

**COSA SI INTENDE PER “AMBIENTE INDOOR”**

L’espressione “*ambiente indoor*” è riferita agli **ambienti confinati di vita e di lavoro non industriali** (per quelli industriali vige una specifica normativa restrittiva), ed in particolare, a quelli adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto. Secondo questo criterio, 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.).

**DEFINIZIONE DEL PROBLEMA**

Negli ultimi decenni il problema della **qualità dell’aria degli ambienti confinati** non industriali, in particolare degli edifici adibiti ad uso di ufficio, ha assunto notevole rilievo in relazione soprattutto alle alterazioni della qualità dell’aria stessa e all’impatto conseguente sul benessere e sulla salute umana; problema amplificato anche dal livello di attenzione e sensibilità della popolazione in tema di salute, sicurezza e “comfort” soggettivo al lavoro.

In particolare la qualità dell’aria dell’ambiente di lavoro, insieme a quella delle proprie abitazioni e dell’ambiente urbano, è sempre più percepita dall’opinione pubblica come **uno dei fattori determinanti della qualità della vita**.

Non vi è dubbio che, sempre negli ultimi decenni, vi sono state **significative innovazioni progettuali e di impiantistica**; si è assistito a notevoli cambiamenti oggettivi, che hanno profondamente modificato le caratteristiche degli edifici destinati ad uso civile e lavorativo. Infatti gli edifici recentemente costruiti per ospitare le attività terziarie (quelle che nella letteratura anglosassone vengono definiti come “*large office buildings*”) vengono progettati generalmente secondo nuovi criteri architettonici rivolti al risparmio di terreno edificabile, alla razionalizzazione degli spazi interni, al risparmio energetico ed all’uso flessibile e polifunzionale degli ambienti e dei locali; notevole è anche il ricorso, parziale o totale, ad elementi prefabbricati.

Oltre a questi fattori, l’introduzione di nuovi materiali edilizi, la necessità di realizzare un efficace isolamento termo-acustico ed il sempre più frequente ricorso a impianti di ventilazione forzata e di condizionamento dell’aria sono ulteriori elementi tipici dei nuovi edifici, determinanti ai fini di problemi correlati alla qualità dell’aria interna.

Le **tipologie di cause** considerate, secondo alcuni studi accreditati, più frequentemente in gioco nel determinare una alterazione della qualità dell’aria indoor sono descritte nella tabella successiva (Fonte: NIOSH – Revisione di 446 studi riferiti agli anni 1971 – 1986):

<b>TIPOLOGIA</b>	<b>FREQUENZA</b>	<b>ESEMPIO</b>
<b>Ventilazione insufficiente</b>	52%	- Ricambio inadeguato - Sovraffollamento
<b>Inquinamento da sorgenti interne</b>	17%	- Fotocopiatrici - Fumo di sigarette - Prodotti di combustioni - Prodotti di pulizia
<b>Inquinamento da fonti esterne</b>	11%	- Ricambio: mandate improprie - Presenza di prodotti di scarico veicoli
<b>Contaminanti biologici</b>	5%	- Batteri, virus, funghi, protozoi, residui organici (veicolati da impianti di condizionamento, umidificatori, etc.)
<b>Materiali edilizi</b>	3%	- Isolanti, rivestimenti, arredi (rilascio formaldeide, solventi, biocidi, fibre etc.)
<b>Casi non definiti</b>	12%	?

## CARATTERIZZAZIONE DELL'ESPOSIZIONE PERSONALE

Per una valutazione corretta dell'esposizione personale agli inquinanti dell'aria è necessaria la caratterizzazione dell'esposizione personale complessiva ad agenti aerodispersi, che tenga conto sia dell'esposizione negli ambienti confinati (*indoor*) che dell'esposizione che si verifica all'esterno (*outdoor*). Alcuni inquinanti indoor possono provenire dall'esterno e sono legati all'inquinamento atmosferico, ma la maggior parte di essi sono prodotti all'interno degli edifici stessi. Dei numerosi inquinanti considerati dalle leggi vigenti, soltanto l'ozono ed il biossido di zolfo sono prevalenti nell'aria atmosferica.

I livelli di **concentrazione che gli inquinanti raggiungono all'interno degli edifici** generalmente sono **superiori a quelli dell'aria esterna** e soprattutto **le esposizioni indoor sono maggiori di quelle outdoor**, principalmente perché la quantità di tempo trascorso dalle persone all'interno degli edifici, rispetto a quello trascorso all'esterno è di un ordine grandezza maggiore.

Uno studio condotto dall'EPA (1998) ha stimato che le concentrazioni indoor sono generalmente da 1 a 5 volte maggiori rispetto a quelle outdoor e che l'esposizione indoor è da 10 a 50 volte superiore all'esposizione outdoor.

