



**REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

ASSESSORADU DE S'IGIENE E SANIDADE E DE S'ASSISTÈNTZIA SOTZIALE
ASSESSORATO DELL'IGIENE E SANITÀ E DELL'ASSISTENZA SOCIALE

PIANO REGIONALE DI PREVENZIONE 2014-2018

Programma P-8.2 “Supporto alle Politiche Ambientali”

Azione P-8.2.4 “Promozione di buone pratiche in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici per il miglioramento della qualità dell’aria indoor”

REPORT

Attività P-8.2.4.3

Analisi ed elaborazione del materiale raccolto

DICEMBRE 2017



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Il Gruppo di Lavoro

Dott. Augusto Sanna in rappresentanza dell'Assessorato Regionale dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale

Dott.ssa Grazia Serra in rappresentanza della S.S.D Salute e Ambiente della ASSSL di Cagliari (Azienda Sanitaria Capofila in materia di Salute e Ambiente)

Ing. Sergio Goddi in rappresentanza dell'Assessorato Regionale della Difesa dell'Ambiente

Ing. Giorgio Speranza delegato in sostituzione dell'Ing. Barbara Costa in rappresentanza dell'Assessorato Regionale degli Enti Locali, Finanze ed Urbanistica

Dott.ssa Donatella Fracasso in rappresentanza della ASSSL di Sassari

Dott. Carlo Oggiano in rappresentanza della ASSSL di Olbia

Dott. Berndt Fischbach in rappresentanza della ASSSL di Nuoro

Dott. Ugo Stochino in rappresentanza della ASSSL di Lanusei

Geom. Giovanni Pietro Moretti in rappresentanza della ASSSL di Oristano

TdP Dott. Luigi Piano in rappresentanza della ASSSL di Sanluri

Geom Danilo Serra in rappresentanza della ASSSL di Carbonia

Dott. Pierpaolo Nurchis in rappresentanza della ASSSL di Cagliari

Dott. Alessandro Serci in rappresentanza dell'ARPAS

Prof. Marco Schintu del Dipartimento di Scienze Mediche e Sanità Pubblica dell'Università degli Studi di Cagliari

Dott. Umberto Oppus. in rappresentanza dell'ANCI Sardegna

Arch. Silvano Piras in rappresentanza dell'Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Cagliari, del Medio Campidano e di Carbonia Iglesias

Arch. Giacomo Enrico Mentasti in rappresentanza dell'Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori delle Province di Sassari e Olbia-Tempio

Arch. Gabriele Manca in rappresentanza dell'Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Oristano

Arch. Antonio Dejua in rappresentanza dell'Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori delle Province di Nuoro e Ogliastra

Ing. Luigi Costante in rappresentanza dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cagliari,

Ing. Luigi Berti (membro supplente) in rappresentanza dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cagliari,

Ing. Pierpaolo Scanu in rappresentanza dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Sassari,

Dott. Geol. Mauro Pompei e Dott. Geol. Antonio Soggiu in rappresentanza dell'Ordine dei Geologi della Sardegna.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Indice

Premessa	4
1 Fonti di rischio	5
1.1 Inquinanti indoor	5
1.2 Materiali da costruzione	21
2 Legislazione in materia	28
2.1 Legislazione relativa agli inquinanti chimici indoor	28
2.2 Legislazione relativa al Radon.....	31
2.3 Legislazione relativa ai materiali da costruzione	33
2.4 Il Regolamento CE n. 1272/2008	35
2.5 Norme relative all'amianto.....	36
2.6 Norme tecniche relative alle portate di rinnovo dell'aria indoor	36
3 Aspetti sanitari legati all'inquinamento indoor	38
3.1 L'ambiente confinato come determinante di salute.....	38
3.2 La rilevanza epidemiologica dell'ambiente confinato	38
3.3 I Gruppi delle principali patologie	39
4 Sistemi di riduzione/abbattimento dei livelli di inquinanti indoor	51
4.1 Riduzione delle sorgenti di inquinanti	51
4.2 Rimozione degli inquinanti alla fonte	52
4.3 Diluizione degli inquinanti mediante sistemi di ventilazione.....	52
4.4 Riduzione della concentrazione di Radon.....	54
5 Linee di indirizzo – regolamenti edilizi	62
6 Bibilografia	67
Allegato Classificazione del territorio regionale della Sardegna con individuazione delle aree a rischio Radon - Rapporto Attività 1° Semestre di indagine	68



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Premessa

L'Azione P-8.2.4 del Programma P-8.2 "Supporto alle Politiche Ambientali" del Piano Regionale di Prevenzione 2014-2018 (PRP), adottato con Deliberazione della Giunta Regionale n. 30/21 del 16.06.15, prevede la promozione di buone pratiche in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ ristrutturazione di edifici per il miglioramento della qualità dell'aria indoor.

In particolare con la suddetta Azione si intende promuovere le buone pratiche, anche in relazione al rischio radon, per il miglioramento della qualità dell'aria indoor, mediante la predisposizione, l'adozione e la divulgazione di Indirizzi regionali specifici per orientare i regolamenti edilizi in chiave eco-compatibile.

A tale scopo è stato coinvolto un apposito gruppo di lavoro intersettoriale (appositamente costituito con Determinazione del Direttore Generale della Sanità n. 38/2016 e modificato/integrato con Determinazioni del medesimo Direttore n. 1370/2016, n. 1101/2017 e n. 1195/2017) comprendente i rappresentanti degli Assessorati Regionali della Sanità, della Difesa dell'Ambiente, dell'Urbanistica, dei Dipartimenti di Prevenzione ASL (ora ASSL dell'ATS Sardegna), dell'ARPAS, dell'ANCI, degli Ordini Professionali (Architetti e pianificatori, Ingegneri, Geologi) e del Dipartimento di Scienze Mediche e Sanità Pubblica dell'Università degli Studi di Cagliari.

Il GdL ha proceduto nel 2016, in ottemperanza con quanto previsto dall'Attività P-8.2.4.2 dell'Azione P-8.2.4, al reperimento di documentazione (dati, studi, linee guida, Regolamenti edilizi) in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici anche in relazione al rischio radon, in ambito regionale, nazionale ed internazionale, per ampliare il quadro conoscitivo sulle problematiche correlate alla qualità dell'aria indoor e sui sistemi di riduzione/abbattimento dei livelli degli inquinanti indoor, ed ha, nell'ambito della suddetta Attività, prodotto un Report, ratificato dal medesimo GdL il 16.12.2016 e pubblicato sul sito istituzionale della Regione Sardegna all'indirizzo <http://www.regione.sardegna.it/j/v/2568?s=328000&v=2&c=1250&t=1>.

Il materiale raccolto nell'ambito della suddetta Attività P-8.2.4.2 dell'Azione P-8.2.4 è stato analizzato ed elaborato nel corso del 2017 dal GdL che, in attuazione dell'Attività P-8.2.4.3, ha prodotto il presente Report relativo allo stato dell'arte in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici, anche in relazione al rischio radon.

Al presente Report è allegato il Rapporto prodotto da ARPAS, inerente ai primi sei mesi di attività nell'ambito dell'attuazione del progetto "Classificazione del territorio regionale con individuazione delle aree a rischi radon", ritenuto necessario dal GdL e per il quale - a seguito di apposito finanziamento dell'Assessorato dell'Igiene e Sanità e dell'Assistenza Sociale - è stata stipulata nel 2016 apposita convenzione tra la ASL di Cagliari (capofila in materia di salute e ambiente) e l'ARPAS (soggetto attuatore).



1 Fonti di rischio

1.1 Inquinanti indoor

Gli inquinanti atmosferici possono essere classificati in relazione alla provenienza, alle modalità di rilascio negli ambienti interni (indoor) o esterni (outdoor) e allo stato fisico (gassosi, particolati). Gli inquinanti primari sono direttamente emessi in atmosfera, quelli secondari si formano come risultato di reazioni chimiche con altri inquinanti o gas atmosferici.

<i>Inquinanti</i>	<i>Inquinanti</i>	<i>Fonti</i>
INDOOR Primari	CO, IPA, NO _x , SO ₂ , PM	Processi di combustione a gas /Carbone per riscaldare e/o cucinare, camini e stufe a legna, sigarette
	Amianto, fibre vetrose e artificiali, PM, Radon, agenti biologici (per presenza di umidità e/o polvere)	Materiali da costruzione e isolanti
	Formaldeide, acrilati, COV e agenti biologici (per presenza di umidità e/o polvere)	Materiali di rivestimento, moquette e arredi
	Alcoli, fenoli, COV, Interferenti endocrini	Liquidi e prodotti per la pulizia
	Ozono(O ₃), polvere di toner, COV	Stampanti laser, fotocopiatrici
	IPA, COV, formaldeide, CO, particolato fine	Fumo di sigaretta
	CO ₂ e COV, agenti biologici	Impianti di condizionamento
	Agenti biologici (allergeni indoor: acari)	Polvere
	CO ₂ e agenti biologici (batteri, virus, ecc.)	Individui
	Allergeni indoor(peli, ecc)	Animali
	Radon	Substrati rocciosi e materiali da costruzione, in particolare rocce magmatiche plutoniche-tipo granitoide e rocce magmatiche vulcaniche-tipo riolitico riodacitico
OUTDOOR Primari Secondari	SO ₂ , NO _x CO, PM, COV, metalli, sabbia e polveri inorganiche O ₃ , PM	Industrie
		Impianti energetici
		Inceneritori
		Attività commerciali
		Traffico auto-veicolare
		Attività agricole



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Gli agenti chimici, per la loro eterogeneità, saranno articolati per famiglia di appartenenza e, per ciascuna di esse, sarà descritto il composto più significativo da un punto di vista sanitario. Inoltre sarà preso in esame il microclima nei suoi caratteri principali (temperatura e umidità) in quanto importante fattore condizionante gli effetti sulla salute degli agenti inquinanti. Uno stesso inquinante può originare da diverse fonti e in molti casi non si tratta di un unico tipo di inquinante ma di intere famiglie di sostanze che possono avere effetti anche molto diversi: COV, IPA, Interferenti Endocrini (IE) ecc.

1.1.1 Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Gli IPA (Idrocarburi policiclici aromatici) sono un vasto gruppo di composti costituiti dalla fusione di due (il naftalene è trattato in dettaglio nel prossimo paragrafo) o più anelli benzenici. Si formano principalmente per combustione incompleta o decomposizione di materia organica indotta da calore. Sono compresi tra gli IPA il benzopirene, il metilcolantrene e il benzo(a)pirene. Quest'ultimo è il più importante per i suoi effetti sulla salute in quanto è un probabile cancerogeno per la specie umana (gruppo 2A IARC). Nel caso di IPA a basso peso molecolare (due o tre anelli), essi sono prevalentemente nella fase vapore, mentre IPA con un numero di anelli superiore a cinque e ad alto peso molecolare sono sotto forma di particolato. Gli IPA con peso molecolare intermedio (4 anelli) sono suddivisi, a seconda della temperatura ambiente, tra la forma vapore e quella di particolato; quelli sotto forma di particolato sono considerati i più pericolosi per la salute e alcuni di questi sono dotati di attività cancerogena. La contaminazione da IPA dell'aria indoor è dovuta alla loro infiltrazione o intrusione dall'aria esterna e dall'emissione di IPA proveniente da sorgenti presenti negli ambienti interni quali fumo, riscaldamento domestico, cucine ed emissioni derivanti da candele e incenso. In atmosfera gli IPA possono essere sottoposti a fotolisi diretta, anche se il processo può essere ritardato per adsorbimento del particolato. Essi reagiscono con ozono, radicali idrossilici, biossido di azoto e anidride solforosa, formando, rispettivamente, dioni, nitro- e dinitro-IPA e acidi solfonici. Gli IPA possono essere degradati da alcuni funghi e microrganismi nel suolo e possono essere metabolizzati da una grande varietà di organismi terrestri e acquatici. Le emissioni di IPA da traffico costituiscono la principale fonte esterna per l'aumento degli stessi in ambiente indoor; le emissioni derivanti da veicoli a motore rappresentano circa il 46-90% sul totale delle emissioni. Altre fonti esterne che possono interagire con l'ambiente indoor, derivano da impianti industriali, centrali elettriche e inceneritori. La concentrazione di IPA all'interno di un edificio è funzione dell'età di quest'ultimo, in quanto le fonti esterne hanno un maggiore impatto su edifici ad età più elevata, portando, pertanto, al loro interno ad una maggiore concentrazione. La fonte principale di IPA in ambienti interni è legata alla presenza di fumo da sigaretta; infatti, è stato riscontrato che nelle case in cui sono presenti fumatori, l'87% del totale degli IPA presenti all'interno è a loro imputabile. Altre fonti interne sono dovute principalmente ai sistemi di cottura e di riscaldamento con combustibili solidi. È stato riscontrato che la concentrazione di IPA a basso molecolare (due o tre anelli) è maggiore all'interno di un edificio rispetto alla concentrazione in aria esterna, mentre quelli a maggiore peso molecolare (quattro o più anelli) presentano concentrazioni più elevate all'esterno che all'interno. Questo presuppone che la qualità dell'aria esterna influenzi quella interna quanto all'esterno sono presenti IPA con un numero di anelli superiore a quattro. Alcuni studi hanno comunque evidenziato che il rapporto interno/esterno di IPA con più di quattro anelli è maggiore di 3 e questo è,



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

presumibilmente, dovuto al fatto che nell'ambiente interno sono presenti altre fonti che devono essere tenute in considerazione, quali ad esempio fumo e fonti di cottura e di riscaldamento. Ad ogni modo, il fumo da sigaretta presente all'interno degli edifici è il fattore che incide maggiormente nel rapporto interno ed esterno; diversi studi riportano che il rapporto interno/esterno è pari a 1,4 per ambienti interni senza presenza di fumatori e, pari a 4,3 in presenza di fumatori. Rapporti elevati, pari a 4,5, sono anche stati riscontrati in abitazioni che fanno uso di stufe a cherosene.

Naftalene

Il naftalene, di formula $C_{10}H_8$, si produce per distillazione e cristallizzazione di catrame di carbone. È utilizzato per la sintesi di plastificanti a base di ftalato e resine sintetiche, come materia prima per la produzione di anidride ftalica. Viene anche utilizzato come materiale di base per gli acidi solfonici naftalenici spesso usati per la produzione di plastificanti per il calcestruzzo, come sostanza per cartongesso, come disperdente delle gomme naturali e sintetiche. Viene inoltre utilizzato per la produzione di vernici, di insetticidi e come repellente e disinfettante. Esso è contenuto anche nel fumo di sigaretta, nell'olio combustibile e nelle benzine. Il naftalene e i suoi alchil-omologhi, sono i maggiori costituenti del creosoto che viene utilizzato come impregnante per il legno. Le fonti esterne di naftalene derivano dai gas di scarico dei veicoli a motore e dal rilascio in atmosfera dalla volatilizzazione degli olii combustibili e dal catrame. Fonti usuali di naftalene indoor derivano dalle stufe di cherosene non ventilate e il fumo di tabacco. Le concentrazioni indoor sono in genere superiori di alcuni ordini di grandezza rispetto alla concentrazione outdoor. L'esposizione principale è dovuta alla sua inalazione, soprattutto nelle zone ad alta densità di traffico; di importanza minore, anche se non trascurabile, è l'esposizione cutanea. È stato valutato che la dose giornaliera, per un uomo di 70 kg, derivante dall'assunzione di naftalene dall'aria, dal cibo e dalla polvere presente negli edifici è pari, rispettivamente, a 1.127, 0.237 e 0.235 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Alcuni studi effettuati a livello europeo, hanno dimostrato che la concentrazione media all'interno degli edifici è inferiore a 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Valori elevati, fino a 970 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sono stati riscontrati in materiali bituminosi utilizzati come impermeabilizzanti per i pavimenti.

1.1.2 Composti Organici Volatili (VOC)

I VOC, secondo quanto previsto dall'art. 268, c. 11 del DLgs152/2006, sono i composti organici che a 20°C presentano una tensione di vapore superiore a 0,01 kPa. Sono da considerarsi VOC gli idrocarburi alifatici, aromatici e clorurati, aldeidi, terpeni, alcoli, esteri e chetoni. Tra i più diffusi negli ambienti indoor sono il limonene e il toluene, anche se il più importante, per quanto riguarda gli aspetti indoor, è la formaldeide (trattata in altra sezione del presente rapporto). Tra le sorgenti di inquinamento da VOC sono da considerare i materiali da costruzione e gli arredi (es. mobili, moquette, rivestimenti); queste sorgenti possono fornire emissioni continue durature nel tempo (settimane o mesi). L'emissione, e quindi la concentrazione, di VOC da tali fonti è superiore nel periodo di posa dei materiali da costruzione o all'installazione degli arredi; tale concentrazione tende a diminuire in tempi brevi, ad eccezione della formaldeide che viene rilasciata in modo costante per molti anni. Altre fonti di VOC presenti negli ambienti indoor derivano da prodotti cosmetici o deodoranti, da dispositivi di riscaldamento, da materiali di pulizia e prodotti vari (es. colle, adesivi, solventi, vernici,), da abiti



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

trattati recentemente in lavanderie, dal fumo di sigaretta e strumenti di lavoro (stampanti e fotocopiatrici). I VOC possono anche provenire dall'aria esterna, se l'edificio è prossimo a zone ad alto inquinamento, quali ad esempio, vie ad alto traffico e parcheggi sotterranei. Come detto precedentemente, appartengono ai VOC tutta una classe di composti organici. Di seguito si riportano le i principali sostanze, per ogni singola classi di composti, e la principale fonte di queste sostanze in aria indoor

Classi di composti	Principali sostanze	Principale fonte indoor
Idrocarburi alifatici	Propano Butano Esano Limonene	Combustibili, detersivi, propellenti ad aerosol, refrigeranti, basi di profumi, aromatizzanti
Idrocarburi alogenati	Cloroformio Cloruro di metilene Pentaclorofenolo	Propellenti ad aerosol, pesticidi, refrigeranti, sgrassatori
Idrocarburi aromatici	Benzene Toluene Xilene	Vernici, pitture, colle, smalti, lacche, detersivi
Alcoli	Alcool etilico Alcool metilico	Detersivi per finestre, vernici, diluenti, adesivi, cosmetici

Benzene

È un composto aromatico, di formula C_6H_6 , con un singolo anello di carbonio insaturo con sei atomi di carbonio. È un liquido chiaro, incolore, volatile, altamente infiammabile con odore caratteristico e una densità di 874 kg / m³ a 25 °C; alla pressione di 1 atmosfera ha un punto di fusione di 5.5 ° C, relativamente e punto di ebollizione di 80,1 °C e alta pressione vapore (12,7 kPa a 25 °C), facendolo evaporare rapidamente a temperatura ambiente. È leggermente solubile in acqua (1,78 g / l a 25 ° C) ed è miscibile con la maggior parte dei solventi organici. Il benzene è riconosciuto come cancerogeno certo per la specie umana (gruppo 1 IARC sin dal 1982). Nell'aria esiste prevalentemente nella fase vapore, con tempi di permanenza variabili da un giorno a due settimane, a seconda dell'ambiente, del clima e della concentrazione di altri inquinanti. La sua presenza e la relativa concentrazione negli ambienti indoor è dovuta a fonti interne ed esterne. Tra quelle interne si annoverano i materiali da costruzione, i mobili, i garage, i sistemi di riscaldamento, i sistemi di cottura e i solventi presenti all'interno degli ambienti indoor. La sua concentrazione può anche essere influenzata dalle condizioni climatiche e dal tasso di ricambio dell'aria derivante dalla ventilazione forzata e/o naturale. Tra le fonti esterne le principali sono quelle derivanti dal traffico e sono influenzate dalla stagione e dalle condizioni meteorologiche; altre fonti esterne derivano dalla presenza di stazioni di servizio e dalla presenza di alcune tipologie di industrie (ad es. del carbone, del petrolio, del gas naturale, dell'acciaio e di prodotti chimici). I materiali utilizzati nella costruzione, nella ristrutturazione e nella decorazione sono tra le principali cause di rilascio di benzene all'interno degli edifici. Alcuni materiali utilizzati per l'arredo e materiali polimerici in vinile, PVC e pavimenti in gomma, nonché tappeti in nylon e lattice, possono contenere quantità di benzene in tracce. Può inoltre essere presente anche di mobili in compensato, in vetroresina, nei rivestimenti in legno, nelle colle



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

usate per i pavimenti e nelle vernici. Elevate concentrazioni di benzene, dovute al suo rilascio dai materiali degli arredi, sono state riscontrate negli edifici di recente costruzione e/o ristrutturati; in questi ambienti si è riscontrato che la velocità di emissione del benzene dai tali materiali tende a decadere nel tempo, raggiungendo, dopo alcuni mesi, una velocità di emissione costante. Se l'edificio ha un garage collegato in modo diretto, il 40-60% del benzene presente nell'edificio è dovuto alla sua presenza, derivante dagli scarichi delle automobili e dei materiali (quali ad esempio, olii, vernici, lacche), e le sue concentrazioni possono raggiungere valori fino a $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aumenti di concentrazioni di tale composto all'interno degli edifici si riscontrano, in caso di scarso ricambio d'aria nel locale, anche in caso di uso di combustibili - quali il carbone, il legno, il gas, il petrolio o il gas petrolifero liquido (GPL) - utilizzati per il riscaldamento e la cottura dei cibi; elevate concentrazioni di benzene, comprese tra $44-167 \mu\text{g}/\text{m}^3$, possono anche aversi nel caso di uso di stufe a lega di cherosene. Altra fonte deriva dal fumo di tabacco ambientale, considerato una delle principali fonti di presenza del benzene negli ambienti interni; la sua quantità può variare da 430 a 590 μg per sigaretta. Nelle abitazioni senza fumatori sono generalmente rilevati livelli inferiori a $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$, mentre in quelle con fumatori sono presenti livelli generalmente superiori ($0,01-0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$). Studi effettuati negli Stati Uniti, hanno dimostrato una assunzione quotidiana di benzene da aria ambientale interna compresa tra 180 e 1300 $\mu\text{g}/\text{giorno}$ e nei cibi e acqua fino a $1,4 \mu\text{g}/\text{giorno}$. Le concentrazioni di benzene in ambienti confinati sono normalmente superiori rispetto a quelli in aria esterna; a tal proposito è stato dimostrato che le concentrazioni di benzene in aria interna sono superiori di 0,6-3,4 volte rispetto a quello presente nell'aria esterna.

Formaldeide

La formaldeide (formula $\text{H}-\text{CH}=\text{O}$) è un gas incolore, infiammabile e altamente reattivo a temperatura ambiente. Commercialmente è venduta in soluzione acquosa al 30-50% (meglio nota come formalina). In aria ambiente è foto ossidata ad anidride carbonica; essa reagisce rapidamente con i radicali idrossilici per formare acido formico. La formaldeide è presente in ambito ambientale, perché si forma da numerose fonti naturali e attività antropiche. Nell'ambiente naturale, viene prodotta dalla combustione di biomasse, quali foreste e cespugli. Le fonti antropiche derivano da emissioni industriali e dalla combustione dei carburanti dei veicoli circolanti. Altre fonti responsabili della produzione di formaldeide in aria sono quelle che scaturiscono dai processi di combustione quali, ad esempio, dalle centrali elettriche e inceneritori. La formaldeide viene usata per la produzione di resine, come disinfettante e fissativo o come conservante in molti prodotti di consumo; essa si forma anche a seguito di processi di ossidazione di composti organici volatili (VOC), e di reazioni tra l'ozono (presente nell'aria esterna) e alcheni (in particolare terpeni). Negli ambienti interni, le sorgenti principali che portano alla formazione di formaldeide sono dovuti a processi di combustione derivanti dal fumo, dal riscaldamento, dalla cottura. In tali ambienti, anche in assenza di fumo, la formaldeide deriva anche dai materiali utilizzati per la costruzione dell'edificio e da prodotti di consumo che rilasciano formaldeide allo stato di vapore. La presenza di formaldeide derivante dai materiali da costruzione e da diversi prodotti può durare diversi mesi soprattutto in condizioni di elevate umidità e alte temperature all'interno dei locali. Negli ambienti indoor, le sorgenti principali di formaldeide sono:

- mobili e legno contenenti resine a base di formaldeide (ad esempio truciolare e compensato);
- materiali isolanti (ad esempio schiume);



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

- prodotti tessili;
- vernici, colle, adesivi
- prodotti per la pulizia della casa (ad esempio detersivi, disinfettanti, ammorbidenti)
- prodotti cosmetici (ad esempio saponi liquidi, smalti)
- apparecchiature elettroniche (ad esempio computer e fotocopiatrici)

Se si considerano tutte le sorgenti interne sopra citate è difficile stabilire a quale di queste sorgenti debba essere attribuito il contributo maggiore. Studi condotti negli Stati Uniti alla fine degli anni 90 hanno evidenziato che, a seconda dell'età dell'edificio, la presenza di pavimentazioni in truciolare è tra le cause principali della presenza di formaldeide. Altri studi condotti in Francia hanno dimostrato che le quantità di formaldeide presenti all'interno degli edifici dipendeva dall'età dell'edificio, dalla pavimentazione (rinnovata l'anno prima dell'inizio degli studi), dalla quantità di fumo e dalle condizioni climatiche interne (livelli di anidride carbonica e temperatura). In Canada uno studio condotto in 96 appartamenti ha evidenziato che i livelli di formaldeide tendono ad aumentare con il riscaldamento elettrico, con il rinnovo della mobilia e con la tinteggiatura effettuata nei dodici mesi antecedenti l'inizio dello studio. La concentrazione di formaldeide nelle abitazioni è funzione dall'età dell'edificio, dalla velocità di ricambio dell'aria e della stagione; la sua concentrazione può raggiungere, in ambienti in cui si fuma, valori prossimi ai 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione di formaldeide presente in aria esterna praticamente non contribuisce all'inquinamento dovuto alla sua presenza in ambienti interni, in quanto, la sua concentrazione nell'aria esterna risulta molto bassa. Le concentrazioni di formaldeide in aria esterna variano tra 1-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dai dati riportati nel report HEXPOC della Commissione Europea raccolti in diversi paesi del mondo (tra cui l'Italia) si evince che la concentrazioni indoor è compresa tra 1,5-16,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un valore medio di 7,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Questo sta a significare che il rapporto di formaldeide tra l'ambiente interno e quello esterno è sempre superiore ad 1 e, pertanto, è da considerarsi come inquinante indoor-specifico.

