

Legislazione e normativa inerente le emissioni di Composti Organici Volatili e di Formaldeide dei prodotti a base legno in ambiente domestico

Marco Fellin^{a)}, Martino Negri^{b)}, Mario Marra^{c)}

a) CNR IVALSA – Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree [attualmente presso MUSE – Museo delle Scienze di Trento], marco.fellin@muse.it

b) CNR IVALSA – Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree – negri@ivalsa.cnr.it

c) CNR IVALSA – Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree – marra@ivalsa.cnr.it

1 Introduzione

Nell'ambito di un progetto di ricerca del CNR volto a migliorare e innovare l'attuale processo di produzione di una ditta di pavimenti in legno al fine di minimizzare la presenza di eventuali composti nocivi (formaldeide e composti organici volatili VOC) e di massimizzare i benefici per il consumatore in termini di salubrità, sono state raccolte leggi, normative e norme tecniche in merito alle emissioni di queste sostanze dai pavimenti e dagli arredi in ambiente domestico.

Il sistema attuale di produzione di pavimenti e arredamenti in legno o in prodotti a base legno prevede l'impiego di adesivi e prodotti di finitura delle superfici, vernici ed oli, selezionati in funzione delle prestazioni attese. Tali prodotti causano l'emissione di molecole organiche sia durante l'applicazione ma anche successivamente, in concentrazioni ridotte ma persistenti, durante l'impiego del manufatto in legno.

Le attività di monitoraggio dei VOC e la valutazione dei fattori di rischio per la salute risultano elementi fondamentali all'individuazione delle misure necessarie a prevenire e a ridurre i livelli di concentrazione degli inquinanti nell'ambiente domestico.

Nel contesto generale dello studio della qualità dell'aria indoor, si è posta prioritariamente l'attenzione ai VOC che costituiscono una classe rilevante di inquinanti negli ambienti confinati, con caratteristiche peculiari fra una sostanza e l'altra e con impatti diversi in relazione a fattori quali la persistenza ambientale, la tossicità e la soglia olfattiva. In generale i VOC possono essere classificati, a seconda della loro tipologia e dose assunta, come benefici per l'organismo oppure tossici: per questo necessaria un'attenta tipizzazione delle emissioni volatili. L'Organizzazione Mondiale della Sanità classifica i VOC in 4 gruppi (molto volatili, volatili, semivolatili, materiale particolare) in base ai punti di ebollizione, con un limite inferiore tra 50-100°C e un limite superiore fra 240-260°C.

2 La qualità dell'aria indoor

Le persone vivono normalmente in ambienti a volume d'aria limitati, con modesti scambi d'aria da e verso l'esterno. Questa è una condizione che è divenuta la norma negli edifici moderni ad alta efficienza energetica, sebbene impianti di ventilazione meccanica controllata ben dimensionati, mantenuti e utilizzati possano mitigare questo fenomeno. È quindi di primaria importanza preoccuparsi della qualità dell'aria indoor soprattutto riguardo agli edifici moderni, siano essi nuovi o ristrutturati. Negli edifici delle precedenti generazioni, la problematica è analoga, non tanto per i limitati scambi d'aria, quanto per la presenza di materiali di arredamento meno prestazionali in termini di emissioni di VOC e formaldeide. La progettazione, la scelta dei materiali e lo stile di gestione dell'edificio sono parametri chiave per un ambiente salubre.

Studi, ricerche specifiche e l'esperienza quotidiana evidenziano che la popolazione dei Paesi avanzati trascorre circa il 90% del tempo in ambienti chiusi. Un cittadino occidentale-tipo passa in media solo una o due ore al giorno all'aperto, il restante tempo è trascorso in casa, in ufficio e nei mezzi di trasporto. Nove decimi del tempo sono passati all'interno: è di fondamentale importanza essere sicuri che l'aria che respiriamo sia salubre.

Qual è il significato di "aria insalubre"? Significa respirare composti chimici, biologici, batterici, fungini che impattano negativamente sulla nostra salute. Sono molteplici gli esempi: i fumi sprigionati durante la cottura di cibi, l'anidride carbonica (CO₂) originata da combustioni (anche di una semplice candela), gli allergeni presenti nella polvere e nel pelo di animali domestici, le emissioni dei prodotti per l'edilizia e – non ultimo – la CO₂ prodotta dalla respirazione degli occupanti gli ambienti. L'origine di questi composti può essere sia esterna all'edificio (traffico, riscaldamento, industrie, pollini...) sia interna all'edificio a causa di stampanti, muffle, fumo, cucina, impianti di riscaldamento, batteri, virus, prodotti per la pulizia, caminetti, materiali emittenti, fotocopiatrici, ecc. (Weschler et al., 2006).

Generalmente queste sostanze vengono distinte in inquinanti di diversa natura:

- Chimici: NO_x, CO, CO₂, fumo, VOC, formaldeide etc.
- Fisici: fibre e particolato aerodispersi, radon, radiazioni etc.
- Biologici: acari, pollini, animali domestici, muffle, batteri, funghi, virus etc.

Alcuni di questi inquinanti e loro concentrazione dipendono fortemente dallo stile di vita più che dai materiali impiegati per l'edilizia. Sono quindi di pertinenza prettamente dell'abitante piuttosto che del progettista o costruttore, per questo motivo non verranno ulteriormente trattati in questa sede. In questo testo si danno altresì per note le azioni basilari per preservare la qualità dell'aria quali non fumare, evitare la contiguità con fonti di inquinamento outdoor (amianto, traffico...). Si ritiene viceversa opportuno sottolineare l'importanza della qualità dell'aria indoor e ciò che possono intraprendere i progettisti e i committenti per migliorarla.

In Europa e negli Stati Uniti, l'opinione pubblica e gli stakeholder hanno iniziato a prendere coscienza delle problematiche inerenti l'inquinamento indoor, con approcci e sensibilità differenti. In Europa, sia pur timidamente, la legislazione è orientata a privilegiare la scelta di materiali intrinsecamente meno insalubri. Negli Stati Uniti vi è una tendenza generale a preoccuparsi poco della scelta di materiali salubri, e a prefiggersi di migliorare la qualità dell'aria con impianti di ventilazione meccanica controllata.

La cattiva manutenzione di questi impianti è frequente. Essa può acuire i sintomi di esposizione ad allergeni così che la presenza di allergie ha raggiunto ormai il 44% della popolazione (Ahluwalia et al., 2013) e portare fra l'altro al proliferare di legionella e altri batteri (Arbes et al., 2005; Brough et al., 2013; Chew et al., 2005).

Anche l'esposizione al particolato sottile è un rischio di complicazioni cardiovascolari, complicanze in gravidanza, problemi neurologici e cognitivi (Butler et al., 2016).

Le normali attività domestiche, come cucinare (Hansel et al., 2008) ed eseguire le pulizie, aumentano le concentrazioni di polveri, ossidi di azoto e CO₂. Il collegamento diretto tra l'abitazione e la zona di rimessa autoveicoli può portare infiltrazioni di benzene, VOC e particolato da motori diesel (Finkelman, 2014) in misura significativa.

