

INAIL

Sicurezza e Benessere nelle scuole Indagine sulla qualità dell'aria e sull'ergonomia



RISCHI E PREVENZIONE

Edizione 2015

INAIL

Sicurezza e Benessere nelle scuole
Indagine sulla qualità dell'aria
e sull'ergonomia

Edizione 2015

Pubblicazione realizzata da**INAIL**

Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione (CONTARP)

Autori

Raffaella Giovinazzo, Emma Incocciati, Francesco Nappi,
Roberto Piccioni, Diego Rughi - *Direzione Generale, CONTARP*

Silvia Amatucci, Federica Cipolloni - *Consulenza Statistico Attuariale*

Francesco De Matteis - *Libero professionista*

Fotografie

Roberto Piccioni, Francesco Nappi, Francesco De Matteis

Per informazioni

Direzione Generale, CONTARP
via Roberto Ferruzzi, 40
00143 Roma
contarp@inail.it
www.inail.it

Edizione maggio 2015

© 2015 INAIL

La pubblicazione viene distribuita gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

ISBN 978-88-7484-449-4

Edito da

INAIL - Servizio Centrale Comunicazione
P.le Giulio Pastore, 6 | 00144 Roma
www.inail.it

Stampato dalla Tipolitografia INAIL - Milano, maggio 2015

Indice

1. Introduzione	5
2. Aspetti legislativi e assicurativi	9
3. Gli Istituti di scuola superiore	17
4. Risultati dei monitoraggi	23
Premessa	23
4.1 Qualità dell'aria	26
4.1.1 Rischio biologico	26
4.1.2 Rischio chimico	40
4.1.3 Rischio radon	53
4.1.4 Microclima	59
4.2 Ergonomia degli ambienti	69
4.2.1 Comfort microclimatico	69
4.2.2 Comfort acustico	74
4.2.3 Comfort degli arredi scolastici	87
5. Interventi di prevenzione	109
5.1 Prevenzione del rischio biologico	109
5.2 Prevenzione del rischio chimico	114
5.3 Prevenzione del rischio radon	118
5.4 Miglioramento del comfort microclimatico	122
5.5 Miglioramento del comfort acustico	125
5.6 Adeguamento degli arredi scolastici	128
6. Strutture e impianti	133
Schede illustrative	135
7. La valutazione degli studenti	167
Bibliografia	191

ALLEGATI

Allegato A: Procedura lavaggio mani	201
Allegato B: Tipologie di vestiario	202
Allegato C: Questionario per gli studenti	204
Allegato D: Risultati dei questionari: dettaglio delle schede	206

1 Introduzione

Premessa

Il settore della scuola rappresenta una realtà particolarmente significativa della società odierna. L'innegabile valore intrinseco dell'educazione, strumento principale per la preparazione dei giovani al loro inserimento nella società ed in particolare nel mondo del lavoro, rende necessario fornire agli studenti le risorse più adeguate ed aggiornate ai fini della loro realizzazione sociale.

La popolazione studentesca, riferita ad ogni ordine e grado, rappresenta una percentuale cospicua dell'intero paese; nell'anno 2012 il numero totale degli studenti delle scuole (pubbliche e private), da quelle dell'infanzia a quelle di istruzione secondaria superiore, era pari a 8.961.159 (Fig. 1.1)

Va inoltre considerata la forza lavoro che opera in questo specifico settore che, in riferimento al corpo docente ed escludendo il personale amministrativo, ammonta a 765.818 unità per la sola scuola pubblica (Fig. 1.2).

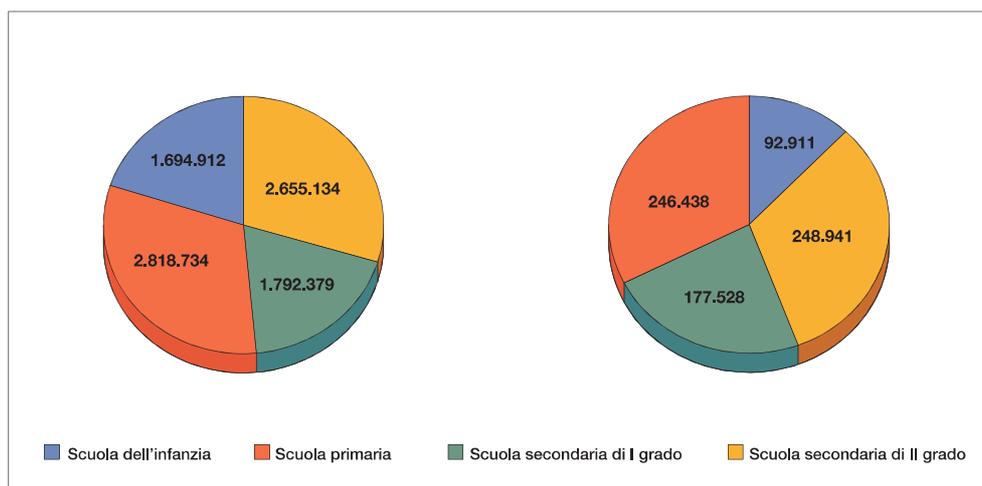


Figura 1.1 - Totale studenti scuola pubblica e privata Anno 2012 - Dati Istat

Figura 1.2 - Totale insegnanti scuola pubblica Anno 2012 - Dati Istat

Gli aspetti connessi all'igiene e alla sicurezza sul lavoro assumono rilevanza anche in ambito scolastico. In primo luogo va sottolineata l'importanza di formare su questa specifica disciplina una popolazione scolastica particolarmente numerosa: preparare gli studenti, ovvero i lavoratori del domani, ad affrontare tali aspetti rappresenta un sicuro investimento sul futuro e quindi un efficace strumento di prevenzione. La promozione della salute e sicurezza sui luoghi di lavoro implica, inoltre, l'adozione di comportamenti consapevoli della rischiosità degli ambienti di lavoro e, in tale contesto, la cultura della prevenzione va sviluppata a partire da conoscenze e comportamenti virtuosi che devono essere acquisiti già in età scolare.

Particolare attenzione va poi rivolta alle caratteristiche strutturali degli edifici scolastici, che rappresentano una parte rilevante del patrimonio immobiliare nazionale, non sempre rispondenti o adeguabili alle attuali norme sulla sicurezza. Oltre a dover rispondere ai requisiti di sicurezza previsti per legge, gli ambienti scolastici devono garantire ulteriori requisiti di comfort, necessari per rendere quanto più possibile efficaci le attività di insegnamento e di apprendimento.

Per queste considerazioni preliminari il primo livello di formazione sui temi della sicurezza, quello di più facile accesso per gli studenti, è rappresentato dalla conoscenza diretta dei rischi relativi al proprio ambiente scolastico. Tale bisogno formativo va ad aggiungersi a quello sancito dal D.Lgs. 81/2008, a beneficio dei lavoratori e delle figure professionali direttamente coinvolte nelle attività del Servizio di Prevenzione e Protezione (SPP) aziendale.

Proprio riguardo lo stato delle conoscenze sui rischi negli ambienti scolastici, va sottolineato che i dati sulle condizioni di igiene e sicurezza, disponibili a livello nazionale, risultano piuttosto scarsi; inoltre limitati sono gli studi e le indagini realizzati negli ultimi anni in questo settore. Non esiste al momento un quadro esaustivo che possa descrivere la situazione nella sua globalità. Uno dei motivi alla base di tale carenza può essere collegato anche al fatto che l'INAIL assicura solo *“gli insegnanti e gli alunni delle scuole o istituti di istruzione di qualsiasi ordine e grado, anche privati, che attendano ad esperienze tecnico-scientifiche od esercitazioni pratiche o che svolgano esercitazioni di lavoro...”*. Pertanto non vi sono riscontri adeguati sulle malattie e sugli infortuni verificatisi in ambito scolastico, né tantomeno sulla loro eziopatogenesi. Questa scarsa conoscenza non consente quindi la pianificazione e l'adozione di interventi di tipo preventivo per eliminare o quantomeno ridurre la casistica connessa ai suddetti fenomeni.

Alla luce di quanto sopra è evidente l'importanza di accrescere le conoscenze sui rischi presenti negli ambienti scolastici, al fine di avere un quadro globale il più esauriente possibile. Ciò rappresenta il passaggio propedeutico alla realizzazione di un'efficace attività di prevenzione che dovrà tener conto della priorità degli interventi da attuare e delle risorse economiche disponibili.

Il Progetto

Per rispondere adeguatamente alle istanze sopra descritte, il Ministero della Pubblica Istruzione (MPI) ha siglato con l'INAIL, nel 2007, un protocollo d'intesa, finalizzato a promuovere "...iniziative di orientamento professionale e tecnico-scientifico, in materia di sicurezza e salute nei luoghi di lavoro, rivolte agli studenti delle Scuole Secondarie Superiori".

In questo contesto nasce il progetto "Sicurezza e benessere nelle scuole" sviluppato dalla ConTARP e dalla CSA dell'INAIL, la cui realizzazione è stata condivisa dall'allora Ministero della Pubblica Istruzione, che ha provveduto a segnalare alcuni Istituti di Scuola Superiore Secondaria di 2° grado del Comune di Roma disponibili a collaborare al progetto. L'attività prevista dal progetto ha focalizzato l'attenzione su due obiettivi principali: *accrescere* lo stato delle conoscenze sui rischi negli ambienti scolastici, *informare e formare* la popolazione scolastica (studenti, personale docente e amministrativo) sulle tematiche relative alla sicurezza, con particolare riferimento alla loro realtà lavorativa. Per raggiungere i suddetti obiettivi lo studio è stato articolato in tre fasi principali:

- 1) acquisizione di tutti i dati necessari al corretto inquadramento dell'Istituto Scolastico sul territorio, quali la posizione geografica (*centri più o meno abitati, vicinanza di attività industriali, ecc.*), le caratteristiche fisiche delle strutture scolastiche (*materiali da costruzione, impianti, ecc.*), la collocazione e la tipologia di attività didattica svolta nei diversi ambienti (*aule, laboratori, palestre, ecc.*). Quanto sopra ha costituito il passo propedeutico necessario alla programmazione dei successivi monitoraggi ambientali. Un punto saliente e importante di questa prima fase conoscitiva è rappresentato dall'indagine del livello di percezione delle problematiche relative alla sicurezza ed al comfort dell'ambiente da parte degli studenti. Ciò chiaramente è necessario anche per ottimizzare i successivi interventi formativi. A tale scopo si è provveduto alla distribuzione agli studenti di questionari predisposti per le finalità prima descritte;
- 2) monitoraggio dei principali fattori di rischio/disagio (*agenti biologici, agenti chimici, microclima, rumore, ergonomia degli arredi, radioattività naturale - radon*), in ambienti "campione" appositamente selezionati, tenendo conto della variabilità dell'andamento stagionale. Inoltre, grazie alla collaborazione dei RSPP di alcuni istituti scolastici, sono state censite alcune situazioni particolarmente critiche relative alle strutture e gli impianti, per un campione più ampio di scuole di Roma e Provincia.
- 3) realizzazione di "report" sui monitoraggi effettuati, consegnati ai Dirigenti Scolastici, a cui sono seguiti alcuni incontri didattici con gli studenti, nel

corso dei quali sono stati illustrati gli aspetti teorici e pratici della valutazione dei rischi oggetto dell'indagine.

La seconda fase dello studio, particolarmente impegnativa e temporalmente più estesa, ha preso in esame alcuni degli agenti di rischio e dei fattori di disagio presenti negli ambienti scolastici. In particolare sono stati indagati fattori di tipo chimico, fisico e biologico, per caratterizzare la qualità dell'aria *indoor* e analizzare gli aspetti di tipo ergonomico (*comfort acustico, microclima, illuminamento, posture ecc.*). Infine è stato valutato il rischio legato alla presenza di gas radon all'interno degli edifici: questo è un fenomeno particolarmente significativo nel territorio del Lazio, regione nella quale sono localizzate le scuole oggetto del presente studio.

Le modalità di svolgimento delle attività di misurazione e analisi dei rischi sono ovviamente legate alle caratteristiche di ogni plesso scolastico. Per ciascuno degli edifici individuati si è proceduto a un sopralluogo conoscitivo preliminare per selezionare gli ambienti più rappresentativi della realtà in esame da sottoporre a monitoraggio; in tal senso l'indagine ha inteso mettere in evidenza in modo puntuale le criticità relative ai fattori di rischio indagati.

Risorse umane e strumentali

La realizzazione del progetto ha previsto la partecipazione di professionisti INAIL e di un RSPP, libero professionista, specializzati nelle aree tematiche di interesse, connesse alle diverse tipologie di rischio oggetto dei monitoraggi. Il dettaglio delle attività è riportato nella sezione successiva (cfr. *Programma delle attività di monitoraggio*) relativa ai singoli agenti di rischio investigati.

2 Aspetti legislativi e assicurativi in tema di Sicurezza e Salute nelle scuole

2.1 La legislazione

Gli aspetti legati ai requisiti di sicurezza e comfort degli ambienti scolastici sono regolamentati da un discreto numero di leggi emanate nel corso degli anni; di seguito ne viene fornito un elenco, evidenziando i punti salienti di ognuna.

