

Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici

WP3. Indagine sullo stato dell'arte e del mercato

Task 3.2 - Analisi quadro normativo, protocolli di certificazione e procedure progettuali e di appalto



Data: 01.07.2019

Task Leader: Agenzia per l'Energia Alto Adige - CasaClima

Autore: Zancarli Mirko

Co-autori: Bancher Mariadonata, Atzeri Anna Maria

Indice

QAES - Qualità dell’Aria negli Edifici Scolastici	3
Task 3.2.....	3
Quadro legislativo italiano sull’edilizia scolastica	4
Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige	5
Procedure progettuali e di appalto in Italia	6
Normativa Italiana	7
Ventilazione.....	7
Controllo delle emissioni inquinanti	10
Radon	14
Edilizia scolastica e procedure progettuali e di appalto in Ticino.....	16
Normativa Svizzera	17
Protocolli di certificazione degli edifici	21
Sigilli di qualità dei prodotti	24
Conclusioni.....	26
Bibliografia	27

QAES - Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici

Il progetto QAES mira ad arricchire e rinforzare la cultura tecnica relativa al tema dell'*indoor air quality* (IAQ), attraverso l'implementazione di soluzioni tecnologiche a basso impatto architettonico e di un approccio metodologico con cui poter valutare il livello di salubrità raggiunto all'interno degli ambienti scolastici. In particolare, verranno effettuate delle campagne di misura in edifici scolastici opportunamente selezionati con l'obiettivo di individuare eventuali problematiche associate alla presenza di inquinanti interni e sviluppare adeguate soluzioni migliorative, purché replicabili. In questo modo, potranno essere elaborate delle linee guida per la progettazione e gestione dell'IAQ nelle scuole, a supporto di progettisti, impiantisti, aziende produttrici ed utenti. Inoltre, grazie alla collaborazione tra i partner QAES e le imprese dell'area transfrontaliera, sarà possibile analizzare e confrontare realtà diverse, per acquisire conoscenze finalizzate allo sviluppo normativo ed economico di settore.

Task 3.2

L'obiettivo dell'Attività (Task) 3.2 consiste nell'identificazione dei principali provvedimenti legislativi e normativi inerenti ai temi della ventilazione e delle emissioni inquinanti da parte dei materiali edilizi, sottolineandone le specifiche declinazioni agli edifici scolastici. Con tale panoramica, effettuata sia per l'Alto Adige che per il Ticino, si vogliono definire i confini operativi entro cui potersi muovere al fine di garantire una buona qualità dell'aria interna e, conseguentemente, favorire una maggiore concentrazione da parte degli studenti. Questi confini presuppongono la redazione di linee guida e di un tool di progettazione sviluppato ad hoc, che rappresentano la naturale prosecuzione della presente Attività e che verranno affrontate nel Task 5.2.

Tornando al documento in oggetto, il quadro legislativo sull'edilizia scolastica viene completato con un'analisi delle procedure progettuali e di appalto, a cui segue una descrizione dei più importanti protocolli di certificazione edilizia, per capire come essi implementino e applichino il tema della qualità dell'aria interna. Infine, vengono passati in rassegna i principali sigilli di qualità ecologica dei prodotti, a cui i protocolli stessi di rifanno per la scelta di materiali basso-emissivi, siano essi da costruzione che d'arredamento.

Quadro legislativo italiano sull'edilizia scolastica

Con il Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975 vengono promulgate le *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica* [1]. Il documento, oltre a fornire dei criteri generali associati alla localizzazione delle scuole e alle dimensioni delle stesse, definisce le "condizioni di abitabilità soddisfacenti per tutto il periodo di durata e di uso, malgrado agenti esterni normali": tra queste, rivestono particolare importanza l'equilibrio e la conservazione dei fattori fisici dai quali dipende il benessere termo-igrometrico, così come il mantenimento della purezza chimica e microbiologica dell'aria. A tal fine, il decreto prescrive delle portate d'aria esterna da garantire mediante ventilazione naturale e/o meccanica, in funzione della destinazione d'uso dell'ambiente considerato. Queste portate sono espresse sotto forma di "coefficienti di ricambio", riportati nella tabella sottostante e corrispondenti al rapporto tra il volume di aria esterna introdotto ogni ora nell'ambiente e il volume dell'ambiente stesso.

Tabella 1.1. Coefficienti di ricambio secondo il Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975 [1]

Tipo di ambiente	Coefficiente di ricambio [h ⁻¹]
Aule scuole materne ed elementari	2.5
Aule scuole medie	3.5
Aule scuole superiori	5
Ambienti di passaggio, uffici	1.5
Servizi igienici, palestre, refettori	2.5

A decorrere dall'entrata in vigore della Legge 11 gennaio 1996, n. 23 recante *Norme per l'edilizia scolastica* [2] non si applicano più le prescrizioni del già citato D.M. 18 dicembre 1975, salvo quanto previsto al comma 3 dell'articolo 5 della legge indicata. Essa prevede il finanziamento di interventi quali la costruzione e il completamento di edifici scolastici, nonché l'acquisto e l'eventuale riadattamento di immobili da adibire o adibiti ad uso scolastico, le ristrutturazioni e le manutenzioni straordinarie volte ad adeguare gli edifici alle norme vigenti in materia di agibilità, sicurezza, igiene ed eliminazione delle barriere architettoniche. Il provvedimento si rivolge alle istituzioni scolastiche statali nonché a quelle provinciali e comunali autorizzate o riconosciute dallo Stato.

La *programmazione unica triennale nazionale degli interventi di edilizia scolastica* è stata introdotta nell'ordinamento con il Decreto Interministeriale 23 gennaio 2015 [3] per il periodo 2015/2017 e con il successivo Decreto Interministeriale 3 gennaio 2018 [4] per il periodo 2018/2020. Entrambi sono stati emanati al fine di dare attuazione all'articolo 10 del Decreto Legislativo 12 settembre 2013, recante *Misure urgenti in materia di istruzione, università e ricerca* [5], che ha autorizzato le regioni, per interventi di edilizia scolastica, a stipulare mutui trentennali (i cosiddetti *Mutui Bei*) con oneri di ammortamento a totale carico dello Stato, con la Banca europea per gli investimenti, con la Banca di sviluppo del Consiglio d'Europa, con la società Cassa depositi e prestiti Spa e con i soggetti autorizzati all'esercizio dell'attività bancaria ai sensi del Decreto Legislativo 1° settembre 1993. L'obiettivo è quello di favorire la ristrutturazione, il miglioramento, la messa in sicurezza, l'adeguamento sismico e l'efficientamento

energetico di immobili di proprietà pubblica adibiti all'istruzione scolastica [6]. In tutti questi interventi viene data grande importanza alla tutela della salute nelle scuole, ripresa all'articolo 4 del già citato Decreto Legislativo 12 settembre 2013.

Con il Decreto Interministeriale 11 aprile 2013 sono state emanate dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) le *Norme tecniche-quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia, anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e risparmio energetico e produzione da fonti energetiche rinnovabili, e didattica indispensabili a garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale* [7]. Pur non avendo carattere legislativo, rimanendo dunque validi i requisiti del D.M. 18 dicembre 1975 e le disposizioni della successiva Legge 23 del 1996, queste linee guida propongono un'organizzazione della didattica basata su spazi modulari, in grado di adattarsi alle diverse attività praticate e di garantire elevate condizioni di comfort e benessere. Viene inoltre raccomandato l'impiego di sistemi di areazione naturale nei nidi e nelle scuole dell'infanzia, mentre nelle scuole di ordine superiore si consiglia la ventilazione meccanica, seppur non obbligatoria.

Per quanto riguarda gli impianti di riscaldamento, climatizzazione e ventilazione, il Decreto Ministeriale 22 gennaio 2008 [8] ne definisce la conformità in termini di progettazione, installazione e manutenzione e viene applicato a tutti gli edifici indipendentemente dalla destinazione d'uso. Secondo tale documento, tutti i progetti devono contenere una descrizione dettagliata circa le caratteristiche dei materiali e dei componenti utilizzati negli impianti.

Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige

Le *Direttive per l'edilizia scolastica* [9] vengono promulgate con il Decreto Provinciale 23 febbraio 2009 e rappresentano uno strumento di ausilio per programmatori, progettisti, committenti ed utenti della costruzione, in quanto forniscono i criteri per progettare e realizzare un edificio funzionale, urbanisticamente e architettonicamente riuscito, sia per le esigenze scolastiche che per quelle extrascolastiche. L'ambito di applicazione del regolamento comprende le nuove costruzioni, le ristrutturazioni e gli ampliamenti di scuole dell'infanzia, scuole elementari, medie e superiori, compresi i licei artistici e le scuole professionali di competenza della Provincia e dei Comuni, le scuole dell'infanzia private e le scuole paritarie o comunque soggette a finanziamento pubblico. In particolare, vengono proposte in allegato al decreto una serie di tabelle concernenti il numero massimo di alunni e le superfici minime per persona in funzione del tipo di scuola e del locale considerato. In riferimento ai requisiti tecnici e costruttivi, il presente provvedimento indica le condizioni per le quali si rendono necessari gli impianti di ventilazione meccanica e sottolinea come i rapporti minimi tra la superficie finestrata e quella utile siano pari a 1/6 e 1/10 rispettivamente per le scuole d'infanzia e per tutte le altre strutture scolastiche.

In conformità alla Delibera Provinciale 4 marzo 2013 [10], vengono sanciti i requisiti minimi di prestazione energetica per le nuove costruzioni, che, a partire dal 1° gennaio 2017, dovranno essere caratterizzate da un rendimento energetico dell'involucro edilizio pari o superiore alla classe CasaClima A. Ciò comporta una maggiore ermeticità da parte dell'involucro stesso e conseguentemente, minori infiltrazioni d'aria esterna.

Procedure progettuali e di appalto in Italia

Con il Decreto Legislativo 18 aprile 2016 [11] e relativi aggiornamenti vengono attuate le direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE e vengono disciplinati i contratti di appalto e di concessione delle amministrazioni aggiudicatrici e degli enti aggiudicatori aventi ad oggetto l'acquisizione di servizi, forniture, lavori e opere, nonché i concorsi pubblici di progettazione. Tale documento viene recepito dalla Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige con la Legge Provinciale 17 dicembre 2015 [12] concernente le disposizioni sugli appalti pubblici e relativi, in particolare, agli edifici scolastici.