Negli Stati Uniti quasi il 10% della popolazione è affetta da asma e il 20% ha allergie dovute all'ambiente. Il 75% delle case urbane presenta allergeni.

Gli asmatici si dividono equamente in quattro gruppi con allergie a polvere, polline, muffa e animali domestici. Notevole è anche l'impatto sulla salute dei bambini: giorni di scuola persi, giorni di lavoro persi dai genitori. Il National Center for Healthy Housing stima un accesso alle cure per 2 miliardi di dollari all'anno per la sola asma, che da sola contribuisce al 3% delle intere spese mediche statunitensi.

Sono molti i fattori in gioco relativi alla qualità dell'aria alla salute e comfort degli occupanti degli edifici. Un problema rilevante è l'esposizione a fonti multiple di allergeni, in particolare in concomitanza con prodotti da combustione (IPA – idrocarburi policiclici aromatici), antimicrobici o interferenti endocrini come triclosano o parabeni, ftalati e bisphenol A (Oeder et al., 2012; Savage et al., 2012).

La presenza di allergeni nel cibo e nell'aria indoor porta allo sviluppo e inasprimento di malattie allergiche. Evitare le allergie significa portare avanti un approccio multi-disciplinare e mirato, in cui evitare co-fattori come l'esposizione ad inquinanti indoor è di grande aiuto per il controllo di queste patologie (King, 2016).

In Italia ogni anno ci sono oltre 150.000 casi di malattie legate agli inquinanti indoor. Aggiungendo anche le cause legate al fumo si contano 250.000 persone (Conferenza Stato Regioni, 2001; ECA, 2006). Per la sanità pubblica, la cura di queste persone ha un costo di circa 200 milioni di euro all'anno e, soprattutto, esse sono costrette a vivere con patologie più o meno gravi e invalidanti.

Uno studio dell'ISPRA (2010a) effettuato in Italia mostra un maggiore livello di inquinamento nell'ambiente confinato rispetto all'esterno. Lo studio è stato effettuato su un ampio campione e in numerose città italiane e ha riscontrato livelli di inquinamento indoor molte volte più elevato rispetto all'outdoor. Anche nel contesto Europeo (Braubach et al., 2011) sono evidenti i benefici sulla salute personale e sociale di abitare in edifici salubri.

Il fenomeno non risparmia gli studenti, che sono sottoposti ad eccessi di biossido di Carbonio, polveri sottili, formaldeide, ecc. Sono sufficienti 26 minuti in una classe di scuola perché la concentrazione di CO₂ superi il livello previsto dall'organizzazione mondiale della sanità (Barret, 2015). È stato condotto uno studio dettagliato in 61 scuole, della Regione Toscana (2011) che ha rilevato un livello di polveri ultrasottili doppio rispetto ai valori raccomandati, mentre l'analisi sulla formaldeide ha dato risultati accettabili. Uno studio ad ampio spettro relativo alle concentrazioni di CO₂ effettuato su 150 aule delle scuole della Provincia Autonoma di Bolzano, ha rivelato come nei due terzi dei casi la qualità dell'aria sia inadeguata (APPA Bolzano, 2016). Questo studio ha evidenziato tre casi di concentrazioni di formaldeide ben oltre il limite di legge. Questi casi erano dovuti agli arredi scolastici nuovi. Infatti, vi era una elevata superficie di prodotti a base di legno in un volume limitato e la scelta dei materiali non è risultata idonea.

3 I Composti Organici Volatili

I composti organici volatili (COV, o dall'inglese VOC) sono composti chimici che evaporano molto facilmente a normali condizioni ambientali di pressione e temperatura. I VOC sono sia di origine naturale che sintetica, sono naturalmente contenuti in moltissimi materiali, sono emessi da piante e animali (uomo compreso) e possono essere aggiunti ad un materiale industriale per migliorarne le prestazioni o la semplicità di manifattura.

Appartengono ai VOC sia i terpeni del legno (come l'alfapinene o il betapinene, responsabili del caratteristico profumo di resina), sia il benzene contenuto nei carburanti. Ma mentre i primi non sono dannosi per l'uomo, se inalati in dose modeste, il secondo è un noto cancerogeno, da evitare a qualunque concentrazione. Un'altra molecola con diffuso impiego industriale è la formaldeide, che è utilizzata in adesivi e resine per la produzione di elementi a base legno (pannelli, lamellari, ecc.) perché estremamente versatile, è oggi sottoposta a precisi vincoli d'impiego.

Legare la presenza di uno o più VOC all'effetto sulla salute delle persone è estremamente complesso.

Come nel caso delle medicine, ci sono fattori legati a ciascun individuo (età, sesso, patologie...), alle molecole chimiche dei VOC (concentrazione, interazioni...), alla somministrazione (frequenza di inalazione, durata...). Ci sono VOC che hanno un accertato impatto negativo sulla salute (VOC cancerogeni come il benzene, per esempio), ed altri su cui non esistono risultati di ricerca che correlino in modo univoco la molecola con un effetto negativo sulla salute.

Il fenomeno e i problemi derivanti dall'esposizione ai VOC si possono spiegare descrivendo le 4 fasi che lo compongono:

1. Il contenuto di VOC in un materiale,

2. Il tasso di emissione di VOC del materiale,
3. La concentrazione del VOC nell'ambiente,
4. L'effetto sulla salute.

3.1 Contenuto

Le molecole chimiche dei VOC contenute in un materiale da costruzione possono essere presenti già nelle materie prime, oppure possono essere aggiunte per elevare le prestazioni tecnologiche del materiale. Un esempio sono i solventi delle vernici. Nel barattolo di una vernice colorata i pigmenti sono dispersi nel solvente (a base di VOC). Una volta applicata la vernice, i solventi evaporano mentre i pigmenti reticolano formando un film protettivo. Per questo motivo nelle vernici si preferiscono solventi molto volatili (i VVOC) per accelerare i tempi di evaporazione. Il contenuto di VOC nei liquidi si misura in grammi di VOC per litro di prodotto. Vi sono dei limiti massimi regolati per legge (Direttiva 2004/42/CE e 2008/112/CE, D.Lgs. 161/2006 e D.Lgs. 33/2008) e anche dei limiti più restrittivi (Decisione 2014/312/UE) per l'adozione del marchio *Ecolabel*.

3.2 Tasso di emissione

I VOC contenuti nei materiali evaporano, più o meno lentamente, seguendo le leggi della chimica, della fisica e i parametri dell'ambiente in cui sono collocati. La quantità di VOC emessi nel tempo da un materiale viene misurata in laboratorio utilizzando camere standard. È molto importante sapere che le norme Europee fanno riferimento ad un ambiente "normale" di 1 metro cubo, con temperatura di 23°C, umidità relativa dell'aria del 50%, un ricambio d'aria ogni due ore. Per i pannelli destinati all'arredo è prevista l'esposizione di 1 un metro quadrato mentre per i pavimenti di 0,4 metri quadrati, intesi come superficie di pannello esposta all'aria della camera da 1 metro cubo.

