



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

CORSO di CHIMICA AMBIENTALE A.A. 2022-23

2-5 – Inquinamento indoor

Docente:

Enrico Greco, PhD

(enrico.greco@units.it)

Assistant Professor, Department of Chemical and Pharmaceutical Sciences

Cosa si intende per ambiente indoor

Per ambienti indoor si intendono gli **ambienti confinati di vita e di lavoro non industriali** (per quelli industriali vige una specifica normativa), ed in particolare, quelli adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto [Accordo del 27/09/2001 tra il Ministero della salute, le regioni e le province autonome].

Secondo questo criterio, l'ambiente indoor comprende:

- le abitazioni
- gli uffici pubblici e privati
- le strutture comunitarie (ospedali, scuole, caserme, alberghi, banche, etc.)
- locali destinati ad attività ricreative e/o sociali (cinema, bar, ristoranti, negozi, strutture sportive, etc.)
- mezzi di trasporto pubblici e/o privati (auto, treno, aereo, nave, etc.).

Importanza dell'inquinamento indoor

- ❑ La composizione dell'aria indoor è spesso caratterizzata da una **miscela di composti molto variabile** rispetto a quanto riscontrabile nell'aria atmosferica esterna (a volte si registrano valori di concentrazione di inquinante all'interno **superiori** a quelli presenti nello stesso momento all'esterno dell'ambiente o, più comunemente, si riscontra la presenza di **sostanze inquinanti non rilevabili all'esterno**).
- ❑ Il tempo di permanenza medio in un ambiente confinato raggiunge **l'80-90% del tempo giornaliero** disponibile
- ❑ La presenza di contaminanti negli ambienti confinati, anche se a basse concentrazioni, può avere un importante impatto sulla salute e sul benessere degli occupanti a causa di **esposizioni di lunga durata**. Il rischio, infatti, più che alla concentrazione di inquinanti, in generale molto bassa, è legato all'esposizione, ovvero alla **concentrazione integrata nel tempo**.

Inquinanti indoor

CHIMICI:

- Monossido di Carbonio (CO)
 - Biossido di Azoto (NO₂)
 - Biossido di Zolfo (SO₂)
- Composti Organici Volatili (VOC)
 - Formaldeide (CH₂O)
 - Benzene (C₆H₆)
- Idrocarburi Policiclici Aromatici
 - Ozono (O₃)
- Particolato Aerodisperso
- Fumo di Tabacco Ambientale
 - Pesticidi
 - Amianto

BIOLOGICI

- Batteri
- Pollini
- Muffe
- Acari
- Allergeni Degli Animali Domestici

Fonti di inquinamento indoor

Ambiente	Fonti	Inquinanti
Casa	Fumo di tabacco	Particolato aerodisperso; monossido di carbonio; composti organici volatili; formaldeide.
	Forni a gas e caldaie a gas	Biossido di azoto; monossido di carbonio; biossido di zolfo.
	Forni a legna e caminetti	Particolato aerodisperso; biossido di azoto; monossido di carbonio; biossido di zolfo; idrocarburi policiclici aromatici.
	Materiali da costruzione	Radon; formaldeide; composti organici volatili; amianto.
	Arredamenti e prodotti di consumo	Formaldeide; composti organici volatili; pesticidi.
	Condizionatori e superfici umide	Agenti biologici; particolato aerodisperso.
	Apparecchiature elettriche	Campi elettromagnetici.
Uffici e scuole	Fumo di tabacco	Particolato aerodisperso; monossido di carbonio; composti organici volatili; formaldeide.
	Materiali da costruzione	Radon; formaldeide; composti organici volatili; amianto.
	Arredi	Formaldeide; composti organici volatili.
	Stampanti e fotocopiatrici	Composti organici volatili; ozono.
	Impianti di condizionamento e di ventilazione	Agenti biologici; particolato aerodisperso; biossido di azoto; monossido di carbonio.
	Materiale didattico e di cancelleria	Composti organici volatili.
Mezzi di trasporto	Fumo di tabacco	Particolato aerodisperso; monossido di carbonio; composti organici volatili; formaldeide.
	Inquinanti esterni	Monossido di carbonio; benzene; biossido di azoto; particolato aerodisperso; ozono.
	Condizionatori	Agenti biologici.