In merito al tema dell'IAQ, all'articolo 34 del già citato D.Lgs. 18 aprile 2016 si rimanda ai criteri ambientali minimi (CAM) per la stesura dei documenti progettuali e di appalto. Questi sono parte integrante del *Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della pubblica amministrazione* (PAN GPP) e, se messi in pratica dalle stazioni appaltanti, permettono di contribuire in modo sostanziale agli obiettivi di risparmio energetico e di salubrità degli ambienti confinati, così come previsto dalla Commissione Europea. I CAM, infatti, corrispondono a caratteristiche e prestazioni superiori a quelle previste dalle leggi nazionali e regionali vigenti, il cui rispetto deve comunque essere assicurato. Ciò costituisce un potenziale di miglioramento della qualità dell'aria negli edifici scolastici, da implementare in conformità ai seguenti documenti:

- *Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici* [13]: evidenziano la necessità di areazione naturale diretta in tutti i locali in cui sia prevista una possibile occupazione da parte di persone, rimandando alle UNI 10339 e UNI EN ISO 13779:2008 per il calcolo dei ricambi orari e alla UNI 15251:2008 nel caso di ventilazione meccanica. Sanciscono l'obbligo di un sistema di misurazione e avviso automatico della concentrazione di gas radon all'interno degli edifici nel caso in cui l'area di progetto sia caratterizzata da un elevato rischio di esposizione secondo la mappatura regionale. Contengono inoltre una lista di sostanze pericolose vietate e di criteri ecologici da rispettare per i prodotti edilizi, oltre ai limiti di emissione d'inquinanti a 28 giorni per diversi materiali. Infine, impongono il rispetto dei parametri di comfort termo-igrometrico secondo la ISO 7730:2005 e la risoluzione dei ponti termici in conformità alla UNI EN 13788.
- *Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di pulizia e per la fornitura di prodotti per l'igiene* [14]: in larga misura coincidenti con i criteri per l'assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica *Ecolabel UE*, specificano le sostanze che non devono essere presenti nei prodotti e detergenti multiuso.
- *Criteri ambientali minimi per gli arredi per interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili* [15]: definiscono un limite di emissione di formaldeide pari a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per prodotti contenenti pannelli di legno e impongono che il contenuto di composti organici volatili (VOC) nelle vernici sia inferiore al 5% peso/peso. Vi sono poi ulteriori requisiti applicati specificatamente ai prodotti tessili, alle pelli e agli arredi scolastici, oltre ad una lista di sostanze pericolose vietate.

Normativa Italiana

A livello nazionale non è ancora stata redatta una norma specifica sulla qualità dell'aria negli ambienti interni. Ciò nonostante, al fine di garantire delle condizioni di salubrità soddisfacenti, si possono applicare le disposizioni normative riguardanti la ventilazione e il controllo delle emissioni inquinanti dei materiali, nonché la protezione da gas radon.

Ventilazione

Il primo riferimento alla ventilazione come strumento per garantire un'accettabile IAQ consiste nell'articolo 6 del Decreto Ministeriale 5 luglio 1975, che recita: "quando le caratteristiche tipologiche degli alloggi diano luogo a condizioni che non consentano di fruire di ventilazione naturale, si dovrà ricorrere alla ventilazione meccanica centralizzata immettendo aria opportunamente captata e con requisiti igienici confacenti. È comunque da assicurare, in ogni caso, l'aspirazione di fumi, vapori ed esalazioni nei punti di produzione (cucine, gabinetti, ecc.) prima che si diffondano" [16]. Successivamente con il Decreto Legislativo 29 dicembre 2006 [17] viene imposto al progettista di dichiarare, nella relazione tecnica attestante la rispondenza alle prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico degli edifici, tutti i valori delle portate di ventilazione nei vari ambienti, specificando se è presente o meno un sistema VMC. Tali portate vengono calcolate in conformità alla UNI 10339 [18], che propone una classificazione degli impianti aeraulici destinati al benessere delle persone, definendone i requisiti minimi e i valori dei parametri di funzionamento. In merito agli edifici scolastici, la norma (tutt'ora in fase di aggiornamento) prescrive le seguenti portate di aria esterna:

Tabella 1.2. Portate d'aria per persona secondo UNI 10339 in funzione del tipo di ambiente [18]

Tipo di ambiente	Portata di aria esterna per persona [10^{-3} m³/s]
Asili nido/scuole materne	4
Aule scuole elementari	5
Aule scuole medie	6
Aule scuole superiori	7
Biblioteche/sale lettura	6
Aule musica e lingue	7
Laboratori	7
Sale insegnanti	6

Per quanto riguarda i servizi igienici, così come per gli spogliatoi delle palestre, dovrà essere garantita, ogni ora, una portata d'aria di estrazione pari a 8 volte il volume del locale considerato. Nei locali di pubblico spettacolo, come le palestre, la portata effettiva può essere calcolata con due metodi diversi in funzione del rapporto tra il volume dell'ambiente stesso e l'indice di affollamento. Inoltre, al Prospetto V della presente norma vengono definite le classi dei filtri e le corrispondenti efficienze di filtrazione (indicate con E in Tabella 1.3 ed espresse in %) richieste dagli ambienti scolastici:

Tabella 1.3. Efficienza di filtraggio minima e massima per diversi ambienti scolastici secondo UNI 10339 [18]

Tipo di ambiente	Classe del filtro	
	Minima	Massima
Scuole materne/elementari	7 ($80 \leq E < 90$)	9 ($95 \leq E$)
Aule scuole medie/superiori	5 ($40 \leq E < 60$)	6 ($60 \leq E < 80$)
Aule musica e lingue	6 ($60 \leq E < 80$)	7 ($80 \leq E < 90$)
Laboratori	6 ($60 \leq E < 80$)	7 ($80 \leq E < 90$)

In ognuno di questi locali, il filtro indicato in Tabella 1.3 deve essere preceduto da un altro filtro avente efficienza compresa nella categoria precedente, ad esclusione delle palestre, nelle quali invece può essere impiegato un unico filtro a media efficienza. Tali dispositivi sono regolati dalle rispettive normative di settore, come la UNI EN 1822 e la UNI EN ISO 16890, a cui la futura versione della UNI 10339 dovrà adeguarsi per la classificazione e la denominazione dei filtri.

I tassi di ventilazione prescritti dalla UNI 10339 sono leggermente inferiori rispetto a quelli raccomandati dalla ASHRAE 62-2001 *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* [19], che rappresenta la norma americana di riferimento per il calcolo delle portate d'aria di rinnovo. A livello europeo, è stato invece prodotto dal CEN il report tecnico CR 1752 [20], che affronta il tema della progettazione mediante la discretizzazione dei tassi di ventilazione in funzione di tre categorie di qualità ambientale interna. In alternativa, vengono proposte due diverse equazioni per il calcolo della portata d'aria esterna, l'una riferita al comfort, l'altra allo stato di salute degli occupanti.

L'Italia ha poi recepito diverse norme europee pubblicate sotto la spinta della Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD, dall'inglese *Energy Performance of Buildings Directive*) e della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, recentemente modificate dalla Direttiva 2018/844/UE. Nella tabella sottostante vengono elencati gli standard europei di supporto alla EPBD inerenti la ventilazione, i relativi recepimenti italiani e una breve spiegazione dei contenuti:

Tabella 1.4. EPBD standards e relativi recepimenti italiani

EPBD standard	Norma italiana	Contenuto
EN 16798-1:2019	UNI EN 16798-1:2019	Definisce i parametri ambientali interni di input per la progettazione e valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.
EN 16798-3:2017	UNI EN 16798-3:2018	Si applica alla progettazione, al rendimento energetico degli edifici e all'implementazione di sistemi di ventilazione e condizionamento di locali per edifici non residenziali soggetti ad occupazione umana. È applicabile solo nel caso di ventilazione meccanica.
EN 16798-5:2017	UNI EN 16798-5:2018	Contiene i metodi di calcolo per i requisiti energetici dei sistemi di ventilazione, compresa l'umidificazione e la deumidificazione.
EN 16798-7:2017	UNI EN 16798-7:2018	Descrive i metodi per calcolare le portate d'aria di ventilazione, comprese le infiltrazioni, da utilizzare per la valutazione dei calcoli energetici, i carichi di riscaldamento e raffreddamento. È applicabile anche alla ventilazione naturale.
EN 16798-17:2017	UNI EN 16798-17:2018	Propone delle linee guida per l'ispezione degli impianti di ventilazione e condizionamento dell'aria.

La UNI EN 16798-1 [21] rimanda alla UNI EN 16798-3 [22] per il calcolo della portata effettiva per la ventilazione meccanica e alla UNI EN 16798-7 [23] nel caso di ventilazione naturale e propone tre diversi metodi per la definizione della portata di progetto in funzione della categoria di *indoor environmental quality* (IEQ) che si vuole perseguire:

- 1) metodo basato sulla qualità dell'aria percepita;
- 2) metodo che prevede dei valori limite per la concentrazione di una determinata sostanza;
- 3) metodo basato su portate d'aria di ventilazione predefinite.

Inoltre, rivestono particolare importanza le indicazioni contenute nel report tecnico CEN/TR 16798-2 [24] a supporto della EN 16798-1, che fornisce i tassi minimi di ventilazione in $l/s \cdot persona$ in funzione della categoria di IEQ che si vuole raggiungere e del livello di inquinamento di edifici non residenziali, tra cui asili nido e scuole. In più, i valori di portata ivi contenuti sono tradotti nei corrispondenti incrementi di concentrazione indoor di CO₂ rispetto all'esterno, che si prefigurano come utili parametri di controllo dei sistemi VMC con sensori di CO₂. La EN 16798-1, i cui allegati sono tutt'ora in fase di revisione, è stata recepita solo recentemente a livello nazionale. Prima che ciò accadesse, veniva utilizzata la norma

UNI EN 15251 [25], contenente 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.

Si vuole precisare come alcuni protocolli di certificazione europei facciano ancora riferimento alla EN 13779, che rimanda alla EN 15251 per il calcolo delle portate d'aria al fine di garantire un'adeguata IAQ con sistemi VMC. Entrambe le norme non sono più in vigore, in quanto sostituite, rispettivamente, dalla EN 16798-3 e dalla EN 16798-1.

Un'altra normativa molto importante è la UNI EN 12097 [26] che specifica i requisiti relativi a dimensioni, forma e criteri di collocazione delle botole di accesso per la pulizia e la manutenzione delle reti di ventilazione degli edifici. Tali azioni infatti, se svolte in maniera opportuna, permettono di minimizzare la crescita di agenti inquinanti microbiologici dovuti all'accumulo di polvere e sporcizia nelle reti stesse.

Per le cucine e le mense, così come tutti gli ambienti contenenti apparecchi a gas, la UNI 8723 [27] prescrive i tassi di ventilazione necessari ai fini di una corretta evacuazione dei prodotti di combustione. Dunque, nonostante essa nasca come norma antincendio, ha comunque un'influenza sull'IAQ.

La ventilazione è inoltre di fondamentale importanza per evitare i fenomeni di condensazione superficiale e di muffa. A tale proposito la norma UNI EN ISO 13788 [28] fornisce i metodi di calcolo per determinare la temperatura superficiale interna di componenti o elementi edilizi al di sotto della quale è probabile la crescita di muffe, in funzione della temperatura e dell'umidità relative interne, così come la valutazione del rischio di condensazione interstiziale.

Si ricorda che ad un'elevata umidità non corrisponde solamente un maggior rischio di formazione di muffa e microbi, ma anche un incremento delle emissioni di inquinanti da parte dei materiali, soprattutto nel caso di formaldeide e composti organici volatili. Le normative di settore, analizzate nel paragrafo successivo, devono tenere conto di questi aspetti.