Circolare ministeriale N. 1769 del 30 aprile 1966:
“Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie”

La Circolare definisce i parametri da misurare e verificare, affinché gli edifici abbiano adeguati requisiti di isolamento acustico; in particolare si riferisce a:

- isolamento acustico per via aerea di pareti divisorie interne e fra determinati ambienti;
- isolamento acustico per via aerea di solai;
- isolamento acustico per via aerea di pareti esterne;
- livello di rumore di calpestio di solai;
- rumorosità provocata da servizi e da impianti fissi;
- rumorosità provocata da agenti atmosferici;
- coefficiente di assorbimento acustico;
- tempo di riverberazione.

Per ognuno dei suddetti parametri viene specificata la metodologia di misura e la modalità di presentazione dei risultati.

Circolare ministeriale del 22 maggio 1967:
“Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici”

Vengono indicati i valori di riferimento per alcuni parametri relativi ai requisiti

acustici degli ambienti scolastici; in particolare si danno indicazioni relativamente al potere fonoisolante, al rumore da calpestio ed al tempo di riverbero; i valori sono differenziati a seconda della destinazione d'uso dell'ambiente (aula, palestra ecc.).

D.M. 18 dicembre 1975:

“Norme tecniche aggiornate relative all’edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica”

Questo decreto rappresenta il riferimento principale per quanto riguarda i requisiti essenziali degli edifici scolastici. Esso descrive, per i vari tipi di scuole di diverso ordine e grado, i criteri a cui ci si deve attenere in merito a:

- localizzazione della scuola;
- dimensioni della scuola;
- caratteristiche generali ed ampiezza dell’area;
- caratteristiche generali dell’opera.
- caratteristiche degli spazi relativi all’unità pedagogica (dimensioni delle aule, superficie per studente etc...) (per le scuole superiori secondarie di 2° grado lo spazio per alunno deve essere pari a 1,96 mq)
- caratteristiche degli spazi adibiti all’insegnamento specializzato;
- caratteristiche degli spazi adibiti a laboratori e officine;
- caratteristiche degli spazi adibiti alla comunicazione, all’informazione e alle attività parascolastiche e integrative (auditorium, biblioteche ecc.);
- caratteristiche degli spazi adibiti all’educazione fisica e sportiva e per il servizio sanitario,
- caratteristiche degli spazi adibiti a mensa;
- caratteristiche degli spazi per l’amministrazione;
- caratteristiche degli spazi adibiti a servizi igienico-sanitari e spogliatoi;
- norme relative all’arredamento ed alle attrezzature;
- norme relative alle condizioni di abitabilità..

Quest’ultimo punto è quello di maggior interesse, in quanto richiama alcune delle tematiche studiate dal progetto; in particolare si danno indicazioni relative a:

- condizioni acustiche;
- condizioni dell’illuminazione e del calore;
- condizioni termo igrometriche e purezza dell’aria;
- condizioni di sicurezza (statica delle costruzioni, difesa dagli agenti atmosferici esterni, dagli incendi, dai terremoti, ecc.).

Di seguito si analizzano nel dettaglio i fattori sopra menzionati.

Condizioni acustiche

Innanzitutto si richiamano i criteri generali, i metodi di misura e i criteri di valutazione dei risultati, di cui alla Circolare n.1769 del 30 aprile 1966. Devono essere verificati e misurati i seguenti parametri:

- il potere fonoisolante di strutture verticali, orizzontali, divisorie, ed esterne, di infissi verso l'esterno, di griglie e prese d'aria installate verso l'esterno;
- l'isolamento acustico contro i rumori trasmessi per via aerea tra spazi adiacenti e sovrapposti ad uso didattico e nei locali comuni;
- il livello di rumore di calpestio normalizzato di solaio;
- il livello di rumore di calpestio tra due spazi sovrapposti;
- la rumorosità dei servizi e degli impianti fissi;
- il coefficiente di assorbimento dei materiali isolanti acustici.

I requisiti di accettabilità da determinare con misure di laboratorio sono illustrati nella tabella 2.1. Il coefficiente di assorbimento deve essere misurato in camera riverberante e suono diffuso alle frequenze di 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz. Ne consegue che le grandezze da sottoporre a misura in opera sono:

- l'isolamento acustico per via aerea fra ambienti ad uso didattico adiacenti e sovrastanti;
- il livello di rumore di calpestio tra due spazi sovrapposti con la macchina normalizzata generatrice di calpestio;
- la rumorosità provocata da servizi ed impianti fissi;
- il tempo di riverberazione.

Tabella 2.1 - *Requisiti acustici delle aule scolastiche*

potere fonoisolante di strutture divisorie interne verticali ed, eventualmente, orizzontali:	I = 40 dB
potere fonoisolante di infissi verso l'esterno:	I = 25 dB
potere fonoisolante di griglie e prese d'aria installate verso l'esterno:	I = 20 dB
livello di rumore di calpestio normalizzato di solai:	I = 68 dB
potere isolante di chiusure esterne opache:	superiore di 10 dB a quello degli infissi esterni

Inoltre si stabilisce che la rumorosità dei servizi, determinata dal massimo livello (A) misurato, non dovrà superare i limiti riportati nella tabella 2.2:

Tabella 2.2 - *Limiti di rumorosità dei servizi*

servizi a funzionamento discontinuo:	A = 50 dB(A)
servizi a funzionamento continuo:	A = 40 dB(A)

I valori ottimali dei tempi di riverberazione vanno determinati in funzione del volume dell'ambiente e riferiti alle frequenze 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz.

Condizioni dell'illuminazione e del calore

L'illuminazione deve avere i seguenti requisiti:

- livello adeguato;
- equilibrio delle luminanze;
- protezione dai fenomeni di abbagliamento;
- prevalenza della componente diretta su quella diffusa, soprattutto nel caso di illuminazione artificiale.

I valori minimi dei livelli di illuminamento naturale ed artificiale sono esposti nella seguente tabella 2.3. Tale sezione fornisce indicazioni sulle caratteristiche degli elementi costruttivi costituenti gli ambienti scolastici, che hanno influenza sulle condizioni termo igrometriche e sulla qualità dell'aria (trasmissione, tenuta pneumatica, tenuta alla pioggia, ecc.).

Tabella 2.3 - *Illuminamento sul piano di lavoro (Lux)*

sul piano di lavoro negli spazi per il disegno, il cucito, il ricamo ecc.:	300
sulle lavagne e sui cartelloni:	300
sul piano di lavoro negli spazi per lezione, studio, lettura, laboratori, negli uffici:	200
negli spazi per riunioni, per ginnastica ecc. misurati su un piano ideale posto a 0,60 m dal pavimento:	100
nei corridoi, scale, servizi igienici, atri, spogliatoi ecc. misurati su un piano ideale posto a 1,00 m dal pavimento:	100

**Decreto ministeriale 26 agosto 1992:
Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica**

Le norme definiscono i criteri di sicurezza antincendi da applicare negli edifici e nei locali adibiti a scuole, di qualsiasi tipo, ordine e grado, allo scopo di tutelare l'incolumità delle persone e salvaguardare i beni contro il rischio di incendio. La variabile principale è il grado di affollamento dell'edificio, che determina necessità ed adempimenti diversi.

Legge 11 gennaio 1996 n.23: Norme per l'edilizia scolastica

La Legge fornisce indicazioni in merito alla gestione e conservazione del patrimonio immobiliare rappresentato dagli edifici scolastici.

**Circolare ministeriale Ministero della Pubblica Istruzione del 29/04/1999 n.119
Decreto legislativo 626/1994 e successive modifiche ed integrazioni
D.M. n. 382/1998: sicurezza nei luoghi di lavoro-Indicazioni attuative**

La Circolare fornisce direttive in merito alla trasposizione dei principi cardine del D.Lgs. 626/94 (attualmente sostituito dal D.Lgs. 81/08 e s.m.i.) nelle scuole, nonché in riferimento all'organizzazione, ruoli e responsabilità del Servizio di Prevenzione e Protezione.

**Circolare ministeriale Ministero della Pubblica Istruzione del 19/04/2000 N.122
Decreto legislativo 626/94 e successive modifiche ed integrazioni - Sicurezza nelle scuole**

La Circolare sollecita e promuove l'attivazione di percorsi formativi ed altre iniziative simili per implementare la cultura della sicurezza tra gli studenti e tra gli operatori scolastici.

Decreto Lgs. 9 aprile 2008 n. 81: Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro

Il Decreto ha abrogato e sostituito il precedente D.Lgs. 626/94. Esso compendia tutti gli aspetti e le tematiche relative alla sicurezza dei luoghi di lavoro.

Pertanto riguarda anche gli ambienti scolastici (Articolo 3, comma 1). Esso contiene inoltre dei riferimenti specifici che riguardano le scuole, in merito all'attività formativa; in particolare all'Articolo 9, comma 2, lettera

f si evidenzia che l'INAIL è tra gli enti preposti alla “promozione e divulgazione, della cultura della salute e della sicurezza del lavoro nei percorsi formativi scolastici, universitari e delle istituzioni dell'alta formazione artistica, musicale e coreutica, previa stipula di apposite convenzioni con le istituzioni.

2.2 La tutela assicurativa Inail

L'INAIL tutela gli studenti delle scuole o istituti di istruzione di ogni ordine e grado, anche private¹, se impegnati nello svolgimento di esperienze tecnico-scientifiche ed esercitazioni pratiche che comprendono anche le lezioni di alfabetizzazione informatica e di lingua straniera, svolte con l'ausilio di macchine elettriche. In base all'annuario 2013 dell'ISTAT, gli studenti delle scuole dell'infanzia, primarie e secondarie di primo e secondo grado sono quasi 9 milioni. Nel quinquennio 2009-2013 è pervenuta all' INAIL una media di oltre 93mila denunce di infortunio all'anno, delle quali oltre la metà (56%) presentate nel nord del Paese (Tabella 2.2.1). Il 57% degli eventi denunciati riguarda persone di sesso maschile, di età media pari a 13 anni.

Tabella 2.2.1 - Denunce di infortunio avvenuti nelle scuole ripartite per area geografica

Area geografica	Denunce (%)
Nord	56
<i>Nord-ovest</i>	32
<i>Nord-est</i>	24
Centro	17
Sud	19
Isole	8

¹ Art. 4 del T.U 1124/1965, comma 5 - “gli insegnanti e gli alunni delle scuole o istituti di istruzione di qualsiasi ordine e grado, anche privati, che attendano ad esperienze tecnico-scientifiche od esercitazioni pratiche, o che svolgano esercitazioni di lavoro; gli istruttori e gli allievi dei corsi di qualificazione o riqualificazione professionale o di addestramento professionale anche aziendali, o dei cantieri scuola, comunque istituiti o gestiti, nonché i preparatori, gli inservienti e gli addetti alle esperienze ed esercitazioni tecnico-pratiche o di lavoro”.

Tra i casi definiti positivamente dall' INAIL, le sedi anatomiche maggiormente coinvolte sono gli arti superiori (48%) e quelli inferiori (36%). La testa infine è interessata nel 9% degli eventi, La quasi totalità delle lesioni è riconducibile a una delle seguenti nature: lussazione (42%), contusione (30%) o frattura (22%). (Tabella 2.2.2)

Infine per quanto riguarda le cause e le circostanze che determinano l'infortunio, codificate con il termine "Deviazione", considerando i soli casi definiti positivamente, il 47% è riconducibile a "Movimenti del corpo con o senza sforzo fisico" (tra questi il 53% riguarda eventi causati da "Movimenti scoordinati"), il 22% a "Caduta di persone" (*il 75% riguarda "Cadute sullo stesso livello"*), l'11% a "Perdita di controllo", totale o parziale di una macchina/mezzo di trasporto/attrezzatura per la movimentazione (nell'85% dei casi si tratta di attività in cui si spostano, portano o movimentano oggetti. (Tabella 2.2.3)

Tabella 2.2.2 - Riconoscimenti di infortuni suddivisi per sede e natura della lesione

Principali sedi della lesione		distretto	
Arti superiori	48%	di cui alle mani	68%
Arti inferiori	36%	di cui alla caviglia	52%
Testa	9%	di cui al volto	54%
Altra o indeterminata	7%		

Principale natura della lesione	
Lussazione	42%
Contusione	30%
Frattura	22%
Altra	6%

Tabella 2.2.3 - Riconoscimenti di infortuni suddivisi per deviazione

Deviazione			
Movimenti del corpo con o senza sforzo fisico	47%	dovuti a movimenti scoordinati	53%
Caduta di persona	22%	dovuti a caduta sullo stesso livello	75%
Perdita di controllo totale o parziale	11%	dovuti a oggetto spostato/portato	85%
Altra o indeterminata	20%		

3 Istituti di scuola superiore monitorati e strategia di indagine

3.1 Tipologia di Istituti scolastici

Per la realizzazione del progetto “*Sicurezza e benessere nelle scuole*” il Ministero della Pubblica Istruzione (MPI) ha segnalato gli Istituti di Scuola Superiore disponibili a collaborare alla realizzazione delle attività previste nelle varie fasi in cui lo stesso si articola. I monitoraggi ambientali hanno riguardato nove plessi scolastici, di cui otto ubicati nel tessuto urbano della città di Roma e uno situato in un comune in provincia di Viterbo². Prima di procedere alla fase di misura dei vari agenti di rischio, è stato distribuito a circa 800 studenti (appartenenti a quattro Istituti) un questionario per rilevare la loro percezione sulla qualità degli ambienti.