1.1.3 Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio (CO) è un gas tossico incolore, non irritante, inodore e insapore gas; esso si forma a seguito combustione incompleta di combustibili carboniosi come legno, benzina, carbone, gas naturale e kerosene. Si mescola liberamente con l'aria in qualsiasi proporzione e si muove con l'aria mediante trasporto di massa. Può servire come fonte di combustibile e può formare miscele esplosive se messo a contatto con aria. Reagisce energicamente con ossigeno, acetilene, cloro, fluoro e ossido di azoto. Il CO non è percepibile in nessun modo dagli esseri umani. È leggermente solubile in acqua, sangue e plasma e nel corpo umano e reagisce con l'emoglobina per formare carbossi-emoglobina (COHb). Le emissioni dovute all'attività umana sono responsabili di circa due terzi del CO presente e l'esposizione a livelli bassi di CO può verificarsi all'aperto in vicinanza di strade, dove viene prodotto dagli scarichi dei veicoli a motore a benzina e diesel. Anche le aree di parcheggio possono anche essere fonte di CO. All'interno degli edifici il CO è prodotto dai processi di combustione (cottura e riscaldamento) ed è anche introdotto attraverso la sua infiltrazione dall'esterno. Nei paesi industrializzati la fonte più significativa dovuta alle emissioni di CO deriva dalla presenza di apparecchiature (soprattutto sistemi di riscaldamento) non correttamente installate, con scarsa



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

manutenzione e scarsa ventilazione. L'ossidazione incompleta durante il processo di combustione può portare ad elevate concentrazioni di CO nell'aria all'interno degli edifici. Altre fonti importanti di produzione del CO sono il fumo di sigaretta e gli scarichi di veicoli a motore situati all'interno di garage dell'edificio. Anche la combustione di combustibili solidi di bassa qualità e biocarburanti utilizzati nelle stufe e/o camini possono portare ad elevate concentrazioni di CO, se non si è in presenza di opportuni sistemi di ventilazione; nella fase iniziale del processo di combustione, gli inquinanti principali che si formano sono costituiti da particolato (carbonio elementare e organico) e il CO si forma quasi alla fine del processo. L'utilizzo di combustibili di migliore qualità (quali il gas naturale, il butano o il propano) nel processo di combustione produce quantità inferiori, a condizione che venga fornita una quantità sufficiente di ossigeno, di CO rispetto ai combustibili di qualità inferiore. Il CO non viene assorbito dai materiali da costruzione o dai filtri dei sistemi di ventilazione. Conseguentemente in assenza di sorgenti interne di CO, la concentrazione interna è la stessa di quella proveniente dall'esterno e, in queste condizioni, il rapporto di concentrazione di CO Interno: Esterno (CO_{in}/CO_{out}) dovrebbe essere 1; in pratica questo rapporto varia per due motivi:

- la concentrazione di CO in aria esterna al punto di misura può essere significativamente più alta o più bassa della concentrazione al punto in cui è situato il sistema di ventilazione; conseguentemente è stato riscontrato che il rapporto CO_{in}/CO_{out} dopo 15 minuti di esposizione varia da 0.2 a 4.1 e giornalmente può variare da 0.4 a 1.2;
- le sorgenti comuni presenti all'interno dell'edificio (quali ad esempio il fumo) tende ad aumentare il rapporto CO_{in}/CO_{out} .

1.1.4 Ossidi di azoto (NO_x)

Nell'aria ambiente l'ossido di azoto può trovarsi in diverse forme. Il monossido d'azoto (NO) e il biossido d'azoto NO_2 sono i due principali ossidi associati alle sorgenti di combustione. Le concentrazioni ambientali di questi due ossidi variano ampiamente e possono raggiungere - come somma NO e NO_2 - valori prossimi a $500 \mu g/m^3$ in aree urbane densamente popolate (nel caso di postazioni hot-spot le misure di NO_x possono ampiamente superare i $1.000 \mu g/m^3$). Per reazione con acqua l' NO_2 forma acido nitrico che è un comune inquinante in ambienti interni. Il monossido viene ossidato all'aria e forma biossido di azoto. Nella sua forma liquida il biossido di azoto è incolore. Nell'aria ambientale le quantità delle diverse forme degli ossidi di azoto che si formano dipendono dai rapporti stechiometrici tra ossigeno ed azoto, e la reazione è influenzata dalle alte temperature; infatti, più alta è la temperatura di combustione, più ossido di azoto viene prodotto. Dalla reazione di combustione il 90-95% porta alla formazione di ossido di azoto e solo il 5-10% come biossido di azoto. In condizioni ambientali, l'ossido nitrico viene rapidamente ossidato all'aria per formare il biossido di azoto. La velocità di ossidazione è elevata per la combustione che si produce in ambienti esterni ed è più lenta in ambienti interni. La fonte esterna principale della formazione di biossido di azoto è dovuta al traffico stradale, mentre quelle interne includono fumo di tabacco e gas, legno, olio, petrolio, gli elettrodomestici a combustione di carbone (stufe) e i caminetti. Il biossido di azoto esterno derivante da attività antropiche e naturali tende ad



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

influenzare anche gli ambienti indoor. In condizioni ambientali, sia nell'ambiente esterno che in quello interno, il biossido di azoto esiste in forma gassosa e perciò inalabile. Numerosi studi effettuati in Europa evidenziano l'importanza delle diverse fonti che caratterizzano i livelli di biossido di azoto all'interno di un edificio; a titolo di esempio, in uno studio basato sulla popolazione italiana, sono stati riscontrati, come concentrazioni medie settimanali misurate in una zona rurale del Delta del Po, valori più elevati nei mesi invernali rispetto a quelli estivi ($62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in inverno e $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in estate), dimostrando, inoltre, che il principale fattore di emissione di biossido di azoto era dovuto alla presenza di forni a gas.

1.1.5 Ossidi di zolfo (SO_x)

Gli ossidi di zolfo sono gas incolori, di odore acre e pungente, prodotti dalla combustione di materiale contenente zolfo. La maggior parte dei composti dello zolfo prodotti dall'attività umana viene convertita in SO_2 (biossido di zolfo o anidride solforosa); solo l'1-2% si trova sotto forma di SO_3 (anidride solforica). L'ossidazione di SO_2 in SO_3 è favorita dalle alte temperature e dai prodotti delle reazioni fotochimiche che coinvolgono O_3 , NO_2 e idrocarburi. Fra gli ossidi di zolfo presenti nell'aria, il più diffuso è SO_2 . Le concentrazioni di SO_2 nell'aria esterna derivano soprattutto dall'uso di combustibili contenenti zolfo, dalla raffinazione del petrolio, da fonderie, da industrie che producono acido solforico e dall'incenerimento di rifiuti; due terzi delle emissioni di SO_2 hanno luogo nelle aree urbane. A livello indoor le principali fonti di SO_2 sono costituite da radiatori a cherosene, da stufe e radiatori a gas privi di scarico e dal fumo di tabacco. Nelle abitazioni le concentrazioni medie di SO_2 sono generalmente comprese tra 45 e $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$; valori elevati superiori a $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si riscontrano nelle abitazioni riscaldate con stufe a cherosene.

1.1.6 Amianto

L'amianto è il nome commerciale attribuito ad alcuni silicati idrati quando cristallizzano in maniera fibrosa. In questa definizione sono contenuti diversi minerali appartenenti alla serie mineralogica del serpentino o degli anfiboli, a seconda delle trasformazioni metamorfiche cui la roccia è andata incontro nella sua formazione. L'amianto si rinviene, in natura, sotto forma di vene o fasci di fibre nelle litoclasti o all'interno della roccia madre; il minerale veniva estratto da cave a cielo aperto o in sotterraneo per frantumazione della roccia madre stessa, da cui si otteneva una fibra purificata attraverso specifici processi di arricchimento. All'abito cristallino di tipo asbestiforme si accompagnano delle peculiari caratteristiche quali la possibilità, unica fra le fibre minerali, di essere filate e tessute e le capacità isolanti nei confronti del calore e del rumore. Quella che viene considerata come fibra di amianto, in realtà, è costituita da un agglomerato di migliaia di fibre che, sottoposto a sollecitazioni, può scomporsi e rilasciare fibrille singole. Tale peculiarità da un lato dà luogo alle note caratteristiche dell'amianto, dall'altro lo rende pericoloso perché sono proprio le singole fibre rilasciate ad essere responsabili delle patologie conosciute. In natura esistono decine di minerali fibrosi ma soltanto sei hanno avuto un larghissimo impiego; la normativa italiana designa, ai sensi del D.Lgs. n. 81/2008, articolo 247 con il termine amianto, i seguenti silicati fibrosi: l'actinolite, la grunerite, l'antofillite, il crisotilo, la crocidolite e



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

la tremolite d'amianto. Le fibre di amianto, rispetto alle altre varietà di silicati, presentano dei diametri molto piccoli, dell'ordine del millesimo di centimetro, e la particolare proprietà di separarsi in senso longitudinale e spezzarsi in senso verticale, dando luogo a fibre estremamente fini, potenzialmente inalabili; in particolare, vengono ritenute pericolose le fibre che presentano una lunghezza maggiore o uguale a 5 μm e diametro inferiore a 3 μm , con un rapporto lunghezza/diametro ≥ 3 . I tipi di amianto più utilizzati nel nostro Paese sono stati il crisotilo, la crocidolite e l'amosite. Il 75% circa della produzione è stata assorbita dal cemento-amianto, mentre il rimanente 25% quasi esclusivamente da materiali di frizione. Negli anni '80, in Italia, la produzione di materiali contenenti amianto è andata progressivamente diminuendo, in seguito alla scientificamente accertata cancerogenicità della materia prima, fino a cessare del tutto nel 1992, quando è stata definitivamente vietata dalla Legge 27 marzo 1992, n. 257. In Italia, l'uso di coperture in cemento-amianto (lastre ondulate, tegole, piastrelle, ecc.) ha rappresentato quasi il 90% di tutto l'amianto utilizzato. Tali prodotti possono rappresentare una fonte di contaminazione di fibre nel caso siano degradati o danneggiati e, comunque, quando la matrice cementizia perde la sua consistenza. Sono costituite, per la quasi totalità, da crisotilo, ma possono essere presenti anche anfiboli: la presenza di crocidolite è riconoscibile anche ad occhio nudo se emergono in superficie fiocchi di colore blu.

1.1.7. Particolato

L'inquinamento da polveri sospese comprende una miscela complessa di particelle estremamente variabile in dimensione, origine e composizione. Il termine Particulate Matter (PM) include materiale particellato composto da sostanze minerali inorganiche (metalli pesanti, solfati, nitrati, ammonio), da composti organici (carbonio organico, idrocarburi aromatici policiclici, diossine/furani) e da materiali di tipo biologico. Le fonti sono sia naturali che antropiche, quali ad esempio i processi di combustione e fuliggine. Le polveri totali vengono generalmente distinte in quattro classi dimensionali corrispondenti alla capacità di penetrazione nelle vie respiratorie da cui dipende l'intensità degli effetti nocivi. Il PM_{10} (*inalabile*) ha un diametro inferiore a 10 μm ed è una polvere inalabile, ovvero in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore (naso, faringe e laringe). Il $\text{PM}_{10-2.5}$ (*particelle grossolane*) ha un diametro compreso tra 10 μm e 2,5 μm , ed è in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore. Il $\text{PM}_{2.5}$ (*fine*) ha un diametro inferiore a 2,5 μm ed è una polvere toracica, cioè in grado di penetrare nel tratto tracheo-bronchiale (trachea, bronchi, bronchioli). Il $\text{PM}_{0.1}$ (*ultrafine*) ha un diametro inferiore a 0,1 μm ed è una polvere ultrafine, in grado di penetrare profondamente nei polmoni fino agli alveoli. La definizione corrente di particolato quindi non considera generalmente la composizione chimica delle polveri, ma si limita ad esaminarne la capacità di entrare nella parte più profonda delle vie respiratorie. Le evidenze sperimentali indicano che gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) presenti nell'aria ambiente e in particolare il Benzo(a)pirene sono adsorbiti al particolato fine, il cui diametro aerodinamico è inferiore ad alcuni micrometri. Questo aspetto merita attenzione, in quanto l'esposizione a particolato fine comporta anche l'esposizione agli IPA ed altre sostanze di analoghe proprietà fisico chimiche, esito di processi di combustione in particolare dei motori. A livello indoor il particolato è prodotto principalmente dal fumo di sigaretta, dalle fonti di combustione e dalle attività degli occupanti. La composizione del particolato da combustione varia in base al tipo di combustibile e alle condizioni in cui avviene la combustione. L'esame di particolato fine raccolto



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

all'interno ed all'esterno di abitazioni ed edifici ha consentito di verificare la presenza di n-alcani, acidi grassi (palmitico e stearico), esteri ftalati in particolato indoor.

1.1.7 Fumo di tabacco ambientale (environmental tobacco smoke o ETS)

È una miscela complessa di inquinanti la cui fonte primaria è il fumo di sigaretta. Il fumo presente nell'ambiente risulta costituito da una componente detta "mainstream" e da una detta "sidestream"; il "mainstream" è il fumo inalato dai fumatori, filtrato dai polmoni e quindi espirato, e il "sidestream" è invece l'aerosol derivato direttamente dalla combustione della sigaretta; quest'ultimo è il più importante dei due, perchè rappresenta il principale costituente dell'aerosol e di circa la metà della porzione corpuscolata dell'ETS. Dal punto di vista chimico sono stati individuati nel fumo ambientale circa 3800 composti. Le principali sostanze tossiche del fumo liberate nell'ambiente sono: il monossido di carbonio (CO), gli idrocarburi aromatici policiclici (come il benzo(a)pirene), numerosi VOC, l'ammoniaca e le ammine volatili, l'acido cianidrico e gli alcaloidi del tabacco. Nel fumo di sigaretta si trova anche una frazione particolata, costituita da sostanze presenti in fase solida, tra le quali il catrame e diversi composti poliaromatici. Circa 300-400 dei 3800 composti presenti nel fumo, sono stati isolati nel sidestream; tra questi composti alcuni riconosciuti cancerogeni sono presenti in concentrazioni superiori rispetto al mainstream.

1.1.8 Fumo di legna

L'uso di legname come combustibile costituisce un problema di notevole rilevanza soprattutto nei paesi in via di sviluppo, anche se tale fenomeno è presente anche nelle nazioni più industrializzate; per esempio, negli Stati Uniti dal 1973 si è registrata una ripresa nell'utilizzo di questo materiale come combustibile e di conseguenza si è rapidamente moltiplicato il numero delle stufe a legna dei cittadini americani. La combustione della legna all'interno delle abitazioni avviene tipicamente in relativa povertà di ossigeno con notevole produzione di CO, particelle respirabili, benzopirene ed altri composti organici. In alcune Regioni italiane, l'uso di caminetti a legna è tuttora molto diffuso: il loro non ottimale utilizzo può incrementare notevolmente i livelli di particelle respirabili all'interno del microambiente soprattutto durante la stagione invernale.

1.1.9 Radon

Il radon è un gas radioattivo naturale inodore e incolore; i principali isotopi sono il ^{222}Rn (detto radon, appartenente alla serie del ^{238}U) e il ^{220}Rn (chiamato toron e appartenente alla serie del ^{232}Th). A causa della maggiore abbondanza relativa del capostipite in ambiente e del più elevato tempo di dimezzamento, l'interesse radiobiologico del radon è concentrato sul ^{222}Rn . Il radon è un α -emettitore, che genera una serie di figli prodotti di decadimento a vita medio-breve, il ^{218}Po , il ^{214}Pb , il ^{214}Bi , il ^{214}Po e il ^{210}Pb che presentano una spiccata tendenza a legarsi elettrostaticamente alle polveri e agli aerosol atmosferici e determinano la maggior parte delle dosi, in particolare ai polmoni. Il radon è presente in ogni terreno e roccia, anche se in quantità



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

molto diverse e in relazione alle caratteristiche del terreno/roccia quali la concentrazione di uranio, la permeabilità, la presenza di fratture/faglie, ecc. Una volta rilasciato dalla roccia il gas può spostarsi per diffusione nei fluidi presenti negli spazi interstiziali o per convezione a causa dei gradienti di pressione presenti nel suolo. La diffusione nel suolo dipende dalla porosità e dalla connessione fra i pori, mentre il trasporto per convezione dipende dalle proprietà geofisiche e geochemiche dei suoli, quali ad esempio la presenza di zone calde sotterranee e di faglie, ma con contributo derivante dalle fluttuazioni di pressione nel suolo legate al tempo atmosferico.

Pur essendo il suolo la principale sorgente del radon presente all'interno degli edifici, anche diversi materiali edili ricavati da rocce o terreni - ad es. quelli ricavati da rocce vulcaniche - sono sorgenti di radon, ma il loro contributo alla sua concentrazione nei luoghi chiusi è generalmente più basso rispetto all'apporto derivante dal suolo. Anche le acque sotterranee possono essere ulteriori fonti di radon. Il meccanismo di base che trasporta il radon in ambienti interni è dovuto alla differenza di pressione esistenti tra l'interno e l'esterno degli edifici. In genere, l'interno di un edificio è in depressione rispetto all'esterno e questo porta ad una aspirazione di aria dal suolo attraverso le fessurazioni e le aperture presenti nell'edificio. La differenza di pressione tra interno ed esterno è causata da due fenomeni principali: l'effetto camino e l'effetto vento; l'effetto camino è dovuto alla differenza di temperatura tra interno ed esterno, mentre l'effetto vento dipende dalla differenza di velocità dell'aria che esiste tra esterno ed interno. A titolo di esempio per una differenza di temperatura tra interno ed esterno pari a 10°C e con una velocità del vento di 5 m/s si ha, applicando opportuni calcoli¹, $\Delta P = -5 \text{ Pa}$; questa differenza di pressione, seppur minima, è sufficiente ad aspirare il radon dall'esterno, soprattutto dal suolo, verso l'interno dell'edificio. Il radon fuoriesce continuamente dal terreno e si disperde nell'aria aperta o si concentra negli ambienti chiusi. Esso riesce a penetrare nei luoghi chiusi per la piccola depressione che esiste tra l'interno degli edifici ed il suolo, dovuta alla differenza di temperatura tra l'interno (più caldo) dell'edificio e l'esterno (più freddo); questa depressione provoca l'aspirazione dell'aria dal suolo verso l'interno dell'edificio. L'unità di misura della concentrazione di radon è il Becquerel per metro cubo (Bq/m^3), dove il Becquerel indica il numero di disintegrazioni al secondo di una sostanza radioattiva. La concentrazione di radon all'aperto tipicamente è di alcuni Bq/m^3 , e comunque non supera le poche decine di Bq/m^3 , grazie alla notevole diluizione in atmosfera; mentre, all'interno degli edifici la concentrazione è molto superiore, mediamente intorno ai 70-100 Bq/m^3 (la concentrazione media in Italia è pari a 70 Bq/m^3) ma in alcune aree, caratterizzate da forte pericolosità e rischio, si può arrivare anche a migliaia di Bq/m^3 .

1.1.10 Rumore

Il rumore, così come il suono, è una variazione della pressione dell'aria che l'orecchio umano riesce a percepire. A differenza del suono, (che ha un effetto acustico piacevole perché prodotto da vibrazioni rapide e regolari), il rumore è per l'uomo da intendersi quale sensazione uditiva e percettiva prodotta da vibrazioni

¹ Calcolo effetto camino $\Delta P = \alpha \left[\frac{1}{(t_e + 273)} + \frac{1}{(t_i + 273)} \right]$ dove t_e = temperatura esterna, t_i = temperatura interna $\alpha = 3462 \text{ Pa}^\circ\text{K}$

Calcolo effetto vento $P = P_0 + C_p (0.5 \times \rho v^2)$ dove P_0 = pressione statica del vento, C_p = coefficiente di pressione calcolato sperimentalmente ρ = densità aria v = velocità del vento)



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

discontinue e casuali e che ha un effetto sgradevole. Viene definito come “*inquinamento acustico l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi*” (Legge n°447/1995 art.2). Il corpo umano non è strutturato per difendersi dal rumore e, a differenza delle altre strutture sensoriali, la funzione uditiva è sempre vigile, anche durante il sonno per via del sistema neuro-vegetativo che reagisce indipendentemente dalla volontà del soggetto, in presenza di uno stimolo sonoro. Geneticamente infatti, al segnale acustico intrusivo ed indesiderato l'uomo associa uno stato reattivo di vero e proprio allarme che tende ad influenzare conseguentemente tutto il complesso sistema e i suoi apparati. Il rumore altera l'equilibrio psico-fisico del soggetto esposto compromettendone lo stato di benessere. Le sorgenti del rumore nell'ambiente urbano sono innumerevoli e, in ordine di importanza e incidenza, vengono così classificate:

- traffico stradale;
- impianti industriali e artigianali;
- discoteche, spettacoli e pubblici esercizi;
- attività e fonti in ambiente abitativo.

Tra queste, la principale sorgente di rumore risulta essere il traffico stradale, che interessa i 9/10 della popolazione esposta a livelli superiori a 65 dBA.

1.1.12 Agenti biologici

Gli agenti biologici presenti negli spazi confinati sono rappresentati da particelle organiche (bio-aerosol) costituiti da microrganismi (virus, batteri, muffe, lieviti, funghi, protozoi, alghe) da insetti (acari, aracnidi), e da materiale biologico da essi derivato (frammenti di esoscheletro, escreti, tossine) o da materiale organico di origine vegetale (pollini di piante superiori). Le principali fonti di inquinamento microbiologico degli ambienti indoor sono gli occupanti (uomo ed animali), la polvere e le strutture stesse dell'edificio e i fattori ambientali che più influiscono sulla loro proliferazione sono l'umidità e la temperatura. Da un punto di vista sanitario gli aspetti più rilevanti indotti dagli agenti biologici sono due: la sensibilizzazione allergica e le infezioni.

Le fonti allergeniche indoor più comuni possono essere così raggruppate:– acari (*Dermatophagoides pteronyssinus* e *Dermatophagoides farinae*);

– scarafaggi (*Blattella germanica* e *Periplaneta americana*);

– mammiferi (derivati epidermici di animali di *Felis domesticus* e *Canis familiaris*);

– miceti (*Aspergillus spp*, *Penicillium spp*, *Alternaria spp*);

– allergeni occasionali in ambiente indoor.

Gli allergeni indoor responsabili delle patologie allergiche possono essere definiti “perenni”, in quanto presenti tutto l'anno con concentrazioni più o meno variabili, nell'ambiente in questione, e risentono molto poco della fluttuazione che invece caratterizza la periodicità degli allergeni comunemente definiti outdoor.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Acari

Gli acari vivono nella polvere, ma per il loro sviluppo sono necessarie condizioni di elevata umidità, anche a medie temperature, per contro si è dimostrato sufficiente mantenere l'umidità relativa all'interno della casa su valori inferiori al 45%, per un periodo di almeno un mese all'anno, per limitare la crescita di questi artropodi. Il numero di acari può arrivare a oltre 1000/g di polvere; predominano negli imbottiti e nelle moquettes che rilasciano lentamente l'acqua assorbita e che mantengono l'umidità ambientale a livelli più alti. La più importante fonte di allergeni all'interno degli edifici è costituita dagli acari della famiglia *Pyroglyphidae* ed in particolare la specie *Dermatophagoides* (*D. pteronyssinus*, *D. farinae*, *D. microceras*, e *Euroglyphus maynei*). Le particelle fecali degli acari hanno dimensioni di circa 25 µm, ma possono sbriciolarsi in particelle più minute, inalabili.