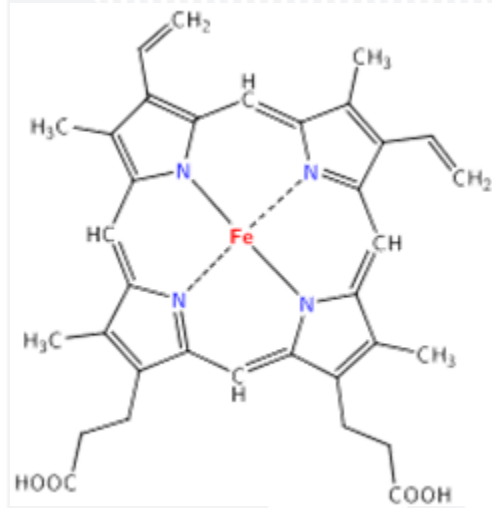
Monossido di carbonio

E' un gas incolore, inodore, infiammabile, e molto tossico.

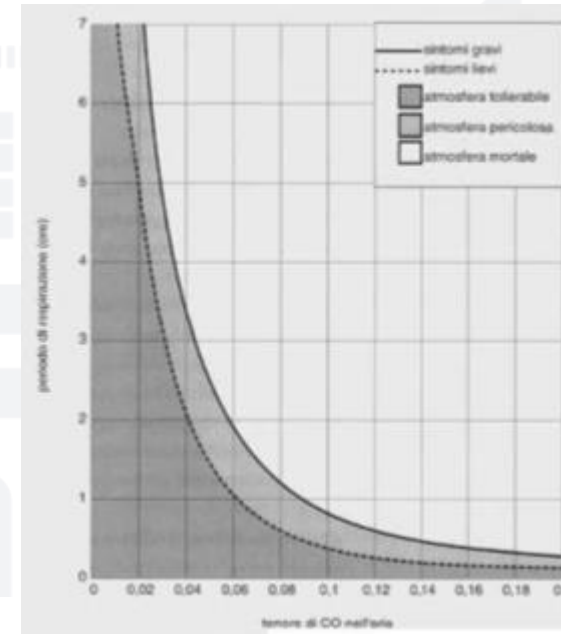
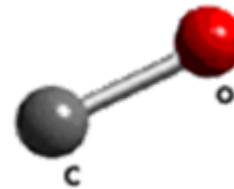
Gli effetti sull'ambiente sono da considerarsi trascurabili, mentre gli effetti sull'uomo sono particolarmente pericolosi.

La sua pericolosità è dovuta alla formazione con l'emoglobina del sangue di un composto fisiologicamente inattivo, la **carbossi-emoglobina**, che impedisce l'ossigenazione dei tessuti.

A basse concentrazioni provoca emicranie, debolezza diffusa, giramenti di testa; a concentrazioni maggiori può provocare esiti letali.

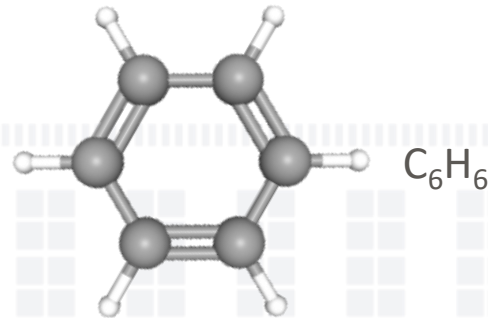


Gruppo eme



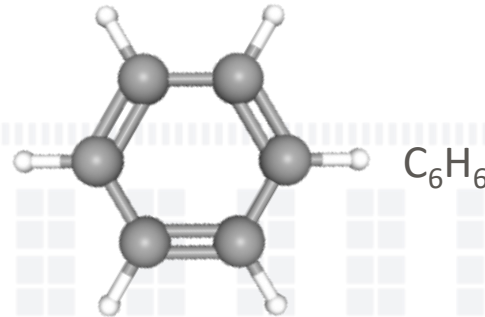
Benzene (classe dei VOC)

- Negli ambienti confinati deriva fundamentalmente dal **fumo di sigaretta**, dalle **combustioni** domestiche incomplete del carbone e del petrolio e dai vapori liberati da **prodotti** che lo contengono, come colle, vernici, cere per mobili, detergenti.
- **Effetti sulla salute**: livelli di concentrazione bassi possono causare vertigini, sonnolenza, aumento del battito cardiaco, tremori, confusione e perdita di coscienza. Concentrazioni prolungate nel tempo possono alterare la memoria e alcune capacità psichiche oltre a causare disturbi ed effetti irritanti sulla pelle e sulle mucose. È considerato **cancerogeno** per l'uomo.