Si usano comunemente due unità di misura, una riferita all'emissione nel tempo (in milligrammi di VOC emessi in un'ora per un metro quadrato di superficie esposta), l'altra riferita alla concentrazione di equilibrio in una camera standard (in microgrammi di VOC per metro cubo di camera standard).

Talvolta la concentrazione dei VOC è superiore alla soglia olfattiva e si percepisce il tipico odore, ma capita molto spesso che non lo si avverta. Il tasso di emissione (quanti VOC sono diffusi in un lasso di tempo) tende a calare nel tempo. Il "profumo" si affievolisce e lentamente, anche dopo mesi o anni, tende a zero (Herbarth et al., 2010).

Caso particolare è la formaldeide, che è largamente usata in moltissimi prodotti per edilizia, specie all'interno di adesivi per materiali a base di legno. Le emissioni di formaldeide da questi materiali avvengono in due modi. Il primo modo, che riguarda la formaldeide "libera" dai legami con l'adesivo, segue l'andamento delle emissioni dei VOC e dopo un certo tempo tende a zero. La seconda modalità avviene tramite la reazione dell'adesivo con il vapore acqueo presente nell'ambiente. Il vapore acqueo degrada l'adesivo (idrolisi), la formaldeide viene liberata dal legame con l'adesivo ed evapora nell'ambiente (Bandel, 2008, Bulian, 2008, Bulian 2012). Questo processo continua per tempi estremamente lunghi, praticamente per tutta la vita del manufatto, perché sono sempre presenti sia l'adesivo, sia il vapore acqueo e sia le condizioni ambientali per far avvenire la reazione.

3.3 Concentrazione

Quando il materiale è installato all'interno di un'abitazione, esso emetterà i VOC che contiene seguendo i parametri ambientali dell'edificio: la sua temperatura, l'umidità dell'aria, il rapporto tra il volume dell'ambiente e la superficie di materiale esposto. La concentrazione effettiva indoor è un valore che può cambiare rapidamente in seguito per esempio ad arieggiamenti, ed è anche il valore più importante per l'utilizzatore finale, in quanto è la concentrazione di VOC che l'occupante respira. Non esistono leggi in materia, ma numerosi sono le linee guida che consigliano di non superare certi limiti per specifici VOC o per i VOC totali. La concentrazione effettiva indoor si misura in microgrammi di VOC per metro cubo di aria ambiente.

3.4 Effetto sulla salute

Negli ultimi anni sono aumentate le patologie correlate con la cattiva qualità dell'aria indoor. Asma, irritazioni, allergie fino a giungere ad una vera e propria "sindrome dell'edificio malato". Questa si manifesta con sintomi che vanno da un generico dis-comfort al mal di testa, irritazioni del naso, occhi, bocca, tosse secca, pelle secca o pruriginosa, capogiri, nausea, difficoltà di concentrazione, affaticamento e sensibilità agli odori (USEPA, 1991). Per una diagnosi serve l'intervento medico, ma solitamente se i sintomi scompaiono dopo aver lasciato l'edificio allora è possibile che si tratti di sindrome da edificio malato.

L'effetto dei VOC sulla salute coinvolge numerosi fattori e la comunità scientifica concorda sulla nocività di alcuni VOC (tra cui la formaldeide e il benzene), mentre su altri esistono documenti discordanti che provano la loro nocività così come l'efficacia nella cura di alcune patologie.

I fattori che legano la presenza dei VOC ad eventuali patologie sono relativi ai VOC stessi (tipo di molecola, interazioni tra molecole, concentrazione, da quale fonte si originano...) e agli individui (via di assorbimento, presenza di patologie o allergie pregresse, età, sesso, frequenza e durata di assunzione, predisposizione genetica, stato di salute fisico e psicologico, nutrizione, stile di vita, processi metabolici: assorbimento, distribuzione, accumulo e escrezione).

Tenere conto di tutti questi fattori è estremamente complesso e non è l'obiettivo di questo lavoro. A scopo precauzionale si può comunque tenere in considerazione cosa viene emesso e quanto. Sono infatti assolutamente da

evitare, anche in concentrazioni bassissime, VOC dichiarati cancerogeni o pericolosi. Per quanto riguarda gli altri VOC, si possono tollerare emissioni anche non particolarmente ridotte, nel caso in cui si tratti di VOC di origine naturale e comunemente presenti in natura.

Un altro aspetto di importanza rilevante è la possibile interazione di due o più composti chimici, che può creare un effetto sinergico, e quindi amplificare gli effetti sulla salute, così come può avere un effetto opposto (effetto “annullante”).

Infine, persino l'aumento dell'effetto sulla salute in funzione della concentrazione (dose assunta) può avere un andamento lineare, logaritmico o “a soglia”, cioè quando il corpo reagisce provocando il rigetto, come nel caso di intossicazioni e avvelenamento (es. eccesso di alcool).

Le possibili variabili che influenzano l'impatto sulla salute umana, e quindi il benessere, si possono riassumere nei seguenti punti (Sexton, 2004):

- Fonti di emissione: ambienti, macchinari, persone, materiali che sono fonte di sostanze chimiche, sostanze chimiche
- Composti chimici: identità chimica, fonte, matrice di trasporto (medium di veicolazione), via di assorbimento
- Trasmissione: tempo tra esposizione e manifestazione dei sintomi della malattia, dinamiche di trasporto del veicolo (aria, acqua, cibo), reazioni chimiche tra sostanza, altre sostanze e matrice di veicolo, assorbimento (epidermide, bocca, narici/polmoni, contatto, ingestione, inalazione)
- Metabolizzazione- Impatto sull'organismo: combinazione e interazione di concentrazione (*magnitude*), durata, frequenza (periodicità), tempistica (*timing*, a che età si verificano le esposizioni) di esposizione ai VOC; combinazione e interazione con altri composti in aria, acqua, bevande, cibo, polveri e suolo; combinazione e interazione di predisposizione genetica, età, genere, stato di salute fisico e psicologico, nutrizione, stile di vita; durata e frequenza di attività fisiche; processi di metabolizzazione: assorbimento, distribuzione, metabolismo (accumulo), escrezione.

4 Legislazione e normativa inerente i VOC e la formaldeide

4.1 Organismi internazionali: classificazione dei VOC

Attribuire ad un composto chimico un effetto negativo o positivo sulla salute può non essere facile. Dose, frequenza di assunzione, interazione, composizione chimica del mix di VOC inspirati, via di assunzione sono solo alcuni parametri che vanno considerati per ciascuna molecola con studi specifici. In letteratura sono presenti alcuni studi approfonditi su alcune molecole, mentre su altre non ci sono sufficienti evidenze scientifiche che facciano propendere per un effetto positivo o per uno negativo.

È possibile classificare i VOC utilizzando i data-base di molecole disponibili da fonti autorevoli, ovvero l'Organizzazione Mondiale della Sanità (IARC - Istituto per la Ricerca sul Cancro), il Regolamento CE N. 1272/2008 del 16/12/2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele, la lista di sostanze proibite per l'ottenimento del marchio Declare e la LCI, Least Concern Index.

