

INAIL

Sicurezza e Benessere nelle scuole

Indagine sulla qualità dell'aria e sull'ergonomia



RISCHI E PREVENZIONE

Edizione 2015

INCAIL

Sicurezza e Benessere nelle scuole
Indagine 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 studenti	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

La scuola rappresenta una realtà particolarmente significativa nella 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).

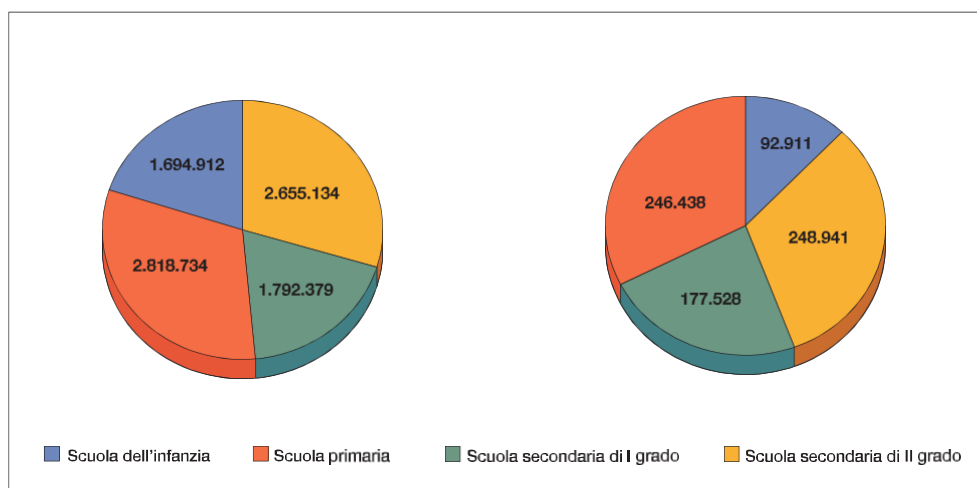


Figura 1.1 - Totale studenti scuola pubblica e privata
Anno 2012 - Dati Istat

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

...i aspetti dell'igiene e a... l'importanza d...
...anche in ambito scolastico. In primo...
...formare su questa specifica disciplina una popolazione scolastica partico-
...larmente 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

...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 na-
...zionale, 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 espe-
...rienze tecnico-scientifiche od esercitazioni pratiche o che svolgano eserci-
...tazioni di lavoro...”*. Pertanto non vi sono riscontri adeguati sulle malattie e
...sugli infortuni verificatisi in ambito scolastico, né tantomeno sulla loro ezi-
...opatogenesi. Questa scarsa conoscenza non consente quindi la pianificazione
...e l'adozione di interventi di tipo preventivo per eliminare o quantomeno ri-
...durre la casistica connessa ai suddetti fenomeni.

All... quanto sopra è evidente l'importanza d...
...sci... i rischi presenti negli ambienti scolastici, al fine di avere un quadro
...glc... 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 a istanze sopra descritte, Pubblica Istruzione (MPI) ha siglato con l'INAIL, nel 2007, un protocollo, 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 d inquadramento de
Scolastico sul territorio, qua 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 colloca-
la tipologia di attività didattica svolta nei diversi ambienti (*aule, laboratori, palestre, ecc.*). Quanto sopra ha costituito il passo propedeutico
lla 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.

