

Corso di

IMPIANTI TECNICI per l'EDILIZIA

La Qualità dell'aria
(IAQ: Indoor Air Quality)



Prof. Paolo ZAZZINI
Dipartimento INGEO
Università "G. D'Annunzio" Pescara
www.lft.unich.it

Qualità chimico fisica dell'aria fondamentale per il benessere

La presenza di sostanze volatili organiche inquinanti (**Volatile Organic Compound VOC**) all'interno degli ambienti può provocare malesseri vari, anche di una certa gravità.

L'O. M. S. definisce la cosiddetta “**Sick Building Syndrome**” (sindrome da edifici insalubri) come quella “***situazione di malessere generale dovuta alla permanenza in un determinato edificio, che recede poco dopo l'uscita dall'edificio stesso***”.

Si tratta pertanto di una situazione di **malessere** ambientale dovuta al **grado di inquinamento** presente nell'aria.

Effetti prodotti:

fastidio da **odori**, mal di **testa**, **affaticamento**, irritazioni agli **occhi** o alle **mucose**, **nausea**, effetti patogeni anche gravi (es. **carcinogeni**), reazioni **allergiche**

Secondo la **Norma UNI-CTI 10339**:

Per qualità dell'aria si deve intendere *“la **caratteristica dell'aria trattata che risponde ai requisiti di purezza**”. Ed inoltre “essa **non contiene contaminanti noti in concentrazioni tali da arrecare danno alla salute e causare condizioni di malessere per gli abitanti**”.*

Secondo lo **Standard 62/04 ASHRAE**:

«*La qualità dell'aria è **accettabile** negli ambienti residenziali se in essa non si ha **presenza di sostanze inquinanti** in concentrazioni dannose per le persone e se una percentuale di persone **superiore all'80% dei presenti nell'ambiente esprime soddisfazione** rispetto alle sue condizioni*»

Classificazione degli inquinanti secondo la tipologia

Inquinanti gassosi: fumi, monossido di carbonio, anidride carbonica, ossidi di zolfo, ozono, radon, ammoniaca, etc.

Inquinanti solidi: virus, batteri, polveri

Inquinanti liquidi: nebbie e sospensioni

In genere si attuano delle **procedure per il controllo della qualità dell'aria**, non sempre efficaci:

Es. **FILTRAGGIO** negli impianti di climatizzazione.

I **filtri** adottati negli **impianti di climatizzazione** non sono **mai totalmente efficaci**.

Inoltre non sono in grado di assicurare la assoluta qualità dell'aria perché **agiscono solo sulle sostanze inquinanti trasportate dagli impianti**.

Può capitare che siano gli stessi **sistemi di climatizzazione e/o ventilazione** (che di per sé dovrebbero garantire la purezza dell'aria con un adeguato ricambio per ventilazione forzata) ad **introdurre nell'ambiente sostanze inquinanti**.

I **canali dell'aria** possono trasportare **polveri, microrganismi, insetti, residui organici, vapori** che annidandosi nei **filtri**, possono provocare l'insorgere di **funghi e batteri**, che vanno ad essere diluiti nell'aria in transito attraverso i filtri stessi.

Anche la **ventilazione** non è un metodo risolutivo del problema.

La ventilazione **attenua gli effetti** del problema **migliorando** solo **parzialmente e temporaneamente** la **qualità dell'aria**.

Inoltre **un'eccessiva ventilazione** (numero di ricambi orari elevato) introduce **problematiche energetiche** perché aumenta il fabbisogno termico dell'edificio.

La **diluizione** degli inquinanti è una falsa soluzione del problema.

La **rimozione delle cause** dell'inquinamento interno è la vera soluzione del problema perché **riduce la concentrazione delle sostanze inquinanti**.

Si possono rimuovere le cause dell'inquinamento indoor ad esempio

rinnovando gli arredi, utilizzando **vernici a basso contenuto di sostanze inquinanti**, **disinfettando** gli ambienti...

PRINCIPALI SOSTANZE INQUINANTI PRESENTI NELL'ARIA

Bioeffluenti

Gas o piccolissime particelle emessi dall'**organismo umano** mediante **respirazione e diffusione** attraverso i pori della pelle.

CO₂ (anidride carbonica): E' prodotta dall'**organismo umano** durante la **respirazione**. E' sopportabile fino ad una **concentrazione massima del 5 %**, ma provoca già mal di testa se la concentrazione supera l'1%.

