



LA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR



**THE
LEADING
TECHNOLOGY
FOR ENERGY
MANAGEMENT**



G. [Settimo](#) • Istituto Superiore di Sanità
A. [Cerocchi](#) • OVER D. [Grillo](#) • OVER A. [Lanna](#) • OVER G. [Molinaro](#) • OVER



NEXT STEP OF
ENERGY
EFFICIENCY



INDICE

4 LA QUALITA' DELL'ARIA INDOOR

- 4 LA SINDROME DELL'EDIFICIO MALATO NEL SETTORE TERZIARIO
- 5 I COSTI SOCIALI DI UNA CATTIVA QUALITA' DELL'ARIA INDOOR
- 5 ANALISI DEL CONTESTO NORMATIVO LEGISLAZIONE ITALIANA ED EUROPEA
- 6 I VALORI GUIDA SULLA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR

7 FATTORI CHE INFLUENZANO IL MICROCLIMA

- 7 UMIDITA' RELATIVA (UR%)
- 8 TEMPERATURA (T)
- 8 LA VENTILAZIONE DELL'ARIA

9 I PRINCIPALI FATTORI INQUINANTI

- 10 ANIDRIDE CARBONICA (CO₂)
- 10 I COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (COV)
- 11 FORMALDEIDE (CH₂O)
- 11 MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)
- 12 IL MATERIALE PARTICELLARE PM_{2,5} PM₁₀

13 OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

- 13 DURATA E FREQUENZA DEL CAMPIONAMENTO
- 13 SCELTA DEI SITI DI MONITORAGGIO E POSIZIONAMENTO
- 14 MISURE IN ARIA AMBIENTE OUTDOOR
- 14 IL SENSORE DI MONITORAGGIO DELL'ARIA DI OVER

16 BIBLIOGRAFIA

LA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR

Oggi, come mai in passato, occorre porre una grande attenzione alla qualità dell'aria indoor dato che quotidianamente la popolazione trascorre la gran parte del proprio tempo in ufficio, in banca, alla posta, a scuola, nei centri commerciali, in ospedale, in palestra, a casa, ecc.

Pur essendo vitale per la salute della popolazione risulta mediamente più inquinata rispetto a quella che respiriamo all'aperto per i numerosi inquinanti chimici riscontrabili a causa delle numerose sorgenti interne (es. cessione dai materiali da costruzione, arredo, utilizzo non corretto degli interventi di ristrutturazione e/o ricostruzione e degli strumenti di efficienza energetica, prodotti per la pulizia quotidiana, detersivi, deodoranti per ambienti, pulizia e manutenzione dei sistemi di condizionamento, prodotti di combustione legate alle attività di riscaldamento, ecc.). Ecco perché contribuisce in maniera significativa allo stato di salute e al livello di produttività dei lavoratori, degli utenti e dei visitatori degli ambienti indoor.

A livello lavorativo le migliori condizioni di qualità dell'aria *indoor* portano a un incremento della produttività delle diverse figure lavorative in quanto si lavora con più qualità, ottenendo una riduzione delle assenze per malattia, una riduzione delle patologie connesse (es. asma, mal di testa, affaticamento, ecc.), che tradotto in termini economici significa una maggiore competitività delle aziende e una riduzione dei costi del Servizio Sanitario Nazionale.

Va quindi sottolineata la necessità di controllare e di monitorare la qualità dell'aria *indoor* nei diversi ambienti e contesti lavorativi.

Importanti risultati sono stati raggiunti per quanto riguarda la comprensione di alcuni aspetti relativi al grado di influenza delle sorgenti interne, al ruolo svolto dalle attività umane e al peso dovuto alle misure per il risparmio energetico.

A livello comunitario, vi è l'intenzione di promuovere un'azione legislativa integrata sulla qualità dell'aria negli ambienti indoor con l'obiettivo di ridurre drasticamente la presenza di inquinanti di varia natura [1]. Si deve tuttavia notare come a distanza di anni, non sia stata ancora definita una direttiva quadro per la qualità dell'aria *indoor*.

In questo contesto risulta di grande utilità l'attività svolta dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) che ha messo a punto per la Regione Europea le Linee guida per la qualità dell'aria *indoor* [2], relative ad un certo numero di inquinanti, presenti in ambienti indoor per i quali le conoscenze scientifiche relative agli effetti sull'uomo sono state giudicate sufficientemente salde.

In Italia secondo il DLgs 81/08 s.m.i., tutte le aziende devono garantire una buona qualità dell'aria *indoor* per salvaguardare la salute dei lavoratori. Quindi il datore di lavoro è tenuto ad eseguire una valutazione dei rischi anche sulla qualità dell'aria indoor al fine di prevenire o ridurre gli effetti sulla salute dei lavoratori.

Nella legislazione italiana non c'è uno specifico riferimento legislativo alla qualità dell'aria indoor; in questi ultimi anni si sono moltiplicate le iniziative pre-legislative per colmare le lacune e per integrare le azioni di prevenzione e promozione della salute negli ambienti di lavoro [3].

LA SINDROME DELL'EDIFICIO MALATO NEL SETTORE TERZIARIO

Negli ambienti di lavoro terziari, particolarmente quando ubicati in grandi complessi con un controllo delle condizioni ambientali di tipo centralizzato, sono stati riscontrati una serie di disturbi fisici, psicofisici e sensoriali riconosciuti ufficialmente dall'OMS come vere e proprie malattie. Di seguito si riportano alcune di queste: il gruppo di malattie building-related (BRI), malattie relazionate all'edificio, con eziologia nota quali la legionella, la febbre di Pontiac, ecc; la cosiddetta Sindrome dell'Edificio Malato indicato con il termine inglese Sick Building Syndrome (SBS), termine che identifica un insieme di sintomi complessi e non rapportabili direttamente a malattie professionali specifiche e la Multy Chemical Sensitivity (sensibilità chimica multipla, MCS), che comprende fenomeni nelle quali gli individui mostrano sensibilità ad una varietà di prodotti chimici aero-dispersi anche se in concentrazioni molto basse, generalmente tollerate dalla maggioranza dei soggetti.