Illo studio, particolarmente impegnativa e temporalmente più estesa, ha preso in considerazione tutti i 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

Il progetto ha previsto la presenza di un RSPP, libero professionista, specialista in materia di sicurezza, con particolare interesse alle diverse tipologie di rischio oggetto dell'indagine. 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

I requisiti di sicurezza e comfort degli edifici 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 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 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:

- lizzazione 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 climatiche e di riscaldamento;*
- *condizioni igienometriche 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 di misura e i criteri di valutazione dei risultati, definiti dalla Circolare n.1769 del 30 aprile 1966. Devono essere verificati e misurati i seguenti parametri:

- il potere fonoisolante delle pareti, 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 da determinare con misure di laboratorio sono illustrati nella tabella 2.1. Il coefficiente di assorbimento deve essere misurato in camera riverberante e suoni 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 didattici 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:	$I = 40 \text{ dB}$
potere fonoisolante di infissi verso l'esterno:	$I = 25 \text{ dB}$
potere fonoisolante di griglie e prese d'aria installate verso l'esterno:	$I = 20 \text{ dB}$
livello di rumore di calpestio normalizzato di solai:	$L = 68 \text{ dB}$
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 di tempo 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;
- equa distribuzione 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. La sezione fornisce indicazioni sulle caratteristiche igienico-sanitarie, i requisiti ergonomici, i requisiti acustici, i requisiti climatici, i requisiti di igiene 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 tutela g i student nelle scuole o istituti di istruzione di ogni ordine e grado impegnat nello svolgimento di esperienze tecnico-pratiche che comprendono anche le lezioni d informatica e di lingua straniera, svolte con l'ausilio di macchinari. 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

Nord	56
Nord-ovest	32
Nord-est	24
Centro	17
Sud	19
Isole	8

1 . 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”.

i positivamente da i anatomiche maggiormente coinvolte sono g i arti superiori (48%) e que 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

Sede della lesione		Natura della lesione	
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%		
Lussazione			42%
Contusione			30%
Frattura			22%
Altra			6%

Tabella 2.2.3 - Riconoscimenti di infortuni suddivisi per deviazione

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

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 per collaborare alla realizzazione delle attività previste nelle varie fasi in cui lo stesso si articola. I monitoraggi ambientali hanno riguardato nove plessi scolastici, ubicati nel tessuto urbano della città di Viterbo, in provincia di Viterbo. Per procedere i agenti di rischio, è stato distribuito a circa 800 (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 <input type="text"/>
<input type="text"/>	436 studenti
<input type="text"/>	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
<input type="text"/>	L'edificio, a forma di “L”, è articolato in: <i>un piano terra, dove si svolgono attività di segreteria e didattiche, sia nelle aule che in laboratorio (informatica); il piano ospita gli indirizzi professionali;</i> <i>- primo piano, in cui sono ubicate le aule e altri laboratori (linguistico, informatico), oltre la sala professori; il piano ospita il liceo classico.</i>

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	
	381 studenti (indice di affollamento medio pari a 2,16 m ² /studente; 63,2% delle aule a norma)
	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
	<p>L'edificio, a pianta sub-rettangolare, è articolato in:</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>un piano seminterrato, che ospita locali accessori e di ausilio all'attività scolastica (centrale termica, archivio, abitazione custode ecc.);</i> <i>un piano rialzato, dove si svolgono attività di segreteria e didattiche (laboratorio audiovisivi);</i> <i>tre piani in cui sono ubicate le aule e altri laboratori (linguistico, informatico);</i> <i>quarto piano, nel quale sono ubicati locali di servizio</i>

Istituto D - Istituto Tecnico per Geometri

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

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

Indirizzi di studio	
	293 studenti (indice di affollamento medio pari a 1,83 m ² /studente; 33% delle aule a norma)
	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
	<p><i>Il plesso scolastico è suddiviso in 6 corpi di fabbrica (padiglioni) collegati tra loro da corridoi, così organizzati:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>il primo edificio è costituito da un piano rialzato, dove sono ubicati gli uffici e alcuni laboratori (piano seminterrato);</i> <i>il secondo ospita parte dei laboratori e la palestra;</i> <i>i restanti quattro edifici sono strutturati su due livelli ed ospitano prevalentemente le aule per la didattica.</i>

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

Indirizzi di studio	
	245 studenti
	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
	<p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>il piano seminterrato ospita 2 laboratori di cucina (con annesso refettorio) ed un laboratorio di pasticceria, oltre ad alcuni locali di servizio;</i> <i>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;</i> <i>il primo piano, che ospita la maggioranza delle aule per la didattica.</i>