## IDENTIFICAZIONE DELLE SORGENTI DI INQUINAMENTO INDOOR E DEGLI INQUINANTI SPECIFICI

Gli inquinanti che possono essere presenti negli ambienti confinati non-industriali sono molto numerosi. Secondo una classificazione canonica si possono individuare **tre categorie di inquinanti: chimici, fisici e biologici**.

### INQUINANTI CHIMICI

Inquinanti	Sorgenti e/o usi	Note
<b>Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)</b>	Le fonti principali sono costituite da radiatori a cherosene, stufe e radiatori a gas privi di scarico esterno e dal fumo di tabacco.	I valori più elevati vengono generalmente rilevati nelle cucine.
<b>Ossidi di zolfo (SO<sub>2</sub>)</b>	idem	
<b>Monossido di carbonio (CO)</b>	I livelli di CO sono significativamente influenzati dalla presenza di processi di combustione e dal fumo di tabacco, con scarsa o assente ventilazione.	La vicinanza di sorgenti outdoor (es. strade a elevato traffico) possono influenzare le concentrazioni indoor.
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>	Le fonti principali interne sono identificabili in strumenti elettrici ad alto voltaggio (motori elettrici, stampanti laser, fax, fotocopiatrici etc), in apparecchi che producono raggi UV, in filtri elettronici per pulire l'aria malfunzionanti.	Tuttavia la quota proveniente dall'esterno rappresenta in genere la maggior parte dell'ozono presente nell'aria interna.
<b>Particolato aerodisperso (PM<sub>2,5</sub> -PM<sub>10</sub>)</b>	Negli ambienti indoor il particolato è prodotto principalmente dal fumo di sigarette, dalle fonti di combustione e dalle attività degli occupanti.	Nel particolato raccolto è stato possibile verificare la presenza di n-alcani, acidi grassi (palmitico e stearico) ed esteri (ftalati).
<b>Composti organici volatili (VOC)</b>	Importanti fonti di inquinamento sono i materiali di costruzione e gli arredi (es. mobili, moquettes, rivestimenti) che possono determinare emissioni continue durature nel tempo (settimane, mesi). Altre fonti: uso di colle, adesivi, solventi.	Importanti concentrazioni di VOC sono riscontrabili in particolare nei periodi successivi alla posa dei vari materiali o alla installazione degli arredi.

<b>Benzene</b>	Le sorgenti di maggior rilievo sono i prodotti di consumo come adesivi, materiali di costruzione e vernici + il fumo di tabacco.	Il fumo di una sigaretta contiene un quantitativo di benzene significativo e considerevolmente variabile (6 – 73 µg/m <sup>3</sup> ).
<b>Formaldeide</b>	Emessa soprattutto da resine a base di urea-formaldeide usate per l'isolamento (cosiddette UFFI) e da resine usate per truciolato e compensato di legno, per tappezzerie e moquettes e per altro materiale da arredamento.	Negli ambienti indoor i livelli sono generalmente compresi tra 10 e 50 µg/m <sup>3</sup> .
<b>Idrocarburi aromatici policiclici (IPA)</b>	Le sorgenti principali sono le fonti di combustione (es. caldaie a cherosene) ed il fumo di tabacco.	I dati di letteratura disponibili sull'esposizione indoor a IPA sono piuttosto scarsi.
<b>Fumo di tabacco ambientale (ETS)</b>	Le principali sostanze tossiche del fumo liberate nell'ambiente allo stato gassoso sono: il CO, gli IPA (> benzoapirene), numerosi VOC, l'ammoniaca e le ammine volatili, l'acido cianidrico e gli alcaloidi del tabacco. Nel fumo si trova anche una frazione particolata rappresentata da catrame e diversi composti poliaromatici.	Tra i numerosi composti isolati dal fumo alcuni sono riconosciuti cancerogeni. Il fumo inoltre agisce come elemento potenziante la nocività di altre sostanze cancerogene come l'amianto ed il radon.
<b>Prodotti fitosanitari</b>	Sono presenti in prodotti per eliminare zanzare, mosche, blatte ed altri insetti, usati all'interno degli edifici o di provenienza esterna. Un settore particolare di applicazione di questi composti è il trattamento antimuffa del legno.	Superfici di legno trattate con antiparassitari (> pentaclorofenolo) rilasciano lentamente e per anni tali composti nell'aria ambiente.
<b>Amianto</b>	Nei decenni passati l'amianto è stato ampiamente usato nell'industria meccanica, edile e navale per le sue notevoli qualità di isolamento termico e di materiale resistente alle alte temperature e alla frizione. La liberazione di fibre di amianto all'interno degli edifici può avvenire per lento deterioramento dei materiali costitutivi, per danneggiamento diretto degli stessi da parte degli occupanti o per interventi di manutenzione.	Con la L. 257 del 22/3/1992 l'Italia ha dichiarato fuori legge l'amianto; esso infatti non può essere più estratto né utilizzato per produrre manufatti.
<b>Fibre minerali sintetiche (MMMMF)</b>	I diversi tipi di materiali fibrosi naturali e artificiali sono suddivisi in fibre artificiali minerali ( <i>man made mineral fibers</i> – MMMF) e in fibre artificiali organiche ( <i>man made organic fibers</i> - MMOF). Le MMMF comprendono a loro volta diversi tipi di materiali fibrosi, tra cui in particolare le fibre vetrose artificiali ( <i>man made vitreous fibers</i> – MMVF) e le <i>fibre ceramiche</i> .	Le fibre minerali sintetiche hanno gradualmente sostituito l'amianto nei suoi diversi usi.

