).

Le strategie di ventilazione devono essere adattate e flessibili alle esigenze del personale, all'uso pratico degli ambienti (es. n. sorgenti, volumetrie, densità di occupazione, tipo di attività, orari di occupazione e non occupazione, comportamenti, età edificio, presenza di finestre, balconi, livello di efficienza energetica edificio, ecc.), alle condizioni climatiche, ai periodi di influenza stagionali e agli eventi emergenziali legati a situazioni di inquinamento esterno eccezionali, incendi, incidenti in siti produttivi. Queste strategie di ventilazione consentono di bilanciare i ricambi dell'aria con il comfort termico e con i consumi energetici.

Nel caso di uffici dotati di specifici impianti di ventilazione UTA/VMC gli impianti devono essere progettati e dimensionati secondo le indicazioni della UNI EN 16798 o delle linee guida "Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti standard. Indicazioni operative e progettuali" (Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, 2006).

La misura della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria oltre a raggiungere requisiti fisiologici, deve essere effettuata anche per l'influenza che questi parametri possono avere nel promuovere il rilascio di sostanze dai materiali e prodotti, nel causare la crescita di muffe o danni sulle superfici dei materiali riducendone la durata e causando problemi di salute (Santarsiero *et al.*, 2015; Salthammer *et al.*, 2022). I riferimenti numerici sulle temperature (°C) e sull'umidità relativa (%) per la stagione invernale ed estiva, sono contenuti nella tabella 2.5.2. delle Linee guida "Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti standard. Indicazioni operative e progettuali" (Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, 2006).

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 un determinato edificio o parti di un edificio ad uso ufficio, ambienti spazi o aree. 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 deve essere di almeno due settimane nella stagione calda e due nella stagione fredda (Fuselli *et al.*, 2013; Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a).

In termini generali le attività di campionamento devono permettere di conoscere il valore della concentrazione degli inquinanti in uffici, ambienti, studi, *open space*, sale riunioni, aule per la formazione, reception/desk accoglienza, aree comuni, sale relax, negli archivi o in altre determinate aree dell'ufficio, ecc., per poi effettuare:

- confronto con valori guida, riferimento, azione, stabiliti dalle Autorità competenti (es. Standard di qualità dell'aria in atti legislativi nazionali ed europei da parte dell'Azienda Sanitaria Locale, ASL), o raccomandati da Organismi internazionali o nazionali (es. *Air quality guidelines* WHO, volumi della serie *Rapporti ISTISAN* a cura del GdS-ISS Inquinamento Indoor), o individuati dal datore di lavoro (es. altri riferimenti individuati per la gestione). In questo caso devono essere documentati i motivi della scelta utilizzati nella scelta del valore numerico (Settimo, 2012; Settimo, 2013, Settimo, 2015; Settimo, 2017; Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a; Settimo *et al.*, 2020b; Settimo *et al.*, 2023);
- valutazione dell'esposizione del personale alle sostanze presenti nell'aria rispetto ai riferimenti individuati (vedi punto precedente) e se è necessario intervenire per ridurla;
- identificazione di possibili azioni da attuare per ridurre e/o limitare nel tempo l'esposizione personale, e garantire il rispetto dei valori guida, di riferimento, azione, ecc. (Settimo *et al.*, 2020b; Settimo *et al.*, 2023);
- identificazione per quanto possibile di azioni da attuare nel tempo per risolvere eventuali problematiche in modo da anticipare, evitare o impedire la ricorrenza di rischi, problemi e migliorare l'ambiente lavorativo (Mendell *et al.*, 2023);
- approfondimento o completamento dei risultati di indagini svolte negli anni precedenti negli stessi uffici, ambienti, studi, *open space*, sale riunioni, aule per la formazione, area reception/desk accoglienza o in altre determinate aree dell'ufficio, ecc., per conoscere l'evoluzione della qualità dell'aria *indoor* nel tempo;
- valutazione dei progressi, o identificazione e acquisizione di nuove conoscenze, indirizzare indagini tematiche mirate e/o più complete, ovvero caratterizzare determinate fasi o momenti della giornata lavorativa in cui lo svolgimento di compiti o azioni da parte del personale 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 che frequentano l'ufficio (Campagnolo *et al.*, 2017; Wallenius *et al.*, 2022; Morantes *et al.*, 2025).

Conseguentemente, le strategie di monitoraggio devono essere elaborate caso per caso sulla base della finalità del programma di attività di monitoraggio, focalizzate sugli inquinanti prevedibilmente presenti e contemplando prelievi di breve durata, di tipo frazionato o continui, che tengano conto delle attività lavorative del personale, delle modalità operative, dei tempi di permanenza, dello stato di occupazione e delle condizioni d'uso (es. condivisione della stanza, *open space* da parte di più persone contemporaneamente, sale riunioni, aule di formazione, accesso e presenza di pubblico e visitatori), dello stato di non occupazione, la presenza di pubblico, di operatori di ditte esterne impegnati nelle pulizie quotidiane, negli interventi di adeguamento impiantistico, di efficientamento energetico o in generale negli interventi di manutenzione per garantire le prestazioni iniziali e continue di tali sistemi tecnologici, delle

attività svolte dai fornitori, ecc. La durata dei campionamenti deve essere tener conto dei diversi fattori sopra citati che influenzano la rappresentatività del monitoraggio stesso.

Nel caso in cui l'attività di monitoraggio vuole rispondere al primo caso è necessario effettuare rilevamenti della stessa durata di tempo associato al valore guida/riferimento raccomandato per esempio dalla WHO, dall'ASL, dal GdS Inquinamento *Indoor* dell'ISS o ai valori di riferimento o di azione, individuato dal datore di lavoro (per esempio 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 per esempio nella legislazione della Francia (Settimo *et al.*, 2020a; Settimo *et al.*, 2020b; Settimo *et al.*, 2023) la durata deve essere settimanale, oppure è possibile utilizzare dei riferimenti di altri Paesi (vedi Appendice A). Mentre se la finalità è quella di conoscere la concentrazione degli inquinanti in uno specifico e determinato momento o attività/accensione (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 di stanze, studio, *open space*, sale riunioni aule per la formazione, area reception/desk accoglienza, aree comuni, sale relax, archivi ecc. o di altre determinate aree dell'ufficio siano rispettate, ad esempio l'apertura di finestre, balconi e porte (è preferibile aprire le finestre che si affacciano sull'interno o sulle facciate non esposte e quelle più lontane dalle strade più trafficate), l'accensione/spegnimento del sistema UTA/VMC, il livello di occupazione, ecc.

Se si vuole invece conoscere l'eventuale ruolo, contributo o influenza ai livelli di concentrazione degli inquinanti chimici dovuto all'uso di sistemi UTA/VMC può essere utile effettuare una strategia di monitoraggio in tre diversi stati operativi dell'UTA/VMC e di occupazione/uso di stanze, studi, *open space*, sale riunioni, aule per la formazione, area reception/desk accoglienza, aree comuni, sale relax, archivi ecc. (es. UTA/VMC spento e in assenza di attività, UTA/VMC acceso e in assenza di attività, UTA/VMC acceso e in presenza delle ordinarie attività svolte).

Sulla base di quanto detto gli obiettivi principali delle attività di monitoraggio degli inquinanti chimici negli ambienti ad uso ufficio (es. stanze, *open space*, studi, sale riunioni, aule per la formazione, area reception/desk accoglienza, aree comuni, sale relax, archivi o in altre determinate aree dell'ufficio, ecc.) sono quelli che consentono di:

- promuovere e attuare una corretta strategia di prevenzione primaria della salute e di riduzione dell'esposizione con particolare riferimento al personale vulnerabile in relazione alla durata e alla frequenza di permanenza;
- identificare le possibili sorgenti di inquinamento dell'aria *indoor* durante utilizzo e la presenza del personale (es. legati ai materiali da costruzione, alla pavimentazione, all'arredo tecnico, ai tessuti, alle dotazioni e all'utilizzo di apparecchiature, di prodotti per la pulizia e detergenza, uso degli impianti di ventilazione e climatizzazione, in condizioni operative normali o durante accesso pubblico o in caso di anomalie, errata localizzazione stampanti, ecc.);
- conoscere i livelli di concentrazione degli inquinanti chimici nei diversi ambienti ed effettuare un confronto con i valori guida, riferimento, azione, ecc.;
- verificare il corretto funzionamento, conduzione, gestione, manutenzione, pulizia degli impianti tecnologici di ventilazione (UTA/VMC) e gli specifici ricambi d'aria necessari per i diversi ambienti, spazi, aree o locali;
- accertare le corrette modalità di pulizia degli ambienti, come da protocollo e formazione dedicata, al fine di mettere in atto modelli comportamentali (es. dalla tempistica delle

aperture delle finestre, balconi, porte, alla regolazione delle portate d'aria, chiusura bocchette e diffusori, o accorgimenti gestionali tali da impedire un utilizzo errato, o errate applicazioni o sequenze di passaggi;

- individuare azioni e misure da intraprendere per risolvere eventuali non conformità.

Negli ambienti ad uso ufficio dove l'attività è continuativa per più giornate, si possono prevedere pertanto campionamenti giornalieri in funzione del reale uso dei locali per il PM_{10} e $PM_{2,5}$, mentre per i VVOC, COV i rilevamenti possono essere di durata settimanale o in funzione del reale uso dei locali durante lo svolgimento delle attività lavorative e sempre sulla base della durata di tempo associato al valore guida o di riferimento che è stato già individuato e si vuole utilizzare (es. dalla WHO o presenti nei documenti del GdS Inquinamento *Indoor* ISS o nella legislazione e nei documenti guida di altri Paesi europei o in quella nazionale sulla qualità dell'aria ambiente) (Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a; Settimo *et al.*, 2020b; Settimo *et al.*, 2023). Nel caso in cui la durata del campionamento è inferiore/superiore a quella prevista dalla WHO per il valore guida, o al valore di riferimento indicato nella legislazione di altri Paesi europei per il valore di concentrazione previsto, la misura rappresenta solo un riferimento orientativo-operativo (Settimo, 2013; Settimo, 2015; Settimo, 2017; Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a) (Appendice A).

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 secondo le ore di attività e occupazione giornaliera. Per esempio, nel caso di ambienti ad uso ufficio in cui l'utilizzo è giornaliero (es. orario h 8-16) è necessario ottenere dei tempi di prelievo rappresentativi dei tempi di permanenza del personale e dei periodi di non utilizzo o scevri da attività (es. orario di attività h 8-16 e non attività h 16-8) e infine eventuali prelievi continuativi di campione per 24 ore. Anche nel caso in cui l'occupazione avviene in alcune fasce orarie giornaliere è necessario predisporre campionamenti di tipo frazionato, identificando e attuando prelievi rappresentativi dei diversi impieghi, atti a coprire i tempi di permanenza del personale, ma anche i periodi di non utilizzo o scevri da attività (es. orario di attività h 9-14 e non attività h 14-9) e infine eventuali prelievi continuativi di campione per 24 ore.

Per fare un esempio nel caso del campionamento di PM_{10} o di $PM_{2,5}$ dove tutti i giorni della settimana e a orari stabiliti si effettuano le attività di ufficio, si deve prevedere una serie di rilevamenti che coprano l'orario con presenza del personale (es. h 8-16) e rilevamenti che coprano gli intervalli di non attività, in assenza di personale complementare alle 24 ore (es. h 14-8). Terminato il periodo di campionamento, il filtro di raccolta del PM_{10} o di $PM_{2,5}$ nel periodo di attività viene rimosso dalla linea di prelievo e sostituito con quello del periodo complementare di non attività in assenza di personale. 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} o di $PM_{2,5}$ 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 degli ambienti, il comportamento del personale al loro interno, il numero di persone/stato occupazione, utilizzo delle finestre e/o l'operatività di sistemi di ventilazione, modalità di pulizia, ecc. Con analogo criterio può essere effettuato il campionamento dei VVOC e 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 aree dotate di impianti tecnologici di UTA/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), prelevare 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 (Fuselli *et al.*, 2013; Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a).

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

In tutti gli ambienti ad uso ufficio 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 sia della valutazione della qualità del dato ambientale sia per formulare e attuare corrette azioni di prevenzione primaria per il personale operante negli uffici.

Pertanto, questa scelta deve essere operata ponendo una particolare attenzione a:

- caratteristiche e dimensioni di stanze, *open space*, studi, sale riunioni, aule per la formazione, area reception/desk accoglienza, aree comuni, sale relax e degli ambienti esaminati;
- posizione delle postazioni di lavoro;
- gestione e descrizione dei tempi di permanenza (di personale, clienti, pubblico, operatori esterni e addetti alle pulizie, ecc.);
- specifiche condizioni di utilizzo (attività svolta, comportamenti, numero di persone/stato occupazione, utilizzo finestre e/o operatività di sistemi di ventilazione, presenza di purificatori* dell'aria, ecc.).

Negli edifici ad uso ufficio 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.

Nell'operare la scelta del punto di campionamento di un ambiente oggetto di studio oppure in altre posizioni ambientali strategiche (vicino alle scrivanie), qualora ciò risulti di difficile realizzazione, il punto deve essere a una distanza non inferiore a 1 m dalla parete più vicina e a un'altezza di circa 1,5 m dal pavimento, così come specificato nella UNI EN ISO 16000-1 e nei Rapporti ISTISAN del GdS-ISS che regolano la materia (Fuselli *et al.*, 2013; Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a). Nel caso specifico di ambienti dell'ufficio, in cui il personale opera e trascorre gran parte della loro propria attività in posizione seduta alla scrivania, può rivelarsi utile posizionare il campionatore a un'altezza compresa tra 1,2 e 1,5 m dal pavimento (Fuselli *et al.*, 2013; Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a).