Controllo delle emissioni inquinanti

In Italia, ad eccezione dei composti organici volatili e della formaldeide, non sono ancora stati emanati dei provvedimenti legislativi che pongano limiti ben definiti alle concentrazioni di inquinanti negli spazi interni. In assenza di questi, si possono assumere come riferimento per un'accettabile IAQ i valori di soglia stabiliti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO, dall'inglese *World Health Organization*) nel *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants* [29] o le concentrazioni massime ammissibili per l'ambiente esterno stabilite dalla Direttiva europea 2008/EC/50 sulla qualità dell'aria esterna e, in Italia, dal Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155.

Per le fasi di campionamento e di misura sono invece disponibili numerosi riferimenti normativi, elencati di seguito:

- UNI EN ISO 16000-1:2006: *Aria in ambienti confinati - Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento*;
- UNI EN ISO 16000-2:2006: *Aria in ambienti confinati - Parte 2: Strategia di campionamento per la formaldeide*;

- UNI EN ISO 16000-5:2007: *Aria in ambienti confinati - Parte 5: Strategia di campionamento per i composti organici volatili (VOC);*
- UNI EN ISO 16000-7:2008: *Aria in ambienti confinati - Parte 7: Strategia di campionamento per la determinazione di concentrazioni di fibre di amianto sospese in aria;*
- UNI EN ISO 16000-9:2006: *Aria in ambienti confinati - Parte 9: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Metodo in camera di prova di emissione;*
- UNI EN ISO 16000-10:2006: *Aria in ambienti confinati - Parte 10: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Metodo in cella di prova di emissione;*
- UNI EN ISO 16000-11:2006: *Aria in ambienti confinati - Parte 11: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Campionamento, conservazione dei campioni e preparazione dei provini;*
- UNI EN ISO 16000-12:2008: *Aria in ambienti confinati - Parte 12: Strategia di campionamento per policlorobifenili (PCB), policlorodibenzo-p-diossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA);*
- UNI EN ISO 16000-15:2008: *Aria in ambienti confinati - Parte 15: Strategia di campionamento per diossido di azoto (NO₂);*
- UNI EN ISO 16000-19:2014: *Aria in ambienti confinati - Parte 19: Strategia di campionamento di muffe;*
- UNI EN ISO 16000-26:2012: *Aria in ambienti confinati - Parte 26: Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO₂);*
- UNI EN ISO 16000-32:2015: *Aria in ambienti confinati - Parte 32: Indagine per verificare la presenza di inquinanti negli edifici;*
- UNI EN ISO 16017:2004: *Aria in ambienti confinati, aria ambiente ed aria negli ambienti di lavoro. Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento, desorbimento termico, cromatografia gassosa capillare;*
- UNI EN 13098:2002: *Atmosfera nell'ambiente di lavoro - Linee guida per la misurazione di microrganismi e di endotossine aero-dispersi;*
- UNI EN 16516:2017: *Prodotti da costruzione - Valutazione del rilascio di sostanze pericolose - Determinazione delle emissioni in ambiente interno;*
- UNI EN 14412:2005: *Qualità dell'aria in ambienti confinati - Campionatori diffusivi per la determinazione della concentrazione di gas e di vapori - Guida per la scelta, l'utilizzo e la manutenzione.*

Una delle norme più utilizzate è la UNI EN ISO 16000-5, riguardante la strategia di campionamento dei composti organici volatili (VOC, dall'inglese *Volatile Organic Compounds*). Quest'ultimi infatti sono largamente presenti negli spazi interni, in quanto emessi da molteplici fonti quali esseri viventi, materiali da costruzione, arredamenti e finiture superficiali. Se alcuni di essi sono praticamente inoffensivi, altri sono tossici e cancerogeni e come tali influenzano pesantemente l'IAQ: è il caso del benzene, degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e della formaldeide.

Fino ad oggi l'Unione Europea ha finanziato numerosi studi volti ad accrescere il quadro conoscitivo sui VOC e ciò ha permesso di produrre una serie di direttive e regolamentazioni recepite, seppur in maniera diversa, dai singoli Stati membri. In particolare, si evidenziano:

- Direttiva 2004/42/CE [30], relativa alla limitazione delle emissioni di VOC dovute all'uso di solventi organici in talune pitture e vernici. L'Italia ha recepito questa direttiva con il D.Lgs. 161/2006, poi modificato nel D.Lgs. 33/2008;
- Direttiva 2008/112/CE [31] e il successivo Regolamento UE 2015/491, relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele. Vengono inoltre fornite prescrizioni concernenti il contenuto di VOC e di formaldeide nei prodotti industriali;
- Regolamento UE 2011/305 [32], secondo cui i prodotti da costruzione non devono essere una minaccia per l'igiene o per la salute degli occupanti;
- Decisione UE 2014/312 [33], relativa ai criteri ecologici e ai limiti di emissione, anche dei VOC, per l'assegnazione del marchio comunitario di qualità ecologica *Ecolabel UE*, secondo quanto disposto dal Regolamento CE 2010/66, ai prodotti vernicianti per esterni e per interni.

In Italia, con l'entrata in vigore dei criteri ambientali minimi, tutti i materiali devono sottostare a dei limiti di emissione di VOC leggermente diversi rispetto a quelli imposti dalle direttive europee, come si evince dalla tabella sottostante:

Tabella 1.5. Limiti di emissione per diversi inquinanti [13]

Limite di emissione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a 28 giorni	
Benzene Tricloroetilene (trielina) di-2-etilesil-ftalato (DEHP) Dibutilftalato (DBP)	1 (per ogni sostanza)
COV totali	1500
Formaldeide	<60
Acetaldeide	<300
Toluene	<450
Tetracloroetilene	<350
Xilene	<300
1,2,4-Trimetilbenzene	<1500
1,4-diclorobenzene	<90
Etilbenzene	<1000
2-Butossietanolo	<1500
Stirene	<350

Tra i composti organici volatili menzionati in precedenza, quello più presente negli ambienti interni è la formaldeide, che, a causa del suo largo utilizzo, viene considerato separatamente agli altri VOC. Essa viene rilasciata dalla maggior parte dei materiali a base di legno incollato e viene utilizzata come componente di colle, vernici, trattamenti tessili e vari altri prodotti. Riconosciuta dalla IARC (*International Agency for Research on Cancer*) come agente cancerogeno certo, la formaldeide è inoltre responsabile di irritazioni agli occhi, naso e gola, anche per esposizioni a breve termine: al fine di prevenire tali effetti, le linee guida dell'OMS [29] consigliano valori di riferimento, su una media di 30 minuti, di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto riguarda l'Italia, nella Circolare del Ministero della Sanità n. 57 del 22 giugno 1983 *Usi della formaldeide - Rischi connessi alle possibili modalità d'impiego*, viene riportato un limite massimo di esposizione di 0.1 ppm ($124 \mu\text{g}/\text{m}^3$) negli ambienti interni contenenti compensati, pannelli truciolati e di conglomerati in sughero [34]. Questo valore viene confermato dal Decreto Ministeriale 10 ottobre 2008, concernente *Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeide formica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno*. In particolare, a partire dall'11 dicembre 2008, data di entrata in vigore del decreto, viene imposto in Italia il divieto di commercializzazione di pannelli a base di legno incollato e manufatti con essi realizzati che provochino nell'aria dell'ambiente di prova una concentrazione di equilibrio di formaldeide superiore a 0.1 ppm [35]. Questo fa sì che per ottenere il marchio CE e per poter essere commercializzati, tutti i pannelli devono sottostare al suddetto decreto, che si allinea ai requisiti di emissione della classe europea E1. La verifica di tale vincolo può avvenire mediante uno dei seguenti metodi di prova:

- UNI EN 717-1:2004: *Pannelli a base di legno - Determinazione del rilascio di formaldeide - Parte 1: Emissione di formaldeide con il metodo della camera;*
- UNI EN ISO 12460-3:2015: *Pannelli a base di legno - Determinazione del rilascio di formaldeide - Parte 3: Metodo di analisi del gas;*
- UNI EN ISO 12460-5:2016: *Pannelli a base di legno - Determinazione del rilascio di formaldeide - Parte 5: Metodo di estrazione (chiamato metodo di perforazione).*

La valutazione di conformità con cui i pannelli vengono immessi sul mercato, fermo restando l'obbligo della classificazione E1, deve essere eseguita secondo la UNI EN 13986:2015 recante *Pannelli a base di legno per l'utilizzo nelle costruzioni - Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura*, oppure secondo la norma armonizzata di riferimento per i prodotti con marcatura CE. A tale proposito, la Circolare Esplicativa del D.M. 10 ottobre 2008 pubblicata dal Ministero della Salute fa alcuni approfondimenti circa le procedure di prova cui i pannelli devono essere sottoposti, così come le colle e le vernici contenenti formaldeide e utilizzate nel processo produttivo, al fine di verificarne e confermarne la classe di emissione. Si specifica inoltre che la dichiarazione di conformità di cui all'Art. 5 deve essere effettuata per una qualsiasi lavorazione che comporti aggiunta di formaldeide e che coinvolga, ad esempio, resine urea formaldeide (UF), urea melanina formaldeide (MUF), melammina formaldeide (MF), fenolo formaldeide (PF) e le loro combinazioni.

Per la Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige si fa riferimento all'Art. 7 bis del *Capitolato Speciale d'Appalto per Opere Pubbliche - Parte I* [36], recante al Comma 4 le "disposizioni per la regolamentazione

dell'emissione di formaldeide in ambienti di vita e soggiorno". Oltre a rimandare al D.M. 10/10/2008 e alle linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, il documento definisce particolari condizioni relative all'impiego dei rivestimenti fonoassorbenti, dei mobili in serie e dei mobili su misura. Inoltre, viene imposto all'amministrazione aggiudicatrice di farsi carico dell'analisi dell'aria di due vani campione dell'immobile prima della fornitura e posa dell'arredamento e della verifica della concentrazione di formaldeide in aria dei vani, che dovrà risultare inferiore ai limiti previsti dalle linee guida dell'OMS, nel rispetto di quanto previsto dal D.M. 10/10/2008.

Inoltre, si ricorda come la Legge 27 marzo 1992, n. 257 [37] abbia imposto la cessazione totale dell'impiego di amianto e il successivo Decreto Ministeriale 14 maggio 1996 [38] abbia normato le tecniche di bonifica degli ambienti, minimizzando i problemi legati all'inalazione delle fibre di amianto, ove presenti.