Scarafaggi

Due sono le specie di blatte che sono state più studiate, la *Blattella germanica* e la *Periplaneta americana*. Le blatte sono ritenute responsabili di un'elevata percentuale di casi di asma in forma severa soprattutto negli Stati Uniti e nel nord Europa, caratterizzata da elevati livelli di IgE. Le blatte rappresentano una significativa fonte di allergeni soprattutto negli edifici con scarso livello igienico.

Allergeni degli animali domestici

Gli allergeni prodotti dagli animali domestici sono presenti nei peli, nella forfora, nella saliva e nell'urina. Il principale allergene del gatto è il *Feld I* è contenuto nella forfora ed è diffuso nell'aria da particelle di 1-10 µm di diametro. Nelle case dove vi è almeno un gatto la concentrazione di allergeni nell'aria varia da 250 a 1140 ng/m³. Il principale allergene del cane è il *Can f I*. Nelle case dove il cane è presente, la concentrazione supera i 10 µg/g polvere. I bio-contaminanti prodotti da animali domestici sono facilmente trasportabili dalle persone (tramite gli indumenti), pertanto si diffondono anche in ambienti in cui solitamente non ci sono animali. Negli ambienti in cui questi sono vissuti, dopo il loro allontanamento ci vogliono sei mesi per riportare i livelli di concentrazione ai valori delle case in cui l'animale non è presente.

Microrganismi negli ambienti indoor e malattie infettive associate

Negli ambienti indoor possono essere presenti diversi tipi di microrganismi, la tipologia e destinazione d'uso degli ambienti, i materiali da costruzione nonché le attività espletate e i caratteri microclimatici possono creare le condizioni per un habitat favorevole alla sopravvivenza e alla proliferazione di miceti e batteri sui diversi tipi di substrati disponibili. Errori di costruzione o di manutenzione degli edifici possono comportare alti livelli di umidità negli elementi costruttivi (U.R. >55%) e nell'aria interna (U.R. >65%); l'umidità, oltre a favorire la riproduzione degli acari, causa la formazione e la proliferazione di funghi e di altri microrganismi. Il ruolo che l'esposizione ai funghi, nelle case, svolge nello sviluppo di sintomi respiratori è meno chiaro che per gli acari, ma vi è una discreta evidenza epidemiologica riguardo la frequenza di disturbi respiratori in bambini e adulti in associazione con la presenza di umidità in edifici contemporanei.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Da un punto di vista sanitario le categorie più rilevanti sono quelle dei microorganismi patogeni, ma occorre tener presente che tutti o quasi i batteri presenti in ambiente domestico possono essere potenzialmente patogeni se si verificano particolari condizioni di carattere ambientale (microclima, sovraffollamento, convivenza con animali) o per la vulnerabilità intrinseca di chi vi abita (ad es. soggetti anziani o immunodepressi). I batteri possono essere presenti dispersi nell'aria nel bio-aerosol oppure sulle superfici o negli alimenti (acqua) quindi la via inalatoria e per ingestione rappresentano i principali sistemi di infezione. Una utile classificazione dei batteri presenti in ambiente indoor può essere la seguente:

- *batteri di origine ambientale*, ubiquitari in tutte le matrici, appartenenti ai generi *Bacillus* o *Micrococcus*, e funghi come *Alternaria spp* o *Aspergillus spp*,
- *microrganismi che riescono a sopravvivere e proliferare in matrici (es. acqua) e su superfici particolari* e che, aerodispersi possono costituire un pericolo per la salute di soggetti immunodepressi, se in concentrazioni elevate (*Legionella*, *Mycobacterium*, ecc.);
- *microrganismi a trasmissione percutanea* tipicamente legati alla presenza di esseri umani o animali, come quelli ad esempio appartenenti ai generi *Staphylococcus*, *Candida*, *Clostridium* che, facenti parte del microbioma umano, possono costituire, tuttavia, un rischio biologico se rappresentati da specie patogene quali *S. aureus*, *C. albicans*, *C. difficile*;
- *batteri di origine animale o umana a circuito oro-fecale*, come ad esempio i coliformi ed gli enterococchi che possono essere indicatori di contaminazione fecale; tra questi una particolare attenzione va riservata agli enterobatteri come *Escherichia coli* e *Salmonella spp*, quale patogeno primario.

Di seguito sono approfonditi gli aspetti microbiologici e patologici di alcune categorie di batteri perché patognomici dell'interazione tra ambiente confinato e salute umana, inoltre si riporta una scheda su le amebe, più propriamente protozoi e non batteri, per il ruolo che svolgono sia autonomamente che in sinergia con alcuni germi particolarmente rilevanti in salute pubblica quali le legionelle ed i micobatteri.

Actinomiceti

Largamente diffusi in natura poiché ubiquitari, sono rilevabili in tutte le matrici ambientali e soprattutto nel suolo dove concorrono alla decomposizione della sostanza organica, si tratta di bacilli Gram-positivi aerobi, per lo più saprofiti, appartenenti all'ordine *Actinomycetales*, morfologicamente simili ai miceti filamentosi per la produzione di un lungo e sottile micelio settato. Sono microrganismi estremamente resistenti in grado di sopravvivere ai fattori ambientali ostili e soprattutto ai trattamenti di igienizzazione e potabilizzazione delle acque. I generi maggiormente riscontrati sono *Streptomyces* e *Nocardia* e, sebbene la loro eventuale presenza nelle reti di distribuzione idrica non sembra possa rappresentare un rischio reale per la popolazione sana, essi possono essere diffusi nell'ambiente tramite aerosolizzazione da fontane, docce, rubinetti, ecc. e provocare allergie qualora inalati. Di alcune specie è accertata la patogenicità in relazione all'inalazione di bio-aerosol contaminati.

Allergie e risposte infiammatorie possono manifestarsi soprattutto in soggetti immunodepressi in associazione ad esposizione a metaboliti tossici. *Nocardia asteroides*, *Nocardia brasiliensis* e *Nocardia caviae* sono le



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

principali specie che determinano infezioni nell'uomo, soprattutto quando l'immunocompetenza è fortemente compromessa.

Legionella

Le Legionelle vivono in ambienti acquatici naturali, acque sorgive, comprese quelle termali, fiumi, laghi, fanghi, ecc. Da qui raggiungono ambienti artificiali come condutture cittadine e impianti idrici degli edifici, fontane e piscine che possono agire come amplificatori e disseminatori del microrganismo, creando una potenziale situazione di rischio per la salute umana. La legionella viene di norma acquisita per via respiratoria mediante inalazione, aspirazione o microaspirazione di aerosol contenente Legionella, oppure di particelle derivate per essiccamento. L'infezione è stata segnalata in relazione a diffusione di aerosol provenienti da torri di raffreddamento, impianti di climatizzazione e condensatori evaporativi, nonché a impianti di distribuzione di acqua potabile (soffioni delle docce, rubinetti), apparecchiature sanitarie (es. riunito odontoiatrico, per la terapia respiratoria, ecc.), deumidificatori e fontane. Condizioni di rischio sono anche quelle associate ad aerosol di stabilimenti termali e di vasche per idromassaggio.

La Legionella è un bacillo Gram-negativo, aerobio e asporigeno, mobile per la presenza di uno o più flagelli. Il genere comprende 61 diverse specie (e sottospecie) e circa 70 sierogruppi. *Legionella pneumophila* è la specie più frequentemente rilevata ed è costituita da 16 sierogruppi di cui *L. pneumophila* sierogruppo 1 è causa del 95% delle infezioni in Europa e dell'85% nel mondo. Non si conoscono le ragioni della diversa virulenza nelle differenti specie e nei siero-gruppi che tuttavia potrebbero essere attribuite alle condizioni di idrofobicità delle superfici, alla stabilità nell'aerosol e alla capacità di crescere all'interno delle amebe.

Con il termine "*Legionellosi*" si definiscono tutte le forme morbose causate da batteri gram-negativi aerobi del genere Legionella. Essa si può manifestare sia in forma di polmonite con tasso di mortalità variabile tra 10-15%, sia in forma febbrile extrapolmonare o in forma subclinica. La specie più frequentemente coinvolta in casi umani è *L. pneumophila* anche se altre specie sono state isolate da pazienti con polmonite. La legionellosi è una malattia soggetta a notifica obbligatoria in Italia e in Europa. Essendo il microrganismo ubiquitario, la malattia può manifestarsi con epidemie dovute ad un'unica fonte con limitata esposizione nel tempo e nello spazio all'agente eziologico, oppure con una serie di casi indipendenti in un'area ad alta endemia o con casi sporadici senza un evidente raggruppamento temporale o geografico. Focolai epidemici si sono ripetutamente verificati in ambienti collettivi a residenza temporanea, come ospedali o alberghi, navi da crociera, esposizioni commerciali, ecc.

Escherichia coli

Escherichia coli è un batterio Gram-negativo appartenente alla famiglia delle Enterobacteriaceae; è il più noto rappresentante del microbiota intestinale umano e degli animali a sangue caldo. Di norma, tale microrganismo non è patogeno. Tuttavia, nell'ambito della specie, esistono centinaia di sierotipi che si caratterizzano per le diverse combinazioni degli antigeni O, H, K e F e sono stati distinti alcuni ceppi che hanno acquisito patogenicità, dotati di fattori di virulenza e associati a ben determinate patologie sia intestinali che extraintestinali. *E. coli* da oltre un secolo viene considerato indicatore di contaminazione fecale ed essendo



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

un batterio che si può rilevare anche nelle acque può essere facilmente aerosolizzato, con tempi considerevoli di sopravvivenza, qualora presente, nei droplet-nuclei.

Per molti microrganismi l'evaporazione della gocciolina è immediatamente microbica, e nel caso dei batteri Gram-negativi implica l'immediato rilascio di endotossina; per *E. coli*, ad esempio, meno del 10% delle cellule sopravvive dopo evaporazione dei droplet-nuclei. La presenza di *E. coli* nell'aria è segnalata raramente, mentre su superfici di ambienti particolari è più probabile riscontrarne la presenza.

Protozoi: Amebe

Le amebe a vita libera hanno diffusione cosmopolita e sono presenti in tutte le matrici ambientali. In particolare, sebbene sia *Acanthamoeba spp* il protozoo più frequentemente riscontrato nell'ambiente, amebe ambientali sono state isolate da suoli, sedimenti, polveri, aria e in tutti i tipi di acque naturali e di ambienti artificiali. La loro distribuzione e biodiversità è fortemente influenzata da temperatura, umidità, pH, salinità, disponibilità di nutrienti ed è stato riscontrato un andamento stagionale della loro abbondanza nell'ambiente. In habitat a condizioni ostili, le amebe producono cisti che esistono solo in condizioni favorevoli liberando trofozoiti. Sopravvivenza e moltiplicazione sono anche condizionate dalla presenza e dalla densità della flora

1.1.13 Influenza dei parametri microclimatici sugli inquinanti indoor

Gli inquinanti presenti negli ambienti indoor possono interagire tra loro in funzione dei parametri climatici presenti al suo interno quali temperatura dell'aria, temperatura media radiante, temperature superficiali, velocità e ricambi d'aria, e, in funzione di questi parametri, dare luogo a prodotti di reazione che si formano a seguito di reazioni di ossidazione (dovuta ad es. alla presenza di ozono), di idrolisi (dovuta ad es. alla presenza di umidità e alcalinità delle superfici presenti nell'ambiente confinato), reazioni in fase gassosa (che sono favorite da basse velocità dei ricambi d'aria), reazioni eterogenee (dovute alla presenza di superfici polverose che aumentano la superficie reale di reazione), emissioni di alcune sostanze utilizzate nei processi di produzione dei materiali e favorite da temperature elevate che aumentano la velocità alla quale avvengono la maggior parte delle reazioni chimiche.

Dal punto di vista termo-igrometrico, invece, i parametri che influenzano il microclima di un ambiente indoor sono l'umidità relativa e quella assoluta; le relative sorgenti di immissione sono di origine naturale (pioggia, umidità del suolo, falde e vene acquifere, ghiaccio e neve fondenti, superfici di specchi d'acqua) e artificiale (guasti in condutture di adduzione acqua e di smaltimento reflui, processi industriali limitrofi, sistemi di riscaldamento e raffrescamento, trattamento dell'aria). La presenza di umidità all'interno dell'edificio si manifesta con la formazione di macchie, muffe sulle pareti, ecc., e attraverso sensazioni termiche relative alla temperatura, che comportano una diversa percezione del caldo o del freddo che alterano il benessere termico degli individui. L'acqua, aero-dispersa o condensata, può sostituire in alcuni substrati le sostanze già presenti nei materiali favorendone la dispersione nell'aria indoor. In altri casi reagisce con le sostanze adsorbite, assorbite o costituenti i materiali sia dando luogo a substrati che favoriscono la crescita di agenti biologici sia



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

costituendo o promuovendo la formazione di ulteriori composti chimici possono disperdersi sotto forma di gas, vapori o polveri; a titolo di esempio, la concentrazione di formaldeide, nell'aria indoor, tende ad aumentare con l'umidità presente all'interno dell'ambiente confinato.

1.2 Materiali da costruzione

I fenomeni di inquinamento derivanti dai materiali da costruzione sono dipendenti dal tipo di materiale utilizzato, siano essi materiali naturali (pietre e matrici naturali) o di origine antropica (ceramiche, cementi, ecc). Gli inquinanti di origine chimica, di tipo radioattivo o di tipo biologico, che possono causare inquinamento nell'aria sono suddivisi nel seguente modo:

- chimici: possono portare ad inquinamento derivante dalla presenza di VOC, formaldeide, antiparassitari, lana di vetro, lana di roccia;
- biologici: possono portare ad inquinamento derivante dalla presenza di muffe, batteri, fibre minerali, naturali e artificiali)
- fisici: possono portare ad inquinamento derivante dalla presenza di radioisotopi e di radon e dei suoi rispettivi prodotti di decadimento.

I suddetti inquinanti possono essere rilasciati dai materiali da costruzione secondo le seguenti modalità principali:

- rilasciando in modo diretto le sostanze inquinanti (ad es. VOC, radon, polveri e fibra); tali materiali, a seguito del processo della loro produzione, possono contenere residui, solventi e monomeri, che nel primo periodo di esistenza dell'edificio possono essere rilasciati nell'aria, anche in funzione delle condizioni climatiche interne (ad esempio per effetto della temperatura e dell'umidità) attraverso processi di diffusione;
- adsorbendo e successivamente rilasciando composti organici volatili presenti nell'aria provenienti da differenti fonti;
- favorendo l'accumulo di sporco e la crescita di microorganismi.

I materiali possono emettere composti tossici, irritanti e che causano sgradevoli odori. La qualità dell'aria interna in relazione ai materiali dipende dalla composizione del prodotto utilizzato, dal tipo e dallo stato delle superfici, dall'età del materiale e dalla sua manutenzione. Tra le sostanze principali si riportano:

- i composti organici volatili hanno la più elevate emissioni all'inizio della vita del prodotto e diminuisce in tempi brevi;
- la formaldeide presenta emissioni costanti per diversi anni. La sua concentrazione è funzione della superficie emittente, del volume dell'ambiente e dal numero di ricambi d'aria;



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

- la concentrazione di microorganismi dipende dal tipo di prodotto (naturale o artificiale), dall'umidità, dalla porosità della superficie e dalle condizioni ambientali interne;
- le polveri e le fibre sono legate al grado di logoramento dei prodotti (ad esempio pavimentazioni, tappezzerie, ecc.) o alla possibilità che materiali fibrosi (ad esempio alcuni tipi di isolanti) possono entrare in contatto diretto con l'aria interna.

In relazione ai materiali, la qualità dell'aria interna per i vecchi edifici dipende dal degrado dei materiali, dalla presenza di umidità e fonti di combustione, mentre, per gli edifici di nuova generazione, da fenomeni di adsorbimento, dall'uso di prodotti (vernici, pitture, adesivi) e dai sistemi di gestione dell'aria. In caso di progettazione e dimensionamento non ottimale, relativamente alla qualità dell'aria indoor, possono esserci le seguenti problematiche derivanti :

- dalle strutture portanti: progettazione delle fondazioni non ottimali possono far penetrare all'interno dell'edificio inquinanti dal terreno sottostante ed esserci infiltrazioni con proliferazione di inquinamento di tipo biologico. In particolare relativamente ai materiali utilizzati quello cementizio può portare a potenziale radioattività, quello a base di legno composito, può portare ad emissioni se si usano colle soprattutto a base di urea-formaldeide ed infine le murature possono portare ad emissioni dovute ai materiali usati per l'impasto, all'attacco di muffe e alla formazione di condensa;
- dalle chiusure relative ai trattamenti di finitura (intonaci, rivestimenti e isolanti) che alterano le modalità di emissione dei composti potenzialmente nocivi contenuti nel materiale costituente la chiusura, e possibile apporto di radioattività naturale; chiusure relative ai serramenti che possono emettere sostanze in funzione del materiale costituente e ai trattamenti di finitura superficiale (ad esempio verniciature) e prodotti utilizzati per la messa in opera (ad esempio colle).

- **Emissione di sostanze chimiche da materiali e prodotti da costruzione**

L'aria degli ambienti indoor può contenere una vasta gamma di sostanze, comprese quelle derivanti da reazioni secondarie che avvengono all'interno di tali ambienti e che portano a fenomeni di irritazione e di cattivi odori. Le emissioni di sostanze chimiche derivanti da materiali da costruzione e dalle superfici interne sono stati studiati con prove da laboratorio e riportati in numerose pubblicazioni. Inoltre, al fine di valutare il potenziale rilascio delle sostanze in funzione delle caratteristiche dei materiali da costruzione si è ricorso all'uso anche di modelli teorici. Negli ultimi due decenni è cresciuto notevolmente l'utilizzo di materiali da costruzione di tipo sintetico; da un lato l'uso di questi materiali ha portato alla costruzione di edifici più confortevoli, ma dall'altro questi materiali rilasciano sostanze in concentrazioni superiori rispetto a quelle che si trovano all'esterno dell'edificio. I materiali sintetici sono, in genere, di tipo polimerico a base di idrocarburi derivanti dalla lavorazione del petrolio. Tali materiali possono rilasciare nell'aria solventi e residui monomerici derivanti dal processo di polimerizzazione. Sono state riscontrate emissioni a lungo termine in monomeri residui volatili, quali ad esempio etilacrilato, stirene, tessuto in poliestere rinforzato con la fibra di vetro e piastrelle in sughero plastificato. Gli stessi prodotti plastificanti (come ad es. il PVC), che sono utilizzati come materiali di copertura per pavimenti e pareti, presentano al loro interno sorgenti potenzialmente emissive, quali



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

ad esteri di ftalato, che, da alcune prove epidemiologiche, possono portare a fenomeni allergici delle vie aeree (ad es. asma), naso e pelle. Altre sorgenti emissive presenti nei rivestimenti dei pavimenti in vinile derivano dai solventi utilizzati nei processi di produzione di questi rivestimenti (dodecene, dodecilbenzene, TXIB® 2,2,4-trimetil-1,3-pentandiolo e diisobutirrato). Anche i materiali a base di materie prime naturali, quali il legno e il sughero, sono spesso utilizzati come prodotti da costruzione per i rivestimenti dei pavimenti e, anche se definiti “*naturali*”, sono prodotti in modo industriale e nel processo produttivo, alle materie prime possono essere aggiunti additivi “*artificiali*” che tendono ad essere emesse nell’aria; questa emissione è funzione del tipo di additivo e dal tipo di processo produttivo utilizzato; sono state dimostrate in laboratorio, elevate emissioni di furfurolo e acido acetico presenti nel composito del sughero. Il furfurolo non è presente nel sughero naturale, ma, entrambe le sostanze, sono prodotte per stress termico dalla degradazione della emicellulosa. Anche adesivi a base ureaformaldeide (UF) e leganti di resina fenol-formaldeide sono utilizzati nella produzione di materiali da costruzione e di arredamento con fibra di legno di media densità (MDF). Altri materiali utilizzati all’interno degli edifici, e che possono contenere sostanze potenzialmente emissibili, sono le vernici; esse generalmente costituite da leganti polimerici con opportuni gruppi funzionali (che hanno la funzione di soddisfare la durata) e, quelle a base di acqua, possono contenere anche piccole quantità di biocidi. I leganti polimerici con un basso contenuto di monomeri residui sono stati utilizzati per la produzione di vernici e, tali vernici hanno dato origine a emissioni a lungo termine anche dopo la fase di essiccazione. Esempi di sostanze emesse per diversi mesi dopo l’applicazione della vernice sono Texanol® (2,2,4-trimetil-1,3-pentandiolo monoisobutirrato, butile acetato e dibutilftalato). E’ stata pure riscontrata che la vernice alchidica può emettere aldeidi durante il processo di indurimento ossidativo del legante alchidico; tali prodotti si formano per reazione di autossidazione con ossigeno atmosferico spontanea di acidi grassi insaturi durante l’applicazione della vernice. Allo stesso modo, l’olio di lino nel processo di indurimento porta alla formazione di legami tra acidi ad alta molecola. L’utilizzo di olio di lino come legante, e anche Linoleum, porta alla formazione di aldeidi volatili durante l’indurimento ossidativo.

- **Prodotti a base di catrame di carbone**

Il catrame di carbone è un liquido viscoso formato dalla carbonizzazione del carbone; è una miscela formata da diversi componenti tra cui i fenoli, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e composti eterociclici. Nel settore delle costruzioni i prodotti di catrame di carbone sono stati inizialmente utilizzati come anti-umido, come membrane di copertura applicata ai pavimenti in calcestruzzo e come solventi per impregnare materiali di legno. Il creosoto viene ottenuto per distillazione a secco di catrame di carbone e costituito principalmente da IPA, ma contiene anche fenoli e cresoli. Per più di un secolo, il creosoto è stato un conservante comune per legname da costruzione, sebbene sia oggi proibito dalla Direttiva 2001/90/CE della Commissione che adegua per la settima volta al progresso tecnico l’allegato I della direttiva 76/769/CEE del Consiglio concernente il ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri relative alle restrizioni in materia di immissione sul mercato e di uso di talune sostanze e preparati pericolosi (creosoto).