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

Indirizzi di studio	Liceo scientifico
	555 studenti (indice di affollamento medio pari a 2,05 mq/studente; 80% delle aule a norma)
	21
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere centrale di Roma, in una zona a traffico piuttosto intenso
	<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
	594 studenti (indice di affollamento medio pari a 1,81 mq/studente; 35% delle aule a norma)
	23
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere centrale di Roma, in una zona a traffico piuttosto intenso
	<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
	271 studenti (indice di affollamento medio pari a 1,73 mq/studente; 42,9% delle aule a norma)
	12
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere centrale di Roma, in una zona a traffico piuttosto intenso.
	<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
	606 studenti (indice di affollamento medio pari a 2,20 mq/studente; 66,7% delle aule a norma)
	26
Ubicazione	La struttura sorge in un quartiere centrale di Roma, in una zona a traffico moderato.
	<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 condizioni relative alla sicurezza e al benessere negli istituti indagati, sono stati effettuati sopralluoghi pre e post per esaminare e selezionare gli ambienti per 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. inquinamento;
5. posizione geografica e contesto urbanistico dell'edificio (esposizione al sole, intensità del traffico veicolare, presenza di aree verdi, ecc.).

Nella selezione degli ambienti da monitorare, sono stati presi in particolare in considerazione i fattori di rischio ed ergonomici, mostravano particolare 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 degli 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

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 c
riassuntive, nelle quali sono riportate le valutazioni di tipo qua
lle 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 valu-
due macrocategorie La prima, a
Qua Il'aria (IAQ), è trattata nel paragrafo 4.1 mente quella relativa al-
l'Ergonomia degli ambienti, è condensata nel paragrafo 4.2.

IAQ nelle scuole

Nonostante la scuola rappresent la popolazione giovan
trascorre la maggior parte del suo tempo, attualmente le conoscenze su
IAQ (*Indoor Air Quality*) degli edifici scolastici e le possibili implicazioni su
salute degli occupanti sono ancora limitate. Gli studi epidemiologici condott
internazionale⁴ evidenziano, comunque, la stretta relazione tra espo-
sizione ad inquinanti indoor in ambienti confinati e comparsa di sintomi re-
spiratori 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 distur-
bante, illuminamento inadeguato e odori sgradevoli legati all'inquinamento
circostante, ecc., influisce sulle prestazioni dei docenti e sui livelli di atten-
zione 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 Ita-
liani 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 He-
alth 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 re-
spiratorie 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.*

la qualità dell'aria negli ambienti scolastici, i 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

Il progettista che si occupa di progettare gli ambienti 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 rappresentato dall'ambiente, che influenza la qualità della comunicazione tra lievo, 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 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.

L'art. 267 definisce agente biologico “*qualsiasi microrganismo 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.

l'esposizione ad agenti biologici di tipo accidentale, da 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 nei 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 infettive, con epidemie stagionali (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 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

IAQ, infatti,

ad un maggior senso di comfort e benessere e mig
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

l'uomo. La componente microbiologica dell'aria è definita nel

I 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).

Ir la composizione de
ci igieniche e dello stato di conservazione de li, della tempera
tu llo di umidità, del grado di ventilazione e di affollamento, delle
al i 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.

i biologici alla 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 bioaer potenzialmente tossigeniche e a infiammazioni, sensibilizzazioni ne tossico, allergico e infettivo.

Nonostante la molteplicità delle sorgenti, la principale fonte di 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 4.1.1.2).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

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 microrganismi con possibilità di loro dispersione nell'aria e sedimentazione sulle superfici (pavimenti, arredi, ecc.).
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 edili 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 (ad esempio, accumuli di carta e cartone, residui alimentari).

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

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

IAQ nelle scuole

Come già accennato nella premessa, alcune patologie della 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 l'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.