A differenza delle sostanze finora menzionate, l'anidride carbonica, essendo un prodotto della respirazione umana, non è un vero e proprio inquinante, ma può essere considerato come tale nel momento in cui vengono raggiunte delle concentrazioni pericolose per la salute degli occupanti e in particolare dei bambini. Infatti, già nel 19° secolo il professore di chimica medica Max Von Pettenkofer ha identificato un legame evidente tra il benessere delle persone e la concentrazione di CO₂ nell'aria all'interno degli edifici, proponendo una concentrazione limite di CO₂ pari a 1000 ppm, a partire dalla quale si possono avvertire disturbi. Per concentrazioni superiori a 5000 ppm la CO₂ causa sonnolenza, mentre disturbi gravi si manifestano a partire da concentrazioni del 3%. Per scongiurare l'insorgere di tali situazioni si rende necessario un adeguato ricambio d'aria: questo può essere garantito mediante un sistema VMC predisposto di sensori che, ad esempio, attivino la ventilazione nel momento in cui vengono raggiunti livelli di CO₂ maggiori o uguali a 700 ppm.

Radon

Il radon (²²²Rn) è un gas nobile radioattivo prodotto dal decadimento dell'uranio presente nel terreno. A causa della differenza di pressione tra l'ambiente interno e quello esterno, esso penetra nelle abitazioni attraverso parti non stagne dell'involucro, sfruttando la porosità del terreno e la presenza di eventuali fessurazioni, giunti di connessione e canalizzazioni localizzate nell'attacco a terra delle costruzioni. Ne deriva che le concentrazioni maggiori di radon vengano raggiunte nei locali interrati, seminterrati e al piano terra, mentre dal primo piano in poi il livello cala drasticamente, salvo alcuni casi particolari. L'inalazione di gas radon aumenta il rischio di danni alla salute, in particolare il rischio di cancro polmonare: per questo motivo l'OMS raccomanda un livello di riferimento nazionale inferiore a 100 Bq/m³ e comunque mai superiore a 300 Bq/m³ [39].

A livello normativo, la Direttiva 2013/59/EURATOM [40] stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti e abroga la precedente Direttiva 96/29/EURATOM. In particolare, l'articolo 54, concernente l'esposizione al radon nei luoghi di lavoro, recita: "gli Stati membri stabiliscono livelli di riferimento nazionali per le concentrazioni di radon nei luoghi di lavoro. Il livello di riferimento per la media annua della concentrazione di attività aerea non deve essere superiore a 300 Bq/m³, a meno che un livello superiore non sia giustificato dalle circostanze esistenti a livello nazionale."

Analogamente, per gli ambienti chiusi, l'articolo 74 recita: "gli Stati membri stabiliscono livelli di riferimento nazionali per le concentrazioni di radon in ambienti chiusi. I livelli di riferimento per la media annua della concentrazione di attività in aria non devono essere superiori a 300 Bq/m³".

Ciò nonostante, In Italia è ancora in vigore il Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 214 [41] emanato in recepimento della vecchia Direttiva 96/26/EURATOM. Per questo motivo la Commissione Europea ha deciso di inviare un parere motivato all'Italia chiedendo il recepimento della nuova direttiva sulle norme fondamentali di sicurezza.

Il D.Lgs. 214/2000 fissa per gli ambienti di lavoro, incluse le scuole, due livelli di azione (ossia dei valori di concentrazione di radon superati i quali sono obbligatorie delle azioni per ridurne la concentrazione):

- Livello di concentrazione media annuale di gas radon nell'ambiente < 500 Bq/m³;
- Se la precedente condizione non viene verificata, vi è la possibilità di dimostrare il rispetto di un ulteriore livello di azione definito come livello di dose, che tiene conto del tempo di permanenza dei lavoratori all'interno del locale. In particolare, se (²²²Rn) > 500 Bq/m³, allora deve essere (²²²Rn) < 3 mSv/anno.

Questo secondo livello d'azione non è valido per scuole dell'obbligo, scuole materne e asili nido. Per questi vale tassativamente il livello di 500 Bq/m³. Il presente decreto ha inoltre sancito l'obbligo per tutte le regioni di mappare le zone a rischio radon entro il 31 agosto 2005, così come fatto per l'Alto Adige:

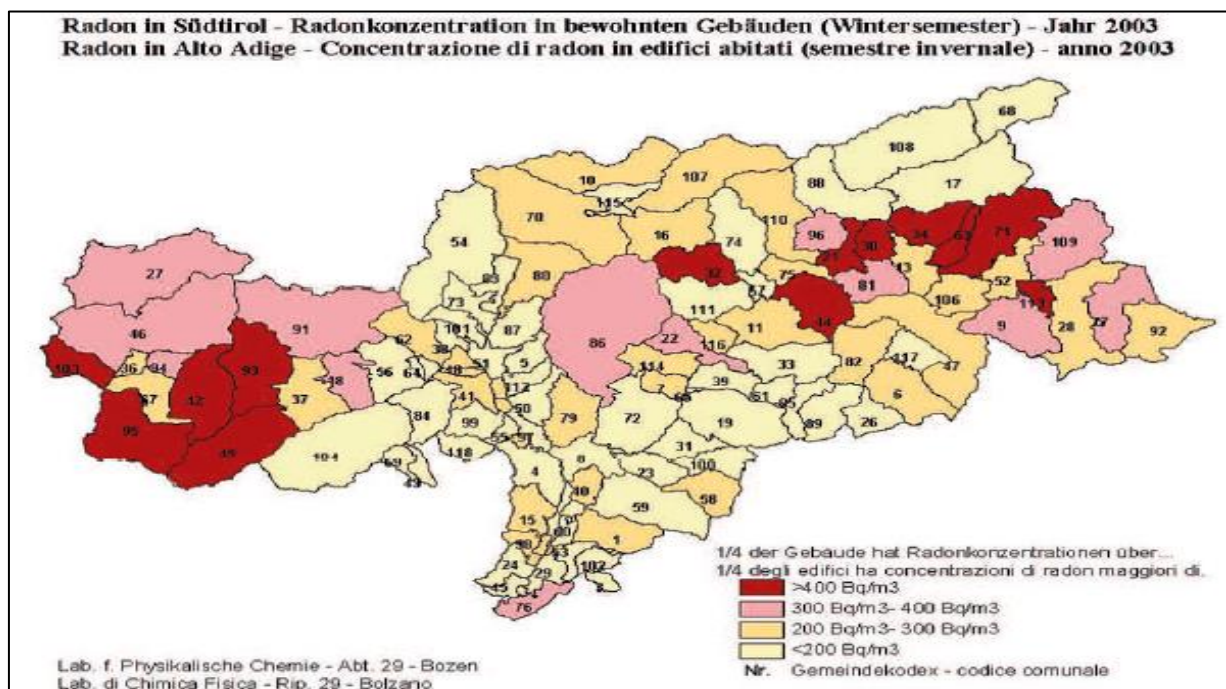


Figura 1.1. Mappa del radon per la Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige (Fonte: Agenzia provinciale per l'ambiente)

Edilizia scolastica e procedure progettuali e di appalto in Ticino

È ben noto che, in Svizzera, l'istruzione è organizzata diversamente a seconda del Cantone in cui essa viene esercitata. Ciò nonostante, viene sempre richiesto il rispetto dei riferimenti federali di settore, tra i quali si ricordano:

- *Costituzione federale della Confederazione Svizzera* [42]: all'articolo 89 viene sancito che le misure concernenti il consumo di energia negli edifici competono in primo luogo ai Cantoni;
- *Legge federale sulla pianificazione del territorio* [43]: si chiede di promuovere lo sviluppo centripeto degli insediamenti garantendo una qualità abitativa adeguata e di preservare quanto possibile i luoghi destinati all'abitazione da immissioni nocive o moleste come l'inquinamento dell'aria. Viene inoltre imposto ai Cantoni di emanare le disposizioni necessarie all'applicazione della legge, stabilendo in particolare le zone di pianificazione e le disposizioni restrittive per costruzioni al di fuori delle zone edificabili;
- *Ordinanza sulla pianificazione del territorio* [44]: dà attuazione alla precedente legge del 1979.

In riferimento al Canton Ticino, gli atti legislativi più importanti in materia di edilizia scolastica sono:

- *Legge edilizia cantonale* [45]: vieta all'articolo 24 le costruzioni sopra terreni che non offrono sufficienti garanzie di salubrità e di stabilità e stabilisce le norme tecnico-costruttive concernenti la sicurezza e l'igiene delle costruzioni;
- *Regolamento di applicazione della legge edilizia* [46]: dà attuazione alla precedente legge del 1991.

Al fine di rendere più chiara la comprensione di tali documenti è stata pubblicata la *Guida sulle procedure per ottenere una licenza edilizia* [47], che definisce le modalità di redazione di una procedura di domanda o di notifica, ove necessarie. Inoltre, rivestono particolare importanza le *Linee Guida cantionali* [48] a supporto del *Regolamento edilizio* e gli *Standard costruttivi per gli edifici dello Stato* [49]. In quest'ultimo documento vengono definiti i principi progettuali, operativi e gestionali che stanno alla base della concezione e dello sviluppo di un progetto e della gestione successiva degli edifici, compresi quelli scolastici.

Le procedure di appalto sono invece regolamentate dalla *Legge sulle commesse pubbliche* [50] e dal *Concordato intercantonale sugli appalti pubblici* [51], che trovano applicazione nel corrispondente Regolamento [52].

Per quanto riguarda invece gli aspetti energetici, la *Legge cantonale sull'energia* [53] e il successivo *Regolamento sull'utilizzazione dell'energia* [54] stabiliscono che gli edifici nuovi e le trasformazioni di proprietà pubblica, parastatale o sussidiati dall'ente pubblico debbano essere certificati secondo gli standard MINERGIE®. Nel caso di interventi parziali, limitati a singoli elementi dell'involucro, questi devono rispettare i valori di trasmittanza previsti per gli edifici nuovi e contenuti nell'Allegato 1a al presente Regolamento. Inoltre, all'articolo 20 vengono definite alcune condizioni di installazione e di esercizio dei sistemi di ventilazione.

Ad eccezione del gas radon, non esistono in Svizzera dei provvedimenti legislativi che stabiliscano delle concentrazioni limite per gli inquinanti indoor o dei valori massimi di emissione per i materiali impiegati appositamente negli spazi interni. Ciò nonostante, vi sono alcune leggi, ordinanze e norme in vigore che trattano aspetti inerenti l'IAQ: a tale proposito si ricorda la *Legge federale sulla protezione contro le sostanze e i preparati pericolosi* del 15 dicembre 2000 [55] e l'*Ordinanza relativa alla tassa d'incentivazione sui composti organici volatili* del 12 novembre 1997 [56], che funge da "incentivo" alla riduzione delle emissioni di VOC da parte di miscele e prodotti realizzati in Svizzera.

Normativa Svizzera

Attualmente, in Svizzera, non esiste un riferimento normativo che regoli la problematica della qualità dell'aria negli ambienti interni, così come i valori limite di inquinanti tollerabili negli stessi. Due eccezioni riguardano le concentrazioni sui posti di lavoro (comprese le scuole) e le concentrazioni di radon negli edifici. Per i posti di lavoro valgono i criteri fissati dalla SUVA nella pubblicazione *Grenzwerte am Arbeitsplatz/Valeurs limites d'exposition aux postes de travail* [57], contenente una lista dei valori limite d'esposizione a medio (VME) e a breve termine (VLE) per le sostanze chimiche e sul valore biologico tollerabile (VBT) per gli agenti biologici, oltre ad alcune raccomandazioni per gli agenti fisici. Nella tabella sottostante viene riportato un estratto della suddetta lista, la quale viene aggiornata ogni anno a norma dell'art. 50 cpv. 3 dell'*Ordinanza sulla prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali* [58]. Quest'ultima, in particolare, conferisce alla SUVA il compito di emanare direttive riguardanti i valori limite sui posti di lavoro.