La Sindrome dell'Edificio Malato (SBS) è quella più preoccupante, per avere un'idea di quanto sia vasto il problema, l'OMS ha stimato che il 30% di edifici, di recente costruzione o ristrutturati, presenta problemi

legati a tale patologia, che può manifestarsi soprattutto dopo aver effettuato interventi di ristrutturazione che hanno provocato un peggioramento della qualità dell'aria indoor. L'OMS ha definito la SBS come una reazione alle condizioni microclimatiche che colpisce la maggior parte degli occupanti, in alcuni casi il 50-60% della popolazione dell'edificio, non correlabile ad una causa evidente quale, ad esempio, un'eccessiva esposizione ad un singolo agente inquinante o ad un malfunzionamento del sistema di ventilazione meccanica forzata. In Italia il termine Sick Building Syndrome venne utilizzato per la prima volta, in una relazione della Commissione Nazionale per l'inquinamento degli ambienti indoor del 1991 per definire "un edificio malato nel quale le persone che vi soggiornano lamentano patologie che possono essere messe in relazione con l'inalazione dell'aria in esso contenuta".

Gli studi epidemiologici fino ad oggi condotti rilevano alcuni punti particolarmente rilevanti [4]:

- il fenomeno interessa maggiormente i lavoratori di uffici ventilati artificialmente e coloro che operano in ambienti a temperature superiori rispetto agli standard;
- Il fenomeno è correlato all'entità dei sintomi, al grado di discomfort ed al livello di insoddisfazione o soddisfazione tratta dal lavoro;
- Il fenomeno colpisce più donne che uomini.

I COSTI SOCIALI DI UNA CATTIVA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR

L'impatto sociale legato all'inquinamento dell'aria indoor può essere misurato non solo in termini sanitari a carico del Servizio Sanitario Nazionale (SSN), ma anche in termini economici, valutando i costi sostenuti dal datore di lavoro, per il calo della produttività, dell'incremento dell'assenteismo e delle giornate di malattie, provocati dalla diminuzione del valore prodotto dall'azienda.

In Francia recentemente, è stato valutato il costo totale annuale di una cattiva qualità degli ambienti indoor che corrisponde a 20 miliardi di euro [5], mentre in Paesi extraeuropei il costo sale a circa 45 miliardi di USD per singolo Stato [6].

In Italia il costo diretto stimato annuo è compreso tra i 152-234 milioni di euro, senza andare a considerare i costi indiretti, legati per esempio al calo della produttività in un ambiente malsano [7].

Negli ambienti lavorativi i reclami dei lavoratori sono spesso collegati al cattivo funzionamento dei sistemi di ventilazione meccanica che non forniscono un ricambio dell'aria sufficiente, oppure legati all'arredo, alle vernici, ai prodotti per la pulizia, o persino ai prodotti deodoranti o che rilasciano profumi ed essenze. Il Piano di Prevenzione 2014-2018 del Ministero della Salute italiano, sottoscritto dalla Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le provincie Autonome, ha posto grande attenzione al tema della qualità dell'aria indoor, invitando gli Organismi pubblici ad essere in prima fila nell'adozione di una serie di azioni di promozione e di prevenzione per migliorare le condizioni degli ambienti di lavoro indoor, e la formazione specifica dei lavoratori.

ANALISI DEL CONTESTO NORMATIVO LEGISLAZIONE ITALIANA ED EUROPEA

Il nostro paese al momento non ha una legislazione di riferimento sulla qualità dell'aria indoor. Da sempre la Commissione Europea ha fornito utili raccomandazioni sul tema della qualità dell'aria *indoor*, di conseguenza, negli ultimi decenni molti Paesi hanno adottato regolamenti, elaborato piani nazionali e si sono dotati di una legislazione specifica, svolgendo continuamente campagne di monitoraggio della qualità dell'aria in uffici, ospedali, scuole, metropolitane e abitazioni.

In tab. 1 si riportano i principali riferimenti, parametro per parametro, definiti dall'OMS, ma anche dalle diverse legislazioni o azioni al momento attive in Europa.

Questi dati saranno utili per giustificare la scelta dei valori di riferimento consigliati da OVER, in linea con le posizioni dei principali organismi internazionali e nazionali (OMS e ISS).

I VALORI GUIDA SULLA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR

Di seguito si riportano i principali riferimenti elaborati dall'OMS sulla tematica della qualità dell'aria che rappresentano uno degli strumenti per la fissazione delle relative azioni legislative (valori di riferimento) aventi carattere impositivo, e quelli presenti in diversi Paesi europei per una serie di inquinanti chimici indoor.

Inquinante unità di misura	OMS aria ambiente	OMS aria indoor	Francia	Germania	Paesi Bassi	Regno Unito	Belgio Rregone fiamminga	Finlandia ***	Austria	Portogallo	Norvegia	Polonia residen- ziale	Polonia uffici pubblici
Formaldeide μ/m^3	100 (30 min)	100 (30 min)	50 (2 h) 10 (1 a) 30 dal 1/1/2013, 10 dal 1/1/2023 AR: 100 LP: 10 dal 2019 (2012 nuovi edifici) 30 (2009) 50 (2009)	120	120 (30 min) 10 (1 a) 1,2 (LP)	100 (30 min)	10 (30 min) VI: 100 (30 min)	50	100 (30 min) 60 (24 h)	100 (8 h)	100 (30 min)	50 (24 h)	100(8 h)
CO mg/m ³	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 35 (1 h) 10 (8 h) 7 (24 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	1,5 (8 h) RWI 6 (30 min) RWI 60 (30 min) RWII 15 (8 h) RWII	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	5,7 (24 h) VI: 30 (1 h)	8	-	10 (8 h)	25 (1 h) 10 (8 h)	25 (1 h)	10 (8 h)
COV μ/m^3	-	-	-	-	200 (1 a)	-	≤ 200	-	-	600 (8 h)	400	400	-
PM₁₀	50 (24 h) 20 (1 a)	-	50 (24 h) 20 (1 a) AR: 75 LP: 15	-	50 (24 h) 20 (1 a)	-	≤ 40 (24 h)	50	-	50 (8 h)	90 (8 h)	90 (8 h)	-
PM_{2.5}	25 (24 h) 10 (1 a)	-	25 (24 h) 10 (1 a) AR: 50 LP: 10	25 (24 h)	25 (24 h) 10 (1 a)	-	≤ 15 (1 a)	-	-	25 (8 h)	40 (8 h)	40 (8 h)	-

Tab 1. Riferimenti sui principali parametri chimici inquinanti presenti nelle linee guida dell'OMS [2], negli atti legislativi e nei documenti tecnici specifici di diversi paesi europei.