FA (*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).

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 i patogeni (agent

riore a questo) impone

ripristino di condizioni igienico ambiente

Nella prassi comune, per il controllo microbiologico de

lla misura dei livelli di concentrazione batterica e fungina tota della tipologia della contaminazione presente in campioni di aria e d perfici 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 ne '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 <i>Staphylococcus spp.</i> , indice di contaminazione di origine antropica ed eventuale ricerca, al loro interno, della specie <i>Staphylococcus aureus</i> , 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

SCHEDA: 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 aeraulici, 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.



Figura 1

COLONIE DI LEGIONELLA PNEUMOPHILA

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 aeraulici¹¹. 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.inai.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).

lia, IAQ, (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): $U(37^{\circ}\text{C}) + \text{UFC batteri psicrofili}(20^{\circ}\text{C}) + \text{UFC miceti}(37^{\circ}\text{C})$
- 2) ICM (Indice di Contaminazione da batteri Mesofili): $U(37^{\circ}\text{C}) / \text{UFC batteri psicrofili}(20^{\circ}\text{C})$. 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): $\text{door} / \text{IGCM outdoor}$. 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

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

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;
- il 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*.

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 TARP, il giudizio sulla 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

Figure 1÷3 che seguono si riportano i risultati della indagine microbiologica dell'aria IGCM/m³, ICM e concentrazioni microbiche misurate nei diversi punti. È stato campionato il bioaerosol. La Figura 4 visualizza, invece, i risultati delle misure statistiche delle concentrazioni batteriche e fungine effettuate sulle superfici degli ambienti. I dati 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 all'indagine, la qualità dell'aria è buona, quanto

contaminazione “bassa”), con unica eccezione per i laboratori nella stagione calda, quando anche l'IGCM/m³ ambientale (bianco o *outdoor*) è risultato nella classe di “intermedia” (Figura 4.1.1.1).

Si registra un apporto antropico alla contaminazione microbica (ICM>1) più marcato nella stagione calda (Figura 4.1.1.2). I valori di ICM possono fornire un segnale di problemi di affollamento degli ambienti 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.

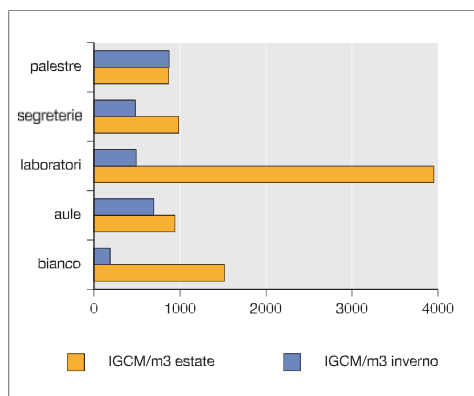


Figura 4.1.1.1 - Indice globale di contaminazione microbica dell'aria (sulle ascisse i valori di IGCM/m³ aria)

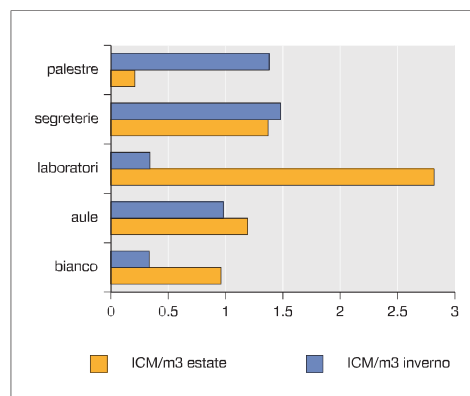


Figura 4.1.1.2 - Indice di contaminazione dell'aria da mesofili (sulle ascisse i valori dell'indice ICM)