La **CO₂ presente nell'aria** ambiente può essere utilizzata, in prima approssimazione, come **indice della presenza umana**

Portata di CO₂ emessa da un individuo in condizioni ambientali normali:

$$\dot{V}_{CO_2} = F \cdot M$$

in cui:

M: metabolismo (MET)

\dot{V}_{CO_2} : portata emessa (l/min)

F: fattore di proporzionalità (17 per bassa attività metabolica; 18/19 per lavoro leggero da ufficio/abitazione)

Il limite tollerato è di 1000 ppm



Prodotti di combustione

Possono essere presenti per il **cattivo funzionamento di caldaie o camini** e possono contenere **ossidi di carbonio, di zolfo o di azoto**. Sono molto dannosi in elevate quantità.

Gli **ossidi di zolfo** sono irritanti per l'**apparato respiratorio** e pericolosi per concentrazioni superiori a **5 ppm**.

Gli **ossidi di azoto** provocano disturbi all'**apparato respiratorio** per concentrazioni superiori a **350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** nei bambini, **1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** negli adulti.

Il **monossido di carbonio (CO)** è **particolarmente tossico** a partire da concentrazioni di **10-20 ppm**.

Il **fumo da tabacco** contiene **gas organici** di varia natura (formaldeide, catrame, fenoli, benzopirene, ammine, CO_2 , CO, ossidi di azoto) oltre che **particolato** di dimensioni comprese tra 0,1 e 0,3 μm . Produce **irritazione agli occhi** e **problemi** anche gravi alle **vie respiratorie**. Per lunghe esposizioni (anche di fumo passivo) ha **effetti cancerogeni** sui polmoni.

Polveri

Particelle di **pulviscolo** di **diametro inferiore a 10 μm** che possono essere ingerite durante la respirazione e risultare **dannose** perché trattenute dagli **alveoli polmonari**. Sono prodotte anche da alcuni **materiali isolanti**

Sostanze volatili inquinanti (VOC: volatile organic compound)

Gas organici di varia natura (idrocarburi aromatici, clorurati, alcani, terpeni, aldeidi) in genere prodotti da **composti chimici utilizzati nelle costruzioni** (colle, vernici, solventi). **Presenti in concentrazioni più elevate e rischiose negli** ambienti chiusi e poco ventilati.

Negli edifici residenziali particolarmente diffusi **tolueni e formaldeide**.

Quest'ultima è rilasciata da **schiume isolanti**, dal **fumo di sigaretta**, dalla **cottura dei cibi**, dagli **arredi**. In concentrazioni elevate può causare **tumori alle vie nasali**.

I VOC possono essere utilizzati come **indicatori della qualità dell'aria**.

Radon

Gas radioattivo generato dal **decadimento dell'Uranio 235 e 238 radioattivo** oltre che del **radio** presente nelle **rocce**. Emette **particelle alfa** ad **elevato contenuto energetico** e può provocare anche **tumori ai polmoni** per una esposizione molto prolungata. Presente nei **materiali da costruzione** e nel **terreno**.

E' un gas pesante che staziona nelle parti basse dell'ambiente. **Concentrazioni pericolose** sono quelle **superiori a 200 Bq/m³** 

Contaminanti biologici

Organismi viventi (**batteri, funghi, virus...**) in grado di produrre **contagio** e indurre talune patologie, quali **allergie, cefalee, irritazione delle mucose bronchiali** (sindrome da edificio insalubre). Si annidano in **zone umide** ad es. negli **impianti di climatizzazione**, in particolare nelle **batterie di raffreddamento**, nelle **torri evaporative**, nei **filtri** con cattiva manutenzione, in **zone** caratterizzate da **umidità di risalita**, sulle pareti con **condensa superficiale** su cui si generano delle **muffe** (pareti non isolate, ponti termici, ambienti ricchi di vapore...).

Metodi di approccio al problema del controllo della qualità dell'aria

Approccio prescrittivo:

Vengono prescritte le **portate d'aria min o max** per persona o per m² di superficie, necessarie per una efficace ventilazione stabilite in base alla categoria e alla destinazione d'uso dell'edificio (UNI-CTI 10339)

Approccio prestazionale:

Le portate d'aria esterna devono garantire dei **limiti di concentrazione** delle sostanze inquinanti **fissati** precedentemente in base alla **tollerabilità** di tali sostanze da parte degli individui

Approccio olfattivo:

Le portate d'aria esterna devono **limitare la concentrazione degli inquinanti** in modo da **ridurre la percezione olfattiva** degli stessi

L'approccio prescrittivo è quello attualmente utilizzato **in Italia** (Norma UNI 10339), mentre negli **USA** l'ASHRAE sta abbandonando l'approccio prescrittivo per orientarsi verso quello **prestazionale** (ASHRAE Standard 62/2001).

