

PRINCIPALI INQUINANTI INDOOR

Gli inquinanti indoor presenti negli ambienti confinati non industriali sono molto numerosi e possono essere suddivisi in tre categorie: chimici, microbiologici e fisici.

Di seguito si riporta un elenco indicativo e non esaustivo di inquinanti indoor, con le loro principali caratteristiche e con l'indicazione delle patologie che possono provocare.

I TLV riportati sono quelli proposti dall'ACGIH nel 2001.

◆ **Amianto (asbesto)**

Con la Legge 257/92 l'Italia ha dichiarato fuori legge l'amianto che non può essere più estratto né utilizzato per produrre manufatti. L'esposizione a fibre di amianto all'interno degli edifici può comunque verificarsi a causa del deterioramento dei materiali costitutivi, vibrazioni, infiltrazioni d'acqua, variazioni di umidità o per scorretti interventi di manutenzione: il DM 06/09/94 stabilisce le modalità di intervento sui manufatti e sulle opere contenenti amianto.

L'esposizione a fibre di amianto produce un aumentato rischio di patologie polmonari come pneumoconiosi, cancro del polmone e mesotelioma. Il rischio di ammalarsi di tumore polmonare è correlato alle dosi di asbesto inalate vi è un effetto sinergico con l'esposizione a fumo di sigaretta; per quanto riguarda il mesotelioma, non vi è relazione con il fumo di sigaretta e vi è evidenza di casi di tumore anche per dosi molto basse di asbesto. La IARC classifica l'amianto nel gruppo 1, cioè nel gruppo di sostanze per le quali vi è evidenza sufficiente di cancerogenicità nell'uomo.

L'esposizione ad amianto può condurre a fibrosi polmonare, asbestosi, che è nella massima parte dei casi una malattia professionale, ma sempre più spesso vengono segnalati casi (di norma di grado "lieve" o "minimo", spesso venuti ad osservazione incidentale in quanto associati a neoplasie correlabili all'amianto) in soggetti non professionalmente esposti ad amianto ma conviventi di soggetti professionalmente esposti e/o residenti in zone ad intenso inquinamento ambientale da amianto.

Valori limite proposti dall'ACGIH:

- TLV- TWA: 0,1 fibre/cm³

La legislazione italiana (D.Lgs.277/91 e successive modifiche) fissa il limite di 0,6 fibre per centimetro cubico per il crisotilo e di 0,2 fibre per centimetro cubico per le altre varietà di amianto (sia isolate sia in miscela, ivi comprese le miscele contenenti crisotilo)

◆ **Fibre minerali sintetiche**

Sono fibre minerali prodotte artificialmente che nel tempo hanno sostituito le fibre di amianto in numerose applicazioni. Le fibre minerali artificiali presenti nell'inquinamento indoor provengono prevalentemente dai materiali isolanti dei controsoffitti e delle tramezze, dagli impianti di ventilazione e condizionamento dell'aria.

Le valutazioni tossicologiche sono ancora in corso: è confermata la possibilità di insorgenza di rinite, faringite, bronchite acuta e dermatite irritativa in operatori che manipolano le fibre di vetro, di lana di vetro e/o lana di roccia. Le caratteristiche dimensionali e la biopersistenza delle fibre sono i fattori più importanti per lo sviluppo di malattie a carico dei polmoni: le fibre respirabili (diametro <3 µm, rapporto lunghezza/diametro >3) e quelle più durevoli sono le più pericolose. Alla luce delle evidenze attualmente disponibili, queste fibre minerali sono risultate caratterizzate da una minore attività biologica rispetto all'asbesto, tanto per gli effetti fibrotici quanto per quelli neoplastici.

Lana di vetro, lana di roccia, lana di scoria e fibre ceramiche sono, secondo l'OMS, "agenti potenzialmente cancerogeni per l'uomo", allocati nella categoria "2B" secondo i criteri stabiliti dalla IARC. Nella UE, per la "lana di roccia/scoria, produzione" è prevista l'etichettatura di pericolosità quale "T; R49" (tossico, cancerogeno per inalazione), mentre per la "lana di vetro,

produzione" è prevista etichettatura di pericolosità quale "Xn; R40" (nocivo, possibilità di effetti irreversibili).