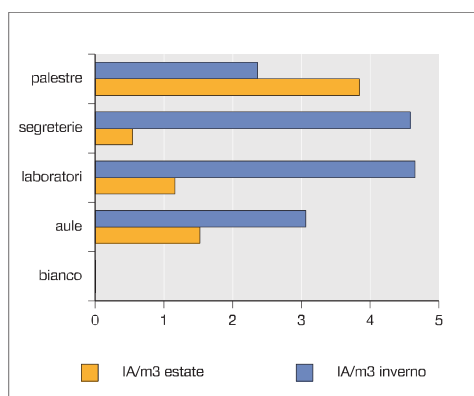


Figura 4.1.1.3 - Indice di amplificazione della contaminazione microbica dell'aria (sulle ascisse i valori dell'indice IA)

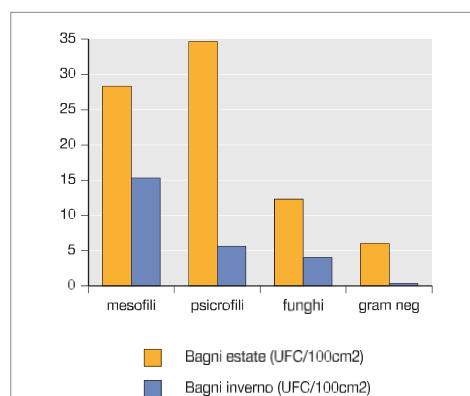


Figura 4.1.1.4 - Concentrazioni microbiche totali misurate sulle superfici esaminate (sulle ascisse le categorie microbiche monitorate)

Superfici indoor

Le superfici dei bagni delle scuole, in termini 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

Al contrario, i **batteri Gram negativi**, componenti sono presenti solo sulle superfici dei bagni, anche se a 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 di inquinanti presenti in ambienti *indoor*, a svolgono la maggior parte della propria attività scolastica, considerevolmente più elevati di quelli rilevabili all'esterno hanno evidenziato il ruolo etiologico di una serie di inquinanti present ambienti confinati non industriali a danno di adulti e di soggetti più giovan stato dimostrato che esposizioni prolungate, anche a basse concentrazion 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'aumentata 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 s Environment), promosso e finanziato dall' European Environment Agency, ha coinvolto 5 Paesi, tra cui l'Italia, su un campione di 100 scuole elementari. La ricerca, articolata su più livelli di intervento (*somministrazione di questionari, monitoraggi 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 ne di PM10 (Particulate Matter o Materia Particolata mico 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.

l'accordo siglato ne I Governo, le Region Province autonome e g 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

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

... i pericolo andranno
... i di concentrazione aerodispers
La percezione della presenza di cattivi odori, d
ad altri effetti sensori costituisce un primo, immediato ... lla 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

I D.Lgs. 81/2008 e s.m.i. disciplina la valutazione del rischio chimico ne
IX, Capo I (Protezione da agenti chimici) e Capo II (Protezione da agent
cerogeni e mutageni), dettandone criteri, metodi e finalità, sinteticamente illu-
strati 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 ... to con
l'organismo umano, possono essere responsabili di effetti ... a lungo
termine;
2. la possibilità che si verifichino infortuni dovuti agli effetti acut ... le pro-
prietà 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 pre-
senza di sostanze aventi particolari caratteristiche chimico-fisiche.

... linea generale all'interno deg ... i possono essere
diverse tipologie di ambienti *indoor*: aule, laboratori, uffici e palestre
In particolare, per le attività svolte in laboratorio e per quelle di pulizia e ma-
nutenzione, è necessario conoscere le caratteristiche chimico-fisiche dei pro-
dotti, le relative quantità normalmente in uso, quelle stoccate, la frequenza
di utilizzo e le modalità di manipolazione da parte di chi è preposto a utiliz-
zarle; di conseguenza il censimento di tutte le sostanze potenzialmente pe-
ricolose rappresenta la fase iniziale della valutazione del rischio.

Per gli ambienti in cui si svolge attività didattica, l'interesse principale è fo-
calizzato 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 moni-
torare 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.