Di seguito viene data una sintetica descrizione delle caratteristiche di ciascun istituto scolastico all'interno del quale sono state eseguite una o più sessioni di misura degli agenti di rischio.

Istituti A e B - Istituto Statale di Istruzione Superiore Secondaria di 2° grado

Indirizzi di studio	Liceo Classico e Istituto Professionale Tecnico dell'impresa turistica Tecnico per i servizi commerciali Odontotecnico
Popolazione scolastica	436 studenti
Classi	20
Ubicazione	Zona periferica di un Comune in provincia di Viterbo, con traffico molto limitato; nelle vicinanze vi è una cantiere edile, che rappresenta una fonte di inquinamento acustico non trascurabile
Note	L'edificio, a forma di “L”, è articolato in: - un piano terra, dove si svolgono attività di segreteria e didattiche, sia nelle aule che in laboratorio (informatica); il piano ospita gli indirizzi professionali; - primo piano, in cui sono ubicate le aule e altri laboratori (linguistico, informatico), oltre la sala professori; il piano ospita il liceo classico.

² Per quanto riguarda gli aspetti legati alle condizioni di sicurezza di strutture e impianti ci si è avvalsi delle osservazioni fornite da un RSPP relative a circa cento Istituti di Scuola Superiore di Roma e Provincia.

Istituto C - Istituto Tecnico Commerciale

Indirizzi di studio	Ragionieri Programmatori
Popolazione scolastica	381 studenti (indice di affollamento medio pari a 2,16 m ² /studente; 63,2% delle aule a norma)
Classi	19
Ubicazione	quartiere semiperiferico di Roma, in una zona a traffico non molto intenso; è circondata da un'area verde con presenza di molti alberi
Note	L'edificio, a pianta sub-rettangolare, è articolato in: <ul style="list-style-type: none"> - un piano seminterrato, che ospita locali accessori e di ausilio all'attività scolastica (centrale termica, archivio, abitazione custode ecc.); - un piano rialzato, dove si svolgono attività di segreteria e didattiche (laboratorio audiovisivi); - tre piani in cui sono ubicate le aule e altri laboratori (linguistico, informatico); - quarto piano, nel quale sono ubicati locali di servizio

Istituto D - Istituto Tecnico per Geometri

Indirizzi di studio	Geometri
Popolazione scolastica	189 studenti (indice di affollamento medio pari a 2,39 m ² /studente; 100% delle aule a norma)
Classi	9
Ubicazione	La struttura sorge a breve distanza dall'Istituto C
Note	L'edificio ha una pianta a forma di "L" ed è articolato in: <ul style="list-style-type: none"> - piano seminterrato, dove sono ubicati i laboratori per lo svolgimento delle attività scientifiche; - un piano terra, nel quale sono presenti sia le aule che gli uffici amministrativi; - un piano superiore, nel quale sono collocate le aule destinate alla didattica; - le palestre, distribuite su due piani, sono ubicate in un edificio a sé stante.

Istituto E - Istituto Statale di Istruzione Superiore Secondaria di 2° grado

Indirizzi di studio	Tecnico chimico biologico Tecnico dell'abbigliamento e della moda. Tecnico dell'impresa turistica
Popolazione scolastica	293 studenti (indice di affollamento medio pari a 1,83 m ² /studente; 33% delle aule a norma)
Classi	15
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere periferico di Roma, in una zona a traffico non molto intenso; è circondata da un'area verde con presenza di molti alberi
Note	<i>Il plesso scolastico è suddiviso in 6 corpi di fabbrica (padiglioni) collegati tra loro da corridoi, così organizzati:</i> <ul style="list-style-type: none"> - il primo edificio è costituito da un piano rialzato, dove sono ubicati gli uffici e alcuni laboratori (piano seminterrato); - il secondo ospita parte dei laboratori e la palestra; - i restanti quattro edifici sono strutturati su due livelli ed ospitano prevalentemente le aule per la didattica.

Istituto F - Istituto Professionale di Stato per i Servizi Alberghieri e della Ristorazione

Indirizzi di studio	Tecnico dei Servizi Ristorativi Tecnico dei Servizi Turistici
Popolazione scolastica	245 studenti
Classi	14
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere periferico di Roma, in una zona a traffico piuttosto intenso; l'area è circondata da una zona verde con molti alberi
Note	<i>Il plesso scolastico ha una pianta sviluppata in lunghezza con un corpo centrale e due ali laterali; esso si sviluppa su 3 piani e in particolare:</i> <ul style="list-style-type: none"> - il piano seminterrato ospita 2 laboratori di cucina (con annesso refettorio) ed un laboratorio di pasticceria, oltre ad alcuni locali di servizio; - il piano rialzato è occupato dalla presidenza, dagli uffici di segreteria, dalla sala docenti, da alcuni laboratori (linguistico e informatico) e da alcune aule; su questo piano è presente anche il locale bar; - il primo piano, che ospita la maggioranza delle aule per la didattica.

Istituto G - Istituto Statale di Istruzione Superiore Secondaria di 2° grado

Indirizzi di studio	Liceo scientifico
Popolazione scolastica	555 studenti (indice di affollamento medio pari a 2,05 mq/studente; 80% delle aule a norma)
Classi	21
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere centrale di Roma, in una zona a traffico piuttosto intenso
Note	<p><i>Il plesso scolastico ha una pianta rettangolare e si sviluppa su 5 piani. In particolare:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>il piano seminterrato ospita la palestra, l'aula magna ed alcuni laboratori (scienze, fisica ed informatica);</i> - <i>il piano terra è occupato dalla presidenza, gli uffici di segreteria, la sala professori e la biblioteca;</i> - <i>i piani dal primo al terzo ospitano esclusivamente le aule per la didattica.</i>

Istituto H - Istituto Statale di Istruzione Superiore Secondaria di 2° grado

Indirizzi di studio	Liceo scientifico
Popolazione scolastica	594 studenti (indice di affollamento medio pari a 1,81 mq/studente; 35% delle aule a norma)
Classi	23
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere centrale di Roma, in una zona a traffico piuttosto intenso
Note	<p><i>L'edificio ha una pianta sub-rettangolare e si sviluppa su 4 piani. In particolare:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>il piano terra, dove sono ubicati la portineria, una palestra coperta ed alcuni locali di servizio;</i> - <i>il primo piano, che ospita gli uffici amministrativi, la sala professori, il laboratorio chimico, la sala per le proiezioni, e alcune aule; su questo piano vi è un cortile all'aperto, adibito a palestra;</i> - <i>il secondo ed il terzo piano sono occupati esclusivamente dalle aule per la didattica.</i>

Istituto I - Istituto Statale di Istruzione Superiore Secondaria di 2° grado

Indirizzi di studio	Liceo scientifico
Popolazione scolastica	271 studenti (indice di affollamento medio pari a 1,73 mq/studente; 42,9% delle aule a norma)
Classi	12
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere centrale di Roma, in una zona a traffico piuttosto intenso.
Note	<p><i>Il plesso scolastico ha una pianta quadrata e si sviluppa su 5 piani. In particolare:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>il piano seminterrato è occupato solo da locali di servizio;</i> - <i>il piano rialzato ospita la portineria, la sala professori, la biblioteca e n. 2 aule;</i> - <i>il primo ed il secondo piano sono occupati dalle aule per la didattica;</i> - <i>il terzo piano ospita alcuni laboratori (fisica, lingue, multimediale).</i>

Istituto L - Istituto Statale di Istruzione Superiore Secondaria di 2° grado

Indirizzi di studio	Liceo scientifico
Popolazione scolastica	606 studenti (indice di affollamento medio pari a 2,20 mq/studente; 66,7% delle aule a norma)
Classi	26
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere centrale di Roma, in una zona a traffico moderato.
Note	<p><i>Il plesso scolastico ha una pianta sviluppata su tre ali, tutte di forma sub-rettangolare; esso è costituito da 4 piani e in particolare:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>al piano seminterrato è alloggiato l'archivio;</i> - <i>il piano terra ospita le segreterie, la biblioteca, l'aula magna, la palestra ed alcune aule;</i> - <i>il primo piano ospita esclusivamente aule per la didattica;</i> - <i>il secondo piano ospita alcuni laboratori e le aule per la didattica.</i>

3.2 Strategia di indagine

Per rappresentare in maniera significativa ed adeguata le reali condizioni relative alla sicurezza e al benessere negli istituti indagati, sono stati effettuati sopralluoghi preliminari per esaminare e selezionare gli ambienti nei quali eseguire i monitoraggi ambientali, tenendo conto delle indicazioni fornite dal personale scolastico. A tale scopo sono stati valutati i seguenti requisiti:

1. destinazione d'uso dei locali;
2. dimensione;
3. attrezzature e macchinari presenti;
4. indice di affollamento;
5. posizione geografica e contesto urbanistico dell'area circostante l'istituto (*esposizione al sole, intensità del traffico veicolare, presenza di aree verdi, ecc.*).

Nella selezione degli ambienti da monitorare, si è tenuto conto in particolare di quelli che, in termini di fattori di rischio ed ergonomici, mostravano particolari criticità. Considerando inoltre la possibile influenza della variazione stagionale del clima sul benessere termico e sull'andamento di alcuni fattori di rischio (biologici e chimici), ciascun locale è stato oggetto di una sessione di misura nel periodo "freddo" (*gennaio/febbraio/marzo*) e di una effettuata nel periodo "caldo" (*maggio/settembre*).

Tutte le misurazioni sono state effettuate durante le normali condizioni di utilizzo dei diversi ambienti, ossia in presenza del personale amministrativo nel caso degli uffici, e in presenza di professori e studenti, durante il normale svolgimento delle lezioni, nel caso delle aule e dei laboratori.

4 Risultati dei monitoraggi

Premessa

L'ambiente scolastico costituisce una realtà lavorativa piuttosto complessa: si tratta di una struttura "comunitaria" compresa tra i c.d. *ambienti indoor*³, che accoglie un numero consistente di persone (*personale docente e non docente, studenti*) per le quali la valutazione dell'esposizione ai relativi rischi per la salute è piuttosto articolata. Infatti, negli edifici scolastici sono presenti ambienti con destinazioni d'uso differenti, quali aule, uffici, laboratori didattici, biblioteche, palestre, servizi igienici, mense, etc., ciascuno dei quali può presentare sorgenti di inquinamento e condizioni microclimatiche particolari. Inoltre, nella valutazione complessiva degli effetti sulla salute si deve tenere conto del contributo derivante dall'esposizione agli agenti di rischio negli altri ambienti *indoor* (abitazioni private) e nell'*outdoor* (ambiente esterno) frequentati dalla popolazione scolastica. Ciò è tanto più importante se consideriamo che gli studenti, per la loro età e lo stato fisiologico, sono molto più suscettibili agli effetti degli inquinanti rispetto agli adulti. In fase di valutazione dei rischi, pertanto, i pericoli devono essere analizzati tenendo conto delle caratteristiche della popolazione esposta, del tempo di permanenza nell'edificio, dell'eventuale presenza di soggetti atopici, asmatici, allergici o affetti da altra patologia che influisce sullo stato immunitario.

Nel presente studio, oltre alle principali fonti di rischio che generalmente si riscontrano negli ambienti di lavoro, sono state approfondite alcune tematiche specifiche delle scuole, con particolare attenzione agli aspetti legati al *comfort*, in genere poco considerate nei documenti di valutazione dei rischi. Inoltre, per ciò che riguarda tutti gli aspetti relativi alle strutture, all'impiantistica e ai presidi antincendio, questi sono stati indagati mediante un'attenta osservazione condotta su un campione di circa 100 scuole di Roma e Pro-

3 "Ambienti confinati di vita e di lavoro non industriali ... ed in particolare quelli adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto". Il termine "ambiente indoor" comprende: le abitazioni, gli uffici pubblici e privati, le strutture comunitarie (ospedali, scuole, caserme, alberghi, banche, etc.), i locali destinati ad attività ricreative e/o sociali (cinema, bar, ristoranti, negozi, strutture sportive, etc.) ed infine i mezzi di trasporto pubblici e/o privati (auto, treno, aereo, nave, etc.). Da: *Accordo tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome sul documento concernente: "Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati"*, 2001.

vincia; per rappresentare questa sezione del progetto ci si è avvalsi di schede riassuntive, nelle quali sono riportate le valutazioni di tipo qualitativo relative alle differenti problematiche, con l'indicazione delle misure di prevenzione e protezione da adottare caso per caso.

L'insieme dei dati raccolti mediante le misurazioni e i risultati della loro valutazione sono stati suddivisi in due macrocategorie. La prima, relativa alla **Qualità dell'aria (IAQ)**, è trattata nel paragrafo 4.1 mentre quella relativa all'**Ergonomia degli ambienti**, è condensata nel paragrafo 4.2.

IAQ nelle scuole

Nonostante la scuola rappresenti l'ambiente in cui la popolazione giovanile trascorre la maggior parte del suo tempo, attualmente le conoscenze sulla IAQ (*Indoor Air Quality*) degli edifici scolastici e le possibili implicazioni sulla salute degli occupanti sono ancora limitate. Gli studi epidemiologici condotti a livello internazionale⁴ evidenziano, comunque, la stretta relazione tra esposizione ad inquinanti indoor in ambienti confinati e comparsa di sintomi respiratori ed allergici nell'infanzia, determinando una compromissione significativa della qualità della vita degli studenti e della loro *performance* scolastica. È stato anche dimostrato che nelle scuole la IAQ, unitamente alla presenza di condizioni di discomfort termico (microclima), rumore disturbante, illuminamento inadeguato e odori sgradevoli legati all'inquinamento circostante, ecc., influisce sulle prestazioni dei docenti e sui livelli di attenzione e di apprendimento degli studenti. Nel documento "*La qualità dell'aria nelle scuole e rischi per malattie respiratorie e allergiche. Quadro conoscitivo sulla situazione italiana e strategie di prevenzione*" elaborato dal Gruppo di lavoro Gard-I n.1⁵ e pubblicato in Italia nel gennaio del 2013, si evidenzia quanto segue:

- *in Italia i ragazzi trascorrono negli edifici scolastici dalle 4 alle 8 ore al giorno, per almeno 10 anni della loro vita;*

4 Si citano, ad esempio: *International Study of Asthma and Allergies in Childhood*, ISAAC e gli Studi Italiani sui Disturbi Respiratori dell'Infanzia e l'Ambiente, SIDRIA, 1994-5 e 2002; il progetto *Health Effects of School Environment*, HESE 2004-5; il progetto di Ricerca *School Environment And Respiratory Health of Children*, SEARCH, 2005-9; gli studi del GARD-ITALY, 2013 e dell'*European Federation of Asthma and Allergy Associations*, EFA, 2001.

5 Gard-I n.1: "Progetto n. 1 - Programma di prevenzione per le scuole dei rischi indoor per malattie respiratorie e allergiche" istituito nell'ambito di "Gard-Italia" con il mandato di promuovere l'attuazione dell'Accordo Stato Regioni "Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie ed asma" (2010), previsto esplicitamente dall'Accordo tra Ministro della Salute, Regioni e Province autonome del 27 settembre 2001 "Linee Guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati".

- *gli edifici scolastici italiani presentano frequentemente gravi problemi igienico-sanitari e di qualità dell'aria indoor, riconducibili a problematiche di tipo ambientale (area di insediamento dell'edificio), a carenze progettuali/architettoniche/edilizie o gestionali (ad es. operazioni di pulizia e manutenzione degli edifici, condizionamento dell'aria da cui dipendono le condizioni microclimatiche);*
- *la carenza di una normativa organica e aggiornata, che disciplini i requisiti igienici e funzionali degli ambienti scolastici, di regole omogenee per il monitoraggio periodico della IAQ ed una chiara regolamentazione sull'attribuzione di compiti e responsabilità;*
- *l'importanza di definire protocolli corretti e specifici per le operazioni di pulizia, sanificazione e gestione igienica degli ambienti scolastici, sempre più spesso svolte da ditte esterne e di prevedere anche un programma di verifica periodica delle operazioni effettuate;*
- *la gestione dei fattori ambientali di rischio indoor dovrebbe sempre considerare, tra gli aspetti da regolamentare e monitorare, anche le aree "verdi" associate alla struttura scolastica e gli spazi all'aperto (le aree verdi non curate possono comportare l'introduzione di specie vegetali infestanti e pollini allergizzanti, nonché di muridi e insetti)⁶.*

Pertanto, al fine di caratterizzare la *qualità dell'aria* negli ambienti scolastici, sono stati effettuati monitoraggi relativi agli agenti biologici presenti nell'aria ambiente e su alcune superfici (bagni), alla concentrazione di CO₂, nonché dei parametri microclimatici che, oltre a determinare il benessere termico, sono strettamente correlati con gli altri aspetti.

Aspetti ergonomici

In senso generale, l'ergonomia è la scienza che si occupa di progettare gli ambienti di vita e di lavoro, promuovendo specifici studi per garantire il giusto grado di benessere, o *comfort*, durante lo svolgimento delle varie attività. In particolare, nelle scuole è necessario garantire condizioni di *comfort* microclimatico adeguate, affinché queste non incidano negativamente sul grado di concentrazione e di apprendimento degli studenti.

Un'altra particolare applicazione di questa disciplina riguarda poi lo studio delle caratteristiche dimensionali degli arredi (sedie e tavoli) utilizzati dagli studenti, da scegliere sulla base di criteri di tipo antropometrico al fine di evitare che gli studenti siano costretti ad assumere posture diverse da quelle fisiologiche; l'adozione di arredi non adeguati alla popolazione scolastica è

⁶ Si pensi, ad esempio, al potenziale allergenico di graminacee, parietaria, ambrosia o alla presenza di nidi di vespe, api e calabroni con il conseguente rischio di reazioni allergiche da punture di tali insetti.

una delle cause del cosiddetto “mal di schiena”, molto diffuso tra i ragazzi in età scolare anche precoce.

Un altro fattore di tipo ergonomico è rappresentato dal “clima acustico” dell’ambiente, che influenza la qualità della comunicazione tra insegnante e allievo, fondamentale ai fini dell’apprendimento.

Per questo motivo, nell’ambito del progetto, è stata prevista una valutazione specifica dei parametri microclimatici, per verificare se gli ambienti nei quali si svolge l’attività didattica siano o meno adeguati sotto tale aspetto; inoltre, si è proceduto allo studio degli arredi, per verificare la rispondenza delle dimensioni alle caratteristiche antropometriche della popolazione studentesca. In riferimento al terzo fattore sopra descritto, sono state effettuate misurazioni *ad hoc* sui parametri che influenzano il clima acustico, per verificare se le aule abbiano i requisiti acustici minimi per consentire la corretta comprensione della comunicazione.

4.1 Qualità dell’aria

4.1.1 Rischio biologico

Considerazioni generali e richiami normativi

Il D.Lgs. n. 81/2008 dedica al rischio biologico un intero Titolo (Titolo X), con relativi allegati. Tale Decreto definisce cosa debba intendersi per “agente biologico” e ne fissa i criteri per la classificazione in base al livello di pericolosità per la salute, distinguendo tra uso deliberato degli agenti biologici (introduzione intenzionale nel ciclo lavorativo) ed esposizione potenziale ad essi (nei casi in cui la presenza di tali agenti rappresenti un evento indesiderato, ma inevitabile). Per le attività che comportano uso deliberato, devono essere attuate misure tecniche, organizzative e procedurali finalizzate ad evitare o ridurre al minimo l’esposizione e i lavoratori esposti devono essere sottoposti a sorveglianza sanitaria.

L’art. 267 definisce agente biologico “*qualsiasi microrganismo coltura cellulare ed endoparassita umano che potrebbe provocare infezioni, allergie o intossicazioni*”. Gli agenti biologici sono classificati in quattro gruppi (art. 268 e Allegato XLVI) a rischio crescente di infezione e la loro pericolosità viene stabilita in base alle caratteristiche di infettività, patogenicità, trasmissibilità, neutralizzabilità e virulenza. Gli obblighi del datore di lavoro e le misure di prevenzione e protezione da adottare per controllare il rischio di esposizione a tali agenti sono condizionati dal gruppo di appartenenza degli agenti stessi. È opportuno tener presente che la classificazione “*si basa sul-*

l'effetto esercitato su lavoratori sani” e “non tiene conto degli effetti sui lavoratori la cui resistenza o sensibilità potrebbe essere modificata da malattie preesistenti, uso di medicinali, stato immunitario compromesso, etc.” (Allegato XLVI, p.to 2), di cui si deve tener conto al momento di scegliere le misure protettive da adottare e nella sorveglianza sanitaria.

Nelle scuole l'esposizione ad agenti biologici è di tipo accidentale, dal momento che le attività svolte non comportano l'uso deliberato di tali agenti, a meno che non siano previste attività di laboratorio microbiologico o esercitazioni che possano comportare un'esposizione ad agenti biologici di tipo potenziale, come ad esempio negli istituti agrari e zootecnici.

Il rischio biologico nelle scuole è di natura prevalentemente infettiva (virus e batteri), con modalità di esposizione in prevalenza per inalazione e per contatto *diretto* (tra un individuo ed un altro) o *indiretto* (contatto con superfici o oggetti contaminati).

La natura infettiva di tali agenti rende il rischio particolarmente rilevante per i soggetti immuno-compromessi, le lavoratrici-madri o in gestazione e nel caso in cui gli ambienti siano destinati a un uso promiscuo e densamente occupati (aule, segreterie, ecc.). La trasmissione può avvenire anche per contatto e per via oro-fecale.

L'affollamento dei locali, l'inadeguata ventilazione e l'insufficienza dei ricambi d'aria negli ambienti rappresentano condizioni critiche, che incrementano la possibilità di contatto con le potenziali sorgenti di rischio (*persone affette da malattie infettive o portatrici sane o asintomatiche*) e impediscono la diluizione degli inquinanti biologici negli ambienti. Il cattivo stato di manutenzione e di pulizia dell'edificio, degli ambienti *indoor*, dei servizi igienici e degli impianti sia di trattamento aria che idrosanitari può determinare condizioni favorevoli allo sviluppo e all'accumulo di muffe, batteri ambientali (ad esempio Legionelle) e acari della polvere.

In linea generale le patologie prevalenti riscontrate tra la popolazione scolastica sono rappresentate da:

- malattie virali, con epidemie stagionali di raffreddore, influenza, e altre malattie a trasmissione aerea (morbillo, varicella, rosolia ecc.);
- parassitosi (ad esempio, pediculosi, scabbia, ossiuri);
- patologie allergiche (allergie da pollini, acari della polvere, muffe, ecc.).

Asili nido e scuole dell'infanzia estendono il campo delle patologie a quelle che si possono contrarre durante l'assistenza ai bambini per contatto con secrezioni, feci ed urine infette.

Contaminazione microbiologica e “qualità dell'aria indoor”

La buona qualità dell'aria negli ambienti *indoor* è un importante determinante della salute, tanto più in considerazione dei lunghi tempi di permanenza che le popolazioni dei Paesi industrializzati trascorrono in ambienti confinati sia di vita che di lavoro. La IAQ, infatti, influisce sullo stato di salute, contribuisce ad un maggior senso di comfort e benessere e migliora le prestazioni degli occupanti l'ambiente confinato.

È noto che i microrganismi, in quanto ubiquitari, sono una componente costante di ogni ambiente naturale e confinato; la maggior parte di essi risulta innocua per l'uomo. La componente microbiologica dell'aria è definita nel suo insieme con il termine di “bioaerosol”: con esso si intendono gli aerosol contenenti microrganismi (batteri, funghi, virus) e loro componenti o derivati, le cui caratteristiche sono riportate nella Tabella 4.1.1.1.

Il range dimensionale dei bioaerosol è tale da consentirne l'aerodiffusione e la sedimentazione anche a distanza dalla sorgente di emissione e include la “frazione respirabile” del particolato aerodisperso ($< 10\mu\text{m}$), di notevole interesse e rilevanza ai fini sanitari, perché in grado di penetrare in profondità nei polmoni.

Tabella 4.1.1.1 - Bioaerosol e sue caratteristiche

Dimensioni del bioaerosol	Particelle solide o liquide sospese nell'aria, con $0,01\ \mu\text{m} < D^7 < 100\ \mu\text{m}$ (ACGIH, 1999).
Composizione del bioaerosol	Virus
	Microrganismi (batteri, funghi, artropodi, protozoi), loro prodotti (spore fungine, micotossine, composti organici volatili) o componenti (endotossine batteriche, β -glucani fungini).
	Forfora, peli e squame cutanee.
	Allergeni vegetali e animali (pollini, allergeni da acari della polvere, muffe e loro spore, animali domestici, blatte).

In ambiente *indoor* la composizione del bioaerosol varia in funzione delle condizioni igieniche e dello stato di conservazione dei locali, della temperatura, del livello di umidità, del grado di ventilazione e di affollamento, delle abitudini degli occupanti e dell'attività svolta. La presenza di contaminanti biologici può determinare lo scadimento della qualità dell'aria *indoor*.

Numerosi studi hanno dimostrato l'associazione tra scarsa qualità dell'aria di un ambiente *indoor*, per inadeguata ventilazione e presenza di contami-

7 Diametro aerodinamico.

nanti biologici ed effetti sulla salute degli occupanti [*Sick Building Syndrome* (SBS); *Building Related Illnesses* (BRI)].

Sick Building Syndrome (SBS)

Sindrome che si manifesta con sintomi multipli e aspecifici (irritazione di naso, gola, occhi, malessere, nausea, cefalea, sensazione di discomfort, difficoltà di concentrazione), la cui causa non è ben definita, ma comunque correlata alla permanenza nell'edificio.

Building Related Illnesses (BRI)

Malattie diagnosticabili, cioè con sintomatologia definita e causa identificabile (asma, malattia del legionario, riniti, alveoliti, sinusiti, febbre degli umidificatori ecc.).