- **Declare Red list** è una lista di oltre 800 composti chimici che sono stati designati come pericolosi per creature viventi, inclusi gli umani, o per l'ambiente. Proviene dai data-base della *United States Environmental Protection Agency* (U.S. EPA¹), dalla commissione Europea per l'Ambiente² e dal *California Department of Toxic Substances Control*³.
- **Regolamento CE N. 1272/2008**⁴: è un elenco di oltre 4200 composti chimici ritenuti pericolosi per inalazione, contatto o ingestione. Possono essere composti tossici, infiammabili, esplosivi, irritanti, corrosivi, cancerogeni, pericolosi per gli organismi acquatici in concentrazioni commerciali. La lista è costituita per fini operativi di protezione dei lavoratori e per etichettare i prodotti (pittogrammi GHS). Si noti che la presenza in questa lista non è di per sé indice di pericolosità per l'uomo. Ci sono almeno due fattori chiave da tenere in considerazione: la concentrazione e la via di assunzione. Un esempio è l'alcool etilico, presente in lista e definito come infiammabile. Esso mantiene questa pericolosa proprietà solo se presente in concentrazioni piuttosto elevate. Similmente, l'alcool etilico è presente nella lista IARC come sicuramente cancerogeno per l'uomo (livello 1, al pari del benzene), se presente in bevande alcoliche, e quindi per somministrazione orale. Per somministrazione olfattiva invece non è considerato pericoloso, tanto che è comunemente utilizzato nei farmaci balsamici per inalazione.
- **IARC**, lista di oltre 1000 composti chimici sospettati o che provocano il cancro. Per ogni composto chimico è riportata una classificazione in gruppi:
 - gruppo 1 contiene i carcinogeni umani certi
 - gruppo 2A comprende carcinogeni probabili per l'uomo
 - gruppo 2B riunisce i carcinogeni possibili

¹ <https://www.epa.gov/laws-regulations>

² http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm

³ <https://www.dtsc.ca.gov/PollutionPrevention/GreenChemistryInitiative/index.cfm>

⁴ REGOLAMENTO (CE) N. 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 16 dicembre 2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele che modifica e abroga le direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE e che reca modifica al regolamento (CE) n. 1907/2006.

- gruppo 3 comprende le sostanze non classificabili come carcinogene
- gruppo 4 raggruppa sostanze probabilmente non carcinogene per l'uomo.
- **LCI**, Valori limite per le emissioni indoor, raccolti da Germania, Francia e California. Raccoglie 250 composti del database DIBt: *Principles for the health assessment of construction products used in interiors* (2005)⁵, AgBB: *Health-related Evaluation Procedure for Volatile Organic Compounds Emissions from Building Products*⁶ (VOC and SVOC), EU research report ECA⁷, AFSSET, *Risques sanitaires liés aux composés organiques volatils dans l'air intérieur*⁸, SCOEL - *Scientific Committee on Occupational Exposure Limits*⁹, *Section 01350 1/2 Chronic Reference Exposure Levels (CRELs)*¹⁰, IRK-RW¹¹. Questi valori sono strettamente legati alle concentrazioni in ambiente standard.

Per un'interpretazione coerente del monitoraggio della qualità dell'aria indoor è necessario disporre di dati attendibili e sistematici, secondo protocolli condivisi. Sia il Comitato Normativo Europeo (CEN) sia l'*International Organization for Standardization* (ISO), hanno pubblicato una serie di norme specifiche sulle modalità con cui condurre le prove e le misurazioni.

L'Italia non ha prodotto normative esaustive in materia, ma gruppi di lavoro specifici hanno affrontato la problematica del controllo degli inquinanti nell'ambiente domestico. Informazioni su attrezzature, metodologie, modalità di lettura dei risultati e i valori di riferimento dei VOC nell'ambiente domestico sono disponibili in letteratura scientifica, nella normativa di altri paesi, nelle norme relative all'aria ambiente e nei documenti degli organismi internazionali.

I principali composti volatili riconosciuti come impattanti sulla salute umana da ECA, OMS ed alcuni Paesi europei, sono:

- benzene,
- dicloro-metano,
- formaldeide,
- naftalene,
- stirene,
- tetracloro-etilene,
- tricloroetilene,
- toluene.

Per i valori soglia delle voci del precedente elenco, si rimanda alle legislazioni dei singoli Paesi o delle Organizzazioni Internazionali e, per un quadro complessivo, al Rapporto ISTISAN 13/39 (Fuselli *et al.*, 2012).

Nel caso dei prodotti in legno incollato, trattato, tinto, verniciato o impregnato e derivati e ricomposti a base legno (contenenti quindi resine, adesivi o altri prodotti chimici) riveste particolare importanza la presenza e la concentrazione della formaldeide. La formaldeide o aldeide formica ha numero CAS 50-00-0 ed è identificata come metanale nella terminologia IUPAC. Le aldeidi sono composti organici che presentano nella loro struttura il gruppo funzionale -CHO (formile); nelle aldeidi il gruppo C=O (o gruppo carbonilico) è legato a un atomo di idrogeno e ad un radicale alchilico. Nella formaldeide, la più semplice delle aldeidi, il gruppo carbonilico è legato a due atomi di idrogeno; la sua formula chimica è quindi CH₂O. La formaldeide è un battericida e come tale riveste, normalmente in concentrazioni modeste, il ruolo di conservante in molte categorie di prodotti (vernici, adesivi, tinte, prodotti preservanti, ecc.); è anche un efficace catalizzatore e reagisce con il fenolo, con l'urea e la melammina dando vita a resine polimeriche termoindurenti impiegate nell'industria dei pannelli a base legno, cioè i semilavorati principali dell'industria mobiliera e dell'arredamento. In questo contesto si è sviluppata una attenzione particolare in quanto i manufatti contenenti tali resine – pannelli compensati, pannelli OSB (*Oriented Strain Board*), pannelli di particelle (i cosiddetti “truciolari”), pannelli di fibra MDF e HDF (*Medium Density Fiber* e *High Density Fiber*) – presentano un'emissione di formaldeide costante per periodi molto lunghi (anche per decenni) potendo causare un inquinamento dell'aria di ambienti confinati molto significativo. Il tasso di emissione di formaldeide dei prodotti a base legno succitati in ambienti confinati dipende sia dalla concentrazione di formaldeide nel manufatto sia da fattori ambientali e fisici, quali temperatura e umidità degli ambienti, fattore di carico (superficie degli arredi o delle superfici emissive in relazione al volume dell'ambiente confinato) e i ricambi orari del volume d'aria.

4.2 Azioni intraprese dall'Unione Europea

L'*European Collaborative Action - urban air, indoor environment and human exposure*, segna l'avvio dell'impegno della Commissione europea nell'attenzione alle problematiche dell'inquinamento indoor. Le iniziative risalenti alla fine degli anni '80 riguardano radon, formaldeide e NO₂ presenti in ambienti confinati. Successivamente l'attenzione è stata rivolta alla cosiddetta “sindrome dell'edificio malato” e sulle modalità di campionamento in ambienti chiusi. Negli

⁵ <http://ec.europa.eu/enterprise/tris/pisa/cfcontent.cfm?vFile=120050255EN.DOC>

⁶ www.umweltbundesamt.de/building-products/agbb.htm

⁷ ECA no 18 (EUR 17334) "Evaluation of VOC Emissions from Building Products – Solid Flooring Materials", 1997

⁸ www.afsset.fr/index.php?pageid=714&parentid=424 (recent version)

⁹ http://europa.eu.int/comm/employment_social/health_safety/scoel_en.htm

¹⁰ http://www.oehha.org/air/chronic_rels/index.html

¹¹ <http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit-e/irk.htm#3>

ultimi anni l'attenzione è stata rivolta alle conseguenze sulla salute umana e a come comunicare tali conseguenze con opportuno schema di etichettatura dei materiali da interni.

Nei Report n. 27 *Harmonised Framework for Indoor Material Labelling Schemes* (ECA, 2012) e n. 29 *Harmonisation framework for health based evaluation of indoor emissions from construction products in the European Union using the EU-LCI concept* si persegue l'obiettivo di armonizzare le modalità di prova e di valutazione delle emissioni di Enti e Organismi di prova e certificazione dei Paesi europei.

Sono state prodotte specifiche direttive e regolamentazioni che sono state poi recepite dagli Stati aderenti:

- Direttiva 2004/42/CE (limitazione delle emissioni di composti organici volatili di solventi organici in pitture e vernici e in prodotti per carrozzeria);
- Direttiva 2008/112/CE e Regolamento UE 2015/491 (su classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze e delle miscele contenenti VOC e formaldeide in prodotti industriali);
- Regolamento UE 2011/305 Prodotti da Costruzione (prescrive di definire il rischio di emissioni di VOC);
- Decisione 2014/312/UE (criteri ecologici e i limiti di emissione, VOC inclusi, per marchio comunitario di qualità ecologica di prodotti vernicianti).

In alcuni Paesi, sono stati pubblicati valori guida specifici per la qualità dell'aria nell'ambiente domestico, che insieme a quelli dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO, 2010) e dell'ECA (2013) sono divenuti dei punti di riferimento internazionale. Oltre ai valori guida vengono forniti i metodi di campionamento e di analisi da utilizzare nei controlli.

4.3 Legislazione italiana

In Italia non esiste una legge specifica inerente l'inquinamento indoor (ambienti di vita e lavoro non industriali). Vi sono tuttavia due decreti ministeriali di riferimento, uno che adotta i Criteri Ambientali Minimi per gli edifici pubblici e uno riguardante le emissioni di formaldeide dai pannelli a base di legno.

I Criteri Ambientali Minimi (D.M. 24/12/15) riguardano la progettazione e costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici e per la gestione dei cantieri della pubblica amministrazione. Introducono dei criteri ambientali di base e premianti per gli appalti pubblici.

Tra questi citiamo l'indice di prestazione energetica globale (EPgl) che deve essere almeno di classe A2 per le nuove costruzioni e un miglioramento di almeno due classi per le ristrutturazioni, la possibilità di aerazione naturale o la presenza di ventilazione meccanica controllata e limiti alle emissioni dei materiali come pitture, vernici, tessili, laminati per pavimenti e rivestimenti, pavimentazioni e rivestimenti in legno, adesivi, sigillanti e pannelli per rivestimenti interni. Questi limiti riguardano i VOC totali ($1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la formaldeide ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e altri 13 composti chimici. I Criteri Ambientali Minimi prevedono inoltre l'adozione di strategie per il comfort termo-igrometrico e limitanti il radon.

È in vigore inoltre il succitato regolamento UE 2011/305 *Construction Products Regulation* che stabilisce che le costruzioni non debbano essere una minaccia per l'igiene o la salute degli occupanti, anche a causa delle emissioni di VOC.

Il decreto sul contenuto di formaldeide è il D.M. 10/10/2008 che prevede un limite di emissione di 0,1 ppm (in rapporto massa/massa ovvero $0,124 \text{ mg}/\text{m}^3$ in rapporto massa/volume) per compensati, pannelli di particelle, di conglomerati in sughero utilizzati per ambienti di vita e soggiorno. Questo fa sì che per ottenere il marchio CE e per poter essere commercializzati tutti i pannelli devono rispondere ai requisiti identificati dal decreto in oggetto, che si allinea alla classe di emissione europea E1, come da norme EN 717-1:2004 e EN 13986:2015.

Infine, a partire dal 1/1/2016 è entrato in vigore il regolamento UE 2015/491 dove la formaldeide viene riclassificata da agente chimico pericoloso (categoria 2) ad agente chimico cancerogeno (categoria 1B).

5 Certificazioni volontarie degli edifici

La certificazione degli edifici è una procedura di valutazione volta a valorizzare prestazioni migliori rispetto ai minimi di legge. I primi schemi certificatori sono stati concepiti soprattutto per promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici. Attualmente si stanno affermando dei sistemi certificatori che prendono in considerazione anche altri aspetti quali prestazioni acustiche, salubrità, benessere e sostenibilità ambientale (inclusi valori soglia per i VOC). Tali schemi rientrano tra le misure volte alla tutela dell'ambiente, sia per un razionale utilizzo delle risorse naturali, sia per un contenimento delle emissioni clima alteranti, ma anche per il miglioramento della qualità degli interni e dei materiali impiegati. Ci sono numerosi schemi di certificazione tra i quali citiamo:

- Il protocollo LEED prevede limiti differenti a seconda che gli edifici siano destinati ad ospedali o meno. Pone limiti alla formaldeide (27 e 16,3 ppb), ai VOC totali ($0,500 \text{ mg}/\text{m}^3$) e ad altri inquinanti.
- Le linee guida CasaClima prevedono l'assenza di isolanti sintetici e/o contenenti fibre nocive e l'assenza di colori e vernici a solvente. Prevedono l'assenza di numerosi inquinanti e un limite di emissione per la formaldeide di 0,050 ppm ($0,062 \text{ mg}/\text{m}^3$), e in caso di adozione della ventilazione meccanica controllata prevede un ricambio d'aria ogni 2 ore.
- Il protocollo Living Building Challenge 3.0 prevede linee guida per la ventilazione, i materiali e limiti alle concentrazioni di formaldeide (50 ppb), VOC totali ($0,500 \text{ mg}/\text{m}^3$) e altri sette inquinanti.

- La certificazione svizzera Minergie-Eco 2011 si applica agli immobili amministrativi, agli edifici scolastici e alle abitazioni. Prevede limiti all'uso di materiali emittenti.

5.1 Linee guida per la progettazione degli edifici

Numerose sono le linee guida pubblicate da fonti autorevoli che possono essere di supporto al progettista nella scelta dei materiali da costruzione al fine di migliorare la qualità dell'aria in ambiente domestico e pubblico.

- Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati sono pubblicate dal Ministero della Salute Italiano e sono parte di un accordo della Conferenza Stato e Regioni (2001).
- Linee Guida sul Comfort del TIS (2015) e le linee guida ARCA (2015) nascono dall'esperienza sul territorio del Trentino Alto-Adige, dove la cultura delle case ad alta efficienza è particolarmente radicata.
- Il manuale sulla qualità dell'aria indoor di ASHRAE (2009) è molto completo ed esauriente.
- Le linee guida dell'organizzazione mondiale della sanità (WHO, 2010) esaminano con precisione alcuni composti nocivi e i meccanismi di azione.
- Linee guida specifiche per il settore scolastico del Ministero della salute (2010) (ISPRA, 2010b, WHO, 2011, MEDAD, 2007, UIKU, 2008) e per le abitazioni (BfS, 2005) sono state pubblicate in molti Paesi. Particolari approfondimenti legati alla salute con valori di soglia consigliati sono riportati in altre linee guida (RIVM, 2007, IVS, 2010, VGAI, 2011).

5.2 Marchi relativi alle emissioni di VOC

A fini comparativi, sono di seguito riportati alcuni tra i principali marchi relativi alla qualità dell'aria indoor. La Tabella 1 si riferisce ai marchi relativi ai prodotti da costruzione mentre la Tabella 2 a quelli certificazione volontaria degli edifici. Ciascuno di essi prevede limitazioni nel contenuto e nelle emissioni di VOC e altre sostanze. Il confronto diretto tra i marchi è estremamente complesso; tuttavia, proponiamo un confronto semplificato su due dei parametri che praticamente tutti gli schemi prevedono: le emissioni di VOC totali (TVOC) e di formaldeide (misurati con il metodo previsto dalla ISO 16000 a 28 giorni). Questo confronto inerente a due soli delle decine di parametri che questi marchi prevedono, vuole essere indicativo della complessità dell'argomento e dell'eterogeneità delle certificazioni. Ci sono enormi differenze tra i marchi, dovute alle metodologie di prova, agli studi scientifici contemplati per giungere ad essi, al compromesso raggiunto tra i produttori di materiali, al limite tecnico-economico nell'uso di sostanze basso-emittenti in fase di produzione, all'effettiva raggiungibilità dello schema.

Si noti che nessuna certificazione dei marchi prevede eccezioni a quei VOC aventi possibile effetto positivo sulla salute, oppure compensazioni per materiali attivi che purificano l'aria.

6 Caso di studio: emissioni VOC di pavimenti in legno

Riportiamo qui in sintesi un caso di studio sviluppato nell'ambito di un progetto ricerca co-finanziato da Fondazione CARITRO (Cassa di Risparmio Trento e Rovereto) e CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) volto a verificare le emissioni di pavimenti in legno biocompatibile di nuova generazione in relazione a pavimenti di legno trattati con prodotti standard.

Le emissioni nei pavimenti non sono state considerate esclusivamente per verificare l'assenza di sostanze volatili che potessero apportare le problematiche anche note – in inglese – come le cinque “d” (disagi, disfunzioni, disabilità, malattie [disease] o decessi), ma anche per gli effetti positivi relativi a specifiche tipologie di VOC specifiche del legno, quali benessere psico-fisico, rallentamento del battito cardiaco, aiuto nell'adsorbimento di farmaci, effetti antinfiammatori, antiossidanti, decongestionanti, antimicrobici, anti-tussivi, broncodilatatori e mucolitici.

Il lavoro è stato svolto su oltre 100 tipologie di pavimenti in legno oliatobiocompatibile, realizzate con prodotti protettivi derivanti da materie prime vegetali, e su circa 40 tipologie di pavimenti standard trattati con prodotti chimici industriali usualmente impiegati dall'industria del legno.

Le analisi sono state effettuate presso il Laboratorio CNR ARCA di Sesto Fiorentino con la tecnica dello spazio di testa e micro-estrazione in fase solida (SPME, *solid-phase microextraction*), una tecnica che utilizza una fibra di silice fusa, rivestita esternamente da una piccola quantità di fase stazionaria adsorbente, che viene esposta al campione (Purcaro *et al.*, 2014); gli analiti vengono desorbiti direttamente nello strumento analitico, che è un gas-cromatografo con spettrometro di massa. Le prove sono rapide e affidabili permettono di limitare l'impiego di solventi¹². Questa metodica permette di processare ed analizzare un elevato numero di provini ed identificare centinaia di composti chimici differenti su ogni provino sottoposto ad analisi.

Questo caso di studio ha fornito una grande mole di risultati che vengono di seguito sintetizzati:

- nessun pavimento in legno presenta tracce le sostanze di cui alla lista in §4.1, eccetto toluene in pavimenti di legno industriali;

¹² Il profilo di composti organici volatili è stato analizzato con SPME-GC-MS (Solid Phase Micro Extraction – Gas Chromatography Mass Spectrometry). È stato utilizzato un cromatografo Agilent 7820 equipaggiato con un 5975C MSD con EI ionization. Una fibra Triphase Carboxen/PDMS/DVB 65 um SPME (Supelco, USA) è stata esposta nello spazio di testa della fialetta a 60 °C per 20 minuti seguendo un tempo di equilibrio di 5 minuti. Per garantire condizioni di estrazione SPME costanti è stato utilizzato un auto-campionatore Gerstel MPS2 XL equipaggiato con un trasporto magnetico e un vassoio agitato termostato.

- i pavimenti in legno ecocompatibili presentano una composizione di emissioni VOC molto variabile, e nel complesso del campionamento eseguito (oltre 100 tipologie di pavimento) sono stati identificati più di 400 composti¹³;
- nella maggior parte dei pavimenti sottoposti a prova, la maggior parte dei VOC (80-90%) è costituita da mono-terpeni, con una forte prevalenza di α - Pinene, β -Pinene, Limonene, 3-Carene;
- il rimanente è costituito prevalentemente da altri VOC definiti “inerti”;
- le emissioni di VOC potenzialmente critici (in funzione della concentrazione) è nulla o trascurabile nei pavimenti ecocompatibili;
- i VOC rilevati nei pavimenti ecocompatibilisi trovano naturalmente nel legno e non mostrano alcun rischio per la salute umana;
- la ricerca bibliografica evidenzia che molti dei VOC emessi dai pavimenti biocompatibili sono le stesse molecole emesse naturalmente dalle foreste di conifere o che si trovano in preparati erboristici contenenti estratti vegetali da erbe e tessuti vegetali;
- le emissioni dei pavimenti in legno standard in generale si differenziano da quelle dei pavimenti ecocompatibili:
la maggior parte dei pavimenti standard, trattati cioè con usuali prodotti protettivi industriali, presentano percentuali di composti potenzialmente nocivi non nulle, e talora significative;
- nel dettaglio, in quasi metà dei pavimenti industriali standard analizzati vi sono emissioni di toluene, un solvente di ampio impiego industriale, composto mai trovato nei pavimenti ecocompatibili.

In Tabella 3 sono riportati i composti organici volatili secondo il principale gruppo di monoterpeni identificati “Terpeni prevalenti” (composto da α - β -Pinene, Limonene e 3-Carene), il gruppo “Altri terpeni”, il gruppo “VOC inerti” ed infine il gruppo “VOC critici”, che raggruppa i VOC che vengono riportati sugli elenchi degli organismi internazionali e/o da regolamenti europei (IARC, US EPA Red List e Regolamento CE 1272/2008).