Benzene (classe dei VOC)

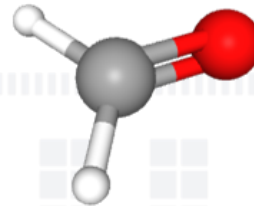
- Negli ambienti confinati deriva fundamentalmente dal **fumo di sigaretta**, dalle **combustioni** domestiche incomplete del carbone e del petrolio e dai vapori liberati da **prodotti** che lo contengono, come colle, vernici, cere per mobili, detergenti.
- **Effetti sulla salute**: livelli di concentrazione bassi possono causare vertigini, sonnolenza, aumento del battito cardiaco, tremori, confusione e perdita di coscienza. Concentrazioni prolungate nel tempo possono alterare la memoria e alcune capacità psichiche oltre a causare disturbi ed effetti irritanti sulla pelle e sulle mucose. È considerato **cancerogeno** per l'uomo.



- L'OMS sostiene che **non può essere raccomandato nessun livello sicuro di esposizione al benzene** [WHO, 2010]; fa presente che l'unità di rischio di leucemia per la concentrazione in aria di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è $6 \cdot 10^{-6}$ e riprende per l'indoor le concentrazioni dell'inquinante nell'aria associate al rischio per la sopravvivenza così come presentate in "Air quality guidelines for Europe" [WHO, 2000], cioè "*le concentrazioni di benzene nell'aria associate al rischio per la vita di 1/10.000, 1/100.000 e 1/1.000.000 sono rispettivamente 17, 1.7 e $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$* ".

Formaldeide (classe dei VOC)

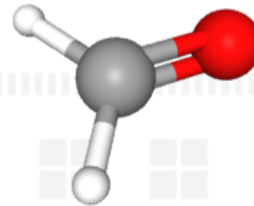
- La formaldeide è un gas incolore con caratteristico odore pungente e con un **forte potere irritante**.
- In uffici e ambienti residenziali la formaldeide è largamente presente nella **mobilia**, nei **tessuti**, nei **materiali** per l'edilizia, nel fumo di tabacco e in molti prodotti di uso corrente, come detersivi, coloranti, disinfettanti, **materie plastiche**, **colle** e **vernici**.
- **Effetti sulla salute**: irritazione alle mucose, agli occhi e alle vie respiratorie; congiuntivite, asma, dermatite da contatto; stanchezza, angoscia, emicranie, nausea, sonnolenza e vertigini. Inoltre possiede **potere mutageno e cancerogeno**.



HCHO

Formaldeide (classe dei VOC)

- La formaldeide è un gas incolore con caratteristico odore pungente e con un **forte potere irritante**.
- In uffici e ambienti residenziali la formaldeide è largamente presente nella **mobilia**, nei **tessuti**, nei **materiali** per l'edilizia, nel fumo di tabacco e in molti prodotti di uso corrente, come detersivi, coloranti, disinfettanti, **materie plastiche**, **colle** e **vernici**.
- **Effetti sulla salute**: irritazione alle mucose, agli occhi e alle vie respiratorie; congiuntivite, asma, dermatite da contatto; stanchezza, angoscia, emicranie, nausea, sonnolenza e vertigini. Inoltre possiede **potere mutageno e cancerogeno**.



HCHO

- In Italia la **Circolare n. 57 del 22/06/1983 del Ministero della Sanità**, “Usi della formaldeide – Rischi connessi alle possibili modalità di impiego”, fissa come limite massimo di esposizione alla formaldeide il valore di **0,1 ppm** negli ambienti di vita e di soggiorno nei quali siano stati utilizzati schiume di ureaformaldeide, compensati, truciolati, conglomerati di sughero, ma anche manufatti provenienti da settori diversi da quello dell'edilizia.
- L'**OMS** indica come valore guida per l'aria indoor **0,1 mg/m³** come concentrazione media di **30 minuti** [WHO, 2010].