Inoltre non è consigliabile posizionare i campionatori in punti delle stanze, studi, *open space*, sale riunioni, aule per la formazione, area reception/desk accoglienza e aree comuni o in altre determinate aree dell'ufficio, che siano soggetti a fuoriuscite di correnti d'aria naturale o forzata da pareti o soffitti (es. bocchette di mandata UTA/VMC, impianti di condizionamento tipo split,

* Consultare l'allegato "A2. Depuratori/purificatori d'aria mobili sono realmente una soluzione?" della Nota tecnica ad interim. Monitoraggio della CO₂ per prevenzione e gestione negli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2 pubblicata dall'Istituto Superiore di Sanità nel 2022.

pompe di calore) che può incanalare l'aria verso direzioni obbligate, o all'aperture di porte ingresso, o ad irraggiamento solare diretto (es. vicino alle finestrate) o che ospitino sorgenti o fonti di calore (es. a ridosso dei radiatori dei termosifoni fissi, portatili, condizionatori tipo split, pompe di calore fissi, portatili, 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. VVOC, COV, PM₁₀, PM_{2,5}, SVOC, ecc.) è necessario determinare contemporaneamente le concentrazioni degli stessi inquinanti nell'aria *outdoor* (all'esterno degli uffici esaminati). Infatti, la conoscenza delle concentrazioni degli inquinanti di interesse nell'aria *outdoor* 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 (UNI EN ISO 16000-1:2006; Fuselli *et al.*, 2013; Settimo *et al.*, 2016; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a).

I campionamenti dell'aria ambiente *outdoor* devono essere effettuati preferibilmente nelle vicinanze degli ambienti dell'edificio oggetto di studio, comunque a non meno di 1 m dalla parete esterna e a un'altezza confrontabile con quella di posizionamento del campionario all'interno delle stanze, studi, *open space*, sale riunioni o delle zone sotto esame. Se gli ambienti sono dotati di impianti tecnologici centralizzati di UTA/VMC o di climatizzazione, per valutare correttamente il contributo dell'aria *outdoor* un secondo campionario 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 dei diversi ambienti prima di procedere al rilevamento degli inquinanti. Questa azione permette di allontanare le sostanze che si sono già accumulate nelle stanze, studi, *open space*, sale riunioni, e/o nelle altre aree in studio in base all'uso che ne è stato fatto precedentemente e alla presenza continuativa o occasionale di personale, clienti e visitatori 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 ricambi dell'aria e della ventilazione di cui sono dotate gli ambienti. Nel caso in cui i ricambi dell'aria e la ventilazione è di tipo naturale è consigliabile effettuare, prima di iniziare le attività di monitoraggio, una ventilazione completa delle stanze, studi, *open space*, o delle sale riunioni o degli altri ambienti per almeno 15 minuti, tenendo aperte finestre e porte (preferire le finestre più lontane dalle principali vie da traffico che si affacciano sull'interno o sulle facciate non esposte), 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'ufficio con la presenza/permanenza di personale.

Se invece gli ambienti dell'edificio sono dotati di sistemi UTA/VMC o di impianti climatizzazione o di condizionamento fissi o portatili (es. pompe di calore, radiatori, split, stufe o scaldini portatili, ventilatori a parete, 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 personale.

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

Gli ambienti *indoor*, come gli uffici, rappresentano contesti complessi dal punto di vista della valutazione del rischio per la salute, potendo ospitare una popolazione diversificata composta da personale, professionisti e fruitori abituali, persone di differenti fasce di età, con differenti sensibilità e condizioni di salute, oltre a visitatori occasionali. Sebbene il termine “inquinamento *indoor*” evochi comunemente contaminazioni di tipo chimico, è fondamentale considerare anche le implicazioni legate alla presenza di agenti biologici aerodispersi, ossia particelle biologiche inalabili e/o respirabili in grado di contribuire in modo significativo all'insorgenza di disturbi o patologie di natura infettiva, allergica o tossigena (Douwes *et al.*, 2003). Gli uffici moderni, spesso dotati di sistemi di ventilazione e climatizzazione centralizzata, serramenti a tenuta per il risparmio energetico e arredamenti sintetici, possono costituire un ambiente favorevole all'accumulo di *bioaerosol*. In aggiunta, l'attività fisica negli uffici è generalmente ridotta e l'occupazione tende ad essere prolungata e sedentaria. Questo aspetto è rilevante poiché, se una ventilazione polmonare ridotta limita l'inalazione istantanea di *bioaerosol* rispetto ad un'attività fisica intensa, la permanenza prolungata in ambienti chiusi e scarsamente ventilati amplifica questa minore esposizione di fondo, aumentando il rischio legato all'esposizione cumulativa.

Il *bioaerosol* è un insieme eterogeneo di particelle di origine biologica che si diffondono nell'aria sotto forma di componenti solide e liquide, creando un sistema di dispersione stabile (Zhang *et al.*, 2024). Queste particelle comprendono una vasta gamma di aerosol biologici, incluse entità viventi, in grado di crescere e replicarsi autonomamente, come batteri, funghi, archea, acari della polvere e altre entità biologiche come virus, allergeni, tossine, pollini, strutture resistenti quali spore fungine ed endospore batteriche, oltre a frammenti di insetti e residui organici (tra cui squame cutanee, peli animali) (Zang *et al.*, 2024). Queste particelle possono diffondersi nell'aria e aggregarsi in formazioni di dimensioni variabili, rimanendo sospese in tali ambienti anche per periodi prolungati. Gli elementi biologici contenuti nel *bioaerosol* non sono affatto inerti e il loro potenziale biologico è mantenuto grazie alla presenza di sostanza organica che ne favorisce la sopravvivenza; una volta sospesi nell'aria, i microrganismi, gli allergeni e le tossine presenti nel *bioaerosol* possono diffondersi nell'ambiente, determinando l'esposizione ad agenti patogeni e a sostanze potenzialmente dannose.

Gli impatti sulla salute associati al particolato del *bioaerosol* variano in funzione sia della grandezza delle particelle, che ne determina la capacità di penetrare nel tratto respiratorio, sia della loro composizione e attività biologica (Görny *et al.*, 1999). La rilevazione di agenti contaminanti di origine biologica rappresenta quindi un indicatore chiave per la valutazione della qualità dell'aria negli ambienti *indoor* e per identificare eventuali condizioni di rischio per la salute degli occupanti (Dacarro *et al.*, 2000; Conferenza Stato Regioni, 2001; Kim *et al.*, 2018).

2.1. Rischio biologico negli uffici e ambienti simili

Negli ambienti d'ufficio, il rischio associato alla presenza di agenti biologici riguarda principalmente effetti di tipo infettivo e allergico, riconducibili alla presenza nel *bioaerosol* di microrganismi come batteri, virus, funghi, nonché di pollini, spore e altri materiali organici. L'esposizione a tali contaminanti può avvenire prevalentemente per via inalatoria, ma anche attraverso il contatto con superfici contaminate. Si distinguono, pertanto, due modalità di

trasmissione: quella diretta aerea a breve o lunga distanza in cui l'agente patogeno si trasmette da persona a persona, e quella indiretta, che avviene attraverso il contatto con superfici o oggetti contaminati, noti come fomite.

In determinati contesti lavorativi, il rischio biologico negli uffici può risultare significativamente aumentato in presenza di condizioni ambientali sfavorevoli, come il sovraffollamento degli spazi – ad esempio durante le ore di ricevimento del pubblico o in *open space* particolarmente frequentati – e la carenza di un adeguato ricambio d'aria. Tali fattori contribuiscono non solo a una percezione diffusa di disagio tra gli occupanti, ma anche a una minore dispersione e diluizione degli agenti biologici aerodispersi. Inoltre, l'accumulo di calore e l'incremento dell'umidità relativa creano un microclima interno che può favorire la proliferazione di muffe e altri microrganismi, con un conseguente peggioramento della qualità dell'aria e un potenziale impatto negativo sulla salute e sul benessere del personale. L'esposizione prolungata del personale ai *bioaerosol* presenti negli ambienti *indoor* è stata associata a un incremento del rischio di sviluppare patologie allergiche, forme asmatiche e infezioni delle vie respiratorie (Görny, 1999; Douwes, 2003; Sharpe *et al.*, 2015). I contaminanti biologici aerodispersi, come batteri, virus, funghi e allergeni possono, infatti, alterare la normale funzionalità dell'apparato respiratorio, innescando risposte infiammatorie a livello delle mucose nasali e bronchiali. Tali effetti possono manifestarsi in forma acuta o cronica, soprattutto nei soggetti più suscettibili, come chi soffre di preesistenti disturbi respiratori, allergie o condizioni di immunocompromissione. Inoltre, in ambienti di lavoro dove l'aria è scarsamente rinnovata, l'esposizione ripetuta e cumulativa a basse concentrazioni di questi agenti può favorire lo sviluppo di sintomi persistenti, influenzando negativamente la salute e il rendimento lavorativo.

Tra i diversi agenti biologici presenti negli ambienti *indoor*, i funghi filamentosi – comunemente noti come muffe – assumono un ruolo di particolare rilevanza. La loro presenza non solo rappresenta un indicatore sensibile della qualità ambientale, poiché spesso correlata a condizioni di elevata umidità, accumulo di polveri e insufficiente ventilazione, ma costituisce anche un fattore di rischio diretto per la salute. Le muffe, possono, infatti, provocare reazioni di ipersensibilità, sintomi respiratori allergici e patologie infettive. La presenza di muffe negli ambienti chiusi – compresi gli uffici – è correlata in maniera significativa a problemi dell'apparato respiratorio, all'insorgenza di asma, a una maggiore sensibilità verso sostanze chimiche e a reazioni allergiche, dando origine a un ampio ventaglio di sintomi come rinite (raffreddore), tosse, congestione nasale, irritazione oculare con lacrimazione, affanno, congiuntivite, nonché riacutizzazione dell'asma.

L'esposizione prolungata a muffe e danni da umidità negli ambienti *indoor* può contribuire allo sviluppo della Sensibilità Chimica Multipla (*Multiple Chemical Sensitivity*, MCS) in soggetti predisposti. Uno studio condotto in Finlandia ha evidenziato una prevalenza significativamente più alta di MCS tra gli individui con sintomi respiratori o vocali associati a danni da umidità sul posto di lavoro, rispetto alla popolazione generale. I soggetti esposti a danni da umidità hanno mostrato punteggi più elevati in termini di intolleranza chimica, gravità dei sintomi e impatto sulla vita quotidiana (Nynäs *et al.*, 2021).

Alcune specie fungine, inoltre, producono micotossine dotate di potenziale cancerogeno, teratogeno e neurotossico (Didwania *et al.*, 2013) tuttavia, l'eliminazione degli allergeni dagli ambienti chiusi comporta un netto calo della sintomatologia nei soggetti allergici.

Negli uffici, interventi mirati al miglioramento della qualità dell'aria – pur non azzerando l'insorgenza di patologie respiratorie o allergiche – riducono l'intensità dei disturbi, aiutano a prevenire episodi acuti anche severi e innalzano la qualità di vita di chi frequenta abitualmente questi spazi.

2.1.1. Microrganismi negli uffici e ambienti simili

I microrganismi sono ubiquitari e capaci di proliferare su un'ampia gamma di substrati. In ambienti quali gli uffici la loro presenza è legata soprattutto all'ingresso e alla movimentazione di persone e oggetti; la qualità dell'aria *indoor*, inoltre, risente dei moti di ventilazione – anche dell'aria che proviene dall'esterno – e, seppure in misura minore, delle caratteristiche dei materiali che arredano lo spazio (mobilio, vernici, rivestimenti), i quali possono rilasciare, nel tempo, sostanze o particelle nell'ambiente circostante.

La carica microbica negli uffici può oscillare considerevolmente e tende ad aumentare quando il ricambio d'aria è scarso o si creano ristagni d'acqua e livelli di umidità elevati. Per la maggior parte di batteri, funghi e loro spore non è ancora stata definita con precisione la dose inalatoria capace di produrre infezioni o altri effetti avversi; inoltre, fattori individuali – età, stato immunitario, patologie pregresse, sensibilità allergica – determinano una risposta estremamente variabile da persona a persona. Questa combinazione di incertezza scientifica e marcata eterogeneità fra gli individui rende tuttora impossibile stabilire limiti di esposizione universalmente accettati che possano essere adottati come valori soglia operativi (Macher, 1999).