Approccio prescrittivo: la portata d'aria è indicata in apposite **tabelle** riportate nella **norma** in funzione della **destinazione d'uso** e del diverso **grado di affollamento** dei locali considerati.

L'approccio prestazionale è utilizzato in applicazioni in cui devono essere soddisfatti **particolari requisiti igienici**.

La portata d'aria viene calcolata per **garantire la diluizione di alcuni tipi di inquinanti** che l'edificio produce a causa della sua particolare destinazione d'uso

Fornisce i valori della portata d'aria esterna che consentono la **diluizione al di sotto di limiti imposti**, perché ritenuti accettabili, delle **sostanze inquinanti**

Approccio prescrittivo

Ovviamente la portata di ventilazione prescritta varia in funzione dell'attività svolta

Valori di riferimento secondo la Norma UNI 10339

Categoria edificio	m ³ /h/persona	m ³ /h/m ² pavimento
Abitazioni Civili		
Soggiorni, camere da letto	40	
Cucina, bagni, servizi		estrazioni *
Collegi, Caserme, Conventi		
Sale riunioni	32	
Dormitori/camere	40	
Cucina		60
Bagni/servizi		Estrazioni
<i>Alberghi, pensioni</i>		
Ingressi, soggiorni	40	
Sale conferenze	20	
Sale da pranzo	35	
Camere da letto	40	
Bagni, servizi		Estrazioni

* Estrazioni: ricambio richiesto nei servizi igienici, pari a

0,0011 vol/s = 4 vol/h in edifici adibiti a residenza e assimilabili

0,0022 vol/s = 8 vol/h in altre categorie previste dalla tabella

Approccio prestazionale: Calcolo della portata d'aria di ventilazione

\dot{V} : [m³/h]: portata di ventilazione necessaria alla diluizione dell'inquinante (X) considerato

μ_{in} : [m³_(X)/m³_{a.st.}]: concentrazione dell'inquinante (X) all'ingresso

μ_{out} : [m³_(X)/m³_{a.st.}]: concentrazione dell'inquinante (X) all'uscita

P: produzione oraria dell'inquinante (X) [m³_(X)/h]



Bilancio di massa per il sistema aperto ambiente:

$$\dot{V} \cdot \mu_{in} + P = \dot{V} \cdot \mu_{out}$$

da cui:

$$\dot{V} = \frac{P}{\mu_{out} - \mu_{in}}$$

ESEMPIO

Concentrazione di **CO₂ prodotta** in un ambiente **a causa della presenza di persone**

Produzione oraria da una persona con attività espressa in MET:

$$P(CO_2) = 17 \cdot MET$$

In cui la P è espressa in l/h e l'attività è espressa dal numero di MET relativi

Attività sedentaria: M = 1 MET  $P(CO_2) = 17 \frac{l}{h}$

Considerando una presenza di CO₂ nell'aria in condizioni standard negli ambienti civili pari a circa 0,035% in volume, si ha:

$$\mu_{in} = 0,035\% \Rightarrow \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{a.st.}} = 350 \cdot 10^{-6} = 350 \text{ ppm}$$

Per stabilire la concentrazione che deve avere l'aria in uscita si può far riferimento alle seguenti **valori limite**:

MAC: Maximum Allowable Concentration = 5000 ppm (per esposizioni brevi)

AIC: Acceptable Indoor Concentration = 1000÷2500 ppm

Assumendo una **concentrazione accettabile** pari a 1000 ppm = 0,1% in volume, si ha:

$$\mu_{out} = 0,1\% \Rightarrow \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{a.st.}} = 1000 \cdot 10^{-6} = 1000 \text{ ppm}$$

Con questi dati otteniamo:

$$\dot{V} = \frac{P}{\mu_{out} - \mu_{in}} = \frac{17}{(1000 - 350) \cdot 10^{-6}} \cong 26153 \frac{l/h}{pers.} = 7,3 \frac{l/s}{pers.}$$

Approccio olfattivo:

Si basa sulla capacità degli individui di **percepire olfattivamente** la presenza di sostanze inquinanti (**Teoria di Fanger - 1987**).