- **La degradazione dei materiali causata dall’umidità**



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Oltre al rilascio di sostanze derivanti da emissioni primarie, i materiali da costruzione umidi possono dare origine a sostanze volatili che si formano durante le reazioni secondarie. La lana minerale umida presente nelle pareti esterne e nei tetti può emettere aldeidi (da 5 a 10 atomi di carbonio) nell'aria interna, che si formano, probabilmente, per crescita microbica. Il linoleum può rilasciare aldeidi e acidi carbossilici di cattivo odore, soprattutto se bagnato con detergenti eccessivamente forti, che hanno la capacità di danneggiare lo strato di rivestimento superficiale. Pavimenti auto-livellanti basati sul cemento Portland e contenenti caseina come agente livellante possono dare origine a sostanze odorose quando il cemento viene posato su un sottopiano umido; in questo caso la caseina si degrada portando alla formazione di ammine volatili (ad esempio cadaverina e orto-aminoacetofenone, che ha un odore molto pungente e che può essere riconosciuto a concentrazioni minime dell'ordine di ng/m^3). Altra fonte di contaminazione deriva dalla colla a base di urea-formaldeide (UF), che presenta una stabilità, a contatto con l'acqua, bassa (la presenza di acqua porta all'idrolisi del legame N-O e, di conseguenza, a rilascio di formaldeide). Poiché le colle UF sono comunemente utilizzate nella fabbricazione di materiali da costruzione e per mobili, il fattore di emissione di tali prodotti può essere abbastanza elevato in edifici umidi; inoltre, l'aumento dell'umidità può anche essere un fattore indiretto per l'emissione di nuovi composti in quanto possono causare un aumento di agenti biologici come acari della polvere domestica, funghi e batteri. E' noto che alcune tipologie di materiali da costruzione, quando attaccati da funghi, emettono VOC di cattivo odore, i cosiddetti MVOC (composti organici volatili microbiologici) In un articolo recente è stato riportato che la formazione di metaboliti derivanti da materiali biologici ha portato all'identificazione di circa MVOC che si sono formati da 12 tipi differenti di muffe. Il degrado chimico del pavimento in vinile e dall'adesivo utilizzato può dare origine alla formazione di alcoli (soprattutto C_{10} - C_{12}) se posati sul cemento alcalino umido; tale degrado è fortemente accelerato dalla presenza di alcali. Inoltre, anche i plastificanti di ftalato possono contenere piccole tracce di componenti alcolici. Alcune sostanze chimiche presenti nell'aria interna, possono reagire tra loro formando prodotti che, in assenza di queste sostanze non sarebbero presenti. Molti dei prodotti risultanti da queste reazioni possono essere più reattivi e/o irritanti rispetto ai loro precursori; l'aria interna contiene molte molecole e radicali altamente reattivi come l'ozono (O_3), ossidi di azoto (NO_x), radicali idrossilici (OH) e anidride solforosa (SO_2), che vengono introdotti dall'aria esterna o generati da attività umane all'interno degli edifici stessi (fotocopiatrici, stampanti laser, fornelli a gas, illuminazione UV, ecc.). I composti organici semi-volatili (SVOCs) sono presenti nell'aria esterna e, pertanto, possono così infiltrarsi ed essere rilasciati negli ambienti interni. Oggi con l'uso di nuovi materiali da costruzione è stato dimostrato che i livelli di VOC tendono a diminuire e quelli di SVOCs ad aumentare. L'utilizzo di biocidi e ritardanti di fiamma, che hanno la funzione di migliorare le prestazioni dei materiali da costruzione portano all'emissione nell'aria interna di SVOC (la cui tossicità non è stata ancora bene definita. La deposizione di SVOC sulla polvere può portare ad un'esposizione significativa attraverso a loro inalazione. Le caratteristiche dei materiali e dei prodotti presenti nell'ambiente indoor possono incidere notevolmente sulla qualità dell'aria all'interno di un edificio. Si tratta di materiali utilizzati per la costruzione, per le finiture e per l'arredamento. Nella seguente tabella sono riportate le principali fonti presenti in ambiente domestico:



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

<i>Materiali di costruzioni</i>	
Truciolati, compensati	Formaldeide, solventi
Schiume poliuretaniche	Formaldeide, solventi
Altre schiume	Solventi
Isolanti in fibra di vetro	Aldeidi alifatiche
Rivestimenti (tessuti, plastiche, gomma)	Solventi
Tappezzeria sintetica	Solventi
Adesivi	Solventi, formaldeide
Vernici	Solventi, emulsificatori
Mastici	Solventi
Lacche, smalti	Solventi, formaldeide
Impregnanti del legno	Fungicidi, Solventi
<i>Materiali e apparecchiature d'uso domestico</i>	
Elettrodomestici	Solventi
Materiale fotografico	Solventi
Materiale per ufficio	Solventi
Carta stampata	Solventi, esanale
Colle	Solventi, emulsificatori
Vernici, lacche, smalti	Solventi, emulsificatori
Lubrificanti	Solventi

I materiali e i prodotti possono influenzare la qualità dell'aria attraverso le seguenti due modalità:

- emissività di sostanze nocive da parte dei materiali
- capacità di assorbimento di contaminanti presenti nell'aria ed il successivo rilascio.

L'emissività, può dipendere:

- dal contenuto totale di sostanze vaporizzabili costituenti i materiali (ad esempio l'impiego di solventi o monomeri durante i cicli di lavorazione, con la conseguente vaporizzazione di inquinanti volatili nell'ambiente circostante);
- dalla distribuzione di questi costituenti tra la superficie e l'interno del materiale (contaminanti fortemente legati al materiale hanno minore capacità di emissione);
- dalla superficie del materiale per volume dello spazio in cui si trova;
- dall'età del materiale e fattori di degradazione nel tempo (esistono prodotti - ad esempio VOC - che hanno una forte emissività all'inizio della loro vita ed altri che invece iniziano il rilascio con il logoramento e l'invecchiamento, ad esempio polveri o fibre);
- dai fattori climatico/ambientali (temperatura, numero dei ricambi d'aria, umidità relativa)

In merito all'emissione dai materiali di sostanze organiche volatili sono stati condotti studi che hanno permesso di classificare i materiali in funzione della stessa emissione:

- *emissione costante*: si dimezza in un anno o più (ad esempio le palline antitarne - che emettono paradichlorobenzolo - hanno la stessa capacità di emissione durante tutto il loro periodo di vita;
- *emissione lenta*: si dimezza nell'arco di settimane o mesi (ad esempio alcuni tipi di rivestimenti murali o di pavimento;



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

- *emissione rapida*: si dimezza nel giro di minuti, ore o giorni (ad esempio le vernici, gli adesivi, i collanti, che emettono grandi quantità di VOC al momento dell'applicazione, ma che diminuiscono l'emissione quando sono completamente asciutti).

La formaldeide, le sostanze che hanno cattivo odore, la muffa, la polvere, lo sporco e le fibre minerali - comprese quelle di amianto - sono inquinanti presenti nell'aria che possono essere assorbiti o accumulati sulla superficie di molti materiali ed essere successivamente rilasciati nell'aria stessa, anche dopo la rimozione della fonte primaria di contaminante.

Nel caso di materiali con elevate superfici porose e con elevata capacità assorbente, si possono avere fenomeni di irritazione delle mucose delle persone, in modo più marcato rispetto ad altri fattori quali la temperatura, l'umidità relativa, la velocità dell'aria, l'elettricità statica, la polvere, i composti organici volatili, la formaldeide, le condizioni acustiche e di illuminazione. Anche la temperatura e l'umidità dell'aria influiscono sui processi di assorbimento e rilascio delle sostanze volatili da parte dei materiali; tanto maggiore è l'umidità presente tanto più rilevanti sono i problemi di emissione. La necessità di produrre basse emissività è legata alla scelta dei materiali. Al fine di facilitare l'iter di selezione dei materiali da impiegare in una costruzione ecocompatibile, sono stati tabulati tutta una serie di parametri che gli operatori del settore in genere non considerano e che invece rappresentano i criteri basilari di selezione e scelta dei materiali stessi in sede operativa dal punto di vista bioecologico e progettuale. Nella tabella seguente (tratta dagli Atti del Convegno sull'Architettura Ecocompatibile - sui Materiali da costruzione), a ciascun parametro è stato assegnato un valore da 1 a 3, dove il valore 3 sta a significare che il materiale è dotato di tutti i requisiti ecologici richiesti.



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

MATERIALI DA COSTRUZIONE	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P	Q	VOTO
1	Legno (massiccio)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.0
2	Sughero	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.0
3	Lastre di legno truciolare	1	1	2	2	3	3	3	3	-	1	2	3	2	0	1	1.9
4	Lastre di fibra (alta densità)	1	2	3	2	3	3	3	2	-	1	2	3	2	2	2	2.3
5	Pannelli impiallacciati	2	2	3	2	3	3	3	3	3	1	2	3	2	2	2	2.3
6	Pannelli di lana di legno (con magnesite)	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	-	2.7
7	Lastre di fibra (bassa densità)	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	-	2.7
8	Prodotti di fibre di cocco	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-	2.8
9	Lana minerale (di scorie)	0	0	0	0	0	2	3	3	-	0	0	3	-	-	0	0.9
10	Lana di vetro (bachelizzata)	0	0	0	0	3	1	3	3	-	0	0	3	-	0	0	0.9
11	Espansi sintetici (polistirolo)	0	0	0	0	3	0	3	3	0	1	0	3	0	0	0	0.8
12	Prodotti in PVC (rigido)	0	0	0	0	3	0	1	2	0	0	0	3	0	0	0	0.6
13	Colle sintetiche	0	0	0	0	3	0	-	-	-	0	0	3	0	0	0	0.5
14	Smalti sintetici	0	0	0	0	3	0	-	-	-	0	0	-	0	0	0	0.3
15	Vernici impregnanti	0	0	0	1	3	3	-	-	-	3	3	-	-	0	0	1.3
16	Prodotti di cera d'api	3	3	3	3	3	3	-	-	-	3	3	-	3	3	3	3.0
17	Cartone catramato	1	0	1	1	3	3	-	-	0	0	0	-	-	1	0	0.9
18	Barriere al vapore (lamine)	0	0	0	0	3	0	-	-	0	0	0	-	0	0	0	0.3
19	Manufatti in laterizio (laterizi forati)	2	3	3	2	2	3	2	3	3	2	1	3	2	3	3	2.5
20	Argilla	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3.0
21	Prodotti ceramici (non smaltati)	2	2	2	2	2	3	1	2	-	1	0	3	-	3	3	2.0
22	Cemento armato	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0.4
23	Blocchi cavi (alleggeriti con pomice)	1	0	1	2	0	2	2	2	-	2	1	0	-	3	3	1.1
24	Gesso (lastre di gesso chimico)	0	0	0	1	0	-	1	2	0	2	2	3	-	3	1	1.1
25	Malta di cemento	1	0	2	1	1	3	1	2	-	1	2	0	1	3	1	1.4
26	Malta di calce	2	2	3	2	2	3	1	2	-	2	3	2	2	3	2	2.2
27	Pietra arenaria	1	2	3	2	3	3	2	2	-	1	1	1	-	3	2	2.2
28	Intonaco sintetico	0	0	0	1	-	0	1	2	-	0	0	3	0	0	0	0.5
29	Linoleum	1	2	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	2.3
30	Vetro	0	1	1	0	3	0	0	0	-	0	0	3	0	3	3	1.0
31	Lastre di cemento-amianto	1	0	0	1	1	-	2	2	0	1	2	3	-	3	1	1.2

A Materiale da costruzione - B Conoscenza sperimentale - C Ecologicità - D Fabbisogno energetico - E Radioattività - F Comportamento al fuoco - G Proprietà termiche - H Proprietà acustiche - I Permeabilità alle microonde - K Diffusione/traspirazione - L igroscopicità - M Contenuto di umidità - N Assorbimento/Rigenerazione - O Vapori o gas tossici - P Odore - Q Resistenza superficiale al corpo umano



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

2 Legislazione in materia

2.1 Legislazione relativa agli inquinanti chimici indoor

A livello europeo in diversi paesi sono state introdotte norme relative alla qualità dell'aria indoor; in particolare in Francia, Belgio, Finlandia, Norvegia e Portogallo hanno assunto valori di riferimento o guida per gli inquinanti che presentano una maggior pressione in termini quali-quantitativi.

In altri paesi europei come Germania, Austria, Paesi Bassi e Regno Unito sono stati costituiti gruppi di lavoro multidisciplinari con il compito specifico di elaborare apposite norme in materia.

L'OMS ha prodotto le Linee guida per la qualità dell'aria indoor relative ad alcuni inquinanti (benzene, biossido di azoto, idrocarburi poli-ciclici aromatici, naftalene, monossido di carbonio, radon, tricloroetilene e tetracloroetilene) presenti in ambienti indoor e per i quali le conoscenze scientifiche relative agli effetti sulla salute. Nella tabella seguente sono riportati i valori di riferimento di diversi Paesi europei per alcuni inquinanti dell'aria indoor, nonché i valori guida e rischio unitario dell'OMS. In Italia, ad oggi, non esiste una normativa concernente valori guida per gli inquinati presenti in ambienti indoor, anche se è stata rilevata l'evidenza della problematica.

Inquinante µg/m ³	Linee guida OMS aria ambiente*	Linee guida OMS indoor*	Francia	Germania	Paesi Bassi	Regno Unito	Belgio	Finlandia** *	Austria	Portogallo	Norvegia
Benzene** µg/m ³	NO VALORE GUIDA 1,7 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 17 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	NO VALORE GUIDA 1,7 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 17 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	30 (1 giorno) 10 (1 anno) valore di azione rapida 10 lungo periodo: 5 dal 1° gennaio 2013, 2 dal 1° gennaio 2016 UR/lifetime OMS: 0,2 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 2 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	4 (7 giorni)	20	5 (1 anno)	□ 2 10	--	--	5 (8 ore)	--
Formaldeide µg/m ³	100 (30 minuti)	100 (30 minuti)	50 (2 ore) 10 (1 anno) 30 dal 1° gennaio 2013 10 dal 1° gennaio 2023 valore di azione rapida: 100 valore di lungo periodo: 10 da raggiungere nel 2019 e dal 2012 per gli edifici nuovi. 30 riferimento 2009 50 info/raccomandazione	120	120 (30 minuti) 10 (1 anno) 1,2 (lungo periodo)	100 (30 minuti)	10 (30 minuti) 100 (30 minuti)	50	100 (30 minuti) 60 (24 ore)	100 (8 ore)	100 (30 minuti)
CO mg/m ³	100 (15 minuti) 60 (30 minuti) 30 (1 ora) 10 (8 ore)	100 (15 minuti) 35 (1 ora) 10 (8 ore) 7 (24 ore)	100 (15 minuti) 60 (30 minuti) 30 (1 ora) 10 (8 ore)	1,5 (8 ore) RWI 6 (30 minuti) RWI 60 (30 minuti) RWII 15 (8 ore) RWII	100 (15 minuti) 60 (30 minuti) 30 (1 ora)	100 (15 minuti) 60 (30 minuti) 30 (1 ora) 10 (8 ore)	5,7 (24 ore) 30 (1 ora)	8	--	10 (8 ore)	25 (1 ora) 10 (8 ore)
NO ₂ µg/m ³	200 (1 ora) 40 (1 anno)	200 (1 ora) 40 (1 anno)	200 (1 ora) 40 (1 anno)	350 (30 minuti) RWII 60 (7 giorni) RWII	200 (1 ora) 40 (1 anno)	300 (1 ora) 40 (1 anno)	135 (1 ora) 200 (1 ora)	--	--	--	200 (1 ora) 100 (24 ore)
Naftalene µg/m ³	--	10 (1 anno)	10 (1 anno)	20 RWI 200 RWII (7 giorni)	25	--	--	--	--	--	--
Stirene µg/m ³	260 (7 giorni) 70 (30 minuti)	--	--	30 RWI 300 RWII (7 giorni)	900	--	--	1	40 (7 giorni) 10 (1 ora)	--	--
IPA (BaP)** ng/m ³	NO VALORE GUIDA 0,12 ng/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 1,2 ng/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	NO VALORE GUIDA 0,12 ng/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 1,2 ng/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	--	--	1,2	0,25 (1 anno)	--	--	--	--	--
Tetracloroetilen e µg/m ³	250 (1 anno) 8.000 (30 minuti)	250 (1 anno)	1.380 (1-14 giorni) 250 (1 anno) valore di lungo periodo:	1 (7 giorni)	250	--	100	--	250 (7 giorni)	250 (8 ore)	--
Tricloroetilene** µg/m ³	NO VALORE GUIDA 23 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 230 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	NO VALORE GUIDA 23 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 230 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	800 (14 giorni-1 anno) UR/lifetime OMS: 2 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁶ 20 µg/m ³ (UR/lifetime) 10 ⁻⁵	1 (7 giorni)	--	--	200	--	--	25 (8 ore)	--
Diclorometano µg/m ³	3.000 (24 ore) 450 (7 giorni)	--	--	200 RWI 2.000 RWII (24 ore)	200 (1 anno)	--	--	--	--	--	--



**REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

Toluene µg/m ³	260 (7 giorni) 1.000 (30 minuti)	--	--	300 RWI 3.000 RWII (1-14 giorni)	200 (1 anno)	--	260	--	75 (1 ora)	250 (8 ore)	--
COV µg/m ³	--	--	--	--	200 (1 anno)	--	200	--	--	600 (8 ore)	400
PM10 µg/m ³	50 (24 ore) 20 (1 anno)	--	50 (24 ore) 20 (1 anno) valore di azione rapida: 75 lungo periodo: 15	--	50 (24 ore) 20 (1 anno)	--	40 (24 ore)	50	--	50 (8 ore)	90 (8 ore)
PM2,5 µg/m ³	25 (24 ore) 10 (1 anno)	--	25 (24 ore) 10 (1 anno) valore di azione rapida: 50 valore di lungo periodo: 10	25 (24 ore)	25 (24 ore) 10 (1 anno)	--	15 (1 anno)	--	--	25 (8 ore)	40 (8 ore)
<p>Note: * 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. ** La stima dell'incremento del rischio unitario (unit risk-UR) 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, a una concentrazione dell'agente di rischio nell'aria che essi respirano. *** I valori guida per gli ambienti indoor si applicano agli edifici che sono occupati per almeno sei mesi e dove il sistema di ventilazione è tenuto costantemente acceso.</p>											



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Con l'Accordo Rep. Atti n. 1292 della Conferenza Stato-Regioni sancito il 27 settembre 2001 si è convenuto sul documento *“Linee - Guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati”*.

Tali Linee - Guida illustrano, in chiave sintetica, le principali problematiche sanitarie evidenziate nel rapporto elaborato dalla Commissione indoor e forniscono indicazioni generali per la realizzazione di un programma nazionale per la prevenzione e la promozione della salute negli ambienti confinati.

Il documento è suddiviso in tre parti:

Parte I : “Relazione introduttiva”, che fornisce un quadro conoscitivo dello stato dell'IAQ ed un'analisi dei principali fattori che contribuiscono ad essa, evidenziando le aree prioritarie d'intervento e gli obiettivi verso cui indirizzare le azioni di prevenzione o riduzione dei rischi sanitari;

Parte II : “Programma di Prevenzione indoor”, che fornisce le linee di indirizzo tecnico indispensabili alla realizzazione di un Programma Nazionale di Prevenzione negli ambienti indoor, che concerta in modo organico le iniziative di prevenzione con il necessario coordinamento di altre competenze istituzionali;

Parte III : “Linee strategiche per la messa in opera del programma di prevenzione indoor”, che analizza gli strumenti disponibili per la gestione dei rischi correlati agli ambienti confinati e le strategie che devono essere promosse ai diversi livelli (governativo, regionale, locale) per la realizzazione del Programma di Prevenzione “indoor”. Occorre sottolineare che alcuni aspetti prioritari, trattati nella II Parte del documento, sono stati approfonditi e sviluppati in maniera più puntuale da gruppi di lavoro ad hoc, operanti nell'ambito della stessa “Commissione indoor”. In particolare, nel documento si riporta che *“sono in fase avanzata di elaborazione i documenti tecnici di seguito indicati”*:

- 1) *Guida per la qualità dell'aria nelle abitazioni*
- 2) *Linee guida per l'individuazione dei requisiti impiantistici nelle zone fumatori e per la definizione di protocolli tecnici per gli interventi di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione;*
- 3) *Il Piano Nazionale Radon;*
- 4) *Linee guida per il controllo delle emissioni di composti organici volatili nei prodotti da costruzione;*
- 5) *Criteri per il controllo di qualità dell'aria indoor, relativamente al rischio allergologico, negli ambienti domestici e pubblici. Proposta di un programma specifico per le scuole.*

2.2 Legislazione relativa al Radon

Il Piano Nazionale Radon (PNR), incluso nel summenzionato Accordo del 2001, ha lo scopo di realizzare tutte le azioni necessarie per la riduzione del rischio polmonare collegato all'esposizione da radon. Il PNR, in Italia è stato predisposto e pubblicato nel 2002 e, la sua realizzazione ha preso il via nel 2005 con progetto *“Avvio del Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia”* (acronimo PNR-CCM)”, approvato nel 2005 dal CCM (Centro Nazionale per la Prevenzione ed il Controllo delle Malattie). Il coordinamento di tale progetto è stato affidato all'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e le attività hanno coinvolto, oltre all'ISS, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, ex-APAT), l'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro (ISPESL, ora INAIL), le Regioni (ARPA e Assessorati



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

alla Sanità), nonché alcune Università. Nel 2012, al fine di dare continuità alle attività intraprese nell'ambito del progetto PNR-CCM il Ministero della Salute ha approvato il progetto biennale *Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia: seconda fase di attuazione* (acronimo PNR-II), anch'esso affidato all'ISS.

A livello nazionale l'esposizione dovuta al radon - esclusivamente nei luoghi di lavoro - è regolamentata dal D.Lgs. 241/00, che ha modificato ed integrato il D.Lgs. 230/95; tale Decreto si applica:

- alle attività lavorative durante i quali i lavoratori ed, eventualmente, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei;

- alle attività lavorative durante le quali i lavoratori e, eventualmente, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron, o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro diversi da quelli di cui alla lettera a) in zone ben individuate o con caratteristiche determinate. Il Decreto stabilisce il "livello di azione" per la concentrazione media annua di radon nei luoghi di lavoro pari a 500 Bq/m³. In caso di superamento di tale livello, il datore di lavoro deve mettere in atto azioni di rimedio per ridurre la concentrazione di radon e procedere a verificare l'efficacia dell'intervento con una nuova misura di durata annuale, il tutto entro 3 anni dalla prima misura. Le azioni di rimedio non sono dovute se il datore di lavoro dimostra che non viene superata la dose di 3 mSv/anno ai lavoratori, dose che viene valutata tenendo conto del tempo di permanenza dei lavoratori nell'ambiente di lavoro. Tale valutazione non si applica agli esercenti di asili-nido, scuole materne e scuola dell'obbligo, per le quali, se la concentrazione di radon supera 500 Bq/m³ è necessario procedere alla riduzione della concentrazione, senza effettuare la valutazione della dose. Nel caso invece che la concentrazione di radon sia inferiore al livello di azione ma superi l'80% del relativo valore (400 Bq/m³), è necessario ripetere la misura l'anno successivo (per tenere conto della variabilità annua e dell'incertezza sul risultato della misura). Si evidenzia che l'applicazione della normativa non è attualmente completa in quanto non sono stati definiti i criteri per l'individuazione delle aree a maggiore presenza di radon, che dovevano essere fissati dalla Sezione Speciale della Commissione Tecnica che non si è mai insediata. Si evidenzia inoltre che il D.Lgs. 230/95 prevede che vengano identificate non solo le aree a maggiore probabilità di elevati valori di concentrazione di radon, ma anche le caratteristiche dei luoghi di lavoro maggiormente correlate con alti valori di concentrazione di radon. Allo stato attuale, in Italia non è stata ancora emanata una norma nazionale per la protezione dall'esposizione al radon nelle abitazioni; ma questa è previsto nella nuova Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom (nuova direttiva) in materia di protezione dalle radiazioni ionizzanti, approvata il 5 dicembre 2013, che dovrà quindi essere obbligatoriamente recepita, entro il 6.02.2018, nella normativa italiana. Tale direttiva prevede che gli Stati Membri dell'Unione Europea adottino un livello di riferimento di concentrazione di radon non superiore a 300 Bq/m³, inferiore rispetto a quello di 400 Bq/m³ stabilito dalla Raccomandazione europea 90/143/Euratom del 1990 per le abitazioni esistenti. Anche l'OMS, già dal 2009, ha raccomandato un livello di riferimento non superiore a 300 Bq/m³. Inoltre, nella nuova direttiva europea sono previste azioni



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

di prevenzione dell'ingresso del radon nelle abitazioni di nuova costruzione, azioni che non sono (ancora) disciplinate nella normativa italiana. Tuttavia, per tali azioni, nel 2008 è stata prodotta la *Raccomandazione del sotto comitato scientifico del progetto CCM "Avvio del Piano nazionale radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia", approvata il 10.11.2008 che ha raccomandato:*

- *Negli strumenti urbanistici (piani di coordinamento, piani regolatori, regolamenti edilizi) di tutti gli enti preposti alla pianificazione e controllo del territorio (in particolare le amministrazioni comunali) sia introdotta la prescrizione per tutti i nuovi edifici di adottare semplici ed economici accorgimenti costruttivi finalizzati alla riduzione dell'ingresso di radon o a facilitare l'installazione di sistemi di rimozione del radon che si rendessero necessari successivamente alla costruzione dell'edificio;*
- *Analoghe prescrizioni siano adottate per quelli edifici soggetti a lavori di ristrutturazione o manutenzione straordinaria che coinvolgano in modo significativo le parti a contatto con il terreno (attacco a terra).*

Si sottolinea che la nuova direttiva prevede che gli Stati membri definiscano un piano d'azione nazionale che affronta i rischi di lungo termine dovuti alle esposizioni al radon nelle abitazioni, negli edifici pubblici e nei luoghi di lavoro per qualsiasi fonte di radon, sia essa il suolo, i materiali da costruzione o l'acqua. Detto piano d'azione tiene conto degli aspetti elencati nell'allegato XVIII della medesima direttiva e deve essere aggiornato periodicamente.