La complessità del *bioaerosol indoor* – dovuta alla notevole varietà di batteri, funghi e loro spore e alle numerose variabili che ne modulano la presenza – impone un approccio sistematico quando si vuole valutare la qualità microbiologica dell'aria in ufficio. Occorre innanzitutto individuare microrganismi specifici, o aggregati coltivabili di microrganismi, che possano fungere da indicatori dello stato di salubrità dell'ambiente. Una volta scelti questi “microrganismi/aggregati sentinella”, si programmano analisi di routine per rilevare la presenza di patogeni sia nell'aria sia sulle superfici, impostando un piano di monitoraggio che consideri:

- configurazione e caratteristiche degli ambienti che compongono l'ufficio da esaminare (stanze, studi, *open space*, sale riunioni, biblioteca, archivi, aree comuni, ecc.);
- tipologia di attività svolte in ciascuno spazio;
- tipologia dei frequentatori (personale, visitatori, pubblico, ecc.);
- presenza di impianti aeraulici e/o deumidificatori-condensatori evaporativi;
- condizioni dell'ambiente *outdoor* che può influenzare l'aria *indoor*.

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

- *Carica batterica psicrofila*
batteri che proliferano intorno ai 22°C (intervallo 15-30°C); fungono da indicatori di contaminazione microbica ambientale;
- *Carica batterica mesofila*
batteri con temperatura di crescita ottimale intorno ai 37°C (intervallo 25-40°C); segnalano contaminazioni di origine umana o animale;
- *Carica fungina*
comprende muffe e lieviti, utili indicatori ambientali perché spesso associati ad elevata umidità, presenza di polveri, e, in generale, a una qualità dell'aria non ottimale.

Nell'Appendice A sono riportati i riferimenti di qualità per i parametri microbiologici del *bioaerosol* in ambienti *indoor*, così come proposti dalla WHO, alcuni Paesi, Associazioni e dalla *European Collaborative Action* (ECA).

L'indagine può essere successivamente ampliata con un'analisi qualitativa, mirata a identificare specifici gruppi microbici in funzione degli obiettivi dell'indagine stessa. In particolare, è utile rilevare:

- batteri Gram-positivi, appartenenti al genere *Staphylococcus* spp. (con particolare attenzione alla presenza di *S. aureus*), frequentemente associati alla contaminazione di origine umana e batteri del genere *Streptococcus* spp., associati alla flora microbica della mucosa orale e faringea, il cui rilevamento segnala scarsa ventilazione dell'ambiente.
 - attinomiceti, indice di una scarsa qualità dell'aria poiché correlabili a polvere, umidità e ridotta ventilazione.
 - batteri Gram-negativi, noti per la produzione di endotossine. Tra questi, il genere *Pseudomonas* spp. – e in particolare *P. aeruginosa* – è rilevante data la sua capacità di sopravvivere e moltiplicarsi anche in ambienti ostili, offrendo indicazioni utili sulla qualità microbiologica dell'aria ambiente. Inoltre, la loro presenza può suggerire anche la possibile coesistenza di altri batteri Gram-negativi difficilmente coltivabili. Le *Enterobacteriaceae*, come *Escherichia coli* e *Klebsiella* spp., sono, infine, importanti indicatori di contaminazione fecale e, più in generale, dello stato igienico di un ambiente *indoor*; la loro presenza in un ufficio segnalerebbe una contaminazione significativa, evento raro se non in presenza di gravi criticità legate a scarichi fognari o a una pulizia inadeguata.
 - batteri Gram-negativi aerobi con caratteristiche specifiche, come *Legionella*, un genere ubiquitario, presente prevalentemente nell'acqua, comprendente più di 60 specie (sottospecie incluse) e circa 70 sierogruppi. Non tutte le specie sono state associate a patologie umane. *Legionella pneumophila* è la specie più frequentemente riscontrata nei casi clinici e include 15 sierogruppi; *L. pneumophila* sierogruppo 1 è la specie responsabile del 95% delle infezioni segnalate in Europa e dell'85% nel mondo. L'infezione si trasmette principalmente mediante inalazione, aspirazione o microaspirazione di aerosol contenente *Legionella*, oppure di particelle derivate per essiccamento, mentre è rarissima la trasmissione interumana (attualmente un solo caso documentato). La pericolosità di queste particelle è inversamente proporzionale alla loro dimensione dato che gocce di diametro inferiore a 5 µm arrivano più agevolmente alle basse vie respiratorie. *Bioaerosol* contenenti *Legionella* possono essere prodotti da impianti di climatizzazione, umidificatori e condensatori evaporativi, sezioni di umidificazione delle UTA/VMC nonché da impianti di distribuzione di acqua potabile, attraverso soffioni delle docce, rubinetti e fontane. Con il termine “legionellosi” si definiscono tutte le forme morbose causate da batteri del genere *Legionella*, che possono presentarsi come polmoniti anche gravi (e con tasso di mortalità variabile tra 10-15%), forme febbrili da infezioni extrapolmonari o infezioni subcliniche. Il rischio di contrarre la malattia è principalmente legato alla suscettibilità del soggetto esposto e all'intensità dell'esposizione, determinata dalla concentrazione di *Legionella* presente e dalla durata dell'esposizione. La legionellosi è soggetta a obbligo di notifica nella classe II secondo quanto stabilito dal DM 15 dicembre 1990 (dal 1983 è anche soggetta a un sistema di sorveglianza speciale con apposito Registro nazionale la cui sede è presso l'ISS (Ministero della Sanità, 1991; Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2015). Il riferimento di legge è costituito dal titolo X del DL.vo 81/2008 e s.m.i.: “Esposizione ad agenti biologici”; nel caso di *Legionella*, la sua presenza negli ambienti di lavoro non è correlata ad un'attività specifica; pertanto, l'esposizione viene generalmente classificata come non occupazionale; ciononostante, eventuali misure di prevenzione o protezione devono essere attuate dal datore di lavoro.
- In ambienti *indoor*, come gli uffici, la proliferazione di *Legionella* può verificarsi all'interno di varie componenti degli impianti aeraulici, soggette a umidità e ristagni di acqua, come nelle UTA/VMC. Le UTA/VMC sono dispositivi utilizzati per rinnovare (immettendo aria dall'esterno), trattare e far circolare l'aria degli ambienti, inserite quali parte di un sistema di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e aria condizionata

(indicati con l'acronimo HVAC). Questi sistemi complessi sono costituiti da diverse componenti progettate per filtrare, riscaldare, raffreddare, umidificare e deumidificare l'aria, creando condizioni ottimali per la salute e il comfort del personale. Oltre a svilupparsi nelle UTA, *Legionella* può proliferare nelle batterie, nelle pareti e nelle camere di umidificazione, nei ventilconvettori, nelle condutture dell'aria, sia in aspirazione che in mandata, nei filtri rotativi, a tasca e a pannello. Per prevenire la proliferazione di microrganismi patogeni come *Legionella* e i rischi sanitari ad essa connessi, è quindi fondamentale eseguire regolari operazioni di manutenzione igienica su tutte le parti del sistema aeraulico.

Attenzione particolare deve essere riservata a componenti quali le vaschette di umidificazione e i condotti di ventilazione che, finalizzati ad evitare l'eccessiva secchezza dell'aria, mantengono il livello di umidità ottimale in un ambiente chiuso. Inoltre, particolare cura deve essere rivolta ai sistemi di drenaggio atti alla rimozione dell'acqua di condensa e/o di accumuli di fluidi che, qualora non adeguatamente mantenuti e disinfettati, possono costituire un ambiente ideale per la crescita di *Legionella*. La proliferazione di questo microrganismo è infatti favorita da condizioni di elevata umidità e temperature comprese tra i 25 e i 45°C (Pan *et al.*, 2010; Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2015; UNI EN 13053:2020). Le UTA/VMC sono normalmente già certificate per le loro prestazioni, ma esistono anche versioni specifiche certificate come "igieniche". Queste UTA/VMC offrono le stesse funzioni di quelle tradizionali, ma sono adatte ad applicazioni che richiedono un elevato standard igienico che viene certificato in base a tre livelli di classificazione, in funzione delle diverse applicazioni. Gli uffici rientrano nella certificazione di Livello 1.

2.1.2. Virus negli uffici e ambienti simili

I virus costituiscono una delle principali cause di malattie infettive trasmesse negli ambienti chiusi, come gli uffici, in virtù della loro elevata capacità di diffusione e, in molti casi, della loro resistenza nell'ambiente. La trasmissione può avvenire per via aerea (es. IRP), per contatto diretto tra persone, soprattutto in contesti ad alta densità e con ricambio d'aria limitato o tramite superfici contaminate (es. fomite).

La valutazione della contaminazione virale in ambienti *indoor* presenta notevoli complessità. Non esistono, infatti, indicatori generici per i virus, poiché:

- esiste una grande varietà di famiglie e specie virali, con caratteristiche molto diverse in termini di stabilità ambientale, virulenza e modalità di trasmissione;
- la presenza di un virus non è indicativa della presenza di altri: ogni virus deve essere considerato un'entità a sé stante, con dinamiche di circolazione e concentrazione altamente variabili nello spazio e nel tempo;
- la patogenicità di un virus dipende anche dall'ospite e dal contesto epidemiologico, rendendo difficile definire soglie di rischio ambientale.

Di conseguenza, non è possibile definire parametri universali di contaminazione virale per ambienti *indoor*, né stabilire limiti di esposizione. Per questo motivo, la ricerca mirata di specifici virus viene solitamente attivata solo in situazioni critiche già note o conclamate, come nel caso di focolai epidemici – è il caso emblematico del SARS-CoV-2.

Nel corso degli ultimi decenni, numerosi virus appartenenti a famiglie diverse sono stati identificati sia nell'aria che sulle superfici di ambienti *indoor* di varia natura: edifici pubblici e privati, mezzi di trasporto (in particolare aerei), strutture sanitarie, caserme e altri luoghi ad alta densità di occupazione (La Rosa *et al.*, 2013). Diversi focolai epidemici sono stati associati a

questi ambienti, evidenziando come le condizioni microclimatiche, la ventilazione e la densità delle persone possano facilitare la trasmissione virale.

Tra i virus respiratori, il SARS-CoV-2 ha riportato con forza all'attenzione internazionale il problema della diffusione virale negli spazi *indoor*, come uffici, scuole, mezzi pubblici e strutture sanitarie. Numerosi studi hanno documentato la presenza di RNA virale di SARS-CoV-2 negli uffici e in altri ambienti *indoor* frequentati da persone infette (Paton *et al.*, 2022; Masoumbeigi *et al.*, 2020). Un'analisi condotta in Inghilterra ha esaminato i dati relativi ai focolai di SARS-CoV-2 nei luoghi di lavoro tra il 2020 e il 2022, rilevando che molte epidemie si sono verificate in ambienti *indoor* come uffici, magazzini e stabilimenti industriali (Overton *et al.*, 2024).

Uno studio condotto da *Health and Safety Executive* del Regno Unito ha documentato l'applicazione di misure di mitigazione del rischio di trasmissione del SARS-CoV-2 in contesti lavorativi reali, evidenziando l'importanza della ventilazione, il ruolo complementare delle mascherine e le difficoltà di mantenere il distanziamento fisico, soprattutto nei luoghi di produzione e negli uffici *open space* (Sandys *et al.*, 2024).

Una revisione sistematica condotta dal *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) statunitense ha sintetizzato oltre 270 studi chiave sulla trasmissione del SARS-CoV-2 nei luoghi di lavoro, evidenziando il ruolo centrale degli ambienti chiusi, come gli uffici, nella diffusione virale. Lo studio ha confermato che la trasmissione per via aerea è possibile e rilevante, soprattutto in spazi non adeguatamente ventilati. Inoltre, ha sottolineato i limiti delle tecniche di campionamento ambientale disponibili, spesso incapaci di rilevare virus vitali, e la necessità di sviluppare metodi più efficaci per valutare l'esposizione del personale (Cox *et al.*, 2023). L'esperienza pandemica ha messo in luce l'importanza di una strategia organica nella gestione del rischio con l'utilizzo in combinazione di tutte le misure protezione come la ventilazione, la gestione dei flussi d'aria, la sanificazione e l'organizzazione degli spazi di lavoro per contenere il contagio.

Di fronte a queste evidenze, numerose istituzioni sanitarie e ambientali hanno pubblicato raccomandazioni specifiche per la prevenzione della trasmissione virale in ambienti *indoor*.

La *U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA) e i *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) statunitensi hanno pubblicato una guida dedicata alla prevenzione della diffusione di virus respiratori negli spazi pubblici chiusi, sottolineando l'importanza di una ventilazione ottimale, dell'uso di filtri ad alta efficienza e, ove necessario, di purificatori d'aria portatili (USEPA, 2025; CDC, 2024).

Anche la WHO ha pubblicato un documento tecnico che evidenzia l'importanza degli interventi ingegneristici (ventilazione naturale o meccanica), delle misure comportamentali e dei protocolli di monitoraggio della qualità dell'aria *indoor* per ridurre il rischio di trasmissione virale nei luoghi chiusi (WHO, 2023; WHO, 2024a; WHO, 2024b).

In Italia, l'ISS ha pubblicato diversi documenti per rispondere alla necessità di un maggiore coordinamento in cui raccomanda un approccio basato su un set di azioni nella riduzione del rischio che devono far parte di una strategia organica di prevenzione e mitigazione del rischio e devono funzionare contemporaneamente e in modo complementare per risultare efficaci perché nessuna singola misura può ridurre da sola il rischio (quali ad esempio: controllo delle diverse sorgenti che caratterizzano l'ambiente, densità di occupazione, ricambi dell'aria naturali e di tipo meccanico, distribuzione dei flussi dell'aria in tutte le zone in modo efficace ed efficiente per evitare stratificazioni o assenza di miscelazione e correnti d'aria, filtrazione, misurazione della CO₂, temperatura, l'umidità relativa, tempi di funzionamento degli impianti di ventilazione meccanica, compresa la verifica periodica e controllo della qualità dell'aria *indoor*) (Gruppo di lavoro ISS Ambiente e Qualità dell'aria *indoor*, 2021; Settimo *et al.*, 2022).

Se il SARS-CoV-2 rappresenta l'esempio più recente e rilevante, esistono altri gruppi virali che possono essere trasmessi negli ambienti *indoor* e che meritano attenzione. La letteratura

scientifica ha documentato la presenza di virus come influenza, adenovirus, rhinovirus, enterovirus e norovirus in spazi chiusi come uffici, scuole, mezzi di trasporto e strutture comunitarie (La Rosa *et al.*, 2013). In questi contesti, la densità di occupazione, la ventilazione insufficiente e la persistenza dei virus su superfici e nell'aria rappresentano fattori di rischio ben noti (USEPA, 2025).

Nonostante ciò, mancano ancora metodi standardizzati per la rilevazione ambientale dei virus e soglie condivise per valutare il rischio di esposizione, limitando l'attuazione di strategie preventive efficaci nei luoghi di lavoro e negli ambienti pubblici.

2.1.3. Allergeni negli uffici e ambienti simili

L'esposizione agli allergeni *indoor* può verificarsi in tutti i luoghi chiusi, quindi anche negli uffici.

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 (Platts-Mills *et al.*, 2007; Ferguson, 2008).

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'ISS 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 (Brunetto *et al.*, 2009a; Brunetto *et al.*, 2009b).

Per il dosaggio di alcuni degli allergeni più diffusi sono disponibili in commercio kit ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*) 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 *indoor*, 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, 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 uffici.

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 il personale che lavora negli uffici.

L'approccio analitico è necessariamente preceduto dal sopralluogo e dalla raccolta di tutte le informazioni utili come per gli inquinanti chimici (vedi Appendice B).

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 *indoor* e altre saranno dovute all'apporto dell'aria *outdoor* tramite porte, finestre ed eventuali impianti di ventilazione. 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 ufficio, 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. La norma UNI EN ISO 16000-1 stabilisce i principi generali per la pianificazione e l'esecuzione di campagne di campionamento dell'aria negli ambienti chiusi. Essa definisce i criteri per l'identificazione degli obiettivi di misura, la scelta dei parametri da monitorare, la selezione delle tecniche di campionamento appropriate e la determinazione dei punti e dei tempi di prelievo. La norma sottolinea l'importanza di considerare le condizioni ambientali (temperatura, umidità, ventilazione, dimensione degli spazi, occupazione degli spazi) durante il campionamento per garantire dati rappresentativi e confrontabili. Fornisce inoltre indicazioni per la corretta documentazione delle attività svolte, al fine di assicurare la tracciabilità dei risultati.

In Tabella 2 si riportano le metodiche ISO 16000 *Indoor Air* recepite dal CEN e in parte dall'UNI e il *Rapporto ISTISAN 13/37* con cui effettuare la scelta dei punti di prelievo e i prelievi stessi, le tecniche analitiche da applicare.

Tabella 2. Norme UNI EN ISO per gli ambienti *indoor* specifiche per gli inquinanti biologici

Norma	Titolo
UNI EN ISO 16000	Aria in ambienti <i>indoor</i>
Parte 1	Aspetti generali della strategia di campionamento
Parte 16	Detection and enumeration of moulds — Sampling by filtration
Parte 17	Detection and enumeration of moulds — Culture-based method
Parte 18	Detection and enumeration of moulds — Sampling by impaction
Parte 19	Sampling strategy for moulds
Parte 20	Rilevazione ed enumerazione delle muffe - Determinazione del numero totale di spore
Parte 34	Strategies for the measurement of airborne particles
Parte 40	Sistema di gestione della qualità dell'aria <i>indoor</i>
Parte 41	Assessment and classification
UNI EN 13098	Esposizione nei luoghi di lavoro - Misurazione dei microorganismi aerodispersi e dei composti microbici - Requisiti generali
Rapporto ISTISAN 13/37	Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente <i>indoor</i>
UNI 11976	Ergonomia dell'ambiente fisico. Strumenti per la valutazione della qualità dell'aria interna

(in grigio le parti non ancora recepite in Italia dall'UNI)

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 così come specificato nella UNI EN ISO 16000-1:2006 e nel *Rapporto ISTISAN 13/37* (Bonadonna *et al.*, 2013) a cura del GdS-ISS Inquinamento *Indoor*.

Un campionamento ottimale dovrebbe consentire sia la determinazione del numero totale di particelle aerodiffuse PM che non si limita a una frazione di particelle per unità di volume d'aria (UFC/m³), sia il numero medio di cellule viventi (ISO 16000 part. 16-19, 34). 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 uffici, come del resto in tutti gli 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 dal 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, a temperatura e per tempi e prestabiliti, 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.

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 (ISO 16000 part. 16-18, 34).

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-UFC/m³ aria aspirata.

Esistono diverse tipologie di sistemi di campionamento attivo, basati su principi di funzionamento differenti: campionatori per impatto, per filtrazione, per gorgogliamento, a condensazione, a fluorescenza indotta da laser.

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 sospeso (mediante filtrazione, non è limitato a una frazione di particelle) 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 (ISO 16000 part. 16-18, 34). 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 d'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* (Bonadonna *et al.*, 2013).

Il sistema di campionamento più idoneo per il monitoraggio degli ambienti *indoor* è rappresentato dai campionatori attivi ad impatto 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 L, 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 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 negli uffici.

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. 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 (ISO 16000 parte 1, *Rapporti ISTISAN 13/4*, 13/37, 19/17 e 20/3) (Fuselli *et al.*, 2013; Bonadonna *et al.*, 2013; Settimo *et al.*, 2019; Settimo *et al.*, 2020a).

I campionatori attivi a condensazione possono essere largamente adottati per il rilevamento di microrganismi sensibili allo stress come particolari stipiti batterici e virus. Questa tipologia di aspiratori è costituita da una serie di dispositivi meccanici, come la pompa a vuoto, l'umidificatore, la fonte di riscaldamento, la fonte di liquido, l'amplificatore, la fonte di raffreddamento, ecc., ingegneristicamente alloggiati in un corpo meccanico trasportabile.

La condensazione richiama l'aria verso il campionatore tramite un sistema di vuoto e un umidificatore dotato di una fonte di calore che vaporizza il liquido, evitando la disattivazione dei microrganismi e delle particelle vitali. Successivamente l'aria satura di vapore acqueo viene sottoposta a un processo di condensazione in presenza di vapori supersaturi. La temperatura viene ridotta e dissipata all'interno del sistema di raffreddamento della sezione di amplificazione. La caratteristica importante di questa tecnica è che l'intero processo dura meno di un secondo, aumentando l'efficienza di recupero (Walls *et al.*, 2016). Tali apparecchiature sono progettate per simulare il sistema respiratorio e la funzione polmonare umana, permettendo di campionare il

bioaerosol respirabile. L'efficienza del campionamento è significativamente migliorata rispetto ad altre tipologie di campionatori ad aspirazione poiché il *range* dimensionale delle particelle è più ampio, variando da dimensioni minori di 10 nm a particelle maggiori di 10 µm. Inoltre, riducendo lo stress ossidativo sulle particelle campionate, la vitalità e la potenziale infettività del campione permane inalterata, così come permane preservato il DNA/RNA per un eventuale analisi genomica (Pan *et al.*, 2016; Lednicky *et al.*, 2016). Le apparecchiature a condensazione disponibili in commercio sono accessoriabili con dedicate vials per substrati liquidi o piastre di Petri, per substrati colturali agarizzati, e consentono la coltivazione dei microrganismi campionati.

La tecnica a fluorescenza indotta dal laser (*Laser-Induced Fluorescence*, LIF) permette di rilevare in tempo reale la presenza di microrganismi vitali nell'aria, identificando caratteristiche molecolari e permettendo la discriminazione di alcune specie selettive. Sebbene i campionatori d'aria attivi ad impatto forniscano, comunque, l'informazione riguardo la contaminazione e consentano anch'essi l'identificazione del microrganismo rilevato, non permettono di stabilire in tempo reale il momento preciso dell'avvenuta contaminazione né di risalire direttamente alla fonte. I nuovi dispositivi di rilevamento biologico basati su LIF superano queste limitazioni, offrendo una misurazione in tempo reale delle particelle vitali trasportate nell'aria e visualizzando i dati direttamente su un display locale o integrandoli in un *Facility Monitoring System* (FMS). Questo approccio consente un monitoraggio continuo, riducendo i tempi di risposta e migliorando la capacità di intervento in caso di contaminazione. I campioni ambientali raccolti vengono eccitati da un fascio laser di una specifica lunghezza d'onda (Zare, 2012). Le specie microbiche presenti si de-eccitano ed emettono luce in una frazione di secondo, che viene poi rilevata tramite un tubo fotomoltiplicatore o un fotodiodo, permettendo una quantificazione accurata e immediata.

Un ulteriore sviluppo tecnologico nel campo del rilevamento laser è rappresentato dalla tecnica di spettroscopia di emissione indotta da laser (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*, LIBS). Durante questo processo, un laser altamente energetico viene focalizzato su un'area specifica del campione, provocando un'ablazione localizzata che genera un plasma a temperature dell'ordine di 10^5 K (Anabitarte *et al.*, 2012). A temperature così elevate i materiali ablati si decompongono in stati eccitati e ionici, consentendo l'identificazione di taxa e specie microbiche attraverso l'analisi dello spettro emesso.

La commercializzazione di tale tecnologia per il rilevamento della contaminazione biologica dell'aria *indoor* è ampiamente diffusa nei sistemi produttivi farmaceutici, grazie ai suoi evidenti vantaggi: permette di analizzare tempestivamente le cause di contaminazione, ottimizzare i processi produttivi e adottare rapide azioni correttive.

2.2.2. Campionamento di virus

Per quanto riguarda i metodi per la ricerca dei virus negli ambienti *indoor*, allo stato attuale delle conoscenze, non esistono protocolli standard che descrivano metodi di campionamento dettagliati 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, 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. Questo è confermato da una revisione recente che sottolinea come la varietà di tecniche di campionamento e analisi genetica dei *bioaerosol* comporti una significativa variabilità nei risultati, rendendo difficile una valutazione uniforme e comparabile dei dati raccolti (Pogner *et al.*, 2024).

In linea generale, la strumentazione per il campionamento 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* sono quelli ad impatto su superficie liquida o *liquid impinger* che consentono di aspirare grandi volumi di aria a flusso controllato. I dispositivi più utilizzati per il campionamento dei virus sono gli impattatori AGI (*All-Glass Impingers*), come i sistemi AGI-30 e AGI-4.

Altri sistemi utilizzati per la 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*. 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 inoltre ridotti, i rischi di riaerosolizzazione delle particelle stesse.

Tipologie diverse di filtri possono essere utilizzate per la raccolta di virus in ambienti *indoor* mediante il metodo a filtrazione: filtri di cellulosa in politetrafluoroetilene (PTFE) o in policarbonato (Regan *et al.*, 2022). 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.

Un'altra tecnologia emergente è rappresentata dai precipitatori elettrostatici (*ElectroStatic Precipitators*, ESP) (Fukuda *et al.*, 2023; Kim *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2024), che sfruttano l'applicazione di un campo elettrico per catturare le particelle virali aerodisperse. Questa tecnica permette di evitare lo stress meccanico tipico di altri metodi, preservando l'integrità delle particelle raccolte e migliorando l'efficienza di recupero. Studi recenti hanno dimostrato che i precipitatori elettrostatici sono efficaci nel catturare virus respiratori e altri patogeni presenti negli aerosol *indoor*, con un rischio ridotto di danneggiamento delle particelle durante il processo di campionamento.

Sulla base di una recente *review* del 2024, è emerso come le tecnologie di campionamento di virus aerodispersi stiano evolvendo rapidamente, con l'introduzione di dispositivi più performanti e metodologie più efficaci. In particolare, i *cyclonic samplers* e i *bioaerosol samplers* di nuova generazione rappresentano un significativo passo avanti rispetto ai metodi tradizionali (Riesenberger *et al.*, 2024). Questi dispositivi consentono una maggiore concentrazione delle particelle virali, preservandone l'integrità durante il processo di campionamento e migliorando l'efficienza di recupero.

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 ad uso ufficio, sono quelle già in precedenza descritte: metodo attivo gravimetrico per aspirazione e metodo passivo per sedimentazione.

Negli ultimi anni è stato validato un nuovo metodo per il campionamento degli allergeni nell'aria che si basa sull'utilizzo di un dispositivo denominato Inspirotec, il quale unitamente al sistema di dosaggio degli allergeni *Multiplex Array for Indoor Allergens* (MARIA) facilita il rilevamento di un ampio spettro di allergeni presenti nell'aria. Inoltre, più recentemente è stato

sviluppato un ulteriore campionatore d'aria che si avvale dell'utilizzo di specifici filtri e può essere usato in associazione ai sistemi di dosaggio MARIA o ELISA, con la possibilità di rilevare, anche in questo caso, un ampio spettro di allergeni presenti nell'aria. Attualmente, a causa della novità di tali campionatori, non sono disponibili sufficienti dati in letteratura che consentano di ipotizzare un confronto con dati ottenuti mediante le metodiche precedenti.

Nei casi in cui si decida di effettuare un campionamento dell'aria, *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, soprattutto in passato, ne hanno limitato l'applicazione; il più rilevante è la disponibilità di campionatori d'aria standardizzati in grado di raccogliere in modo riproducibile un'ampia gamma di allergeni e, in secondo luogo, 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 ridotta e pertanto più difficilmente rilevabile.

Indipendentemente dalla tipologia di campionamento utilizzata è importante, in concomitanza al campionamento, raccogliere informazioni utili per meglio analizzare gli eventuali 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, 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 ricambi dell'aria naturale e meccanico, sul riscaldamento e raffrescamento) 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'adenosina-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 uffici, 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 UFC/cm².

Il metodo delle piastre a contatto non è adatto per la determinazione delle specie patogene, in quanto necessitano di fasi di pre-arricchimento 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 la superficie da saggiare con tamponi sterili. 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* (Bonadonna *et al.*, 2013).

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 slides, che, dopo il prelievo, vengono sottoposti a successiva eluizione (Julian *et al.*, 2011; Ganime *et al.*, 2015; Turnage *et al.*, 2017).

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 $\frac{1}{4}$).

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 migliore comprensione dello stato igienico dell'ambiente e dell'origine degli allergeni che vi si possono ritrovare. Se un lavoratore 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 all'ufficio. L'importanza del campionamento delle superfici è legata anche alla dimensione del PM aerodisperso su cui gli allergeni vengono trasportati, quelle con dimensioni che variano dai 5 ai 40 μ m, 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 della polvere-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 la polvere-PM raccolta 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/area/spazio dell'ufficio è opportuno selezionare in modo appropriato l'ambiente/area/spazio (o gli ambienti/aree/spazi) 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-PM 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 degli ambienti/aree/spazi da campionare dato che queste devono essere rappresentative della carica allergenica realmente presente nella polvere-PM sedimentata dell'ambiente/area/spazio campionato dell'ufficio. Dopo la fase di aspirazione della polvere-PM, si procede al distacco del beccuccio adattatore dal tubo dell'aspirapolvere e alla rimozione del filtro in esso contenuto. Il filtro contenente la polvere-PM si ripone nell'apposito contenitore (sacchetto di plastica). I beccucci adattatori possono essere lavati con comuni detergenti, accuratamente risciacquati con acqua corrente, ed essere riutilizzati per altri prelievi di polvere-PM.

È buona norma che i campioni siano trasportati a temperatura controllata ($5^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$) 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

2.4.1. Metodi di analisi per i batteri e i funghi

Un altro principale parametro per valutare la qualità dell'aria *indoor* è la concentrazione dei microrganismi raccolti nell'ambiente in condizioni vitali, ovvero 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 ($25-30^{\circ}\text{C}$ per $t > 24$ h), o di più ristretta origine umana ($30-37^{\circ}\text{C}$ per $t = 24$ h).

Negli ambienti ad uso ufficio, 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 $15^{\circ}\text{C}-37^{\circ}\text{C}$, 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, immunologiche e molecolari. 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. 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. Tuttavia, sebbene le tecniche molecolari abbiano il vantaggio di poter mettere in evidenza anche microrganismi

coltivabili con difficoltà, si tratta di tecniche ancora non standardizzate e 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 o molecolari. Questa metodica analitica può essere utilizzata non solamente a seguito del prelievo d'aria con campionatori filtranti e aspiranti dal liquido o dall'agar di raccolta di cui il campionatore viene dotato, ma anche per campioni raccolti da gorgogliamento e dopo eluizione 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 prosegue 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 uffici 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*, *Legionella* 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 uffici, 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 la ricerca di *Legionella* nel *bioaerosol*, non esiste una procedura standardizzata. Il metodo colturale di riferimento è la norma ISO 11731, standard internazionale per la ricerca di *Legionella* nelle acque che, tuttavia, non fornisce indicazioni su volumi d'aria, tipi di campionatori, o tempi ottimali di raccolta. Tale metodica può essere applicata al liquido di raccolta del *bioaerosol*, ma l'isolamento del microrganismo da questa matrice risulta complesso e può richiedere grandi volumi d'aria e campionamenti prolungati; per questo motivo, si preferisce generalmente ricercare *Legionella* nell'acqua degli umidificatori o nelle acque di condensa delle UTA piuttosto che direttamente nell'aria.

Per una descrizione più dettagliata e approfondita delle metodiche analitiche inerenti al *bioaerosol*, la scelta dei substrati colturali, le temperature e i tempi di incubazione, si rimanda al Rapporto ISTISAN 13/37 (Bonadonna *et al.*, 2013).

2.4.2. Metodi di analisi per i virus

Per il rilevamento dei virus negli uffici, come per altri ambienti *indoor*, le procedure successive al campionamento (aria o superfici) variano a seconda dell'obiettivo dell'analisi: l'individuazione di virus vitali richiede metodi colturali, mentre la ricerca di materiale genetico virale si basa su tecniche molecolari.

L'isolamento su colture cellulari è il metodo diagnostico tradizionale per rilevare virus vitali. La presenza di virus si manifesta attraverso alterazioni cellulari (effetto citopatico) come perdita della forma, ingrossamento, inclusioni cellulari e fenomeni di necrosi. Tuttavia, questa tecnica presenta alcune limitazioni: non esistono colture adatte per tutti i virus (es. norovirus, HAV, HEV) e i tempi di crescita possono variare da 1 a 4 settimane. Le tecniche molecolari, invece, basate sulla ricerca di sequenze del genoma virale, sono sempre più utilizzate per l'identificazione dei virus in ambienti *indoor*, grazie alla maggiore sensibilità rispetto ai metodi colturali.

Le tecniche maggiormente utilizzate si basano sull'amplificazione *in vitro* degli acidi nucleici mediante 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. Le nuove piattaforme di *Real-Time* PCR multiplex permettono di analizzare simultaneamente più virus respiratori, aumentando l'efficacia del monitoraggio ambientale (Zhou *et al.*, 2025; Li *et al.*, 2023; Zhang J *et al.*, 2022). Infine, le tecnologie di digital PCR (dPCR) stanno emergendo come il *gold standard* per la quantificazione assoluta di particelle virali nel campionamento ambientale. La capacità della dPCR di fornire una quantificazione assoluta e una maggiore sensibilità, la rende una tecnica promettente per il monitoraggio della qualità dell'aria e la valutazione del rischio di esposizione a patogeni virali in vari ambienti *indoor*, soprattutto per virus a bassa concentrazione (Kim *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2025). Oltre alla PCR tradizionale e alla *digital* PCR (dPCR), emerge di recente l'uso della metagenomica virale (Hall *et al.*, 2013; Kwok *et al.*, 2022). Questo approccio consente di ampliare significativamente la capacità di rilevamento e identificazione dei virus aerodispersi, superando i limiti dei metodi *target-specific*, che richiedono la conoscenza preventiva del virus da cercare.

2.4.3. Metodi di analisi per gli allergeni

Le procedure di analisi degli allergeni presenti negli uffici 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 (Bonadonna *et al.*, 2013).

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 sopranatante 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 ($\mu\text{g/g}$) 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 eventualmente presenti nei campioni estratti. 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. Se si vuole mettere a punto e convalidare tale metodica *in house*, il materiale di partenza necessario è un campione da utilizzare come 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. Attualmente, per le specie allergeniche *indoor* più comuni, gli anticorpi monoclonali/policlonali e i rispettivi allergeni da utilizzare come standard, sono disponibili in commercio al pari di tutti gli altri reagenti necessari (anticorpo secondario, tamponi per i lavaggi, substrato-cromogeno). La disponibilità di tutti i reagenti rende possibile, più facilmente rispetto al passato, lo sviluppo e la convalida di una metodica *in house*.

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 un'ulteriore fase di lavaggio, nei singoli pozzetti, viene introdotto a differenti concentrazioni l'antigene (allergene) presente nello standard a concentrazione nota (curva standard) e l'antigene eventualmente 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 tali 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 dallo sviluppo, ma anche dalla convalida del metodo ELISA quantitativo in base a quanto richiesto dalla linea guida ICH Q2 (R2) "Guideline on validation of analytical procedures" (Committee for Medicinal Products for Human Use, 2023). 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 che lo esegue, sia idoneo all'uso. Tale aspetto è fondamentale per fornire un reale supporto alla comunità scientifica e alle Autorità Regolatorie. Infatti, è importante ottenere 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

- Allen JG, MacNaughton P, Satish U, Santanam S, Vallarino J, Spengler JD. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environ Health Perspect.* 2016;124(6):805–812.
- Anabitarte F, Cobo A, Lopez-Higuera JM. Laser-induced breakdown spectroscopy: fundamentals, applications, and challenges. *ISRN Spectrosc.* 2012; 1:12 pages. <https://doi.org/10.5402/2012/285240>
- 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 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).
- 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* 2009a;45(4):409-14.
- 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* 2009b;45(4):415-22.
- Campagnolo D, Saraga DE, Cattaneo A, Spinazzè A, Mandin C, Mabilia R, Perreca E, Sakellaris J, Canha N, Mihucz VG, Szigeti T, Ventura G, Madureira J, de Oliveira Fernandes E, de Kluizenaar Y, Cornelissen E, Hänninen O, Carrer P, Wolkoff P, Cavallo DM, Bartzis JG. VOCs and aldehydes source identification in European office buildings—The OFFICAIR study. *Building and Environment.* 2017 Apr;115:18-24.
- CDC. *About ventilation and respiratory viruses*. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention; 2024.
- Cedeño Laurent JG, MacNaughton P, Jones E, Young AS, Bliss M, Flanigan S, Vallarino J, Chen LJ, Cao X, Allen JG. Associations between acute exposures to PM_{2.5} and carbon dioxide *indoors* and cognitive function in office workers: a multicountry longitudinal prospective observational study. *Environ Res Lett.* 2021;16:094047.
- Committee for Medicinal Products for Human Use. *ICH Q2(R2) Guideline on Validation of Analytical Procedures*. Amsterdam: European Medicines Agency; 2023. (EMA/CHMP/ICH/82072/2006)
- Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Provincie autonome di Trento e Bolzano. Accordo 27 settembre 2001 tra il Ministro della salute, le regioni e le provincie autonome concernente: “Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati”. *Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale* n. 286 del 27 novembre 2001 - Serie generale.
- Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome. *Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti e standard. Indicazioni operative e progettuali. Linee Guida*. Roma: Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro; 2006.
- Cox J, Christensen B, Burton N, Dunn KH, Finnegan M, Ruess A, Estill C. Transmission of SARS-CoV-2 in the workplace: key findings from a rapid review of the literature. *Aerosol Sci Technol.* 2023;57(3):233-254. <https://doi.org/10.1080/02786826.2023.2166394>
- Dacarro C, Grignani E, Lodola L, Grisoli P, Cottiga B. Proposta di indici microbiologici per la valutazione della qualità dell'aria degli edifici. *G Ital Med Lav Er.* 2000;22(3):229-235.
- Didwania N, Joshi M. Mycotoxins: A critical review on occurrence and significance. *Int J Pharm Pharm Sci.* 2013;5:1005-10.

- 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.
- Felgueiras F, Mourão Z, Moreira A, Fonseca MF. Indoor environmental quality in offices and risk of health and productivity complaints at work: a literature review. *J Hazard Mater Adv.* 2023;10:100314. doi:10.1016/j.hazadv.2023.100314
- Ferguson BJ. Environmental controls of allergies. *Otolaryngol Clin North Am.* 2008;41: 411-7.
- Fukuda K, Baba H, Yoshida M, Kitabayashi K, Katsushima S, Sonehara H, Mizuno K, Kanamori H, Tokuda K, Nakagawa A, Mizuno A. Novel virus air sampler based on electrostatic precipitation and air sampling of SARS-CoV-2. *Microorganisms.* 2023 Apr 4;11(4):944. doi:10.3390/microorganisms11040944.
- Fuselli S, Pilozi 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).
- Ganime AC, Leite JP, De Abreu Corrêa A, Melgaço FG, Carvalho-Costa FA, Miagostovich MP. Evaluation of the swab sampling method to recover viruses from fomites. *J Virol Methods.* 2015 Jun 1;217:24-27. doi: 10.1016/j.jviromet.2015.02.009.
- Gollakota ARK, Gautam S, Santosh M, Sudan HA, Gandhi R, Jebadurai VS, Shu CM. Bioaerosols: Characterization, pathways, sampling strategies, and challenges to geo-environment and health. *Gondwana Res.* 2021;99:178-203.
- 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.
- Gruppo di lavoro ISS Ambiente e Qualità dell'aria indoor. *Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2. Aggiornamento del Rapporto ISS COVID-19 n. 5/2020 Rev. 2. Versione del 18 aprile 2021.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2021. (Rapporto ISS COVID-19, n. 11/2021).
- Hall RJ, Leblanc-Maridor M, Wang J, Ren X, Moore NE, Brooks CR, Peacey M, Douwes J, McLean DJ. Metagenomic detection of viruses in aerosol samples from workers in animal slaughterhouses. *PLoS One.* 2013;8(8):e72226. doi:10.1371/journal.pone.0072226.
- ISO 11731:2017. *International Standard for Water Quality – Enumeration of Legionella.* Geneva: International Organization for Standardization; 2017.
- Italia. Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81. Testo coordinato con il Decreto legislativo 3 agosto 2009, n. 106 Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro. Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. *Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008 - Suppl. Ordinario n. 108.* (Decreto integrativo e correttivo: *Gazzetta Ufficiale n. 180 del 05 agosto 2009 - Suppl. Ordinario n. 142/L*).
- Julian TR, Tamayo FJ, Leckie JO, Boehm AB. Comparison of surface sampling methods for virus recovery from fomites. *Appl Environ Microbiol.* 2011;77(19):6918–6925.
- Kim H, An S, Hwang M, Lee S, Lee J, Kim J. Detection of SARS-CoV-2 in aerosol samples using droplet digital PCR (ddPCR): a comparison with real-time PCR. *Environ Sci Technol.* 2023;57(1):301–308.
- Kim HR, An S, Hwang J. High air flow-rate electrostatic sampler for the rapid monitoring of airborne coronavirus and influenza viruses. *J Hazard Mater.* 2021;412:125219. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.125219.
- 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.
- Kim KH, Kabir E, Jahan SA. Airborne bioaerosols and their impact on human health. *J Environ Sci (China).* 2018;67:23-35. doi: 10.1016/j.jes.2017.08.027.

- Kwok KTT, de Rooij MMT, Messink AB, Wouters IM, Smit LAM, Cotten M, Heederik DJJ, Koopmans MPG, Phan MVT. Establishing farm dust as a useful viral metagenomic surveillance matrix. *Sci Rep*. 2022;12(1):16308. doi:10.1038/s41598-022-20701-x.
- 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):124–132.
- Lednicky J, Pan M, Loeb J, Hsieh H, Eiguren-Fernandez A, Hering S, Fan ZH, Wu CY. Highly efficient collection of infectious pandemic influenza H1N1 virus (2009) through laminar-flow water based condensation. *Aerosol Sci Technol*. 2016;50(7):i–iv. doi:10.1080/02786826.2016.1179254.
- Lee J, Park C, Jang J. Improved measurement of airborne viruses using a two-stage highly virus-enriching electrostatic particle concentrator with electric-field-enhancing wire electrodes. *J Hazard Mater*. 2024 Nov 5;479:135747. doi:10.1016/j.jhazmat.2024.135747.
- Li H, Wang X, Wang L, Li T, Chen S. Environmental surveillance of respiratory viruses using multiplex qPCR: applications in public spaces. *Environ Monit Assess*. 2023;195(3):432.
- Li Y, Xu L, Shan C, Wu Z, Wang X. Application of digital PCR in the quantification of airborne viral pathogens in hospital settings. *J Aerosol Sci*. 2022;162:105977.
- Macher J (Ed.). *Bioaerosols: assessment and control*. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 1999.
- Masoumbeigi H, Ghanizadeh G, Yousefi Arfaei R, Heydari S, Goodarzi H, Dorostkar Sari R, Tat M. Investigation of hospital *indoor* air quality for the presence of SARS-CoV-2. *J Environ Health Sci Eng*. 2020; Sep 30;18(2):1259-63. doi:10.1007/s40201-020-00543-3.
- Mendell MJ, Naco GM, Wilcox TG, Sieber WK. Environmental risk factors and work-related lower respiratory symptoms in 80 office buildings: an exploratory analysis of NIOSH data. *Am J Ind Med*. 2023;43(6):630–641. doi:10.1002/ajim.10211.
- Ministero della Sanità. Decreto 15 dicembre 1990, Sistema Informativo delle malattie infettive e diffusive. *Gazzetta Ufficiale, Serie Generale* n. 6 dell'8 gennaio 1991.
- Morantes G, Ibeas IL, Molina C, Sherman MH, Babich F, Jones B. Harm from *indoor* air contaminants in offices. *Building and Environment*. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113365>.
- Nynäs P, Vilpas S, Kankare E, Karjalainen J, Lehtimäki L, Numminen J, Tikkaoski A, Kleemola L, Huhtala H, Uitti J. Multiple chemical sensitivity in patients exposed to moisture damage at work and in general working-age population—The SAMDAW Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Nov 23;18(23):12296. doi:10.3390/ijerph182312296.
- Overton CE, Abbey R, Baird T, Christie R, Daniel O, Day J, Gittins M, Jones O, Paton R, Tang M, Ward T, Wilkinson J, Woodrow-Hill C, Aldridge T, Chen Y. Identifying employee, workplace and population characteristics associated with COVID-19 outbreaks in the workplace: a population-based study. *Occup Environ Med*. 2024; Feb 2;81(2):92-100. doi: 10.1136/oemed-2023-109032.
- Pan LJ, Zhang BY, Chen XD, Zhou TS, Wang JQ. Research on Legionella bioaerosol monitoring method in central air conditioning ventilation system. *J Environ Health*. 2010;3:2.
- Pan M, Eiguren-Fernandez A, Hsieh H, Afshar-Mohajer N, Hering SV, Lednicky J, Fan ZH, Wu CY. Efficient collection of viable virus aerosol through laminar-flow, water-based condensational particle growth. *J Appl Microbiol*. 2016 Mar 1;120(3):805–815. doi:10.1111/jam.13051.
- Paton S, Clark S, Spencer A, Garratt I, Dinesh I, Thompson KA, Bennett A, Pottage T. Characterisation of particle size and viability of SARS-CoV-2 aerosols from a range of nebuliser types using a novel sampling technique. *Viruses*. 2022 Mar 19;14(3):639. doi:10.3390/v14030639.
- Platts-Mills T, Leung DYM, Schatz M. The role of allergens in asthma. *Am Fam Physician*. 2007;76: 675-80.
- Pogner CE, Antunes C, Apangu GP, Bruffaerts N, Celenk S, Cristofori A, González Roldán N, Grinn-Gofroñ A, Lara B, Lika M, Magyar D, Martinez-Bracero M, Muggia L, Muyshondt B, O'Connor D,

- Pallavicini A, Marchã Penha MA, Pérez-Badia R, Ribeiro H, Rodrigues Costa A, Tischner Z, Xhetani M, Ambelas Skjøth C. Airborne DNA: State of the art - Established methods and missing pieces in the molecular genetic detection of airborne microorganisms, viruses and plant particles. *Sci Total Environ*. 2024 Dec 20;957:177439. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.177439.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri. *Accordo tra il Governo, le Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano, ai sensi degli articoli 2, comma 1, lett. b) e 4, comma 1, del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281, sul documento recante "Linee guida per la prevenzione e il controllo della Legionellosi"*. Roma: Presidenza del Consiglio dei Ministri; 2015.
- Regan DP, Fong C, Bond ACS, Desjardins C, Hardcastle J, Hung SH, Holmes AP, Schiffman JD, Maginnis MS, Howell C. Improved recovery of captured airborne bacteria and viruses with liquid-coated air filters. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2022 Nov 16;14(45):50543–50556. doi:10.1021/acsami.2c14754.
- Riesenberger B, Rodriguez M, Marques L, Cervantes R, Gomes B, Dias M, Pena P, Ribeiro E, Viegas C. Filling the knowledge gap regarding microbial occupational exposure assessment in waste water treatment plants: a scoping review. *Microorganisms*. 2024 Jun 4;12(6):1144. doi:10.3390/microorganisms12061144.
- Salthammer T, Morrison GC. Temperature and indoor environments. *Indoor Air*. 2022 May;32(5):e13022. doi: 10.1111/ina.13022.
- Sandys V, Simpson A, Keen C, Chen Y. Managing SARS-CoV-2 transmission risk in workplace COVID-19 outbreaks. *Ann Work Expo Health*. 2024;68(9):982–991. doi:10.1093/annweh/wxae070.
- Santarsiero A, Musmeci L, Ricci A, Corasaniti S, Coppa P, Bovesecchi G, Merluzzi R, Fuselli S per il Gruppo di Studio Nazionale sull’Inquinamento Indoor. *Parametri microclimatici e inquinamento indoor*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2015. (Rapporti ISTISAN 15/25).
- Settimo G, Bertinato L, Martuzzi M, Inglessis M, D’Ancona F, Soggiu ME, Brusaferrò S. *Nota tecnica ad interim. Monitoraggio della CO₂ per prevenzione e gestione negli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell’infezione da virus SARS-CoV-2*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2022.
- Settimo G, Bonadonna L, Gherardi M, di Gregorio, Cecinato A, per il Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. *Qualità dell’aria indoor negli ambienti sanitari: strategie di monitoraggio degli inquinanti chimici e biologici*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2019. (Rapporti ISTISAN 19/17).
- 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; 2020a. (Rapporti ISTISAN 20/3).
- Settimo G, Manigrasso M, Avino P. Indoor air quality: A focus on the european legislation and state-of-the-art research in Italy. *Atmosphere*. 2020b;11(4):370.
- 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.
- 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).
- Settimo G, Yu Y, Gola M, Buffoli M, Capolongo S. Challenges in IAQ for Indoor Spaces: A Comparison of the Reference Guideline Values of Indoor Air Pollutants from the Governments and International Institutions. *Atmosphere*. 2023 Apr;14(4):633.
- Settimo G. Attività del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. *Notiziario Istituto Superiore Sanità* 2017;30(4):3-7.
- Settimo G. Inquinamento dell’aria in ambienti confinati: orientamenti e valutazioni in campo nazionale e comunitario. In: Fuselli S, Musmeci L, Pilozi 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). p. 7-20.
- Settimo G. La qualità dell'aria in ambienti confinati: nuovi orientamenti nazionali e comunitari. *Notiziario Istituto Superiore di Sanità* 2012;25(5):7-10.
- 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.
- 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 Jan;135(1):110-22.
- Turnage NL, Gibson KE. Sampling methods for recovery of human enteric viruses from environmental surfaces. *J Virol Methods.* 2017 Oct;248:31-38. doi: 10.1016/j.jviromet.2017.06.008.
- UNI EN 12341:2023. *Aria ambiente - Metodo gravimetrico di riferimento per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso PM₁₀ o PM_{2.5}.* Milano: Ente Italiano di Normazione; 2023.
- UNI EN 13053:2020. *Ventilazione degli edifici – Unità di trattamento dell'aria. Classificazioni e prestazioni per le unità, i componenti e le sezioni.* Milano: Ente Italiano di Normazione; 2020.
- UNI EN 16798-1:2019. *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica - Modulo M1-6.* Milano: Ente Italiano di Normazione; 2019.
- UNI EN ISO 16000-1:2006. *Aria in ambienti confinati - Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento.* Milano: Ente Italiano di Normazione; 2006.
- USEPA. *Preventing the spread of respiratory viruses in public indoor spaces.* Washington, DC: United States Environmental Protection Agency; 2025. Disponibile all'indirizzo: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/preventing-spread-respiratory-viruses-public-indoor-spaces>; ultima consultazione 20/7/25.
- Wallenius K, Hovi H, Remes J, Mahiout S, Liukkonen T. Volatile organic compounds in Finnish office environments in 2010–2019 and their relevance to adverse health effects. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19(7):4411. doi:10.3390/ijerph19074411.
- Walls HJ, Ensor DS, Harvey LA, Kim JH, Chartier RT, Hering SV, Spileman SR, Lewis, G. S. Generation and sampling of nanoscale infectious viral aerosols. *Aerosol Science and Technology*, 2016; 50(8), 802–811. <https://doi.org/10.1080/02786826.2016.1191617>.
- WHO Regional Office for Europe. *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants.* Copenhagen: WHO Europe, 2010.
- WHO. *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.* WHO European Centre for Environment and Health Bonn, 2021.
- WHO. *Infection prevention and control in the context of coronavirus disease (COVID-19): a living guideline*, 9 October 2023. Geneva: World Health Organization; 2023.
- WHO. *Indoor airborne risk assessment in the context of SARS-CoV-2. Description of airborne transmission mechanism and method to develop a new standardized model for risk assessment.* Geneva: World Health Organization; 2024a.
- WHO. *Global technical consultation report on proposed terminology for pathogens that transmit through the air.* Geneva: World Health Organization; 2024b.

- Wyron DP. The effects of *indoor* air quality on performance and productivity. *Indoor Air* 2004; 14 (Suppl 7): 92-101.
- Zare RN. My life with LIF: a personal account of developing laser-induced fluorescence. *Annu Rev Anal Chem* (Palo Alto Calif). 2012;5:1-14. doi: 10.1146/annurev-anchem-062011-143148.
- Zhang C, Dai X, Gebrezgiabhier T, Wang Y, Yang M, Wang L, *et al.* Navigating the aerosolized frontier: a comprehensive review of bioaerosol research post-COVID-19. *Atmosphere*. 2024;15(4):404.
- Zhang J, Wang W, Yang M, Lin J, Xue F, Zhu Y, Yin X. Development of a one-step multiplex Real-Time PCR Assay for the detection of viral pathogens associated with the bovine respiratory disease complex. *Front Vet Sci*. 2022; Jan 26;9:825257. doi: 10.3389/fvets.2022.825257.
- Zhou Y, Liang C, Long Z, Fan L, Wang Y, Wang Z, Yang X, Ye P, Lin J, Shi W, Yan H, Liu L, Qian J. Multiplex real-time reverse transcription recombinase-aided amplification assay for the detection of SARS-CoV-2, influenza A virus, and respiratory syncytial virus. *Microbiol Spectr*. 2025; Jun 3;13(6):e0275924. doi: 10.1128/spectrum.02759-24.