Secondo Fanger i **sensi umani** sono **più efficaci delle misure chimico/fisiche** nel definire la qualità dell'aria, poiché l'**olfatto è molto sensibile** alla presenza di sostanze chimiche ed è in grado di **distinguerle** tra di loro mediante la percezione degli odori.

Principali sorgenti di cattivo odore:

- materiali, vernici e arredi;
- persone e attività svolte ;
- prodotti per la pulizia;
- impianti di climatizzazione.

Se **più inquinanti** sono presenti ciascuno in concentrazione inferiore ai valori ammissibili, i loro effetti olfattivi **si sommano** e possono produrre un **effetto complessivo non accettabile**.

Possibile mancata soddisfazione degli occupanti di un ambiente rispetto alla **qualità dell'aria** anche con **concentrazioni di inquinanti** inferiori ai valori limite accettabili.

La **qualità dell'aria** viene stabilita in funzione del **giudizio soggettivo** espresso dagli **occupanti di un ambiente** (adeguatamente addestrati), e dalla **percentuale di insoddisfatti**

La **portata d'aria esterna di rinnovo** viene **stabilita** in **misura sufficiente** a mantenere la **percentuale di persone insoddisfatte** da questo punto di vista al di **sotto di un valore minimo** di riferimento.

Definizioni di FANGER

OLF (olfactus)

“Quantità di bioeffluenti emessa da una sorgente standard costituita da un soggetto che svolge attività sedentaria (1 MET) in condizioni di benessere termico con uno standard igienico di 0,7 bagni/d”.

La **capacità inquinante** di qualsiasi altra sorgente può essere **rapportata a quella della sorgente standard** e misurata in **persone equivalenti** (con lo **stesso numero di olf** a parità di **sensazione prodotta**)

DECIPOL

“Inquinamento percepito in presenza di un soggetto normale (1 olf) in un ambiente con ventilazione pari a 10 l/s di aria pulita”.

Rappresenta la percezione olfattiva che ha una persona in presenza di sostanze inquinanti

Il **carico inquinante olfattivo CI** (espresso in **olf**) ed il **livello di inquinamento olfattivo percepito IP** (espresso in **decipol**) sono legati dalla seguente relazione

$$IP = 10 \frac{CI}{\dot{V}}$$

dove \dot{V} rappresenta la portata di ventilazione, espressa in l/s
(il fattore 10 diventa 36 se la portata di ventilazione è espressa in m³/h)

Inquinamento prodotto

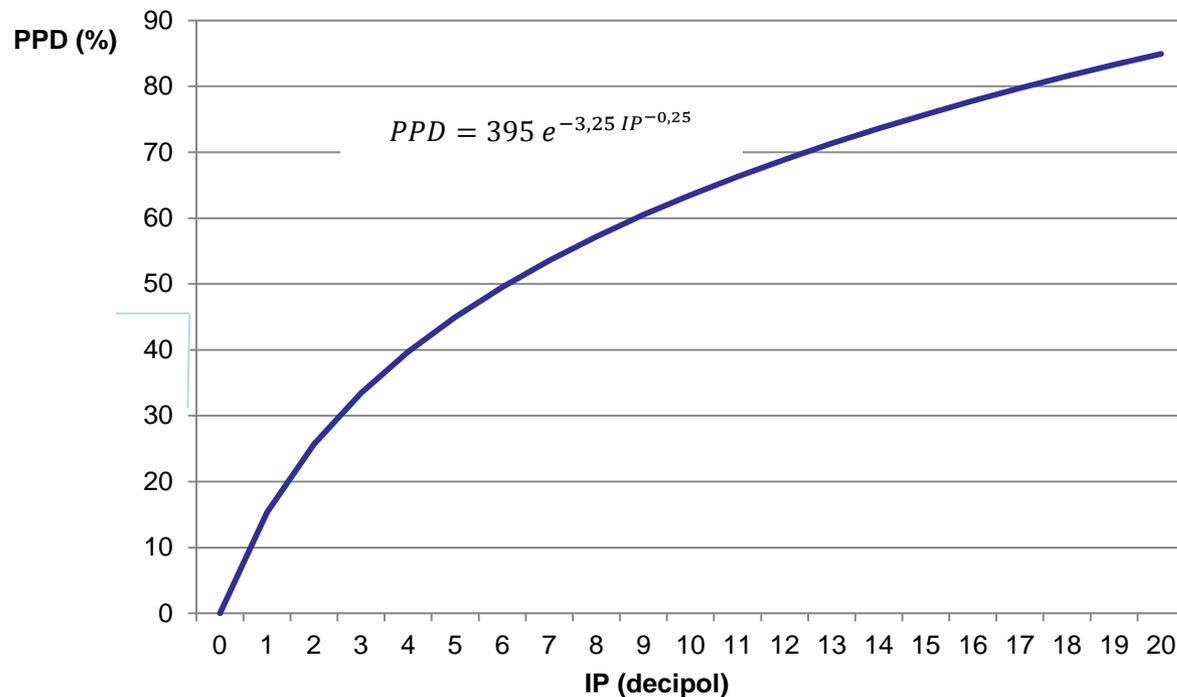
Sorgente	olf	olf/m² pavimento
Persona seduta a riposo (1 MET)	1	
Persona in attività da 4 MET	5	
Persona in attività da 6 MET	11	
Fumatore all'atto di fumare	25	
Fumatore mediamente		6
Luoghi pubblici (uffici- scuole...)		0,3
Sale conferenze e da spettacolo		0,5