2.3 Legislazione relativa ai materiali da costruzione

Già nel sopracitato Accordo Rep. Atti n. 1292 sancito in Conferenza Stato-Regioni il 27 settembre 2001 si fa riferimento ai materiali per l'edilizia (compresi isolanti) e vengono riportate le strategie di intervento per la limitazione di materiali pericolosi o insalubri, nonché l'incentivo all'impiego di materiali igienicamente idonei. Nello stesso documento viene affermato che è *"necessaria la definizione di procedure tecniche standard di saggio delle emissioni, classificazione dei materiali per le proprietà igieniche e ambientali, etichettatura e marchi di qualità dei prodotti per l'orientamento dei professionisti del settore e dei consumatori, tenendo conto anche di quanto previsto dalla Direttiva 89/106/CEE, concernente i materiali da costruzione e dalla Direttiva 67/548/CEE concernente la limitazione dell'immissione sul mercato e dell'uso di talune sostanze e preparati pericolosi, recepita dal D.M. 12.8.1998 del Ministero della Sanità e che prevede che non debbono essere immessi sul mercato sostanze e preparati classificati come cancerogeni, mutageni e tossici per la riproduzione"*. In Italia il DPR n. 246/93 recante *"Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE"* è relativo ai prodotti da costruzione che si applica ai materiali da costruzione nei casi in cui essi devono garantire il rispetto di uno o più requisiti essenziali relativi alle opere di costruzione. Il DPR stabilisce che per materiale da costruzione" si intende ogni prodotto fabbricato al fine di essere incorporato o assemblato in modo permanente negli edifici e nelle altre opere di ingegneria civile. Per ciò che concerne i requisiti minimi che devono possedere i materiali dal punto di vista dell'Igiene, della salute e dell'ambiente il DPR riporta che *"l'opera deve essere concepita e costruita in modo da non costituire una minaccia per l'igiene o la salute degli occupanti o dei vicini, causata, in particolare, dalla formazione di gas nocivi, dalla presenza nell'aria di*



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

particelle o di gas pericolosi, dall'emissione di radiazioni pericolose, dall'inquinamento o dalla contaminazione dell'acqua o del suolo, da difetti di evacuazione delle acque, dai fumi e dai residui solidi o liquidi e dalla formazione di umidità in parti o sulle superfici interne dell'opera".

Con il Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate² per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio, sono state fissate le condizioni per l'immissione o la messa a disposizione sul mercato di prodotti da costruzione e stabilite le disposizioni armonizzate per la descrizione della prestazione di tali prodotti in relazione alle loro caratteristiche essenziali e per l'uso della marcatura CE sui prodotti in questione. L'articolo 3 *"Requisiti di base delle opere di costruzione e caratteristiche essenziali dei prodotti da costruzione"* del Regolamento stabilisce i requisiti di base delle opere di costruzione di cui all'allegato I costituiscono la base per la preparazione dei mandati di normalizzazione e delle specifiche tecniche armonizzate. Nel suddetto allegato I si riporta che *"le opere di costruzione, nel complesso e nelle loro singole parti, devono essere adatte all'uso cui sono destinate, tenendo conto in particolare della salute e della sicurezza delle persone interessate durante l'intero ciclo di vita delle opere. Fatta salva l'ordinaria manutenzione, le opere di costruzione devono soddisfare i presenti requisiti di base delle opere di costruzione per una durata di servizio economicamente adeguata"*. Tra i requisiti di base che i materiali devono possedere si riportano la resistenza meccanica e stabilità, la sicurezza in caso di incendio, la protezione contro il rumore, il risparmio energetico e ritenzione del calore, l'uso sostenibile delle risorse naturali. Inoltre, nel suddetto allegato *"Igiene, salute e ambiente"* è stabilito che: *"le opere di costruzione devono essere concepite e realizzate in modo da non rappresentare, durante il loro intero ciclo di vita, una minaccia per l'igiene o la salute e la sicurezza dei lavoratori, degli occupanti o dei vicini e da non esercitare un impatto eccessivo, per tutto il loro ciclo di vita, sulla qualità dell'ambiente o sul clima, durante la loro costruzione, uso e demolizione, in particolare a causa di uno dei seguenti eventi:*

- a) sviluppo di gas tossici;*
- b) emissione di sostanze pericolose, composti organici volatili (VOC), gas a effetto serra o particolato pericoloso nell'aria interna o esterna;*
- c) emissioni di radiazioni pericolose;*
- d) dispersione di sostanze pericolose nelle falde acquifere, nelle acque marine, nelle acque di superficie o nel suolo;*
- e) dispersione di sostanze pericolose o di sostanze aventi un impatto negativo sull'acqua potabile;*
- f) scarico scorretto di acque reflue, emissione di gas di combustione o scorretta eliminazione di rifiuti solidi o liquidi;*
- g) umidità in parti o sulle superfici delle opere di costruzione.*

² per norma armonizzata si intende la norma adottata da uno degli organismi europei di normalizzazione di cui all'allegato I della direttiva 98/34/CE, in seguito a una richiesta formulata dalla Commissione conformemente all'articolo 6 di tale direttiva



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Con il DLgs n. 106 del 16.06.2017 è stato disciplinato l'Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del Regolamento (UE) n. 305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE.

2.4 Il Regolamento CE n. 1272/2008

Il Regolamento CE n. 1272/2008 relativo alla classificazione, etichettatura e imballaggio (CLP) si basa sul sistema mondiale armonizzato di classificazione ed etichettatura delle sostanze chimiche delle Nazioni Unite ed ha lo scopo di:

- determinare se una sostanza o miscela presenta proprietà che permettano di classificarla come pericolosa.
- far in modo che i pericoli individuati siano comunicati nella catena d'approvvigionamento, compresi i consumatori, da fabbricanti, importatori, utilizzatori a valle e distributori
- stabilire norme generali relative all'imballaggio per garantire la sicurezza delle forniture delle sostanze e delle miscele pericolose.

Le classi di pericolo sono di tipo fisico, per la salute e per l'ambiente. Una volta classificata una sostanza o una miscela, i pericoli identificati devono essere comunicati ad altri attori della catena d'approvvigionamento, inclusi i consumatori. L'etichettatura dei pericoli consente di comunicare la classificazione di pericolo agli utilizzatori di una sostanza o di una miscela, tramite etichette e schede di dati di sicurezza, per avvertirli della presenza di un pericolo e della necessità di gestire i rischi associati.

Il regolamento CLP stabilisce criteri dettagliati per gli elementi dell'etichetta: pittogrammi³, avvertenze e dichiarazioni standard concernenti il pericolo, la prevenzione, la reazione, lo stoccaggio e lo smaltimento, per ciascuna classe e categoria di pericolo. Esso stabilisce anche le norme generali relative all'imballaggio, che garantiscono la sicurezza delle forniture delle sostanze e delle miscele pericolose. Di seguito si riportano i pittogrammi stabiliti con il Regolamento CLP.



³ immagine presente su un'etichetta che include un simbolo di pericolo e colori specifici allo scopo di fornire informazioni sui danni che una particolare sostanza o miscela può causare alla salute o all'ambiente



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

2.5 Norme relative all'amianto

Con la Legge 257/1992 relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto e concernente l'estrazione, l'importazione, la lavorazione, l'utilizzazione, la commercializzazione, il trattamento e lo smaltimento, nel territorio nazionale, nonché l'esportazione dell'amianto e dei prodotti che lo contengono e detta norme per la dismissione dalla produzione e dal commercio, per la cessazione dell'estrazione, dell'importazione, dell'esportazione e dell'utilizzazione dell'amianto e dei prodotti che lo contengono, per la realizzazione di misure di decontaminazione e di bonifica delle aree interessate dall'inquinamento da amianto, per la ricerca finalizzata alla individuazione di materiali sostitutivi e alla riconversione produttiva e per il controllo sull'inquinamento da amianto. A seguito dell'entrata in vigore della suddetta Legge sono stati emanati i seguenti decreti Ministeriali:

- DM del 6 settembre 1994 "Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, c. 3, e dell'art. 12, c. 2, della L. 257/1992 relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto";
- DM del 26 ottobre 1995 "Normative e metodologie tecniche per la valutazione del rischio, il controllo, la manutenzione e la bonifica dei materiali contenenti amianto nei mezzi rotabili";
- DM del 14 maggio 1996 "Normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto previsti dall'art. 5, c. 1, lettera f), della L. 257/1992, recante «Norme riguardanti la cessazione dell'impiego dell'amianto»";
- DM del 20 agosto 1999 "Ampliamento delle normative e delle metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto previsti dall'art. 5, c. 1, lettera f), della L. 257/1992, recante «Norme riguardanti la cessazione dell'impiego dell'amianto»";
- DM del 25 luglio 2001 "Rettifica al DM del 20 agosto 1999, concernente «Ampliamento delle normative e delle metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto previsti dall'art. 5, c. 1, lettera f), della L. 257/1992, recante «Norme riguardanti la cessazione dell'impiego dell'amianto»».

La Regione Sardegna con la Legge regionale 16 dicembre 2005, n. 22, recante "Norme per l'approvazione del Piano regionale di protezione, decontaminazione, smaltimento e bonifica dell'ambiente ai fini della difesa dai pericoli derivanti dall'amianto", ha dato attuazione all'attività pianificatoria di cui all'articolo 10 della L. 27 marzo 1992, n. 257 che stabilisce che le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano adottano piani di protezione dell'ambiente, di decontaminazione, di smaltimento e di bonifica ai fini della difesa dai pericoli derivanti dall'amianto. La Giunta Regionale, con Deliberazione n. 66/29 del 23 dicembre 2015, ha approvato il Piano regionale di protezione, decontaminazione, smaltimento e bonifica dell'ambiente ai fini della difesa dai pericoli derivanti dall'amianto.

2.6 Norme tecniche relative alle portate di rinnovo dell'aria indoor

In Italia le norme che riportano le indicazioni per le portate di rinnovo di aria indoor sono la UNI EN 15251: 2008 e la UNI 10339: 1995.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

La norma UNI EN 15251: 2008 fornisce i criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica; essa si applica agli edifici non industriali quali abitazioni individuali, condomini, uffici, scuole, ospedali, alberghi e ristoranti, impianti sportivi, edifici ad uso commerciale all'ingrosso ed al dettaglio. La norma contiene:

- I parametri relativi all'ambiente interno che influiscono sulla prestazione energetica degli edifici;
- La modalità per definire parametri di input relativi all'ambiente interno per la valutazione dell'edificio inteso come sistema per i calcoli della prestazione energetica;
- I metodi per la valutazione a lungo termine dell'ambiente interno ottenuta, a partire dal calcolo o da risultati di misure;
- I criteri di misurazione che potrebbero essere utilizzati, se necessario, per valutare la conformità per mezzo di un'ispezione;
- Il modo in cui le diverse categorie di criteri relativi all'ambiente interno possono essere utilizzate, anche se non impone i criteri che devono essere utilizzati.

La norma UNI 10339: 1995, si applica agli impianti aeraulici destinati al benessere delle persone installati in edifici chiusi e non considera gli impianti per la climatizzazione invernale degli edifici adibiti ad attività industriale ed artigianale, gli impianti destinati a scopi diversi (es. conservazione materiali deteriorabili) e gli impianti di climatizzazione senza immissione meccanica di aria esterna. La norma fornisce la classificazione degli impianti, la definizione dei requisiti minimi degli impianti e dei valori delle grandezze di riferimento durante il funzionamento degli stessi, l'individuazione degli elementi che il committente deve indicare nella richiesta di offerta e quelli che il fornitore deve indicare nella presentazione dell'offerta, i documenti per l'ordinazione e l'indicazione delle condizioni da rispettare nel corso della fornitura degli impianti aeraulici ai fini di benessere.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

3 Aspetti sanitari legati all'inquinamento indoor

3.1 L'ambiente confinato come determinante di salute

Con la definizione "ambiente confinato" si vuole indicare non solo la casa, ambiente di vita per eccellenza, o il luogo di lavoro (non industriale) ma con tale definizione sono ricompresi anche gli uffici pubblici e privati, le strutture comunitarie (ospedali, scuole, caserme, alberghi, banche, ecc.), i locali destinati ad attività ricreative e/o sociali (cinema, bar, ristoranti, negozi, strutture sportive, ecc.), i mezzi di trasporto pubblici e/o privati (auto, treno, aereo, nave, ecc.). E' quindi evidente quanto gli ambienti indoor siano complessi e articolati e per la loro caratterizzazione in termini di salute pubblica è necessario un approccio multidisciplinare che spazia dal campo più strettamente tecnico: geologia, ingegneria, fisica e chimica per passare all'area bio-medica e per arrivare alla sociologia, all'urbanistica ed all'economia. La qualità dell'aria negli ambienti chiusi è un importante determinante di salute sia perché i livelli di inquinamento dell'aria sono maggiori rispetto all'ambiente esterno per numerose classi di inquinanti (radon, allergeni, fumo di tabacco ambientale, benzene, monossido di carbonio), e sia per il fatto che i gruppi più vulnerabili (bambini, disabili e anziani) trascorrono negli ambienti chiusi una percentuale di tempo più elevata rispetto al resto della popolazione; secondo l'OMS le condizioni di vita quotidiana rappresentano una tra le principali cause di disuguaglianza di salute a livello mondiale.

3.2 La rilevanza epidemiologica dell'ambiente confinato

Organi internazionali come l'OMS stimano nell'ordine di 6,5 milioni il numero di decessi associati all'inquinamento indoor e outdoor nel mondo, pari all'11,6% del totale (2016). Già nel 2012 la stima dell'OMS è stata di 3,5 milioni di decessi associati al solo inquinamento indoor. In altri termini, le malattie causate dall'inquinamento dell'aria indoor ed outdoor sono state all'origine di un decesso su 10, una cifra 6 volte superiore ai decessi provocati da una malattia come la malaria. La rilevanza di questi numeri trova spiegazione in alcuni aspetti sociologici e demografici: circa la metà della popolazione mondiale (3,5 miliardi di persone) vive nelle città e si prevede che entro il 2030, quasi il 60% della popolazione mondiale vivrà in aree urbane. Le città del mondo occupano solo il 3% del territorio del nostro pianeta, ma rappresentano il 60-80 % del consumo di energia; la rapida urbanizzazione esercita una forte pressione sulle: forniture di acqua potabile, sulla depurazione delle acque reflue, sugli ambienti di vita (indoor) e sulla salute pubblica.

Le valutazioni della Organizzazione Mondiale della Sanità sono di carattere generale, e risentono delle situazioni di vita delle popolazioni in paesi sottosviluppati o in via di sviluppo, le cui condizioni non sono paragonabili alla situazione di un paese occidentale, ciò nonostante si stima che in Europa l'inquinamento indoor sia responsabile del 4,6% delle morti per tutte le cause e il 31% delle inabilità DALY (Disability Adjusted Life Years) nei bambini da 0 a 4 anni di età. Studi condotti in Europa negli anni '90 hanno dimostrato come l'asma in bambini e adolescenti sia associata a molti fattori presenti nell'ambiente scolastico, fra cui l'umidità, i COV, inclusa la formaldeide, le muffe, i batteri e gli allergeni. Recenti studi condotti in scuole del Nord-Europa e in Italia (Health Effects of School Environment, HESE; School Environment and Respiratory health of



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

CHildren SEARCH; ecc.), hanno evidenziato che una qualità dell'aria e delle condizioni microclimatiche non ottimali possono influenzare negativamente anche la performance del lavoro scolastico degli studenti. In Italia l'Istituto Superiore di Sanità ha istituito un apposito gruppo di studio ad hoc nel 2010 in collaborazione con il Ministero della Salute ed altri istituti di ricerca, ed ha pubblicato numerose monografie sull'argomento approfondendone i vari aspetti, da quelli più strettamente tecnici sino a quelli economici. Nel rapporto ISTISAN 13_39 del 2012 si tenta una valutazione quantitativa dell'impatto sulla salute della popolazione e dei costi diretti per l'assistenza sanitaria attribuibili ogni anno agli inquinanti indoor in Italia.

Valutazione quantitativa dell'impatto sulla salute della popolazione e dei costi diretti per l'assistenza sanitaria attribuibili ogni anno agli inquinanti indoor

Inquinante	Malattia	Impatto sanitario	Costi diretti (in euro)
Allergeni (acari, muffe, forfore animali)	Asma bronchiale (bambini/adolescenti)	>160.000 casi prevalenti /anno	>80 milioni
radon	Tumore del polmone	1500-6000 decessi/anno	25-105 milioni
fumo di tabacco ambientale	Asma bronchiale (bambini/adolescenti)	>30000 casi prevalenti/anno	>15 milioni
	Infezioni acute delle vie aeree superiori e inferiori	>50000 nuovi casi/anno	non valutabile
	Tumore del polmone	>500 decessi/anno	>9 milioni
	Infarto del miocardio	>900 decessi /anno	>7,5 milioni
Benzene	Leucemia	36-190 casi/anno	0,5-3,5 milioni
Monossido di carbonio	Intossicazione acuta da CO	>200 decessi /anno	0,5 milioni

Rapp. ISTISAN 13_39 2012

Da tutto ciò ne deriva che la casa (e non solo) dovrebbe essere un luogo sicuro, specialmente per le persone vulnerabili che trascorrono la maggior parte del loro tempo al chiuso, come i bambini, gli anziani e le persone con disabilità; e che riuscire a garantire un patrimonio edilizio più sicuro e sano porterebbe grandi benefici per la salute pubblica e la società in genere e contribuirebbe agli sforzi di prevenzione primaria per ridurre le malattie non trasmissibili.

3.3 I Gruppi delle principali patologie

Quando si parla di inquinamento indoor in genere si fa riferimento alla qualità dell'aria e quindi si prende in considerazione come principale via di trasmissione la via inalatoria e pertanto gli organi bersaglio sono essenzialmente le vie respiratorie; tuttavia l'ingestione ed il contatto dermico non possono essere trascurati, il primo come via preferenziale, anche se non esclusiva, per le patologie infettive (v. sopra) mentre il secondo è più coinvolto nei processi infiammatori ed irritativi e nel complesso processo di sensibilizzazione connesso alle malattie allergiche.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Occorre ricordare inoltre che gli effetti sanitari non sono legati all'effetto del singolo agente, ma quasi sempre più fattori concorrono sinergicamente al potenziamento degli effetti patogeni. Uno stesso agente può essere assunto per vie diverse ed esplicare effetti diversi in funzione dell'organo bersaglio.

Gli eventi acuti non sempre sono legati ad esposizioni ad alte dosi, come ad esempio intossicazioni da monossido di carbonio o reazioni a sostanze caustiche o irritanti; in altri casi, come nelle reazioni allergiche, gli effetti sono scatenati anche per esposizioni a dosi basse.

Però, sempre più spesso, sono le patologie croniche ad essere correlate con la qualità dell'ambiente indoor e non solo per i classici organi bersagli (apparato respiratorio, cute, mucose) ma anche per apparati ed organi non direttamente esposti (sistema nervoso, endocrino, immunologico).

Accanto a patologie ben conosciute sono state descritte delle sindromi caratterizzate da manifestazioni sintomatologiche riconducibili a effetti neurosensoriali responsabili di condizioni di malessere e discomfort (Sindrome dell'edificio malato, Sindrome da sensibilità chimica multipla, danni extra-uditivi da rumore).

La tabella seguente riporta le principali patologie non infettive che possono avere una eziopatogenesi associabile all'inquinamento indoor:

Patologie	Inquinanti Indoor
MALATTIE CARDIOVASCOLARI	
Infarto del miocardio Angina pectoris Morte improvvisa	Fumo passivo/prodotti di combustione (CO), COV, IPA, Particolato (PM _{2,5}), NO _x
PATOLOGIE DELL'APPARATO RESPIRATORIO	
Asma bronchiale Broncopneumopatia Cronica Ostruttiva Broncopneumopatia acute	COV – IPA; Allergeni: acari della polvere, muffe, scarafaggi, forfora di animali domestici Fumo passivo/prodotti di combustione
MALATTIE DA IPERSENSIBILITA'	
Dermatite atopica Rino-congiuntiviti allergiche Asma bronchiale Sindrome dell'edificio malato (B.R.I.) "Sindrome da sensibilità chimica multipla o Multiple (M.C.S.)	COV – IPA; Allergeni: acari della polvere, muffe, scarafaggi, forfora di animali domestici Fumo passivo/prodotti di combustione, Particolato (PM _{2,5})
PATOLOGIE NEOPLASTICHE	
Tumore del polmone Mesotelioma Leucemia	COV – IPA – Radon – FUMO – PRODOTTI DI COMBUSTIONE AMIANTO BENZENE
INTOSSICAZIONE DA MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)	
PATOLOGIE DA INTERFERENTI ENDOCRINI	
Infertilità maschile e femminile Alterazione nello sviluppo sessuale nei bambini	Vedi tabella a pag. 47



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PATOLOGIE DA RUMORE	
Effetti uditivi	Livelli superiori a 55 dB Lden
Effetti extra-uditivi	

3.3.1. *Malattie cardiovascolari*

Le malattie cardiovascolari, ed in particolare le cardiopatie ischemiche (CHD), sono patologie multifattoriali per eccellenza, la predisposizione individuale (fattori genetici) e gli stili di vita (alimentazione, fumo, sedentarietà) giocano un ruolo centrale nella loro genesi, ma nel corso degli ultimi anni hanno preso sempre più consistenza le evidenze degli effetti indotti dai fattori ambientali sia outdoor che indoor.

Inquinanti indoor, quali il monossido di carbonio (CO) ed il fumo attivo e passivo (ETS: Environmental Tobacco Smoke) sono stati associati ad effetti cardiovascolari nell'uomo ed in particolare alla malattia ischemica del cuore. Quest'ultima comprende un ampio spettro di manifestazioni cliniche, delle quali le più rilevanti sono l'infarto del miocardio, l'angina pectoris e la morte improvvisa che interviene in soggetti senza precedenti anamnestici di CHD. Il particolato PM₁₀ e NO₂ sono stati messi in relazione con le malattie cardiache e nello specifico con le sindromi coronariche acute e lo scompenso cardiaco.

Il monossido di carbonio esercita la sua influenza principalmente attraverso il legame con l'emoglobina circolante verso la quale ha un'affinità molto maggiore di quella dell'O₂. Organi con una elevata domanda di ossigeno, quali il cervello, il cuore ed i muscoli in lavoro, sono particolarmente sensibili alla esposizione a CO. A livelli elevati il CO può determinare effetti cardiaci come aritmie ed infarto del miocardio. Il fumo attivo favorisce le malattie ischemiche del cuore attraverso vari meccanismi: la promozione dell'aterosclerosi, l'aumento della tendenza alla trombosi, lo spasmo delle arterie coronarie, l'aumento di probabilità di aritmie cardiache e la diminuzione della capacità di trasporto periferico dell'ossigeno.

3.3.2. *Patologie dell'apparato respiratorio*

L'asma bronchiale

Le malattie allergiche rappresentano, nell'ambito delle patologie influenzate dagli ambienti indoor, un settore che pone problematiche del tutto particolari. In questo caso, infatti, l'effetto potenzialmente nocivo delle sostanze presenti nell'ambiente non è riferibile alle loro proprietà intrinseche, ma alla risposta anomala dell'organismo (di una quota di popolazione) che si sensibilizza nei confronti di sostanze allergizzanti. Gli allergeni non sono inquinanti ma componenti "normali" dell'ambiente privi di tossicità intrinseca.

Negli ambienti indoor, gli agenti responsabili dell'insorgenza e dell'aggravamento di dell'asma includono agenti biologici e chimici. Tra gli agenti biologici si annoverano gli allergeni prodotti dagli acari della polvere o provenienti da animali domestici, le endotossine prodotte da batteri gram-negativi, le spore e i frammenti fungini, le cellule batteriche e metaboliti microbici. Tra le sostanze chimiche in grado di scatenare un attacco di asma vi sono la formaldeide e composti aromatici e alifatici. Inoltre è noto che l'esposizione al fumo è in grado di determinare la comparsa di sintomatologia asmatica. Anche il particolato ultrafine (<PM_{2,5}), così come



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

il fumo prodotto dalla combustione di legname e carburante rappresenta un fattore di rischio. Vi sono segnalazioni di un'associazione tra la patologia asmatica e l'esposizione indoor a ftalati, a materie plastiche in generale ed a prodotti chimici risultanti dalla ozonolisi dei terpeni.

Alveolite allergica estrinseca.

Tale patologia consegue ad un'abnorme risposta immunitaria ad esposizioni ripetute a polveri organiche. Nei bambini viene osservata specialmente intorno ai 10 anni di età in forma prevalentemente subacuta. La cessazione dell'esposizione fa regredire il quadro clinico. Anche se l'impatto epidemiologico sulla popolazione italiana non è rilevante rispetto alle altre allergie respiratorie, tuttavia, essa riveste un notevole interesse in medicina del lavoro.

Febbre da umidificatore

Indica alcuni episodi a carattere micro-epidemico, in cui è emerso il chiaro coinvolgimento dell'impianto di condizionamento, tuttavia l'agente eziologico coinvolto può rimanere sconosciuto, pur nell'ambito di allergeni, tossine batteriche, endotossine.