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

A1. PRINCIPALI INQUINANTI: rischio unitario* e valori guida/riferimento di qualità dell'aria *indoor*** fissati da WHO e alcuni Paesi europei

Inquinante unità di misura	WHO	Francia	Germania	Paesi Bassi	Regno Unito	Belgio Regione fiannminga	Finlandia	Austria	Portogallo	Norvegia	Lituania	Polonia
Benzene µg/m ³	No VG UR/lifetime 0,17 (10 ⁻⁶) 1,7 (10 ⁻⁵)	30 (24 h) 10 (1 a) AR 10 LP 2 da 1/1/2018 UR/lifetime 0,2 (10 ⁻⁶) 6 (10 ⁻⁵)	No VG UR/lifetime 4,5 (10 ⁻⁶) (provvisorio)	20	No VG UR/lifetime 0,17 (10 ⁻⁶) 1,7 (10 ⁻⁵)	0,4 se CE ≤0,4 µg/m ³ in qualsiasi altro caso CE: VI	–	–	5 (8 h)	--	10 (24 h)	20 (8 h)
Biossido di azoto µg/m ³	25 (24 h) 10 (1 a)	200 (1 h) 20 (1 a)	RW I 80 (1 h) RW II 250 (1 h)	200 (1 h) 40 (1 a)	200 (1 h) 40 (1 a)	20 (1 a) VI 40	–	–	–	200 (1 h) 100 (24 h)	85 (1 h) 40 (24 h)	–
Dicloro- metano µg/m ³	3000 (24 h) 450 (7 gg)	–	RW I 200 (24 h) RW II 2000 (24 h)	200 (1 a)	–	–	–	–	–	–	8800 (1 h) 3000 (24 h)	–
Formaldeide µg/m ³	100 (30 min)	10 (1 a) AR 100 LP 10	100	120 (30 min) 10 (1 a) LP 1,2	100 (30 min) 10 (1 a)	VI 100	100 (30 min) 50 (1 a)	100 (30 min) 60 (24 h)	100 (8 h)	100 (30 min)	100 (1 h) 10 (24 h)	100 (8 h)
IPA (BaP) ng/m ³	No VG UR/lifetime 0,012 (10 ⁻⁶) 0,12 (10 ⁻⁵)	No VG	No VG UR/lifetime 0,80 (10 ⁻⁶) (provvisorio)	1,2	No VG	0,012 (1 a) VI 0,1	–	–	–	–	1 (24 h)	–
Monossido di carbonio mg/m ³	4 (24 h) 7 (24 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 35 (1 h) 10 (8 h) 4 (24 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	8 (24 h)	7 (1 min)	–	10 (8 h)	96 (15 min) 25 (1 h) 10 (8 h)	5 (1 h) 3 (24 h)	10 (8 h)
Naftalene µg/m ³	10 (1 a)	10 (1 a)	RW I 10 (7 gg) RW II 30 (7 gg)	25	3 (1 a)	3 (1 a) VI 31	10	–	–	–	3 (1 h) 3 (24 h)	150 (8 h)

Inquinante unità di misura	WHO	Francia	Germania	Paesi Bassi	Regno Unito	Belgio Regione fiamminga	Finlandia	Austria	Portogallo	Norvegia	Lituania	Polonia
Ozono µg/m ³	60 (8 h) se CE media semestrale giornaliera massima 100 (8 h) se CE media semestrale mobile	-	-	25	100 (8 h)	40 (8 h) VI 78	-	60 4 volte/g 15 min a intervalli di 1 h consentiti 70 (24 h)	-	-	160 (1h) 30 (24 h)	150 (8 h)
PM₁₀	45 (24 h) 15 (1 a)	50 (24 h) 20 (1 a) AR 75 LP 15	-	50 (24 h) 20 (1 a)	-		50 (24 h)	-	50 (8 h)	90 (8 h)	50 (24 h)	-
PM_{2.5}	15 (24 h) 5 (1 a)	25 (24 h) 10 (1 a) AR 50 LP 10	15 (24 h)	25 (24 h) 10 (1 a)	-	10 (1 a)	25 (24 h)	-	25 (8 h)	40 (8 h)	40 (24 h)	-
Stirene µg/m ³	260 (7 gg) 70 (30 min)	-	RW I 30 (7 gg) RW II 300 (7 gg)	900	850 (1 a)	260 (1 a) VI 2500	40	40 (7 gg) 10 (1 h)	-	--	40 (1 h) 2 (24 h)	30 (8 h)
TCOV µg/m ³	-	-	-	200 (1 a)	300 (8 h)	300 (1 a) VI 1000	400	<250 (1 a) A consegna di lavori di costruzione: 500-1000 → probabili sorgenti specifiche 100-300 → presenti sorgenti specifiche 300 → dopo completamento	600 (8 h)	400	400	-

Inquinante unità di misura	WHO	Francia	Germania	Paesi Bassi	Regno Unito	Belgio Regione fiannminga	Finlandia	Austria	Portogallo	Norvegia	Lituania	Polonia
Tetracloro- etilene µg/m³	250 (1 a) 8000 (30 min)	1380 (1-14 gg) 400 (1 a) UR/lifetime 40 (10 ⁻⁵)	-	250	40 (24 h)	4 (1 a) VI 38	-	250 (7 gg)	-	-	500 (1 h) 60 (24 h)	-
Toluene µg/m³	260 (7 gg) 1000 (30 min)	20000 (1 a)	RW I 300 (1-14 gg) RW II 3000 (1-14 gg)	200 (1 a)	15000 (8 h) 2300 (24 h)	5000 (1a) VI 14000	-	75 (1 h)	-	-	600 (1 h) 600 (24 h)	250 (8 h)
Tricloro- etilene µg/m³	No VG UR/lifetime 2,3 (10 ⁻⁵) 23 (10 ⁻⁵)	AR 50 UR/lifetime 10 (10 ⁻⁵)	UR/lifetime 20 (10 ⁻⁶)	-	No VG UR/lifetime 2,1 (10 ⁻⁶) 21 (10 ⁻⁵)	0,2 (1 a) VI 2,5	-	-	-	-	4000 (1 h) 1000 (24 h)	200 (8 h)

* Rischio unitario (**UR/lifetime**, Unit Risk, per l'intero tempo di vita). 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 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.

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

AR: Azione Rapida

CE: Concentrazione Esterna

LP: Lungo Periodo

No VG: No Valore Guida

VI: Valore Intervento

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

Fonti

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).

Settimo G, Yu Y, Gola M, Buffoli M, Capolongo S. Challenges in IAQ for indoor spaces: a comparison of the reference guideline values of indoor air pollutants from the Governments and International Institutions. *Atmosphere*. 2023 Apr;14(4):633.

A2. AGENTI BIOLOGICI: riferimenti di qualità *indoor* per il bioaerosol fissati da WHO, alcune Associazioni internazionali e Paesi europei e non

Agenti biologici UFC/m ³	WHO ^a	ECA ^b	ACGIH ^c	IAQA ^d	Cina ^e	Federazione Russa ^f	Germania ^g	Polonia ^h	Polonia ⁱ	
	R	UP	R	R	R	R	R	UP	R	UP
Batteri Gram positivi	-	-	-	-	-	-	>1000 → rischio per la salute	-	-	-
Batteri totali	-	<50 (MB) <100 (B) <500 (M) <2.000 (A) >2.000 (MA)	<100 (MB) <500 (B) <2500 (M) <10.000 (A) >10.000 (MA)	-	<2500	-	-	-	≤1000	≤7000
Funghi totali (muflie)	0 (patogeni) >50 (se presente una sola specie) → procedure correttive ≤150 (se presenti diverse specie) → accettabile >500 (se presente Cladosporium o altri funghi delle piante) → accettabile	<25 (MB) <100 (B) <500 (M) <2.000 (A) >2.000 (MA)	<50 (MB) <200 (B) <1000 (M) <10.000 (A) >10.000 (MA)	>300 (se specie fungine comuni)	-	1000-10.000 (in relazione alla specie)	>500 (se presente anche una sola specie patogena) → rischio per la salute >10.000 → rischio per la salute	>100 → non contaminato Rapporto concentrazioni indoor/outdoor <1 (se presente stessa specie/genere) → non contaminato	10	10.000

^a WHO. *Indoor air quality: biological contaminants: report on a WHO meeting, Rautavaara, 29 August–2 September 1988*. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe, 1990. (WHO Regional Publications, European Series; 31).

^b ECA-European Collaborative Action on Indoor Air Quality and its Impact on Man. *Biological particles in indoor environments*. Luxembourg: Office for Official Publications of European Communities; 1993. (Report 12).

^c ACGIH. *Guidelines for the assessment of bioaerosols in the indoor environment*. Cincinnati, Ohio: American Conference of Governmental Industrial Hygienists ACGIH, 1989.

^d IAQA- Indoor Air Quality Association. *Indoor air quality assessment*. The Hague: Ministry of Social Affairs and Employment, Directorate General of Labor; 1989. (Report RA 8.90).

^e Cina: Committee for Hygiene and Epidemiology. *Hygienic norm for indoor air quality*. Beijing: Division of regulation and supervision of Ministry of Health, 2001. No.255

^f Federazione Russa: State Committee for Hygiene and Epidemiological Surveillance. Standards and guidelines for indoor air quality: Moscow Russian Federation; 1993

^g Germania: Steering Committee on Indoor Air Quality. Indoor Air Quality Guidelines. Berlin, 1999.

^h Polonia: Expert Committee on Indoor Air Quality. *Indoor air quality standard*. Warsaw: Ministry of Health of Poland; 2001.

ⁱ Polonia: Committee on Indoor Air Quality. *Indoor Air Quality Guidelines*. Warsaw: Central Institute for Labour Protection; 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/appartamenti/ambienti degli uffici 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
Piano	☐ terra ☐ piano	
Porte a tenuta:	☐ sì	☐ no
Porte tenute	☐ chiuse	☐ aperte
Finestre esposte a:	☐ sud	☐ nord ☐ ovest ☐ est
Finestra apribile senza nessun ostacolo	☐ sì	☐ no
Modalità apertura Finestra	vasistas/ribalta	☐ sì ☐ no
	a battente singola anta	☐ sì ☐ no
	a battente a due ante	☐ sì ☐ no
	a battente e vasistas	☐ sì ☐ no
	scorrevole	☐ sì ☐ no
	automatica "intelligente"	☐ sì ☐ no
Finestra/e con vetri isolanti	☐ sì	☐ no
Finestre a tenuta	☐ sì	☐ no
Ampiezza finestra singola		m
Ampiezza finestre multipla		m
Presenza di schermature (es. tende da sole, ecc.)	☐ sì	☐ no
Balconi esposti a:	☐ sud ☐ nord ☐ ovest ☐ est	
Balconi apribili	☐ sì	☐ no
Balconi che possono essere aperte senza nessun ostacolo	☐ sì	☐ no
Modalità apertura Balconi	vasistas/ribalta	☐ sì ☐ no
	a battente singola anta	☐ sì ☐ no
	a battente a due ante	☐ sì ☐ no
	a battente e vasistas	☐ sì ☐ no
	scorrevole	☐ sì ☐ no

Balconi con vetri isolanti	☐ sì	☐ no
Presenza di schermatura esterna (es. tende da sole, ecc.)	☐ sì	☐ no
Muri esterni esposti a:		
	☐ sud	☐ nord
	☐ ovest	☐ est
Presenza di sistema di ventilazione meccanica generale	☐ sì	☐ no
Presenza di sistema di ventilazione meccanica autonomo in ogni area di lavoro	☐ sì	☐ no
Presenza di bocchette, diffusori o griglie di ripresa e di mandata	☐ sì	☐ no
Ambiente climatizzato	☐ sì	☐ no
Deviatori di aria su bocchette o griglie di mandata dei sistemi di ventilazione o sui <i>fancoil</i> o split	☐ sì	☐ no
Certificazione di prestazione energetica	☐ sì	☐ no
Umidità visibile	☐ sì	☐ no
Infiltrazioni visibili	☐ sì	☐ no
Presenza di muffe visibili nelle pareti	☐ sì	☐ no
Presenza di fotocopiatrici, stampanti laser	☐ sì	☐ no
Presenza di garage integrato nell'edificio	☐ sì	☐ no
Presenza di parassiti (roditori, insetti, ecc.)	☐ sì	☐ no
Presenza area fumatori	☐ sì	☐ no
Presenza di gabinetti/docce	☐ sì	☐ no
Presenza di cucina	☐ sì	☐ no
Presenza di fiori	☐ sì	☐ no
Presenza di tende interne	☐ sì	☐ no
Presenza di purificatori aria	☐ sì	☐ no
Presenza di fumatori	☐ sì	☐ no
Presenza deodoranti	☐ sì	☐ no
Presenza di verde/vegetazione	☐ sì	☐ no

Informazioni sull'edificio/appartamento e sull'area che ospita l'ufficio

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

Aeroporto o porto ☐ sì ☐ no

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

Finestre

Le finestre sono presenti:

☐ sì ☐ no se sì, età (anni)
in cattivo stato ☐ sì ☐ no

Modalità apertura finestra	vasistas/ribalta	☐ sì	☐ no
	a battente singola anta	☐ sì	☐ no
	a battente a due ante	☐ sì	☐ no
	a battente e vasistas	☐ sì	☐ no
	scorrevole	☐ sì	☐ no
	automatica "intelligente"	☐ sì	☐ no
Finestra non apribile		☐ sì	☐ no

Le finestre vengono aperte regolarmente

Durante le attività	☐ no ☐ sì quante ore,
	In che momenti/fascia oraria della giornata
Durante l'orario di apertura del pubblico	☐ no ☐ sì quante ore,
	In che momenti/fascia oraria della giornata
Durante le pause	☐ no ☐ sì quante ore,
	In che momenti/fascia oraria della giornata

Balconi

I balconi sono presenti:

☐ sì ☐ no se sì, età (anni)
in cattivo stato ☐ sì ☐ no

Modalità apertura balconi	vasistas/ribalta	☐ sì	☐ no
	a battente singola anta	☐ sì	☐ no
	a battente a due ante	☐ sì	☐ no
	a battente e vasistas	☐ sì	☐ no
	scorrevole	☐ sì	☐ no
Balconi non apribili		☐ sì	☐ no

I balconi vengono aperti regolarmente:

Durante le attività	☐ no ☐ sì quante ore,
	In che momenti/fascia oraria della giornata
Durante l'orario di apertura del pubblico	☐ no ☐ sì quante ore,
	In che momenti/fascia oraria della giornata
Durante le pause	☐ no ☐ sì quante ore,
	In che momenti/fascia oraria della giornata

Altre aperture interne es. porte

☐ sì ☐ no se sì, età (anni)

Aperte regolarmente ☐ sì ☐ no

quante ore,

In che momenti/fascia oraria della giornata.....