Biossido di azoto

- Il biossido di azoto è un **gas tossico di colore giallo-rosso**, dall'odore forte e pungente; è un **ossidante** altamente reattivo e **corrosivo**, con grande potere irritante.
- In ambienti indoor le sorgenti sono costituite dai fornelli da cucina, dalle stufe, dagli impianti di riscaldamento con caldaie interne e dal fumo di tabacco ambientale. E' presente anche in garage o parcheggi coperti, essendo esso contenuto anche nei gas di scarico degli autoveicoli.
- **Effetti sulla salute:** provoca disturbi alle vie respiratorie profonde e causa maggiore predisposizione alle infezioni soprattutto nei soggetti affetti da patologie polmonari.



Biossido di azoto

- Il biossido di azoto è un **gas tossico di colore giallo-rosso**, dall'odore forte e pungente; è un **ossidante** altamente reattivo e **corrosivo**, con grande potere irritante.
- In ambienti indoor le sorgenti sono costituite dai fornelli da cucina, dalle stufe, dagli impianti di riscaldamento con caldaie interne e dal fumo di tabacco ambientale. E' presente anche in garage o parcheggi coperti, essendo esso contenuto anche nei gas di scarico degli autoveicoli.
- **Effetti sulla salute:** provoca disturbi alle vie respiratorie profonde e causa maggiore predisposizione alle infezioni soprattutto nei soggetti affetti da patologie polmonari.



- L'OMS [WHO, 2010] ritiene validi per l'indoor i valori guida outdoor presentati in *"Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide"* [WHO, 2006], cioè **200 µg/m³ come media oraria; 40 µg/m³ come media annuale.**

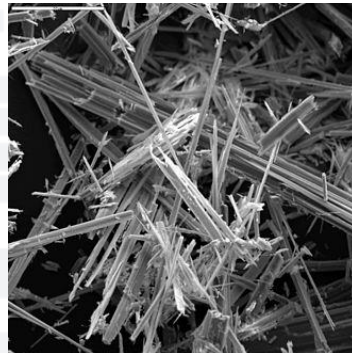
Fumo di tabacco

Descrizione
Il fumo di tabacco ambientale consiste nell'esposizione ad agenti tossici generati dalla combustione del tabacco. È una combinazione di oltre 4000 sostanze, di cui molte sono tossiche, irritanti o cancerogene.
Fonti
Fumo da sigaretta, pipa e sigari.
Normativa/Standard
Non ci sono restrizioni per il fumo in casa, mentre per i luoghi pubblici e i posti di lavoro esistono le seguenti leggi: • Legge n.3 del 16/01/03, art.51, <i>Tutela della salute dei non fumatori</i>, in vigore dal 10/01/2005: Divieto di fumare nei locali chiusi ad eccezione di quelli privati non aperti ad utenti o al pubblico, e quelli riservati ai fumatori e come tali contrassegnati. • Dir.P.C.M. del 14/12/1995, Divieto di fumo in determinati locali della pubblica amministrazione o dei gestori di servizi pubblici. • Legge n.584 dell'11/11/1975, Divieto di fumare in determinati locali e su mezzi di trasporto pubblico.
Effetti sulla salute
Gli effetti più immediati dell'esposizione al fumo passivo sono irritazione agli occhi e al naso, mal di testa, secchezza della gola, vertigini, nausea, tosse e altri problemi respiratori. Inoltre provoca un aumento del rischio di malattie ischemiche, malattie cardiovascolari e tumore polmonare. È responsabile di patologie respiratorie dell'infanzia (otite, asma, broncopolmonite). Il fumo delle donne in gravidanza, o l'esposizione a fumo passivo provoca una significativa riduzione del peso alla nascita, è associato alle morti improvvise del neonato (SIDS, Sudden Infant Death Syndrome), ed ha gravi conseguenze per lo sviluppo della funzione respiratoria dei bambini.
Misure di controllo
Evitare di fumare negli ambienti confinati e comunque ventilare adeguatamente. Non fumare in presenza di bambini e donne in gravidanza. Non fumare all'interno degli autoveicoli, specialmente se sono presenti bambini.