## INQUINANTI FISICI

Inquinanti	Sorgenti e/o usi	Note
<b>Radon</b>	<p>Il radon è un gas radioattivo classificato, insieme ai suoi prodotti di decadimento, come agente cancerogeno di gruppo 1 (massima evidenza di cancerogenicità) dalla IARC ; l'esposizione a radon è considerata la seconda causa per cancro polmonare dopo il fumo di sigaretta.</p> <p>Le principali sorgenti di provenienza del radon indoor sono il suolo sottostante l'edificio ed i materiali da costruzione, da cui, essendo un gas, si diffonde facilmente nell'ambiente interno.</p>	<p>In Italia l'esposizione della popolazione è stata valutata tramite una indagine promossa e coordinata dall'ISS e dall'ANPA (1989 – 1996) su un campione di oltre 5000 abitazioni.</p> <p>Il valore medio di concentrazione riscontrato è risultato 70-75 Bq/m<sup>3</sup>, a cui corrisponde, secondo una stima preliminare, un rischio individuale dell'ordine dello 0,5%.</p>

## CONTAMINANTI MICROBIOLOGICI

Contaminanti	Sorgenti e/o usi	Note
<b>Batteri termofili</b> <b>Endotossine batteriche</b> <b>Funghi mesofili</b>	<p>Le principali fonti di inquinamento microbiologico degli ambienti indoor sono gli <i>occupanti</i> (uomo ed animali), la polvere, le strutture ed i servizi degli edifici.</p> <p>Altre possibili sorgenti di microrganismi sono gli <i>umidificatori</i> ed i <i>condizionatori dell'aria</i>, dove la presenza di elevata umidità e l'inadeguata manutenzione facilitano l'insediamento e la moltiplicazione dei microrganismi che poi vengono diffusi negli ambienti dall'impianto di distribuzione dell'aria.</p> <p>Altri siti che possono costituire serbatoi di contaminanti biologici sono le <i>torri di raffreddamento</i> degli impianti di condizionamento ed anche i serbatoi e la rete distributiva dell'acqua ad uso domestico.</p>	<p>I microrganismi oltre ad essere responsabili di eventi infettivi possono determinare anche fenomeni allergici.</p> <p>Altre fonti di allergia da fattori indoor sono notoriamente gli acari della polvere e gli animali domestici ( cani e gatti).</p> <p>I biocontaminanti prodotti da animali domestici sono facilmente trasportabili dalle persone (tramite gli indumenti), pertanto si diffondono anche in ambienti in cui solitamente non ci sono animali.</p>

**N.B.** Non si deve dimenticare che esiste in ogni caso un “*background*” ineliminabile di “*inquinamento ambientale*” da agenti chimici, fisici e biologici strettamente dipendente dalle normali/abituale attività della vita quotidiana. Questa condizione di base viene tenuta in debito conto nella definizione degli “*standard*” di riferimento, utili a valutare la pericolosità dei vari livelli di inquinamento.

## EFFETTI SULLA SALUTE UMANA

Le considerazioni riportate in premessa rendono conto delle difficoltà oggettive nell'individuare le cause specifiche di eventuali disturbi e/o sintomi determinati da una cattiva qualità dell'aria interna. In genere si tende a ricondurre i fenomeni morbosi a due sindromi principali :

### **Building-related illness (B.R.I.) = Malattie associate agli edifici**

Sintomi, segni o affezioni che si manifestano in uno o più occupanti di un edificio e che possono essere riferiti ad uno specifico fattore eziologico presente nell'aria dell'ambiente confinato (microrganismi, polveri, formaldeide, etc.), che possono essere responsabili di specifici quadri morbosi quali asma, febbre da umidificatori, alveoliti allergiche, legionellosi etc.