Tabella 1.6. Concentrazioni limite di diversi inquinanti basati sul valore di esposizione a medio termine (VME), sul valore di esposizione a breve termine (VLE) e sul valore biologico tollerabile (VBT) [57].

Sostanza inquinante	VME ⁽¹⁾	VLE ⁽²⁾	VBT ⁽³⁾
Diossido di carbonio (CO ₂)	5000 ppm		
Monossido di carbonio (CO)	35 mg/m ³	70 mg/m ³	5%
Ozono (O ₃)	0.2 mg/m ³	0.2 mg/m ³	
Monossido d'azoto (NO)	30 mg/m ³		
Diossido d'azoto (NO ₂)	6 mg/m ³	6 mg/m ³	
Toluene (C ₇ H ₆)	190 mg/m ³	760 mg/m ³	600 µg/l
Benzene (C ₆ H ₆)	1.6 mg/m ³		
Formaldeide (HCOH)	0.37 mg/m ³ Ufficio federale della sanità pubblica: raccomanda un valore di 125 µg/m ³	0.74 mg/m ³	
Pentaclorofenolo (PCP)	0.05 mg/m ³		

(1) valore medio (limite) calcolato su un periodo di esposizione di 8 ore lavorative
(2) valore limite a breve termine calcolato su una durata di esposizione di 15 minuti
(3) concentrazione di una sostanza tale da non mettere a rischio la salute del lavoratore

Vengono poi definiti i valori limite di concentrazione sul posto di lavoro per i seguenti inquinanti [59]:

- bifenili policlorurati (PCB): per valutare eventuali pericoli per la salute degli occupanti, l'Ufficio federale di sanità pubblica (UFSP) ha raccomandato un valore indicativo, il cui superamento impone un risanamento. In particolare, per edifici occupati durante il giorno (8 ore al giorno, come scuole ed asili nido) esso si attesta a $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- idrocarburi aromatici policiclici (PAH): la SUVA ha fissato un limite per il valore medio di esposizione (VME) di $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- agenti biologici, tra cui muffe, batteri, acari e pollini: attualmente, in assenza di concentrazioni limite ben definite, esistono solamente i valori indicativi proposti dalla SUVA per la valutazione del carico di endotossine e del carico microbiologico. Questi sono pari a 10^4 UFC/ m^3 per i germi aerobi mesofili, 10^3 UFC/ m^3 per i batteri Gram negativi e 10^3 UFC/ m^3 per le muffe (UFC = Unità Formante Colonia).

Per quanto riguarda l'amianto, dal 1° marzo 1989 il Consiglio federale ne ha vietato l'utilizzo, così come la fabbricazione e l'importazione di oggetti in esso realizzati. Per gli edifici costruiti in precedenza, a monte di qualsiasi lavoro di ristrutturazione, demolizione o manutenzione, occorre verificare la totale assenza di materiali contenenti amianto ai sensi dell'*Ordinanza sulla sicurezza e la protezione della salute dei lavoratori nei lavori di costruzione* (OLCostr) [60]. In caso contrario, è necessario interrompere i lavori e avvisare il committente per valutare la situazione e adottare le misure di sicurezza necessarie.

All'inizio degli anni '90, il Consiglio federale ha adottato misure speciali per limitare l'esposizione al radon facendo appello ai Cantoni per la loro attuazione, in conformità all'articolo 24 della *Legge sulla radioprotezione* (LRaP) del 22 marzo 1991 [61] relativa alla protezione dell'uomo e dell'ambiente contro i pericoli derivanti da radiazioni ionizzanti. Tali disposizioni sono riportate nell'*Ordinanza sulla radioprotezione* (ORaP) del 22 giugno 1994 [62], completamente rivista negli ultimi anni e sostituita dalla più recente versione del 26 aprile 2017. Questa fissa all'articolo 155 un limite di riferimento per edifici nuovi o esistenti, oltre il quale è necessario intervenire con accertamenti più approfonditi e con delle misure di risanamento secondo quanto disposto all'articolo 166. In particolare, per la concentrazione di radon nei locali in cui si trattengono regolarmente persone per più ore al giorno, tra cui le scuole, si applica un livello di riferimento di radon pari a $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$, calcolato come media nel corso di un anno. Inoltre, ciascun Cantone deve provvedere affinché in scuole e scuole dell'infanzia siano eseguite misurazioni del radon ai sensi dell'articolo 159 capoverso 1. Relativamente ai posti di lavoro esposti al radon, come miniere, grotte e impianti interrati, il valore soglia è di $1000 \text{ Bq}/\text{m}^3$, sempre calcolato come media nel corso di un anno. Nel caso in cui questo venga superato, si dovranno adottare i provvedimenti contenuti nell'articolo 167.

Nella tabella sottostante viene proposto un confronto tra Svizzera e Alto Adige sui valori ammissibili di radon, mentre in Figura 1.2 viene rappresentata la mappa del radon della Svizzera:

Tabella 1.7. Confronto tra i valori ammissibili di radon per la Svizzera e l'Alto Adige

Paese	Livelli di riferimento per edifici nuovi ed esistenti	Valori soglia nei locali di lavoro
Svizzera	300 Bq/m ³ (comprese le scuole)	1000 Bq/m ³ (miniere, gallerie...)
Alto Adige	-	500 Bq/m ³ (comprese le scuole)

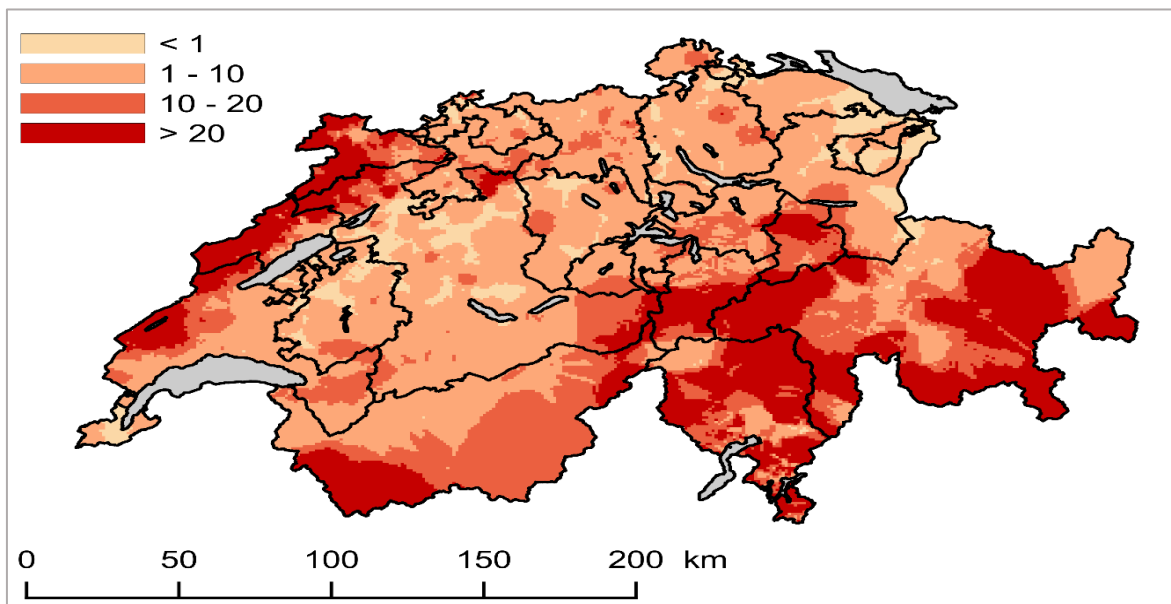


Figura 1.2. La mappa del radon della Svizzera mostra la probabilità [%] di superare il valore di riferimento di 300 Bq/m³ della concentrazione del radon negli edifici [Fonte: Ufficio federale della sanità pubblica, 2018]

In altri documenti normativi sono presenti dei riferimenti alle condizioni dell'ambiente indoor e alla qualità dell'aria all'interno degli edifici, senza tuttavia fissare concrete esigenze da rispettare. La *Legge federale sul lavoro nell'industria, nell'artigianato e nel commercio* [63] ad esempio obbliga il datore di lavoro a prendere tutti i provvedimenti necessari a tutela della salute dei lavoratori, basandosi sulle condizioni d'esercizio, lo stato della tecnica e l'esperienza. I provvedimenti sono riportati nell'*Ordinanza 3 concernente la legge sul lavoro* [64] dove viene specificato che il datore di lavoro deve proteggere la salute dei lavoratori da effetti nocivi e molesti di natura fisica, chimica e biologica. L'Ordinanza stabilisce inoltre che i materiali da costruzione non devono essere nocivi alla salute (Art. 11). Per quanto concerne le esigenze tecniche degli edifici, valgono le leggi cantonali in materia di costruzione, secondo le quali gli edifici non devono mettere in pericolo la salute degli occupanti [59]. Queste sono redatte principalmente dalla SIA (Società svizzera degli ingegneri e degli architetti) e dal SITC (Società svizzera degli ingegneri nella tecnica impiantistica). La prima ha prodotto due importanti normative e altrettanti quaderni tecnici inerenti al tema dell'IAQ:

- SIA 180/2014 recante *Isolamento termico, protezione contro l'umidità e clima interno degli edifici* [65]. In particolare, si incoraggia alla riduzione delle fonti di inquinamento e alla rimozione delle più pericolose di esse, garantendo un apporto sufficiente di aria fresca. Per ogni edificio è infatti richiesta l'elaborazione di un piano di ventilazione in fase di progettazione, nel quale può essere contemplata anche la sola ventilazione naturale (a patto che le finestre non rimangano costantemente aperte durante la stagione di riscaldamento). Per quanto riguarda la verifica del comfort termo-igrometrico, in ambienti riscaldati, raffrescati o ventilati meccanicamente deve essere garantita un'umidità maggiore di 5 g_v/kg_{as} durante il 90% del tempo annuale di utilizzo e inferiore a 13 g_v/kg_{as} durante il 95% del tempo annuale di utilizzo. Inoltre, nel caso di temperature esterne inferiori a 0 °C o superiori a 25 °C la portata di aria esterna può essere ridotta del 50%. Il valore minimo è pari a 15 m³/h per persona, mentre i valori medi possono variare in funzione dei parametri che si intendono controllare come CO₂, umidità o numero di persone presenti nell'ambiente.
- SIA 382-1/2014 recante *Impianti di areazione e climatizzazione - Principi generali e requisiti* [66]. Questa norma descrive i criteri fondamentali per la scelta della strategia di ventilazione (inclusa la ventilazione naturale) e indica le condizioni tecniche richieste per limitare il più possibile il consumo d'energia per il trattamento dell'aria e la sua distribuzione negli impianti di ventilazione o climatizzazione. La strategia di ventilazione deve essere definita a seconda della classe di inquinamento dell'aria esterna (AUL) e del livello di IAQ che si intende raggiungere (RAL). Per la scelta della portata d'aria, è prevista una differenziazione a seconda della destinazione d'uso dell'immobile: per le scuole, ad esempio, in mancanza di ventilazione naturale, si consiglia un tasso di ricambio per persona pari a 30 m³/h, che può essere limitato a 25 m³/h nel caso di apertura manuale o meccanica delle finestre. Come indicatore per il ricambio d'aria, e quindi per l'IAQ, viene indicata la concentrazione di CO₂ nell'aria interna del locale, il cui valore massimo ammissibile si attesta a 1000 ppm, corrispondente, appunto, ad un ricambio d'aria pari a 25-30 m³/h per persona. Ciò nonostante, a livello igienico, un valore di 1500 ppm e quindi di 12-15 m³/h per persona è ancora tollerabile. In alternativa, indipendentemente dalla destinazione d'uso dell'edificio, si consiglia di adottare una portata di ricambio pari a 36 m³/h per persona.
- Quaderni tecnici SIA 2024 e SIA 2023: A completamento degli standard analizzati, il quaderno tecnico SIA 2024 recante *Dati d'utilizzo di locali per l'energia e l'impiantistica degli edifici* [67] indica i criteri di progettazione per gli impianti di ventilazione a seconda della destinazione d'uso dell'immobile o dello spazio considerato. Ad esempio, per i locali scolastici, in caso di ventilazione per mezzo di impianto semiautomatico è indicata una portata di areazione di 25 m³/h pro capite, mentre con apertura manuale delle finestre la portata consigliata è di 30 m³/h. Ciò permette l'armonizzazione degli assunti riguardanti l'utilizzo dei locali, soprattutto in merito all'occupazione e all'utilizzo degli apparecchi, da adottare nell'esecuzione dei calcoli e delle verifiche ai sensi delle norme vigenti sull'energia e sulle installazioni tecniche, qualora mancassero dati più precisi. Sono altresì indicate esigenze concernenti il benessere termico e acustico, l'illuminazione e la ventilazione, le quali fungono da parametri standard per il dimensionamento di impianti nella fase iniziale di progetto.

Il quaderno tecnico SIA 2023 recante *Ventilazione negli edifici abitativi* [68] ha la valenza di pre-norma nei confronti alla SIA 382/1, in quanto ne riassume le principali esigenze e la completa in modo specifico per gli edifici abitativi. Oltre alle questioni energetiche, viene attribuita particolare attenzione agli aspetti dell'igiene e del funzionamento corretto degli impianti di ventilazione e vengono specificati i criteri di qualità dell'aria interna e i tassi di ricambio da garantire, anche nel caso di sola ventilazione naturale. Questo quaderno tecnico, inoltre, funge da "manuale d'uso" per l'utente e prescrive dei requisiti impiantistici che il progettista deve rispettare. Ad esempio, i filtri per l'aria esterna devono appartenere alla categoria E7 o superiori e non possono essere né puliti né lavati; in più, con la ventilazione meccanica, i flussi d'aria devono essere regolati e misurati per ogni locale e la misura deve essere protocollata.

La SITC, invece, ha emanato la direttiva SITC VA104-01 recante *Esigenze igieniche per impianti e apparecchi di ventilazione e climatizzazione* [69]. Nel presente provvedimento si specifica che i sistemi di ventilazione devono essere progettati, messi in funzione e mantenuti in modo da preservare gli occupanti da un'esposizione di gas nocivi e di contaminanti organici e inorganici. Come indicatore per l'IAQ viene definita un'aria di riferimento che, a seconda del tipo d'impianto di ventilazione, può essere l'aria salubre esterna, l'aria salubre dell'ambiente nella zona di soggiorno, oppure una miscela delle due. La norma stabilisce che la concentrazione di polvere, batteri, funghi e altre sostanze biologiche nell'aria immessa non deve mai superare i valori dell'aria di riferimento.

Protocolli di certificazione degli edifici

I protocolli di certificazione di seguito analizzati rappresentano degli strumenti volontari di certificazione con i quali è possibile valutare la qualità degli immobili sotto molteplici aspetti: infatti, oltre alla prestazione energetica dell'edificio e al consumo di risorse naturali, viene dato peso ai temi dell'accessibilità, della felicità e del benessere delle persone.

Nella Tabella 1.8 vengono proposte le certificazioni più diffuse sul territorio italiano, svizzero, tedesco ed internazionale, evidenziandone le caratteristiche più importanti in relazione al tema dell'indoor air quality.

Si vuole sottolineare come alcuni di questi protocolli, tra cui CasaClima e Minergie, presentino criteri e requisiti dedicati appositamente agli edifici scolastici, il che permette di salvaguardare con maggiore attenzione la crescita e l'apprendimento degli studenti. Altri standard, invece, considerano le scuole al pari degli altri edifici non residenziali, senza esplicitarne la differente destinazione d'uso. Altri ancora, come lo standard DGNB, declinano solamente alcuni criteri alle scuole, rendendo più stringenti i vincoli sulle concentrazioni massime ammissibili di VOC, TVOC (*Total Volatile Organic Compounds*) e formaldeide.

Tabella 1.8. Requisiti per la nuova costruzione di scuole/edifici non residenziali imposti da diversi protocolli di certificazione (continua alla pagina successiva)

PROTOCOLLO	VENTILAZIONE	MISURAZIONE IAQ	LIMITI D'EMISSIONE/CONDIZIONI D'UTILIZZO DEI MATERIALI	RADON
CasaClima School	Obbligo di VMC* in zone climatiche D, E, F per mantenere CO ₂ < 1000 ppm. È consentita la VN** solo nelle zone A, B e C, con sensori di CO ₂ che segnalino quando CO ₂ ≥ 1500 ppm.	Obbligatoria a lavori conclusi e con arredo installato nel caso di VN. Non è obbligatoria con VMC.	Verifica formaldeide per prodotti a base di legno incollato. Verifica formaldeide + TVOC per isolanti interni. Contenuto massimo di VOC e altri inquinanti per prodotti liquidi pronti all'uso. In alternativa vedasi lista sigilli di qualità ecologica ammessi.	Misura radon in fase di utilizzo (max 200 Bq/m ³).
ITACA	VMC non obbligatoria. VN possibile con sensori di CO ₂ che controllano l'apertura delle finestre.	Non obbligatoria.	Non presenti. C'è solo un incentivo all'impiego di prodotti basso-emissivi.	Misura radon in fase di collaudo (max 300 Bq/m ³).
ARCA	VMC non obbligatoria.	Facoltativa in fase di collaudo entro 2-4 settimane dall'ultimazione delle finiture.	Verifica in cantiere dell'impiego di materiali basso-emissivi in conformità alle classi EC1 ^{PLUS} o EC1 del GEV (obbligo valido solo per le scuole).	Non specificato
MINERGIE	VMC obbligatoria.	Obbligatoria al termine della fase di realizzazione dell'edificio.	Utilizzo di prodotti derivati dal legno che appartengano alla lista Lignum. Assenza di prodotti diluibili in solventi. Rivestimenti di categoria A o B o Natureplus.	Misura radon a lavori conclusi (max 200 Bq/m ³)
SNBS	VMC non obbligatoria.	Obbligatoria al termine della fase di realizzazione dell'edificio.	Come Minergie oppure utilizzo prodotti Lignum per i materiali in legno, EMICODE EC1/EC1 ^{PLUS} per i rivestimenti, Ecoproduit eco-1/eco-2 per i materiali da costruzione.	Misura radon a lavori conclusi.
BNB	VMC non obbligatoria. La VN è tollerata in aree con rumore esterno < 60 dB.	Obbligatoria ad edificio concluso e con arredi installati.	Si consiglia l'impiego di prodotti marchiati AgBB o Blue Angel per rispettare i limiti di concentrazione degli inquinanti indoor.	Non specificato.
DGNB	VMC non obbligatoria.	Obbligatoria ad edificio concluso e con arredi installati.	Matrice con valori limite di emissione per diverse categorie di materiali al fine di raggiungere la classe di IAQ desiderata.	Non specificato.

Klimaaktiv	VMC non obbligatoria, ma consigliata al fine di mantenere $CO_2 < 1000 \text{ ppm}$ in ciascuna aula come media oraria.	Obbligatoria entro 28 giorni dal completamento dell'edificio se $A_{sup} > 2000 \text{ m}^2$.	La gestione dei materiali da costruzione è affidata a terzi. I prodotti devono comunque rispettare i requisiti del catalogo Baubook.at	Non specificato.
LEED	VMC non obbligatoria.	Facoltativa.	L'Impiego di materiali basso-emissivi è facoltativo.	Non specificato.
BREEAM	VMC non obbligatoria. Con occupazione discontinua si consiglia l'utilizzo di sensori di CO_2 che comandino la VN o la VMC.	Facoltativa dopo la costruzione e prima dell'occupazione.	L'Impiego di materiali basso-emissivi è facoltativo. Vengono comunque proposte delle categorie di materiali edilizi da adottare.	Non specificato.
WELL	VMC obbligatoria se $A_{sup} > 46.5 \text{ m}^2$ e con occupazione $> 0.27 \text{ persone/m}^2$. Con la VN bisogna verificare che $CO_2 < 800 \text{ ppm}$ in corrispondenza della massima occupazione	Obbligatoria per VOC, particolato e gas inorganici.	I materiali utilizzati devono soddisfare i limiti di emissione imposti da determinati enti.	Misura e verifica (max 0.148 Bq/l)
Living Building Challenge (LBC)	VMC non obbligatoria. Si richiede la progettazione di aperture vetrate sufficienti a fornire VN per 6 mesi all'anno.	Da effettuare tra 1 e 6 mesi successivi all'occupazione oppure analisi delle letture di un sistema di monitoraggio continuo ILFI.	Obbligo di prodotti marchiati Declare e LBC. Il 90% dei prodotti con potenziale di emissione VOC deve soddisfare il "CDPH Standard Method v1.1-2010". I prodotti di pulizia devono rispettare i criteri di "EPA Safer Choice".	Misura radon tra 1 e 6 mesi successivi all'occupazione.

Sitografia:

<https://www.agenziacasaclima.it/it/certificazione-sostenibilita/casaclimaschool-1553.html>
http://itaca.org/valutazione_sostenibilita.asp
<https://www.arcacert.com/>
<https://www.minergie.ch/it/?l>
<https://www.nnbs.ch/fr/snbs-batiment>
<https://www.dgnb.de/en/index.php>
<https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/>
<https://www.klimaaktiv.at/>
<http://www.gbcitalia.org/leed>
<https://legacy.wellcertified.com/en>
<https://www.breeam.com/>
<https://living-future.org/>

VMC* = ventilazione meccanica controllata

VN** = ventilazione naturale

Alcuni di questi protocolli impongono dei requisiti leggermente diversi rispetto a quelli sopra riportati nel caso in cui venga effettuata una riqualificazione. Lo standard CasaClima School, ad esempio, propone una checklist dedicata appositamente ai risanamenti, secondo la quale:

- deve essere verificato in fase di utilizzo dell'edificio che la concentrazione media annua di radon sia inferiore o uguale a 300 Bq/m³;
- vi è l'obbligo della ventilazione meccanica controllata in presenza di isolamento interno e/o in zona climatica F e/o in presenza di fonti di rumore esterne significative;
- il requisito associato ai limiti di emissione di VOC e formaldeide da parte dei materiali è richiesto solo per i prodotti di nuova installazione.