IAQ rientrano
i emissioni delle sorgenti,
olfattive, la densità degli occupanti; di
norma vengono valutati 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 or-
ganici 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 clo-
rurati*, 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, nel-
l'ambito del quale sono stati monitorati diversi agenti di rischio, tra cui il
PM_{2,5} (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 detergenti utilizzati per la pulizia dei locali che possono conte-
nere 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 li-
vello 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 prote-
zione 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.

- 1) *valutazione preliminare del rischio*, fondata su (schede di sicurezza di sostanze e preparati impiegati, quantità, temp 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, alla 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.

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 de
dell'aria, nel corso deg ha riguardato
(D.Lgs. 155/2010). Di conseguenza, per la verifica della qua
ambienti indoor residenziali privati e pubblici non vi sono veri e propr
menti 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 compo-
sizione della popolazione (bambini, anziani, soggetti malati, donne in gravi-
danza) e per tale motivo, per caratterizzare la qualità dell'aria indoor degli
ambienti residenziali, i VLP devono essere più severi rispetto ai corrispon-
denti 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 del-
l'aria indoor solo per un ristretto numero di agenti chimici. Per lo più, si fa ri-
ferimento 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 g indicatori che possono essere oggetto di monitoraggio a dello stu-
dio della qualità dell'aria *indoor* sono stati scelti la CO₂ ed i VOC¹⁶. Nel pro-
sieguo 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 neg
respirazione degli esseri umani che ne producono in misura proporzionale a
llo 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 fundamen-
tale per controllare gli apporti di aria esterna, (*percentuale di aria immessa*

I 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, 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 : ventilazione per occupante;
N : produzione di CO₂ per persona;
C_s = concentrazione di CO₂ nell'ambiente interno;
C_o = concentrazione di CO₂ nell'ambiente esterno.

Negli ambienti inquinamento è costituita dagli inquinanti, impiegando il 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, il cui valore è in tendenziale crescita. La massima concentrazione consentita è di 5000 ppm (9 g/m³), definita come *Maximum Allowable Concentration* (MAC), e di 1000-2500 ppm (1 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.

Il 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 correlazione generale, comunque,

il 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.

i 600 ppm d g/m³), g
 significativamente secondo [2] sopra
 esposta; ad esempio, in condizioni di concentrazione differenziale di CO₂¹⁹
 (ΔCO₂-lim) pari a 700 ppm di CO₂ corrisponde una PD del 15%, che rappre-
 senta 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 problem lla salute, -
 vrebbe superare le 3500 ppm (6.3 g/m³), anche se i
 a 5000 ppm la CO₂ non è dannosa per l'uomo.

Concentrazioni superiori a 10000 ppm (18 g/m³) provocano malessere -
 sibili, mentre oltre le 40000 ppm (72 g/m³) si registrano effetti di tossicità.
 La ΔCO₂ possiede molti dei requisiti di un descrittore ideale perchè è in di-
 retta relazione con il livello di discomfort, è semplice ed economica da rile-
 vare e, se misurata facendo attenzione al mantenimento nell'ambiente di
 i tipiche, possiede un'incertezza modesta

legislazione italiana prevede per l'anidride carbonica un valore limite,
 relazione ad un periodo di riferimento di otto ore, pari a 9000 mg/m³ corr
 spondenti 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 dal-
 l'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°C; P=760 torr): TLV
 (mg/m³)=(TLV in ppm) (PM in g)/24,45 con PM= peso molecolare]

	Standard ACGIH (2009)		Standard ASHRAE (2010)	
Valore limite di riferimento	TLV	STEL	TLV	STEL
CO ₂	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.

Le 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.