L'ACGIH ha classificato le fibre ceramiche nel gruppo A2, le fibre di lana di roccia, quelle di lana di scoria, di lana di vetro e di vetro per scopi speciali in A3, mentre le fibre di vetro e filamento continuo in A4.

Questi prodotti sono considerati irritanti in base ad un effetto di sfregamento sulla cute. Nell'ambito della normativa nazionale si ricorda il DM 01/09/98 ed il DM di rettifica 02/02/99 riguardanti la classificazione, l'imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose e la definizione dei criteri per la classificazione e l'etichettatura delle fibre artificiali vetrose (lane minerali, fibre ceramiche refrattarie)

Valori limite proposti dall'ACGIH:

- TLV-TWA per fibre minerali sintetiche: $0,2 \div 1 \text{ fibre/cm}^3$
- TLV-TWA per fibre di vetro a filamento continuo: 5 mg/m^3
- TLV-STEL per fibre A2 ÷ A4 non classificabili: 30.000 ppm ; 54.000 mg/m^3

◆ **Anidride carbonica o biossido di carbonio (CO₂)**

Gas incolore, inodore, insapore, derivato dalla combustione completa del Carbonio compresi i processi metabolici.

Alla normale concentrazione atmosferica (380 ppm) non è tossica per l'uomo.

Quando la concentrazione del CO₂ nell'aria supera i 10.000 ppm è stata accertata una diminuzione delle funzioni mentali e quando supera i 20.000 ppm iniziano a comparire gli effetti sull'organismo umano: a seconda della concentrazione la CO₂ può agire come potente stimolante respiratorio, come narcotico con azione depressiva sul Sistema Nervoso Centrale o come asfissiante.

Valori limite proposti dall'ACGIH per la CO₂:

- TLV- TWA = 5000 ppm ; 9000 mg/m^3
- TLV-STEL: 30.000 ppm ; 54.000 mg/m^3

◆ **Antiparassitari**

Utilizzati all'interno degli edifici per eliminare zanzare, mosche, ecc... possono penetrare dall'esterno, attraverso soluzioni di continuità e fessure presenti nelle fondazioni e negli scantinati. I pesticidi che più comunemente si riscontrano negli ambienti indoor negli Stati Uniti sono: clordano, fenclos, clorpyrifos, malathion, dimpylate e quelli usati per il trattamento antimuffa del legno: una rilevante esposizione cronica ad antiparassitari (in particolare pentaclorofenolo) è stata infatti documentata in soggetti che abitano ambienti ove vi è presenza di superfici di legno trattate, che rilasciano lentamente e per anni tali composti nell'aria ambientale. Questi composti, tossici per definizione, esercitano i loro effetti principalmente sul sistema nervoso, sul fegato e sull'apparato riproduttore ed alcuni fungono anche da sensibilizzanti allergici e comunque l'informazione circa l'esposizione dell'uomo ai pesticidi in ambienti confinati è frammentaria.

L'ACGIH propone TLV-TWA per i vari, singoli pesticidi.

◆ **Composti organici volatili (COV o VOC)**

È una famiglia di molecole organiche (carbonio ed idrogeno), prevalentemente idrocarburi aromatici e clorurati, alcani, terpeni, aldeidi. Importanti fonti di inquinamento sono rappresentate dal fumo di sigaretta, stampanti, fotocopiatrici, materiali di costruzione ed arredi; negli ambienti indoor le concentrazioni maggiori sono state rilevate in locali con recente installazione degli arredi. Un'errata collocazione delle prese d'aria (prossimità di aree ad elevato inquinamento) possono determinare un'importante penetrazione di COV dall'esterno.

Molti COV presi singolarmente provocano definiti effetti acuti e cronici (irritazione delle mucose, effetti neurocomportamentali, sensoriali, neurotossici ed epatotossici), alcuni sono cancerogeni.

Non sono definiti valori limite per i COV come tali.

◆ **Formaldeide (o Aldeide formica: HCHO)**

Gas incolore, composto organico volatile che oltre ad essere un prodotto della combustione (il fumo di tabacco ne costituisce la sorgente principale) è anche emesso da alcune resine usate per l'isolamento o utilizzate per la produzione del truciolato, compensato di legno, tappezzerie, moquette ed altri materiali per l'arredamento. Negli ambienti indoor le concentrazioni maggiori sono state rilevate in case prefabbricate o in locali con recente posa di mobili in truciolato o moquette.