Elevate concentrazioni di bioaerosol o la presenza di componenti infettive o potenzialmente tossigeniche e allergeniche possono dare origine a irritazioni, infiammazioni, sensibilizzazioni nei soggetti predisposti o ad effetti di tipo tossico, allergico e infettivo.

Nonostante la molteplicità delle sorgenti, la principale fonte di contaminazione microbiologica *indoor* è rappresentata dall'uomo, che disperde microrganismi attraverso la desquamazione della cute o mediante tosse, starnuti e durante il parlato; gli indumenti possono poi veicolare i contaminanti anche a distanza (Tabella 4.1.1.2). L'affollamento incrementa il calpestio favorendo il sollevamento della polvere sedimentata sul pavimento; ciò può rappresentare un'ulteriore fonte e/o veicolo di contaminazione microbiologica che, unitamente alla permanenza prolungata, incrementa il rischio infettivo negli ambienti *indoor*. In mancanza di adeguati ricambi di aria, il bioaerosol può accumularsi e, qualora sussistano condizioni favorevoli (presenza nell'ambiente di acqua, umidità, sostanze nutritive, ossigeno e temperature adeguate), la sua componente vitale batterica e fungina può moltiplicarsi fino a raggiungere concentrazioni elevate. Inoltre, alti livelli di umidità negli elementi costruttivi e nell'aria *indoor* (U.R. > 65%), causati da difetti strutturali o carenze di manutenzione degli edifici, possono favorire la riproduzione degli acari e causare la formazione e la proliferazione di funghi e di altri microrganismi, alla base dell'insorgenza di allergie e altri sintomi a carico delle vie aeree.

Batteri e funghi possono, inoltre, essere responsabili di infezioni, mentre i loro prodotti o le componenti delle loro cellule possono sviluppare reazioni tossiche. È noto, infine, che la polvere può contenere allergeni di origine animale (derivanti da insetti, acari, mammiferi), fungina o vegetale in grado di indurre fenomeni di sensibilizzazione o dare origine a pericolosi attacchi di

asma, in dipendenza dalla tipologia del soggetto esposto (Tabella 4.1.1.3). Per tale motivo è fondamentale assicurare l'adeguata ventilazione, naturale o meccanica, di tutti gli ambienti *indoor*. Il ricambio dell'aria, infatti, oltre a garantire una generale condizione di comfort agli occupanti, favorisce, come già detto, la diluizione e/o l'allontanamento delle componenti infettive, tossiche o allergeniche eventualmente presenti.

Tabella 4.1.1.2 - Sorgenti di contaminazione microbiologica indoor

Sorgenti	Meccanismi di contaminazione
Aria esterna	A seguito di apertura di porte e finestre, presenza di fessure nelle pareti ecc.
Uomo	Possibilità di incubare agenti infettivi e/o disperdere microrganismi attraverso la desquamazione della cute, gli indumenti, tramite colpi di tosse o starnuti e durante il parlato.
Piante	Aerodispersione della microflora contenuta nel terreno (funghi) e sulla parte fogliare (filloplano).
Polvere	Può rappresentare un ricettacolo di microorganismi con possibilità di loro dispersione nell'aria e sedimentazione sulle superfici (<i>pavimenti, arredi, ecc.</i>).
Apparecchiature, impianti ventilazione, condizionamento, idrosanitari	Se non correttamente mantenuti e/o se mal funzionanti, possono accumulare sporcizia e diventare serbatoi di germi passibili di essere diffusi tramite le condotte dell'impianto.
Materiali edilizi e di rivestimento, arredi e tappezzerie	Se in cattivo stato possono ospitare crescite microbiche o organismi (muffe e batteri, acari della polvere, blatte, ecc.).
Rifiuti e materiali organici	Costituiscono substrati nutritivi per la crescita microbica (<i>ad esempio, accumuli di carta e cartone, residui alimentari</i>).

Tabella 4.1.1.3 - Principali fonti di allergeni indoor (da C. Pini, 2013)

Insetti	<i>Blattella germanica, Periplaneta americana</i>
Muffe	<i>Aspergillus fumigatus, Penicillium sp., Alternaria alternata</i>
Acari	<i>Dermatophagoides spp., Euroglyphus mauynei, Blomia tropicalisi, Lepidoglyphus destructor</i>
Mammiferi	<i>Felis domesticus, Canis familiaris, Mus musculus, Rattus norvegicus</i>

IAQ nelle scuole

Come già accennato nella premessa, alcune patologie di cui soffre la popolazione studentesca sono da correlare alla sua permanenza, per un periodo di tempo prolungato, in un ambiente di tipo confinato con IAQ non adeguata. In particolare, per quanto riguarda il rischio biologico, si può affermare che le dimensioni delle aule scolastiche, il sovraffollamento e la scarsa aerazione degli ambienti possono amplificare il rischio, in quanto:

- 1) limitano l'abbattimento delle concentrazioni dei contaminanti aerodispersi eventualmente presenti, aumentando i livelli di umidità indoor;
- 2) concentrano le sorgenti di rischio;
- 3) aumentano le occasioni di esposizione alle sorgenti di rischio infettivo (per la possibile presenza di portatori sani o asintomatici di malattie), tossico e allergenico.

Nel 2001 l'EFA (*European Federation of Asthma and Allergy Associations*) ha elaborato una tabella che riporta alcune regole basilari da rispettare per garantire una buona gestione della qualità dell'aria nelle scuole (Tabella 4.1.1.4). In Italia, a seguito dell'Accordo tra Ministro della Salute, Regioni e Province autonome del 27 settembre 2001⁸, sono state elaborate dalla Commissione tecnica nazionale per l'inquinamento indoor le Linee di indirizzo del 2010 (*Accordo Governo-Regioni, 2011*). Tale strumento rappresenta un riferimento utile per migliorare la salubrità e la sicurezza degli ambienti scolastici al fine ridurre i principali fattori di rischio ambientali responsabili di asma e allergie e definire gli interventi di prevenzione idonei a conseguire tale obiettivo.

Tabella 4.1.1.4 - *Requisiti necessari per una buona gestione della qualità dell'aria a scuola (EFA, 2001).*

Divieto assoluto di fumo
Assenza di muffe nell'edificio scolastico
Adeguate sistema di pulizia e manutenzione
Adeguate controllo dei sistemi di ventilazione nelle classi
Monitoraggio periodico dei parametri della qualità dell'aria nella scuola
Formazione di studenti, insegnanti e personale scolastico e di quello responsabile della gestione e della manutenzione e pulizia

⁸ Cfr. nota 3.

Il controllo microbiologico per la valutazione dell'IAQ

Ai fini della tutela della salute degli occupanti è fondamentale disporre di standard di riferimento che permettano di interpretare i risultati delle misure ambientali condotte e, quindi, di definire la qualità dell'aria ambiente. Non essendo disponibili valori di riferimento relativamente all'entità della contaminazione microbica in ambiente *indoor*, non è possibile definire la "soglia" oltre la quale si possono instaurare condizioni di rischio per la salute degli occupanti. In aggiunta, la variabilità della sensibilità e della risposta individuale all'esposizione non consentono di definire una relazione tra "dose" e "risposta".

In assenza di un valore limite di esposizione valido per tutti i contaminanti biologici, al fine di esprimere un parere in merito alla salubrità dell'aria *indoor* è possibile tuttavia confrontare i livelli di contaminazione microbica totale rilevati con "valori indicativi" e "criteri orientativi" di valutazione proposti a livello nazionale e internazionale. Resta inteso che l'eventuale riscontro di agenti patogeni (agenti biologici appartenenti al 2° gruppo di rischio o superiore a questo) impone la necessità di mettere in atto interventi finalizzati al ripristino di condizioni igienico ambientali accettabili.

Nella prassi comune, per il controllo microbiologico della IAQ si procede alla misura dei livelli di concentrazione batterica e fungina totali e all'analisi della tipologia della contaminazione presente in campioni di aria e di superfici rappresentativi dell'ambiente *indoor* (Tabella 4.1.1.5). La misura viene effettuata attraverso l'utilizzo di tecniche colturali, che consentono di conteggiare il numero di colonie dei microrganismi vitali e coltivabili in laboratorio, esprimendo i risultati in funzione dell'unità di volume d'aria o di superficie esaminata.

I valori di concentrazione microbica misurati sono confrontati con quelli corrispondenti rilevati nell'ambiente esterno (*outdoor*), per verificare eventuali fenomeni di accumulo o crescita microbica nell'*indoor*.

Attraverso i dati ottenuti dal controllo è possibile acquisire informazioni circa:

- la contaminazione microbiologica ambientale complessiva;
- la relazione tra contaminazione microbiologica e attività svolta nell'*indoor*;
- l'efficienza dei sistemi di ricambio e/o trattamento dell'aria;
- l'efficacia delle procedure igieniche e delle misure preventive o di contenimento del rischio biologico adottate.

Tabella 4.1.1.5 - Parametri microbiologici per il controllo della IAQ

-
- Concentrazione batterica totale a 37°C (batteri mesofili), indice di contaminazione da batteri che possono includere tra loro patogeni convenzionali od opportunisti
-
- Concentrazione batterica totale a 22°C (batteri psicrofili), indice di contaminazione batterica di origine ambientale
-
- Concentrazione fungina totale (muffe e lieviti), correlabile ai livelli di polverosità e umidità ambientale e al grado di ventilazione dei locali. Alcune muffe possono essere patogene o causare allergie in soggetti sensibili
-
- Concentrazione totale di batteri appartenenti al genere *Staphylococcus spp.*, indice di contaminazione di origine antropica ed eventuale ricerca, al loro interno, della specie *Staphylococcus aureus*, agente biologico di gruppo 2 (Allegato XLVI del D. Lgs. 81/2008 e s.m.i.), potenziale patogeno per l'uomo
-
- Ricerca di eventuali altri patogeni aerotrasmissibili e di funghi tossigenici
-
- Dosaggio degli allergeni indoor della polvere
-

SCHEMA: La legionella pneumophila⁹

Caratteristiche: le legionelle sono batteri, ubiquitari e ampiamente diffusi negli ambienti naturali (laghi, fiumi, sorgenti, falde, pozzi, acque termali, ecc.), da cui possono facilmente raggiungere le reti d'acqua potabile, gli impianti idrici e aerulici, fontane, piscine etc., dove, in condizioni favorevoli, possono proliferare. La legionellosi è una malattia acquisita per via respiratoria, tramite inalazione di goccioline di acqua aerodisperse contenenti legionelle o particelle di polvere da esse derivate per essiccamento. L'aerosol può generarsi da rubinetti e diffusori delle docce dell'impianto idrico, torri di raffreddamento, condensatori evaporativi e umidificatori degli impianti di condizionamento, vasche idromassaggio, etc. Non è mai stata dimostrata la trasmissione interumana della malattia.



Classificazione di rischio: ai sensi del D. Lgs. n. 81/2008 Allegato XLVI e s.m.i.: tutti i batteri appartenenti al genere *Legionella* sono classificati nel 2° gruppo di rischio.

Condizioni di rischio: impianti idrosanitari e Sistemi HVAC¹⁰. Una manutenzione carente o un malfunzionamento di tali impianti può comportare il rischio di acquisire un'infezione da *Legionella* spp.. Tale rischio è correlato a: temperatura dell'acqua (favorente se compresa tra 25 e 42°C); presenza di amebe, sostanze biodegradabili, elementi in traccia (Fe, Cu, Zn ..), depositi calcarei e incrostazioni, che favoriscono la proliferazione di tale batterio; virulenza del ceppo microbico presente; sensibilità dell'ospite (uomo); possibilità di aerosolizzazione dell'acqua e di inalazione da parte dell'ospite sensibile.

Prevenzione del rischio: regolare pulizia e gestione degli impianti, manutenzione e sostituzione dei filtri degli impianti aerulici¹¹. Il datore di lavoro è obbligato a provvedere alla regolare manutenzione e pulitura degli impianti di aerazione ai sensi degli artt. 64 e 68 del D.Lgs. N. 81/2008 e s.m.i.

9 Da: INAIL. "Il rischio di esposizione a *Legionella* spp. in ambienti di vita e di lavoro", 2012 (www.inail.it).

10 HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning.

11 Al riguardo, consultare i documenti della Commissione consultiva permanente per la salute e sicurezza sul lavoro "Procedura operativa per la valutazione e gestione dei rischi correlati all'igiene degli impianti di trattamento aria" (2013) e dell'Istituto Superiore di Sanità, "Linee guida per la prevenzione ed il controllo della legionellosi" (2000).

In Italia, per la valutazione della IAQ, Dacarro e collaboratori (2000) hanno proposto un particolare approccio, che tiene conto del contributo delle cariche totali sia batteriche che fungine, fondato sul calcolo degli "Indici di contaminazione microbica" di seguito illustrati:

- 1) IGCM (Indice globale di contaminazione microbica): UFC¹² batteri mesofili (37°C) + UFC batteri psicrofili (20°C) + UFC miceti.
- 2) ICM (Indice di Contaminazione da batteri Mesofili): UFC batteri mesofili (37°C) / UFC batteri psicrofili (20°C). Tale indice valuta il contributo, alla contaminazione totale, dei batteri di origine umana, tra i quali possono essere presenti patogeni. È indicativo del livello di affollamento e dell'efficienza dei ricambi d'aria.
- 3) IA (Indice di Amplificazione): IGCM indoor / IGCM outdoor. Tale indice valuta eventuali fenomeni di accumulo interno della contaminazione (stato igienico).

Lo schema di Tabella 4.1.1.6 riporta i valori di ciascun indice in base ai quali classificare la IAQ in categorie e classi di contaminazione microbica.

Tabella 4.1.1.6 - Categorie e Classi di contaminazione microbiologica dell'aria indoor (tratto da Dacarro C. e collaboratori, 2000)

Categoria di contaminazione	IGCM/m ³	Classe		
Molto bassa	< 500			
Bassa	< 1.000			
Intermedia	> 1.000	A: IGCM >1000; B: IGCM >1000; C: IGCM >1000;	ICM < 3; ICM > 3 o ICM > 3 ;	IA < 3 IA > 3 IA > 3
Alta	> 5.000	D: IGCM > 5.000; E: IGCM > 5.000; F: IGCM > 5.000;	ICM < 3; ICM > 3 o ICM > 3 ;	IA < 3 IA > 3 IA > 3
Molto Alta	> 10.000	G: IGCM > 10.000; H: IGCM > 10.000; I: IGCM > 10.000;	ICM < 3; ICM > 3 o ICM > 3 ;	IA < 3 IA > 3 IA > 3

¹² La concentrazione totale di batteri e funghi nell'aria viene comunemente espressa in termini di Unità Formanti Colonia (UFC) per m³ di aria.

Piano di monitoraggio adottato per il controllo microbiologico della IAQ

Le indagini svolte nel progetto sono state finalizzate alla conoscenza dei livelli di contaminazione microbiologica totale, aerodispersa o di superficie, in alcuni Istituti scolastici di Roma, per un totale di n. 4 edifici, tutti con ricambio d'aria naturale. Sono stati raccolti n. 534 campioni, comprensivi dei c.d. "bianchi" (campioni *outdoor*, cioè prelevati all'esterno degli edifici) rilevati in ogni giornata di campionamento, per conoscere i livelli di contaminazione di fondo dell'aria in ingresso negli edifici scolastici. In ogni edificio, i prelievi sono stati effettuati stagionalmente (periodo caldo e periodo freddo), nel corso delle normali attività didattiche o di lavoro. I campionamenti dei contaminanti presenti sulle superfici hanno interessato i servizi igienici (bagni maschi e femmine), mentre quelli presenti in aria hanno riguardato le aule, i laboratori (informatica, microbiologia e chimica), le palestre e gli ambienti dedicati all'attività amministrativa. Sono stati rilevati i seguenti parametri microbiologici: batteri mesofili e psicrofili e funghi totali (muffe + lieviti); inoltre è stata effettuata la ricerca di *Staphylococcus aureus* e dei batteri Gram negativi totali. Tutti i parametri sono espressi in termini di Unità Formanti Colonia (UFC) per m³ d'aria aspirata o 100 cm² di superficie esaminata. Per il protocollo di campionamento ed analisi si è fatto riferimento alle Linee Guida INAIL-CONTARP (Edizione 2010), che prevedono:

- campionamenti in triplo per ogni parametro misurato per ciascun punto di prelievo;
- utilizzo di campionatore attivo ad impatto ortogonale: *SAS Super 180 (International pbi)*, con portata pari a 180 L_{aria}/min.;
- volumi d'aria campionati: 100 - 200 L;
- terreni di coltura:
 - Tryptic Soy Agar*, per le cariche batteriche totali;
 - Sabouraud Agar + cloramfenicolo*, per la carica fungina totale;
 - MacConckey Agar* per la ricerca dei Gram negativi;
 - Baird Parker Agar + RPF* per la ricerca dello *Staphylococcus aureus*.

I prelievi da superficie sono stati effettuati con piastre a contatto sterili tipo *Surfair Plate*, posizionate tramite Applicatore *RODAC Weight (International pbi)* per una durata di contatto con la superficie pari a 10 sec. e hanno interessato pareti, porte e maniglie.

Il giudizio sulla qualità microbiologica dell'aria indoor è stato formulato sulla base degli indici proposti da Dacarro C. e collaboratori.

Per quanto riguarda la contaminazione delle superfici, non sono disponibili indici di riferimento specifici per le scuole. Tuttavia, attenendosi alle indicazioni fornite dall'*American Public Health Association* (APHA, 1970) per la "generica" concentrazione batterica delle superfici dei servizi igienici, misurata con la me-

desima tecnica prevista dal protocollo INAIL-CONTARP, il giudizio sulla carica microbica totale si può ritenere “buono” se questa risulta compresa tra 0 e 25 UFC/24 cm² di superficie, corrispondenti a 0 - 104 UFC/100cm².

Risultati

Nelle Figure 1 ÷ 3 che seguono si riportano i valori degli indici di contaminazione microbiologica dell'aria IGCM/m³, ICM e IA calcolati sulla base delle concentrazioni microbiche misurate nei diversi punti in cui è stato campionato il bioaerosol. La Figura 4 visualizza, invece, i risultati delle misure stagionali delle concentrazioni batteriche e fungine effettuate sulle superfici dei servizi igienici. I valori di concentrazione ottenuti (UFC per m³ di aria) hanno mostrato una notevole dispersione, caratteristica intrinseca al monitoraggio ambientale del bioaerosol, per l'influenza delle condizioni ambientali esistenti nei locali al momento del campionamento (numero di persone presenti, attività svolta, ventilazione, etc.). I risultati confermano l'importanza del monitoraggio della IAQ per ricavare informazioni utili ai fini della valutazione delle condizioni di salute e benessere nelle scuole.

Aria indoor

Negli edifici scolastici sottoposti ad indagine la IAQ è risultata buona, in quanto i valori di IGCM/m³ dell'aria *indoor* sono risultati < 1000 (classe di contaminazione “bassa”), con unica eccezione per quelli registrati nei laboratori nella stagione calda, quando anche l'IGCM/m³ dell'aria di fondo ambientale (bianco o *outdoor*) è risultato nella classe di contaminazione “intermedia” (Figura 4.1.1.1).

Si registra un apporto antropico alla contaminazione microbica globale (ICM>1) più marcato nella stagione calda (Figura 4.1.1.2). I valori dell'indice ICM possono fornire un segnale di problemi di affollamento degli ambienti o di scarso ricambio d'aria. Dalla Figura 4.1.1.2 si evince chiaramente che il contributo antropico alla contaminazione riguarda soprattutto i laboratori che hanno dimensioni inadeguate per il numero di studenti e docenti ospitati.

In tutti gli ambienti ed in entrambe le stagioni esaminate è stata registrata un'amplificazione (IA>1) della contaminazione microbiologica globale dell'aria nell'*indoor* rispetto ai livelli di fondo ambientali (Figura 4.1.1.3). Tale risultato evidenzia l'esistenza di condizioni che agevolano la concentrazione microbica. Alla luce delle considerazioni sopra esposte e tenuto conto dei valori di CO₂ misurati negli stessi ambienti (paragrafo 4.1.2) si conferma l'esistenza di problemi di affollamento a cui si accompagna un ricambio d'aria inadeguato. In queste condizioni, la presenza nell'edificio scolastico di soggetti ammalati o portatori (*sani o precoci*) di malattia determina una possibile condizione di rischio infettivo.

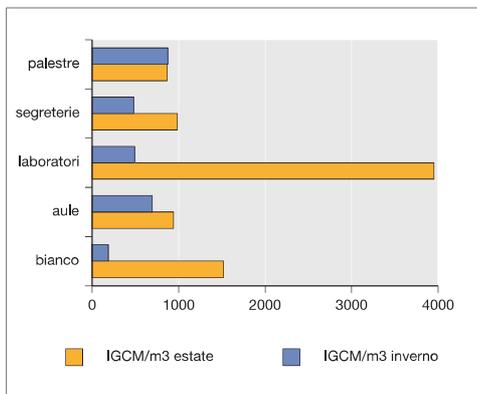


Figura 4.1.1.1 - Indice globale di contaminazione microbica dell'aria (sulle ascisse i valori di IGCM/m³ aria)

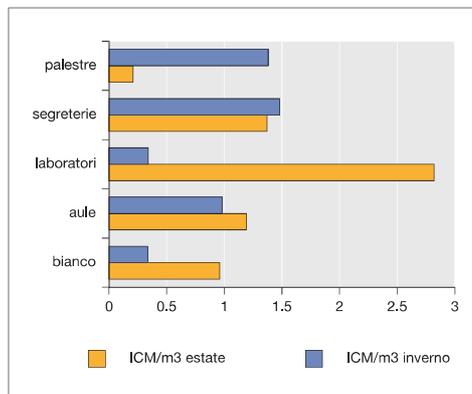


Figura 4.1.1.2 - Indice di contaminazione dell'aria da mesofili (sulla ascisse i valori dell'indice ICM)

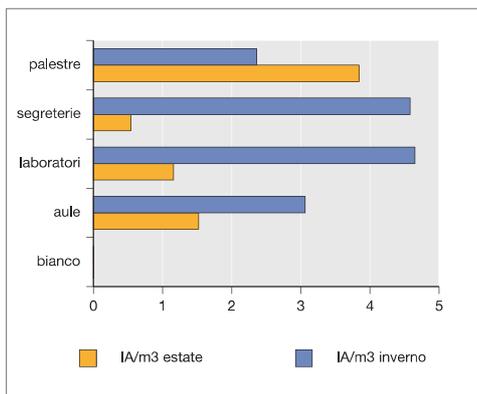


Figura 4.1.1.3 - Indice di amplificazione della contaminazione microbica dell'aria (sulle ascisse i valori dell'indice IA)

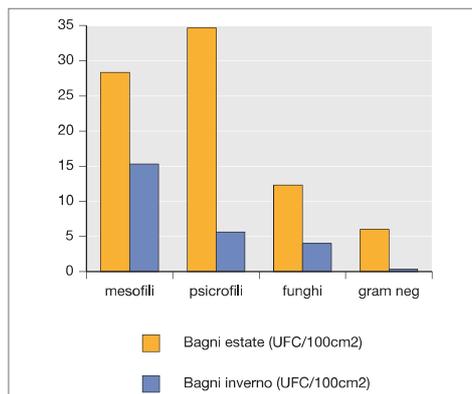


Figura 4.1.1.4 - Concentrazioni microbiche totali misurate sulle superfici esaminate (sulle ascisse le categorie microbiche monitorate)

Superfici indoor

Per quanto riguarda la contaminazione delle superfici dei bagni delle scuole, i risultati dimostrano che i valori di concentrazione batterica e fungina totale, seppur bassi, sono maggiori nella stagione calda (fino a 35 UFC/100 cm² per i batteri, con una predominanza della frazione di origine ambientale, e 12 UFC/100 cm² per i funghi) rispetto a quella fredda (Figura 4.1.1.4). In generale, in entrambe le stagioni, la componente batterica totale predomina su quella fungina. Attenendosi agli standard fissati da *APHA*, la carica microbica risulta compresa nel *range* di accettabilità (< 25 UFC/24 cm²).

Sulla base del presupposto che i microrganismi, in quanto ubiquitari, sono presenti in modo costante negli ambienti naturali di vita e di lavoro e che la frazione potenzialmente patogena è normalmente molto ridotta rispetto a quella innocua per la salute umana, il contenimento della contaminazione microbica al più basso livello possibile riduce la probabilità della presenza di un agente infettivo. Pertanto, in mancanza di valori di riferimento, è opportuno effettuare misure periodiche della contaminazione e analizzare il trend temporale. In tal modo si può definire un proprio “standard” (livello di concentrazione microbica) di riferimento. Nel caso di superamento di tale valore, potrebbe essere opportuno rimodulare di conseguenza gli interventi di pulizia e sanificazione delle superfici (nel caso di specie, quelle dei servizi igienici).

Su nessuna delle superfici campionate è stato riscontrato ***Staphylococcus aureus***, la cui presenza, al contrario, è stata rilevata nell'aria di due siti di prelievo (aula e palestra del medesimo edificio) in entrambe le campagne stagionali condotte. Gli Stafilococchi sono batteri Gram positivi presenti nella popolazione microbica della cute e delle mucose dell'uomo e pertanto l'attività motoria svolta nelle palestre, comportando sudorazione, desquamazione cutanea e sollevamento di polvere, ne giustifica la loro presenza. All'interno del raggruppamento, tuttavia, il rinvenimento della specie patogena *Staphylococcus aureus* (agente biologico di gruppo 2 - D.Lgs. n. 81/2008, All. XLVI) obbliga il Dirigente scolastico in qualità di Datore di lavoro a mettere in atto tutte le misure necessarie a prevenire il rischio infettivo.