Le direttive europee su VOC nell'aria interna (CE, 1992) vengono riportate in due differenti approcci alla 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

Le direttive europee su VOC nell'aria interna (CE, 1992) vengono riportate in due differenti approcci alla 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).

range di esposizione riportati secondo l'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

comfort	< 200
esposizione multifattoriale	
discomfort	200-300 3000-25000
tossicità	> 25000

Il target proposto per il valore composto dovrebbe in ogni caso superare il 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

Alcani	100
Aromatici	50
Terpeni	
Idrocarburi alogenati	30
Esteri	20
Carbonili (formaldeide esclusa)	
Altri	50

Recentemente è stato proposto di usare il valore guida dei VOC totali come indicatore sia di condizioni di comfort che di salubrità. Il valore guida, rispetto al quale confrontare i risultati, è quello che la normativa vigente non definisce un valore soglia.

può fare riferimento a linee guida di esposizione perigliosa (P L) a 750 ppb (per m liardo) e un comfort compreso tra 70 e 450 ppb. Alcuni studi di letteratura evidenziano che le concentrazioni indoor di VOC possono variare entro un ampio range anche in funzione dell'età degli edifici. In riferimento agli edifici scolastici Il *Nordic Committee on Building Regulations* indica che i VOC totali riscontrati in tali ambienti variano tra 0.05 e 0.3 mg/m³. Studi condotti in scuole del Canada e degli USA riportano valori misurati compresi tra 0 e 1,295 mg/m³ (valore medio: 1.56 ppm corrispondenti a circa 390 µg/m³).

Correlazione tra TVOC e CO₂

Considerando una tipica velocità di generazione di bioeffluenti, si raggiungono livelli di 200 µg/m³ quando la CO₂ raggiunge le 755 ppm (di cui 390 ppm come contributo di bioeffluenti e 365 dell'ambiente). In modo equivalente una concentrazione di 100 ppm per la CO₂ corrisponderebbe a 330 µg/m³ di bioeffluenti. Un approccio più razionale ma più difficile da realizzare potrebbe focalizzarsi su quei VOC che causano irritazione delle mucose, cancro ed altri effetti avversi.

Monitoraggi ambientali

Le indagini ambientali sono state svolte a livello di aule, laboratori, uffici e palestre tenendo conto della localizzazione delle sorgenti di inquinamento outdoor situate nelle vicinanze degli edifici scolastici, con particolare riferimento all'incidenza del traffico veicolare. Gli ambienti sono risultati caratterizzati esclusivamente da ventilazione naturale. Ai fini dell'indagine sono state acquisite informazioni sul numero di ricambi d'aria per aula nei diversi periodi e stagioni dell'anno.

Il rapporto cubatura/numero di occupanti poiché tale fattore è spesso responsabile del peggioramento della qualità dell'aria a causa della prolungata permanenza degli studenti nelle aule, è la mancanza di una adeguata aerazione dei locali. In ragione delle modalità di svolgimento delle lezioni, nelle quali il movimento degli occupanti è fortemente limitato, si è preferito effettuare rilievi d'area piuttosto che di tipo personale. Le misure sono state eseguite con il rilevatore portatile Monitor Multi gas PGM-50 della Rae Systems, che fornisce un monitoraggio continuo di:

- composti organici (VOC) attraverso un detector a foto-ionizzazione (PID);
- anidride carbonica (CO₂) attraverso un sensore a infrarossi non dispersivo (NDIR).

Le misure sono aggiornate allo strumento in tempo reale ed espresse in ppm. La Tabella 4.1.2.5 riporta il campo di misura, la risoluzione ed il tempo di risposta dello strumento per le analisi indagate, mentre la Tabella 4.1.2.6 contiene la sintesi delle condizioni operative dello strumento nella sua configurazione di base.