La formaldeide ha una soglia olfattiva molto bassa, a concentrazioni di circa 0,1 ppm viene percepita come odore pungente. L'esposizione acuta può essere causa di una sintomatologia (SIMEC) caratterizzata da irritazione delle mucose dell'estremità encefalica; sono poco conosciuti gli effetti dell'esposizione cronica a basse dosi. E' cancerogeno per l'uomo (gruppo A2 dell'ACGIH)

Le principali misure preventive e protettive da adottare per esercitare un controllo delle emissioni sono quelle di pretrattare, mediante essiccamento e/o insufflazione di aria calda, i materiali "inquinanti", coprire i pannelli con apposite vernici, depurare l'aria mediante assorbitori a palline di ossido di alluminio impregnati con permanganato di potassio, condensare le particelle di formaldeide per raffreddamento, agire sulle condizioni microclimatiche in quanto lo sviluppo ed il rilascio dipendono dalla temperatura, umidità e ventilazione dei locali.

Valori limite proposti dall'ACGIH per la formaldeide:

- TLV-Ceiling: 0,3 ppm; 0,37 mg/m³

◆ **Fumo di tabacco ambientale (ETS: Environmental Tobacco Smoke)**

Il fumo di tabacco ambientale, detto anche fumo passivo, è una miscela di fumo esalato da parte del fumatore (tertiary smoke) e di fumo secondario (side stream smoking) prodotto dalla combustione spontanea della sigaretta.

Il fumo attivo è un fattore di rischio indiscusso per il tumore del polmone nell'essere umano. La IARC che classifica anche il fumo passivo come sostanza cancerogena di gruppo I, conferma che il rischio di cancro del polmone aumenta altresì per coloro che non fumano ma vivono accanto a fumatori: il fumo passivo è stato valutato anche come fattore causale del cancro naso-sinusale. I cancerogeni presenti nel fumo passivo comprendono il benzene, l'1,3-butadiene, il benzo[a]pirene. Sempre secondo la IARC l'esposizione dei non fumatori a fumo passivo sul posto di lavoro comporta un aumento nel rischio di cancro del polmone del 16-19%. L'esposizione ad ETS causa inoltre sintomatologia irritativa a carico di congiuntive e vie aeree, cefalea, riduzione della capacità decisionale, di concentrazione e vigilanza, può determinare alterazione dei test di funzionalità respiratoria e dati epidemiologici indicano anche un aumento di malattie cardiovascolari e gravi effetti su persone allergiche o che soffrono di patologie respiratorie.

L'intervento più pratico per ridurre la concentrazione di ETS negli ambienti confinati, oltre al divieto di fumo, è l'isolamento dei fumatori. La normativa vigente (Legge 306/2003 e DPCM 23/12/2003) prevede che i locali per i fumatori siano dotati di mezzi meccanici di ventilazione forzata tali da garantire una portata d'aria di ricambio supplementare esterna o immessa per trasferimento da altri ambienti limitrofi dove è vietato fumare: l'aria di ricambio supplementare deve essere adeguatamente filtrata e la portata di aria supplementare minima da assicurare è pari a 30 l/s per ogni persona che può essere ospitata nei locali in conformità della normativa vigente, sulla base di un indice di affollamento pari allo 0,7 persone/m².

L'approccio che viene comunemente utilizzato per stimare l'esposizione a fumo passivo consiste nel misurare uno o più costituenti per inferire successivamente sulla concentrazione degli altri costituenti non misurati o per quantizzare i livelli del fumo passivo stesso: la nicotina è la sostanza più frequentemente utilizzata come marker in quanto molto specifica e abbondante e non presente in assenza di fumo.

L'ACGIH non definisce valori limite.

La cotinina urinaria (ma anche ematica e nella saliva) è considerata un buon indicatore biologico di esposizione ad ETS.

Un promettente marker di esposizione a lungo termine è la nicotina nei capelli e nelle unghie.