Al contrario, i **batteri Gram negativi**, componenti della microflora mesofila, sono presenti solo sulle superfici dei bagni, anche se in concentrazioni molto basse (< 6 UFC/ 100 cm²). Il rinvenimento di Gram negativi nei servizi igienici non costituisce di per sé una condizione di pericolo, a meno che questi non rappresentino la frazione predominante dei mesofili totali presenti o quando, nel raggruppamento, sono presenti batteri di origine fecale patogeni per l'uomo (*Salmonelle*, *Shigelle*, etc.). La predominanza di Gram negativi è indice di scarsa ventilazione e, per conseguenza, rende necessario rivedere i protocolli e la frequenza degli interventi di pulizia ambientale adottati.

4.1.2 Rischio chimico

Inquinamento in ambienti indoor

I livelli di inquinanti presenti in ambienti *indoor*, all'interno dei quali gli studenti svolgono la maggior parte della propria attività scolastica, possono essere considerevolmente più elevati di quelli rilevabili all'esterno. Numerosi studi hanno evidenziato il ruolo etiologico di una serie di inquinanti presenti negli ambienti confinati non industriali a danno di adulti e di soggetti più giovani. È stato dimostrato che esposizioni prolungate, anche a basse concentrazioni di inquinanti, possono determinare effetti avversi sulla salute. L'inquinamento *indoor* è associato ad un maggior rischio di irritazioni, sintomi respiratori acuti, iperreattività bronchiale, infezioni respiratorie, broncopneumopatie croniche ostruttive e sensibilizzazioni allergiche. Più specificamente, i principali inquinanti indoor irritanti o sensibilizzanti di natura chimica o biologica sono in grado di causare crisi bronco-ostruttive; l'esposizione a fumo di tabacco ambientale, formaldeide ed altri composti organici volatili, singolarmente o in miscele, è stata associata ad un'umentata prevalenza di sintomi respiratori, descrittivi di un quadro asmatico, sia in ambito domiciliare che lavorativo.

Negli Stati Uniti, già da diversi anni sono state sviluppate iniziative di ricerca mirate a valutare la qualità dell'aria *indoor*; alcuni studi¹³ in particolare attribuiscono alla presenza di inquinamento nelle scuole una parte dell'aumento e dell'aggravamento delle malattie respiratorie dell'infanzia; ciò ha indotto alcune organizzazioni americane, tra cui l'Environmental Protection Agency (EPA) ed il Center for Disease Control and prevention (CDC), a promuovere e sostenere progetti volti a migliorare la qualità dell'aria *indoor*.

Anche in Europa le patologie respiratorie ed allergiche sono molto comuni e rappresentano un considerevole onere nel bilancio del sistema sanitario. Ricerche condotte sugli ambienti scolastici e sugli effetti sulla salute correlati all'inquinamento indoor sono state portate a termine in una serie di Paesi, soprattutto del nord Europa, anche se su un campione ridotto di scuole. Il quadro delle conoscenze relative alla qualità dell'aria indoor nelle scuole e ai relativi effetti sulla salute è stato a lungo condizionato dall'impiego di differenti protocolli per accertare il rischio precludendo la possibilità di comparare i dati rilevati nei differenti Paesi.

Lo studio HESE (Health Effect of School Environment), promosso e finanziato dalla DG-SANCO della Commissione Europea, ha coinvolto 5 Paesi, tra cui l'Italia, su un campione di 21 scuole elementari. La ricerca, articolata su più livelli di intervento (*somministrazione di questionari, monitoraggio ambientali,*

13 American Academy of Pediatrics-Committee on Environmental health; National Academy of Sciences-Committee on the Assessment of Asthma and indoor air.

test clinici), ha evidenziato che nell'aria *indoor* delle scuole le concentrazioni di PM10 (Particulate Matter o Materia Particolata il cui diametro aerodinamico è uguale o inferiore a 10 µm) e di anidride carbonica (CO₂) sono generalmente più elevate che nell'aria esterna, a conferma del fatto che il diritto dei bambini di respirare aria pulita nella scuola, sancito dall'OMS nel 2000, non è ancora pienamente riconosciuto.

Molti altri inquinanti, oltre al PM10 e alla CO₂, possono essere presenti in ambienti confinati di tipo scolastico. L'aria degli ambienti indoor subisce alterazioni e modificazioni dovute ad una serie di fattori: presenza di persone, tipologia di materiali e di rivestimenti con cui sono costruiti gli edifici, arredi, sistemi di trattamento dell'aria, operazioni di manutenzione e di pulizia dei locali ecc.

A ciò si aggiunge l'influenza che l'ambiente *outdoor* può avere su quello interno, a causa dell'inquinamento derivante dal traffico veicolare o dovuto alla presenza di industrie ubicate in prossimità degli edifici scolastici.

In ambito nazionale l'accordo siglato nel 2010 tra il Governo, le Regioni e le Province autonome e gli Enti locali sul documento "*Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie ed asma*", ha inteso focalizzare l'attenzione delle istituzioni scolastiche e della popolazione in generale sull'importanza della qualità dell'aria degli ambienti scolastici sulla salute dei bambini, e indicare linee operative per realizzare in tali ambienti condizioni igienico-sanitarie e di sicurezza adeguate alle specifiche esigenze dei soggetti allergici o asmatici. Nella Tabella 4.1.2.1 sono riportate le tipiche sorgenti dell'inquinamento presenti in ambienti confinati unitamente agli agenti chimici che da esse originano.

Tabella 4.1.2.1 - Fonti di inquinamento indoor e relativi agenti inquinanti

Fonti di inquinamento indoor	Agenti inquinanti
Materiali da costruzione	radon, amianto, fibre minerali
Materiali di rivestimento e moquette	formaldeide, acrilati, VOC (Composti Organici Volatili)
Mobili da ufficio	formaldeide, VOC
Liquidi e prodotti per la pulizia	alcoli, fenoli, VOC
Fotocopiatrici	ozono (O ₃), polvere di toner, idrocarburi volatili (VOC)
Fumo di sigaretta	idrocarburi policiclici, VOC, formaldeide, CO, particolato fine
Impianti di condizionamento	CO ₂ e di VOC in concentrazioni incrementate a causa di uno scarso numero di ricambi orari o eccesso di riciclo
Coibentanti	fibre di lana di vetro, lana di roccia, amianto

Tra queste fonti di pericolo andranno individuati i reali fattori di rischio considerando i livelli di concentrazione aerodispersi e i dati espositivi.

La percezione della presenza di cattivi odori, di fenomeni irritativi o dovuti ad altri effetti sensoriali costituisce un primo, immediato indicatore della qualità dell'aria indoor; tuttavia nel caso di inquinanti quali gas, vapori e particolato, che potrebbero comportare un rischio per la salute, è necessario verificare che la loro concentrazione sia inferiore ai valori limite, eventualmente dettati dalla normativa o da standard di qualità.

Valutazione del rischio chimico negli edifici scolastici

Il D.Lgs. 81/2008 e s.m.i. disciplina la valutazione del rischio chimico nel Titolo IX, Capo I (Protezione da agenti chimici) e Capo II (Protezione da agenti cancerogeni e mutageni), dettandone criteri, metodi e finalità, sinteticamente illustrati nella sezione *Riferimenti normativi e strategie per la valutazione del rischio chimico*. Ai fini della valutazione del rischio chimico vanno considerate:

1. le proprietà tossicologiche delle sostanze che, entrando in contatto con l'organismo umano, possono essere responsabili di effetti nocivi a lungo termine;
2. la possibilità che si verifichino infortuni dovuti agli effetti acuti o alle proprietà corrosive di alcune sostanze chimiche con cui si entra in contatto in modo accidentale;
3. l'eventualità che possano aver luogo esplosioni e/o incendi per la presenza di sostanze aventi particolari caratteristiche chimico-fisiche.

In linea generale all'interno degli edifici scolastici possono essere individuate diverse tipologie di ambienti *indoor*: aule, laboratori, uffici e palestre.

In particolare, per le attività svolte in laboratorio e per quelle di pulizia e manutenzione, è necessario conoscere le caratteristiche chimico-fisiche dei prodotti, le relative quantità normalmente in uso, quelle stoccate, la frequenza di utilizzo e le modalità di manipolazione da parte di chi è preposto a utilizzarle; di conseguenza il censimento di tutte le sostanze potenzialmente pericolose rappresenta la fase iniziale della valutazione del rischio.

Per gli ambienti in cui si svolge attività didattica, l'interesse principale è focalizzato sulla verifica della qualità dell'aria indoor (IAQ) e, su tale aspetto, molti degli studi e dei rilievi sperimentali reperibili nella letteratura nazionale e internazionale svolti negli ambienti scolastici riguardano per la maggior parte le aule; da questi risulta inoltre che la scelta degli indicatori da monitorare è fondamentale al fine di:

- identificare sorgenti di inquinanti;

- determinare l'efficienza dei sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento di un edificio;
- verificare le azioni correttive e correlare i sintomi degli occupanti alla qualità dell'aria indoor.

Tra gli indicatori comunemente utilizzati nella valutazione della IAQ rientrano la concentrazione del contaminante, la velocità di emissione delle sorgenti, la percezione di odori e sensazioni olfattive, la densità degli occupanti; di norma vengono valutati anche i rapporti di concentrazione *indoor/outdoor* dei vari inquinanti, la loro velocità di emissione per unità di area calpestabile o di volume dell'edificio. Tra i contaminanti più frequentemente misurati vi sono: CO₂, ossido di carbonio (CO), la componente totale degli elementi organici volatili (TVOCs), i componenti organici volatili specifici (VOCs) e il radon. I VOC rappresentano i microinquinanti dell'ambiente di lavoro indoor più comuni: in questa categoria rientrano più di 300 composti, i più noti dei quali sono gli *idrocarburi alifatici*, gli *idrocarburi aromatici*, gli *idrocarburi clorurati*, i *terpeni*, gli *alcoli*, gli *esteri*, i *chetoni* e le *aldeidi*.

È anche possibile ed utile impiegare un indicatore che correli tra loro i livelli di CO₂ e VOC.

Di recente è stato condotto uno studio in alcune scuole della Toscana, nell'ambito del quale sono stati monitorati diversi agenti di rischio, tra cui il PM2,5 (sottoinsieme del PM10 avente diametro inferiore a 2,5 µm), alcune aldeidi (formaldeide e acetaldeide) e la classe dei BTEX (benzene, toluene, etilbenzene e xileni). Questi ultimi costituiscono un particolare sottoinsieme dei VOC totali, tipicamente presenti nei gas di scarico delle automobili; altre fonti indoor di BTEX nelle scuole sono rappresentate dal riscaldamento degli ambienti, dai detersivi utilizzati per la pulizia dei locali che possono contenere piccole quantità di questi composti, dai vapori di composti organici che si generano da alcuni materiali durante la ristrutturazione degli ambienti, dalla fumigazione a scopo di disinfezione o disinfestazione e, infine, dall'uso di pitture e solventi vari. Ulteriori contributi possono derivare dall'uso di alcuni materiali quali pennarelli, pitture, colle, prodotti di gomma, impiegati per la didattica. Infine, il microinquinamento da benzene può essere presente a livello indoor, spesso in concentrazioni maggiori di quelle rilevabili all'esterno.

Riferimenti normativi e strategie per la valutazione del rischio chimico

L'art. 221 del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i. definisce i requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza che derivano, o possono derivare, dagli effetti di agenti chimici presenti sul luogo di lavoro o come risultato di ogni attività lavorativa che comporti la presenza di agenti chimici.

Nella definizione dei criteri per la corretta valutazione del rischio chimico, l'art. 223 richiama principi, già espressi dal precedente D.Lgs. 626/94 (titolo VII bis, art. 72 quater c1), secondo i quali, per ogni agente chimico pericoloso, sulla base dei risultati della valutazione dei rischi, il datore di lavoro deve porre in atto le misure utili a garantire un livello di rischio basso per la sicurezza e irrilevante per la salute dei lavoratori, in relazione al tipo e alla quantità dell'agente, al livello, al modo e alla durata dell'esposizione.

La valutazione del rischio chimico in ambito professionale può essere condotta secondo criteri e metodi molto diversi tra loro in relazione alla finalità che ci si prefigge. In generale, definiti per ogni agente chimico pericoloso il valore limite e il livello d'azione¹⁴, sono distinguibili i seguenti approcci metodologici:

- 1) *valutazione preliminare del rischio*, fondata sulla raccolta di dati informativi (schede di sicurezza di sostanze e preparati impiegati, quantità, tempi di esposizione, organizzazione del lavoro) degli agenti chimici pericolosi presenti nell'ambiente oggetto di studio. A seguito di tale analisi si può escludere la necessità di procedere a una valutazione più approfondita qualora, sulla base delle informazioni acquisite, l'esposizione risulti inferiore al livello d'azione. In tali condizioni il rischio può essere definito irrilevante;
- 2) *valutazione qualitativa e quantitativa del rischio* attraverso l'utilizzo di algoritmi o misure ambientali. Dall'esito dell'analisi così condotta il rischio può essere definito irrilevante (esposizione inferiore al livello d'azione) o non irrilevante (esposizione superiore al livello d'azione);
- 3) *verifica del rispetto del valore limite di esposizione* (valore limite ponderato indicato a norma di legge o da organismi scientifici) tramite effettuazione di misure ambientali per verificare l'eventuale superamento del livello d'azione o, nelle condizioni peggiori, del valore limite.