Minergie, invece, prescrive che a valle delle riqualificazioni la concentrazione misurata di gas radon debba essere inferiore a 300 Bq/m³. In caso contrario dovranno essere implementati opportuni interventi con l'obiettivo di rispettarne il valore limite. Anche Klimaaktiv propone dei requisiti specifici per gli edifici risanati, assegnando un determinato punteggio a seconda della concentrazione rilevata di inquinanti indoor quali policlorobifenili, idrocarburi aromatici policiclici, benzo(a)pirene, biocidi, metalli pesanti, ftalati e radon. Inoltre, la verifica di tenuta all'aria mediante blower door test diventa meno stringente rispetto a quella richiesta per le nuove costruzioni. Ancora, il protocollo BREEAM distingue le due tipologie di interventi sulla base della distribuzione dei punti, che risulta essere leggermente diversa in funzione del caso considerato. Ciò nonostante, per l'IAQ i criteri da soddisfare sono i medesimi, a meno di ulteriori restrizioni circa l'impiego di pitture e vernici decorative i termini di emissioni di VOC e formaldeide.

Altri protocolli, invece, mantengono gli stessi criteri indipendentemente dalla tipologia di intervento. Ad esempio, lo standard Living Building Challenge differenzia gli edifici nuovi da quelli esistenti, ma i requisiti da soddisfare obbligatoriamente sono i medesimi.

Sigilli di qualità dei prodotti

I sigilli di qualità rappresentano degli strumenti volontari di etichettatura dei prodotti, che, da un lato, indirizzano il consumatore verso acquisti a basso impatto ambientale e, dall'altro, incentivano al continuo miglioramento della filiera produttiva in un'ottica di sostenibilità. La certificazione è, appunto, volontaria, in quanto i marchi ecologici impongono degli standard ambientali superiori a quelli previsti dalla legge vigente: ad esempio, per i materiali edilizi utilizzati entro lo strato di tenuta all'aria, come pannelli a base di legno incollato e isolanti acustici, è richiesto il rispetto di vincoli stringenti circa le emissioni di TVOC e formaldeide. Analogamente, i prodotti liquidi applicati sulle superfici interne, come pitture, vernici ed impregnanti, devono soddisfare determinati limiti circa il contenuto massimo di VOC e formaldeide, nonché i criteri di sicurezza in riferimento alle frasi di rischio e all'assenza di metalli pesanti.

Nella tabella sottostante viene riportata una breve descrizione dei marchi ecologici più diffusi sul mercato europeo, a cui alcuni protocolli di certificazione si richiamano nella scelta dei materiali basso-emissivi.

Tabella 1.9. Caratteristiche dei più importanti sigilli di qualità dei prodotti edilizi

SIGILLO DI QUALITÀ	CARATTERISTICHE	MATERIALI CERTIFICABILI
Natureplus	È un marchio di qualità che considera l'intero ciclo di vita del prodotto e che richiede la verifica delle emissioni di inquinanti, tra cui VOC e formaldeide, da parte dei prodotti stessi.	Elementi isolanti, legname e materiali in legno, materiali compositi per cappotti, tegole, pitture, rivestimenti superficiali, adesivi, coperture per pavimentazioni, finestre e porte con elementi in legno, sigillanti e carte da parati.
Ecolabel UE	È un marchio di tipo I disciplinato dal Regolamento (CE) n. 66/10, applicato a tutti i beni destinati alla distribuzione, al consumo o all'uso sul mercato comunitario, ad eccezione dei medicinali.	Rivestimenti del suolo a base di legno, sughero e bambù, vernici, mobili, prodotti tessili e per la pulizia di superfici dure.
Émissions dans l'air intérieur	Come sancito dal Decreto n. 321/2011, tutti i materiali edilizi per interni venduti e commercializzati in Francia devono essere sottoposti a tale etichettatura, che prevede la classificazione degli stessi in 4 categorie a seconda delle emissioni di VOC misurati 28 giorni dopo la posa all'interno di una stanza di prova.	Materiali da costruzione, rivestimenti per muri interni e per pavimenti, serramenti, isolanti, pitture, vernici e in generale tutti i prodotti edilizi destinati all'uso interno.
GEV - EMICODE®	È un sistema di classificazione dei materiali da posa che permette di orientare i consumatori verso tecnologie disponibili sul mercato e a basse emissioni di VOC.	Adesivi e malte adesive per piastrelle, primers, stucchi, autolivellanti, malte per fughe, malte impermeabilizzanti, sigillanti per superfici, nastri e pellicole sigillanti, mastici per fughe a base d'acqua, leganti e malte per massetti.
BLUE ANGEL	È un marchio di tipo I promosso dal governo federale tedesco, adottato su base volontaria e assegnato da un membro esterno.	Molteplici categorie di prodotto, tra cui materiali da costruzione, arredamenti per interni, prodotti tessili, adesivi, sigillanti, detergenti e vernici.
ANAB - ICEA	È un'etichetta nata dalla collaborazione tra ANAB e ICEA, volta a valorizzare i prodotti ecologici per costruzione e per arredo.	Prodotti e materiali per la bioedilizia, tra cui laterizi, isolanti, malte, intonaci e pitture, detergenti ecologici ed elementi di bio-arredo.
Eco-bau	Nata per soddisfare i criteri dei protocolli Minergie-ECO e SNBS, questo sigillo prevede tre categorie di materiali in funzione del consumo di energia grigia e del contenuto di sostanze inquinanti.	Tutti i materiali da costruzione, i quali vengono valutati considerando le fasi di produzione, esercizio e smaltimento.
<p>Sitografia:</p> <p>https://www.natureplus.org/</p> <p>http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/index_en.htm</p> <p>https://www.eco-institut.de/en/portfolio/emissions-dans-lair-interieur/</p> <p>https://www.emicode.com/home/</p> <p>https://www.blauer-engel.de/en</p> <p>http://www.anab.it/</p> <p>https://www.eco-bau.ch/</p>		

Conclusioni

Con questo documento si vuole offrire una panoramica della situazione normativa, nazionale e non, sulla qualità dell'aria interna negli edifici scolastici, la quale non può che prescindere da come gli edifici stessi vengono realizzati. Per questo motivo, nei primi capitoli vengono esplorate le direttive tecniche sull'edilizia, con un approfondimento sui criteri ambientali minimi che le stazioni appaltanti sono obbligate ad adottare nelle nuove costruzioni, ristrutturazioni e manutenzioni delle scuole, nella scelta degli arredi e dei prodotti tessili, così come nel servizio di pulizia e nella fornitura di prodotti per l'igiene. Da questa analisi traspare in modo evidente la mancanza di una norma che tratti a 360° il tema dell'IAQ e che tuteli dunque la salute dell'occupante dai rischi ad esso associati, senza considerare gli enormi benefici che si avrebbero sulla concentrazione e sul rendimento scolastico degli studenti. Inoltre, i documenti esaminati e le informazioni ivi contenute non sembrano tenere il passo dell'evoluzione continua cui il settore edilizio è soggetto, soprattutto a causa di vincoli sempre più stringenti sull'efficienza energetica. Infatti, secondo quanto previsto dall'articolo 4-bis del D.Lgs. 63/2013 di recepimento alla Direttiva 2010/31/UE, entro il 31 dicembre 2020 tutti i nuovi edifici, comprese le scuole, dovranno essere ad energia quasi zero (nZEB). Ciò comporta degli isolamenti sempre più importanti e una maggiore ermeticità dell'involucro, che, in assenza di un adeguato sistema di ventilazione meccanica, può penalizzare fortemente la qualità dell'aria negli ambienti interni. Di conseguenza, l'IAQ e la progettazione, sia di nuovi edifici che di risanamenti, sono due concetti tra loro interconnessi: per godere di tutti i benefici del primo, è necessario curare attentamente il secondo, intervenendo soprattutto a livello di ventilazione e di eliminazione delle fonti interne di inquinamento. Gli standard di settore dovrebbero dunque fare da collante tra questi due aspetti, facilitandone la comunicazione e garantendo un'adeguata IAQ mediante opportuni interventi.

In mancanza dei suddetti riferimenti normativi, i protocolli di certificazione rivestono un ruolo chiave, in quanto rendono obbligatorie delle misure e delle soluzioni impiantistiche che, altrimenti, non lo sarebbero. Allo stesso modo, i sigilli di qualità dei prodotti sono garanti di elevate prestazioni ambientali ed ecologiche da parte dei materiali edilizi e degli arredi interni, dando luogo ad una riduzione considerevole delle fonti di inquinamento.

Bibliografia

- [1] Ministro per i lavori pubblici (1975). *Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975: Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica*. In S.O. alla G.U. 2 febbraio 1976 n. 29.
- [2] Presidente della Repubblica (1996). *Legge 11 gennaio 1996, n. 23. Norme per l'edilizia scolastica*. In G.U. 19 gennaio 1996, n. 15.
- [3] Ministro dell'economia e delle finanze (2015). *Decreto 23 gennaio 2015: Modalità di attuazione della disposizione legislativa relativa a operazioni di mutuo che le regioni possono stipulare per interventi di edilizia scolastica e residenziale*. In G.U. 3 marzo 2015, n. 51.
- [4] Ministro dell'economia e delle finanze (2018). *Decreto 3 gennaio 2018: Programmazione nazionale in materia di edilizia scolastica per il triennio 2018-2020*. In G.U. 4 aprile 2018, n. 78.
- [5] Presidente della Repubblica (2013). *Decreto-Legge 12 settembre 2013, n. 104: Misure urgenti in materia di istruzione università e ricerca*. In G.U. 12 settembre 2013 n. 214.
- [6] Camera dei Deputati, Servizio studi (luglio 2019), *Edilizia scolastica e sicurezza nelle scuole*.
- [7] Ministro dell'istruzione, dell'università e della ricerca (MIUR, 2013). *Norme tecniche-quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia, anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e risparmio energetico e produzione da fonti energetiche rinnovabili, e didattica indispensabili a garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale*. In Decreto Interministeriale 11 aprile 2013.
- [8] Ministro dello sviluppo economico (2008). *Decreto 22 gennaio 2008, n. 37: Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici*. In G.U. 12 marzo 2008, n. 61.
- [9] Presidente della Provincia (2009). *Decreto Provinciale 23 febbraio 2009, n. 10. Regolamento di cui all'articolo 10 della legge provinciale 21 luglio 1977, n. 21: Direttive per l'edilizia scolastica*. In B.U. 7 aprile 2009, n. 15.
- [10] Presidente della Provincia (2013). *Delibera 4 marzo 2013, n. 362: Prestazione energetica nell'edilizia - Attuazione della direttiva 2013/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia e revoca della delibera n. 939 del 25 giugno 2012 (modificata con delibera n. 2012 del 27.12.2013 e delibera n. 965 del 05.08.2014)*. In Gazzetta Ufficiale della Regione 12 marzo 2013.
- [11] Presidente della Repubblica (2016). *Decreto Legislativo 18 aprile 2016, n. 50: Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture*. In S.O. alla G.U. 19 aprile 2016, n. 91.