*

I valori guida di qualità dell'aria indoor indicano i livelli di concentrazione in aria degli inquinanti, associati ai tempi di esposizione, ai quali non sono attesi effetti avversi per la salute, per quanto concerne le sostanze non cancerogene.

**

Per il corretto utilizzo di questi dati si raccomanda di consultare le indicazioni riportate dall'OMS nel lavoro originale; la stima dell'incremento del rischio unitario è intesa come il rischio addizionale di tumore, che può verificarsi in una ipotetica popolazione nella quale tutti gli individui sono continuamente esposti, dalla nascita e per tutto l'intero tempo di vita, ad una concentrazione dell'agente di rischio nell'aria che essi respirano.

I valori guida per gli ambienti confinati si applicano agli edifici che sono occupati per almeno sei mesi e dove il sistema di ventilazione è tenuto costantemente acceso.

a: anno; g: giorno;

gg: giorni min: minuti;

AR: Azione Rapida;

LP: Lungo Periodo;

No VG: No Valore Guida;

VI: Valore Intervento; VR: Valore di Riferimento;

RW I: Richtwert I, concentrazione di una singola sostanza al di sotto della quale allo stato attuale delle conoscenze non si aspettano danni alla salute. Il valore guida RW I viene dedotto dal RW II. RW II: Richtwert II, concentrazione di una sostanza il cui superamento richiede un intervento immediato, è valore operativo.

FATTORI CHE INFLUENZANO IL MICROCLIMA

La qualità dell'aria indoor è condizionata [8] da una serie di fattori quali:

- il clima outdoor con le sue variazioni (temperatura, umidità, irraggiamento solare, vento, ecc.) di breve, medio e lungo termine;
- le caratteristiche dell'ambiente outdoor in grado di influenzare le interazioni dirette tra parametri microclimatici e climatici (barriere al vento, effetti canyon, ombreggiamenti, specchi d'acque superficiali, ecc.);
- le caratteristiche tecnologiche e costruttive dell'ambiente indoor in esame (architettura, materiali e prodotti impiegati, impianti di controllo del microclima, attività di manutenzione, ecc.);
- l'uso degli ambienti e le abitudini di vita /stili di vita degli occupanti;
- gli scambi termici, di aria e di acqua (vapore/aerosol, umidità) che avvengono con l'esterno;
- gli scambi termici e di acqua (vapore/aerosol, umidità) tra l'ambiente interno e gli elementi ivi presenti.

In particolar modo sotto l'aspetto termo-igrometrico, i parametri che influenzano il microclima interno sono legati a tre principali fattori che vedremo successivamente:

- Umidità: relativa e assoluta;
- Temperatura;
- Aerazione: velocità dell'aria e ricambio d'aria.

UMIDITA' RELATIVA (UR%)

Le fonti di immissione di umidità di un ambiente [9] possono essere di tipo naturale o artificiale.

L'umidità è strettamente legata al numero di occupanti all'interno dello spazio (persone, animali, piante, ma anche fontane, piscine e lavatoi), alle attività svolte (lavaggio, asciugatura, bagni docce e pulizia degli ambienti) e all'umidità dei materiali da costruzione. Nella Tab. 2 si riportano a titolo indicativo un elenco di quelle attività che provocano un innalzamento dei livelli di umidità, soprattutto in ambienti ad alta densità di occupazione.

ATTIVITÀ	VAPORE ACQUEO PRODOTTO (G/H PERSONA)
Sonno - attività leggera	30 - 60
Seduto in ufficio o abitazione - attività media	80
Sudorazione di una sola persona in condizioni estreme	500
10 persone che svolgono un'attività leggera in una stanza di circa 200 m ³ , con temperatura dell'aria di circa 20°C, UR 50% per 2 ore	100% (UR)

Tab.2 Formazione di vapore acqueo per tipologia di attività

Risulta dunque necessario monitorare l'umidità relativa considerando l'alto rischio connesso alla comparsa di muffe. Le muffe sono funghi microscopici che durante la loro crescita producono spore che si disperdono nell'aria. Il Ministero della Salute afferma che le muffe sono la principale causa di sintomi respiratori, asma e danni funzionali respiratori [10]

Per evitare la creazione della muffa, si devono tenere in considerazione alcuni fattori:

- Mantenere un livello di umidità relativa al di sotto del 50%;
- Garantire una buona ventilazione;
- Assicurare una buona manutenzione degli umidificatori, condizionatori e del sistema di ventilazione meccanica e dei filtri.

I seguenti dati sono confermati dalle Linee Guida dell'OMS [9]. Le reazioni chimiche tra le sostanze provocate dall'umidità e che provocano la creazione di muffe o agenti biologici, sono influenzate dai valori della temperatura.

TEMPERATURA (T)

La temperatura all'interno degli uffici è regolata dalla legge sotto vari punti di vista. Tutte le aziende con almeno un dipendente devono garantire il benessere psicofisico dei lavoratori, come previsto dal testo unico per la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro (DLgs 81/08). Tali misure sono poste a tutela della salute degli individui e garantite dalla nostra Costituzione.

L'OMS ha indicato che la temperatura ottimale di lavoro in ufficio è compresa tra i 18 e i 24 °C.

Non rispettare le normative comporta principalmente:

- Uno spreco economico;
- Un inquinamento non necessario
- Una violazione della legge.

I valori indicati dalla legge, sono stati individuati dagli esperti internazionali che studiano il "comfort climatico" con il giusto equilibrio tra rispetto dell'ambiente ed i costi dell'energia.

In Italia la temperatura è gestita dal DPR n. 74/2013 indicando il limite della temperatura interna in inverno a 20°C con +2°C di tolleranza. In estate invece l'INAIL afferma che la differenza tra temperatura interna ed esterna, non dovrebbe superare i 7 gradi, ma i limiti legislativi indicano un limite di 26°C con -2°C di tolleranza.

Oltre che per garantire il "comfort climatico" è emerso che la temperatura ha una influenza sia sugli agenti microbiologici (muffe, acari, ecc.) sia sulle emissioni dei Composti Organici Volatili (COV) presenti nei materiali con un possibile effetto moltiplicatore che può comportare problemi di salute.

LA VENTILAZIONE DELL'ARIA

La ventilazione può avvenire in modo naturale o forzato mediante l'utilizzo di sistemi che prelevano aria esterna e la immettono all'interno dell'ambiente di lavoro.

Nella maggior parte degli edifici, in particolar modo nei nuovi uffici, la ventilazione è esclusivamente di tipo forzato, per motivi di sicurezza e di maggior controllo dei consumi energetici.

La ventilazione dal punto di vista qualitativo dovrebbe essere tale da non immettere contaminanti *outdoor* e rimuovere/diluire i contaminanti *indoor*. Questo processo avviene attraverso il sistema di trattamento e filtrazione dell'aria esterna e di quella di ricircolo che viene immessa negli ambienti *indoor*.

Al momento non vi sono però limiti legislativi sui livelli della qualità dell'aria indoor, ma diversi lavori scientifici hanno individuato i ratei minimi di ventilazione sulla base dei valori guida dell'OMS per eliminare gli effetti dei parametri inquinanti o dannosi. Una velocità eccessiva dell'aria, dall'altra parte, può provocare il distacco di sostanze inquinanti dalle superfici con il rischio di inalazione da parte degli occupanti.

La ventilazione naturale e forzata diventa, dunque un fattore indispensabile per riuscire a garantire una buona qualità dell'aria indoor e ridurre il fenomeno del SBS e gli effetti sulla salute dei lavoratori.

I PRINCIPALI FATTORI INQUINANTI

Nella tabella di seguito, possiamo trovare i valori di riferimento indicati da OVER con il supporto di esperti nel settore e la letteratura disponibile.

Parametro monitorato	Fonti <i>indoor</i>	Fonti <i>outdoor</i>	Effetti salute	Valori di riferimento	Riferimento legislativo e bibliografico
Temperatura	Pareti Apparecchiature interne Sistema climatico UTA n. occupanti	Irraggiamento solare diretto e indiretto Velocità del vento Aria esterna	Discomfort aziendale	Inverno <20 + 2°C tolleranza Estate <26 - 2°C tolleranza	DPR numero 74/2013
Umidità Relativa	naturale: pioggia, umidità suolo, falde e vene acquifere, ghiaccio e neve fondenti, superfici di specchi d'acqua; artificiale: guasti in condutture di adduzione acqua e di smaltimento reflui, processi industriali limitrofi, sistemi di riscaldamento e raffreddamento, trattamento dell'aria.		Problemi respiratori Discomfort aziendale	< 50%	Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti e Standard Indicazioni operative e progettuali, ISPESL, 2006. WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould, WHO, 2009
CO ₂	Qualsiasi cosa contenente carbonio: Esseri viventi attraverso i bioeffluenti, Fotosintesi, Combustioni	Fotosintesi Combustioni Sorgenti naturali di origine vulcanica (es. gas endogeni)	Sopore Mal di testa Mancanza di forze Stordimento Profonda astenia Estremità calde Incoscienza (narcosi) Depressione centro respiratorio cerebrale Arresto respiratorio	1800 mg/m ³ 1000 (ppmv)	Normativa Francia, Germania, Portogallo
TCOV	Prodotti da costruzione e finitura (incl. pareti e pavimenti) Arredi Vernici e pitture Numero occupanti Materiali per la pulizia	Emissioni processi industriali e artigianali Combustioni	Danni sistema nervoso Rischio cancerogeno Malattie respiratorie	≤ 200 µ/m ³ ≤ 400 µ/m ³ 8h	Normativa Paesi Bassi
Formaldeide	Pannelli MDF Arredi Tessuti Prodotti da costruzione Detersivi Coloranti Disinfettanti Materie plastiche Colli e vernici	Emissioni processi industriali e artigianali Combustione di biomasse Decomposizione	Irritazione di mucose Irritazione agli occhi Irritazione alle vie respiratorie Congiuntivite Asma Dermatite da contatto Stanchezza Angoscia Emicrania Nausea Sonnolenza e vertigini Potere mutageno e cancerogeno	100 µ/m ³ 30 minuti 10 µ/m ³ media annuale	WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, WHO, 2010, AFSSET, 2009
CO	Malfunzionamento degli impianti di riscaldamento a gas, di fornelli, stufe e camini Inadeguata ventilazione Fumo passivo	Combustioni da traffico, riscaldamento, biomasse, produzione energia, impianti civili e industriali	Affaticamento Dolori al torace Dicoordinamento Mal di testa Nausea Vertigini Decesso	100 mg/m ³ per 15 minuti 35 mg/m ³ per 1 ora 10 mg/m ³ per 8 ore 7 mg/m ³ per 24 ore	WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, WHO, 2010
PM ₁ PM _{2,5} PM ₁₀	Combustioni dovute a riscaldamento, Frittura alta temperatura, Incensi e candele, Spray e diffusori, Apparecchi per la stampa	Combustioni da traffico, riscaldamento, biomasse, produzione energia, impianti civili e industriali, stoccaggi, movimentazioni, sorgenti naturali	Malattie cardiache Malattie respiratorie Potere cancerogeno	PM _{2,5} 10 mg/m ³ - anno 25 mg/m ³ - 24 ore PM ₁₀ 20 mg/m ³ - anno 50 mg/m ³ - 24 ore	Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, WHO, 2006. DLgs 155/2010 smi

Tab. 3 Caratteristiche principali fattori inquinanti considerati con le relative soluzioni

ANIDRIDE CARBONICA (CO₂)

La CO₂ (anidride carbonica o biossido di carbonio) è un gas inerte, inodore ed incolore, naturalmente presente in atmosfera in concentrazioni limitate.

Le concentrazioni di CO₂ in ambienti interni sono più elevate in quanto emessa principalmente attraverso gli atti respirativi delle persone occupanti. Esternamente nel maggio del 2019 il valore atmosferico ha raggiunto 747 mg/m³ (415 ppmv), mentre il valore indoor è considerato buono fino a 1.800 mg/m³ (1000ppmv).

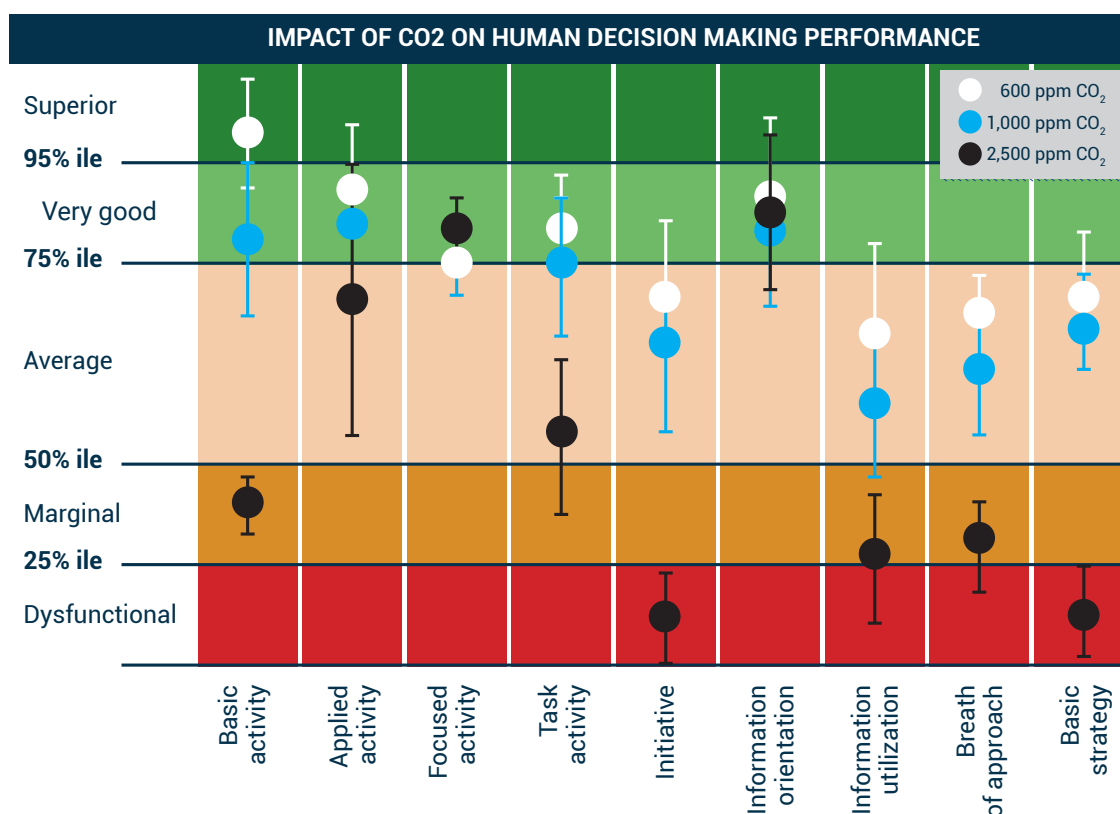


Fig. 1 L'impatto dell'anidride carbonica sulle capacità di decision making

Un alto livello di CO₂ provoca una percezione di una cattiva qualità dell'aria (aria viziata), riducendo anche la produttività dei lavoratori. Nel 2012, un gruppo di scienziati del Lawrence Berkeley Laboratory, in California [11], ha svolto uno studio in cui alzando i livelli di CO₂ da 600 ppmv a 2500 ppmv ha potuto studiare l'impatto sulle capacità di decision making degli impiegati.

A 2500 ppmv, si sono verificate riduzioni – statisticamente significative – in sette scale di prestazioni decisionali, in alcuni casi addirittura drammatiche, come si può vedere in Fig. 1.

Considerando le analisi realizzate ed i parametri degli altri paesi [12] (tab. 1), il valore di riferimento consigliato di OVER è di 1.800 mg/m³ (1.000 ppmv).

I COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (COV)

I COV sono un'ampia classe di sostanze organiche dotate di varie caratteristiche chimico/fisiche.

L'OMS ha classificato i COV in base ai punti di ebollizione, con un limite inferiore tra 50-100°C e un limite superiore fra 240-260°C.

A livello europeo l'European Collaborative Action (ECA) nei vari documenti prodotti [13] ha classificato i COV in base al tempo di ritenzione cromatografico: "tutti i composti organici volatili, eluiti in una colonna

capillare rivestita con il 100% di dimetilpolisilossano, nell'intervallo di ritenzione compreso tra il n-esano (C6) e l'esadecano (n-C16)" intervallo a cui corrispondono i punti di ebollizione compresi tra 50-290°C . A livello UE nella direttiva 2004/42 sulla limitazione delle emissioni di composti organici volatili conseguenti all'uso di solventi in talune pitture e vernici, nonché in prodotti per la carrozzeria, recepita in Italia con il DLgs 161/06, definisce come COV "qualsiasi composto organico avente un punto di ebollizione iniziale pari o inferiore a 250°C misurato a una pressione standard di 101,3 kPa".

Di seguito alcuni COV che rientrano in tale classificazione:

1. Idrocarburi alifatici saturi e insaturi (C6-C18 n-alcani, alcani ramificati e alcheni);
2. Idrocarburi aromatici (benzene, toluene, xileni, naftalene, alchilbenzeni, ecc.);
3. Alcoli, aldeidi (formaldeide, acetaldeide, nonanale, ecc.);
4. Chetoni (acetone, etilmetilchetone, ecc.);
5. Acidi, esteri, composti alogenati (cloroformio, clorobenzene, ecc.)
6. Terpeni (limonene, α -pinene, canfene, ecc.).

Al momento la vera star tra i COV indoor è la Formaldeide, emessa dai materiali compositi a base di fibre di legno (Medium Density Fiberboard – MDF, truciolato e laminati) largamente diffusi negli ambienti indoor. Queste fibre di legno vengono realizzate impregnando sottili fogli o scaglie di legno con resine di urea e formaldeide che rilasciano formaldeide dannosa per la salute umana. Anche le vernici, le pitture e i materiali isolanti (polistirolo e poliuretano) sono delle fonti importanti di COV, considerando anche spazi di grandi dimensioni. I collanti e le resine rappresentano la principale causa di tossicità, considerando anche il loro grande utilizzo per la finitura e l'arredo.

I valori di riferimento per la famiglia dei COV non sono indicati attualmente dalla legge europea e italiana, ma c'è sempre più attenzione sull'argomento [14].

Il valore consigliato da OVER rimane quello più basso al momento disponibile: TCOV $\leq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per l'anno e $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media di 24 ore. Il valore dei TCOV fornisce una misura di tutte le emissioni legate diverse sorgenti presenti negli ambienti di lavoro.

FORMALDEIDE (CH₂O)

La formaldeide è un gas incolore con un odore pungente e con un forte potere irritante. L'odore è tipico dei grandi negozi di mobili o magazzini che vendono arredi.

La rilevanza della formaldeide sta aumentando sempre più soprattutto negli ambienti indoor considerando la tipologia di arredamenti utilizzato, materiale MDF, truciolato o laminato che emettono il gas tossico. La formaldeide viene rapidamente assorbita dal corpo umano in particolar modo dal tratto respiratorio ed intestinale [2]. Svartati studi dell'OMS confermano gli effetti cancerogeni della formaldeide. Secondo la IARC è una sostanza cancerogena del Gruppo 1, in particolare c'è una forte correlazione con il cancro nasofaringeo e la leucemia [15-19].

Considerando le analisi realizzate ed i parametri degli altri paesi (tab. 3), il valore di riferimento consigliato di OVER è di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ media annuale.

MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

Il monossido di carbonio è un gas inodore, incolore, insapore e altamente tossico. È prodotto dalla combustione incompleta dei materiali contenenti carbonio (combustibili per cucine e per riscaldamento, sigarette, ecc.).

Le emissioni di CO sono causate per due terzi dalle attività dell'uomo e solo un terzo dalle emissioni naturali. Nelle abitazioni, in condizioni normali, i livelli sono compresi tra 1,5 e $4,5 \text{ mg}/\text{m}^3$. In presenza di processi di combustione, quali cottura dei cibi, sistemi di riscaldamento e durante il fumo di tabacco e di un'inadeguata ventilazione, le concentrazioni interne possono superare quelle esterne e raggiungere livelli sino a $60 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Il monossido di carbonio (CO) inalato si lega con l'emoglobina, una proteina presente a livello dei globuli rossi e deputata al trasporto dell'ossigeno, formando la carbossiemoglobina (COHb). Tale legame è molto più stabile (circa 200-300 volte) di quello formato tra emoglobina ed ossigeno, in questo modo il CO impedisce il normale trasporto dell'ossigeno ai tessuti periferici, determinando effetti tossicologici di diversa entità. Per concentrazioni ambientali di CO inferiori a 5 mg/m^3 , corrispondenti a concentrazioni di COHb inferiori al 3%, non si hanno effetti apprezzabili sulla salute, negli individui sani, mentre in pazienti con affezioni cardiache, anche basse concentrazioni possono provocare una crisi anginosa. A concentrazioni maggiori si verificano cefalea, confusione, disorientamento, capogiri, visione alterata e nausea. Concentrazioni particolarmente elevate possono causare coma e morte per asfissia.

Circa l'80% dei casi di avvelenamento da CO rilevati avvengono in ambienti indoor. Il Ministero della Salute afferma come il rischio maggiore sia quello legato alle lunghe esposizioni in piccole quantità dell'inquinante, provoca sintomi come cefalea, vertigini, nevriti, sindromi parkinsoniane ed epilettiche, aritmie, crisi anginose.

L'OMS nelle linee guida sulla qualità dell'aria indoor ha individuato differenti parametri su base temporale come ad esempio durante le 8 ore lavorative è consigliabile non superare i 10 mg/m^3 .

IL MATERIALE PARTICELLARE $\text{PM}_{2,5}$ PM_{10}

Il materiale particellare (Particulate Matter, PM), o aerosol atmosferico, è un sistema disperso di particelle solide e di particelle liquide presenti in sospensione. Non hanno una forma sferica, quindi la dimensione viene convenzionalmente misurata in diametro aerodinamico equivalente (DAe). Le particelle emesse direttamente nell'atmosfera sono dette primarie, mentre quelle che si formano in atmosfera sono dette secondarie (coagulazione, conversione gas-particella). Fattori che influenzano i livelli del PM sospeso sono la temperatura, l'umidità e la velocità dell'aerazione e il livello di ventilazione. Secondo la IARC il PM è un cancerogeno di Gruppo 1 [20].

I valori che verranno presi in considerazione per la valutazione dell'aria *indoor* possono essere quelli elaborati dal WHO oppure quelli presenti nel DLgs 155/2010 smi per l'aria *outdoor*, considerando che al momento non è presente una legislazione per gli ambienti *indoor*.

Valori guida WHO:

- $\text{PM}_{2,5}$ $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media annuale e $25 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media giornaliera;
- PM_{10} $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media annuale e $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media giornaliera.

Valori limite DLgs 155/2010:

- $\text{PM}_{2,5}$ $25 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media annuale;
- PM_{10} $40 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media annuale e $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media giornaliera.
- Il valore di riferimento risultano dunque: $\text{PM}_{2,5}$ $25 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media annuale e per il PM_{10} $40 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media annuale e $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ come media giornaliera.

OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

Le attività di monitoraggio in ambienti indoor vengono principalmente condotte per conoscere i livelli di concentrazione rilevati in funzione delle loro caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche per identificare le sorgenti di emissione. Secondo l'Istituto Superiore della Sanità tali misure si rendono necessarie per:

1. verificare il rispetto di valori guida stabiliti dalle autorità competenti;
2. condurre attività di sorveglianza a seguito di situazioni accertate di inquinamento;
3. condurre attività di sorveglianza per valutare l'efficacia di un eventuale rimedio adottato;
4. eseguire la raccolta di specifiche informazioni per agevolare i processi decisionali in sede di valutazione dell'esposizione della popolazione con riferimento ai diversi tempi di permanenza in un dato ambiente;
5. rispondere ai reclami presentati dai fruitori degli ambienti.

DURATA E FREQUENZA DEL CAMPIONAMENTO

Per pianificare l'attività di monitoraggio bisogna innanzitutto definire il periodo di osservazione. Per definire la giusta durata della misura, bisogna identificare l'obiettivo, per ottenere il valore di concentrazione di interesse (istantaneo, medio orario, medio giornaliero, medio settimanale, medio mensile, ecc.). In particolare modo se si desidera conoscere il valore massimo di concentrazione in una fase specifica, il monitoraggio sarà di breve durata, se invece l'obiettivo è confrontare la concentrazione ottenuta con un valore guida, la durata deve corrispondere a quella indicata dal valore guida, per evitare un dato orientativo e non coretto.

La durata del prelievo, vincolata dalle prestazioni dei sistemi di campionamento e dai limiti di quantificazione delle metodiche analitiche adottate, deve essere scelta inoltre in relazione:

- alla natura e dai potenziali effetti sulla salute dei parametri considerati;
- alle concentrazioni dei parametri;
- alle caratteristiche emissive delle sorgenti.

In ragione della durata dei monitoraggi, si parla di monitoraggi a breve termine o a lungo termine (periodi superiori a diverse ore). Si consigliano monitoraggi duraturi nel tempo per poter permettere un costante controllo e rispetto dei valori guida stabiliti dalle autorità.

SCELTA DEI SITI DI MONITORAGGIO E POSIZIONAMENTO

Grande importanza assume la scelta del luogo di monitoraggio, infatti un posizionamento poco rappresentativo dell'ambiente che si intende indagare rende improduttiva l'attività di monitoraggio. Secondo l'Istituto Superiore della Sanità [21], nel caso di un edificio, generalmente non è necessario investigare tutti i suoi ambienti, ma devono essere individuate le aree più rappresentative in relazione all'obiettivo del monitoraggio. La posizione del sensore all'interno di un ambiente può influenzare fortemente i risultati ottenuti. In caso di un edificio di grandi dimensioni, superiore ai 400², dopo aver studiato attentamente lo spazio, bisogna definire almeno 2 punti di monitoraggio e in ogni caso almeno 1 per piano. Se si ritiene che i livelli emissivi siano legati a particolari attività svolte dagli occupanti, è utile campionare nell'area in cui tale attività viene svolta.

È consigliabile posizionare il sensore a un'altezza di circa 1,5 m dal pavimento. Nel caso di uffici, scuole o asili, il sensore va posizionato a un'altezza compresa tra 1 e 1,5 m, mentre non è consigliabile posizionare il sensore in luoghi in cui ci sia diretto irraggiamento solare o la presenza di fonti di calore, correnti d'aria o fonti di ventilazione artificiale per evitare di falsare i risultati.

MISURE IN ARIA AMBIENTE OUTDOOR

Per riuscire ad individuare quanto le sorgenti interne contribuiscono alla concentrazione dei parametri considerati, è indispensabile confrontare le corrispondenti concentrazioni outdoor, che possono fornire informazioni circa l'entità del contributo esterno.

Questo risulta necessario, nel momento in cui i processi di ventilazione, infiltrazione, intrusione producono uno scambio continuo tra aria interna ed esterna. Per questo anche ISS sottolinea l'importanza di effettuare monitoraggi anche in prossimità dell'edificio monitorato. In particolare i monitoraggi outdoor devono essere effettuati nelle vicinanze dell'edificio alla stessa altezza del del sensore interno, per evitare di alterare i dati. Inoltre se l'edificio oggetto d'indagine è dotato di sistemi di ventilazione, si consiglia il posizionamento del sensore di aria *outdoor*, in prossimità della presa d'aria d'ingresso per valutare correttamente il contributo *outdoor*.

IL SENSORE DI MONITORAGGIO DELL'ARIA DI OVER

Partendo dallo studio realizzato e illustrato nei precedenti paragrafi, Over ha deciso di sviluppare un sensore con le caratteristiche emerse da suddetto studio e conforme con tutte le specifiche attualmente richiesti dai vari organi italiani e internazionali. In particolare, Over ha deciso di equipaggiare il proprio modulo di monitoraggio dell'aria con i seguenti sensori:

- Umidità;
- Temperatura;
- Pressione atmosferica;
- CO;
- CO₂ ;
- COV;
- Formaldeide;
- Monossido di carbonio;
- PM_{2,5}
- PM₁₀

Il monitoraggio messo a disposizione da Over permette di conoscere in tempo reale i valori dei parametri ambientali. Le informazioni così raccolte, oltre ad essere visibili sulla piattaforma Overboard, sono utilizzate per la gestione degli impianti di ventilazione e di condizionamento dell'aria all'interno dei locali. Questi potranno essere utilizzati in due modi: da una parte è possibile monitorare realtime la qualità dell'aria indoor generando degli alert in caso di superamento di una o più soglie, dall'altra la possibilità di intervenire direttamente sulle unità di trattamento aria (UTA) o sugli impianti di climatizzazione (quest'ultima modalità è suggerita ad esperti del settore).

In questo modo, è possibile ottimizzare l'utilizzo degli stessi impianti. I vantaggi energetici possono essere significativi, ad esempio se si tiene conto del fatto che le UTA sono dimensionate sulla massima occupazione dei locali, situazione che, se si verifica, avviene per un breve periodo della giornata, mentre l'impianto funziona per l'intera durata della giornata lavorativa.

Il sistema Over così strutturato, permetterà di spegnere il sistema di ricambio dell'aria e di condizionamento, quando non necessario, ottimizzando sia il riscaldamento/raffreddamento dell'ambiente, sia la manutenzione, evitando la Sindrome dell'edificio malato.