Mentre al di sopra del valore limite la maggior parte dei lavoratori corre il rischio di contrarre patologie, tra il livello di azione ed il valore limite tale condizione riguarda solo i soggetti ipersensibili. Al di sotto del livello di azione, infine, l'esposizione è talmente bassa che il rischio può considerarsi quasi nullo per tutti i lavoratori (compresi i soggetti ipersensibili). Nel caso della valutazione del rischio chimico, per ogni singola sostanza si utilizza come riferimento il valore limite ponderato (VLP) indicato dalle norme di legge o, in loro assenza, dagli organismi scientifici.

¹⁴ Il valore limite indica il livello di esposizione che non deve essere superato; il livello di azione è la soglia cui il lavoratore può essere esposto nonostante scatti l'obbligo di adottare misure di prevenzione specifiche (sorveglianza sanitaria, formazione, DPI, sistemi di prevenzione collettiva, ecc.).

La maggior parte delle politiche in materia di controllo dell'inquinamento dell'aria, nel corso degli ultimi decenni, ha riguardato l'ambiente esterno (D.Lgs. 155/2010). Di conseguenza, per la verifica della qualità dell'aria negli ambienti indoor residenziali privati e pubblici non vi sono veri e propri riferimenti legislativi nè tantomeno linee guida o valori di riferimento utili a valutare correttamente i livelli degli inquinanti misurati.

Gli standard di riferimento, inoltre, devono tenere conto anche della composizione della popolazione (bambini, anziani, soggetti malati, donne in gravidanza) e per tale motivo, per caratterizzare la qualità dell'aria indoor degli ambienti residenziali, i VLP devono essere più severi rispetto ai corrispondenti riferimenti igienico-sanitari impiegati per la protezione dei lavoratori contro le malattie professionali¹⁵. In relazione alla tipologia di studi effettuati (epidemiologici, clinici e tossicologici) si dispone di standard di qualità dell'aria indoor solo per un ristretto numero di agenti chimici. Per lo più, si fa riferimento alle linee guida elaborate da:

- Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS);
- Environmental Protection Agency (EPA);
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).

Agenti chimici monitorati

Tra gli indicatori che possono essere oggetto di monitoraggio ai fini dello studio della qualità dell'aria *indoor* sono stati scelti la CO₂ ed i VOC¹⁶. Nel prosieguo si riporta il dettaglio delle sorgenti da cui originano e i valori limite di esposizione e/o di riferimento indicati dalla letteratura scientifica.

CO₂

La principale sorgente di CO₂ negli ambienti di vita e di lavoro è dovuta alla respirazione degli esseri umani che ne producono in misura proporzionale al livello del loro dispendio metabolico. Fra i gas di origine metabolica, l'anidride carbonica è quello quantitativamente più abbondante: per tale ragione essa viene comunemente utilizzata come indicatore dell'inquinamento indoor.

Nelle indagini sulla qualità dell'aria, soprattutto negli ambienti ad elevato tasso di occupazione, la concentrazione di CO₂ è un parametro fondamentale per controllare gli apporti di aria esterna, (*percentuale di aria immessa*

¹⁵ Il loro impiego ha lo scopo di:

- minimizzare i problemi di salute anche delle popolazioni più vulnerabili (es: giovani e gli anziani);
- promuovere il benessere e il comfort di tutti gli occupanti dell'ambiente interno residenziale.

¹⁶ Agli inquinanti trattati in questa sezione va aggiunto il gas radon cui è dedicato il capitolo 4.1.3.

dai sistemi di condizionamento e suo grado di miscelazione con l'aria interna) e, in generale, le prestazioni dei sistemi di trattamento dell'aria (UTA).

Nel complesso, quindi, la concentrazione di CO₂ viene utilizzata come indicatore indiretto della ventilazione in relazione alla necessità di diluire opportunamente gli inquinanti prodotti dagli occupanti, e come parametro di controllo del tasso di ventilazione. In particolare, secondo lo standard ASHRAE 62, la relazione fra la concentrazione di CO₂ e l'apporto di aria esterna è dato dalla seguente espressione:

$$Q = \frac{N}{C_s - C_o} \quad [1]$$

dove

Q = tasso di ventilazione per occupante;

N = tasso di produzione di CO₂ per persona;

C_s = concentrazione di CO₂ nell'ambiente interno;

C_o = concentrazione di CO₂ nell'ambiente esterno.

Negli ambienti in cui l'unica fonte di inquinamento è costituita dagli occupanti, impiegando il livello di CO₂ aerodispersa come indice della concentrazione di bioeffluenti, si può calcolare la percentuale di insoddisfatti, in funzione della concentrazione dell'analita, secondo la seguente relazione:

$$PD = 395 \exp(-15,15 C_{CO_2}^{-0,25}) \quad [2]$$

La normale concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è pari a circa 350 ppm (630 mg/m³)¹⁷, anche se tale valore è in tendenziale crescita. La massima concentrazione ammissibile in ambienti chiusi è di 5000 ppm (9 g/m³), in termini di *Maximum Allowable Concentration* (MAC), e di 1000-2500 ppm (1.8-4.5 g/m³) in termini di *Acceptable Indoor Concentration* (AIC).

Al fine di garantire il *comfort* per presenza di odori corporali sgradevoli, lo standard ASHRAE 62.1 raccomanda di non superare le 1000 ppm, che corrispondono a 8 L/s per persona per uno standard occupazionale di circa 13 m² per persona.

Tale limite viene fissato unicamente in base alla associazione con l'odore corporeo e non con gli effetti sulla salute o sul comfort e si basa su una concentrazione esterna di 300 ppm¹⁸: in generale, comunque, nella norma tale valore di ventilazione viene raccomandato come valore minimo da adottare per la gran parte degli ambienti occupati.

¹⁷ Per valori di P=1 bar e T=20°C, per l'anidride carbonica vale la relazione: 1ppm=1,806 mg/m³.

¹⁸ Indirettamente questa associazione è fra il tasso di ventilazione per persona e la velocità con cui una persona produce sostanze odorose.

Qualora si superi una concentrazione di 600 ppm di CO₂ (circa 1 g/m³), gli insoddisfatti crescono significativamente secondo la relazione [2] sopra esposta; ad esempio, in condizioni di concentrazione differenziale di CO₂¹⁹ ($\Delta\text{CO}_2\text{-lim}$) pari a 700 ppm di CO₂ corrisponde una PD del 15%, che rappresenta condizioni di rischio non elevato. Quando i livelli riscontrati superano 800 ppm (1.44 g/m³) è consigliabile controllare i tassi di immissione dell'aria esterna.

Per evitare problemi alla salute, la concentrazione in ambienti chiusi non dovrebbe superare le 3500 ppm (6.3 g/m³), anche se in concentrazioni inferiori a 5000 ppm la CO₂ non è dannosa per l'uomo.

Concentrazioni superiori a 10000 ppm (18 g/m³) provocano malesseri reversibili, mentre oltre le 40000 ppm (72 g/m³) si registrano effetti di tossicità.

La ΔCO_2 possiede molti dei requisiti di un descrittore ideale perchè è in diretta relazione con il livello di discomfort, è semplice ed economica da rilevare e, se misurata facendo attenzione al mantenimento nell'ambiente di condizioni tipiche, possiede un'incertezza modesta.

La legislazione italiana prevede per l'anidride carbonica un valore limite, in relazione ad un periodo di riferimento di otto ore, pari a 9000 mg/m³ corrispondenti a 5000 ppm (D.Lgs. 81/2008 Allegato XXXVIII - Valori limite di esposizione professionale). Nella Tabella 4.1.2.2 si riportano i valori limite di riferimento (TLV= *Threshold Limit Values*; TWA= *Time Weighted Average*; STEL= *Short-Term Exposure Limit*; C= *Ceiling*) fissati dall'ACGIH e dall'ASHRAE.

Tabella 4.1.2.2 - Valori limite di riferimento per l'anidride carbonica.⁽¹⁾ Standard ACGIH, 2009;⁽²⁾ Standard ASHRAE [Per la conversione da ppm a mg/m³ ($T=25^\circ\text{C}$; $P=760$ torr): $\text{TLV (mg/m}^3\text{)}=(\text{TLV in ppm}) (PM \text{ in g})/24,45$ con $PM=$ peso molecolare]

	TWA		STEL/C	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
CO₂ (N° CAS 124-38-9)	5000 ⁽¹⁾	9000 ⁽¹⁾	30000 ⁽¹⁾	54000 ⁽¹⁾
		1800 ⁽²⁾		

¹⁹ Rapporto tra concentrazione di CO₂ riscontrata all'esterno e all'interno di un determinato ambiente.

Composti organici volatili

Negli ambienti *indoor* i composti organici volatili (VOC) comprendono alcune centinaia di tipologie di sostanze chimiche diverse. Queste sono generate principalmente da materiali edili, isolanti, arredi e rivestimenti. Possono inoltre provenire da sostanze naturali o da prodotti normalmente impiegati per l'igiene personale o per la pulizia degli ambienti. Un'altra sorgente di VOC è rappresentata dal fumo di tabacco e dai bioeffluenti emessi dall'uomo.

Tali sostanze hanno punti di ebollizione variabili da 50°C a 260°C in funzione dei quali si distinguono *composti organici gassosi molto volatili* (VVOC), con punto di ebollizione variabile da 0 a 100°C e *composti organici volatili* (VOC) propriamente detti, per i quali l'ebollizione avviene tra 100 °C e 260 °C²⁰.

I VOC possono determinare una vasta gamma di effetti che vanno dal disagio sensoriale fino a gravi alterazioni dello stato di salute. Alte concentrazioni negli ambienti *indoor* possono causare effetti a carico di numerosi organi o apparati e, in particolare, del sistema nervoso centrale. Infine, alcuni di essi sono cancerogeni per l'uomo (*benzene*) o per l'animale (*CCl4*, *tetracloruro di carbonio*, *cloroformio*, *tricloroetilene*, *tetracloroetilene*).

L'emissione di VOC è più alta all'inizio della vita del prodotto e tende a diminuire notevolmente in tempi abbastanza brevi (da una settimana per i prodotti umidi, come vernici e adesivi, a sei mesi per altri composti chimici). Fa eccezione la formaldeide, che viene rilasciata anche a distanza di molti anni dai collanti in cui è presente. La pericolosità dei VOC dipende dall'interazione con le altre sostanze presenti nell'ambiente, dal tempo di esposizione e dalla loro concentrazione. Quest'ultima dipende dal rapporto tra superficie emittente e volume dell'ambiente ed è condizionata dal numero di ricambi orari dell'aria; la pericolosità è funzione delle sinergie con altre sostanze presenti nell'ambiente, della concentrazione e del tempo di esposizione. Data la numerosità dei VOC potenzialmente presenti in un ambiente, la loro analisi risulta complessa e, di conseguenza, il rischio dovuto al loro effetto totale sugli esseri umani non è facilmente stimabile.

Nelle direttive europee sulla qualità dell'aria interna (EEC, 1992) vengono riportati due differenti approcci utilizzati nella formulazione di linee-guida per la valutazione degli effetti di tali sostanze (escludendo la formaldeide e quelle cancerogene), il primo dei quali riguarda la misura del livello dei VOC totali (TVOC) (Mølhave, 1990) mentre il secondo è basato sull'illustrazione di tecniche di separazione e quantificazione gas-cromatografiche (Seifert, 1990). Il primo approccio fonda su dati tossicologici e propone una classificazione

²⁰ A temperature di ebollizione più elevate, le sostanze si classificano come composti organici semivolatili (SVOC).

dei VOC totali in base ai range di esposizione riportati in Tabella 4.1.2.3. Il secondo approccio, invece, in riferimento ai livelli di inquinante normalmente rilevati negli ambienti indoor definisce i livelli di accettabilità sulla base di giudizi professionali di merito. La Tabella 4.1.2.4 riporta i valori guida per i principali composti chimici, suddivisi in classi; il valore indicato si riferisce ai primi dieci elementi di ciascuna classe. Ai fini della valutazione il valore dei VOC totali è dato dalla somma dei valori di concentrazioni assegnati a ciascuna classe.

Tabella 4.1.2.3 - Classificazione del range di esposizione dei VOC totali in base ai livelli di concentrazione

Range	Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
comfort	< 200
esposizione multifattoriale	200-300
discomfort	3000-25000
tossicità	> 25000

Il valore di target proposto per i TVOC (VOC totali) è $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$; nessun singolo composto dovrebbe in ogni caso superare il 10% di tale valore o il 50% del valore assegnato alla classe di appartenenza. I due approcci, sebbene molto diversi nella loro impostazione concettuale, forniscono risultati praticamente identici.

Tabella 4.1.2.4 - Valori guida per le classi di composti di VOC

Composto	Valore guida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Alcani	100
Aromatici	50
Terpeni	30
Idrocarburi alogenati	40
Esteri	20
Carbonili (formaldeide esclusa)	20
Altri	50

Recentemente è stato proposto di utilizzare il livello dei VOC totali come indicatore sia di condizioni di comfort che di salubrità. Dato che la legislazione vigente non definisce un valore soglia rispetto al quale confrontare i risultati