◆ **Ossido di azoto (NO) e Biossido di azoto (NO₂)**

L'ossido di azoto si genera dalla reazione di N₂ e O₂ ad elevate temperature (> 1210 °C) e per ossidazione forma il biossido d'azoto. Le principali fonti indoor di ossidi d'azoto sono costituite dai fumi di tabacco, stufe a gas privi di scarico esterno (i valori più elevati si rilevano nelle cucine).

A basse concentrazioni l'ossido di azoto non viene percepito, a concentrazioni superiori a 1÷3 ppm viene avvertito come odore pungente, a concentrazioni di 13 ppm causa irritazioni delle mucose degli occhi e del naso, a concentrazioni di 100 ppm conduce ad edema polmonare fino al decesso.

I dati di letteratura scientifica, riguardanti il rapporto tra esposizione a NO₂ indoor e malattie respiratorie sono più controversi. Gli effetti conseguenti all'esposizione a concentrazioni normalmente presenti negli ambienti studiati sono poco evidenziati: l'esposizione a piccole concentrazioni di NO₂ (1÷2,5 ppm) diminuisce la funzione respiratoria dei bambini e probabilmente anche quella degli adulti ed inoltre alcuni dati epidemiologici sembrano indicare un effetto interattivo con altri inquinanti con relativo effetto immunodepressivo. L'esposizione a concentrazione di NO₂ fra 0,07 e 0,27 ppm può condurre a turbe della visione crepuscolare.

Valori limite proposti dall'ACGIH per l'ossido di azoto:

- TLV-TWA: 25 ppm; 31 mg/m³
- IBE: 1,5 % metaemoglobina nel sangue (durante o fine turno lavorativo)

Valori limite proposti dall'ACGIH per il biossido di azoto:

- TLV-TWA: 3 ppm; 5,6 mg/m³
- TLV-STEL: 5 ppm; 9,4 mg/m³

◆ **Ossido di carbonio (CO)**

Gas incolore, inodore, insapore, derivato dalla combustione incompleta del Carbonio e dunque i suoi livelli sono strettamente influenzati dalla presenza di processi di combustione (sistemi di riscaldamento e cottura, fumo di tabacco, ecc...). Il CO ha una affinità per l'emoglobina molto superiore a quella dell'O₂: ciò determina la formazione della carbossiemoglobina che ostacola la captazione ed il trasporto dell'O₂ nell'organismo.

Il CO possiede un ampio spettro di effetti a seconda delle concentrazioni; il riconoscimento di tali effetti, strettamente correlati alla quantità di carbossiemoglobina che si forma, è piuttosto difficile per l'aspecificità dei sintomi e per la lunga latenza della risposta. I soggetti affetti da disturbi cardiovascolari, broncopneumotici cronici, anemici, ipertiroidei, donne in gravidanza, bambini ed anziani possono presentare disturbi (cefalea, riduzione della capacità lavorativa, ecc..) anche a concentrazioni di 10÷20 ppm; esposizioni fino a concentrazioni di 25 ppm sono in grado di determinare effetti a livello cardiaco quali tachicardia ed aumento della frequenza di crisi anginose, a concentrazioni superiori a 25 ppm determina esacerbazione delle crisi cardiache, perdita di coscienza fino al decesso per inibizione dei centri cardio-respiratori bulbari. Le principali misure preventive e protettive da adottare per evitare eccessive concentrazioni di CO, consistono nell'aerazione dei locali in cui sono presenti apparecchi di combustione a fiamma libera e la sistematica loro manutenzione, pulizia e controllo, applicazione di

ventilazione supplementare in caso di prevedibili massicce emissioni di CO (anche per brevi periodi di tempo).

Valori limite proposti dall'ACGIH per il CO:

- TLV-TWA: 25 ppm; 29 mg/m³
- IBE: 3,5 % di carbossiemoglobina; 20 ppm di CO nell'aria di fine espirazione.

◆ **Ozono (O₃)**

La maggior parte dell'ozono che si ritrova negli ambienti confinati deriva dall'esterno; una quantità significativa può essere generata da strumenti elettrici ad alto voltaggio (stampanti laser, fax, motori elettrici). Le concentrazioni di ozono, avendo un tempo di dimezzamento inferiore ai 30 minuti, in assenza di emissioni, decadono velocemente.