### **Sick-building syndrome (S.B.S.) = Sindrome dell'edificio malato**

Sindrome che colpisce la maggioranza degli occupanti di un edificio, si manifesta con sintomi aspecifici ma ripetitivi e non riconosce un agente eziologico specifico.

Data la peculiarità di questa sindrome se ne approfondiscono i criteri diagnostici e le caratteristiche della sintomatologia in maniera più puntuale di seguito.

La "sick-building syndrome" (SBS) riconosce i seguenti **criteri diagnostici**:

- ✓ Elevata prevalenza (> 20%)
- ✓ Eziopatogenesi non definita (presumibilmente multifattoriale)
- ✓ Clinica: quadri polimorfi, sfumati, con sintomi aspecifici cronologicamente correlati al lavoro
- ✓ Diagnosi mediante indagini epidemiologiche (questionari ad hoc)
- ✓ Rapida risoluzione del quadro con l'abbandono dell'edificio.

La **sintomatologia polimorfa** che, in forme variamente combinate, può rappresentare la SBS viene descritta di seguito:

---

#### 1) IRRITAZIONE delle MUCOSE (NASO, CONGIUNTIVE, PRIME VIE AEREE)

- Secchezza
- Dolenzia
- Dolore pungente
- Raucedine
- Aumento della sete
- Modifica del timbro di voce

#### 2) IRRITAZIONE CUTANEA

- Eritema
- Dolore pungente
- Prurito
- Secchezza

#### 3) DISTURBI NERVOSI

- Cefalea
- Nausea
- Sonnolenza
- Facile affaticabilità
- "Vertigini"
- Letargia
- Deficit di concentrazione
- Turbe del gusto e dell'olfatto