Informazioni sull'impianto di UTA/VMC e/o Condizionamento

Quale tipologia di impianto è presente?

☐ centralizzato UTA/VMC ☐ non centralizzato climatizzatore ☐ entrambi

Se sì, ☐ con quale tipologia di filtro dell'aria:
☐ senza filtro

L'impianto è operativo con % di ricircolo? ☐ sì ☐ no

Se sì quale % di ricircolo?.....

L'impianto è in servizio in marcia dalle ore: alle ore:

L'impianto è dotato di sistemi di monitoraggio dei principali parametri? ☐ sì ☐ no

Se sì quali?.....

Sono presenti bocchette di riprese e di mandata? ☐ sì ☐ no

Il percorso dell'aria è noto? ☐ sì ☐ no

L'impianto UTA/VMC può essere regolato dal personale sia nella stagione fredda che in quella calda?

☐ sì ☐ no

Le bocchette di ripresa e di mandata sono posizionate correttamente in modo che l'aria pulita attraversa l'intero ufficio, ambiente, spazio prima di essere estratta? ☐ sì ☐ no

Le bocchette di riprese e di mandata sono state pulite? ☐ sì ☐ no

Se sì in che data? _____

chi esegue l'intervento:.....

L'impianto è dotato di umidificazione? ☐ sì ☐ no

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

Sono stati verificati velocità e flussi dell'aria dell'impianto? ☐ sì ☐ no

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 sull'impianto di climatizzazione/condizionatore

Quale tipologia di impianto è presente?

☐ centralizzato con UTA/VMC ☐ non centralizzato split/pompa di calore ☐ entrambi

Se sì, ☐ con quale tipologia di filtro dell'aria:
☐ senza filtro

L'impianto è operativo con % di ricircolo? ☐ sì ☐ no

Se sì quale % di ricircolo?.....

Il sistema di climatizzazione/condizionamento può essere regolato sia nella stagione fredda che in quella calda? ☐ sì ☐ no

Le uscite d'aria interessano direttamente il personale? ☐ sì ☐ no

L'impianto è in servizio in marcia dalle ore: alle ore:

L'impianto è dotato di sistemi di monitoraggio dei principali parametri? ☐ sì ☐ no
Se sì quali?.....

Sono presenti bocchette di riprese e di mandata? ☐ sì ☐ no

Le bocchette di riprese e di mandata sono state pulite? ☐ sì ☐ no

Se sì, in che data?

chi esegue l'intervento:

L'impianto è dotato di umidificazione? ☐ sì ☐ no

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

Sono stati verificati velocità e flussi dell'aria dell'impianto? ☐ sì ☐ no

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

Ristrutturazione negli ultimi mesi

Sono state effettuate ristrutturazioni? ☐ sì ☐ no

Se sì, cosa è stato ristrutturato?

- ☐ intero edificio
- ☐ intero piano
- ☐ aula in esame
- ☐ altre aule vicine
- ☐ corridoio d'ingresso

Hanno modificato la disposizione originale delle stanze o ambienti/aree? ☐ sì ☐ no

Nuovi serramenti/infissi (finestre, balconi, porte) negli ultimi mesi

Sono stati sostituiti i serramenti/infissi/porte? ☐ sì ☐ no

Se sì, in quali stanze?.....

In tutte le stanze ☐ sì ☐ no

Che tipologia es. vasistas?

Al momento dell'acquisto è stata fatta una valutazione del carico emissivo ☒ sì ☐ no

Nuovo arredamento negli ultimi mesi

Sono stati aggiunti arredi nuovi? ☐ sì ☐ no

Se sì, quali?

Al momento dell'acquisto è stata fatta una valutazione del carico emissivo ☒ sì ☐ no

Certificazioni dell'arredo: ☐ sì ☐ no

In cattivo stato ☐ sì ☐ no

Prodotti di pulizia usati nelle stanze/open space/sale riunioni

Al momento dell'acquisto o del disciplinare di gara è stata fatta una valutazione delle emissioni di COV

☐ sì ☐ no

☐ Pulizia del pavimento

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 delle finestre

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

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Prodotti di pulizia usati per l'arredo

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

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Prodotti di pulizia usati per l'area relax/cucina☐ Pulizia del pavimento

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 del piano cottura e dei tavoli

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

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Prodotti di pulizia usati per impianti di aria fissi e mobili

☐ Pulizia degli impianti di UTA/VMC

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 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

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Informazioni sul tipo riscaldamento/raffrescamento/split/pompa di calore

Quale tipologia di riscaldamento è presente?

☐ centralizzato ☐ non centralizzato ☐ entrambi

Se centralizzato, che tipologia è?

☐ radiatore
☐ fancoil/ventilconvettore
☐ altro (specificare)

Se non centralizzato, che tipologia è?

☐ split
☐ pompa di calore
☐ altro (specificare)
Il sistema di ventilazione/condizionamento può essere regolato sia nella stagione fredda che in quella calda? ☐ sì ☐ noLe uscite d'aria interessano direttamente il personale? ☐ sì ☐ noÈ stata effettuata una manutenzione degli split/pompa di calore/altro? ☐ sì ☐ noSe 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 ☐ noSe 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**Informazioni sul tipo depuratore/purificatore dell'aria presente**

Quale tipologia di depuratore dell'aria è presente?

☐ mobile ☐ da tavola ☐ altro

Posizione nell'ambiente di lavoro.....

Su quale tecnologia funziona?.....

Esiste un registro sulle modalità e ore di funzionamento nel corso della giornata? ☐ sì ☐ no

n. di ore di funzionamento.....

È stata effettuata una manutenzione del depuratore? ☐ sì ☐ noSe sì, in che data? e che tipo? ☐ totale ☐ parziale

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

chi esegue l'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

Si è tenuto conto del momento migliore per effettuare la disinfestazione dai topi, in modo da non influenzare gli il personale? ☐ sì ☐ no

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?

B - Caratteristiche delle aree dell'ufficio

Area reception/accoglienza

Postazione singola ☐ sì ☐ no

Area amministrativa

Ufficio con postazione singola ☐ sì ☐ no

Ufficio con più postazioni ☐ sì ☐ no

n. uffici con postazione singola

n. uffici con più postazioni

Sale riunioni ☐ sì ☐ no

Aree comuni ☐ sì ☐ no

Altre strutture (es. area relax) (specificare):

.....

Area cucina/angolo cottura

Piano cottura a gas ☐ sì ☐ no

Piano cottura a induzione ☐ sì ☐ no

Forno a microonde ☐ sì ☐ no

È presente una cappa di aspirazione?

Se sì, con quale frequenza viene utilizzata? (specificare):

È presente una finestra/balcone?

Se sì, con quale frequenza viene utilizzata? (specificare):

Area comune

Mobilio ☐ sì ☐ no

Divani e poltrone ☐ sì ☐ no

Tv, stereo, biliardo, ping pong ☐ sì ☐ no

È presente una finestra/balcone?

Se sì, con quale frequenza viene utilizzata? (specificare):

È presente un sistema di ventilazione VMC?

Se sì, con quale frequenza viene utilizzata? (specificare):

Area fumatori

Area/locali fumatori rispondenti al DPCM del 23/12/2003 ☐ sì ☐ no

Se sì, da quanti (anni)

caratteristiche area

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

C - Altre informazioni

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, fotocopiatrici)

Aree comuni

Personale impiegato e clienti

Nel normale utilizzo dell'area: n. persone
Durante il campionamento/prelievo: n. persone

NOTA BENE

Nel nostro Paese **non è più consentito fumare negli uffici pubblici e privati.**

Questo divieto deve essere chiaramente segnalato e va accompagnato da controlli regolari per assicurarne il rispetto.

Bisogna evitare di fumare nelle immediate vicinanze della porta d'ingresso dell'edificio, di finestre o balconi a servizio degli uffici per evitare che il fumo entri quando si aprono le porte/finestre.

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



Questionario sulle attività di monitoraggio dell'aria *indoor* negli uffici (edifici, appartamenti, ambienti)

(compilare una scheda per ciascun ambiente da valutare)

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

Reclami poste 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: ☐ sì ☐ no ☐ occasionale ☐ continuativo

quali:

quando sono iniziati?

☐ prima mattina ☐ pomeriggio ☐ sera ☐ altro

A2 - Indirizzo edificio

.....

A3 - Inquinanti monitorati

VVOC: ☐ sì ☐ no se sì, quali:

COV: ☐ sì ☐ no se sì, quali:

SVOC: ☐ sì ☐ no se sì, quali:

PM₁₀: ☐ sì ☐ no

PM_{2,5}: ☐ sì ☐ no

Metalli: ☐ sì ☐ no se sì, quali:

Biologici: ☐ sì ☐ no se sì, quali:

A4 - Tipo di prelievo

☐ in tempo reale ☐ manuale

☐ continuo ☐ discontinuo

☐ attivo ☐ passivo (diffusionale)

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**Prima del prelievo**

- ☐ Ventilazione con sistema meccanico (UTA/VMC) e/o condizionatore

Per quanto tempo rimane attivo?

tempo in min

- ☐ Ventilazione in maniera naturale

Se sì, quando viene effettuata?

☐ *prima mattina*

☐ *pomeriggio*

☐ *sera*

tempo in min

- ☐ Finestre, porte, balconi nella stanza

Apertura ☐ occasionale ☐ continuativa

Se sì, quando vengono aperti?

finestra

☐ *prima mattina*

☐ *pomeriggio*

☐ *sera*

tempo in min

porta

☐ *prima mattina*

☐ *pomeriggio*

☐ *sera*

tempo in min

balconi

☐ *prima mattina*

☐ *pomeriggio*

☐ *sera*

tempo in min

Chiusura ☐ occasionale ☐ continuativa

finestra

☐ *prima mattina*

☐ *pomeriggio*

☐ *sera*

tempo in min

porta

☐ *prima mattina*

☐ *pomeriggio*

☐ *sera*

tempo in min

balconi

☐ *prima mattina*

☐ *pomeriggio*

☐ *sera*

tempo in min

Durante il prelievo

Stato del sistema di ventilazione meccanica controllata (UTA/VMC)

☐ in funzione

☐ spento

Il sistema è stato regolato dal personale?

☐ sì

☐ no

Stato del sistema climatizzatore/split/pompa di calore

☐ in funzione

☐ spento

Il sistema è stato regolato dal personale?

☐ sì

☐ no

Stato delle porte, finestre e balconi

☐ finestre, balconi e porte chiuse

☐ *prima mattina*

☐ *pomeriggio*

☐ *sera*

tempo in min

☐ finestre, balconi e porte aperte

☐ *prima mattina*

☐ *pomeriggio*

☐ *sera*

tempo in min

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

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

Inizio ppm ora
 Durante ppm ore
 Giornata ppm ore

B4 - Condizioni meteo del sito durante il prelievo

Temperatura media esterna: °C
 Velocità del vento media: m/s
 Umidità relativa media: %
 Pioggia ☐ sì ☐ no
 Nebbia ☐ sì ☐ no
 Neve ☐ sì ☐ no

C - Altre informazioni**C1 - Personale presente durante le attività di monitoraggio**

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

Giorno 1: n. persone permanentemente nell'ufficio ora
 Giorno 2: n. persone permanentemente nell'ufficio ora
 Giorno 3: n. persone permanentemente nell'ufficio ora
 Giorno x: n. persone permanentemente nell'ufficio ora
 Sono presenti visitatori ☐ sì ☐ no
 In quale giorno n. visitatori nell'ufficio/stanza.....
 In che momenti/fascia oraria della giornata ora

*Serie Rapporti ISTISAN
numero di agosto 2025*

*Stampato in proprio
Servizio Comunicazione Scientifica – Istituto Superiore di Sanità*

Roma, settembre 2025