Asbesto

- L'amianto rappresenta un gruppo di **silicati** (minerali contenenti silicio) **in forma fibrosa**, resistenti al calore, all'umidità e agli agenti chimici.
- L'amianto ha avuto largo impiego nell'industria, nell'edilizia, nei prodotti di uso domestico e nei mezzi di trasporto. Negli ambienti confinati si trova nei **materiali da costruzione**, come isolante acustico o termico, in alcuni elettrodomestici, nei guanti da forno, nei teli da stiro, ecc... Il pericolo è costituito da quei materiali che lo contengono che abbiano subito **danneggiamenti o deterioramenti**.

Fibre di amianto antofillite
(immagine SEM)



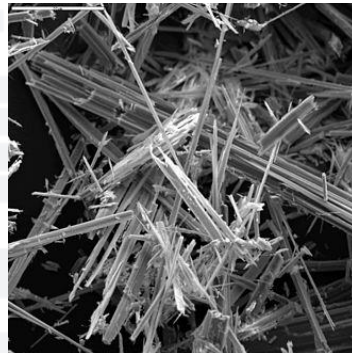
Fibre di
amianto



Asbesto

- L'amianto rappresenta un gruppo di **silicati** (minerali contenenti silicio) **in forma fibrosa**, resistenti al calore, all'umidità e agli agenti chimici.
- L'amianto ha avuto largo impiego nell'industria, nell'edilizia, nei prodotti di uso domestico e nei mezzi di trasporto. Negli ambienti confinati si trova nei **materiali da costruzione**, come isolante acustico o termico, in alcuni elettrodomestici, nei guanti da forno, nei teli da stiro, ecc... Il pericolo è costituito da quei materiali che lo contengono che abbiano subito **danneggiamenti o deterioramenti**.
- **Effetti sulla salute:** Se le fibre vengono inalate possono arrivare ai polmoni determinando gravi e irreversibili danni causati dal loro elevato potere cancerogeno. Le malattie associate sono **l'asbestosi, il carcinoma polmonare e il mesotelioma**.

Fibre di amianto antofillite
(immagine SEM)



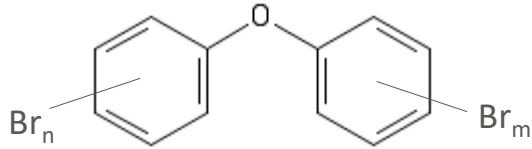
Fibre di
amianto



- **Misure di controllo:** controllo periodico e manutenzione da parte di personale tecnico specializzato che verifichi se il materiale è in buone condizioni, duro e compatto, difficilmente danneggiabile. Quando si riscontra che il materiale contenente amianto è friabile, danneggiato o deteriorato, è necessario richiedere un intervento di bonifica.

Ritardanti di fiamma (inquinanti emergenti)

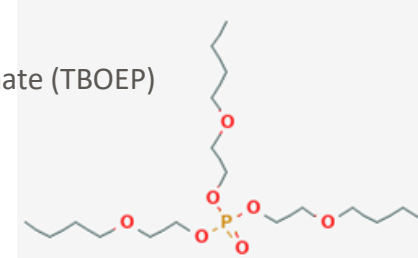
Polibromodifenileteri



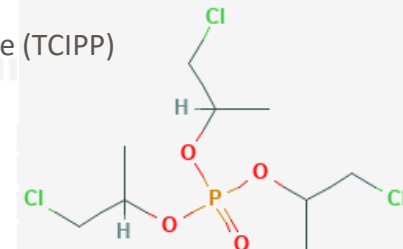
<https://www.nature.com/articles/7500572>

Organofosfati

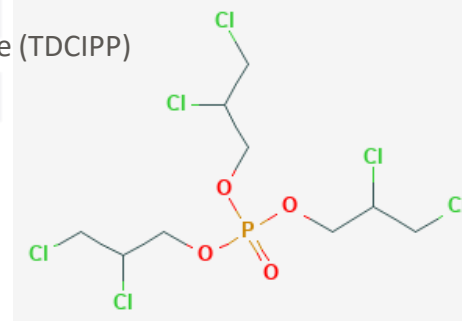
tris(2-butoxyethyl)phosphate (TBOEP)



tris(1-chloro-2-propyl)phosphate (TCIPP)



tris(2,3-dichloropropyl)phosphate (TDCIPP)



Emissioni di inquinanti da
materiali poliuretanici

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319307711?via%3Dihub#sec1>

<https://www.mdpi.com/1660-4601/17/18/6713>