3.3.3. Malattie da ipersensibilità

Predisposizione atopica e soggetti a rischio

L'evoluzione nel tempo delle malattie allergiche in tutti i Paesi Europei lascia prevedere che la tendenza futura sia di un continuo aumento sia tra le nuove generazioni che tra gli adulti, tanto da configurare quella che nel Libro Bianco sull'Asma presentato al Parlamento Europeo chiamano "*l'epidemia della rivoluzione post-industriale*" o "*l'epidemia del Terzo Millennio*". Nel mondo industriale e occidentale è generalmente condivisa l'ipotesi che *l'epidemia di allergie* sia correlata all'effetto favorente del mutato stile di vita proprio del mondo occidentale. La tendenza a sviluppare una risposta IgE nei confronti di sostanze allergeniche (atopia) è riferibile ad un complesso meccanismo in cui concorrono molteplici fattori genetici e ambientali. L'esposizione protratta a concentrazioni elevate di taluni allergeni, specialmente nei primi anni di vita, corrisponde a maggiore rischio di sensibilizzazione e, successivamente di patologia allergica. In particolare, un accurato controllo dell'esposizione dovrebbe essere riservato proprio agli allergeni presenti negli ambienti chiusi, sia per la loro elevata concentrazione sia soprattutto per la costanza dell'esposizione nell'arco della giornata e dell'anno (in contrapposizione alla maggiore oscillazione circadiana e annuale dell'esposizione agli allergeni cosiddetti "outdoor" come i pollini). Va ricordato che gli allergeni cosiddetti "outdoor" - quali pollini, spore fungine, ecc. - possano essere comunemente presenti anche nell'ambiente indoor, in concentrazioni dipendenti dalle condizioni di collocazione e ventilazione degli ambienti chiusi. I principali allergeni indoor, tuttavia, sono rappresentati dagli acari della polvere, dalle muffe, dagli scarafaggi e dalle forfore di animali domestici. Questi ultimi possono essere trasportati negli ambienti chiusi anche attraverso gli indumenti e persistono nell'ambiente per lungo tempo.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Fattori indoor favorenti o scatenanti gli attacchi di allergia

E' generalmente accettato che tra gli inquinanti indoor, quelli chimici possano avere un *effetto aggravante ma non inducente l'atopia e le allergie*, solo pochi studi hanno suggerito un possibile effetto favorente il processo di sensibilizzazione allergica da parte degli inquinanti indoor più comuni, mentre al contrario, diversi studi sperimentali ed alcuni studi epidemiologici suggeriscono che alcuni inquinanti indoor (CO, NO₂) possano aggravare il quadro clinico di soggetti già affetti da diatesi allergica, aumentando la frequenza e l'intensità degli attacchi di sintomi. Numerosissime, infine, sono le evidenze che il fumo passivo possa favorire l'accentuazione della flogosi e dei sintomi indotti dalla sensibilizzazione allergica. In Italia, lo studio epidemiologico più esteso e standardizzato svolto in materia è quello realizzato nell'ambito del protocollo internazionale ISAAC (International Study of Allergy and Asthma in Children). Tra il 1994 ed il 1995, 13 centri Italiani hanno valutato la prevalenza attuale di asma bronchiale, rino-congiuntivite allergica e dermatite atopica tra gli studenti delle scuole medie inferiori. I valori osservati collocano il nostro Paese in una fascia di prevalenza intermedia nel panorama globale, (asma=8.9%, rino-congiuntivite allergica =13.6%, dermatite atopica=5.5%).

La Sindrome da edificio malato (SICK BUILDING SYNDROME)

Nella accezione corrente per "Sick Bulding Syndrome" si intende un insieme di sintomi, in genere di modesta entità, riferiti da un numero molto elevato di persone (fino al 50-60%) che occupano un determinato edificio. Gli edifici in cui è stata descritta erano in genere nuovi o recentemente rinnovati, dotati di aria condizionata e ventilazione meccanica ed adibiti ad uffici, scuole, ospedali, case per anziani, abitazioni civili.

I sintomi più frequentemente riportati dalla letteratura come tipici della SBS sono:

- oculari (senso di secchezza o di corpo estraneo, bruciore, prurito, iperemia congiuntivale)
- nasali e faringei (rinorrea, occlusione nasale, prurito nasale, senso di irritazione e di "gola secca")
- respiratori (costrizione toracica, dispnea)
- cutanei (eritema, secchezza, prurito)-generalì (cefalea, difficoltà di concentrazione, sonnolenza, vertigini, nausea).

Queste manifestazioni cliniche sono aspecifiche e si presentano variamente associate tra loro. Caratteristicamente insorgono dopo alcune ore di permanenza in un determinato edificio e si risolvono in genere rapidamente, nel corso di qualche ora o di qualche giorno (nel caso dei sintomi cutanei) dopo l'uscita dall'edificio. Sebbene i sintomi siano di modesta entità, i casi di S.B.S. che si verificano in ambienti lavorativi possono avere un costo molto più elevato di alcune malattie gravi ed a prognosi peggiore, a causa della riduzione diffusa della produttività. L'eziologia della SBS è tuttora discussa poiché non sono stati ancora identificati uno o più fattori causali che ricorrano costantemente nei vari episodi descritti o nel corso degli studi epidemiologici eseguiti. Molti fattori legati all'ambiente di lavoro (uffici open space, affollamento, presenza di tappeti, moquettes, tessuti alle pareti, polvere depositata, rumore) e alle caratteristiche degli edifici (tipo di



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

ventilazione, presenza di umidificatori dell'aria, quantità di aria esterna immessa, etc.) sono stati associati positivamente ai sintomi in alcuni studi, ma non in altri. Una associazione è stata stabilita anche con fattori legati al contesto lavorativo, fattori legati alle caratteristiche individuali quali il sesso, l'età, atopia in genere, fumo di sigaretta; fattori psicosociali quali condizioni di stress lavorativo, fattori ambientali. Oltre alle osservazioni epidemiologiche ed alla valutazione di parametri ambientali, alcuni studi sperimentali suggeriscono che sia una ventilazione inadeguata che i composti organici volatili (es. benzene, stirene, tetracloroetilene, diclorobenzene, cloruro di metilene, cloroformio, ecc.) possono svolgere un ruolo notevole nella sindrome dell'edificio malato. Sterling e Sterling hanno ipotizzato che la complessa sintomatologia non specifica, caratteristica della sick building syndrome, sia causata dallo "smog fotochimico", generato dall'azione dei raggi U.V. delle luci fluorescenti sui composti organici volatili presenti nell'ambiente. Infatti, nella popolazione affetta, sorvegliata dagli Autori per 10 settimane mediante controlli bisettimanali, i sintomi irritativi a carico degli occhi si sono ridotti del 6.8% quando la percentuale di aria fresca è stata aumentata, dell'8% quando sono state installate luci fluorescenti bianche standard, e del 31.2% quando i due cambiamenti sono stati fatti simultaneamente.

La sindrome da sensibilità chimica multipla

Con il termine di sindrome da sensibilità chimica multipla (o Multiple Chemical Sensitivity syndrome -M.C.S.) si definisce una sindrome caratterizzata da reazioni di intolleranza dell'organismo ad agenti chimici ed ambientali presenti, singolarmente o in combinazione, a concentrazioni generalmente tollerate dalla maggioranza dei soggetti. La reale esistenza e definizione di questa sindrome è oggetto di ampio dibattito a livello scientifico ed al momento non vi sono ancora solidi parametri di riferimento per la diagnosi di tale patologia. Generalmente la sintomatologia si manifesta dopo un'esposizione o una ritenuta esposizione ad agenti ambientali, spesso segnalata come percezione di uno o più odori; talvolta però non è dimostrabile una relazione temporale tra sintomatologia ed esposizione. La M.C.S. colpisce soggetti che sono frequentemente intolleranti anche a cibi. Il quadro sintomatologico comprende sintomi e disturbi numerosi ed aspecifici, a carico di più organi; generalmente sono interessati il sistema nervoso e almeno un altro organo o apparato. Tra i vari sintomi spiccano malessere generale, senso di stanchezza, turbe neurovegetative (nausea, tachicardia), turbe neurologiche (mal di testa, vertigine, perdita di memoria), turbe dell'umore (ansia, depressione, disturbi psichici vari), dolori muscoloscheletrici, disturbi gastrointestinali e delle vie respiratorie. Il quadro può presentare vari gradi di severità, dal solo malessere e discomfort fino ad una grave compromissione della qualità di vita. L'esame del paziente non evidenzia generalmente dati obiettivi anormali, né sono presenti alterazioni cliniche ai test di laboratorio e strumentali. In particolare deve essere esclusa una patologia allergica e di tipo psicologico. Il miglioramento della sintomatologia si realizza con l'allontanamento dagli agenti causali sospettati. In casi estremi i disturbi scompaiono solo isolando il paziente in ambienti a bassissima contaminazione (es. alta montagna). Allo stato attuale è stato ipotizzato trattarsi di una intolleranza a livelli molto bassi di inquinanti chimici che si sviluppa attraverso due fasi: una fase di induzione determinata da un'esposizione acuta o cronica ad un agente chimico e, quindi, una seconda fase caratterizzata dalla



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

insorgenza dei sintomi dovuta ad esposizioni a livelli molto bassi della stessa sostanza o di altre sostanze prima tollerate (es. profumi, farmaci, alcool, caffeina, cibi).

3.3.4. Patologie neoplastiche da inquinanti indoor

Il tumore del polmone

I principali cancerogeni che possono essere presenti negli ambienti indoor sono il fumo di sigaretta, il radon e l'amianto. Inoltre si è ipotizzato che l'inquinamento dell'aria da composti organici volatili, in particolare formaldeide e benzene, costituisca un significativo rischio cancerogeno per i soggetti che trascorrono molto tempo in ambienti confinati e contribuisca al rischio cancerogeno complessivo della popolazione generale. In Europa il tumore del polmone rappresenta la principale causa di morte per cancro. La maggior parte dei casi di tumore del polmone insorge in soggetti fumatori, tuttavia una quota non trascurabile insorge anche in soggetti che non hanno mai fumato. Il fumo passivo è classificato come cancerogeno del gruppo 1 dall'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro IARC. Uno studio recente ha indicato come lo 0.5% dei casi di tumore del polmone nell'uomo ed il 4.6% dei casi di tumore nelle donne può essere ricondotto a esposizione a fumo passivo. Tra le sostanze cancerogene indoor, il radon è considerato la seconda causa del tumore del polmone (dopo il fumo attivo), circa il 9% delle morti per tumore del polmone può essere attribuito ad esposizione domestica a radon. Tra le cause di tumore del polmone devono essere anche annoverate le esposizioni croniche a polveri sottili, lo studio europeo ESCAPE non lascia dubbi in proposito: per ogni incremento di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di $\text{PM}_{2.5}$, il rischio relativo di ammalarsi di tumore al polmone aumenta del 18%, mentre cresce del 22% a ogni aumento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} .

Ricordiamo che il particolato è presente in maniera significativa negli ambienti indoor sia da provenienza esterna che prodotto negli stessi ambienti chiusi.

Anche l'esposizione a prodotti di combustione può aumentare il rischio di tumore del polmone, così come l'esposizione a vapori di oli di cottura e a prodotti di combustione del carbone utilizzato in apparecchiature domestiche.

E' ormai noto alla comunità scientifica internazionale che l'esposizione a fibre di amianto produce un aumentato rischio di patologie polmonari come pneumoconiosi, mesotelioma e cancro del polmone. In particolare la IARC classifica l'amianto nel gruppo 1, cioè nel gruppo di sostanze per le quali vi è evidenza sufficiente di cancerogenicità nell'uomo. Per quanto riguarda il tumore polmonare vi è un effetto sinergico con l'esposizione a fumo di sigaretta e vi è evidenza di un aumentato rischio correlato alle dosi di asbesto inalate; per quanto riguarda il mesotelioma vi è evidenza di casi di tumore anche per dosi molto basse di asbesto.

Patologie neoplastiche e formaldeide

Gli effetti irritanti acuti e cronici della Formaldeide (FA) sono ben noti e l'attività geno-tossica è stata dimostrata in diversi sistemi biologici. La FA è stata classificata dallo IARC come un probabile cancerogeno per l'uomo (gruppo 2A). Dagli esiti della valutazione del rischio occupazionale (1970-84) in 265 fabbriche danesi in cui



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

era stata documentata l'esposizione alla FA, risulta che essa può incrementare il rischio di tumore del naso, ma probabilmente non influenza l'insorgenza di altri tipi di tumore. L'azione cancerogena della formaldeide sarebbe legata in particolare ad alterazioni flogistiche, dell'epitelio nasale. Il rischio potenziale sarebbe quindi trascurabile per concentrazioni pari a 2 ppm di esposizione ambientale e sarebbe correlato ad una concentrazione di 6 ppm che si è rivelata sufficiente ad indurre alterazioni flogistiche, rigenerative e degenerative nell'epitelio nasale animale.

Il Benzene e le leucemie

Il benzene è un riconosciuto agente cancerogeno per l'uomo, potendo causare, in particolare, leucemie. È stato ipotizzato che l'inquinamento indoor da benzene possa costituire un significativo rischio cancerogeno per i soggetti che trascorrono molto tempo in ambienti confinati, anche se l'insufficiente caratterizzazione di tale inquinamento rende questa valutazione non ancora conclusiva.

3.3.5. Intossicazione da monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore, inodore e non irritante; si produce per combustione incompleta di qualsiasi materiale organico, in presenza di scarso contenuto di ossigeno nell'ambiente. Per le sue caratteristiche può essere inalato in modo subdolo ed impercettibile, fino a raggiungere nell'organismo concentrazioni letali.

In Italia le statistiche ufficiali più recenti riportano 500-600 morti l'anno, di cui circa i 2/3 per intossicazione volontaria. Tali cifre sicuramente sottostimano l'entità del problema poiché molti casi di intossicazione, soprattutto quelli accidentali o i casi non mortali, non vengono correttamente diagnosticati e registrati. Le manifestazioni cliniche dell'intossicazione da CO sono eterogenee e la severità della forma dipende dalla concentrazione del CO nell'aria inspirata, dalla durata dell'esposizione e dalle condizioni di salute delle persone coinvolte. Particolarmente sensibili all'azione dell'ossido di carbonio sono gli anziani, le persone con affezioni dell'apparato cardiovascolare e respiratorio, la donna gravida, il feto, il neonato e i bambini in genere. La sequenza degli eventi clinici è abbastanza ben correlata con le concentrazioni di carbossiemoglobina nel sangue. Per concentrazioni di COHb inferiori al 10% non si hanno effetti apprezzabili in individui sani, mentre nei broncopneumopatici si riduce la tolleranza all'esercizio fisico e nei coronaropatici si abbassa la soglia per la comparsa di angina pectoris. Per concentrazioni di COHb tra il 10% e il 20% compaiono cefalea, difficoltà di concentrazione e diminuita capacità di calcolo, senso di instabilità, nausea e vasodilatazione cutanea. Tra 20 e 30% di COHb la cefalea è costante, si manifestano confusione mentale, dispnea e cardiopalmo, vomito e, specialmente nei bambini, dolori addominali e diarrea. Al di sopra del 30% di COHb insorgono astenia profonda, tachicardia, aritmie, crisi anginose, vertigini, acufeni, turbe del visus, agitazione psicomotoria, convulsioni e lipotimia. Quando la concentrazione di COHb supera il 50-60% subentrano stato di coma, gravi aritmie cardiache, respiro di Cheyne-Stokes, edema polmonare, ipotensione e stato di shock. Per concentrazioni superiori all'80% si ha l'exitus per arresto cardiorespiratorio. Superata la fase acuta è possibile l'instaurarsi di sequele soprattutto di tipo neuropsichiatrico consistenti in deterioramento intellettivo, perdita di



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

memoria, modificazione di personalità, danni cerebrali, cerebellari e a tipo parkinsoniano. Molto si è discusso sull'esistenza di un quadro di intossicazione cronica da CO. In alcuni soggetti esposti per lungo tempo all'assorbimento di piccole quantità del tossico, è stata descritta una sintomatologia caratterizzata da astenia, cefalea, vertigini, nevriti, sindromi parkinsoniane ed epilettiche, aritmie, crisi anginose.

3.3.6. *Patologie da interferenti endocrini (I.E.)*

Nel 2002 l'OMS ha pubblicato un documento dal titolo "*Global Assessment of the State-of-the-Science of Endocrine Disruptors*" (IPCS, 2002). Nel documento si poneva l'accento sulla necessità di approfondire le possibili interferenze di alcune sostanze chimiche sull'attività ormonale dell'organismo umano, partendo dall'osservazione che molte malattie correlabili a disturbi endocrini erano in aumento e in particolare le patologie o i disturbi a carico dell'apparato riproduttivo sia maschile che femminile, le patologie della tiroide e le malattie dismetaboliche quali obesità e diabete. La prevalenza dell'obesità e del diabete di tipo 2 era aumentata drammaticamente in tutto il mondo negli ultimi 40 anni, si stimava che 1,5 miliardi di adulti in tutto il mondo fossero in sovrappeso o obesi e che i soggetti con diabete di tipo 2 erano passati da 153 milioni a 347 milioni tra il 1980 e il 2008.

A distanza di 10 anni dalla prima pubblicazione l'OMS, con la monografia "*State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals*" del 2012, aggiorna ed approfondisce l'argomento definendo meglio la portata degli impatti su scala mondiale, ampliando le conoscenze sugli agenti causali e sui meccanismi eziopatogenetici. Nuovi quadri patologici e malformativi sono stati correlati agli I.E. ed interessano non solo la sfera sessuale, ma anche lo sviluppo neurologico, l'apparato scheletrico, il sistema immunologico e non ultimo la possibile/probabile interferenza sulla carcinogenesi di tumori quali: mammella, utero, ovaio, testicoli, prostata e tiroide.

Indagare sugli aspetti più strettamente clinici non rientra tra gli intenti di questo documento, mentre è più rilevante conoscere quali e quanti composti chimici possono avere un ruolo in questi processi. Numerose sostanze chimiche appartenenti a diverse classi sono ora identificate come I.E. e comprendono additivi nei materiali e nei beni di consumo (prodotti farmaceutici, prodotti per la cura personale, elettronica, imballaggi alimentari, abbigliamento, ecc.), metalli e pesticidi.

Nella tabella seguente gli I.E. noti o potenziali sono raggruppati in 11 categorie, alcune sostanze sono evidenziate in neretto in quanto di interesse specifico. Queste sostanze chimiche provengono da una varietà di fonti, entrano nell'ambiente durante la produzione, l'uso o lo smaltimento ed hanno un'ampia gamma di comportamenti nell'ambiente, ed inoltre esistono ulteriori fonti di esposizione, tra cui la polvere dagli ambienti indoor e il contatto diretto con i prodotti di consumo.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Endocrine disrupting chemicals (EDCs) can be grouped in multiple ways. In this table known or potential EDCs are grouped into 11 categories with examples of individual EDCs. Bolded chemicals were selected since they are regarded to be of specific interest as EDCs, and are described in more detail in the text.

Classification	Specific Examples of EDCs ¹
Persistent Organic Pollutants (POPs) (Stockholm Convention) (section 3.1.1.1)	PCDDs/PCDFs, PCBs , HCB, PFOS , PBDEs , PBBs, Chlordane, Mirex, Toxaphene, DDT/DDE , Lindane, Endosulfan
Other Persistent and Bioaccumulative Chemicals (section 3.1.1.2)	HBCDD , SCCP, PFCAs (e.g. PFOA), Octachlorostyrene, PCB methyl sulfones
Plasticizers and Other Additives in Materials and Goods (section 3.1.1.3)	Phthalate esters (DEHP , BBP, DBP, DiNP), Triphenyl phosphate, Bis(2-ethylhexyl)adipate, n-Butylbenzene, Triclocarban, Butylated hydroxyanisole
Polycyclic Aromatic Chemicals (PACs) including PAHs (section 3.1.1.4)	Benzo(a)pyrene , Benzo(a)anthracene, Pyrene, Anthracene
Halogenated Phenolic Chemicals (HPCs) (section 3.1.1.5)	2,4-Dichlorophenol, Pentachlorophenol, Hydroxy-PCBs, Hydroxy-PBDEs, Tetrabromobisphenol A, 2,4,6-Tribromophenol, Triclosan
Non-halogenated Phenolic Chemicals (Non-HPCs) (section 3.1.1.5)	Bisphenol A , Bisphenol F, Bisphenol S, Nonylphenol, Octylphenol, Resorcinol
Pesticides, pharmaceuticals and personal care product ingredients	
Current-use Pesticides (section 3.1.1.6)	2,4-D, Atrazine , Carbaryl, Malathion, Mancozeb, Vinclozolin , Prochloraz, Procymidone, Chlorpyrifos, Fenitrothion, Linuron
Pharmaceuticals, Growth Promoters, and Personal Care Product Ingredients (section 3.1.1.7)	Endocrine active (e.g. Diethylstilbestrol, Ethinylestradiol, Tamoxifen, Levonorgestrel), Selective serotonin reuptake inhibitors (SSRIs; e.g. Fluoxetine), Flutamide, 4-Methylbenzylidene camphor, Octyl-methoxycinnamate, Parabens, Cyclic methyl siloxanes (D4, D5 , D6), Galaxolide, 3-Benzylidene camphor
Other chemicals	
Metals and Organometallic Chemicals (section 3.1.1.8)	Arsenic, Cadmium, Lead, Mercury, Methylmercury , Tributyltin, Triphenyltin
Natural Hormones (section 3.1.1.9)	17 β -Estradiol, Estrone, Testosterone
Phytoestrogens (section 3.1.1.9)	Isoflavones (e.g. Genistein, Daidzein), Coumestans (e.g. Coumestrol), Mycotoxins (e.g. Zearalenone), Prenylflavonoids (e.g. 8-prenylnaringenin)

WHO: *State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals - 2012*

Gli I.E. sono prodotti chimici esogeni o miscele chimiche che possono interferire con qualsiasi aspetto della funzione ormonale, possono agire direttamente sui recettori ormonali o indirettamente sulle di proteine che ne regolano il trasporto. Molte di queste sostanze possono esercitare un'attività di I.E. multipla interagendo con più recettori ormonali contemporaneamente: estrogeni, androgeni e ormoni tiroidei. Gli I.E. possono produrre effetti anche a basse dosi, sommandosi e potenziandosi se combinati tra loro, la portata degli effetti combinati è governata dal numero totale di I.E. presenti e dalla loro potenza individuale.

Nella tabella le classi di sostanze chimiche rappresentate sono le stesse che abbiamo segnalato nei capitoli precedenti per altri tipi di patologie, a testimonianza della loro molteplicità di effetti; è pur vero che non tutti gli appartenenti ad una classe di composti possono avere ricadute sulla salute delle persone, ma per molte di esse gli effetti sono sconosciuti e quindi un approccio cautelativo è d'obbligo.

Sostanze come i ritardanti di fiamma sono comunemente presenti in ambienti indoor nelle suppellettili, negli arredi, negli elettrodomestici, ecc. spesso assolvono a funzioni importanti per la sicurezza delle persone e quindi non vanno demonizzati, ma una attenta valutazione ed una scelta oculata anche in fase di edificazione o di ristrutturazione di un immobile sono fattori importanti ai fini preventivi. L'interferenza endocrina rappresenta una forma speciale di tossicità e questo dovrebbe essere sempre preso in considerazione nella progettazione di studi per chiarire gli effetti sulla salute umana o nell'interpretazione dei risultati di studi su sostanze chimiche.

3.3.7. Patologie da rumore

L'inquinamento acustico presente nelle aree urbane costituisce un grave problema ambientale che sta alla base di effetti dannosi per la salute dei residenti che si trovano esposti soprattutto al rumore proveniente dal traffico veicolare, ferroviario, aereo e a quello derivante dagli impianti industriali, tecnologici e ricreativi.

Prove scientifiche hanno dimostrato che una prolungata esposizione a livelli elevati di inquinamento acustico può determinare gravi ripercussioni non solo sull'apparato uditivo ma anche in altri apparati e sistemi come le aree regolate dal sistema endocrino e dal cervello. Infatti benché tali effetti siano di difficile quantificazione numerosi studi su animali hanno dimostrato che il rumore è in grado di attivare alcune aree encefaliche extrauditiva come l'ipotalamo che regola i circuiti relativi alle emozioni, alle funzioni del Sistema Nervoso Autonomo e a quelle endocrine, causando patologie cardiovascolari, disturbi del sonno e annoyance (sensazione di disagio con effetti negativi sul benessere generale), l'interferenza con la comunicazione verbale e l'apprendimento, effetti psicofisiologici e sulla salute mentale.

Secondo l'OMS, in Europa l'inquinamento acustico è la seconda causa di patologie dovute a fattori ambientali, preceduta soltanto dall'inquinamento atmosferico.

La Relazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio, sull'attuazione della direttiva sul rumore ambientale ai sensi dell'articolo 11 della direttiva 2002/49/CE, del 30/03/2017, evidenzia che:

- il rumore causato dal traffico viario, nelle aree urbane, risulta la principale sorgente di rumore alla base dell'esposizione delle persone, con un totale stimato di circa 70 milioni di persone esposte all'interno degli agglomerati a livelli superiori a 55 dB L_{den} (determinato sull'insieme dei periodi giornalieri di un anno solare)
- la seconda maggior sorgente di rumore è rappresentata dal traffico ferroviario, con un totale di circa 10 milioni di persone seguita dal traffico aereo, con circa 3 milioni di persone,



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

- il rumore causato dalle attività industriali all'interno delle zone urbane espone circa 1 milione di persone.

Da questi dati sull'esposizione la Commissione desume che 14,1 milioni di adulti sono fortemente disturbati dal rumore ambientale, un numero pari a 5,9 milioni di adulti soffre di gravi disturbi del sonno e ogni anno si contano 69 000 ricoveri e 15 900 casi di mortalità precoce a causa del rumore ambientale.

Per contrastare l'esposizione della popolazione a livelli eccessivi di rumore la Commissione propone di adottare politiche di pianificazione urbanistica (come suggerito dal 7° Programma di Azione per l'Ambiente) finalizzati a contenere i livelli eccessivi di rumore nelle aree urbane.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

4 Sistemi di riduzione/abbattimento dei livelli di inquinanti indoor

Come detto nei capitoli precedenti, la presenza di sostanze inquinanti in ambienti indoor rappresenta un importante determinante per la salute della popolazione. L'inquinamento prodotto può derivare da differenti sostanze che possono essere presenti anche contemporaneamente e che possono incidere sulla salute e sul benessere degli occupanti a causa delle esposizioni di lunga durata. Gli effetti che le sostanze contaminanti, presenti all'interno degli ambienti indoor, possono avere sugli occupanti degli edifici sono di tipo olfattivo (talvolta associate anche da mal di testa, irritazioni alla gola, agli occhi, biologici su specifici organi (apparato respiratorio, cute) ed infine effetti cancerogeni. Al fine di prevenire tali effetti e quindi ridurre la quantità delle sostanze inquinanti, possono essere previsti, all'atto della costruzione o eventuale ristrutturazione dell'edificio, opportuni sistemi di riduzione ed abbattimento di tali inquinanti, oltre naturalmente, all'utilizzo di materiali da costruzione e di arredo a basso potere di emissione. Già in fase di progettazione, al fine di garantire basse concentrazioni di inquinanti, è opportuno prevedere sistemi per limitare l'ingresso degli stessi, favorendo la circolazione d'aria e, conseguentemente, limitare il ristagno di umidità. La letteratura, al fine di ridurre o abbattere tali concentrazioni, riporta i metodi utilizzati per l'ottenimento di una buona qualità dell'aria interna: la riduzione delle sorgenti di inquinanti, la rimozione degli inquinanti alla fonte e la diluizione degli inquinanti mediante sistemi di ventilazione.

4.1 Riduzione delle sorgenti di inquinanti

Consiste nel ridurre l'immissione nell'ambiente indoor degli inquinanti, scegliendo materiali a basso rilascio, evitando o limitando l'uso di quelle apparecchiature che emettono contaminanti ed effettuando quelle manutenzioni che riducono o eliminano i rischi di produzione degli stessi da parte degli impianti. Per quanto riguarda la sporcizia presente nelle condotte dei sistemi di ventilazione, va considerato che la stessa può accumularsi già durante la loro messa in opera a causa di un'assenza di protocolli di protezione; infatti le condotte andrebbero pulite man mano che si installano e sigillate durante le interruzioni della fase di montaggio, evitando così l'accumulo di polvere e di sporcizia. Inoltre, è preferibile la scelta di filtri assoluti ad elevata efficienza, poiché nel corso del funzionamento dell'impianto che utilizza filtri normali, gli stessi lasciano passare piccolissime frazioni degli inquinanti solidi che, col passare del tempo, si ritrovano depositati sul fondo delle condotte e costituiscono un ottimo terreno di coltura per microrganismi, soprattutto in presenza di umidità. Per l'impiego dei prodotti di finitura:

- nella scelta dei materiali valutare con attenzione gli usi specifici e le condizioni di esercizio dei locali (elevata presenza di umidità);
- scegliere materiali facilmente pulibili anche senza l'uso di prodotti inquinanti per la pulizia e la manutenzione (es. lucidanti, antipolvere, ecc.);
- ridurre al minimo l'utilizzo di materiali adsorbenti (tessili, materiali porosi);
- valutare il rapporto tra cubatura degli spazi e superficie del prodotto;



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

- nel caso di materiali che possono emettere composti organici volatili destinarli esclusivamente a luoghi ben ventilati;
- evitare l'uso di agenti protettivi contro la degradazione biologica: costruire gli edifici in modo che tali agenti non siano necessari (procedure di pulizia, umidità);
- assicurarsi che i materiali siano idonei alle condizioni d'uso, programmando interventi di manutenzione per allungare la vita degli stessi.

4.2 Rimozione degli inquinanti alla fonte

il metodo è applicabile quando la produzione di inquinanti avviene in uno spazio ben definito, con la semplice installazione di sistemi di estrazione dell'aria localizzati in corrispondenza della fonte degli inquinanti. Un esempio di questa applicazione può essere fornito dai servizi igienici, nei quali con costi assai limitati l'aria ricca di contaminanti viene espulsa tramite un estrattore e convogliata all'esterno. Caso analogo lo si ritrova nelle cucine con l'utilizzo della cappa aspirante. Oltre all'espulsione dei contaminanti la depressione creata, favorisce l'infiltrazione di aria esterna attraverso i serramenti o, più in generale, attraverso le aperture dell'edificio creando l'effetto diluizione. Di fondamentale importanza la manutenzione degli estrattori per garantire nel tempo sempre le stesse performance.

4.3 Diluizione degli inquinanti mediante sistemi di ventilazione

L'adeguata ventilazione degli ambienti indoor, consente la diluizione dell'aria e conseguentemente la riduzione della concentrazione inquinanti specifici (odori provenienti da servizi igienici – vapori di cottura); inoltre l'uso della ventilazione permette la rimozione degli inquinanti stessi. In aggiunta, permette di garantire l'aria per l'attività metabolica degli occupanti, il controllo dell'umidità interna così da evitare la formazione di condense e successivamente muffe ed infine fornire il giusto apporto di aria comburente in presenza di apparecchiature a gas per uso domestico. La ventilazione ottimale deve essere garantita in tutti i locali dell'edificio, senza creare un disagio termico per gli occupanti, deve garantire l'introduzione di aria salubre con la quasi totale assenza di inquinanti e microrganismi tramite il posizionamento corretto delle prese d'aria in combinazione con l'utilizzo di filtri di classe adeguata e soprattutto deve assicurare i ricambi minimi garantiti in relazione al tipo di destinazione d'uso dei medesimi. I ricambi possono essere effettuati o sulla base del numero di occupanti o sulla concentrazione degli inquinanti presenti in seguito a monitoraggio. La ventilazione può essere:

- naturale, dovuta - a causa del vento e delle differenze di temperatura, ed alla permeabilità all'aria degli infissi - alla differenza di pressione che si instaura tra interno ed esterno dell'edificio. Già da diversi anni, sono sempre più presenti negli edifici infissi sempre più a tenuta, ottenendo una riduzione delle dispersioni e delle spese energetiche e un miglioramento dell'isolamento acustico, ma anche una drastica diminuzione delle portate d'aria di rinnovo e quindi un aumento della concentrazione degli inquinanti. Per ovviare a questo problema in alcuni Paesi nordeuropei, in associazione a tali serramenti vengono installate delle griglie di areazione - di tipo passivo e attivo - che permettono il naturale ricircolo d'aria. Esistono inoltre particolari infissi

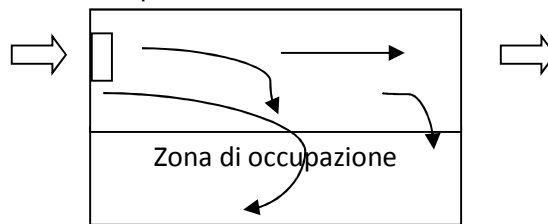


REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

che tramite un apposito deflettore permettono di regolare il ricambio d'aria, l'umidità e limitando anche il rumore esterno;

- forzata o meccanica generata attraverso l'utilizzo di ventilatori che prelevando aria dall'ambiente esterno attraverso una rete di condotte spingono una portata d'aria all'interno dell'edificio.

L'impianto di ventilazione può essere di "ventilazione" propriamente detto se l'aria che viene fornita dall'esterno non è trattata; di "termoventilazione" se l'aria è riscaldata o raffreddata; di condizionamento se è l'impianto è in grado di riscaldare e di umidificare l'aria nella stagione invernale e di raffreddarla e deumidificarla in quella estiva. Al fine di limitare la concentrazione degli inquinanti nell'ambiente indoor è necessario che la quantità degli inquinanti nell'aria esterna sia inferiore a quella dell'aria interna; a monte del sistema di ventilazione deve, pertanto, installato un sistema di filtrazione dell'aria e le prese d'aria devono essere posizionate lontano dalle sorgenti di inquinamento esterne. E' importante che, al fine della diluzione degli inquinanti, ci sia un completo miscelamento tra l'aria immessa dall'esterno e quella interna; infatti se le bocchette di aspirazione fossero collocate in prossimità di quelle di immissione, non ci sarebbe un miscelamento completo, in quanto una parte dell'aria immessa verrebbe espulsa senza miscelarsi. Ciò è mostrato nella figura seguente



Importante a tal proposito è la valutazione dell'efficienza di ventilazione, così definita:

$$\epsilon_v = (C_{j,es} - C_{j,e}) / (C_{j,m} - C_{j,e})$$

dove $C_{j,es}$ è la concentrazione dell'inquinante j all'estrazione, $C_{j,e}$ è la concentrazione dell'inquinante j all'esterno e $C_{j,m}$ è quella dell'inquinante nell'ambiente indoor. L'efficienza sarà pari ad 1 quando $C_{j,es} = C_{j,m}$ (in questo caso l'aria immessa si mescola perfettamente con quella presente nell'ambiente indoor – fig. a) e sarà maggiore di 1 quando l'aria procede a "pistone" e la concentrazione dell'inquinante j aumenta gradualmente e raggiunge il valore massimo in corrispondenza della bocchetta di estrazione (fig. b).

fig. a

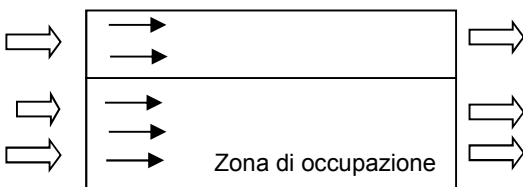
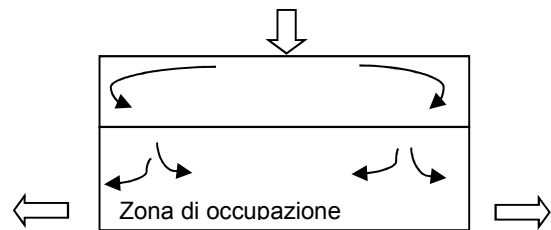


fig. b



Conseguentemente, in fase di progettazione si devono avere elevate efficienze di ventilazione.

Una soluzione intelligente si sta facendo strada nel mercato specializzato, si tratta degli impianti DCV (*Demand Controlled Ventilation* ovvero *Ventilazione controllata a domanda*). Questi particolari sistemi garantiscono il ricambio d'aria in base all'effettiva domanda in funzione del tasso di inquinamento presente istante per istante nell'ambiente. Il tutto viene gestito da una centralina che rileva tramite sensori gli inquinanti interni regolando l'afflusso d'aria necessario alla loro diluizione entro certi valori predeterminati.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Per concludere di seguito si riportano alcune indicazioni e buone prassi al fine di ridurre ulteriormente i fattori di rischio precedentemente descritti.

- Progettare le abitazioni di modo che le stanze da letto e i luoghi dove si trascorre la maggior parte del tempo siano lontani da elettrodomestici in funzione (lavatrici, lavastoviglie, forni elettrici) infatti a causa della loro potenza, possono generare campi elettromagnetici elevati. Per lo stesso motivo non disporre i letti contro pareti che abbiano dalla parte opposta frigoriferi, lavatrici, ecc.
- Per quanto riguarda le muffe, assicurarsi che i muri esterni, le fondamenta, i sottotetti e l'attico siano isolati e ben ventilati, cercare di mantenere all'interno dell'abitazione un'umidità inferiore al 50%, assicurarsi che non vi sia terra o altro materiale che possa drenare l'umidità a diretto contatto con i muri della casa
- Utilizzare vernici antimuffa a base di acqua nelle zone a maggior rischio così da prevenire la loro formazione.
- Assicurare una corretta manutenzione di umidificatori e condizionatori e del sistema di ventilazione meccanica, in particolare delle bocchette esterne e dei filtri.
- Evitare il posizionamento di materiali assorbenti o porosi come moquettes, per prevenire la proliferazione di acari inoltre arieggiare continuamente e quotidianamente le stanze dell'abitazione.

4.4 Riduzione della concentrazione di Radon

La presenza del radon all'interno degli ambienti indoor è dovuta fondamentalmente alla depressione che si produce tra i locali interni ed il suolo; essa è causata principalmente dalla differenza di temperatura tra l'edificio ed il suolo che soprattutto in inverno, quando gli ambienti indoor sono riscaldati; la differenza di temperatura produce un dislivello di pressione dal basso verso l'alto. Anche la presenza nell'ambiente indoor di aperture (camini, finestre, lucernari, nonché da impianti di aspirazione) causa differenze di pressioni; tale depressioni si traducono nell'aspirazione dell'aria dal suolo e con essa del radon contenuto. Inoltre, il vento, la presenza di ventilatori elettrici aspiranti (bagni, cappe d'aspirazione), il tiraggio delle canne fumarie di stufe caminetti non dotati di una presa d'aria esterna sono fattori possono aumentare la depressione tra suolo ed edificio. Altro fattore di ingresso del radon negli ambienti indoor è dovuto a fenomeni di infiltrazione se nell'edificio sono presenti crepe e giunti in pavimenti e pareti, fori di passaggio cavi (soprattutto in tubi vuoti), pozzetti ed aperture nelle pareti (ad esempio delle cantine) e pavimenti naturali (terra battuta, in ghiaia, in lastre di pietra o ciottoli) e componenti costruttivi permeabili (solai in legno, a laterizi forati, muri in pietra e simili). Sia per gli edifici di nuova costruzione che per quelli esistenti, i metodi principali (che possono essere applicati anche contemporaneamente) che impediscono o limitano l'ingresso del radon in ambienti indoor sono:

- la depressurizzazione del suolo;
- la ventilazione del vespaio;
- la sigillatura delle vie d'ingresso;
- la pressurizzazione dell'edificio.

Si deve tenere in considerazione il fatto che mentre nelle nuove edificazioni, le misure preventive sono già previste in fase di progettazione, nel caso di vecchi edifici è necessario valutare attentamente le



diverse possibilità di intervento (in termini tecnici e di costi). Di seguito sono riportate le principali tecniche di intervento che favoriscono la diminuzione della concentrazione nel radon all'interno degli ambienti indoor, considerando gli edifici di nuova costruzione e quelli esistenti.

➤ *Edifici di nuova costruzione*

I principali sistemi per la riduzione del radon sono:

- Sistema di depressurizzazione passiva (senza pompa di aspirazione) sub-soletta controterra (fig.a) o sub-membrana (fig. b); tale sistema é di costo limitato e spesso è sufficiente ad impedire l'ingresso del radon. Nel caso in cui l'edificio, una volta costruito, evidenziasse la presenza di elevate concentrazioni di radon, può essere trasformato in sistema attivo
- sistema di depressurizzazione attiva (con pompa aspirante) (fig. c) sub-soletta controterra o sub-membrana; tale sistema è più efficace rispetto a quello passivo, ma devono essere presi in considerazione i costi energetici per l'aspirazione e i costi di manutenzione del sistema.

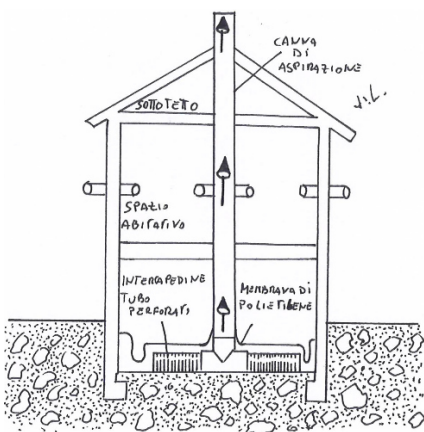


fig a - Sistema passivo in fondazioni con soletta controterra

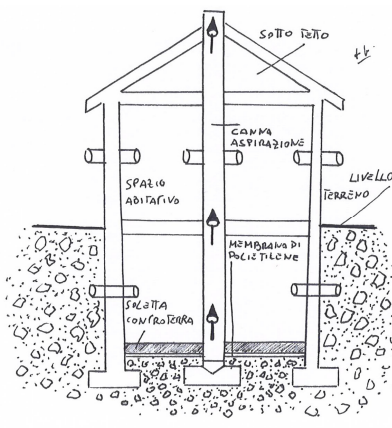


fig. b - Sistema passivo in fondazioni in intercapedine (sub-membrana)

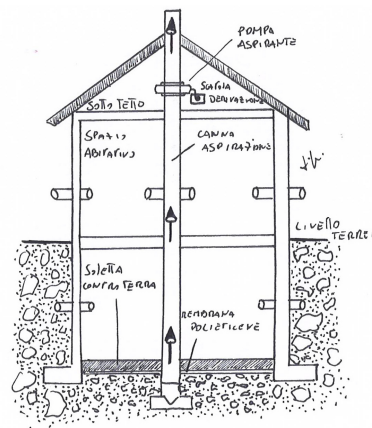


fig.c - Sistema attivo

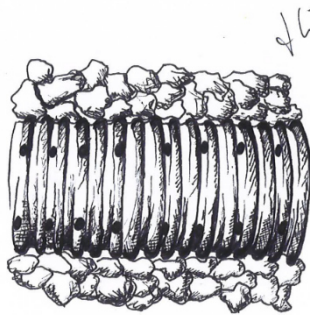
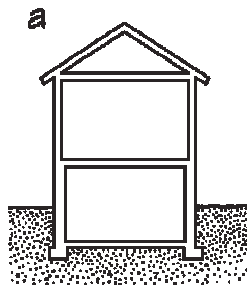
Tutti i sistemi sopra illustrati devono essere dotati di un tubo di aspirazione, in PVC, che ha il compito di portare il radon, che proviene dal suolo, all'esterno dell'edificio. Il tubo deve essere posizionato in una zona calda dell'edificio e dovrà fuori uscire dal tetto (con sporgenza di almeno 30 cm oltre il livello del tetto, per evitare che il radon che fuoriesca rientri in nell'edificio o in abitazioni vicine). La tubazione potrà essere posizionata accanto ad una canna fumaria o alla conduttura dell'acqua calda. Se l'edificio prevede una soletta controterra il radon deve potersi muovere liberamente sotto questa verso il suo punto di raccolta costituito dalla canna d'aspirazione e, le soluzioni di base da adottare per questo tipo di fondazione sono funzione del tipo terreno di fondazione:

- in terreni e poco permeabili, al di sotto della prima soletta del piano terra, seminterrato o scantinato, è consuetudine realizzare un vespaio per preservare l'edificio dall'umidità. I vespai sono molto permeabili all'aria e quindi, mettendo in comunicazione il vespaio con un ambiente esterno a pressione inferiore tramite la canna d'aspirazione, si permette il deflusso dell'aria contenente radon.

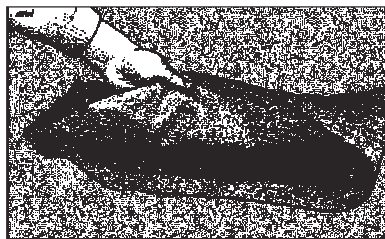


REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

- terreni abbastanza permeabili, al fine di prelevare l'aria contenente radon, si possono scavare canali nel terreno e disporre al loro interno tubi corrugati e perforati di diametro minimo pari a 10 cm, come nella figura seguente; i tubi, uniti tra loro, dovranno formare un singolo anello chiuso, collegato alla canna d'aspirazione se l'area del terreno da drenare è inferiore a 360 m², mentre, in presenza di aree con dimensioni maggiori, andranno realizzati più anelli separati.



- in terreni abbastanza permeabili ma compatti o gelati da rendere difficoltoso o troppo oneroso lo scavo, quest'ultimo può essere evitato utilizzando "stuoie drenanti", realizzate in materiale plastico a sezione alveolare, avvolte da tessuto geotessile filtrante che permette il passaggio dell'aria ma non quello del calcestruzzo fresco, come nella figura seguente



➤ *Edifici esistenti*

Rispetto agli edifici di nuova costruzione, il risanamento di edifici esistenti con elevate concentrazioni di radon, può essere estremamente difficile, incerta e costosa della prevenzione effettuata correttamente in nuove costruzioni. Le strategie da adottare in caso di ristrutturazione dell'edificio si rimanda al capitolo precedente mentre, per quanto riguarda gli interventi semplici fra cui scegliere quello o quelli più adatti per il risanamento di edifici già esistenti che non compromettano il normale uso dell'edificio, se ne presenta di seguito una



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

rassegna. Le azioni di risanamento, analogamente alle azioni che possono essere intraprese per la protezione preventiva dei nuovi edifici, devono essere concepite in maniera da eliminare o almeno ridurre in modo significativo la risalita di radon negli edifici dovuta alla depressione dei locali abitati rispetto al suolo e/o all'infiltrazione. Gli interventi si possono generalmente suddividere in:

- Eliminazione dei fattori che generano depressione nei locali abitativi

L'eliminazione dei fattori che conducono ad una depressione possono essere attuati

- *con creazione di aperture per l'apporto d'aria fresca*

Negli edifici dotati di impianti di aspirazione in bagno, in cucina o in altri locali, e privi di aperture verso l'esterno, si può creare una depressione maggiore di 20 Pa. Essa si può trasmettere alle parti della costruzione a contatto col suolo con l'effetto di aspirare il radon. Nell'ambito del risanamento, occorre creare aperture di dimensioni sufficienti a bilanciare l'effetto dell'aspiratore.

- *con l'isolamento di pozzi e camini negli scantinati*

Per ridurre l'effetto del gradiente termico di pozzi e camini che attraversano diversi piani e finiscono in cantina, bastano due interventi, attuabili singolarmente o congiuntamente:

- i pozzi e i camini che si trovano in cantina vanno il più possibile isolati;
- occorre dotare i pozzi e i camini di una presa d'aria esterna (con sifone).

Se ciò non fosse possibile si praticheranno in cantina aperture verso l'esterno sufficienti a controbilanciare la depressione rispetto al suolo. Anche queste prese d'aria verranno dotate di sifone per evitare un'eccessiva dispersione di calore.

- *con apporto d'aria esterna per stufe e caldaie*

Le stufe, i caminetti e le caldaie che si trovano in locali di soggiorno, per motivi energetici ed igienici, dovrebbero possedere prese dirette d'aria esterna. L'apporto controllato di aria esterna nelle camere di combustione degli impianti di riscaldamento diminuisce la depressione creata dai bruciatori a iniezione e dal tiraggio del camino.

- *con aspirazione dell'aria*

Quando il soffitto delle cantine è realizzato con materiali o elementi molto porosi, l'aria di questi ambienti è aspirata verso i piani superiori. La depressione può essere equilibrata con un ventilatore che aspiri l'aria della cantina. Le cantine devono essere il più possibile impermeabili per usare un ventilatore piccolo e diminuire le perdite termiche. In presenza di generatori di calore nella cantina, tale sistema può essere usato solamente se i generatori sono dotati di camere stagne di combustione. Questo tipo di intervento infatti può indurre una depressione che può provocare un ritorno di fumo con rischi di intossicazione (CO). Per lo stesso motivo non è da usarsi in presenza di caminetti o apparati simili a fiamma libera.

- Depressurizzazione dell'area sottostante l'edificio

La depressurizzazione del terreno situato sotto l'edificio consente l'asportazione passiva o attiva (con ventilatore) del radon. Si possono impiegare due tecniche molto diverse l'una dall'altra:



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

- aspirazione dell'aria dalle intercapedini o dai vespai. L'aria fresca che rimpiazza l'aria estratta diluisce sufficientemente le piccole quantità di radon provenienti dal sottosuolo. È necessario che le aperture per la ventilazione siano di dimensioni sufficienti;

- nelle intercapedini o negli strati di terra sotto l'edificio viene generata una depressione (rispetto alla pressione atmosferica del locale immediatamente superiore all'intercapedine). In questo caso il sottosuolo deve essere compatto ed impermeabile in modo da impiegare flussi d'aria ridotti e potenze minime per ottenere una depressione sufficiente ad ostacolare l'infiltrazione del radon. Se il suolo o il riempimento si rivela così poroso da impedire la generazione della depressione desiderata con mezzi ragionevoli, si possono ottenere risultati equivalenti tramite la ventilazione. Secondo il caso, si sceglierà una soluzione o l'altra. In molti casi, queste due misure possono anche combinarsi. La depressurizzazione dell'area sottostante l'edificio, può avvenire anche in modo diretto tramite un pozzo di raccolta centrale (l'aria del sottosuolo viene raccolta in un semplice pozzo sotto il pavimento esistente e dispersa mediante), in più punti (l'aria del sottosuolo viene aspirata con tubi che vengono fatti passare nel pavimento della cantina), con impianti di drenaggio già esistenti (*esistono esempi di risanamento in cui con l'ausilio di un ventilatore è stata aspirata l'aria del sottosuolo dalle condutture di drenaggio esistenti*), *con fori passanti (in presenza di un vespaio o di strato poroso di materiale di riporto sotto la soletta controterra, si può ottenere una riduzione del radon mettendo in comunicazione con l'esterno detto strato attraverso)*, *con un canale di raccolta (lungo le pareti interne dell'edificio, si dispone un canale che raccoglie l'aria contenente radon proveniente da fessure lineari come i giunti. Un ventilatore genera nel canale una leggera depressione e spinge all'aperto l'aria aspirata tramite un tubo di scarico.*

- Generazione di una sovrappressione artificiale nell'edificio

Per impedire infiltrazioni di radon dal sottosuolo, si può anche applicare una leggera sovrappressione al suo interno; per far ciò si può installare un impianto di ventilazione nei locali di soggiorno. Generalmente la quantità di aria asportata è pari, o leggermente superiore, a quella immessa in modo da ottenere una debole depressione nelle abitazioni o negli uffici. Nel caso d'infiltrazioni di radon, la quantità di aria immessa deve invece superare quella dell'aria asportata.

- Espulsione mediante ventilazione dell'aria ricca di radon dalla cantina

Attuare all'interno degli scantinati un abbondante ricambio di aria può diminuirne la concentrazione al punto da rendere innocua l'aria della cantina e non avere più un trasporto rilevante di radon da questa ai locali di soggiorno. Se si usa un ventilatore di aspirazione in cantina, si genera una depressione che fa aumentare l'aspirazione d'aria dal sottosuolo, ma agendo questo anche nei confronti dei locali di soggiorno, impedisce al radon di penetrarvi e lo espelle all'aperto. L'intensa ventilazione della cantina in inverno ne abbassa però la temperatura, perciò occorre isolare bene le parti della costruzione a contatto coi locali di soggiorno riscaldati (soffitto della cantina, pareti del vano scala, lato inferiore delle scale ecc.) e le condutture dell'impianto di riscaldamento. Tuttavia, in genere, nei periodi invernali la ventilazione delle cantine viene comunque ridotta. Questo tipo di intervento diventa quindi spesso poco efficace proprio nei periodi in cui l'emanazione di radon è maggiore. È evidente, quindi, il motivo per cui questa metodologia venga in genere considerata provvisoria in attesa della realizzazione di altre opere di risanamento.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

- Espulsione mediante ventilazione dell'aria ricca di radon dai locali abitativi e/o filtrazione dell'aria

In presenza di infiltrazione di radon dalla cantina, è possibile diminuirne la concentrazione nella zona abitata intensificando il ricambio d'aria. Si produce così una riduzione temporanea della concentrazione di radon. Nei periodi freddi questa strategia presenta evidenti controindicazioni: se si aprono spesso le finestre per garantire un forte ricambio d'aria diminuisce la temperatura degli ambienti e di conseguenza anche il comfort abitativo. Una soluzione migliore è costituita dall'installazione di un impianto di ventilazione con recupero del calore. Prima dell'espulsione, tramite uno scambiatore o una pompa di calore, si estraggono il calore e l'umidità dall'aria raccolta e si trasmette il calore all'aria fresca. Gli impianti di ventilazione con recupero del calore consentono un intenso ricambio d'aria (necessario per ridurre la concentrazione di radon) anche durante l'inverno, senza eccessive perdite energetiche. Inoltre, il ricambio d'aria è garantito ininterrottamente e non dipende dalle abitudini degli abitanti. In alternativa esistono impianti di filtrazione dell'aria muniti di filtri a carboni attivi in grado di catturare il radon presente in un ambiente

- Isolamenti e sigillatura

Per il risanamento dal radon di edifici esistenti, l'isolamento delle superfici a contatto col terreno, nella maggioranza dei casi, può essere attuato solo dalla parte interna dell'edificio. Questo tipo d'intervento, eseguito con membrane e materiali sigillanti liquidi o spatolabili, comporta però un numero molto alto di raccordi e connessioni con il rischio di tenuta non perfetta. In questo caso le tecniche impiegate contro l'umidità sono efficaci anche contro il radon.

- ❖ Malte isolanti, pitture, ecc.

Contro l'infiltrazione di umidità si usano spesso rivestimenti (pitture o malte) liquidi o spatolabili. Questi rivestimenti costituiscono un buon isolamento dal radon purché non presentino crepe o forature. Occorre un controllo accurato perché, se i punti di perdita non vengono chiusi, il radon penetra nell'ambiente. Inoltre si richiede un fondo stabile, privo di crepe di assestamento e giunti di dilatazione. Lo stesso vale per l'applicazione di rivestimenti interni relativamente ermetici come piastrelle, tappezzerie isolanti (fibre rustiche su fogli di alluminio) o sistemi di rivestimento liquidi parzialmente impermeabili al gas (vernice al clorocaucciù). Queste tecniche servono comunque come misura complementare. Le iniezioni di materiale, così come vengono impiegate per problemi di umidità nelle vecchie opere in muratura, finora non hanno permesso di ottenere risultati soddisfacenti nella protezione dal radon.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

❖ Sigillatura dei solai sotto i locali abitativi

Le solette in cemento armato si possono considerare sufficientemente impermeabili al radon. Nel caso di vecchi solai pieni, può rendersi necessaria la stuccatura delle crepe o delle fessure; lo stesso vale per le pareti. Invece, nel caso dei solai leggeri (solai in legno), occorre analizzare la costruzione in modo da scoprire quale sia lo strato che garantisce la tenuta all'aria e al radon e se la tenuta sia perfetta in tutti i punti di raccordo.

❖ Isolamento di condutture, buchi e crepe

L'isolamento ermetico di pavimenti, soffitti e pareti è efficace solo se tutte le aperture, intenzionali e non, vengono isolate a regola d'arte. I materiali di isolamento disponibili sono numerosissimi e occorre scegliere bene in base alla qualità e alla durata. I mastici ad elasticità permanente sono adatti per la stuccatura di fessure, raccordi (ad esempio intorno ai passaggi delle condotte) e piccoli fori anche se le parti sono soggette a piccoli movimenti come dilatazioni termiche. Esistono diversi materiali ad elasticità permanente: mastici siliconici, acrilici, polisolfurati ecc. Prima dell'applicazione, devono essere puliti i bordi delle fessure che vanno eventualmente allargate per garantire un'aderenza ottimale del mastice e, se necessario, deve essere colmato il fondo delle fessure stesse. In relazione alla situazione di partenza e ai materiali, si renderà necessaria un'ulteriore preparazione della fessura (sagomatura dei bordi, applicazione di una mano di fondo ecc.). I nastri adesivi e da assemblaggio elastici sono particolarmente indicati nell'isolamento dei raccordi tra elementi costruttivi, come la ricopertura di giunti di dilatazione tra il pavimento ed i muri o per l'incollaggio di membrane isolanti al soffitto. I nastri monoadesivi, in genere, non garantiscono una tenuta all'aria duratura. I nastri biadesivi (p.e. il nastro in butile), se possibile, andrebbero tenuti sotto pressione meccanica. Col nastro in butile si può effettuare, ad esempio, la giunzione di due fogli di membrana isolante di polietilene situati sotto listelli che tengono costantemente sotto pressione l'incollatura. I nastri adesivi non devono essere mai sottoposti a trazione, neppure a quella derivante dal peso della guaina stessa. In commercio si trovano nastri di copertura che possono essere incollati sugli elementi da congiungere con collanti liquidi o spatolabili. Questi nastri possono essere di materiale e di qualità diversi e sono molto efficaci.

❖ Passaggi di condotte attraverso tubi

Le condotte ed i cavi si possono far passare in tubi che vengono incollati o saldati con le membrane isolanti. naturalmente, nel tubo contenente i cavi o le condotte, le parti rimaste vuote vanno colmate con materiale di tenuta a elasticità permanente.

❖ Isolamento di porte, sportelli, coperchi di pozzetti

Se non si è riusciti a ridurre la concentrazione di radon in cantina perché, ad esempio, non si vuole rinunciare alla pavimentazione esistente o se le misure di isolamento non hanno dato i risultati sperati, occorre isolare le porte di accesso alla cantina e quelle che mettono in comunicazione i locali di soggiorno con il vano delle scale che portano in cantina. Le finestre e le porte ad alto isolamento acustico sono anche ben adatte ad arginare l'infiltrazione di aria e di radon. Come nel caso dell'isolamento



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

acustico, anche per la protezione dal radon è necessario che il montaggio avvenga con estrema cura. Al contrario, le porte tagliafuoco non forniscono una buona tenuta all'aria: infatti i profilati di tenuta elastici, a causa della loro scarsa resistenza al fuoco, non vengono impiegati nella costruzione di queste porte. Altri elementi da sigillare sono i coperchi dei pozzetti sistemati nei pavimenti delle cantine per i controlli periodici delle condotte.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

5 Linee di indirizzo – regolamenti edilizi

In Italia ad oggi sono state prodotte linee di indirizzo in materia dalla Regione Toscana nell'ambito del Piano Regionale per la Prevenzione 2014-2018 e del Piano Sanitario e Sociale Integrato Regionale (PSSIR) 2012-2015 e, per quanto riguarda il radon, in Regione Lombardia sono state approvate, nel 2014, le Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor.

- Regione Toscana - Linee di indirizzo

La Regione Toscana, in attuazione dell'obiettivo specifico 8.10 *“promuovere le buone pratiche in materia di sostenibilità ed eco compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici anche in relazione al rischio radon”* - del progetto n. 46 del Piano Regionale per la Prevenzione 2014-2018 e del Piano Sanitario e Sociale Integrato Regionale (PSSIR) 2012-2015, con Delibera n 1330 del 19-12-2016 ha approvato il documento *“Linee di indirizzo per la salute e la sostenibilità dell'ambiente costruito”* – Allegato A ed il relativo *“Manuale di approfondimento”* – Allegato B.

Tali Linee individuano criteri per una progettazione sostenibile in attuazione del Titolo VIII - Norme per l'edilizia sostenibile della Legge della Regione Toscana n. 65/2014 "Norme per il governo del Territorio". Le regole attuano le "Linee guida per la valutazione della qualità energetica ambientale degli edifici in Toscana", approvate con D.G.R. n.322 del 28/02/2005 e D.G.R. n. 218 del 30/04/2006.

Obiettivo delle Linee è quello di disciplinare le trasformazioni del territorio secondo criteri di compatibilità ambientale, eco-efficienza energetica, comfort abitativo e salute dei cittadini, incentivando il risparmio e l'uso razionale delle risorse primarie, la riduzione dei consumi energetici, l'utilizzo di energie rinnovabili e la salubrità degli ambienti interni.

Le Linee sono strutturate per “Titoli” II, III e IV che individuano le *“tre parole chiave”* in cui è suddiviso l'articolato: Insedimento, Lotto, Esistente.

Ciascun “Titolo” contiene i “Capi”, che individuano gli argomenti generali trattati quali: Sito e contesto; riduzione inquinamento; energia e Comfort; gestione Tutela acque; sicurezza e accessibilità; recupero, gestione e manutenzione; ciascun Capo è suddiviso in “Articoli” che individuano gli argomenti specifici e sono suddivisi secondo il seguente schema:

- Finalità, ovvero l'argomento specifico e i relativi obiettivi di sostenibilità;
- Destinazione d'uso, dove sono indicate le destinazioni d'uso cui sono applicabili i requisiti ai sensi della L.R. 65/2014: residenziale, industriale e artigianale, commerciale, turistico-recettiva, direzionale e di servizio, agricola;
- Prestazione obbligatoria, ovvero la descrizione dettagliata dei requisiti obbligatori;
- Prestazione incentivata, ovvero la descrizione dettagliata dei requisiti incentivati;
- Strumenti di verifica, ovvero l'insieme dei contenuti che dovranno essere esplicitati e la documentazione da fornire per dimostrare la verifica del soddisfacimento dei requisiti obbligatori e/o incentivati;
- Deroga, ovvero eventuali deroghe ammesse.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Le “prestazioni” possono essere “obbligatorie” o “incentivate”. Le prime costituiscono condizione vincolante ai fini dell'ammissibilità dell'intervento; le seconde danno accesso agli incentivi. Gli incentivi sono stabiliti da ciascun Comune.

Sono previste deroghe ai requisiti obbligatori che, qualora ammesse, sono esplicitamente indicate. La richiesta di deroga deve essere motivata dall'esistenza di vincoli oggettivi e/o impedimenti di natura tecnica e funzionale adeguatamente dimostrati dai progettisti e giudicati effettivamente ammissibili dalla struttura tecnica comunale.

Come detto precedentemente, le *Linee di indirizzo* si articolano in:

- **Insedimento**, ovvero la trasformazione di un ambito territoriale per la realizzazione di più edifici e relative opere di urbanizzazione. La realizzazione di nuovi insediamenti può avvenire tramite: realizzazione di lottizzazione su terreni non edificati; realizzazione di piani di recupero tramite interventi di ristrutturazione urbanistica; opere di urbanizzazione.
- **Lotto**, ovvero la realizzazione di un edificio o della sua area di pertinenza sia su un terreno non edificato che tramite intervento di sostituzione; è inclusa anche la realizzazione di impianti non a servizio degli edifici, compresi quelli per le fonti di energia rinnovabili e per la tele e radio comunicazione;
- **Esistente**, ovvero realizzazione di opere manutentive, di conservazione del patrimonio edilizio esistente, di ristrutturazione e di ampliamento.

In relazione alla sopracitata L.R. 65/2014 possibile prefigurare una correlazione tra le parole chiave e i principali interventi in essa disciplinati:

Parole chiave	Intervento ai sensi della L.R. 65/2014
Insedimento	Piani attuativi di nuova edificazione Interventi di rigenerazione urbana Interventi di ristrutturazione urbanistica Opere di urbanizzazione
Lotto	Nuova edificazione Sostituzione edilizia Interventi di ristrutturazione edilizia ricostruttiva
Esistente	Manutenzione straordinaria Interventi di restauro e risanamento conservativo Interventi di ristrutturazione edilizia conservativa Addizioni volumetriche agli edifici esistenti

Per ciò che concerne gli aspetti legati alla qualità dell'aria nell'ambiente confinato, nel documento si riporta::
All'art. 12 del TITOLO III LOTTO e del Titolo IV ESISTENTE riguardante la Riduzione dell'esposizione ad agenti fisici e chimici indoor;

All'articolo 13 del TITOLO II – INSEDIAMENTO, del TITOLO III LOTTO e del Titolo IV ESISTENTE riguardante la Riduzione dell'esposizione a fibre libere di amianto;

All'art. 14 del TITOLO III LOTTO e del Titolo IV ESISTENTE riguardante l'Utilizzo di materiali bio-eco compatibili.

Il succitato Manuale di approfondimento allegato alla Deliberazione sviluppa tutti gli aspetti, per argomenti, riportati nelle Linee di indirizzo.

In particolare per la qualità dell'aria indoor sono approfonditi gli aspetti relativi:

- alla riduzione dell'esposizione agli agenti fisici e chimici indoor (radon, COV e fibre artificiali vetrose e organiche), ai loro effetti sulla salute ed ai relativi riferimenti normativi e tecnici;
- riduzione dell'esposizione a fibre libere di amianto, ai loro effetti sulla salute e ai relativi riferimenti normativi e tecnici.

Regione Lombardia – Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor

Con Decreto del Direttore Generale della Sanità n. 12678 del 21.12.2011 sono state approvate le Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor.

Le Linee guida rappresentano uno strumento operativo per i Comuni, per i progettisti e per i costruttori di edifici e forniscono indicazioni e suggerimenti riguardanti la realizzazione di nuovi edifici radon-resistenti e le azioni per ridurre l'esposizione al gas radon nel caso di edifici esistenti, anche in sinergia con gli interventi finalizzati al risparmio energetico.

Le Linee riportano nel primo capitolo gli aspetti di carattere generale in merito al radon e salute, le stime di rischio, l'inquadramento normativo e le modalità per la misurazione del radon; inoltre viene riportata la situazione "radon" in Italia e in Lombardia.

Nel secondo capitolo sono sviluppati gli aspetti inerenti il radon negli edifici; in particolare vengono analizzati i meccanismi di azione di ingresso, le caratteristiche dell'edificio in correlazione con i rischi radon e le tecniche di prevenzione e mitigazione. Sono inoltre riportate le sperimentazioni di risanamento effettuate in provincia di Bergamo.

Nel capitolo relativo, alle tecniche di prevenzione e mitigazione, già riportate in questo report al capitolo 6, sono, inizialmente, prese in considerazione le tecniche di controllo dell'inquinamento indoor; in particolare:

- Le barriere impermeabili al fine di evitare l'ingresso del radon all'interno degli edifici con membrane a tenuta d'aria);
- La depressione alla base dell'edificio al fine di intercettare il radon prima che entri all'interno degli edifici aspirandolo per espellerlo poi in atmosfera);
- La pressurizzazione alla base dell'edificio al fine di deviare il percorso del radon creando delle sovrappressioni sotto l'edificio per allontanare il gas.

Regolamenti Edilizi

In diversi regolamenti edilizi presenti in alcuni comuni si fa cenno al problema della qualità dell'aria indoor. Di seguito si riporta la sintesi di ciò che prevedono questi regolamenti in materia di qualità dell'aria interna

Regolamento edilizio Perugia: il documento prodotto ed adottato dal comune di Perugia riconosce una notevole importanza al tema dell'edilizia sostenibile a tal punto da dedicargli un intero capitolo nel proprio regolamento edilizio. Il tutto è finalizzato quindi a migliorare la qualità ambientale, edilizia, la vivibilità, il comfort e l'economicità di gestione degli edifici. Al fine di promuovere interventi di Edilizia Sostenibile, sono previsti incentivi diversificati e rivolti sia alla fase costruttiva che alla fase di utilizzo dell'edificio. La valutazione si divide



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

in due macro aree la prima dedicata all'Analisi del sito e progettazione integrata, e la seconda alla Valutazione delle prestazioni energetico-ambientali toccando temi come qualità ambientale esterna, consumo di risorse, carichi ambientali, qualità dell'ambiente interno etc. Per ognuna di queste aree vengono attribuiti dei punteggi che permettono di costituire una graduatoria utile per l'ottenimento dell'incentivo urbanistico.

Regolamento edilizio Casnigo: il Regolamento edilizio oltre al rispetto delle norme sul risparmio energetico e sulla qualità acustica, nelle nuove costruzioni e negli interventi sul patrimonio edilizio esistente, mira all'adozione di criteri costruttivi di bioedilizia, che sostanzialmente ha lo scopo di realizzare costruzioni a basso impatto ambientale, con una particolare attenzione alla salute degli abitanti, attraverso un uso cosciente di materiali naturali e di origine naturale. Ogni intervento di bioedilizia si attua nel rispetto dei requisiti costruttivi e di indagine come ad esempio per i materiali edili, si raccomanda l'uso di prodotti riciclabili, con limitata radioattività e assenza di radon, tali materiali mirano a garantire elevati livelli di traspirabilità e limitati rilasci di sostanze potenzialmente nocive per gli occupanti. Le nuove abitazioni dovranno avere una determinata esposizione, legata ad una precedente analisi del sito di interesse. Di particolare importanza nel suddetto regolamento la protezione contro il radon, indicando limiti di esposizione e metodiche costruttive da adottare in fase di realizzazione.

Regolamento edilizio Turbigo: il Regolamento intende promuovere l'edilizia sostenibile e la bioedilizia per contribuire all'obiettivo del contenimento dei consumi energetici, del rispetto dell'ambiente e di una migliore qualità della vita. Tra i vari punti sono trattati quelli legati all'isolamento termico degli edifici, che come abbiamo visto nei capitoli precedenti può non garantire un'adeguata diluizione degli inquinanti indoor, per questo motivo il documento consiglia l'installazione di un sistema di areazione meccanica che opera di continuo in grado di introdurre negli edifici un volume controllato di aria proveniente dall'esterno per ovviare al problema precedentemente descritto. Anche in questo caso si consiglia l'uso di materiali ecosostenibili riciclabili e con basse concentrazioni di inquinanti, e la tutela contro l'infiltrazione del gas radon.

Regolamento edilizio Carugate: documento incentrato per lo più sull'isolamento dell'involucro legato alle prestazioni energetiche, tratta solo in piccola parte l'adozione di materiali ecosostenibili sempre legati all'isolamento termico ed alla qualità acustica degli edifici.

Regolamento edilizio unione comuni provincia di Firenze: tratta numerosi punti che partono dall'analisi del sito in progettazione al relativo orientamento. Sancisce i punti da seguire per ridurre o limitare entro valori accettabili le fonti di inquinamento elettromagnetico, luminoso ed acustico. Oltre questi aspetti il regolamento sviluppa anche la gestione o riduzione dei VOC e dell'amianto.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Regolamento edilizio comunità montana del Mugello: documento che riconosce l'importanza sulla bioedilizia ed eco-sostenibilità. Di particolare importanza sono la compatibilità ambientale, la eco-efficienza energetica, il comfort abitativo ed infine la salvaguardia della salute dei cittadini. Il regolamento è composto da una prima parte generale ed una seconda composta da schede per regolamentare la modalità di attribuzione del punteggio che permette di ottenere benefici economici.



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

6 Bibliografia

La bibliografia utilizzata per la redazione del presente Report è stata riportata nel Report relativo all'Attività P-8.2.4.2 "Reperimento documentazione in materia di sostenibilità ed eco-compatibilità nella costruzione/ristrutturazione di edifici", pubblicato sul sito web della Regione nella pagina dedicata al Piano Regionale di Prevenzione 2014-2018 (<http://www.regione.sardegna.it/j/v/2568?s=328000&v=2&c=1250&t=1>), scaricabile precisamente dalla sezione «*Documenti attuativi dei Programmi del PRP*» - "P-8.2 Supporto alle politiche ambientali [file.zip]".

Altra bibliografia reperita nel corso del 2017

- Regione Toscana – Delibera n. 1330 del 19-12-2016. Attuazione obiettivo 8.10 progetto 46 Piano Regionale per la Prevenzione. Linee di indirizzo per la salute e la sostenibilità dell'ambiente costruito. <http://www301.regione.toscana.it/bancadati/atti/DettaglioAttiG.xml?codprat=2016DG00000001560>
- ARPA Friuli Venezia Giulia "Indicazioni e proposte per la protezione degli edifici dal Radon" – 2009.
- Decreto legislativo 16 giugno 2017, n. 106 recante "Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento (UE) n. 305/2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE. (GU n.159 del 10-7-2017).
- European collaborative action urban air, indoor environment and human exposure Environment and Quality of Life Report No 23 Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy
- The INDEX project Final Report January, Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU – European Commission – Directorate-General Joint Research Center 2005
- Evolution of WHO air quality guidelines: past, present, and future – European environment and health process – 2017
- EnVIE - Co-ordination Action on Indoor Air Quality and Health Effects Instrument – 2008
<https://paginas.fe.up.pt/~envie/documents.html>
- Quantitative evaluation of the lung cancer deaths attributable to residential radon: A simple method and results for all the 21 Italian Regions - F. Bochicchio (ISS) et al Radiation Measurements 2013
- Regione Lombardia - Direzione Generale Welfare - Decreto n. 11665 del 15/11/2016 - Linea guida regionale sulla stima e gestione del rischio da esposizione a formaldeide: razionalizzazione del problema e proposta operativa



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Allegato

Classificazione del territorio regionale della Sardegna con
individuazione delle aree a rischio Radon

Rapporto Attività 1° Semestre di indagine