Tabella 4.1.2.5 - Campo di misura, risoluzione e tempo di risposta dei sensori disponibili

		Risoluzione	
CO ₂	0÷50.000	10	60
VOC	0÷200	0,1	10
	200÷2000	1	10
O ₂	0÷30%	0,1%	15

Tabella 4.1.2.6 - Specifiche del Monitor Multi gas PGM-50 nella configurazione base

misura concentrazione VOC	misura contemporanea di 3 gas con pompa di campionamento e datalogging
misura concentrazione CO ₂ CO ₂ misura di gas tossico	sensore PID (10,6 eV) a banda aperta sensore NDIR (a infrarossi non dispersivo) sensore elettrochimico selettivo
flusso pompa di campionamento	150 cc/min
intervallo di datalog	programmabile da 1 a 3600 sec
calibrazione	due punti di calibrazione (aria pulita e gas standard di riferimento)

Il sensore PID, di tipo “a banda aperta”, comprende una vasta serie di analiti contraddistinti da un potenziale di ionizzazione inferiore o uguale a 10,6 eV. Livelli significativi di VOC totali aerodispersi, come pure la presenza di particolari sorgenti inquinanti ineliminabili, potrebbero giustificare campionamenti “mirati”, da condurre con metodi più selettivi e più sensibili (per esempio di tipo cromatografico) in grado di individuare e quantificare sostanze chimiche appartenenti a classi diverse.

Risultati

I risultati dei rilievi su CO₂ (per un numero totale di 87) sono stati raggruppati in tre intervalli di concentrazione e riportati nel diagramma di Figura 4.1.2.2

la distribuzione percentuale d
riscontrata neg i ambienti oggetto di indagine
Tutti i valori di concentrazione superiori a 3500 ppm sono stat
corso di monitoraggi condotti nel periodo freddo così come la maggior parte
dei livelli di concentrazione compresi tra 1000 e 3500 ppm. Tale evidenza è
da mettere in relazione con il minor numero di ricambi d'aria normalmente
effettua i d'inverno, aumento della concentrazione della
CO₂ dell'aria negli ambienti oggetti i monitoraggio
vate correlazioni dei dati raccolti n la tipologia di ambiente (aula,
ratorio, cio) né con l'indice di affollamento, laddove è stato
possibile calcolarlo.
I livelli di TVOC s i sempre prossim
strumento. Sul tc i effettuati (in numero d 87), una quota par
all'84% è risultata inferiore a 0,1 ppm ed una pari al 16% è risultata compresa
tra 0,1 e 0,5 ppm Ciò attesta che i livelli riscontrati sono al di sotto dei valori
medi riportati negli studi di letteratura.

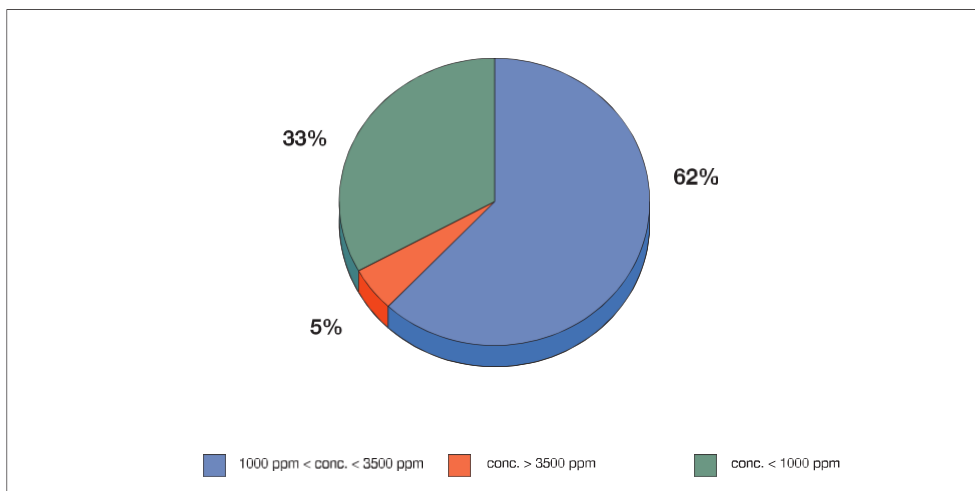


Figura 4.1.2.2 - Distribuzione percentuale dei livelli di concentrazione media di CO₂ rilevati.