- [12] Presidente della Provincia (2015). *Legge Provinciale 17 dicembre 2015, n. 16: Disposizioni sugli appalti pubblici*. Pubblicata nel Supplemento n. 3 al Bollettino Ufficiale della Regione Trentino-Alto Adige n. 51/I-II del 22 dicembre 2015 e approvata in G.U. 7 maggio 2016 n. 19.
- [13] Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2017). *Decreto 11 ottobre 2017: Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici*. In G.U. 6 novembre 2017, n. 259.
- [14] Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2012). *Decreto 24 maggio 2012: Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di pulizia e per la fornitura di prodotti per l'igiene*. In G.U. 20 giugno 2012, n. 142.
- [15] Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2017). *Decreto 11 gennaio 2017: Adozione dei criteri ambientali minimi per gli arredi per interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili*. In G.U. 28 gennaio 2017, n. 23.
- [16] Ministro per la Sanità (1975). *Decreto Ministeriale 5 luglio 1975: Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali d'abitazione*. In G.U. 18 luglio 1975 n. 190.
- [17] Presidente della Repubblica (2006). *Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311: Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*. In S.O. alla G.U. 1 febbraio 2007, n. 26.
- [18] UNI 10339 (1995). *Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- [19] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2003), *ANSI/ASHRAE Standard 62-2001: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.
- [20] CR 1752 (1998). *Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment*. European Committee for Standardization, Brussels.
- [21] UNI EN 16798-1 (2019). *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica - Modulo M1-6*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- [22] UNI EN 16798-3 (2018). *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 3: Per gli edifici non residenziali - Requisiti prestazionali per i sistemi di ventilazione e di condizionamento degli ambienti (Moduli M5-1, M5-4)*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- [23] UNI EN 16798-7 (2018). *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 7: Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici compresa l'infiltrazione (Moduli M5-5)*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- [24] CEN/TR 16798-2 (2019). *Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics (M1-6)*. European Committee for Standardization. Brussels.

- [25] UNI EN 15251 (2008). *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* (sostituita da UNI EN 16798-1:2019). Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- [26] UNI EN 12097 (2007). *Ventilazione degli edifici - Rete delle condotte - Requisiti relativi ai componenti atti a facilitare la manutenzione delle reti delle condotte*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- [27] UNI 8723 (2017). *Impianti a gas per l'ospitalità professionale di comunità e similare - Progettazione, installazione e messa in servizio*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- [28] UNI EN ISO 13788 (2013). *Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- [29] World Health Organization (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*.
- [30] Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea (2004). *Direttiva 2004/42/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21 aprile 2004 relativa alla limitazione delle emissioni di composti organici volatili dovute all'uso di solventi organici in talune pitture e vernici e in taluni prodotti per carrozzeria e recante modifica della direttiva 1999/13/CE*. In Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea, L 143 del 30 aprile 2004.
- [31] Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea (2008). *Direttiva 2008/112/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 che modifica le direttive del Consiglio 76/768/CEE, 88/378/CEE, 1999/13/CE e le direttive del Parlamento europeo e del Consiglio 2000/53/CE, 2002/96/CE e 2004/42/CE allo scopo di adeguarle al regolamento (CE) n. 1272/2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele*. In Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 345/68 del 23 dicembre 2008.
- [32] Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea (2011). *Regolamento (UE) N. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio*. In Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 88/5 del 4 aprile 2011.
- [33] Commissione Europea (2014). *Decisione della Commissione del 28 maggio 2014 che stabilisce i criteri ecologici per l'assegnazione di un marchio comunitario di qualità ecologica ai prodotti vernicianti per esterni e per interni*. In Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 164/45 del 3 giugno 2014.
- [34] Ministero della Salute, Direzione generale della prevenzione sanitaria (2015). *Formaldeide*. http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_opuscoliPoster_283_ulterioriallegati_ulterioreallegato_5_alleg.pdf
- [35] Ministro del lavoro, della salute e delle politiche sociali (2008). *Decreto 10 ottobre 2008: Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeideformica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno*. In G.U. 10 dicembre 2008, n. 288.
- [36] Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige, Agenzia per contratti pubblici (luglio 2019). *Capitolato speciale d'appalto per opere pubbliche - Parte I*. Disponibile in: <http://www.provinz.bz.it/lavoro-economia/appalti>

- [37] Presidente della Repubblica (1992). *Legge 27 marzo 1992, n. 257: Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto*. In S.O. alla G.U. 3 aprile 1992 n. 87.
- [38] Ministero della sanità (1996). *Decreto Ministeriale 14 maggio 1996: Normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, ivi compresi quelli per rendere innocuo l'amianto, previsti dall'art. 5, comma 1, lettera f), della legge 27 marzo 1992 recante: "Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto"*. In S.O. alla G.U. 25 ottobre 1996, n. 251.
- [39] World Health Organization (2009). *WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective*.
- [40] Consiglio dell'Unione Europea (2013). *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*. In Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 13/1 del 17 gennaio 2014.
- [41] Presidente della Repubblica (2000). *Decreto Legislativo 26 maggio 2000 n. 241: Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti*. In S.O. alla G.U. 31 agosto 2000, n. 203.
- [42] Consiglio federale (1999). *Costituzione federale della Confederazione Svizzera del 18 aprile 1999 (Stato 23 settembre 2018)*. Fonte: RU 1999 2556.
- [43] Assemblea federale della Confederazione Svizzera (1979). *Legge federale sulla pianificazione del territorio del 22 giugno 1979 (Stato 1° gennaio 2019)*. Fonte: RU 1979 1573.
- [44] Consiglio federale svizzero (2000). *Ordinanza sulla pianificazione del territorio del 28 giugno 2000 (Stato 1° maggio 2019)*. Fonte: RU 2000 2047.
- [45] Gran Consiglio della Repubblica e Cantone Ticino (1991). *Legge edilizia cantonale del 13 marzo 1991*. Fonte: CAN 705.100.
- [46] Consiglio di Stato della Repubblica e Cantone Ticino (1992). *Regolamento di applicazione della legge edilizia del 9 dicembre 1992*. Fonte: CAN 705.110.
- [47] Ufficio Tecnico Comunale, Comune di Biasca (2017). *Guida sulle procedure per ottenere una licenza edilizia*.
- [48] Dipartimento del territorio, Sezione dello sviluppo territoriale (2014). *Linee Guida cantonali al Regolamento edilizio. Supporto per l'allestimento*.
- [49] Standard costruttivi per gli edifici dello Stato. Disponibile al link: <http://www.caslano.ch/Istandardcostruttivislpdf-d41d4d00>
- [50] Gran Consiglio della Repubblica e Cantone Ticino (2001). *Legge sulle commesse pubbliche del 20 febbraio 2001*. Fonte: CAN 730.100.
- [51] Dipartimento federale dell'economia pubblica (1994). *Concordato intercantonale sugli appalti pubblici del 25 novembre 1994*. Fonte: CAN 730.500.
- [52] Consiglio di Stato della Repubblica e Cantone Ticino (2006). *Regolamento di applicazione della legge sulle commesse pubbliche e del concordato intercantonale sugli appalti pubblici del 12 settembre 2006*. Fonte: CAN 730.110.
- [53] Gran Consiglio della Repubblica e Cantone Ticino (1994). *Legge cantonale sull'energia dell'8 febbraio 1994*. Fonte: CAN 740.100.

- [54] Consiglio di Stato della Repubblica e Cantone Ticino (2008). *Regolamento sull'utilizzazione dell'energia* del 16 settembre 2008. Fonte: CAN 740.110.
- [55] Assemblea federale della Confederazione Svizzera (2000). *Legge federale sulla protezione contro le sostanze e i preparati pericolosi* del 15 dicembre 2000 (Stato 1° gennaio 2017). Fonte: RU 2004 4763.
- [56] Consiglio federale svizzero (1997). *Ordinanza relativa alla tassa d'incentivazione sui composti organici volatili* del 12 novembre 1997 (Stato 1° gennaio 2018). Fonte: RU 1997 2972.
- [57] www.suva.ch/valeurs-limites
- [58] Consiglio federale svizzero (1983). *Ordinanza sulla prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali* del 19 dicembre 1983 (Stato 1° maggio 2018). Fonte: RU 1983 1968.
- [59] Bernasconi & Valsangiacomo (2014). *Qualità dell'aria indoor*. Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana, Dipartimento ambiente costruzioni e design.
- [60] Consiglio federale svizzero (2005). *Ordinanza sulla sicurezza e la protezione della salute dei lavoratori nei lavori di costruzione (OLCostr)* del 29 giugno 2005 (Stato 1° novembre 2011). Fonte: RU 2005 4289.
- [61] Assemblea federale della Confederazione Svizzera (1991). *Legge sulla radioprotezione (LRaP)* del 22 marzo 1991 (Stato 1° maggio 2017). Fonte: RU 1994 1933.
- [62] Consiglio federale svizzero (2017). *Ordinanza sulla radioprotezione (ORaP)* del 26 aprile 2017 (Stato 1° febbraio 2019). Fonte: RU 2017 4261.
- [63] Assemblea federale della Confederazione Svizzera (1964). *Legge federale sul lavoro nell'industria, nell'artigianato e nel commercio* del 13 marzo 1964 (Stato 9 dicembre 2018). Fonte: RU 1966 57.
- [64] Consiglio federale svizzero (1993). *Ordinanza 3 concernente la legge sul lavoro* del 18 agosto 1993 (Stato 1° ottobre 2015). Fonte: RU 1993 2553.
- [65] SIA 180 (2014). *Isolamento termico, protezione contro l'umidità e clima interno degli edifici*. Società Svizzera degli Ingegneri e degli Architetti, Zurigo.
- [66] SIA 382/1 (2014). *Impianti di ventilazione e di climatizzazione - Basi generali ed esigenze*. Società Svizzera degli Ingegneri e degli Architetti, Zurigo.
- [67] SIA 2024 (2015). *Dati d'utilizzo di locali per l'energia e l'impiantistica degli edifici*. Società Svizzera degli Ingegneri e degli Architetti, Zurigo.
- [68] SIA 2023 (2008). *Ventilazione negli edifici abitativi*. Società Svizzera degli Ingegneri e degli Architetti, Zurigo.
- [69] SITC VA104-01 (2019). *Raumlufttechnik - Luftqualität - Teil 1: Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte* (disponibile solo in tedesco). Società svizzera degli ingegneri nella tecnica impiantistica, Urtenen-Schöndühl.