Inquinamento percepito

Sorgente	decipol
Aria esterna in montagna o al mare	0
Aria esterna in città con scarso grado di inquinamento	0,1
Aria esterna in città con elevato grado di inquinamento	0,2
Aria interna in edifici salubri	1
Aria interna in edifici non salubri	10
Aria interna in presenza di sigillanti (silicone)	3,0
Aria interna in presenza di fumo	14,4

Con metodi statistici si definisce la relazione **tra inquinamento percepito IP e percentuale di persone insoddisfatte** della qualità dell'aria (*PPD*):

$$PPD = 395 e^{-3,25 IP^{-0,25}}$$



La qualità dell'aria viene garantita mediante il **periodico rinnovo** della stessa con **introduzione di una portata di aria esterna** opportunamente filtrata in grado di **consentire la diluizione degli inquinanti** e la **riduzione della percentuale di persone insoddisfatte**.

Qualità dell'aria	Inquinamento percepito (decipol)	Portata d'aria esterna [l/s·olf]	% di insoddisfatti
Ottima	1,0	10	15
Buona	1,4	7	20
Scarsa	2,5	4	30

La teoria di Fanger non è stata ancora recepita dal CEN, poiché **l'olfatto umano non è pienamente sensibile ad alcuni inquinanti**, come la CO₂ o il radon che sono **nocivi per l'organismo umano**.

L'unità di misura **parti per milione (ppm)** indica il **rapporto tra due quantità omogenee per dimensioni** ma con un livello di concentrazione di una di molto inferiore alla quantità dell'altra.

Praticamente corrisponde al **rapporto tra le due quantità** considerate **moltiplicato per 10^6** .

Dire, ad esempio, che il limite massimo tollerabile di CO_2 nell'aria è pari a 1000 ppm equivale a dire che tale limite corrisponde ad 1 g di CO_2 per ogni kg di aria.

Infatti:

$$\frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{aria}}} = \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ g}} = 10^{-3}$$

Da cui, la concentrazione limite di CO_2 espressa in ppm è pari a:

$$\text{Concentrazione limite di } \text{CO}_2 = \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{aria}}} 10^6 = 1000 \text{ ppm}$$



La radioattività o la potenza radioattiva di una sorgente si misura in **Bequerel (Bq)**.

1 Bq corrisponde ad **un evento di emissione radioattiva al secondo**.

1 Bq è una quantità **molto piccola** di radioattività. Comunemente si usano **multipli del Bequerel**, come il **kBq** o il **MBq** o il **GBq**.

Una vecchia e ancora usata unità di misura per la radioattività è il **Curie (Ci)**.

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq} = 37000 \text{ MBq}$$

1 Ci esprime una quantità **molto grande** di radioattività. Comunemente sono usati **sottomultipli** del Ci, come il **mCi**, **μCi**, **nCi**, **pCi**.

$$1 \text{ Bq} = 27 \text{ pCi}$$

Il Bq o il Ci esprimono la **quantità di radiazioni emesse, non la loro energia**