In Tabella 4 viene specificata la concentrazione del toluene rispetto agli VOC critici presenti, che vengono specificati per le tipologie di pavimenti.

La modalità di indagine e il metodo di misurazione adottato (spazio di testa), necessari per indagare la mole di materiale campionato e per identificare le centinaia di composti, non permette di stabilire le concentrazioni delle emissioni secondo le (diverse) modalità cui fanno riferimento Direttive, Regolamenti, Decisioni Europee e il Decreto Ministeriale italiano citati; tuttavia l’assenza di formaldeide ci permette di affermare che i pavimenti di legno del caso di studio, sia quelli ecocompatibili sia quelli industriali, rispondono ai requisiti e criteri di legge.

Inoltre l’assenza di toluene e di altri VOC critici e la contemporanea presenza di α - β -Pinene, Limonene, 3-Carene ed altri monoterpeni di origine vegetale fornisce una chiave di spiegazione della sensazione di benessere che spesso molti associano ai pavimenti in legno di qualità.

¹³ A mero titolo esemplificativo si riporta qui l’elenco dei VOC identificati in uno dei pavimenti sottoposti a misurazione: Pentane, Ethyl ether, Octane, Acetone, Pentanal, Decane, Toluene, Tricyclene, α -Pinene, d-Camphene, Camphene, β -Pinene +, Sabinene, Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-, Carvomenthene, 3-Carene +, 3-Carene ++, β -Pinene ++, α -Fellandrene +, α -Fellandrene ++, m-Cymene +, α -Terpinene, Heptanal, 2,3-Dehydro-1,8-cineole, Limonene, β -Phellandrene, o-Cymene, Terpinolene, m-Cymene ++, Fenchone, Acetic acid, Dehydro-p-cymene, α -Cubebene, Fenchyl acetate, α -Longipinene, Ylangene, α -Campholenal, Copaene, Longicyclene, Camphor, Fenchol, Bornyl acetate, Longifolene, Myrtenal, L-pinocarveol, Isoborneol, cis-Verbenol, Terpeneol, Borneol, Verbenone, δ -Cadinene, γ -Cadinene, Myrtenol, p-Cymen-8-ol, Calamenene

Bibliografia

Articoli scientifici e linee guida

- Ahluwalia, S.K., Peng, R.D., Breyse, P.N., Diette, G.B., Curtin-Brosnan, J., Aloe, C., et al., 2013. Mouse allergen is the major allergen of public health relevance in Baltimore City. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 2013; 132: 830-835
- AFSSET, 2001. Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur (VGAI). Agence Nationale de Sécurité Sanitaire l'alimentation, de l'environnement et du travail. Le Directeur Général Maisons-Alfort, ANSES; 2011.
- AgBB, 2015. Evaluation procedure for VOC emissions from building products. Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten. February 2015
- AOLG, 1993. Ad-hoc working group for indoor air guide values. Innenraumlufthygiene-Kommission and the permanent working group of the Highest State Health Authorities (Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden, AOLG). Umwelt Bundesamt; 1993.
- APPA Bolzano, 2016. Progetto "Aria viziata a scuola", a cura di Luca Verdi, APPA, Provincia Autonoma di Bolzano. <http://www.provincia.bz.it/news/it/news.asp?art=Press548749>
- Arbes et al., 2005. Feasibility of subject-collected dust samples in epidemiologic and clinical studies of indoor allergens. *Environmental Health Perspectives* 2005; 113: 665-9
- ARCA, 2015. Linee guida ARCA per la salubrità dell'aria indoor, 2015
- ASHRAE, 2009. Indoor air quality guide, 2009, ASHRAE. ISBN 978-1-933742-59-5
- Bandel A., 2008. Incollare il Legno, CATAS, 2008
- Barret P., 2015. Clever Classrooms study, Summary report of the HEAD project, University of Salford, Manchester, UK
- BfS, 2005. A healthier home – but how? Practical Everyday Tips, Bundesamt für Strahlenschutz, 2005.
- Braubach M., D. E Jacobs, D. Ormandy, 2011. Environmental burden of disease associated with inadequate housing. A method guide to the quantification of health effects of selected housing risks in the WHO European Region. Summary report. 13 pages, ISBN 978 92 890 0239 4
- Bulian, 2008. Verniciare il legno. Composizione, impiego e prestazioni dei prodotti vernicianti. Hoepli
- Bulian, 2012. Materiali e tecnologie dell'industria del mobile. Goliardiche
- Butler, DA, Madhavan, G, 2016. Indoor exposure to particulate matter – The state of science. IAQ 2016.
- Brough et al., 2013. Peanut protein in household dust is related to household peanut consumption and is biologically active. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 2013; 132: 630-8
- Chew et al., 2005. Mouse and cockroach allergens in the dust and air in northeastern US inner-city public high schools. *Indoor Air* 2005; 15: 228-34.
- Conferenza Stato Regioni, 2001. Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati. (GU Serie Generale n.276 del 27-11-2001 - Suppl. Ordinario n. 252)
- ECA, 2006. Strategies to determine and control the contributions of indoor air pollution to total inhalation exposure. European Collaborative Action Report No. 25, ISBN 92-79-03453-7
- ECA, 2013. Harmonisation framework for health based evaluation of indoor emissions from construction products in the European Union using the EU-LCI concept. European Collaborative Action Report No. 29, ISBN 978-92-79-33194-7
- EN 717-1, 2004. Pannelli a base di legno - Determinazione del rilascio di formaldeide - Parte 1: Emissione di formaldeide con il metodo della camera
- EN 13986, 2015. Pannelli a base di legno per l'utilizzo nelle costruzioni - Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura
- Finkelman FD., 2014. Diesel exhaust particle exposure during pregnancy promotes development of asthma and atopy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 2014; 134: 73-74
- Fuselli S, Musmeci L, Pillozzi A, Santarsiero A, Settimo G, Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor (Ed.). Workshop. Problematiche relative all'inquinamento indoor: attuale situazione in Italia. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 25 giugno 2012. Atti. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/39)
- Hansel et al., 2008. A longitudinal study of indoor nitrogen dioxide levels and respiratory symptoms in inner-city children with asthma. *Environmental Health Perspectives* 2008; 116: 1428-32).
- Herbarth, O. and Matysik, S. (2010), Decreasing concentrations of volatile organic compounds (VOC) emitted following home renovations. *Indoor Air*, 20: 141–146. doi:10.1111/j.1600-0668.2009.00631.x
- King E. M., 2016. Allergen Exposures and the Quest for a Healthier Home, IAQ 2016, Washington DC
- IVS, 2010. Guide de gestion de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public, Institut de Veille Sanitaire
- MEDAD, 2007. Recenser, prévenir et limiter les risques sanitaires environnementaux dans les bâtiments accueillant des enfants, Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables
- Ministero della Salute, 2010. Schema di linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie e asma, Ministero della Salute, 2010
- ISPRA, 2010a. Inquinamento Indoor: aspetti generali e casi studio in Italia, Ministero dell'Ambiente
- ISPRA, 2010b. Qualità dell'aria nelle scuole: un dovere di tutti, un diritto dei bambini, Ministero dell'Ambiente

- Oeder et al., 2012. Airborne indoor particles from schools and more toxic than outdoor particles. *American Journal of Respiratory, Cellular and Molecular Biology* 2012; 47: 575-82
- Purcaro G., Moret S., Conte L.S. (2014) Microestrazione in fase solida (SPME). In: Il campione per l'analisi chimica. Food. Springer, Milano Regione Toscana Direzione Generale Diritti di cittadinanza e coesione sociale, 2011. Progetto INDOOR, Studio sul comfort e sugli inquinanti fisici e chimici nelle scuole, Regione Toscana
- RIVM, 2007. Health-based guideline values for the indoor environment, National Institute for Public Health and the Environment. Report 609021044, BA Bilthoven
- Savage et al., 2012. Urinary levels of triclosan and parabens are associated with aeroallergen and food sensitization. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 2012; 130: 453-60
- Sexton K., Larry L. Needham and James L. Pirkle, 2004. Human Biomonitoring of Environmental Chemicals, *American Scientist*, Volume 92.
- TIS, 2015. Linee Guida sul Comfort, Gruppo di lavoro IEQ del Cluster Edilizia TIS, 2015
- UIKU, 2008. Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden - Guidelines for indoor air hygiene in school buildings, Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes
- USEPA, 1991. Sick Building Syndrome, United States Environmental Protection Agency, Indoor Air Facts No. 4 (revised) 1991.
- VGAI, 2011. Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur (VGAI), Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- Weschler, C.J., Wells, J.R., Poppendieck, D., Hubbard, H. and Pearce, T.A., 2006. Workgroup report: Indoor chemistry and health. *Environmental Health Perspectives* 114, 442-446.
- WHO, 2010. Guidelines for indoor air quality: selected pollutants (2010). ISBN 978 92 890 0213 4
- WHO, 2011. Methods for monitoring indoor air quality in schools, WHO, 2011

Normativa

Unione Europea

- Direttiva 2004/42/CE relativa alla limitazione delle emissioni di composti organici volatili dovute all'uso di solventi organici in talune pitture e vernici e in taluni prodotti per carrozzeria
- Direttiva 2008/112/CE relativo alla classificazione, all'etichettatura ed all'imballaggio delle sostanze e delle miscele
- Decisione 2014/312/UE che stabilisce i criteri ecologici per l'assegnazione di un marchio comunitario di qualità ecologica ai prodotti vernicianti per esterni e per interni.
- Regolamento UE 2011/305 Regolamento Prodotti da Costruzione
- Regolamento UE 2015/491 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele

Italia

- D.Lgs. n. 161/2006 del 27 marzo 2006, Attuazione della direttiva 2004/42/CE, per la limitazione delle emissioni di composti organici volatili conseguenti all'uso di solventi in talune pitture e vernici, nonché in prodotti per la carrozzeria.
- D.Lgs. n. 33/2008 del 14 febbraio 2008, Modifiche al decreto legislativo 27 marzo 2006, n. 161, recante attuazione della direttiva 2004/42/CE per la limitazione delle emissioni di composti organici volatili conseguenti all'uso di solventi in talune pitture e vernici, nonché in prodotti per la carrozzeria
- D. Lgs. n. 39/2016 del 15 febbraio 2016, modifiche al Testo Unico Sicurezza che riguardano il Titolo IX "Sostanze Pericolose", in particolare: - Nuove definizioni miscele pericolose, agenti cancerogeni e mutageni, ecc; - Schede di Sicurezza; - Cartelli e stoccaggio
- D.M. 10/10/2008, Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali. Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeidi formica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno
- D.M. 24/12/2015, Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare. Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici per la gestione dei cantieri della pubblica amministrazione e criteri ambientali minimi per le forniture di ausili per l'incontinenza.

Tabella 1: Marchi relativi alle emissioni indoor

	Indoor TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Formaldeide [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Nature Plus	300	36
Sentinel Partner Sentinel HAUS	1000	60
DerBlaue Engel	400	60
Marchio CE	-	124
Emissionsdans l'air interieur	A+ 1000 A 1500 B 2000 C >2000	A+ 10 A 60 B 120 C >120

Tabella 2: Protocolli di certificazione edilizia

	Indoor TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Formaldeide [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
LEED - Leadership in Energy and Environmental Design	Indoor: 200 Healthcare: 500	Indoor: 20 Healthcare: 33
ARCA	1000 -	60 40
IBN - Institut für Baubiologie Nachhaltigkeit	<100 300 1000 >1000	<20 50 100 >100
Living Building Challenge	500	61
CasaClima-KlimaHaus	300	62

Tabella 3: Caso di studio – VOC dei pavimenti in legno e riferimenti ai data-base CE 1272-2008, IARC e US EPA Red List

Cod.	Prodotto	Terpeni prevalenti (*) %	Altri terpeni %	VOC inerti %	VOC critici %	Lista di referenza dei VOC critici
Pavimenti eco-compatibili						
59	Rovere riflesso	73,0	25,6	1,4	-	-
83	Acerio europeo aura, oliato	19,6	72,4	8,0	-	-
84	Ciliegio Americano oliato	46,7	49,2	4,1	-	-
89	Larice luce, oliato	74,8	20,5	4,1	0,6	CE 1272-2008
96	Noce naz. fior di natura, oliato	76,1	21,4	2,4	0,1	CE 1272-2008
100	Teak burma fior di terra, oliato	64,6	27,9	7,5	-	-
Pavimenti industriali						
104	Rovere oliato e listellare	66,6	8,6	3,5	21,3	CE 1272-2008
105	Rovere oliato e abete	45,4	9,2	11,1	34,3	IARC
106	Rovere oliato e abete	56,6	9,0	4,3	30,1	IARC
108	Rovere oliato e multistrato	70,8	11,9	17,2	0,1	REDLIST, IARC
109	Rovere oliato e abete	20,6	10,4	2,5	66,5	IARC
114L	Latifoglia tropicale e multistrato	2,9	38,8	18,5	39,8	CE 1272-2008

Nota * α - β -Pinene limonene, 3-carene

Tabella 4: Caso di studio – Concentrazione di toluene e di altri VOC critici nei pavimenti in legno

Cod.	Prodotto	Toluene (%)	Altri VOC critici (%)	Identificativi VOC critici
Pavimenti eco-compatibili				
59	Rovere riflesso	-	-	-
83	Acerο europeo aura, oliato	-	-	-
84	Ciliegio Americano oliato	-	-	-
89	Larice luce, oliato	-	0,6	Hexanoic acid
96	Noce naz. fior di natura, oliato	-	0,1	Octane
100	Teak burma fior di terra, oliato	-	-	-
Pavimenti industriali				
104	Rovere oliato e listellare	20,9	0,4	Furfural
105	Rovere oliato e abete	33,1	1,2	Furfural
106	Rovere oliato e abete	29,4	0,7	Furfural
108	Rovere oliato e multistrato	-	0,1	Ethylbenzene, Dicloromethane
109	Rovere oliato e abete	64,8	0,7	Ethylbenzene
114L	Latifoglia tropicale e multistrato	-	39,8	Pseudocumene, Ethylbenzene