L'esposizione, anche per breve tempo, a concentrazioni superiori a 4 ppm, può ridurre l'efficacia del sistema immunitario, l'esposizione prolungata a bassi livelli (0,08 ÷ 1 ppm) può provocare irritazione agli occhi ed alle vie respiratorie ed aumentare la reattività bronchiale.

Valori limite proposti dall'ACGIH per l'ozono:

- TLV: 0,20 ppm; 0,40 mg/m³ se le esposizioni non si protraggono oltre le 2 ore
- TLV-TWA: 0,10 ppm; 0,20 mg/m³ se si effettuano lavori leggeri
- TLV-TWA: 0,08 ppm; 0,16 mg/m³ se si effettuano lavori moderati
- TLV-TWA: 0,05 ppm; 0,10 mg/m³ se si effettuano lavori pesanti

◆ **Particolato inalabile (PNOC)**

È principalmente prodotto dal fumo di sigaretta e dalle fonti di combustione e dalle attività degli occupanti: la composizione del particolato di combustione varia con il tipo di combustibile e con le condizioni in cui avviene la combustione. Sulla base della dimensione aerodinamica delle particelle, nell'ambito del particolato inalabile si identifica una frazione respirabile dotata di maggiore capacità a penetrare nell'apparato respiratorio e quindi potenzialmente più pericolosa.

Il particolato inalabile può condurre ad irritazione delle mucose respiratorie ed oculari. Ad elevate concentrazioni è stato associato con una condizione occasionalmente fatale denominata "proteinosi alveolare" e a concentrazioni inferiori può inibire la "clearance" di particelle tossiche dei polmoni riducendo la mobilità dei macrofagi alveolari. A concentrazioni di 300 µg/m³ può determinare, da solo o in sinergismo con SO₂ ed altri gas di combustione, diminuzione della funzione respiratoria. Il cancro è l'effetto più grave di quelli associati con l'esposizione a particolato di combustione: le particelle possono svolgere un ruolo additivo o sinergico nella cancerogenesi prodotta dai composti (IPA, fuliggine) adsorbiti su di esse.

L'intervento più pratico per ridurre la concentrazione di particolato inalabile negli ambienti è l'aerazione con l'attenzione alla provenienza dell'aria di rinnovo.

Valori limite proposti dall'ACGIH per il particolato inalabile/frazione respirabile se non contenente asbesto e/o silice cristallina < all'1%

- TLV-TWA: 10 mg/m³ per le particelle inalabili
- TLV-TWA: 3 mg/m³ per le particelle respirabili

◆ **Inquinanti microbiologici**

Gli inquinanti microbiologici sono rappresentati da particelle organiche aerodisperse costituite da microrganismi, virus, batteri, pollini, spore, acari ed altro materiale biologico da essi derivato. Negli ambienti indoor, le principali fonti di inquinamento microbiologico sono gli occupanti (es.: desquamazione epidermica, emissione di batteri saprofiti o agenti infettanti nel corso di malattie delle prime vie aeree, ecc...), le strutture ed i servizi degli edifici (es.: acqua ferma, piante, rifiuti, umidificatori e condizionatori di aria, ecc...). Ubiquitari in natura, possono subire modifiche in conseguenza dell'attività umana; la presenza di vapor d'acqua in elevata misura ne aumenta la crescita e la diffusione.

Le patologie causate da tali agenti sono frequentemente lievi, che comunque possono interferire sia con la vita di relazione sia con la capacità lavorativa, ma anche, se pur raramente, letali. L'episodio epidemico più famoso è quello della legionellosi verificatosi in un Hotel di Philadelphia nel 1976 fra i partecipanti di un convegno di ex combattenti del Vietnam (detti anche legionari); il batterio responsabile, la legionella pneumophila, è un patogeno a localizzazione intracellulare, responsabile di manifestazioni prevalentemente polmonari (polmonite acuta). Seguono poi una serie di effetti di tipo allergico (dovuti alla presenza di allergeni) e di effetti tossici diretti: alcune muffe producono micotossine che possono causare anche a modeste concentrazioni, lesioni gastrointestinali, depressione dell'emopoiesi ed effetto immunodepressivo.