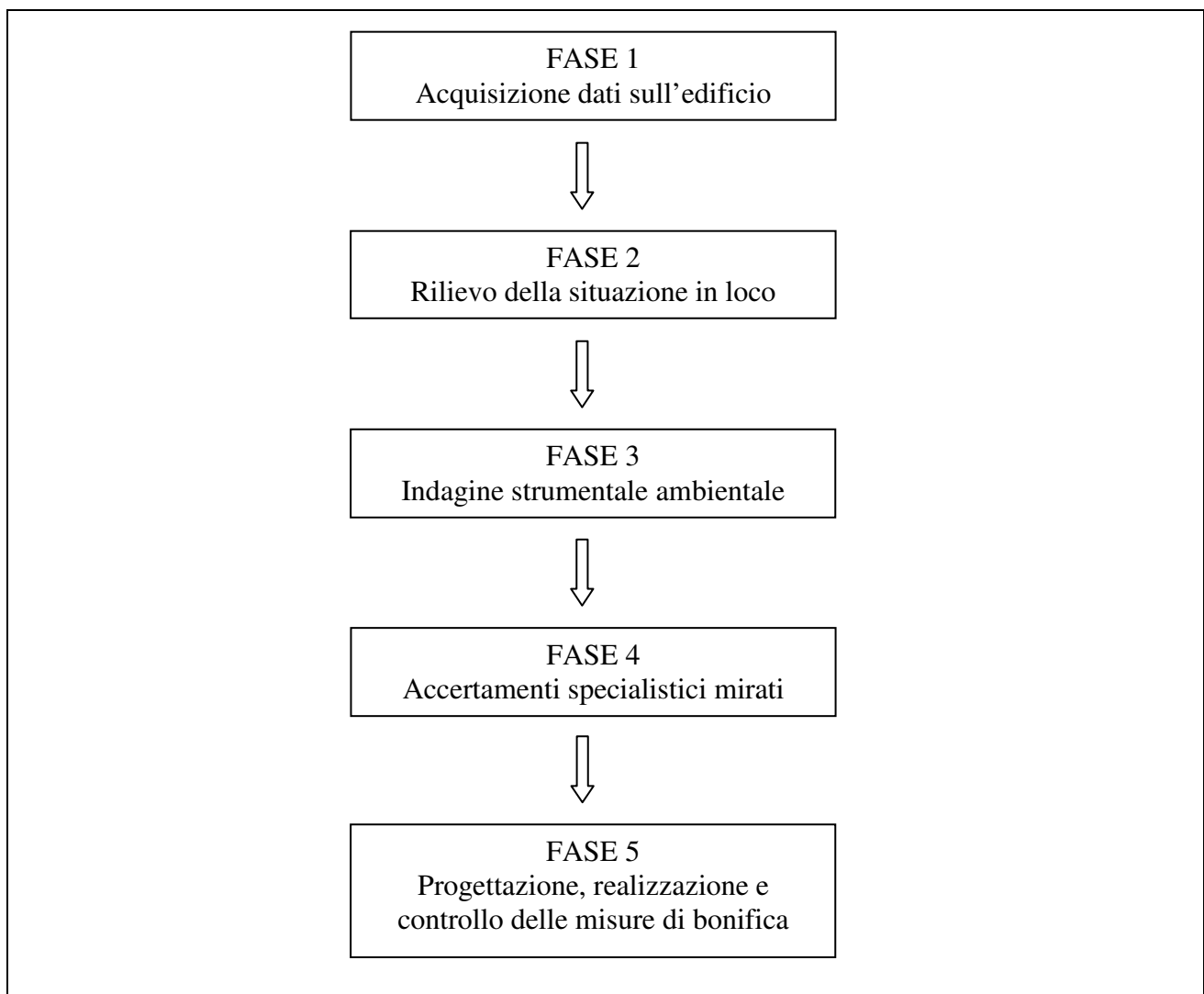
#### 4) IPERREATTIVITA' ASPECIFICA

- Ipersecrezione naso-lacrimale
- Sintomatologia asmatiforme

**Effetti cancerogeni:** recentemente è stata rivolta una particolare attenzione al possibile rischio di tumori legato alla **presenza negli ambienti indoor di composti con dimostrata evidenza di cancerogenicità**. I principali cancerogeni che possono essere presenti sono il **fumo di tabacco**, il **radon** e l'**amianto**; è stato ipotizzato che anche l'inquinamento indoor da composti organici volatili (es, **formaldeide, benzene**) possa costituire un significativo rischio cancerogeno per i soggetti che trascorrono molto tempo in ambienti confinati e contribuisca in modo significativo al rischio cancerogeno complessivo della popolazione generale.

#### **PROTOCOLLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA**

La valutazione della qualità dell'aria negli ambienti indoor deve essere condotta con una metodologia articolata, secondo una sequenza logica in fasi successive, che consenta di condurre studi completi senza che si debba ricorrere necessariamente in maniera sistematica alla esecuzione anche di indagini igienistiche complesse, che spesso comportano impegni finanziari e organizzativi più che onerosi. Una possibile **sequenza di fasi** è riportata di seguito:



E' facile intuire che, superati gli accertamenti delle prime tre fasi, è possibile, nel caso di riscontri negativi, concludere l'indagine; mentre l'accesso alla quarta fase (accertamenti specialistici mirati) si limita a quegli edifici in cui i rilievi delle prime tre fasi evidenziano situazioni anomale.

Nel dettaglio, la **prima fase** è rivolta a conseguire la acquisizione di tutti i dati di base di interesse relativi all'edificio in questione: particolare attenzione deve essere dedicata in questa fase soprattutto all'inventario delle potenziali sorgenti di inquinamento dell'aria interna.

#### **FASE 1 – Acquisizione dati sull'edificio**

- ❖ **CARATTERIZZAZIONE DEGLI EDIFICI**
  - Caratteristiche del sito e del suolo
  - Mappe e destinazione di uso degli ambienti
  - Materiali di costruzione
  
- ❖ **INVENTARIO DELLE POTENZIALI SORGENTI DI INQUINAMENTO ARIA**
  - Sorgenti da materiali (edilizi,arredi)
  - Sorgenti meccaniche e/o apparecchiature
  - Sorgenti da attività umane
  - Sorgenti esterne
  
- ❖ **CALENDARIO DEGLI INTERVENTI DI GESTIONE**
  - Pulizia
  - Manutenzione ordinaria
  - Manutenzione straordinaria

La **seconda fase** di lavoro è finalizzata alla verifica sul campo dell'inventario raccolto nella prima fase e dovrebbe anche avvalersi di un semplice questionario per il censimento del campione di persone coinvolte o per un primo screening di valutazione della qualità percepita dell'ambiente.

#### **FASE 2 – Rilievo della situazione in loco**

- ❖ **SOPRALLUOGO**
  - Impianti
  - Ambienti
  - Attrezzature
  - Arredo
  
- ❖ **SOMMINISTRAZIONE DI QUESTIONARIO DI BASE**
  - Censimento del campione
  - Screening su confort e sintomi

Operativamente la **terza fase** contiene le indagini strumentali da condurre nell'ambiente indoor, ed è rivolta alla definizione quali-quantitativa delle variabili essenziali del microclima e dell'inquinamento dell'aria.

### FASE 3 – **Indagine strumentale ambientale di base**

#### **A) INDICATORI DI RILIEVO SISTEMATICO**

- CO : indicatore indiretto di ventilazione + indice delle emissioni da sorgenti di combustione
- T + UR : indici di confort termico
- PM : indice di inquinamento particolare e di efficienza dei sistemi di filtrazione dell'aria (se presenti)
- VOC : indice del carico globale di composti organici volatili
- CFU : indice di contaminazione globale da microrganismi

#### **B) INDICATORI DI RILIEVO OPZIONALE**

- FIBRE MINERALI : indice di contaminazione da fibre minerali
- ALFA-EMISSIONI : indice della contaminazione da radon
- DILUIZIONE DA GAS TRACCIANTI: indicatore del ricambio dell'aria

**N.B.** Sono utilizzabili anche strumenti per la misurazione diretta della ventilazione e dei ricambi di aria.

Complemento indispensabile alla terza fase, nel caso le misurazioni mettano in evidenza situazioni di inquinamento da qualche classe di agenti, sono gli accertamenti specialistici mirati della **quarta fase**; essi sono anzitutto rivolti alla caratterizzazione più accurata dei singoli agenti inquinanti ed alla stima dei tempi di esposizione per i soggetti occupati.

### FASE 4 – **Accertamenti specialistici mirati**

#### ❖ **INDAGINI AMBIENTALI SPECIALISTICHE**

- Tipizzazione di singoli agenti (tipizzazione microrganismi, misura di singoli VOC, microscopia elettronica delle fibre etc.)
- Controllo di particolari sorgenti
- Studio dettagliato della circolazione dell'aria
- Studio dei tempi di esposizione

#### ❖ **ACCERTAMENTI SANITARI**

- Visite mediche e accertamenti strumentali
- Accertamenti chimico-clinici e immunologici
- Monitoraggio biologico dell'esposizione (cotonina, COHb, composti organici etc.).



La **quinta fase** presuppone che l'edificio su cui è stato effettuato l'intervento abbia evidenziato particolari problemi di qualità dell'aria e che gli accertamenti compiuti ne abbiano individuato la/le causa/e. Gli strumenti principali di lavoro sono rappresentati da appropriati interventi sulle sorgenti di emissione, sul sistema di ventilazione o più raramente sul trattamento dell'aria interna.

#### FASE 5 – Progettazione, realizzazione e controllo delle bonifiche

##### A) INTERVENTI SULLE SORGENTI

- Manutenzione
- Modifica
- Confinamento
- Sostituzione

##### B) INTERVENTI SULLA VENTILAZIONE

- Naturale
- Forzata, locale o generale

##### C) TRATTAMENTO E DEPURAZIONE DELL'ARIA

- Diluizione
- Filtrazione
- Assorbimento

#### STANDARD DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E LIMITI DI ESPOSIZIONE

La tutela della salute dei soggetti esposti ad agenti nocivi nell'ambiente di lavoro è tradizionalmente affidata al rispetto di valori limite di esposizione fissati da vari organismi nazionali e internazionali. L'obiettivo di disporre di **limiti raccomandati specificamente per l'inquinamento degli ambienti indoor** ha finora incontrato alcune difficoltà, riferite a diversi fattori:

- gli standard di qualità dell'aria degli ambienti confinati devono essere raccordati agli standard per l'aria esterna e a quelli, più in generale, degli ambienti di vita;
- deve essere considerata anche la presenza di sostanze cancerogene nell'ambiente di vita;
- la stima del tempo di esposizione deve essere integrata dai tempi trascorsi anche in altri ambienti;
- bisogna fare attenzione alla presenza di soggetti ipersuscettibili (bambini, anziani, donne gravide etc.);
- i limiti di esposizione devono tener conto non solo della prevenzione delle malattie, ma anche più in generale dell'obiettivo di comfort.

**In Italia** non esistono normative vere e proprie per la qualità dell'aria, né sono stati definiti standard o limiti di esposizione. L'*accordo tra il Ministero della salute, le Regioni e le Province autonome del 27/9/2001* ha emanato comunque le "*Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*". In tale documento viene disegnato un quadro conoscitivo sullo stato della qualità dell'aria indoor, fornito un indirizzo per un programma di prevenzione e sono tracciate le linee strategiche per la messa in opera del programma stesso. Un successivo *accordo del 5/10/2006* ha recepito inoltre le "*Linee guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione*".

**In campo internazionale** esistono invece diversi *standard di qualità dell'aria* che si riferiscono a standard per la *qualità dell'aria esterna* oppure a specifici standard per gli *ambienti di tipo residenziale*, con i quali si è inteso garantire ragionevoli livelli di salute e confort per gli occupanti.

Fra gli standard e le linee guida emanati dalle organizzazioni internazionali è utile citare almeno le più importanti e significative:

- *Air Quality Guidelines for Europe dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO)*, designate per la protezione della popolazione generale, riguardanti un largo numero di sostanze; esse risultano di buona applicazione anche nell'ambiente indoor.

- *Standard della American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)*, sviluppati specificamente per gli ambienti confinati ma riguardanti un numero ristretto di sostanze e riferiti ad un grado di confort piuttosto limitativo (80% di soddisfatti).

Di seguito si riportano alcuni degli standard citati in riferimento agli inquinanti più comunemente considerati in ambito indoor (vedi fase 3 del protocollo di valutazione).

**Polverosità totale:** si fa riferimento alle *raccomandazioni del WHO* e alle *linee guida della Norvegia*, che forniscono indicazioni sui valori di accettabilità o valori soglia.

Inquinante	NORVEGIA	EUROPA / WHO
<b>Particolato totale</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	90 (8 ore)	120 (24 ore)

**Composti organici volatili (VOC):** le principali indicazioni sui valori di accettabilità o valori soglia si riferiscono a *raccomandazioni del WHO* e a *linee guida di diversi paesi occidentali*.

Inquinante	OLANDA	CANADA	NORVEGIA	EUROPA WHO	USA ASHRAE
<b>VOC totali</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			400	300-3000*	
<b>Formaldeide</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	120 (30 m')	120	60	100 (30 m')	100 (30 m')

\* < 300 = disagi improbabili  
 300-3000 = disagi possibili  
 > 3000 = disagi probabili

**Agenti biologici:** stabilire un limite di accettabilità di inquinamento microbiologico è compito arduo in considerazione del fatto che livelli variabili di biocontaminanti sono ineliminabili in quanto strettamente dipendenti dall'attività umana.

- Infatti l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH)* non ritiene proponibili dei valori soglia per i contaminanti biologici dal momento che molti sono i fattori di confondimento (indisponibilità di relazioni dose-risposta, variabilità individuale, complessa composizione microbiologica degli aerosol).

- Invece il *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)* indica nel valore di 1000 UFC/m<sup>3</sup> (unità formanti colonie) il livello di riferimento per ambienti indoor, il cui superamento non implica che necessariamente esistono condizioni di pericolo o di insalubrità, ma consiglia l'approfondimento delle indagini per individuare eventuali sorgenti di contaminazione.

- Infine il *rapporto N° 12 del programma "European Collaborative Action, Indoor Air Quality and Its Impact on Man"*, pubblicato dalla Commissione Europea (**EUR 14988 EN, 1993**), suddivide gli ambienti indoor in categorie che, pur non essendo basate a rigore sul principio della valutazione del rischio, si differenziano in ogni caso in base ai livelli di concentrazione degli agenti biologici. Tali categorie sono riportate nella tabella successiva.

### Valori di carica microbica totale in funzione della qualità dell'aria interna.

Categoria di inquinamento microbiologico	CASE	Ambienti non industriali	CASE	Ambienti non industriali
	Batteri (UFC/m <sup>3</sup> )	Batteri (UFC/M <sup>3</sup> )	Miceti (UFC/m <sup>3</sup> )	Miceti (UFC/m <sup>3</sup> )
Molto bassa	<100	<50	<50	<25
Bassa	<500	<100	<200	<100
Intermedia	<2500	<500	<1000	<500
Alta	<10000	<2000	<10000	<2000
Molto alta	>10000	>2000	>10000	>2000

**Microclima:** per la valutazione del “*confort*” in ambienti di lavoro non industriali si utilizza principalmente l’equazione di confort proposta da Fanger e ratificata nella *norma UNI EN ISO 7730 “Determinazione degli indici PMV e PPD”*.

Il **PMV** (*Predicted Mean Vote – Voto medio previsto*) è un indice che predice il valore medio dei voti di un consistente gruppo di persone riguardo alla sensazione termica, definita in una scala compresa fra -3 e +3, estremi che indicano rispettivamente condizioni di molto freddo e molto caldo.

L’indice **PPD** (*Predicted Percentage of Dissatisfied – Percentuale prevista di insoddisfatti*) descrive, per un dato valore di PMV, la frazione di individui insoddisfatti dell’ambiente termico in cui si trovano.

Gli indici PMV e PPD sono legati da una relazione che permette di definire gli intervalli di variazione del PMV in funzione della percentuale di persone termicamente soddisfatte che si intende mantenere. Un ambiente viene considerato termicamente confortevole se la percentuale di persone insoddisfatte (**PPD**) è **minore del 10%**; questo criterio corrisponde a valori del voto medio previsto (**PMV**) compresi **fra - 0,5 e + 0,5**.

D’altro canto l’**ASHRAE** definisce come valori ottimali e limiti di accettabilità della temperatura operativa, per persone che svolgono attività leggere, principalmente sedentarie, con umidità relativa del 50% e velocità dell’aria < 0,15 m/s i seguenti standard:

- **INVERNO** (abbigliamento: pantaloni pesanti, camicia a maniche lunghe, maglione)
  - Temperatura operativa ottimale = **22 °C**
  - Campo di temperatura operativa (criterio del 10% di insoddisfatti) = **20-23,5 °C**
- **ESTATE** (abbigliamento: pantaloni leggeri e camicia a maniche corte)
  - Temperatura operativa ottimale = **24,5 °C**
  - Campo di temperatura operativa (criterio del 10% di insoddisfatti) = **23-26 °C**.

**Ventilazione:** il dibattito sulla definizione dei requisiti di ventilazione degli edifici è ancora aperto; ciononostante alcuni riferimenti sono proponibili: in particolare il **CEN** (*rapporto CR 1752 del 1998*) identifica *tre categorie di accettabilità* (anche queste, come per il microclima, basate sulle percentuali previste di insoddisfatti), in funzione della massima concentrazione di CO<sub>2</sub>, considerata come tracciante del carico inquinante antropico. I **requisiti di ventilazione** proposti dal CEN, in assenza di fumatori, espressi in l/s per persona, sono i seguenti:

- **10 l/s** per la categoria **A** (15% di insoddisfatti)
- **7 l/s** per la categoria **B** (20% di insoddisfatti)
- **4 l/s** per la categoria **C** (30 % di insoddisfatti).

Nell'ipotesi che la concentrazione di fondo della CO<sub>2</sub> in aria esterna sia di 350 ppm, queste tre categorie corrispondono ai seguenti **valori massimi di concentrazione indoor di CO<sub>2</sub>**:

- **820 ppm** per la categoria **A**
- **1025 ppm** per la categoria **B**
- **1530 ppm** per la categoria **C**.

E' utile ricordare che i numerosi standard esistenti in Europa e nel Nord America riguardo alla ventilazione negli uffici propongono **requisiti** notevolmente diversi fra loro, ma comunque **variabili fra 3 e 12 l/s** per persona, escludendo i fumatori ( si veda il *rapporto N° 23* del programma "*European Collaborative Action, Indoor Air Quality an Its Impact on Man*", pubblicato dalla Commissione Europea, **EUR 20741 EN, 2003**).

**Illuminamento:** soprattutto nelle attività lavorative che richiedono un impegno visivo è necessario garantire adeguate condizioni di illuminazione.

La norma **UNI EN 12464** indica i requisiti di illuminazione per gli ambienti interni in funzione del "compito visivo", cioè della natura e delle caratteristiche delle attività lavorative che impegna la vista. *Nei lavori di ufficio* ad esempio, in cui si svolgono attività di scrittura o elaborazione dati, l'illuminamento (definito come intensità del flusso luminoso incidente su una superficie data) può arrivare fino a **500 Lux**; nei locali adibiti a fotocopie il requisito massimo di illuminamento è di **300 Lux**. E' inoltre importante *l'uniformità di illuminamento*, definita come il rapporto fra l'illuminamento delle aree nelle immediate vicinanze e l'illuminamento del "compito visivo". Ad esempio, per un illuminamento del compito visivo di 500 Lux, l'area immediatamente vicina deve avere un illuminamento almeno pari a 300 Lux..

## **BIBLIOGRAFIA**

- M. Maroni  
"Qualità dell'aria e lavoro di ufficio: recenti acquisizioni e prospettive".  
in Atti del 53° Congresso Nazionale della SIMLII – Stresa 10-13 ottobre 1990  
Monduzzi Editore pagg. 35-65
- Atti del 3° Convegno Nazionale dell'Associazione ARIA – ARIA '94  
ISPESL – Monteporzio Catone 26-28 ottobre 1994
- Atti del 4° Convegno Nazionale dell'Associazione ARIA – ARIA '96  
ISS – Roma 12-14 giugno 1996 – Rapporti ISTISAN 98/3
- Proceedings on International Conference on Healthy Buildings in Mild Climate  
"Healthy buildings '95" – Milano 10-14 settembre 1995
- Accordo del 27/9/2001 tra il Ministero della salute, le Regioni e le Province autonome sul documento concernente: "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati". - G.U. N° 276 del 27/11/2001
- Accordo del 5/10/2006 tra il Governo, le Regioni e le Province autonome sul documento concernente: "Linee guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione". – G.U. N° 256 del 3/11/2006