Il monitoraggio di questi parametri, come emerso dagli studi precedentemente elencati, permette una riduzione dei costi diretti ed indiretti, realizzando saving energetico, sia a livello economico che ambientale, e garantendo e monitorando l'aria respirata dai dipendenti. Il risparmio energetico che è possibile ottenere dipende da molteplici fattori, ad esempio dai valori dei parametri ambientali misurati, dallo stato e dalle caratteristiche degli impianti di condizionamento e delle UTA, dalle condizioni ambientali outdoor, dal punto di prelievo dell'aria, etc.

Come esempio viene riportato il risparmio energetico ottenuto sulla gestione delle Unità di Trattamento dell'Aria in funzione della concentrazione di CO₂ *indoor*.

Nella situazione iniziale l'Unità di Trattamento dell'Aria veniva utilizzata dal Lunedì al Venerdì dalle h. 07:00 alle h. 19:00 senza interruzione per un totale di 12 h/gg.

Successivamente all'installazione del sensore ambientale e all'implementazione di un algoritmo in grado di gestire l'accensione e lo spegnimento dell'UTA in funzione della concentrazione di CO₂, l'impianto è stato acceso per 4 h/gg, principalmente durante le ore di punta dell'attività lavorativa, quindi quando effettivamente l'affollamento dei locali era tale da richiedere ricambi d'aria importanti. Da notare come la concentrazione nell'aria di CO₂ sia sempre rimasta sotto la soglia delle 1.000 ppm, tranne in due casi all'inizio della settimana, situazione non più verificatasi nei giorni successivi in quanto l'algoritmo è stato in grado di comprendere i tempi di reazione del sistema edificio-impianto.

Da un punto di vista numerico, il risparmio energetico è stato pari al 65% dei consumi iniziali associati all'Unità di Trattamento dell'Aria.

Come si può intuire, il risparmio energetico, e quindi economico, è in percentuale ai consumi iniziali, quindi funzione delle caratteristiche impiantistiche.

BIBLIOGRAFIA

1. European Environmental Agency. Environment and human health. Joint EEA-JRC report. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2013. (EEA Report No 5/2013; Report EUR 25933 EN).
2. World Health Organization. Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2010.
3. Settimo G, D'Alessandro D. Orientamenti normativi comunitari sulla qualità dell'aria indoor: quali proposte per l'Italia. *Epidemiol Prev* 2014;38(6)Suppl. 2:36-41.
4. F. Cumo, G. Caruso, L.Ferroni, E. Paladino - L'indice di valutazione dell'indoor air quality come indicatore di sicurezza in ambienti lavorativi confinati, con particolare riferimento al terziario avanzato
5. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Étude exploratoire du coût socio-économique des polluants de l'air intérieur Rapport d'étude 2014.
6. California Air Resources Board. Report to the California Legislature. Indoor air pollution in California. 2005.
7. Ministero della Salute. Piano Nazionale di Prevenzione per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati. http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_2435_allegato.pdf.
8. Santarsiero A, Fuselli S (Ed.). Convegno nazionale. Inquinamento indoor residenziale-abitazione e qualità dell'aria. Istituto Superiore di Sanità, Roma, 9 ottobre 2009. Riassunti. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2009. (ISTISAN Congressi 09/C7).
9. World Health Organization. WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe; 2009.
10. Ministero della Salute - umidità e muffe 2015.
11. Usha Satish, Mark J. Mendell, Krishnamurthy Shekhar, Toshifumi Hotchi, Douglas Sullivan, Siegfried Streufert, and William J. Fisk. Is CO₂ an Indoor Pollutant: Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environmental Health Perspectives*;120 (12) Dec 2012. 1671-1677.
12. Settimo G, Turrio Baldassarri L, Brini S, Lepore A, Moricci F, de Martino A, Casto L, Musmeci L, Nania MA, Costamagna F, Marcello I, Fuselli S, per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor. Presenza di CO₂ e H₂S in ambienti indoor: conoscenze attuali e letteratura scientifica in materia. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2016. (Rapporti ISTISAN 16/15)
13. ECA. Evaluation of VOC emissions from building products – solid flooring materials. EUR 17334 EN, 1997.
14. Ministero della Salute - Composti Organici Volatili (COV) - 2015
15. The International Agency for Research on Cancer (IARC). Chemical Agents and Related Occupations. Volume 100F.
16. Sundell J, Levin H, Nazaroff WW, Cain WS, Fisk WJ, Grimsrud DT, Gyntelberg F, LiY, Persily AK, Pickering AC, Samet J M, Spengler JD, Taylor ST, Weschler C J. Commemorating 20 Years of Indoor Air. Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air* 2011;21(3):191-204.
17. Baan R et al. A review of human carcinogens – Part F: chemical agents and related occupations. *Lancet Oncology*, 2009, 10:1143–1144.
18. Zhang L et al. Occupational exposure to formaldehyde, hematotoxicity and leukemia-specific chromosome changes in cultured myeloid progenitor cells. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 2010, 19:80–88.
19. Hauptmann M et al. Mortality from lymphohematopoietic malignancies and brain cancer among embalmers exposed to formaldehyde. *Journal of the National Cancer Institute*, 2009, 101:1696–1708.
20. The International Agency for Research on Cancer (IARC). Outdoor Air Pollution. Volume 109.
21. Fuselli S, Pillozzi A, Santarsiero A, Settimo G, Brini S, Lepore A, de Gennaro G, Demarinis Loiotile A, Marzocca A, de Martino A, Mabilia R Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/4).



SIMPLE

TO UNDESTAND • TO INSTALL • TO SAVE

Il dispositivo che **monitora** la qualità dell'aria **ottimizzando** l'utilizzo del sistema clima.

MONITORA E CONTROLLA



Temperatura



Umidità



Pressione



Anidride Carbonica



Composti Organici Volatili



Formaldeide



Monossido di Carbonio



Particolato Molecolare 2.5 e 10



**SAVING
IS IN THE AIR**



Milano

Roma

Dubai

www.overttechnologies.com