L'intervento più pratico per ridurre il rischio di danni alla salute si riduce con una accurata manutenzione degli impianti di condizionamento dell'aria, controllo dell'umidità, adeguata ventilazione, buona distribuzione dell'aria e depuratori dell'aria ad alta efficienza per la rimozione degli inquinanti.

Tra i contaminanti ambientali di interesse emergente, un ruolo sempre più importante assumono gli allergeni indoor causa di patologia asmatica: i principali allergeni all'interno degli edifici sono dovuti solitamente agli acari, agli animali domestici ed a microrganismi come funghi e batteri. Gli allergeni prodotti dagli animali domestici sono presenti nei peli, nella forfora, ma anche nella saliva e nell'urina e sono facilmente trasportabili dalle persone (tramite gli indumenti), diffondendosi anche in ambienti in cui solitamente non ci sono animali.

L'indicatore per valutare la contaminazione da inquinanti microbiologici (batteri e funghi) negli ambienti indoor è il Colony forming units (CFU).

L'ACGIH ha prodotto delle Linee guida per il riconoscimento, la valutazione ed il controllo degli inquinanti microbiologici "indoor", ma non esprimono TLV con i quali confrontare i risultati delle misure di concentrazione della maggior parte dei materiali di origine biologica.

◆ **Radon (^{222}Rn)**

Gas radioattivo classificato, insieme ai suoi prodotti di decadimento, come agente cancerogeno di gruppo 1 dallo IARC. Chimicamente inerte e inodore è il primo prodotto di decadimento del ^{226}Ra ed ha una emivita di 3,82 giorni e a sua volta da origine ad una serie di prodotti di decadimento a vita breve o media che, aderendo alle particelle di polvere ed alle superfici dell'ambiente, possono essere veicolate nel polmone. Esso è diffuso nella crosta terrestre a concentrazioni molto variabili; la concentrazione negli edifici varia con le caratteristiche geologiche del terreno e con quelle dei materiali di costruzione: all'interno degli ambienti confinati tende a concentrarsi mentre all'esterno, per l'effetto diluente dell'aria atmosferica, le concentrazioni sono molto basse. I prodotti di decadimento del ^{222}Rn , depositandosi in parte sul pulviscolo presente nell'aria, possono essere veicolati nel polmone: il principale rischio per la salute conseguente all'esposizione a radon è quindi lo sviluppo del tumore al polmone: l'aria inalata contiene sia il radon che i suoi prodotti di decadimento e sono proprio questi ultimi che, essendo particelle solide, si attaccano alle pareti interne dell'apparato respiratorio e decadendo emettono radiazioni che producono danno cellulare e genetico a livello delle cellule broncopolmonari. Il rischio di contrarre il tumore al polmone è proporzionale alla concentrazione ed al tempo di esposizione. Nella valutazione degli effetti sulla salute è poi molto importante tenere in considerazione l'effetto del fumo di tabacco, sinergico sull'induzione del tumore polmonare. La NAS (National Academy of Science, degli Stati Uniti) ha confermato che il radon rappresenta, dopo il fumo, la seconda causa di morte per tumore polmonare.

Gli interventi più pratici per ridurre le concentrazioni di radon negli ambienti confinati sono quelli di aumentare la ventilazione, mantenere in pressurizzazione il seminterrato, ventilando all'esterno l'aria e chiudendone le fessure e creare una pressione negativa all'esterno del seminterrato, sigillandolo rispetto ai piani superiori. L'indicatore per valutare l'inquinamento da radon negli ambienti indoor è rappresentato dalle alfa-emissioni

I D.Lgs.241/00 e 257/01, che modificano il D.Lgs.230/95, rappresentano i riferimenti normativi per la materia: il livello d'azione (con obbligo di azioni specifiche, oltre alla misurazione) è fissato a 500 Bq/m^3 per la concentrazione di attività di radon in aria media in un anno nei luoghi di lavoro interrati, semi-interrati o in zone specifiche (*prone areas* cioè zone ad alto rischio radon, che ogni regione deve individuare).

Il Coordinamento Tecnico delle Regioni e Province autonome per la sicurezza nei luoghi di lavoro ha elaborato una specifica linea guida per precisare criteri e metodi per le misure delle concentrazioni di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei.